System Engineering and Productivity/ 2027/ Vol.7/ No.1/ 171-199

System Engineering and Productivity

10.22034/sep.2026.2093461.1521

# A Scenario-based Decision-Making Model for Green and Agile Supplier Selection in the Industry 4.0 Context Considering Crisis Conditions: A Case Study of Healthcare Systems

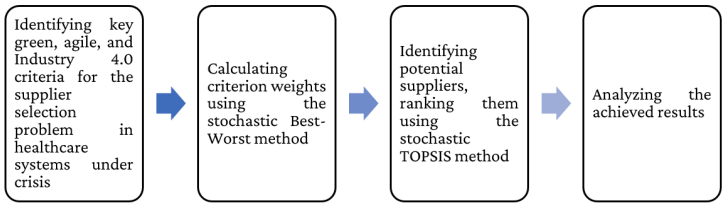
**Amirhossein Younesi[1], Mohammad Akhshabi[2,*], Hossein Amoozadkhalili[3], Mohamad Ebrahim Tayebi Araghi[4]**

[1] Department of Management, Ro.C., Islamic Azad University, Roudehen, Iran
[2] Department of Industrial Engineering, To.C., Islamic Azad University, Tonekabon, Iran
[3] Department of Industrial Engineering, Sar.C., Islamic Azad University, Sari, Iran
[4] Department of Industrial Engineering, Arv.C., Islamic Azad University, Abadan, Iran

## HIGHLIGHTS

- Incorporating the green and agile and Industry 4.0 indicators in healthcare supplier selection problem.
- Considering supplier selection problem in crisis conditions.
- Developing a hybrid scenario-based decision framework to investigate the research problem.

## GRAPHICAL ABSTRACT




## ARTICLE INFO

*Article history:*
Article Type: Research paper
Received: 7 July 2026
Revised: 31 July 2026
Accepted: 10 August 2026
Available online: 10 August 2026
*Correspondence: m.akhshabi@iau.ac.ir
*How to cite this article:*
Younesi, A., Akhshabi, M, Amoozadkhalili, H., & Araghi, M. E. T. (2027). A scenario-based decision-making model for green and agile supplier selection in the Industry 4.0 context considering crisis conditions: a case study of healthcare systems. *System Engineering and Productivity*, 7 (1), 171-199.

*Keywords:*
Supplier Selection
Healthcare Systems
Green Supply Chain
Agile Supply Chain
Industry 4.0

## ABSTRACT

Supplier selection in healthcare systems, particularly under crisis conditions such as war, economic sanctions, and pandemics, is a highly sensitive and complex issue. Any disruption in the supply of critical equipment, such as dialysis machines, can directly impact the quality of healthcare services and patient safety. With the advent of Industry 4.0 and the proliferation of digital technologies, criteria related to digitalization and smart capabilities have become essential dimensions in supplier evaluation. However, few studies have addressed supplier selection using an integrated approach that encompasses green, agile, and Industry 4.0 dimensions under uncertainty. This research proposes a stochastic decision-making model for selecting medical equipment suppliers, simultaneously considering greenness, agility, and Industry 4.0 aspects under three scenarios: pessimistic, probable, and optimistic. To achieve this, criterion weights were first calculated using the Stochastic Best-Worst Method (BWM), followed by ranking the suppliers via the Stochastic TOPSIS method. The weighting results indicated that “quality,” “service level,” and “robustness” hold the highest priority under crisis conditions. Furthermore, the supplier ranking results demonstrated the superiority of the first selected supplier. Comparing the results with Stochastic VIKOR and Stochastic COPRAS methods confirmed the high convergence and robustness of the proposed approach. The findings of this study can serve as a practical guide for healthcare managers in designing resilient and agile supplier evaluation and selection strategies to navigate crises effectively.

2538-2195/© 2027 The Authors. Published by University of Eyvanekey. This is an open-access article under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license.

## 1. Introduction

Supplier selection represents a critical strategic decision in supply chain management (Becerra & Diaz, 2025). This decision significantly impacts not only operational costs and efficiency but also the quality, reliability, and sustainability of the entire supply chain. In today's complex and competitive business environment, organizations can no longer evaluate suppliers solely based on price or supply capacity; rather, they must incorporate a set of multifaceted criteria into their decision-making process (Kashanian Monfared et al., 2025; Avazpour et al., 2025; Moslemi & Safaie, 2026). This issue is of paramount importance in the healthcare sector, where any deficiency in supplier performance can directly affect the quality of healthcare services, continuity of care, and even patient safety (Naser et al., 2026; Hemmasian Etefagh, 2022).

In recent years, increasing social and institutional sensitivity toward environmental issues has elevated the concept of "Green Supply Chain Management" (GSCM) to a prominent position in supply chain literature (Cui et al., 2023). In this approach, supplier selection extends beyond traditional economic and operational criteria to include indicators such as pollution control, reduction of greenhouse gas emissions, waste management, optimal resource consumption, and the use of eco-friendly raw materials (Li & Zhong, 2024). This evolution highlights the necessity for organizations—particularly in sensitive public sectors—to strike a balance between operational efficiency and environmental responsibility.

Alongside environmental considerations, "Agility" has emerged as a key element of supply chain success (Sahoo et al., 2025; Rashidi et al., 2025). Agility refers to the ability of an organization and its suppliers to respond rapidly, flexibly, and effectively to environmental changes, demand fluctuations, supply disruptions, and unforeseen conditions. In the healthcare system, which faces frequent uncertainties, high time pressure, and critical human consequences, having agile suppliers is a decisive factor in maintaining operational continuity and reducing vulnerability. This capacity for rapid response becomes even more vital during crises, such as pandemics, resource shortages, transportation disruptions, or sudden market shocks.

Furthermore, Industry 4.0 has opened new horizons for supply chain management. Technologies such as the Internet of Things (IoT), Big Data, Artificial Intelligence (AI), cloud computing, and blockchain have provided tools to significantly enhance transparency, traceability, coordination, and decision-making speed (Hosseini Dolatabad et al., 2023). The integration of these technologies into healthcare supply chains, particularly regarding information management, item tracking, inter-departmental coordination, and data exchange security, can substantially improve system reliability (Beltran-Salomon et al., 2025). Consequently, considering indicators such as information technology, cybersecurity, and digital capabilities has become an inevitable necessity in supplier evaluation.

Despite the proliferation of studies on supplier selection, green supply chains, agility, and Industry 4.0, the majority of existing research has examined these dimensions in isolation. Moreover, most available models are designed based on deterministic and static assumptions, largely overlooking the realities of crisis-prone and uncertain environments. Given that decision-making in healthcare systems, especially during crises, is influenced by severe fluctuations, incomplete information, resource limitations, and rapidly changing environmental conditions, the absence of a comprehensive framework that simultaneously integrates green, agile, and technological dimensions within a stochastic, scenario-based model constitutes a significant research gap.

Accordingly, this study aims to provide a stochastic decision-making model for selecting green and agile suppliers within the context of Industry 4.0, while accounting for crisis conditions in healthcare systems. By integrating key criteria from all three domains, this model offers a coherent and practical framework for evaluating and ranking suppliers, enabling healthcare organizations to make more precise, flexible, and resilient decisions in the face of crises.

## 2. Methodology

The current study is applied in nature and falls under the category of Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) research in stochastic environments. The designed framework aims to model the supplier selection process in one of the most complex and sensitive decision-making contexts: healthcare systems under crisis. Since data, preferences, evaluations, and operational conditions are not fully deterministic or stable in such environments, traditional deterministic approaches fail to provide a realistic representation of the problem. Therefore, by adopting a scenario-based and stochastic approach, this study seeks to design a supplier evaluation process that is better aligned with the reality of the decision-making environment.

In the first step, the research problem was defined with a focus on selecting suppliers of equipment and materials required in healthcare systems. Subsequently, based on theoretical foundations, literature review, and expert judgment, a set of 16 final evaluation criteria was extracted and organized. These criteria encompass a spectrum of economic, functional, environmental, agility-related, and technology-oriented indicators, providing a comprehensive representation of supplier competence. The rationale for selecting these criteria is that during crises, healthcare organizations require suppliers who not only demonstrate high levels of

quality and service but also possess operational flexibility, rapid response capabilities, data exchange proficiency, information traceability, and alignment with environmental requirements.

Given that determining the relative importance (weighting) of criteria is a major challenge in MCDM, this study utilized the Stochastic Best-Worst Method (BWM) to weight the criteria. This method is an advanced version of BWM that enables the modeling of uncertainty and volatility in decision-makers' judgments. The primary advantage of this approach is that, rather than assuming complete certainty in expert preferences, it allows for a range of possible states to be considered, leading to more consistent and realistic criterion weights. In environments like healthcare supply chains, where market conditions, inventory status, delivery times, and resource availability may fluctuate over short periods, such an approach offers superior analytical validity compared to deterministic methods.

After determining the criteria weights, the supplier ranking phase was conducted using the Stochastic TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) method. This approach, relying on the logic of distance from the positive and negative ideal solutions, allows for the ranking of alternatives in a space where parameters and evaluations are stochastic in nature. Essentially, this study assumes that managers' decisions in supplier selection should be based on evaluating alternatives against criteria whose importance and values may fluctuate under various crisis scenarios. Thus, the use of Stochastic TOPSIS has enabled a ranking based on a more dynamic and realistic perspective.

To reflect crisis conditions and examine the model's behavior under different environmental states, three main scenarios were considered: pessimistic (25% probability), probable (50% probability), and optimistic (25% probability). The pessimistic scenario reflects a situation where the crisis intensity is high, supply limitations are increased, and uncertainty is high. The probable scenario depicts a more moderate and realistic state where some limitations exist but conditions are manageable. The optimistic scenario represents conditions where the crisis intensity is lower and the supply chain possesses relatively greater stability. Designing these three scenarios ensures that the proposed model is not limited to a static state but rather possesses the analytical power to evaluate alternatives across a spectrum of possible conditions.

Furthermore, to evaluate the robustness and reliability of the results, the outputs of the proposed method were compared with those of two other methods: Stochastic VIKOR and Stochastic COPRAS. This comparison is critical; if the ranking obtained from the proposed method demonstrates significant consistency with other valid methods, greater confidence can be placed in the stability and validity of the results. Additionally, this cross-method comparison allows for the assessment of result sensitivity to the choice of decision-making technique. In sum, the methodology of this study is based on a multi-layered framework that aims to cover modern, multifaceted supplier selection criteria while utilizing a stochastic, scenario-based approach to address the complexities and uncertainties inherent in healthcare systems.

## 3. Results and Discussion

The computational findings from implementing the Stochastic BWM model indicate that, under crisis conditions, the prioritization of supplier evaluation criteria in healthcare supply chains shifts significantly toward performance and resilience indicators. Based on the extracted final weights, "Quality" (weight: 0.06475), "Service Level" (weight: 0.06445), and "Robustness" (weight: 0.06415) were ranked first through third, respectively. This finding demonstrates that in crisis environments, healthcare organizations prioritize suppliers capable of providing stable, precise, and reliable services above all else.

Subsequently, "Flexibility in Product Manufacturing" (weight: 0.06385) and "Cost" (weight: 0.06355) hold the following ranks, indicating that while cost remains important, its relative weight decreases during crises compared to operational and quality performance metrics. Furthermore, Industry 4.0 and agility-related criteria, including "Cybersecurity" (weight: 0.06325) and "Flexibility in Delivery Time" (weight: 0.06295), occupy significant weights in the intermediate priority range. This confirms that the current study correctly incorporates technological and operational dimensions into the decision-making process, as information security and timely delivery are critical components of resilience in digital supply chains.

At lower levels of priority, "Pollution Control" (weight: 0.06265), "Flexibility in Production Volume" (weight: 0.06235), and "Green Warehousing" (weight: 0.06205) are located. Similarly, "Eco-friendly Raw Materials" (weight: 0.06115) and "Greenhouse Gas Emissions" (weight: 0.06085) are among the environmental criteria included in the model. In the technological domain, "Information Technology" (weight: 0.06055) and "Digital Customer Relationship Management" (weight: 0.06025) appear at the end of the list. This distribution suggests that in the analyzed crisis scenario, functional and resilience criteria outweigh green and digital criteria, although the latter still play a meaningful role in the model.

Regarding supplier ranking, the results demonstrate that "Supplier A1" performed the best and ranked first, while "Supplier A2" was placed at the bottom. The superior performance of the top-ranked supplier across a set of core criteria including quality, service level, robustness, and adaptive capabilities suggests that the proposed model is not dependent on any single criterion. Instead, by considering multiple weights and various scenarios, it selects the

alternative that, in aggregate, best aligns with the healthcare system's needs during a crisis.

The discussion of the results also highlights the significant managerial implications of this approach. First, it confirms that in crisis conditions, traditional criteria such as cost should not be the sole basis for selection. Second, the high importance of quality and service level indicates that in healthcare, service continuity and supplier reliability outweigh short-term price advantages. Third, the inclusion of criteria such as cybersecurity and information technology demonstrates that supplier selection in the new era is incomplete without considering digital infrastructure and information security.

From a comparative perspective, the study demonstrates that the results of the proposed model are consistent with Stochastic VIKOR and Stochastic COPRAS. This consistency reinforces the validity, robustness, and stability of the rankings. In other words, when three valid decision-making methods confirm similar results, one can judge the suitability of the top-ranked alternative with greater confidence. Overall, the findings show that the designed framework successfully balances environmental, operational, and technological requirements, even if quality and resilience indices remain the priority in crisis scenarios. This is vital for healthcare managers, as it indicates that supplier selection must simultaneously address sustainability, flexibility, digital transparency, and environmental compliance to make the supply chain more resistant to crises.

## 4. Conclusions

This study aimed to provide a comprehensive decision-making framework for selecting green and agile suppliers within the context of Industry 4.0 and crisis conditions, addressing one of the most critical and timely issues in healthcare systems. The research findings demonstrated that in such environments, the supplier selection process must transcend traditional evaluation boundaries and integrate a multifaceted set of criteria, including quality, service level, performance stability, environmental indicators, agility components, and technological capabilities. The use of a stochastic, scenario-based decision-making approach allowed the problem to be analyzed in a context closer to reality, accounting for environmental fluctuations and uncertainties.

Theoretically, the primary innovation of this study lies in the integration of three important yet often disparate fields—Green Supply Chain, Agile Supply Chain, and Industry 4.0—into a stochastic multi-criteria decision-making model. This integration, particularly in the context of healthcare systems and crisis management, contributes significantly to the research literature in supply chain management, MCDM, and crisis management. Methodologically, the simultaneous application of Stochastic BWM and Stochastic TOPSIS, alongside validation against Stochastic VIKOR and Stochastic COPRAS, has provided a robust and reliable framework for analysis.

Practically, the findings offer substantial benefits to hospital managers, healthcare centers, healthcare support organizations, and decision-makers in medical equipment procurement. The research indicates that supplier selection during crises must be conducted with a strategic, forward-looking, and resilience-based perspective. To maintain service continuity and reduce vulnerability to disruptions, healthcare organizations must select suppliers who, beyond economic advantages, possess high levels of quality, response speed, adaptability, sustainability, and technological readiness. Such an approach can reduce the risk of critical supply interruptions, enhance organizational response capacity, and ultimately improve the sustainable performance of the healthcare system.

These findings also highlight the importance of developing long-term supplier relationships based on continuous performance monitoring, technological collaboration, and joint risk management. Such collaborative relationships can strengthen supply chain resilience and enable healthcare organizations to respond more effectively to future disruptions while maintaining sustainability and service quality.

In summary, the model proposed in this study provides an appropriate platform for more precise, realistic, and resilient decision-making in supplier selection. This framework helps elevate the supplier evaluation process from a limited, cost-centric view to a comprehensive, intelligent, crisis-aware, and multi-criteria perspective. For future research, it is recommended that this model be applied in other industries and broader healthcare service supply chains to evaluate its generalizability. Additionally, future studies could incorporate further criteria such as supply risk, social sustainability, digital interoperability, and resilience. Exploring the problem under hybrid uncertainty (Fuzzy-Scenario integration) also represents a promising avenue for future research.

## Acknowledgments

We are grateful to all colleagues who provided insights and expertise that greatly assisted this research. We also thank the anonymous reviewers for their valuable suggestions to improve the paper.

## Funding

This research received no external funding.

## Conflicts of interest

There are no conflicts of interest associated with this research.

## Author contributions

**Amirhossein Younesi:** Conceptualization, Methodology, Literature review, Data collection,

Formal analysis, Framework design, Writing – original draft, Writing – review & editing; **Mohammad Akhshabi:** Initial conceptualization, Methodology, Formal analysis, Framework design, Writing – original draft, Writing – review & editing, Supervision; **Hossein Amoozadkhalili:** Initial conceptualization, Methodology, Formal analysis, Framework design, Writing – original draft, Writing – review & editing, Supervision; **Mohamad Ebrahim Tayebi Araghi:** Initial conceptualization, Methodology, Formal analysis, Framework design, Writing – original draft, Writing – review & editing, Supervision.

