KMANPUB | Decision Science and Intelligent Systems | Vol. 3 No. 1 (2026): 1-36

Article history:
Received 16 October 2025
Revised 21 February 2026
Accepted 01 March 2026
Published online 21 March 2026

A Mathematical model for Optimizing the Resilient Supply Network (RSN) of Healthcare centers during crisis conditions

Ali Khanalizadeh[1], Reza Ehtesham Rasi[1*], Sadegh Abedi[1]

[1] Department of Industrial Management, Qa.C., Islamic Azad University, Qazvin, Iran

*** Corresponding author email address**: reza.ehteshamrasi@iau.ac.ir

A r t i c l e I n f o

Article type:
Original Research

How to cite this article:
Khanalizadeh, A., Ehtesham Rasi, R., & Abedi, S. (2026). A Mathematical model for Optimizing the Resilient Supply Network (RSN) of Healthcare centers during crisis conditions. *Decision Science and Intelligent Systems. 3(1), 1-36.*

© 2026 the authors. Published by KMAN Publication Inc. (KMANPUB), Ontario, Canada. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

A B S T R A C T

The Resilient Supply Network (RSN) has emerged as one of the most critical aspects of supply chain management. This field focuses on managing the flow of goods, information, and services from the source to the destination under various conditions in a RSN.The innovative aspect and novelty of the present research lie in the fact that this article applies the model in the context of a crisis while considering social damages as one of the model's objectives. Accordingly, a mathematical optimization model is designed to enhance the resilience of the supply chain of healthcare centers (hospitals) in Iran under the critical conditions of the COVID-19 pandemic, using Goal Programming (GP) combined with fuzzy logic. A Fuzzy Goal Programming (FGP) model with three objectives is proposed: minimizing total costs across the supply chain, minimizing the distribution time of medical items to healthcare centers (hospitals), and minimizing the total social damages. To address the multi-objective nature of the problem in the context of the RSN during the COVID-19 outbreak in Tehran, a FGP approach is utilized. For each objective, a desired (ideal) target is defined, and based on the principles of FGP, the model attempts to minimize undesirable deviations from these ideal targets. This research is applied in nature, and methodologically it is a descriptive-survey study based on data type and execution method. From a modeling perspective, it is a mathematical GP model using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to assign weights to the objectives, focusing on the optimization of the RSN. The proposed model, after review by academic advisors and consultation with 20 experts, was coded and implemented using GAMS 24 software. The solution methods applied in this model include the Tiwari method for parameter normalization and the FGP technique. The model was applied to the COVID-19 pandemic crisis in Tehran, with the resilient medical operations considered within a five-day (120-hour) time frame, focusing on four key medical items. The model results show that none of the goals fully reached their ideal values, and deviations remained across the objectives. However, the model achieved an optimal balance among the goals, reaching an equilibrium state.

Keywords: *Optimization, Resilience, Supply Network, Mathematical Model, Healthcare Centers.*

Extended Abstract

Introduction

Supply chain disruptions have negative impacts on the organization's financial performance, market, and operational processes. Therefore, organizations seek to create a resilient supply chain to reduce the risks of supply chain disruptions. A resilient supply chain is a system that has the ability to recover from disruptions and crises and assures customers that this will have minimal impact on them. .Resilience is defined as the ability of a system to return to its original or better condition after a disruption

Healthcare centers must be able to rapidly adapt to catastrophic events such as natural and man-made disasters. One of the key approaches to confronting such disasters in healthcare facilities is enhancing resilience. Natural and man-made disasters impose various forms of damage, injury, and loss of life on affected communities. These disasters can severely disrupt critical infrastructures and facilities, including hospitals, schools, transportation systems, and emergency services, thereby exerting destructive and adverse effects on hospitals' responsiveness. Disruptions and dysfunctions in hospitals may lead to irreparable losses and casualties. Therefore, strategies for strengthening resilience in healthcare centers are of vital importance.

Methods and Materials

The present research is applied in terms of its objective, and methodologically it employs mathematical modeling through fuzzy goal programming, combined with the Analytic Hierarchy Process (AHP) approach for weighting the objectives. The study addresses the optimization of a resilient supply chain. The designed model, after being reviewed by supervisors and advisors and validated through consultation with 20 experts regarding its conformity with real-world conditions, was coded in the GAMS 24 software environment. The solution methods applied in this model include the Tiwari method for parameter normalization and fuzzy goal programming. To address the multi-objective nature of the main resilient supply chain planning problem during the COVID-19 crisis in Tehran, a fuzzy goal programming approach was adopted. Accordingly, for each objective of the problem, an aspiration (goal) level was set, and based on the principles of fuzzy goal programming, efforts were made to minimize undesirable deviations from these aspiration levels. For the purpose of implementing the model in the context of the COVID-19 pandemic crisis in Tehran and ensuring resilient medical operations, the planning horizon was limited to five days (120 hours) after the crisis, and only four categories of medical supplies were considered.

Findings

minimization of total cost, minimization of medical The values of the three objective functions supply distribution time, and minimization of social damages—are presented for different levels of constraint satisfaction. These values were obtained using the Tiwari method and fuzzy goal programming in GAMS software. As shown in the results reported in Table (7), the cost objective function is in conflict with the distribution time and social damage reduction objectives. This means that improving one objective (e.g., achieving greater satisfaction of the cost objective) inevitably requires compromising the other two objectives (i.e., achieving lower satisfaction levels for them).

For the implementation of the model in the context of the COVID-19 pandemic crisis in Tehran and resilient medical operations, the planning horizon was limited to five days (120 hours) after the crisis, and four types of medical supplies were considered. Finally, the deviations from each of the goals are

presented in Table (8). As observed, the results indicate that none of the model's goals have been fully achieved, and deviations from the aspiration levels still remain. With respect to the other goals as well, deviations persist overall, and the model ultimately reaches its optimal solution in a balanced state among the competing objectives.

Discussion and Conclusion

There are various approaches for validating a model. One approach is to use available or historical data from the COVID-19 pandemic as model parameters. If the model outputs are consistent with real results and considered reasonable by crisis managers, the model can be deemed valid. However, if the results significantly differ from reality or appear implausible to decision-makers, necessary modifications must be made to the model. Another method is to introduce a subset of the model's parameters as inputs and then evaluate the model's outcomes following such variations.

On the other hand, model validity refers to whether the model can accurately measure the attributes and characteristics it is designed to represent. In the present study, several strategies were employed to validate the proposed resilient medical supply chain model. Following its design, formulation, and presentation, expert opinions from specialists and academic advisors were sought, and the model's features were compared with the actual state of the medical supply chain during the COVID-19 crisis in Tehran. The model was developed according to recognized modeling standards, incorporating all rules and requirements of linear mathematical models with fuzzy objectives/goals and both crisp and fuzzy constraints.

Some of the parameters and data used in the model were carefully extracted from the theoretical foundations and existing literature on resilient medical supply chains, while others were generated randomly. The proposed model and its results were shared with crisis management experts and academic professors, all of whom confirmed its validity. Moreover, the mathematical models were executed in GAMS with sufficient accuracy and within appropriate computational times, and sensitivity analyses were conducted on key parameters. These analyses yielded useful and acceptable results.

The outcomes of sensitivity analysis—assessing the model's response to variations in critical parameters and the corresponding effects on objectives—demonstrate the model's reliability, validity, and robustness. For performance evaluation, parameters such as storage capacity of medical items, item prices, and transportation capacity (which are generally controllable) were analyzed. Table (9) presents the objective function values and decision variable flows without parameter changes, while Tables (9) and (10) together illustrate the effects of parameter variations on the resilient medical supply chain in the context of a potential COVID-19 crisis in Tehran. The results indicate that changes in these parameters lead to only limited fluctuations in the objective function, thereby confirming the model's stability and coherence.

For instance, a 15% reduction in medical item storage capacity causes a 20% reduction in the target market (service provision to patients). This occurs because, under uncertain demand conditions considered in this study, reduced storage capacity may result in shortages in distributing relief items to central

warehouses and healthcare centers. Consequently, insufficient stockpiling of relief items adversely affects support to affected populations, challenges long-term crisis management, and may increase COVID-19 transmission and mortality. The proposed model mitigates this issue by incorporating storage capacities for each medical item and providing a production planning framework.

Furthermore, it was observed that a 15% decrease in storage capacity reduced the treatment capacity for COVID-19 patients by 20%, highlighting the vulnerability of medical logistics to inventory shortages. On the other hand, increases of 12% and 20% in item prices and transportation capacity improved the objective function values by 15% and 25%, respectively, thereby enhancing medical logistics services.

علم تصمیم گیری و سیستم های هوشمند دوره ۳، شماره ۱ (۱۴۰۵): ۳۶-۱

تاریخچه مقاله
دریافت شده در تاریخ ۲۴ مهر ۱۴۰۴
اصلاح شده در تاریخ ۲ اسفند ۱۴۰۴
پذیرفته شده در تاریخ ۱۰ اسفند ۱۴۰۴
منتشر شده در تاریخ ۱ فروردین ۱۴۰۵

ارائه یک مدل ریاضی به منظور بهینه‌سازی شبکه تأمین تاب‌آور مراکز درمانی در شرایط بحران

علی خانعلی زاده[۱]، رضا احتشام راثی[۱*]، صادق عابدی[۱]

۱. گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: reza.ehteshamrasi@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله
پژوهشی اصیل

نحوه استناد به این مقاله:
خانعلی زاده، علی.، احتشام راثی، رضا.، و عابدی، صادق. (۱۴۰۵). ارائه یک مدل ریاضی به منظور بهینه‌سازی شبکه تأمین تاب‌آور مراکز درمانی در شرایط بحران. *علم تصمیم گیری و سیستم های هوشمند، ۳(۱)، ۳۶-۱.*

© ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

چکیده

شبکه تأمین تاب‌آور، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های علم مدیریت زنجیره تأمین، مورد توجه قرار گرفته است. این حوزه، به مدیریت جریان کالا، اطلاعات و خدمات از مبدأ تا مقصد در شرایط مختلف شبکه تأمین تاب‌آور می‌پردازد. جنبه نوآوری و جدید بودن پژوهش حاضر این است که در این مقاله کاربرد مدل در بستر بحران و در نظر گرفتن صدمات اجتماعی به عنوان یکی از اهداف مدل ارائه شده و یک مدل ریاضی بهینه‌سازی در خصوص ارتقاء تاب‌آوری شبکه تأمین مراکز درمانی (بیمارستان‌ها) ایران در شرایط بحرانی کرونا طراحی و یک مدل ریاضی با برنامه‌ریزی آرمانی فازی ۳ هدفه (شامل: حداقل کردن هزینه‌ها در سراسر زنجیره تأمین؛ مینیمم کردن زمان توزیع اقلام پزشکی به مراکز درمانی (بیمارستان‌ها) و مینیمم کردن مجموع صدمات اجتماعی)، پرداخته است. برای مواجهه با ماهیت چند هدفه مسأله برنامه اصلی زنجیره تأمین تاب آور در وقوع بحران کرونا در شهر تهران از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی بهره گرفته شده است. بر این اساس برای هر هدف مسأله حد مطلوبی (آرمانی)، در نظر گرفته شده و سپس طبق اصول برنامه‌ریزی آرمانی فازی سعی در کمینه‌سازی انحرافات نامطلوب از حد مطلوب شده است. پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر نوع داده‌ها مدلسازی ریاضی برنامه‌ریزی آرمانی فازی، با رویکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت وزن دهی به اهداف است و به بررسی موضوع بهینه‌سازی شبکه تأمین تاب آور پرداخته است. مدل طراحی شده پس از بررسی توسط اساتید راهنما و مشاور و مشورت با ۲۰ نفر ازخبرگان، میزان تطابق با واقعیت، کدنویسی مدل تحت محیط نرم‌افزاری گمز ۲۴ صورت گرفته است. روش‌های حلی که در این مدل به کار گرفته شده است شامل روش تیواری جهت بی‌مقیاس‌سازی پارامترها و روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی است. به منظور اجرای مدل در بحران پاندمی کرونا در شهر تهران و عملیات پزشکی تاب آور تنها به پنج روز یا ۱۲۰ ساعت پس از بحران در نظر گرفته شده است و برای چهار اقلام پزشکی اکتفا شده است. نتایج حل مدل بیانگر آن است که هیچ یک از آرمان‌های مدل به حد آرمانی خود نرسیده و انحرافات در آرمان‌ها همچنان باقی است، در مورد سایر آرمان‌های مدل نیز در مجموع انحرافات باقی مانده و مدل در یک حالت تعادلی بین آرمان‌ها به مقدار بهینه خود رسیده است.

کلیدواژگان: *بهینه‌سازی، تاب آوری، شبکه تأمین، مدل ریاضی، مراکز درمانی.*

مقدمه

بروز اختلال در شبکه تأمین موجب اثرات منفی بر روی عملکرد مالی، بازار و فرآیندهای عملیاتی سازمان می‌شود. لذا سازمان‌ها درصدد ایجاد یک شبکه تأمین با قابلیت تاب‌آوری مناسب به منظور کاهش ریسک‌های ناشی از اختلال در شبکه تأمین می‌باشند (Ajibola Dada etal, 2024).شبکه تأمین با قابلیت تاب‌آوری، سیستمی است که توانایی لازم برای خروج از اختلال و بحران را در اختیار داشته و این اطمینان را به مشتریان می‌دهد که این امر کمترین تأثیر را بر روی آن‌ها برجای می‌گذارد. قابلیت تاب‌آوری را به‌عنوان قابلیت سیستم در بازگشت به شرایط اولیه و یا شرایط بهتر پس از بروز اختلال قلمداد نموده‌اند (Zhao and You, 2019). همچنین، فیکسل (۲۰۱۹)، قابلیت تاب‌آوری را به صورت قابلیت سازمان برای بقا، انطباق و رشد در مواجهه با تغییر و عدم اطمینان عنوان نموده است. آمبولکار و همکاران (۲۰۲۰)، بر این عقیده می‌باشند که قابلیت تاب‌آوری شبکه تأمین این امکان را برای سازمان‌ها فراهم می‌آورد تا اختلالات موجود در شبکه تأمین را مدیریت نموده و فرآیند ارائه محصولات و خدمات به مشتریان را فارغ از اختلالات پیش‌آمده، ادامه دهند. به همین منظور، محققین ایجاد قابلیت تاب‌آوری را برای مقابله با ریسک‌های پیش‌بینی‌نشده امری حیاتی قلمداد نموده‌اند (Pont and Simon, 2025). اهمیت این موضوع تا بدان جا می‌باشد که از قابلیت تاب‌آوری به‌عنوان یکی از منابع مشخص کسب مزیت رقابتی پایدار برای تأمین‌کنندگان نام‌برده‌اند. قابلیت تاب‌آوری زنجیره تأمین، شرکت‌ها را در پاسخ به تغییر تقاضا و اختلال، پیش از آنکه هرگونه اقدامی از سوی رقبا صورت گیرد، کمک می‌کند. درنتیجه، قابلیت تاب‌آوری زنجیره تأمین می‌تواند منبع قوی برای مزیت رقابتی باشد (Altherwi, Alwerfalli, and Edwards, 2022). هدف مدیریت و تحلیل تاب‌آوری، ممانعت از تغییر و انتقال به وضعیت‌های نامطلوب است. در سیستم‌های زنجیره تأمین نیز، هدف واکنش کارا نسبت به اثرات منفی اختلالات است. در سال‌های گذشته و تحت تاثیر اوج گیری شیوع موج پنجم ویروس کرونا، مدیریت بیمارستان‌ها و تاب‌آوری آن بسیار اهمیت یافت (Wang, Iqbal and Gong, 2021; Wu, 2023).

به گزارش ایسنا، در طول ۳ سالی که از آغاز شیوع کرونا در ایران گذشت (۱۳۹۸-۱۴۰۱)، در زمان‌های مختلف، کشور با کمبود با برخی محصولات لازم برای مقابله با کرونا مواجه شده که البته بسیاری از آن‌ها در مدتی کوتاه برطرف شده‌اند. در هفته‌های نخست ایران نیز مانند بسیاری از دیگر کشورهای جهان با کمبود ماسک، دستکش و الکل مواجه بود که با فعال شدن شرکت‌های بخش خصوصی این نیاز تأمین و حتی اعلام شد که امکان صادرات این محصولات نیز وجود دارد. در زمان کرونا و با افزایش قابل توجه تعداد بستری‌های کرونا در کشور، در برخی بیمارستان‌ها خبر از کمبود فضا برای بستری بیماران کرونایی و عدم تاب‌آوری بیمارستان‌ها به گوش رسید.

