System Engineering and Productivity/ 2027/ Vol.7/ No.2/ 135-168

System Engineering and Productivity

10.22034/sep.2026.2097353.1540

A Hybrid Fuzzy Decision-Making Model for Risk Management and Resilience Enhancement in Meat and Protein-Product Supply Chains (A Case Study)

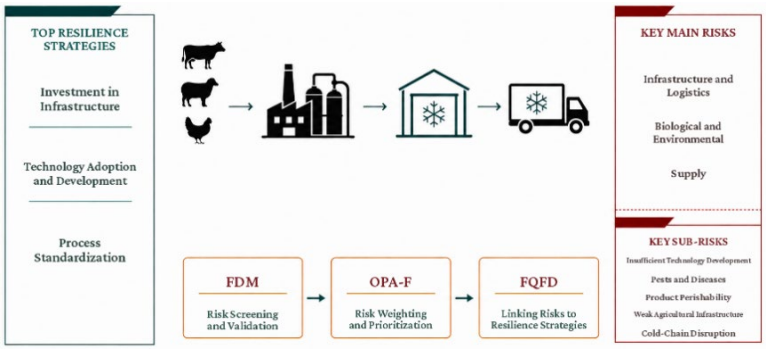
Mahnaz Zarei[*], **Amir Imanfar**

Department of Industrial Engineering, Shi.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran

HIGHLIGHTS

- Development of an integrated OPA-F–FQFD model for risk management and resilience enhancement.
- Infrastructure and logistics risks were identified as the most significant risk dimension.
- Investment in infrastructure emerged as the most important strategy for enhancing supply chain resilience.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:
Article Type: Research paper
Received: 15 August 2026
Revised: 24 September 2026
Accepted: 30 September 2026
Available online: 30 September 2026
[*]Correspondence:
mahnaz.zerei@iau.ac.ir
How to cite this article:
Zarei, M., & Imanfar, A. (2027). A hybrid fuzzy decision-making model for risk management and resilience enhancement in meat and protein-product supply chains (A case study). *System Engineering and Productivity*, 7 (2), 135-168.

Keywords:
Agri-food supply chain
Meat and protein products
Risk management
Resilience
Fuzzy Ordinal Priority Approach
Fuzzy Quality Function Deployment

ABSTRACT

Supply chain resilience in agri-food industries is of particular importance due to exposure to multiple risks and unforeseen disruptions. This study aims to develop a hybrid fuzzy decision-making model for identifying and assessing the importance of risks and formulating strategies to improve resilience in agri-food supply chains. The research is applied in terms of purpose and descriptive-survey in nature. The study data were collected from five experts and managers familiar with the meat and protein-products sector, who were selected through snowball sampling. First, influential risks and resilience strategies were extracted through a literature review and then evaluated and screened using the Fuzzy Delphi Method (FDM). Subsequently, the Fuzzy Ordinal Priority Approach (OPA-F) was employed to determine the importance and assign weights to risks, while the Fuzzy Quality Function Deployment (FQFD) approach was applied to identify appropriate resilience improvement strategies. The OPA-F results indicated that infrastructure and logistics risks, with a weight of 0.3849, constituted the most important risk dimension in the supply chain under study. Moreover, “insufficient technology development,” with a weight of 0.2012, was identified as the most critical sub-risk. The FQFD results revealed that "investment in infrastructure," "technology adoption and development," and "process standardization" are the most important strategies for improving resilience, respectively. The findings demonstrate that the application of hybrid fuzzy decision-making models can assist agri-food industry managers in identifying critical risks, prioritizing corrective actions, and enhancing supply chain resilience.

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

Agri-food supply chains (AFSCs) are essential to food security and economic development, yet their multi-actor structure and dependence on biological, environmental, infrastructural, and market conditions make them particularly susceptible to disruption. The perishability of food products, exposure to climatic variability, fluctuating input prices, uneven material quality, and transportation and cold-chain constraints can rapidly propagate failures across procurement, production, storage, and distribution. Recent crises, including the COVID-19 pandemic and intensifying climate and logistics disturbances, have further demonstrated that efficiency-oriented supply chains cannot ensure continuity unless they also possess the capacity to anticipate, absorb, respond to, recover from, and adapt to adverse events (Hosseini et al., 2019; Kazancoglu et al., 2024).

These challenges are especially pronounced in meat and protein-product supply chains. Their operations depend on strict food-safety requirements, uninterrupted refrigeration, reliable energy, stable access to raw materials, and close coordination among suppliers, processors, warehouses, and distributors. A localized failure in technology, quality control, refrigeration, or supply can therefore affect the entire chain and increase product loss, service disruption, and public-health exposure (Davoudi et al., 2024). Improving resilience requires more than compiling a list of risks: managers need a structured mechanism for validating context-specific risks, determining their relative importance, and translating the results into prioritized and mutually compatible actions.

Previous research has extensively examined AFSC risk identification, risk assessment, and resilience capabilities, but these activities are often treated as separate analytical stages. Evidence remains limited on integrated, context-sensitive frameworks that quantitatively connect the importance of risks to the strategies capable of addressing them, particularly in real industrial meat and protein complexes. Moreover, such decisions are frequently based on linguistic expert judgments rather than complete quantitative datasets. Fuzzy multi-criteria decision-making is therefore suitable because it retains the ambiguity inherent in expert assessments while enabling systematic comparison of multiple risks and actions (Afrasiabi, et al., 2022; Sahoo & Goswami, 2023).

Accordingly, this study develops an integrated FDM–OPA-F–FQFD framework for managing risk and strengthening resilience in an agri-food supply chain. It aims to (i) identify and validate the relevant main and sub-risks and resilience strategies, (ii) determine the relative importance of the validated risks, and (iii) prioritize resilience strategies by considering both risk importance and the relationships among risks and strategies. The framework is intended to turn expert knowledge into transparent implementation priorities and support the targeted allocation of limited managerial resources.

2. Methodology

Protein-product manufacturers operating in the Shiraz Special Economic Zone and Industrial Estate, Iran. Five senior managers and specialists were selected through snowball sampling. Their expertise covered supply-chain management, production and operations, procurement and supplier management, quality and food safety, warehousing, cold-chain management, and distribution; their professional experience ranged from 18 to 32 years. Literature-derived factors were supplemented with context-specific suggestions from this expert committee.

The analysis proceeded in three linked stages. First, the Fuzzy Delphi Method (FDM) was used to screen and validate risks and resilience strategies. Experts rated each factor on a five-level linguistic scale represented by triangular fuzzy numbers. Their judgments were aggregated, defuzzified by the centroid method, and compared with a 0.70 acceptance threshold. Consensus was assessed across two rounds using the absolute change in defuzzified scores, with a maximum acceptable difference of 0.10. From an initial set of 20 risks and 12 strategies, two risks and two strategies were removed; the second round confirmed consensus on 18 sub-risks grouped under seven main risk dimensions and ten resilience strategies.

Second, the Fuzzy Ordinal Priority Approach (OPA-F) was applied to derive the weights of the validated risks. Experts expressed risk importance through linguistic rankings converted to triangular fuzzy numbers. The attribute-based OPA-F linear-programming model simultaneously incorporated expert judgments and ordinal positions without requiring pairwise comparisons or prior normalization. The resulting fuzzy weights were defuzzified and ranked in descending order (Ataei et al., 2020; Mahmoudi et al., 2022).

Third, Fuzzy Quality Function Deployment (FQFD) translated the risk assessment into resilience priorities. In the House of Quality, the validated risks were defined as WHATs and the resilience strategies as HOWs. Experts evaluated the strength of each WHAT–HOW relationship and the positive or negative correlations between HOWs using established linguistic scales (Bottani & Rizzi, 2006). Initial strategy importance was calculated by combining fuzzy risk weights with the aggregated risk–strategy relationship matrix. The scores were then adjusted for inter-strategy correlations, defuzzified, and ranked. Finally, seven sensitivity scenarios varied the weight of the most important main risk while proportionally redistributing the remaining weights. Rank stability was examined through scenario comparisons and Spearman rank correlations.

3. Results and Discussion

The FDM stage established a contextually validated decision structure consisting of seven main risks, 18 sub-risks, and ten resilience strategies. The seven main risks were supply, demand, financial, infrastructure and logistics, biological and environmental, climate and natural disasters, and political and legal risks. Consensus in the second Delphi round indicated that the retained factors were both relevant to the case and sufficiently stable for subsequent weighting and strategy evaluation.

OPA-F identified infrastructure and logistics risks as the dominant risk dimension, with a final weight of 0.3849, followed by biological and environmental risks (0.2492) and supply risks (0.1333). The remaining dimensions—climate and natural disasters (0.0678), political and legal risks (0.0657), demand risks (0.0509), and financial risks (0.0482)—received lower relative priorities. However, these lower weights should not be interpreted as indicating that these dimensions are unimportant. Rather, the ordering reflects the experts' assessment of the case-specific concentration of vulnerability in operational infrastructure, logistics, biological exposure, and supply continuity.

At the sub-risk level, insufficient technology development ranked first, with a final weight of 0.2012, followed by pests and diseases (0.1635), product perishability (0.0857), weak agricultural infrastructure (0.0711), and cold-chain disruption (0.0685). These results reveal a coherent vulnerability pattern. Limited technological capability reduces visibility, monitoring, process control, forecasting, and rapid response. Biological hazards and product perishability can directly degrade product quality and safety, while weak agricultural infrastructure and cold-chain failures amplify losses during storage and distribution. The findings are consistent with research emphasizing the role of refrigeration, logistics reliability, and technological capability in limiting waste and disruption in perishable-food and meat supply chains (Davoudi et al., 2024; Kumar et al., 2021).

The FQFD results ranked investment in infrastructure as the most important resilience strategy, with a defuzzified score of 2.018, followed by technology adoption and development (1.748) and process standardization (1.590). Safe and flexible inventory management (1.483), diversification of supply sources (1.415), a supply-chain risk-management culture (1.276), transparency and information sharing (1.062), financial instruments (1.027), public and policy programs (1.026), and enhanced supply-and-demand forecasting (0.681) occupied the subsequent positions. The leading strategies align closely with the highest-ranked vulnerabilities: infrastructure investment can strengthen storage, transport, energy reliability, and cold-chain continuity; technology adoption can improve traceability, real-time monitoring, data exchange, and decision speed; and process standardization can reduce quality variability and support consistent food-safety and operating controls.

The priorities are mutually reinforcing rather than isolated. Infrastructure provides the physical platform for reliable operations, technology supplies visibility and analytical capability, and standardization embeds repeatable controls across organizational boundaries. Together, these three leading strategies can improve prevention and preparedness before disruptions, support coordinated responses during incidents, and accelerate recovery afterward. Managers should therefore consider a staged portfolio: first, address critical cold-chain, energy, transport, and storage gaps; second, deploy monitoring, traceability, and information technologies; and concurrently institutionalize standardized quality, safety, and contingency procedures. Complementary measures such as diversified sourcing, flexible safety stocks, and risk-sharing financial tools can further reduce residual exposure.

Sensitivity analysis confirmed the robustness of the strategy ranking. Even when the weight of infrastructure and logistics risk—the highest-weighted risk dimension—was varied extensively, investment in infrastructure, technology adoption and development, and process standardization retained the first three positions in every scenario. The Spearman rank-correlation coefficients across the scenarios ranged from 0.939 to 1.000, with an average of 0.972. Only limited changes occurred among the lower-ranked alternatives. This stability strengthens the practical credibility of the recommendations and indicates that the three leading strategies respond simultaneously to several risk dimensions rather than merely addressing the single highest-weighted risk.

The study contributes methodologically by integrating factor validation through FDM, fuzzy risk weighting through OPA-F, and strategy translation and prioritization through FQFD within a unified decision-support process. Unlike stand-alone prioritization exercises, the FQFD component explicitly links each strategy to the risks it mitigates and incorporates interdependencies among the ten resilience strategies. Practically, the framework helps managers distinguish between actions that appear attractive in isolation and those that provide broad, risk-adjusted resilience value under uncertainty.

4. Conclusions

This study proposed a hybrid fuzzy decision-making framework to identify critical risks and prioritize resilience strategies in the supply chain of meat and protein-product manufacturers. Combining FDM, OPA-F, and FQFD enabled the research to validate context-specific factors, preserve uncertainty in expert judgments, weight risk dimensions, and

convert risk priorities into actionable strategic responses. The results show that the case supply chain is most vulnerable to infrastructure and logistics constraints, biological and environmental threats, and supply-related instability. At a more detailed level, insufficient technology development, pests and diseases, product perishability, weak agricultural infrastructure, and cold-chain disruption require particular managerial attention.

Investment in infrastructure, technology adoption and development, and process standardization emerged as the most effective resilience strategies. Their stable positions under sensitivity analysis indicate that they offer robust value across alternative risk-weight assumptions. The proposed framework can therefore support agri-food managers in identifying critical vulnerabilities, sequencing corrective investments, and strengthening the capacities to respond, adapt, and recover.

The findings should nevertheless be interpreted in light of several limitations. The expert panel was small because the subject required specialized operational knowledge, and the views of all stakeholder groups may not be fully represented. The data were judgment-based and collected at one point in time; fuzzy logic captures ambiguity but cannot remove subjectivity. The single-case design also limits direct generalization across industries and regions, and causal interactions among risks were not independently modeled. Future studies could include broader stakeholder samples, replicate the framework across different AFSCs and geographic settings, examine temporal changes, and model causal risk structures using fuzzy DEMATEL, ISM, or MICMAC. Comparative weighting and ranking with OPA-G, fuzzy BWM, ARAS, COPRAS, MULTIMOORA, or EDAS would provide further robustness evidence.

Acknowledgments

The authors thank the managers, specialists, and experts of the agri-food supply chain under study for their assistance with data collection and for sharing their professional insights

Funding

The authors declare that they have no conflicts of interests.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Author Contribution Statement

Mahnaz Zarei: Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Methodology, Resources, Software, Validation, Visualization, Project administration, Supervision, Writing – original draft, Writing – review & editing; **Amir Imanfar:** Data Curation, Methodology, Formal analysis, Writing – original draft.

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

Afrasiabi, A., Tavana, M., & Di Caprio, D. (2022). An extended hybrid fuzzy multi-criteria decision model for sustainable and resilient supplier selection. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(25), 37291-37314. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17851-2

Ataei, Y., Mahmoudi, A., Feylizadeh, M. R., & Li, D.-F. (2020). Ordinal priority approach (OPA) in multiple attribute decision-making. *Applied Soft Computing*, *86*, 105893. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105893

Bottani, E., & Rizzi, A. (2006). Strategic management of logistics service: A fuzzy QFD approach. *International Journal of Production Economics*, *103*(2), 585-599. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.11.006

Davoudi, S., Stasinopoulos, P., & Shiwakoti, N. (2024). Two decades of advancements in cold supply chain logistics for reducing food waste: A review with focus on the meat industry. *Sustainability*, *16*(16), 6986. https://doi.org/10.3390/su16166986

Hosseini, S., Ivanov, D., & Dolgui, A. (2019). Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *125*, 285-307. https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.001

Kazancoglu, Y., Sezer, M. D., Ozbiltekin-Pala, M., Lafçı, Ç., & Sarma, P. R. S. (2024). Evaluating resilience in food supply chains during COVID-19. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *27*(5), 688-704. https://doi.org/10.1080/13675567.2021.2003762

Kumar, A., Mangla, S. K., Kumar, P., & Song, M. (2021). Mitigate risks in perishable food supply chains: Learning from COVID-19. *Technological Forecasting and Social Change*, *166*, 120643. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120643

Mahmoudi, A., Javed, S. A., & Mardani, A. (2022). Gresilient supplier selection through fuzzy ordinal priority approach: decision-making in post-COVID era. *Operations Management Research*, *15*(1), 208-232. https://doi.org/10.1007/s12063-021-00178-z

Sahoo, S. K., & Goswami, S. S. (2023). A comprehensive review of multiple criteria

decision-making (MCDM) methods: advancements, applications, and future directions. *Decision Making Advances*, *1*(1), 25-48. https://doi.org/10.31181/dma1120237

مهندسی سیستم و بهره‌وری/ سال ۱۴۰۶/ دوره ۷/ شماره ۲/ صفحه ۱۳۵-۱۶۸

نشریه مهندسی سیستم و بهره‌وری

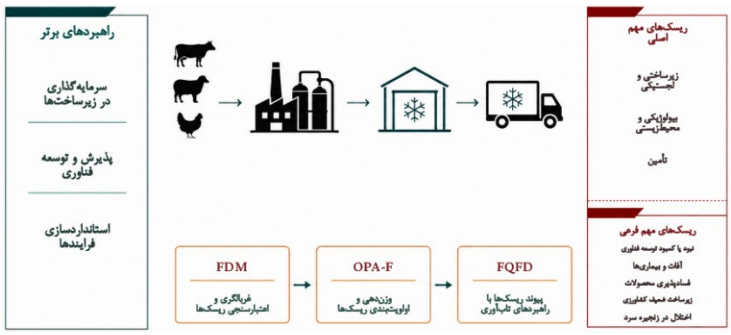
10.22034/sep.2026.2097353.1540

مدل تصمیم‌گیری فازی ترکیبی برای مدیریت ریسک و ارتقای تاب‌آوری زنجیره تأمین محصولات گوشتی و پروتئینی (یک مطالعه موردی)

مهناز زارعی[*]، **امیر ایمان‌فر**

گروه مهندسی صنایع، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

چکیده گرافیکی



برجسته‌ها

- توسعه مدل OPA-F-FQFD برای مدیریت ریسک و بهبود تاب‌آوری
- ریسک‌های زیرساختی و لجستیکی مهم‌ترین بعد شناخته شدند.
- سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها مهم‌ترین راهبرد ارتقای تاب‌آوری زنجیره تأمین نتیجه شد.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۲۴

بازنگری: ۱۴۰۵/۰۷/۰۲

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۰۸

ارائه برخط: ۱۴۰۵/۰۷/۰۸

*نویسنده مسئول:

mahnaz.zarei@iau.ac.ir

کلیدواژه‌ها:

زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی

محصولات گوشتی و پروتئینی

مدیریت ریسک

تاب‌آوری

روش اولویت ترتیبی فازی

رویکرد گسترش عملکرد کیفیت فازی

چکیده

تاب‌آوری زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی به دلیل مواجهه با ریسک‌های متعدد و اختلالات پیش‌بینی‌نشده اهمیت ویژه‌ای دارد. پژوهش حاضر با هدف ارائه مدل تصمیم‌گیری فازی ترکیبی برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها و اولویت‌بندی راهبردهای بهبود تاب‌آوری انجام شد. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت توصیفی–پیمایشی است. داده‌های پژوهش از دیدگاه پنج خبره و مدیر آشنا با بخش محصولات گوشتی و پروتئینی که به روش نمونه‌گیری گلوله‌برفی انتخاب شدند، گردآوری شد. ابتدا ریسک‌ها و راهبردهای تاب‌آوری از طریق مرور ادبیات استخراج و با روش دلفی فازی غربالگری شدند. سپس، برای وزن‌دهی ریسک‌ها از OPA-F و برای اولویت‌بندی راهبردها از FQFD استفاده شد. نتایج نشان داد ریسک‌های زیرساختی و لجستیکی با وزن ۰/۳۸۴۹ مهم‌ترین بعد ریسک و نبود یا کمبود توسعه فناوری با وزن ۰/۲۰۱۲ مهم‌ترین ریسک فرعی است. همچنین، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، پذیرش و توسعه فناوری و استانداردسازی فرآیندها به ترتیب مهم‌ترین راهبردهای بهبود تاب‌آوری شناخته شدند. یافته‌ها نشان می‌دهند مدل پیشنهادی می‌تواند مدیران را در شناسایی ریسک‌های بحرانی، تخصیص هدفمند منابع، اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی و تقویت آمادگی، پاسخگویی و بازیابی زنجیره تأمین در برابر اختلالات احتمالی به‌طور مؤثر یاری کند.

