

Mathematical modeling for selecting resilience scenarios for the sesame industry supply chain in Yazd province with climate change and market fluctuations

Ahmad Ali Vakili Ahmad Abadi¹, Abolfazl Sadeghian², Mohammad Taghi Honari³, and Mojdeh Rabbani⁴

1. Ph.D candidate, Department of Industrial Management, Ya. C, Islamic Azad University, Yazd, Iran. Email: ah.vakili@iau.ac.ir

2. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Industrial Management, Ya. C, Islamic Azad University, Yazd, Iran. Email: sadeghian@iau.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Industrial Management, Ya. C, Islamic Azad University, Yazd, Iran. Email: mthonari@iau.ac.ir

4. Assistant Professor, Department of Industrial Management, Ya. C, Islamic Azad University, Yazd, Iran. Email: moz.rabbani@iau.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 15 April 2024 Received in revised form 8 August 2025 Accepted 21 Octobr 2025 Published online 1 December 2025	The present study has designed resilience scenarios for the sesame industry supply chain in Yazd province using mathematical modeling. Given the importance of sesame as a strategic product and its role in the local economy, the need for a resilient and flexible supply chain against various challenges, including climate change, market fluctuations, and logistical problems, is clearly felt. For this purpose, in order to complete the resilience assessment, a mathematical model has been proposed to select optimal scenarios in the sesame industry supply chain based on the risks that arise in the face of economic changes and market fluctuations. A mixed integer nonlinear programming (MINLP) model, which is nonlinear due to the adoption of a comprehensive objective function, has been proposed. The results of this study show that using mathematical models, various scenarios can be designed to assess the resilience of the supply chain in various dimensions such as technical; cost; market; and organizational. These scenarios allow managers and decision makers to identify the strengths and weaknesses of the supply chain by simulating different conditions and adopt effective strategies to improve resilience. According to the results obtained, the total utility generated by assigning scenarios to each risk is calculated to be 1442 and the total cost of this allocation is 41301 monetary units. This research shows that designing supply chain resilience scenarios for sesame industries not only helps to improve the efficiency and sustainability of these industries, but also brings them closer to achieving the goals of sustainable development and conservation of natural resources. Given the challenges ahead, this approach can be used as a key tool to strengthen the resilience and sustainability of the supply chain in Yazd province.
Keywords: Resilience, Sesame Industries, Supply Chain.	

Cite this article: Vakili Ahmad Abadi, A. & et al, (2025),. Mathematical modeling for selecting resilience scenarios for the sesame industry supply chain in Yazd province with climate change and market fluctuations. *Enginiiring Management and Soft Computing*, 11 (2). Error! Bookmark not defined.94-220. DOI: <https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.12751.1270>



© Ahmad Abadi et. al (2025)

DOI: <https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.12751.1270>

Publisher: University of Qom

1) INTRODUCTION

In today's global economy, on the one hand, companies continue to strive to gain competitive advantage and to survive in the market, and on the other hand, customers are looking for goods and services that meet their needs; therefore, supply chain management is an important and essential element for responding to customer needs and gaining sustainable competitive advantage [1]. From this perspective, the supply chain does not only include manufacturers and suppliers, but also includes carriers, wholesalers, retailers, and customers. Also, given that organizations operate in a variable and unpredictable environment and there is no escape from disruptions in their supply chain, their supply chain must be designed in such a way that it has the necessary ability to respond efficiently and effectively to any event and can achieve the initial or even more desirable state after the disruption [2]. Disruptions are sudden and unexpected failures that are the result of various factors such as natural disasters, fires, loss of vital suppliers, war, cyber-attacks, economic recession, sanctions and economic shocks, terrorism, etc. In such circumstances, the need to design a more resilient supply chain model becomes apparent [3]. The resilience approach in supply chain management aims to create the ability of a supply chain to return to its original state with a new and more favorable state, after analyzing the disruption and avoiding the occurrence of failure states. Also, the nature of a resilient supply chain is different from other supply chains such as lean, agile, etc. and has its own problems and difficulties that must be properly identified, so that the chain can remain competitive [4]. Therefore, companies can manage supply chain failures through resilience and continue to deliver their products and services to customers. Given the importance of the issue, employees at all levels of the company should be aware of failures and strive to learn from even small failures within the supply chain. In order to specialize management and respond to real and perceived risks, managers should create an appropriate infrastructure for formal risk management by allocating human resources and information resources [6]. On the other hand, decision-making problems are usually defined under conditions of uncertainty due to the low knowledge of humans or the low accessibility of decision-makers to information. In this case, it is better for experts to present their assessment with verbal variables, which has led to the use of fuzzy logic. Also, experts usually hesitate between different words to present their opinions; that is, instead of a membership degree, they have a set of possible values for the membership degree, which is used to solve this problem with the fuzzy set approach [7]. The sesame industry supply chain of Yazd province, as one of the key sectors in the food and economic supply of this region, faces several challenges. Climate change and market fluctuations, as two main factors, have profound effects on the performance and resilience of this supply chain. Climate change can lead to changes in production patterns, reduced product quality, and increased production costs. On the other hand, market fluctuations, including changes in prices and demand, can lead to uncertainty in the supply of raw materials and the distribution of finished products. These challenges require the development of resilience scenarios that can make the supply chain more resilient to these changes [8]. However, selecting appropriate scenarios for resilience requires comprehensive mathematical modeling that can analyze the complex interactions between different factors. This model must be able to evaluate different scenarios based on performance criteria such as cost, risk, etc. in order to improve the level of desirability among customers. Also, mathematical modeling allows for accurate and systematic analysis of the interactions between different factors in the supply chain. Using mathematical models, it is possible to simulate complex relationships between variables and examine the effects of climate change and market fluctuations on supply chain performance [9]. In addition, mathematical modeling can help assess the risks associated with climate change and market fluctuations. By identifying and analyzing risks, effective strategies can be developed to mitigate their negative impacts on the supply chain [10].

The main issue of this research is to develop a mathematical model for selecting scenarios for the resilience of the sesame industry supply chain in Yazd province in the face of climate change and market fluctuations in order to deal with existing risks and control costs to increase the desirability of products among customers. This model will help decision-makers to identify and evaluate different scenarios and adopt effective strategies to increase resilience and improve the performance of their supply chain. Therefore, to achieve the goals envisaged in this research, the main questions considered are: How can

the effects of climate change and market fluctuations on sesame production and distribution be included in mathematical models?

2) Solution Method

To complete the resilience assessment, a mathematical model is proposed in this study to select optimal scenarios in the sesame industry supply chain based on the risks that arise in the face of economic changes and market fluctuations. For this purpose, a mixed integer nonlinear programming (MINLP) model, which is nonlinear due to the adoption of a comprehensive objective function, is proposed. The following sets, parameters, and decision variables used in the formulation of the mathematical model are specified. The model assumption is follow as:

- Each major risk is divided into different levels.
- The total budget allocated to implement the risk strategy is known.
- The number of risks is known.
- The cost of implementing each scenario assignment to the risk is known.
- The severity of each risk is known.
- The importance of each risk is known.
- The contribution of each risk to the scenario selection is one scenario. That is, at least one risk is considered for each scenario.
- The impact of implementing the scenarios on each other is considered.
- The mutual impact of risks on each other is considered.
- It is not possible to implement the scenarios simultaneously.
- The planning horizon is limited and one year.
- The order of implementing the scenarios does not affect their impact on the risk in question.

3) conclusion

The present study has designed scenarios for the resilience of the sesame industry supply chain in Yazd province using mathematical modeling. Given the importance of sesame as a strategic product and its role in the local economy, the need for a resilient and flexible supply chain against various challenges, including climate change, market fluctuations, and logistical problems, is clearly felt. The results of this study show that using mathematical models, various scenarios can be designed to assess the resilience of the supply chain in various dimensions such as technical; cost and market, and organizational. According to the results obtained, assigning the strategy to the cost, budget, and market risk group brings the least amount of utility to customers, while the organizational group creates the most utility. The reason for this is that risks related to cost, budget, and market are generally dependent on external and uncontrollable factors that can directly affect price, costs, and access to products. These uncertainties can cause concern and uncertainty in customers, and as a result, reduce their utility. On the other hand, organizational group risks are usually related to internal and controllable factors. By effectively managing these risks, organizations can gain customer trust and ensure that services and products are provided in the best possible way. Therefore, allocating a strategy to the organizational risk group can lead to increased customer utility, because these risks are more under the organization's control and can help improve quality and customer experience. In contrast, cost, budget, and market risks usually create the least utility due to uncertainty and negative impacts on price and availability of products. Also, the organizational risk group has the highest cost of allocating a strategy to deal with risk. These scenarios allow managers and decision makers to identify the weaknesses and strengths of the supply chain by simulating different conditions and adopt effective strategies to improve resilience. In addition, this research emphasizes the importance of collecting reliable and up-to-date data. Accurate and comprehensive data can help improve the accuracy of the designed models and, as a result, provide better decisions in the field of supply chain management. Considering the challenges ahead, this approach can be used as a key tool to strengthen the resilience and sustainability of the supply chain in Yazd province. For the development of the model in future studies, considering that this paper lacks a robustness study; and considering the parameters considered such as scenario effectiveness and cost estimation, a robust mathematical model can be developed by applying uncertainty parameters. In

addition, developing the proposed model as a multi-objective model by simultaneously considering the utility objective functions along with the cost function and determining trade-off solutions based on the two objective functions can help advance the subject.

4) ACKNOWLEDGEMENTS

The authors consider it necessary to express their gratitude and appreciation to the editor of the journal and the reviewers.

