Journal of Industrial Innovations 4(1) (2026) 96 – 118

Industrial Innovations

https://jii.araku.ac.ir

ISSN: 3092-7811

Evaluation of Sales Channels in a Viable Supply Chain with Emphasis on Industry 5.0 Requirements: A Case Study of the Lubricant Industry

Seyed Mahdi Oladali [a], Hossein Amoozad khalili [b*], Zahra Saeidi Mobarakeh [c], Ehsan Momeni [d]

[a] Department of Management, Ro.C., Islamic Azad University, Roudehen, Iran. sm.oladali@iau.ac.ir
[b] Department of Industrial Engineering, Sar.C., Islamic Azad University, Sari, Iran. ho.amoozad@iau.ac.ir
[c] Department of Industrial Engineering, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran. z.saeidimobarakeh@iau.ac.ir
[d] Department of Industrial Engineering, Par.C., Islamic Azad University, Pardis, Iran. ehs_momeni@iau.ac.ir

Original Article

Use your device to scan and read the article online

Citation: Oladali S M, Amoozad khalili H, Saeidi Mobarakeh Z, Momeni E. Evaluation of Sales Channels in a Viable Supply Chain with Emphasis on Industry 5.0 Requirements: A Case Study of the Lubricant Industry. Industrial Innovations. 2026; 4(1):96-118.

https://doi.org/10.66224/jii.4.1.96

KEYWORDS

Viable supply chain;
Circular economy;
Industry 5.0;
Sales channels;
Lubricant industry.

ABSTRACT

This study aims to develop an integrated analytical framework for evaluating and ranking distribution centers and sales channels within a viable supply chain in the lubricant industry (case study: Behran Oil Company), with simultaneous emphasis on circular economy principles and the requirements of Industry 5.0. The research adopts a multi-criteria decision-making approach within a two-stage scenario-based model. In the first stage, evaluation criteria were identified through literature review, industrial documents, and expert opinions, and categorized into six dimensions. The criteria were then weighted using a stochastic fuzzy Best–Worst Method under three scenarios: optimistic, most likely, and pessimistic. In the second stage, distribution centers and sales channels were assessed and ranked using stochastic fuzzy TOPSIS. The results indicate that resilience is the most significant dimension, followed by sustainability and agility, while digitalization received the lowest weight. Among sub-criteria, distribution capacity flexibility and operational recovery speed were the most influential factors. The ranking results show that Center 6 achieved the highest performance, whereas Center 3 demonstrated the weakest performance. Comparative analysis with conventional methods confirmed the robustness and reliability of the proposed approach. The framework provides a practical tool for strategic decision-making at the mid-network level.

Extended Abstract

1. Introduction

In recent years, supply chains have been exposed to unprecedented levels of uncertainty, disruption, and environmental pressure. Global crises, rapid technological changes, volatile demand patterns, and increasing sustainability requirements have demonstrated that traditional supply chain management approaches focused solely on efficiency and cost minimization are no longer sufficient. Consequently, the concept of the Viable Supply Chain (VSC) has emerged as a comprehensive paradigm integrating resilience, sustainability, agility, and digitalization to ensure long-term survivability and competitiveness. Simultaneously, the growing adoption of the Circular Economy (CE) paradigm has encouraged organizations to move away from the traditional linear model of "take–make–dispose" toward resource conservation, waste reduction, reuse, recycling, and lifecycle management. The integration of circular economy principles into supply chain operations contributes not only to environmental sustainability but also to improved resource efficiency and long-term economic performance.

* Corresponding author.
E-mail address: ho.amoozad@iau.ac.ir
DOI: https://doi.org/10.66224/jii.4.1.96
Received: February 20, 2026; Received in revised form: April 24, 2026; Accepted: May 5, 2026.
TuesdayArticle type: Research Paper

Furthermore, the emergence of Industry 5.0 has expanded the scope of supply chain management beyond technological advancement. Unlike Industry 4.0, which primarily focuses on automation and digital transformation, Industry 5.0 emphasizes human-centricity, sustainability, resilience, and responsible use of advanced technologies. Therefore, modern supply chains are expected to simultaneously satisfy economic, environmental, social, and technological requirements.

Distribution centers and sales channels represent critical intermediate nodes within supply chain networks. Their performance directly affects customer service levels, logistics costs, responsiveness, resilience, and overall network effectiveness. Despite their strategic importance, previous studies have largely concentrated on facility location, supplier selection, and network optimization, while relatively limited attention has been paid to the comprehensive evaluation of distribution centers and sales channels under the integrated perspectives of viable supply chains, circular economy, and Industry 5.0.

To address this research gap, this study develops a comprehensive analytical framework for evaluating and ranking distribution centers and sales channels in a viable supply chain, incorporating circular economy dimensions and Industry 5.0 requirements. The lubricant industry, specifically Behran Oil Company, is selected as the case study due to its extensive distribution network, diverse product portfolio, and significant operational complexity.

2. **Methodology**

This research adopts a multi-criteria decision-making (MCDM) approach and proposes a two-stage scenario-based evaluation framework.

In the first stage, evaluation criteria and sub-criteria were identified through an extensive review of the literature, industrial reports, and expert opinions. The identified criteria were categorized into six major dimensions:

1. Sustainability
2. Resilience
3. Agility
4. Digitalization
5. Human-centricity
6. Circular Economy

A panel of industry experts participated in the evaluation process. To address uncertainty and ambiguity in expert judgments, the Stochastic Fuzzy Best-Worst Method (SFBWM) was employed for criteria weighting. Three decision scenarios were considered, including optimistic, most-likely, and pessimistic conditions. Expert assessments were represented using fuzzy linguistic variables, and scenario probabilities were incorporated into the weighting process to generate robust and reliable criteria weights.

In the second stage, the performance of distribution centers and sales channels was assessed using the Stochastic Fuzzy TOPSIS (SFTOPSIS) method. The weighted evaluation matrix was constructed based on expert assessments, and alternatives were ranked according to their relative closeness to the ideal solution. Similar to the weighting phase, uncertainty was incorporated through fuzzy evaluations and multiple scenarios.

To validate the effectiveness of the proposed framework, the obtained results were compared with several conventional MCDM approaches, including Traditional Best-Worst Method (TBWM), Fuzzy Best-Worst Method (FBWM), Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP), Fuzzy TOPSIS, and Fuzzy VIKOR.

3. **Results**

The results of the stochastic fuzzy Best-Worst analysis reveal that resilience is the most important evaluation dimension, followed by sustainability and agility. Digitalization received the lowest relative importance among the six dimensions. These findings indicate that the ability of distribution centers to maintain operational continuity and recover from disruptions is more critical than technological capabilities alone.

Among the resilience sub-criteria, distribution capacity flexibility and operational recovery speed received the highest weights, highlighting the significance of adaptive capacity and rapid recovery in maintaining supply chain viability. In the sustainability dimension, economic sustainability emerged as the most influential factor, emphasizing the importance of long-term financial stability alongside environmental and social responsibilities.

Within the agility dimension, the ability to modify sales channel structures and rapidly adjust distribution plans were identified as key determinants of superior performance. In the circular economy dimension, lifecycle traceability of products and efficient reuse of distribution assets were found to be particularly important. Regarding human-centricity, occupational health and safety obtained the highest weight, reflecting the increasing importance of workforce well-being under Industry 5.0 principles.

The results of the Stochastic Fuzzy TOPSIS evaluation demonstrate substantial differences among the evaluated distribution centers. Distribution Center 6 achieved the highest overall performance score and ranked first among all alternatives. Its superior performance can be attributed to balanced achievements across resilience, sustainability, agility, circular economy, and human-centricity dimensions. Distribution Centers 2 and 7 occupied the second and third positions, respectively, indicating acceptable performance with potential for further improvement.

Conversely, Distribution Center 3 exhibited the weakest performance and the greatest distance from the ideal solution. This result suggests significant deficiencies in operational flexibility, resilience capabilities, and strategic alignment with circular economy and Industry 5.0 requirements. Therefore, corrective actions and structural improvements are recommended for this center.

The comparative analysis further confirms the effectiveness of the proposed framework. The stochastic fuzzy Best-Worst method produced lower total deviation values than conventional weighting approaches, indicating greater consistency with expert judgments. Similarly, the ranking outcomes generated by the stochastic fuzzy TOPSIS approach showed strong

agreement with those obtained from alternative MCDM methods, demonstrating the robustness and reliability of the proposed methodology.

4. **Cocnlusion**

This study presents a novel integrated framework for evaluating distribution centers and sales channels within a viable supply chain by simultaneously considering circular economy principles and Industry 5.0 requirements. The proposed two-stage framework combines the Stochastic Fuzzy Best-Worst Method and Stochastic Fuzzy TOPSIS to address uncertainty and improve decision-making quality.

The findings indicate that resilience constitutes the most critical capability for distribution centers operating in uncertain environments. Distribution capacity flexibility, operational recovery speed, and lifecycle traceability emerged as the most influential sub-criteria. The results also demonstrate that successful supply chain performance requires a balanced combination of resilience, sustainability, agility, human-centricity, and circular economy capabilities rather than focusing on a single dimension.

From a managerial perspective, the proposed framework provides a practical decision-support tool for evaluating distribution centers, prioritizing investments, improving operational performance, and enhancing long-term supply chain viability. Moreover, the framework contributes to the academic literature by integrating viable supply chain theory, circular economy concepts, and Industry 5.0 requirements within a unified evaluation structure.

Future studies may extend the proposed framework by incorporating optimization models, real-time operational data, advanced artificial intelligence techniques, and dynamic network configurations. Additionally, applying the framework to other industries and geographical contexts could further validate its generalizability and practical applicability.

نوآوری‌های صنعتی

شاپا: ۷۸۱۱-۳۰۹۲

ارزیابی کانال‌های فروش در زنجیره تأمین بادوام با در نظر گرفتن ابعاد اقتصاد چرخشی و انقلاب صنعتی پنجم: مطالعه موردی صنعت روانکار

سید مهدی اولادعلی[الف]، حسین عموزاد خلیلی[ب*]، زهرا سعیدی مبارکه[ج]، احسان مومنی[د]

[الف] گروه مدیریت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران. sm.oladali@iau.ac.ir

[ب] گروه مهندسی صنایع، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران. ho.amoozad@iau.ac.ir

[ج] گروه مهندسی صنایع، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. z.saeidimobarakeh@iau.ac.ir

[د] گروه مهندسی صنایع، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، پردیس، ایران. ehs_momeni@iau.ac.ir

واژگان کلیدی

زنجیره تأمین بادوام؛ اقتصاد چرخشی؛ انقلاب صنعتی پنجم؛ کانال‌های توزیع؛ صنعت روانکار.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵

چکیده

این پژوهش با هدف طراحی یک چارچوب تحلیلی یکپارچه برای ارزیابی و رتبه‌بندی مراکز توزیع و کانال‌های فروش در زنجیره تأمین بادوام صنعت روانکار (مطالعه موردی: شرکت نفت بهران) و با تأکید هم‌زمان بر اقتصاد چرخشی و الزامات انقلاب صنعتی پنجم انجام شده است. روش تحقیق مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل دومرحله‌ای سناریو محور است. در گام نخست، معیارها بر اساس مرور ادبیات، اسناد صنعتی و نظر خبرگان در شش بعد اصلی استخراج و با بهره‌گیری از روش بهترین–بدترین فازی تصادفی در سه سناریو وزن‌دهی شدند. در گام دوم، گزینه‌ها با استفاده از تاپسیس فازی تصادفی ارزیابی و رتبه‌بندی گردیدند. نتایج نشان داد تاب‌آوری مهم‌ترین بعد ارزیابی است و پس از آن پایداری و چابکی قرار دارند، درحالی‌که دیجیتال‌سازی کمترین وزن را کسب نمود. همچنین انعطاف‌پذیری ظرفیت توزیع و سرعت بازیابی عملیات اثرگذارترین زیرمعیارها بودند. یافته‌های رتبه‌بندی حاکی از برتری مرکز ششم و ضعف عملکرد مرکز سوم است. مقایسه با روش‌های متداول نیز پایداری نتایج و قابلیت اتکای رویکرد پیشنهادی را تأیید می‌کند. این چارچوب ابزاری کاربردی برای تصمیم‌گیری راهبردی در سطح میانی شبکه فراهم می‌آورد.

۱- مقدمه

در عصر رقابتی و پرتلاطم کنونی، زنجیره‌های تأمین به‌عنوان ستون فقرات فعالیت‌های صنعتی و تجاری، نقشی تعیین‌کننده در بقای سازمان‌ها و حفظ مزیت رقابتی آن‌ها ایفا می‌کنند [۱]. افزایش پیچیدگی بازارها، تغییرات سریع ترجیحات مشتریان، فشارهای زیست‌محیطی و اجتماعی و بروز اختلالات گسترده نظیر بحران‌های اقتصادی، نوسانات شدید تقاضا و همه‌گیری‌ها، موجب شده است که رویکردهای سنتی مبتنی بر حداقل‌سازی هزینه و کارایی کوتاه‌مدت دیگر پاسخگوی نیازهای واقعی سازمان‌ها نباشند[۲-۴]. در چنین شرایطی، توجه به مفهوم زنجیره تأمین بادوام که به‌طور هم‌زمان ابعاد پایداری، تاب‌آوری، چابکی و دیجیتال‌سازی را در برمی‌گیرد، به یک ضرورت راهبردی در طراحی و مدیریت شبکه‌های تأمین تبدیل شده است. زنجیره تأمین بادوام نه‌تنها به دنبال بهبود عملکرد در شرایط عادی است، بلکه توان سیستم را برای حفظ تداوم فعالیت و خلق ارزش پایدار در مواجهه با عدم‌قطعیت‌ها و بحران‌های پیش‌بینی‌نشده تقویت می‌کند. [۵-۶].

