

Presenting a network model of Influencing factors the implementation of Industry 4.0 in resilient supply chain management

Maryam Hosseini 

PhD student in Industrial Management,
Economics, Management and Accounting
Faculty, Yazd University, Yazd, Iran

**Davood Andalib
Ardakani*** 

Associate Professor, Industrial Management
Department, Economics, Management and
Accounting Faculty, Industrial Management
Group, Yazd University, Yazd, Iran

Alireza Naser Sadrabadi 

Associate Professor, Industrial Management
Department, Management and Accounting
Faculty, Industrial Management Group,
Yazd University, Yazd, Iran

**Seyed Mojtaba Hosseini
Bamkan** 

Associate Professor, Industrial Management
Department, Economics, Management and
Accounting Faculty, Industrial Management
Group, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

Despite organizations with Industry4.0 technologies hold potential for enhancing supply chain resilience the systematic integration of these two domains has faced delays. The present study aims to analyze the causal relationships among factors influencing the implementation of Industry4.0 in resilient supply chain management within the Yazd steel industry. In the first phase, factors were identified and categorized using the qualitative meta-synthesis method, resulting in the identification of 21 factors across five dimensions: managerial-institutional, technological-structural, organizational, operational, and cultural. In the second phase, the fuzzy DEMATEL method was employed to determine the causal relationships among the identified factors. The

* Corresponding Author: andalib@ yazd.ac.ir

How to Cite: xxxxxxxx

Received: Original Research

Review

Accepted:

eISSN: 2476-5988 ISSN: 2251-8037

results revealed that the managerial-institutional dimension is the most influential, while the operational dimension is the most influenced in the implementation of Industry 4.0 in resilient supply chain management. This study analyzes the causal relationships among factors and provides a framework for evaluating the link between resilient supply chain and Industry4.0.

Introduction

In recent years, global supply chains have faced unprecedented challenges. Supply chain resilience can be defined as an organization's ability to respond effectively to various disruptions, which can be assessed through two key components: "resistance" and "recovery speed." These capabilities enable organizations to continue competing in today's dynamic and highly uncertain environments. Consequently, understanding the mechanism through which supply chains can enhance their resilience has recently garnered significant attention in the fields of operations and supply chain management. One mechanism that has gained attention in recent years is the concept of Industry 4.0 as a transformative strategy. This new paradigm, based on digitalization and process integration, enables the creation of a "Resilient Supply Chain 4.0." Despite the growing attention to both resilience and Industry 4.0 concepts, a review of the existing literature reveals significant research gaps. First, previous studies have primarily examined these two areas in isolation, and their systematic integration has been delayed. Second, the main focus has been on the technologies themselves, with less attention given to the systemic and network analysis of interactions between different dimensions. Third, this field of study has been particularly neglected in the context of Iran's strategic industries, such as the steel industry. These gaps increasingly highlight the need for research that can explain the relationships between influencing factors using an integrated approach. Aiming to fill these gaps, the present study provides a model of factors affecting the implementation of Industry 4.0 in resilient supply chain management within Iran's steel industry. To achieve this research objective, a mixed-methods approach was used. In the first step, a comprehensive set of influencing factors and dimensions were identified using the qualitative meta-synthesis method. Then, in the subsequent stage, the causal

relationships among the identified factors were measured and analyzed using the Fuzzy DEMATEL method.

Methodology

This research is considered an applied-developmental study in terms of its outcome, as it seeks to develop a novel scientific model of the factors affecting the implementation of Industry 4.0 in resilient supply chain management. For this purpose, in the first stage, the factors affecting the implementation of Industry 4.0 in resilient supply chain management were identified through the meta-synthesis method. In the second stage of the research, the authors analyzed the cause-and-effect relationships between these factors using the Fuzzy DEMATEL method. Meta-synthesis is a qualitative method that provides researchers with a systematic perspective by synthesizing various types of studies, generating new and fundamental themes. In the first stage of this study, the statistical population consisted of all studies published in reputable domestic and international scientific databases related to factors affecting the implementation of Industry 4.0 in resilient supply chain management up to the time of the research. In the second stage, the statistical population of the study comprised professors and managers specializing in digital technologies and familiar with supply chain management in the steel industries of Yazd. Using purposive sampling, 10 of these individuals were selected to participate in the stage of analyzing the causal relationships between the factors.

Findings

The findings of the meta-synthesis method led to the identification of 21 factors influencing the implementation of Industry 4.0 in resilient supply chain management. Based on thematic similarity, these factors were classified into five new components. These components are: Managerial-Institutional, Technological-Structural, Organizational, Operational, and Cultural. Furthermore, at the conclusion of the meta-synthesis method, Cohen's Kappa coefficient was employed to analyze and assess the quality control and reliability of the model. The resulting Kappa value at this stage was 0.49, indicating a suitable level of agreement between the researcher and the expert.

A survey of 10 experts and the analysis of their opinions using the Fuzzy DEMATEL method revealed the following:

- Within the Managerial-Institutional dimension, 'Senior management's commitment and support for implementing Industry 4.0 technologies' has the greatest influence on other factors, while the indicator 'Development of supply chain planning' is the most influenced.
- Within the Technological-Structural dimension, among all factors, the indicator 'Investment in Industry 4.0 technologies' has the greatest influence, and the indicator 'Capability to provide changes in supply chain design or mapping' is the most influenced.
- Within the Organizational dimension, the indicator 'Effective collaboration and communication among supply chain partners and stakeholders' has the greatest influence, while the indicator 'Establishing security and safety assurance in creating a resilient supply chain' is the most influenced compared to other indicators in this dimension.
- Within the Operational dimension, among all factors, the indicator 'Developing speed capability for a resilient supply chain' has the greatest influence, and the indicator 'Utilizing maximum capacity in the supply chain' is the most influenced.
- Within the Cultural dimension, the indicator 'Government support for the adoption of Industry 4.0 technologies' has the greatest influence, while the indicator 'Developing a resilient supply chain culture within the organization' is the most influenced compared to other indicators in this dimension.

Conclusion

This study employed a mixed-methodology (meta-synthesis and Fuzzy DEMATEL) to propose a causal model of factors affecting Industry 4.0 implementation for resilient supply chain management in Yazd's steel industry. Findings reveal that digital transformation and achieving resilience constitute a systemic, multi-dimensional process. Managerial-Institutional, Technological-Structural, and Cultural dimensions function as causal factors,

while Organizational and Operational dimensions act as effect-dependent, mediating variables. 'Senior management commitment and support' was the most influential factor, aligning with Özkan-Özen et al. (2020) and Agarwal et al. (2022), underscoring the critical role of leadership and strategic resource allocation for such transformative, high-risk projects. 'Investment in Industry 4.0 technologies' was the key Technological-Structural driver, confirming findings by Raja Santhi & Muthuswamy (2022) and Marinagi et al. (2023), as it enables real-time monitoring and transparency. Culturally, 'Government support' was paramount, consistent with Al-Akilly et al. (2024) and Gade et al. (2020), highlighting the need for national strategies and incentives in emerging adoption contexts like Iran.

Consequently, resilience is not achieved through technology alone but through the dynamic interplay of soft(culture, leadership) and hard(technology, investment) factors. This provides managers with a strategic roadmap: begin by securing top-management commitment, followed by targeted technological investments, and then focus on enhancing organizational collaboration and human resource training. However, these findings should be interpreted considering limitations, including reliance on expert judgment, a limited sample size, and the model's static nature, suggesting future research should explore the impact of specific technologies like AI and blockchain on resilience.

Keywords: Industry 4.0, Resilient Supply Chain, Meta-synthesis, Fuzzy Dematel.

ارائه مدل شبکه ای عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور

دانشجوی دکتری رشته مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

مریم حسینی 

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

داود عندلیب اردکانی *

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

علیرضا ناصر صدرآبادی 

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

سید مجتبی حسینی بامکان 

چکیده

در سال های اخیر، مفاهیم زنجیره تأمین تاب آور و صنعت ۴,۰ توجه قابل توجهی را از سوی دانشگاه ها و سازمان ها به خود جلب کرده اند. با این حال، علی رغم این که سازمان های مجهز به فناوری های صنعت ۴,۰ پتانسیل بالایی برای بهبود تاب آوری زنجیره تأمین و گسترش عملکرد سازمانی دارند و می توانند بهتر با بحران ها و اختلالات مقابله کنند، ادغام نظام مند این دو حوزه با تأخیر و شکاف پژوهشی مواجه بوده است. هدف از پژوهش حاضر، شناسایی و تحلیل روابط علی و معلولی عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور در صنایع فولاد یزد می باشد. این پژوهش جزء تحقیقات کاربردی-توسعه ای می باشد. در مرحله اول پژوهش، عوامل با بهره گیری از روش کیفی فراترکیب، شناسایی و دسته بندی شدند که نتیجه آن شناسایی 21 عامل در 5 بُعد، عوامل مدیریتی-نهادی، فناوری-ساختاری، سازمانی، عملیاتی و فرهنگی بود. در دومین مرحله با استفاده از روش دیمتال فازی، روابط علی و معلولی عوامل شناسایی شد. نتایج نشان داد که بعد مدیریتی-نهادی، تأثیرگذارترین و بعد عملیاتی تأثیرپذیرترین ابعاد در پیاده سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور است. همچنین، در بعد مدیریتی-نهادی، « تعهد و حمایت

* نویسنده مسئول: andalib@ yazd.ac.ir

مدیریت ارشد از اجرای فناوری‌های صنعت 4.0؛ در بعد فناوری-ساختاری «سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت 4.0»؛ در بعد سازمانی «همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره تأمین»؛ در بعد عملیاتی «توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره تأمین تاب‌آور» و در بعد فرهنگی «حمایت‌های دولت از به‌کارگیری فناوری‌های صنعت 4.0» از تأثیرگذارترین عوامل برای اجرای صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور در صنعت فولاد یزد می‌باشند. تحقیق حاضر برای نخستین بار به تحلیل روابط علی-معلولی بین عوامل کلیدی در بافت صنعت فولاد ایران پرداخته و چارچوبی برای ارزیابی و توسعه پیوند بین زنجیره تأمین تاب‌آور و صنعت 4.0 فراهم کرده که یافته‌های آن، راهنمای عملی برای مدیران در تدوین راهبردهای پیاده‌سازی صنعت 4.0 محسوب می‌شود.

کلیدواژه‌ها: صنعت 4.0، زنجیره تأمین تاب‌آور، فراترکیب، دیمتل فازی

مقدمه

در سال‌های اخیر، زنجیره‌های تأمین جهانی با چالش‌های بی‌سابقه‌ای مواجه شده‌اند. همه‌گیری کووید-۱۹، تنش‌های ژئوپلیتیکی و اختلالات لجستیکی، آسیب‌پذیری سیستم‌های تولید و توزیع را به طور کامل آشکار ساخته‌اند (Spieske et al., 2023). این بحران‌ها توجه جامعه علمی و صنعتی را به مفهوم تاب‌آوری زنجیره تأمین به عنوان پارادایمی ضروری در مدیریت عملیات معطوف کرده است. تاب‌آوری زنجیره تأمین را می‌توان توانایی سازمان برای پاسخ‌دهی مؤثر به اختلالات مختلف تعریف کرد که از طریق دو مؤلفه کلیدی "مقاومت" و "سرعت بازیابی" قابل ارزیابی است (امیری و همکاران، 1397). جنبه مقاومت، مربوط به توانایی زنجیره تأمین برای به حداقل رساندن تأثیر اختلالات به صورت پیش‌گیرانه است، چه از طریق پایش مستمر محیط برای اجتناب کامل از اختلالات بالقوه (Sharma et al, 2025) و چه از طریق پیکربندی بهینه خود برای بازیابی سریع از تأثیرات منفی اختلالات قریب‌الوقوع (Ghobakhloo, et al. 2025). جنبه سرعت بازیابی، مربوط به توانایی زنجیره تأمین برای بازگرداندن سریع عملکرد بهینه عملیاتی پس از تجربه اختلال است (Brookbanks and Parry, 2024). این قابلیت‌ها سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا در محیط‌های پویا و پرعدم اطمینان امروزی به رقابت خود ادامه دهند (Kumar et al, 2025). در نتیجه، درک مکانیزمی که از طریق آن زنجیره‌های تأمین می‌توانند تاب‌آوری خود را

افزایش دهند، اخیراً توجه قابل توجهی در حوزه‌های عملیات و مدیریت زنجیره تأمین به خود جلب کرده است.