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

زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی[1] از نظام‌های حیاتی در تأمین امنیت غذایی و توسعه اقتصادی است و فعالیت‌هایی از تأمین نهاده‌ها و تولید تا فرآوری، توزیع و مصرف را دربر می‌گیرد. تعدد بازیگران، فسادپذیری محصولات، وابستگی به شرایط اقلیمی، نوسانات بازار و محدودیت‌های لجستیکی، مدیریت این زنجیره را پیچیده کرده و آن را در معرض ریسک‌ها و اختلالات متعددی قرار داده است (Mohammadpour et al., 2024؛ Singh & Dwivedi, 2025).

در سال‌های اخیر، بحران‌هایی مانند همه‌گیری کووید-۱۹، تشدید تغییرات اقلیمی، اختلال در شبکه‌های حمل‌ونقل، نوسانات قیمت نهاده‌ها و بی‌ثباتی بازارهای جهانی، آسیب‌پذیری زنجیره‌های تأمین غذایی را بیش‌ازپیش آشکار کرده‌اند. تجربه این بحران‌ها نشان می‌دهد که تمرکز صرف بر افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها، بدون توسعه قابلیت مقابله با اختلالات، نمی‌تواند استمرار عملکرد زنجیره تأمین را تضمین کند (Kazancoglu et al., 2024). ازاین‌رو، تاب‌آوری زنجیره تأمین به‌عنوان قابلیت پیش‌بینی و جذب اختلال، پاسخ‌گویی مؤثر، بازیابی عملکرد و سازگاری با شرایط جدید، به یکی از موضوعات مهم پژوهشی و مدیریتی تبدیل شده است (Hosseini et al., 2019).

ارتقای تاب‌آوری در AFSC مستلزم آن است که منابع ریسک به‌درستی شناسایی شوند و راهبردهایی متناسب با اهمیت و آثار هر ریسک تدوین گردد. ریسک‌های این حوزه طیف متنوعی از عوامل مرتبط با تأمین، تولید، محیط‌زیست، فناوری، بازار، زیرساخت و لجستیک را شامل می‌شوند و بروز هر یک از آن‌ها می‌تواند عملکرد بخش‌های مختلف یا حتی کل زنجیره را مختل کند (Singh & Dwivedi, 2025)؛ بنابراین، مدیریت ریسک به‌عنوان یکی از پایه‌های اصلی تاب‌آوری، تنها به شناسایی مخاطرات محدود نمی‌شود، بلکه تعیین اهمیت نسبی آن‌ها و انتخاب اقدامات اصلاحی اثربخش را نیز در بر می‌گیرد.

این ضرورت در زنجیره تأمین مجتمع‌های صنعتی پروتئینی اهمیت بیشتری دارد. فسادپذیری بالای محصولات، لزوم رعایت الزامات سخت‌گیرانه بهداشتی، وابستگی به زنجیره سرد و تأمین پایدار انرژی، نوسان کیفیت و قیمت مواد اولیه و پیوستگی فعالیت‌های تأمین، تولید، نگهداری و توزیع، این مجتمع‌ها را با مجموعه‌ای از ریسک‌های متعامل مواجه می‌کند. در چنین محیطی، وقوع اختلال در یک بخش می‌تواند عملکرد سایر حلقه‌ها را نیز تحت تأثیر قرار دهد (Davoudi et al., 2024). ازاین‌رو، مدیریت اثربخش ریسک مستلزم رویکردی زمینه‌مند است که ویژگی‌های عملیاتی مجتمع و قضاوت خبرگان همان صنعت را در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ کند.

با وجود گسترش مطالعات مدیریت ریسک و تاب‌آوری در AFSC، بخش مهمی از پژوهش‌های پیشین بر شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها تمرکز کرده‌اند (Krstić et al., 2023) یا راهبردها و قابلیت‌های تاب‌آوری را در مواجهه با اختلالات و شرایط خاص ارزیابی کرده‌اند (Nguyen, 2022). اگرچه در برخی مطالعات برای تبیین ارتباط میان ریسک‌ها و قابلیت‌های تاب‌آوری تلاش شده است (Zhao et al., 2024)، شواهد درباره چارچوبی زمینه‌مند، تفصیلی و یکپارچه که بتواند در بستر واقعی مجتمع‌های صنعتی پروتئینی، ریسک‌ها و راهبردهای مرتبط را اعتبارسنجی کند، اهمیت ریسک‌ها را تعیین نماید و نتایج را بر اساس روابط ریسک–راهبرد به اولویت‌های اجرایی تبدیل کند، همچنان محدود است. بنابراین، شکاف پژوهشی موجود نه فقدان مطالعات مرتبط، بلکه پراکندگی مراحل تحلیل و محدود بودن سازوکارهای عملیاتی برای پیوند کمی ارزیابی ریسک با برنامه‌ریزی تاب‌آوری است.

از سوی دیگر، تصمیم‌گیری در این حوزه معمولاً در شرایط نبود داده‌های کمی کافی، ابهام اطلاعات و وابستگی به دانش و تجربه خبرگان انجام می‌شود. در چنین شرایطی، روش‌های قطعی ممکن است نتوانند عدم قطعیت موجود در قضاوت‌های انسانی را به‌طور مناسب بازنمایی کنند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی، به دلیل برخورداری از قابلیت انعکاس قضاوت‌های زبانی، مدیریت ابهام و تحلیل هم‌زمان معیارهای متعدد، ابزار مناسبی برای بررسی مسائل پیچیده مدیریت زنجیره تأمین به شمار می‌روند (Afrasiabi, Tavana, et al., 2022؛ Sahoo & Goswami, 2023). تلفیق این روش‌ها با

[1] Agri-Food Supply Chain

ابزارهای ارزیابی ریسک نیز می‌تواند شناسایی، اعتبارسنجی و اولویت‌بندی نظام‌مند عوامل ریسک و اقدامات مقابله‌ای را در شرایط عدم قطعیت تسهیل کند (Khalilzadeh et al., 2021؛ Ibrahim et al., 2026).

در پاسخ به این نیاز، پژوهش حاضر یک مدل تصمیم‌گیری فازی ترکیبی مبتنی بر روش دلفی فازی[1]، روش اولویت ترتیبی فازی[2] و گسترش عملکرد کیفیت فازی[3] ارائه می‌کند. در مرحله نخست، عوامل ریسک و راهبردهای تاب‌آوری استخراج‌شده از ادبیات با استفاده از نظر خبرگان مجتمع موردمطالعه اعتبارسنجی می‌شوند. در مرحله دوم، اهمیت ابعاد و عوامل ریسک با استفاده از OPA-F تعیین می‌شود. در مرحله سوم، وزن ریسک‌های تأییدشده و شدت روابط میان ریسک‌ها و راهبردها در ساختار FQFD تلفیق می‌شوند تا راهبردهای تاب‌آوری متناسب با شرایط مجتمع اولویت‌بندی شوند. بدین ترتیب، اولویت هر راهبرد صرفاً بر اساس ارزیابی مستقل آن تعیین نمی‌شود، بلکه اهمیت ریسک‌هایی که راهبرد قادر به کنترل آن‌هاست نیز در محاسبات تأثیر می‌گذارد.

بر این اساس، هدف اصلی پژوهش، ارائه یک مدل تصمیم‌گیری فازی ترکیبی برای مدیریت ریسک و بهبود تاب‌آوری در زنجیره تأمین مجتمع‌های صنعتی پروتئینی است. این مدل می‌تواند مدیران را در شناسایی ریسک‌های بحرانی، تخصیص هدفمند منابع و انتخاب اقدامات اثربخش در شرایط عدم قطعیت یاری کند. برای دستیابی به این هدف، پژوهش حاضر به پرسش‌های زیر پاسخ می‌دهد:

۱) مهم‌ترین ریسک‌های مؤثر بر تاب‌آوری زنجیره تأمین مجتمع‌های صنعتی پروتئینی کدام‌اند؟
۲) اهمیت نسبی ابعاد و عوامل ریسک در این زنجیره چگونه تعیین می‌شود؟
۳) کدام راهبردها از بیشترین اولویت برای مقابله با ریسک‌ها و بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین برخوردارند؟

ادامه مقاله به‌این‌ترتیب سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم، مبانی نظری و پیشینه پژوهش مرور می‌شود؛ بخش سوم به تشریح چارچوب ترکیبی FDM–OPA-F–FQFD اختصاص دارد؛ در بخش چهارم، مطالعه موردی، یافته‌ها و تفسیر آن‌ها ارائه می‌شوند؛ در بخش پنجم، نتیجه‌گیری، محدودیت‌ها و پیشنهادهای پژوهشی بیان می‌شوند.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱- زنجیره تأمین کشاورزی-غذایی، ریسک و راهبردهای تاب‌آوری

زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی مجموعه‌ای از فعالیت‌های به‌هم‌پیوسته از تأمین نهاده و تولید اولیه تا فرآوری، بسته‌بندی، انبارش، توزیع و مصرف نهایی را دربر می‌گیرد. فسادپذیری محصولات، وابستگی به شرایط اقلیمی و فصلی، نوسان عرضه، تقاضا و قیمت و نیز الزامات ایمنی و کیفیت غذا، این زنجیره را در مقایسه با بسیاری از زنجیره‌های صنعتی آسیب‌پذیرتر می‌سازد. افزون بر این، وابستگی متقابل حلقه‌های زنجیره سبب می‌شود وقوع یک ریسک در یک بخش، پیامدهایی زنجیره‌ای در سایر بخش‌ها ایجاد کند؛ برای مثال، خشکسالی می‌تواند کاهش تولید، افزایش قیمت، فشار بر شبکه توزیع و اختلال در تأمین بازار را به دنبال داشته باشد. ریسک زنجیره تأمین به احتمال وقوع رویدادهایی اشاره دارد که جریان عادی مواد، اطلاعات و منابع مالی را مختل کرده و عملکرد زنجیره را کاهش می‌دهند (Singh & Dwivedi, 2025). ریسک‌های اصلی استخراج‌شده از پیشینه در **جدول ۱** ارائه شده‌اند.

در مقابل، تاب‌آوری بیانگر ظرفیت زنجیره برای پیش‌بینی و جذب اختلال، واکنش مؤثر، بازیابی سریع و انطباق با شرایط جدید است؛ بنابراین، تاب‌آوری صرفاً به بازگشت به وضعیت پیش از بحران محدود نیست، بلکه یادگیری، بازپیکربندی منابع و بهبود توان سازگاری را نیز شامل می‌شود (Motevalli et al., 2024). تحقق این قابلیت مستلزم به‌کارگیری مجموعه‌ای هماهنگ از اقدامات فناورانه، مالی، زیرساختی و مدیریتی است که مهم‌ترین آن‌ها در **جدول ۲** آمده است.

۲-۲- مرور پیشینه و تبیین شکاف تحقیق

عشقعلی و جعفریان با استفاده از روش‌های دلفی فازی و DEMATEL فازی، روابط علّی عوامل مؤثر بر تعامل

[1] Fuzzy Delphi Method (FDM)
[2] Fuzzy Ordinal Priority Approach (OPA-F)
[3] Fuzzy Quality Function Deployment (FQFD)

کشاورزان و کارخانه‌ها را بررسی کردند. نتایج نشان داد کیفیت روابط، عدم قطعیت رفتاری و تعادل زنجیره تأمین بیشترین تأثیرگذاری را دارند و غلبه منافع فردی، هماهنگی اعضا را تضعیف می‌کند (Eshghali & Jafarian, 2024).

کریمی و همکاران نیز با مضمون‌کاوی، ISM و مدل‌سازی معادلات ساختاری نشان دادند عوامل انسانی، طبیعی، اقتصادی و آگاهی بر اختلالات عملیاتی زنجیره تأمین مواد غذایی اثر می‌گذارند و قابلیت‌هایی مانند شفافیت، همکاری، چابکی و انعطاف‌پذیری را تقویت می‌کنند (Karimi et al., 2024). اسکندری و همکاران نیز با استفاده از TISM و MICMAC فازی نشان دادند دسترسی به اعتبار، انعطاف‌پذیری تقاضا، دقت پیش‌بینی، چرخه عمر محصول و پایبندی به تعهدات، عوامل اصلی بحران فروش مواد غذایی هستند (Eskandari et al., 2025). همچنین، درمیان و همکاران با تلفیق SWARA و EDAS فازی، صنایع تبدیلی کشاورزی شرق ایران را بر اساس معیارهای پایداری ارزیابی کردند. نتایج، صنایع فرآوری زرشک و زعفران را در اولویت نخست قرار داد و ارزش‌افزوده، دوره بازگشت سرمایه و اشتغال‌زایی را مهم‌ترین معیارها معرفی کرد (Darmian et al., 2023).

در سالیان اخیر، برخی از پژوهش‌ها، مستقیماً ریسک‌ها و راهبردهای تاب‌آوری زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی را بررسی کرده‌اند. علی و همکاران نیز الگوی ریسک و راهبردهای تاب‌آوری بنگاه‌های کوچک و متوسط AFSC در سه کشور توسعه‌یافته را بر اساس مصاحبه بررسی نمودند، نتایج نشان داد این الگو متناسب با شرایط کشورها متفاوت است (Ali et al., 2023). کرستیچ و همکاران با ترکیب BWM و COBRA خاکستری، هفت گروه ریسک AFSC چرخشی را ارزیابی کردند و ریسک‌های محصول، لجستیک و مدیریت را مهم‌ترین ریسک‌های قابل‌کنترل دانستند (Krstić et al., 2023). سینگ و دویودی نیز با FAHP، F-TOPSIS و FQFD نشان دادند ریسک‌های لجستیکی و زیرساختی بالاترین اهمیت را در AFSC دارند و پذیرش فناوری، برترین راهبرد تاب‌آوری است (Singh & Dwivedi, 2025).

در میان مطالعات متمرکز بر زنجیره تأمین محصولات دامی و گوشتی، هابز با بررسی پیامدهای همه‌گیری کووید–۱۹ بر صنعت فرآوری گوشت نشان داد شوک‌های همزمان عرضه و تقاضا، نقاط آسیب‌پذیر این زنجیره را آشکار کرده‌اند. وی ساختار پراکنده‌تر صنعت، شناسایی پیش‌دستانه نقاط آسیب‌پذیر و توسعه اتوماسیون و دیجیتالی‌شدن را در تقویت انعطاف‌پذیری زنجیره مؤثر دانست (Hobbs, 2021). وایت‌هد و کیم نیز با مرور آثار کووید–۱۹ بر زنجیره تأمین گوشت ایالات‌متحده نشان دادند کاهش ظرفیت واحدهای فرآوری، کمبود نیروی انسانی و تغییر تقاضای بازار، عرضه گوشت را مختل کرده و پیامدهای اقتصادی، ایمنی و رفاهی ایجاد کرده است (Whitehead & Brad Kim, 2022). فوکر و همکاران با توسعه یک مدل شبیه‌سازی تصادفی، تاب‌آوری زنجیره تأمین گوشت خوک هلند را در برابر آلودگی دیوکسین ارزیابی کردند. نتایج نشان داد پایش در چند نقطه کنترلی، به‌ویژه در کارخانه‌های خوراک دام و واحدهای ذوب چربی، موجب افزایش تاب‌آوری و کاهش هزینه‌های ناشی از بحران می‌شود (Focker et al., 2024). روی و همکاران نیز با استفاده از تحلیل پارتو و DEMATEL، موانع دستیابی به زنجیره تأمین پایدار و تاب‌آور صنعت مرغداری بنگلادش را بررسی کردند و عدم‌اطمینان در تأمین، پیش‌بینی نادرست، مسائل زیست‌محیطی، ضعف اشتراک‌گذاری اطلاعات و ضعف مدیریت را مهم‌ترین موانع معرفی نمودند (Roy et al., 2024). علی و همکاران نیز با مرور منابع، AHP و مدل پروبیت چندمتغیره، راهبردهای کاهش ریسک زنجیره تأمین دام و عوامل مؤثر بر پذیرش آن‌ها را بررسی کردند. نتایج نشان داد بیمه دام، واکسیناسیون و خدمات مشاوره‌ای–ترویجی مهم‌ترین راهبردهای کاهش ریسک هستند (Ali et al., 2025).

در حوزه راهبردها و سنجش تاب‌آوری، کومار و کومار سینگ با روش‌های BWM و QFD، پیامدهای کووید–۱۹ و راهبردهای تاب‌آوری زنجیره محصولات فسادپذیر در AFSC را تحلیل و قابلیت این رویکرد را در حفظ جریان محصولات تأیید کردند (Kumar & Kumar Singh, 2022). ژائو و همکاران نیز با مرور ۹۵ مقاله، هشت ریسک و هفت قابلیت تاب‌آوری را در AFSC شناسایی کردند و همکاری، ردیابی، افزونگی، مدیریت دانش، نوآوری، رهبری و انعطاف‌پذیری را محوری دانستند؛ بااین‌حال، پژوهش آن‌ها فاقد اعتبارسنجی خبرگانی و رتبه‌بندی کمی بود (Zhao et al., 2024).