REFERENCES

- [1] Abolghasemian, M., Bigdeli, H., & Shamami, N. (2024). Locating Routing Problem (LRP) of distribution of priority support items to ground forces in war conditions. *Engineering Management and Soft Computing*, 10(1), 262-292. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2024.11320.1206>
- [2] Akbari, A. H., & Jafari, M. (2025). Development of a Deep Reinforcement Learning Algorithm in a Dynamic Cellular Manufacturing System Considering Order Rejection, Case Study: Stone Paper Factory. *Engineering Management and Soft Computing*, 10(2), 204-222. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.11853.1230>
- [3] Ambulkar, S., Blackhurst, J., & Grawe, S. (2015). Firm's resilience to supply chain disruptions: Scale development and empirical examination. *Journal of operations management*, 33, 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.11.002>
- [4] Azevedo, S. G., Carvalho, H., & Machado, V. C. (2011). The influence of green practices on supply chain performance: A case study approach. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 47(6), 850-871. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.05.017>
- [5] Chandra, C., Grabis, J., Chandra, C., & Grabis, J. (2016). Conceptual modeling approaches. *Supply Chain Configuration: Concepts, Solutions, and Applications*, 137-150. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3557-4_7
- [6] Choi, S. B., Min, H., Joo, H. Y., & Choi, H. B. (2017). Assessing the impact of green supply chain practices on firm performance in the Korean manufacturing industry. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(2), 129-145. <https://doi.org/10.1080/13675567.2016.1160041>
- [7] Ebrahimipour, M. and Zeinab Farjood Chokami, Z. (2023). Identification and Ranking of Supply Chain Resilience Indicators in Four Dimensions Using the Swara Method in Food Industry. *Journal of Improvement Management*, 17(2), 33-59. <https://doi.org/10.22034/jmi.2023.246887.2337>
- [8] Eslami Farsani, S. , Mazroui Nasrabadi, E. and Farhadian, A. (2024). Identify and analyze strategies for supply chain resilience. *Journal of Strategic Management Studies*, 14(56), 1-22. <https://doi.org/10.22034/smsj.2023.166852>
- [9] Izadi, E., Nikbakht, M., Feylizadeh, M., & Shahin, A. (2025). Ranking of criteria affecting humanitarian supply chain services based on blockchain platforms using multi-criteria decision-making methods. *Engineering Management and Soft Computing*, 10(2), 143-160. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.11552.1215>
- [10] Kristianto, Y., Gunasekaran, A., Helo, P., & Hao, Y. (2014). A model of resilient supply chain network design: A two-stage programming with fuzzy shortest path. *Expert systems with applications*, 41(1), 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.009>

مدل سازی ریاضی برای انتخاب سناریوهای تاب آوری زنجیره تامین صنایع کنجدی استان یزد در مواجهه با تغییرات اقلیمی و نوسانات بازار

احمدعلی وکیلی احمدآبادی^۱، ابوالفضل صادقیان^۲، محمدتقی هنری^۳ و مؤده ربانی^۴

۱. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مدیریت صنعتی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران. رایانامه: ah.vakili@iau.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران. رایانامه: sadeghian@iau.ac.ir

۳. استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران. رایانامه: mthonari@iau.ac.ir

۴. استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران. رایانامه: moz.rabbani@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۱۰	تحقیق حاضر، به طراحی سناریوهای تاب آوری زنجیره تامین صنایع کنجدی استان یزد با استفاده از مدل سازی ریاضی پرداخته است. با توجه به اهمیت کنجد به عنوان یک محصول استراتژیک و نقش آن در اقتصاد محلی، نیاز به یک زنجیره تامین مقاوم و انعطاف پذیر در برابر چالش های مختلف از جمله تغییرات اقلیمی، نوسانات بازار و مشکلات لجستیکی به وضوح احساس می شود. لذا برای تکمیل ارزیابی تاب آوری و جهت انتخاب سناریوهای بهینه در زنجیره تامین صنایع کنجدی بر اساس ریسک هایی که در مواجهه با تغییرات اقتصادی و نوسانات بازار به وجود می آید، یک مدل ریاضی پیشنهاد شده است. یک مدل برنامه ریزی غیرخطی اعداد صحیح مختلط (MINLP) که به دلیل اتخاذ یک تابع هدف جامع غیرخطی است، پیشنهاد شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که با استفاده از مدل های ریاضی، می توان سناریوهای متنوعی را برای ارزیابی تاب آوری زنجیره تامین در ابعاد مختلف مانند «فنی»، «هزینه»، بودجه و بازار» و «سازمانی» طراحی کرد. سناریوها به مدیران و تصمیم گیرندگان این امکان را می دهد که با شبیه سازی شرایط مختلف، نقاط ضعف و قوت زنجیره تامین را شناسایی کرده و استراتژی های موثری برای بهبود تاب آوری اتخاذ کنند. با توجه به نتایج حاصل شده، جمع مطلوبیت کل ایجاد شده از تخصیص سناریوها به هر ریسک، برابر با ۱۴۴۲ و هزینه کل این تخصیص، برابر با ۴۱۳۰۱ واحد پولی محاسبه شده است. این تحقیق نشان می دهد طراحی سناریوهای تاب آوری زنجیره تامین صنایع کنجدی نه تنها به بهبود کارایی و پایداری این صنایع کمک می کند بلکه به تحقق اهداف توسعه پایدار و حفظ منابع طبیعی نیز نزدیک تر می شود. با توجه به چالش های پیش رو، این رویکرد می تواند به عنوان یک ابزار کلیدی برای تقویت تاب آوری زنجیره تامین در استان یزد مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه ها:

تاب آوری، زنجیره تامین، صنایع کنجدی.

استناد: وکیلی احمدآبادی، احمدعلی و همکاران. (۱۴۰۴). «مدل سازی ریاضی برای انتخاب سناریوهای تاب آوری زنجیره تامین صنایع کنجدی استان یزد در مواجهه با تغییرات اقلیمی و نوسانات بازار». مدیریت مهندسی و رایانش نرم، دوره ۱۱ (۲). صص: ۱۹۴-۲۲۰.
<https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.12751.1270>



۱) مقدمه

در اقتصاد جهانی امروز، از یک سو شرکت‌ها به دنبال کسب مزیت رقابتی و با هدف ماندگاری بیشتر در بازار به تلاش خود ادامه می‌دهند و از سوی دیگر مشتریان در پی کالاها و خدماتی هستند که پاسخگوی نیاز آنها باشد. از این رو مدیریت زنجیره تامین از عناصر مهم و ضروری برای پاسخگویی به نیاز مشتریان و کسب مزیت رقابتی پایدار است (Choi et al., 2017). چاندرا و گریس معتقدند زنجیره تامین شامل تمامی مراحل است که به صورت مستقیم و غیرمستقیم، تقاضای مشتری را برآورده می‌کند. از این دیدگاه زنجیره تامین فقط شامل تولیدکننده و تامین‌کننده نمی‌شود بلکه حمل‌کننده، عمده‌فروش‌ها، خرده‌فروش‌ها و مشتری را نیز در برمی‌گیرد (Chandra & Grabis, 2016). همچنین با توجه به اینکه سازمان‌ها در محیطی متغیر و غیرقابل پیش‌بینی فعالیت می‌نمایند و هیچگونه گریزی از اختلالات در زنجیره تامین آنها نیست لذا زنجیره تامین آنها باید به گونه‌ای طراحی گردد که توانایی لازم برای پاسخ کارا و اثربخش به هر رویدادی را داشته باشند و بتوانند پس از اختلال، به وضعیت اولیه و یا حتی مطلوب‌تر از آن دست یابند (Soni et al, 2014). اختلالات، خرابی‌های ناگهانی و غیرمنتظره‌ای هستند که در نتیجه عوامل مختلف همچون بلایای طبیعی، آتش‌سوزی، از دست دادن تامین‌کننده حیاتی، جنگ، حملات سایبری، رکود اقتصادی، تحریم‌ها و شوک‌های اقتصادی، تروریسم و غیره ایجاد می‌شوند (Soni et al, 2014; Rajesh et al, 2015) که در صورت وقوع، پیامدهای جبران‌ناپذیری بر کسب و کار خواهند داشت (Sawik, 2013). در چنین شرایطی، نیاز به طراحی الگوی زنجیره تامین تاب‌آوری بیشتر نمود پیدا می‌کند (Ponomarov et al. 2009). رویکرد تاب‌آوری در مدیریت زنجیره تامین، با هدف ایجاد توانایی یک زنجیره تامین برای بازگشت به حالت اولیه با یک وضع جدید و مطلوب‌تر، پس از تجزیه اختلال و اجتناب از وقوع حالات شکست، بکار گرفته می‌شود (Azevedo et al, 2010)؛ همچنین طبیعت زنجیره تامین تاب‌آور با سایر زنجیره‌های تامین مانند ناب، چابک و غیره فرق دارد و در خود مشکلات و سختی‌هایی دارد که باید به درستی شناسایی شوند تا زنجیره بتواند کماکان رقابتی باقی بماند (Kristianto et al., 2014). بنابراین شرکت‌ها از طریق تاب‌آوری، می‌توانند شکست‌های زنجیره تامین را مدیریت کرده و تحویل محصولات و خدمات خود به مشتریان را ادامه دهند (Akbari et al., 2025).

با توجه به اهمیت موضوع، کارکنان در همه سطوح شرکت باید از شکست‌ها آگاهی داشته باشند و برای یادگیری از شکست‌های هرچند کوچک درون زنجیره تامین، تلاش کنند. مدیران نیز به منظور تخصصی‌سازی مدیریت و پاسخگویی به ریسک‌های واقعی و درک‌شده، باید یک زیرساخت مناسب برای مدیریت ریسک به صورت رسمی با تخصیص نیروی انسانی و منابع اطلاعاتی ایجاد کنند (Ambulkar et al., 2015). از طرف دیگر مسائل تصمیم‌گیری معمولاً به دلیل دانش کم انسان‌ها و یا قابلیت دسترسی پایین تصمیم‌گیرندگان به اطلاعات، تحت شرایط عدم قطعیت تعریف شده‌اند (Roobzahani and Rezaeenpour, 2025). در این صورت بهتر است کارشناسان، ارزیابی خود را با متغیرهای کلامی ارائه دهند که این منجر به استفاده از منطق فازی شده‌است (Izadi et al., 2025). همچنین کارشناسان معمولاً میان واژه‌های مختلف برای ارائه نظرات خود مردد هستند یعنی به جای یک درجه عضویت، مجموعه‌ای از مقادیر ممکن برای درجه عضویت دارند که برای حل این مشکل رویکرد مجموعه‌های فازی بکار برده می‌شود (Xu et al, 2016).