* نویسنده مسئول؛

آدرس پست الکترونیک: ho.amoozad@iau.ac.ir

در کنار این رویکرد، اقتصاد چرخشی به‌عنوان یکی از پارادایم‌های نوین در مدیریت زنجیره تأمین، نقش مکمل و تعیین‌کننده‌ای در تحقق اهداف بادوام بودن ایفا می‌کند. اقتصاد چرخشی با فاصله گرفتن از الگوی خطی «تولید–مصرف–دورریز»، بر حفظ ارزش منابع، بازچرخانی مواد، استفاده مجدد، افزایش عمر مفید محصولات و کاهش اتلاف تمرکز دارد[۸-۷]. ادغام اصول اقتصاد چرخشی در طراحی و ارزیابی زنجیره‌های تأمین، به‌ویژه در شبکه‌های توزیع و کانال‌های فروش، می‌تواند منجر به کاهش مصرف منابع اولیه، بهبود بهره‌وری لجستیکی، کاهش اثرات زیست‌محیطی و ارتقای پایداری اقتصادی در بلندمدت شود[۱۰-۹]. ازاین‌رو، مطالعه مسائل زنجیره تأمین با تأکید بر اقتصاد چرخشی، نه‌تنها پاسخی به الزامات زیست‌محیطی و مقرراتی است، بلکه به‌عنوان یک راهبرد رقابتی، نقشی کلیدی در افزایش انعطاف‌پذیری و بادوام بودن شبکه‌های تأمین در محیط‌های پویا و پرریسک ایفا می‌کند. [۱۲-۱۱].

از سوی دیگر، تحولات فناورانه و تغییر پارادایم‌های صنعتی نیز نقش مهمی در بازتعریف اهداف و ساختار زنجیره‌های تأمین داشته‌اند .انقلاب صنعتی پنجم به‌عنوان نسل جدیدی از تحولات صنعتی، فراتر از تمرکز صرف بر فناوری و بهره‌وری، بر انسان‌محوری، پایداری، انعطاف‌پذیری و استفاده مسئولانه از فناوری‌های نوین تأکید دارد. در این چارچوب، فناوری‌هایی نظیر دیجیتال‌سازی پیشرفته، سیستم‌های هوشمند، اینترنت اشیا و تحلیل داده‌ها، نه‌تنها ابزارهایی برای افزایش کارایی عملیاتی، بلکه بستری برای بهبود کیفیت تصمیم‌گیری، افزایش شفافیت، ارتقای هماهنگی شبکه‌ای و تقویت تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین محسوب می‌شوند. بنابراین، لحاظ‌سازی الزامات انقلاب صنعتی پنجم در طراحی و ارزیابی زنجیره‌های تأمین بادوام، می‌تواند نقش بسزایی در هم‌راستاسازی اهداف اقتصادی سازمان‌ها با الزامات اجتماعی و زیست‌محیطی ایفا نماید[۱۳].

در سطح عملیاتی و راهبردی، مراکز توزیع و کانال‌های فروش به‌عنوان گره‌های کلیدی در شبکه زنجیره تأمین، نقش اساسی در اتصال تولیدکنندگان به بازار و مشتریان نهایی دارند. تصمیمات مرتبط با انتخاب، ارزیابی و پیکربندی این مراکز، تأثیر مستقیمی بر هزینه‌های لجستیکی، سطح سرویس، سرعت پاسخگویی به بازار، میزان انعطاف‌پذیری، و تاب‌آوری کلی شبکه دارند. این اهمیت در صنایعی نظیر صنعت روانکار که با تنوع بالای محصولات، پراکندگی جغرافیایی بازارها، حساسیت به زمان تحویل، الزامات زیست‌محیطی و نوسانات تقاضا مواجه است، دوچندان می‌شود. در چنین صنعتی، ارزیابی علمی و چندمعیاره مراکز توزیع و کانال‌های فروش با در نظر گرفتن اصول زنجیره تأمین بادوام، اقتصاد چرخشی و الزامات انقلاب صنعتی پنجم، می‌تواند به کاهش ریسک‌های عملیاتی، بهبود کارایی شبکه و ارتقای پایداری بلندمدت سازمان‌ها منجر شود.

بر این اساس، هدف این پژوهش ارائه یک چارچوب تحلیلی جامع برای ارزیابی مراکز توزیع و کانال‌های فروش در زنجیره تأمین بادوام با تأکید بر الزامات انقلاب صنعتی پنجم است. این مطالعه تلاش می‌کند با نگاهی یکپارچه و آینده‌نگر، نقش معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، تاب‌آوری، چابکی و دیجیتال‌سازی را در فرآیند ارزیابی و تصمیم‌گیری تبیین نموده و بینشی کاربردی برای مدیران و سیاست‌گذاران صنعتی، به‌ویژه در صنعت روانکار، فراهم آورد. در این راستا، یک مدل تصمیم‌گیری دومرحله‌ای طراحی و توسعه داده شده است که به‌صورت نظام‌مند معیارها و زیرمعیارهای مؤثر را شناسایی، وزن‌دهی و در نهایت برای ارزیابی و امتیازدهی مراکز توزیع و کانال‌های فروش به‌کار می‌رود.

با وجود پیشرفت‌های قابل‌توجه در حوزه طراحی و مدیریت زنجیره‌های تأمین، همچنان یک چالش اساسی در سطح تصمیم‌گیری شبکه‌ای باقی مانده است؛ به‌گونه‌ای که نبود یک چارچوب یکپارچه و نظام‌مند برای ارزیابی عملکرد مراکز توزیع و کانال‌های فروش در شرایط پیچیده و چندبعدی کنونی، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی را با ابهام و عدم‌قطعیت مواجه ساخته است. در شرایطی که زنجیره‌های تأمین علاوه بر اهداف سنتی نظیر کاهش هزینه و افزایش کارایی، ناگزیر به پاسخ‌گویی هم‌زمان به الزامات پایداری زیست‌محیطی، تاب‌آوری در برابر اختلالات، چابکی عملیاتی، دیجیتال‌سازی، اقتصاد چرخشی و رویکردهای انسان‌محور انقلاب صنعتی پنجم هستند، فقدان ابزارهای تحلیلی مناسب برای ارزیابی گره‌های کلیدی شبکه، به‌ویژه در سطح میانی زنجیره، به‌عنوان یک خلأ جدی مطرح می‌شود.

بررسی ادبیات نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از مطالعات پیشین یا بر طراحی کلان شبکه زنجیره تأمین نظیر مکان‌یابی تسهیلات و تخصیص جریان‌ها تمرکز داشته‌اند، یا تنها به یکی از ابعاد عملکردی همچون پایداری یا تاب‌آوری پرداخته‌اند و کمتر

پژوهشی به ارزیابی یکپارچه و چندمعیاره مراکز توزیع و کانال‌های فروش با در نظر گرفتن هم‌زمان این ابعاد توجه داشته است. این در حالی است که این مراکز به‌عنوان گره‌های واسط میان تولید و بازار، نقش تعیین‌کننده‌ای در سطح خدمت‌رسانی، هزینه‌های لجستیکی، سرعت پاسخگویی به تقاضا، انعطاف‌پذیری شبکه و توان مقابله با اختلالات ایفا می‌کنند و عملکرد آن‌ها می‌تواند به‌طور مستقیم بر کارایی و پایداری کل زنجیره تأمین اثرگذار باشد.

از سوی دیگر، با ظهور پارادایم‌هایی نظیر اقتصاد چرخشی و انقلاب صنعتی پنجم، انتظار می‌رود که زنجیره‌های تأمین علاوه بر کارایی اقتصادی، در جهت حفظ منابع، کاهش اتلاف، افزایش شفافیت، تقویت نقش نیروی انسانی و استفاده مسئولانه از فناوری‌های نوین نیز حرکت کنند. بااین‌حال، ادغام عملی این مفاهیم در فرآیندهای ارزیابی و تصمیم‌گیری شبکه، به‌ویژه در سطح مراکز توزیع و کانال‌های فروش، همچنان با چالش‌های جدی مواجه بوده و چارچوب‌های موجود قادر به پوشش هم‌زمان این الزامات در شرایط عدم‌قطعیت نیستند.

بر این اساس، مسئله اصلی این پژوهش به‌صورت زیر قابل‌طرح است: چگونه می‌توان مراکز توزیع و کانال‌های فروش را در یک زنجیره تأمین بادوام، با در نظر گرفتن هم‌زمان ابعاد اقتصاد چرخشی و الزامات انقلاب صنعتی پنجم، در شرایط عدم‌قطعیت به‌صورت یکپارچه، علمی و قابل‌اتکا ارزیابی و رتبه‌بندی نمود؟ پاسخ به این پرسش، مستلزم توسعه یک چارچوب تحلیلی است که بتواند ابعاد مختلف عملکرد شبکه را به‌صورت هم‌زمان لحاظ نموده و عدم‌قطعیت‌های موجود در قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان و شرایط محیطی را نیز در فرآیند ارزیابی منعکس سازد.

ضرورت انجام این پژوهش از چند منظر قابل تبیین است. از منظر نظری، با وجود توسعه مفاهیم زنجیره تأمین بادوام، اقتصاد چرخشی و انقلاب صنعتی پنجم، همچنان خلأ یک رویکرد یکپارچه برای تلفیق این مفاهیم در سطح ارزیابی گره‌های میانی شبکه مشاهده می‌شود. از منظر کاربردی، در بسیاری از صنایع از جمله صنعت روانکار، تصمیم‌گیری در خصوص عملکرد مراکز توزیع عمدتاً به‌صورت تجربی یا مبتنی بر شاخص‌های محدود انجام می‌شود که این امر می‌تواند منجر به کاهش کارایی، افزایش هزینه‌ها و آسیب‌پذیری در برابر اختلالات گردد. همچنین از منظر محیطی و آینده‌نگر، افزایش عدم‌قطعیت‌های جهانی، فشارهای زیست‌محیطی و تحول سریع فناوری‌ها، ضرورت استفاده از ابزارهای تصمیم‌گیری پیشرفته و چندبعدی را بیش‌ازپیش آشکار می‌سازد.

در این راستا، پژوهش حاضر با هدف پر کردن این خلأ، به ارائه یک چارچوب تحلیلی جامع برای ارزیابی و رتبه‌بندی مراکز توزیع و کانال‌های فروش در زنجیره تأمین بادوام می‌پردازد. نوآوری اصلی این تحقیق در تلفیق هم‌زمان مفاهیم زنجیره تأمین بادوام، اقتصاد چرخشی و الزامات انقلاب صنعتی پنجم در قالب یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر عدم‌قطعیت نهفته است. این چارچوب با تمرکز بر سطح میانی شبکه، ضمن ارائه بینشی عمیق‌تر نسبت به عملکرد مراکز توزیع، می‌تواند به‌عنوان ابزاری کاربردی برای مدیران در اتخاذ تصمیمات راهبردی، بهبود عملکرد شبکه و افزایش پایداری بلندمدت زنجیره تأمین مورداستفاده قرار گیرد.

مزایای اصلی پژوهش حاضر به شرح زیر است:

- ارائه یک چارچوب تحلیلی یکپارچه و داده‌محور برای ارزیابی و رتبه‌بندی کانال‌های فروش و مراکز توزیع در زنجیره تأمین بادوام که همزمان ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، تاب‌آوری، چابکی، دیجیتال‌سازی و الزامات اقتصاد چرخشی و انقلاب صنعتی پنجم را پوشش می‌دهد.
- فراهم کردن ابزار تصمیم‌گیری راهبردی برای مدیران و سیاست‌گذاران صنعتی با ارائه اطلاعات شفاف و علمی برای اولویت‌بندی گره‌های میانی شبکه و بهبود عملکرد شبکه‌های توزیع.
- تقویت نوآوری و کاربرد عملی؛ پژوهش حاضر خلاهای موجود در ادبیات را پرکرده و چارچوب آن قابلیت به‌کارگیری در صنایع واقعی، به‌ویژه صنعت روانکار، را دارد.

- ارائه مدلی که عدم‌قطعیت‌های محیطی و قضاوت‌های خبرگان را در فرآیند ارزیابی لحاظ می‌کند و به افزایش واقع‌گرایی و اعتمادپذیری نتایج کمک می‌نماید.

بدین‌ترتیب، این مزایا، ارزش علمی و کاربردی پژوهش را همزمان تقویت کرده و جایگاه تحقیق را در توسعه دانش زنجیره تأمین پایدار و مبتنی بر Industry 5.0 مشخص می‌سازد.