جدول ۱. ریسک‌های زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی منتج از پیشینه

Table 1. Risks in AFSC identified from the literature

ریسک اصلی	ریسک فرعی	مرجع
تأمین	ضعف اشتراک‌گذاری اطلاعات بین شرکا برنامه‌ریزی ضعیف	Behzadi et al. (2018) Kumar et al. (2021) Singh & Dwivedi (2025)
تقاضا	عدم تعادل عرضه و تقاضا نوسانات قیمت بازار	Behzadi et al. (2018) Kumar et al. (2021) Singh & Dwivedi (2025)
مالی	تأخیر در پرداخت‌ها بدهی‌های معوق	Kumar et al. (2021) Singh & Dwivedi (2025)
زیرساختی و لجستیکی	هزینه‌های بالای انرژی زیرساخت ضعیف کشاورزی نبود یا کمبود توسعه فناوری	Kumar et al. (2021) Singh & Dwivedi (2025)
بیولوژیکی و محیط‌زیستی	آفات و بیماری‌ها	Kumar et al. (2021) Singh & Dwivedi (2025)
اقلیمی و بلایای طبیعی	شرایط شدید آب‌وهوایی بلایای طبیعی	Kumar et al. (2021) Singh & Dwivedi (2025)
سیاسی و قانونی	شرایط سیاسی سیاست‌های مالی حکمرانی	Kumar et al. (2021) Singh & Dwivedi (2025)

جدول ۲. استراتژی‌های تاب‌آوری در زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی منتج از پیشینه

Table 2. Resilient strategies in AFSC identified from the literature

استراتژی کاهش ریسک	توضیح	مرجع
پذیرش و توسعه فناوری	به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال برای افزایش ردیابی، شفافیت و واکنش‌پذیری زنجیره.	Keramydas et al. (2015) Singh & Dwivedi (2025)
ابزارهای مالی	استفاده از بیمه، اعتبار، وام و تأمین مالی انبار برای کاهش ریسک مالی.	Joshi et al. (2023) Keramydas et al. (2015) Singh & Dwivedi (2025)
سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها	توسعه زیرساخت‌های لجستیکی، ارتباطی، انبارداری و سامانه‌های هشدار زودهنگام.	Keramydas et al. (2015) Singh & Dwivedi (2025)
برنامه‌های عمومی و سیاسی	اجرای سیاست‌ها و برنامه‌های دولتی برای حمایت و پایداری زنجیره.	Keramydas et al. (2015) Singh & Dwivedi (2025)
شفافیت تسهیم اطلاعات	تبادل اطلاعات و منابع میان ذی‌نفعان برای هماهنگی، پیش‌بینی و اعتمادسازی.	Keramydas et al. (2015) Singh & Dwivedi (2025)
فرهنگ مدیریت ریسک زنجیره تأمین	نهادینه‌سازی تنوع، انعطاف‌پذیری، برنامه‌ریزی اضطراری و مدیریت دانش و ریسک.	Behzadi et al. (2018) Joshi et al. (2023) Singh & Dwivedi (2025)
مجموعه اقدامات خصوصی	اقدامات محلی و مشارکتی، ایمنی غذایی و تنوع‌بخشی کشاورزی برای کاهش ریسک.	Joshi et al. (2023) Keramydas et al. (2015) Singh & Dwivedi (2025)

در مطالعات جدیدتر، نقش فناوری و دیجیتالی‌شدن در تقویت تاب‌آوری AFSC موردتوجه قرار گرفته است. ایکساری و همکاران با تحلیل علم‌سنجی ۳۲۰ مقاله نشان دادند پایداری با مدیریت ریسک، اقتصاد چرخشی، تاب‌آوری، هوش مصنوعی و بلاک‌چین در AFSC پیوند دارد (Ikasari et al., 2025). شن و جیانگ با تحلیل داده‌های ۳۱ استان چین در دوره ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۳ نشان دادند اقتصاد دیجیتال، به‌طور مستقیم و از طریق سرریزهای فضایی، تاب‌آوری زنجیره محصولات کشاورزی را افزایش می‌دهد (Shen & Jiang, 2026). فریوند و

همکاران نیز بر اساس مصاحبه در شش زیربخش، ده قابلیت تاب‌آوری را در سطوح بنیادی، عملیاتی و تحول‌آفرین AFSC شناسایی کردند و فناوری‌های ابری، اینترنت اشیا، اتوماسیون و تحلیل پیشرفته را توانمندساز آن‌ها دانستند (Freund et al., 2026). ابراهیم و همکاران نیز با دلفی، DEA و ISM فازی نشان دادند آموزش، استفاده از یخ و بهبود زیرساخت بازار، مؤثرترین راهبردهای کاهش تلفات ماهی هستند (Ibrahim et al., 2026). بررسی مطالعات پیشین در **جدول ۳** نشان می‌دهد که ادبیات موجود، ابعاد متنوعی از ریسک و تاب‌آوری زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی را پوشش داده است؛ بااین‌حال، یافته‌ها عمدتاً پراکنده‌اند و هر مطالعه تنها بخشی از مسئله، مانند شناسایی ریسک‌ها، ارزیابی قابلیت‌های تاب‌آوری یا اولویت‌بندی مجموعه‌ای محدود از راهبردها را بررسی کرده است. مطالعات مرتبط با زنجیره‌های دام، گوشت، مرغ و ماهی نیز بیشتر بر اختلالی خاص، ازجمله همه‌گیری، آلودگی، بیماری دام، عدم‌اطمینان در تأمین یا تلفات محصول، متمرکز بوده‌اند. ازاین‌رو، شکاف پژوهش حاضر نه فقدان مطالعات مرتبط، بلکه محدود بودن شواهد درباره چارچوبی زمینه‌مند، تفصیلی و یکپارچه برای مدیریت ریسک در مجتمع‌های صنعتی پروتئینی است. این مجتمع‌ها، به دلیل فسادپذیری محصولات، وابستگی به زنجیره سرد و تأمین پایدار انرژی، نوسان کیفیت مواد اولیه، الزامات سخت‌گیرانه بهداشتی و پیوستگی فعالیت‌های تأمین، تولید، نگهداری و توزیع، با ریسک‌هایی متعامل و وابسته مواجه‌اند. باوجوداین ویژگی‌ها، در مطالعات مرورشده کمتر به چارچوبی توجه شده است که عوامل تفصیلی ریسک و راهبردهای متناسب را با مشارکت خبرگان همان صنعت اعتبارسنجی کند، اهمیت ریسک‌های تأییدشده را تعیین نماید و آن‌ها را به اقدامات اجرایی مشخص پیوند دهد. پژوهش حاضر درصدد پوشش هم‌زمان این شکاف است.

برای تعیین اهمیت ریسک‌ها، روش‌های مختلفی مانند AHP، BWM، SWARA و ANP قابل‌استفاده‌اند؛ بااین‌حال، هر یک به ساختار متفاوتی از قضاوت‌های خبرگان وابسته‌اند. AHP و ANP بر مقایسات زوجی و بررسی سازگاری قضاوت‌ها متکی‌اند و ANP، به دلیل مدل‌سازی وابستگی و بازخورد میان عوامل، مستلزم تشکیل ساختار شبکه‌ای و سوپرماتریس است (Saaty, 2004). BWM اگرچه تعداد مقایسات را نسبت به AHP کاهش می‌دهد، همچنان به تعیین بهترین و بدترین معیار و انجام مقایسات مرجع نیاز دارد (Rezaei, 2015). SWARA نیز وزن معیارها را به‌صورت مرحله‌ای و بر اساس ترتیب اولیه اهمیت آن‌ها محاسبه می‌کند (Keršulienė et al., 2010). همچنین، سینگ و دویودی از ترکیب FAHP–F-TOPSIS برای وزن‌دهی ریسک‌ها در کنار FQFD استفاده کردند (Singh & Dwivedi, 2025). در مقابل، OPA-F بدون نیاز به تشکیل ماتریس مقایسات زوجی، رتبه‌ها و ارزیابی‌های زبانی خبرگان را در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی به وزن‌های فازی تبدیل می‌کند (Ataei et al., 2020؛ Mahmoudi et al., 2022). این ویژگی، ضمن کاهش حجم قضاوت‌های موردنیاز، امکان تجمیع نظام‌مند دیدگاه خبرگان و تولید مستقیم وزن‌های ورودی FQFD را فراهم می‌سازد؛ ازاین‌رو، ترکیب OPA-F–FQFD با تعدد ریسک‌ها، ابهام اطلاعات و ساختار مسئله حاضر تناسب بیشتری دارد.

۳- روش‌شناسی پژوهش

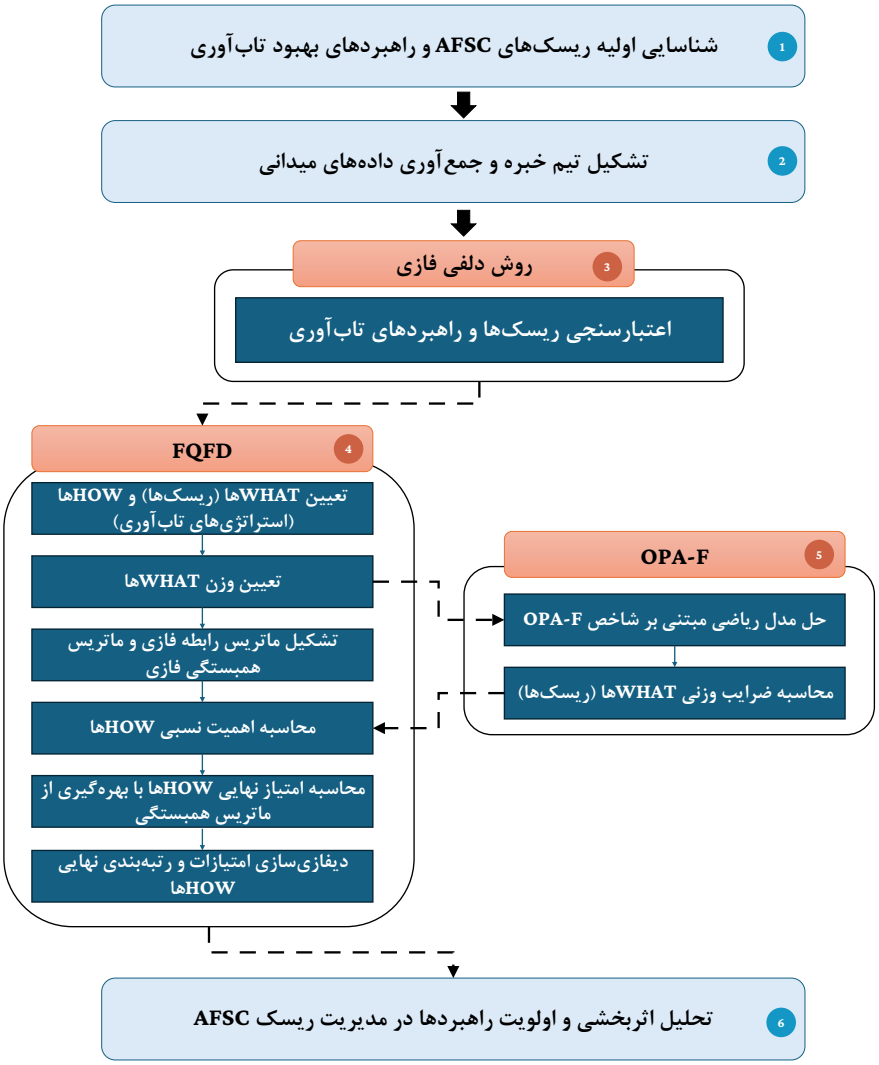
پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از حیث روش، توصیفی–پیمایشی است. داده‌های پژوهش طی بازه زمانی دی‌ماه ۱۴۰۴ تا اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۵، به دو شیوه کتابخانه‌ای و میدانی گردآوری شدند. در مرحله نخست، با مرور مطالعات مرتبط با مدیریت ریسک زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی، عوامل ریسک و راهبردهای کاهش آن‌ها شناسایی و فهرست اولیه پژوهش تدوین شد. ازآنجاکه زنجیره تأمین گوشت و محصولات پروتئینی یکی از زیرمجموعه‌های زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی است، عوامل استخراج‌شده مبنای اولیه بررسی در بستر موردمطالعه قرار گرفتند. جامعه هدف پژوهش شامل مدیران شرکت‌های تولیدکننده محصولات گوشتی و پروتئینی فعال در منطقه ویژه اقتصادی و شهرک صنعتی شیراز بود. مشارکت‌کنندگان با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند گلوله‌برفی و بر اساس معیارهایی مانند تجربه مدیریتی، شناخت فرآیندهای زنجیره تأمین و آشنایی مستقیم با ریسک‌های این صنعت انتخاب شدند. ابتدا تعدادی از مدیران و متخصصان واجد تجربه مرتبط شناسایی شدند و سپس افراد بالقوه دیگر با معرفی آنان

مورد بررسی قرار گرفتند. درمجموع، با حدود ده نفر گفت‌وگوی مقدماتی انجام شد که از میان آنان، پنج نفر واجد معیارهای تعیین‌شده برای عضویت در کمیته خبرگی بودند. مشخصات اعضای نهایی کمیته و ویژگی‌های بستر موردمطالعه در ادامه ارائه شده است. داده‌های میدانی از طریق پرسش‌نامه‌های تخصصی گردآوری شدند. ابتدا، عوامل ریسک استخراج‌شده از پیشینه، با دلفی فازی غربال و اعتبارسنجی شدند. سپس، اهمیت ریسک‌های تأییدشده با OPA-F محاسبه و اولویت‌بندی شد. در ادامه، روابط ریسک‌ها و راهبردهای کاهش آن‌ها با FQFD تحلیل و راهبردها بر اساس تأثیرگذاری بر ریسک‌های اولویت‌دار رتبه‌بندی شدند.

جدول ۳. خلاصه مطالعات مرورشده و تبیین خلأ پژوهش

Table 3. Summary of reviewed studies and research gap

مطالعه	زمینه	روش حل	تمرکز بر AFSC	شناسایی ریسک	ارزیابی کمی ریسک	راهبردهای تاب‌آوری	تحلیل ریسک–راهبرد	محصولات پروتئینی
Hobbs (2021)	کووید–۱۹ و فرآوری گوشت	مرور نظام‌مند	✓	✓		✓		✓
Kumar & Kumar Singh (2022)	کووید–۱۹ و تاب‌آوری زنجیره	BWM، QFD	✓	✓	✓	✓	✓	
Whitehead & Brad Kim (2022)	کووید–۱۹ و زنجیره گوشت آمریکا	مرور نظام‌مند	✓	✓				✓
Ali et al. (2023)	تاب‌آوری بنگاه‌های کوچک و متوسط	تحلیل کیفی	✓	✓		✓		
Darmian et al. (2023)	صنایع تبدیلی کشاورزی	SWARA، EDAS فازی	✓					
Focker et al. (2024)	آلودگی و تاب‌آوری زنجیره گوشت	شبیه‌سازی	✓	✓		✓		✓
Krstić et al. (2023)	ریسک زنجیره تأمین چرخشی	BWM، COBRA خاکستری	✓	✓	✓			
Eshghali & Jafarian (2024)	تعامل کشاورزان و کارخانه‌ها	FDM، DEMATEL فازی	✓					
Karimi et al. (2024)	اختلالات زنجیره تأمین غذا	مضمون‌کاوی، ISM، SEM	✓	✓		✓	✓	
Zhao et al. (2024)	ریسک‌ها و قابلیت‌های تاب‌آوری	مرور نظام‌مند	✓	✓		✓		
Roy et al. (2024)	پایداری و تاب‌آوری صنعت مرغداری	تحلیل پارتو، DEMATEL	✓	✓	✓			✓
Eskandari et al. (2025)	بحران فروش مواد غذایی	TISM، MICMAC فازی	✓	✓				
Singh & Dwivedi (2025)	ریسک و راهبردهای تاب‌آوری	FAHP، F-TOPSIS، FQFD	✓	✓	✓	✓	✓	
Ikasari et al. (2025)	ریسک، تاب‌آوری و فناوری	تحلیل علم‌سنجی	✓	✓		✓		
Ali et al. (2025)	کاهش ریسک زنجیره تأمین دام	FAHP، مدل پروبیت چندمتغیره	✓			✓		✓
Shen & Jiang (2026)	اقتصاد دیجیتال و تاب‌آوری کشاورزی	تحلیل فضایی	✓			✓		
Freund et al. (2026)	فناوری‌های تقویت‌کننده تاب‌آوری	تحلیل کیفی	✓			✓		
Ibrahim et al. (2026)	کاهش تلفات زنجیره ماهی	دلفی، DEA، ISM فازی	✓	✓		✓		✓
پژوهش حاضر	ریسک و بهبود تاب‌آوری	دلفی فازی، OPA-F، FQFD	✓	✓	✓	✓	✓	✓



شکل ۱. مراحل و چارچوب روش‌شناختی پژوهش.

Figure 1. Research stages and methodological framework.

به‌کارگیری منطق فازی در مراحل مختلف پژوهش، امکان بازنمایی ارزیابی‌های زبانی مشارکت‌کنندگان و مدیریت ابهام و عدم قطعیت موجود در قضاوت‌های آنان را فراهم کرد. فرآیند کلی پژوهش شامل شناسایی ریسک‌ها و راهبردها، غربال و اعتبارسنجی ریسک‌ها، تعیین اهمیت آن‌ها، تحلیل روابط ریسک–راهبرد و اولویت‌بندی راهبردهای کاهش ریسک است که در **شکل ۱** ارائه شده است.

۳-۱- مراحل FDM

برای دستیابی به فهرست نهایی ریسک‌های زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی (WHATs) و راهبردهای تاب‌آوری (HOWs)، از روش دلفی فازی استفاده شد. این روش با تلفیق قضاوت خبرگان و منطق فازی، امکان تبدیل ارزیابی‌های زبانی به مقادیر کمی، کاهش ابهام موجود در قضاوت‌ها و سنجش دقیق‌تر اجماع خبرگان را فراهم می‌کند. روش دلفی فازی در سال‌های اخیر به‌طور گسترده برای دستیابی به اجماع میان خبرگان در مسائل مختلف به کار گرفته شده است (Afrasiabi et al., 2022؛ Mousavi Ramezanzadeh & Nazari, 2025؛ Dehghani Filabadi et al., 2026؛ Zarei & Keshavarzi, 2026). گام‌های اجرای روش دلفی فازی به شرح زیر است (Ebrahimi & Bridgelall, 2021):

مرحله ۱. استخراج و تدوین فهرست اولیه عوامل: ریسک‌های زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی و راهبردهای تاب‌آوری از طریق مرور پیشینه پژوهش استخراج می‌شوند (**جدول ۱** و **جدول ۲**). سپس فهرست اولیه در اختیار خبرگان قرار می‌گیرد تا جامعیت، تناسب و کاربردپذیری

عوامل را بررسی و پیشنهادهای اصلاحی خود را ارائه کنند.

مرحله ۲. گردآوری ارزیابی‌های خبرگان: از H خبره خواسته می‌شود میزان موافقت خود را با اهمیت و تناسب هر عامل بر اساس مقیاس زبانی پنج‌درجه‌ای پیشنهادشده توسط ابراهیمی و بریدجلال مطابق با **جدول ۴** بیان کنند (Ebrahimi & Bridgelall, 2021). ارزیابی خبره h درباره عامل r با عدد فازی مثلثی $\tilde{Z}_{hr} = (p_{hr}, q_{hr}, s_{hr})$ نمایش داده می‌شود که در آن p_{hr}، q_{hr} و s_{hr}، به ترتیب حد پایین، مقدار میانی و حد بالای ارزیابی‌اند.

جدول ۴. مقیاس زبانی و اعداد فازی مثلثی

Table 4. Linguistic scale and triangular fuzzy numbers

عبارت زبانی	عدد فازی مثلثی
کاملاً موافقم	(۰/۷, ۰/۹, ۱/۰)
موافقم	(۰/۵, ۰/۷, ۰/۹)
نظری ندارم	(۰/۳, ۰/۵, ۰/۷)
مخالفم	(۰/۱, ۰/۳, ۰/۵)
کاملاً مخالفم	(۰/۰, ۰/۱, ۰/۳)

مرحله ۳. تجمیع دیدگاه‌های خبرگان: پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها، مؤلفه‌های عدد فازی هر عامل با استفاده از روابط (۱) تا (۳) تجمیع می‌شوند (Ebrahimi & Bridgelall, 2021):

$$P_r = \min_{1\le h\le H}\{p_{hr}\} \quad (۱)$$

$$Q_r = \frac{1}{H}\sum_{h=1}^{H} q_{hr} \quad (۲)$$

$$S_r = \max_{1\le h\le H}\{s_{hr}\} \quad (۳)$$

بنابراین، عدد فازی تجمیعی عامل r به‌صورت رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$\tilde{Z}_r = (P_r, Q_r, S_r) \quad (۴)$$

مرحله ۴. فازی‌زدایی ارزیابی‌ها: برای تبدیل عدد فازی تجمیعی به یک مقدار قطعی، از روش مرکز ثقل مطابق معادله (۵) استفاده می‌شود (Ebrahimi & Bridgelall, 2021).

$$D_r = \frac{P_r + Q_r + S_r}{3}, \qquad r = 1,2,\dots,R \quad (۵)$$

مرحله ۵. غربال و اعتبارسنجی عوامل: امتیاز قطعی هر ریسک یا راهبرد تاب‌آوری با حد آستانه ۰/۷ مقایسه می‌شود؛ بنابراین، عواملی که امتیاز قطعی آن‌ها برابر یا بیشتر از، حفظ شدند.