## Data Availability Statement

Data available on request: The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

## References


Becerra, P., & Diaz, J. (2025). Supplier selection model considering sustainable and resilience aspects for mining industry. *Systems, 13*(2), 81. https://doi.org/10.3390/systems13020081

Beltran-Salomon, E., Saavedra-Leyva, R. E., Tortorella, G., Limon-Romero, J., Tlapa, D., & Baez-Lopez, Y. (2025). Critical success factors for supplier selection and performance enhancement in the medical device industry: An Industry 4.0 approach. *Processes, 13*(5), 1438. https://doi.org/10.3390/pr13051438

Cui, L., Wu, H., & Dai, J. (2023). Modelling flexible decisions about sustainable supplier selection in multitier sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research, 61*(14), 4603–4624. https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1924412

Hosseini Dolatabad, A., Heidary Dahooie, J., Antucheviciene, J., Azari, M., & Razavi Hajiagha, S. H. (2023). Supplier selection in the Industry 4.0 era by using a fuzzy cognitive map and hesitant fuzzy linguistic VIKOR methodology. *Environmental Science and Pollution Research, 30*(18), 52923–52942. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26004-6

Li, J., & Zhong, D. (2024). Comparing the impact of green supplier selection and integration on environmental performance: An analysis of the moderating role of government support. *Sustainability, 16*(16), 7228. https://doi.org/10.3390/su16167228

Naser, L. J. M., Göksu, A., & Denizhan, B. (2026). An explainable AI-driven framework for sustainable supplier selection in healthcare systems: A methodological framework and proof of concept. *Systems, 14*(6), 709. https://doi.org/10.3390/systems14060709

Sahoo, B., Debnath, B. K., & Saha, A. (2025). An integrated Pythagorean fuzzy multi-criteria decision making model for best supplier selection in sustainable agile manufacturing. *RAIRO - Operations Research, 59*(5), 2577–2606. https://doi.org/10.1051/ro/2025094

Rashidi, M., Banihashemi, S. A., & Seydi, A. (2025). Investigating the role of employee's communication skills in human capital agility by mediating the organizational decision-making process. *System Engineering and Productivity*, *5*(3), 135-153. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2062408.1328

Hemmasian Etefagh, M. (2022). Identifying and evaluating factors affecting contractor selection using a combination of construction management perspectives and multi-criteria decision-making methods. *System Engineering and Productivity*, *2*(2), 105-121. https://doi.org/10.22034/sep.2022.243413

Avazpour, M., Zarei, J., & Alinezhad, E. (2025). Evaluation and prioritization of electricity generation technologies in Iran using a multi-criteria decision-making approach. *System Engineering and Productivity*, *5*(3), 179-198. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2063697.1333

Moslemi, F., & Safaie, N. (2026). Designing a framework for solar power plant development using a multi-criteria decision-making approach and data envelopment analysis. *System Engineering and Productivity*, *6*(2), 37-62. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2067377.1369

Kashanian Monfared, N., Safaie, N., & Hosseininezhad, S. J. (2025). A decision-making model for the problem of designing the layout of medical centers considering uncertainty. *System Engineering and Productivity*, *5*(2), 97-118. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2049327.1252

مهندسی سیستم و بهره‌وری/ سال ۱۴۰۶/ دوره ۷/ شماره ۱/ صفحه ۱۷۱-۱۹۹

نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری

10.22034/sep.2026.2093461.1521

# یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر سناریو برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز و چابک در بستر انقلاب صنعتی چهارم با در نظر گرفتن شرایط بحران: مطالعه موردی سیستم‌های سلامت

امیرحسین یونسی[۱]، محمداخشابی[۲،*]، حسین عموزادخلیلی[۳]، محمد ابراهیم طیبی عراقی[۴]

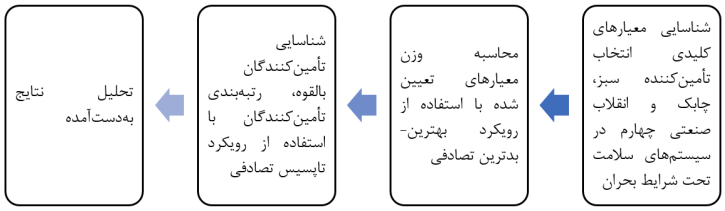
[۱] گروه مدیریت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

[۲] گروه مهندسی صنایع، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران

[۳] گروه مهندسی صنایع، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

[۴] گروه مهندسی صنایع، واحد بین‌المللی اروند، دانشگاه آزاد اسلامی، آبادان، ایران

## چکیده گرافیکی




## برجسته‌ها

- پیاده‌سازی معیارهای سبز بودن، چابکی و انقلاب صنعتی چهارم در مسئله انتخاب تأمین‌کننده در حوزه بهداشت و درمان.
- در نظر گرفتن مسئله انتخاب تأمین‌کننده تحت شرایط بحران.
- توسعه چارچوب تصمیم‌گیری ترکیبی مبتنی بر سناریو برای بررسی مسئله تحقیق.

## چکیده

انتخاب تأمین‌کننده در سیستم‌های سلامت، به‌ویژه در شرایط بحرانی نظیر جنگ، تحریم‌های اقتصادی و همه‌گیری‌ها، از حساسیت و پیچیدگی بالایی برخوردار است؛ چراکه هرگونه اختلال در تأمین تجهیزات حیاتی نظیر دستگاه‌های دیالیز می‌تواند مستقیماً بر کیفیت خدمات درمانی و ایمنی بیماران تأثیر بگذارد. با ظهور انقلاب صنعتی چهارم و گسترش فناوری‌های دیجیتال، معیارهای مرتبط با دیجیتالی‌سازی و هوشمندسازی به ابعاد مهمی در ارزیابی تأمین‌کنندگان تبدیل شده‌اند. با این حال، پژوهش‌های اندکی به انتخاب تأمین‌کننده با رویکرد تلفیقی سبز، چابک و مبتنی بر انقلاب صنعتی چهارم در شرایط عدم‌قطعیت پرداخته‌اند. در این پژوهش، یک مدل تصمیم‌گیری تصادفی برای انتخاب تأمین‌کننده تجهیزات پزشکی با در نظر گرفتن همزمان ابعاد سبز بودن، چابکی و انقلاب صنعتی چهارم تحت سه سناریوی بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه ارائه شده است. بدین منظور، ابتدا وزن معیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین تصادفی محاسبه و سپس تأمین‌کنندگان با روش تاپسیس تصادفی رتبه‌بندی شده‌اند. نتایج وزن‌دهی نشان داد که معیارهای کیفیت، سطح سرویس و استواری بیشترین اولویت را در شرایط بحرانی دارند. همچنین، رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان بیانگر برتری تأمین‌کننده اول در نظر گرفته شده بود. مقایسه نتایج با روش‌های ویکور تصادفی و کوپراس تصادفی، همگرایی بالا و استواری رویکرد پیشنهادی را تأیید کرد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند راهنمای عملی برای مدیران حوزه سلامت در طراحی استراتژی‌های ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان مقاوم و چابک در مواجهه با بحران‌ها باشد.

## مشخصات مقاله

**تاریخچه مقاله:**

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۶

بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۰۹

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۹

ارائه برخط: ۱۴۰۵/۰۵/۱۹

*نویسنده مسئول:

m.akhshabi@iau.ac.ir

**کلیدواژه‌ها:**

انتخاب تأمین‌کننده

سیستم‌های سلامت

زنجیره‌تأمین سبز

زنجیره‌تأمین چابک

انقلاب صنعتی چهارم

۲۱۹۵-۲۵۳۸/© ۲۰۲۷ نویسندگان. منتشرشده توسط دانشگاه ایوان‌کی. این یک مقاله با دسترسی آزاد تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) است.

## ۱- مقدمه

مسئله انتخاب تأمین‌کننده یکی از مهم‌ترین تصمیمات راهبردی در مدیریت زنجیره تأمین محسوب می‌شود که هدف آن شناسایی و ارزیابی تأمین‌کنندگانی است که بتوانند نیازهای سازمان را با بهترین ترکیب از معیارهایی نظیر هزینه، کیفیت، قابلیت اطمینان، زمان تحویل و انعطاف‌پذیری برآورده سازند (Becerra & Diaz, 2025). اهمیت این مسئله در سیستم‌های سلامت به‌مراتب بیشتر است؛ زیرا عملکرد مراکز درمانی و بیمارستان‌ها به دسترسی مستمر و به‌موقع به داروها، تجهیزات پزشکی، ملزومات مصرفی و سایر اقلام حیاتی وابسته است. انتخاب نامناسب تأمین‌کنندگان می‌تواند منجر به کمبود اقلام ضروری، افزایش هزینه‌های درمانی، تأخیر در ارائه خدمات پزشکی و حتی به خطر افتادن سلامت و جان بیماران شود. علاوه بر این، با توجه به حساسیت محصولات پزشکی، الزامات قانونی و استانداردهای کیفی سخت‌گیرانه، سازمان‌های سلامت ناگزیرند در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده معیارهایی فراتر از هزینه را مدنظر قرار دهند. ازاین‌رو، انتخاب تأمین‌کننده در سیستم‌های سلامت به‌عنوان یک مسئله چندمعیاره و پیچیده شناخته می‌شود که نقش کلیدی در ارتقای کیفیت خدمات درمانی، افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین سلامت و بهبود عملکرد کلی نظام سلامت ایفا می‌کند (Khodayari et al., 2024؛ Naser et al., 2026). در سال‌های اخیر، افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و فشارهای ناشی از قوانین و استانداردهای پایداری، موجب شده است که معیارهای سبز به یکی از عوامل کلیدی در مسئله انتخاب تأمین‌کننده تبدیل شوند (Cui et al., 2023). در رویکرد زنجیره تأمین سبز، تأمین‌کنندگان نه‌تنها بر اساس شاخص‌های سنتی مانند هزینه، کیفیت و زمان تحویل، بلکه بر مبنای عملکرد زیست‌محیطی آن‌ها از جمله کاهش انتشار آلاینده‌ها، مدیریت پسماند، مصرف بهینه انرژی و استفاده از مواد سازگار با محیط زیست ارزیابی می‌شوند (Li & Zhong, 2024). اهمیت این موضوع در سیستم‌های سلامت دوچندان است؛ زیرا فعالیت بیمارستان‌ها و مراکز درمانی با تولید حجم قابل توجهی از پسماندهای پزشکی، مصرف بالای انرژی و استفاده گسترده از تجهیزات و مواد مصرفی همراه است. انتخاب تأمین‌کنندگانی که اصول پایداری و مسئولیت‌پذیری زیست‌محیطی را رعایت می‌کنند، می‌تواند به کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی خدمات درمانی، بهبود سلامت عمومی جامعه و ارتقای تصویر اجتماعی سازمان‌های سلامت کمک کند (Naser et al., 2026). ازاین‌رو، ادغام معیارهای زنجیره تأمین سبز در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده، نه‌تنها ابزاری برای دستیابی به اهداف زیست‌محیطی است، بلکه نقش مهمی در توسعه پایدار و افزایش کارایی بلندمدت سیستم‌های سلامت ایفا می‌کند.

در محیط‌های رقابتی و پرنوسان امروزی، چابکی به یکی از معیارهای اساسی در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان تبدیل شده است. چابکی تأمین‌کننده به توانایی وی در پاسخ‌گویی سریع و مؤثر به تغییرات تقاضا، شرایط بازار، نیازهای مشتریان و رخدادهای پیش‌بینی‌نشده اشاره دارد (Sahoo et al., 2025). اهمیت این معیار در سیستم‌های سلامت بسیار بیشتر است؛ زیرا مراکز درمانی و بیمارستان‌ها با عدم قطعیت‌های متعددی از جمله شیوع بیماری‌ها، بحران‌های بهداشتی، حوادث غیرمترقبه و نوسانات ناگهانی در تقاضای دارو و تجهیزات پزشکی مواجه هستند. در چنین شرایطی، تأمین‌کنندگانی که از سطح بالایی از چابکی برخوردارند، قادر خواهند بود حجم سفارشات را در کوتاه‌ترین زمان ممکن تعدیل کرده، زمان تحویل را کاهش دهند و نیازهای فوری مراکز درمانی را به‌موقع تأمین کنند. این قابلیت نه‌تنها از بروز کمبود اقلام حیاتی جلوگیری می‌کند، بلکه موجب افزایش سطح خدمت‌رسانی، بهبود کیفیت مراقبت از بیماران و ارتقای تاب‌آوری زنجیره تأمین سلامت در برابر اختلالات می‌شود. ازاین‌رو، در نظر گرفتن معیارهای مرتبط با چابکی در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده، نقش مهمی در تضمین پایداری عملکرد و اثربخشی سیستم‌های سلامت ایفا می‌کند.

با ظهور انقلاب صنعتی چهارم و گسترش فناوری‌های دیجیتال نظیر اینترنت اشیا، کلان‌داده، هوش مصنوعی، رایانش ابری و بلاکچین، معیارهای مرتبط با دیجیتالی‌سازی و هوشمندسازی به یکی از ابعاد مهم در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان تبدیل شده‌اند (Hosseini Dolatabad et al., 2023). تأمین‌کنندگانی که از زیرساخت‌های دیجیتال پیشرفته و فناوری‌های هوشمند بهره می‌برند، قادرند اطلاعات را به‌صورت بلادرنگ به

اشتراک گذاشته، قابلیت ردیابی محصولات را افزایش دهند، دقت پیش‌بینی تقاضا را بهبود بخشند و فرآیندهای تأمین و توزیع را با سرعت و کارایی بیشتری مدیریت کنند. اهمیت این موضوع در سیستم‌های سلامت بسیار برجسته است؛ زیرا تأمین به‌موقع و ایمن داروها، تجهیزات پزشکی و سایر اقلام حیاتی مستلزم شفافیت اطلاعات، قابلیت ردیابی کامل و هماهنگی مؤثر میان اعضای زنجیره تأمین است. علاوه بر این، بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال می‌تواند احتمال خطاهای انسانی، کمبود موجودی، تأخیر در تحویل و ورود اقلام غیراستاندارد را کاهش داده و در عین حال کیفیت تصمیم‌گیری را ارتقا دهد. ازاین‌رو، در نظر گرفتن معیارهای مرتبط با انقلاب صنعتی چهارم در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده، نه‌تنها موجب افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین سلامت می‌شود، بلکه نقش مهمی در بهبود کیفیت خدمات درمانی، ارتقای ایمنی بیماران و افزایش تاب‌آوری سیستم‌های سلامت در برابر بحران‌ها و اختلالات ایفا می‌کند (Beltran-Salomon et al., 2025).

با توجه به اهمیت بالای موارد بیان شده، در این تحقیق به ارزیابی تأمین‌کنندگان صنعت تجهیزات پزشکی بر اساس معیارهای سبز بودن، چابکی و انقلاب صنعتی چهارم تحت عدم قطعیت پرداخته شده است. در این زمینه، ابتدا، معیارهای اصلی مسئله شناسایی شده و سپس از روش بهترین-بدترین تصادفی به منظور رتبه بندی آنها استفاده شده است. در ادامه نیز، پس از شناسایی تأمین‌کنندگان بالقوه، عملکرد آنها با استفاده از روش تاپسیس تصادفی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌صورت کلی، تحقیق حاضر اهدافی به شرح زیر را دنبال می‌کند: (الف) شناسایی معیارهای اصلی در زمینه سبز بودن، چابکی و انقلاب صنعتی چهارم در حوزه انتخاب تأمین‌کننده در سیستم‌های سلامت، (ب) محاسبه وزن معیارها و تعیین مهمترین آنها و (ج) مقابله با عدم قطعیت موجود در ماهیت مسئله تحقیق با استفاده از مدل تصمیم‌گیری تصادفی. مزیت اصلی این تحقیق در نظر گرفتن همزمان ابعاد سبز بودن، چابکی و انقلاب صنعتی چهارم و همچنین در نظر گرفتن شرایط بحرانی در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان در سیستم‌های سلامت در یک محیط تصادفی برای اولین بار می‌باشد. همچنین، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به سوالاتی به شرح زیر می‌باشد: (الف) معیارهای اصلی در زمینه سبز بودن، چابکی و انقلاب صنعتی چهارم خصوصا در شرایط بحرانی در حوزه انتخاب تأمین‌کننده در سیستم‌های سلامت کدامند؟ (ب) کدام معیارها مهمترین‌ها هستند؟ (ج) کدام تأمین‌کنندگان بهترین عملکرد را بر اساس معیارهای در نظر گرفته شده دارند و (د) چگونه می‌توان با عدم قطعیت مسئله تحقیق مقابله کرد؟

همچنین، مهم‌ترین مشارکت‌های این پژوهش به شرح زیر است:

- ارائه یک چارچوب یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کنندگان تجهیزات پزشکی در شرایط بحران.
- تلفیق همزمان ابعاد پایداری زیست‌محیطی، چابکی، تاب‌آوری و فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم در یک مدل ارزیابی.
- به‌کارگیری روش‌های بهترین-بدترین تصادفی[1] و تاپسیس تصادفی[2] به‌منظور لحاظ کردن عدم‌قطعیت در هر دو مرحله وزن‌دهی و رتبه‌بندی.

## ۲- پیشینه تحقیق

انتخاب تأمین‌کننده تصمیمی راهبردی است که به‌طور مستقیم بر کیفیت، هزینه، قابلیت اطمینان تأمین و عملکرد کلی زنجیره تأمین اثر می‌گذارد؛ ازاین‌رو توسعه رویکردهای علمی برای این تصمیم ضروری است. الرفاعی و القایسی (Al-Refaie & Alqaisi, 2026)، با تلفیق مدل‌سازی معادلات ساختاری[3] (SEM) و مدل مبتنی بر اسلک[4] (SBM)/مدل فوق‌کارایی مبتنی بر اسلک[5] (SSBM) فازی در تحلیل پوششی داده‌ها[6] (DEA)، چارچوبی برای ارزیابی ۱۵ تأمین‌کننده تجهیزات پزشکی در ۱۲ بیمارستان ارائه کردند. حیاتی و همکاران (Hayati et al., 2026)، با استفاده از روش ارزیابی نسبت افزایشی[7] (ARAS) در یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری، ۵ تأمین‌کننده دارویی بیمارستانی در اندونزی را بر اساس

[1] Stochastic Best-Worst Method (BWM)
[2] Stochastic TOPSIS
[3] Structural Equation Modeling (SEM)
[4] Slack-Based Model (SBM)
[5] Super Slack-Based Model (SSBM)
[6] Data Envelopment Analysis (DEA)
[7] Additive Ratio ASsessment (ARAS)

۷ معیار پایدار (مانند قیمت، تعهد و گواهینامه‌های زیست‌محیطی) ارزیابی کردند.