زنجیره تامین صنایع کنجدی استان یزد به عنوان یکی از بخش های کلیدی در تامین مواد غذایی و اقتصادی این منطقه، با چالش های متعددی مواجه است. تغییرات اقلیمی و نوسانات بازار به عنوان دو عامل اصلی، تاثیرات عمیقی بر عملکرد و تاب آوری این زنجیره تامین دارند. تغییرات اقلیمی می تواند منجر به تغییر در الگوهای تولید، کاهش کیفیت محصولات و افزایش هزینه های تولید شود. از سوی دیگر، نوسانات بازار مانند تغییر قیمت ها و تقاضا، می تواند به عدم اطمینان در تامین مواد اولیه و توزیع محصولات نهایی منجر گردد. این چالش ها نیازمند توسعه سناریوهای تاب آوری است که بتوانند زنجیره تامین را در برابر این تغییرات مقاوم تر کنند. با این حال، انتخاب سناریوهای مناسب برای تاب آوری، نیازمند یک مدل سازی ریاضی جامع است که بتواند تعاملات پیچیده بین عوامل مختلف را تحلیل کند. این مدل باید قادر باشد تا سناریوهای مختلف را براساس معیارهای عملکردی مانند هزینه، ریسک و غیره به منظور ارتقای سطح مطلوبیت، نزد مشتریان ارزیابی نماید. همچنین مدل سازی ریاضی امکان تحلیل دقیق و سیستماتیک تعاملات بین عوامل مختلف زنجیره تامین را فراهم می کند. با استفاده از مدل های ریاضی، می توان روابط پیچیده بین متغیرها را شبیه سازی کرد و تاثیرات تغییرات اقلیمی و نوسانات بازار را بر عملکرد زنجیره تامین بررسی نمود. علاوه بر این، مدل سازی ریاضی می تواند به ارزیابی ریسک های مرتبط با تغییرات اقلیمی و نوسانات بازار کمک کند. با شناسایی و تحلیل ریسک ها، می توان استراتژی های موثری برای کاهش تاثیرات منفی آنها بر زنجیره تامین تدوین کرد.

با توجه به موارد اشاره شده در بالا، یکی از صنایع استراتژیک که تاثیر زیادی بر رونق اقتصادی و اشتغالزایی استان یزد (ایران) دارد، صنعت محصولات کنجدی این استان می باشد. عدم طراحی زنجیره های تامین تاب آوری در این صنعت، می تواند در زمان بروز بحران های اقتصادی، سیاسی و اجتماعی، خسارات جبران ناپذیری را برای این استان به وجود آورد. بر همین اساس، در این تحقیق جهت دستیابی به مزیت رقابتی در محیط کسب و کار ناپایدار، به انتخاب سناریوهایی براساس عوامل موثر بر تاب آوری زنجیره تامین در صنعت محصولات کنجدی استان یزد با استفاده از طراحی یک مدل ریاضی در مواجهه با تغییرات اقلیمی و نوسانات بازار اقدام شده است. برای این منظور، تحقیق جاری به بررسی و طراحی سناریوهای مختلف تاب آوری زنجیره تامین صنایع کنجدی در استان یزد می پردازد. با توجه به اهمیت کنجد به عنوان یکی از محصولات استراتژیک و ارزشمند در این منطقه، نیاز به یک زنجیره تامین مقاوم و انعطاف پذیر در برابر چالش های مختلف از جمله تغییرات اقلیمی، نوسانات قیمت ها و مشکلات لجستیکی احساس می شود. لذا این موضوع می تواند به عنوان یک پروژه تحقیقاتی جامع در زمینه زنجیره تامین و تاب آوری در صنایع کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد و به بهبود عملکرد و پایداری صنایع کنجدی در استان یزد کمک کند.

بنابراین مسئله اصلی این تحقیق، توسعه یک مدل ریاضی برای انتخاب سناریوهای تاب آوری زنجیره تامین صنایع کنجدی استان یزد در مواجهه با تغییرات اقلیمی و نوسانات بازار به منظور مقابله با ریسک های موجود و کنترل هزینه جهت افزایش مطلوبیت محصولات، نزد مشتریان است. این مدل به تصمیم گیرندگان کمک خواهد کرد تا با شناسایی و ارزیابی سناریوهای مختلف، استراتژی های موثری برای افزایش تاب آوری و بهبود عملکرد زنجیره تامین خود اتخاذ کنند. بنابراین برای تحقق اهداف متصور در این تحقیق، اصلی ترین سئوالی که در نظر گرفته شده است، عبارتند از: چگونه می توان اثرات تغییرات اقلیمی و نوسانات بازار بر تولید و توزیع کنجد را در مدل های ریاضی لحاظ کرد؟

در بخش دوم، یک مرور ادبیات برای شناسایی شکاف تحقیق ارائه شده است. در بخش سوم، مدل سازی تحقیق مبتنی بر مدل ریاضی برای انتخاب سناریو مناسب ارائه شده است. در بخش چهارم، نتایج مطالعه موردی ارائه شده است. سرانجام در بخش پنجم، یک نتیجه گیری به همراه پیشنهادات آتی برای تحقیقات آینده ارائه شده است.

۲) پیشینه تحقیق

در این بخش از تحقیق در میان مطالعات داخلی و خارجی، به بررسی مطالعات گذشته جهت شناسایی شکاف تحقیق پرداخته شده است.

۱-۲) پیشینه داخلی تحقیق

ابراهیم پور و فرجود چوکامی (۱۴۰۲) به شناسایی و رتبه بندی شاخص های تاب آوری زنجیره تامین در ابعاد چهارگانه با استفاده از روش سو آرا در صنعت مواد غذایی پرداخته اند. آنها شاخص های تاب آوری در هریک از ابعاد چهارگانه چابکی، انعطاف پذیری، ناب بودن و استواری را با مطالعه و بررسی مبانی نظری مشخص کردند. طبق تجزیه و تحلیل های انجام گرفته، نشان داده شده است که بُعد استواری زنجیره تامین با وزن ۰/۳۹۹ با اهمیت ترین بُعد تاب آوری زنجیره تامین انتخاب شده و پس از آن چابکی، ناب بودن و انعطاف پذیری قرار گرفتند. اسلامی فارسانی و همکاران (۱۴۰۲) با مرور نظام مند پیشینه، به شناسایی و واکاوی راهبردهای تاب آوری زنجیره تامین پرداختند که ۶۸ راهبرد برای تاب آوری زنجیره تامین شناسایی شد و در نهایت با توجه به زمان استفاده از آنها، به سه دسته کلی راهبردهای پیشگیرانه، راهبردهای همزمان و راهبردهای واکنشی دسته بندی شدند. نظری زاده و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه خود، سناریوهای تاب آوری زنجیره تامین شرکت کاله در افق ۱۰ ساله را شناسایی کرده اند. این پژوهش از روش های جدید دانش مبتنی بر آینده پژوهی تحلیلی - اکتشافی استفاده کرده است. داده ها از طریق مصاحبه های نیمه ساختاریافته و پرسشنامه گردآوری شد. برای تحلیل داده ها، از روش تحلیل ساختاری با کمک نرم افزار میک مک و برای تحلیل سناریوها و تدوین آنها، از نرم افزار سناریو ویزارد استفاده شده است. براساس نتایج به دست آمده از پژوهش، شش عامل کلیدی راهبردی تاثیر گذار بر تاب آوری زنجیره تامین شرکت لبنی کاله شامل عوامل اقتصادی، زیست محیطی، فناوری، اجتماعی، سیاسی و درون سازمانی می باشد. نتایج حاصل از سناریو ویزارد، ۲۱۱ سناریو با احتمال وقوع ضعیف، ۷ سناریو باورکردنی و ۲ سناریو با احتمال وقوع قوی می باشد. مزروعی نصرآبادی (۱۴۰۱) یک مدل برای شناسایی عوامل کلیدی موفقیت تاب آوری زنجیره تامین گردشگری سلامت با رویکرد نقشه شناختی فازی انجام دادند. این تحقیق از نوع کیفی است و در دو مرحله انجام شده است. در مرحله اول عوامل کلیدی موفقیت تاب آوری زنجیره تامین، براساس مراحل چهارگانه تاب آوری شناسایی و در مرحله دوم مدلی برای آنها ارائه شده است. رحیمی و همکاران (۱۴۰۰) یک مدل تاب آوری زنجیره تامین ارائه کرده اند. با استفاده از روش دلفی فازی، مهمترین اقدامات و معیارهای سنجش عملکرد مرتبط با زنجیره تامین تاب آور استخراج گردید و در نهایت با استفاده از مدل سازی ساختاری تفسیری، یک مدل ارائه شده است.