یکی از مکانیزم‌هایی که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، مفهوم صنعت ۴,۰ به عنوان یک راهبرد تحول‌آفرین است. این پارادایم جدید که بر پایه دیجیتال‌سازی و یکپارچه‌سازی فرآیندها استوار است، امکان ایجاد "زنجیره تأمین تاب‌آور ۴,۰" را فراهم می‌کند (Ghobakhloo et al., 2025). فناوری‌های مرتبط با صنعت ۴,۰ از جمله اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی و کلان‌داده‌ها، با ایجاد شفافیت، انعطاف‌پذیری و قابلیت پیش‌بینی، سازمان‌ها را در مدیریت مؤثرتر اختلالات یاری می‌رسانند (Alfaqiyah et al., 2025). مفهوم‌سازی صنعت ۴,۰ در این مطالعه، نه تنها بر حضور فناوری‌های دیجیتال، بلکه بر پیاده‌سازی مؤثر آن‌ها در سراسر زنجیره‌های ارزش برای پشتیبانی از تاب‌آوری سازمانی تأکید دارد. صنعت ۴,۰ که در اصل در سال ۲۰۱۱ در آلمان ابداع شد، نشان‌دهنده یک تغییر پارادایم از تولید سنتی به سمت سیستم‌های سایبر-فیزیکی است که با یکپارچه‌سازی دیجیتال در سطوح مختلف تولید و تأمین توانمند شده‌اند (Sharma et al, 2024). به جای صرفاً فهرست کردن ابزارهای پیشرفته، این مطالعه بر چگونگی پیاده‌سازی این فناوری‌ها برای خلق تحول راهبردی و ارتقای تاب‌آوری زنجیره تأمین متمرکز است. به این ترتیب، صنعت ۴,۰ شامل استقرار فناوری‌های هوشمند - از جمله اینترنت اشیاء، تحلیل کلان‌داده‌ها، هوش مصنوعی، تولید افزایشی و بلاک چین - می‌شود که دارایی‌های فیزیکی و دیجیتال را به صورت بلادرنگ به هم متصل می‌کنند (Yavuz et al, 2023). فناوری‌های دیجیتال مانند اینترنت اشیاء، بلاکچین و تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده، امروزه با تسهیل پایش بلادرنگ، تصمیم‌گیری مبتنی بر داده و کاهش پیش‌دستانه ریسک، به عنوان توانمندسازهای تاب‌آوری عمل می‌کنند (Madrid-Guijarro et al, 2024).

علاوه بر این، مجموعه تحقیقات در حال تحول نشان می‌دهد که تاب‌آوری زنجیره تأمین در تولید، تنها مربوط به پیچیدگی فناورانه نیست، بلکه درباره همسویی راهبردی و حساسیت به بافت نیز هست. زواری و همکاران (2020) تأکید کردند که شرکت‌ها باید راه‌حل‌های دیجیتال را با منطق تولید، پیچیدگی لجستیک و نیازهای پاسخگویی به مشتری خود همسو

کنند. این نشان می‌دهد که اجرای موفق راهبردهای تاب‌آوری زنجیره تأمین به توانایی شرکت در توسعه قابلیت‌های پویایی بستگی دارد که با واقعیت‌های ساختاری آن مطابقت داشته باشد

با وجود توجه فزاینده به هر دو مفهوم تاب‌آوری و صنعت ۴,۰، بررسی ادبیات موجود شکاف‌های تحقیقاتی قابل توجهی را آشکار می‌سازد. نخست آنکه مطالعات پیشین عمدتاً به بررسی مجزای این دو حوزه پرداخته‌اند و ادغام نظام‌مند آنها با تأخیر مواجه بوده است. دوم آنکه تمرکز اصلی بر خود فناوری‌ها بوده و کمتر به تحلیل سیستمی و شبکه‌ای تعاملات بین ابعاد مختلف توجه شده است. سوم آنکه این حوزه مطالعاتی به‌طور خاص در بافت صنایع راهبردی ایران مانند صنعت فولاد مورد غفلت قرار گرفته است. این شکاف‌ها لزوم پژوهش‌هایی را که بتوانند با رویکردی یکپارچه به تبیین روابط بین عوامل مؤثر پردازند، بیش از پیش آشکار می‌سازد. مدل پیشنهادی این پژوهش از چندین جهت حائز اهمیت است: نخست آنکه برای اولین بار با استفاده از روش دیمتل فازی به تحلیل روابط علی-معلولی بین عوامل در بافت صنعت فولاد ایران می‌پردازد. دوم آنکه با ارائه چارچوبی جامع، مدیران صنعتی را در اولویت‌بندی عوامل و تدوین راهبردهای مؤثر یاری می‌رساند. سوم آنکه با ادغام دو حوزه تاب‌آوری و صنعت ۴,۰، نقشه راهی برای تحول دیجیتال در جهت افزایش تاب‌آوری ارائه می‌دهد.

پژوهش حاضر با هدف پر کردن این شکاف‌ها، به ارائه مدلی از عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور در صنعت فولاد ایران می‌پردازد. برای دستیابی به هدف این پژوهش، از یک رویکرد ترکیبی استفاده شده است که در گام نخست، با به‌کارگیری روش کیفی فراترکیب، مجموعه جامعی از عوامل و ابعاد مؤثر شناسایی شدند و سپس در مرحله بعد، با استفاده از روش دیمتل فازی، روابط علت و معلولی میان عوامل شناسایی شده موردسنجش و تحلیل قرار گرفتند. در حقیقت، شناسایی ترکیبی از عوامل و تحلیل شبکه‌ای ارتباطات و تعاملات علی میان آنها، تمایز اصلی این پژوهش با مطالعات پیشین است. لذا اهداف تحقیق عبارت‌اند از:

(۱) شناسایی و دسته‌بندی جامع عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور

(۲) تحلیل روابط علی-معلولی بین این عوامل و ارائه مدلی شبکه‌ای

پیشینه پژوهش

صنعت 4.0 و زنجیره تأمین تاب‌آور

مرور ادبیات موجود در حوزه صنعت ۴,۰ و زنجیره تأمین تاب‌آور حاکی از آن است که اگرچه این حوزه مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، اما شکاف‌های متعددی در آن وجود دارد. در مجموع، مطالعات پیشین را می‌توان در دو دسته کلی جای داد. دسته اول، مطالعاتی است که متمرکز بر فناوری‌های خاص هستند. بخش عمده‌ای از تحقیقات پیشین به بررسی فناوری‌های منفرد صنعت ۴,۰ (مانند کلان‌داده، اینترنت اشیاء و بلاک‌چین) و تأثیر مجزای آنها بر جنبه‌های مختلف تاب‌آوری زنجیره تأمین پرداخته‌اند. برای مثال، اسپیسکه و بیرکل^۱ (۲۰۲۱) به این نتیجه رسیدند که تحلیل کلان‌داده در مقایسه با سایر فناوری‌ها، بیشترین تأثیر را در بهبود تاب‌آوری دارد. به طور مشابه، تقی‌زاده و تقی‌زاده (۲۰۲۱) از طریق شبیه‌سازی نشان دادند که دیجیتالی‌سازی فرآیندها می‌تواند تا ۱۷ درصد سطح تاب‌آوری زنجیره تأمین را افزایش دهد. اگرچه این یافته‌ها حائز اهمیت هستند، اما نگاه جزئی‌نگر آنها به مقوله فناوری، درک جامعی از تعامل پیچیده و سیستماتیک تمامی عوامل مؤثر ارائه نمی‌دهد. دسته دوم، مطالعات هستند که فاقد تحلیل روابط علی و مدل یکپارچه هستند. نکته قابل تأمل دیگر، فقدان مدل‌های جامعی است که به طور همزمان به تحلیل شبکه روابط علی و اثرات متقابل بین ابعاد گوناگون (فنی، انسانی، سازمانی، فرهنگی و نهادی) بپردازند. مطالعاتی مانند هسو^۲ و همکاران (۲۰۲۲) که به شناسایی محرک‌های کلیدی، یا آگاروال^۳ و همکاران (۲۰۲۲) که به رتبه‌بندی موانع و قابلیت‌ها پرداخته‌اند، عمدتاً ماهیتی توصیفی داشته و از تبیین چگونگی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری این عوامل بر یکدیگر بازمانده‌اند. برای نمونه،

¹ Spieske & Birkel

² Hsu

³ Agarwal

با وجود اینکه پژوهش فردریکو^۱ (۲۰۲۱) به نقش حیاتی فناوری‌ها در شرایط بحرانی مانند همه‌گیری کووید-۱۹ اشاره می‌کند، اما سازوکارهای علی این تأثیرات را به وضوح تشریح نمی‌نماید. در مقابل این شکاف، برخی مطالعات اخیر کوشیده‌اند تا نگاهی سیستمی‌تر ارائه دهند. برای مثال، قادر^۲ و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که زنجیره تأمین تاب‌آور می‌تواند نقش یک متغیر میانجی را بین صنعت ۴،۰ و عملکرد زنجیره تأمین ایفا کند. همچنین، هوانگ^۳ و همکاران (۲۰۲۳) بر نقش واسطه‌ای "همکاری" و "شفافیت" در این رابطه تأکید کرده‌اند. با این حال، حتی این دسته از پژوهش‌ها نیز معمولاً تعداد محدودی از عوامل را در نظر گرفته و تحلیل جامعی از تمامی ابعاد شناسایی شده در ادبیات (به ویژه ابعاد فرهنگی و نهادی) ارائه نمی‌دهند. همچنین شکور^۴ و همکاران، (۲۰۲۴) بیان نمودند که عواملی مانند نیازهای سرمایه‌گذاری، زیرساخت‌های ناسازگار و زنجیره‌های ارزش با ساختار ضعیف نه تنها بر پیاده‌سازی فناوری، بلکه بر اهداف گسترده‌تر پایداری و تاب‌آوری، اثرات منفی ایجاد می‌نمایند. آن‌ها در پژوهش خود نشان دادند که مزایای چندوجهی تاب‌آوری، الگوی نظری برای پذیرش صنعت 4.0، همراه با تأثیرات مثبت بر مشتریان، عملکرد سازمان‌ها را توسعه می‌دهد.

همانطور که پیشتر بیان شد، در سال‌های اخیر، تحول دیجیتال و ظهور فناوری‌های صنعت 4.0 نقش چشمگیری در ارتقاء تاب‌آوری زنجیره تأمین ایفا کرده‌اند. پیاده‌سازی موفق این فناوری‌ها در مدیریت زنجیره تأمین نیازمند شناخت دقیق عواملی است که می‌توانند بر اثربخشی آن تأثیرگذار باشند. پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام شده‌اند که هر یک به بررسی جنبه‌هایی از این عوامل پرداخته‌اند؛ از جمله همکاری بین شرکا، بلوغ فناوری اطلاعات، حمایت مدیریت ارشد، و توسعه راهبردهای مدیریت ریسک. این عوامل نه تنها به عنوان پیش‌نیازهای فنی و سازمانی شناخته می‌شوند، بلکه در شکل‌گیری یک زنجیره تأمین منعطف و مقاوم در برابر بحران‌ها نیز نقش کلیدی دارند.

¹ Frederico

² Qader

³ Huang

⁴ Shakur

ردیف	موضوع	Patidar et al. (2023)	Zhao et al. (2024)	Ayyildiz (2023)	Raja Santhi & Muthuswamy (2022)	Al-Talib et al. (2020)	Musah (2023)	Al-Okaily et al. (2024)	Frederico (2021)	Agarwal et al. (2022)	Resende et al. (2021)	Xu et al. (2022)	Maryniak et al. (2021)	Orkan-Ozen et al. (2020)	Joshi & Sharma (2022)	Hsu et al. (2022)	Huang et al. (2023)	Spieske & Birkel (2021)	Marinagi et al. (2023)
3	آموزش کارکنان									✓				✓					
4	حمایت مدیریت ارشد							✓	✓	✓				✓					
5	بلوغ فناوری اطلاعات								✓		✓		✓			✓	✓		
6	سازگاری با بازار				✓	✓							✓						
7	مدیریت ریسک			✓									✓			✓		✓	
8	تغییرات طراحی زنجیره								✓							✓	✓		
9	استفاده از ظرفیت	✓					✓				✓		✓						
10	حمایت دولت							✓						✓					
11	برنامه ریزی زنجیره			✓	✓					✓			✓	✓	✓			✓	
12	منبع یابی قابل اعتماد		✓	✓			✓									✓	✓		
13	مدیریت موجودی				✓		✓											✓	
14	شفافیت زنجیره					✓							✓	✓	✓		✓	✓	
15	سرعت زنجیره تاب آور												✓				✓	✓	

ردیف	موضوع	Patidar et al. (2023)	Zhao et al. (2024)	Ayyildiz (2023)	Raja Santhi & Muthuswamy (2022)	Al-Talib et al. (2020)	Musah (2023)	Al-Okaily et al. (2024)	Frederico (2021)	Agarwal et al. (2022)	Resende et al. (2021)	Xu et al. (2022)	Maryniak et al. (2021)	Orkan-Ozen et al. (2020)	Joshi & Sharma (2022)	Hsu et al. (2022)	Huang et al. (2023)	Spieske & Birkel (2021)	Marinagi et al. (2023)
16	درک ساختار زنجیره															✓		✓	✓
17	فرهنگ تاب آور ی											✓	✓			✓		✓	
18	امنیت زنجیره تاب آور						✓				✓			✓		✓		✓	
19	مدیریت دانش		✓									✓							✓
20	ثبات مالی زنجیره			✓			✓			✓			✓	✓					
21	سرمایه گذاری در فناوری				✓		✓						✓				✓		✓

روش^۱

این پژوهش از نظر نتیجه جزء تحقیقات کاربردی-توسعه‌ای قلمداد می‌شود زیرا به دنبال توسعه الگویی علمی و نوین از عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور می‌باشد. بدین منظور، در مرحله اول عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور از طریق روش فراترکیب شناسایی می‌شوند و در مرحله دوم تحقیق، محققان از طریق روش دیمتل فازی و نظرخواهی از 10 نفر از خبرگان فعال در صنعت فولاد یزد (جدول 2) به دنبال تعیین روابط بین عوامل شناسایی شده هستند.