مراکز بهداشتی درمانی باید بتوانند به سرعت با حوادث فاجعه باری مانند بلایای طبیعی و انسانی سازگار شوند. یکی از راه‌های مواجهه با بلایای مختلف در مراکز بهداشتی درمانی، افزایش تاب‌آوری است. بلایای طبیعی و انسانی انواع مختلفی از خسارات، صدمات و مرگ را به جوامع آسیب دیده تحمیل می‌کند. این گونه از بلایا می‌تواند زیرساخت‌ها و امکانات مختلفی از جمله بیمارستان‌ها، مدارس، سیستم‌های حمل و نقل و خدمات اضطراری ناشی از حوادث، تأثیرات مخرب و نامطلوبی بر پاسخگویی بیمارستان‌ها بگذارد. اختلال و ناسازگاری در بیمارستان‌ها می‌تواند منجر به تلفات و خسارات جبران ناپذیری شود. راهکارهای ارتقاء تاب‌آوری در مراکز بهداشتی و درمانی بسیار مهم است. تاب‌آوری به ابزار و توانایی مقابله با شرایط نا مطلوب اشاره دارد. تاب‌آوری بیمارستانی با کاهش آسیب‌پذیری در برابر شوک‌های ناشی از بلایای طبیعی و افزایش ظرفیت انطباقی ناشی از اقدامات و فرصت‌های بهبود یافته مرتبط است. برخی از پژوهشگران به ارائه چارچوبی از تاب‌آوری و روش‌های اندازه‌گیری آن در بیمارستان‌ها پرداخته‌اند. از سوی دیگر در پژوهشی دیگر همکاری و مدیریت آموزش، قابلیت منابع، تجهیزات و ساختار سازمانی به عنوان عوامل مؤثر بر تاب‌آوری بیمارستانی شناخته شده است. در پژوهشی دیگر عواملی همچون مدیریت، کارکنان و زیرساخت‌های

بیمارستانی به عنوان ابعاد اثرگذار بر تاب‌آوری بیمارستانی ذکر شده است. با توجه به اهمیت ارزیابی، نظارت و برنامه‌ریزی به منظور بهبود تاب‌آوری بیمارستان‌ها در برابر حوادث، تهیه مدل جامع برای ارزیابی تاب‌آوری بیمارستان‌ها در برابر حوادث و بلایای طبیعی ضروری است. تمام موارد بالا بیانگر اهمیت بالا بررسی تاب‌آوری در حوزه صنعت بیمارستان در ایران را نشان می‌دهد. با وجود مطالعات کثیر در این حوزه ضعف پژوهشی و شکاف تحقیقاتی در خصوص بهینه‌سازی شبکه تأمین تاب‌آوری در شرایط بحران صنعت بیمارستان تحت محیط عدم قطعیت توسط محقق مشاهده شد که انگیزه بخش وی برای انجام تحقیق حاضر گردید. در پژوهش حاضر با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی به دنبال طراحی مدل بهینه‌ی شبکه تأمین تاب‌آور در مراکز درمانی و بیمارستان‌های ایران پرداخته شده است.

با وجود تحقیقات گسترده‌ای که در زمینه تاب‌آوری زنجیره تأمین در بیمارستان‌ها صورت گرفته است؛ پژوهشی کمّی و مدلسازی در خصوص بهینه‌سازی زنجیره تأمین تاب‌آور در شرایط بحران همه‌گیری ویروس‌ها از جمله ویروس کووید ۱۹ در بیمارستان‌های ایران صورت نگرفته است؛ در نتیجه مقاله حاضر به دنبال پاسخگویی به این سوال است که مدل ریاضی به منظور بهینه‌سازی شبکه تأمین تاب‌آور در شرایط بحران چیست؟

جنبه نوآوری و جدید بودن پژوهش حاضر این است که در این مقاله با استفاده از کاربرد مدل در بستر بحران و در نظر گرفتن صدمات اجتماعی به عنوان یکی از اهداف مدل ارائه شده و یک مدل ریاضی با برنامه‌ریزی آرمانی فازی ۳ هدفه (شامل: حداقل کردن هزینه‌ها در سراسر زنجیره تأمین؛ مینیمم کردن زمان توزیع اقلام پزشکی به مراکز درمانی (بیمارستان‌ها) و مینیمم کردن مجموع صدمات اجتماعی)، پرداخته است.

در ادامه این مقاله به مرور مبانی نظری، مهم‌ترین پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه تاب‌آوری شبکه تأمین، روش‌شناسی پژوهش، یافته‌های پژوهش و ارائه پیشنهادها و نتایج کاربردی پرداخته شده است.

مروری بر مبانی نظری

به دلیل وجود اطلاعات ناقص در مورد رویدادهای آتی، همیشه ریسک وجود دارد. به عبارتی، عدم اطمینان در مورد آینده، باعث ایجاد ریسک می‌شود. ریسک در زنجیره تأمین، رخداد بالقوه‌ای است که از جریان طبیعی مواد و اطلاعات در زنجیره جلوگیری کرده و به همین دلیل منجر به اختلال در زنجیره می‌شود. ویژگی اصلی زنجیره تأمین، ارتباط بین تمام اعضای آن است، به همین دلیل، ریسک مربوط به یک بخش از زنجیره، به سایر اعضاء نیز منتقل می‌شود؛ برای مثال، وقتی تأمین‌کننده‌ای ورشکست می‌شود، نه‌فقط حلقه بعد از خود را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه تمام اعضای زنجیره تحت تأثیر قرار می‌گیرند. پیش از آنکه سازمان‌ها به دنبال روش‌های مؤثر برای کاهش ریسک‌های زنجیره تأمین باشند، لازم است تا مدیران انواع ریسک‌های زنجیره را درک و شناسایی کنند تا بتوانند رویکردهای کاهش ریسک اثربخشی را برای سازمان خود اتخاذ کنند. وجود عدم اطمینان در بازار کسب‌وکار، امکان مواجهه با بحران و اختلال برای تمامی سازمان‌ها در زنجیره تأمین محتمل می‌باشد، به همین منظور، درک صحیح از این موضوع که چگونه شرکت‌ها قادر به مدیریت اختلالات زنجیره تأمین می‌باشند، به موضوعی با اهمیت در میان محققین دانشگاهی و متخصصین بدل شده است. به‌طورکلی، اختلالات زنجیره تأمین رخدادهایی برنامه‌ریزی نشده و پیش‌بینی‌نشده می‌باشند که جریان معمول کالا و مواد را در درون زنجیره تأمین با اختلال مواجه می‌سازند که درنهایت منجر به بروز ریسک‌های عملیاتی و مالی می‌گردد. وقوع رویدادهایی که منجر به ایجاد وقفه در جریان مواد می‌شوند، حتی اگر این رویدادها در مکانی دور اتفاق بیافتند می‌توانند اختلالاتی در مقیاس وسیع را ایجاد نمایند. این اختلالات ممکن است در سراسر زنجیره تأمین منتشر شوند و اثرات منفی زیادی را در زنجیره ایجاد کنند. چه‌بسا، بسیاری از شرکت‌ها با وقوع اختلال دیگر نخواهند توانست سطح بهره‌وری خود را حفظ کنند. درنتیجه، رقابت‌پذیری خود را از دست می‌دهند. به عبارت بهتر، اگر فعالیت‌های زنجیره تأمین نتوانند به‌خوبی اختلالات

پیش‌بینی‌نشده را مدیریت کنند، با پیامدهای منفی بالقوه‌ای مواجه می‌شوند و این امر، ریسک تداوم کسب‌وکار را بالابرده و زیان‌های مالی به بار می‌آورد. برای کاهش ریسک، زنجیره‌های تأمین باید چندبعدی و چند رشته‌ای بوده و به‌گونه‌ای طراحی شوند که برای هرگونه رویدادی آمادگی داشته باشند تا بتوانند ضمن فراهم نمودن پاسخی کارا و اثربخش، توانایی بازگشت به وضعیت اولیه یا مطلوب‌تر پس از اختلال را داشته باشند که این همان معنای قابلیت تاب‌آوری زنجیره تأمین است. به‌طور کلی، زنجیره‌های تأمین در معرض اختلال قرار دارند و کاهش هزینه، کیفیت بالا، کاهش زمان تحویل و سطح خدمت‌رسانی بالاتر به مشتری تنها عوامل تعیین‌کننده رقابت‌پذیری آن‌ها به شمار نمی‌روند، بلکه توانایی غلبه بر اختلالات مختلفی که می‌توانند عملکرد زنجیره را به خطر بیندازند، نیز از عوامل مهم دیگر در رقابت‌پذیری زنجیره‌های تأمین است. ازاین‌رو، زنجیره‌های تأمین باید دارای قابلیت تاب‌آوری باشند. قابلیت تاب‌آوری زنجیره تأمین، شرکت‌ها را در پاسخ به تغییر تقاضا و اختلال، پیش از آنکه هرگونه اقدامی از سوی رقبا صورت گیرد، کمک می‌کند. درنتیجه، قابلیت تاب‌آوری زنجیره تأمین می‌تواند منبع قوی برای مزیت رقابتی باشد. هدف مدیریت و تحلیل تاب آوری، ممانعت از تغییر و انتقال به وضعیت‌های نامطلوب است. در سیستم‌های زنجیره تأمین نیز، هدف واکنش کارا نسبت به اثرات منفی اختلالات است.

برای مفهوم تاب آوری تاکنون تعریف های مختلفی ارائه شده است که میتوان آنها را در دودسته عام و خاص جای داد. تعاریف عام قابل انطباق به حوزه های مختلفی هستند و تعاریف خاص با تمرکز به یک حوزه خاص ارائه شده است. با بررسی تعاریف عام میتوان دریافت که دیدگاه واحدی در خصوص چگونگی تبیین و تعریف تاب آوری وجود ندارد اما تشابهات بسیاری میان تعاریف است. علی رغم اینکه مفهوم تاب آوری توسط محققین بسیاری موردبررسی قرار گرفته، اما یک تعریف مورد اجماع که یک درک جامع از تاب آوری زنجیره تأمین را ارائه دهد وجود ندارد. جدول (۱)، به تعریف تاب آوری در زنجیره تأمین پرداخته است.

جدول ۱

تعریف تاب آوری در زنجیره تأمین

تعریف تاب آوری زنجیره تأمین	منبع
ظرفیت سیستم‌های صنعتی پیچیده *برای نجات یافتن* تطبیق یافتن و رشد در مواجهه با تغییرات متلاطم	(Emmanuel et al,۲۰۲۵)
توانایی یک زنجیره تأمین برای کاهش احتمال وقوع اختلالات، کاهش پیامدهای اختلالاتی که به وقوع می‌پیوندند و کاهش زمان بازیابی شرایط عادی زنجیره قبل از بروز اختلال	(Canwat,۲۰۲۴)
قابلیت تطبیقی زنجیره تأمین برای آمادگی برای اتفاقات غیرمنتظره پاسخ به اختلالات و بازیابی از آن‌ها از طریق حفظ استمرار عملیات در سطح قابل قبولی از پیوستگی و کنترل داشتن بر روی ساختار و عملکرد	(Queiroz et al,۲۰۲۴)
یک زنجیره تأمین تاب آور سیستمی است باهدف دوام آوردن و حفظ عملکرد حتی در حین اختلال آماده شده از طریق پیش بینی و ارزیابی صدمات اختلالات محتمل و تقویت شده با آگاهی عمیق از محیط در حال تغییر و دانش اتفاقات گذشته و استفاده از استراتژی‌های تاب آوری برای دفاع در مقابل اختلالات	(Ajibola Dada, et al,۲۰۲۴)
یک زنجیره تأمین تاب آور باید بتواند که آماده شود پاسخ بدهد و از اغتشاشات بازیابی کند و سپس یک عملیات در وضعیت استوار مثبت را در زمان و هزینه قابل قبول نگه دارد.	Karmaker, Aziz, Palit, &) (۲۰۲۳Bari,
ظرفیت سازمانی برای زنده ماندن انطباق و رشد در برابر تغییر و عدم اطمینان	Ergun, Hopp, &) (۲۰۲۳Keskinocak,
قابلیت زنجیره تأمین برای بهره بردن از ظرفیت جذب موجودیت‌های زنجیره تأمین برای دفع و مقاومت در برابر اثرات آشفتگی و استفاده از ظرفیت انطباقی به منظور کمینه سازی پیامدهای اختلالات و گسترش آنها و استفاده از ظرفیت بازیابی به منظور بازیابی سطح عملکردی به فعالیتهای عادی در یک رویکرد به صرفه از نظر هزینه زمانی که ظرفیتهای جذب و انطباقی کافی نیستند.	(۲۰۲۳Li, Li, Liu, & Shou,)

به طور خلاصه میتوان گفت تاب آوری شامل ۴ فاز، است که عبارت اند از ۱) آمادگی سیستم پیش از وقوع عامل مزاحم ۲) پاسخگویی هنگام وقوع عامل مزاحم ۳) بازیابی پس از وقوع عامل مزاحم برای رسیدن به سطح عملکردی پیش از آن ۴) رشد و رسیدن به سطح عملکردی بالاتر از حالت پیش از وقوع عامل مزاحم به علاوه، قابلیت جذب و انطباق مفهومی است که در همه فازها مورد توجه قرار میگیرد. تعریف مختصر هر یک از این فازها بدین شرح است:

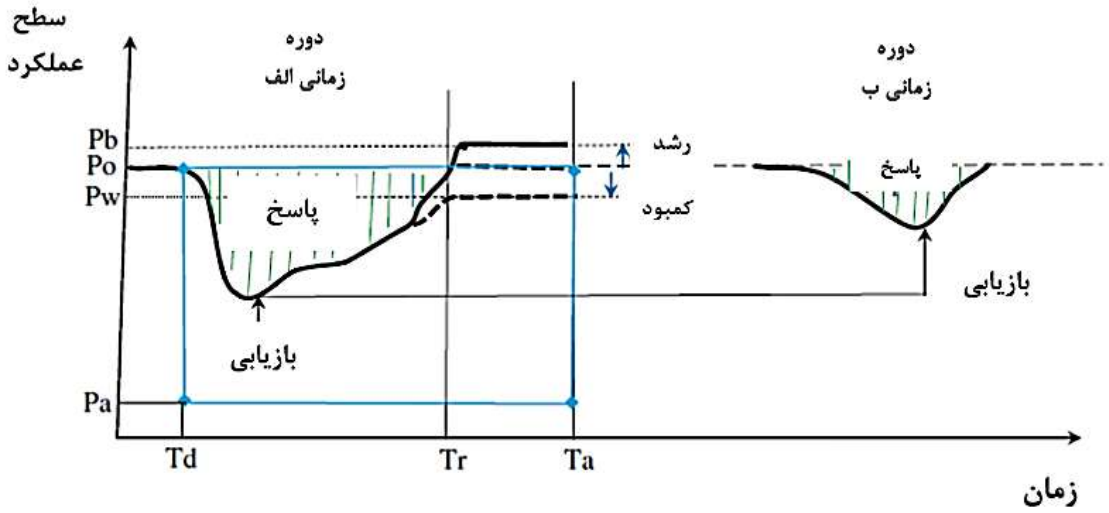
۱) آمادگی زنجیره تأمین باید بتواند برای تغییرات پیش بینی نشده و شده ،محیط، خود را آماده کند. از ابعاد این مسئله این است که عوامل مزاحم را پیش بینی کند و احتمال آنها را شناسایی کند و از پیش برنامههایی برای واکنش فوری آماده کند

۲) پاسخگویی به محض اینکه عامل مزاحمت پیش بینی نشده ای در زنجیره تأمین شناسایی شد، زنجیره باید بتواند در زمان و با هزینه مناسب واکنش مناسب را نشان دهد و از گسترش اختلال نیز جلوگیری کند

۳)بازیابی اگر عوامل مزاحم قادر به ایجاد آسیب برای زنجیره تأمین شدند، زنجیره باید بتواند در زمان و با هزینه مناسب تأثیرات منفی عوامل مزاحم را برطرف کند و به وضعیت قبلی خود برگردد[۴]۴)رشد به نوعی بسط مفهوم بازیابی هست با این تفاوت که بازیابی بازگشت به حالت پیش از وقوع عامل مزاحم را مدنظر قرار میدهد و رشد رسیدن به حالتی بهتر از حالت نرمال را مطرح می کنند. قوت زنجیره ها در این فاز میتواند برای آنها مزیت رقابتی قابل توجهی ایجاد کند. توجه به شکل (۱)، درک بهتر فازهای مذکور و همچنین خاصیت یادگیری زنجیره تأمین را میسر می سازد.