لی (Li, 2026)، با ترکیب آنتروپی و ریاضیات فازی، مدل بهبودیافته تاپسیس برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز در صنعت لوازم‌خانگی توسعه داد. دبناس و همکاران (Debnath et al., 2026)، با توسعه تحلیل نسبت ارزیابی گام‌به‌گام وزن‌ها[1] (SWARA) در محیط فازی فرماتین، مدل دقیق‌تری برای انتخاب تأمین‌کننده سبز ارائه کردند. آرون‌یارات و خومپانگ، با ترکیب روش‌های مرکز ثقل رتبه‌بندی[2] (ROC) برای وزن‌دهی معیارها و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی[3] (FAHP) برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، مدلی برای بهبود فرآیند انتخاب تأمین‌کننده تجهیزات پزشکی در شرایط عدم‌قطعیت ارائه کردند (Arunyanart & Khumpang, 2025). جانهائویی (Janhaoui, 2025)، با مدل دو مرحله‌ای شامل غربالگری نظارتی، تلفیق فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و TOPSIS فازی، خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی و برنامه‌ریزی خطی، به انتخاب و تخصیص بهینه سفارش به تأمین‌کنندگان تجهیزات پزشکی پرداخت. خوان (Juan, 2025)، با استفاده از مدل ترکیبی AHP جهت وزن‌دهی معیارهای کلیدی و TOPSIS برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، چارچوبی برای انتخاب تأمین‌کننده تجهیزات پزشکی ارائه کرد.

ساهو و دبناس (Sahoo & Debnath, 2025)، با ارائه مدلی ترکیبی، از روش FAHP جهت وزن‌دهی به هفت معیار کلیدی و روش بهینه‌سازی چندهدفه فازی بر مبنای تحلیل نسبت‌ها[4] (Fuzzy MOORA) برای رتبه‌بندی چهار تأمین‌کننده تجهیزات پزشکی استفاده کردند. میرزایی (Mirzayi, 2025)، با ترکیب روش بهترین-بدترین فازی[5] (FBWM) و حلیل پوششی داده‌های فازی[6] (FDEA)، تأمین‌کنندگان پروتز زانو را بر اساس چابکی، تاب‌آوری و اقتصاد چرخشی ارزیابی کرد و تاب‌آوری را مهم‌ترین بعد دانست. دمیر و چاترجی (Demir & Chatterjee, 2025)، با روش وزن‌دهی فازی عینی مبتنی بر تغییر درصدی لگاریتمی[7] (FLOPCOW)، وزن معیارهای پایداری در انتخاب تأمین‌کننده سبز را تعیین کردند و بر اهمیت سیاست‌های پایداری شرکتی تأکید داشتند. چن و وانگ (Chen & Wang, 2025)، با تلفیق AHP، آنتروپی و تحلیل حالات خرابی و آثار آن[8] (FMEA)، مدلی برای انتخاب تأمین‌کننده سبز در صنعت تجهیزات پزشکی پوشیدنی ارائه کردند. شائو و همکاران (Shao et al., 2025)، با تلفیق روش‌های بهترین-بدترین، تئوری مجموعه‌های راف، عملگر Dombi و نسخه اصلاح‌شده تاپسیس، مدلی برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز در شرایط عدم قطعیت ارائه کردند. ویمالاسنا و همکاران (Wimalasena et al., 2025)، با ترکیب AHP فازی و TOPSIS، مدلی برای انتخاب تأمین‌کننده سبز در صنعت ساخت‌وساز سریلانکا ارائه کردند. صفوی و همکاران (Safavi et al., 2025)، با ترکیب روش‌های AHP و TOPSIS فازی، چارچوبی برای انتخاب تأمین‌کننده با شاخص‌های چابکی و ریسک در دوران پساکووید برای شرکت‌های سپیدار درب و آرام پلاستیک سبلان ارائه کردند.

مولایی و همکاران (Molaei et al., 2025)، با تلفیق یادگیری ماشین، ویکور تصادفی و شبکه عصبی بهینه‌شده با ژنتیک، مدلی برای انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور-چابک در زنجیره تأمین چرخشی صنعت لوازم خانگی ارائه کردند. اختر (Akhtar, 2025)، با توسعه رویکرد فازی فرماطین بازه‌ای[9] (IVFF) و تلفیق آن با ارزیابی ساده‌شده اهمیت نسبی زوجی معیارها بر مبنای پیوت[10] (PIPRECIAS) و ارزیابی مجموع حاصل‌ضرب تجمعی وزن‌دار[11] (WASPAS)، به اولویت‌بندی ارائه‌دهندگان خدمات لجستیک چابک، تاب‌آور و پایدار بر پایه ۱۸ معیار عملیاتی، اقتصادی و زیست‌محیطی پرداخت. امیری (Amiri, 2025)، با استفاده از یادگیری ماشین و الگوریتم تقویت گرادیانی[12] (CatBoost)، مدل هوشمندی برای ارزیابی چابک و تاب‌آور تأمین‌کنندگان تجهیزات پزشکی مبتنی بر شاخص‌های کیفیت، زمان پاسخ و سرعت تحویل

[1] Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)
[2] Rank Order Centroid (ROC)
[3] Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)
[4] Fuzzy Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis (Fuzzy MOORA)
[5] Fuzzy Best-Worst Method (FBWM)
[6] Fuzzy Data Envelopment Analysis (FDEA)
[7] Fuzzy Logarithmic Percentage Change-Driven Objective Weighting (FLOPCOW)
[8] Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)
[9] Interval-Valued Fermatean Fuzzy (IVFF)
[10] PIvot Pairwise RElative Criteria Importance Assessment Simplified (PIPRECIAS)
[11] Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS)
[12] Categorical Boosting (CatBoost)

ارائه کرد. سونمز و توکتاش (Sönmez & Toktaş, 2024)، با به‌کارگیری روش مبتنی بر اثرات حذف معیارها[1] (MEREC) جهت تعیین وزن معیارها و روش راه‌حل سازشی ترکیبی[2] (CoCoSo) برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، چارچوبی را جهت ارزیابی شش تأمین‌کننده تجهیزات پزشکی ارائه کردند. چاکرابورتی و همکاران (Chakraborty et al., 2024)، با ارائه چارچوبی دو مرحله‌ای، ابتدا تأمین‌کنندگان دارویی را با DEA غربال کرده و سپس رتبه‌بندی نهایی را با تلفیق WASPAS، ارزیابی ترکیبی مبتنی بر فاصله[3] (CODAS) و CoCoSo در محیط فازی شهودی انجام دادند. علی و همکاران (Ali et al., 2024)، با روش سازگاری کامل[4] (FUCOM) فازی و بهینه‌سازی چندهدفه بر اساس تحلیل نسبت‌ها و فرم کامل ضربی[5] (MULTIMOORA) فازی، مدلی برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار چرخشی در صنعت نوشیدنی و بستر صنعت ۴.۰ ارائه کردند و هزینه، لجستیک هوشمند و آموزش کارکنان را مهم‌ترین عوامل دانستند. کومار و همکاران (Kumar et al., 2024)، با ترکیب FAHP و روش اندازه‌گیری فازی گزینه‌ها و رتبه‌بندی بر اساس راه‌حل سازشی[6] (FMARCOS)، چارچوبی پایدار و کارآمد برای انتخاب ارائه‌دهندگان لجستیک شخص ثالث در بستر انقلاب صنعتی چهارم ارائه کردند. وانگ و همکاران (Wang et al., 2024)، با استفاده از BWM برای وزن‌دهی و روش بهینه‌سازی چندمعیاره و راه‌حل سازشی[7] (VIKOR) برای رتبه‌بندی، چارچوبی جهت انتخاب تأمین‌کننده پایدار بر پایه صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی ارائه و فناوری و زیرساخت را حیاتی‌ترین معیار شناسایی کردند.

رستمی و همکاران (Rostami et al., 2023)، با ترکیب روش بهترین-بدترین فازی مبتنی بر برنامه‌ریزی آرمانی[8] (GP-FBWM) و FVIKOR، چارچوبی برای انتخاب تأمین‌کننده پایا در صنعت دستگاه‌های اکسیژن‌ساز پساکرونا ارائه کردند که ابعاد ناب چابک، تاب‌آوری، پایداری و دیجیتالی‌سازی را یکپارچه بررسی می‌کند. رادولسکو و همکاران (Radulescu & Radulescu, 2023)، با تلفیق FBWM (جهت وزن‌دهی معیارها) و یک مدل ریاضی چندهدفه (با اهداف بیشینه‌سازی عملکرد و کمینه‌سازی هزینه)، چارچوبی برای انتخاب تأمین‌کننده دستگاه‌های پزشکی مبتنی بر حسگر ارائه کردند. رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2024)، با تلفیق FBWM و FVIKOR، چارچوبی برای انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین ناب، چابک و تاب‌آور ارائه و کیفیت، اعتماد و همکاری را کلیدی‌ترین معیارها معرفی کردند.

## ۲-۱- شکاف تحقیق و نوآوری‌ها

اگرچه مطالعات متعددی در زمینه انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شده است، بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که بیشتر این مطالعات بر معیارهای سنتی نظیر هزینه، کیفیت، زمان تحویل و سطح خدمت متمرکز بوده‌اند و تنها تعداد محدودی از آن‌ها به معیارهای مرتبط با پایداری زیست‌محیطی، چابکی، تاب‌آوری یا فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم پرداخته‌اند. علاوه بر این، اغلب پژوهش‌های موجود هر یک تنها بخشی از این ابعاد را مورد بررسی قرار داده‌اند و کمتر مطالعه‌ای چارچوبی مبتنی بر سناریو برای ارزیابی هم‌زمان این عوامل، به‌ویژه در حوزه تجهیزات پزشکی و شرایط بحرانی، ارائه کرده است. ازاین‌رو، همچنان خلأیی در ارائه یک مدل یکپارچه که بتواند تمامی این ابعاد را به‌صورت هم‌زمان در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده لحاظ کند، مشاهده می‌شود. از سوی دیگر، بخش قابل توجهی از پژوهش‌های پیشین از نسخه‌های قطعی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرده‌اند؛ در حالی که تصمیم‌گیری در حوزه تأمین تجهیزات پزشکی، به‌ویژه در شرایط بحران، همواره با عدم‌قطعیت همراه است و قضاوت خبرگان و عملکرد تأمین‌کنندگان می‌تواند تحت شرایط مختلف تغییر کند. در نتیجه، استفاده از رویکردهای قطعی لزوماً قادر به انعکاس شرایط واقعی تصمیم‌گیری نیست و ضرورت بهره‌گیری از روش‌هایی که عدم‌قطعیت را در فرآیند وزن‌دهی معیارها و ارزیابی تأمین‌کنندگان لحاظ کنند،

[1] Method based on the Removal Effects of Criteria (MEREC)
[2] Combined Compromise Solution (CoCoSo)
[3] Combinative Distance-based Assessment (CODAS)
[4] Full Consistency Method (FUCOM)
[5] Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis plus the Full Multiplicative Form (MULTIMOORA)
[6] Fuzzy Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (FMARCOS)
[7] VIseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR)
[8] Goal Programming-based Fuzzy Best–Worst Method (GP-FBWM)

بیش از پیش احساس می‌شود. بر این اساس، نوآوری پژوهش حاضر در ارائه یک روش ریاضی جدید نیست، بلکه در توسعه یک چارچوب تصمیم‌گیری یکپارچه برای انتخاب تأمین‌کنندگان تجهیزات پزشکی در شرایط بحران نهفته است. در این پژوهش، معیارهای مرتبط با پایداری زیست‌محیطی، چابکی، تاب‌آوری و فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم در قالب یک مدل واحد تجمیع شده‌اند و به‌منظور لحاظ کردن عدم‌قطعیت موجود در تصمیم‌گیری، از نسخه تصادفی روش‌های بهترین-بدترین و تاپسیس در دو مرحله تعیین اوزان معیارها و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده شده است. این رویکرد امکان ارزیابی تأمین‌کنندگان را در شرایطی نزدیک‌تر به محیط واقعی تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. علاوه بر این، ارزش افزوده پژوهش حاضر صرفاً در ترکیب چند مفهوم یا روش شناخته‌شده نیست، بلکه در یکپارچه‌سازی نظام‌مند این مفاهیم برای حل یک مسئله واقعی در حوزه تجهیزات پزشکی است. مدل پیشنهادی با تمرکز بر انتخاب تأمین‌کنندگان بخش دیالیز در شرایط بحران، چارچوبی کاربردی برای مدیران مراکز درمانی ارائه می‌دهد تا علاوه بر معیارهای اقتصادی و کیفیت، ابعاد مهمی همچون تاب‌آوری، چابکی، پایداری زیست‌محیطی و قابلیت‌های فناورانه را نیز به‌صورت هم‌زمان در تصمیم‌گیری لحاظ کنند. از این رو، سهم اصلی پژوهش را می‌توان در توسعه یک چارچوب تصمیم‌گیری جامع و کاربردی دانست که شکاف موجود در مطالعات پیشین را تا حد قابل توجهی پوشش می‌دهد.

## ۳- مطالعه موردی و معیارها

### ۳-۱- معرفی مطالعه موردی و نحوه گردآوری داده‌ها

به‌منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی، یک مطالعه موردی در حوزه تجهیزات پزشکی مرتبط با بخش‌های دیالیز بیمارستان‌های شهرستان قائمشهر (استان مازندران) انجام شد. مطالعه حاضر بر فرآیند ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان تجهیزات پزشکی مورد استفاده در بخش‌های دیالیز بیمارستان ولیعصر قائمشهر و بیمارستان رازی قائمشهر متمرکز است. به دلیل رعایت محرمانگی اطلاعات سازمانی، از ذکر نام شرکت‌های تأمین‌کننده تجهیزات پزشکی خودداری شده و تأمین‌کنندگان در ادامه مقاله به‌صورت کدگذاری‌شده معرفی شده‌اند.

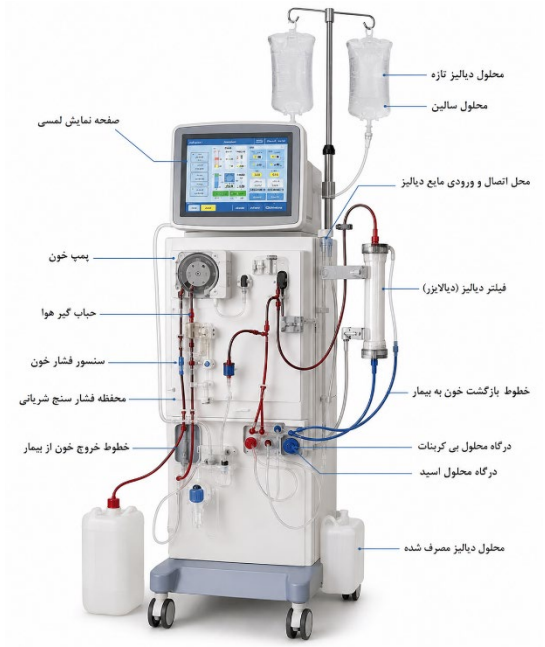
در این تحقیق، مسئله انتخاب تأمین‌کننده دستگاه‌های دیالیز، که یکی از تجهیزات مهم در مراکز درمانی محسوب می‌شود، مورد بررسی قرار گرفته است. دستگاه دیالیز یکی از تجهیزات حیاتی و راهبردی در سیستم‌های سلامت محسوب می‌شود که نقش مستقیمی در حفظ جان بیماران مبتلا به نارسایی مزمن کلیه ایفا می‌کند. هرگونه اختلال در تأمین، کیفیت نامناسب تجهیزات یا عدم دسترسی به خدمات پشتیبانی و نگهداری می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری برای بیماران و مراکز درمانی به همراه داشته باشد. ازاین‌رو، انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب برای این تجهیزات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و نمی‌توان آن را صرفاً بر اساس معیارهای اقتصادی نظیر هزینه خرید انجام داد. در واقع، مراکز درمانی هنگام انتخاب تأمین‌کنندگان دستگاه‌های دیالیز باید مجموعه‌ای از معیارهای فنی، خدماتی، زیست‌محیطی و فناورانه را به‌صورت همزمان مدنظر قرار دهند. علاوه بر این، بازار تجهیزات پزشکی به‌ویژه دستگاه‌های دیالیز با عدم‌قطعیت‌های متعددی از جمله نوسانات نرخ ارز، محدودیت‌های وارداتی، تغییرات تقاضا، اختلالات زنجیره تأمین و تحولات فناوری مواجه است. در چنین شرایطی، توجه به قابلیت چابکی تأمین‌کنندگان در پاسخ‌گویی سریع به نیازهای مراکز درمانی، عملکرد زیست‌محیطی آن‌ها در راستای اهداف زنجیره تأمین سبز و همچنین میزان بهره‌گیری از فناوری‌های مرتبط با انقلاب صنعتی چهارم نظیر پایش هوشمند، تبادل دیجیتال اطلاعات، قابلیت ردیابی تجهیزات و خدمات پس از فروش مبتنی بر فناوری، اهمیت فزاینده‌ای پیدا می‌کند. ازاین‌رو، انتخاب تأمین‌کنندگان دستگاه دیالیز بستر مناسبی برای ارزیابی مدل تصمیم‌گیری تصادفی پیشنهادی فراهم می‌سازد؛ زیرا این مسئله علاوه بر برخورداری از اهمیت عملی بالا، به‌طور همزمان تحت تأثیر معیارهای چابکی، پایداری زیست‌محیطی، دیجیتالی‌سازی و عدم‌قطعیت قرار دارد. از این رو، تحقیق حاضر این دستگاه را به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته است. شکل ۱ اجزای تشکیل دهنده این دستگاه را نشان می‌دهد.