جدول 2. مشخصات خبرگان تحقیق

ردیف	جایگاه سازمانی	مدرک تحصیلی	سابقه فعالیت
1	مدیر مالی سازمان	فوق لیسانس حسابداری	17 سال سابقه فعالیت

2	مدیر بازرگانی سازمان	لیسانس اقتصاد	13 سال سابقه فعالیت
3	مسئول IT سازمان	لیسانس کامپیوتر	11 سال سابقه فعالیت
4	مسئول انبار سازمان	لیسانس کامپیوتر	14 سال سابقه فعالیت
5	مدیر منابع انسانی سازمان	لیسانس (غیر مرتبط)	6 سال سابقه فعالیت
6	مسئول تعمیرات سازمان	لیسانس مکانیک	9 سال سابقه فعالیت
7	مهندس کنترل کیفیت سازمان	لیسانس متالوژی	11 سال سابقه فعالیت
8	مسئول ایمنی سازمان	لیسانس (غیر مرتبط)	7 سال سابقه فعالیت
9	معاون خط تولید سازمان	فوق دیپلم (غیر مرتبط)	6 سال سابقه فعالیت
10	مسئول آزمایشگاه سازمان	لیسانس متالوژی	12 سال سابقه فعالیت

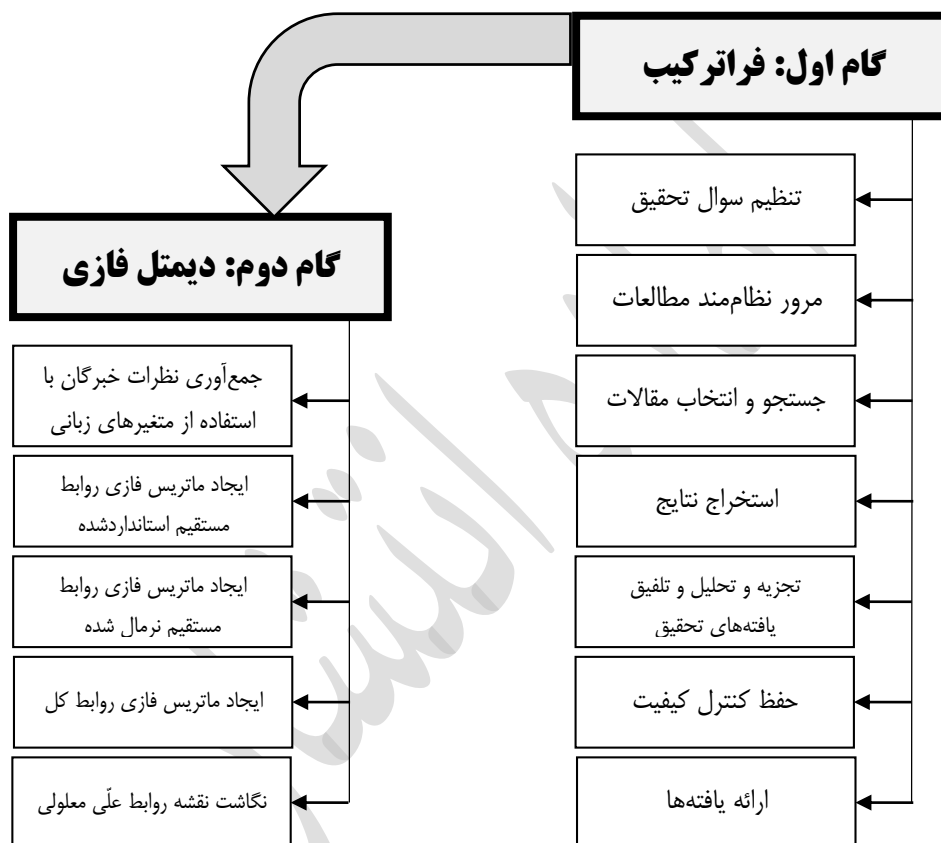
روش‌شناسی ترکیبی این پژوهش (فرا ترکیب + دیمتل فازی) به گونه‌ای طراحی شده که مستقیماً از چارچوب نظری آن پشتیبانی می‌کند.

فرا ترکیب: این تحقیق در مرحله اول با شناسایی نظام‌مند ۲۱ عامل و دسته‌بندی آنان در ۵ بُعد با بکارگیری روش فرا ترکیب، در حقیقت به شناسایی و تعریف عملیاتی "منابع" (فناوری‌ها) و "قابلیت‌ها" (شاخص‌های تاب‌آوری) می‌پردازد. این عوامل، پایگاه منابع و شاخص‌های عینی برای سنجش مفاهیم نظری پژوهش را فراهم می‌کنند. فرا ترکیب روشی کیفی می‌باشد که با ترکیب نمودن انواع گوناگون مطالعات، دیدگاهی نظام‌مند برای محققان ارائه می‌نماید و موضوعاتی اساسی و جدید را پدید می‌آورد. همچنین همراه با رشد دانش، در زمینه انواع مسائل، نگرشی وسیع و جامع ارائه می‌دهد. در این تحقیق؛ برای اجرای فرا ترکیب از روش هفت مرحله‌ای سانلوسکی و باروسو^۱ (2007) استفاده شد که در قسمت یافته‌های تحقیق، به تفکیک هر مرحله، نتایج بیان می‌شود.

در مرحله نخست این پژوهش، جامعه آماری مشتمل بر کلیه مطالعات منتشر شده در پایگاه‌های علمی معتبر داخلی و بین‌المللی مرتبط با عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴،۰ مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور تا مقطع انجام تحقیق بود. در مرحله دوم، جامعه آماری پژوهش را اساتید و مدیران متخصص در حوزه فناوری‌های دیجیتال و آشنا با مدیریت زنجیره

¹ Sandelowski & Barroso

تأمین در صنایع فولاد یزد تشکیل دادند که با به کارگیری روش نمونه گیری هدفمند، ۱۰ نفر از آنان برای مشارکت در مرحله تحلیل روابط علی و معلولی بین عوامل (با استفاده از روش دیمتل فازی) انتخاب شدند. مراحل اجرای تحقیق را می توان در شکل 1 مشاهده کرد.



شکل 1. مراحل اجرای تحقیق

دیمتل فازی: در مرحله دوم، این تحقیق با تحلیل روابط علی-معلولی بین ابعاد و عوامل با استفاده از روش دیمتل فازی، در صدد است تا "مکانیزم های پویا" حاکم بر سیستم را آشکار سازد. کشف این که کدام عوامل، "علی" (تأثیرگذار) و کدام "معلول" (تأثیرپذیر) هستند، در کجای چگونگی بسیج منابع برای ایجاد قابلیت تاب آوری را ممکن می سازد و به طور مستقیم به قلب "نظریه قابلیت های پویا" مربوط می شود. داده های مورد نیاز برای این تحلیل

از طریق یک پرسشنامه مقایسات زوجی که بر مبنای متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثی (جدول ۳) طراحی شده بود، از خبرگان جمع‌آوری گردید. به طور کلی، برای انجام روش دیمتل فازی مراحل ذیل طی شد (کیانی و همکاران، ۱۴۰۲):

در گام نخست، معیارهای ارزیابی که ذاتاً دارای روابط علی بوده و طیف وسیعی از شرایط پیچیده را پوشش می‌دهند، تدوین شده و برای مدیریت ابهام موجود در قضاوت‌های انسانی، مقیاس کلامی فازی مطابق با الگوی ارائه‌شده در جدول (۳) طراحی می‌گردد.

جدول ۳. مقیاس‌های کلامی و اعداد فازی مثلثی (کیانی و همکاران، ۱۴۰۲)

متغیر کلامی	مقیاس عددی	اعداد فازی مثلثی متناظر
بدون تأثیر	0	(0 و 0 و 0/25)
تأثیر خیلی کم	1	(0 و 0/25 و 0/5)
تأثیر کم	2	(0/25 و 0/5 و 0/75)
تأثیر زیاد	3	(0/5 و 0/75 و 1)
تأثیر خیلی زیاد	4	(0/75 و 1 و 1)

در گام دوم، نظرات خبرگان جمع‌آوری و میانگین‌گیری می‌شود. بدین منظور، با مشارکت P خبره، ماتریس‌های Z_1 تا Z_p تشکیل می‌شوند که درایه‌های آن‌ها با اعداد فازی مثلثی نمایش داده می‌شوند. ماتریس میانگین Z از رابطه $Z = \frac{Z^1 \oplus Z^2 \oplus \dots \oplus Z^p}{p}$ محاسبه و به عنوان «ماتریس فازی اولیه روابط مستقیم» نام‌گذاری می‌شود. هر درایه از این ماتریس به شکل $Z_{ij} = (I_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ بوده و عناصر قطر اصلی آن به صورت (0,0,0) تعریف می‌شوند.

سپس در گام سوم، با استفاده از رابطه استانداردسازی (رابطه ۱)، مقیاس‌های شاخص‌ها به مقیاس‌های قابل مقایسه تبدیل شده و ماتریس حاصل، «ماتریس فازی روابط مستقیم استاندارد شده» یا X نامیده می‌شود.

$$a_{ij} = \left(\sum_{j=1}^i I_{ij}, \sum_{j=1}^i m_{ij}, \sum_{j=1}^i u_{ij} \right) \quad \text{رابطه 1}$$

$$r = \max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^i u_{ij} \right) \quad \text{رابطه 2}$$

$$x_{ij} = \frac{Z_{ij}}{r} = (I'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij}) \quad \text{رابطه 3}$$

گام چهارم: ماتریس فازی روابط مجموع T به دست می آید. توضیح آنکه $x_{ij} = (I'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$ و مقادیر درایه های ماتریس های X_u, X_m, X_I به ترتیب شامل مقادیر I' و m' و u' در ماتریس X هستند.

$$XI = [I''_{ij}], Xm = [m''_{ij}], Xu = [u''_{ij}] \quad \text{رابطه 4}$$

نظر به اینکه $t_{ij} = (I''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij})$ است، داریم:

$$[I''_{ij}] = X_I \times (I - X_I)^{-1} \quad \text{رابطه 5}$$

$$[m''_{ij}] = X_m \times (I - X_m)^{-1} \quad \text{رابطه 6}$$

$$[u''_{ij}] = X_u \times (I - X_u)^{-1} \quad \text{رابطه 7}$$

در این رابطه، I نشان دهنده ماتریس یکه است و ماتریس های XI, Xm و Xu با ابعاد $n \times n$ به ترتیب شامل درایه های مربوط به مقادیر پایین، میانی و بالای اعداد فازی مثلثی موجود در ماتریس X هستند.

گام پنجم: بدست آوردن مجموع سطرها و ستون های ماتریس T که با استفاده از روابط زیر بدست می آیند.

$$\tilde{R} = (\tilde{R}_i)_{1 \times n} = \left[\sum_{i=1}^n \tilde{T}_{ij} \right]_{1 \times n} \quad \text{رابطه 8}$$

$$\tilde{D} = (\tilde{D}_i)_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n \tilde{T}_{ij} \right]_{n \times 1} \quad \text{رابطه 9}$$

که $\tilde{R}$ و $\tilde{D}$ به ترتیب ماتریس $n \times 1$ و $1 \times n$ هستند.

در گام ششم، میزان اهمیت شاخص ها از طریق مجموع $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)$ و روابط بین معیارها از طریق تفاضل $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)$ مشخص می شوند. اگر نتیجه تفاضل بزرگ تر از صفر باشد، معیار مربوطه یک عامل اثرگذار و اگر کوچک تر از صفر باشد، یک عامل اثرپذیر محسوب می شود.

سپس در گام هفتم، اعداد فازي حاصل از مرحله قبل با استفاده از رابطه ديفازي سازي به مقادير قطعي تبديل مي شوند که در آن B مقدار ديفازي شده عدد فازي $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ محسوب مي گردد (کياني و همکاران، 1402).

$$B = \frac{l + m + n}{3} \quad \text{رابطه 10}$$

يافته ها

شناسايي شاخص ها و مؤلفه هاي مناسب براي پياده سازي صنعت 4.0 در مديريت زنجيره تأمين تاب آور: در اين تحقيق عوامل مؤثر بر آمادگي سازمان براي اجراي صنعت 4.0 در مديريت زنجيره تأمين تاب آور با بررسي پژوهش هاي پيشين به دست آمده است. در واقع عواملی مناسبند که در فرايند پياده سازي صنعت 4.0 در مديريت زنجيره تأمين تاب آور در سازمان ها تأثير گذارند، يا نشان دهنده اين مفهوم باشند که همراه با مديريت زنجيره تأمين تاب آور در سازمان ها پياده سازي اين صنعت در سازمان ها تسهيل مي گردد. بدین گونه که يا بر صنعت 4.0 سازمان يا بر ايجاد مؤثر مديريت زنجيره تأمين تاب آور در آن يا بر هر دو اثر گذارند.