شکل ۱

فازهای تاب آوری زنجیره تأمین (Muzamil etal,2025)



در شکل فوق، ta نشانگر زمان وقوع عامل مزاحم و tr زمان واقعی بازیابی سطح عملکرد پیش از وقوع بحران و ta حداکثر زمان قابل قبول برای بازیابی را نشان میدهد جهت تبیین تاب آوری وقوع عامل مزاحم در دو زمان متفاوت به صورت متوالی در نظر گرفته شده دوره زمانی اول به اولین وقوع عامل مزاحم بر می‌گردد که آسیب دیدگی ایجاد شده در حالی که در دوره زمانی بعدی دومین وقوع را نشان میدهد که آسیب کمتری برای بازیابی ایجاد شده و زمان کمتری برای بازیابی طی شده است این مسئله نشان از خاصیت یادگیری زنجیره تأمین دارد. با توجه به دوره اول پیش از وقوع عامل مزاحم فاز آمادگی است، پس از وقوع پاسخگویی شروع شده و بازیابی نیز اتفاق میافتد. در تمام این فازها یادگیرنده بودن و قابلیت انطباق مورد توجه قرار میگیرد قابلیت انطباق به این معنی است که زنجیره تأمین با توجه به ماهیت تهدیداتی که با آن مواجه میشود بتواند پاسخهای مناسب ارائه کند و ممکن است به جای اینکه از مجموعه پاسخ‌های از پیش آماده شده پاسخی انتخاب

کنـد، عناصر زنجیره تأمین تغییر کنند تا پاسخی مناسب برای عوامل مزاحم ارائه کنند زنجیره ممکن است همزمان با وقوع اختلال، پاسخی را تولید کند و یا خاصیت یادگیرندگی داشته باشد و طی زمان با توجه به عوامل مزاحمی که برایش قبلاً رخ داده ظرفیتها و مجموعه پاسخهای خود را گسترش هد و به تاب آوری بیشتری دست پیدا کند مقصود از یادگیرندگی در اینجا این است که اگر اختلالی رخ داد، سیستم بـه نحوی طراحی شده باشد که پس از آن آمادگی و توان پاسخگویی و بازیابی خود را به نحوی افزایش دهد که در صورت وقوع مجدد عملکرد بهتری از خود نشان دهد. در ادامه به مهمترین پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه شبکه تأمین تاب‌آور پرداخته شده است.

پیشینه پژوهش

جلیلی و همکاران (۱۴۰۳)، در پژوهشی با عنوان: الگوی تاب آوری زنجیره تامین در کسب وکارهای مبتنی براقتصاد اشتراکی با رویکرد صنعت ۴.۰، پرداختند. پژوهش مذکور با هدف شناسایی عوامل تاثیرگذار که در ایجاد یک زنجیره تامین تاب‌آور نقش دارند، بر اساس جدیدترین مطالعات در زمینه تاب‌آوری زنجیره تأمین، به‌ویژه در کسب‌وکارهای اقتصاد اشتراکی سعی بر آن دارد تا به سازمان‌ها و موسسات ذینفع در این حوزه یاری رساند. ابتدا به کمک روش کتابخانه‌ای، دیدگاه‌های موجود مورد بررسی و بر اساس آن مبانی پژوهش، شکل گرفته، سپس باکمک روش فراترکیب شاخص‌ها استخراج شده و برمبنای آن، پرسشنامه تدوین گردیده است که دراختیار۱۳ نفر از خبرگان که باروش نمونه‌گیری گلوله برفی انتخاب شدند، قرار گرفته و بااستفاده از روش دلفی، طی سه مرحله بررسی شده است.سپس به کمک روش میدانی،اطلاعات مورد نیاز درقالب پرسشنامه توزیع شده در نمونه آماری متشکل از۷۱ نفراز مدیران، کارشناسان و کارکنان کسب‌وکارهای اقتصاد اشتراکی که به روش نمونه‌گیری هدفمندو دردسترس انتخاب شدند، جمع‌آوری گردیده است. در ادامه با استفاده از تحلیل عاملی تاییدی با روش حداقل مربعات جزیی به کمک نرم‌افزار Smart-PLS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. یافته‌های پژوهش شامل ۶۴ کد استخراجی در ۴ بُعد (سازمانی– فرهنگی، محیطی- بازار، فناوری و زنجیره تامین) است. با توجه به نتایج پژوهش، متخصصان و برنامه‌ریزان می‌توانند از آن بهره‌برداری کرده و با استفاده از مولفه‌های موثر شناسایی‌شده در آن ،دانش و استراتژی‌های لازم برای افزایش تاب‌آوری زنجیره تامین در عصر اقتصاد اشتراکی و صنعت ۴.۰ راکسب نموده و اجرا نمایندو از این طریق، پایداری و موفقیت این کسب‌وکارها را در جهان دائماً در حال تغییر تقویت کنند. جمشیدی و همکارن (۱۴۰۳)، در مقاله‌ای به شناسایی و رتبه‌بندی عوامل انسانی موثر در تاب‌آوری زنجیره تامین ناب با استفاده از تکنیک TOPSIS فازی، پرداختند. تحقیق مذکور از نوع پژوهش‌های کاربردی- توسعه‌ای و بر اساس روش، توصیفی- پیمایشی است که با رویکرد کیفی- کمی انجام شده است. در مرحله کیفی، هر یک از عوامل انسانی مؤثر بر زنجیره تأمین تاب آور و زنجیره تأمین ناب با بررسی تحقیقات پیشین از طریق رویکرد تحلیل محتوای مقوله ای شناسایی شدند. در این مرحله، جامعه آماری تحقیق، مقالات علمی- پژوهشی موجود در پایگاه های علمی معتبر خارجی و داخلی از سال ۲۰۱۲ میلادی و سال ۱۳۹۰ شمسی به بعد در حوزه مورد مطالعه است. تجزیه و تحلیل داده ها با نرم افزار MAXQDA انجام گردید. در بخش کمی، تکنیک FTOPSIS جهت رتبه بندی عوامل انسانی شناسایی شده مورد استفاده قرار گرفت. یافته ها نشان می دهد از بین عوامل شانزده گانه نهایی، عامل نیروی کار ماهر و چند مهارته با بیشترین وزن در بالاترین رتبه و عامل کار گروهی در رتبه دوم قرار دارد. پس از آن نیز به ترتیب عوامل آموزش و توانمندسازی، ارتباط بین کارکنان، مشارکت کارکنان و... جای گرفتند. اولویت بندی انجام شده، به مدیران کمک می کند تا ضمن اهمیت دادن به نقش نیروی انسانی در پیشبرد اهداف سازمان، به منظور افزایش تاب آوری و ناب سازی زنجیره تأمین سازمان، در برنامه ریزی های آتی سازمان به اولویت های عوامل انسانی توجه بیشتری کنند. علیرضائی و جلالی فر (۱۴۰۳)، در پژوهشی با عنوان شناسایی عوامل موثر بر تاب آوری زنجیره تامین در صنایع خودروسازی (مطالعه موردی: شرکت پارس خودرو)، پرداختند. هدف تحقیق مذکور شناسائی عوامل موثر بر تاب آوری زنجیره تامین در صنعت خودرو سازی با مورد مطالعه شرکت پارس خودرو بود. برای این منظور ابتدا مطالعات کتابخانه ای صورت گرفت و بر اساس مطالعات انجام شده شکاف

تحقیقاتی استخراج گردید. با استفاده از مرور ادبیات عوامل موثر بر تاب آوری در صنعت خودرو سازی شناسائی شد و سپس این عوامل با استفاده از نظر خبرگان که فعالان در صنعت خودرو و مشخصا شرکت پارس خودرو بوند امتیازدهی شد. در ابتدا با استفاده از روش دیمتل روابط علی و معلولی بین عوامل فرعی و اصلی که شامل ۳۵ عامل فرعی و ۷ عامل اصلی بود صورت گرفت و سپس با استفاده از روش تحلیل شبکه ای رتبه بندی عوامل اصلی و فرعی صورت گرفت. نتایج رتبه بندی عوامل اصلی نشان داد حذف واسطه های تامین کننده های میانی در بین عوامل اصلی بوده و پس از آن داخلی سازی قطعات، امادگی سازمانی، اجرای برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیران، مدیریت ریسک زنجیره های تامین، استراتژی ها و ساختار سازمان و در نهایت لحاظ کردن زیان مالی در قراردادهای تامین کنندگان خارجی قرار دارند. مؤمنی و همکاران (۱۴۰۳)، در پژوهشی با عنوان: ارائه مدل تاب آوری زنجیره تامین بشردوستانه در رویارویی با بیماری‌های همه‌گیر (همانند ویروس کرونا)، پرداختند. پژوهش ارائه مدل تاب آوری زنجیره تامین بشردوستانه در رویارویی با بیماری‌های همه‌گیر همانند ویروس کرونا است. روش تحقیق پژوهش از نوع کیفی است. بر این اساس با استفاده از نظریه داده بنیاد مدل تاب آوری زنجیره تامین بشردوستانه در سازمان‌های ارائه دهنده خدمات بشردوستانه شکل گرفت. نتیجه به استخراج مدل زنجیره تامین بشردوستانه در رویارویی با بیماری‌های همه‌گیر منتج شد. بر اساس نتایج پژوهش، مشخص گردید مدل مذکور دارای ۲۸ مقوله فرعی در قالب ۶ مقوله‌ی اصلی (شرایط علّی تاب آوری، توجه به تاب آوری زنجیره تامین بشردوستانه، شرایط زمینه ای تاب آوری، عناصر مداخله‌گر تاب آوری، راهبردهای تاب آوری و پیامدهای تاب آوری) می‌باشد. نتایج پژوهش مدلی مفهومی جهت مدیریت زنجیره تامین بشردوستانه در رویارویی با بیماری‌های همه‌گیر به خصوص در زمان شیوع ویروس کرونا ارائه نمود که می‌تواند مورد استفاده مدیران، صنعت‌گران و پژوهشگران قرار گیرد.

آمونئال و همکاران (۲۰۲۵)، با عنوان ساخت شبکه‌های توزیع مقاوم در حوزه سلامت: تطبیق با بحران‌ها، تأمین ایمن منابع و بهبود مقیاس‌پذیری، پرداختند. این پژوهش با هدف بررسی استراتژی‌ها و اقدامات لازم برای افزایش تاب‌آوری شبکه‌های توزیع در حوزه سلامت در مواجهه با بحران‌هایی مانند همه‌گیری‌ها انجام شده است. تمرکز اصلی بر چگونگی تطبیق این شبکه‌ها با شرایط بحرانی، تأمین ایمن منابع حیاتی و بهبود قابلیت مقیاس‌پذیری آن‌ها است. مطالعه حاضر از روش مطالعه موردی چندسطحی بهره برده است. داده‌ها از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۳۹ کارشناس در حوزه تأمین و مدیریت زنجیره تأمین از ۹ شرکت تولیدکننده تجهیزات پزشکی و گروه‌های بیمارستانی در اروپا جمع‌آوری شده است. تحلیل داده‌ها بر اساس نظریه وابستگی منابع (Resource Dependence Theory) انجام شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که اقدامات «پل‌سازی (Bridging) «مانند حمایت از تأمین‌کنندگان و تقویت روابط بلندمدت با آن‌ها در افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین مؤثرتر از اقدامات «ضربه‌گیری (Buffering) «مانند افزایش موجودی‌ها هستند. با این حال، ترکیب این دو رویکرد می‌تواند به مدیریت بهتر ریسک‌ها منجر شود. همچنین، بحران‌های شدید مانند همه‌گیری‌ها می‌توانند اشکال جدیدی از اقدامات ضربه‌گیری خارج از زنجیره تأمین سلامت را ایجاد کنند که به افزایش امنیت تأمین منابع کمک می‌کنند. آجیبولا دادا و همکاران (۲۰۲۴)، در پژوهشی با عنوان تقویت تاب‌آوری زنجیره تأمین مراقبت‌های بهداشتی ایالات متحده از طریق راهبردهای مبتنی بر داده برای تضمین دسترسی مداوم به داروهای ضروری، پرداختند. این پژوهش با هدف بررسی چگونگی بهره‌گیری از راهبردهای مبتنی بر داده برای افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین مراقبت‌های بهداشتی در ایالات متحده و تضمین دسترسی پایدار به داروهای ضروری انجام شده است .تجربه همه‌گیری-COVID 19نشان داد که زنجیره تأمین دارویی ایالات متحده در برابر بحران‌ها آسیب‌پذیر است و نیاز به رویکردهای پیشگیرانه و داده‌محور برای مدیریت بهتر این زنجیره احساس می‌شود. مطالعه حاضر یک تحلیل مفهومی است که با استفاده از مرور ادبیات و بررسی تجربیات گذشته، به ویژه در دوران همه‌گیری، به شناسایی چالش‌ها و ارائه راهکارهای مبتنی بر داده برای بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین دارویی می‌پردازد .این رویکرد شامل بررسی سیاست‌های موجود، فناوری‌های نوین و همکاری‌های بین بخشی است. پژوهش تأکید می‌کند که برای جلوگیری از بحران‌های

آینده و تضمین دسترسی مداوم به داروهای ضروری، باید از رویکردهای واکنشی به سمت راهبردهای پیشگیرانه و مبتنی بر داده حرکت کرد . این امر نیازمند همکاری مستمر بین دولت، صنعت و سایر ذی‌نفعان است تا با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و توسعه زیرساخت‌های داده‌ای، زنجیره تأمین مراقبت‌های بهداشتی ایالات متحده را مقاوم‌تر و کارآمدتر سازند. کانوات (۲۰۲۴)، در پژوهشی با عنوان اختلالات زنجیره تأمین مرتبط با :COVID-19 تاب‌آوری و آسیب‌پذیری بنگاه‌های خرد، کوچک و متوسط، پرداختند. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیرات اختلالات زنجیره تأمین ناشی از محدودیت‌های مرتبط با COVID-19 بر عملکرد بنگاه‌های خرد، کوچک و متوسط (MSMEs) انجام شده است . همچنین، استراتژی‌های تاب‌آوری اتخاذشده توسط این بنگاه‌ها برای مقابله با چالش‌های ناشی از این اختلالات و تفاوت‌های موجود در عملکرد و پاسخ‌های آن‌ها بر اساس ویژگی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه حاضر از روش تحقیق توصیفی بهره برده و داده‌ها از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۳۹ کارشناس در حوزه تأمین و مدیریت زنجیره تأمین از ۹ شرکت تولیدکننده تجهیزات پزشکی و گروه‌های بیمارستانی در اروپا جمع‌آوری شده است .تحلیل داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی و آزمون‌های t انجام شده است. MSMEsبرای افزایش تاب‌آوری خود در برابر اختلالات زنجیره تأمین باید استراتژی‌های متنوعی را اتخاذ کنند که شامل تغییر در مدل‌های کسب‌وکار، تنوع‌بخشی به منابع تأمین و افزایش انعطاف‌پذیری در عملیات است. سیاست‌گذاران و نهادهای حمایتی باید برنامه‌هایی را برای حمایت از MSMEs در مواجهه با بحران‌ها تدوین کنند که شامل ارائه تسهیلات مالی، آموزش و مشاوره در زمینه مدیریت ریسک و توسعه ظرفیت‌های داخلی باشد. کوئرز و همکاران (۲۰۲۴)، با عنوان آیا تاب‌آوری برای عملکرد زنجیره تأمین در بحران‌های مخرب با منابع محدود اهمیت دارد؟، پرداختند.این پژوهش با هدف بررسی نقش تاب‌آوری در عملکرد زنجیره تأمین در شرایط بحران‌های مخرب و کمبود منابع انجام شده است .محققان به دنبال پاسخ به این سؤال بودند که آیا ویژگی‌هایی مانند چابکی و انعطاف‌پذیری می‌توانند تاب‌آوری زنجیره تأمین را تقویت کرده و در نتیجه عملکرد آن را در مواجهه با بحران‌های شدید بهبود بخشند. مطالعه حاضر با استفاده از نظریه‌های تاب‌آوری و مبتنی بر منابع، مدلی مفهومی برای ارزیابی تصمیم‌گیرندگان زنجیره تأمین در ایالات متحده توسعه داده است .برای اعتبارسنجی این مدل، از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری با حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM) و تحلیل مقایسه‌ای کیفی مجموعه‌های فازی (fsQCA) استفاده شده است. یزدانی و همکاران (۲۰۲۳)، در پژوهشی با عنوان تحلیل و برنامه ریزی سیستم انرژی تاب آور با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی، پرداختند. این مطالعه یک چارچوب انعطاف‌پذیر برای ادغام تجزیه و تحلیل انعطاف‌پذیری در محدوده مدل‌های بهینه‌سازی سیستم انرژی بلندمدت ارائه می‌کند. از یک رویکرد متریک انعطاف‌پذیری چندهدفه برای طراحی سیستم انرژی استفاده می‌کند، که امکان نمایش و درمان مستقل معیارهای تاب‌آوری و پایداری را فراهم می‌کند. چندین سیستم انرژی که معیارهای انعطاف‌پذیری و پایداری را مشخص می‌کنند، شناسایی و در یک متریک انعطاف‌پذیری ترکیبی ادغام شده‌اند، که به عنوان تابع هدف در یک مدل‌های بهینه‌سازی سیستم انرژی بلندمدت منبع باز به حداکثر می‌رسد. عملکرد هزینه طراحی سیستم انرژی حاصل در طیف وسیعی از سناریوهای انعطاف‌پذیری کوتاه مدت آزمایش می‌شود و شوک‌های مختلف را ثبت می‌کند. این روش در دو مطالعه موردی شهرداری (واقع در چین و غنا) نشان داده شده است. جدول شماره (۲)، شکاف نظری و جنبه نوآوری و جدید بودن پژوهش حاضر را نسبت به دیگر محققین نشان می‌دهد.