۲-۲) پیشینه خارجی تحقیق

ژو^۱ و همکاران (۲۰۲۴) چارچوبی یکپارچه برای توانمندسازهای تاب آوری زنجیره تامین ارائه دادند. برای این منظور، یک مدل سلسله مراتبی براساس چارچوب فناوری-سازمان-محیط ارائه شده است. در این مدل، از مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) برای تحلیل روابط سلسله مراتبی بین این توانمندسازها استفاده شده است. با ارزیابی قدرت محرک و قدرت وابستگی این توانمندسازها، یک طبقه بندی با استفاده از روش ماتریس متقاطع اعمال شده در طبقه بندی (MICMAC) به دست آمده است. لیو^۲ و همکاران (۲۰۲۴) عوامل تاثیرگذار و استراتژی های بهبود تاب آوری زنجیره تامین ساخت و ساز پیش ساخته از دیدگاه قابلیت های پویا را مورد ارزیابی قرار دادند. از مدل سازی معادلات ساختاری (SEM)، برای شناسایی و تایید رابطه بین عوامل موثر بر تاب آوری زنجیره تامین ساخت و ساز پیش ساخته از منظر قابلیت های پویا استفاده شده است. همچنین مدل سیستم دینامیک (SD)، برای شبیه سازی پویای اثرات خاص عوامل تاثیرگذار مختلف ساخته شده است. ما^۳ و همکاران (۲۰۲۳)، عوامل موثر بر تاب آوری زنجیره تامین را براساس ۶۲۲ نمونه معتبر از شرکت ها، با استفاده از مدل معادلات ساختاری (SEM) و تحلیل مقایسه ای کیفی مجموعه فازی (fsQCA) جهت تحلیل تجربی استفاده کردند. وانگ^۴ و همکاران (۲۰۲۳)، عوامل موثر بر تاب آوری زنجیره تامین سبز محصولات کشاورزی را براساس یک رویکرد بهبود یافته خاکستری-DEMATEL-ISM مورد سنجش قرار دادند. براساس تئوری ذینفعان، با مرور سیستماتیک ادبیات، ۱۵ عامل موثر بر تاب آوری زنجیره تامین سبز محصولات کشاورزی شناسایی شده است. سپس از طریق روش های DEMATEL و ISM برای تحلیل رابطه داخلی بین عوامل تاثیرگذار، ساخت یک مدل ساختار سلسله مراتبی چندسطحی و شناسایی فرآیند انتقال اساسی و مسیر عوامل تاثیرگذار استفاده شده است. پیا^۵ و همکاران (۲۰۲۲) محرک های تاب آوری زنجیره تامین در صنایع نفت و گاز در طول همه گیری COVID-19 را با استفاده از یک رویکرد یکپارچه مورد تجزیه و تحلیل انجام دادند. تجزیه و تحلیل به درک شدت تاثیر یک محرک نسبت به سایر محرک ها و همچنین محرک هایی با بالاترین قدرت تحریک برای دستیابی به تاب آوری کمک می کند. رحمان و علی (۲۰۲۱) به اولویت بندی استراتژی های تاب آوری برای زنجیره های تامین مراقبت های بهداشتی با در نظر گرفتن ریسک هایی که دارای شدت زیاد، احتمال وقوع بالا و طولانی ترین دوره های بهبودی هستند، با استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره پرداختند. در ابتدا، وزن معیارهای اولویت بندی ریسک ها یعنی شدت، احتمال وقوع و زمان بازیابی از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی مشخص شدند سپس اولویت بندی ریسک ها با استفاده از روش تاپسیس انجام شد و در نهایت ریسک های شناسایی شده برای مشخص کردن استراتژی های تاب آوری مناسب از طریق تکنیک گسترش عملکرد کیفیت فازی (FQFD) مورد استفاده قرار گرفته است. راجش (۲۰۲۰) استراتژی های تجاری تاب آور، برای افزایش تاب آوری در تولید زنجیره های تامین را انجام دادند. تاب آوری در زنجیره های تولید و تامین بطور گسترده ای در برخی اوقات از وضعیت بحران های ناشی از همه گیری COVID-19، مورد بحث قرار

1 Xu

2 Liu

3 Ma

4 Wang

5 Piya

گرفته‌است. برای این منظور، استراتژی‌های تجاری تاب‌آور در تقاضا، عرضه و فرآیند زنجیره‌های تامین، موثر در تاب‌آوری بررسی گردیدند. پنج استراتژی عمده تجارت تاب‌آور در این تحقیق مورد تایید قرار گرفت.

۲-۳) شکاف تحقیق

با وجود اهمیت صنایع کنجدی در استان یزد و تاثیر آن بر اقتصاد محلی، تحقیقات موجود در زمینه تاب‌آوری زنجیره تامین این صنایع بطور عمده محدود و پراکنده است. در حال حاضر، چندین شکاف تحقیقاتی در این حوزه وجود دارد که نیاز به بررسی و تحلیل دقیق‌تری دارند. برای مثال: اکثر مطالعات موجود، به بررسی جنبه‌های خاصی از زنجیره تامین می‌پردازند و مدل‌های ریاضی یکپارچه‌ای که بتواند تمامی عوامل تاثیرگذار بر تاب‌آوری زنجیره تامین صنایع کنجدی را در نظر بگیرد، به‌ندرت یافت شده‌است. مانند مطالعه ابراهیم‌پور و فرجود چوکامی (۱۴۰۲) که به شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های تاب‌آوری در یک زنجیره تامین پرداخته‌اند یا نظری‌زاده و همکاران (۱۴۰۲) که صرفاً سناریوهای تاب‌آوری در زنجیره تامین را شناسایی کرده‌اند یا مزروعی نصرآبادی (۱۴۰۱) عوامل کلیدی موفقیت تاب‌آوری را شناسایی کرده‌اند. همچنین در میان مطالعات خارجی نیز ژو و همکاران (۲۰۲۴) توانمندسازهای تاب‌آوری در زنجیره تامین را معرفی کرده‌اند. لیو و همکاران (۲۰۲۴) عوامل تاثیرگذار و استراتژی‌های بهبود تاب‌آوری در زنجیره تامین را شناسایی کرده‌اند. بنابراین تحقیق جاری برخلاف تحقیقاتی مانند ابراهیم‌پور و فرجود چوکامی (۱۴۰۲)، مزروعی نصرآبادی (۱۴۰۱) و ژو و همکاران (۲۰۲۴) که فقط بر روی شناسایی توانمندسازها تمرکز کرده‌اند یا نظری‌زاده و همکاران (۱۴۰۲) که فقط بر روی شناسایی سناریوها تمرکز دارند، همانند مطالعه لیو و همکاران (۲۰۲۴) بطور همزمان به شناسایی عوامل و سناریوها تمرکز دارد. با این تفاوت که در تحقیق جاری با بهره‌گیری از رویکرد مدل‌سازی ریاضی قادر خواهیم بود تا بهینه‌ترین استراتژی برای مقابله با انواع مختلف ریسک‌ها را شناسایی کنیم.

این موضوع نیاز به توسعه مدل‌های پیچیده‌تر و چندبعدی را نشان می‌دهد. تحقیقات فعلی معمولاً به بررسی سناریوهای محدود و خاص می‌پردازند و تحلیل سناریوهای متنوع و جامع که شامل تغییرات اقلیمی، نوسانات بازار و چالش‌های لجستیکی باشد، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌است. این شکاف‌های تحقیقاتی، نشان‌دهنده نیاز به توسعه مدل‌های ریاضی جامع و یکپارچه برای طراحی سناریوهای تاب‌آوری زنجیره تامین صنایع کنجدی در استان یزد است. با پُر کردن این شکاف‌ها، می‌توان به بهبود تاب‌آوری و پایداری این صنایع کمک کرد و در نهایت به تقویت اقتصاد محلی یاری رساند.

۳) روش تحقیق

برای تکمیل ارزیابی تاب‌آوری، برای انتخاب سناریوهای بهینه در زنجیره تامین صنایع کنجدی براساس ریسک‌هایی که در مواجهه با تغییرات اقتصادی و نوسانات بازار به‌وجود می‌آید، در این تحقیق یک مدل ریاضی پیشنهاد شده‌است. برای این منظور، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی اعداد صحیح مختلط (MINLP) که به دلیل اتخاذ یک تابع هدف جامع غیرخطی است، پیشنهاد شده‌است. در زیر مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مورد استفاده در فرمول‌بندی مدل ریاضی، مشخص شده‌است.

۳-۱) مفروضات مدل ریاضی

- هر ریسک اصلی در سطوح مختلف، تقسیم بندی شده اند.
- کل بودجه اختصاص یافته برای اجرای استراتژی ریسک، معلوم است.
- تعداد ریسک ها، معلوم است.
- هزینه اجرای هر تخصیص سناریو به ریسک، معلوم است.
- شدت هر ریسک، معلوم است.
- درجه اهمیت هر ریسک، معلوم است.
- سهم هر ریسک از انتخاب سناریو، یک سناریو است. یعنی برای هر سناریو حداقل یک ریسک در نظر گرفته شده است.
- تاثیر اجرای سناریوها بر یکدیگر در نظر گرفته شده است.
- تاثیر متقابل ریسک ها بر یکدیگر در نظر گرفته شده است.
- اجرای سناریوها به صورت همزمان، امکان پذیر نیست.
- افق برنامه ریزی، محدود و یکساله است.
- ترتیب اجرای سناریوها، تاثیری بر اثر گذاری آنها بر ریسک مورد نظر نمی گذارد.

۳-۲) معرفی اندیس ها، پارامترها و متغیرها

اندیس ها

i : اندیس ریسک ها

j : اندیس پاسخ به هر ریسک (استراتژی ها)

پارامترها

R_i : ریسک i

L_i : درجه وابستگی متقابل بین ریسک R_i و سایر ریسک ها در شرایطی که ریسک اولیه است.

$\bar{L}_i$: درجه وابستگی متقابل بین ریسک R_i و سایر ریسک های در شرایطی که ریسک اولیه نیست.

B_j : سناریو پاسخ j به ریسک.

c_{ij} : هزینه مرتبط با اجرای سناریو j پاسخ به ریسک i .

e_{ij} : تاثیر تخمینی اعمال سناریو پاسخ ریسک j بر ریسک i .

TB : کل بودجه تخصیص یافته برای اجرای سناریوهای واکنش به ریسک.

S_i : شدت ریسک i .

ρ_i : زیان تخمینی رخداد ریسک R_i که با ضرب احتمال وقوع رویداد ریسک در شدت تاثیر آن محاسبه می شود.

α : ضریب تابع مطلوبیت.

θ : درجه اهمیت هر ریسک.

μ : درجه اهمیت وابستگی متقابل هر ریسک بر یکدیگر.

N_j : حداکثر تعداد پاسخ های اجرا شده برای استراتژی پاسخ به ریسک.

متغیر تصمیم مسئله

z_{ij} : یک متغیر تصمیم گیری عدد صحیح باینری که وقتی سناریو پاسخ به ریسک B_j برای رخداد ریسک R_i اجرا می شود، مقدار یک و در غیر این صورت صفر می شود.