۲- پیشینه پژوهش

در این بخش، مرور ادبیات مرتبط با موضوع پژوهش انجام می‌شود تا مسیرهای اصلی تحقیقات پیشین، رویکردهای غالب و زمینه‌های قابل توسعه روشن گردد. با توجه به چندبُعدی بودن مسئله، ادبیات موجود در چهار محور سازمان‌دهی شده است: (۱) مطالعات مرتبط با زنجیره تأمین بادوام، (۲) پژوهش‌های طراحی شبکه زنجیره تأمین با رویکرد اقتصاد چرخشی، (۳) تحقیقات ناظر بر مفاهیم و الزامات انقلاب صنعتی پنجم در مدیریت زنجیره تأمین، و (۴) جمع‌بندی شکاف‌های پژوهشی و تبیین جایگاه تحقیق حاضر.

۲-۱- طراحی شبکه زنجیره تأمین بادوام

تجربه اختلالات فراگیر سال‌های اخیر، به‌ویژه بحران کووید-۱۹، نشان داد که بسیاری از زنجیره‌های تأمین در برابر شوک‌های ممتد و عدم‌قطعیت‌های گسترده، تاب‌آوری کافی ندارند و درنتیجه، رویکردهای کلاسیکِ صرفاً کارایی‌محور نمی‌توانند تداوم عملکرد را تضمین کنند. در پاسخ به این وضعیت، مفهوم «زنجیره تأمین بادوام» به‌عنوان رویکردی تلفیقی مطرح شد که هم‌زمان پایداری، تاب‌آوری، چابکی و دیجیتالی‌سازی را به‌منزله چهار قابلیت مکمل برای مدیریت شبکه در محیط‌های پویا و پرریسک در نظر می‌گیرد[۱۶-۱۴].

در همین راستا، ایوانف (۲۰۲۱) با تمرکز بر تحلیل رفتار زنجیره‌ها در شرایط بحران، چارچوبی یکپارچه ارائه کرد که بر هم‌افزایی میان چهار قابلیت یادشده تأکید دارد و نشان می‌دهد ترکیب آن‌ها می‌تواند ظرفیت حفظ عملکرد و بقا را در بحران‌های فراگیر افزایش دهد [۱۷]. در ادامه، لطفی و همکاران (۲۰۲۱) اثرات به‌کارگیری بلاک‌چین را در طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار بررسی کردند و با مدلسازی تصمیمات کلیدی شبکه و تحلیل اقتصادی، به نقش این فناوری در بهبود برخی خروجی‌های عملکردی، به‌ویژه در شرایط تقاضای بالاتر، اشاره نمودند[۱۸].

از منظر کاربردهای صنعتی، کومار و همکاران (۲۰۲۲) با مطالعه صنعت خودروسازی، ابتدا معیارها و گزینه‌های تصمیم را با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره غربال کرده و سپس یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای بهینه‌سازی تصمیمات شبکه ارائه دادند که نتایج، کارایی مدل در بهبود تصمیمات تخصیص و سفارش‌دهی را تأیید می‌کند[۱۷]. همچنین، مهدی و احمد (۲۰۲۲) در حوزه سلامت، شبکه‌ای بادوام برای مدیریت جریان بیماران طراحی کردند که یافته‌های آن بیانگر امکان بهبود هم‌زمان پیامدهای کلیدی نظیر هزینه و نتایج درمانی است[۱۹].

در سال‌های بعد، نقش فناوری‌های نوظهور در تقویت دوام زنجیره تأمین نیز به‌صورت جدی دنبال شده است؛ به‌گونه‌ای که آجایی و لاسیندی (۲۰۲۳) بر ظرفیت‌های اینترنت اشیا برای کاهش ضایعات و تقویت پایداری بلندمدت در زنجیره‌های کشاورزی تأکید کردند[۲۰]. از سوی دیگر، چاوونی بن‌عبدالله و همکاران (۲۰۲۳) با رویکرد تحلیلی، موانع استقرار بلاک‌چین در زنجیره‌های بادوام را—با توجه به پیوند آن با اقتصاد چرخشی—شناسایی کرده و محدودیت‌های زیرساختی، شفافیت داده و تنگناهای مالی را از چالش‌های اصلی گزارش کردند [۲۱]. در تداوم این مسیر، لطفی و همکاران (۲۰۲۴) ترکیب نوآوری باز و بلاک‌چین را به‌عنوان راهبردی برای بهبود عملکرد شبکه و مدیریت بهتر تقاضا مطرح نمودند[۲۲]. همچنین، پادونووا و همکاران (۲۰۲۵) با ارائه چارچوبی ارزیابی‌محور نشان دادند که تاب‌آوری و دوام در سطوح مختلف شبکه و محصول می‌تواند اثر تعیین‌کننده‌ای بر عملکرد کل زنجیره داشته باشد[۲۳].

۲-۲- طراحی شبکه زنجیره تأمین با رویکرد اقتصاد چرخشی

اقتصاد چرخشی رویکردی است که به‌جای الگوی خطی «برداشت–تولید–مصرف–دفع»، بر حفظ ارزش منابع و بازگردانی جریان‌های مواد و محصولات به چرخه تولید تأکید دارد. در این منطق، راهبردهایی مانند بازیافت، بازتولید، بازسازی و بازطراحی باعث می‌شوند طول عمر ارزش اقتصادی و زیست‌محیطی محصولات افزایش یابد و وابستگی به منابع اولیه و تولید پسماند کاهش پیدا کند. در سطح زنجیره تأمین، استقرار اقتصاد چرخشی مستلزم بازآرایی طراحی محصول و فرآیندها، و نیز ادغام جریان‌های روبه‌جلو و معکوس است تا مسیرهای بازگشت مواد و کالا به شبکه اصلی تسهیل شود؛ امری که می‌تواند هم‌زمان کاهش هزینه، بهبود بهره‌وری منابع و ارتقای پایداری را به همراه داشته باشد. [۲۳]. در این حوزه، دل‌گیودیس و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که شیوه‌های چرخشی در زنجیره تأمین با بهبود عملکرد سازمانی مرتبط است و قابلیت‌های تحلیلی داده‌محور می‌توانند نقش تقویت‌کننده در این رابطه ایفا کنند[۲۴]. شاهرودیان و همکاران (۲۰۲۲) نیز با ارائه یک چارچوب مفهومی، نقش «میزان چرخشی‌بودن محصول» را به‌عنوان عامل اثرگذار در عملکرد اقتصاد چرخشی برجسته کردند [۲۵]. در تبیین ابعاد شبکه‌ای و منطقه‌ای، رسانللی و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که گذار به اقتصاد چرخشی می‌تواند موجب بازتعریف روابط شبکه‌ای و تقویت پایداری مناطق صنعتی شود [۲۶]. از منظر هم‌راستاسازی طراحی محصول و زنجیره تأمین، بورکی و همکاران (۲۰۲۳) بر اهمیت توجه به پایان عمر محصول در مرحله طراحی و توسعه شبکه‌های چرخشی و نوآوری در مدل کسب‌وکار تأکید کردند [۲۷]. دی‌لیما و سیورینگ (۲۰۲۳) نیز با تمرکز بر ریسک و عدم‌قطعیت در زنجیره‌های چرخشی، خلأهای قانونی، کمبود شاخص‌های ارزیابی و نوسانات قیمت منابع را از محرک‌های اصلی ریسک دانسته و همکاری بین‌سازمانی و اشتراک اطلاعات را به‌عنوان راهکارهای کاهش ریسک پیشنهاد دادند [۲۸]. در ادامه، تنوییر و همکاران (۲۰۲۳) و روماگنولی و همکاران (۲۰۲۳) نقش فناوری‌های دیجیتال (نظیر سیستم‌های سایبر-فیزیکی، اینترنت اشیا و تحلیل داده) را در پشتیبانی از پیاده‌سازی مؤثر زنجیره‌های چرخشی برجسته ساختند [۱۱،۲۹]. نهایتاً، مالهوترا (۲۰۲۴) نشان داد که راهبردهای اقتصاد چرخشی می‌توانند به‌طور مستقیم عملکرد پایدار زنجیره تأمین را بهبود دهند و نقش قابلیت‌ها و یکپارچگی شبکه در تقویت این اثرگذاری قابل‌توجه است[۸].

۲-۳- طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن ابعاد انقلاب صنعتی پنجم

انقلاب صنعتی پنجم به‌عنوان موج جدید تحولات صنعتی، با عبور از فناوری‌محوریِ صرف، بر انسان‌محوری، پایداری، تاب‌آوری و استفاده مسئولانه از فناوری تمرکز دارد و به‌طور ویژه بر همکاری انسان و ماشین در تصمیم‌گیری و عملیات تأکید می‌کند. در ادبیات زنجیره تأمین، این رویکرد سبب شده است که فناوری‌های پیشرفته نه‌فقط برای کارایی، بلکه برای افزایش کیفیت تصمیم، شفافیت، کاهش ریسک و پایداری اجتماعی–زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار گیرند.

در این راستا، مینکولیت و همکاران (۲۰۲۱) با تبیین تحول پارادایم‌های صنعتی، نشان دادند که صنعت پنجم نمایانگر گذار از چارچوب صنعت ۴.۰ به رویکردی است که در آن پایداری، تاب‌آوری و انسان‌محوری به کانون مدیریت زنجیره تأمین منتقل می‌شود [۳۰]. رکابی و همکاران (۲۰۲۳) نیز با توسعه یک مدل چندهدفه در زنجیره تأمین خون، نشان دادند که لحاظ‌سازی مؤلفه‌های صنعت پنجم همراه با فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا و ابزارهای هوشمند می‌تواند به بهبود شاخص‌های عملکردی و کاهش اتلاف منجر شود[۳۱]. واریالی و همکاران (۲۰۲۳) با مرور نظام‌مند، تأکید کردند که تأثیر فناوری‌های دیجیتال بر ابعاد پایداری یکسان نیست و برخی فناوری‌ها نقش برجسته‌تری در تحقق اهداف صنعت پنجم دارند [۳۲].

پژوهش‌های سال ۲۰۲۴ عمدتاً بر نقش صنعت پنجم در مدیریت اختلالات و کاهش ریسک تمرکز داشته‌اند؛ ازجمله آگراوال و همکاران (۲۰۲۴) که کاربرد فناوری‌های ۴.۰ و ۵.۰ را در مواجهه با اختلالات کلان تحلیل کردند و مسیرهای پژوهشی آتی را ارائه دادند [۳۳]. همچنین، نظیر و همکاران (۲۰۲۴)، لئون و همکاران (۲۰۲۴) و هسو و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که فناوری‌ها و سازوکارهای صنعت پنجم—به‌ویژه در قالب همکاری انسان و ماشین—می‌توانند تاب‌آوری را تقویت کرده و شدت پیامدهای ریسک‌های زنجیره تأمین را کاهش دهند[۳۶-۳۴]. در نهایت، مطالعات ۲۰۲۵ بر ضرورت یکپارچگی مفهومی و چالش‌های پیاده‌سازی زنجیره تأمین نسل پنجم تأکید کرده‌اند؛ به‌گونه‌ای که فارس و همکاران (۲۰۲۵) بر پراکندگی ادبیات و

نیاز به رویکرد یکپارچه تأکید کردند، کومار و همکاران (۲۰۲۵) موانع زیرساختی و مقیاس‌پذیری را در کشورهای درحال‌توسعه برجسته ساختند، و گارگاری و همکاران (۲۰۲۵) و مودگیل و همکاران (۲۰۲۵) به‌ترتیب بر امکان بهینه‌سازی هم‌زمان اهداف چندگانه و نیز ضرورت مهارت‌های نوین در عصر صنعت پنجم تمرکز کردند [۴۰-۳۷].

۲-۴- شکاف‌های پژوهش

بررسی نظام‌مند ادبیات نشان می‌دهد که طی سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی به بررسی زنجیره تأمین بادوام، طراحی شبکه‌های پایدار، اقتصاد چرخشی و الزامات انقلاب صنعتی پنجم پرداخته‌اند. بااین‌حال، این مطالعات عمدتاً هر یک بر بخشی از مسئله تمرکز داشته و کمتر رویکردی جامع و یکپارچه برای تلفیق هم‌زمان این مفاهیم ارائه کرده‌اند. به‌ویژه، بخش قابل‌توجهی از تحقیقات موجود معطوف به تصمیمات کلان شبکه مانند مکان‌یابی تسهیلات، تخصیص جریان‌ها یا انتخاب تأمین‌کنندگان بوده و نقش مراکز توزیع و کانال‌های فروش به‌عنوان گره‌های واسط و تعیین‌کننده در تحقق اهداف بادوام بودن، کمتر به‌صورت نظام‌مند مورد ارزیابی قرار گرفته است.

از منظر محتوایی، اگرچه مفهوم زنجیره تأمین بادوام با تأکید بر پایداری، تاب‌آوری، چابکی و دیجیتال‌سازی در ادبیات گسترده شده است، اما اغلب مطالعات این ابعاد را یا به‌صورت جداگانه بررسی کرده‌اند یا صرفاً در سطح مفهومی به آن‌ها اشاره نموده‌اند. پیوند عملیاتی میان اصول اقتصاد چرخشی و تصمیمات مربوط به شبکه توزیع و کانال‌های فروش همچنان به‌عنوان یک خلأ پژوهشی باقی مانده است؛ زیرا بیشتر مطالعات مرتبط با اقتصاد چرخشی تمرکز خود را بر طراحی محصول، لجستیک معکوس یا زنجیره‌های حلقه‌بسته در سطح کلان معطوف کرده‌اند و ارزیابی چندمعیاره عملکرد گره‌های توزیعی در چارچوب شبکه‌های بادوام را پوشش نداده‌اند.