جدول ۲

شکاف نظری وجنبه نوآوری و جدید بودن پژوهش حاضر نسبت به دیگر پژوهش‌ها

منابع	نوآوری از نظر روش / ابزار تحلیل پژوهش						نوآوری از نظر متغیرها / ابعاد پژوهش							
	کمّی / کیفی	تاب آوری	چند دوره‌ای	چند محصولی	برنامه ریزی آرمانی	منطق فازی	تجهیزات و فناوری	منابع مالی	مدیریت ریسک	همکاری و ارتباطات	تحقیق و توسعه	مدیریت امنیت
(Pont & Simon,۲۰۲۵)	–	✓	–	–	–	–	–	✓	✓	✓	–	–
(Muzamil, et al,۲۰۲۵)	–	–	–	–	–	–	✓	✓	✓	✓	–	–
Emmanuel et al,۲۰۲۵) (	–	–	–	–	✓	–	–	–	–	–	–	–
(Canwat,۲۰۲۴)	✓	✓	–	–	–	–	–	✓	✓	–	✓	–
(Queiroz et al,۲۰۲۴)	✓	–	–	✓	–	–	–	✓	–	✓	✓	–
Ajibola Dada, et) al,۲۰۲۴)	–	✓	–	–	–	✓	✓	–	✓	✓	–	–
Karmaker, Aziz,) ۲۰۲۳Palit, & Bari,)	✓	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ergun, Hopp, &) ۲۰۲۳Keskinocak,)	✓	–	–	–	✓	–	–	–	–	–	–	–
Li, Li, Liu, & Shou,) ۲۰۲۳)	✓	✓	–	✓	–	–	–	–	–	–	–	–
(Wu, ۲۰۲۳)	✓	–	–	–	–	✓	–	✓	✓	–	–	–
Wieland, Stevenson, (Melnyk, Davoudi, &) ۲۰۲۳ Schultz,	✓	–	✓	–	–	–	–	–	–	✓	✓	–
پژوهش حاضر	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

شایان ذکر است که جنبه جدید بودن پژوهش از منظر روش‌شناسی پژوهش بوده و همچنین بهره‌مندی از کاربرد مدل در بستر بحران و در نظر گرفتن صدمات اجتماعی به عنوان یکی از اهداف مدل ارائه شده و یک مدل برنامه ریزی آرمانی فازی در تحلیل داده‌ها از حیث قلمرو زمانی می‌باشد و از طرفی از منظر قلمرو مکانی و قلمرو موضوعی نیز به مبحث بهینه‌سازی شبکه تأمین تاب‌آور مراکز درمانی در شرایط بحران پژوهش حاضر می‌پردازد. از منظر متغیرها و ابعاد پژوهش نیز به استفاده از تجهیزات و فناوری؛ مدیریت ریسک و منابع مالی؛ مدیریت امنیت و مدیریت بحران در وقوع حوادثی مانند کرونا، نیز پرداخته است.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر نوع داده‌ها مدل سازی ریاضی برنامه‌ریزی آرمانی فازی، با رویکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت وزن دهی به اهداف است و به بررسی موضوع بهینه‌سازی شبکه تأمین تاب آور پرداخته است. مدل طراحی شده پس از بررسی توسط اساتید راهنما و مشاور و مشورت با ۲۰ نفر ازخبرگان، میزان تطابق با واقعیت، کدنویسی مدل تحت محیط نرم‌افزاری گمز ۲۴ صورت گرفته است. روش‌های حلی که در این مدل به کار گرفته شده است شامل روش تیواری جهت بی‌مقیاس‌سازی پارامترها و روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی است. برای مواجهه با ماهیت چند هدفه مسأله برنامه اصلی زنجیره تأمین تاب آور در وقوع بحران کرونا در شهر تهران از رویکرد

برنامه‌ریزی آرمانی فازی بهره گرفته شده است. بر این اساس برای هر هدف مسأله حد مطلوبی (آرمانی)، در نظر گرفته شده و سپس طبق اصول برنامه‌ریزی آرمانی فازی سعی در کمینه‌سازی انحرافات نامطلوب از حد مطلوب شده است. به منظور اجرای مدل در بحران پاندمی کرونا در شهر تهران و عملیات پزشکی تاب آور تنها به پنج روز یا ۱۲۰ ساعت پس از بحران در نظر گرفته شده است و برای چهار اقلام پزشکی اکتفا شده است.

تعریف مسأله پژوهش

مسأله مورد بررسی در این پژوهش، مدل‌سازی ریاضی (برنامه ریزی آرمانی فازی)، شبکه تأمین تاب‌آور در شرایط بحرانی پاندمی کرونا شهر تهران که با هدف این که هزینه‌های حمل و نقل و کمبود نگهداری اقلام؛ زمان توزیع وسایل پزشکی به مراکز درمانی، میزان صدمات اجتماعی به حداقل برسد با استفاده از مدل‌سازی ریاضی برنامه‌ریزی آرمانی فازی بهینه گردد. در مسأله پژوهش، تعداد تأمین‌کنندگان (Supp) (منظور تأمین‌کنندگانی که به تولید تجهیزات پزشکی بعد از وقوع بحران پاندمی کرونا می‌پردازند) (۱۰۰ تأمین‌کننده)، تعداد انبارهای مرکزی (CS) (۵۰ مرکز)؛ تعداد توزیع‌کنندگان (Dis) ۱۰۰ توزیع‌کننده؛ تعداد مناطق آسیب‌دیده از بحران کرونا (DA) (۲۲ منطقه) و تعداد مراکز درمانی (Sh) (۵۰ پناهگاه)؛ در نظر گرفته شده است. هدف این پژوهش، بهینه‌سازی عملکرد زنجیره تأمین تاب آور در بحران پاندمی کرونای احتمالی شهر تهران با اهداف کمینه‌سازی هزینه‌ها؛ کمینه‌سازی زمان توزیع تجهیزات پزشکی شامل: در دوران پاندمی کرونا، بیمارستان‌ها به طیف گسترده‌ای از تجهیزات پزشکی و اقلام مصرفی نیاز فوری پیدا کردند تا بتوانند به بیماران مبتلا به کووید-۱۹ رسیدگی کنند و از کارکنان مراقبت‌های بهداشتی محافظت نمایند. در ادامه چند نمونه از مهم‌ترین این تجهیزات و محصولات شرح داده شده است:

۱-تجهیزات حفاظت فردی

- ✓ ماسک **N95** یا معادل آن (برای فیلتر ذرات ویروس)
- ✓ ماسک جراحی (برای کارکنان و بیماران)
- ✓ شیلد صورت (برای محافظت از چشم و صورت)
- ✓ گان‌های پزشکی ضدآب (جهت جلوگیری از تماس با ترشحات)
- ✓ دستکش نیتریل یا لاتکس (برای ایمنی در معاینات و درمان)
- ✓ کلاه و کاور کفش یک‌بارمصرف

۲- تجهیزات پشتیبانی تنفسی

- ✓ ونتیلاتور (دستگاه تنفس مصنوعی)
- ✓ CPAPوBiPAP برای حمایت غیرتهاجمی تنفس
- ✓ کپسول اکسیژن و مانومتر
- ✓ ماسک اکسیژن با بگ(Reservoir Mask)
- ✓ نبولایزر (برای داروررسانی تنفسی)

۳- تجهیزات و ملزومات تشخیصی

- ✓ کیت‌های آزمایش PCR یا آنتی‌ژن کووید-۱۹
- ✓ دماسنج دیجیتال یا مادون قرمز (بدون تماس)
- ✓ پالس‌اکسیمتر (برای سنجش اکسیژن خون)

- ✓ کیت آزمایش آنتی‌بادی (برای غربالگری مصونیت)
- ✓ دستگاه آزمایش خون(CBC) ، CRPو(D-dimer)

۴- تجهیزات بستری و مراقبتی

- ✓ تخت‌های ICU با قابلیت تنظیم برقی
- ✓ پمپ تزریق (Infusion Pump) برای داروهای وریدی
- ✓ مانیتور علائم حیاتی(Vital Sign Monitor)
- ✓ سرنگ، سرم، ست تزریق و کانولای وریدی

۵- اقلام بهداشتی و ضدعفونی‌کننده

- ✓ محلول و ژل ضدعفونی دست (حاوی الکل)
- ✓ محلول‌های ضدعفونی سطوح (مانند هیپوکلریت سدیم)
- ✓ دستمال‌های الکلی و ضدعفونی‌کننده
- ✓ پاک‌کننده‌های محیط بیمارستانی (مانند UV یا بخار پراکسید هیدروژن)

این اقلام به مراکز همه گیری و کمینه کردن صدمات اجتماعی با درنظر گرفتن محدودیت‌های عملیاتی و مالی به شیوه مشترک و یکپارچه برای مسائل زیر است: برنامه تولید تأمین‌کنندگان: مقدار تولید اقلام و تجهیزات پزشکی به ازای هر محصول نهایی در هر دوره؛ برنامه توزیع: تعداد هر محصول نهایی که باید در هر دوره تحویل انبارهای مرکزی شود؛ برنامه‌ریزی اجتماعی: محاسبات نرخ تصادفات جاده‌ی در مراکز تأمین‌کنندگان و توزیع‌کنندگان و یا انتقال بیماران از مناطق ۲۲ گانه به بیمارستان‌های (امام خمینی (ره)، البرز و پارس تهران).

مفروضات مدل پژوهش

برخی از مفروضات مهم در نظر گرفته شده برای این مدل به شرح زیر است:

زمان نقش حیاتی در مدیریت بحران دارد. برنامه‌ریزی فاز بعد از بحران، با عرضه و تقاضا متغیر و وابسته به زمان مواجه است. در نتیجه، مدل ارائه شده به صورت پنج دوره‌ای و برای پنج روز یا ۱۲۰ ساعت پس از بحران در نظر گرفته شده است.

- ✓ باید به همه انبارهای مرکزی تأسیس شده، خدمت داده شود.
- ✓ تقاضای مراکز توزیع و انبارهای مرکزی در هر دوره فازی است.
- ✓ مدل ارائه شده ابعاد مالی و اجتماعی ساختار شبکه زنجیره تأمین تاب آور را، یکپارچه می‌نماید.
- ✓ تعداد و محل قرارگیری تأمین‌کنندکان، انبارهای مرکزی و توزیع‌کنندگان ثابت بوده و از قبل مشخص است.
- ✓ نوع ناوگان حمل و نقل موجود ناهمگن است، بنابراین ظرفیت خودروها یکسان نبوده و محدود هست.
- ✓ هر مسیر از یک مرکز تأمین‌کننده/ تولید تأسیس شده آغاز شده است.
- ✓ مسیریابی، از مرکز تأمین‌کنندگان به مراکز انبارهای مرکزی در نظر گرفته شده است.
- ✓ مقدار تقاضا برای اقلام امدادی در افق برنامه‌ریزی همراه با عدم قطعیت و وابسته به عوامل مختلف از قبیل شدت و آثار کرونا است. برای مدل‌سازی این متغیر غیرقطعی از یک مجموعه سناریوی گسسته استفاده شده است که احتمال وقوع هر سناریو نیز مشخص است.

- ✓ پارامترهای هزینه‌ای زنجیره‌ی تاب آور مانند هزینه‌های حمل ونقل، کمبود و نگهداری اقلام نیز در مدل کلی به صورت پارامتریک و وابسته به سناریو در نظر گرفته شده‌اند. که البته در مورد مطالعه استفاده شده، همه‌ی این پارامترها در طول افق برنامه‌ریزی ثابت فرض شده‌اند.
- ✓ مدل ارائه شده به صورت ۵ سطحی است و ارتباطات درونی بین هر سطح به غیر از مناطق ۲۲ گانه شهر تهران در نظر گرفته شده است.
- ✓ مدل ارائه شده به صورت چند کالایی است و برای هر کالای پزشکی، حجم مشخص و هزینه‌های تهیه، کمبود و نگهداری متفاوتی وجود دارد.
- ✓ علاوه بر هزینه‌ی نگهداری برای اقلام امدادی موجود در انبارها طی افق برنامه‌ریزی بعد از بحران، برای اقلام امدادی باقیمانده در مناطق ۲۲ گانه نیز هزینه‌ی نگهداری در نظر گرفته شده است؛ زیرا این اقلام مازاد حمل شده به یک نقطه‌ی آسیب‌دیده ممکن است موجب کمبود در سایر مناطق شوند.
- ✓ نقاط تقاضا (مناطق آسیب‌دیده) و مکان انبار مرکزی مشخص است. برای احداث انبارهای تأمین‌کنندگان نیز نقاط بالقوه‌ای تعیین شده‌اند.
- ✓ در مدل طراحی شده ارتباطات بین انبارهای مواد اولیه، تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و بیمارستان ها در نظر گرفته شده است.
- ✓ پس از وقوع بحران پاندمی کرونا امکان مبادله بین بیمارستان ها وجود دارد.
- ✓ در هر دوره زمانی، هر منطقه‌ی۲۲ گانه فقط از یک انبار مرکزی می‌تواند اقلام پرشکی را دریافت کند. یعنی حالت تک تخصیصی برای هر منطقه ۲۲ گانه خواهیم داشت.
- ✓ دوره‌های زمانی، یک روزه در نظر گرفته شده است. بنابراین، ارسال و دریافت کالا بین انبارهای مرکزی به علت فاصله‌ی کم آن‌ها، در همان دوره‌ی زمانی انجام می‌گیرد و زمان تحویل بین انبارهای مرکزی در نظر گرفته نشده است.

برای حمل و نقل اقلام پزشکی بین انبار مرکزی و توزیع‌کنندگان، انبارهای توزیع‌کنندگان با یکدیگر و بین انبارهای مرکزی و مناطق آسیب‌دیده، فقط حمل و نقل جاده‌ای امکان‌پذیر است و برای حمل و نقل امدادی بین انبار توزیع‌کنندگان و بیمارستان ها فقط حمل و نقل هوایی امکان‌پذیر است.

- ✓ اقلام امدادی به مناطق ۲۲ گانه از توزیع‌کنندگان ارسال می‌گردد؛ بنابراین، برای مناطق۲۲ گانه که در آن‌ها بیمارستان وجود دارد، بسته‌های پزشکی ارسال می‌شود. همچنین فرض شده است مناطقی که بیمارستان ندارند، مجروحان خود را با نرخی از پیش تعیین شده به بیمارستان‌های هم‌جوار می‌فرستند. بنابراین نیازهای مناطق بدون بیمارستان در مناطقی جمع شده است که بیمارستان دارند.