۳-۳ مدل سازی ریاضی

برای کاهش تاثیر احتمالی ریسک های مختلف، ارائه و انتخاب سناریو ها مناسب پاسخ به هر یک از ریسک ها ضروری است. هنگامیکه این سناریو ها شناسایی شدند، بر آورد هزینه های پیاده سازی هر سناریو برای مقابله با هر ریسک مرتبط بسیار مهم تلقی می شود. در این زمینه، یک مدل بهینه سازی برای انتخاب سناریو های پاسخ به ریسک با در نظر گرفتن تاثیر متقابل بین ریسک های مختلف پیشنهاد شده است که به صورت زیر فرموله شده است.

$$\max z = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n s_i U(z_{ij}) \quad (1)$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_{ij} z_{ij} \leq TB \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n z_{ij} \leq N_j \quad \forall j \quad (3)$$

$$z_{ij} \in [0,1] \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$N_j \geq 0 \quad \forall j \quad (5)$$

در معادله (۱)؛ تابع هدف، تابع مطلوبیت مورد انتظار برای انتخاب سناریوی مقابله با ریسک را به حداکثر می رساند. مجموعه محدودیت (۲) تایید می کند که هزینه اجرای سناریو های پاسخ به ریسک کمتر یا برابر با بودجه موجود است. تعداد پاسخ های اجرا شده برای هر سناریو پاسخ، در مجموعه محدودیت (۳) کنترل می شود تا اطمینان حاصل شود که از حداکثر تعداد پاسخ های موجود برای هر سناریو پاسخ، تجاوز نمی کند. در نهایت محدودیت های (۴) و (۵) به ترتیب از امکان سنجی متغیر های مدل ریاضی، بر اساس نوع باینری و غیر منفی توجیه می کند.

هدف مدل پیشنهاد شده، به حداکثر رساندن مطلوبیت از طریق انتخاب موثر ترین سناریو های واکنش برای جبران بهتر اثرات ریسک ها، با در نظر گرفتن محدودیت های خاص است. در این مطالعه، ریسک گریزی با استفاده از تابع مطلوبیت نمایی کمی سازی شده است. بطور خاص، تابع بولتزمن برای مدل سازی تابع مطلوبیت بین ۰ و ۱ استفاده می شود. این تابع را می توان به صورت معادله ۶ نشان داد.

$$U(z_{ij}) = 1 - e^{-\alpha(z_{ij}.e_{ij})} \quad \forall i, j \quad (6)$$

که $U(z_{ij})$ نشان دهنده ارزیابی ذهنی تاثیر واکنش ریسک $z_{ij}.e_{ij}$ است. همچنین α یک پارامتر ورودی است که برای ارزیابی مدل استفاده می شود (یعنی ضریب ریسک گریزی) که حساسیت آن باید اندازه گیری شود. بطور کلی، این

ضریب براساس تنظیمات مدل و پیچیدگی مدل توسعه یافته، تعریف می شود. تابع بولتزمن به خوبی می تواند رفتار انتخابی مشتریان را در شرایط عدم قطعیت و ریسک، مدل سازی کند. این تابع به ما اجازه می دهد تا تاثیرات مختلف اعم از شدت ریسک بر مطلوبیت را به صورت کمی تحلیل کنیم و رفتار مشتریان را در مواجهه با گزینه های مختلف پیش بینی کنیم. تابع بولتزمن به عنوان یک تابع توزیع احتمال عمل می کند که می تواند به ما کمک کند تا احتمال انتخاب هر گزینه (محصول کنجدی) را براساس مطلوبیت آن محاسبه کنیم. این ویژگی به ما این امکان را می دهد که به راحتی مقایسه ای بین محصولات مختلف انجام دهیم. با استفاده از تابع بولتزمن، می توانیم تاثیر ریسک های مختلف را بر انتخاب مشتریان لحاظ کنیم. این تابع به ما اجازه می دهد تا شدت ریسک ها را به عنوان یک عامل تاثیر گذار در مطلوبیت مشتریان در نظر بگیریم. زیرا یکی از عناصر کلیدی مدل، در نظر گرفتن تاثیر شدت ریسک بر تابع حداکثر سازی مطلوبیت برای مدیریت پاسخ به ریسک است. با افزایش شدت ریسک، تاثیر منفی بر مطلوبیت مشتریان افزایش می یابد. به عبارت دیگر، اگر شدت ریسک بیشتر باشد، احتمال انتخاب گزینه های با مطلوبیت پایین تر افزایش می یابد. این امر نشان دهنده حساسیت بیشتر مشتریان به ریسک در شرایط عدم قطعیت است. علاوه بر این، ضرب تابع بولتزمن در شدت ریسک می تواند منجر به کاهش مطلوبیت کلی گزینه ها شود. این بدان معناست که در شرایط ریسک پذیری بالا، مشتریان ممکن است گزینه هایی را انتخاب کنند که به نظرشان امن تر و مطمئن تر هستند حتی اگر مطلوبیت آنها کمتر باشد. تابع وزن (یا شدت) S_i نشان دهنده شدت ریسک R_i است. هنگام محاسبه ماتریس انتقال احتمال یا قدرت ریسک، در نظر گرفتن دو بُعد تعامل ریسک (مثل L_i و $\bar{L}_i$) بسیار مهم است. قدرت ریسک L_i نشان دهنده تاثیر ریسک R_i بر سایر ریسک ها است. بنابراین تابع وزن دهی را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$S_i = \mu(\theta \cdot L_i + (1 - \theta)\bar{L}_i) + (1 - \mu) \frac{\rho_i}{\sum_{i=1}^n \rho_i} \quad \forall i \quad (7)$$

پارامتر μ نشان دهنده وزن های اختصاص داده شده به تاثیر قابل توجه L_i و نشان دهنده وابستگی متقابل ریسک با سایر ریسک ها است. با استفاده از این پارامتر، وزن هر ریسک و میانگین اثر آن هنگام تعیین سطح اهمیت ریسک در نظر گرفته می شود. مقادیر پارامتر μ ممکن است بین ۰ و ۱ باشد. این عامل تاثیر یا پیامدهای احتمالی یک ریسک خاص را ارزیابی می کند. نمرات میانگین هر چه به یک نزدیک تر باشد، نشان دهنده پیامدهای شدیدتری است. θ پارامتر درجه اهمیت هر ریسک را نشان می دهد. مقادیر پارامتر μ و θ با استفاده از طراحی پرسشنامه و توزیع آن میان خبرگان نسبت به نظر سنجی در خصوص ارزیابی شدت وقوع ریسک ها به دست آمده است. برای این منظور، به ازای هر ریسک شناسایی شده، سؤالاتی جهت ارزیابی شدت وقوع آنها مطرح شده است. هر ریسک با پنج گزینه نظر سنجی شده و سرانجام با استفاده از میانگین گروهی نظرات خبرگان و بی مقیاس کردن آن، میانگین هر ریسک در مقیاس صفر و یک قرار می گیرد. علاوه بر این، زیان تخمینی رخداد ریسک R_i با ضرب احتمال وقوع رویداد ریسک در شدت تاثیر آن ρ_i نشان داده می شود و می توان آن را محاسبه کرد. با در نظر گرفتن روابط ریاضی اتخاذ شده برای مدل سازی تابع مطلوبیت و تابع شدت ریسک، مدل بهینه سازی نهایی را می توان با استفاده از تابع هدف (۸) و مجموعه های محدودیت (۹) - (۱۳) به صورت زیر بیان کرد.

$$\max z = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \mu(\theta \cdot L_i + (1 - \theta) \bar{L}_i) + (1 - \mu) \frac{\rho_i}{\sum_{i=1}^n \rho_i} U(z_{ij}) \quad (8)$$

S. t.

$$U(z_{ij}) = 1 - e^{-\alpha(z_{ij} \cdot e_{ij})} \quad \forall i, j \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_{ij} z_{ij} \leq TB \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n z_{ij} \leq N_j \quad \forall j \quad (11)$$

$$z_{ij} \in [0,1] \quad \forall i, j \quad (12)$$

$$N_j \geq 0 \quad \forall j \quad (13)$$

در محدودیت (۹) تضمین می کند حداکثر مطلوبیت مشتریان براساس تابع بولتزمن، قابل اندازه گیری است. در محدودیت (۱۰) تضمین می کند هزینه اجرای سناریو z انتخاب شده برای پاسخگویی به ریسک i از کل بودجه در دسترس تخصیص یافته برای اجرای سناریوهای واکنش به ریسک تجاوز نکند. همچنین محدودیت (۱۱) تضمین می کند تعداد سناریوهای انتخاب شده از حداکثر تعداد پاسخ های اجرا شده برای هر استراتژی تجاوز نکند. در محدودیت های (۱۲) و (۱۳) نوع متغیرهای مسئله را نشان می دهد.

۴ یافته ها

در این بخش از تحقیق، به بررسی اعتبار مدل پرداخته شده است. برای این منظور، با مشخص کردن ابعادی جهت اندازه های نمونه برای مجموعه های مدل پیشنهادی، نسبت به اجرای آن در نرم افزار گمز اقدام شده است. پس از اجرای مدل، طبق قضایای به اثبات رسیده توسط ابوالقاسمیان و همکاران (۲۰۲۴)، دو حالت شدنی بودن و کران دار بودن مدل ریاضی برای توجیه اعتبار، مورد ارزیابی قرار گرفته است. زیرا ثابت شده است که شرط لازم و کافی برای اعتبار مدل ریاضی این است که مدل ضمن شدنی بودن، کران دار نیز باشد. برای اجرای مدل، ابتدا اندازه مجموعه ها در جدول ۱ تعیین شده است.

جدول ۱. مجموعه ها و اندازه های آنها

اندازه ها	مجموعه ها
۳	i : مجموعه ریسک ها
۴	j : مجموعه استراتژی ها

در جدول ۲، نتیجه محاسباتی حاصل شده از اجرای مدل، نشان داده شده است.