اگر $D_r \ge \tau$، عامل موردنظر حفظ می‌شود؛

– اگر $D_r < \tau$، آنگاه عامل مربوطه از ادامه فرآیند پژوهش کنار گذاشته می‌شود.

مرحله ۶. بررسی اجماع خبرگان: برای سنجش ثبات دیدگاه خبرگان، اختلاف امتیاز قطعی هر عامل در دو دور متوالی مطابق رابطه (۶) محاسبه می‌گردد (Ebrahimi & Bridgelall, 2021):

$$\Delta D_r = \left| D_r^{(t)} - D_r^{(t-1)} \right| \quad (۶)$$

اگر شرط $\Delta D_r \le 0.1$ برقرار باشد، اجماع خبرگان درباره عامل موردنظر حاصل شده است. در غیر این صورت، عامل مربوطه در دور بعدی دلفی فازی مجدداً ارزیابی می‌شود.

۳-۲- مراحل رویکرد ترکیبی OPA-F-FQFD

در راستای تحلیل ریسک‌های زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی و تعیین اثربخش‌ترین راهبردهای تاب‌آوری، از رویکرد ترکیبی OPA-F–FQFD استفاده شده است. در این چارچوب، ریسک‌های زنجیره تأمین به‌عنوان «چه‌ها» (WHATs) و راهبردهای تاب‌آوری به‌عنوان «چگونه‌ها» (HOWs) در نظر گرفته شده‌اند. روش OPA-F برای تعیین وزن ریسک‌ها و روش FQFD برای ارزیابی روابط میان ریسک‌ها و راهبردهای تاب‌آوری و درنهایت رتبه‌بندی راهبردها به کار گرفته شده است.

تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] یکی از رویکردهای نظام‌مند علم تصمیم‌گیری است که امکان ارزیابی گزینه‌ها بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای کمی و کیفی را فراهم می‌کند و انتخاب روش مناسب آن به ماهیت مسئله، نوع داده‌ها و هدف تحلیل وابسته است (Alqahtani & Makki, 2023).

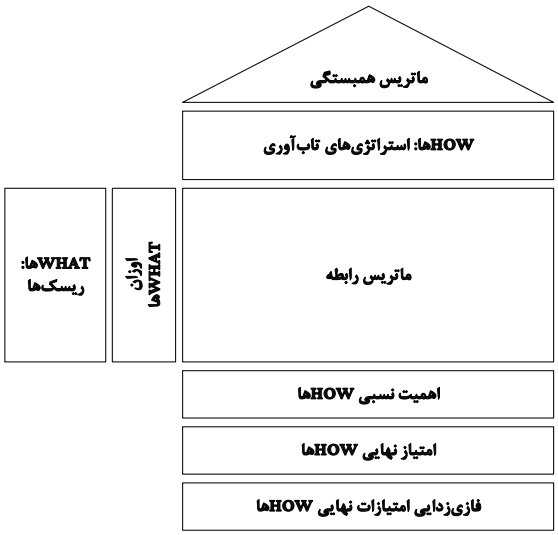
در این میان، OPA که توسط عطایی و همکاران معرفی شد، با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی، امکان محاسبه هم‌زمان وزن خبرگان، معیارها و گزینه‌ها را فراهم می‌کند. عدم نیاز به مقایسه‌های زوجی و نرمال‌سازی داده‌ها از مزایای مهم این روش است (Abolghasemian et al., 2024؛ Ataei et al., 2020). در ادامه، محمودی و همکاران نسخه فازی این روش را برای مدیریت ابهام و عدم قطعیت موجود در قضاوت‌های انسانی

[1] Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)

توسعه دادند (Mahmoudi et al., 2022؛ Mahmoudi et al., 2025).

در کنار روش‌های MCDM، QFD با استفاده از ماتریس «خانه کیفیت» (HOQ[1])، الزامات مسئله را به اقدامات اجرایی مرتبط می‌سازد (Bevilacqua et al., 2006؛ Bottani & Rizzi, 2006؛ Zarei et al., 2011؛ Sharma & Tripathy, 2023). در پژوهش حاضر، ریسک‌های زنجیره تأمین به‌عنوان WHATها و راهبردهای تاب‌آوری به‌عنوان HOWها در نظر گرفته شدند و منطق فازی برای بازنمایی قضاوت‌های زبانی خبرگان به کار رفت. مراحل اجرای رویکرد ترکیبی OPA-F–FQFD در ادامه تشریح می‌شود (Mahmoudi et al., 2022؛ Singh & Dwivedi, 2025).

مرحله ۱. تعیین ریسک‌ها و راهبردهای تاب‌آوری: در گام نخست، ریسک‌های زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی و راهبردهای تاب‌آوری که پیش‌تر با استفاده از FDM غربال، تأیید و نهایی شده بودند، به‌عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفته شدند. در ساختار HOQ، ریسک‌ها به‌عنوان WHATها (الزامات یا مسائل موردتوجه) و راهبردهای تاب‌آوری به‌عنوان HOWها (راهکارهای پاسخ‌گویی به ریسک‌ها) مطابق **شکل ۲** تعریف شدند.



شکل ۲. ساختار HOQ مسئله پیشنهادی.

Figure 2. Structure of HOQ for proposed problem.

مرحله ۲. تعیین وزن ریسک‌ها با استفاده از روش OPA-F: در این گام، وزن نسبی ریسک‌های زنجیره تأمین با استفاده از مدل مبتنی بر شاخص روش OPA-F تعیین می‌شود. وزن‌های حاصل، اهمیت نسبی WHATها را در HOQ نشان می‌دهند. در روش OPA-F، ارزیابی‌های زبانی خبرگان به اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شوند. مقیاس زبانی مورداستفاده برای ارزیابی ریسک‌ها مطابق با الگوی محمودی و همکاران در **جدول ۵** ارائه شده است (Mahmoudi et al., 2022).

در روش OPA-F جهت جلوگیری از حذف اثر برخی محدودیت‌ها درنتیجه ضرب در صفر، مقدار ۰/۰۱ جایگزین صفر مطلق می‌گردد. مجموعه‌ها، شاخص‌ها، پارامترها و متغیرهای مورداستفاده در مدل OPA-F در **جدول ۶** معرفی شده‌اند (Mahmoudi et al., 2022).

جدول ۵. مقیاس زبانی ارزیابی ریسک‌ها در OPA-F

Table 5. Linguistic scale for risk assessment in OPA-F

عبارت زبانی	عدد فازی مثلثی	رتبه (r)
خیلی کم (VL)	(۰/۹, ۱/۰, ۱/۰)	۷
کم (L)	(۰/۷, ۰/۹, ۱/۰)	۶
نسبتاً کم (ML)	(۰/۵, ۰/۷, ۰/۹)	۵
متوسط (M)	(۰/۳, ۰/۵, ۰/۷)	۴
نسبتاً زیاد (MH)	(۰/۱, ۰/۳, ۰/۵)	۳
زیاد (H)	(۰/۰, ۰/۱, ۰/۳)	۲
خیلی زیاد (VH)	(۰/۰, ۰/۰, ۰/۱)	۱

جدول ۶. نمادهای مورداستفاده در مدل مبتنی بر شاخص OPA-F

Table 6. Symbols used in attribute-based OPA-F model.

نوع	نماد	تعریف
مجموعه‌ها	E	مجموعه‌ی خبرگان
	C	مجموعه‌ی ریسک‌ها
شاخص‌ها	h	اندیس خبرگان $(1,2,\dots,H)$
	i	اندیس ریسک‌ها $(1,2,\dots,K)$
متغیرها	$\tilde{Z}$	تابع هدف فازی
	$\tilde{W}_{hi}$	وزن فازی ریسک i نزد خبره h در رتبه r
پارامترها	$\tilde{a}_{hi}^{r}$	مقدار فازی متناظر با رتبه r برای ریسک j از دیدگاه خبره i
	r	رتبه ترتیبی عبارت زبانی $(1,2,\dots,R)$

بر این اساس نیز مدل برنامه‌ریزی خطی فازی مبتنی بر شاخص به‌صورت روابط (۷) الی (۱۲) بیان می‌شود.

$$\max \tilde{Z} \qquad (۷)$$

[1] House of Quality

با محدودیت‌های:

$$\tilde{a}_{hi}^{r}\left(\widetilde{W}_{hi}^{r}-\widetilde{W}_{hi}^{r+1}\right)\geq\tilde{Z}\qquad\forall\, h,i,r\qquad(۸)$$

$$\tilde{a}_{hi}^{R}\widetilde{W}_{hi}^{R}\geq\tilde{Z}\qquad\forall\, h,i\qquad(۹)$$

$$\sum_{h=1}^{H}\sum_{i=1}^{K}\widetilde{W}_{hi}=(0.8,1,1.2)\qquad(۱۰)$$

$$\tilde{l}_{hi}^{w}\leq\tilde{m}_{hi}^{w}\leq\tilde{u}_{hi}^{w}\qquad\forall\, h,i\qquad(۱۱)$$

$$\tilde{l}_{hi}^{w}\geq 0\qquad\forall\, h,i\qquad(۱۲)$$

پس از حل مدل، وزن فازی تجمیعی ریسک i به‌صورت $\widetilde{W}_i=(l_i^w,m_i^w,u_i^w)$ نمایش داده می‌شود. برای تبدیل وزن فازی هر ریسک به مقدار قطعی، از رابطه (۱۳) استفاده می‌گردد.

$$W_i^c=\frac{l_i^w+4m_i^w+u_i^w}{6}\qquad(۱۳)$$

ریسک‌ها بر اساس مقادیر W_i^c به ترتیب نزولی رتبه‌بندی می‌شوند؛ به‌طوری‌که مقدار بزرگ‌تر بیانگر اهمیت بیشتر ریسک است.

مرحله ۳. تشکیل ماتریس روابط فازی WHAT–HOW: در این مرحله، میزان اثرگذاری هر راهبرد تاب‌آوری بر هر ریسک توسط خبرگان بر اساس مقیاس زبانی ارائه‌شده توسط بوتانی و ریزی در **جدول ۷** ارزیابی می‌گردد (Bottani & Rizzi, 2006).

جدول ۷. مقیاس زبانی رابطه میان WHATs–HOWs

Table 7. Linguistic scale for relations among WHATs–HOWs

عبارت زبانی	عدد فازی مثلثی
قوی (S)	(۰/۷, ۱/۰, ۱/۰)
متوسط (M)	(۰/۳, ۰/۵, ۰/۷)
ضعیف (W)	(۰/۰, ۰/۰, ۰/۳)

فرض شود $\tilde{r}_{ijh}$ ارزیابی فازی خبره h از میزان تأثیر راهبرد j بر ریسک i باشد. ارزیابی‌های H خبره با استفاده از میانگین فازی مطابق با رابطه (۱۴) تجمیع می‌شوند.

$$\tilde{R}_{ij}=\frac{1}{H}\otimes\left(\tilde{r}_{ij1}\oplus\tilde{r}_{ij2}\oplus\cdots\oplus\tilde{r}_{ijH}\right)\qquad(۱۴)$$

بدین ترتیب، ماتریس روابط فازی به‌صورت $\tilde{R}=\left[\tilde{R}_{ij}\right]_{C\times M}$ تشکیل می‌گردد؛ در این ماتریس، C تعداد ریسک‌ها، M تعداد راهبردهای تاب‌آوری و $\tilde{R}_{ij}$ میزان تأثیر فازی راهبرد j بر ریسک i است.

مرحله ۴. تشکیل ماتریس همبستگی فازی HOW–HOW: در این گام برای لحاظ کردن اثرات متقابل راهبردهای تاب‌آوری، نوع و شدت ارتباط میان هر دو راهبرد مطابق با مقیاس زبانی ارائه‌شده توسط بوتانی و ریزی در **جدول ۸** ارزیابی می‌گردد (Bottani & Rizzi, 2006).

جدول ۸. مقیاس زبانی همبستگی میان HOWs–HOWs

Table 8. Linguistic scale for correlations among HOWs–HOWs

عبارت زبانی	عدد فازی مثلثی
همبستگی بسیار قوی مثبت (SP)	(۰/۷, ۱/۰, ۱/۰)
همبستگی مثبت (P)	(۰/۵, ۰/۷, ۱/۰)
همبستگی منفی (N)	(۰/۰, ۰/۳, ۰/۵)
همبستگی بسیار قوی منفی (SN)	(۰/۰, ۰/۰, ۰/۳)

اگر ارزیابی خبره h از همبستگی میان راهبردهای p و j باشد، مقدار تجمیعی آن از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$\tilde{T}_{pj}=\frac{1}{H}\otimes\left(\tilde{t}_{pj1}\oplus\tilde{t}_{pj2}\oplus\cdots\oplus\tilde{t}_{pjH}\right)\qquad(۱۵)$$

مقادیر حاصل، ماتریس همبستگی فازی راهبردها $\tilde{T}=\left[\tilde{T}_{pj}\right]_{M\times M}$ را تشکیل می‌دهند.

مرحله ۵. محاسبه اهمیت اولیه راهبردهای تاب‌آوری: اهمیت اولیه هر راهبرد از طریق ترکیب وزن فازی ریسک‌ها و شدت رابطه آن راهبرد با ریسک‌های مختلف بر اساس معادله (۱۶) محاسبه می‌شود.

$$\widetilde{RI}_j=\bigoplus_{i=1}^{K}\left(\widetilde{W}_i\otimes\tilde{R}_{ij}\right),\qquad j=1,\ldots,M\qquad(۱۶)$$

مرحله ۶. محاسبه اهمیت نهایی راهبردها با لحاظ همبستگی‌ها: ازآنجاکه راهبردهای تاب‌آوری ممکن است بر اثربخشی یکدیگر تأثیر بگذارند، ماتریس همبستگی HOW–HOW در محاسبه اهمیت نهایی آن‌ها مطابق با رابطه (۱۷) لحاظ می‌گردد.

$$\widetilde{RI}_j^{*}=\widetilde{RI}_j\oplus\bigoplus_{\substack{p=1\\p\neq j}}^{M}\left(\tilde{T}_{pj}\otimes\widetilde{RI}_p\right),\qquad j=1,\ldots,M\qquad(۱۷)$$

مرحله ۷. فازی‌زدایی امتیازات و رتبه‌بندی نهایی راهبردهای تاب‌آوری: امتیاز نهایی هر راهبرد به‌صورت یک عدد فازی مثلثی $\widetilde{RI}_j^{*}=\left(l_j^{*},m_j^{*},u_j^{*}\right)$ نتیجه می‌شود. برای تبدیل این مقدار به امتیاز قطعی، از رابطه (۱۸) استفاده شده است.

$$\varphi_j=\frac{l_j^{*}+2m_j^{*}+u_j^{*}}{4}\qquad(۱۸)$$

هرچه مقدار φ_j بزرگ‌تر باشد، اثربخشی و اولویت آن استراتژی در کاهش و مدیریت ریسک‌های AFSC بیشتر است؛ بنابراین، استراتژی دارای بالاترین مقدار، مطلوب‌ترین گزینه برای اجرا در AFSC محسوب می‌شود.

۴- روابط ریاضی

۴-۱- معرفی مطالعه موردی و خبرگان

مطالعه حاضر در شرکت‌های تولیدکننده محصولات گوشتی و پروتئینی فعال در منطقه ویژه اقتصادی و شهرک صنعتی شیراز انجام شد. کمیته نهایی خبرگی از پنج نفر از مدیران و متخصصان واجد شرایط تشکیل شد که دارای ۱۸ تا ۳۲ سال سابقه فعالیت در حوزه‌های تأمین، تولید، کنترل کیفیت، انبارداری، زنجیره سرد و توزیع بودند. تنوع موقعیت‌های سازمانی اعضا موجب شد حوزه‌های اجرایی اصلی زنجیره تأمین موردمطالعه در فرآیند ارزیابی عوامل پوشش داده شوند. مشخصات اعضای کمیته در **جدول ۹** ارائه شده است.

۴-۲- نتایج شناسایی و نهایی‌سازی عوامل با FDM

نتایج غربال‌گری و اعتبارسنجی ریسک‌های AFSC و راهبردهای تاب‌آوری با استفاده از روش دلفی فازی در **جدول ۱۰** ارائه شده است. در مرحله شناسایی، پس از تلفیق عوامل استخراج‌شده از ادبیات با پیشنهادهای کمیته پنج‌نفره خبرگان و حذف موارد هم‌پوشان، ۲۰ ریسک و ۱۲ راهبرد تاب‌آوری برای ارزیابی در دور نخست دلفی فازی تعیین شدند. از میان عوامل افزوده‌شده، پنج ریسک و پنج راهبرد بر اساس تجربه خبرگان و متناسب با شرایط صنعت محصولات گوشتی و پروتئینی شناسایی شدند (مواردی که با * علامت‌گذاری شده‌اند).

جدول ۹. مشخصات اعضای کمیته خبرگی

Table 9. Professional profiles of expert committee members

موقعیت سازمانی	تخصص	تحصیلات	سابقه
مدیر ارشد زنجیره تأمین	برنامه‌ریزی و مدیریت زنجیره تأمین	دکتری	۳۲
مدیر ارشد تولید	مدیریت تولید و عملیات	دکتری	۳۱
مدیر تدارکات و تأمین	خرید، تأمین مواد اولیه و مدیریت تأمین‌کنندگان	دکتری	۲۷
مدیر کنترل کیفیت	کنترل کیفیت و ایمنی محصولات غذایی	دانشجوی دکتری	۲۴
سرپرست انبار و توزیع	انبارداری، زنجیره سرد و توزیع	دانشجوی دکتری	۱۸

در دور نخست، عوامل بر اساس مقیاس زبانی پنج‌سطحی ارزیابی و دیدگاه‌های خبرگان در قالب اعداد فازی مثلثی تجمیع شدند. با در نظر گرفتن امتیاز دی‌فازی‌شده ۰/۷ به‌عنوان آستانه پذیرش، دو ریسک «بدهی‌های معوق» و «حکمرانی» به ترتیب با امتیازهای ۰/۴۸۷ و ۰/۵۱۳، حداقل امتیاز لازم را کسب نکردند و حذف شدند. همچنین، دو راهبرد «مجموعه اقدامات خصوصی» و «شبکه همکاری و مشارکت با ذی‌نفعان» به ترتیب با امتیازهای ۰/۶۰۷ و ۰/۵۲۷ مورد تأیید قرار نگرفتند. سایر عوامل با کسب امتیاز برابر یا بیشتر از آستانه تعیین‌شده، وارد دور دوم شدند. درنتیجه، ۱۸ ریسک و ۱۰ راهبرد تاب‌آوری در دور دوم مجدداً در اختیار اعضای کمیته خبرگی قرار گرفتند. نتایج نشان داد امتیاز دی‌فازی‌شده تمام عوامل در محدوده قابل‌قبول قرار دارد. افزون بر این، قدر مطلق اختلاف امتیازهای دی‌فازی‌شده میان دو دور، (یعنی ΔD_r)، برای تمامی ریسک‌ها و راهبردها کمتر از آستانه ۰/۱ بود. این یافته‌ها بیانگر ثبات نسبی قضاوت خبرگان و دستیابی به توافق قابل‌قبول در دور دوم است؛ ازاین‌رو، با تحقق معیار اجماع، فرآیند دلفی فازی در پایان دور دوم خاتمه یافت و اجرای دور سوم ضروری تشخیص داده نشد. درنهایت، ۱۸ ریسک به‌عنوان WHATها و ۱۰ راهبرد تاب‌آوری به‌عنوان HOWها وارد مراحل بعدی پژوهش شدند (**شکل ۳** و **شکل ۴**).

