Disaster Prevention and Management Knowledge

Autumn 2024. Vol 14. Issue 3

Research Paper

Presenting a Mathematical Model for Optimizing the Cold Food Supply Chain During Disasters

Leila Kheyrati[1], ***Mohammad Hossein Darvish Motevalli**[2]

1. Department of Information Technology Management, Kish International Branch, Islamic Azad University, Kish, Iran.
2. Department of Industrial Management, Faculty of Management, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Kheyrati, L., Darvish Motevalli, M. H. (2024). [Presenting a Mathematical Model for Optimizing the Cold Food Supply Chain During Disasters (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, *14*(3):292-309. https://doi.org/10.32598/DMKP.14.3.861.1

https://doi.org/10.32598/DMKP.14.3.861.1

ABSTRACT

Background and objective One of the most important goals of the crisis management headquarters is the proper preparation and distribution of food to the affected people during a disaster. Due to the limitations related to shelf life and storage of perishable food products, operational costs, and transportation, their distribution is challenging. In this study, we aim to develop a mathematical model using integer linear programming for the optimization of cold food supply chain during disasters.

Method This study uses an operational research approach. A two-objective mixed integer linear programming model was designed for a cold, stable and multi-level supply chain in the food industry in the conditions of uncertainty and crisis. In this programming model, the economic order quantity (EOQ) performance optimization method was used to determine the optimal order point. The presented model was solved based on the real data obtained from the crisis management headquarters in Iran and implemented as a pilot for 16 supply centers, 5 distribution channels, and 35 crisis management headquarters with two LP-metric and augmented epsilon constraint (AEC) methods.

Results The findings of testing research hypotheses using one-way analysis of variance showed that the use of mathematical models had a positive and significant effect on the optimization of the cold food supply chain during disasters. In this regard, there was no significant difference between LP-metric and AEC methods (P>0.05). Also, the use of mathematical models had a positive and significant effect on improving the quality of food industry. Optimizing the supply chain by the mathematical model has a positive and significant effect on the performance of food industries. The optimal order point in the chain model had a EOQ of 3436 units.

Conclusion By using the presented mathematical model, it is possible to optimize the management process of the cold food supply chain during disasters. It has a higher performance compared to traditional approaches. It is expected that by using the presented mathematical model, relief operations and food distribution during disasters can be facilitated and optimized.

Keywords Cold supply chain, Crisis, Disasters, Two-objective mathematical model

Article Info:
Received: 12 Jun 2024
Accepted: 20 Aug 2024
Available Online: 01 Oct 2024

Corresponding Author:
Mohammad Hossein Darvish Motevalli, Assistant Professor.
Address: Department of Industrial Management, Faculty of Management, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Tel: +98 (912) 2127238
E-mail: mhd.darvish@gmail.com

Copyright © 2024 The Author(s)" by "authors retain the copyright and full publishing rights"
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

One of the most important goals of the crisis management headquarters is the proper preparation and distribution of food to the affected people during a disaster. During these disasters, there are challenges in the preparation and distribution of foods among the victims, due to limitations in terms of food storage and consumption, which makes it more difficult for the service providers. Therefore, it is very important to use a suitable network or cold supply chain for food items. Logistics plays an essential and decisive role in the perishable food supply chain and crisis management support; its disruption can negatively affect the entire crisis management process. Logistic support during a crisis includes the processes of estimation, supply, transportation, maintenance and distribution of goods, equipment and services for the victims and relief teams. Since the management of cold supply chain is different from other chain systems and its entire process is subject to special conditions considering the type of foods and the lack of attention to various principles can lead to food damages such as spoilage, loss of quality, poisoning, etc., a comprehensive system or model is needed. In this study, we aim to develop a mathematical model using integer linear programming for the optimization of cold food supply chain during disasters.

Methods

This is a cross-sectional quantitative/qualitative study using the operational research approach. We designed a two-objective mixed integer linear programming model for a cold, stable and multi-level supply chain in the food industry in the conditions of uncertainty and crisis. In this programming model, the economic order quantity (EOQ) performance optimization method was used to determine the optimal order point. The indicators affecting the performance of cold supply chain model included cost and service, distance, carbon dioxide emissions, capacity and demand. The proposed supply chain included: Suppliers, producers, distributors and service centers. In the supply chain, the selected food were prepared from primary suppliers and sent to procurement centers (n=16 in Iran). These centers were able to provide different food products in multiple periods and the crisis management headquarters could receive the products they need directly from the suppliers or from the distribution channels (n=5 in Iran). The central crisis management headquarters, (n=35 in Iran), receive the products they need in two ways, either directly from the supplier or through the distribution channels. The presented model was solved based on the real data obtained from the crisis management headquarters in Iran and implemented as a pilot for 16 supply centers, 5 distribution channels, and 35 crisis management headquarters with two LP-metric and augmented epsilon constraint (AEC) methods.

Results

Ten numerical examples were used with different objective function values at different times for both LP-metric and AEC methods. The results showed that the LP-metric method had better performance for objective functions compared to the AEC method. The findings of testing research hypotheses using one-way analysis of variance showed that the use of mathematical models had a positive and significant effect on the optimization of the cold food supply chain during disasters. In this regard, there was no significant difference between LP-metric and AEC methods ($P>0.05$). Also, the use of mathematical models had a positive and significant effect on improving the quality of food industry. Optimizing the supply chain by the mathematical model has a positive and significant effect on the performance of food industries.

Conclusion

The findings showed that by using the presented mathematical model, it is possible to achieve the optimization of the cold food supply chain during disasters. The model has high efficiency and can solve high-quality solutions in a reasonable time. It has a higher performance compared to traditional approaches. It is expected that by using the presented mathematical model, relief operations and food distribution during disasters can be facilitated and optimized.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

In this study, all ethical principles were observed. Since no experiments on animal or human samples were conducted, no ethical code was obtained.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

The authors contributed equally to preparing this paper.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

فصلنامه علمی
دانش پیشگیری و مدیریت بحران

مقاله پژوهشی

ارائه مدل ریاضی به‌منظور بهینگی زنجیره تأمین سرد مواد غذایی در شرایط وقوع بحران و بلایا

لیلا خیراتی[۱]، *محمد حسین درویش متولی[۲]

۱. گروه مدیریت فناوری اطلاعات، واحد بین المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، کیش، ایران.
۲. گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Kheyrati, L., Darvish Motevalli, M. H. (2024). [Presenting a Mathematical Model for Optimizing the Cold Food Supply Chain During Disasters (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, *14*(3):292-309. https://doi.org/10.32598/DMKP.14.3.861.1

https://doi.org/10.32598/DMKP.14.3.861.1

چکیده

زمینه و هدف یکی از مهم‌ترین اهداف ستاد مدیریت بحران، تهیه و توزیع مناسب مواد غذایی در شرایط وقوع بحران یا بلایا به نیازمندان و آسیب‌دیدگان است. به‌علت محدودیت طول عمر و نگهداری محصولات فسادپذیر، هزینه‌های عملیاتی، سفارش، حمل‌ونقل و آثار محیطی این نوع محصولات افزایش می‌یابد و چالش‌های جدیدی را به همراه خواهد داشت.

روش: این پژوهش مبتنی بر رویکرد پژوهش عملیاتی است و به دنبال طراحی مدلی ریاضی چندهدفه برای زنجیره تأمین سرد، پایدار و چندسطحی در صنایع غذایی و در شرایط عدم قطعیت و بحرانی است. بدین‌منظور یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط ارائه شده است که در آن از روش بهینگی عملکرد EOQ برای تعیین نقطه سفارش بهینه استفاده شده است.

یافته‌ها مدل ارائه‌شده براساس داده‌های واقعی ستاد مدیریت بحران کشور و به‌صورت پایلوت برای ۱۶ مرکز تأمین، ۵ کانال توزیع و ۳۵ ستاد مدیریت بحران با ۲ روش معیار جامع و اپسیلون محدودیت تقویت‌شده حل شد. یافته‌ها نشان داد با استفاده از مدل ریاضی ارائه‌شده، می‌توان به بهینه‌سازی فرایند مدیریت زنجیره تأمین سرد مواد غذایی در شرایط وقوع بحران و بلایا دست یافت.

نتیجه‌گیری نتایج، کارایی و قابلیت کاربرد مدل ارائه‌شده و دستیابی به راه‌حل‌های باکیفیت در زمان منطقی را نشان می‌دهد و نسبت به رویکردهای سنتی دارای عملکرد بالاتری است. انتظار می‌رود با بهره‌گیری از مدل ارائه‌شده، عملیات امدادرسانی و توزیع مواد غذایی در شرایط بحرانی توسط نهادهای امدادرسان تسهیل و بهینه شود.