مرحله 1: تنظيم و معرفي سؤال پژوهش: در اين مرحله، ابتدا بايد به سؤالات زير پاسخ داده شود:

چه کسی: جامعه مورد مطالعه را مطرح می نماید. در پژوهش حاضر مقالات مجلات معتبر جستجو و بررسی می شوند.

چه وقت: چارچوب زمانی پژوهش را بيان می دارد. در پژوهش حاضر مقالات 5 سال گذشته بررسی و تحليل گرديده اند.

چگونه نگی: روشی که برای جستجو و تحليل پژوهش ها به کار گرفته می شود را نمايش می دهد. در اين پژوهش از روش کيفی «تحليل اسنادی»، برای بررسی و تحليل مقالات و داده های ثانويه، بهره گرفته شده است.

با در نظر گرفتن هدف ابتدائی پژوهش حاضر (شناسايي شاخص هاي مناسب براي طراحي مدلي شبکه اي براي پياده سازي صنعت 4.0 در مديريت زنجيره تأمين تاب آور)، سؤال اين

تحقیق بدین شکل مطرح می‌گردد: مؤلفه‌ها و متغیرهای مناسب برای پیاده‌سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور چه می‌باشند؟
مرحله 2: جستجو و تحلیل نظام‌مند مطالعات: برای جستجو و بررسی نظام‌مند مطالعات، از کلمات کلیدی مطابق جدول (4) جداگانه و به شکل ترکیبی بهره گرفته شده است.

جدول (4): کلمات کلیدی به کار گرفته شده در بررسی نظام‌مند ادبیات

معادل فارسی	معادل انگلیسی
صنعت 4.0	Industry 4.0
زنجیره تأمین تاب آور	Resilient supply chain
زنجیره تأمین	supply chain
انقلاب صنعتی چهارم	The fourth industrial revolution

در این مطالعه با بهره‌گیری از واژه‌های کلیدی مرتبط، به گردآوری اطلاعات منتشر شده در مجلات و منابع معتبر خارجی به طور متمرکز پرداخته شد. منظور از این عمل تشخیص ادبیاتی معتبر و مرتبط با موضوع در بازه زمانی مورد نظر بود. جامعه مورد مطالعه مقالات منتشر شده در منابع اطلاعاتی نشریات معتبر و پایگاه‌های اطلاعاتی خارجی مانند گوگل اسکولار^۱، وب آف ساینس^۲ و اسکوپوس^۳ بوده است.

در پژوهش حاضر کلید واژه‌های جدول (3) در پایگاه‌های داده‌های ذکر شده در بازه زمانی 2020 الی 2025 به شرح انجام گردیده است:

"The fourth industrial revolution" OR "industry 4.0" OR "I4.0"

AND

"Resilient"

AND

"supply chain***"

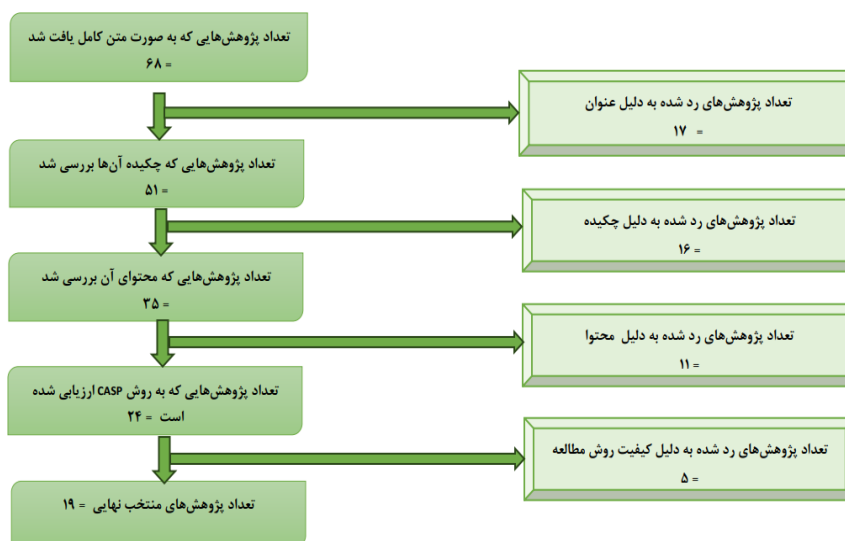
علت انتخاب بازه زمانی فوق به این دلیل است که بهره‌گیری از صنعت 4.0 برای زنجیره تأمین تاب آور، موضوعی می‌باشد که در سال‌های اخیر در پژوهش‌ها ذکر گردیده است.

¹ Google Scholar

² Web of Science

³ Scopus

مرحله 3: جستجو و انتخاب پژوهش‌های مؤثر: برای انتخاب مقالات مناسب از مفاهیم گوناگونی از جمله عنوان، چکیده، محتوا، جزئیات مقاله شامل نام نویسنده، زمان انتشار و دیگر ویژگی‌های مقالات استفاده گردیده است. مقالاتی که با سؤالات و اهداف تحقیق در یک راستا نبودند، از بخش مورد بررسی حذف گردیدند. معیارهای انتخاب و رد مقالات شامل زبان پژوهش، بازه زمانی مورد مطالعه و نوع مقاله بودند. معیارهایی که بیانگر ویژگی‌های مورد نیاز برای انتخاب مقالات بودند، عبارتند از 1. ثبت پژوهش در پایگاه‌های معتبر 2. مطالب و محتوا در ارتباط با صنعت 4.0 و نقش آن در تاب آوری زنجیره تأمین باشد 3. ارائه اطلاعات کافی در مقاله و داشتن کیفیت مناسب به منظور ترکیب در پژوهش. شکل (2) نشان می‌دهد که در ابتدا تعداد کل مقالات شناسایی شده در ارتباط با موضوع، 68 مورد بوده که 49 پژوهش به دلایل گوناگون مانند: مناسب نبودن عنوان، چکیده، محتوا، روش پژوهش، حذف شده‌اند و در پایان داده‌های 19 پژوهش به کار گرفته شده است.



شکل 2. نحوه انتخاب تعداد پژوهش‌های مؤثر بر پژوهش

مرحله 4: استخراج یافته‌های پژوهش: در این مرحله ابتدا، کلیه عبارات مرتبط با صنعت 4.0 و زنجیره تأمین تاب آور به شکل کدگذاری مرتبه اول استخراج شد. سپس این

کدها، به صورت مفاهیمی که ساختار درون داده‌ها را نشان می‌دهد، به وسیله کدگذاری باز شناسایی گردیدند. در ادامه، کدهای مشابه به کمک کدگذاری محوری، در شکل ابعاد تأثیرگذار طبقه‌بندی گردیدند. در ابتدا، متن کامل 19 مقاله منتخب نهایی دقیق مطالعه گردیده و کدگذاری باز روی آن‌ها انجام گردید تا کلیه مفاهیم و عوامل مرتبط با صنعت 4.0 همراه با زنجیره تأمین تاب‌آور استخراج گردد (جدول 1). این کدگذاری توسط دو محقق، جداگانه انجام شد و در ادامه، نتایج کار آن‌ها با همدیگر مقایسه و هراسکال یا ابهام به کمک تحلیل و بررسی دوطرفه برطرف گردید. تعدادی عوامل که بر بسترسازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور تأثیر گذارند و طی بررسی این پژوهش‌ها گردآوری گردیده است، در قالب کد به عنوان نتیجه فرایند کدگذاری مرتبه اول، در جدول (5) شرح داده شده است:

جدول 5. متغیرهای کلیدی مناسب برای پیاده‌سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور

ردیف	عامل	توضیحات
1	همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره تأمین	این عامل اطمینان می‌دهد که تمامی طرف‌ها هماهنگ هستند و این امر منجر به پاسخ‌های سریع‌تر به تغییرات بازار و اختلالات می‌شود. برخی از نمونه‌های رویکردهای مشارکتی عبارتند از: تصمیم‌گیری تداوم مشترک، زیرساخت‌های ارتباطی دائمی، و تمایل به اشتراک‌گذاری اطلاعات و منابع. در این زمینه، اعتماد متقابل پیش شرط است. برخی از محققان حتی همکاری با رقبا را در تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین مفید می‌دانند.
2	ادغام فناوری‌های مختلف صنعت 4.0	به عنوان مثال اینترنت اشیاء با امکان نظارت زمان واقعی بر کالاها، دید بیشتری را در سراسر زنجیره تأمین فراهم می‌کند. هوش مصنوعی دقت پیش‌بینی را بهبود می‌بخشد و مدیریت موجودی را بهینه می‌کند. تحلیل کلان داده به تحلیل روندها و الگوها کمک می‌کند و منجر به مدیریت بهتر ریسک می‌شود.
3	آموزش و توسعه کارکنان در زمینه فناوری‌های دیجیتال	سرمایه‌گذاری در آموزش کارکنان برای موفقیت پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت 4.0 بسیار مهم است. سازمان‌ها باید اطمینان حاصل کنند که نیروی کارشان با مهارت‌های لازم برای بهره‌برداری مؤثر از سیستم‌های جدید مجهز است.
4	تعهد و حمایت مدیریت ارشد از اجرای فناوری‌های صنعت 4.0	تعهد قوی رهبری برای هدایت تغییرات به سمت شیوه‌های صنعت 4.0 حیاتی است. رهبران باید از ابتکارات تحول دیجیتال حمایت کرده و منابع را به‌طور مؤثر برای پشتیبانی از این تغییرات تخصیص دهند. دیدگاه و حمایت آنها می‌تواند تیم‌ها را تشویق کند و فرهنگ سازمانی مناسبی برای نوآوری ایجاد کند.

5	بلوغ بالای فناوری اطلاعات در شرکت	زیرساخت موجود باید قادر به پشتیبانی از فناوری‌های جدید باشد. سازمان‌ها باید قابلیت‌های فعلی خود را ارزیابی کرده و در صورت لزوم سرمایه‌گذاری‌هایی برای ارتقاء انجام دهند.
6	توانایی سازگاری با شرایط متغیر بازار	سازمان‌ها باید فرآیندهای منعطفی را پیاده‌سازی کنند که اجازه دهند بر اساس بینش‌های داده‌ای زمان واقعی، سریعاً در عملیات خود تغییراتی ایجاد کنند.
7	توسعه استراتژی‌های مدیریت ریسک	شامل استفاده از تحلیل پیش‌بینی‌کننده برای پیش‌بینی مسائل بالقوه و پیاده‌سازی برنامه‌های اضطراری می‌شود. ادغام فناوری بلاکچین نیز می‌تواند قابلیت ردیابی و امنیت را در زنجیره‌تأمین افزایش دهد و ریسک‌های مرتبط با تقلب یا خطاها را کاهش دهد.
8	قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه برداری زنجیره‌تأمین	زنجیره‌های تأمین باید به گونه ای طراحی شوند که تغییرات طراحی در هر مرحله از زنجیره‌تأمین در آن گنجانده شود. اینکه آیا زنجیره‌تأمین از نظر فناوری قادر است طراحی شبکه خود را مطابق با نیازهای مورد نیاز تغییر دهد، یکی از عوامل اصلی در افزایش انعطاف پذیری زنجیره‌تأمین است.
9	استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره‌تأمین	همراه با استفاده از تمامی ظرفیت، نسبت خروجی واقعی به حداکثر خروجی ممکن می‌گردد و بر حسب درصد بیان می‌شود. زنجیره‌ی تأمین سازمان‌ها باید از تمامی ظرفیت خود برای به‌کارگیری فناوری‌های صنعت 4.0 در تولید و باز تولید زنجیره‌تأمین بهره ببرند.
10	حمایتهای دولت از به‌کارگیری فناوری‌های صنعت 4.0	دولت‌ها قادرند با ارائه کمک‌های مالی و یارانه‌ها به سازمان‌ها یا با وضع قوانینی مناسب در این راستا به بسیاری از سازمان‌ها در رویارویی با اختلالات زنجیره‌تأمین آن‌ها و ایجاد تاب‌آوری در زنجیره آن‌ها کمک نمایند.
11	توسعه برنامه ریزی زنجیره‌تأمین	این شامل تنظیم برنامه بر اساس پیش‌بینی‌های برنامه‌ریزی تقاضا و در عین حال در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت تولید و در دسترس بودن مواد است. شرکت‌هایی که از نظر فن‌آوری در فرآیند برنامه‌ریزی مجموعه‌ای خود توانایی خوبی دارند، می‌توانند از برآورده شدن تقاضا و کاهش شانس فروش از دست رفته اطمینان حاصل کنند و در نتیجه انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین را بهبود بخشند.
12	توسعه منبع یابی از پایگاه عرضه قابل اعتماد	تأمین کنندگان قابل اعتماد ضروری است زیرا اختلالات در سطوح پایین تر می‌تواند بر هر زنجیره‌تأמיنی در سازمان‌ها تأثیر بگذارد. نقش تأمین کنندگان به ویژه در زمینه صنعت 4.0 مهم است زیرا یک سازمان نمی‌تواند واقعاً از فناوری‌های مخرب بهره مند شود اگر سایر شرکای زنجیره‌تأمین آن هنوز به روش‌های متعارف کار کنند.
13	توسعه راهبردهای مدیریت موجودی زنجیره‌تأمین	مدیریت موجودی بخشی از مدیریت زنجیره‌تأمین است که جریان روبه‌جلو و معکوس مؤثر و کارآمد و ذخیره کالاها و خدمات و اطلاعات مربوطه بین نقطه مبدأ و نقطه مصرف را برای رفع الزامات مشتری برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل می‌کند. مدیریت کارآمد موجودی برای کسب‌وکارها ضروری است تا هزینه‌های ذخیره‌سازی را به حداقل

