Industrial Management Studies
Vol. 23, No.78, Fall 2025; P 197-241
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2025.88102.2986

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 1/11/2025
Revised: 26/10/2025
Received: 10/9/2025
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

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 Industry 4.0 technologies holding 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 Industry 4.0 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

Corresponding Author: andalib@ yazd.ac.ir

How to Cite: Hosseini, M., Andalib Ardakani, D., Naser Sadrabadi, A., & Hosseini Bamkan, S. M. (2025). Presenting a Network Model of Influencing Factors the Implementation of Industry 4.0 in Resilient Supply Chain Management, *Industrial Management Studies, 23(78),* 197-241.

employed to determine the causal relationships among the identified factors. The 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 the resilient supply chain and Industry 4.0.

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 was 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.

1 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.

1 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 in consideration of limitations, including reliance on expert judgment, a limited sample size, and the model's static nature, suggesting that 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۶/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۸/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۱۰

ISSN: 2251/8029

eISSN: 2476-602X

مطالعات مدیریت صنعتی

سال بیست و سوم، شماره ۷۸، پاییز ۱٤۰٤، ص ۱۹۷تا ۲٤۱

jims.atu.ac.ir

DOI: 10.22054/jims.2025.88102.2986

ارائه مدل شبکه‌ای عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور

مریم حسینی * — دانشجوی دکتری رشته مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

داود عندلیب اردکانی — دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

علیرضا ناصر صدرآبادی — دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

سید مجتبی حسینی بامکان — دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

در سال‌های اخیر، مفاهیم زنجیره‌تأمین تاب‌آور و صنعت ۴,۰ توجه قابل‌توجهی را از سوی دانشگاه‌ها و سازمان‌ها به خود جلب کرده‌اند. بااین‌حال، علی‌رغم این که سازمان‌های مجهز به فناوری‌های صنعت ۴,۰ پتانسیل بالایی برای بهبود تاب‌آوری زنجیره‌تأمین و گسترش عملکرد سازمانی دارند و می‌توانند بهتر با بحران‌ها و اختلالات مقابله کنند، ادغام نظام‌مند این دو حوزه با تأخیر و شکاف پژوهشی مواجه بوده است. هدف از پژوهش حاضر، شناسایی و تحلیل روابط علّی و معلولی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور در صنایع فولاد یزد می‌باشد. این پژوهش جزء تحقیقات کاربردی-توسعه‌ای می‌باشد. در مرحله اول پژوهش، عوامل با بهره‌گیری از روش کیفی فراترکیب، شناسایی و دسته‌بندی شدند که نتیجهٔ آن شناسایی ۲۱ عامل در ۵ بُعد، عوامل مدیریتی-نهادی، فناوری-ساختاری، سازمانی، عملیاتی و فرهنگی بود. در دومین مرحله با استفاده از روش دیمتل فازی، روابط علّی و معلولی عوامل شناسایی شد.

* نویسنده مسئول: andalib@ yazd.ac.ir

نتایج نشان داد که بعد مدیریتی-نهادی، تأثیرگذارترین و بعد عملیاتی تأثیرپذیرترین ابعاد در پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور است. همچنین، در بعد مدیریتی-نهادی، «تعهد و حمایت مدیریت ارشد از اجرای فناری‌های صنعت ۴,۰»؛ در بعد فناوری-ساختاری «سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت ۴,۰»؛ در بعد سازمانی «همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره‌تأمین»؛ در بعد عملیاتی «توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره‌تأمین تاب‌آور» و در بعد فرهنگی «حمایت‌های دولت از به‌کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰» از تأثیرگذارترین عوامل برای اجرای صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور در صنعت فولاد یزد می‌باشند. تحقیق حاضر برای نخستین بار به تحلیل روابط علّی-معلولی بین عوامل کلیدی در بافت صنعت فولاد ایران پرداخته و چارچوبی برای ارزیابی و توسعه پیوند بین زنجیره‌تأمین تاب‌آور و صنعت ۴,۰ فراهم کرده که یافته‌های آن، راهنمای عملی برای مدیران در تدوین راهبردهای پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ محسوب می‌شود.

کلیدواژه‌ها: صنعت ٤,٠، زنجیره‌تأمین تاب‌آور، فراترکیب، دیمتل فازی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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 به‌طور کامل آشکار ساخته‌اند (Spieske et al., 2023). این بحران‌ها توجه جامعه علمی و صنعتی را به مفهوم تاب‌آوری زنجیره تأمین به‌عنوان 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، ۱۳۹۷). جنبه مقاومت، مربوط به توانایی زنجیره تأمین برای به حداقل رساندن تأثیر اختلالات به‌صورت 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). درنتیجه، درک مکانیزمی که از طریق آن زنجیره‌های تأمین می‌توانند تاب‌آوری خود را افزایش دهند، اخیراً توجه قابل‌توجهی در حوزه‌های عملیات و مدیریت زنجیره تأمین به خود جلب کرده است.