کلیدواژه‌ها زنجیره تأمین سرد، بحران و بلایا، مدل ریاضی دوهدفه

اطلاعات مقاله:
تاریخ دریافت: ۲۳ خرداد ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۳۰ مرداد ۱۴۰۳
تاریخ انتشار: ۱۰ مهر ۱۴۰۳

* **نویسنده مسئول:**
دکتر محمد حسین درویش متولی
نشانی: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران غرب، دانشکده مدیریت، گروه مدیریت صنعتی.
تلفن: ۲۱۲۷۲۳۸ (۹۱۲) ۹۸+
پست الکترونیکی: mhd.darvish@gmail.com

Copyright © 2024 The Author(s)" by "authors retain the copyright and full publishing rights"
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه

امروزه علی‌رغم پیشرفت و توسعه در فناوری‌های موجود، مصائب ناشی از سوانح طبیعی (زلزله، سیل، طوفان، صاعقه، بهمن، گردباد، آتش‌سوزی، آتشفشان و غیره) و غیرطبیعی (جنگ، حوادث تروریستی، تصادفات جاده‌ای، حوادث صنعتی، ناآرامی‌های سیاسی، مهاجرت آوارگان و غیره) یکی از موانع اصلی توسعه پایدار کشورها به شمار می‌روند و عدم آمادگی و مقابله مناسب با آن‌ها، تلفات و خسارات سنگینی را به جامعه، مردم و دارایی‌های آن‌ها وارد می‌کند که بعضاً جبراننا‌پذیر است (بوسونا و گبرسنبت، ۲۰۱۳؛ دانداژ و همکاران، ۲۰۱۷). حوادث غیرمترقبه بر حیات انسانی مؤثر بوده و طی ۲ دهه اخیر، صدها میلیون انسان زندگی خویش را در فرایند آسیب‌ها و خسارات ناشی از حوادث و بحران‌ها در خطر احساس کرده‌اند و میلیون‌ها نفر جان باخته و حجم خسارتی بالغ بر صدها میلیون دلار، رشد توسعه اجتماعی و اقتصادی جوامع انسانی را با مانع روبه‌رو کرده است. کشور ایران همواره در معرض وقوع حوادث و سوانح و رویدادهای بحران‌زای متعددی بوده که به دنبال آن متحمل زیان‌های هنگفت جانی و مالی شده است .

تجربیات گذشته در کشور ما نشان می‌دهد مقابله با حوادث غیرمترقبه و تبعات و عوارض آن، به‌عنوان یک چالش بزرگ پیش‌روی مسئولین قرار دارد و مدیریت بحران در هنگام بروز حوادث همواره با مشکلات جدی روبه‌رو بوده است. پشتیبانی و لجستیک مواد غذایی در زمان وقوع بلایا نیز به‌عنوان یکی از ارکان اصلی مدیریت بحران از این قاعده مستثنی نیست. یکی از مهم‌ترین مشکلات ناشی از این بحران‌ها مربوط به تهیه و توزیع مواد غذایی در بین سانحه‌دیدگان است. عمدتاً مواد غذایی دارای محدودیت‌هایی به لحاظ نگهداری، توزیع و مصرف هستند و این مسئله کار را برای نیروهای خدمت‌رسان دوچندان مشکل می‌کند (خیلدار، ۲۰۲۴).

ازاین‌رو بهره‌گیری از یک شبکه یا زنجیره تأمین سرد مناسب بسیار حائز اهمیت است (حسین‌پور، ۱۴۰۰). لجستیک در زنجیره تأمین مواد غذایی فسادپذیر و پشتیبانی مدیریت بحران نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای برعهده دارد که درصورت اختلال در ایفای این نقش، کل فرایند مدیریت بحران با مشکل روبه‌رو و دچار اختلال خواهد شد. لجستیک بحران کلیه فرایندهای برآورد، تأمین، حمل‌ونقل، نگهداری و توزیع کالاها، تجهیزات و خدمات آسیب‌دیدگان و تیم‌های امدادگر را دربر می‌گیرد؛ بنابراین چنانچه لجستیک مواد غذایی مدیریت بحران یک سیستم منسجم و علمی باشد و اصول زنجیره تأمین سرد را مد نظر قرار دهد، می‌توان تا حدود زیادی به موفقیت در مدیریت بحران امیدوار بود (خیرآبادی و همکاران، ۱۳۹۱).

زنجیره تأمین صنایع غذایی تحت تأثیر پارامترهای مختلف قرار دارد و همین مسئله عمر این محصولات را کاهش داده است. عدم توجه کافی به این محصولات با عمر محدود باعث شکل‌گیری زنجیره تأمین سرد[1] شده است. به بیانی دیگر، بعضی مواد نسبت به حرارت و یخزدگی حساس هستند. ازاین‌رو باید در دمای مناسب نگهداری شوند (اکبری، ۲۰۲۳). این زنجیره مجموعه تجهیزات و امکاناتی که موجب می‌شود دمای محصول از زمان تهیه تا زمان مصرف حفظ شود را شامل می‌شود. همچنین مدیریت زنجیره سرد سیستمی است که با نظارت و برنامه‌ریزی مؤثر به اداره کردن مراحل مختلف چرخه عمر محصولات فاسدشدنی می‌پردازد و با استفاده از فرایندها و فعالیت‌های مناسب به کاهش هزینه‌های تهیه، کاهش ضایعات، افزایش کیفیت، کاهش مسمومیت، افزایش رضایتمندی مصدومان در معرض بحران و افزایش کارایی و عملکرد نهادهای مسئول در شرایط بحرانی منجر شود (رویز گارسیا و همکاران، ۲۰۱۰)

. یکی از مهم‌ترین استراتژی‌های سازمان‌ها در مواقع بحرانی و خاص، به‌کارگیری زنجیره تأمین سرد است. ازآنجایی‌که مدیریت زنجیره سرد با دیگر نظام‌های زنجیره‌ای مانند زنجیره تأمین متفاوت است و تمامی فرایند آن به دلیل نوع محصولات، تابع شرایط خاصی است و عدم توجه به نکات مختلف در سراسر زنجیره سرد به خساراتی همچون فساد کلی محصولات، از دست دادن کیفیت، ایجاد انواع مسمومیت‌ها، ایجاد فرصت از دست رفته و غیره منجر می‌شود، وجود سیستم یا مدلی جامع به‌عنوان ضرورت انکارناپذیر مطرح می‌شود (لو و همکاران، ۲۰۱۶). در این پژوهش، به ارائه مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط مطلوب برای بهینگی زنجیره تأمین سرد در شرایط بحرانی پرداخته می‌شود.

ادبیات پژوهش

مدیریت زنجیره تأمین بحرانی

قسمت اعظم مدیریت واکنش به یک بحران، چیزی جز عملیات امداد و نجات و مدیریت لجستیک نیست. عملیات امداد و نجات در ساعات اولیه، به‌منظور خارج کردن افراد از زیر آوار انجام می‌شود، ولی عملیات لجستیکی و زنجیره تأمین تا مدت‌زمان بیشتری ادامه می‌یابد تا مصدومان را به بیمارستان‌ها و یا مراکز امداد برسانند و همچنین اقلام موردنیاز، مواد غذایی، دارو و غیره را از مراکز مربوطه به نقاط آسیب‌دیده منتقل کند (خیلدار، ۲۰۲۴). وقوع حوادث غیرقابل‌پیش‌بینی و سانحه‌های طبیعی و اثرات ناشی از آن‌ها جوامع کنونی را ملزم به انجام برنامه‌ریزی‌های لازم جهت مدیریت زنجیره تأمین در شرایط بحران کرده است. بدون شک زنجیره تأمین مواد غذایی چالشی‌ترین بخش امدادرسانی در

1. Cold supply chain

شرایط خاص و بحرانی است. در زنجیره غذایی جهانی، امنیت و کیفیت محصولات در اولویت کاری قرار دارند. این کار ساده‌ای نیست، چون تهیه غذا بخش‌های مختلفی دارد و پس از تهیه محصولات نهایی بسته به ماهیت آن و شرایط نگهداری برای مصرف‌کنندگان ارسال می‌شود (اولسن و بوریت، ۲۰۱۳).

بزرگ‌ترین چالش برای مدیران زنجیره تأمین غذایی نبود استاندارد برای جمع‌آوری اطلاعات و تبادل آن بین سیستم‌هایی است که میان کارگزاران مختلف در زنجیره تأمین استفاده می‌شود (مگونجا و همکاران، ۲۰۱۳؛ رینگزبرگ، ۲۰۱۴). مدل‌های زنجیره تأمین با هدف بهبود عملکرد و کارایی و براساس استراتژی‌ها و شرایط مختلفی به کار گرفته می‌شوند. استفاده از مدل‌ها و نظریه‌های زنجیره تأمین، به مدیران و مسئولین سازمان‌های مسئول در شرایط بحرانی و بلایا کمک می‌کند تا با بهینه‌سازی فرایندهای تأمین و تهیه و توزیع در شرایط بحرانی، عملکرد خود را بهبود بخشند و درنتیجه رضایت جامعه و حادثه‌دیدگان را برای خود فراهم کنند. این مدل‌ها عبارت‌اند از:

مدل اسکور[2]

از یک‌سری فرایند استفاده می‌کند که شامل تأمین، تهیه، توزیع و بازاریابی هستند.

مدل برنامه‌ریزی تعاملی، پیش‌بینی و شارژ مجدد[3]

در این مدل، شرکت‌ها با همکاری و تبادل اطلاعات، بهبود ارتباطات و فرایندهای تأمین کالا را فراهم می‌کنند.

مدل تهیه به‌موقع[4]

در این مدل، کالاها و مواد اولیه فقط در زمانی تهیه می‌شوند که نیاز به آن‌ها وجود داشته باشد.

مدل مدیریت موجودی توسط تأمین‌کننده[5]

در این مدل، تأمین‌کننده با نظارت بر موجودی‌های مشتری، مواد اولیه را تأمین می‌کند.