معرفی متغیرها و پارامترهای مدل‌سازی ریاضی

به طور کلی مورد مطالعه زنجیره تأمین تاب آور در بحران کرونا شهر تهران است که پژوهش حاضر به دنبال طراحی مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی به منظور بهبود تاب آوری زنجیره تأمین در بحران کرونا است.

اندیس‌ها و مجموعه‌های مدل:

Supp : مجموعه تعداد تأمین‌کنندگان/ تولید کنندگان

CS : مجموعه تعداد انبارهای مرکزی

Dis : مجموعه توزیع‌کنندگان

DA : مجموعه مراکز درمانی

F : مجموعه تجهیزات حفاظت فردی

B : مجموعه تجهیزات پشتیبانی تنفسی و ملزومات تشخیصی (**مت پت و مت**)

Mn : مجموعه تجهیزات بستری و مراقبتی

Hn : مجموعه اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده

h : مجموعه بیماران کرونایی در بیمارستان ها

n : مجموعه بیماران موجود در مناطق ۲۲ گانه

t : دوره زمانی

z : هزینه نگهداری اقلام پزشکی

c : ظرفیت

p : مجموعه اقلام پزشکی

i : گره های شروع $i \in \{Supp \cup CS \cup Dis \cup DA \cup Sh\}$

$\tilde{d}$: مجموعه تقاضای اقلام که به صورت فازی است

$\tilde{C}$: مجموعه هزینه‌ها که به صورت فازی است

P : قیمت فروش هر واحد از اقلام پزشکی

RAR : نرخ تصادفات جاده‌ای

T : حمل و نقل.

-پارامترهای مدل

پارامترهای هزینه

$\tilde{C}$ FSuppt: هزینه تهیه **تجهیزات حفاظت فردی** توسط تأمین‌کننده در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ BSuppt: هزینه تهیه (**مت پت و مت**) توسط تأمین‌کننده در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ MnSuppt: هزینه تهیه **تجهیزات بستری و مراقبتی** توسط تأمین‌کننده در هر واحد در دوره زمانی$\tilde{C}$ t HnSuppt: هزینه تهیه **اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده** توسط تأمین‌کننده در هر واحد در دوره زمانیt

$\tilde{C}$ FCSzt: هزینه نگهداری **تجهیزات حفاظت فردی** توسط انبارهای مرکزی در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ BCSzt: هزینه نگهداری (**مت پت و مت**) توسط انبارهای مرکزی در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ MnCSzt: هزینه نگهداری **تجهیزات بستری و مراقبتی** توسط انبارهای مرکزی در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ HnCSzt: هزینه نگهداری **اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده** توسط انبارهای مرکزی در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ FSuppCSTt: هزینه حمل **تجهیزات حفاظت فردی** توسط تأمین‌کننده به انبارهای مرکزی در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ BSuppCSTt: هزینه حمل (**مت پت و مت**) توسط تأمین‌کننده به انبارهای مرکزی در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ MnSuppCSTt: هزینه حمل **تجهیزات بستری و مراقبتی** تأمین‌کننده به انبارهای مرکزی در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ HnSuppCSTt: هزینه حمل **اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده** توسط تأمین‌کننده به انبارهای مرکزی در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ FCSDisTt: هزینه حمل **تجهیزات حفاظت فردی** توسط انبارهای مرکزی به توزیع کنندگان در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ BCSDisTt: هزینه حمل **(مت پت و مت)** توسط انبارهای مرکزی به توزیع کنندگان در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ MnCSDisTt: هزینه حمل **تجهیزات بستری و مراقبتی** توسط انبارهای مرکزی به توزیع کنندگان در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ HnCSDisTt: هزینه حمل **اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده** توسط انبارهای مرکزی به توزیع کنندگان در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ FDisShTt: هزینه حمل **تجهیزات حفاظت فردی** توسط توزیع کنندگان به مجموعه مراکز درمانی در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ BDisShTt: هزینه حمل **(مت پت و مت)** توسط توزیع کنندگان به مجموعه مراکز درمانی در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ MnDisDATt: هزینه حمل **تجهیزات بستری و مراقبتی** توسط توسط توزیع کنندگان به مناطق ۲۲ گانه در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ HnDisShTt: هزینه حمل **اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده** توسط توزیع کنندگان به مجموعه مراکز درمانی در هر واحد در دوره زمانی t

$\tilde{C}$ CSt: هزینه احداث انبار مرکزی

پارامترهای قیمت

PFSuppCSt : قیمت فروش هر واحد **تجهیزات حفاظت فردی** تولید شده از تأمین‌کننده به انبارهای مرکزی در دوره زمانی t

PBSuppCSt : قیمت فروش هر واحد **(مت پت و مت)** تولید شده از تأمین‌کننده به انبارهای مرکزی در دوره زمانی t

t PMnSuppCS : قیمت فروش هر واحد **تجهیزات بستری و مراقبتی** تولید شده از تأمین‌کننده به انبارهای مرکزی در دوره زمانی t

t PHnSuppCS : قیمت فروش هر واحد **اقلام بهداشتی و ضدعفونی** کننده تولید شده از تأمین‌کننده به انبارهای مرکزی در دوره زمانی t

پارامترهای اجتماعی

RAR pSuppCSt: نرخ تصادفات جاده‌ای ناشی ازحمل اقلام پزشکی از تأمین‌کننده به انبارهای مرکزی در دوره زمانی (t)

RAR pCSDist: نرخ تصادفات جاده‌ای ناشی ازحمل اقلام پزشکی از انبارهای مرکزی به توزیع کنندگان در دوره زمانی (t)

t RAR MnDisDA: نرخ تصادفات جاده‌ای ناشی ازحمل اقلام پزشکی از توزیع کنندگان به مناطق ۲۲ گانه در دوره زمانی (t)

RAR pDisSht: نرخ تصادفات جاده‌ای ناشی ازحمل اقلام پزشکی از توزیع کنندگان به مجموعه مراکز درمانی در دوره زمانی (t)

RAR nDASht: نرخ تصادفات جاده‌ای ناشی از حمل افراد کرونایی در مناطق بحران به مجموعه مراکز درمانی در دوره زمانی (t)

پارامترهای ظرفیت

Fct: ظرفیت تولید تجهیزات حفاظت فردی در دوره زمانی t

Bct: ظرفیت تولید مجموعه تجهیزات پشتیبانی تنفسی و ملزومات تشخیصی (مت پت و مت) در دوره زمانی t

Mnct: ظرفیت تولید تجهیزات بستری و مراقبتی در دوره زمانی t

Hnct: ظرفیت تولید اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده در دوره زمانی t

T Fct: ظرفیت حمل و نقل تجهیزات حفاظت فردی در دوره زمانی t

T Bct: ظرفیت حمل و نقل (مت پت و مت) در دوره زمانی t

T Mnct: ظرفیت حمل و نقل تجهیزات بستری و مراقبتی در دوره زمانی t

T Hnct: ظرفیت حمل و نقل اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده در دوره زمانی t

Suppct: ظرفیت تأمین کنندگان در دوره زمانی t

CSct: ظرفیت انبارهای مرکزی در دوره زمانی t

Disct: ظرفیت توزیع کنندگان در دوره زمانی t

Shct: ظرفیت مجموعه مراکز درمانی در دوره زمانی t

پارامترهای تقاضا

$F\tilde{d}t$: مقدار تقاضای تجهیزات حفاظت فردی در دوره زمانی t

$B\tilde{d}t$: مقدار تقاضای (مت پت و مت) در دوره زمانی t

$Mn\tilde{d}t$: مقدار تقاضای تجهیزات بستری و مراقبتی در دوره زمانی t

$Hn\tilde{d}t$: مقدار تقاضای اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده در دوره زمانی t

پارامترهای سطوح مورد انتظار و تلرانس‌های پایین و بالا برای آرمان‌ها

AL1: سطح مورد انتظار برای مینیمم کردن هزینه‌های حمل و نقل و کمبود نگهداری اقلام

AL2: سطح مورد انتظار برای مینیمم کردن زمان توزیع اقلام پزشکی به مناطق بحرانی و بیمارستان ها

AL3: سطح مورد انتظار برای مینیمم کردن هزینه‌های صدمات اجتماعی

ε_1: حد تلرانس بالا برای ماکسیمم شدن هزینه‌های حمل و نقل و کمبود نگهداری اقلام پزشکی

ε_2: حد تلرانس بالا برای ماکسیمم شدن زمان توزیع اقلام پزشکی به مناطق بحرانی و بیمارستان ها

ε_3: حد تلرانس بالا برای ماکسیمم شدن هزینه‌های صدمات اجتماعی

-متغیرهای تصمیم

XFSuppCSt: تعداد تجهیزات حفاظت فردی انتقالی از تأمین‌کنندگان به انبارهای مرکزی به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XFCSDist: تعداد تجهیزات حفاظت فردی انتقالی از انبارهای مرکزی به توزیع کنندگان به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XFDisSht: تعداد تجهیزات حفاظت فردی انتقالی از توزیع کنندگان به مجموعه مراکز درمانی به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XBSuppCSt : تعداد (مت پت و مت) انتقالی از تأمین‌کنندگان به انبارهای مرکزی به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XBCSDist: تعداد (مت پت و مت) انتقالی از انبارهای مرکزی به توزیع کنندگان به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XBDisSht: تعداد (مت پت و مت) انتقالی از توزیع کنندگان به مجموعه مراکز درمانی به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XMnSuppCSt: تعداد اقلام تجهیزات بستری و مراقبتی انتقالی از تأمین‌کنندگان به انبارهای مرکزی به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XMnCSDist: تعداد اقلام تجهیزات بستری و مراقبتی انتقالی از انبارهای مرکزی به توزیع کنندگان به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XMnDisDAt: تعداد اقلام تجهیزات بستری و مراقبتی از توزیع کنندگان به مناطق بحرانی به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XMnDisSht: تعداد اقلام تجهیزات بستری و مراقبتی از توزیع کنندگان به مجموعه مراکز درمانی به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XHnSuppCSt: تعداد اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده انتقالی از تأمین‌کنندگان به انبارهای مرکزی به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XHnCSDist: تعداد اقلام اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده انتقالی از انبارهای مرکزی به توزیع کنندگان به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XHnDisSht: تعداد اقلام اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده انتقالی از توزیع کنندگان به مجموعه مراکز درمانی به ازای هر واحد در دوره زمانی t

XFCSzt: نگهداری از تجهیزات حفاظت فردی در انبارهای مرکزی در دوره زمانیt

XBCSzt: نگهداری از (مت پت و مت) در انبارهای مرکزی در دوره زمانیt

XMnCSzt: نگهداری از تجهیزات بستری و مراقبتی در انبارهای مرکزی در دوره زمانیt

XHnCSzt: نگهداری از اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده در انبارهای مرکزی در دوره زمانیt

XCSt: احداث انبارهای مرکزی در دوره زمانیt (نوع متغیر باینری است یعنی یا مرکز ساخته می‌شود یا نمی‌شود)

XDist: احداث مراکز توزیع در دوره زمانیt (نوع متغیر باینری است)

XSht: احداث مجموعه مراکز درمانی در دوره زمانیt (نوع متغیر باینری است)

مدل‌سازی زنجیره تأمین تاب آور در پاندمی کرونای شهر تهران با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی

توابع هدف

برای مواجهه با ماهیت چند هدفه مسأله برنامه اصلی زنجیره تأمین تاب آور در وقوع بحران کرونا در شهر تهران از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی بهره گرفته شده است. بر این اساس برای هر هدف مسأله حد مطلوبی (آرمانی)، در نظر گرفته شده و سپس طبق اصول برنامه‌ریزی آرمانی فازی سعی در کمینه‌سازی انحرافات نامطلوب از حد مطلوب شده است. در تابع هدف طراحی شده، با توجه به اهمیت هرکدام از اهداف، به متغیرهای انحراف از آرمان (d)، یک وزن خاص و متناسب با میزان اهمیت آن‌ها با نظر سنجی از خبرگان و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تعلق گرفته است. سه تابع هدف مهم برای مسأله مدل‌سازی مسأله زنجیره تأمین تاب آور در وقوع پاندمی کرونا در شهر تهران، در نظر گرفته شده است.

تابع هدف مسأله:

$$\text{Min } Z=\sum_{t=1}^{T} w_1 d_1^+ + w_2 d_2^+ + w_3 d_3^+$$

آرمان اول: مینیمم کردن هزینه‌ها در سراسر زنجیره تأمین

آرمان اول (معادله ۱)، مربوط به هزینه‌های زنجیره تأمین تاب آور در سراسر زنجیره تأمین لجستیک پزشکی است. در این آرمان حداقل‌سازی هزینه‌های تأمین در هر سطح و هزینه انتقال در سطح بعدی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، بخش‌های گوناگون این آرمان را که به ترتیب ارائه داده می‌شود عبارتند از:

- ✓ هزینه بهای تمام شده خرید اقلام پزشکی از تأمین کنندگان
- ✓ هزینه احداث انبارهای مرکزی
- ✓ هزینه حمل و نقل اقلام پزشکی
- ✓ هزینه احداث مراکز توزیع
- ✓ هزینه احداث مراکز درمانی
- ✓ هزینه نگهداری اقلام پزشکی

G_1= حداقل سازی هزینه‌ها (معادله ۱):

$$G_1 = \left(\sum_{F}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{t} XFSuppCS_t \times \tilde{C}FSupp_t\right) + \left(\sum_{B}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{t} XBSuppCS_t \times \tilde{C}BSupp_t\right)$$
$$+ \left(\sum_{Mn}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{t} XMnSuppCS_t \times \tilde{C}MnSupp_t\right)$$
$$+ \left(\sum_{Hn}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{t} XHnSuppCS_t \times \tilde{C}HnSupp_t\right) + \left(\sum_{F}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{t} XFCSDis_t \times \tilde{C}FCS_t\right)$$
$$+ \left(\sum_{F}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{t} XFDisSh_t \times \tilde{C}FDis_t\right) +$$
$$+ \left(\sum_{B}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{t} XBCSDis_t \times \tilde{C}BCS_t\right) + \left(\sum_{B}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{t} XBDisSh_t \times \tilde{C}BDis_t\right)$$
$$+ \left(\sum_{Mn}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{t} XMnCSDis_t \times \tilde{C}MnCS_t\right) +$$
$$+ \left(\sum_{Mn}\sum_{Dis}\sum_{DA}\sum_{t} XMnDisDA_t \times \tilde{C}MnDis_t\right) + \left(\sum_{Mn}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{t} XMnDisSh_t \times \tilde{C}MnDis_t\right)$$
$$+ \left(\sum_{Hn}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{t} XHnCSDis_t \times \tilde{C}HnCS_t\right) +$$
$$+ \left(\sum_{Hn}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{t} XHnDisSh_t \times \tilde{C}HnDis_t\right)$$

$$+\left(\sum_{F}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{t} XFCSz_t \times \tilde{C}FCSz_t\right)+\left(\sum_{B}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{t} XBCSz_t \times \tilde{C}BCSz_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{t} XMnCSz_t \times \tilde{C}MnCSz_t\right)+\left(\sum_{Hn}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{t} XHnCSz_t \times \tilde{C}HnCSz_t\right)$$
$$+\left(\sum_{CS}\sum_{t} XCS_t \times \tilde{C}CS_t\right)+\left(\sum_{Dis}\sum_{t} XDis_t \times \tilde{C}Dis_t\right)+\left(\sum_{Sh}\sum_{t} XSh_t \times \tilde{C}Sh_t\right)+$$
$$+\left(\sum_{F}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{T}\sum_{t} XFSuppCS_t \times \tilde{C}FSuppCST_t\right)$$
$$+\left(\sum_{B}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{T}\sum_{t} XBSuppCS_t \times \tilde{C}BSuppCST_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{T}\sum_{t} XMnSuppCS_t \times \tilde{C}MnSuppCST_t\right)+$$
$$+\left(\sum_{Hn}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{T}\sum_{t} XHnSuppCS_t \times \tilde{C}HnSuppCST_t\right)$$
$$+\left(\sum_{F}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{T}\sum_{t} XFCSDis_t \times \tilde{C}FCSDisT_t\right)$$
$$+\left(\sum_{B}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{T}\sum_{t} XBCSDis_t \times \tilde{C}BCSDisT_t\right)+$$
$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{T}\sum_{t} XMnCSDis_t \times \tilde{C}MnCSDisT_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Hn}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{T}\sum_{t} XHnCSDis_t \times \tilde{C}HnCSDisT_t\right)$$
$$+\left(\sum_{F}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{T}\sum_{t} XFDisSh_t \times \tilde{C}FDisShT_t\right)+$$
$$+\left(\sum_{B}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{T}\sum_{t} XBDisSh_t \times \tilde{C}BDisShT_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{T}\sum_{t} XMnDisSh_t \times \tilde{C}MnDisShT_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Hn}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{T}\sum_{t} XHnDisSh_t \times \tilde{C}HnDisShT_t\right)+$$

$$+\left(\sum_{F}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{t} XFSuppCS_t \times PFSuppCS_t\right)+\left(\sum_{B}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{t} XBSuppCS_t \times PBSuppCS_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{t} XMnSuppCS_t \times PMnSuppCS_t\right)+$$
$$+\left(\sum_{Hn}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{t} XHnSuppCS_t \times PHnSuppCS_t\right)+d_1^- - d_1^+ = AL_1$$

آرمان دوم: مینیمم کردن زمان توزیع اقلام پزشکی به مراکز درمانی (بیمارستان‌ها)

آرمان دوم (معادله۲)، مربوط به حداقل سازی زمان توزیع اقلام پزشکی در سراسر زنجیره تأمین است. این آرمان از پارامترهای ظرفیت و مقدار تقاضا برای هر اقلام در ساخت مدل استفاده نموده است. بخش‌های گوناگون این آرمان را که به ترتیب ارائه داده می‌شود عبارتند از:

- ✓ ظرفیت تولید اقلام مختلف
- ✓ ظرفیت حمل و نقل اقلام مختلف
- ✓ ظرفیت‌های تأمین کنندگان، انبارهای مرکزی، توزیع کنندگان و مراکز درمانی
- ✓ مقدار تقاضا در دوره های زمانی مختلف

که در نهایت با بهینه شدن موارد مذکور می‌توان زمان توزیع اقلام پزشکی را کاهش داد.