		برسانند، از رسوب در انبارها جلوگیری کنند و از موجودی اضافی که می‌تواند منجر به فاسد شدن و هدر رفتن شود، اجتناب کنند.
14	توسعه قابلیت مشاهده یا شفافیت زنجیره تأمین	به توانایی دسترسی به اطلاعات مربوط به هویت، مکان، و وضعیت موجودیت‌هایی که بین تأمین‌کنندگان و مشتریان سطح پایین‌تر در زنجیره تأمین ارسال می‌شوند، مربوط می‌شود. این ممکن است شامل موجودی‌ها، شرایط تقاضا و عرضه و همچنین برنامه‌های تولید و خرید باشد.
15	توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره تأمین تاب‌آور	بر سرعت سازمان در انجام سازگاری‌های انعطاف‌پذیر متمرکز می‌کند و زمان هدایت به عنوان یک شاخص کلیدی است. این عامل شامل انعطاف‌پذیری شرکت‌ها برای واکنش سریع به شرایط محیطی جدید است، به ویژه در هنگام مواجهه با اختلال در تولید، حمل و نقل، تأمین منابع یا نیروی کار
16	توسعه قابلیت درک کل ساختار زنجیره تأمین	درک ساختار زنجیره تأمین برای شناسایی مسیرهای بحرانی و تنگناهای بالقوه در زنجیره تأمین مورد نیاز است که می‌تواند از طریق تکنیک‌های مدل‌سازی و نقشه برداری به دست آید. داشتن این نوع ابزارها هنگام مواجهه با اختلالات زنجیره‌های تأمین برای فعال کردن تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری و شبیه‌سازی سناریو بسیار مهم است.
17	توسعه فرهنگ زنجیره تأمین تاب‌آور در سازمان	ایجاد فرهنگ مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور یک سابقه بسیار متنوع است که شامل طرز فکر آگاهی از ریسک، امکانات یادگیری زنجیره تأمین تاب‌آور و پشتیبانی مدیریت ارشد است. در زمینه فناوری‌های صنعت 4.0 تصمیم‌گیرندگان باید بتوانند بینش‌های داده‌های پردازش شده را تفسیر کنند.
18	ایجاد امنیت و تضمین ایمنی در ایجاد زنجیره تأمین تاب‌آور	مجموعه‌ای از استراتژی‌ها، سیاست‌ها و اقداماتی اطلاق می‌شود که به منظور حفاظت از زنجیره تأمین در برابر تهدیدات و خطرات مختلف طراحی شده است. هدف اصلی این اقدامات، اطمینان از یک جریان بی‌وقفه و امن کالاها و خدمات از تأمین‌کنندگان به مشتریان نهایی است. بخش اساسی ایجاد تاب‌آوری در زنجیره تأمین سازمان می‌تواند امنیت فیزیکی، امنیت اطلاعات یا امنیت حمل و نقل باشد.
19	توسعه راهبردهای مدیریت دانش در زنجیره تأمین سازمان	مدیریت دانش در زنجیره تأمین به شرکت‌کنندگان در حوزه‌های مختلف زنجیره تأمین به منظور شناسایی محل دانش موجود، نحوه جریان یافتن آن از طریق بخش‌های حیاتی زنجیره تأمین و آگاهی در زمینه محل وجود شکاف‌های دانش کمک می‌کند. قبل از اختلال: توانایی کسب دانش از تجربیات گذشته برای آماده شدن برای یک اختلال در آینده پس از اختلال: توانایی یادگیری چگونگی ایجاد راه حل‌های بهتر پس از ایجاد اختلال.
20	ایجاد قدرت یا ثبات مالی مناسب برای زنجیره تأمین	مجموعه‌ای از فرآیندهای تجاری و تأمین مالی مبتنی بر فناوری است که هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و کارایی را برای طرف‌های درگیر در معامله بهبود می‌بخشد. تأمین مالی زنجیره تأمین زمانی بهترین کار را انجام می‌دهد که خریدار رتبه اعتباری بهتری نسبت به فروشنده داشته باشد و بنابراین بتواند با هزینه کمتری به سرمایه دسترسی

		داشته باشد. تامین مالی زنجیره‌تأمین اعتبار کوتاه مدتی را فراهم می کند که سرمایه در گردش را هم برای خریداران و هم برای فروشندگان بهینه می کند.
21	سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت 4.0	فناوری‌های دیجیتال پیشرفته در حال حاضر نیز در تولید استفاده می‌شود، اما فناوری‌های صنعت 4.0، زنجیره‌تأمین را متحول می‌کند. این امر منجر به کارایی بیشتر و تغییر روابط تولید سنتی بین تولیدکنندگان، تامین‌کنندگان، مشتریان، و همچنین بین انسان و ماشین می‌شود. نه فناوری مهم که پایه های صنعت 4.0 را شکل می‌دهند: داده ورزی و کلان داده، ربات‌های خودکار، شبیه‌سازی، یکپارچگی افقی و عمودی سیستم، اینترنت اشیاء، امنیت سایبری، فناوری ابر، تولید افزایشده، واقعیت افزوده

مرحله 5: تجزیه و تحلیل و تلفیق یافته‌ها: در گام بعدی، کدهای شبیه به هم به وسیله کدگذاری محوری در شکل مفاهیم مشترک و در پایان، به صورت ابعاد اصلی طبقه‌بندی گردیدند. این ابعاد به وسیله تحلیل میان محققان و بررسی مجدد مقالات پژوهش ارزیابی گردیدند و تأیید شدند. در این مرحله، عوامل تعیین شده در مرحله قبل که به صورت یک کد بیان گردیده است، بنابر شباهت موضوعی در یک مفهوم جدید طبقه‌بندی می شوند و به‌شکل کدهای رتبه دوم نمایش داده می‌شوند. نتیجه فرآیند کدگذاری مرتبه دوم در جدول (6) ارائه گردیده است.

جدول 6. نتیجه فرآیند کدگذاری مرتبه دوم

ردیف	ابعاد	کدگذاری	شاخص‌ها
1	عوامل مدیریتی- نهادی (MI)	MI1	توسعه برنامه ریزی زنجیره‌تأمین
2		MI2	توسعه راهبردهای مدیریت موجودی زنجیره‌تأمین
3		MI3	ایجاد قدرت یا ثبات مالی مناسب برای زنجیره‌تأمین
4		MI4	توسعه راهبردهای مدیریت دانش در زنجیره‌تأمین سازمان
5		MI5	تعهد و حمایت مدیریت ارشد از اجرای فناوری های صنعت 4.0
6		MI6	توسعه استراتژی‌های مدیریت ریسک
7	فناوری- ساختاری (TS)	TS1	ادغام فناوری‌های مختلف صنعت 4.0
8		TS2	بلوغ بالای فناوری اطلاعات در شرکت
9		TS3	قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه برداری زنجیره
10		TS4	توسعه قابلیت درک کل ساختار زنجیره‌تأمین
11		TS5	سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت 4.0
12		O1	همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره‌تأمین

13	عوامل		O2	توسعه منبع یابی از پایگاه عرضه قابل اعتماد
14	سازمانی		O3	ایجاد امنیت و تضمین ایمنی در ایجاد تاب‌آوری زنجیره
15	(O)		O4	توانایی سازگاری با شرایط متغیر بازار
16	عوامل	A	A1	استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره تأمین
17	عملیاتی		A2	توسعه قابلیت مشاهده یا شفافیت زنجیره تأمین
18	(A)		A3	توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره تأمین تاب‌آور
19	عوامل	C	C1	توسعه فرهنگ زنجیره تأمین تاب‌آور در سازمان
20	فرهنگی		C2	آموزش و توسعه کارکنان در زمینه فناوری‌های دیجیتال
21	(C)		C3	حمایت‌های دولت از به‌کارگیری فناوری‌های صنعت 4.0

مرحله 6: کنترل کیفیت: در این پژوهش، برای تحلیل پایایی عوامل، از شاخص کاپا استفاده گردیده است. بدین صورت که یک خبره دیگر بدون اطلاع از نحوه ترکیب کدها و مفاهیم حاصل شده توسط محقق، به دسته‌بندی عوامل می‌پردازد و سپس مجموعه‌های طرح گردیده توسط پژوهشگر با مجموعه‌های شکل گرفته توسط خبره، مقایسه می‌گردد. با توجه به نتایج جدول (7)، پژوهشگر اصلی 5 دسته و سایر خبرگان 7 دسته ارائه نمودند که 4 دسته میان آن‌ها مشترک بود. بر اساس محاسبات انجام‌شده، مقدار شاخص کاپا 0/49 به دست آمد که مطابق با جدول (8) در محدوده توافق قابل قبول قرار دارد.

جدول 7. محاسبه وضعیت تبدیل کدهای کیفی به مفاهیم توسط پژوهشگر و متخصص

		نظر پژوهشگر		
		بلی	خیر	مجموع کدگذار اول
نظر متخصص	بلی	$A = 4$	$B = 1$	5
	خیر	$C = 3$	$D = 0$	3
	مجموع کدگذار دوم	7	1	$N = 8$

$$\text{توافقات مشاهده شده} = \frac{A + D}{N} = \frac{4}{8} = 0.5$$

$$\text{توافقات شانسی} = \frac{A+B}{N} * \frac{A+C}{N} * \frac{C+D}{N} * \frac{B+D}{N} = \frac{5}{8} * \frac{7}{8} * \frac{3}{8} * \frac{1}{8} = 0.02563$$

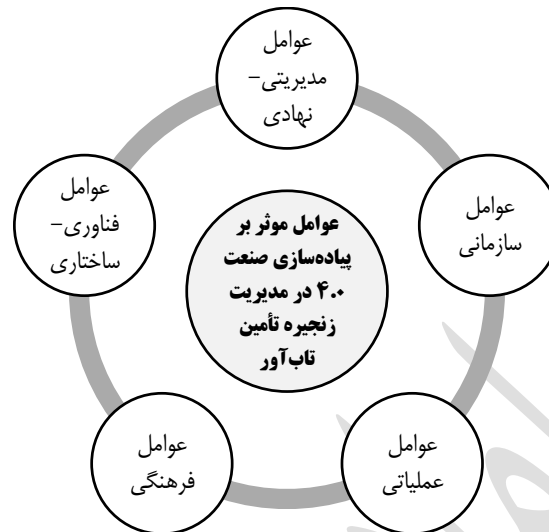
$$K = \frac{\text{توافقات شانسی} - \text{توافقات مشاهده شده}}{\text{توافقات شانسی} - 1} = \frac{0.5 - 0.02563}{1 - 0.02563} = 0.49$$

جدول 8. وضعیت شاخص کاپا

مقدار عددی شاخص کاپا	وضعیت توافق
کمتر از 0	ضعیف
0 - 0.2	بی اهمیت
0.21 - 0.4	متوسط
0.41 - 0.6	مناسب
0.8 - 0.61	معتبر
1-081	عالی

مرحله 7: ارائه یافته‌ها: در جدول (5)، متغیرهای تأثیرگذار در پیاده‌سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور، نشان داده شده است و سپس این متغیرها بنا بر شباهت موضوعی در یک مؤلفه جدید طبقه‌بندی گردیده‌اند و سپس مؤلفه‌ها به شکل کدهای مرتبه دوم در جدول (6)، ارائه شده‌اند و در پایان برای تحلیل و بررسی کنترل کیفیت و پایایی مدل، شاخص کاپا به کار گرفته شده است. به این صورت که کارشناس دیگری بدون اطلاع از نحوه تلفیق کدها و مفاهیم شکل گرفته توسط محقق، اقدام به طبقه‌بندی مفاهیم می‌نماید، سپس مفاهیم ایجاد شده توسط پژوهشگر با مفاهیم مطرح شده توسط کارشناس، مقایسه می‌شود. شاخص کاپا حاصل شده در این مرحله برابر با 0/49 است که مناسب بودن وضعیت توافق میان پژوهشگر و متخصص را بیان می‌نماید.