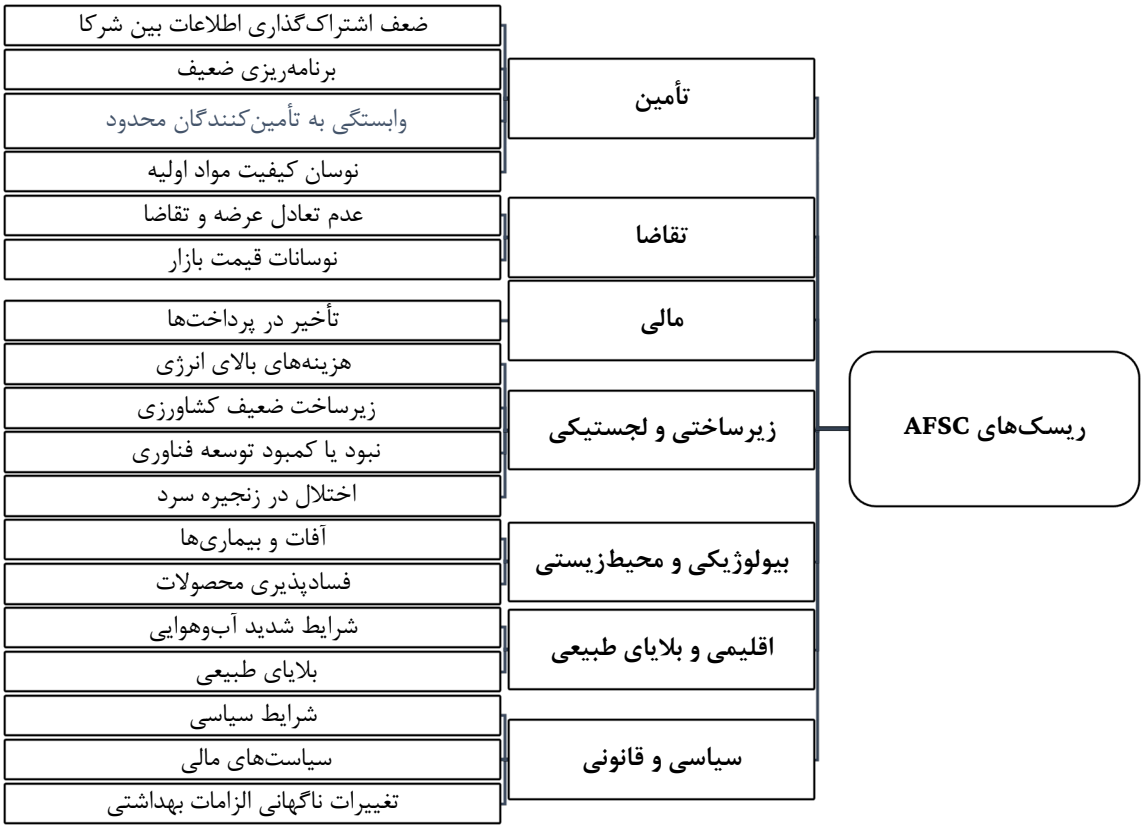
۴-۳- نتایج وزن‌دهی ریسک‌ها با OPA-F

پس از نهایی‌سازی ریسک‌ها با روش دلفی فازی، وزن و اولویت آن‌ها با استفاده از روش OPA-F تعیین شد. در این مرحله، قضاوت‌های اعضای کمیته خبرگی درباره اهمیت ریسک‌ها و معادل فازی رتبه‌های خبرگان به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شد (**جدول ۱۱** و **جدول ۱۲**).

جدول ۱۰. نتایج غربال‌گری ریسک‌ها و راهبردهای تاب‌آوری با روش دلفی فازی

Table 10. FDM screening results for risks and resilience strategies

عامل	ریسک/راهبرد تاب‌آوری	راند اول				راند دوم				ΔD_r
		P_r^1	Q_r^1	S_r^1	D_r^1	P_r^2	Q_r^2	S_r^2	D_r^2	
ریسک	ضعف اشتراک‌گذاری اطلاعات بین شرکا	۰/۵	۰/۸۶۰	۱/۰	۰/۷۸۷	۰/۵	۰/۷۴۰	۱/۰	۰/۷۴۷	۰/۰۴۰
	برنامه‌ریزی ضعیف	۰/۵	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۷۳	۰/۵	۰/۷۴۰	۱/۰	۰/۷۴۷	۰/۰۲۷
	*وابستگی به تأمین‌کنندگان محدود	۰/۳	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۰۷	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۵۳
	*نوسان کیفیت مواد اولیه	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۵	۰/۸۶۰	۱/۰	۰/۷۸۷	۰/۰۲۷
	عدم تعادل عرضه و تقاضا	۰/۵	۰/۷۴۰	۱/۰	۰/۷۴۷	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۱۳
	نوسانات قیمت بازار	۰/۵	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۷۳	۰/۵	۰/۷۰۰	۰/۹	۰/۷۰۰	۰/۰۷۳
	تأخیر در پرداخت‌ها	۰/۵	۰/۷۰۰	۰/۹	۰/۷۰۰	۰/۵	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۷۳	۰/۰۷۳
	بدهی‌های معوق	۰/۱	۰/۴۶۰	۰/۹	۰/۴۸۷	—	—	—	—	—
	هزینه‌های بالای انرژی	۰/۵	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۷۳	۰/۵	۰/۷۴۰	۱/۰	۰/۷۴۷	۰/۰۲۷
	زیرساخت ضعیف کشاورزی	۰/۳	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۰۷	۰/۵	۰/۷۴۰	۱/۰	۰/۷۴۷	۰/۰۴۰
	نبود یا کمبود توسعه فناوری	۰/۵	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۷۳	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۱۳
	*اختلال در زنجیره سرد	۰/۵	۰/۷۰۰	۰/۹	۰/۷۰۰	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۶۰
	آفات و بیماری‌ها	۰/۵	۰/۸۶۰	۱/۰	۰/۷۸۷	۰/۵	۰/۷۰۰	۰/۹	۰/۷۰۰	۰/۰۸۷
	*فسادپذیری محصولات	۰/۵	۰/۷۴۰	۱/۰	۰/۷۴۷	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۱۳
	شرایط شدید آب‌وهوایی	۰/۵	۰/۷۰۰	۰/۹	۰/۷۰۰	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۶۰
	بلایای طبیعی	۰/۵	۰/۷۰۰	۰/۹	۰/۷۰۰	۰/۳	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۰۷	۰/۰۰۷
	شرایط سیاسی	۰/۵	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۷۳	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۱۳
	سیاست‌های مالی	۰/۵	۰/۷۰۰	۰/۹	۰/۷۰۰	۰/۵	۰/۸۶۰	۱/۰	۰/۷۸۷	۰/۰۸۷
	حکمرانی	۰/۱	۰/۵۴۰	۰/۹	۰/۵۱۳	—	—	—	—	—
	*تغییرات ناگهانی الزامات بهداشتی	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۳	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۰۷	۰/۰۵۳
راهبرد	پذیرش و توسعه فناوری	۰/۵	۰/۸۶۰	۱/۰	۰/۷۸۷	۰/۵	۰/۷۴۰	۱/۰	۰/۷۴۷	۰/۰۴۰
	ابزارهای مالی	۰/۵	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۷۳	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۱۳
	سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها	۰/۳	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۰۷	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۵۳
	برنامه‌های عمومی و سیاستی	۰/۵	۰/۷۰۰	۰/۹	۰/۷۰۰	۰/۳	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۰۷	۰/۰۰۷
	شفافیت و تسهیم اطلاعات	۰/۵	۰/۷۰۰	۰/۹	۰/۷۰۰	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۶۰
	فرهنگ مدیریت ریسک زنجیره تأمین	۰/۵	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۷۳	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۱۳
	مجموعه اقدامات خصوصی	۰/۳	۰/۶۲۰	۰/۹	۰/۶۰۷	—	—	—	—	—
	*تنوع‌بخشی به منابع تأمین	۰/۵	۰/۷۰۰	۰/۹	۰/۷۰۰	۰/۵	۰/۸۶۰	۱/۰	۰/۷۸۷	۰/۰۸۷
	*تقویت پیش‌بینی عرضه و تقاضا	۰/۵	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۷۳	۰/۳	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۰۷	۰/۰۶۷
	*مدیریت ایمن و منعطف موجودی	۰/۳	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۰۷	۰/۵	۰/۷۴۰	۱/۰	۰/۷۴۷	۰/۰۴۰
	*استانداردسازی فرآیندها	۰/۵	۰/۸۲۰	۱/۰	۰/۷۷۳	۰/۵	۰/۷۸۰	۱/۰	۰/۷۶۰	۰/۰۱۳
	*شبکه همکاری و مشارکت با ذی‌نفعان	۰/۱	۰/۵۸۰	۰/۹	۰/۵۲۷	—	—	—	—	—



شکل ۳. ریسک‌های AFSC بخش محصولات گوشتی و پروتئینی.
Figure 3. AFSC risks in meat and protein products sector.

شکل ۴. راهبردهای تاب‌آوری جهت برخورد با ریسک‌های AFSC بخش محصولات گوشتی و پروتئینی.
Figure 4. Resilience strategies for addressing AFSC risks in meat and protein products sector.

جدول ۱۱. رتبه و عبارات زبانی مرتبط با ریسک‌های فرعی AFSC

Table 11. Rank and linguistic terms associated with AFSC sub-risks

ریسک فرعی	E_5	E_4	E_3	E_2	E_1	E_5	E_4	E_3	E_2	E_1
C_1	ML	VL	M	ML	VL	۵	۷	۴	۵	۷
C_2	L	VL	VL	ML	M	۶	۷	۷	۵	۴
C_3	MH	M	H	MH	ML	۳	۴	۲	۳	۵
C_4	M	MH	M	M	M	۴	۳	۴	۴	۴
C_5	MH	L	L	ML	M	۳	۶	۶	۵	۴
C_6	ML	L	M	L	VL	۵	۶	۴	۶	۷
C_7	ML	ML	H	MH	M	۵	۵	۲	۳	۴
C_8	VL	MH	ML	H	M	۷	۳	۵	۲	۴
C_9	H	MH	M	H	MH	۲	۳	۴	۲	۳
C_{10}	MH	VH	M	VH	H	۳	۱	۴	۱	۲
C_{11}	MH	H	M	H	MH	۳	۲	۴	۲	۳
C_{12}	H	H	VH	H	H	۲	۲	۱	۲	۲
C_{13}	H	MH	H	MH	H	۲	۳	۲	۳	۲
C_{14}	VL	M	MH	M	M	۷	۴	۳	۴	۴
C_{15}	M	ML	M	ML	M	۴	۵	۴	۵	۴
C_{16}	ML	L	M	L	ML	۵	۶	۴	۶	۵
C_{17}	L	M	ML	VL	L	۶	۴	۵	۷	۶
C_{18}	VL	M	VL	M	L	۷	۴	۷	۴	۶

جدول ۱۲. اعداد مثلثی فازی متناظر با ریسک‌های فرعی AFSC

Table 12. TFNs corresponding to AFSC sub-risks

ریسک فرعی	E_5	E_4	E_3	E_2	E_1
C_1	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۱.۰, ۱.۰, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۱.۰, ۱.۰, ۰.۹)
C_2	(۱.۰, ۰.۹, ۰.۷)	(۱.۰, ۱.۰, ۰.۹)	(۱.۰, ۱.۰, ۰.۹)	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)
C_3	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)
C_4	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)
C_5	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۱.۰, ۰.۹, ۰.۷)	(۱.۰, ۰.۹, ۰.۷)	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)
C_6	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۱.۰, ۰.۹, ۰.۷)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۱.۰, ۰.۹, ۰.۷)	(۱.۰, ۱.۰, ۰.۹)
C_7	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)
C_8	(۱.۰, ۱.۰, ۰.۹)	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)
C_9	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)
C_{10}	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۰.۱, ۰.۰, ۰.۰)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۱, ۰.۰, ۰.۰)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)
C_{11}	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)
C_{12}	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۱, ۰.۰, ۰.۰)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)
C_{13}	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۰.۳, ۰.۱, ۰.۰)
C_{14}	(۱.۰, ۱.۰, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۵, ۰.۳, ۰.۱)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)
C_{15}	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)
C_{16}	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۱.۰, ۰.۹, ۰.۷)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۱.۰, ۰.۹, ۰.۷)	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)
C_{17}	(۱.۰, ۰.۹, ۰.۷)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۰.۹, ۰.۷, ۰.۵)	(۱.۰, ۱.۰, ۰.۹)	(۱.۰, ۰.۹, ۰.۷)
C_{18}	(۱.۰, ۱.۰, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۱.۰, ۱.۰, ۰.۹)	(۰.۷, ۰.۵, ۰.۳)	(۱.۰, ۰.۹, ۰.۷)

سپس بر اساس قضاوت‌های گردآوری‌شده، مدل ریاضی OPA-F به‌صورت رابطه (۱۹) تشکیل شد.

$$
\begin{aligned}
&\max \tilde{Z} \\
&S.t: \\
&(0.01, 0.1, 0.3) \times (\tilde{W}_{E_1C_{10}} - \tilde{W}_{E_1C_9}) \geq \tilde{Z} \\
&(0.01, 0.1, 0.3) \times (\tilde{W}_{E_1C_{10}} - \tilde{W}_{E_1C_{11}}) \geq \tilde{Z} \\
&\vdots \\
&(0.9, 1.0, 1.0) \times (\tilde{W}_{E_1C_1}) \geq \tilde{Z} \\
&(0.9, 1.0, 1.0) \times (\tilde{W}_{E_1C_6}) \geq \tilde{Z} \\
&\vdots \\
&\tilde{W}_{E_1C_1} + \tilde{W}_{E_1C_2} + , \dots , + \tilde{W}_{E_5C_{18}} = (0.8, 1, 1.2) \\
&\tilde{W}_{E_1C_1}, \tilde{W}_{E_1C_2}, \dots , \tilde{W}_{E_5C_{18}} \geq 0 \\
&\tilde{W}_{E_1C_1}, \tilde{W}_{E_1C_2}, \dots , \tilde{W}_{E_5C_{18}} \geq 0
\end{aligned}
\qquad (۱۹)
$$

مدل با استفاده از نرم‌افزار GAMS و حل‌کننده سیمپلکس حل شد و مقدار تابع هدف بهینه تا سه رقم اعشار برابر با ۰/۰۰۱ به دست آمد. خروجی مدل در گام نخست شامل وزن‌های فازی ریسک‌های فرعی بود. سپس وزن فازی هر ریسک اصلی از تجمیع وزن‌های ریسک‌های فرعی زیرمجموعه آن محاسبه شد. وزن بهینه فازی هر یک از ریسک‌های فرعی و اصلی AFSC بخش محصولات گوشتی و پروتئینی تا سه رقم اعشار گزارش در **جداول ۱۳** و **۱۴** ارائه شده است. برای تعیین رتبه نهایی، وزن‌های فازی ریسک‌ها با استفاده از رابطه (۱۳) دی‌فازی شدند. نتایج تفصیلی وزن‌ها و رتبه‌های ریسک‌های اصلی و فرعی در **جدول ۱۵** و نمایش مقایسه‌ای آن‌ها برای درک بهتر اولویت‌ها در **شکل ۵** ارائه شده است. برای بررسی استحکام نتایج، رتبه‌بندی حاصل از OPA-F با رتبه‌بندی مبتنی بر میانگین ساده ارزیابی‌های خبرگان مقایسه شد. ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن میان دو رتبه‌بندی برابر با ۰/۹۸۸ و از نظر آماری معنادار بود ($p<0.001$) که بیانگر همسویی بسیار زیاد نتایج دو رویکرد است.

۴-۴- نتایج ارزیابی راهبردهای تاب‌آوری با FQFD

پس از تعیین وزن ریسک‌ها با OPA-F، راهبردهای تاب‌آوری با FQFD ارزیابی و اولویت‌بندی شدند. وزن‌های فازی ریسک‌ها به‌عنوان اهمیت WHATها در خانه کیفیت در نظر گرفته شد و قضاوت‌های خبرگان درباره شدت روابط ریسک–راهبرد و همبستگی میان راهبردها، پس از تبدیل به اعداد فازی مثلثی، تجمیع گردید. ارزیابی‌های انفرادی خبرگان در **جدول ۱۶** و **جدول ۱۷** ارائه شده است.

جدول ۱۳. وزن بهینه فازی ریسک‌های فرعی AFSC

Table 13. Optimal fuzzy weights of AFSC sub-risks

ریسک فرعی	وزن بهینه فازی
C_1	(۰/۰۱۷ ,۰/۰۱۸ ,۰/۰۳۰)
C_2	(۰/۰۱۵ ,۰/۰۱۶ ,۰/۰۲۸)
C_3	(۰/۰۵۲ ,۰/۰۵۲ ,۰/۰۶۶)
C_4	(۰/۰۳۹ ,۰/۰۳۹ ,۰/۰۵۳)
C_5	(۰/۰۲۹ ,۰/۰۲۹ ,۰/۰۴)
C_6	(۰/۰۱۸ ,۰/۰۱۹ ,۰/۰۲۹)
C_7	(۰/۰۴۶ ,۰/۰۴۶ ,۰/۰۵۹)
C_8	(۰/۰۴۱ ,۰/۰۴۲ ,۰/۰۵۵)
C_9	(۰/۰۶۹ ,۰/۰۶۹ ,۰/۰۸۱)
C_{10}	(۰/۰۹۳ ,۰/۲۲۲ ,۰/۲۲۸)
C_{11}	(۰/۰۶۶ ,۰/۰۶۶ ,۰/۰۸۰)
C_{12}	(۰/۱۰۹ ,۰/۱۷۴ ,۰/۱۷۸)
C_{13}	(۰/۰۸۴ ,۰/۰۸۴ ,۰/۰۹۳)
C_{14}	(۰/۰۳۲ ,۰/۰۳۳ ,۰/۰۴۶)
C_{15}	(۰/۰۳۱ ,۰/۰۳۱ ,۰/۰۴۳)
C_{16}	(۰/۰۲۳ ,۰/۰۲۳ ,۰/۰۳۳)
C_{17}	(۰/۰۱۸ ,۰/۰۱۹ ,۰/۰۲۹)
C_{18}	(۰/۰۱۸ ,۰/۰۱۹ ,۰/۰۳۰)

جدول ۱۴. وزن بهینه فازی ریسک‌های اصلی AFSC

Table 14. Optimal fuzzy weights of main AFSC sub-risks

ریسک اصلی	وزن بهینه فازی
R_1	(۰/۱۲۳ ,۰/۱۲۵ ,۰/۱۷۶)
R_2	(۰/۰۴۷ ,۰/۰۴۷ ,۰/۰۶۹)
R_3	(۰/۰۴۶ ,۰/۰۴۶ ,۰/۰۵۹)
R_4	(۰/۲۷۰ ,۰/۳۹۹ ,۰/۴۴۳)
R_5	(۰/۱۹۳ ,۰/۲۵۸ ,۰/۲۷۱)
R_6	(۰/۰۶۳ ,۰/۰۶۳ ,۰/۰۹۰)
R_7	(۰/۰۵۹ ,۰/۰۶۱ ,۰/۰۹۳)

بر اساس قضاوت‌های تجمیع‌شده، ماتریس فازی WHAT–HOW برای نمایش روابط ریسک‌ها و راهبردها و ماتریس HOW–HOW برای انعکاس روابط متقابل راهبردها تشکیل شد. سپس، اهمیت اولیه هر راهبرد از ترکیب وزن

ریسک‌ها و روابط WHAT–HOW محاسبه و با لحاظ همبستگی‌های HOW–HOW تعدیل گردید. درنهایت، مقادیر فازی تعدیل‌شده دی‌فازی ($\widetilde{RI}_j^*$) و راهبردها رتبه‌بندی شدند. نتایج نهایی در **جدول ۱۸** ارائه شده است.