علاوه بر این، در حوزه الزامات انقلاب صنعتی پنجم، بیشتر مطالعات یا در سطح مرورهای مفهومی باقی مانده‌اند، یا تمرکز آن‌ها بر فناوری‌های خاص و کاربردهای محدود بوده است. به‌کارگیری عملی این الزامات در مدل‌های تصمیم‌گیری کمی و ارزیابی شبکه، به‌ویژه در ارتباط با مراکز توزیع و کانال‌های فروش، به‌صورت محدود و پراکنده موردتوجه قرارگرفته و چارچوبی یکپارچه و قابل‌تعمیم ارائه نکرده است. همچنین، بسیاری از پژوهش‌ها از ابزارهای تصمیم‌گیری قطعی استفاده کرده و عدم‌قطعیت‌های محیطی و قضاوت‌های خبرگان به‌طور کامل لحاظ نشده است.

بر این اساس، خلأ پژوهشی اصلی عبارت است از فقدان یک چارچوب تحلیلی جامع، داده‌محور و چندمعیاره که بتواند عملکرد مراکز توزیع و کانال‌های فروش را در یک زنجیره تأمین بادوام، با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، تاب‌آوری، چابکی، دیجیتال‌سازی و الزامات اقتصاد چرخشی و انقلاب صنعتی پنجم، در شرایط عدم‌قطعیت، ارزیابی و رتبه‌بندی نماید. پژوهش حاضر با ارائه چنین چارچوبی، نه‌تنها این شکاف‌ها را پر می‌کند، بلکه ابزار عملیاتی برای تصمیم‌گیری راهبردی مدیران فراهم می‌آورد و نوآوری خود را در تلفیق هم‌زمان زنجیره تأمین بادوام، اقتصاد چرخشی و الزامات انقلاب صنعتی پنجم در سطح میانی شبکه نشان می‌دهد.

در نتیجه، پژوهش حاضر به‌عنوان یک مطالعه یکپارچه، داده‌محور و آینده‌نگر، هم به شکاف‌های نظری موجود در ادبیات پاسخ می‌دهد و هم امکان تصمیم‌گیری علمی و ساختاریافته برای ارزیابی مراکز توزیع و کانال‌های فروش را فراهم می‌آورد. این اصلاحات، نظر داور محترم را در خصوص شفافیت و برجسته‌سازی شکاف پژوهش به‌طور کامل لحاظ می‌نماید.

۳- روش تحقیق

همان‌گونه که در بخش پیشین بیان شد، هدف اصلی این مطالعه ارائه یک مدل تصمیم‌گیری داده‌محور برای ارزیابی و اولویت‌بندی کانال‌های فروش و مراکز توزیع در زنجیره تأمین بادوام است.. با توجه به ماهیت چندبعدی و پیچیده مسأله ارزیابی مراکز توزیع و کانال‌های فروش در زنجیره تأمین بادوام، به‌کارگیری یک رویکرد تصمیم‌گیری ساختاریافته ضروری است. این مسأله مستلزم لحاظ‌سازی هم‌زمان معیارهای متنوع اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، تاب‌آوری، چابکی و دیجیتال‌سازی است که اغلب با عدم‌قطعیت و قضاوت‌های ذهنی همراه‌اند. ازاین‌رو، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند پشتیبانی مناسبی برای تصمیمات راهبردی فراهم آورد.

در این راستا، یک مدل تصمیم‌گیری دومرحله‌ای طراحی و توسعه داده شده است. در مرحله نخست، معیارها و زیرمعیارهای مؤثر شناسایی شده و اهمیت نسبی آن‌ها با در نظر گرفتن الزامات زنجیره تأمین بادوام، اقتصاد چرخشی و تحولات صنعتی نوین تعیین می‌گردد. در مرحله دوم، مراکز توزیع و کانال‌های فروش بر اساس وزن‌های به‌دست‌آمده مورد ارزیابی و امتیازدهی قرار گرفته و جایگاه آن‌ها در ساختار شبکه زنجیره تأمین مشخص می‌شود. در ادامه، شکل ۱ شمای کلی چارچوب پژوهش حاضر و ارتباط میان مراحل مختلف آن را نشان می‌دهد.

شکل ۱ چارچوب تحقیق و مراحل اجرا

۳-۱- روش بهترین-بدترین فازی-تصادفی

در این پژوهش، وزن معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی با استفاده از روش بهترین–بدترین فازی-تصادفی (Stochastic Fuzzy Best–Worst Method)محاسبه می‌شود. روش بهترین–بدترین یکی از رویکردهای کارآمد در تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر مقایسات زوجی است که در آن تصمیم‌گیرنده ابتدا از میان مجموعه معیارها، بهترین (مهم‌ترین) و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین) معیار را انتخاب می‌کند و سپس سایر معیارها تنها نسبت به این دو معیار مورد مقایسه قرار می‌گیرند. این ساختار باعث می‌شود تعداد مقایسات زوجی به‌طور قابل‌توجهی کاهش‌یافته و درنتیجه، علاوه بر ساده‌سازی فرآیند اخذ نظرات خبرگان، میزان ناسازگاری در قضاوت‌ها نیز نسبت به روش‌هایی نظیر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) کاهش یابد[۴۱].

در گام اجرایی، پس از تعیین معیارهای بهترین و بدترین، دو بردار مقایسه تشکیل می‌شود: بردار «بهترین به سایر معیارها» و بردار «سایر معیارها به بدترین». این مقایسات مبنای استخراج وزن‌های نسبی معیارها قرار می‌گیرند. در ادامه، یک مدل بهینه‌سازی تعریف می‌شود که هدف آن تعیین وزن‌هایی است که بیشترین سازگاری را با قضاوت‌های خبرگان داشته باشند.

با توجه به وجود عدم‌قطعیت، ابهام و نوسان در ارزیابی‌های خبرگان، در این پژوهش از نسخه فازی-تصادفی این روش استفاده شده است. در این رویکرد، قضاوت‌های خبرگان به‌جای مقادیر قطعی، به‌صورت اعداد فازی (معمولاً فازی مثلثی) بیان می‌شوند تا عدم‌قطعیت ذهنی در بیان ترجیحات لحاظ گردد. علاوه بر این، برای انعکاس شرایط مختلف محیطی، فرآیند ارزیابی در قالب سه سناریوی متمایز شامل خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه انجام می‌شود. در هر سناریو، بردارهای مقایسه فازی تشکیل‌شده و وزن معیارها به‌صورت مستقل محاسبه می‌گردد [۴۱].

در مرحله بعد، نتایج حاصل از سناریوهای مختلف با در نظر گرفتن احتمال وقوع هر سناریو، در یک مدل سناریومحور تلفیق می‌شوند. در این مدل، وزن نهایی معیارها به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که میزان ناسازگاری مورد انتظار بین قضاوت‌ها و وزن‌های استخراج‌شده کمینه شود .همچنین، به‌منظور اطمینان از اعتبار نتایج، میزان سازگاری قضاوت‌ها با استفاده از شاخص سازگاری (Consistency Ratio)مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

به‌کارگیری روش بهترین–بدترین فازی-تصادفی این امکان را فراهم می‌آورد که ضمن کاهش پیچیدگی مقایسات و افزایش دقت وزن‌دهی، عدم‌قطعیت‌های ناشی از قضاوت‌های انسانی و شرایط محیطی نیز به‌صورت هم‌زمان در مدل لحاظ شود. درنتیجه، وزن‌های به‌دست‌آمده از پایداری و قابلیت اتکای بیشتری برخوردار خواهند بود. لازم به ذکر است که جزئیات کامل ریاضی مدل،

فرمول‌بندی دقیق، متغیرهای زبانی فازی و نحوه محاسبه شاخص‌های سازگاری، به‌منظور جلوگیری از افزایش حجم متن، در فایل پیوست ارائه شده است [۴۳-۴۲].

۳-۲- روش تاپسیس فازی-تصادفی

در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی و رتبه‌بندی مراکز توزیع و کانال‌های فروش، از روش تاپسیس فازی-تصادفی استفاده شده است. روش تاپسیس (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) یکی از رویکردهای پرکاربرد در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که بر این اصل استوار است که بهترین گزینه باید کمترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین مقدار برای همه معیارها) و بیشترین فاصله را از راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین مقدار برای همه معیارها) داشته باشد. این ویژگی باعث می‌شود که رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس یک معیار قابل تفسیر و شهودی، یعنی «نزدیکی به وضعیت مطلوب»، انجام گیرد.

در گام اجرایی، ابتدا ماتریس تصمیم شامل گزینه‌ها (مراکز توزیع و کانال‌های فروش) و معیارهای ارزیابی تشکیل می‌شود. سپس، مقادیر این ماتریس با توجه به ماهیت معیارها (سود یا هزینه) نرمال‌سازی شده و وزن‌های به‌دست‌آمده از مرحله قبل (روش بهترین–بدترین) بر آن اعمال می‌گردد. در ادامه، برای هر معیار، مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی تعیین‌شده و فاصله هر گزینه از این دو مرجع محاسبه می‌شود. در نهایت، شاخص نزدیکی (Closeness Coefficient) برای هر گزینه به‌دست می‌آید که مبنای رتبه‌بندی نهایی قرار می‌گیرد.

با توجه به ماهیت پویا و همراه با عدم‌قطعیت محیط‌های واقعی تصمیم‌گیری، در این مطالعه از نسخه فازی-تصادفی روش تاپسیس استفاده شده است. در این رویکرد، ارزیابی عملکرد گزینه‌ها به‌جای مقادیر قطعی، به‌صورت اعداد فازی (مانند اعداد فازی مثلثی) بیان می‌شود تا ابهام و عدم‌قطعیت موجود در قضاوت‌های خبرگان منعکس گردد. علاوه بر این، به‌منظور لحاظ‌سازی شرایط مختلف محیطی، فرآیند ارزیابی در قالب سه سناریوی متمایز شامل خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه انجام می‌شود.

در هر سناریو، مراحل تاپسیس به‌صورت مستقل اجرا شده و امتیاز هر گزینه محاسبه می‌گردد. سپس، با در نظر گرفتن احتمال وقوع هر سناریو، نتایج در یک چارچوب یکپارچه تلفیق می‌شوند. این ساختار سناریومحور امکان انعکاس تغییرات محیطی، عدم‌قطعیت در داده‌ها و تفاوت دیدگاه‌های خبرگان را فراهم کرده و باعث می‌شود نتایج نهایی از پایداری و واقع‌گرایی بیشتری برخوردار باشند.

در نهایت، امتیاز نهایی هر مرکز توزیع و کانال فروش بر اساس شاخص نزدیکی تاپسیس محاسبه‌شده و گزینه‌ها بر این اساس رتبه‌بندی می‌شوند. این شاخص بیانگر میزان مطلوبیت نسبی هر گزینه در مقایسه با سایر گزینه‌ها بوده و مبنای تحلیل‌های مدیریتی و تصمیم‌گیری‌های راهبردی قرار می‌گیرد.

به‌کارگیری روش تاپسیس فازی-تصادفی در این پژوهش این امکان را فراهم می‌آورد که ضمن لحاظ‌سازی هم‌زمان معیارهای کمی و کیفی، اثر عدم‌قطعیت و تغییرات محیطی نیز در فرآیند ارزیابی وارد شود و در نتیجه، رتبه‌بندی گزینه‌ها به‌صورت دقیق‌تر و قابل اتکاتری انجام گیرد [۴۶-۴۴،۱۳].

٤- مطالعه موردی

در این مطالعه، مسأله ارزیابی و امتیازدهی مراکز توزیع و کانال‌های فروش در چارچوب زنجیره تأمین بادوام صنعت روانکار، با تمرکز بر شرکت نفت بهران به‌عنوان یکی از شرکت‌های باسابقه و اثرگذار این صنعت، موردبررسی قرار گرفته است. همان‌گونه که در بخش پیشینه پژوهش نشان داده شد، بخش عمده مطالعات پیشین عمدتاً بر طراحی شبکه زنجیره تأمین، انتخاب تأمین‌کنندگان یا بهینه‌سازی جریان‌های لجستیکی متمرکز بوده‌اند؛ درحالی‌که ارزیابی نظام‌مند و چندمعیاره مراکز توزیع و کانال‌های فروش، به‌ویژه با در نظر گرفتن هم‌زمان الزامات زنجیره تأمین بادوام، اقتصاد چرخشی و مفاهیم انقلاب صنعتی پنجم، کمتر به‌صورت یکپارچه موردتوجه قرار گرفته است. این خلأ پژوهشی، ضرورت انجام مطالعه حاضر را بیش‌ازپیش آشکار می‌سازد.

شرکت نفت بهران دارای یک شبکه چندسطحی متشکل از واحدهای تولیدی، مراکز توزیع منطقه‌ای و کانال‌های متنوع فروش در بازارهای داخلی و صادراتی است که عملکرد هر یک از این اجزا تأثیر مستقیمی بر سطح خدمت‌رسانی، هزینه‌های لجستیکی، سرعت پاسخگویی به بازار و تاب‌آوری کلی زنجیره تأمین دارد. بر این اساس، در پژوهش حاضر معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی

مراکز توزیع و کانال‌های فروش با اتکا به‌مرور نظام‌مند ادبیات پژوهش، بررسی اسناد و گزارش‌های صنعتی، و بهره‌گیری از نظرات خبرگان حوزه روانکار استخراج و ساختاربندی شده‌اند.