شکل (3): مدل مفهومی پژوهش



تعیین روابط علت و معلولی عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور

در این تحقیق، برای تعیین میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری عوامل و تعیین علت و معلولی آنها، از تکنیک دیمتل فازی بهره گرفته شده است. با در نظر گرفتن مراحل انجام این روش تحقیق که در قسمت های گذشته مطرح شد، ابتدا ماتریس های اولیه در اختیار ۱۰ خبره قرار گرفت و از آنان خواسته شد تا با انجام مقایسات زوجی بین ابعاد و عوامل، میزان تأثیر هر عامل سطری بر عامل ستونی را با مقیاس ۰ تا ۴ تعیین نمایند. این ارزیابی های عددی سپس مطابق الگوی جدول (۳) به اعداد فازی مثلثی تبدیل شدند. برای نمونه، در تحلیل روابط بین n معیار، یک ماتریس $n \times n$ تشکیل می شود که هر خبره می بایست تأثیر هر عنصر سطری بر عناصر ستونی را با اعداد فازی (بر اساس جدول ۲) در ماتریس مربوطه ثبت کند. در نهایت، با میانگین گیری از نظرات تمامی خبرگان، ماتریس اولیه Z حاصل می گردد.

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & \tilde{z}_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{z}_{1n} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

با استفاده از نظرات 10 خبره، ماتریس اولیه از طریق میانگین گیری حسابی از آرای تمامی آن‌ها تشکیل شد. در ادامه، پس از تجمیع و محاسبه میانگین نظرات و انجام فرآیند نرمال سازی بر روی ماتریس فازی اولیه روابط مستقیم (مطابق با روابط 1، 2 و 3 و الگوی جدول 9)، ماتریس نرمال شده روابط مستقیم فازی حاصل گردید.

جدول (9): ماتریس نرمال ارتباط مستقیم فازی ابعاد اصلی

مدیریتی-نهادی (MI)	فناوری- ساختاری (TS)	سازمانی (O)	عملیاتی (A)	فرهنگی (C)
0.000,0.000) (0.000,	0.113,0.194) (0.274,	0.129,0.210) (0.290,	0.113,0.194) (0.274,	0.008,0.081) (0.161,
0.105,0.185) (0.266,	0.000,0.000) (0.000,	0.073,0.153) (0.234,	0.073,0.153) (0.234,	0.008,0.065) (0.145,
0.032,0.113) (0.194,	0.056,0.137) (0.218,	0.000,0.000) (0.000,	0.073,0.153) (0.234,	0.000,0.032) (0.113,
0.032,0.105) (0.185,	0.048,0.129) (0.210,	0.048,0.129) (0.210,	0.000,0.000) (0.000,	0.008,0.032) (0.113,
0.040,0.105) (0.185,	0.032,0.073) (0.145,	0.032,0.105) (0.185,	0.040,0.105) (0.185,	0.000,0.000) (0.000,

پس از نرمال سازی نظرات خبرگان در مورد ابعاد، ماتریس T با به کارگیری روابط 4 تا 7 روش دیمتل فازی برای هر یک از مقادیر فازی (پایین، میانی و بالا) محاسبه شد. در نهایت، از تلفیق این سه ماتریس، ماتریس نهایی روابط کل (T) در قالب جدول (10) به دست آمد.

جدول (10): ماتریس روابط بین کل زوج‌ها (T) در ابعاد اصلی

مدیریتی-نهادی (MI)	فناوری- ساختاری (TS)	سازمانی (O)	عملیاتی (A)	فرهنگی (C)
0.023,0.149) (0.906,	0.131,0.324) (1.151,	0.148,0.349) (1.216,	0.136,0.340) (1.215,	0.010,0.136) (0.749,

0.010,0.115) (0.682,	0.094,0.285) (1.097,	0.094,0.283) (1.089,	0.023,0.139) (0.849,	0.114,0.285) (1.033,	T) (S)
0.002,0.076) (0.591,	0.083,0.254) (0.987,	0.014,0.119) (0.790,	0.066,0.231) (0.925,	0.042,0.204) (0.885,	O) (
0.009,0.072) (0.570,	0.013,0.112) (0.763,	0.059,0.224) (0.929,	0.057,0.216) (0.888,	0.041,0.189) (0.849,	A) (
0.001,0.038) (0.453,	0.052,0.200) (0.895,	0.044,0.198) (0.888,	0.043,0.164) (0.818,	0.048,0.182) (0.825,	C) (

بعد از ماتریس روابط کل (T)، ماتریس دیفازی شده روابط کل (طبق رابطه 10) به صورت جدول زیر محاسبه می گردد.

جدول (11): ماتریس دیفازی شده روابط کل ابعاد اصلی

	مدیریتی - نهادهی (MI)	فناوری ساختاری (TS)	سازمانی (O)	عملیاتی (A)	فرهنگی (C)
(MI)	0.277	0.448	0.479	0.471	0.233
(TS)	0.398	0.261	0.41	0.413	0.208
(O)	0.314	0.344	0.235	0.374	0.164
(A)	0.298	0.327	0.34	0.225	0.159
(C)	0.29	0.276	0.314	0.317	0.11

در ادامه، $\bar{D}$ (جمع سطرها) و $\bar{R}$ (جمع ستونها) محاسبه و نتیجه به همراه مقادیر $\bar{D}_i + \bar{R}_i$ (بردار برتری) و $\bar{D}_i - \bar{R}_i$ (بردار ارتباط) در جدول (12) مشاهده می گردد. (طبق روابط 8 و 9) $\bar{D}$ نشانگر میزان تأثیرگذاری و $\bar{R}$ نمایانگر میزان تأثیرپذیری عوامل می باشد. $\bar{D}_i + \bar{R}_i$ بیانگر مجموع تأثیرگذاری و تأثیرپذیری و وزن (اهمیت) عامل مورد نظر می باشد و $\bar{D}_i - \bar{R}_i$ بیانگر ارتباطات هر عامل بر پدیده مورد بررسی می باشد، اعداد منفی شاخص $\bar{D}_i - \bar{R}_i$ نشان دهنده عوامل تأثیرپذیر (معلول) و اعداد مثبت نشان دهنده عوامل تأثیرگذار (علت) می باشند.

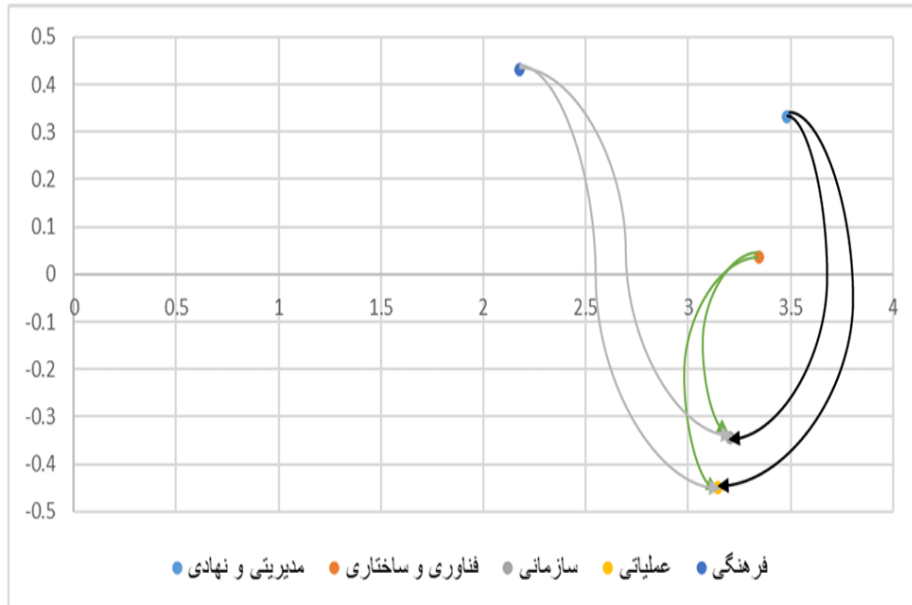
جدول (12): محاسبه مقادیر $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ و $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ ابعاد اصلی

D-R	D+R	D	R	
0.332	3.485	1.908	1.577	مدیریتی-نهادی (MI)
0.035	3.349	1.692	1.657	فناوری-ساختاری (TS)
-0.347	3.21	1.432	1.779	سازمانی (O)
-0.451	3.148	1.349	1.799	عملیاتی (A)
0.431	2.181	1.306	0.875	فرهنگی (C)

بر اساس تحلیل نظرات خبرگان و داده‌های جدول (۱۲)، نمودار علی-معلولی در شکل (۴) ترسیم شده است. در این نمودار، بُعد مدیریتی-نهادی (MI) دارای بالاترین میزان تأثیرگذاری است و ابعاد فناوری-ساختاری، سازمانی، عملیاتی و فرهنگی به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، بُعد عملیاتی بیشترین تأثیرپذیری را نشان می‌دهد و ابعاد سازمانی، فناوری-ساختاری، مدیریتی-نهادی و فرهنگی به ترتیب کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. همچنین، بُعد مدیریتی-نهادی دارای بیشترین وزن و تعامل با سایر ابعاد است. از نظر نقش علی، ابعاد مدیریتی-نهادی، فناوری-ساختاری و فرهنگی به عنوان عوامل علی شناسایی شده‌اند، در حالی که ابعاد سازمانی و عملیاتی نقش معلول را ایفا می‌کنند. به این ترتیب، ابعاد مدیریتی-نهادی، فرهنگی و فناوری-ساختاری بر سایر ابعاد تأثیرگذار بوده و ابعاد سازمانی و عملیاتی تحت تأثیر آن‌ها قرار دارند.

شکل (4): روابط علت و معلولی ابعاد اصلی بر پیاده‌سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین

تاب‌آور



جدول (13): محاسبه مقادیر $\bar{D}_i + \bar{R}_i$ و $\bar{D}_i - \bar{R}_i$ برای همه عوامل مؤثر بر پیاده سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور

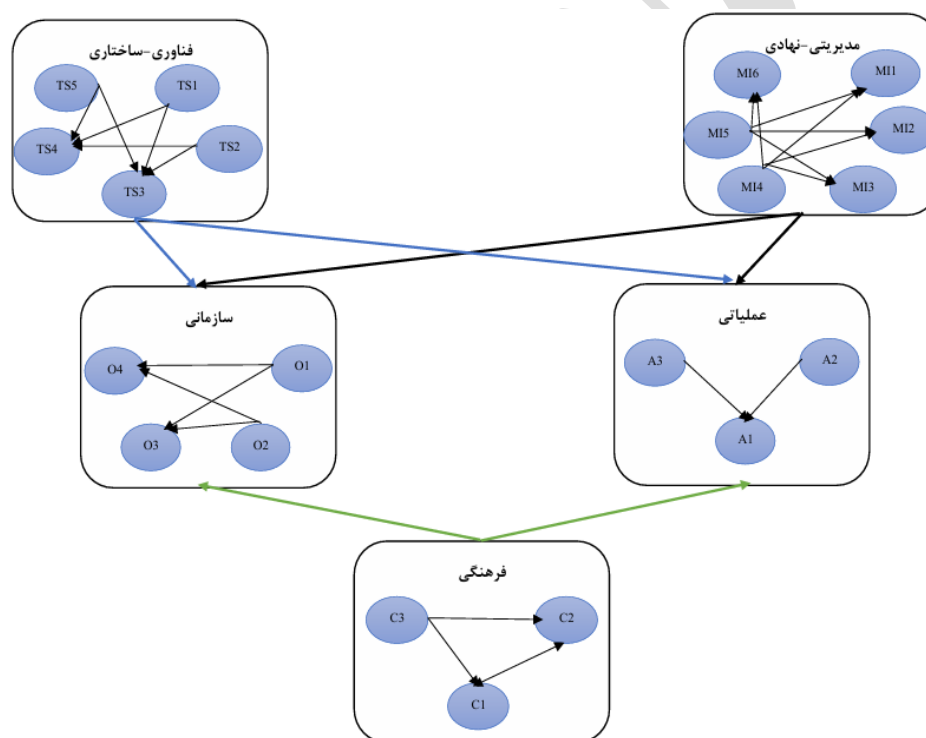
نوع	D-R	D+R	D	R	چالش	ابعاد
معلول	-0.418	3.628	1.605	2.023	MI1	مدیریتی-نهادی (MI)
معلول	-0.285	3.571	1.643	1.928	MI2	
معلول	-0.043	3.631	1.794	1.837	MI3	
علت	0.178	3.135	1.656	1.478	MI4	
علت	0.942	2.978	1.96	1.018	MI5	
معلول	-0.374	2.663	1.145	1.519	MI6	
علت	0.037	4.819	2.428	2.391	TS1	فناوری-ساختاری (TS)
علت	0.142	4.987	2.565	2.422	TS2	
معلول	-0.44	4.656	2.108	2.548	TS3	
معلول	-0.476	4.338	1.931	2.407	TS4	
علت	0.736	4.501	2.618	1.882	TS5	
علت	0.436	7.182	3.809	3.373	O1	سازمانی (O)
علت	0.226	7.371	3.798	3.573	O2	