در این پژوهش، داده‌های موردنیاز با مشارکت پنج نفر از خبرگان حوزه‌های مرتبط گردآوری شد. ترکیب خبرگان به‌گونه‌ای انتخاب شد که ابعاد علمی، مدیریتی، فنی و اجرایی مسئله را به‌صورت هم‌زمان پوشش دهد. اعضای پانل خبرگان شامل: (۱) یک عضو هیئت علمی با مدرک دکتری مهندسی پزشکی و ۱۰ سال سابقه فعالیت، (۲) یک عضو هیئت علمی با مدرک دکتری مهندسی صنایع و ۸ سال سابقه فعالیت، (۳) یک کارشناس لجستیک تجهیزات پزشکی با مدرک کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی و ۱۱ سال سابقه کاری، (۴) مسئول نگهداری و تعمیرات دستگاه‌های دیالیز بیمارستان با ۱۰ سال سابقه فعالیت، و (۵) یک پرستار بخش دیالیز با ۱۵ سال سابقه کاری بودند.

فرآیند گردآوری داده‌ها در دو مرحله انجام شد. در مرحله نخست، معیارهای بالقوه ارزیابی تأمین‌کنندگان از طریق بررسی جامع ادبیات پژوهش استخراج شدند. سپس، فهرست معیارهای استخراج‌شده در اختیار خبرگان قرار گرفت و پس از بررسی، بحث و اعمال نظر تخصصی، معیارهای نهایی متناسب با شرایط مطالعه موردی انتخاب شدند. جدول ۱ مشخصات خبرگان را نشان می‌دهد.

در مرحله دوم، پرسشنامه‌های پژوهش بین خبرگان توزیع شد. این پرسشنامه‌ها شامل دو بخش بودند: بخش نخست، پرسشنامه مقایسات زوجی معیارها برای تعیین اوزان معیارها با استفاده از روش BWM تصادفی و بخش دوم، ماتریس تصمیم جهت ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان بر اساس معیارهای منتخب با استفاده از روش تاپسیس تصادفی. پس از تکمیل پرسشنامه‌ها، داده‌های دریافتی تجمیع و پردازش شدند و ماتریس نهایی مقایسات زوجی و ماتریس تصمیم تشکیل شد. در نهایت، این ماتریس‌ها به‌عنوان ورودی مدل‌های پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفتند و فرآیند محاسبه اوزان معیارها و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان انجام شد.

به‌منظور افزایش دقت پاسخ‌ها، پیش از توزیع پرسشنامه‌ها، جلسه‌ای توجیهی یک‌ساعته برای خبرگان برگزار شد که در آن مفاهیم معیارها، تعریف سناریوها و نحوه‌ی تکمیل پرسشنامه‌ها به‌طور کامل تشریح گردید. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، با الهام از ادبیات تحقیق، به‌منظور دستیابی به یک دیدگاه گروهی، از روش میانگین حسابی برای تجمیع نظرات خبرگان استفاده شد. این رویکرد در پژوهش‌های مشابه تصمیم‌گیری چندمعیاره با گروه خبرگان، روشی متداول و پذیرفته‌شده است.




**شکل ۱.** دستگاه دیالیز و اجزای سازنده آن.

**Figure 1.** The dialysis machine and its components.

**جدول ۱.** مشخصات خبرگان

**Table 1.** Profile of experts

| کد خبره | تخصص | مدرک تحصیلی | سابقه کاری (سال) |
|---|---|---|---|
| E1 | عضو هیئت علمی مهندسی پزشکی | دکتری | ۱۰ |
| E2 | عضو هیئت علمی مهندسی صنایع | دکتری | ۸ |
| E3 | کارشناس لجستیک تجهیزات پزشکی | کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی | ۱۱ |
| E4 | مسئول نگهداری و تعمیرات دستگاه‌های دیالیز | کارشناسی | ۱۰ |
| E5 | پرستار بخش دیالیز | کارشناسی | ۱۵ |

لازم به ذکر است که این پژوهش در زمره مطالعات تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر قضاوت خبرگان قرار می‌گیرد. ازاین‌رو، داده‌های مورد استفاده برای مقایسات زوجی معیارها و همچنین ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان، از طریق نظرات خبرگان و بر اساس دانش تخصصی، تجربه عملی و شناخت آنان از وضعیت تأمین‌کنندگان گردآوری شده است. معیارهای ارزیابی نیز پس از استخراج از ادبیات پژوهش و تأیید خبرگان انتخاب شدند. با توجه به محرمانه بودن اطلاعات عملیاتی و قراردادی شرکت‌های تأمین‌کننده تجهیزات پزشکی، امکان استفاده از داده‌هایی نظیر قیمت قراردادها، نرخ خرابی تجهیزات، سوابق عملکرد، اطلاعات مالی و سایر اطلاعات اختصاصی وجود نداشت. بنابراین، فرآیند ارزیابی بر مبنای قضاوت‌های تخصصی خبرگان انجام شد که این رویکرد در مطالعات تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌ویژه در شرایط محدودیت دسترسی به داده‌های واقعی، روشی متداول و پذیرفته‌شده محسوب می‌شود.

## ۳-۲- فرآیند ساخت سناریوها

با توجه به ماهیت غیرقابل‌پیش‌بینی محیط‌های درمانی و تأثیرپذیری شدید زنجیره‌ی تأمین تجهیزات پزشکی از عوامل محیطی، در این پژوهش از رویکرد سناریومحور برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت استفاده شده است. فرآیند ساخت سناریوها در چهار گام زیر انجام شد:

- **گام اول: شناسایی متغیرهای کلیدی محیطی مؤثر بر تأمین تجهیزات پزشکی**

بر اساس بررسی ادبیات پژوهش و برگزاری جلسات تخصصی با خبرگان، متغیرهای کلیدی زیر به‌عنوان عوامل اصلی ایجاد عدم‌قطعیت در تأمین دستگاه‌های دیالیز در شرایط بحران شناسایی شدند:

۱) نرخ ارز و تحریم‌های اقتصادی: تأثیر مستقیم بر هزینه‌ی تمام‌شده و در دسترس بودن تجهیزات وارداتی
۲) محدودیت‌های وارداتی و تعرفه‌های گمرکی: تأثیر بر زمان تحویل و تنوع تأمین‌کنندگان قابل‌دسترس
۳) نوسانات تقاضا در مراکز درمانی: به‌ویژه در شرایط همه‌گیری یا بحران‌های بهداشتی
۴) اختلالات حمل‌ونقل و لجستیک: تأثیر بر زمان تحویل و قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان
۵) ثبات سیاسی و امنیت اقتصادی کشور: تأثیر بر استواری و تداوم فعالیت تأمین‌کنندگان

- **گام دوم: تعریف سه سناریوی اصلی (بدبینانه، محتمل، خوش‌بینانه)**

بر اساس رویکرد رایج در ادبیات تصمیم‌گیری سناریومحور و با اقتباس از مطالعات مشابه در حوزه‌ی مدیریت بحران، سه سناریو به‌شرح زیر تعریف گردیدند:

- سناریوی بدبینانه: شرایطی که در آن هم‌زمان عواملی مانند تشدید تحریم‌ها، کاهش شدید ارزش پول ملی، اعمال محدودیت‌های شدید وارداتی، افزایش ناگهانی تقاضای تجهیزات پزشکی (به‌دلیل همه‌گیری یا بحران) و اختلال گسترده در شبکه‌های حمل‌ونقل رخ می‌دهد. این سناریو نشان‌دهنده‌ی نامطلوب‌ترین حالت قابل‌انتظار برای زنجیره‌ی تأمین است.
- سناریوی محتمل: شرایطی که مبتنی بر وضعیت معمول و تجربه‌ی تاریخی خبرگان در سال‌های اخیر است. در این سناریو، نوسانات اقتصادی در سطح متوسط، محدودیت‌های وارداتی با شدت قابل‌تحمل، تغییرات تقاضا در محدوده‌ی طبیعی و اختلالات لجستیکی پراکنده و کنترل‌شده در نظر گرفته شده است.
- سناریوی خوش‌بینانه: شرایطی که در آن ثبات اقتصادی نسبی، دسترسی آسان به منابع ارزی، کاهش محدودیت‌های وارداتی، کاهش غیرمنتظره‌ی تقاضا یا مدیریت بهینه‌ی آن، و عملکرد روان شبکه‌ی لجستیک رخ می‌دهد. این سناریو نشان‌دهنده‌ی بهترین وضعیت منطقی برای زنجیره‌ی تأمین است.

لازم به ذکر است که با الهام از ادبیات تحقیق و با تایید نظر کارشناسان، احتمال سناریوها به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است.

## ۳-۳- استخراج معیارها

همچنین، **جدول ۲** معیارهای در نظر گرفته شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که معیارهای

بالقوه بر ابتدا از ادبیات تحقیق (مقالاتی مانند (Alamroshan et al., 2022؛ Fallahpour et al., 2017؛ Goker et al., 2019؛ Matawale et al., 2016؛ Nayeri et al., 2023a, 2023b, 2025؛ Lotfi et al., 2024؛ Noruzi et al., 2023؛ Radulescu & Radulescu, 2023؛ Sahu et al., 2023؛ Sharma & Joshi, 2023)) استخراج شده و سپس معیارهای نهایی توسط خبرگان انتخاب شده‌اند.

در این پژوهش، فرآیند انتخاب معیارها در دو مرحله انجام شد. ابتدا با مرور مطالعات پیشین، مجموعه‌ای از معیارهای بالقوه مرتبط با ارزیابی تأمین‌کنندگان تجهیزات پزشکی در شرایط بحران استخراج شد. سپس این معیارها در اختیار خبرگان پژوهش قرار گرفت تا میزان ارتباط، اهمیت و قابلیت کاربرد هر یک در مطالعه حاضر بررسی شود. در نهایت، با جمع‌بندی نظرات خبرگان، معیارهایی که بیشترین تناسب را با اهداف پژوهش و شرایط مطالعه موردی داشتند، به‌عنوان معیارهای نهایی انتخاب شدند. اگرچه برخی معیارهای انتخاب‌شده از نظر مفهومی دارای ارتباط هستند، اما هر یک جنبه متفاوتی از عملکرد تأمین‌کنندگان را ارزیابی می‌کنند. برای مثال، معیار استواری بر توانایی تأمین‌کننده در حفظ عملکرد و تداوم تأمین در شرایط بحران تمرکز دارد، در حالی که معیار تأمین‌کنندگان پشتیبان ظرفیت جایگزینی منابع تأمین و انعطاف‌پذیری شبکه را ارزیابی می‌کند. همچنین معیارهای مرتبط با چابکی بیشتر بر سرعت واکنش، انعطاف‌پذیری عملیاتی و توانایی پاسخگویی به تغییرات محیطی تأکید دارند. بنابراین، هر یک از این معیارها بیانگر بعد متفاوتی از عملکرد تأمین‌کنندگان بوده و هم‌پوشانی مفهومی آن‌ها منجر به ارزیابی تکراری یک قابلیت واحد نمی‌شود.

**جدول ۲.** معیارهای مسئله تحقیق

**Table 2.** Research problem criteria

| معیار | تعریف | نوع |
|---|---|---|
| هزینه | هزینه ارائه شده توسط تأمین‌کننده برای هزینه تأمین تجهیزات پزشکی | منفی (هزینه) |
| کیفیت | کیفیت اقلام ارائه شده توسط تأمین‌کننده | مثبت (سود) |
| سطح سرویس | توانایی تأمین‌کننده در پاسخ‌گویی به تقاضای مشتری | مثبت (سود) |
| انعطاف‌پذیری در حجم تولید | انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده در تغییر حجم سفارشات | مثبت (سود) |
| انعطاف‌پذیری در زمان تحویل | انعطاف‌پذیری تأمین‌کننده در تغییر زمان تحویل سفارشات | مثبت (سود) |
| انعطاف پذیری در تولید محصول | توانایی تأمین‌کننده در ارائه انواع مختلف محصولات | مثبت (سود) |
| انبارش سبز | قابلیت تأمین‌کننده در پیاده‌سازی رویه‌های انبارداری سبز | مثبت (سود) |
| کنترل آلودگی | توانایی تأمین‌کننده در نظارت و کنترل مصرف مواد خطرناک در فرآیند تولید محصولات مورد نیاز | مثبت (سود) |
| مواد اولیه سازگار با محیط زیست | توانایی تأمین‌کننده در به‌کارگیری مواد اولیه کم‌ضرر برای محیط زیست | مثبت (سود) |
| انتشار گاز گلخانه‌ای | سطح تأمین کننده از نظر انتشار گازهای گلخانه ای | منفی (هزینه) |
| فناوری اطلاعات | سطح بهره‌مندی تأمین‌کننده از فناوری اطلاعات | مثبت (سود) |
| مدیریت دیجیتال ارتباط با مشتریان | میزان توانایی تأمین‌کننده در برقراری، مدیریت و توسعه ارتباطات با مشتریان از طریق فناوری‌ها و بسترهای دیجیتال به‌منظور تسهیل تبادل اطلاعات، افزایش سرعت پاسخ‌گویی، بهبود کیفیت خدمات و ارتقای رضایت مشتریان | مثبت (سود) |
| امنیت سایبری | میزان توانایی تأمین‌کننده در حفاظت از داده‌ها، سامانه‌ها، شبکه‌ها و زیرساخت‌های دیجیتال در برابر تهدیدات سایبری | مثبت (سود) |
| استفاده از فناوری های نسل چهارم | سطح تأمین‌کننده در استفاده از تکنولوژی‌های نوظهور | مثبت (سود) |
| استواری | قابلیت تأمین‌کننده در حفظ شرایط خود (ارائه مخصولات) در زمان بحران‌هایی مانند جنگ و تحریم | مثبت (سود) |
| تأمین‌کنندگان پشتیبان | قابلیت تأمین‌کننده به منظور تهیه اقلام مورد نیاز خود از تأمین‌کنندگان دیگر در صورت وقوع بحران‌هایی مانند تحریم و جنگ | مثبت (سود) |

لازم به ذکر است که معیارهای انتخاب‌شده در این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان از منظر مدیریت زنجیره تأمین، تاب‌آوری، چابکی و کیفیت خدمات انتخاب شده‌اند و لزوماً تمامی شاخص‌های تخصصی ارزیابی تجهیزات پزشکی را در بر نمی‌گیرند.

## ۴- روش بهترین-بدترین تصادفی

در این بخش، رویکرد به‌کارگرفته‌شده برای تعیین اوزان معیارها و زیرمعیارهای پژوهش تشریح می‌شود. با توجه به اینکه عدم‌قطعیت یکی از ویژگی‌های ذاتی تصمیم‌گیری در سیستم‌های سلامت به شمار می‌رود و عوامل متعددی نظیر تغییرات تقاضا، شرایط بحرانی، شیوع بیماری‌ها و محدودیت‌های تأمین می‌توانند بر تصمیمات مدیریتی اثرگذار باشند، مسئله مورد مطالعه در این پژوهش در بستری تصادفی مورد بررسی قرار گرفته است. به همین منظور، برای محاسبه اهمیت نسبی معیارها از یک چارچوب نوین تصمیم‌گیری استفاده شده است. در این راستا، نیری و همکاران (Nayeri et al., 2023b)، نسخه توسعه‌یافته‌ای از روش بهترین-بدترین را با عنوان روش بهترین-بدترین تصادفی معرفی کرده‌اند. این روش در مقایسه با بسیاری از رویکردهای متداول تصمیم‌گیری چندمعیاره، مزایایی از قبیل افزایش سازگاری و اعتبار نتایج، کاهش حجم محاسبات، امکان مدل‌سازی عدم‌قطعیت در محیط‌های تصادفی و قابلیت ادغام با سایر روش‌های تحلیلی را فراهم می‌آورد.

دلیل اصلی استفاده از رویکرد تصادفی در این پژوهش آن است که بسیاری از روش‌های موجود برای مواجهه با عدم‌قطعیت، انعطاف لازم را برای لحاظ کردن سناریوهای مختلف و اختصاص ارزیابی‌های متناسب با هر سناریو در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار نمی‌دهند. در مقابل، روش بهترین-بدترین تصادفی امکان قضاوت در شرایط گوناگون را فراهم کرده و به خبرگان اجازه می‌دهد تا بر اساس شرایط محتمل آینده، اهمیت معیارها را با استفاده از مقیاس‌های دلخواه تعیین کنند. برای روشن‌تر شدن این موضوع می‌توان به حوزه سیستم‌های سلامت اشاره کرد.

در روش بهترین-بدترین تصادفی، ابتدا با استفاده از قضاوت خبرگان، اوزان معیارها برای هر یک از سناریوهای بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه محاسبه می‌شود. سپس با در نظر گرفتن احتمال وقوع هر سناریو، امید ریاضی اوزان محاسبه شده و به‌عنوان وزن نهایی معیارها گزارش می‌شود. بنابراین، اوزان ارائه‌شده در این پژوهش همان خروجی نهایی روش بهترین-بدترین تصادفی بوده و نتیجه اجرای فرآیند استاندارد این روش مطابق با مطالعات پیشین است. مراحل این روش در تحقیق نیری و همکاران (Nayeri et al., 2023b) بیان گردیده و علاقه‌مندان می‌توانند جهت مطالعه بیشتر به پژوهش مذکرو رجوع کنند.

در این تحقیق، به منظور جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای مقایسات زوجی روش بهترین-بدترین تصادفی، از طیف اعداد بین ۱ الی ۹ و پرسشنامه به شرح **جدول ۳** و **جدول ۴** استفاده شده است. روند پرسش هم به‌صورت زیر بوده است.