با توجه به ماهیت چندبُعدی مسأله و پیچیدگی‌های تصمیم‌گیری در صنعت روانکار، معیارهای ارزیابی به‌گونه‌ای انتخاب‌شده‌اند که بتوانند ابعاد مختلف عملکرد شبکه را به‌صورت جامع پوشش دهند. در همین راستا، معیارها و زیرمعیارها در شش دسته کلی شامل پایداری، تاب‌آوری، چابکی، دیجیتال‌سازی، انسان‌محوری و اقتصاد چرخشی طبقه‌بندی‌شده‌اند. این چارچوب طبقه‌بندی، امکان لحاظ‌سازی هم‌زمان الزامات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، توان مواجهه با اختلالات، انعطاف‌پذیری و سرعت پاسخ به تغییرات بازار، بهره‌برداری هوشمندانه از فناوری‌های نوین، توجه به نقش نیروی انسانی و مدیریت چرخه عمر منابع و محصولات را در فرآیند ارزیابی فراهم می‌کند. در نتیجه، چارچوب پیشنهادی قادر است تصویری یکپارچه، واقع‌بینانه و آینده‌نگر از عملکرد مراکز توزیع و کانال‌های فروش در بستر زنجیره تأمین بادوام صنعت روانکار ارائه دهد. جدول ۱ مشخصات خبرگان مشارکت‌کننده در ارزیابی معیارهای زنجیره تأمین را نشان می‌دهد. این جدول اطلاعاتی نظیر رده شغلی، سابقه کاری و تحصیلات خبرگان را ارائه می‌دهد که مبنای وزن‌دهی و ارزیابی معیارها در مدل پژوهش بوده است. همچنین در جداول ۲ تا ۷، معیارهای مسئله تحقیق در قالب شش دسته اصلی و زیرمعیارهای مرتبط با هر یک، به‌صورت تفصیلی ارائه‌شده‌اند.

جدول ۱ مشخصات خبرگان

رده‌بندی شغلی	سابقه کاری	تحصیلات
مدیر تولید	۹	دکتری مدیریت صنعتی
کارشناس تحقیق و توسعه	۸	کارشناسی ارشد مهندسی صنایع
مدیریت لجستیک	۵	کارشناسی ارشد مدیریت

جدول ۲ زیرمعیارهای پایداری

زیرمعیار	تعریف	منابع
بهره‌وری انرژی مرکز توزیع	میزان استفاده بهینه از انرژی و کاهش مصرف منابع در عملیات مرکز	[۴۶]
پایداری اقتصادی مرکز توزیع	توانایی مرکز در حفظ سودآوری و تداوم مالی در بلندمدت	[۴۷-۴۶]
مسئولیت‌پذیری اجتماعی	رعایت اصول اخلاقی، حمایت از کارکنان و توجه به منافع جامعه محلی	[۴۷-۴۶]
انطباق با مقررات زیست‌محیطی	میزان پایبندی مرکز به قوانین و استانداردهای محیط‌زیستی	[۴۹-۴۸]

جدول ۳ زیرمعیارهای تاب‌آوری

شاخص	تعریف	منابع
تداوم خدمت‌رسانی در اختلال	حفظ عملکرد در شرایط بحرانی	[۴۹]
انعطاف‌پذیری ظرفیت توزیع	توان تطبیق ظرفیت با شوک‌ها	[۵،۵۱]
تنوع مسیرها و کانال‌ها	کاهش وابستگی به مسیر واحد	[۵۳-۵۲]
سرعت بازیابی عملیات	زمان بازگشت به شرایط عادی	[۲۲،۵۴]

جدول ۴ زیرمعیارهای انسان محوری

شاخص	تعریف	منابع
رضایت نیروی انسانی	میزان رضایت کارکنان فروش	[۳۲،۵۵،۵۶]
ایمنی و سلامت شغلی	رعایت الزامات ایمنی	[۴۵،۵۷]
مهارت و آموزش کارکنان	سطح شایستگی نیروی انسانی	[۳۲،۵۵،۵۶]
عدالت در تعاملات کاری	انصاف در روابط سازمانی	[۳۲،۵۵،۵۶]

جدول ۵ زیرمعیارهای چابکی

شاخص	تعریف	منابع
انعطاف‌پذیری در تخصیص سفارش	انعطاف‌پذیری در مسیرهای توزیع و تحویل	[۲۲،۵۱]
قابلیت تغییر ترکیب کانال فروش	قابلیت تغییر ترکیب کانال فروش	[۵۱،۵۸،۵۹]
سرعت تنظیم برنامه توزیع	سرعت تنظیم برنامه توزیع	[۵۱،۵۸،۵۹]
هماهنگی پویا با شبکه توزیع	هماهنگی پویا با شبکه توزیع	[۵۱،۵۸،۵۹]

جدول ۶ زیرمعیارهای دیجیتال سازی

شاخص	تعریف	منابع
یکپارچگی سیستم‌های اطلاعاتی	اتصال داده‌ها در شبکه فروش	[۶۰،۶۱]
رهگیری دیجیتال سفارشات	امکان پایش بلادرنگ سفارش	[۱۲،۶۲]
اتوماسیون فرآیندهای فروش	کاهش وابستگی به عملیات دستی	[۶۱،۶۳]
شفافیت اطلاعات فروش	دسترسی سریع به اطلاعات دقیق	[۶۱،۶۴]

جدول ۷ زیرمعیارهای اقتصاد چرخشی

شاخص	تعریف	منابع
کاهش اتلاف محصول در شبکه توزیع	حداقل‌سازی ضایعات در انبار و توزیع	[۶۵]
یکپارچگی سیستم‌های اطلاعاتی	استفاده مجدد از پالت، مخزن، ظروف	[۶۶]
کارایی استفاده مجدد از اقلام جانبی توزیع	امکان پایش جریان محصول	[۴۰،۶۵]
ردیابی چرخه عمر محصول در سطح توزیع	اولویت منابع ثانویه	[۴۰،۶۵]

۵- نتایج عددی

۵-۱- نتایج روش بهترین-بدترین تصادفی

در این بخش، پس از گردآوری داده‌های موردنیاز برای اجرای روش بهترین–بدترین فازی تصادفی، نتایج حاصل از به‌کارگیری این روش ارائه می‌شود. بدین منظور، اطلاعات لازم برای تشکیل بردارهای مقایسات زوجی از طریق توزیع پرسشنامه میان خبرگان شرکت موردمطالعه جمع‌آوری گردید. مشخصات خبرگانی که در فرآیند اخذ داده‌ها مشارکت داشته‌اند در جدول ۱ در بخش پیشین گزارش‌شده است. پس از تکمیل پرسشنامه‌ها، مقادیر نهایی ورودی مدل با استفاده از میانگین نظرات خبرگان محاسبه و در تحلیل‌ها به‌کار گرفته شد.

به‌منظور لحاظ‌سازی عدم‌قطعیت در قضاوت‌ها، مقایسات زوجی در قالب سه سناریوی متمایز انجام پذیرفت؛ به‌طوری‌که سناریوی اول (S1) شرایط خوش‌بینانه، سناریوی دوم (S2) وضعیت محتمل و سناریوی سوم (S3) شرایط بدبینانه را نمایندگی می‌کند. احتمال وقوع هر سناریو نیز بر اساس دیدگاه خبرگان تعیین و در محاسبات لحاظ شده است. نتایج مرحله تعیین معیارهای مرجع نشان می‌دهد که از منظر خبرگان، معیار تاب‌آوری به‌عنوان مهم‌ترین معیار و معیار دیجیتال‌سازی به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیار در فرآیند وزن‌دهی انتخاب شده‌اند. جدول ۸ وزن‌های نهایی هر معیار و زیرمعیار را بر اساس نتایج روش بهترین–بدترین فازی-تصادفی نشان می‌دهد. این مقادیر اهمیت نسبی ابعاد پایداری، تاب‌آوری، چابکی، دیجیتال‌سازی، انسان‌محوری و اقتصاد چرخشی را در ارزیابی مراکز توزیع و کانال‌های فروش مشخص می‌سازد.

بر اساس نتایج وزن‌دهی ارائه‌شده، ارزیابی مراکز توزیع در این پژوهش بر مبنای نگاهی چندبعدی و متوازن انجام‌شده است، به‌گونه‌ای که هم ملاحظات عملیاتی کوتاه‌مدت و هم الزامات راهبردی بلندمدت شبکه زنجیره تأمین مدنظر قرار گرفته‌اند. در میان معیارهای اصلی، تاب‌آوری (۰.۲) و پایداری و چابکی (هرکدام ۰.۱۸) بالاترین سطح اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند که نشان می‌دهد توان تداوم فعالیت، انعطاف‌پذیری و عملکرد پایدار مراکز توزیع، نقش محوری در تصمیم‌گیری مکانی و ارزیابی

آن‌ها ایفا می‌کند. پس‌ازآن، اقتصاد چرخشی (۰.۱۷) و انسان‌محوری (۰.۱۴) قرار دارند که بیانگر توجه جدی به ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و منابع انسانی در کنار کارایی عملیاتی است. در نهایت، دیجیتال‌سازی (۰.۱۳) اگرچه کمترین وزن را دارد، اما همچنان به‌عنوان یک توانمندساز کلیدی در بهبود شفافیت و هماهنگی شبکه‌ای مطرح است.

در بعد تاب‌آوری که بیشترین وزن را دارد، زیرمعیارهای انعطاف‌پذیری ظرفیت توزیع و سرعت بازیابی عملیات (هر دو با وزن نهایی ۰.۰۵۲) مهم‌ترین عوامل شناخته شده‌اند. این امر نشان می‌دهد مراکز توزیعی که قادرند در شرایط اختلال به‌سرعت ظرفیت خود را تنظیم کرده و عملیات را بازیابی نمایند، از اولویت بالاتری برخوردارند. همچنین تداوم خدمت‌رسانی در اختلال (۰.۵) و تنوع مسیرها و کانال‌ها (۰.۰۴۶) اهمیت بالایی دارند که بیانگر نقش حیاتی کاهش ریسک توقف خدمت و وابستگی به مسیرهای محدود توزیع است. در معیار پایداری، پایداری اقتصادی مرکز توزیع (۰.۰۴۸۶) بیشترین وزن نهایی را دارد و پس‌ازآن بهره‌وری انرژی، مسئولیت‌پذیری اجتماعی و انطباق با مقررات زیست‌محیطی قرار می‌گیرند که نشان می‌دهد مراکز توزیع باید هم از نظر مالی پایدار باشند و هم الزامات زیست‌محیطی و اجتماعی را رعایت کنند.

در معیار چابکی، قابلیت تغییر ترکیب کانال فروش (۰.۰۴۸۶) به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیار شناسایی‌شده است که اهمیت توان سازگاری مراکز توزیع با تغییرات ساختار بازار و کانال‌های فروش را برجسته می‌کند. پس‌ازآن، سرعت تنظیم برنامه توزیع (۰.۰۴۵) و انعطاف‌پذیری در تخصیص سفارش و هماهنگی پویا با شبکه توزیع (هرکدام ۰.۰۴۳۲) قرار دارند. در بُعد اقتصاد چرخشی، زیرمعیار ردیابی چرخه عمر محصول در سطح توزیع (۰.۰۴۵۹) بیشترین اهمیت را دارد و نشان می‌دهد شفافیت در جریان محصولات و توجه به چرخه عمر آن‌ها در مراکز توزیع نقش کلیدی در کاهش اتلاف و پشتیبانی از راهبردهای چرخشی ایفا می‌کند. همچنین کارایی استفاده مجدد از اقلام جانبی توزیع (۰.۰۴۲۵) و کاهش اتلاف محصول و پشتیبانی از توزیع محصولات بازتولیدشده (هر دو ۰.۰۴۰۸) از عوامل مهم دیگر هستند.

درنهایت، در معیار انسان‌محوری، ایمنی و سلامت شغلی (۰.۰۳۹۲) بیشترین وزن را دارد که بیانگر اولویت حفظ سلامت نیروی انسانی در مراکز توزیع است، درحالی‌که رضایت نیروی انسانی، مهارت و آموزش کارکنان و عدالت در تعاملات کاری نقش‌های مکمل اما اثرگذاری در پایداری عملکرد مراکز ایفا می‌کنند. در بُعد دیجیتال‌سازی نیز رهگیری دیجیتال سفارشات (۰.۰۳۵۱) مهم‌ترین زیرمعیار محسوب می‌شود که اهمیت قابلیت رصد لحظه‌ای جریان سفارشات و افزایش شفافیت عملیاتی را نشان می‌دهد. به‌طورکلی، مهم‌ترین زیرمعیارهای مسأله تحقیق ازنظر وزن نهایی شامل انعطاف‌پذیری ظرفیت توزیع، سرعت بازیابی عملیات، تداوم خدمت‌رسانی در اختلال، پایداری اقتصادی مرکز توزیع، قابلیت تغییر ترکیب کانال فروش و ردیابی چرخه عمر محصول هستند که هسته اصلی تصمیم‌گیری در ارزیابی مراکز توزیع را شکل می‌دهند.