معلول	-0.157	7.23	3.536	3.694	O3	
معلول	-0.504	6.806	3.151	3.655	O4	
معلول	-0.315	5.602	2.644	2.959	A1	عملیاتی (A)
علت	0.16	5.274	2.717	2.557	A2	
علت	0.155	5.284	2.719	2.565	A3	
معلول	-0.635	2.668	1.016	1.651	C1	فرهنگی (C)
معلول	-0.051	2.614	1.281	1.332	C2	
علت	0.686	2.635	1.66	0.975	C3	

شکل (5) بنابر نظر خبرگان در ارتباط میان شاخص‌های مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور در هر بعد و داده‌های جدول (13)، رسم گردیده است. مطابق با جدول (10) و شکل (5)، در بعد مدیریتی-نهادی (MI)، «تعهد و حمایت مدیریت ارشد از اجرای فناوری‌های صنعت 4.0» (MI5) نسبت به سایر شاخص‌های این بعد، از بیشترین تأثیرگذاری و شاخص «توسعه برنامه‌ریزی زنجیره تأمین» (MI1) بیشترین تأثیرپذیری برخوردار می‌باشد. همچنین در این بعد، «ایجاد قدرت یا ثبات مالی مناسب برای زنجیره تأمین» (MI3) دارای بیشترین اهمیت هم در تأثیرگذاری و هم تأثیرپذیری میان عوامل دیگر است و ارتباطات بیشتری با سایر عوامل دیگر این بعد دارد. همچنین، در این بعد، عوامل «توسعه راهبردهای مدیریت دانش در زنجیره تأمین سازمان» (MI4) و «تعهد و حمایت مدیریت ارشد از اجرای فناوری‌های صنعت 4.0» (MI5) علی بوده و عوامل «توسعه برنامه‌ریزی زنجیره تأمین» (MI1)، «توسعه راهبردهای مدیریت موجودی زنجیره تأمین» (MI2)، «ایجاد قدرت یا ثبات مالی مناسب برای زنجیره تأمین» (MI3) و «توسعه استراتژی‌های مدیریت ریسک» (MI6) معلول به حساب می‌آیند. در بعد فناوری-ساختاری (TS) در میان تمام عوامل، شاخص «سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت 4.0» (TS5) از بیشترین تأثیرگذاری و شاخص «قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه برداری زنجیره تأمین» (TS3) از بیشترین تأثیرپذیری، برخوردار هستند. به علاوه، با توجه به

جدول (10)، در بعد فناوری-ساختاری، «بلوغ بالای فناوری اطلاعات در شرکت» (TS2) از بیشترین اهمیت در این بعد و بیشترین تعاملات با سایر عوامل برخوردار است. همچنین، در این بعد، شاخص‌های «ادغام فناوری‌های مختلف صنعت 4.0» (TS1)، «بلوغ بالای فناوری اطلاعات در شرکت» (TS2) و «سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت 4.0» (TS5) علی بوده و شاخص‌های «قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه برداری زنجیره تأمین» (TS3) و «توسعه قابلیت درک کل ساختار زنجیره تأمین» (TS4) معلول به حساب می آیند. در بعد سازمانی (O)، شاخص «همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره تأمین» (O1) دارای بیشترین تأثیرگذاری و شاخص «ایجاد امنیت و تضمین ایمنی در ایجاد زنجیره تأمین تاب آور» (O3) دارای بیشترین تأثیرپذیری نسبت به دیگر شاخصان این بعد، هستند. به علاوه شاخص «توسعه منبع یابی از پایگاه عرضه قابل اعتماد» (O2) از بیشترین تأثیرگذاری و اهمیت در سیستم برخوردار می باشد و بیشترین ارتباطات را با دیگر عوامل این بعد دارد. در این بعد، شاخص‌های «همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره تأمین» (O1) و «توسعه منبع یابی از پایگاه عرضه قابل اعتماد» (O2) علی بوده و شاخص‌های «ایجاد امنیت و تضمین ایمنی در ایجاد زنجیره تأمین تاب آور» (O3) و «توانایی سازگاری با شرایط متغیر بازار» (O4) معلول به حساب می آیند. در بعد عملیاتی (A) در میان تمام عوامل، عامل «توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره تأمین تاب آور» (A3) دارای بیشترین تأثیرگذاری و عامل «استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره تأمین» (A1) دارای بیشترین تأثیرپذیری، است. در این بعد، عامل «استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره تأمین» (A1) دارای بیشترین اهمیت، تأثیرگذاری و تأثیرپذیری در سیستم می باشد. در بعد عملیاتی، عوامل «توسعه قابلیت مشاهده یا شفافیت زنجیره تأمین» (A2) و «توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره تأمین تاب آور» (A3) علی بوده و عامل «استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره تأمین» (A1) معلول در نظر گرفته می شود. در بعد فرهنگی (C)، عامل «حمایت‌های دولت از به کارگیری فناوری‌های صنعت 4.0» (C3) دارای بیشترین تأثیرگذاری و عامل «توسعه فرهنگ زنجیره تأمین تاب آور» (C1) در سازمان

دارای بیشترین تأثیرپذیری نسبت به دیگر شاخصان این بعد، می‌باشد. در این بعد، عامل «توسعه فرهنگ زنجیره تأمین تاب‌آور در سازمان» (C1) نسبت به دیگر شاخصان، از بیشترین اهمیت و تعاملات علی برخوردار است. در بعد فرهنگی، عامل «حمایت‌های دولت از به‌کارگیری فناوری‌های صنعت 4.0» (C3) علی بوده و عوامل «توسعه فرهنگ زنجیره تأمین تاب‌آور در سازمان» (C1) و «آموزش و توسعه کارکنان در زمینه فناوری‌های دیجیتال» (C2) معلول به حساب می‌آیند. همچنین می‌توان بیان نمود که عوامل «توسعه فرهنگ زنجیره تأمین تاب‌آور در سازمان» (C1) و «آموزش و توسعه کارکنان در زمینه فناوری‌های دیجیتال» (C2) دارای روابط متقابل می‌باشند.



شکل (5): روابط علت و معلولی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت 4.0 در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با به کارگیری روش‌شناسی ترکیبی (فرا ترکیب و دیمتل فازی)، الگویی علی از عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور صنعت فولاد یزد ارائه نمود. یافته‌های حاصل از تحلیل‌های انجام‌شده به وضوح نشان می‌دهد که فرآیند تحول دیجیتال و دستیابی به تاب‌آوری، امری سیستمی و چندبعدی است که توسط مجموعه‌ای از عوامل محرک پایه‌ای هدایت می‌شود. در این میان، ابعاد مدیریتی-نهادی، فناوری-ساختاری و فرهنگی نقش عوامل علی و تأثیرگذار را ایفا می‌کنند، در حالی که ابعاد سازمانی و عملیاتی عمدتاً به عنوان متغیرهای تأثیرپذیر و واسطه‌ای عمل می‌نمایند. شاخص «تعهد و حمایت مدیریت ارشد» به عنوان تأثیرگذارترین عامل در بعد مدیریتی-نهادی شناسایی شد. این یافته کاملاً با نتایج مطالعاتی همچون اوزکان-اوزن و همکاران (2020) و آگاروال و همکاران (2022) همخوانی دارد که بر نقش بی‌بدیل رهبری و تخصیص منابع استراتژیک در موفقیت گذار به صنعت ۴,۰ تأکید کرده‌اند. دلیل این اولویت را می‌توان در ماهیت پرهزینه، ریسک‌پذیر و تحول‌آفرین پروژه‌های صنعت ۴,۰ دانست که بدون چشمانداز، اراده و پشتیبانی مالی مستمر از بالاترین سطوح مدیریتی، محکوم به شکست یا ناکامی در دستیابی به اهداف کلان هستند.

در بعد فناوری-ساختاری، «سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت ۴,۰» به عنوان عامل کلیدی شناسایی گردید. این نتیجه، یافته‌های محققانی مانند راجا سانتی و موتوسوامی (2022) و ماریناگی و همکاران (2023) را تأیید می‌کند. تحلیل این رابطه نشان می‌دهد که وجود زیرساخت‌های فناورانه قوی (مانند پلتفرم‌های اینترنت اشیاء، سیستم‌های ابری و حسگرهای پیشرفته) پیش‌نیاز غیرقابل انکاری برای تحقق قابلیت‌هایی چون پایش بلادرنگ، پیش‌بینی پذیری و شفافیت در زنجیره تأمین است. در صنعت فولاد، این سرمایه‌گذاری‌ها مستقیماً بر بهره‌وری انرژی، کاهش زمان توقف خط تولید و بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات تأثیر می‌گذارد و در نهایت پایه‌های تاب‌آوری عملیاتی را تقویت می‌کند. در بعد فرهنگی نیز، «حمایت‌های دولت» تأثیرگذارترین شاخص شناخته شد. این یافته با پژوهش‌های العکلی و

همکاران (2024) و گادج و همکاران (2020) همسو است. دولت از طریق تدوین راهبردهای ملی، ارائه مشوق‌های مالی و مالیاتی، و ایجاد کمپین‌های آگاهی‌بخش می‌تواند بر فرهنگ سازمانی و نگرش ذینفعان اثر بگذارد و بستری فراگیر و امن برای تسریع در پذیرش فناوری‌های نوین فراهم آورد. این موضوع به‌ویژه در بافت ایران که مفهوم صنعت ۴،۰ هنوز در مراحل اولیه بلوغ قرار دارد، از اهمیتی دوجندان برخوردار است.

ابعاد سازمانی و عملیاتی در این مدل، نقش متغیرهای میانی را بازی می‌کنند. برای نمونه، «همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره تأمین» در بعد سازمانی، که توسط پژوهشگرانی مانند اسپیسکه و بیرکل (2021) و هوانگ و همکاران (2023) نیز بر آن تأکید شده است، در گرو وجود اعتماد ناشی از رهبری شفاف و امکان به اشتراک‌گذاری داده‌ای است که توسط فناوری‌های صنعت ۴،۰ فراهم می‌شود. به طور مشابه، «توسعه قابلیت سرعت برای تاب‌آوری زنجیره تأمین» در بعد عملیاتی، که مارینیاک و همکاران (2021) به آن پرداخته‌اند، مستقیماً متأثر از توانایی جمع‌آوری و تحلیل داده‌های بلادرنگ توسط زیرساخت‌های فناورانه و همچنین چابکی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی است. بنابراین، پیامد نظری این پژوهش، ارائه چارچوبی سیستمی و علی است که نشان می‌دهد تاب‌آوری تنها با تمرکز بر فناوری حاصل نمی‌شود، بلکه محصول تعامل پویای عوامل نرم (فرهنگ، رهبری، همکاری) و سخت (فناوری، سرمایه) است. از منظر عملی، این یافته‌ها نقشه راهی برای مدیران صنعت فولاد ترسیم می‌کند: آغاز فرآیند با جلب و تثبیت حمایت مدیریت عالی و سهامداران، سپس تدوین برنامه‌ای مدون برای سرمایه‌گذاری هدفمند در فناوری‌های پایه، و در گام بعد، تمرکز بر تقویت همکاری‌های درون و برون‌سازمانی و توانمندسازی نیروی انسانی از طریق آموزش‌های تخصصی.

در مسیر پیاده‌سازی صنعت ۴،۰ برای تقویت تاب‌آوری زنجیره تأمین، سازمان‌ها با چالش‌های متعددی روبرو هستند. مهم‌ترین این چالش‌ها شامل مقاومت فرهنگی در برابر تغییر، کمبود نیروی انسانی متخصص، محدودیت‌های مالی، پیچیدگی فناوری‌های نوین، نگرانی‌های امنیت سایبری، عدم حمایت‌های نهادی و ضعف زیرساخت‌های دیجیتال می‌باشد. مطالعات انجام‌شده توسط محققانی چون تورتولا و همکاران (۲۰۲۳) و العییلی و همکاران (۲۰۲۴)

نشان می‌دهد که این موانع به صورت زنجیره‌ای به هم مرتبط بوده و موفقیت در گرو توجه همزمان به تمامی این ابعاد است.

راه‌حل‌های اجرایی برای فائق آمدن بر این چالش‌ها، رویکردی چندبعدی را طلب می‌کند. بر اساس پژوهش‌های معتبر، راهبردهایی همچون اجرای برنامه‌های تغییر فرهنگ سازمانی با مشارکت فعال کارکنان، توسعه برنامه‌های آموزشی ترکیبی، تدوین مدل‌های نوین تامین مالی، اتخاذ راهبرد "شروع کوچک و مقیاس‌پذیری تدریجی"، استقرار چارچوب امنیتی لایه‌ای و مشارکت فعال در تدوین استانداردهای ملی می‌تواند اثربخشی قابل توجهی در اجرای موفق صنعت ۴،۰ داشته باشد. همانطور که فردریکو (۲۰۲۱) و موسی (۲۰۲۳) تأکید کرده‌اند، تلفیق این راه‌حل‌ها در قالب یک برنامه راهبردی منسجم، امکان تبدیل چالش‌ها به فرصت‌های رقابتی را فراهم می‌سازد.