- بخش اول: شناسایی بهترین (مهم‌ترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) معیار از دیدگاه خبرگان
- بخش دوم: مقایسه‌ی معیار بهترین با سایر معیارها با استفاده از مقیاس زبانی ۱-۹ (که ۱ به معنای «اهمیت کاملاً برابر» و ۹ به معنای «اهمیت بسیار بیشتر» است)
- بخش سوم: مقایسه‌ی سایر معیارها با معیار بدترین با استفاده از همان مقیاس زبانی

برای لحاظ کردن عدم‌قطعیت در شرایط بحران، از خبرگان خواسته شد تا به‌جای ارائه‌ی یک مقدار قطعی، سه مقدار متناظر با سناریوهای بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه را برای هر مقایسه ارائه دهند. به عنوان مثال، یک سؤال از پرسشنامه به این صورت طراحی شد:

*سؤال نمونه: "معیار «کیفیت» را با معیار «هزینه» مقایسه کنید. در شرایط بدبینانه (تحریم شدید و اختلال در تأمین)، در شرایط محتمل (شرایط عادی بازار)، و در شرایط خوش‌بینانه (ثبات اقتصادی و دسترسی آسان به تجهیزات)، اهمیت معیار کیفیت نسبت به هزینه به ترتیب چه مقدار است؟"*

## ۵- روش تاپسیس تصادفی

در این بخش، رویکرد مورد استفاده به منظور رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان تشریح می‌شود. در این زمینه، یکی از

روش‌های به تازگی توسعه داده شده به نام تاپسیس تصادفی با توجه به مزایای آن انتخاب شده است. این روش دارای مراحلی به شرح زیر می‌باشد. در ابتدا، باید سناریوهای مسئله تعیین شده و سپس ماتریس تصمیم تصادفی تشکیل شود، به شرح **جدول ۳**، که در آن I گزینه با شاخص i، تعداد J معیار با شاخص j و تعداد S سناریو با شاخص s وجود دارد. در این ماتریس، مقدار $x_{(ijs)}$ نشان‌دهنده امتیاز گزینه i بر اساس معیار j تحت سناریوی s است. لازم به ذکر است که **جدول ۴** همان پرسشنامه مربوط به روش تاپسیس تصادفی می‌باشد. این پرسشنامه برای سنجش عملکرد هر یک از ۶ تأمین‌کننده‌ی بالقوه نسبت به ۱۶ معیار شناسایی‌شده طراحی گردید. ساختار این پرسشنامه بر اساس ماتریس تصمیم تصادفی (**جدول ۵**) و با اقتباس از پژوهش نوروزی و همکاران (Noruzi et al., 2023) تدوین شد.

در واقع، از خبرگان خواسته شد تا عملکرد هر تأمین‌کننده را برای هر معیار و در هر یک از سه سناریو، بر اساس مقیاس ۱-۹ امتیازدهی کنند:

- امتیاز ۱: عملکرد بسیار ضعیف
- امتیاز ۳: عملکرد ضعیف
- امتیاز ۵: عملکرد متوسط
- امتیاز ۷: عملکرد خوب
- امتیاز ۹: عملکرد بسیار عالی
- امتیازات زوج (۲، ۴، ۶، ۸): برای بیان وضعیت‌های میانی

**جدول ۳.** نمونه‌ای از جدول پرسشنامه برای روش بهترین-بدترین تصادفی (بردار مقایسه بهترین معیار با سایر معیارها)

**Table 3.** A sample of questionnaire for the stochastic best-worst method (best-to-other vector)

| | معیار ۱ | | | معیار ۲ | | | ... | معیار ۱۶ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | سناریو ۱ | سناریو ۲ | سناریو ۳ | سناریو ۱ | سناریو ۲ | سناریو ۳ | ... | سناریو ۱ | سناریو ۲ | سناریو ۳ |
| بهترین معیار | ۱ الی ۹ | ۱ الی ۹ | ۱ الی ۹ | ۱ الی ۹ | ۱ الی ۹ | ۱ الی ۹ | ... | ۱ الی ۹ | ۱ الی ۹ | ۱ الی ۹ |

**جدول ۴.** نمونه‌ای از جدول پرسشنامه برای روش بهترین-بدترین تصادفی (بردار مقایسه بدترین معیار با سایر معیارها)

**Table 4.** A sample of questionnaire for the stochastic best-worst method (other-to-worst vector)

| معیار | سناریو | بدترین معیار |
|---|---|---|
| معیار ۱ | سناریو ۱ | ۱ الی ۹ |
| | سناریو ۲ | ۱ الی ۹ |
| | سناریو ۳ | ۱ الی ۹ |
| معیار ۲ | سناریو ۱ | ۱ الی ۹ |
| | سناریو ۲ | ۱ الی ۹ |
| | سناریو ۳ | ۱ الی ۹ |
| ... | .. | ... |
| معیار ۱۶ | سناریو ۱ | ۱ الی ۹ |
| | سناریو ۲ | ۱ الی ۹ |
| | سناریو ۳ | ۱ الی ۹ |

**جدول ۵.** ماتریس تصمیم تصادفی

**Table 5.** Random decision matrix

| | $c_1$ | | | $c_2$ | | | ... | $c_j$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $s_1$ | ... | $s_s$ | $s_1$ | ... | $s_s$ | | $s_1$ | ... | $s_s$ |
| $a_1$ | $x_{111}$ | ... | $x_{11s}$ | $x_{121}$ | ... | $x_{12s}$ | ... | $x_{1i1}$ | ... | $x_{1js}$ |
| $a_2$ | $x_{211}$ | ... | $x_{21s}$ | $x_{221}$ | ... | $x_{22s}$ | ... | $x_{2i1}$ | ... | $x_{2js}$ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| $a_i$ | $x_{i11}$ | ... | $x_{i1s}$ | $x_{i21}$ | ... | $x_{i2s}$ | ... | $x_{ij1}$ | ... | $x_{ijs}$ |

به عنوان مثال، یک سؤال از این پرسشنامه به این صورت طراحی شد:

سؤال نمونه: "عملکرد تأمین‌کننده‌ی A1 را از نظر معیار «استواری» (قابلیت حفظ شرایط در زمان بحران‌هایی مانند جنگ و تحریم) ارزیابی کنید. در سناریوی بدبینانه (قطع کامل روابط تجاری)، در سناریوی محتمل (نوسانات اقتصادی)، و در سناریوی خوش‌بینانه (ثبات نسبی)، عملکرد این تأمین‌کننده را با چه امتیازی ارزیابی می‌کنید؟"

در این پژوهش، عملکرد هر یک از تأمین‌کنندگان نسبت به معیارهای ارزیابی توسط خبرگان و بر اساس مقیاس امتیازدهی پژوهش تعیین شد. همچنین، متناسب با ماهیت هر معیار، جهت آن به‌عنوان معیار سود یا معیار هزینه مشخص گردید؛ به‌گونه‌ای که برای معیارهای سود، مقادیر بزرگ‌تر مطلوب‌تر و برای معیارهای هزینه، مقادیر کوچک‌تر ترجیح داده شدند. سپس، با در نظر گرفتن سناریوهای بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه، ماتریس‌های تصمیم تشکیل و مطابق مراحل روش تاپسیس تصادفی امتیاز نهایی هر تأمین‌کننده محاسبه شد. مراحل این روش در تحقیق نوروزی و همکاران (Noruzi et al., 2023) بیان گردیده و علاقه‌مندان می‌توانند جهت مطالعه بیشتر به پژوهش مذکور رجوع کنند.

## ۶- نتایج محاسباتی

### ۶-۱- وزن معیارها

این بخش به محاسبه وزن معیارها تخصیص داده شده است. در این پژوهش، عدم‌قطعیت موجود در قضاوت خبرگان و شرایط تصمیم‌گیری از طریق رویکرد سناریومحور مدل‌سازی شده است. بر این اساس، سه سناریوی بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه به‌ترتیب با احتمال وقوع ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۲۵ در نظر گرفته شدند. تعیین این احتمال‌ها بر مبنای نظر خبرگان و با این فرض انجام شد که در شرایط واقعی، وقوع وضعیت عادی نسبت به شرایط کاملاً مطلوب یا کاملاً نامطلوب از احتمال بیشتری برخوردار است. همچنین، با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های تاریخی کافی، استفاده از احتمالات مبتنی بر قضاوت خبرگان به‌عنوان رویکردی متداول در مدل‌سازی سناریومحور انتخاب شد.

سناریوی بدبینانه نشان‌دهنده شرایطی است که عملکرد تأمین‌کننده یا شرایط محیطی در نامطلوب‌ترین حالت قابل انتظار قرار دارد، سناریوی محتمل بیانگر وضعیت معمول و محتمل بر اساس تجربه خبرگان است و سناریوی خوش‌بینانه شرایط مطلوب و بهترین وضعیت منطقی را نمایش می‌دهد. خبرگان برای هر مقایسه زوجی و همچنین ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان، مقادیر متناظر با این سه سناریو را ارائه کردند و این مقادیر به‌عنوان ورودی روش‌های تصادفی بهترین-بدترین و تاپسیس مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب، به‌جای اتکا به یک مقدار قطعی، تغییرپذیری قضاوت‌های خبرگان در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ شده و نتایج حاصل از مدل از قابلیت اطمینان و واقع‌گرایی بیشتری برخوردار شده است.

سپس، مقایسات زوجی توسط خبرگان انجام شده. در این زمینه، به‌منظور تعیین اهمیت نسبی معیارهای ارزیابی، هر یک از پنج خبره منتخب به‌صورت مستقل پرسشنامه مقایسات زوجی روش بهترین-بدترین تصادفی را تکمیل کردند. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، به‌منظور دستیابی به یک دیدگاه گروهی، مقادیر حاصل از قضاوت خبرگان با استفاده از میانگین حسابی تجمیع شد و یک ماتریس واحد برای اجرای روش تشکیل گردید. سپس، این ماتریس به‌عنوان ورودی مدل بهترین-بدترین تصادفی مورد استفاده قرار گرفت و اوزان نهایی معیارهای ارزیابی استخراج شد.

وزن معیارها به شرح **جدول ۶** می‌باشد. نتایج وزن‌دهی معیارها در مدل تصمیم‌گیری تصادفی نشان می‌دهد که در شرایط بحران و با رویکرد تلفیقی سبز و چابک در زنجیره‌تأمین سیستم‌های سلامت، معیار کیفیت با وزن ۰/۰۶۴۷۵ بالاترین اولویت را دارد که بیانگر غیرقابل‌قبول بودن هرگونه کاهش کیفیت در تأمین تجهیزات و ملزومات پزشکی است. در رتبه‌های بعدی، سطح سرویس (۰/۰۶۴۴۵) و استواری (۰/۰۶۴۱۵) قرار دارند که نشان‌دهنده اهمیت حیاتی قابلیت‌اطمینان و مقاوم‌سازی زنجیره‌تأمین در مواجهه با اختلالات بحرانی است. معیارهای انعطاف‌پذیری در تولید محصول (۰/۰۶۳۸۵)، هزینه (۰/۰۶۳۵۵) و امنیت سایبری (۰/۰۶۳۲۵) در رتبه‌های بعدی، بیانگر آن است که در کنار کنترل

هزینه‌ها، توانایی تطابق با نیازهای متغیر بیمارستان‌ها و همچنین حفاظت از داده‌های حساس سلامت در فضای دیجیتال، از اولویت‌های کلیدی مدیریت تأمین محسوب می‌شوند. دو معیار انعطاف‌پذیری در زمان تحویل (۰/۰۶۲۹۵) و کنترل آلودگی (۰/۰۶۲۶۵) تکمیل‌کننده هشت معیار برتر هستند که نشان از تعادل بین چابکی عملیاتی و مسئولیت‌های زیست‌محیطی در شرایط بحران دارد. در میان معیارهای گروه دوم، انعطاف‌پذیری در حجم تولید (۰/۰۶۲۳۵) و انبارش سبز (۰/۰۶۲۰۵) نزدیک‌ترین وزن را به هشت معیار برتر دارند که حاکی از اهمیت نسبی مدیریت نوسانات تقاضا و ذخیره‌سازی پایدار است. همچنین معیارهای سبز دیگر نظیر مواد اولیه سازگار با محیط زیست (۰/۰۶۱۴۵) و انتشار گاز گلخانه‌ای (۰/۰۶۰۸۵) در رتبه‌های پایین‌تری قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده اولویت‌پایین‌تر ملاحظات زیست‌محیطی در مقایسه با معیارهای عملکردی و چابکی در شرایط بحران است. جالب‌توجه اینکه معیارهای فناوری اطلاعات (۰/۰۶۰۵۵) و مدیریت دیجیتال ارتباط با مشتریان (۰/۰۶۰۲۵) در اولویت‌های آخر قرار گرفته‌اند که می‌تواند به‌دلیل تمرکز بر بقا و پاسخ‌گویی سریع در بحران باشد. در مجموع، نتایج این وزن‌دهی نشان می‌دهد که در شرایط بحرانی، رویکرد تصمیم‌گیری باید بر کیفیت، قابلیت‌اطمینان و چابکی متمرکز باشد و معیارهای زیست‌محیطی و فناورانه اگرچه موردتوجه هستند، اما اولویت‌های ثانویه محسوب می‌شوند. این یافته می‌تواند راهنمای عملی برای مدیران تأمین‌کننده تجهیزات پزشکی در طراحی استراتژی‌های تخصیص سفارش و ارزیابی تأمین‌کنندگان در دوران بحران باشد.

نتایج نشان داد که معیار کیفیت بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. با این حال، اختلاف اوزان میان معیارها نسبتاً محدود است که نشان می‌دهد از دیدگاه خبرگان، ارزیابی تأمین‌کنندگان تجهیزات پزشکی در شرایط بحران نیازمند توجه هم‌زمان به ابعاد مختلف اقتصادی، عملیاتی، زیست‌محیطی، چابکی، تاب‌آوری و فناوری است و هیچ‌یک از این ابعاد به‌تنهایی نقش تعیین‌کننده‌ای در فرآیند تصمیم‌گیری ندارد. نزدیکی اوزان معیارها را می‌توان ناشی از ماهیت چندبعدی مسئله انتخاب تأمین‌کننده تجهیزات پزشکی دانست. در چنین مسائلی، تمرکز صرف بر یک یا چند معیار خاص می‌تواند موجب نادیده گرفتن سایر عوامل مؤثر بر عملکرد زنجیره تأمین شود. بنابراین، نتایج حاصل بیانگر آن است که خبرگان، مجموعه معیارهای مورد بررسی را به‌عنوان ابعاد مکمل یکدیگر تلقی کرده‌اند و انتخاب تأمین‌کننده مناسب مستلزم ایجاد تعادل میان تمامی این ابعاد است.

به‌منظور بررسی اعتبار قضاوت‌های خبرگان، نرخ ناسازگاری نیز محاسبه شد. مقدار این شاخص برابر با ۰/۰۶۸۷۵ به‌دست آمد که بیانگر سازگاری مناسب مقایسات زوجی انجام‌شده و قابل اعتماد بودن نتایج حاصل از فرآیند وزن‌دهی است. بنابراین، می‌توان اطمینان داشت که اوزان استخراج‌شده از ثبات و انسجام مناسبی برخوردار بوده و مبنای قابل اتکایی برای مرحله ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان فراهم می‌کنند.

**جدول ۶.** وزن محاسبه شده برای هر معیار

**Table 6.** Calculated weights for each criterion

| معیار | وزن | رتبه |
|---|---|---|
| کیفیت | ۰/۰۶۴۷۵ | ۱ |
| سطح سرویس | ۰/۰۶۴۴۵ | ۲ |
| استواری | ۰/۰۶۴۱۵ | ۳ |
| انعطاف‌پذیری در تولید محصول | ۰/۰۶۳۸۵ | ۴ |
| هزینه | ۰/۰۶۳۵۵ | ۵ |
| امنیت سایبری | ۰/۰۶۳۲۵ | ۶ |
| انعطاف‌پذیری در زمان تحویل | ۰/۰۶۲۹۵ | ۷ |
| کنترل آلودگی | ۰/۰۶۲۶۵ | ۸ |
| انعطاف‌پذیری در حجم تولید | ۰/۰۶۲۳۵ | ۹ |
| انبارش سبز | ۰/۰۶۲۰۵ | ۱۰ |
| استفاده از فناوری‌های نسل چهارم | ۰/۰۶۱۷۵ | ۱۱ |
| تأمین‌کنندگان پشتیبان | ۰/۰۶۱۴۵ | ۱۲ |
| مواد اولیه سازگار با محیط زیست | ۰/۰۶۱۴۵ | ۱۳ |
| انتشار گاز گلخانه‌ای | ۰/۰۶۰۸۵ | ۱۴ |
| فناوری اطلاعات | ۰/۰۶۰۵۵ | ۱۵ |
| مدیریت دیجیتال ارتباط با مشتریان | ۰/۰۶۰۲۵ | ۱۶ |

## ۶-۲- رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان

در این بخش، تأمین‌کنندگان بالقوه با استفاده از روش تاپسیس تصادفی رتبه بندی می‌شوند. در این زمینه، مشابه با بخش قبل، سه سناریو بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه در نظر گرفته شده است. همچنین، تحقیق حاضر ۶ تأمین‌کننده را در نظر گرفته است. **جدول ۷**

نشان‌دهنده ماتریس تصمیم تصادفی برای مسئله تحقیق می‌باشد که بر اساس نظر خبرگان تکمیل شده است. در ادامه نیز، **جدول ۸** مقادیر شاخص‌های $d_{is}^{+}$ و $d_{is}^{-}$ در هر سناریو را نشان می‌دهد.