جدول ۸ وزن نهایی معیارها و زیر معیارها

معیار	وزن معیار	زیر معیار	وزن اولیه معیار	وزن نهایی
پایداری	(۰.۱۸)	بهره‌وری انرژی مرکز توزیع	۰.۲۵	۰.۰۴۵
		پایداری اقتصادی مرکز توزیع	۰.۲۷	۰.۰۴۸۶
		مسئولیت‌پذیری اجتماعی	۰.۲۴	۰.۰۴۳۲
		انطباق با مقررات زیست‌محیطی	۰.۲۴	۰.۰۴۳۲
تاب‌آوری	(۰.۲)	تداوم خدمت‌رسانی در اختلال	۰.۲۵	۰.۰۵
		انعطاف‌پذیری ظرفیت توزیع	۰.۲۶	۰.۰۵۲
		تنوع مسیرها و کانال‌ها	۰.۲۳	۰.۰۴۶
		سرعت بازیابی عملیات	۰.۲۶	۰.۰۵۲
انسان‌محوری	(۰.۱۴)	رضایت نیروی انسانی	۰.۲۵	۰.۰۳۵
		ایمنی و سلامت شغلی	۰.۲۸	۰.۰۳۹۲
		مهارت و آموزش کارکنان	۰.۲۴	۰.۰۳۳۶
		عدالت در تعاملات کاری	۰.۲۳	۰.۰۳۲۲

معیار	وزن معیار	زیر معیار	وزن اولیه معیار	وزن نهایی
چابکی	(۰.۱۸)	انعطاف‌پذیری در تخصیص سفارش	۰.۲۴	۰.۰۴۳۲
		قابلیت تغییر ترکیب کانال فروش	۰.۲۷	۰.۰۴۸۶
		سرعت تنظیم برنامه توزیع	۰.۲۵	۰.۰۴۵
		هماهنگی پویا با شبکه توزیع	۰.۲۴	۰.۰۴۳۲
دیجیتال‌سازی	(۰.۱۳)	یکپارچگی سیستم‌های اطلاعاتی	۰.۲۴	۰.۰۳۱۲
		رهگیری دیجیتال سفارشات	۰.۲۷	۰.۰۳۵۱
		اتوماسیون فرآیندهای فروش	۰.۲۵	۰.۰۳۲۵
		شفافیت اطلاعات فروش	۰.۲۴	۰.۰۳۱۲
اقتصاد چرخشی	(۰.۱۷)	کاهش اتلاف محصول در شبکه توزیع	۰.۲۴	۰.۰۴۰۸
		پشتیبانی از توزیع محصولات بازتولیدشده	۰.۲۴	۰.۰۴۰۸
		کارایی استفاده مجدد از اقلام جانبی توزیع	۰.۲۵	۰.۰۴۲۵
		ردیابی چرخه عمر محصول در سطح توزیع	۰.۲۷	۰.۰۴۵۹

۵-۲- نتایج حاصل از روش تاپسیس فازی-تصادفی

نتایج حاصل از به‌کارگیری روش تاپسیس فازی تصادفی برای ارزیابی و امتیازدهی مراکز توزیع و کانال‌های فروش زنجیره تأمین موردمطالعه، بیانگر تفاوت معنادار در سطح عملکرد مراکز از منظر معیارهای بادوام بودن، اقتصاد چرخشی و الزامات انقلاب صنعتی پنجم است. جدول ۹ امتیاز نهایی و شاخص نزدیکی تا راه‌حل ایده‌آل برای هر مرکز توزیع را نمایش می‌دهد که بر اساس نتایج روش تاپسیس فازی-تصادفی محاسبه‌شده است. این جدول امکان مقایسه عملکرد مراکز و رتبه‌بندی آن‌ها را فراهم می‌کند. همان‌گونه که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، شاخص نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل و امتیاز نهایی مراکز، امکان رتبه‌بندی شفاف و قابل‌اتکای گزینه‌ها را فراهم ساخته و تصویر روشنی از جایگاه هر مرکز در ساختار شبکه ارائه می‌دهد.

بر اساس نتایج، مرکز ششم با بیشترین مقدار شاخص و بالاترین امتیاز نهایی (۰.۴۱۳۹)، به‌عنوان گزینه برتر شناسایی‌شده است. این نتیجه نشان می‌دهد که مرکز مذکور درمجموع فاصله کمتری با راه‌حل ایده‌آل مثبت و فاصله بیشتری با راه‌حل ایده‌آل منفی داشته و از منظر ترکیب معیارهای اقتصادی، پایداری، تاب‌آوری، چابکی، دیجیتال‌سازی، انسان‌محوری و اقتصاد چرخشی، عملکرد متوازن‌تر و مطلوب‌تری نسبت به سایر مراکز دارد. به‌بیان‌دیگر، این مرکز از ظرفیت بالاتری برای ایفای نقش مؤثر در زنجیره تأمین بادوام برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان یک گره کلیدی و مرجع در تصمیمات مدیریتی موردتوجه قرار گیرد.

در رتبه‌های بعدی، مرکز دوم و مرکز هفتم با مقادیر شاخص به‌ترتیب برابر با ۰.۴۹۸ و ۰.۴۸۹۱ قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده عملکرد مناسب این مراکز، هرچند با فاصله‌ای محسوس از مرکز ششم، است. این مراکز را می‌توان گزینه‌های قابل‌قبول و نسبتاً پایدار تلقی کرد که در صورت بهبود برخی ابعاد کلیدی نظیر ارتقای زیرساخت‌های دیجیتال، تقویت سازوکارهای تاب‌آوری یا هم‌راستاسازی بیشتر با سیاست‌های چرخشی قابلیت ارتقا به سطوح بالاتر عملکرد را دارند. در مقابل، مراکز اول، چهارم و پنجم در سطحی میانی قرار گرفته‌اند که بیانگر عملکرد متوسط آن‌ها در مقایسه با سایر گزینه‌هاست و نشان می‌دهد این مراکز برای ایفای نقش مؤثرتر در شبکه، نیازمند بازنگری در برخی رویه‌های عملیاتی و راهبردی هستند.

در نهایت، مرکز سوم با کمترین مقدار شاخص و پایین‌ترین امتیاز نهایی (۰.۱۸)، ضعیف‌ترین عملکرد را در میان گزینه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. این نتیجه حاکی از فاصله قابل‌توجه این مرکز از وضعیت ایده‌آل و ضعف نسبی آن در پاسخ‌گویی هم‌زمان به الزامات بادوام بودن، اقتصاد چرخشی و تحولات صنعتی نوین است. از منظر مدیریتی، چنین مرکزی یا نیازمند اقدامات اصلاحی اساسی در ساختار، فرآیندها و زیرساخت‌هاست، یا باید نقش آن در شبکه زنجیره تأمین مورد بازتعریف قرار گیرد.

به‌طورکلی، نتایج حاصل از روش تاپسیس فازی تصادفی نشان می‌دهد که رویکرد سناریومحور و فازی به‌کاررفته در این پژوهش، توانسته است تفاوت‌های عملکردی مراکز توزیع و کانال‌های فروش را در شرایط عدم‌قطعیت به‌خوبی منعکس کند. این

یافته‌ها می‌توانند به‌عنوان مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری‌های راهبردی مدیران در زمینه تخصیص منابع، اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌ها، بهبود عملکرد مراکز موجود و طراحی آینده شبکه زنجیره تأمین بادوام در صنعت روانکار مورداستفاده قرار گیرند.

جدول ۹ امتیازهای ارزیابی

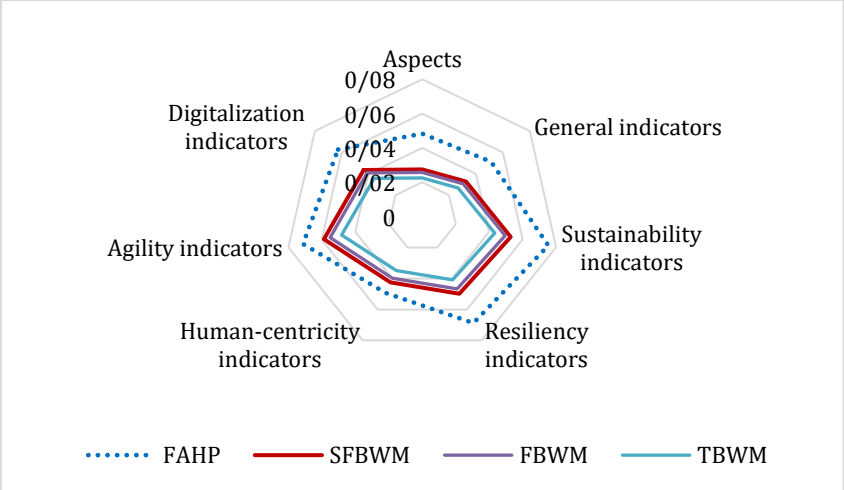
تأمین‌کننده	C_i	امتیاز
مرکز اول	۰.۴۵۷۵	۰.۲۷
مرکز دوم	۰.۴۹۸	۰.۳
مرکز سوم	۰.۳۰۱۵	۰.۱۸
مرکز چهارم	۰.۴۳۰۹	۰.۲۶
مرکز پنجم	۰.۳۸۴۹	۰.۲۵۸۱
مرکز ششم	۰.۶۱۷۴	۰.۴۱۳۹
مرکز هفتم	۰.۴۸۹۱	۰.۳۲۷۹۲

۶- بررسی کارایی مدل تصمیم‌گیری ارائه‌شده

در این بخش، کارایی و اثربخشی مدل تصمیم‌گیری پیشنهادی با استفاده از شاخص‌های ارزیابی مشخص موردسنجش قرارگرفته و نتایج حاصل از آن از طریق مقایسه تطبیقی با رویکردهای موجود در ادبیات پژوهش تحلیل و ارزیابی می‌شود.

۶-۱- روش بهترین بدترین فازی-تصادفی

در این بخش، عملکرد روش بهترین–بدترین فازی تصادفی به‌عنوان رویکرد وزن‌دهی پیشنهادی، از منظر شاخص‌های ارزیابی معتبر مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن با برخی روش‌های متداول وزن‌دهی در ادبیات پژوهش مقایسه شده است. بدین منظور، این روش از نظر دو شاخص کلیدی «نرخ ناسازگاری (CR)» و «انحراف کل (TD)» با روش‌های بهترین–بدترین سنتی (TBWM)، بهترین–بدترین فازی (FBWM) و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) مورد قیاس قرار گرفته است. شکل ۲ مقایسه نرخ ناسازگاری این روش‌ها را به‌صورت بصری نمایش می‌دهد.



شکل ۲ نرخ ناسازگاری

نرخ ناسازگاری شاخصی برای سنجش میزان سازگاری قضاوت‌های خبرگان در مقایسات زوجی و میزان اعتمادپذیری وزن‌های حاصل است؛ به‌گونه‌ای که مقادیر کمتر این شاخص نشان‌دهنده کیفیت بالاتر نتایج وزن‌دهی می‌باشند. از سوی دیگر، شاخص انحراف کل بیانگر فاصله اقلیدسی میان نسبت وزن‌های به‌دست‌آمده و مقادیر حاصل از مقایسات زوجی است که در این معیار نیز مقادیر کمتر، عملکرد مطلوب‌تری را نشان می‌دهند.

نتایج مقایسه کمی روش‌ها بر اساس این دو شاخص در جدول ۱۰ ارائه‌شده است. لازم به ذکر است که مقادیر گزارش‌شده در این جدول به‌صورت میانگین و انحراف معیار شاخص‌ها برای تمامی معیارهای موردبررسی محاسبه‌شده‌اند. مطابق نتایج، روش بهترین–بدترین فازی تصادفی از نظر نرخ ناسازگاری عملکرد بهتری نسبت به روش FAHP دارد، هرچند در مقایسه با روش‌های FBWMو TBWM اختلاف اندکی مشاهده می‌شود. بااین‌حال، در شاخص انحراف کل، روش پیشنهادی کمترین مقدار را در میان تمامی روش‌ها به خود اختصاص داده است که بیانگر نزدیکی بیشتر وزن‌های حاصل به قضاوت‌های خبرگان و دقت بالاتر فرآیند وزن‌دهی می‌باشد. مجموعه این نتایج نشان می‌دهد که روش بهترین–بدترین فازی تصادفی از کارایی و قابلیت اتکای مناسبی برای استفاده در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در فرآیند وزن‌دهی معیارها مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱۰ نرخ ناسازگاری و انحراف کل

C	SFBWM		TBWM		FBWM		FAHP	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
CR	۰.۰۴۵۶۲۳۴	۰.۰۱۶۵۹	۰.۰۴۳۸۷۲	۰.۰۷۹۳۸۲۴	۰.۰۴۵۳۸۵	۰.۰۱۸۶۸	۰.۰۷۹۳۸۲۴	۰.۰۲۵۶۸
TD	۱.۵۰۸۶	۰.۳۸۶۷	۱.۶۳۲۹	۲.۱۰۴۴	۱.۹۰۴۴	۰.۳۴۱۸	۲.۱۰۴۴	۰.۸۱۳۵

۶-۲- روش تاپسیس فازی تصادفی

به‌منظور بررسی اعتبار و کارایی روش تاپسیس فازی تصادفی پیشنهادی، نتایج حاصل از این رویکرد با خروجی چند روش متداول در ادبیات تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد مقایسه تطبیقی قرار گرفته است. در این راستا، عملکرد مراکز توزیع با استفاده از روش‌های تاپسیس فازی، ویکور فازی و ویکور تصادفی ارزیابی شده و رتبه‌بندی‌های به‌دست‌آمده با نتایج روش پیشنهادی مقایسه گردیده است. نتایج این مقایسه در جدول ۱۱ ارائه شده است.