در نهایت، می‌توان جمع‌بندی نمود که درک این روابط علی و اثرات سلسله‌مراتبی بین ابعاد مختلف، به مدیران کمک می‌کند تا با در نظرگیری همه جانبه عوامل، راهبردهای دقیق‌تر و عملی‌تری را تدوین نمایند. این نگرش سیستماتیک، تصمیم‌گیری را در شرایط پیچیده تسهیل کرده و قدرت اجرایی سازمان را برای تحقق تاب‌آوری در محیط پویا و پررقابت امروزی افزایش می‌دهد. با این وجود، تعمیم و تفسیر این یافته‌ها باید با احتیاط و با در نظر گرفتن محدودیت‌های ذاتی پژوهش حاضر از جمله اتکا به قضاوت خبرگان در روش دیمتل فازی، محدود بودن نمونه آماری به ده خبره، تمرکز جغرافیایی صرف بر صنعت فولاد یزد و نیز ماهیت ایستای مدل ارائه‌شده صورت پذیرد، چرا که پویایی‌های محیطی و ظهور فناوری‌های نوین می‌توانند این روابط را در گذر زمان دگرگون سازند. لذا، به منظور غنی‌سازی ادبیات این حوزه، پیشنهاد می‌گردد پژوهش‌های آتی به بررسی موردی و عمیق تأثیر هر یک از فناوری‌های خاص صنعت ۴،۰ (مانند هوش مصنوعی، دوقلوهای دیجیتال و بلاک چین) بر ارتقای تاب‌آوری زنجیره تأمین بپردازند. همچنین، شناسایی و ارائه راهکارهای کاربردی برای فائق آمدن بر چالش‌های کلیدی پیاده‌سازی، به ویژه در حوزه امنیت سایبری و مدیریت داده‌های حساس و نیز تکرار این مطالعه در سایر صنایع سنگین یا

با نمونه‌های بزرگ‌تر و متنوع‌تر، می‌تواند گام بعدی ارزشمندی در راستای تکمیل و تعمیم یافته‌های این تحقیق باشد.

منابع

- (1) ارفعی، عزیز و نمامیان، فرشید. (1401). شناسایی مولفه‌های بازاریابی گردشگری با استفاده از روش فراترکیب. *مطالعات اجتماعی گردشگری*. 10(20)، 211-234. doi: 10.52547/journalitor.35996.10.20.211
- (2) امیری، مقصود، حسینی دهشیری، سید جلال‌الدین، یوسفی هنومرور، احمد. (1397). تعیین ترکیب بهینه استراتژی‌های زنجیره تأمین لارج با بهره‌گیری از تحلیل SWOT، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تئوری بازی. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، 10(2)، 221-246. doi: 10.22059/imj.2018.257030.1007420
- (3) کیانی، مهرداد، عندلیب اردکانی، داود، زارع‌احمدآبادی، حبیب و میرفخرالدینی، سید حیدر. (1402). تحلیلی بر توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت 4.0 در زنجیره تأمین. *مطالعات مدیریت صنعتی*، 21(70)، 1-43. doi: 10.22054/jims.2023.71900.2835
- 4) Agarwal, N., Seth, N., & Agarwal, A. 2022. Selecting capabilities to mitigate supply chain resilience barriers for an Industry 4.0 manufacturing company: An AHP-Fuzzy Topsis approach. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 21(1), 55-83. <https://doi.org/10.1142/S0219686721500426>
- 5) Al-Banna, A., Rana, Z.A., Yaqot, M., & Menezes, B. (2023). Interconnectedness between Supply Chain Resilience, Industry 4.0, and Investment. *Logistics*, 7(3), 50. <https://doi.org/10.3390/logistics7030050>
- 6) Alfaqiyah, E., Alzubi, A., Aljuhmani, H. Y., & Öz, T. (2025). How Industry 4.0 technologies enhance supply chain resilience: The interplay of agility, adaptability, and customer integration in manufacturing firms. *Sustainability*, 17(17), 7922. <https://doi.org/10.3390/su17177922>
- 7) Al-Okaily, M., Younis, H., & Al-Okaily, A. (2024). The impact of management practices and industry 4.0 technologies on supply chain

- sustainability: a systematic review. *Heliyon*. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e36421
- 8) Al-Talib, M., Melhem, W.Y., Anosike, A.I., Reyes, J.A.G., & Nadeem, S.P. (2020). Achieving resilience in the supply chain by applying IoT technology. *Procedia Cirp*, 91, 752-757. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.231>
 - 9) Ayyildiz, E. (2023). Interval valued intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process-based green supply chain resilience evaluation methodology in post COVID-19 era. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 42476-42494. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16972-y>
 - 10) Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
 - 11) Birkel, H., & Müller, J.M. (2025). Resilient by nature or technology? How Industry 4.0 enhances Supply Chain Resilience until 2035. *Supply Chain Management: An International Journal*, 30(3), 304-322. <https://doi.org/10.1108/SCM-07-2023-0340>
 - 12) Brookbanks, M., & Parry, G. C. (2024). The impact of Industry 4.0 technologies on the resilience of established cross-border supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 29(4), 731–754. <https://doi.org/10.1108/SCM-07-2023-0333>
 - 13) Frederico, G.F. (2021). Towards a supply chain 4.0 on the post-COVID-19 pandemic: a conceptual and strategic discussion for more resilient supply chains. *Rajagiri Management Journal*, 15(2), 94-104. <https://doi.org/10.1108/RAMJ-08-2020-0047>
 - 14) Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Foroughi, B., Tseng, M.L., Nikbin, D., & Khanfar, A.A. (2023). Industry 4.0 digital transformation and opportunities for supply chain resilience: a comprehensive review and a strategic roadmap. *Production Planning & Control*, 1-31. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2252376>
 - 15) Hsu, C.H., Zeng, J.Y., Chang, A.Y., & Cai, S.Q. (2022). Deploying Industry 4.0 enablers to strengthen supply chain resilience to mitigate ripple effects: an empirical study of top relay manufacturer in China. *IEEE Access*, 10, 114829-114855. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3215620.
 - 16) Huang, K., Wang, K., Lee, P.K., & Yeung, A.C. (2023). The impact of industry 4.0 on supply chain capability and supply chain resilience: A

dynamic resource-based view. *International Journal of Production Economics*, 262, 108913. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108913>

- 17) Joshi, S., & Sharma, M. (2022). Sustainable performance through digital supply chains in industry 4.0 era: amidst the pandemic experience. *Sustainability*, 14(24), 16726. <https://doi.org/10.3390/su142416726>
- 18) Küffner, C., Münch, C., Hähner, S., & Hartmann, E. (2022). Getting back into the swing of things: The adaptive path of purchasing and supply management in enhancing supply chain resilience. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 28(5), 100802. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2022.100802>
- 19) Lin, R.J. (2013). Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices. *Journal of cleaner production*, 40, 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.06.010>
- 20) Madrid-Guijarro, A., Maldonado-Guzmán, G., & Rodríguez-González, R. (2025). Unlocking resilience: The impact of Industry 4.0 technologies on manufacturing firms' response to the COVID-19 pandemic. *Management Decision*, 63(1), 126–154. <https://doi.org/10.1108/MD-02-2024-0262>
- 21) Marinagi, C., Reklitis, P., Trivellas, P., & Sakas, D. (2023). The impact of industry 4.0 technologies on key performance indicators for a resilient supply chain 4.0. *Sustainability*, 15(6), 5185. <https://doi.org/10.3390/su15065185>
- 22) Maryniak, A., Bulhakova, Y., & Lewoniewski, W. (2021). Resilient supply chains 4.0-a research review. *26th IEEE Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, Publisher: IEEE, 99-104. doi: 10.1109/APCC49754.2021.9609916.
- 23) Mu, W., Van Asselt, ED., & Van der Fels-Klerx, H. (2021). Towards a resilient food supply chain in the context of food safety. *Food Control*, 125, 107953. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107953>
- 24) Mubarik, M.S., Naghavi, N., Mubarik, M., Kusi-Sarpong, S., Khan, S.A., Zaman, S.I., & Kazmi, S.H.A. (2021). Resilience and cleaner production in industry 4.0: Role of supply chain mapping and visibility, *Journal of cleaner production*, 292, 126058. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126058>
- 25) Musah, W.E. (2023). Building resilient supply chains in industry 4.0: The case of medical equipment industry.
- 26) Ozkan-Ozen, Y.D., Kazancoglu, Y., & Mangla, S.K. (2020). Synchronized barriers for circular supply chains in industry 3.5/industry 4.0 transition for sustainable resource management. *Resources*,

- Conservation and Recycling*, 161, 104986. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104986>
- 27) Pandey, A. K., Daultani, Y., Pratap, S., Ip, A. W., & Zhou, F. (2025). Analyzing industry 4.0 adoption enablers for supply chain flexibility: Impacts on resilience and sustainability. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 26(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s40171-024-00396-x>
- 28) Patidar, A., Sharma, M., Agrawal, R., & Sangwan, K.S. (2023). Supply chain resilience and its key performance indicators: an evaluation under Industry 4.0 and sustainability perspective. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 34(4), 962-980. <https://doi.org/10.1108/MEQ-03-2022-0091>
- 29) Qader, G., Junaid, M., Abbas, Q., & Mubarik, M.S. (2022). Industry 4.0 enables supply chain resilience and supply chain performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 185, 122026. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122026>
- 30) Raja Santhi, A., & Muthuswamy, P. (2022). Pandemic, war, natural calamities, and sustainability: Industry 4.0 technologies to overcome traditional and contemporary supply chain challenges. *Logistics*, 6(4), 81. <https://doi.org/10.3390/logistics6040081>
- 31) Resende, C.H., Geraldes, C.A., & F. R. L. Junior, F.R.L. (2021). Decision models for supplier selection in industry 4.0 era: A systematic literature review. *Procedia Manufacturing*, 55, 492-499. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.067>
- 32) Sharma, R., Sundarakani, B., & Manikas, I. (2025). Integration of industry 4.0 technologies for agri-food supply chain resilience. *Computers in Industry*, 165, 104225. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2024.104225>
- 33) Spieske, A., & Birkel, H. (2021). Improving supply chain resilience through industry 4.0: A systematic literature review under the impressions of the COVID-19 pandemic. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107452. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107452>
- 34) Spieske, A., Gebhardt, M., Kopyto, M., Birkel, H., & Hartmann, E. (2023). The future of industry 4.0 and supply chain resilience after the COVID-19 pandemic: Empirical evidence from a Delphi study. *Computers & Industrial Engineering*, 181, 109344. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109344>
- 35) Taghizadeh, E., & Taghizadeh, E. (2021). The impact of digital technology and industry 4.0 on enhancing supply chain resilience.

Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 9-11.

- 36) Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z)
- 37) Xu, L., de Vrieze, P., Arshad, R., & Oyekola, O. (2022). Enhance supply chain resilience through industry 4.0-a view of designing simulation scenarios. *IEEE International Conference on e-Business Engineering (ICEBE)*, Publisher: IEEE, 198-203. doi: 10.1109/ICEBE55470.2022.00042.
- 38) Yavuz, O., Uner, M. M., Okumus, F., & Karatepe, O. M. (2023). Industry 4.0 technologies, sustainable operations practices and their impacts on sustainable performance. *Journal of Cleaner Production*, 387, 135951. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135951>
- 39) Zhao, G., Liu, S., Wang, Y., Lopez, C., Zubairu, N., & Chen, X. X. (2024). Modelling enablers for building agri-food supply chain resilience: insights from a comparative analysis of Argentina and France. *Production planning & control*, 35(3), 283-307. <https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2078246>

References [In Persian]

- 1) Amiri, M., Hosseini Dehshiri, S.J., Yousefi Hanoomarvar, A. (2018). Determining the Optimal Combination of Large Supply Chain Strategies Using SWOT Analysis, Multi-criteria Decision-making Techniques and Game Theory. *Industrial Management Journal*, 10(2), 221-246. DOI: 10.22059/imj.2018.257030.1007420. [In Persian].
- 2) Arfaei, A., and Namamian, F. (1401). Identifying tourism marketing components using the meta-synthesis method. *Social Studies of Tourism*. 10(20), 211-234. doi: 10.52547/journalitor.35996.10.20.211 [In Persian]
- 3) Kiani, M., Andalib Ardakani, D., Zare-Ahmadabadi, H., and Mirfakhraldini, S. H. (1402). An analysis of the effective enablers on the implementation of circular economy and industry 4.0 in the supply chain. *Industrial Management Studies*, 21(70), 1-43. doi: 10.22054/jims.2023.71900.2835 [In Persian]

آماده انتشار