جدول ۲. نتیجه شدنی و کران دار بودن مدل ریاضی

نتیجه	انزار محاسباتی	مدت زمان حل مدل (ثانیه)	کران داری	شدنی بودن
مدل ریاضی	CPLEX	۰.۰۵۹	کران دار	شدنی

با توجه به نتایج جدول ۲ و محرز شدن کران دار و شدنی بودن مدل، اعتبار مدل نتیجه گرفته می شود. پس از حصول اطمینان از شدنی بودن مدل پیشنهادی، کلیه مفروضات در نظر گرفته شده برای مدل ریاضی توسعه داده شده، تعیین شده اند. در این تحقیق برای اجرای مدل ریاضی توسعه داده شده، ریسک های اصلی در سه گروه اصلی X_1 تا X_3 (گروه فنی، گروه هزینه، بودجه و بازار و گروه سازمانی) طبقه بندی شده اند. سپس هر گروه در زیرمعیارهای اصلی A و زیرمعیارهای فرعی C در نظر گرفته شده اند. در مجموع ۱۲۵ سناریو برای ریسک ها در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از پایش اطلاعات گردآوری شده برای هزینه مرتبط با تخصیص سناریو به ریسک C_j ، شدت وقوع ریسک S_i و درجه اهمیت هر ریسک θ در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. مقادیر مربوط به پارامترهای شدت وقوع و اهمیت ریسک موجود در این تحقیق با استفاده از طراحی پرسشنامه و توزیع آن میان خبرگان، نسبت به نظرسنجی درخصوص ارزیابی شدت وقوع و اهمیت ریسک ها اقدام شده است. برای این منظور، به ازای هر ریسک شناسایی شده سؤالاتی جهت ارزیابی شدت وقوع آنها مطرح شده است. هر ریسک با پنج گزینه نظرسنجی شده است و سرانجام با استفاده از میانگین گروهی نظرات خبرگان و بی مقیاس کردن آن، میانگین هر ریسک در مقیاس صفر و یک قرار می گیرد. در مقابل، پارامتر هزینه های تخصیص هر سناریو براساس داده های تاریخی ثبت شده، در نظر گرفته شده اند.

جدول ۲. داده های مورد نیاز برای شدت وقوع و درجه اهمیت هر ریسک i

عوامل اصلی ریسک	زیر گروه اصلی	زیر گروه فرعی	شدت وقوع ریسک S_i	درجه اهمیت ریسک θ
X_1	A_{11}	C_{11}	۰.۳۷۷	0.563
		C_{12}	0.329	0.682
X_2	A_{21}	C_{21}	0.149	0.289
X_3		C_{31}	0.596	0.127
		C_{32}	0.893	0.825
	A_{31}			
	A_{32}	C_{33}	0.993	0.536
	A_{33}	C_{34}	0.115	0.813
	A_{34}	C_{35}	0.046	0.027
		C_{36}	0.981	0.357
		C_{37}	0.835	0.194
		C_{38}	0.146	0.253
		C_{39}	0.118	0.161
	A_{35}	C_{40}	0.692	0.660
		C_{41}	0.323	0.260
		C_{42}	0.346	0.124
		C_{43}	0.753	0.227
		C_{44}	0.138	0.798
		C_{45}	0.538	0.941
		C_{46}	0.388	0.121
		C_{47}	0.895	0.519
		C_{48}	0.065	0.684
		C_{49}	0.277	0.554
		C_{50}	0.600	0.045

جدول ۳. هزینه بکارگیری هر سناریو

عوامل اصلی ریسک	زیر گروه اصلی	زیر گروه فرعی	سناریو z	هزینه بکارگیری
X_1	A_{11}	C_{11}	S_1	۱۸۷۵
			S_2	۱۷۳۲
			S_3	۲۱۶۷
			S_4	۱۹۸۶
			S_5	۱۵۲۴
			S_6	۱۵۲۳
	A_{12}	C_{12}	S_1	۱۳۷۹
			S_2	۱۷۳۱
			S_3	۲۰۴۷
			S_4	۱۳۸۸
			S_5	۱۳۰۴
			S_6	۱۵۷۱
X_2	A_{21}	C_{21}	S_1	۲۰۷۱
			S_2	۱۹۸۸
			S_3	۱۷۱۰
			S_4	۲۰۶۷
			S_5	۲۲۱۴
			S_6	۲۰۸۶
X_3	A_{31}	C_{31}	S_1	۱۵۹۶
			S_2	۲۱۸۹
			S_3	۱۹۴۱
			S_4	۲۱۵۲
			S_5	۲۱۲۹
			S_6	۲۱۰۹
	A_{32}	C_{32}	S_1	۱۳۲۳
			S_2	۱۹۲۳
			S_3	۲۱۶۰
			S_4	۱۹۲۶
			S_5	۲۱۰۱
	A_{33}	C_{33}	S_1	۱۹۳۴
			S_2	۱۳۰۰
			S_3	۱۵۴۲
			S_4	۱۴۶۵
			S_5	۲۲۲۳

۱۳۸۸	S_1	C_{34}	A_{33}
۲۰۶۵	S_2		
۱۸۹۸	S_3		
۱۳۰۹	S_4		
۱۶۶۲	S_5		
۱۲۹۹	S_1	C_{35}	A_{34}
۱۹۸۹	S_2		
۱۳۷۴	S_3		
۲۰۰۷	S_4		
۱۳۳۴	S_5		
۱۶۷۶	S_6		
۱۸۵۲	S_1	C_{36}	
۲۱۶۹	S_2		
۱۳۳۰	S_3		
۱۸۹۴	S_4		
۱۸۵۲	S_5		
۱۵۶۴	S_6		
۱۷۸۳	S_1	C_{37}	
۱۶۵۹	S_2		
۱۹۱۸	S_3		
۲۰۶۲	S_4		
۱۴۹۲	S_5		
۱۹۰۶	S_6		
۱۷۵۵	S_1	C_{38}	
۱۵۷۰	S_2		
۱۷۴۳	S_3		
۱۴۳۲	S_4		
۱۲۶۲	S_5		
۲۱۴۱	S_6		
۱۳۲۵	S_1	C_{39}	
۱۹۹۲	S_2		
۲۱۸۱	S_3		
۱۳۸۳	S_4		
۱۵۷۱	S_5		
۲۰۸۵	S_6		
۱۹۲۲	S_1	C_{40}	A_{35}
۱۵۱۷	S_2		

۱۹۴۱	S_3	
۱۳۷۷	S_4	
۱۵۷۳	S_5	
۱۵۴۷	S_1	C_{41}
۱۳۳۵	S_2	
۲۱۰۶	S_3	
۱۹۴۹	S_4	
۱۷۹۵	S_5	
۱۶۲۵	S_1	C_{42}
۱۷۶۸	S_2	
۱۵۲۶	S_3	
۲۰۶۹	S_4	
۲۰۶۹	S_5	
۱۵۵۴	S_1	C_{43}
۱۳۴۴	S_2	
۱۵۲۸	S_3	
۱۶۱۹	S_4	
۱۷۹۹	S_5	
۱۸۰۰	S_1	C_{44}
۱۸۲۰	S_2	
۱۵۳۸	S_3	
۱۷۸۷	S_4	
۱۴۷۷	S_5	
۱۳۵۹	S_1	C_{45}
۱۴۸۱	S_2	
۱۹۵۷	S_3	
۱۸۴۲	S_4	
۱۵۴۱	S_5	
۱۵۴۹	S_1	C_{46}
۲۰۲۳	S_2	
۱۶۶۱	S_3	
۱۴۱۰	S_4	
۱۷۰۴	S_5	
۲۰۴۸	S_1	C_{47}
۱۵۳۵	S_2	
۱۸۸۳	S_3	
۱۹۴۰	S_4	

۱۶۴۱	S_5	C_{48}
۱۳۰۲	S_1	
۱۶۶۳	S_2	
۱۶۸۶	S_3	
۱۵۲۳	S_4	
۱۴۰۰	S_5	C_{49}
۱۵۹۷	S_1	
۲۱۸۸	S_2	
۲۰۹۸	S_3	
۱۸۹۷	S_4	
۱۶۱۱	S_5	C_{50}
۱۶۷۳	S_1	
۱۳۳۷	S_2	
۱۸۶۳	S_3	
۱۸۰۱	S_4	
۱۳۹۳	S_5	S_6
۲۱۶۴	S_6	
۲۲۲۱۵۴	B_j بودجه در اختیار	

با ملحوظ دانستن موارد فوق در مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح توسعه داده شده و با به اجرا در آمدن مدل، جواب بهینه برای آن به دست می‌آید. نظر به اینکه هدف، تخصیص مناسب‌ترین سناریو به هر ریسک براساس ماکزیمم مقدار تابع مطلوبیت مورد انتظار برای انتخاب سناریو است، می‌توان اظهار کرد که مدل ریاضی از نوع مسئله تخصیص است. برای این منظور با بهره‌گیری از یک حل دودویی (باینری) نسبت به انتخاب یا عدم انتخاب هر استراتژی براساس مقدار متغیر Z_{ij} در دسته‌بندی‌های ایجاد شده اقدام می‌نماییم. بطوریکه اگر سناریوی پاسخ مدنظر در هر دسته ریسک انتخاب گردد، مدل برنامه‌ریزی، به آن مقدار عدد یک و در غیر این صورت، مقدار صفر اختصاص می‌دهد. در جداول ۴ تا ۶، نتایج حل محاسباتی مدل برنامه‌ریزی ریاضی در نرم‌افزار GAMS با استفاده از ابزار CPLEX به ازای هریک از گروه‌های ریسک نشان داده شده است.

در جدول ۴، با توجه به مفروضات مدل در نظر گرفته شده برای هر مورد، ریسک فنی یک سناریو تخصیص داده شده است. برای این منظور، در حالت کلی برای هر دسته از ریسک‌های فنی، ۶ سناریو برای مقابله با آن ریسک در نظر گرفته شده است. معیار انتخاب ترکیب بهینه سناریو براساس هزینه تخصیص و مقدار مطلوبیتی است که ایجاد می‌شود. براساس نتایج حاصل شده برای تخصیص سناریو به ریسک‌های فنی، هزینه تخصیص، برابر با ۳۷۸۰ و مقدار تابع مطلوبیت، برابر با ۱۲۸ محاسبه شده است.