نظریه تعادل مناسب[6]

در این نظریه، بهینه‌سازی هزینه‌ها برای تأمین مواد اولیه و تهیه محصولات موردنظر مد نظر است.

2. Supply-Chain Operations Reference Model (SCOR)
3. Collaborative Planning Forecasting and Replenishment (CPFR)
4. Just-In-Time (JIT)
5. Vendor-Managed Inventory (VMI)
6. Theory of appropriate equilibrium

مدل مقدار سفارش اقتصادی[7]

یکی از مدل‌های نظریه زنجیره تأمین است که برای بهینه‌سازی موجودی و سفارش‌گیری محصولات استفاده می‌شود.

مدل سفارش تکراری بهینه[8]

از مدل‌های نظریه زنجیره تأمین که برای بهینه‌سازی موجودی و سفارش‌گیری محصولات استفاده می‌شود.

مدل بهینه‌سازی خطی[9]

از مدل‌های پیچیده‌تر نظریه زنجیره تأمین که برای بهینه‌سازی سیستم زنجیره تأمین استفاده می‌شود و هدف آن کمینه کردن هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین است. این مدل برای حل مسائلی که مربوط به تعداد زیادی متغیر و محدودیت هستند، مناسب است. در این مدل، متغیرهای تصمیم‌گیری، شامل میزان تهیه، میزان سفارش‌گیری و میزان توزیع محصولات است. این مدل به‌عنوان یک روش پیشرفته برای بهینه‌سازی سیستم زنجیره تأمین استفاده می‌شود.

در زنجیره تأمین سرد در شرایط بحرانی می‌توان از مدل مقدار سفارش اقتصادی برای بهبود بهینگی استفاده کرد و به جای سفارش‌گیری مداوم، سفارش‌گیری به‌صورت دوره‌ای صورت گیرد. در این مدل، هدف کمینه کردن هزینه‌های سفارش‌گیری و نگهداری موجودی است. برای استفاده از مدل بهینه‌سازی خطی در زنجیره تأمین سرد صنایع غذایی، ابتدا باید متغیرهای تصمیم‌گیری و محدودیت‌های مربوط به تهیه، سفارش‌گیری و توزیع محصولات را تعیین کرد. سپس با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف به‌صورت عددی مقادیر بهینه برای متغیرهای تصمیم‌گیری را به دست آورد و به کمک آن‌ها سیستم زنجیره تأمین مواد غذایی در شرایط بحرانی را بهبود داد.

زنجیره تأمین سرد

زنجیره تأمین سرد به مدیریت دما برای کالاهای فسادپذیر اشاره دارد. این مدیریت به نگهداری کیفیت کالا از نقطه تهیه تا تحویل به حادثه‌دیدگان مرتبط است. زنجیره سرد تضمین می‌کند که کالاهای فسادپذیر در نقطه مصرف ازلحاظ کیفیت در نقطه مطلوبی قرار داشته باشند. عدم نگهداری این کالاها در شرایط دمایی مناسب منجر به نتایج بسیار نامطلوبی می‌شود و عملاً توزیع آن‌ها در شرایط بحرانی را با ریسک بالایی همراه می‌کند. این نتایج نامطلوب شامل تخریب بافت محصول، تغییر رنگ محصول، ایجاد کبودی و رشد میکروب در محصول

7. Econoic Order Quantity (EOQ)
8. Repeat Optimum Order (ROP)
9. Linear Optimization (LO)

است. مدیریت زنجیره سرد با ایجاد کیفیت در محصول باعث رضایتمندی، مدیریت تقاضا و به‌طورکلی مراقبت از سلامت حادثه‌دیدگان می‌شود.

زنجیره تأمین سرد، زمینه‌ای برای ایجاد تعامل و روابط متقابل بین سازندگان، تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و مصرف‌کنندگان نهایی است که در آن محصولات حساس به دما و نیازمند نگهداری در شرایط خاص، مانند مواد غذایی فسادپذیر و محصولات دارویی و پزشکی، از مراحل تهیه تا تحویل به مصرف‌کننده نهایی، تأمین، نگهداری و حمل‌ونقل می‌شوند.

زنجیره تأمین سرد، شامل مراحل: ۱. تأمین مواد اولیه، ۲. تهیه، ۳. انبارداری، ۴. حمل‌ونقل، ۵. توزیع، ۶. خدمت و خدمات پس از خدمت است. هریک از این مراحل، باید به‌گونه‌ای طراحی و اجرا شود که امکان تأمین، نگهداری و حمل‌ونقل محصولات سرد در شرایط مناسب و با کمترین هدررفت و خسارت به محصول فراهم شود. به همین دلیل، مدیریت بهینه‌سازی زنجیره تأمین سرد، بسیار مهم است و می‌تواند در کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت محصولات، افزایش رضایت و بهبود عملکرد کل زنجیره تأمین سرد در شرایط بحرانی و وقوع بلایا مؤثر باشد.

پیشینه پژوهش

نجفی و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به بررسی مکان‌یابی اسکان اضطراری و موقت بعد از رخداد زلزله با استفاده از مدل فازی پرداختند. در این پژوهش چگونگی دسترسی به مکان‌های اضطرار در زمان وقوع بحران و بلایا با استفاده از رویکردهای فازی تحلیل شد. هاشمی پطرودی و همکاران (۱۴۰۱) به مطالعه موانع انسانی شکل‌گیری اعتماد سریع در زنجیره تأمین بشردوستانه در شرایط وقوع بحران و بلایا پرداختند. دستیابی به شاخص‌های اطمینان‌بخش در طول زنجیره تأمین در شرایط وقوع زلزله مهم‌ترین دستاورد این پژوهش به شمار می‌آید. رضایی و همکاران (۱۴۰۰) ارائه مدل زنجیره تأمین با روش برنامه‌ریزی ریاضی به منظور بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تهیه و توزیع مواد غذایی را مورد مطالعه قرار دادند. الگوی یکپارچه شبکه زنجیره تأمین با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی برای بهینه‌سازی برنامه تهیه، ذخیره و توزیع مواد غذایی با هدف کاهش هزینه‌ها برای چند دوره ارائه شد.

مخلص‌آبادی و هاشمی گهر (۱۴۰۰) طراحی مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی در شبکه تأمین حلقه بسته سبز را بررسی کرده و اهمیت نقش بعد مالی و در نظر گرفتن هم‌زمان ابعاد زیست‌محیطی، مالی و اجتماعی در مدل ریاضی برای کسب مزیت رقابتی زنجیره تأمین حلقه بسته سبز را نشان دادند. شفیعی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی و ارائه یک مدل بهینه‌سازی استوار زنجیره تأمین پایدار برای محصولات فسادپذیر لبنی از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط استفاده کردند که هزینه‌های کل زنجیره را با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی بهینه می‌کند. نتایج، کارایی و قابلیت کاربرد مدل ارائه‌شده و دستیابی به راه‌حل‌های باکیفیت در زمان منطقی را نشان داد. اکبری و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود به طراحی یک شبکه زنجیره تأمین امداد بشردوستانه، مبتنی بر اتصال متقاطع براساس یک مدل ریاضی مبتنی بر فرابتکاری از نوع الگوریتم ژنتیک پرداختند و حالات گوناگون امدادرسانی را بررسی کردند.

ژانگ و همکاران (۲۰۲۳)، تأثیرات انتقال دیجیتال مبتنی بر بلاک‌چین بر زنجیره‌های تأمین سرد با ارائه‌دهنده خدمات لجستیکی در شرایط بحرانی را بررسی کردند و نشان دادند تکیه بر مکانیسم بازار ممکن است در شرایط بحران قادر به تصمیم‌گیری بهینه نشود. لیائو و همکاران (۲۰۲۳)، یک رویکرد سنجش عملکرد پایداری ترکیبی برای زنجیره تأمین غذای سرد در شرایط بحران و حوادث را با استفاده از تصمیم‌گیری راه‌حل ایده‌آل[10] مورد مطالعه قرار دادند.

توران و اوزتورکوگلو (۲۰۲۲) عملکرد زنجیره تأمین سرمای پایدار در صنعت داروسازی را بررسی کرده و نشان دادند بسته‌بندی، حمل‌ونقل، مشخصات ذخیره‌سازی و شیوه‌های جابه‌جایی، مدیریت موجودی، مسائل فنی و تأخیر تحویل به حادثه‌دیدگان در بلایا بیشترین تأثیر را در طول عملکرد زنجیره تأمین سرمایه پایدار در صنعت داروسازی دارند. یاوری و گرائیلی (۲۰۱۹)، یک زنجیره حلقه بسته برای محصولات فسادپذیر در صنایع لبنی با عدم قطعیت و بحرانی تقاضا طراحی کردند. سپس یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددی صحیح مختلط برای کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی و آلاینده‌ها و یک مدل استوار برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مقابله با عدم قطعیت و بحرانی مسئله ارائه کردند.

باتوجه‌به نتایج مطالعات پیشین و نبود مطالعه‌ای که به ارائه یک مدل ریاضی به‌منظور بهینه کردن زنجیره تأمین سرد در شرایط بحرانی و وقوع بلایا پرداخته باشد، مطالعه حاضر در صنایع مواد غذایی فسادپذیر انجام شده و درصدد دستیابی به مدلی است که براساس آن بهینگی زنجیره تأمین سرد مواد غذایی در شرایط وقوع بحران و بلایا حاصل شود.