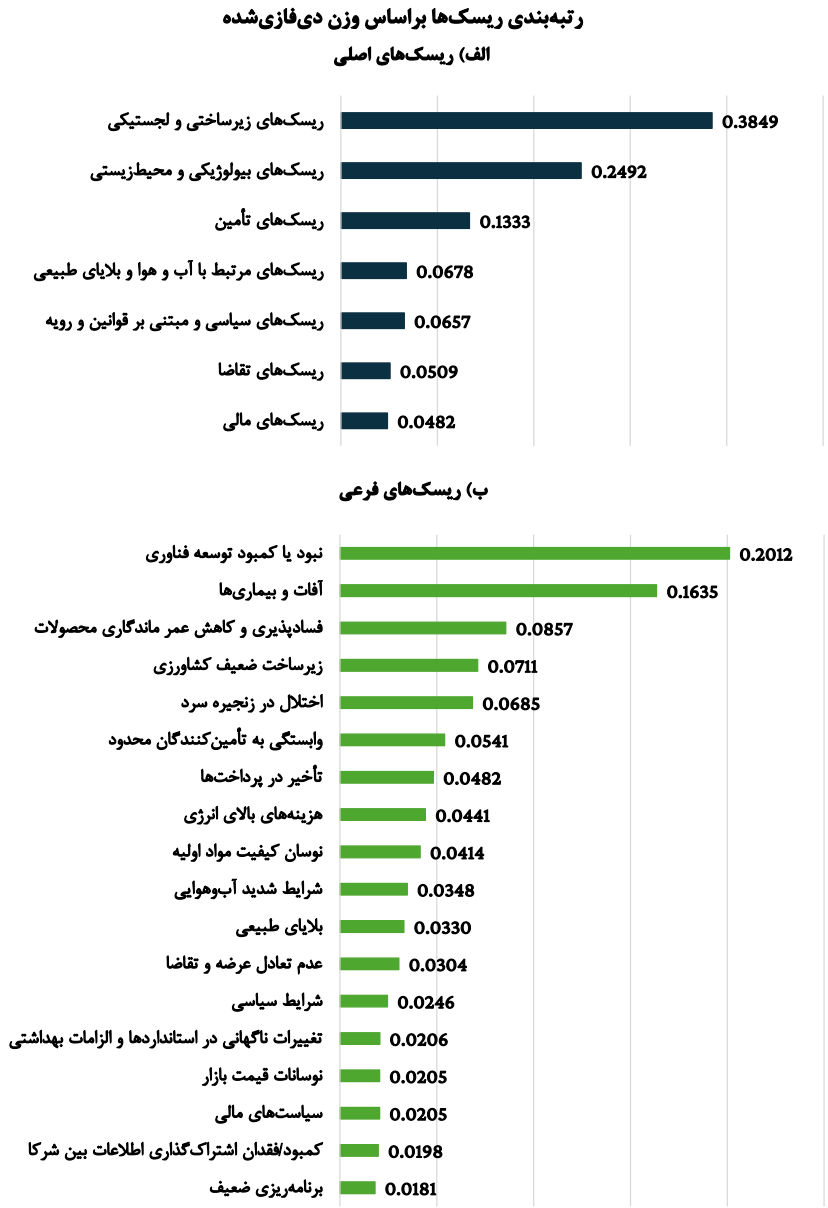
۴-۵- بحث، تفسیر نتایج و بینش‌های مدیریتی

نتایج تحلیل ریسک‌های اصلی در **جدول ۱۵** نشان داد که «زیرساختی و لجستیکی» با وزن ۰/۳۸۴۹، مهم‌ترین ریسک زنجیره تأمین شرکت‌های تولیدکننده محصولات گوشتی و پروتئینی فعال در منطقه ویژه اقتصادی و شهرک صنعتی شیراز است. پس‌ازآن، ریسک‌های «بیولوژیکی و محیط‌زیستی» با وزن ۰/۲۴۹۲ و «تأمین» با وزن ۰/۱۳۳۳، به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. ریسک‌های «اقلیمی و بلایای طبیعی» با وزن ۰/۰۶۷۸، «سیاسی و قانونی» با وزن ۰/۰۶۵۷، «تقاضا» با وزن ۰/۰۵۰۹ و «مالی» با وزن ۰/۰۴۸۲ نیز به ترتیب رتبه‌های چهارم تا هفتم را به خود اختصاص دادند. این الگوی رتبه‌بندی نشان می‌دهد که از دیدگاه خبرگان، آسیب‌پذیری زنجیره تأمین موردمطالعه بیش از هر چیز از محدودیت‌های زیرساختی و لجستیکی، مخاطرات بیولوژیکی و محیط‌زیستی و ناپایداری فرآیند تأمین تأثیر می‌پذیرد. بااین‌حال، قرار گرفتن ریسک‌های اقلیمی و بلایای طبیعی، سیاسی و قانونی، تقاضا و مالی در رتبه‌های پایین‌تر به معنای بی‌اهمیت بودن آن‌ها نیست، بلکه صرفاً بیانگر اهمیت نسبی کمتر آن‌ها در مقایسه با ریسک‌های زیرساختی، زیستی و تأمینی در محدوده موردمطالعه است.

جدول ۱۵. وزن نهایی دی‌فازی و رتبه سراسری ریسک‌های اصلی و فرعی AFSC

Table 15. Final defuzzified weights and overall ranking of main AFSC risks and rub-risks

ریسک اصلی	وزن ریسک اصلی	رتبه ریسک اصلی	ریسک فرعی	وزن ریسک فرعی	رتبه ریسک فرعی
تأمین (R_1)	۰/۱۳۳۳	۳	ضعف اشتراک‌گذاری اطلاعات بین شرکا (C_1)	۰/۰۱۹۸	۱۷
			برنامه‌ریزی ضعیف (C_2)	۰/۰۱۸۱	۱۸
			وابستگی به تأمین‌کنندگان محدود (C_3)	۰/۰۵۴۱	۶
			نوسان کیفیت مواد اولیه (C_4)	۰/۰۴۱۴	۹
تقاضا (R_2)	۰/۰۵۰۹	۶	عدم تعادل عرضه و تقاضا (C_5)	۰/۰۳۰۴	۱۲
			نوسانات قیمت بازار (C_6)	۰/۰۲۰۵	۱۵
مالی (R_3)	۰/۰۴۸۲	۷	تأخیر در پرداخت‌ها (C_7)	۰/۰۴۸۲	۷
زیرساختی و لجستیکی (R_4)	۰/۳۸۴۹	۱	هزینه‌های بالای انرژی (C_8)	۰/۰۴۴۱	۸
			زیرساخت ضعیف کشاورزی (C_9)	۰/۰۷۱۱	۴
			نبود یا کمبود توسعه فناوری (C_{10})	۰/۲۰۱۲	۱
			اختلال در زنجیره سرد (C_{11})	۰/۰۶۸۵	۵
بیولوژیکی و محیط‌زیستی (R_5)	۰/۲۴۹۲	۲	آفات و بیماری‌ها (C_{12})	۰/۱۶۳۵	۲
			فسادپذیری محصولات (C_{13})	۰/۰۸۵۷	۳
اقلیمی و بلایای طبیعی (R_6)	۰/۰۶۷۸	۴	شرایط شدید آب‌وهوایی (C_{14})	۰/۰۳۴۸	۱۰
			بلایای طبیعی (C_{15})	۰/۰۳۳۰	۱۱
سیاسی و قانونی (R_7)	۰/۰۶۵۷	۵	شرایط سیاسی (C_{16})	۰/۰۲۴۶	۱۳
			سیاست‌های مالی (C_{17})	۰/۰۲۰۵	۱۶
			تغییرات ناگهانی الزامات بهداشتی (C_{18})	۰/۰۲۰۶	۱۴



شکل ۵. رتبه‌بندی ریسک‌ها بر اساس وزن دی‌فازی‌شده: الف) ریسک‌های اصلی؛ ب) ریسک‌های فرعی.

Figure 5. Ranking of risks based on defuzzified weights: (a) main risks; (b) sub-risks.

جدول ۱۶. نتایج ارزیابی خبرگان در پرسشنامه روابط WHATs-HOWs

Table 16. Results of expert evaluation of WHATs–HOWs relationships

		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8	H_9	H_{10}
E_1	R_1	S	-	M	-	S	-	S	M	S	-
	R_2	S	-	-	-	S	M	M	S	-	-
	R_3	M	S	M	-	M	S	-	M	-	-
	R_4	S	M	S	-	M	M	M	M	S	S
	R_5	S	-	S	M	M	S	-	-	-	-
	R_6	M	M	S	S	M	S	M	S	S	M
	R_7	S	S	M	S	-	-	M	-	M	-
E_2	R_1	S	-	M	-	S	M	S	S	-	S
	R_2	S	-	-	-	-	-	M	S	S	-
	R_3	S	S	M	M	-	M	-	-	M	-
	R_4	S	-	S	M	-	M	-	M	S	S
	R_5	M	-	S	M	-	-	-	-	S	S
	R_6	M	-	S	S	-	M	M	-	S	-
	R_7	-	M	M	S	-	-	M	-	-	-

ادامه جدول ۱۶.

Table 16 continued.

		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8	H_9	H_{10}
E_3	R_1	M	S	M	M	-	-	S	M	M	-
	R_2	M	-	-	-	S	-	M	S	M	-
	R_3	S	S	M	S	-	S	M	-	M	-
	R_4	S	S	S	-	-	-	-	-	M	-
	R_5	-	M	M	-	-	S	-	-	-	S
	R_6	-	M	S	S	-	-	M	M	S	-
	R_7	S	S	M	S	M	-	M	-	-	-
E_4	R_1	S	-	M	-	S	-	M	-	-	-
	R_2	M	-	-	-	S	-	-	S	-	S
	R_3	-	S	-	-	-	-	-	-	-	W
	R_4	S	-	S	-	S	-	-	M	S	-
	R_5	S	-	S	M	M	S	-	M	M	-
	R_6	M	-	S	-	M	S	M	-	S	S
	R_7	M	-	-	S	-	-	-	-	-	M
E_5	R_1	S	M	S	M	S	S	S	-	-	-
	R_2	S	W	M	M	S	S	M	S	S	-
	R_3	M	S	M	S	M	S	M	-	M	-
	R_4	S	S	S	S	S	-	M	-	-	S
	R_5	S	-	S	S	M	S	M	M	S	S
	R_6	M	-	S	S	-	S	M	S	-	M
	R_7	M	S	M	S	M	S	M	M	M	-

جدول ۱۷. نتایج ارزیابی خبرگان در پرسشنامه روابط HOWs-HOWs

Table 17. Results of expert evaluation of HOWs–HOWs relationships

		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8	H_9	H_{10}
E_1	H_1	-	-	-	-	P	P	-	-	-	SP
	H_2		-	SN	SP	-	-	-	P	-	-
	H_3			-	-	-	SP	-	-	-	SP
	H_4				-	-	P	P	-	-	-
	H_5					-	SN	SN	-	SN	SN
	H_6						-	-	-	-	-
	H_7							-	-	-	SP
	H_8								-	-	-
	H_9									-	P
	H_{10}										-
E_2	H_1	-	-	-	-	-	-	SN	-	P	SP
	H_2		-	P	SN	-	-	-	SN	-	-
	H_3			-	P	P	-	P	SP	SP	SP
	H_4				-	-	-	-	-	-	-
	H_5					-	-	SN	-	-	SN
	H_6						-	-	-	P	SN
	H_7							-	-	SN	-
	H_8								-	-	-
	H_9									-	-
	H_{10}										-
E_3	H_1	-	-	-	-	N	SP	SP	-	SN	SN
	H_2		-	-	-	-	-	-	SN	SN	P
	H_3			-	P	-	-	-	SN	P	P
	H_4				-	-	-	SP	-	-	-
	H_5					-	-	-	SP	-	SN
	H_6						-	-	-	P	P
	H_7							-	-	-	-
	H_8								-	-	-
	H_9									-	-
	H_{10}										-

ادامه جدول ۱۷.

Table 17 continued.

		H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8	H_9	H_{10}
E_4	H_1	-	-	-	P	SN	SN	P	-	SP	-
	H_2		-	SP	-	-	-	SN	-	SP	P
	H_3			-	-	-	-	-	-	-	-
	H_4				-	-	-	-	-	SN	-
	H_5					-	-	N	N	-	N
	H_6						-	P	-	SN	P
	H_7							-	-	SN	-
	H_8								-	-	SN
	H_9									-	-
	H_{10}										-
E_5	H_1	-	-	SP	N	N	-	SP	SN	-	-
	H_2		-	-	-	P	-	P	-	-	-
	H_3			-	N	N	P	SP	-	SP	P
	H_4				-	-	P	-	-	-	-
	H_5					-	-	SN	-	P	-
	H_6						-	P	-	-	-
	H_7							-	-	P	-
	H_8								-	SN	-
	H_9									-	-
	H_{10}										-

جدول ۱۸. اهمیت فازی تعدیل‌شده، امتیاز فازی‌زدایی‌شده و رتبه راهبردهای تاب‌آوری (HOWs)

Table 18. Adjusted fuzzy importance, defuzzified scores, and ranking of resilience strategies

رتبه	امتیاز دی‌فازی‌شده	اهمیت فازی تعدیل‌شده	راهبرد تاب‌آوری
۲	۱/۷۴۸	(۰/۷۵۶ ,۱/۷۷۵ ,۲/۶۸۳)	پذیرش و توسعه فناوری
۸	۱/۰۲۷	(۰/۴۱۶ ,۱/۰۰۰ ,۱/۶۹۲)	ابزارهای مالی
۱	۲/۰۱۸	(۰/۸۶۶ ,۲/۱۰۰ ,۳/۰۰۶)	سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها
۹	۱/۰۲۶	(۰/۳۹۲ ,۱/۰۰۶ ,۱/۶۹۹)	برنامه‌های عمومی و سیاستی
۷	۱/۰۶۲	(۰/۳۴۵ ,۰/۹۷۸ ,۱/۹۴۶)	شفافیت و تسهیم اطلاعات
۶	۱/۲۷۶	(۰/۵۱۹ ,۱/۲۶۲ ,۲/۰۶۲)	فرهنگ مدیریت ریسک زنجیره تأمین
۵	۱/۴۱۵	(۰/۵۴۰ ,۱/۳۷۷ ,۲/۳۶۵)	تنوع‌بخشی به منابع تأمین
۱۰	۰/۶۸۱	(۰/۲۶۹ ,۰/۶۲۸ ,۱/۱۹۸)	تقویت پیش‌بینی عرضه و تقاضا
۴	۱/۴۸۳	(۰/۶۱۴ ,۱/۴۸۰ ,۲/۳۵۹)	مدیریت ایمن و منعطف موجودی
۳	۱/۵۹۰	(۰/۶۳۶ ,۱/۶۱۵ ,۲/۴۹۱)	استانداردسازی فرآیندها

در میان ریسک‌های فرعی، «نبود یا کمبود توسعه فناوری» با وزن ۰/۲۰۱۲ در رتبه نخست قرار گرفت. پس‌ازآن، «آفات و بیماری‌ها» با وزن ۰/۱۶۳۵، «فسادپذیری محصولات» با وزن ۰/۰۸۵۷، «زیرساخت ضعیف کشاورزی» با وزن ۰/۰۷۱۱ و «اختلال در زنجیره سرد» با وزن ۰/۰۶۸۵، به ترتیب رتبه‌های دوم تا پنجم را کسب کردند. اهمیت بالای این پنج ریسک با ویژگی‌های زنجیره تأمین محصولات گوشتی و پروتئینی سازگار است؛ زیرا حفظ کیفیت، سلامت و قابلیت مصرف این محصولات به کنترل مستمر دما، رعایت الزامات بهداشتی، سرعت جابه‌جایی، قابلیت ردیابی و عملکرد صحیح تجهیزات نگهداری وابسته است. نبود یا کمبود توسعه فناوری می‌تواند پایش شرایط نگهداری، کنترل موجودی، تبادل اطلاعات و تشخیص به‌موقع انحرافات را دشوار سازد. از سوی دیگر، آفات و بیماری‌ها و فسادپذیری محصولات، تهدیدهایی مستقیم برای سلامت و کیفیت محصول به شمار می‌روند؛ درحالی‌که زیرساخت ضعیف کشاورزی و اختلال در زنجیره سرد می‌توانند دامنه و شدت پیامدهای

این تهدیدها را افزایش دهند. قرار گرفتن هم‌زمان این عوامل در بالاترین رتبه‌ها، بیانگر ارتباط متقابل ریسک‌های فناورانه، زیستی و زیرساختی است و ضرورت مدیریت یکپارچه آن‌ها را آشکار می‌سازد.

نتایج **جدول ۱۸** نشان داد که «سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها» با امتیاز دی‌فازی‌شده ۲/۰۱۸، مهم‌ترین راهبرد ارتقای تاب‌آوری است. پس‌ازآن، «پذیرش و توسعه فناوری» با امتیاز ۱/۷۴۸، «استانداردسازی فرآیندها» با امتیاز ۱/۵۹۰، «مدیریت ایمن و منعطف موجودی» با امتیاز ۱/۴۸۳ و «تنوع‌بخشی به منابع تأمین» با امتیاز ۱/۴۱۵، به ترتیب در رتبه‌های دوم تا پنجم قرار گرفتند. «فرهنگ مدیریت ریسک زنجیره تأمین» با امتیاز ۱/۲۷۶، «شفافیت و تسهیم اطلاعات» با امتیاز ۱/۰۶۲، «ابزارهای مالی» با امتیاز ۱/۰۲۷، «برنامه‌های عمومی و سیاستی» با امتیاز ۱/۰۲۶ و «تقویت پیش‌بینی عرضه و تقاضا» با امتیاز ۰/۶۸۱ نیز به ترتیب رتبه‌های ششم تا دهم را به خود اختصاص دادند. انطباق رتبه نخست سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها با اولویت ریسک‌های زیرساختی و لجستیکی و همچنین جایگاه بالای پذیرش و توسعه فناوری در برابر ریسک نبود یا کمبود توسعه فناوری، انسجام منطقی میان مسائل شناسایی‌شده و راهبردهای پیشنهادی را تأیید می‌کند. استانداردسازی فرآیندها می‌تواند تغییرپذیری عملکرد را در مراحل تأمین، تولید، کنترل کیفیت، نگهداری و توزیع کاهش دهد؛ مدیریت ایمن و منعطف موجودی، توان پاسخ‌گویی به کمبود یا تأخیر در تأمین را افزایش می‌دهد؛ و تنوع‌بخشی به منابع تأمین، وابستگی به تأمین‌کنندگان محدود را تعدیل می‌کند. سایر راهبردها نیز با تقویت فرهنگ مدیریت ریسک، افزایش شفافیت اطلاعات، فراهم کردن حمایت‌های مالی و سیاستی و بهبود پیش‌بینی عرضه و تقاضا، بسترسازمانی لازم برای اجرای مؤثر راهبردهای اولویت‌دار را فراهم می‌سازند. درنتیجه، این راهبردها نباید اقداماتی مستقل تلقی شوند؛ بلکه اثربخشی آن‌ها مستلزم اجرای هماهنگ و متناسب با سطح اهمیت هر ریسک است.