جدول ۴. نتایج محاسباتی تخصیص استراتژی به ریسک های فنی

عوامل اصلی ریسک	زیر گروه اصلی	زیر گروه فرعی	سناریو z	وضعیت تخصیص
X_1	A_{11}	C_{11}	S_1	۰
			S_2	۱
			S_3	۰
			S_4	۰
			S_5	۰
			S_6	۰
		C_{12}	S_1	۰
			S_2	۰
			S_3	۱
			S_4	۰
			S_5	۰
			S_6	۰
هزینه تخصیص				۳۷۸۰
مقدار تابع مطلوبیت				۱۲۸

در جدول ۵، با توجه به مفروضات مدل در نظر گرفته شده برای ریسک های گروه هزینه، بودجه و بازار، یک سناریو تخصیص داده شده است. برای این منظور، در حالت کلی برای دسته ریسک های گروه هزینه، ۶ سناریو برای مقابله با آن ریسک در نظر گرفته شده است. معیار انتخاب ترکیب بهینه سناریو براساس هزینه تخصیص و مقدار مطلوبیتی است که ایجاد می شود. براساس نتایج حاصل شده برای تخصیص سناریو به ریسک های گروه هزینه، بودجه و بازار، هزینه تخصیص برابر با ۲۰۷۱ و مقدار تابع مطلوبیت برابر با ۵۸ محاسبه شده است.

جدول ۵. نتایج محاسباتی تخصیص استراتژی به ریسک های گروه هزینه، بودجه و بازار

عوامل اصلی ریسک	زیر گروه اصلی	زیر گروه فرعی	سناریو z	وضعیت تخصیص
X_2	A_{21}	C_{21}	S_1	۱
			S_2	۰
			S_3	۰
			S_4	۰
			S_5	۰
			S_6	۰
هزینه تخصیص				۲۰۷۱
مقدار تابع مطلوبیت				۵۸

در جدول ۶، با توجه به مفروضات مدل در نظر گرفته شده، برای ریسک‌های گروه سازمانی، یک سناریو تخصیص داده شده است. برای این منظور، در حالت کلی برای هر دسته از ریسک‌های گروه سازمانی، ۶ سناریو برای مقابله با آن ریسک در نظر گرفته شده است. معیار انتخاب ترکیب بهینه سناریو، براساس هزینه تخصیص و مقدار مطلوبیتی است که ایجاد می‌شود. براساس نتایج حاصل شده برای تخصیص سناریو به ریسک‌های گروه سازمانی، هزینه تخصیص برابر با ۳۴۴۵۰ و مقدار تابع مطلوبیت برابر با ۱۲۵۶ محاسبه شده است.

جدول ۶. نتایج محاسباتی تخصیص استراتژی به ریسک‌های گروه سازمانی

عوامل اصلی ریسک	زیر گروه اصلی	زیر گروه فرعی	سناریو z	وضعیت تخصیص
X_3	A_{31}	C_{31}	S_1	.
			S_2	.
			S_3	.
			S_4	۱
			S_5	.
			S_6	.
		C_{32}	S_1	.
			S_2	.
			S_3	۱
			S_4	.
			S_5	.
			S_6	.
	A_{32}	C_{33}	S_1	.
			S_2	.
			S_3	.
			S_4	.
			S_5	۱
			S_6	.
	A_{33}	C_{34}	S_1	.
			S_2	۱
			S_3	.
			S_4	.
			S_5	.
			S_6	.
	A_{34}	C_{35}	S_1	۱
			S_2	.
			S_3	.
			S_4	.
			S_5	.
			S_6	.

.	S_1	C_{36}	
.	S_2		
.	S_3		
.	S_4		
.	S_5		
۱	S_6		
.	S_1	C_{37}	
.	S_2		
.	S_3		
.	S_4		
.	S_5		
۱	S_6		
.	S_1	C_{38}	
.	S_2		
.	S_3		
۱	S_4		
.	S_5		
.	S_6		
۱	S_1	C_{39}	
.	S_2		
.	S_3		
.	S_4		
.	S_5		
.	S_6		
.	S_1	C_{40}	A_{35}
.	S_2		
.	S_3		
۱	S_4		
.	S_5		
.	S_1	C_{41}	
۱	S_2		
.	S_3		
.	S_4		
.	S_5		
۱	S_1	C_{42}	
.	S_2		
.	S_3		

.	S_4	
.	S_5	
.	S_1	C_{43}
.	S_2	
۱	S_3	
.	S_4	
.	S_5	
.	S_1	C_{44}
.	S_2	
.	S_3	
۱	S_4	
.	S_5	
.	S_1	C_{45}
.	S_2	
۱	S_3	
.	S_4	
.	S_5	
.	S_1	C_{46}
.	S_2	
۱	S_3	
.	S_4	
.	S_5	
.	S_1	C_{47}
.	S_2	
.	S_3	
۱	S_4	
.	S_5	
.	S_1	C_{48}
.	S_2	
.	S_3	
۱	S_4	
.	S_5	
.	S_1	C_{49}
۱	S_2	
.	S_3	
.	S_4	
.	S_5	

S_1	C_{50}
S_2	
S_3	
S_4	
S_5	
S_6	
۳۴۴۵۰	هزینه تخصیص
۱۲۵۶	مقدار تابع مطلوبیت

در جدول ۴ تا ۶، مقدار ارزش ایجادشده بکارگیری کلیه سناریوها در هر گروه و مقدار تابع مطلوبیت ارزش بکارگیری هر سناریو بطور مجزا در هریک از گروه های ریسکی نشان داده شده است. در جدول ۷، هزینه کل و مقدار تابع مطلوبیت کل تخصیص مناسب ترین سناریوها برای ریسک های هر گروه نشان داده شده است. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۷، تخصیص استراتژی به گروه ریسک های هزینه، بودجه و بازار، کمترین مطلوبیت نزد مشتریان و در مقابل گروه سازمانی، بیشترین مطلوبیت را ایجاد می کنند زیرا ریسک های مربوط به گروه هزینه، بودجه و بازار ماهیتا معمولا به عوامل خارجی و غیرقابل کنترل مرتبط هستند که می توانند بطور مستقیم بر قیمت، هزینه ها و دسترسی به محصولات تاثیر بگذارند. این عدم قطعیت ها می توانند منجر به نگرانی و عدم اطمینان در مشتریان شوند که در نتیجه مطلوبیت آنها را کاهش می دهد. اما ریسک های گروه سازمانی معمولا به عوامل داخلی و کنترل شده مرتبط هستند. سازمان ها می توانند با مدیریت موثر این ریسک ها، اعتماد مشتریان را جلب کنند و به آنها اطمینان دهند که خدمات و محصولات به صورت بهینه ارائه می شوند. بنابراین تخصیص استراتژی به گروه ریسک های سازمانی می تواند منجر به افزایش مطلوبیت مشتریان شود زیرا این ریسک ها بیشتر تحت کنترل سازمان هستند و می توانند به بهبود کیفیت و تجربه مشتری منجر شوند. در مقابل، ریسک های هزینه، بودجه و بازار به دلیل عدم قطعیت و تاثیرات منفی بر قیمت و دسترسی به محصولات، معمولا کمترین مطلوبیت را ایجاد می کنند. از طرف دیگر، گروه ریسک های سازمانی، بیشترین هزینه تخصیص استراتژی برای مقابله با ریسک را دارا می باشند.

جدول ۷. بیشترین ارزش و هزینه کل ایجادشده سناریوهای پاسخ به ریسک ها به صورت مجزا و کلی

گروه ریسک ها	مطلوبیت تخصیص	هزینه تخصیص
فنی	۱۲۸	۴۷۸۰
هزینه، بودجه و بازار	۵۸	۲۰۷۱
سازمانی	۱۲۵۶	۳۴۴۵۰
جمع کل	۱۴۴۲	۴۱۳۰۱

با توجه به نتایج حاصل شده، جمع مطلوبیت کل ایجادشده از تخصیص سناریوها به هر ریسک برابر با ۱۴۴۲ و هزینه کل این تخصیص برابر با ۴۱۳۰۱ واحد پولی محاسبه شده است.

۴-۱) تحلیل حساسیت

در این بخش از تحقیق به بررسی تاثیر نوسان در میزان هزینه‌های ناشی از استقرار سناریوهای مربوط به ریسک‌های سازمانی، ریسک‌های هزینه، بازار و بودجه و ریسک‌های فنی بطور جداگانه پرداخته شده است. برای این منظور، میزان مطلوبیت در ازای افزایش و کاهش هزینه‌های استقرار سناریو مقابله با هر دسته از ریسک‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در صورت افزایش هزینه‌های تخصیص سناریو به ریسک‌های سازمانی، مطلوبیت افزایش می‌یابد و در غیر این صورت کاهش می‌یابد. این مسئله دقیقاً منطبق بر نتایج حاصل شده در این تحقیق است. در صورت افزایش هزینه‌های تخصیص سناریو به ریسک‌های گروه هزینه، بودجه و بازار، مطلوبیت کاهش می‌یابد و در غیر این صورت افزایش می‌یابد. این مسئله دقیقاً منطبق بر نتایج حاصل شده در این تحقیق است. در صورت افزایش هزینه‌های تخصیص سناریو به ریسک‌های فنی، مطلوبیت افزایش می‌یابد و در غیر این صورت کاهش می‌یابد. این مسئله دقیقاً منطبق بر نتایج حاصل شده در این تحقیق است. در جدول ۸ نتایج مربوط به تغییرات تابع مطلوبیت در ازای کاهش و افزایش هزینه‌های تخصیص سناریو در هر یک از گروه‌های ریسک نشان داده شده است.