بررسی جدول مذکور نشان می‌دهد که در تمامی روش‌های مورد استفاده، دو مرکز برتر دارای رتبه‌های اول و دوم یکسان هستند. این همگرایی نتایج بیانگر پایداری رتبه‌بندی‌ها و اعتبار بالای خروجی‌های روش تاپسیس فازی تصادفی است. بدین ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که رویکرد پیشنهادی ضمن برخورداری از سازگاری مناسب با روش‌های شناخته‌شده، توانایی بالایی در ارزیابی و رتبه‌بندی مراکز توزیع در شرایط عدم‌قطعیت دارد و از قابلیت اتکای مطلوبی در کاربردهای عملی برخوردار است.

جدول ۱۱ رتبه‌بندی

تأمین‌کننده	تاپسیس فازی-تصادفی	تاپسیس فازی	ویکور فازی	ویکور تصادفی
مرکز اول	۴	۵	۴	۴
مرکز دوم	۲	۲	۲	۲
مرکز سوم	۷	۷	۷	۷
مرکز چهارم	۵	۴	۵	۵
مرکز پنجم	۶	۶	۶	۶
مرکز ششم	۱	۱	۱	۱
مرکز هفتم	۳	۳	۳	۳

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این پژوهش، یک چارچوب تحلیلی جامع برای ارزیابی و رتبه‌بندی مراکز توزیع و کانال‌های فروش در زنجیره تأمین بادوام با تأکید بر اقتصاد چرخشی و الزامات انقلاب صنعتی پنجم ارائه گردید. نتایج حاصل از به‌کارگیری روش بهترین–بدترین فازی تصادفی نشان داد که در میان ابعاد مختلف ارزیابی، تاب‌آوری به‌عنوان مهم‌ترین معیار شناخته می‌شود. این یافته بیانگر آن است که در شرایط پر نوسان و همراه با عدم‌قطعیت، توانایی مراکز توزیع در حفظ تداوم خدمت‌رسانی، سازگاری با اختلالات و بازیابی

سریع عملیات، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد کلی زنجیره تأمین ایفا می‌کند. به‌بیان‌دیگر، در محیط‌های پیچیده امروزی، برتری رقابتی صرفاً مبتنی بر کارایی نیست، بلکه به میزان آمادگی سیستم برای مواجهه با بحران‌ها و تداوم عملکرد وابسته است.

پس از تاب‌آوری، معیارهای پایداری و چابکی در رتبه‌های بعدی اهمیت قرار گرفتند که نشان‌دهنده ضرورت ایجاد توازن میان عملکرد بلندمدت و پاسخ‌گویی سریع به تغییرات بازار است. اهمیت پایداری حاکی از آن است که مراکز توزیع باید علاوه بر سودآوری، الزامات زیست‌محیطی و اجتماعی را نیز در تصمیمات خود لحاظ کنند، درحالی‌که چابکی بر توانایی تطبیق سریع با تغییرات تقاضا و ساختار کانال‌های فروش تأکید دارد. در این میان، اگرچه دیجیتال‌سازی کمترین وزن نسبی را به خود اختصاص داده است، اما این نتیجه را نمی‌توان به معنای کم‌اهمیت بودن فناوری تلقی کرد؛ بلکه نشان می‌دهد که دیجیتال‌سازی بیشتر به‌عنوان یک عامل توانمندساز در تقویت سایر قابلیت‌ها نظیر تاب‌آوری و چابکی عمل می‌کند.

در سطح زیرمعیارها، نتایج نشان داد که انعطاف‌پذیری ظرفیت توزیع و سرعت بازیابی عملیات مهم‌ترین عوامل در ارزیابی مراکز توزیع هستند. این یافته بیانگر آن است که توانایی مراکز در تنظیم سریع ظرفیت و بازگشت به شرایط عادی پس از اختلال، اهمیت بیشتری نسبت به عملکرد بهینه در شرایط پایدار دارد. همچنین، در بُعد اقتصاد چرخشی، اهمیت بالای ردیابی چرخه عمر محصول نشان‌دهنده ضرورت حرکت به سمت مدیریت چرخه‌ای منابع و افزایش شفافیت در جریان محصولات است.

نتایج حاصل از روش تاپسیس فازی تصادفی نیز تفاوت معناداری در عملکرد مراکز توزیع نشان داد، به‌گونه‌ای که مرکز ششم به‌عنوان گزینه برتر شناسایی شد. این برتری را می‌توان ناشی از عملکرد متوازن این مرکز در ابعاد مختلف ارزیابی دانست، به‌طوری‌که توانسته است ترکیبی مناسب از تاب‌آوری، پایداری و چابکی را ارائه دهد. در مقابل، عملکرد ضعیف مرکز سوم بیانگر وجود نارسایی‌های ساختاری یا عملیاتی در این مرکز است که موجب فاصله قابل‌توجه آن از وضعیت ایده‌آل شده است. این نتایج نشان می‌دهد که عملکرد موفق در زنجیره تأمین بادوام مستلزم تقویت هم‌زمان چندین بُعد کلیدی است و تمرکز صرف بر یک معیار خاص نمی‌تواند به بهبود کلی عملکرد منجر شود.

از منظر مدیریتی، یافته‌های این پژوهش حاوی پیامدهای مهمی است. نخست، مدیران باید تمرکز خود را از بهینه‌سازی صرف هزینه‌ها به سمت تقویت تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری شبکه تغییر دهند. دوم، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌هایی که امکان بازیابی سریع عملیات و مدیریت بحران را فراهم می‌کنند، باید در اولویت قرار گیرد. سوم، بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال باید در راستای تقویت قابلیت‌های کلیدی شبکه انجام شود و نه به‌صورت مجزا. همچنین، مراکز با عملکرد متوسط می‌توانند با تمرکز بر بهبود چند زیرمعیار کلیدی، به‌ویژه در حوزه تاب‌آوری و چابکی، جایگاه خود را به‌طور قابل‌توجهی ارتقا دهند.

در مجموع، این پژوهش نشان داد که رویکرد پیشنهادی نه‌تنها قادر است عملکرد مراکز توزیع را در شرایط عدم‌قطعیت به‌صورت واقع‌گرایانه ارزیابی کند، بلکه می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های راهبردی در سطح شبکه مورداستفاده قرار گیرد. همگرایی نتایج با روش‌های متداول نیز بیانگر اعتبار و پایداری چارچوب پیشنهادی است.

محدودیت‌های پژوهش

- **محدودیت دامنه مطالعه موردی:** این پژوهش در بستر یک شرکت و یک صنعت خاص (صنعت روانکار) انجام شده است؛ ازاین‌رو، تعمیم مستقیم نتایج به سایر صنایع یا ساختارهای زنجیره تأمین با احتیاط همراه است.
- **اتکا به قضاوت خبرگان:** بخش عمده داده‌های ورودی مدل، مبتنی بر نظرات خبرگان بوده که اگرچه با روش‌های فازی تصادفی عدم‌قطعیت آن‌ها کنترل‌شده است، اما همچنان متأثر از برداشت‌های ذهنی و تجربه فردی خبرگان می‌باشد.
- **ثابت‌فرض‌کردن ساختار شبکه:** در این مطالعه، ساختار مراکز توزیع و کانال‌های فروش به‌صورت ایستا در نظر گرفته شده و تغییرات پویا در تعداد، مکان یا نقش این مراکز در طول زمان لحاظ نشده است.

- **تمرکز بر ارزیابی به‌جای بهینه‌سازی:** چارچوب پیشنهادی صرفاً به ارزیابی و رتبه‌بندی مراکز توزیع می‌پردازد و تصمیمات بهینه‌سازی شبکه نظیر مکان‌یابی، ظرفیت‌گذاری و تخصیص جریان‌ها به‌صورت مستقیم در مدل لحاظ نشده‌اند.
- **محدودیت در تنوع سناریوها:** اگرچه سه سناریوی خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه در مدل لحاظ شده است، اما طیف گسترده‌تری از سناریوهای کلان اقتصادی، سیاسی یا زیست‌محیطی می‌تواند تحلیل‌ها را واقع‌گرایانه‌تر نماید.

پیشنهادات برای تحقیقات آتی

- **کاربرد چارچوب در صنایع و کشورهای مختلف:** پیشنهاد می‌شود مدل ارائه‌شده در سایر صنایع تولیدی و خدماتی، به‌ویژه صنایع با ریسک بالا یا زنجیره‌های تأمین جهانی، به‌کار گرفته شود تا قابلیت تعمیم آن ارزیابی گردد.
- **توسعه مدل‌های یکپارچه ارزیابی–بهینه‌سازی:** ترکیب چارچوب ارزیابی پیشنهادی با مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه می‌تواند پیوند مؤثرتری میان ارزیابی عملکرد مراکز توزیع و تصمیمات طراحی شبکه برقرار سازد.
- **استفاده از داده‌های واقعی و پویا:** به‌کارگیری داده‌های عملیاتی واقعی، داده‌های زمانی و اطلاعات حاصل از سیستم‌های دیجیتال (نظیر اینترنت اشیا و سیستم‌های هوشمند) می‌تواند دقت و پویایی نتایج را افزایش دهد.
- **گسترش ابعاد انقلاب صنعتی پنجم:** ر پژوهش‌های آتی می‌توان مؤلفه‌های بیشتری از صنعت پنجم نظیر همکاری انسان–ماشین، هوش مصنوعی مسئولانه و اخلاق دیجیتال را به مجموعه معیارهای ارزیابی افزود.
- **انجام تحلیل حساسیت و پایداری نتایج:** بررسی حساسیت رتبه‌بندی‌ها نسبت به تغییر وزن معیارها، سناریوهای عدم‌قطعیت و دیدگاه‌های مختلف خبرگان می‌تواند به افزایش اعتمادپذیری نتایج کمک کند.
- **مقایسه با رویکردهای نوین تصمیم‌گیری:** پیشنهاد می‌شود عملکرد چارچوب پیشنهادی با روش‌های نوظهور تصمیم‌گیری چندمعیاره، نظیر رویکردهای مبتنی بر یادگیری ماشین یا تصمیم‌گیری ترکیبی داده‌محور، مورد مقایسه قرار گیرد.

۸- مراجع

[1] Eshaghi, L. M. Simulation modeling for a resilient supply chain under disruption conditions: A case study of dairy products. *Journal of Industrial Innovations*. 2025;3(3):83–103. [In Persian].

[2] Fazlollahtabar H, Kazemitash N. Design of Fazl-Tash novel method for sustainable resilient comprehensive supplier selection problem. Kybernetes. 2022 Jan 5;51(1):275–301.

[3] Bai C, Zhu Q, Sarkis J. Circular economy and circularity supplier selection: a fuzzy group decision approach. Int J Prod Res [Internet]. 2024 [cited 2024 Mar 31];62(7):2307–30. Available from: https://www.researchgate.net/publication/367911406_Circular_economy_and_circularity_supplier_selection_a_fuzzy_group_decision_approach

[4] Khanlarzade N. Improving the sustainability of the dairy supply chain using cold plasma and blockchain: an evolution in deterioration management. J Ind Innov. 2024;2(2):161–79.

[5] Shashi M. Sustainable Digitalization in Pharmaceutical Supply Chains Using Theory of Constraints: A Qualitative Study. Sustain. 2023;15(11).

[6] Aljuneidi T, Badraoui I, Bhat SA, Boulaksil Y, Bulgak AA. From resilience to viability: a systematic review and framework for a supply chain viability index. Environ Syst Decis. 2026;46(1):7.

[7] Study C, Nayeri S, Vamarzani MZ, Asadi Z, Sazvar Z. Archive of SID. ir Raw Material Provider Selection Problem Considering the Digitalization, Circular Economy and Resilience Dimensions : A Archive of SID. ir Archive of SID. ir Archive of SID. ir. 2024;35(3):1–20.

[8] Malhotra G. Impact of circular economy practices on supply chain capability, flexibility and sustainable supply chain performance. Int J Logist Manag [Internet]. 2024 Jan 1;35(5):1500–21. Available from: https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2023-0019

[9] Bandi E, Bavagnoli F, Tettamanzi P. Circular Economy, Short Food Supply Chain and Digitalisation Drive the Agri-Food Sector Transition Towards Environmental and Social Sustainability: A Literature Review. Corp Soc Responsib Environ Manag. 2026;33(2):1700–15.

[10] Saeedi M, Tavakkoli-Moghaddam R, Sabouhi F. Sustainable and resilient agricultural supply chains for net-zero goals: a circular economy and stochastic modeling perspective. J Enterp Inf Manag. 2026;39(3):1002–57.

[11] Romagnoli S, Tarabu C, Vishkaei BM, Giovanni P De. The Impact of Digital Technologies and Sustainable Practices on Circular Supply Chain Management. 2023;1–17.