نتایج پژوهش حاضر از نظر شناسایی اهمیت ریسک‌های زیرساختی و لجستیکی، بیولوژیکی و محیط‌زیستی، تأمین و نیز اولویت یافتن استراتژی‌های زیرساختی و فناورانه، با بخش قابل‌توجهی از مطالعات پیشین همسو است. پژوهش با نتایج پیشدار و حبیبی که ناکافی بودن زیرساخت‌های را از مهم‌ترین عوامل اثرگذار در زنجیره تأمین صنایع غذایی دانسته‌اند، مطابقت دارد (Pishdar & Habibi, 2023). از سوی دیگر، اولویت یافتن استراتژی‌هایی مانند توسعه فناوری، استانداردسازی و کنترل کیفیت با نتایج محسنی و محمدی زنجیرانی، و کریمی و همکاران هم‌راستا است که بر نقش بهبود فرآیندها، فناوری، شفافیت، همکاری و انعطاف‌پذیری در کاهش ریسک و افزایش تاب‌آوری تأکید کرده‌اند (Karimi et al., 2024؛ Mohseni & Mohammadi Zanjirani, 2024). در سایر مطالعات نیز نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های کومار و کومار سینگ، و سینگ و دویودی تطابق دارد؛ زیرا هر دو مطالعه از رویکرد QFD برای پیوند ریسک‌ها با استراتژی‌های تاب‌آوری استفاده کرده و توسعه فناوری و بهبود زیرساخت‌ها را از راهکارهای مهم ارتقای تاب‌آوری معرفی کرده‌اند (Kumar & Kumar Singh, 2022؛ Singh & Dwivedi, 2025). همچنین یافته‌های ژانگ و یانگ، شن و جیانگ، و فریوند و همکاران درباره نقش فناوری‌های دیجیتال، سیستم‌های اطلاعاتی و مدیریت داده در تقویت تاب‌آوری، مؤید نتایج پژوهش حاضر در اولویت دادن به پذیرش و توسعه فناوری است (Freund et al., 2026؛ Shen & Jiang, 2026؛ Zhang & Yang, 2025). وجه متمایز نتایج مطالعه حاضر، برجسته شدن هم‌زمان فناوری، مخاطرات زیستی، فسادپذیری و زنجیره سرد است که از ویژگی‌های خاص زنجیره تأمین محصولات گوشتی و پروتئینی ناشی می‌شود.

از منظر مدیریتی، راهکارهای پیشنهادی را می‌توان در دو افق کوتاه‌مدت و بلندمدت اجرا کرد. در کوتاه‌مدت، استانداردسازی رویه‌های تأمین، تولید، کنترل کیفیت، نگهداری و توزیع، اجرای برنامه منظم نگهداری پیشگیرانه، پایش مستمر دمای سردخانه و حمل‌ونقل، ارزیابی تأمین‌کنندگان جایگزین و تعیین موجودی اطمینان متناسب با فسادپذیری و عمر ماندگاری محصولات در اولویت قرار دارد. همچنین، تدوین برنامه تداوم فعالیت، آموزش کارکنان و اجرای مانورهای دوره‌ای برای مواجهه با اختلال زنجیره سرد و بیماری‌های فراگیر می‌تواند آمادگی عملیاتی شرکت‌ها را افزایش دهد. اثربخشی این اقدامات نیز باید با شاخص‌هایی مانند نرخ خرابی

تجهیزات، مدت خروج دما از محدوده مجاز، میزان ضایعات، زمان بازیابی عملیات و تحویل به‌موقع پایش شود.

در بلندمدت، تخصیص منابع باید بر اقداماتی متمرکز شود که چند ریسک را به‌طور هم‌زمان کنترل می‌کنند. بهسازی سردخانه‌ها و انبارها، نوسازی ناوگان حمل‌ونقل یخچال‌دار، تأمین تجهیزات و سامانه‌های پشتیبان انرژی و استقرار سامانه‌های اطلاعاتی یکپارچه، حسگرهای کنترل دما، هشدارهای خودکار و فناوری‌های ردیابی از مهم‌ترین اقدامات این دوره‌اند. توسعه پایدار شبکه تأمین‌کنندگان جایگزین و تقویت فرهنگ مدیریت ریسک نیز می‌تواند وابستگی به منابع محدود را کاهش داده و ظرفیت پاسخ‌گویی و بازیابی زنجیره را در برابر اختلالات افزایش دهد؛ بنابراین، ارتقای تاب‌آوری مستلزم اجرای هماهنگ اقدامات کوتاه‌مدت عملیاتی و سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت زیرساختی و فناورانه است.

۴- ۶- آنالیز حساسیت و بررسی استواری نتایج

به‌منظور بررسی پایداری رتبه‌بندی راهبردهای ارتقای تاب‌آوری در برابر تغییر وزن ریسک‌های اصلی، از تحلیل حساسیت استفاده می‌شود. این روش در مطالعات دارکو و همکاران، درمیان و همکاران، و افراسیابی همکاران پیشنهاد شده است (Afrasiabi, Tavana, et al., 2022؛ Darmian et al., 2023؛ Darko et al., 2025). در این روش، مهم‌ترین ریسک بر اساس وزن نهایی به‌عنوان ریسک مبنا انتخاب و وزن آن در سناریوهای مختلف تغییر داده می‌شود. برای حفظ مجموع وزن‌ها برابر با یک، این تغییر به‌صورت متناسب میان سایر ریسک‌ها توزیع می‌شود.

وزن تعدیل‌شده ریسک‌های غیرمبنا مطابق رابطه **۲۰** محاسبه می‌شود:

$$w_c = (1 - w_s) \times \left(\frac{w_c^o}{W_c^o}\right) = w_c^o - \Delta x \alpha_c \qquad (۲۰)$$

که در آن، w_c وزن تعدیل‌شده ریسک غیرمبنای c، w_s وزن جدید ریسک مبنا، w_c^0 وزن اولیه ریسک c، W_c^0 مجموع وزن‌های اولیه ریسک‌های غیرمبنا، Δx میزان تغییر وزن ریسک مبنا و α_c ضریب کشش است. ضریب کشش ریسک‌های غیرمبنا از رابطه **۲۱** به دست می‌آید:

$$\alpha_c = \frac{w_c^o}{W_c^o} \qquad (۲۱)$$

این ضریب سهم هر ریسک غیرمبنا از تعدیل وزن را مشخص می‌کند؛ درحالی‌که ضریب کشش ریسک مبنا برابر با یک در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب، نسبت وزن ریسک‌های غیرمبنا در تمام سناریوها ثابت باقی می‌ماند و مجموع وزن‌ها نیز برابر با یک حفظ می‌شود.

برای جلوگیری از منفی شدن وزن‌ها، مقدار Δx باید مطابق رابطه **۲۲** در دامنه زیر قرار گیرد:

$$-w_s^o \le \Delta x \le \min_{c \neq s} \left\{\frac{w_c^o}{\alpha_c}\right\} \qquad (۲۲)$$

پس از تعیین مقدار Δx برای هر سناریو، وزن جدید ریسک مبنا با استفاده از رابطه **۲۳** محاسبه می‌شود:

$$w_s = w_s^0 + \Delta x \alpha_s \qquad (۲۳)$$

همچنین وزن جدید هر یک از ریسک‌های غیرمبنا نیز مطابق رابطه **۲۴** به دست می‌آید:

$$w_c = w_c^0 - \Delta x \alpha_c \qquad (۲۴)$$

بدین ترتیب، در هر سناریو ضمن تغییر وزن مهم‌ترین ریسک، نسبت اولیه میان وزن سایر ریسک‌های اصلی حفظ می‌شود و مجموع وزن‌ها همچنان برابر با یک باقی می‌ماند.

بر اساس نتایج وزن‌دهی ریسک‌ها (جدول **۱۳**)، ریسک «زیرساختی و لجستیکی»، با وزن اولیه ۰/۳۸۴۹، به‌عنوان مهم‌ترین ریسک مؤثر بر اولویت‌بندی راهبردهای ارتقای تاب‌آوری شناسایی شد. ازاین‌رو، مطابق روش تشریح‌شده، این ریسک به‌عنوان ریسک مبنا انتخاب شد و تحلیل حساسیت با تغییر وزن آن انجام گرفت تا میزان تأثیر این تغییرات بر رتبه‌بندی نهایی راهبردها بررسی شود. برای این منظور، ضرایب کشش وزن (α_c) برای هفت ریسک اصلی مطابق **جدول ۱۹** ارائه شده است.

برای بررسی نظام‌مند تأثیر تغییر وزن ریسک زیرساختی و لجستیکی بر نتایج مدل، هفت سناریوی تحلیل حساسیت تعریف شد. در سناریوی نخست، وزن این ریسک برابر با صفر در نظر گرفته شد و در سناریوهای بعدی، وزن آن با گام تقریباً ۰/۱۴۲۹ افزایش یافت؛ به‌طوری‌که در سناریوی هفتم به ۰/۸۵۷۱ رسید. هم‌زمان، وزن سایر ریسک‌های اصلی بر اساس ضرایب کشش محاسبه‌شده تعدیل شد. این فرآیند ضمن حفظ نسبت میان وزن ریسک‌های غیرمبنا، موجب شد مجموع وزن ریسک‌ها در تمام سناریوها برابر با یک باقی بماند.

وزن‌های تعدیل‌شده ریسک‌های اصلی در سناریوهای مختلف در **جدول ۲۰** ارائه شده است. سپس وزن‌های تعدیل‌شده ریسک‌های اصلی در محاسبات مدل FQFD جایگزین و امتیاز و رتبه راهبردها در هر سناریو مجدداً محاسبه شد. نتایج عددی رتبه‌بندی در **جدول ۲۱** و نمایش تصویری تغییرات رتبه‌ها در **شکل ۶** ارائه شده است.

جدول ۱۹. ضرایب کشش تغییرات وزن ریسک‌های اصلی

Table 19. Elasticity coefficients for changes in weights of main risks

ضریب کشش	ریسک اصلی
۰/۲۱۶۸	تأمین (R_1)
۰/۰۸۲۸	تقاضا (R_2)
۰/۰۷۸۴	مالی (R_3)
۱/۰۰۰۰	زیرساختی و لجستیکی (R_4)
۰/۴۰۵۱	بیولوژیکی و محیط‌زیستی (R_5)
۰/۱۱۰۲	اقلیمی و بلایای طبیعی (R_6)
۰/۱۰۶۸	سیاسی و قانونی (R_7)

جدول ۲۰. وزن جدید ریسک‌های اصلی در سناریوهای تحلیل حساسیت

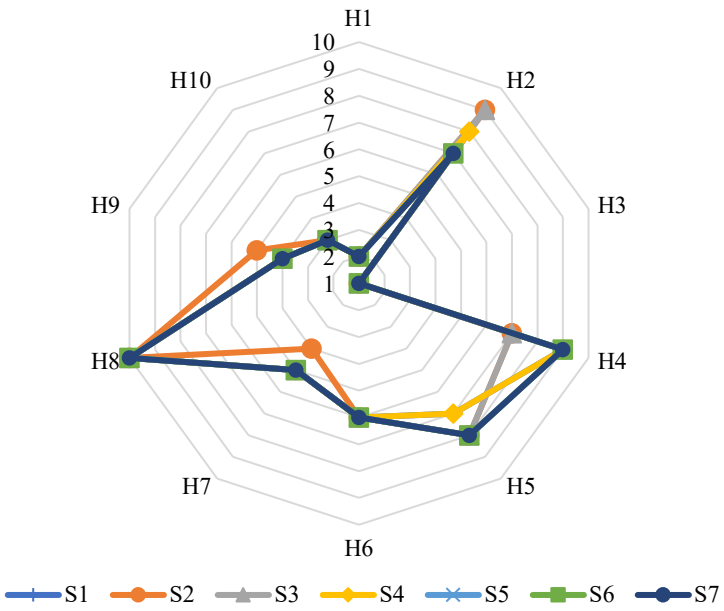
Table 20. Adjusted weights of main risks under sensitivity analysis scenarios

ریسک/سناریو	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
R_1	۰/۲۱۶۸	۰/۱۸۵۸	۰/۱۵۴۸	۰/۱۲۳۹	۰/۰۹۲۹	۰/۰۶۱۹	۰/۰۳۱۰
R_2	۰/۰۸۲۸	۰/۰۷۱۰	۰/۰۵۹۱	۰/۰۴۷۳	۰/۰۳۵۵	۰/۰۲۳۷	۰/۰۱۱۸
R_3	۰/۰۷۸۴	۰/۰۶۷۲	۰/۰۵۶۰	۰/۰۴۴۸	۰/۰۳۳۶	۰/۰۲۲۴	۰/۰۱۱۲
R_4	۰/۰۰۰۰	۰/۱۴۲۹	۰/۲۸۵۷	۰/۴۲۸۶	۰/۵۷۱۴	۰/۷۱۴۳	۰/۸۵۷۱
R_5	۰/۴۰۵۱	۰/۳۴۷۲	۰/۲۸۹۴	۰/۲۳۱۵	۰/۱۷۳۶	۰/۱۱۵۷	۰/۰۵۷۹
R_6	۰/۱۱۰۲	۰/۰۹۴۴	۰/۰۷۸۷	۰/۰۶۳۰	۰/۰۴۷۲	۰/۰۳۱۵	۰/۰۱۵۷
R_7	۰/۱۰۶۸	۰/۰۹۱۵	۰/۰۷۶۳	۰/۰۶۱۰	۰/۰۴۵۸	۰/۰۳۰۵	۰/۰۱۵۳

جدول ۲۱. نتایج رتبه‌بندی راهبردهای ارتقای تاب‌آوری در سناریوهای تحلیل حساسیت

Table 21. Ranking results of resilience enhancement strategies under sensitivity analysis scenarios

راهبرد/سناریو	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
H_1	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
H_2	۷	۷	۷	۸	۹	۹	۸
H_3	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
H_4	۹	۹	۹	۹	۷	۷	۹
H_5	۸	۸	۸	۷	۸	۸	۷
H_6	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
H_7	۵	۵	۵	۵	۵	۴	۵
H_8	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
H_9	۴	۴	۴	۴	۴	۵	۴
H_{10}	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳



شکل ۶. نتایج رتبه‌بندی راهبردهای ارتقای تاب‌آوری در سناریوهای تحلیل حساسیت.

Figure 6. Ranking results of resilience enhancement strategies under sensitivity analysis scenarios.

نتایج تحلیل حساسیت نشان‌دهنده پایداری بسیار زیاد بخش بالایی رتبه‌بندی است. راهبرد H_3، باوجود تغییر گسترده وزن ریسک زیرساختی و لجستیکی از صفر تا ۰/۸۵۷۱، در تمام هفت سناریو رتبه نخست را حفظ کرده است. همچنین، راهبردهای H_1 و H_{10} در تمامی سناریوها به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند. ثبات کامل این سه راهبرد در جایگاه‌های برتر نشان می‌دهد که برتری آن‌ها به یک ساختار وزن‌دهی خاص وابسته نیست و از عملکرد مناسب آن‌ها در برابر مجموعه ریسک‌های اصلی ناشی می‌شود.

الگوی مشابهی برای راهبردهای H_6 و H_8 مشاهده می‌شود. راهبرد H_6 در تمام سناریوها رتبه ششم را حفظ کرده است؛ درحالی‌که H_8 همواره در رتبه دهم و آخر قرار دارد. بنابراین، تغییر اهمیت ریسک مبنا تأثیری بر جایگاه نسبی این دو راهبرد نداشته است.

تغییرات محدودی در رتبه سایر راهبردها مشاهده می‌شود. راهبردهای H_7 و H_9 در سناریوی دوم جایگاه‌های چهارم و پنجم خود را با یکدیگر مبادله کرده‌اند، اما در سناریوهای بعدی به موقعیت پیشین بازگشته‌اند. تغییرات محسوس‌تر، هرچند همچنان محدود، میان راهبردهای H_2، H_4 و H_5 رخ داده است. رتبه H_2 بین هفتم تا نهم، رتبه H_4 بین هفتم تا نهم و رتبه H_5 بین هفتم و هشتم تغییر کرده است. این جابه‌جایی‌ها تنها به بخش میانی و پایینی رتبه‌بندی محدود شده‌اند و تأثیری بر هویت و ترتیب سه راهبرد برتر نداشته‌اند.

با افزایش وزن ریسک زیرساختی و لجستیکی در سناریوهای S_5 تا S_7، جایگاه راهبرد H_2 بهبود یافته و از رتبه هشتم یا نهم به رتبه هفتم رسیده است. در مقابل، H_4 به رتبه نهم تنزل یافته و H_5 نیز در رتبه هشتم قرار گرفته است. این الگو نشان می‌دهد که راهبرد H_2 در مقایسه با H_4 و H_5، عملکرد مناسب‌تری در مواجهه با ریسک زیرساختی و لجستیکی دارد؛ ازاین‌رو، افزایش اهمیت این ریسک موجب بهبود موقعیت نسبی آن شده است.

درمجموع، شش راهبرد H_1، H_3، H_6، H_7، H_8 و H_{10} حداقل در شش سناریو از هفت سناریو رتبه ثابتی داشته‌اند. مهم‌تر از آن، سه جایگاه نخست در تمام سناریوها کاملاً بدون تغییر باقی مانده‌اند. بنابراین، نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد مدل پیشنهادی QFD فازی از استحکام و پایداری زیادی برخوردار است. اگرچه جابه‌جایی‌های محدودی میان برخی راهبردهای دارای رتبه پایین‌تر مشاهده شد، حتی تغییرات شدید وزن مهم‌ترین ریسک نیز موجب تغییر راهبرد برتر یا ترکیب و ترتیب سه راهبرد نخست نشده است. در راستای ارزیابی کمی میزان ثبات نتایج، ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن میان رتبه‌بندی راهبردها در تمام زوج‌های سناریوهای تحلیل حساسیت

محاسبه شد. نتایج نشان داد مقادیر این ضریب در دامنه ۰/۹۳۹ تا ۱ قرار دارند و میانگین ضرایب همبستگی برابر با ۰/۹۷۲ است. مقدار بالای میانگین ضریب همبستگی اسپیرمن، ثبات و استحکام زیاد نتایج مدل پیشنهادی را در برابر تغییرات وزن ریسک مبنا تأیید می‌کند.