روش

این مطالعه ازنظر هدف کاربردی و ازنظر روش اجرا مبتنی بر روش‌های پژوهش عملیاتی است و ماهیت توسعه‌ای دارد. متغیرهای این تحقیق از نوع ترکیبی کمی و کیفی هستند و عبارت‌اند از:

۱. میزان مواد غذایی ارسال‌شده از تأمین‌کننده به مراکز تهیه ؛

10. AHP-Fuzzy TOPSIS

۲. میزان محصول تهیه‌شده در مرکز تهیه؛

۳. میزان محصول تهیه‌شده ارسالی از مرکز تهیه به مراکز توزیع در بحران و بلایا؛

۴. میزان محصول تهیه‌شده ارسالی از مرکز توزیع به مراکز خدمت؛

۵. سطح موجودی محصولات در مراکز تهیه و توزیع در شرایط بحرانی.

روش اجرا

فرایند اجرای این مطالعه به صورت زیر است:

۱. شناسایی شاخص‌ها و متغیرهای مؤثر بر زنجیره تأمین سرد در شرایط بحرانی؛ ۲. تعیین روابط بین متغیرها و پارامترها؛ ۳. ارائه یک مدل ریاضی مناسب؛ ۴. جمع‌آوری داده‌های مرتبط؛ ۵. اجرای مدل ارائه‌شده؛ ۶- تحلیل و نتیجه‌گیری یافته‌ها.

در این مطالعه، مدل‌سازی مسئله طراحی زنجیره تأمین سرد در قالب مسئله تهیه و توزیع خدمت و محصولات نهایی به حادثه‌دیدگان با در نظر گرفتن محدودیت‌های جریان، تقاضا، ظرفیت و علامت ارائه شده است.

فرضیات مدل برنامه‌ریزی ریاضی، شامل نمادها، متغیرها و پارامترهای مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای نوشتن تابع هدف هستند. فرضیات اصلی مسئله عبارت‌اند از:

۱. تعداد و مکان تأمین‌کنندگان، مراکز تهیه و توزیع در مناطق آسیب‌دیده از بحران مشخص و ثابت هستند؛

۲. مدل به‌صورت دوره‌ای و چندکالایی است؛

۳. فاصله بین تأمین‌کنندگان، مراکز تهیه و توزیع در شرایط بحرانی مشخص است؛

۴. مقادیر هزینه‌ها مشخص است؛

۵. میزان تقاضای نقاط حادثه‌دیده مشخص است؛

۶. ظرفیت مراکز تهیه و توزیع محدود است؛

۷. مدل به‌صورت دوهدفه بوده و در راستای بهینه‌سازی زنجیره تأمین در شرایط بحرانی است؛

۸. پارامترهای تقاضا، هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های تهیه، هزینه‌های نگهداری موجودی و ظرفیت تسهیلات، دارای عدم قطعیت و بحرانی هستند؛

۹. کمبود مجاز است؛

۱۰. میزان حمل مواد اولیه به ضریب مصرف ماده اولیه در هر محصول بستگی دارد؛

۱۱. تقاضای حادثه‌دیدگان نهایی در برخی دوره‌ها می‌تواند برآورده نشود؛

۱۲. ظرفیت حجمی و وزنی وسایل نقلیه، یکسان فرض شده است؛

۱۳. موجودی محصول براساس سیاست صدور و خروج به ترتیب ورود از انبار تخلیه خواهد شد؛

۱۴. محصول دارای ماندگاری در دوره‌های ExpDate(p) است؛ یعنی از کالای تهیه‌شده در دوره زمانی i می‌توان برای تأمین تقاضا تا دوره ExpDate(p)+i استفاده کرد؛ در غیر این صورت، پس از دوره ExpDate(p)+i خراب می‌شود؛

۱۵. هر دسته از یک محصول، تاریخ انقضای یکسان دارد؛

۱۶. ارزش مواد و محصولات در مدت عمر قابل‌استفاده بودن آن‌ها کاهش نمی‌یابد؛

۱۷. کمبود موجودی به‌صورت تقاضای پس‌افت نسبی[11] در نظر گرفته می‌شود که بخشی از آن، پس‌افت و بخش دیگر، خدمت ازدست‌رفته[12] است.

نمادها، متغیرها و پارامترهای مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای نوشتن تابع هدف و محدودیت‌های مدل بهینه در صنعت فساد پذیر در جدول‌های شماره ۱، ۲، ۳ و ۴ ارائه شده است. بعد از تعریف متغیرها و پارامترهای مدل، توابع هدف مدل به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

تابع هدف اول

این تابع هدف به دنبال حداقل‌سازی هزینه‌های زنجیره تأمین سرد در شرایط بحران و وقوع بلایا است (فرمول شماره ۱).

1.

$$
\begin{aligned}
Min\ Z_1 = & \sum_{j\in J}\sum_{c\in C}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} F_{jcpt}R_p \\
& + \sum_{k\in K}\sum_{c\in C}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} F_{kcpt}R_p + \sum_{s\in S}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} F_{sjt}R_p \\
& - \Big(\sum_{s\in S}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} ps_{sj}F^1_{sjt} + \sum_{j\in J}\sum_{p1\in P}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} pcj_{jp}RP_{jp1t} + \sum_{j\in J}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} \\
& + \sum_{k\in K}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} hck_{kp}ILK_{kpt} + \sum_{c\in C}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} hcc_{cp}ILC_{cpt} + \sum_{s\in S}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} \\
& + \sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} d^2_{jk}F^2_{jkpt}tcf + \sum_{j\in J}\sum_{c\in C}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} d^3_{jc}F^3_{jcpt}tcf \\
& + \sum_{k\in K}\sum_{c\in C}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} d^4_{kc}F^4_{kcpt}tcf\Big)
\end{aligned}
$$

تابع هدف دوم

این تابع هدف به دنبال حداقل کردن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای طی حمل‌ونقل و خدمت‌رسانی به حادثه‌دیدگان است (فرمول شماره ۲).

11. Relative backwardness demand
12. Lost sales

جدول ۱. مجموعه‌های مدل ریاضی

نماد	شرح
P	نوع محصولات $P=\{۱، ۲، ۳، ۴\}$
S	مجموعه تأمین‌کنندگان $S=\{۱، ۲، ...، ۵\}$
J	مجموعه تهیه‌کنندگان $J=\{۱، ۲، ...، ۱۶\}$
K	مجموعه توزیع‌کنندگان $K=\{۱، ۲، ...، ۵\}$
C	مجموعه عرضه‌کنندگان $C=\{۱، ۲، ...، ۳۵\}$
T	تعداد دوره‌ها $T=\{۱، ۲، ...، ۱۲\}$

جدول ۲. پارامترهای مدل ریاضی

پارامترها	نماد	تعریف پارامتر
پارامترهای هزینه (بر حسب تومان)	PS_{sj}	هزینه تهیه محصول (p) از تأمین‌کننده s در دوره t
	PCJ_{jp}	هزینه تهیه محصول p در مرکز تهیه j
	hcj_{jp}	هزینه نگهداری موجودی محصول p در مرکز تهیه j
	hck_{kp}	هزینه نگهداری موجودی محصول p در مرکز توزیع k
	hcc_{cp}	هزینه نگهداری موجودی محصول p در مرکز خدمت c
	R_p	قیمت خدمت محصول p
	Tcf	هزینه حمل و نقل به ازای هر کیلومتر
پارامترهای فاصله (برحسب کیلومتر)	d_{sj}^{1}	فاصله از تأمین کننده s به مرکز تهیه j
	d_{jk}^{2}	فاصله از مرکز تهیه j به مرکز توزیع k
	d_{jc}^{3}	فاصله از مرکز تهیه j به نقطه خدمت c
	d_{kc}^{4}	فاصله از مرکز توزیع k به نقطه خدمت c
پارامترهای انتشار گاز دی اکسیدکربن (برحسب کیلوگرم)	$ECO2_{sj}^{1}$	میزان دی اکسیدکربن مواد غذایی ارسالی از تأمین‌کننده ۲ به مرکز تهیه j
	$ECO2_{jk}^{2}$	میزان دی اکسیدکربن مواد غذایی ارسالی از مرکز تهیه j به مرکز توزیع k
	$ECO2_{jc}^{3}$	میزان دی اکسیدکربن مواد غذایی ارسالی از مرکز تهیه j به مرکز خدمت c
	$ECO2_{kc}^{4}$	میزان دی اکسیدکربن مواد غذایی ارسالی از مرکز توزیع k به مرکز خدمت c
پارامترهای ظرفیت (برحسب کیلوگرم)	$CapS_s$	حداکثر ظرفیت نگهداری تأمین‌کننده s
	$CapJ_j$	حداکثر ظرفیت نگهداری مرکز تهیه j
	$CapK_k$	حداکثر ظرفیت نگهداری مرکز توزیع k
	$capC_c$	حداکثر ظرفیت نگهداری مرکز خدمت c
پارامتر تقاضا (برحسب کیلوگرم)	D_{cpt}	تقاضای c برای محصول p در هفته t