[12] Chaouni Benabdellah A, Zekhnini K, Cherrafi A, Garza-Reyes JA, Kumar A, El Baz J. Blockchain technology for viable circular digital supplychains: an integrated approach for evaluating the implementation barriers. Benchmarking An Int J [Internet]. 2023 Jan 1;30(10):4397–424. Available from: https://doi.org/10.1108/BIJ-04-2022-0240

[13] Sun L, Yu C, Li J, Yuan Q, Zhao S. A two-stage decision model for sustainable-resilient supplier selection and order allocation under uncertain environment. Kybernetes. 2024;ahead-of-print(ahead-of-print).

[14] Ivanov D. The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. Int J Prod Res. 2023;61(5):1683–95.

[15] Ivanov D. Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. Ann Oper Res. 2020;1–21.

[16] Padovano A, Ivanov D. Towards resilient and viable supply chains: a multidimensional model and empirical analysis. Int J Prod Res. 2025;1–39.

[17] Kumar D, Soni G, Joshi R, Jain V, Sohal A. Modelling supply chain viability during COVID - 19 disruption : A case of an Indian automobile manufacturing supply chain. Oper Manag Res [Internet]. 2022; (Ivanov 2021). Available from: https://doi.org/10.1007/s12063-022-00277-5

[18] Lotfi R, Mehrjerdi YZ, Pishvaee MS, Sadeghieh A, Weber GW. A robust optimization model for sustainable and resilient closed-loop supply chain network design considering conditional value at risk. Numer Algebr Control Optim. 2021;11(2):221.

[19] Mahdi M, Ahmad P. Viable healthcare supply chain network design for a pandemic. Ann Oper Res [Internet]. 2022; Available from: https://doi.org/10.1007/s10479-022-04934-7

[20] Ajayi MO, Laseinde OT. Promoting Viable Supply Chain Management (SCM) in the Nigeria Agro-Allied Industry Using Internet of Things BT - Proceedings of Seventh International Congress on Information and Communication Technology. In: Yang XS, Sherratt S, Dey N, Joshi A, editors. Singapore: Springer Nature Singapore; 2023. p. 389–99.

[21] Zekhnini K, Chaouni Benabdellah A, Cherrafi A. A multi-agent based big data analytics system for viable supplier selection. J Intell Manuf. 2023;

[22] Lotfi R, Hazrati R, Aghakhani S, Afshar M, Amra M, Ali SS. A data-driven robust optimization in viable supply chain network design by considering Open Innovation and Blockchain Technology. J Clean Prod [Internet]. 2024;436:140369. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623045274

[23] Zeidi H, Fathi MR, Pishadar M. The Causal Model of Circular Supply Chain in the Petrochemical Industry of Iran with the FDelphi-FDEMATEL approach. Innov Manag Oper Strateg. 2025;e218707.

[24] Del Giudice M, Chierici R, Mazzucchelli A, Fiano F. Supply chain management in the era of circular economy: the moderating effect of big data. Int J Logist Manag [Internet]. 2021 Jan 1;32(2):337–56. Available from: https://doi.org/10.1108/IJLM-03-2020-0119

[25] Shaharudin MR, Mokhtar ARM, Wararatchai P, Legino R. Circular Supply Chain Management and Circular Economy: A conceptual model. Environ Proc J. 2022;7(SI7):31–7.

[26] Bressanelli G, Visintin F, Saccani N. Repository istituzionale dell ' Università degli Studi di Firenze Circular Economy and the evolution of industrial districts : A supply chain perspective. Int J Prod Econ [Internet]. 2022; (September 2024):108348. Available from: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108348

[27] Burke H, Zhang A, Wang JX. Integrating product design and supply chain management for a circular economy. Prod Plan Control [Internet]. 2023 Aug 18;34(11):1097–113. Available from: https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1983063

[28] De Lima FA, Seuring S. A Delphi study examining risk and uncertainty management in circular supply chains. Int J Prod Econ [Internet]. 2023;258:108810. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527323000427

[29] Tanveer U, Kremantzis MD, Roussinos N, Ishaq S, Kyrgiakos LS, Vlontzos G. A fuzzy TOPSIS model for selecting digital technologies in circular supply chains. Supply Chain Anal. 2023;4:100038.

[30] Minculete G, B□rsan G, Olar P. Conceptual approaches of industry 5.0. Correlative elements with supply chain management 5.0. Rev Manag Comp Int. 2021;22(5):622–35.

[31] Rekabi S, Goodarzian F, Garjan HS, Zare F, Muñuzuri J, Ali I. A data-driven mathematical model to design a responsive-sustainable pharmaceutical supply chain network: a Benders decomposition approach. Ann Oper Res. 2023;1–42.

[32] Varriale V, Cammarano A, Michelino F, Caputo M. Industry 5.0 and triple bottom line approach in supply chain management: the state-of-the-art. Sustainability. 2023;15(7):5712.

[33] Agrawal S, Agrawal R, Kumar A, Luthra S, Garza-Reyes JA. Can industry 5.0 technologies overcome supply chain disruptions? a perspective study on pandemics, war, and climate change issues. Oper Manag Res. 2024;17(2):453–68.

[34] Nazir H, Kamal KA, Abbas A, Raza M, Yahya M, Ibrahim M. Unlocking insights: Structural equation modeling approach to unveil the nexus between industry 5.0 evolution and sustainable supply chain dynamics. Kurd Stud. 2024;12(4):1095–107.

[35] Leon M. Fuzzy cognitive maps as a bridge between symbolic and sub-symbolic artificial intelligence. Int J Cybern Informatics. 2024;13(13):57.

[36] Hsu CH, Wu JZ, Zhang TY, Chen JY. Deploying Industry 5.0 drivers to enhance sustainable supply chain risk resilience. Int J Sustain Eng. 2024;17(1):211–38.

[37] Fares N, Anass C, Shardeo V, Garza-Reyes JA. Supply chain management in the Industry 5.0 era: strategic implications. Benchmarking An Int J. 2025;1–29.

[38] Modgil S, Singh RK, Agrawal S. Developing human capabilities for supply chains: an industry 5.0 perspective. Ann Oper Res. 2025;348(3):2075–105.

[39] Kumar S, Singh V, Singh G. Advancing Sustainability Through Supply Chain 5.0 Adoption: An Analysis of Influential Challenges Through GINA. Bus Strateg Environ. 2025.

[40] Gargari FJ, Saeidi-Mobarakeh Z, khalili H amoozad. Synergizing industry 5.0 development factors into sustainable circular closed-loop supply chains through a hybrid approach: Case studies. Environ Dev Sustain. 2025;1–43.

[41] Liao H, Wen Z, Liu L. Integrating BWM and aras under hesitant linguistic environment for digital supply chain finance supplier section. Technol Econ Dev Econ. 2019; doi: 10.3846/tede.2019.10716.

[42] Alamroshan F, La'li M, Yahyaei M. The green-agile supplier selection problem for the medical devices: a hybrid fuzzy decision-making approach. Environ Sci Pollut Res. 2022;29(5):6793–811. doi: 10.1007/s11356-021-14690-z.

[43] ForouzeshNejad AA. Leagile and sustainable supplier selection problem in the Industry 4.0 era: a case study of the medical devices using hybrid multi-criteria decision making tool. Environ Sci Pollut Res [Internet]. 2023;30(5):13418–37. Available from: https://doi.org/10.1007/s11356-022-22916-x

[44] Leong WY, Wong KY, Wong WP. A New Integrated Multi-Criteria Decision-Making Model for Resilient Supplier Selection. Appl Syst Innov. 2022;5(1).

[45] Asadi Z, Aghajani H, Khatir MV, Tirkolaee EB. Viable-sustainable supplier selection and order allocation problem considering Industry 5.0 pillars under mixed uncertainty. Int J Prod Res. 2025;1–26.

[46] Asif K, Albherat K. The impact of procurement strategies on supply chain sustainability in the pharmaceutical industry. South Asian J Oper Logist. 2024;3(2):345–61. doi: 10.57044/sajol.2024.3.2.2446.

[47] Sazvar Z, Zokaee M, Tavakkoli-Moghaddam R, Salari SA sadat, Nayeri S. Designing a sustainable closed-loop pharmaceutical supply chain in a competitive market considering demand uncertainty, manufacturer's

brand and waste management [Internet]. Vol. 315, Annals of Operations Research. Springer US; 2022. 2057–2088 p. Available from: https://doi.org/10.1007/s10479-021-03961-0

[48] Kayani SA, Warsi SS, Liaqait RA. A Smart Decision Support Framework for Sustainable and Resilient Supplier Selection and Order Allocation in the Pharmaceutical Industry. Sustain. 2023; doi: 10.3390/su15075962.

[49] Ghadimi P, Sar K, Azadnia AH. An integrated decision-making process for sustainable supplier selection and order allocation in the automotive industry. Procedia CIRP. 2024;122:1036–41.

[50] Sharma M, Joshi S. Digital supplier selection reinforcing supply chain quality management systems to enhance firm's performance. TQM J. 2023. doi: 10.1108/TQM-07-2020-0160.

[51] Ghazvinian A, Feng B, Feng J, Talebzadeh H, Dzikuć M. Lean, Agile, Resilient, Green, and Sustainable (LARGS) Supplier Selection Using Multi-Criteria Structural Equation Modeling under Fuzzy Environments. Sustain 2024, Vol 16, Page 1594 [Internet]. 2024 Feb 14 [cited 2024 May 16];16(4):1594. Available from: https://www.mdpi.com/2071-1050/16/4/1594/htm

[52] Slavic D, Marjanovic U, Pezzotta G, Turcin I, Rakic S. Servitization and Industry 5.0: The Future Trends of Manufacturing Transformation [Internet]. Vol. 690 AICT, IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer Nature Switzerland; 2023. 109–121 p. Available from: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-43666-6_8.

[53] Mohammed A, Bai C, Channouf N, Ahmed T Al, Mohamed SM. G-resilient multi-tier supplier selection and order allocation in food industry: a hybrid methodology. Int J Syst Sci Oper Logist. 2023;10(1).

[54] Liu P, Khan Q, Jamil A, Haq IU, Hussain F, Ullah Z. A Novel MAGDM Technique Based on Q-rung Orthopair Fuzzy Aczel-Alsina Power Heronian Mean for Sustainable Supplier Selection in Organ Transplantation Networks for Healthcare Devices. Int J Fuzzy Syst [Internet]. 2024 Feb 1 [cited 2024 May 16];26(1):121–53. Available from: https://link.springer.com/article/10.1007/s40815-023-01580-4

[55] Alves J, Lima TM, Gaspar PD. Is Industry 5.0 a Human-Centred Approach? A Systematic Review. Processes. 2023;11(1):193.

[56] Nayeri S, Sazvar Z, Heydari J. Towards a responsive supply chain based on the industry 5.0 dimensions: A novel decision-making method. Expert Syst Appl. 2023;213:119267.

[57] Nayeri S, Sazvar Z, Babaee Tirkolaee E. Viable supplier selection problem based on Industry 5.0 and circular economy aspects: a hybrid decision-making approach. Int J Syst Sci Oper Logist. 2025;12(1):2469117.

[58] Khorasani M, Kazemi A. A fuzzy multi-objective modelling for supplier selection problem in leagile supply chain. Int J Agil Syst Manag. 2022;15(3):273–96.

[59] Khanzadi F, Radfar R, Pilevari N. A review of lean, agile, resilient, and green (LARG) supply chain management in engineering, business and management areas. Decis Sci Lett. 2024;13(2):287–306.

[60] Gharaibeh L, Eriksson KM, Lantz B, Matarneh S, Elghaish F. Toward digital construction supply chain-based Industry 4.0 solutions: scientometric-thematic analysis. Smart Sustain Built Environ [Internet]. 2024 Jan 1;13(1):42–62. Available from: https://doi.org/10.1108/SASBE-12-2021-0224

[61] Banihashemi SA, Khalilzadeh M, Antucheviciene J, Edalatpanah SA. Identifying and prioritizing the challenges and obstacles of the green supply chain management in the construction industry using the fuzzy BWM method. Buildings. 2023;13(1):38.

[62] Rostami O, Tavakoli M, Tajally AR, GhanavatiNejad M. A goal programming-based fuzzy best–worst method for the viable supplier selection problem: a case study. Soft Comput [Internet]. 2023;27(6):2827–52. Available from: https://doi.org/10.1007/s00500-022-07572-0

[63] Yevu SK, Owusu EK, Chan APC, Sepasgozar SME, Kamat VR. Digital twin-enabled prefabrication supply chain for smart construction and carbon emissions evaluation in building projects. J Build Eng [Internet]. 2023;78:107598. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710223017783

[64] Zekhnini K, Cherrafi A, Bouhaddou I, Benabdellah AC. Suppliers Selection Ontology for Viable Digital Supply Chain Performance. In: IFIP Advances in Information and Communication Technology. 2021. doi: 10.1007/978-3-030-85910-7_66.

[65] Truant E, Giordino D, Borlatto E, Bhatia M. Drivers and barriers of smart technologies for circular economy: Leveraging smart circular economy implementation to nurture companies' performance. Technol Forecast Soc Change. 2024;198:122954.

[66] Osei SA, Ayisi CL, Boamah GA, Mensah GD. The circular economy in aquaculture and fisheries: enhancing sustainability and food security. Circ Econ Sustain. 2025;1–50.