۵- نتیجه‌گیری، محدودیت‌ها و پیشنهادات

زنجیره‌های تأمین کشاورزی–غذایی به دلیل ماهیت پیچیده، چند بازیگری و وابستگی زیاد به شرایط محیطی، زیرساختی و اقتصادی، در معرض طیف گسترده‌ای از ریسک‌ها قرار دارند. ازاین‌رو، شناسایی و تحلیل ریسک‌ها و انتخاب راهبردهای مناسب برای ارتقای تاب‌آوری، نقشی اساسی در حفظ تداوم فعالیت‌ها و کاهش پیامدهای اختلالات ایفا می‌کند. پژوهش حاضر با تمرکز بر زنجیره تأمین محصولات گوشتی و پروتئینی، چارچوبی مبتنی بر MCDM و FQFD ارائه کرد تا ضمن تعیین اهمیت ریسک‌های اصلی، راهبردهای ارتقای تاب‌آوری متناسب با آن‌ها اولویت‌بندی شوند.

نتایج وزن‌دهی روش OPA-F نشان داد که ریسک‌های «زیرساختی و لجستیکی»، «بیولوژیکی و محیط‌زیستی» و «تأمین» به ترتیب سه گروه اصلی و پراهمیت ریسک در زنجیره تأمین موردمطالعه به شمار می‌روند. در سطح ریسک‌های فرعی نیز «نبود یا کمبود توسعه فناوری»، «آفات و بیماری‌ها»، «فسادپذیری محصولات»، «زیرساخت ضعیف کشاورزی» و «اختلال در زنجیره سرد» به ترتیب پنج رتبه نخست را به خود اختصاص دادند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری زنجیره تأمین موردمطالعه عمدتاً ناشی از محدودیت‌های فناورانه و زیرساختی، مخاطرات زیستی، فسادپذیری محصولات و اختلال در فرآیندهای نگهداری و لجستیک است.

بر اساس نتایج مدل FQFD، راهبردهای «سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها»، «پذیرش و توسعه فناوری» و «استانداردسازی فرآیندها» به ترتیب به‌عنوان سه راهبرد برتر ارتقای تاب‌آوری شناسایی شدند. برتری این راهبردها بیانگر انطباق بیشتر آن‌ها با ریسک‌های اصلی و فرعی شناسایی‌شده در مقایسه با سایر گزینه‌هاست. ازاین‌رو، اجرای این راهبردها می‌تواند ضمن کاهش آسیب‌پذیری‌ها، ظرفیت پاسخ‌گویی، سازگاری و بازیابی زنجیره تأمین را تقویت کند.

نتایج تحلیل حساسیت نیز پایداری رتبه‌بندی راهبردها را تأیید کرد. با وجود تغییرات گسترده در اهمیت «ریسک‌های زیرساختی و لجستیکی» به‌عنوان مهم‌ترین ریسک اصلی، سه راهبرد برتر شامل «سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها»، «پذیرش و توسعه فناوری» و «استانداردسازی فرآیندها» در تمامی سناریوها جایگاه خود را حفظ کردند. همچنین، همبستگی رتبه‌ای بالای میان سناریوها نشان داد که رتبه‌بندی حاصل از مدل پیشنهادی در برابر تغییر اهمیت مهم‌ترین ریسک از ثبات و استحکام مناسبی برخوردار است.

این پژوهش با محدودیت‌هایی همراه بود. به دلیل تخصصی‌بودن موضوع، داده‌ها از تعداد محدودی از خبرگان آشنا با زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی گردآوری شد؛ بنابراین، ممکن است دیدگاه همه ذی‌نفعان به‌طور کامل منعکس نشده باشد. اگرچه اعضای کمیته از مدیران باتجربه و دارای موقعیت‌های سازمانی متفاوت بودند، تمرکز ترکیب آنان در سطح تحصیلات دکتری ممکن است تنوع دیدگاه‌ها از حیث پیشینه تحصیلی را تا حدودی محدود کرده باشد. همچنین، اتکای پژوهش به قضاوت‌های خبرگی، با وجود استفاده از منطق فازی، احتمال تأثیرپذیری نتایج از برداشت‌های ذهنی پاسخ‌دهندگان را منتفی نمی‌سازد. محدودیت دیگر پژوهش به مقیاس ارزیابی روابط میان راهبردها مربوط است. در مقیاس اقتباس‌شده از بوتانی و ریزی (Bottani & Rizzi, 2006)، روابط منفی با اعداد فازی کوچک‌تر و نه مقادیر منفی علامت‌دار نمایش داده می‌شوند؛ بنابراین، اثر کاهنده آن‌ها به‌طور کامل در محاسبات منعکس نمی‌شود. انجام پژوهش در قالب یک مطالعه موردی و گردآوری داده‌ها در یک مقطع زمانی نیز تعمیم یافته‌ها به سایر زنجیره‌ها، مناطق و دوره‌های زمانی را محدود می‌کند. ازاین‌رو، یافته‌های پژوهش باید به‌عنوان اولویت‌های حاصل از دیدگاه خبرگان در بستر موردمطالعه تفسیر شوند و تعمیم آن‌ها به سایر زنجیره‌های تأمین با احتیاط صورت گیرد. افزون بر این، تمرکز پژوهش بر وزن‌دهی ریسک‌ها و اولویت‌بندی راهبردهای تاب‌آوری بوده و روابط علّی و متقابل میان ریسک‌ها بررسی نشده است.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با مشارکت گسترده‌تر تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان و در زنجیره‌ها و مناطق جغرافیایی مختلف انجام شوند تا قابلیت تعمیم چارچوب پیشنهادی ارزیابی شود. همچنین، بررسی پویایی ریسک‌ها در دوره‌های زمانی متفاوت و تحلیل روابط علّی میان آن‌ها با روش‌هایی مانند DEMATEL فازی، ISM و MICMAC می‌تواند شناخت دقیق‌تری از ریسک‌های اثرگذار و اثرپذیر فراهم کند. درنهایت، مقایسه نتایج وزن‌دهی با روش‌هایی مانند OPA خاکستری و BWM فازی و رتبه‌بندی راهبردها با روش‌های ARAS، COPRAS، MULTIMOORA و EDAS برای ارزیابی بیشتر استحکام نتایج مدل QFD فازی پیشنهاد می‌شود.

قدردانی

از مدیران، کارشناسان و خبرگان زنجیره تأمین کشاورزی–غذایی موردمطالعه برای همکاری در گردآوری داده‌ها و ارائه دیدگاه‌های تخصصی قدردانی می‌کنند.

حمایت مالی

این پژوهش هیچ‌گونه حمایت مالی دریافت نکرده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافع مرتبط با تحقیق حاضر ندارند.

مشارکت‌های نویسندگان

مهناز زارعی: مفهوم‌پردازی، تحلیل آماری، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، تأمین منابع، نرم‌افزار، اعتبارسنجی، مصورسازی، مدیریت پروژه، راهنمایی، نگارش پیش‌نویس اصلی، نگارش - بازبینی و ویرایش؛ **امیر ایمان‌فر:** مدیریت داده‌ها، تحلیل آماری، روش‌شناسی، نگارش پیش‌نویس اصلی.

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

Abolghasemian, M., Kheiri, A. O., & Saberifard, N. (2024). Prioritizing factors affecting the flexibility and performance of the digital supply chain system in the Iranian food industry. *System Engineering and Productivity*, *4*(1), 41-57. https://doi.org/10.22034/msb.2024.2025240.1194

Afrasiabi, A., Chalmardi, M. K., & Balezentis, T. (2022). A novel hybrid evaluation framework for public organizations based on employees' performance factors. *Evaluation and Program Planning*, *91*, 102020. https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2021.102020

Afrasiabi, A., Tavana, M., & Di Caprio, D. (2022). An extended hybrid fuzzy multi-criteria decision model for sustainable and resilient supplier selection. *Environmental Science and Pollution Research, 29(25), 37291-37314*. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17851-2

Ali, I., Sadiddin, A., & Cattaneo, A. (2023). Risk and resilience in agri-food supply chain SMEs in the pandemic era: a cross-country study. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *26*(11), 1602-1620. https://doi.org/10.1080/13675567.2022.2102159

Ali, Z., Siddiqui, M. S., Khan, S., & Ali, R. (2025). A multi-method analysis of risk mitigation strategies for the livestock supply chain. *Sustainability*, *17*(15), 6741. https://doi.org/10.3390/su17156741

Alqahtani, A. Y., & Makki, A. A. (2023). A DEMATEL-ISM integrated modeling approach of influencing factors shaping destination image in the tourism industry. *Administrative Sciences*, *13*(9), 201. https://doi.org/10.3390/admsci13090201

Ataei, Y., Mahmoudi, A., Feylizadeh, M. R., & Li, D.-F. (2020). Ordinal priority approach (OPA) in multiple attribute decision-making. *Applied soft computing*, *86*, 105893. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105893

Behzadi, G., O'Sullivan, M. J., Olsen, T. L., & Zhang, A. (2018). Agribusiness supply chain risk management: A review of quantitative decision models. *Omega*, *79*, 21-42. https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.07.005

Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., & Giacchetta, G. (2006). A fuzzy-QFD approach to supplier selection. *Journal of Purchasing and Supply*

The case of dioxins. *Risk Analysis*, *44*(4), 785-801. https://doi.org/10.1111/risa.14205

Freund, A., Jámbor, Z., & Nagy, J. (2026). A capability hierarchy for building resilience in multi-actor agri-food supply chains: a digitalisation perspective. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *37*(9), 19-39. https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2024-0718

Hobbs, J. E. (2021). The Covid-19 pandemic and meat supply chains. *Meat Sci*, *181*, 108459. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108459

Hosseini, S., Ivanov, D., & Dolgui, A. (2019). Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *125*, 285-307. https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.001

Ibrahim, M. F., Santoso, I., Mustaniroh, S. A., Astuti, R., & Rau, H. (2026). Prioritizing proactive risk mitigation strategies in agri-food supply chains: an integrated fuzzy decision-support framework. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 1-27. https://doi.org/10.1080/21681015.2026.2653968

Ikasari, D. M., Suef, M., & Vanany, I. (2025). A bibliometric analysis of risk management and sustainability in the agri-food supply chain: future directions. *Engineering Proceedings*, *84*(1), 13. https://doi.org/10.3390/engproc2025084013

Joshi, S., Sharma, M., Ekren, B. Y., Kazancoglu, Y., Luthra, S., & Prasad, M. (2023). Assessing supply chain innovations for building resilient food supply chains: An emerging economy perspective. *Sustainability*, *15*(6), 4924. https://doi.org/10.3390/su15064924

Karimi, A., Hassanpoor, H.-a., & Mosadegh Khah, M. (2024). Providing a model for analysis of disorders and resilience of the food supply chain. *Journal of Improvement Management*, *18*(2), 48-73. https://doi.org/10.22034/jmi.2024.449228.3074

Kazancoglu, Y., Sezer, M. D., Ozbiltekin-Pala, M., Lafçı, Ç., & Sarma, P. R. S. (2024). Evaluating resilience in food supply chains during COVID-19. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *27*(5), 688-704. https://doi.org/10.1080/13675567.2021.2003762

Keramydas, C., Papapanagiotou, K., Vlachos, D., & Iakovou, E. (2015). Risk management for agri-food supply chains. In *Supply Chain Management for Sustainable Food Networks* (pp. 255-292). https://doi.org/10.1002/9781118937495.ch10

Khalilzadeh, M., Ghasemi, P., Afrasiabi, A., & Shakeri, H. (2021). Hybrid fuzzy MCDM and FMEA integrating with linear programming *Management*, *12*(1), 14-27. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2006.02.001

Bottani, E., & Rizzi, A. (2006). Strategic management of logistics service: A fuzzy QFD approach. *International Journal of Production Economics*, *103*(2), 585-599. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.11.006

Darko, A. P., Zhang, B., Agbodah, K., Antwi, C. O., Asamoah, K. O., Ren, K., & Ren, J. (2025). Evaluating mental health apps under uncertainty: a decision-support framework integrating linguistic distributions, disappointment theory, and double normalization-based multi-aggregation. *Humanities and Social Sciences Communications*, *12*(1), 1357. https://doi.org/10.1057/s41599-025-05625-x

Darmian, S. M., Afrasiabi, A., & Yazdani, M. (2023). Multi-criteria evaluation of agro-processing industries for sustainable local economic development in East of Iran. *Expert Systems with Applications*, *230*, 120607. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120607

Davoudi, S., Stasinopoulos, P., & Shiwakoti, N. (2024). Two decades of advancements in cold supply chain logistics for reducing food waste: A review with focus on the meat industry. *Sustainability*, *16*(16), 6986. https://doi.org/10.3390/su16166986

Dehghani Filabadi, A., Nahid Titkanlue, H., & Jamali, S. (2026). Identification and ranking of key factors in total quality management (TQM) adoption using a hybrid fuzzy Delphi-SWARA approach: A case study of Shiraz petrochemical company. *System Engineering and Productivity*, *6*(2), 261-282. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2071569.1394

Ebrahimi, S., & Bridgelall, R. (2021). A fuzzy Delphi analytic hierarchy model to rank factors influencing public transit mode choice: A case study. *Research in Transportation Business & Management*, *39*, 100496. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100496

Eshghali, M., & Jafarian, A. (2024). A causal model to analyze the interactions between farmer and factory in the agri-food value chain. *Strategic Value Chain Management*, *1*(1), 72-95. https://doi.org/10.22075/svcm.2025.35017.1002

Eskandari, M., Darabi, M., & Asghari, H. (2025). Identification and assessment of risks in the sales barriers to reduce food supply chain crises. *Supply Chain Management*, *27*(86), 19-29. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089198.1404.27.86.3.5

Focker, M., van Wagenberg, C., van Asselt, E., & van der Fels-Klerx, H. J. (2024). The resilience of the pork supply chain to a food safety outbreak:

Delphi study. *System Engineering and Productivity*, *5*(4), 149-167. https://doi.org/10.22034/sep.2025.2065794.1352

Nguyen, P.-H. (2022). Agricultural supply chain risks evaluation with spherical fuzzy analytic Hierarchy process. *Computers, Materials \& Continua*, *73*(2). https://doi.org/10.32604/cmc.2022.030115

Pishdar, M., & Habibi, A. (2023). Identifying and prioritizing factors affecting transportation risk management in the food supply chain using gray Delphi and gray COPRAS. *Industrial Management Studies*, *21*(71), 263-295. https://doi.org/10.22054/jims.2023.73344.2858

Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, *53*, 49-57. https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009

Roy, R., Islam, K., Rahman, M., Ahmed, T., Muhammad, S., & Ghosh, S. K. (2024). Assessment of barriers towards a sustainable and resilient poultry industry supply chain: A developing country viewpoint after COVID-19. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, *13*, 100184. https://doi.org/10.1016/j.clscn.2024.100184

Saaty, T. L. (2004). Fundamentals of the analytic network process—Dependence and feedback in decision-making with a single network. *Journal of Systems science and Systems engineering*, *13*(2), 129-157. https://doi.org/10.1007/s11518-006-0158-y

Sahoo, S. K., & Goswami, S. S. (2023). A comprehensive review of multiple criteria decision-making (MCDM) methods: advancements, applications, and future directions. *Decision Making Advances*, *1*(1), 25-48. https://doi.org/10.31181/dma1120237

Sharma, J., & Tripathy, B. B. (2023). An integrated QFD and fuzzy TOPSIS approach for supplier evaluation and selection. *The TQM Journal*, *35*(8), 2387-2412. https://doi.org/10.1108/TQM-09-2022-0295

Shen, F., & Jiang, F. (2026). The resilience of agricultural product supply chain: An empirical analysis based on spatial spillover and threshold effects. *Sustainability*, *18*(4), 1975. https://doi.org/10.3390/su18041975

Singh, R., & Dwivedi, G. (2025). Resilience in agri-food supply chains: a framework for risk assessment and strategy development. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *28*(12), 1659-1690. https://doi.org/10.1080/13675567.2024.2389050

Whitehead, D., & Brad Kim, Y. H. (2022). The impact of COVID 19 on the meat supply chain in the USA: A review. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 42(5), 762-774*. https://doi.org/10.5851/kosfa.2022.e39

approach for the health and safety executive risks: a case study. *Journal of Modelling in Management*, *16*(4), 1025-1053. https://doi.org/10.1108/jm2-12-2019-0285

Krstić, M., Elia, V., Agnusdei, G. P., De Leo, F., Tadić, S., & Miglietta, P. P. (2023). Evaluation of the agri-food supply chain risks: the circular economy context. *British Food Journal*, *126*(1), 113-133. https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2022-1116

Kumar, A., Mangla, S. K., Kumar, P., & Song, M. (2021). Mitigate risks in perishable food supply chains: Learning from COVID-19. *Technological Forecasting and Social Change*, *166*, 120643. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120643

Kumar, P., & Kumar Singh, R. (2022). Strategic framework for developing resilience in agri-food supply chains during COVID 19 pandemic. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *25*(11), 1401-1424. https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1908524

Mahmoudi, A., Javed, S. A., & Mardani, A. (2022). Gresilient supplier selection through fuzzy ordinal priority approach: decision-making in post-COVID era. *Operations Management Research*, *15*(1), 208-232. https://doi.org/10.1007/s12063-021-00178-z

Mahmoudi, A., Sadeghi, M., & Deng, X. (2025). Performance measurement of construction suppliers under localization, agility, and digitalization criteria: fuzzy ordinal priority approach. *Environment, Development and Sustainability*, *27*(9), 21961-21986. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02301-x

Mohammadpour, M., Afrasiabi, A., & Yazdani, M. (2024). Identifying and prioritizing the barriers to TQM implementation in food industries using group best-worst method (a real-world case study). *International Journal of Productivity and Performance Management*, *73*(10), 3335-3362. https://doi.org/10.1108/IJPPM-11-2023-0602

Mohseni, E., & Mohammadi Zanjirani, D. (2024). Integration and development of fuzzy QFD for evaluation and selection of biofuel development strategies. *Journal of Industrial Management Perspective*, *14*(3), 189-211. https://doi.org/10.48308/jimp.14.3.189

Motevalli, S. H., Nazarizadeh, F., & Mir Shahvelayati, F. (2024). Identifying and evaluating strategic options for advancing the resilience of the Kaleh dairy company's supply chain. *System Engineering and Productivity*, *3*(4), 106-135. https://doi.org/10.22034/msb.2024.2021449.1176

Mousavi Ramezanzadeh, A., & Nazari, M. (2025). Identifying and prioritizing effective nudges for social acceptance of green electricity: A fuzzy

Zarei, M., & Keshavarzi, M. (2026). Analyzing barriers to the development of sustainable predictive maintenance in industrial equipment of petrochemical complexes using FDM-DEMATEL (A Case Study). *System Engineering and Productivity*, *6*(4), 251-279. https://doi.org/10.22034/sep.2026.2090483.1504

Zarei, M., Fakhrzad, M. B., & Paghaleh, M. J. (2011). Food supply chain leanness using a developed QFD model. *Journal of food engineering*, *102*(1), 25-33. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.07.026

Zhang, M., & Yang, J. (2025). Agri-food supply chain resilience: An exploration of influencing factors based on fuzzy-DEMATEL-ISM analysis. *PLOS ONE*, *20*(12), e0338492. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0338492

Zhao, G., Olan, F., Liu, S., Hormazabal, J. H., Lopez, C., Zubairu, N., Zhang, J., & Chen, X. (2024). Links between risk source identification and resilience capability building in agri-food supply chains: A comprehensive analysis. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *71*, 13362-13379. https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3221361