جدول ۳. متغیرهای تصمیم مدل ریاضی

نماد	تعریف متغیر تصمیم
RP_{jpt}	میزان محصول p تهیه شده در مرکز تهیه j در هفته t
F^1_{sjt}	میزان محصول ارسالی از تأمین کننده s به مرکز تهیه j در هفته t
F^2_{jkpt}	میزان محصول p ارسالی از مرکز تهیه j به مرکز توزیع k در هفته t
F^3_{jcpt}	میزان محصول p ارسالی از مرکز تهیه j به نقطه خدمت c در هفته t
F^4_{kcpt}	میزان محصول p ارسالی از مرکز توزیع k به نقطه خدمت c در هفته t
ILJ_{jpt}	سطح موجودی محصول p در مرکز تهیه j در هفته t
ILK_{kpt}	سطح موجودی محصول p در مرکز توزیع k در هفته t
ILC_{cpt}	سطح موجودی محصول p در مرکز خدمت c در هفته t

2.

$$Min\ Z_2 = \sum_{s\in S}\sum_{j\in J}\sum_{t\in T} ECO2^1_{sj}F^1_{sjt} + \sum_{j\in J}\sum_{k\in K}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} ECO2^2_{jk}F^2_{jkpt} + \sum_{j\in J}\sum_{c\in C}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} ECO2^3_{jc}F^3_{jcpt} + \sum_{k\in K}\sum_{c\in C}\sum_{p\in P}\sum_{t\in T} ECO2^4_{kc}F^4_{kcpt}$$

محدودیت‌ها، شامل محدودیت‌های جریان، ظرفیت، تقاضا و علامت هستند.

محدودیت‌های جریان

تعیین‌کننده میزان موجودی در مراکز پشتیبان و ستاد مدیریت بحران هستند (فرمول شماره ۳).

3.

$$ILJ_{jpt} = ILJ_{jpt-1} + PR_{jpt} - \sum_{j\in J} F^2_{jkpt} - \sum_{c\in C} F^3_{jcpt}$$

$$\mathrm{ILK}_{kpt} = ILK_{kpt-1} + \sum_{j\in J} F^2_{jkpt} - \sum_{c\in C} F^3_{jcpt}$$

$$ILC_{cpt} = ILC_{cpt-1} + \sum_{j\in J} F^3_{jcpt} - \sum_{c\in C} F^4_{kcpt}$$

محدودیت‌های ظرفیت

حداکثر ظرفیت تهیه و تأمین مواد غذایی و حداکثر ظرفیت مراکز توزیع در شرایط بحرانی و وقوع بلایا را نشان می‌دهد (فرمول شماره ۴).

4.

$$\sum_{j\in J} F^1_{sjt} \le CapS_s$$

$$\sum_{p\in P} PR_{jpt} \le CapJ_j$$

$$\sum_{p\in P} ILK_{kpt-1} + \sum_{j\in J}\sum_{p\in P} F^2_{jkpt} \le CapK_k$$

$$\sum_{k\in K} ILJ_{jpt-1} + \sum_{c\in C}\sum_{p\in P} F^3_{jcpt} \le capC_c$$

$$\sum_{k\in K} ILC_{cpt-1} + \sum_{c\in C}\sum_{p\in P} F^3_{jcpt} + \sum_{c\in C}\sum_{p\in P} F^4_{kcpt} \le capC_c$$

محدودیت تقاضا

میزان محصول ارسالی به نقاط تقاضا و نقاط حادثه‌دیده (فرمول شماره ۵)

5.

$$\sum_{j\in J} F^3_{jcpt} + \sum_{k\in K} F^4_{kcpt} \le D_{cpt}$$

جدول ۴. متغیرهای باینری

نماد	تعریف متغیر
Z_j	اگر مرکز تهیه j ایجاد شود عدد ۱، در غیر این صورت صفر
u_{jk}	اگر مرکز تهیه j به مرکزتوزیع k خدمت برساند عدد ۱، در غیر این صورت صفر
m_{jc}	اگر مرکز تهیه j به مرکز خدمت c خدمت برساند عدد ۱، در غیر این صورت صفر
n_{kc}	اگر مرکز توزیع k به مرکز خدمت c خدمت برساند عدد ۱، در غیر این صورت صفر

جدول ۵. مقادیر پارامترهای مدل ریاضی

پارامتر	Uniform/ مقدار
PS_{sj}	۱۰۰۰۰ ،۱۲۰۰۰
PCJ_{jp}	۱۰۰۰ ،۲۵۰۰
hcj_{jp}	۴۰۰ ،۵۰۰
hck_{kp}	۲۰۰ ،۳۰۰
hcc_{cp}	۷۵ ،۱۵۰
R_p	۲۳۴۰۰ ،۳۹۰۰۰
Tcf	۵۰۰ ،۲۰۰۰
d_{sj}^1	۳۰۰ ،۹۰۰
d_{jk}^2	۳۰ ،۱۰۰۰
d_{jc}^3	۲۰۰ ،۱۰۰۰
d_{kc}^4	۱۰۰ ،۱۳۰۰
ECO2	۰/۵ ،۲
$CapS_s$	۳۲۹۰۰۰۰
$CapJ_j$	۹۳۵۰۰۰
$Capk_K$	۷۲۹۰۰۰
$capC_c$	۴۵۹۰۰۰
D_{cpt}	۴۱۰۰۰۰

محدودیت‌های علامت (فرمول شماره ۶)

6.

$$PR_{jpt}, F_{sjt}^1, F_{jkpt}^2, F_{jcpt}^3, F_{kcpt}^4, ILJ_{jpt}, ILK_{kpt}, ILC_{cpt} \geq 0$$
$$Z_j, u_{jk}, m_{jc}, n_{kc} = \{0,1\}$$

روش‌های حل مدل عبارت‌اند از:

روش کلاسیک معیار جامع

هدف حداقل کردن مجموع انحرافات هدف است که برای مسائل بیشینه‌سازی و کمینه‌سازی استفاده می‌شود (فرمول شماره ۷).

7.

$$\min Z = \left(\sum_{g=1}^{p} \left(\frac{f_g^* - f_g}{f_g^*} \right)^r \right)^{1/r}$$

f_g^*: جواب ایدئال مسئله بیشینه‌سازی هدف

f_g: تابع هدف مربوط به آن

روش اپسیلون محدودیت تقویت‌شده

توابع هدف اولویت‌بندی شده و تابع هدف با بالاترین اولویت به‌عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود و تابع هدف بعدی به‌عنوان محدودیت شناخته می‌شود و حدود بالا و پایین برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود.

از روش‌های کاربردی در مدیریت و کنترل موجودی، می‌توان به روش مقدار سفارش اقتصادی اشاره کرد. مدل مقدار سفارش اقتصادی از مدل‌های نظریه زنجیره تأمین است که برای بهینه‌سازی موجودی و سفارش‌گیری محصولات استفاده می‌شود. در زنجیره تأمین سرد مواد غذایی از این مدل برای بهبود بهینگی استفاده می‌شود. در مدل مقدار سفارش اقتصادی به‌جای سفارش‌گیری مداوم، سفارش‌گیری به‌صورت دوره‌ای صورت می‌گیرد. با استفاده از مدل مقدار سفارش اقتصادی، می‌توان به‌صورت بهینه موجودی را کنترل کرد و هزینه‌های نگهداری و سفارش‌گیری را کاهش داد. همچنین این مدل به‌عنوان روشی

آسان برای به دست آوردن سفارش بهینه مورد استفاده است.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در این پژوهش در محیط نرم‌افزار GAMS نسخه ۲۴ انجام شده است. فاصله نسبی بهینگی CPLEX ۱۲ برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد و آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه برای مقایسه بین روش‌های حل مدل در محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ و در سطح معنی‌داری ($P<0/05$) انجام شد.

یافته‌ها

ابتدا برآورد پارامترهای مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط انجام شده و سپس نتایج حل مدل ارائه شده است. در ادامه آزمون بررسی فرضیات صورت گرفته و درنهایت ارزیابی عملکرد بهینه با روش مقدار سفارش اقتصادی انجام شده است.

برآورد پارامترهای مدل ریاضی

برآورد پارامترهای هزینه و خدمت

برآورد پارامترهای هزینه و خدمت براساس نظر خبرگان انجام شده است که شامل موارد زیر است:

- هزینه تمام‌شده تهیه و تأمین مواد غذایی از تأمین‌کنندگان در شرایط بحران: به ازای هر کیلوگرم ۱۲۰۰۰ تومان است.

- هزینه تهیه و تأمین مواد اولیه برابر با ۱۰۰۰۰ تومان است.

- هزینه تهیه محصولات برای ۴ محصول منتخب در سبد مواد غذایی امدادی معادل ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ تومان است.

- هزینه نگهداری موجودی در مراکز تهیه و توزیع و خدمت به ازای هر کیلوگرم در مراکز تهیه بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ تومان، در مراکز توزیع بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ تومان، در مراکز خدمت بین ۷۵ تا ۱۵۰ تومان.

- هزینه حمل‌ونقل عبارت است از حاصلضرب هزینه واحد حمل‌ونقل در مسافت طی‌شده. هزینه حمل از مراکز تأمین به مراکز تهیه برای هر یک کیلوگرم مواد غذایی خام ۲۰۰۰ تومان، حمل از مرکز تهیه به مراکز توزیع ۵۰۰ تومان، هزینه حمل از مراکز تهیه به مراکز خدمت ۲۰۰۰ تومان و هزینه حمل از مراکز توزیع به مراکز خدمت ۷۰۰ تومان است.