**جدول ۷.** ماتریس تصمیم تصادفی

**Table 7.** Stochastic decision matrix

| | C1 | | | C2 | | | C3 | | | C4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 |
| A1 | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۳ | ۳ | ۴ | ۵ | ۳ | ۲ | ۱ |
| A2 | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | ۴ | ۳ | ۲ | ۶ | ۵ | ۴ |
| A3 | ۵ | ۴ | ۳ | ۶ | ۵ | ۴ | ۴ | ۳ | ۲ | ۴ | ۳ | ۲ |
| A4 | ۳ | ۲ | ۳ | ۵ | ۴ | ۳ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ |
| A5 | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | ۵ | ۴ | ۳ | ۶ | ۵ | ۴ |
| A6 | ۳ | ۲ | ۳ | ۵ | ۴ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۴ | ۳ | ۲ |

| | C5 | | | C6 | | | C7 | | | C8 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 |
| A1 | ۵ | ۶ | ۷ | ۶ | ۷ | ۸ | ۸ | ۴ | ۵ | ۴ | ۵ | ۶ |
| A2 | ۳ | ۲ | ۱ | ۵ | ۴ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۶ | ۵ | ۴ |
| A3 | ۴ | ۳ | ۲ | ۳ | ۲ | ۱ | ۱ | ۴ | ۳ | ۴ | ۳ | ۲ |
| A4 | ۵ | ۴ | ۳ | ۶ | ۵ | ۶ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ |
| A5 | ۳ | ۲ | ۳ | ۵ | ۴ | ۳ | ۳ | ۵ | ۶ | ۴ | ۳ | ۲ |
| A6 | ۴ | ۳ | ۲ | ۴ | ۳ | ۲ | ۲ | ۵ | ۴ | ۵ | ۴ | ۳ |

| | C9 | | | C10 | | | C11 | | | C12 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 |
| A1 | ۴ | ۵ | ۶ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۵ | ۴ |
| A2 | ۳ | ۲ | ۱ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | ۴ | ۳ | ۲ |
| A3 | ۵ | ۴ | ۳ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | ۴ | ۵ | ۶ |
| A4 | ۵ | ۴ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۶ | ۵ | ۴ | ۶ | ۵ | ۴ |
| A5 | ۵ | ۴ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۵ | ۴ | ۵ | ۶ | ۵ | ۴ |
| A6 | ۵ | ۴ | ۳ | ۵ | ۴ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۴ | ۳ | ۲ |

| | C13 | | | C14 | | | C15 | | | C16 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 |
| A1 | ۴ | ۳ | ۲ | ۵ | ۴ | ۳ | ۴ | ۳ | ۲ | ۵ | ۴ | ۳ |
| A2 | ۳ | ۲ | ۱ | ۵ | ۴ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۴ | ۳ | ۲ |
| A3 | ۳ | ۴ | ۵ | ۵ | ۶ | ۷ | ۵ | ۶ | ۷ | ۵ | ۶ | ۷ |
| A4 | ۶ | ۵ | ۴ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲ | ۱ |
| A5 | ۶ | ۵ | ۶ | ۳ | ۲ | ۱ | ۵ | ۶ | ۷ | ۵ | ۳ | ۲ |
| A6 | ۴ | ۳ | ۲ | ۴ | ۳ | ۲ | ۴ | ۳ | ۲ | ۶ | ۵ | ۴ |

**جدول ۸.** مقادیر شاخص‌های $d_{is}^{+}$ و $d_{is}^{-}$

**Table 8.** Values of $d_{is}^{+}$ and $d_{is}^{-}$

| | $d_{is}^{+}$ | | | $d_{is}^{-}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | s1 | s2 | s3 | s1 | s2 | s3 |
| A1 | ۰/۰۴۶۷۴۹۸۱۲ | ۰/۰۴۸۴۰۹۸۵۵ | ۰/۰۶۴۴۱۰۱۶ | ۰/۰۰۱۱۲۳ | ۰/۰۰۳۹۳۱ | ۰/۰۱۰۳۰۸ |
| A2 | ۰/۰۵۰۵۹۹۱۱۹ | ۰/۰۷۳۸۷۲۶۵۸ | ۰/۱۱۳۵۰۴۴۲۷ | ۰/۰۰۰۸۸۴ | ۰/۰۰۱۲۴۷ | ۰/۰۰۱۷۹۰ |
| A3 | ۰/۰۴۳۴۴۱۲۳۸ | ۰/۰۵۵۷۸۹۳۲ | ۰/۰۸۵۰۸۸۸۶۸ | ۰/۰۰۱۱۰۲ | ۰/۰۰۳۱۴۰ | ۰/۰۰۷۱۶۲ |
| A4 | ۰/۰۳۲۲۶۱۰۴۹ | ۰/۰۵۰۴۷۷۴۶۴ | ۰/۰۸۶۸۰۵۲۰۹ | ۰/۰۰۲۷۳۶ | ۰/۰۰۳۸۳۲ | ۰/۰۰۴۷۷۲ |
| A5 | ۰/۰۳۶۹۸۲۰۵۹ | ۰/۰۵۷۵۹۱۶۴ | ۰/۰۸۱۳۸۸۴۶۴ | ۰/۰۰۱۷۷۷ | ۰/۰۰۲۹۱۵ | ۰/۰۰۶۹۵۲ |
| A6 | ۰/۰۳۹۰۴۰۳۵۴ | ۰/۰۵۹۱۹۶۱۳۸ | ۰/۱۰۰۰۶۴۶۳۴ | ۰/۰۰۱۳۷۳ | ۰/۰۰۱۹۲۰ | ۰/۰۰۱۹۴۹ |

همچنین، **جدول ۹** نشان‌دهنده مقادیر شاخص C می‌باشد. در انتها نیز **جدول ۱۰** مقادیر شاخص FC و رتبه‌بندی نهایی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش تاپسیس تصادفی در سه سناریوی بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه نشان می‌دهد که عملکرد تأمین‌کنندگان در شرایط مختلف نوسان قابل‌توجهی دارد. بر اساس شاخص نزدیکی نسبی نهایی (FC)، تأمین‌کننده A1 با مقدار ۰/۰۷۷۹ بالاترین رتبه را کسب کرده و به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود. این برتری عمدتاً ناشی از عملکرد پایدار این تأمین‌کننده در سناریوی بدبینانه و محتمل است که نشان‌دهنده مقاومت و قابلیت‌اطمینان بالای آن در شرایط بحرانی می‌باشد. در رتبه دوم، تأمین‌کننده A4 با مقدار ۰/۰۶۷۸ قرار گرفته که عملکرد خوبی در سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه دارد. تأمین‌کننده A3 با مقدار ۰/۰۵۵۲ در جایگاه سوم و A5 با مقدار ۰/۰۵۵۲ در رتبه چهارم قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده عملکرد نسبتاً متوسط این دو گزینه است. در مقابل، تأمین‌کننده A2 با مقدار ۰/۰۱۶۴ ضعیف‌ترین عملکرد را داشته و در رتبه آخر قرار گرفته است که می‌تواند به‌دلیل ناتوانی در انطباق با شرایط بدبینانه و افت شدید عملکرد در سناریوی محتمل باشد. همچنین، تأمین‌کننده A6 با مقدار ۰/۰۲۸۹ در رتبه پنجم قرار گرفته که عملکرد آن در سناریوی خوش‌بینانه بسیار ضعیف است. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که تأمین‌کنندگانی که در سناریوی بدبینانه عملکرد قابل‌قبولی دارند، در رتبه‌بندی نهایی جایگاه بهتری کسب می‌کنند؛ این موضوع تأکید می‌کند که در شرایط بحرانی، استواری تأمین‌کننده از اهمیت بالاتری نسبت به عملکرد صرفاً در شرایط عادی برخوردار است. ازاین‌رو، مدیران ارشد حوزه سلامت باید در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده، علاوه بر معیارهای سنتی، به عملکرد تأمین‌کنندگان تحت سناریوهای بحرانی نیز توجه ویژه داشته باشند.

## ۶-۳- بررسی عملکرد روش تاپسیس تصادفی

به منظور بررسی عملکرد روش تاپسیس تصادفی، نتایج حاصل از آن با رویکردهای ویکور تصادفی و کوپراس تصادفی مورد مقایسه قرار گرفته است. در این زمینه، **جدول ۱۱** نتایج حاصله را نشان می‌دهد. مطابق با این جدول، رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در روش‌های مختلف دارای شباهت می‌باشد که اعتبار نتایج به دست آمده و روش مورد استفاده را نشان می‌دهد. هدف از مقایسه نتایج روش پیشنهادی با روش‌های VIKOR بررسی میزان همگرایی نتایج حاصل از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره و ارزیابی سازگاری نسبی رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان بوده است.

**جدول ۹.** مقادیر شاخص c

**Table 9.** Values of index c

| | C | | |
|---|---|---|---|
| | s1 | s2 | s3 |
| A1 | ۰/۰۲۳۴۵۸۶۳ | ۰/۰۷۵۱۰۲۸۷ | ۰/۱۳۷۹۵۹۱۸ |
| A2 | ۰/۰۱۷۱۶۱۸ | ۰/۰۱۶۶۰۲۲۹ | ۰/۰۱۵۵۲۶۶۷ |
| A3 | ۰/۰۲۴۷۴۰۰۱ | ۰/۰۵۳۲۸۵۳۱ | ۰/۰۷۷۶۳۴۹۳ |
| A4 | ۰/۰۷۸۱۸۸۱۶ | ۰/۰۷۰۵۶۴۹ | ۰/۰۵۲۱۱۱۰۸ |
| A5 | ۰/۰۴۵۸۵۱۸۳ | ۰/۰۴۸۱۷۲۹۱ | ۰/۰۷۸۶۹۱۵۵ |
| A6 | ۰/۰۳۳۹۷۵۴۱ | ۰/۰۳۱۴۰۸۳۴ | ۰/۰۱۹۱۰۱۳۹ |

**جدول ۱۰.** رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان

**Table 10.** Final ranking of suppliers

| | FC | رتبه |
|---|---|---|
| A1 | ۰/۰۷۷۹۰۵۸۹ | ۱ |
| A2 | ۰/۰۱۶۴۷۳۲۶ | ۶ |
| A3 | ۰/۰۵۲۲۳۶۹ | ۴ |
| A4 | ۰/۰۶۷۸۵۷۲۶ | ۲ |
| A5 | ۰/۰۵۵۲۲۲۳ | ۳ |
| A6 | ۰/۰۲۸۹۷۳۳۷ | ۵ |

**جدول ۱۱.** مقایسه نتایج روش‌های مختلف

**Table 11.** Comparison of different methods

| روش | رتبه | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 |
| تاپسیس تصادفی | ۱ | ۶ | ۴ | ۲ | ۳ | ۵ |
| ویکور تصادفی | ۱ | ۶ | ۳ | ۲ | ۴ | ۵ |
| کوپراس تصادفی | ۱ | ۶ | ۴ | ۳ | ۲ | ۵ |

## ۶-۴- تحلیل حساسیت

### ۶-۴-۱- تحلیل حساسیت نسبت به تغییر وزن معیارها

به‌منظور ارزیابی میزان پایداری و استحکام مدل پیشنهادی، تحلیل حساسیت بر روی سه معیار با بیشترین

وزن، شامل کیفیت، سطح سرویس و استواری انجام شد. در این تحلیل، وزن هر یک از این معیارها به‌صورت مستقل ۲۰ درصد افزایش و ۲۰ درصد کاهش یافت. پس از اعمال هر تغییر، اوزان سایر معیارها به‌صورت متناسب نرمال‌سازی شدند تا مجموع اوزان برابر یک باقی بماند و سپس مدل تاپسیس تصادفی مجدداً اجرا شد. نتایج حاصل در **جدول ۱۲** ارائه شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان در اکثر سناریوهای مورد بررسی از پایداری مناسبی برخوردار است. تأمین‌کننده A1 در تمامی حالات جایگاه نخست خود را حفظ کرده و تأمین‌کننده A2 نیز همواره در رتبه آخر باقی مانده است. ثبات این دو گزینه نشان می‌دهد که فاصله عملکرد آن‌ها نسبت به سایر تأمین‌کنندگان به اندازه‌ای است که تغییرات منطقی در اوزان معیارها تأثیر محسوسی بر جایگاه نهایی آن‌ها ندارد. از سوی دیگر، تنها تغییرات مشاهده‌شده مربوط به گزینه‌هایی است که از نظر امتیاز نهایی عملکرد بسیار نزدیکی به یکدیگر داشته‌اند. به‌طور مشخص، با کاهش ۲۰ درصدی وزن معیار کیفیت و همچنین کاهش ۲۰ درصدی وزن معیار سطح سرویس، رتبه تأمین‌کنندگان A4 و A5 با یکدیگر جابه‌جا شد. این موضوع بیانگر آن است که این دو معیار نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد تمایز میان این دو تأمین‌کننده داشته‌اند و کاهش اهمیت آن‌ها موجب کاهش فاصله عملکرد این دو گزینه شده است. همچنین، با افزایش ۲۰ درصدی وزن معیار استواری، رتبه تأمین‌کنندگان A6 و A3 جابه‌جا شد. این نتیجه نشان می‌دهد که این دو تأمین‌کننده از نظر عملکرد در معیار استواری به یکدیگر نزدیک بوده‌اند و افزایش اهمیت این معیار توانسته است ترتیب نهایی آن‌ها را تغییر دهد. با این حال، این تغییر نیز تنها در میان گزینه‌های میانی رخ داده و هیچ تأثیری بر تأمین‌کننده برتر یا ضعیف‌ترین تأمین‌کننده نداشته است. به‌طور کلی، نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که تغییرات منطقی در اوزان معیارهای کلیدی تنها موجب جابه‌جایی محدود میان تأمین‌کنندگانی می‌شود که دارای عملکرد نزدیک به یکدیگر هستند، در حالی که ساختار کلی رتبه‌بندی حفظ می‌شود. این رفتار بیانگر آن است که مدل پیشنهادی از پایداری و استحکام مناسبی در برابر تغییرات معقول ترجیحات تصمیم‌گیرندگان برخوردار بوده و نتایج آن وابسته به یک مجموعه خاص از اوزان نیست. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روش بهترین-بدترین تصادفی مورد استفاده از قابلیت اعتماد مناسبی برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان تجهیزات پزشکی در شرایط عدم‌قطعیت برخوردار است.

**جدول ۱۲.** نتایج تحلیل حساسیت

**Table 12.** Results of sensitivity analysis

| سناریوی تحلیل حساسیت | A1 | A4 | A5 | A6 | A3 | A2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| حالت پایه | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
| افزایش ۲۰٪ وزن کیفیت | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
| کاهش ۲۰٪ وزن کیفیت | ۱ | ۳ | ۲ | ۴ | ۵ | ۶ |
| افزایش ۲۰٪ وزن سطح سرویس | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
| کاهش ۲۰٪ وزن سطح سرویس | ۱ | ۳ | ۲ | ۴ | ۵ | ۶ |
| افزایش ۲۰٪ وزن استواری | ۱ | ۲ | ۳ | ۵ | ۴ | ۶ |
| کاهش ۲۰٪ وزن استواری | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |

### ۶-۴-۲- تحلیل حساسیت نسبت به تغییر احتمالات سناریوها

با توجه به اینکه احتمالات تخصیص‌یافته به سناریوها (۰.۲۵، ۰.۵۰، ۰.۲۵) مبتنی بر نظر خبرگان است، در این سطح، احتمالات در سه سناریوی جایگزین تغییر داده شدند:

- **سناریوی A:** (۰/۳۰، ۰/۴۰، ۰/۳۰) - افزایش احتمال وقوع شرایط افراطی (بدبینانه و خوش‌بینانه)
- **سناریوی B:** (۰/۲۰، ۰/۶۰، ۰/۲۰) - افزایش بیشتر احتمال وقوع شرایط عادی (محتمل)
- **سناریوی C:** (۰/۴۰، ۰/۳۰، ۰/۳۰) - تأکید بیشتر بر شرایط بدبینانه

**جدول ۱۳.** نتایج تحلیل حساسیت نسبت به تغییر احتمالات سناریوها

**Table 13.** Results of sensitivity analysis about the change in the probability of scenarios

| سناریوی احتمالاتی | رتبه | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 |
| حالت پایه (۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۲۵) | ۱ | ۶ | ۴ | ۲ | ۳ | ۵ |
| سناریوی A (۰/۳۰، ۰/۴۰، ۰/۳۰) | ۱ | ۶ | ۴ | ۲ | ۳ | ۵ |
| سناریوی B (۰/۲۰، ۰/۶۰، ۰/۲۰) | ۱ | ۶ | ۴ | ۲ | ۳ | ۵ |
| سناریوی C (۰/۴۰، ۰/۳۰، ۰/۳۰) | ۱ | ۶ | ۳ | ۲ | ۴ | ۵ |

**جدول ۱۴.** مقایسه‌ی نتایج رتبه‌بندی با روش‌های مختلف وزن‌دهی

**Table 14. C**omparing the results of ranking based on different weighting methods

| تأمین‌کننده | رتبه‌بندی | | | تغییرات رتبه در روش‌های مختلف |
|---|---|---|---|---|
| | بهترین-بدترین تصادفی | بهترین-بدترین فازی | فرآیند تحلیل ساسله مراتبی | |
| A1 | ۱ | ۱ | ۱ | بدون تغییر (ثابت در رتبه‌ی اول) |
| A2 | ۶ | ۶ | ۶ | بدون تغییر (ثابت در رتبه‌ی آخر) |
| A3 | ۴ | ۳ | ۵ | جابجایی از ۴ به ۳ و به ۵ |
| A4 | ۲ | ۲ | ۲ | بدون تغییر (ثابت در رتبه‌ی دوم) |
| A5 | ۳ | ۴ | ۴ | جابجایی از ۳ به ۴ |
| A6 | ۵ | ۵ | ۳ | جابجایی از ۵ به ۳ |

نتایج این تحلیل در **جدول ۱۳** ارائه شده است. نتایج **جدول ۱۳** نشان می‌دهد که تغییر احتمالات سناریوها تأثیر قابل‌توجهی بر رتبه‌بندی کلی ندارد و جایگاه تأمین‌کنندگان A1 (رتبه‌ی اول) و A2 (رتبه‌ی آخر) در تمامی سناریوها حفظ شده است. تنها در سناریوی C (با تأکید بیشتر بر شرایط بدبینانه)، جایگاه تأمین‌کنندگان A3 و A5 با یکدیگر جابه‌جا شده است که نشان از حساسیت این دو گزینه به شرایط بحرانی شدید دارد.