G_2= مینیمم کردن زمان توزیع اقلام پزشکی به مراکز بحرانی و بیمارستان ها(معادله۲):

$$G_2 = \left(\sum_{F}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{t} XFCSz_t \times Fc_t\right)+\left(\sum_{B}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{t} XBCSz_t \times Bc_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{t} XMnCSz_t \times Mnc_t\right)+\left(\sum_{Hn}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{t} XHnCSz_t \times Hnc_t\right)$$
$$+\left(\sum_{F}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{T}\sum_{t} XFCSz_t \times TFc_t\right)+\left(\sum_{B}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{T}\sum_{t} XBCSz_t \times TBc_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{T}\sum_{t} XMnCSz_t \times TMnc_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Hn}\sum_{CS}\sum_{z}\sum_{T}\sum_{t} XHnCSz_t \times THnc_t\right)$$

$$+\left(\sum_{F}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{t} XFSuppCS_t \times Suppc_t\right)+\left(\sum_{F}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{c}\sum_{t} XFCSDis_t \times CSc_t\right)$$

$$+\left(\sum_{F}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{c}\sum_{t} XFDisSh_t \times Disc_t\right)+\left(\sum_{F}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{t} XFDisSh_t \times Shc_t\right)$$

$$++\left(\sum_{B}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{t} XBSuppCS_t \times Suppc_t\right)+\left(\sum_{B}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{c}\sum_{t} XBCSDis_t \times CSc_t\right)$$

$$+\left(\sum_{B}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{c}\sum_{t} XBDisSh_t \times Disc_t\right)$$

$$+\left(\sum_{B}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{t} XBDisSh_t \times Shc_t\right)$$

$$++\left(\sum_{Mn}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{t} XMnSuppCS_t \times Suppc_t\right)+\left(\sum_{Mn}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{c}\sum_{t} XMnCSDis_t \times CSc_t\right)$$

$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{c}\sum_{t} XMnDisSh_t \times Disc_t\right)$$

$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{t} XMnDisSh_t \times Shc_t\right)$$

$$++\left(\sum_{Hn}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{t} XHnSuppCS_t \times Suppc_t\right)+\left(\sum_{Hn}\sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{c}\sum_{t} XHnCSDis_t \times CSc_t\right)$$

$$+\left(\sum_{Hn}\sum_{Dis}\sum_{Sh}\sum_{c}\sum_{t} XHnDisSh_t \times Disc_t\right)$$

$$+\left(\sum_{Hn}\sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{t} XHnDisSh_t \times Shc_t\right)$$

$$+\left(\sum_{F}\sum_{Supp}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Suppc_t \times F\tilde{d}_t\right)+\left(\sum_{B}\sum_{Supp}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Suppc_t \times B\tilde{d}_t\right)$$

$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{Supp}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Suppc_t \times Mn\tilde{d}_t\right)+\left(\sum_{Hn}\sum_{Supp}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Suppc_t \times F\tilde{d}_t\right)$$

$$+\left(\sum_{F}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} CSc_t \times F\tilde{d}_t\right)+\left(\sum_{B}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} CSc_t \times B\tilde{d}_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} CSc_t \times Mn\tilde{d}_t\right)+\left(\sum_{Hn}\sum_{CS}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} CSc_t \times Hn\tilde{d}_t\right)$$
$$+\left(\sum_{F}\sum_{Dis}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Disc_t \times F\tilde{d}_t\right)+\left(\sum_{B}\sum_{Dis}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Disc_t \times B\tilde{d}_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{Dis}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Disc_t \times Mn\tilde{d}_t\right)+\left(\sum_{Hn}\sum_{Dis}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Disc_t \times Hn\tilde{d}_t\right)$$
$$+\left(\sum_{F}\sum_{Sh}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Shc_t \times F\tilde{d}_t\right)+\left(\sum_{B}\sum_{Sh}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Shc_t \times B\tilde{d}_t\right)$$
$$+\left(\sum_{Mn}\sum_{Sh}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Shc_t \times Mn\tilde{d}_t\right)+\left(\sum_{Hn}\sum_{Sh}\sum_{c}\sum_{\tilde{d}}\sum_{t} Shc_t \times Hn\tilde{d}_t\right)+d_2^- - d_2^+$$
$$= AL_2$$

آرمان سوم: مینیمم کردن مجموع صدمات اجتماعی

آرمان سوم (معادله ۴-۳)، مربوط به هزینه های اجتماعی در سراسر زنجیره تأمین است. این آرمان با هدف حداقل سازی میزان صدمات اجتماعی در تمامی سطوح زنجیره تأمین شامل:

- ✓ نرخ تصافات جاده‌ای ناشی از حمل اقلام و تجهیزات پزشکی از انبارهای مرکزی به توزیع کنندگان
- ✓ نرخ تصافات جاده ای ناشی از توزیع اقلام و تجهیزات پزشکی به مناطق بحران زده
- ✓ نرخ تصادفات ناشی از انتقال افراد حادثه دیده از مناطق بحران زده به بیمارستان ها

G_3= حداقل سازی هزینه های اجتماعی ناشی از تصادفات جاده ای در سراسر شبکه تأمین

آرمان سوم: مینیمم کردن مجموعه صدمات اجتماعی در سراسر زنجیره تأمین

-محدودیت ها

محدودیت های تعداد اقلام پزشکی، محدودیت انتقال اقلام به افراد کرونایی و حمل و نقل اقلام

نامعادلات (۱) تا (۱۳)، محدودیت میزان تولید/ تقاضا به ازای هر ۴ اقلام پزشکی را نشان می‌دهند.

$$(\sum_{Supp}\sum_{CS} XFSuppCS_t + \sum_{CS}\sum_{Dis} XFCSDis_t + \sum_{Dis}\sum_{Sh} XFDisSh_t) \geq F\tilde{d}_t \quad \forall F,t \quad (۱)$$

محدودیت میزان تقاضای تجهیزات حفاظت فردی

$$(\sum_{Supp}\sum_{CS} \boldsymbol{XBSuppCS_t} + \sum_{CS}\sum_{Dis} \boldsymbol{XBCSDis_t} + \sum_{Dis}\sum_{Sh} \boldsymbol{XBDisSh_t}) \geq \boldsymbol{B\tilde{d}_t} \quad \forall \boldsymbol{B,t} \quad (۲)$$

محدودیت میزان تقاضای (مت پت و مت(

$$(\sum_{Supp}\sum_{CS} XMnSuppCS_t + \sum_{CS}\sum_{Dis} XMnCSDis_t + \sum_{Dis}\sum_{Sh} XMnDisSh_t) \geq$$

$\forall Mn,t \quad Mn\tilde{d}_t$ محدودیت میزان تقاضای اقلام بستری و مراقبتی (۳)

$$(\sum_{Supp}\sum_{CS} XHnSuppCS_t + \sum_{CS}\sum_{Dis} XHnCSDis_t + \sum_{Dis}\sum_{Sh} XHnDisSh_t) \geq$$

$\forall Hn,t \quad Hn\tilde{d}_t$ محدودیت میزان تقاضای اقلام اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده (۴)

$$\forall t \quad \sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{Dis} XFSuppCSDis_t \geq n\tilde{d}F_t \quad (۵)$$

$$\forall t \sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{Dis} XBSuppCSDis_t \geq n\tilde{d}B_t \quad (۶)$$

$$\forall t \sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{Dis} XMnSuppCSDis_t \geq n\tilde{d}Mn_t \quad (۷)$$

$$\forall t \sum_{Supp}\sum_{CS}\sum_{Dis} XHnSuppCSDis_t \geq n\tilde{d}Hn_t \quad (۸)$$

$$\forall t \quad \sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{Sh} XFCSDisSh_t \geq n\tilde{d}F_t \quad (۹)$$

$$\forall t \quad \sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{Sh} XBCSDisSh_t \geq n\tilde{d}B_t \quad (۱۰)$$

$$\forall t \quad \sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{DA} XMnCSDisDA_t \geq n\tilde{d}Mn_t \quad (۱۱)$$

$$\forall t \quad \sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{Sh} XMnCSDisSh_t \geq n\tilde{d}Mn_t \quad (۱۲)$$

$$\forall t \sum_{CS}\sum_{Dis}\sum_{Sh} XHnCSDisSh_t \geq n\tilde{d}Hn_t \quad (۱۳)$$

محدودیت های ظرفیت اقلام و حمل و نقل در شبکه تأمین

نامعادلات (۱۴) تا (۱۷)، میزان محدودیت ظرفیت اقلام و حمل و نقل در شبکه تأمین تاب آور پژوهش حاضر نشان می‌دهد.

$$\forall \boldsymbol{t} \sum_{\boldsymbol{Supp}}\sum_{\boldsymbol{CS}}\sum_{\boldsymbol{Dis}}\sum_{\boldsymbol{Sh}}\sum_{\boldsymbol{d}} \boldsymbol{XFSuppCSDisSh_t} \geq \boldsymbol{T\tilde{d}F_t}$$

(۱۴)

$$\forall \boldsymbol{t} \quad \sum_{\boldsymbol{Supp}}\sum_{\boldsymbol{CS}}\sum_{\boldsymbol{Dis}}\sum_{\boldsymbol{Sh}}\sum_{\boldsymbol{d}} \boldsymbol{XBSuppCSDisSh_t} \geq \boldsymbol{T\tilde{d}B_t} \quad (۱۵)$$

$$\forall \boldsymbol{t} \sum_{\boldsymbol{Supp}}\sum_{\boldsymbol{CS}}\sum_{\boldsymbol{Dis}}\sum_{\boldsymbol{Sh}}\sum_{\boldsymbol{d}} \boldsymbol{XMnSuppCSDisSh_t} \geq \boldsymbol{T\tilde{d}Mn_t} \quad (۱۶)$$

$$\forall \boldsymbol{t} \sum_{\boldsymbol{Supp}}\sum_{\boldsymbol{CS}}\sum_{\boldsymbol{Dis}}\sum_{\boldsymbol{Sh}}\sum_{\boldsymbol{d}} \boldsymbol{XHnSuppCSDisSh_t} \geq \boldsymbol{T\tilde{d}Hn_t} \quad (۱۷)$$

محدودیت ظرفیت تأمین کنندگان (۱۸)

$$(\sum_{F}\sum_{Supp}\sum_{CS} XFSuppCS_t + \sum_{B}\sum_{Supp}\sum_{CS} XBSuppCS_t + \sum_{Mn}\sum_{Supp}\sum_{CS} XMnSuppCS_t +$$
$$\forall Supp,t \quad \sum_{Hn}\sum_{Supp}\sum_{CS} XHnSuppCS_t) \leq Suppc_t$$

محدودیت ظرفیت انبارهای مرکزی (۱۹)

$$(\sum_F \sum_{CS} \sum_{Dis} XFCSDis_t + \sum_B \sum_{CS} \sum_{Dis} XBCSDis_t + \sum_{Mn} \sum_{CS} \sum_{Dis} XMnCSDis_t + \sum_{Hn} \sum_{CS} \sum_{Dis} XHnCSDis_t) \leq CSc_t \quad \forall CS, t$$

محدودیت ظرفیت توزیع کنندگان (۲۰)

$$(\sum_F \sum_{Dis} \sum_{Sh} XFDisSh_t + \sum_B \sum_{Dis} \sum_{Sh} XBDisSh_t + \sum_{Mn} \sum_{Dis} \sum_{Sh} XMnDisSh_t + \sum_{Hn} \sum_{Dis} \sum_{Sh} XHnDisSh_t) \leq Disc_t \quad \forall Dis, t$$

محدودیت ظرفیت مجموعه مراکز درمانی (۲۱)

$$\sum_n \sum_{DA} \sum_{Sh} XnDASh_t \leq Sh_t \quad \forall Sh, t$$

محدودیت ذخیره سازی تجهیزات حفاظت فردی در انبارهای مرکزی (۲۲)

$$\sum_F \sum_{Supp} XFSupp_t \leq CSc_t$$

محدودیت ذخیره سازی (مت پت و مت) در انبارهای مرکزی (۲۳)

$$\sum_B \sum_{Supp} XBSupp_t \leq CSc_t$$

محدودیت ذخیره سازی اقلام بستری و مراقبتی در انبارهای مرکزی (۲۴)

$$\sum_{Mn} \sum_{Supp} XMnSupp_t \leq CSc_t$$

محدودیت ذخیره سازی اقلام اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده در انبارهای مرکزی (۲۵)

$$\sum_{Hn} \sum_{Supp} XHnSupp_t \leq CSc_t$$

جهت ایجاد توازن در مدل محدودیت‌های (۲۶) تا (۲۹) نیز تعریف شده‌اند. خروجی انبارهای مرکزی باید کمتر مساوی ورودی آن ها باشد

$$\sum_{Supp} \boldsymbol{XFSupp_t} + \sum_{CS} \boldsymbol{XFCS_t} \leq \sum_{CS} \boldsymbol{XFSuppCS_t} \quad \forall \boldsymbol{F, CS, t}$$

$$\sum_{\boldsymbol{Supp}} \boldsymbol{XBSupp_t} + \sum_{\boldsymbol{CS}} \boldsymbol{XBCS_t} \leq \sum_{\boldsymbol{CS}} \boldsymbol{XBSuppCS_t} \quad \forall \boldsymbol{F, CS, t}$$

$$\sum_{\boldsymbol{Supp}} \boldsymbol{XMnSupp_t} + \sum_{\boldsymbol{CS}} \boldsymbol{XMnCS_t} \leq \sum_{\boldsymbol{CS}} \boldsymbol{XMnSuppCS_t} \quad \forall \boldsymbol{F, CS, t}$$

(۲۶) تا (۲۹) $\sum_{Supp} \boldsymbol{XHnSupp_t} + \sum_{CS} \boldsymbol{XHnCS_t} \leq \sum_{CS} \boldsymbol{XHnSuppCS_t} \quad \forall \boldsymbol{F, CS, t}$

خروجی توزیع کنندگان باید کمتر مساوی ورودی آن ها باشد (نامعادلات ۳۰ تا ۳۳)

$$\sum_{CS} XFCSDis_t \leq \sum_{Dis} XFDis_t \quad \forall F, Dis, t$$

$$\sum_{CS} XBCSDis_t \leq \sum_{Dis} XBDis_t \quad \forall B, Dis, t$$

$$\sum_{CS} XMnCSDis_t \leq \sum_{Dis} XMnDis_t \quad \forall Mn, Dis, t$$

$$\sum_{CS} XHnCSDis_t \leq \sum_{Dis} XHnDis_t \quad \forall Hn, Dis, t \qquad (۳۰) \text{ تا } (۳۳)$$

غیر منفی بودن متغیرها

X_{ij} ها و t بزرگتر مساوی صفر. و μ_i برابر یا کمتر از ۱ و یا برابر یا بیشتر از صفر باشد

$$X_{ij}, t \geq 0$$

تابع هدف با استفاده از روش تیواری (جهت حل مدل فازی و هم بی وزن‌سازی پارامترها) حل می گردد. در مقاله حاضر توابع هدف و محدودیت‌های تقاضا به ازای هر اقلام فازی در نظر گرفته شده‌اند. مدل آرمانی فازی به روش میانگین اعداد فازی مثلثی دی فازی (قطعی‌سازی) شدند؛ سپس از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به ازای هر آرمان، میزان اهمیت هریک با نظر خبرگان وزن‌دهی و اولویت بندی گردید و به عنوان ضریب وزنی در مدل آرمانی در نظر گرفته شد. در روش تیواری که جهت بی‌وزن‌سازی پارامترها استفاده شده است، مقدار حد پایین (ε) و حد بالا (AL)، با توجه به حل آرمان‌ها به طور جداگانه و به دست آوردن مقادیر بهینه به ازای هر آرمان محاسبه شده است جنس آرمان‌ها در مقاله حاضر به عبارتی آرمان اول، دوم و سوم از جنس هزینه، می‌باشد. جدول (۳)، اوزان به دست‌آمده به ازای هر آرمان با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را نشان می‌دهد.