- قیمت خدمت ۴ نوع از محصولات به‌ازای هر ۱ کیلو برای ۴ محصول بین ۲۳۴۰۰ تا ۳۹۰۰۰ تومان است.

برآورد پارامترهای فاصله

- فاصله بین تأمین‌کنندگان تا مرکز حادثه‌دیده (تهران) از ۳۰۳ کیلومتر تا ۸۸۷ کیلومتر است.

- فاصله تهیه‌کنندگان (مرکز تهیه تهران) تا مراکز توزیع از ۳۴ کیلومتر تا ۹۰۷ کیلومتر است.

- فاصله از مراکز تهیه (مرکز تهیه تهران) تا شعب خدمت بین ۲۷۲ تا ۹۰۹ کیلومتر است.

- فاصله از مراکز توزیع تا نقطه خدمت (به‌عنوان مثال مرکز توزیع ستاد بحران زنجان) بین ۱۸۴ تا ۱۲۵۶ کیلومتر است.

برآورد پارامترهای ظرفیت

- ظرفیت تهیه: ظرفیت تهیه کارخانه مواد غذایی منتخب روزانه ۴۷۰ تن (۴۷۰۰۰۰ کیلوگرم) است.

- ظرفیت نگهداری: وقتی مقدار تهیه محصولات بیشتر از مقدار تقاضا باشد، مدل برنامه‌ریزی ریاضی می‌بایست مازاد تهیه را در انبار نگهداری کند. حداکثر ظرفیت نگهداری مواد غذایی در مراکز تهیه برای ۵ خدمتگاه ۳۴۰ تن (۳۴۰۰۰۰ کیلوگرم) است.

برآورد پارامترهای تقاضا

میزان تقاضا براساس جمعیت هریک از مراکز توزیع به‌ازای کیلوگرم برای هر محصول تهیه‌شده به دست آمده است که بین ۱۰۰۰۰ تا ۳۲۰۰۰ متغیر بود.

حل مدل

مدل ریاضی کدنویسی‌شده و پارامترهای مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط از تأمین‌کنندگان، تهیه‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و نقاط حادثه‌دیده استخراج GAMS 24 شدند. نرم‌افزار مربوطه از روش شاخه و کران برای حل مدل استفاده می‌کند و جواب بهینه و دقیق را برای مدل پیشنهادی در اختیار قرار می‌دهد. در این بخش نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی در قالب جدول و نمودار بیان شده و نتایج تحلیل می‌شوند. پارامترهای اصلی مدل ریاضی با استفاده از توزیع یکنواخت ارائه‌شده در جدول شماره ۵ به‌صورت تصادفی تهیه می‌شوند. بهترین مقادیر برای متغیرهای تصمیم مدل در جدول شماره ۶ ارائه شدند:

وضعیت متغیرها و پارامترها در حالت بهینگی زنجیره تأمین سرد به شرح زیر هستند:

- میزان محصول p تهیه‌شده در مرکز تهیه j در هفته t: (RP_{jpt}) ۱۸۰۰۰۰ تا ۳۲۹۰۰۰ کیلوگرم.

- میزان محصول ارسالی از تأمین‌کننده s به مرکز تهیه j در هفته t: (F_{sjt}^{1}) ۳۲۹۰۰۰۰ کیلوگرم.

- میزان محصول p ارسالی از مرکز تهیه j به مرکز توزیع k در هفته t: (F_{jkpt}^{2}) ۷۵۰۰۰ تا ۱۶۴۰۰۰ کیلوگرم.

جدول ۶. مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم براساس مدل ارائه‌شده و داده‌های مسئله

RP_{jpt} (kg)	p1: 329000 P2: 246000 P3: 180000 P4: 180000
$Fsjt^{1}$ (kg)	3290000
F_{jkpt}^{2} (kg)	P1: 164000 P2: 120000 P3: 80000 P4: 75000
F_{jcpt}^{3} (kg)	P1: 100000 P2: 100000 P3: 50000 P4:40000
F_{kcpt}^{4} (kg)	P1: 35000 P2: 20000 P3: 30000 P4: 35000
IL_{jjpt} (kg)	2596000
ILK_{kpt} (kg)	249000
ILC_{cpt} (kg)	270000

- میزان محصول p ارسالی از مرکز تهیه j به نقطه خدمت و منطقه آسیب‌دیده c در هفته t: (F_{jcpt}^{3}) ۴۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ کیلوگرم.

- میزان محصول p ارسالی از مرکز توزیع k به نقطه خدمت و منطقه آسیب‌دیده c در هفته t: (F_{kcpt}^{4}) ۲۰۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰ کیلوگرم.

- سطح موجودی محصول p در مرکز تهیه j در هفته t: (ILJ_{jpt}) ۲۵۹۶۰۰۰ کیلوگرم.

- سطح موجودی محصول p در مرکز توزیع k در هفته t (ILK-$_{kpt}$): ۲۴۹۰۰۰ کیلوگرم.

- سطح موجودی محصول p در مرکز خدمت و منطقه آسیب‌دیده c در هفته t: (ILC_{cpt}) ۲۷۰۰۰۰ کیلوگرم.

در جدول شماره ۷ مقادیر تابع هدف و میزان زمان پردازش در ۱۰ بازه طراحی‌شده در GAMS با روش معیار جامع و اپسیلون محدودیت آمده است. میزان زمان حل براساس ثانیه است. نتایج گرافیکی مدل ریاضی به لحاظ پارامتر مقادیر تابع هدف در تصویرهای شماره ۱ و ۲ ارائه شده است.

در تابع هدف اول، روش اپسیلون محدودیت دارای بیشترین مقدار تابع هدف و روش معیار جامع دارای کمترین مقدار است. از این‌رو روش معیار جامع دارای عملکرد بهتری برای ارزیابی تابع هدف اول است.

در تابع هدف دوم روش اپسیلون محدودیت در بازه نقاط ۱تا ۵ و نقاط ۸ تا ۱۰ دارای بیشترین مقدار و روش معیار جامع در نقاط ۱تا ۵ و نقاط ۸ تا ۱۰ دارای کمترین مقدار است. به‌طورکلی در مقایسه این دو روش در تابع هدف دوم، روش معیار جامع، عملکرد بهتری نسبت به روش اپسیلون محدودیت دارد.

جدول ۸. نتایج تحلیل واریانس مقایسه روش‌های حل مدل ریاضی توابع هدف و زمان اجرا

مدل	آماره F	سطح معنی‌داری (P)
تابع هدف اول	۰/۷۴۵	۰/۳۹۹
تابع هدف دوم	۱/۴۴۲	۰/۲۴۵
زمان	۰/۳۰۵	۰/۵۸۸

جدول ۷. نتایج حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی

مثال	روش معیار جامع			روش اپسیلون محدودیت		
	Z1	Z2	Time (s)	Z1	Z2	Time (s)
۱	۵۴۵۷۴۰۰	۳۱۰۶	۶/۱۲	۵۹۹۵۳۰۰	۳۶۲۴	۳/۱۴
۲	۵۴۶۷۱۵۰	۳۱۲۳	۷/۲۰	۵۹۲۴۴۵۰	۳۶۴۰	۸/۲
۳	۵۴۴۴۶۵۰	۳۱۲۱	۸/۲۷	۵۶۸۱۲۴۰	۳۶۴۰	۷/۲
۴	۴۷۰۶۱۰۰	۳۱۰۵	۶/۲	۵۰۵۱۶۰۰	۳۴۵۰	۷/۸
۵	۴۱۴۴۲۱۰	۳۱۱۰	۷/۱	۵۰۴۴۲۰۰	۳۵۲۰	۶/۲۳
۶	۲۹۵۸۱۰۰	۲۹۶۵	۶/۵	۳۴۸۲۷۰۰	۱۲۸۳	۶/۷
۷	۲۲۱۴۱۱۰	۶۵۱۶	۷/۱	۳۲۱۵۲۱۰	۱۵۷۰	۸/۶
۸	۵۴۶۷۱۵۰	۳۱۳۵	۷/۵	۵۵۰۱۸۵۰	۸۵۴۷	۳/۲
۹	۲۸۹۹۰۰۰	۳۱۲۰	۳/۵	۲۹۰۰۹۰۰	۷۶۶۰	۳/۹
۱۰	۴۱۴۴۲۰۰	۳۱۲۰	۷/۶	۴۷۱۰۵۱۰	۸۵۷۰	۷/۸

تحلیل آماری فرضیه‌ها

جهت مقایسه نتایج روش‌ها از آزمون تحلیل واریانس استفاده شد. نتایج حاصل از این آزمون برای تابع هدف اول، دوم و زمان‌های اجرا در جدول شماره ۸ نشان داده شده است.