### ۶-۴-۳- تحلیل حساسیت نسبت به تغییر روش وزن‌دهی

برای بررسی نقش روش مورد استفاده در نتایج حاصل شده، وزن معیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه و سپس رتبه‌بندی مجدد با روش تاپسیس تصادفی انجام شد. نتایج این تحلیل در **جدول ۱۴** ارائه شده است.

در **جدول ۱۴**، ستون اول شامل کد تأمین‌کنندگان (A1 تا A6) می‌باشد. ستون دوم نشان‌دهنده‌ی رتبه‌بندی حاصل از روش پیشنهادی پژوهش است. ستون سوم نشان‌دهنده‌ی رتبه‌بندی حاصل از روش بهترین-بدترین فازی می‌باشد که در آن مقایسات زوجی به‌صورت اعداد فازی مثلثی مدل‌سازی شده‌اند. ستون چهارم نشان‌دهنده‌ی رتبه‌بندی حاصل از روش تحلیل سلسله‌مراتبی کلاسیک می‌باشد که در آن مقایسات زوجی به‌صورت کاملاً قطعی انجام شده‌اند. ستون آخر، خلاصه‌ای از تغییرات رتبه‌ی هر تأمین‌کننده را در روش‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تأمین‌کنندگان A1 و A2 به‌ترتیب در تمامی روش‌ها رتبه‌های اول و آخر را حفظ کرده‌اند که نشان‌دهنده‌ی استواری بالای مدل است. در مقابل، رده‌های میانی (به‌ویژه A3، A5 و A6) دستخوش جابه‌جایی شده‌اند که نشان‌دهنده‌ی تأثیر فضای عدم‌قطعیت بر تمایز تأمین‌کنندگان با عملکرد نزدیک به هم می‌باشد.

## ۶-۵- بحث و یافته‌ها

پژوهش حاضر با هدف ارائه یک مدل تصمیم‌گیری تصادفی برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده سبز و چابک در صنعت تجهیزات پزشکی، با تأکید ویژه بر شرایط بحرانی (نظیر جنگ، تحریم‌های اقتصادی، همه‌گیری‌ها و

اختلالات گسترده) انجام شده است. نوآوری اصلی این تحقیق در تلفیق همزمان سه بعد کلیدی سبز بودن، چابکی و انقلاب صنعتی چهارم در چارچوبی تصادفی و سناریومحور است که برای اولین بار در حوزه سیستم‌های سلامت مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به ماهیت غیرقابل‌پیش‌بینی‌پذیری محیط‌های درمانی و حساسیت بالای تأمین تجهیزات حیاتی نظیر دستگاه‌های دیالیز، رویکرد تصادفی با تعریف سه سناریوی بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه، امکان ارزیابی واقع‌بینانه‌تری از عملکرد تأمین‌کنندگان فراهم کرده است. این مطالعه به دنبال پاسخ به چهار سؤال اساسی بوده است:

۱) معیارهای اصلی در ابعاد سبز بودن، چابکی و انقلاب صنعتی چهارم کدامند؟

۲) کدام معیارها بیشترین اهمیت را دارند؟

۳) کدام تأمین‌کنندگان بهترین عملکرد را دارند؟

۴) چگونه می‌توان با عدم‌قطعیت مسئله مقابله کرد؟

نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش بهترین-بدترین تصادفی نشان داد که در شرایط بحرانی، معیار کیفیت با وزن ۰/۰۶۴۷۵ بالاترین اولویت را دارد که بیانگر غیرقابل‌قبول بودن هرگونه کاهش کیفیت در تأمین تجهیزات و ملزومات پزشکی است. در رتبه‌های بعدی، سطح سرویس (۰/۰۶۴۴۵) و استواری (۰/۰۶۴۱۵) قرار دارند که نشان‌دهنده اهمیت حیاتی قابلیت‌اطمینان و مقاوم‌سازی زنجیره‌تأمین در مواجهه با اختلالات بحرانی است. معیارهای انعطاف‌پذیری در تولید محصول (۰/۰۶۳۸۵)، هزینه (۰/۰۶۳۵۵) و امنیت سایبری (۰/۰۶۳۲۵) در رتبه‌های بعدی، بیانگر آن است که در کنار کنترل هزینه‌ها، توانایی تطابق با نیازهای متغیر بیمارستان‌ها و همچنین حفاظت از داده‌های حساس سلامت در فضای دیجیتال، از اولویت‌های کلیدی مدیریت تأمین محسوب می‌شوند. دو معیار انعطاف‌پذیری در زمان تحویل (۰/۰۶۲۹۵) و کنترل آلودگی (۰/۰۶۲۶۵) تکمیل‌کننده هشت معیار برتر هستند که نشان از تعادل بین چابکی عملیاتی و مسئولیت‌های زیست‌محیطی در شرایط بحران دارد. جالب‌توجه اینکه معیارهای فناوری اطلاعات (۰/۰۶۰۵۵) و مدیریت دیجیتال ارتباط با مشتریان (۰/۰۶۰۲۵) در اولویت‌های آخر قرار گرفته‌اند که می‌تواند به‌دلیل تمرکز بر بقا و پاسخ‌گویی سریع در بحران باشد. این یافته با نتایج پژوهش‌های پیشین نظیر که کیفیت و زمان تحویل را به‌عنوان مهم‌ترین معیارها معرفی کردند، همسو است؛ هرچند پژوهش حاضر با افزودن معیارهای نوظهوری نظیر امنیت سایبری و استواری، افق جدیدی را در انتخاب تأمین‌کننده گشوده است. در مرحله دوم، با استفاده از روش تاپسیس تصادفی، عملکرد شش تأمین‌کننده بالقوه در سه سناریوی بدبینانه، محتمل و خوش‌بینانه ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تأمین‌کننده A1 با شاخص نزدیکی نسبی نهایی (FC) برابر با ۰/۰۷۷۹ بهترین عملکرد را داشته و در رتبه نخست قرار گرفته است. این برتری عمدتاً ناشی از عملکرد پایدار این تأمین‌کننده در سناریوی بدبینانه و محتملاست که نشان‌دهنده مقاومت و قابلیت‌اطمینان بالای آن در شرایط بحرانی می‌باشد. تأمین‌کننده A4 با مقدار ۰/۰۶۷۸ در رتبه دوم و A5 با مقدار ۰/۰۵۵۲ در رتبه سوم قرار گرفتند. در مقابل، تأمین‌کننده A2 با مقدار ۰/۰۱۶۴ ضعیف‌ترین عملکرد را داشته و در رتبه آخر قرار گرفته است که می‌تواند به‌دلیل ناتوانی در انطباق با شرایط بدبینانه و افت شدید عملکرد در سناریوی محتمل باشد. نتایج مقایسه روش تاپسیس تصادفی با دو روش ویکور تصادفی و کوپراس تصادفی (**جدول ۸**) نشان‌دهنده همگرایی بالای نتایج و تأییدکننده استواری و اعتبار رویکرد پیشنهادی است؛ به‌طوری که در هر سه روش، تأمین‌کننده A1 در رتبه اول و A2 در رتبه آخر قرار گرفته‌اند. این همگرایی مؤید آن است که مدل ارائه‌شده از پایداری مناسبی در شرایط مختلف تصمیم‌گیری برخوردار است.

## ۶-۶- بینش‌های مدیریتی

نتایج این پژوهش بینش‌های عملی ارزشمندی برای مدیران ارشد حوزه تأمین تجهیزات پزشکی، به‌ویژه در سیستم‌های سلامت، ارائه می‌دهد. مهم‌ترین پیام مدیریتی این تحقیق، تأکید بر اولویت‌بندی کیفیت، استواری و چابکی در شرایط بحرانی است. مدیران باید در فرآیند ارزیابی تأمین‌کنندگان، به‌جای تمرکز صرف بر معیارهای سنتی نظیر هزینه، به شاخص‌های مرتبط با قابلیت‌اطمینان و مقاوم‌سازی زنجیره تأمین توجه ویژه داشته باشند. یافته‌ها نشان داد که در سناریوهای بدبینانه (مانند جنگ، تحریم یا همه‌گیری)، تأمین‌کنندگانی که

عملکرد پایدارتری دارند، در رتبه‌بندی نهایی جایگاه بهتری کسب می‌کنند. بنابراین، به مدیران توصیه می‌شود که سیستم‌های ارزیابی خود را به‌گونه‌ای طراحی کنند که بخش قابل توجهی از امتیاز ارزیابی به معیارهای کیفیت، سطح سرویس و استواری اختصاص یابد و عملکرد تأمین‌کنندگان صرفاً در شرایط عادی ملاک نباشد، بلکه توانایی آن‌ها در مواجهه با سناریوهای بحرانی نیز سنجیده شود. دومین بینش مدیریتی کلیدی، اهمیت امنیت سایبری به‌عنوان یکی از هشت معیار برتر در کنار معیارهای سنتی است. با گسترش انقلاب صنعتی چهارم و دیجیتالی‌سازی فرآیندهای تأمین در سیستم‌های سلامت، حفاظت از داده‌های حساس بیماران، سامانه‌های بیمارستانی و شبکه‌های ارتباطی در برابر تهدیدات سایبری به یک الزام حیاتی تبدیل شده است. مدیران باید در ارزیابی تأمین‌کنندگان، علاوه بر معیارهای فنی و عملکردی، سطح بلوغ سایبری آن‌ها را نیز مورد سنجش قرار دهند و تأمین‌کنندگانی که دارای گواهینامه‌های امنیت سایبری و سیستم‌های پایش و پاسخگویی به تهدیدات هستند، اولویت بالاتری کسب کنند. این رویکرد نه‌تنها از اطلاعات حیاتی بیمارستان‌ها محافظت می‌کند، بلکه تداوم عملیات در مواجهه با حملات سایبری را نیز تضمین می‌نماید. سومین بینش مدیریتی، مدیریت متوازن معیارهای سبز و زیست‌محیطی در شرایط بحران است. یافته‌های پژوهش نشان داد که معیارهای سبز (نظیر انبارش سبز، مواد اولیه سازگار با محیط زیست و انتشار گاز گلخانه‌ای) در اولویت‌های پایین‌تری نسبت به معیارهای عملکردی و چابکی قرار دارند. این به آن معنا نیست که ملاحظات زیست‌محیطی نادیده گرفته شوند، بلکه مدیران باید در شرایط عادی، سرمایه‌گذاری بر روی زنجیره‌تأمین سبز را به‌عنوان یک استراتژی بلندمدت دنبال کنند؛ اما در شرایط بحرانی، انعطاف‌پذیری لازم را برای اولویت‌دهی به تأمین‌کنندگانی که از نظر زیست‌محیطی الزامات حداقلی را رعایت می‌کنند اما از چابکی و استواری بالاتری برخوردارند، داشته باشند. به‌عبارت دیگر، مدیران باید یک سیستم امتیازدهی پویا طراحی کنند که در شرایط مختلف، وزن معیارها را به‌صورت خودکار تنظیم نماید تا تصمیم‌گیری متناسب با شرایط محیطی انجام شود. چهارمین بینش مدیریتی، به‌کارگیری رویکردهای سناریومحور و تصمیم‌گیری تصادفی در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده است. روش پیشنهادی این پژوهش (تلفیق بهترین-بدترین تصادفی و تاپسیس تصادفی) به مدیران امکان می‌دهد تا به‌جای تصمیم‌گیری صرفاً بر اساس داده‌های تاریخی و قطعی، طیف گسترده‌ای از سناریوهای محتمل آینده را مدنظر قرار دهند. به‌ویژه، مدیران حوزه سلامت باید سناریوهایی نظیر شیوع بیماری‌های نوپدید، تحریم‌های اقتصادی، اختلالات حمل‌ونقل و نوسانات ناگهانی تقاضا را در ارزیابی‌های خود لحاظ کنند. استفاده از این رویکرد، به مدیران کمک می‌کند تا تأمین‌کنندگانی را انتخاب کنند که نه‌تنها در شرایط عادی عملکرد مطلوبی دارند، بلکه در مواجهه با بحران‌ها نیز توانایی حفظ جریان تأمین اقلام حیاتی را دارا هستند. در نهایت، توصیه می‌شود که بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، سیستم‌های ارزیابی تأمین‌کنندگان خود را بر اساس چارچوب ارائه‌شده در این پژوهش بازطراحی کرده و با تشکیل تیم‌های تخصصی و استفاده از نظر خبرگان، وزن‌دهی معیارها را متناسب با شرایط محیطی خود به‌روزرسانی نمایند.

## ۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

تشدید عدم‌قطعیت در زنجیره تأمین سیستم‌های سلامت، به‌ویژه در شرایط بحران، ضرورت بهره‌گیری از رویکردهای تصمیم‌گیری دقیق و نظام‌مند را بیش از پیش آشکار ساخته است. در چنین محیطی، انتخاب تأمین‌کننده صرفاً بر مبنای هزینه، پاسخ‌گوی نیازهای پیچیده و چندبعدی سازمان‌های درمانی نیست و معیارهایی نظیر کیفیت، سطح سرویس، تاب‌آوری، انعطاف‌پذیری و امنیت سایبری نیز باید مدنظر قرار گیرند. از این‌رو، مقاله حاضر با هدف ارائه یک چارچوب تصمیم‌گیری تصادفی برای انتخاب تأمین‌کننده سبز و چابک در بستر انقلاب صنعتی چهارم در صنعت تجهیزات پزشکی (سیستم‌های سلامت) تدوین شد. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از روش بهترین-بدترین تصادفی وزن معیارهای تصمیم‌گیری تعیین شد و سپس تأمین‌کنندگان با به‌کارگیری تاپسیس تصادفی رتبه‌بندی شدند. همچنین، برای اطمینان از استواری نتایج، روش‌های ویکور تصادفی و کوپراس تصادفی نیز به‌کار گرفته شدند. نتایج نشان داد که کیفیت، سطح سرویس، تاب‌آوری، انعطاف‌پذیری در تولید و هزینه از

مهم‌ترین معیارها در انتخاب تأمین‌کننده هستند و در میان گزینه‌های بررسی‌شده، تأمین‌کننده A1 بهترین عملکرد را از خود نشان داد و A2 در رتبه آخر قرار گرفت. ثبات رتبه‌ها در روش‌های مختلف نیز نشان‌دهنده قابلیت اعتماد و پایداری مدل پیشنهادی است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که در محیط‌های بحرانی، توجه هم‌زمان به الزامات سبز، چابک و فناورانه می‌تواند به تصمیم‌گیری اثربخش‌تر در انتخاب تأمین‌کننده منجر شود. بر این اساس، استفاده از مدل پیشنهادی می‌تواند به مدیران بیمارستان‌ها و سازمان‌های سلامت در شناسایی تأمین‌کنندگان مناسب‌تر و کاهش آسیب‌پذیری زنجیره تأمین کمک کند. همچنین، نتایج پژوهش بر اهمیت ادغام فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم در فرآیندهای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده تأکید دارد. برای تحقیقات آتی، پیشنهاد می‌شود این مدل در صنایع و سایر حوزه‌های زنجیره تأمین خدمات درمانی و بیمارستانی نیز مورد سنجش قرار گیرد تا قابلیت تعمیم آن بررسی گردد. همچنین، می‌توان در پژوهش‌های آینده از معیارهای بیشتری مانند ریسک تأمین، پایداری اجتماعی، امنیت سایبری، تاب‌آوری و تعامل‌پذیری دیجیتال استفاده کرد. مطالعه مسئله تحت عدم قطعیت ترکیبی (فازی-سناریو) از دیگر مسیرهای مناسب برای پژوهش‌های آینده محسوب می‌شود.

یکی از محدودیت‌های این پژوهش، اتکای فرآیند ارزیابی تأمین‌کنندگان به قضاوت‌های تخصصی خبرگان است. اگرچه معیارهای ارزیابی بر اساس مرور جامع ادبیات پژوهش استخراج و سپس توسط خبرگان مورد تأیید قرار گرفتند و ارزیابی تأمین‌کنندگان نیز توسط افراد متخصص و با تجربه در حوزه تجهیزات پزشکی و بخش دیالیز انجام شد، اما به دلیل محرمانه بودن اطلاعات شرکت‌های تأمین‌کننده و محدودیت دسترسی به داده‌های عملیاتی واقعی، امکان استفاده از اطلاعاتی نظیر قیمت قراردادها، سوابق عملکرد، نرخ خرابی تجهیزات، زمان تحویل، کیفیت خدمات پس از فروش و سایر شاخص‌های عینی وجود نداشت. ازاین‌رو، داده‌های مورد استفاده در این پژوهش بر مبنای قضاوت‌های تخصصی خبرگان گردآوری شد که این رویکرد در مطالعات تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌ویژه در شرایط محدودیت دسترسی به داده‌های واقعی، روشی متداول و پذیرفته‌شده محسوب می‌شود. همچنین، مطالعه حاضر در بخش‌های دیالیز بیمارستان‌های شهرستان قائم‌شهر انجام شده است؛ بنابراین، نتایج به‌دست‌آمده ممکن است تحت تأثیر ویژگی‌های محیط مورد مطالعه قرار داشته باشد و تعمیم آن به سایر مراکز درمانی نیازمند انجام مطالعات تکمیلی در شرایط و مناطق مختلف است. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، در صورت فراهم بودن امکان دسترسی به اطلاعات واقعی تأمین‌کنندگان، از داده‌های عملیاتی نظیر قیمت واقعی تجهیزات، نرخ خرابی، زمان تحویل، سوابق کیفیت، میزان رضایت مراکز درمانی و سایر شاخص‌های عملکردی در کنار قضاوت خبرگان استفاده شود. همچنین، به‌کارگیری روش‌های پیشرفته‌تر مدل‌سازی عدم‌قطعیت، مانند استفاده از داده‌های تاریخی و برآورد توزیع‌های احتمالی یا سایر رویکردهای تحلیل ریسک، می‌تواند موجب افزایش دقت و قابلیت تعمیم نتایج پژوهش شود.