جدول ۳

اوزان هر آرمان با روش ***AHP***

آرمان	اول	دوم	سوم	مجموع اوزان
اوزان	٪۳۵	٪ ۴۵	٪۲۰	٪۱۰۰

یافته های پژوهش

مدل طراحی شده پس از بررسی توسط اساتید راهنما و مشاور و مشورت با خبرگان از نظر میزان تطابق با واقعیت، کدنویسی مدل تحت محیط نرم‌افزاری گمز ۲۴ صورت گرفته است. روش‌های حلی که در این مدل به کار گرفته شده است. روش تیواری جهت بی‌مقیاس‌سازی پارامترها و روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی است. به دلیل این که در محیط نرم‌افزاری مقادیر فازی را نمی توان تعریف نمود آن متغیرهایی که فازی در نظر گرفته شده بودند مانند میزان هزینه و تقاضای هر اقلام پزشکی با روش میانگین دیفازی شده و میانگین آن‌ها گرفته شده است. برای نمایش مدل ارائه شده و روش حل به کار رفته، در این بخش یک مسأله نمونه حل می‌شود. ابعاد مسأله نمونه استفاده شده در جدول (۳)، ارائه شده است. پارامترهای استفاده شده در مسأله نمونه با استفاده از توزیع یکنواخت و به طور تصادفی تولید شده‌اند. لازم به ذکر است که در مطالعه حاضر، تولید پارامتر تصادفی در درجه اول برای نشان دادن کاربردپذیری و عملکرد مدل پیشنهادی و رویکرد راه‌حل استفاده

شد، نه برای ارائه تصمیمات عملیاتی مستقیم، بنابراین، این مدل امکان‌سنجی روش‌شناختی را نشان می‌دهد، در حالی که اجرای عملی آن نیاز به کالیبراسیون تجربی و اعتبارسنجی تخصصی دارد که به عنوان مسیرهایی برای تحقیقات آینده در نظر گرفته شده است.

مدل‌سازی مسأله تعداد زیادی پارامتر را شامل می‌گردد؛ در نتیجه بعضی از پارامترهای مهم مانند پارامترهای هزینه، تقاضا و قیمت برای ۵ دوره در جدول (۴)، ارائه شده است. لازم به ذکر است که هر دوره برنامه‌ریزی (t) به صورت پنج روز یا ۱۲۰ ساعت پس از بحران در نظر گرفته شده است.

جدول۴

ابعاد مسأله نمونه (منبع پژوهشگر)

	تعداد اقلام	تعداد کنندگان	تأمین	تعداد مرکزی	انبارهای	تعداد توزیع‌کنندگان	مناطق بررسی	مورد	مراکز درمانی	تعداد دوره
مسأله نمونه	۴	۱۰۰		۵۰		۱۰۰	۲۲		۳	۵

در پژوهش حاضر مقـادیر ایـده آل هیچ یک از آرمان‌ها از قبل تعیین نشده است. لذا به منظور بدست آوردن مقـدار ایده آل آرمان‌ها، هریک از سه آرمان رساله در قالب یک مدل مسـتقل بـا در نظر گرفتن سایر محدودیت های مدل حل شـده و جـواب حاصـل بـه عنـوان مقـدار ایده آل آن آرمان در نظر گرفته شده است. جدول (۵)، تمام مقادیر آرمانی به ازای هر آرمان ناشی از حل مدل‌های آرمانی را نشان می‌دهد.

جدول ۵

مقدار ایده آل آرمان ها به صورت مستقل

مقدار ایده آل آرمان۳	مقدار ایده آل آرمان۲	مقدار ایده آل آرمان۱
۹۶۷	۶۵۸	۲۰۰۰۰

جدول (۶)، میزان تولید بهینه از هریک از اقلام پزشکی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است میزات تولید برای یکسال در نظر گرفته شده است. هر دوره سه ماه را شامل می‌گردد.

جدول ۶

میزان تولید بهینه اقلام پزشکی

دوره زمانی حداقل میزان تولید	دوره۱	دوره۲	دوره۳	دوره۴
تجهیزات حفاظت فردی	۶۰۰۰	۶۵۰۰	۶۷۸۹	۷۸۶۵
تجهیزات پشتیبانی تنفسی و ملزومات شخصی	۵۵۰۰	۷۲۰۰	۷۹۶۵	۸۶۳۱
تجهیزات بستری و مراقبتی	۶۴۳۲	۸۵۰۰	۸۷۹۸	۹۳۶۵
اقلام بهداشتی و ضدعفونی کننده	۴۵۶۷	۵۱۴۰	۶۳۲۱	۷۸۹۰

جدول (۷)، نتایج حاصل از حل مدل آرمانی فازی را به ازای هر آرمان نشان می‌دهد.

جدول ۷

نتایج حاصل از حل مدل آرمانی فازی

مقدار تابع هدف صدمات اجتماعی $\min(z3)$	مقدار تابع هدف زمان توزیع اقلام پزشکی$\max(z2)$	مقدار تابع هدف هزینه ها$\min(z1)$
۸۷۶	۶۵۴	۱۳۴۵۶

در جدول (۷)، مقادیر سه تابع هدف حداقل کردن هزینه کل، حداقل کردن زمان توزیع اقلام پزشکی و حداقل کردن صدمات اجتماعی به ازای مقادیر مختلف درجه برقراری محدودیت نشان داده شده است. این مقادیر با استفاده از روش تیواری و برنامه ریزی آرمانی فازی در نرم افزار GAMS بدست آمده‌اند. همان طور که از نتایج نمایش داده شده در جدول (۷)، بر می آید، تابع هدف هزینه ها با توابع هدف زمان توزیع و کاهش صدمات اجتماعی با یکدیگر در تضاد هستند. به این معنا که حرکت هر یک به سمت مطلوب (ارضا بیش تر تابع هدف هزینه‌ها) مستلزم حرکت دو تابع هدف دیگر به سمت نامطلوب (ارضا کم تر) خواهد بود. به منظور اجرای مدل در بحران پاندمی کرونا در شهر تهران و عملیات پزشکی تاب آور تنها به پنج روز یا ۱۲۰ ساعت پس از بحران در نظر گرفته شده است و برای چهار اقلام پزشکی اکتفا شده است. درنهایت میزان انحراف از هریک از آرمان های مدل در جدول (۸)، ارائه شده است. چنانکه مشاهده می شود نتایج حل مدل بیانگر آن است که هیچ یک از آرمان های مدل به حد آرمانی خود نرسیده و انحرافات در آرمان‌ها همچنان باقی است، در مورد سایرآرمان های مدل نیز در مجموع انحرافات باقی مانده و مدل در یک حالت تعادلی بین آرمان‌ها به مقدار بهینه خود رسیده است.

جدول ۸

مقدار انحراف از آرمان های مدل

مقدار انحراف از آرمان	مقدار حل شده	مقادیر آرمانی	درجه اهمیت	نوع آرمان
۶۵۴۴	۱۳۴۵۶	۲۰۰۰۰	۰/۳۵	d_1^+
۴	۶۵۴	۶۵۸	۰/۴۵	d_2^+
۹۱	۸۷۶	۹۶۷	۰/۲۰	d_3^+

علاوه بر آن در جدول (۸)، مشاهده می‌شود که بیشترین انحراف نامساعد از آرمان ها مربوط به آرمان هزینه‌ها ($d3+d_1^+$) می باشد و کمترین انحراف نامطلوب در آرمان زمان توزیع اقلام پزشکی (d_2^+) بوده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برای بررسی صحت مدل، شیوه‌های مختلفی وجود دارد. یک شیوه استفاده از مقادیر و داده‌های موجود یا قبلی پاندمی کرونا به عنوان پارامترهای مدل است. در صورتی که جواب به دست آمده از مدل در مقایسه با نتایج واقعی، منطقی و مورد رضایت مدیران بحران باشد، صحت عملکرد مدل را می‌توان پذیرفت ولی اگر جواب مدل با نتایج واقعی بسیار متفاوت یا برای مدیران عجیب باشد باید نسبت به انجام اصلاحات لازم در مدل اقدام کرد. شیوه دیگر، وارد کردن یک عضو از مجموعه پارامترهای مدل به عنوان ورودی و بررسی نتیجه و خروجی مدل در پی این تغییر در مدل است. از سوی دیگر مقصود از روایی مدل این است که آیا مدل مورد نظر می‌تواند ویژگی و خصوصیتی که مدل برای آن طراحی شده است را اندازه‌گیری نماید یا خیر؟در مقاله حاضر جهت اعتبارسنجی مدل طراحی شده زنجیره تأمین تاب آور پزشکی، تلاش شده

است که از تمامی راه‌های ممکن برای اعتبارسنجی مدل‌سازی ریاضی استفاده شود. پس از طراحی، مدل‌سازی و ارائه آن، از نظرات کارشناسان و خبرگان مدل‌سازی در خصوص مدل مورد مطالعه استفاده شده و ویژگی‌های مدل با وضعیت جاری زنجیره تأمین پزشکی در بحران پاندمی کرونا در شهر تهران مقایسه شده است. مدل ارائه شده، با توجه به استانداردهای مدل‌سازی تأیید شده طراحی گردیده و تمام قواعد و وضوابط ساخت یک مدل ریاضی خطی با اهداف یا آرمان‌های فازی و محدودیت‌های قطعی و فازی در آن در نظر گرفته شده است. بخشی از پارامترها و داده‌های به کار گرفته شده در مدل از اسناد و مدارک موجود در زنجیره تأمین تاب آور پزشکی با دقت فراوان از مبانی نظری و پیشینه پژوهش استخراج گردیده و بخشی به روش تصادفی تولید شده اند. مدل طراحی شده به همراه نتایج حاصل از اجرای آن، برای بررسی و دریافت نظرات در اختیار خبرگان مدیریت بحران و اساتید دانشگاه قرار گرفت که همگی اعتبار آن را تأیید نمودند. در ادامه مدل‌های ریاضی پژوهش، با دقت و صحت کافی و در مدت زمان مناسب با نرم‌افزار گمز اجرا و تحلیل حساسیت بر روی بعضی از پارامترهای مهم آن‌ها صورت گرفته است؛ که به نتایج مفید و قابل قبولی نائل گردیده است. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل نسبت به تغییرات به وجود آمده در پارامترهای کلیدی و مهم و به تبع آن تغییرات متناسب در میزان اهداف یا آرمان‌ها به عنوان خروجی ها، نشان از پایایی، اعتبار و صحت مدل و داده‌های پژوهش را نشان می‌دهد.

برای ارزیابی عملکرد مدل‌سازی، تعدادی از پارامترهای مطالعه (ظرفیت ذخیره سازی اقلام پزشکی، قیمت اقلام و ظرفیت حمل و نقل) که عموماً کنترل روی آن‌ها است، تحلیل حساسیت می‌شوند. جدول (۹)، مقادیر تابع هدف و جریانات متغیرهای تصمیم را بدون اعمال تغییر نشان می‌دهد و در همین راستا جدول (۹)، اثرات تغییرات مختلف زنجیره تأمین تاب آور پزشکی را در بحران احتمالی پاندمی کرونا در شهر تهران ارائه می‌کند. با اعمال تغییرات روی پارامترهای مشخص شده و مقایسه جدول‌های (۹ و ۱۰)، مقدار تابع هدف تقریباً در همان محدوده تغییر و نوسان می‌کند. این مهم به خوبی حکایت از انسجام و پایداری مدل ارائه شده دارد. برای نمونه، در خصوص تغییر پارامتر ظرفیت ذخیره سازی اقلام پزشکی، قیمت اقلام و ظرفیت حمل و نقل نسبت به مدل اولیه قابل مقایسه است. ۱۵ درصد کاهش در ظرفیت ذخیره سازی اقلام پزشکی باعث می‌شود که بازار هدف (ارائه خدمات به بیماران) به ۲۰ درصد کاهش یابد؛ زیرا با توجه به تقاضاهای غیر قطعی که در پژوهش حاضر در نظرگرفته شده ممکن است با کاهش ظرفیت ذخیره سازی اقلام امدادی منجر به کمبود در توزیع این اقلام به انبارهای مرکزی و مجموعه مراکز درمانی مواجه شویم. در واقع کمبود ذخیره‌سازی اقلام امدادی، کمک به حادثه دیدگان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مدیریت بحران را در بلند مدت با از دست دادن افراد بیمار و ناقل کرونا و افزایش مرگ و میر مواجه می‌کند. این امر با حل مدل پژوهش حاضر و در نظر گرفتن ظرفیت‌های ذخیره‌سازی به ازای هریک از اقلام پزشکی و ارائه برنامه‌ریزی تولید مرتفع شده است. همچنین مشاهده شد، کاهش ۱۵درصدی در مقدارذخیره‌سازی، درمان بیماران کرونایی را به میزان ۲۰ درصد کاهش یعنی لجستیک پزشکی با این میزان کمبود موجودی مواجه شده است و افزایش ۱۲ و ۲۰ درصدی در قیمت و ظرفیت حمل و نقل، تابع هدف ر ا به ترتیب به میزان ۱۵ و ۲۵ درصد افزایش می‌دهد. یعنی منجر به بهبود خدمات لجستیک پزشکی می‌گردد.

جدول۹

مقدار تابع هدف و جریانات اقلام پزشکی (منبع پژوهشگر)

تابع هدف	جریانات	تعریف نمادها
۷۶۵۴۳۲۱	SMQ(Supp,CS,t)…(Supp,CS,t)	SMQ(Supp,CS,t) میزان اقلام پزشکی که از تأمین کنندگان به سمت انبارهای مرکزی در دوره زمانی t انتقال می‌یابد
	MWQ(CS,Dis,t)…(CS,Dis,t)	MWQ (CS,Dis,t) میزان اقلام پزشکی که از انبارهای مرکزی به سمت توزیع کنندگان در دوره زمانی t انتقال می‌یابد
	MDQ(Dis,Sh,t)…(Dis,Sh,t)	MDQ (Dis,Sh,t) میزان اقلام پزشکی از توزیع کنندگان به مرکز درمانی در دوره زمانی t انتقال می‌یابد

جدول۱۰

تحلیل حساسیت پارامترهای تحقیق(منبع پژوهشگر)

پارامتر	درصد Δ	Obj	جریانات
ظرفیت ذخیره سازی اقلام پزشکی	-۱۵	-۲۰	SMQ(Supp,CS,t)…(Supp,CS,t) MWQ(CS,Dis,t)…(CS,Dis,t) MDQ(Dis,Sh,t)…(Dis,Sh,t)
قیمت اقلام	۱۲	۱۵	SMQ(Supp,CS,t)…(Supp,CS,t) MWQ(CS,Dis,t)…(CS,Dis,t) MDQ(Dis,Sh,t)…(Dis,Sh,t)
ظرفیت حمل و نقل اقلام پزشکی	۲۰	۲۵	SMQ(Supp,CS,t)…(Supp,CS,t) MWQ(CS,Dis,t)…(CS,Dis,t) MDQ(Dis,Sh,t)…(Dis,Sh,t)

برای ارزیابی قابلیت کاربرد مدل ارائه شده، تحلیل حساسیت نیز روی پارامترهای مهم در مدل طبق جدول(۱۰) انجام شده است که این امر نشان می‌دهد تغییرپذیری مدل نسبت به پارامترها در حد قابل قبولی بوده و اهداف مطالعه را محقق ساخته است. در ادامه به مقایسه نتایج پژوهش با محققین پرداخته شده است.