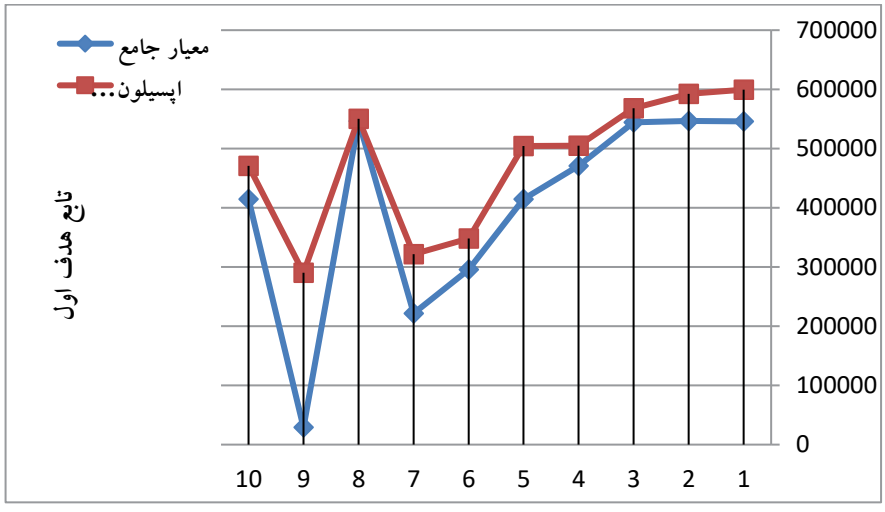
نتایج تحلیل واریانس مقایسه روش‌های معیار جامع و روش اپسیلون محدودیت تقویت‌شده برای توابع هدف اول، دوم و زمان نشان می‌دهد بین دو روش به‌کاررفته جهت پیش‌بینی بهینگی زنجیره تأمین مواد غذایی فسادپذیر تفاوت معنی‌داری وجود ندارد و از هر دو روش می‌توان استفاده کرد (P>۰/۰۵).

ارزیابی عملکرد بهینه با روش مقدار سفارش اقتصادی

بعد از انتخاب بهترین روش، مقدار تابع هدف بهینه نسبت به تغییرات برخی از پارامترهای اصلی مدل بررسی می‌شود. مقدار سفارش اقتصادی با استفاده از فرمول شماره ۸ محاسبه می‌شود.

جدول ۹. محاسبه مقادیر سفارش اقتصادی

نقاط پارتو	مقدار تابع هدف تصادفی	مقدار سفارش اقتصادی
۱	۵۴۵۷۴۰۰	۶۴۱۷
۲	۵۴۶۷۱۵۰	۵۱۵۶
۳	۵۴۴۴۶۵۰	۴۵۸۱
۴	۴۷۰۶۱۰۰	۳۸۵۶
۵	۴۱۴۴۲۱۰	۳۸۸۹
۶	۲۹۵۸۱۰۰	۳۱۷۰
۷	۲۲۱۴۱۱۰	۳۴۳۶
۸	۵۴۶۷۱۵۰	۳۷۶۰
۹	۲۸۹۹۰۰۰	۳۱۴۴
۱۰	۴۱۴۴۲۰۰	۲۴۷۲



تصویر ۱. مقایسه مقادیر تابع هدف اول مربوط به هزینه کل در مدل‌های حل مدل ریاضی

8.

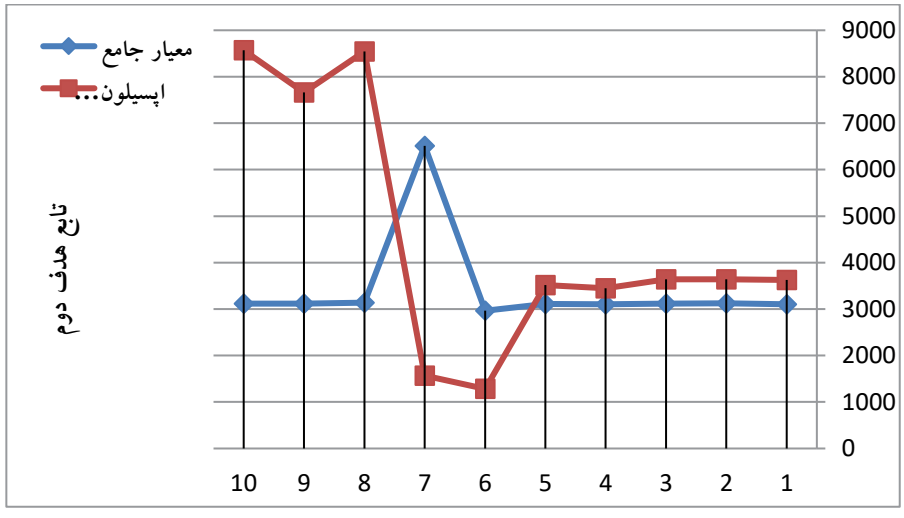
$$EOQ = \sqrt{\left(\frac{2DS}{H}\right)}$$

نتایج حاصل از بررسی مقادیر روش مقدار سفارش اقتصادی به ازای مقادیر تقاضا (D) بین ۱۱۰۰۰ تا ۳۲۰۰۰، هزینه تهیه (S) بین ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰، هزینه نگهداری (H) بین ۷۵ تا ۵۰۰ و مقایسه آن با مقادیر تابع هدف تصادفی در جدول شماره ۹ نشان داده شده است.

براساس مقایسه مقادیر تابع هدف بهینه می‌توان گفت بهترین مقدار تابع هدف که در آن نقطه هزینه‌ها کاهش می‌یابند، باتوجه‌به مقدار سفارش اقتصادی، مربوط به نقطه ۷ است. مقدار بهینه سفارش اقتصادی در این نقطه برابر است با مقدار ۳۴۳۶ واحد. به عبارتی نقطه سفارش بهینه در مدل زنجیره تأمین سرد برابر با ۳۴۳۶ واحد است و وقتی موجودی انبار خدمت برای هر محصول به این تعداد رسید مجدداً سفارشات جدید وارد انبار می‌شوند. زنجیره تأمین سرد در صنایع غذایی به‌صورت دائمی و بدون وقفه است.

بحث

مطالعه حاضر به ارائه مدل ریاضی به‌منظور بهینگی در زنجیره تأمین سرد مواد غذایی در شرایط بحرانی و وقوع بلایا پرداخته است. زنجیره تأمین پیشنهادی، شامل تأمین‌کننده، تهیه‌کننده، توزیع‌کننده و مراکز خدمت هستند. زنجیره تأمین مواد غذایی منتخب در این پژوهش‌ها از تأمین‌کنندگان اولیه آغاز و به مراکز تهیه که شامل ۱۶ مرکز هستند فرستاده می‌شود. این مراکز



تصویر ۲. مقایسه مقادیر تابع هدف دوم مربوط به هزینه کل در مدل‌های حل مدل ریاضی

قادر به تهیه محصولات متفاوت و به‌صورت چنددوره‌ای هستند و ستادهای مدیریت بحران می‌توانند کالاهای موردنیاز خود را مستقیماً ازطریق تهیه‌کنندگان و یا از کانال‌های توزیع که در ۵ مرکز در کشور فعال هستند دریافت کنند. ستادهای مرکزی مدیریت بحران که شامل ۳۵ شعبه در سراسر کشور هستند از ۲ طریق محصولات موردنیاز خود را دریافت می‌کنند: یا مستقیماً ازطریق تهیه‌کننده و یا ازطریق کانال‌های توزیع که به آن اشاره شد.

نتیجه‌گیری

سؤال اصلی پژوهش عبارت بود از اینکه مدل ریاضی مناسب به‌منظور بهینه‌سازی عملکرد زنجیره تأمین سرد در صنایع غذایی در شرایط بحرانی چیست؟ در این پژوهش از مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط به‌منظور بهینه‌سازی عملکرد در زنجیره تأمین صنایع غذایی در شرایط اضطراری و بحرانی استفاده شد. مدل موجود دارای دو تابع هدف به‌منظور حداقل کردن هزینه‌ها و همچنین حداقل کردن انتشارات گازهای گلخانه‌ای بود. برای این مدل ارائه‌شده ۱۱ محدودیت تعریف شد. همسو با یافته‌های پژوهش می‌توان به مطالعاتی اشاره کرد که تا حدودی با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد؛ ربیعی و اعتباری (۱۴۰۱) از مدل ریاضی عددصحیح برای مسئله مکان‌یابی ـ مسیریابی مواد غذایی فاسدشدنی با در نظر گرفتن وابستگی مصرف سوخت استفاده کردند. شفیعی و همکاران (۱۳۹۹) جهت ارائه یک مدل بهینه‌سازی استوار زنجیره تأمین پایدار برای محصولات فسادپذیر لبنی و مصطفی‌زاده و جعفری (۱۳۹۴) در ارائه مدل ریاضی چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار با در نظر گرفتن مدیریت موجودی از مدل غیرخطی عدد صحیح مختلط استفاده کردند. حسنی سعدی (۱۳۹۸) از مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط جهت یافتن زمان و مسیر مناسب برای توزیع کالاهای فاسدشدنی در شرایط بحرانی از مرکز تهیه به مراکز پخش در زنجیره سرد سازمان انتقال خون استان کرمان استفاده کرد. گلستانی و همکاران (۲۰۲۱) برای ارائه یک مدل مکان‌یابی‌های سبز چندهدفه با توزیع مشترک چند آیتم ـ چند دما برای محصولات فاسدشدنی در زنجیره تأمین سرد و یاوری و گرائیلی (۲۰۱۹) برای ارائه یک زنجیره حلقه بسته برای محصولات فسادپذیر در صنایع غذایی با عدم قطعیت و بحرانی تقاضا از مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط استفاده کردند.