جدول ۸. تغییرات هزینه و تاثیر آن بر تابع مطلوبیت

گروه ریسک‌ها	میزان مطلوبیت موجود	مطلوبیت تخصیص	تغییر هزینه تخصیص
فنی	۱۲۸	۱۳۵	افزایش
		۱۱۸	کاهش
هزینه، بودجه و بازار	۵۸	۴۸	افزایش
		۶۲	کاهش
سازمانی	۱۲۵۶	۱۴۰۰	افزایش
		۱۱۱۵	کاهش

۵) نتیجه‌گیری و پیشنهادات

تحقیق حاضر به طراحی سناریوهای تاب‌آوری زنجیره تامین صنایع کنجدی استان یزد با استفاده از مدل‌سازی ریاضی پرداخته است. با توجه به اهمیت کنجد به عنوان یک محصول استراتژیک و نقش آن در اقتصاد محلی، نیاز به یک زنجیره تامین مقاوم و انعطاف‌پذیر در برابر چالش‌های مختلف از جمله تغییرات اقلیمی، نوسانات بازار و مشکلات لجستیکی به وضوح احساس می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با استفاده از مدل‌های ریاضی می‌توان سناریوهای متنوعی را برای ارزیابی تاب‌آوری زنجیره تامین در ابعاد مختلفی مانند "فنی"، "هزینه، بودجه و بازار" و "سازمانی" طراحی کرد. با توجه به نتایج به دست آمده، تخصیص استراتژی به گروه ریسک‌های هزینه، بودجه و بازار، کمترین میزان مطلوبیت را برای مشتریان به همراه دارد در حالیکه گروه سازمانی، بیشترین مطلوبیت را ایجاد می‌کند. دلیل این امر آن است که ریسک‌های مرتبط با هزینه، بودجه و بازار، بطور کلی به عوامل خارجی و غیرقابل کنترل وابسته‌اند که می‌توانند بطور مستقیم بر قیمت، هزینه‌ها و دسترسی به محصولات، تاثیر بگذارند. این عدم قطعیت‌ها می‌توانند باعث نگرانی و عدم اطمینان در مشتریان شوند

و در نتیجه مطلوبیت آنها را کاهش دهند. از سوی دیگر، ریسک‌های گروه سازمانی معمولاً به عوامل داخلی و قابل کنترل مربوط می‌شوند. سازمان‌ها با مدیریت موثر این ریسک‌ها، می‌توانند اعتماد مشتریان را جلب کرده و اطمینان دهند که خدمات و محصولات به بهترین نحو ارائه می‌شوند. بنابراین تخصیص استراتژی به گروه ریسک‌های سازمانی می‌تواند به افزایش مطلوبیت مشتریان منجر شود زیرا این ریسک‌ها بیشتر تحت کنترل سازمان قرار دارند و می‌توانند به بهبود کیفیت و تجربه مشتری کمک کنند. در مقابل، ریسک‌های هزینه، بودجه و بازار به دلیل عدم قطعیت و تأثیرات منفی بر قیمت و دسترسی به محصولات، معمولاً کمترین مطلوبیت را ایجاد می‌کنند. همچنین گروه ریسک‌های سازمانی بالاترین هزینه تخصیص استراتژی برای مقابله با ریسک را دارند. اینگونه سناریوها به مدیران و تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که با شبیه‌سازی شرایط مختلف، نقاط ضعف و قوت زنجیره تامین را شناسایی کرده و استراتژی‌های موثری برای بهبود تاب‌آوری اتخاذ کنند. علاوه بر این، تحقیق حاضر بر اهمیت جمع‌آوری داده‌های معتبر و به‌روز تأکید دارد. داده‌های دقیق و جامع می‌توانند به بهبود دقت مدل‌های طراحی شده کمک کرده و در نتیجه تصمیم‌گیری‌های بهتری را در زمینه مدیریت زنجیره تامین فراهم آورند. با توجه به چالش‌های پیش‌رو، این رویکرد می‌تواند به عنوان یک ابزار کلیدی برای تقویت تاب‌آوری و پایداری زنجیره تامین در استان یزد مورد استفاده قرار گیرد. برای توسعه مدل در مطالعات آتی، با توجه به اینکه این مقاله فاقد بررسی استواری است و با توجه به پارامترهای در نظر گرفته شده مانند اثربخشی سناریو و تخمین هزینه، می‌توان با اعمال پارامترهای عدم قطعیت یک مدل ریاضی استوار را توسعه داد. علاوه بر این، توسعه مدل پیشنهادی به صورت چندهدفه با در نظر گرفتن همزمان توابع هدف مطلوبیت در کنار تابع هزینه و تعیین راه‌حل‌های بده‌بستانی براساس دو تابع هدف، می‌تواند به پیشبرد موضوع کمک نماید.

منابع

- Abolghasemian, M., Bigdeli, H., & Shamami, N. (2024). Locating Routing Problem (LRP) of distribution of priority support items to ground forces in war conditions. *Engineering Management and Soft Computing*, 10(1), 262-292. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2024.11320.1206>
- Akbari, A. H., & Jafari, M. (2025). Development of a Deep Reinforcement Learning Algorithm in a Dynamic Cellular Manufacturing System Considering Order Rejection, Case Study: Stone Paper Factory. *Engineering Management and Soft Computing*, 10(2), 204-222. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.11853.1230>
- Ambulkar, S., Blackhurst, J., & Grawe, S. (2015). Firm's resilience to supply chain disruptions: Scale development and empirical examination. *Journal of operations management*, 33, 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.11.002>
- Azevedo, S. G., Carvalho, H., & Machado, V. C. (2011). The influence of green practices on supply chain performance: A case study approach. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 47(6), 850-871. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.05.017>
- Chandra, C., Grabis, J., Chandra, C., & Grabis, J. (2016). Conceptual modeling approaches. *Supply Chain Configuration: Concepts, Solutions, and Applications*, 137-150. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3557-4_7
- Choi, S. B., Min, H., Joo, H. Y., & Choi, H. B. (2017). Assessing the impact of green supply chain practices on firm performance in the Korean manufacturing industry. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(2), 129-145. <https://doi.org/10.1080/13675567.2016.1160041>
- Ebrahimipour, M. and Zeinab Farjood Chokami, Z. (2023). Identification and Ranking of Supply Chain Resilience Indicators in Four Dimensions Using the Swara Method in Food Industry. *Journal of Improvement Management*, 17(2), 33-59. <https://doi.org/10.22034/jmi.2023.246887.2337>
- Eslami Farsani, S. , Mazroui Nasrabadi, E. and Farhadian, A. (2024). Identify and analyze strategies for supply chain resilience. *Journal of Strategic Management Studies*, 14(56), 1-22. <https://doi.org/10.22034/smsj.2023.166852>

- Izadi, E., Nikbakht, M., Feylizadeh, M., & Shahin, A. (2025). Ranking of criteria affecting humanitarian supply chain services based on blockchain platforms using multi-criteria decision-making methods. *Engineering Management and Soft Computing*, 10(2), 143-160. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.11552.1215>
- Kristianto, Y., Gunasekaran, A., Helo, P., & Hao, Y. (2014). A model of resilient supply chain network design: A two-stage programming with fuzzy shortest path. *Expert systems with applications*, 41(1), 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.009>
- Liu, S., Yao, Y., Jia, J., Casper, S., Baracaldo, N., Hase, P., ... & Liu, Y. (2025). Rethinking machine unlearning for large language models. *Nature Machine Intelligence*, 1-14. <https://doi.org/10.1038/s42256-025-00985-0>
- Ma, J., Xie, R., Ayyadury, S., Ge, C., Gupta, A., Gupta, R., ... & Wang, B. (2024). The multimodality cell segmentation challenge: toward universal solutions. *Nature methods*, 21(6), 1103-1113. <https://doi.org/10.1038/s41592-024-02233-6>
- Mazroui nasrabadi E, Mohammadipour E. A conceptual model of critical success factors in improving the resilience of the health tourism supply chain: A case study. *jha* 2022; 25 (2) :9-25. <https://doi.org/10.22034/25.2.9>
- Motevalli, S. H. , Nazarizadeh, F. and 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>
- Piya, A. K., Yang, L., Omar, A. A. S., Emami, N., & Morina, A. (2024). Synergistic lubrication mechanism of nanodiamonds with organic friction modifier. *Carbon*, 218, 118742. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2023.118742>
- Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The international journal of logistics management*, 20(1), 124-143.
- Rahman, S., Montero, M. T. V., Rowe, K., Kirton, R., & Kunik Jr, F. (2021). Epidemiology, pathogenesis, clinical presentations, diagnosis and treatment of COVID-19: a review of current evidence. *Expert review of clinical pharmacology*, 14(5), 601-621. <https://doi.org/10.1080/17512433.2021.1902303>
- Rajesh, R. (2021). Flexible business strategies to enhance resilience in manufacturing supply chains: An empirical study. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 903-919. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.10.010>
- Rajesh, R., & Ravi, V. (2015). Supplier selection in resilient supply chains: a grey relational analysis approach. *Journal of cleaner production*, 86, 343-359. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.054>
- Sawik, T. (2013). Selection of resilient supply portfolio under disruption risks. *Omega*, 41(2), 259-269. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.05.003>
- Soni, U., Jain, V., & Kumar, S. (2014). Measuring supply chain resilience using a deterministic modeling approach. *Computers & Industrial Engineering*, 74, 11-25.
- Wang, L., Zhang, X., Su, H., & Zhu, J. (2024). A comprehensive survey of continual learning: Theory, method and application. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2024.3367329>
- Xu, N. R., Liu, J. B., Li, D. X., & Wang, J. (2016). Research on evolutionary mechanism of agile supply chain network via complex network theory. *mathematical Problems in engineering*, 2016(1), 4346580. <https://doi.org/10.1155/2016/4346580>
- Xu, Z., Cai, B., Yan, L., Pang, X., & Gao, K. (2024). Statistical analysis of metastable pitting behavior of 2024 aluminum alloy based on deep learning. *Corrosion Science*, 233, 112077. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2024.112077>
- Zahra, R., & Rezaeenour, J. (2025). review community detection algorithms in multilayer networks; Traditional methods and deep learning. *Engineering Management and Soft Computing*, 10(2), 1-25. <https://doi.org/10.22091/jemsc.2025.11154.1196>