زهانگ، وانگ و رن (۲۰۱۹)، در پژوهشی با عنوان: بهینه‌سازی قابلیت اطمینان زنجیره تأمین انسان دوستانه: مورد مطالعه زلزله یان، پرداختند. این مقاله به دنبال ارائه یک روش ریاضی برای بهینه‌سازی قابلیت اطمینان انسان دوستانه زنجیره تأمین امداد می‌باشد. قابلیت اطمینان و مدیریت هزینه‌ها هر دو در واکنش به بلایای طبیعی اهمیت دارند. این تحقیق به مقایسه بین قابلیت اطمینان و هزینه جهت بهینه‌سازی در زنجیره تأمین انسان دوستانه و ارائه یک مدل بهینه‌سازی یکپارچه قابلیت اطمینان برای زنجیره تأمین امداد بررسی نمودند. نتایج نشان داد برای بهبود کارایی عملیات بحران و کمک‌های انسان دوستانه در وضعیت بحران و به دست آوردن یک وضعیت برنده بابت اطمینان و هزینه کل، مورد استفاده قرار داده شد. سیاوش و همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهشی به بررسی نقش قدرت در سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین و سازمان‌های انسان دوستانه: دیدگاه سیستم‌های اجتماعی و فنی، پرداختند. در تحقیق مذکور از نظریه سیستم‌های اجتماعی و

فنی برای کشف نقش قدرت در این زمینه استفاده شد. نتایج نشان داد که فرهنگ محلی می‌تواند روابط قدرت از طریق شناسایی منافع ذینفعان و لابی با اهداکنندگان خارجی در عملیات امداد رسانی فاجعه تعیین کننده است. همچنین در داخل کشور نیز پژوهش‌هایی از قبیل طلایی و همکاران (۱۳۹۸)، در مقاله‌ای با عنوان: طراحی مدل اعتمادسازی در شبکه‌ی تأمین خدمات انسان دوستانه (مورد مطالعه: آتش‌سوزی ساختمان پلاسکو، انفجار شهران، آب‌گرفتگی مترو تهران)، پرداختند. یافته‌های پژوهش مذکور نشان داد در ۳ فاز شرایط، اقدامات و پیامدها طبقه‌بندی شده‌اند. ساختارهای ضعیف جامعه و سیستم مدیریت جامعه مانع بزرگ ایجاد اعتماد است و کافی نبودن بودجه، نامشخص بودن متولی امر، عملکرد ناموفق، عدم هماهنگی و همکاری کارگروه‌های مسئول وآمادگی نداشتن از عوامل اصلی بی‌اعتمادی تعیین شده است. ساختارهای ضعیف جامعه و سیستم مدیریت جامعه مانع بزرگ ایجاد اعتماد است و کافی نبودن بودجه، نامشخص بودن متولی امر، عملکرد ناموفق، عدم هماهنگی و همکاری کارگروه‌های مسئول و آمادگی نداشتن از عوامل اصلی بی‌اعتمادی تعیین شده است.صادقی‌مقدم، صفری و بارانی (۱۳۹۸)، در پژوهشی با عنوان: ارزیابی عملکرد زنجیره‌ی تأمین انسان دوستانه با استفاده از رویکرد خاکستری، پرداختند. برای ارزیابی منطقی و مناسب از دو سناریو در ارزیابی مورد بررسی قرار گرفت. در سناریوی نخست فقط از اطلاعات سه زلزله‌ی منتخب استفاده شده است و در سناریوی دوم پس از تعیین استاندارد در تمام شاخص‌ها این اطلاعات به صورت زلزله‌ای فرضی در محاسبات وارد شد. نتایج پژوهش مذکور نشان داد عملکرد زنجیره تأمین انسان دوستانه در زلزله‌های دشتی و اهر(هریس و رزقان) برابر و بهتر از زلزله‌ی بشاگرد است. در پژوهش حاضر به معرفی ابعاد و مؤلفه‌های کلیدی جهت ارزیابی زنجیره تأمین تاب آور در مواقع بحران کرونا شهر تهران، با استفاده ازمدل‌سازی ریاضی برنامه ریزی آرمانی فازی، پرداخته شده است. نقطه قوت پژوهش حاضر نسبت به پژوهش دیگر محققین بهره‌گیری از مدل‌سازی ریاضی فازی می‌باشد که می‌تواند باعث ایجاد و خلق مدلی قوی از نظر علمی و مبانی نظری گردد. از جمله نقاط اشتراک پژوهش حاضر با دیگر محققین بهره‌گیری از برخی از متغیرهای متناسب با ارزیابی زنجیره تأمین تاب آور در مواقع بحران است.

پیشنهادهای کاربردی

جهت بهبود لجستیک پزشکی در زنجیره تأمین تاب آور پیشنهادات جهت ارتقاء لجستیک پزشکی کشور ایران به قرار ذیل است:

۱- با تعیین نیازهای آموزشی برای خانوارها به منظور نگهداری مواد غذایی برای چند روز در صورت بروز زمین لرزه (نوع و مقدار بر حسب ترکیب خانوار).

۲- آموزش نیروهای بهداشتی، متصدیان نگهداری و توزیع اقلام درمانی برای نحوه توزیع اقلام پزشکی

۳- تهیه بانک اطلاعات شرکت‌های انبار مواد غذایی، فروشگاه‌ها، سوپرمارکت‌ها و انبارهای مواد غذایی سازمان‌های امدادرسان مقاوم-سازی شده.

۴- تهیه بانک اطلاعاتی کامل از ذخایر مواد غذایی مراکز درمانی.

۵- تهیه اطلاعات جمعیت‌شناختی بیماران آسیب پذیر بر اساس وضعیت و تعیین میزان و ترکیب گروه‌های آسیب‌پذیر (شامل: سالمندان، کودکان، بیماران و زنان).

۶- توجه به مباحث مکان‌یابی برای احداث‌های انبارهای اقلام پزشکی به منظور ذخیره‌سازی اقلام درمانی و دارو و ...

پیشنهادهای آتی

جهت پژوهش محققین آتی تحقیقات زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱- مدلسازی ریاضی لجستیک پزشکی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی.

۲- شناسایی عوامل کلیدی موفقیت در لجستیک پزشکی با رویکردDANP فازی.

۳- طراحی مدل مکان‌یابی احداث انبارهای دارویی در لجستیک

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازین و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

Altherwi, A., Alwerfalli, D., & Edwards, W. (2022). Optimal Supply Chain Networks Under Failure Risks Using Meta-Heuristic Algorithms.

Ajibola Dada, S., Shagan Azai, J., Umoren, J., Utomi, E., & Gyedu Akonor, B. (2024). Strengthening U.S. healthcare Supply Chain Resilience Through Data-Driven Strategies to Ensure Consistent Access to Essential Medicines. *International Journal of Research Publications*, *164*(1). https://doi.org/10.47119/IJRP1001641120257438

Bai, H., & Ran, W. (2022). Analysis of the Vulnerability and Resilience of the Tourism Supply Chain under the Uncertain Environment of COVID-19: Case Study Based on Lijiang. *Sustainability*, *14*(5), 2571.

Chen, X., He, C., Chen, Y., & Xie, Z. (2022). Internet of Things (IoT)—blockchain-enabled pharmaceutical supply chain resilience in the post-pandemic era. *Frontiers of Engineering Management*.

Cherrafi, A., Chiarini, A., Belhadi, A., El Baz, J., & Chaouni Benabdellah, A. (2022). Digital technologies and circular economy practices: vital enablers to support sustainable and resilient supply chain management in the post-COVID-19 era. *The TQM Journal*, *34*(7), 179-202.

Canwat, V. (2024). COVID-19-related supply chain disruptions: resilience and vulnerability of micro, small and medium enterprises. *Cogent Business & Management*, *11*(1). https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2315691

Das, K., Annand, A., & Ram, M. (2021). A Global Supply Network Design Model: A Resilient Management Approach. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, *6*(2), 660-676.

Editorial Design and Management of Sustainable and Resilient Supply Chains. (2019). *IEEE Transactions on Engineering Management*, *66*(1), 2-7. https://doi.org/10.1109/TEM.2018.2870924

Ergun, O., Hopp, W.J., & Keskinocak, P. (2023). A structured overview of insights and opportunities for enhancing supply chain resilience. *IISE Transactions*, *55*(1), 57-74.

Echefaj, K., Charkaoui, A., Cherrafi, A., & Ivanov, D. (2024). Design of resilient and viable sourcing strategies in intertwined circular supply networks. *Annals of Operations Research*, *337*(1), 459-498. https://doi.org/10.1007/s10479-024-05873-1

Emmanuel, O., & Oluwole Raphael, O. (2025). Building resilient healthcare distribution networks: Adapting to crises, securing

supplies and improving scalability. *International Journal of Science and Research Archive*, *14*(1), 1579-1598. https://doi.org/10.30574/ijsra.2025.14.1.0265

Faggioni, F., Rossi, M.V., & Sestino, A. (2024). Conceptualizing Supply Chain Resilience in Exogenous Crisis Times: Toward a Holistic Definition. *Journal of the Knowledge Economy*, *15*(4), 17308-17332. https://doi.org/10.1007/s13132-024-01816-0

Fattahi, M., Govindan, K., & Maihami, R. (2020). Stochastic optimization of disruption-driven supply chain network design with a new resilience metric. *International Journal of Production Economics*, *230*, 107755.

Holloway, S. (2025). The Influence of Information Systems on Supply Chain Resilience During Disruptive Events.

Jauhar, S.K., Jani, S.M., Kamble, S.S., Pratap, S., Belhadi, A., & Gupta, S. (2023). How to use no-code artificial intelligence to predict and minimize the inventory distortions for resilient supply chains. *International Journal of Production Research*, 1-25.

Juan, S.J., & Li, E.Y. (2023). Financial performance of firms with supply chains during the COVID-19 pandemic: the roles of dynamic capability and supply chain resilience. *International Journal of Operations & Production Management*, (ahead-of-print).

Karbassi Yazdi, A., Mehdiabadi, A., Wanke, P.F., Monajemzadeh, N., Correa, H.L., & Tan, Y. (2022). Developing supply chain resilience: a robust multi-criteria decision analysis method for transportation service provider selection under uncertainty. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 1-14.

Karmaker, C.L., Aziz, R.A., Palit, T., & Bari, A. B. M. Mainul. (2023). Analyzing supply chain risk factors in the small and medium enterprises under fuzzy environment: Implications towards sustainability for emerging economies. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, *2*(1), 100032.

Kazancoglu, I., Ozbiltekin-Pala, M., Mangla, S.K., Kumar, A., & Kazancoglu, Y. (2022). Using emerging technologies to improve the sustainability and resilience of supply chains in a fuzzy environment in the context of COVID-19. *Annals of Operations Research*.

Khezeli, M., Najafi, E., Haji Molana, M., & Seidi, M. (2022). A Mathematical Model for Sustainable and Resilient Supply Chain by Considering Synchronization in the Production and Distribution Network. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, *33*(2), 1–34.

Longo, F., Mirabelli, G., Padovano, A., & Solina, V. (2023). The Digital Supply Chain Twin paradigm for enhancing resilience and sustainability against COVID-like crises. *Procedia Computer Science*, *217*, 1940-1947.

Lotfi, R., Sheikhi, Z., Amra, M., AliBakhshi, M., & Weber, G.W. (2021). Robust optimization of risk-aware, resilient and sustainable closed-loop supply chain network design with Lagrange relaxation and fix-and-optimize. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1-41.

Lozano-Diez, J., Marmolejo-Saucedo, J., & Rodriguez-Aguilar, R. (2020). Designing a resilient supply chain: An approach to reduce drug shortages in epidemic outbreaks. *EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology*, *6*(21), 164260.

Muzamil, A.Z.A., Pyeman, J., Mutalib, S.B., Azma binti Kamaruddin, K., & Abdul Rahman, N.Binti. (2025). Enabling retail food supply chain, viability and resilience in pandemic disruptions by digitalization – a conceptual perspective. *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, *7*(2), 175-203. https://doi.org/10.1108/IJIEOM-07-2024-0040

Pont, A., & Simon, A. (2025). Nurturing family business resilience through strategic supply chain management. *Journal of Family Business Management*, *15*(1), 68-101. https://doi.org/10.1108/JFBM-11-2023-0272

Queiroz, M.M., Fosso Wamba, S., Raut, R.D., & Pappas, I.O. (2024). Does Resilience Matter for Supply Chain Performance in Disruptive Crises with Scarce Resources? *British Journal of Management*, *35*(2), 974-991. https://doi.org/10.1111/1467-8551.12748

Sawyerr, E., & Harrison, C. (2019). Developing resilient supply chains: lessons from high-reliability organisations. *Supply Chain Management: An International Journal*, *25*(1), 77-100.

Senna, P., Reis, A., Dias, A., Coelho, O., Guimarães, J., & Eliana, S. (2023). Healthcare supply chain resilience framework: antecedents, mediators, consequents. *Production Planning & Control*, *34*(3), 295-309.

Seydanlou, P., Jolai, F., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Fathollahi-Fard, A.M. (2022). A multi-objective optimization framework for a sustainable closed-loop supply chain network in the olive industry: Hybrid meta-heuristic algorithms. *Expert Systems with Applications*, *203*, 117566.

Shafaghizadeh, S., Ebrahimnejad, S., Navabakhsh, M., & Sajadi, S.M. (2021). Proposing a model for a resilient supply chain: A meta-heuristic algorithm. *International Journal of Engineering*, *34*(12).

Silva, M.E., Pereira, M.MO., & Hendry, L.C. (2023). Embracing change in tandem: resilience and sustainability together transforming supply chains. *International Journal of Operations & Production Management*, *43*(1), 166–196.

Tordecilla, R.D., Juan, A.A., Montoya-Torres, J.R., Quintero-Araujo, C.L., & Panadero, J. (2021). Simulation-optimization methods for designing and assessing resilient supply chain networks under uncertainty scenarios: A review. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *106*, 102166.

Wang, Y., Iqbal, U., & Gong, Y. (2021). The Performance of Resilient Supply Chain Sustainability in Covid-19 by Sourcing Technological Integration. *Sustainability*, *13*(11), 6151.

Wieland, A., Stevenson, M., Melnyk, S.A., Davoudi, S., & Schultz, L. (2023). Thinking differently about supply chain resilience: what we can learn from social-ecological systems thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, (ahead-of-print).

Wu, Y. (2023). New Approaches to Supply Chain Resilience under the COVID-19 Pandemic. In H. Mallick, G. V. B., & O. T. San (eds.), (H. Mallick, G. V. B., & O. T. San, eds.), *Proceedings of the 2022 4th International Conference on Economic Management and Cultural Industry (ICEMCI 2022)* (pp. 12-22). Atlantis Press International BV.

Wright, A.M., Snowdon, A., Saunders, M., & Trampas, D. (2024). The necessity of healthcare supply chain resilience for crisis preparedness. *Healthcare Management Forum*, *37*(2), 95-100. https://doi.org/10.1177/08404704231207386

Yavari, M., & Ajalli, P. (2021). Suppliers' coalition strategy for green-Resilient supply chain network design. *Journal of Industrial and Production Engineering*, *38*(3), 197-212.

Yazdanie, M. (2023). Resilient energy system analysis and planning using optimization models. *Energy and Climate Change*, 100097.

Zhao, S., & You, F. (2019). Resilient supply chain design and operations with decision-dependent uncertainty using a data-driven robust optimization approach. *AIChE Journal*, *65*(3), 1006-1021.