در پاسخ به این سؤال که شاخص‌ها و متغیرهای مؤثر بر عملکرد زنجیره تأمین کدام‌اند؟ نتایج بررسی مدل نشان داد شاخص‌های مؤثر بر عملکرد زنجیره تأمین سرد صنایع، شامل پارامترهای هزینه و خدمت، پارامترهای فاصله، پارامترهای انتشار گاز دی‌اکسید کربن، پارامترهای ظرفیت و پارامتر تقاضا بودند. متغیرهای تصمیم در مدل پژوهش حاضر، شامل میزان مواد غذایی ارسالی از تأمین‌کنندگان به تهیه‌کنندگان، میزان محصولات تهیه‌شده در مرکز تهیه، میزان محصولات ارسالی از مراکز تهیه به مراکز توزیع در شرایط بحرانی، میزان محصولات ارسالی از مراکز توزیع به نقاط خدمت‌رسان، سطح موجود محصولات در مراکز تهیه و توزیع در شرایط بحرانی بودند.

در پاسخ به این سؤال که روابط متغیرها و پارامترها در زنجیره تأمین سرد مواد غذایی چگونه است؟ باید گفت روابط از نوع خطی و به‌صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است. با استفاده از ۲ روش کلاسیک معیار جامع و روش اپسیلون محدودیت تقویت‌شده به بررسی مدل ریاضی خطی عدد صحیح مختلط پرداخته شد. ۱۰ مثال عددی با مقادیر توابع هدف مختلف در زمان‌های مختلف برای هر دو روش به دست آمد و نتایج نشان داد مدل معیار جامع در مقایسه با روش اپسیلون محدودیت تقویت‌شده دارای عملکرد بهتری برای توابع هدف است. در تکرار نهم مقادیر توابع هدف Z_1=۲۸۹۹۰۰ و Z_2=۳۱۲۰ بهینه شد.

یافته‌های حاصل از فرضیه‌های تحقیق براساس آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه نشان داد استفاده از مدل‌های ریاضی در بهینگی زنجیره تأمین سرد صنایع غذایی در شرایط بحرانی تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد و بین روش‌های معیار جامع و اپسیلون محدودیت و همچنین زمان پردازش بین آن‌ها تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($P<0/05$). همچنین استفاده از مدل‌های ریاضی در بالا بردن کیفیت صنایع غذایی تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد و بهینگی زنجیره تأمین ازطریق ارائه مدلی ریاضی بر عملکرد صنایع تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد.

از مدل ارائه‌شده می‌توان در بهینه‌سازی خدمت‌رسانی در زمان وقوع بلایا، حوادث و بحران‌ها استفاده کرد تا ضمن سرعت بخشیدن به فرایند توزیع مواد غذایی در نقاط حادثه‌دیده، کمترین هزینه به سازمان‌های متولی و درنهایت به دولت تحمیل شود. مدل ارائه‌شده در این پژوهش می‌تواند در ابعاد بزرگ‌تر و با عنایت به محدودیت‌های تعداد وسائل حمل‌ونقل، روش‌های نوین امدادرسانی مبتنی بر رباتیک، محدودیت‌های زمانی و مشابه آن توسعه پیدا کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله نمونه‌هاي انساني و حيواني نداشته است. براين‌اساس نیاز به کد اخلاق نبود و تمام قوانین اخلاق در پژوهش رعایت شده است.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

Akbari, H., Mohtashami, A., & Yazdani, M. (2024). [Designing a humanitarian supply chain network considering cross-docking (Persian)]. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems, 11*(23), 139-159. [DOI:10.22084/ier.2024.5570]

Bosona, T., & Gebresenbet, G. (2013). Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. *Food Control, 33*(1), 32-48. [DOI:10.1016/j.foodcont.2013.02.004]

Dandage, K., Badia-Melis, R., & Ruiz-Garcia, L. (2017). Indian perspective in food traceability: A review. *Food Control, 71,* 217-227. [DOI:10.1016/j.foodcont.2016.07.005]

Golestani, M., Moosavirad, S. H., Asadi, Y., & Biglari, S. H. (2021). A multi-objective green hub location problem with multi item-multi temperature joint distribution for perishable products in cold supply chain. *Sustainable Production and Consumption, 27,* 1183-1194. [DOI:10.1016/j.spc.2021.02.026]

Hasani, M. (2019). [Developing a model to find the appropriate time and route for distributing perishable goods from the procurement center to the distribution centers in the cold chain (Case study of the Kerman Province Blood Transfusion Organization) (Persian)] [MA thesis]. Kerman: Shahid Bahonar University of Kerman.

Hashemi Petrudi, S. H., & Jalali, R. (2022). [Studying the human barriers to swift trust in the humanitarian supply chain (Persian)]. *Journal of Sustainable Human Resource Management, 4*(6), 160-143. [Link]

Hosseinpoor, R. (2021). [The importance and role of crisis logistics in the supply and support chain of crisis management (with an emphasis on the logistics of the armed forces) (Persian)]. *Crisis Management Studies, 13*(3), 33-58. [Link]

Kheildar, F., Samouei, P., & Ashayeri, J. (2024). Humanitarian smart supply chain: Classification and new trends for future research. *Journal of Optimization in Industrial Engineering ,2* (16) ,15-40. [Link]

Kheirabadi, M., Azar, A., & Shahrozi. (2012). [Identification, development and selection of green supply chain components (glass industry) (Persian)]. Paper presented at: The First National Conference of the Iranian Glass Industry, Tehran, Iran, 6-6 June 2012.

Liao, J., Tang, J., Vinelli, A., & Xie, R. (2023). A hybrid sustainability performance measurement approach for fresh food cold supply chains. *Journal of Cleaner Production, 398,* 136466. [DOI:10.1016/j.jclepro.2023.136466]

Luo, H., Zhu, M. J., Ye, S. G., Hou, H. P., Chen, Y., & Bulysheva, L. (2016). An intelligent tracking system based on internet of things for the cold chain. *Internet Research, 26*(2), 435-445. [DOI:10.1108/IntR-11-2014-0294]

Mgonja, J. T., Luning, P., & Van der Vorst, J. (2013). Diagnostic model for assessing traceability system performance in fish processing plants. *Journal of Food Engineering, 118*(2), 188-197. [DOI:10.1016/j.jfoodeng.2013.04.009]

Mokhlesabadi, S., & Hashemi Gohar, M. (2022). [Designing a fuzzy goal programming (FGP) model in green supply network closed loop (GSNCL) (Persian)]. *Journal of Decisions and Operations Research, 6*(Special Issue), 1-30. [DOI:10.22105/dmor.2021.296381.1451]

Mostafazade, M., & Jafari, A. (2015). [*Presenting a multi-objective mathematical model for sustainable supply chain network design considering inventory management* (Persian). Paper presented at: The 14th International Conference on Traffic and Transportation Engineering, Tehran, Iran, 24 February 2015. [Link]

Najafi, E. (2023). [Locating emergency and temporary housing after the earthquake in Damghan using fuzzy model (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge, 13* (1), 5. [Link]

Olsen, P., & Borit, M. (2013). How to define traceability. *Trends in Food Science & Technology, 29*(2), 142-150. [DOI:10.1016/j.tifs.2012.10.003]

Rabiee, H., & Etebari, F. (2022). [Presenting a mathematical location-routing model for the perishable products considering dependency of fuel consumption to the vehicle' loading (Persian)]. *Industrial Management Studies, 20*(67), 159-201. [DOI:10.22054/jims.2020.29472.1983]

Rezaei, M., Dabbagh, R., & Baba Zade, R. (2021). [Presenting a supply chain model using a mathematical programming method to optimize product distribution plan in the fruit industry (Persian)]. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 52*(4), 773-785. [DOI:10.22059/ijaedr.2021.310349.668951]

Ringsberg, H. (2014). Perspectives on food traceability: A systematic literature review. *Supply Chain Management, 19*(5-6), 558-576. [DOI:10.1108/SCM-01-2014-0026]

Ruiz-Garcia, L., Barreiro, P., Robla, J. I., & Lunadei, L. (2010). Testing ZigBee motes for monitoring refrigerated vegetable transportation under real conditions. *Sensors, 10*(5), 4968-4982. [DOI:10.3390/s100504968]

Shafiee, F., Kazemi, A., Jafarnejad, A., Sazvar, Z., & Amoozad Mahdiraji, H. (2020). [Proposing a robust optimization model for sustainable supply chain of perishable dairy products (Persian)]. *Research in Production and Operations Management, 11*(3), 17-46. [DOI:10.22108/jpom.2021.124952.1290]

Turan, C., & Ozturkoglu, Y. (2022). Investigating the performance of the sustainable cold supply chain in the pharmaceutical industry.*International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing, 16*(3), 448-467. [DOI:10.1108/IJPHM-04-2021-0043]

Yavari, M., & Geraeli, M. (2019). Heuristics method for robust optimization model for green closed-loop supply chain network design of perishable goods. *Journal of Cleaner Production, 226,* 282-305. [DOI:10.1016/j.jclepro.2019.03.279]

Zhang, X., Li, Z., & Li, G. (2023). Impacts of blockchain-based digital transition on cold supply chains with a third-party logistics service provider. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 170,* 103014. [DOI:10.1016/j.tre.2023.103014]