با وجود تلاش برای انتخاب معیارهای جامع و متناسب با اهداف پژوهش، مدل ارائه‌شده تمامی شاخص‌های تخصصی مرتبط با ارزیابی تجهیزات پزشکی را پوشش نمی‌دهد. برخی معیارهای تخصصی نظیر مجوزهای قانونی و پزشکی، استانداردهای ایمنی، کیفیت خدمات پس از فروش، سرعت تأمین قطعات یدکی، زمان پاسخ به خرابی، برنامه‌های تعمیر و نگهداری، آموزش کاربران، فراخوان محصولات و سازگاری بالینی، به دلیل تمرکز پژوهش بر ابعاد مدیریتی و زنجیره تأمین و همچنین محدودیت دسترسی به اطلاعات، در مدل حاضر لحاظ نشده‌اند. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، این شاخص‌ها در کنار معیارهای مدیریتی و زنجیره تأمین مورد استفاده قرار گیرند تا چارچوب جامع‌تری برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان تجهیزات پزشکی ارائه شود.

یکی دیگر از محدودیت‌های این پژوهش، عدم امکان اعتبارسنجی نتایج مدل با استفاده از شاخص‌های واقعی عملکرد تأمین‌کنندگان تجهیزات پزشکی بود. با توجه به محرمانه بودن اطلاعات شرکت‌های تأمین‌کننده و محدودیت دسترسی به داده‌هایی نظیر سوابق عملکرد، میزان خرابی تجهیزات، زمان تحویل واقعی، میزان رضایت مراکز درمانی و سایر شاخص‌های عملیاتی، اعتبارسنجی مدل بر مبنای داده‌های واقعی امکان‌پذیر نبود. ازاین‌رو، ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان بر اساس قضاوت خبرگان

و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام شد. پیشنهاد می‌شود در آینده، در صورت دسترسی به داده‌های واقعی عملکرد تأمین‌کنندگان، نتایج مدل با اطلاعات عملیاتی مقایسه و اعتبارسنجی شده و همچنین از شاخص‌های آماری مانند ضریب همبستگی رتبه‌ها برای مقایسه نتایج روش‌های مختلف تصمیم‌گیری استفاده شود.

## قدردانی

ما از تمامی همکارانی که با ارائه بینش و تخصص خود کمک شایانی به این پژوهش کردند، سپاسگزاریم. همچنین از داوران ناشناس بابت پیشنهادهای ارزشمندشان برای بهبود مقاله تشکر می‌کنیم.

## تأمین مالی

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی دریافت نکرده است.

## تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافع مرتبط با تحقیق حاضر ندارند و نتایج به‌صورت بی‌طرفانه و بدون دخالت منافع شخصی یا حرفه‌ای به‌دست‌آمده است.

## مشارکت‌های نویسندگان

**امیرحسین یونسی:** مفهوم‌پردازی، روش‌شناسی، مرور ادبیات، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل صوری، طراحی چارچوب، نگارش پیش‌نویس اولیه، بازنگری و ویرایش؛ **محمد اخشابی:** مفهوم‌پردازی اولیه، روش‌شناسی، تحلیل صوری، طراحی چارچوب، نگارش پیش‌نویس اولیه، بازنگری و ویرایش، راهنمایی؛ **حسین عموزادخلیلی:** مفهوم‌پردازی اولیه، روش‌شناسی، تحلیل صوری، طراحی چارچوب، نگارش پیش‌نویس اولیه، بازنگری و ویرایش، راهنمایی؛ **محمد ابراهیم طیبی عراقی:** مفهوم‌پردازی اولیه، روش‌شناسی، تحلیل صوری، طراحی چارچوب، نگارش پیش‌نویس اولیه، بازنگری و ویرایش، راهنمایی.

## دسترسی به داده‌ها

داده‌ها در صورت درخواست در دسترس هستند: داده‌های پشتیبانی‌کننده نتایج این مطالعه در اختیار نویسندگان مسئول بوده و در صورت درخواست منطقی در دسترس قرار خواهند گرفت.

## مراجع

Akhtar, M. (2025). Fermatean fuzzy group decision model for agile, resilient and sustainable logistics service provider selection in the manufacturing industry. *Journal of Modelling in Management, 20*(2), 390–416. https://doi.org/10.1108/JM2-02-2024-0040

Alamroshan, F., La'li, M., & Yahyaei, M. (2022). The green-agile supplier selection problem for the medical devices: A hybrid fuzzy decision-making approach. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(5), 6793–6811. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14690-z

Ali, H., Zhang, J., & Shoaib, M. (2024). A hybrid approach for sustainable-circular supplier selection based on Industry 4.0 framework to make the supply chain smart and eco-friendly. *Environment, Development and Sustainability, 26*(9), 22587–22624. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03567-5

Al-Refaie, A., & Alqaisi, M. (2026). Selection of medical equipment suppliers using structural equation modeling and fuzzy slack-based DEA models. *Neural Computing and Applications, 38*(6), 167. https://doi.org/10.1007/s00521-026-11893-8

Amiri, A. (2025). Development of a resilient and agile model for evaluating medical equipment suppliers based on machine learning algorithms. *Journal of Optimization in Industrial Engineering, 18*(2), 139–147. (In Persian). https://doi.org/10.71720/joie.2025.1219263

Arslankaya, S., & Çelik, M. T. (2021). Green supplier selection in steel door industry using fuzzy AHP and fuzzy Moora methods. *Emerging Materials Research, 10*(4), 357–369. https://doi.org/10.1680/jemmr.21.00011

Arunyanart, S., & Khumpang, P. (2025). A decision-making framework for evaluating medical equipment suppliers under uncertainty. *Scientific Reports, 15*(1), 9858. https://doi.org/10.1038/s41598-025-93389-4

Avazpour, M., Zarei, J., & Alinezhad, E. (2025). Evaluation and prioritization of electricity generation technologies in Iran using a multi-criteria decision-making approach. *System Engineering and Productivity, 5*(3), 179-198. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2063697.1333

Becerra, P., & Diaz, J. (2025). Supplier selection model considering sustainable and resilience aspects for mining industry. *Systems, 13*(2), 81. https://doi.org/10.3390/systems13020081

Beltran-Salomon, E., Saavedra-Leyva, R. E., Tortorella, G., Limon-Romero, J., Tlapa, D., & Baez-Lopez, Y. (2025). Critical success factors for supplier selection and performance enhancement in the medical device industry: An Industry 4.0 approach. *Processes, 13*(5), 1438. https://doi.org/10.3390/pr13051438

Chakraborty, S., Raut, R. D., Rofin, T. M., & Chakraborty, S. (2024). On solving a healthcare supplier selection problem using MCDM methods in intuitionistic fuzzy environment. *OPSEARCH, 61*(2), 680–708. https://doi.org/10.1007/s12597-023-00733-1

Chen, H., & Wang, H. (2025). Research on green supplier selection method based on improved AHP-FMEA. *Sustainability, 17*(7), 3018. https://doi.org/10.3390/su17073018

Cui, L., Wu, H., & Dai, J. (2023). Modelling flexible decisions about sustainable supplier selection in multitier sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research, 61*(14), 4603–4624. https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1924412

Debnath, M., Chakraborty, S., & Bhattacharya, D. (2026). Fermatean fuzzy geometric Bonferroni mean operator based decision support framework for green supplier selection. *Physica Scripta, 101*(8), 085203. https://doi.org/10.1088/1402-4896/ae35b0

Demir, G., & Chatterjee, P. (2025). Prioritizing sustainability criteria in green supplier selection using fuzzy logarithmic percentage change-driven objective weighting (FLOPCOW) method. *Journal of Intelligent Management Decision, 4*(3), 212–223. https://doi.org/10.56578/jimd040303

Fallahpour, A., Olugu, E. U., Musa, S. N., Khezrimotlagh, D., & Wong, K. Y. (2017). An integrated model for green supplier selection under fuzzy environment: Application of data envelopment analysis and genetic programming approach. *Neural Computing and Applications, 28*, 303–321. https://doi.org/10.1007/s00521-015-2148-4

Goker, N., Dursun, M., & Albayrak, Y. E. (2019). Agile supplier evaluation using a fuzzy decision making procedure based on fuzzy measure and fuzzy integral. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* (pp. 457–463). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1_57

Hayati, E. N., Radyanto, M. R., Adhi, A., Ekoanindiyo, F. A., & Yohanes, A. (2026). Implementation of the additive ratio assessment (ARAS) method. Case study: Selection of sustainable suppliers. *AIP Conference Proceedings, 3337*(1), 030021. https://doi.org/10.1063/5.0297427

Hemmasian Etefagh, M. (2022). Identifying and evaluating factors affecting contractor selection using a combination of construction management perspectives and multi-criteria decision-making methods. *System Engineering and Productivity*, *2*(2), 105-121. https://doi.org/10.22034/sep.2022.243413

Hoseini, S. A., Fallahpour, A., Wong, K. Y., Mahdiyar, A., Saberi, M., & Durdyev, S. (2021). Sustainable supplier selection in construction industry through hybrid fuzzy-based approaches. *Sustainability, 13*(3), 1413. https://doi.org/10.3390/su13031413

Hosseini Dolatabad, A., Heidary Dahooie, J., Antucheviciene, J., Azari, M., & Razavi Hajiagha, S. H. (2023). Supplier selection in the Industry 4.0 era by using a fuzzy cognitive map and hesitant fuzzy linguistic VIKOR methodology. *Environmental Science and Pollution Research, 30*(18), 52923–52942. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26004-6

Janhaoui, A. (2025). *A regulatory-aligned, risk-aware supplier selection framework for medical device manufacturing using MCDM/A-LP hybrid model* [Master's thesis, The University of Texas at San Antonio].

Juan, D. I. N. G. (2025). *Solving the medical device supplier selection problem using integrated AHP-TOPSIS method: A case of sample hospital in Thailand* [Doctoral dissertation, Silpakorn University].

Kashanian Monfared, N., Safaie, N., & Hosseininezhad, S. J. (2025). A decision-making model for the problem of designing the layout of medical centers considering uncertainty. *System Engineering and Productivity*, *5*(2), 97-118. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2049327.1252

Khodayari, R., Yazdani, M., Pourghader Chobar, A., & Salehan, S. T. (2024). Risk management of outsourcing projects in auto parts manufacturing companies by using failure mode analysis method and decision-making technique. *System Engineering and Productivity*, *4*(3), 31-48. https://doi.org/10.22034/msb.2024.2031280.1212

Kumar, A., Mangla, S. K., & Kumar, P. (2024). Barriers for adoption of Industry 4.0 in sustainable food supply chain: A circular economy perspective. *International Journal of Productivity and Performance Management, 73*(2), 385–411. https://doi.org/10.1108/IJPPM-12-2020-0695

Li, J., & Zhong, D. (2024). Comparing the impact of green supplier selection and integration on environmental performance: An analysis of the moderating role of government support.

Nayeri, S., Sazvar, Z., & Babaee Tirkolaee, E. (2025). Viable supplier selection problem based on Industry 5.0 and circular economy aspects: A hybrid decision-making approach. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics, 12*(1), 2469117. https://doi.org/10.1080/23302674.2025.2469117

Nayeri, S., Sazvar, Z., & Heydari, J. (2023b). Towards a responsive supply chain based on the Industry 5.0 dimensions: A novel decision-making method. *Expert Systems with Applications, 213*, 119267. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119267

Noruzi, M., Naderan, A., Zakeri, J. A., & Rahimov, K. (2023). A novel decision-making framework to evaluate rail transport development projects considering sustainability under uncertainty. *Sustainability, 15*(17), 13086. https://doi.org/10.3390/su151713086

Özel Sönmez, G., & Toktaş, P. (2024). Supplier selection using the integrated MEREC–CoCoSo methods in a medical device company. *Journal of Scientific Reports-A*, (056), 116–133. https://doi.org/10.59313/jsr-a.1420728

Radulescu, C. Z., & Radulescu, M. (2023). A hybrid multi-criteria approach to the vendor selection problem for sensor-based medical devices. *Sensors, 23*(2), 764. https://doi.org/10.3390/s23020764

Rahimi, A., Karimi Govareshki, M. H., & Zareei, A. (2024). Providing a framework for lean, agile, and resilient supplier selection in the supply chain of the Etka Organization: A rough MCDM approach. *Industrial Management Studies, 22*(72), 125–171. (In Persian). https://doi.org/10.22054/jims.2024.76548.2885

Rashidi, M., Banihashemi, S. A., & Seydi, A. (2025). Investigating the role of employee's communication skills in human capital agility by mediating the organizational decision-making process. *System Engineering and Productivity*, *5*(3), 135-153. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2062408.1328

Rostami, O., Tavakoli, M., Tajally, A., & GhanavatiNejad, M. (2023). A goal programming-based fuzzy best–worst method for the viable supplier selection problem: A case study. *Soft Computing, 27*(6), 2827–2852. https://doi.org/10.1007/s00500-022-07572-0

Safavi, A., Sadeghi Bigham, B., & Zahedi-Seresht, M. (2025). Supplier selection utilizing AHP and TOPSIS in a fuzzy environment based on KPIs. *Contemporary Mathematics, 9*(1), 574–593. https://doi.org/10.37256/cm.6120256152

Sahoo, B., & Debnath, B. K. (2025). A case study on medical company selection in the health sector by using an integrated fuzzy AHP-MOORA *Sustainability, 16*(16), 7228. https://doi.org/10.3390/su16167228

Li, Q. (2026). *Study on green supplier selection of Midea Group based on the improved TOPSIS method* [Bachelor's thesis, Haaga-Helia University of Applied Sciences]. https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2026051812960

Lotfi, R., Khanbaba, A., Alkhazaleh, H. A., Changizi, M., Kadłubek, M., Aghakhani, S., & SamarAli, S. (2024). A viable supplier selection with order allocation by considering robustness, risk-averse and blockchain technology. *Computers & Industrial Engineering, 193*, 110319. https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110319

Matawale, C. R., Datta, S., & Mahapatra, S. S. (2016). Supplier selection in agile supply chain: Application potential of FMLMCDM approach in comparison with Fuzzy-TOPSIS and Fuzzy-MOORA. *Benchmarking: An International Journal, 23*(7), 2027–2060. https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2015-0067

Mirzayi, M. H. (2025). Developing agility, resilience, and circular economy decision-making model based on data envelopment analysis for evaluating medical equipment suppliers. *Process Integration and Optimization for Sustainability, 9*(2), 681–693. https://doi.org/10.1007/s41660-024-00474-8

Molaei, B. J., Ghanavati-Nejad, M., Tajally, A., & Sheikhalishahi, M. (2025). A novel stochastic machine learning approach for resilient-leagile supplier selection: A circular supply chain in the era of Industry 4.0. *Soft Computing, 29*(6), 2845–2866. https://doi.org/10.1007/s00500-025-10578-z

Moslemi, F., & Safaie, N. (2026). Designing a framework for solar power plant development using a multi-criteria decision-making approach and data envelopment analysis. *System Engineering and Productivity*, *6*(2), 37-62. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2067377.1369

Naser, L. J. M., Göksu, A., & Denizhan, B. (2026). An explainable AI-driven framework for sustainable supplier selection in healthcare systems: A methodological framework and proof of concept. *Systems, 14*(6), 709. https://doi.org/10.3390/systems14060709

Nayeri, S., Khoei, M. A., Rouhani-Tazangi, M. R., GhanavatiNejad, M., Rahmani, M., & Tirkolaee, E. B. (2023a). A data-driven model for sustainable and resilient supplier selection and order allocation problem in a responsive supply chain: A case study of healthcare system. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 124*, 106511. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106511

method. In *Decision Making Under Uncertainty Via Optimization, Modelling, and Analysis* (pp. 349–369). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-0085-4_19

Sahoo, B., Debnath, B. K., & Saha, A. (2025). An integrated Pythagorean fuzzy multi-criteria decision making model for best supplier selection in sustainable agile manufacturing. *RAIRO - Operations Research, 59*(5), 2577–2606. https://doi.org/10.1051/ro/2025094

Sahu, A. K., Sharma, M., Raut, R. D., Sahu, A. K., Sahu, N. K., Antony, J., & Tortorella, G. L. (2023). Decision-making framework for supplier selection using an integrated MCDM approach in a lean-agile-resilient-green environment: Evidence from Indian automotive sector. *The TQM Journal, 35*(4), 964–1006. https://doi.org/10.1108/TQM-12-2021-0372

Shao, Q., Liu, S., Lin, J., Liou, J. J. H., & Zhu, D. (2025). Green supplier evaluation in e-commerce systems: An integrated rough-Dombi BWM-TOPSIS approach. *Systems, 13*(9), 731. https://doi.org/10.3390/systems13090731

Sharma, M., & Joshi, S. (2023). Digital supplier selection reinforcing supply chain quality management systems to enhance firm's performance. *The TQM Journal, 35*(1), 102–130. https://doi.org/10.1108/TQM-07-2020-0160

Wang, C. N., Cao, T. B. O., Dang, T. T., & Nguyen, N. A. T. (2024). Third-party logistics provider selection in the Industry 4.0 era by using a fuzzy AHP and fuzzy MARCOS methodology. *IEEE Access, 12*, 67291–67313. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3392892

Wimalasena, S., Turskis, Z., & Šliogerienė, J. (2025). A hybrid fuzzy AHP-TOPSIS approach for green supplier selection: A case study in Sri Lanka. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 33*(4), 415–427. https://doi.org/10.3846/jeelm.2025.25194