یکی از مکانیزم‌هایی که در سال‌های اخیر موردتوجه قرار گرفته است، مفهوم صنعت ۴٫۰ به‌عنوان 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 ازجمله 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، نه‌تنها 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). به‌جای صرفاً فهرست کردن ابزارهای پیشرفته، این مطالعه بر چگونگی پیاده‌سازی این فناوری‌ها برای خلق تحول راهبردی و ارتقای تاب‌آوری زنجیره تأمین متمرکز است. به‌این‌ترتیب، صنعت ۴٫۰ شامل استقرار فناوری‌های هوشمند - ازجمله اینترنت اشیاء، تحلیل کلان‌داده‌ها، هوش مصنوعی، تولید افزایشی و بلاک چین - می‌شود که دارایی‌های فیزیکی و دیجیتال را به‌صورت 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، به‌عنوان 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 (۲۰۲۰) 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

باوجود توجه فزاینده به هر دو مفهوم تاب‌آوری و صنعت ۴٫۰، بررسی ادبیات موجود شکاف‌های تحقیقاتی قابل‌توجهی 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 بپردازند، بیش‌ازپیش 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 علّی-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 باهدف 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 شناسایی‌شده موردسنجش و تحلیل قرار گرفتند. در حقیقت، شناسایی ترکیبی از عوامل و تحلیل شبکه‌ای ارتباطات و تعاملات علّی 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 علّی-معلولی بین این عوامل و ارائه مدلی شبکه‌ای

پیشینه پژوهش

صنعت ٤,٠ و زنجیره‌تأمین تاب‌آور

مرور ادبیات موجود در حوزه صنعت ۴,۰ و زنجیره تأمین تاب‌آور حاکی از آن است که اگرچه این حوزه موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است، اما شکاف‌های متعددی در آن

وجود دارد. درمجموع، 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[1] (۲۰۲۱) به این نتیجه رسیدند که تحلیل کلان‌داده در مقایسه با سایر فناوری‌ها، بیشترین تأثیر را در بهبود تاب‌آوری دارد. به‌طور 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 علّی و مدل یکپارچه هستند. نکته قابل‌تأمل دیگر، فقدان مدل‌های جامعی است که به‌طور هم‌زمان به تحلیل شبکه روابط علّی و اثرات متقابل بین ابعاد گوناگون (فنی، انسانی، سازمانی، فرهنگی و نهادی) بپردازند. مطالعاتی مانند هسو[2] و همکاران (۲۰۲۲) که به شناسایی محرک‌های کلیدی، یا آگاروال[3] 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، باوجوداینکه پژوهش فردریکو[4] (۲۰۲۱) به نقش حیاتی فناوری‌ها در شرایط بحرانی مانند همه‌گیری کووید-۱۹ اشاره می‌کند، اما سازوکارهای علّی این تأثیرات را به‌وضوح تشریح نمی‌نماید. در مقابل این شکاف، برخی مطالعات اخیر کوشیده‌اند تا نگاهی سیستمی‌تر ارائه دهند. برای مثال، قادر[5] 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[6] و همکاران (۲۰۲۳) بر نقش واسطه‌ای

1 Spieske & Birkel
2 Hsu
3 Agarwal
4 Frederico
5 Qader
6 Huang

«همکاری» و «شفافیت» در این رابطه تأکید کرده‌اند. بااین‌حال، حتی این دسته از پژوهش‌ها نیز معمولاً تعداد محدودی از عوامل را در نظر گرفته و تحلیل جامعی از تمامی ابعاد شناسایی‌شده در ادبیات (به‌ویژه ابعاد فرهنگی و نهادی) ارائه نمی‌دهند. همچنین شکور[1] و همکاران، (۲۰۲۴) بیان نمودند که عواملی مانند نیازهای سرمایه‌گذاری، زیرساخت‌های ناسازگار و زنجیره‌های ارزش با ساختار ضعیف نه‌تنها 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 ۴٫۰، 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 ۴٫۰ نقش چشمگیری در ارتقاء تاب‌آوری زنجیره‌تأمین ایفا کرده‌اند. پیاده‌سازی موفق این فناوری‌ها در مدیریت زنجیره‌تأمین 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؛ ازجمله همکاری بین شرکا، بلوغ فناوری اطلاعات، حمایت مدیریت ارشد و توسعه راهبردهای مدیریت ریسک. این عوامل نه‌تنها به‌عنوان پیش‌نیازهای فنی و سازمانی شناخته می‌شوند، بلکه در شکل‌گیری یک زنجیره‌تأمین منعطف و مقاوم در برابر بحران‌ها نیز نقش کلیدی دارند.

این پژوهش از منظر تلفیقی نظریه قابلیت‌های پویا (Teece et al, 1997) و دیدگاه مبتنی بر منابع (Barney, 1991) به تحلیل مسئله می‌پردازد. بر اساس این چارچوب، فناوری‌های صنعت ۴٫۰ به‌عنوان منابع ارزشمند در نظر گرفته می‌شوند که پتانسیل ایجاد مزیت رقابتی را دارند. بااین‌حال، دستیابی به این مزیت، مستلزم آن است که سازمان‌ها از قابلیت‌های پویا برای یکپارچه‌سازی، پیکربندی مجدد و بسیج این منابع در جهت پاسخگویی به تغییرات سریع محیطی برخوردار باشند. در این تحقیق، تاب‌آوری زنجیره تأمین به‌عنوان یک قابلیت پویای کلیدی تعبیر می‌شود که از طریق پیاده‌سازی و بسیج هوشمندانه منابع صنعت ۴٫۰ شکل می‌گیرد و به سازمان امکان می‌دهد نه‌تنها در برابر

1 Shakur

اختلالات مقاومت کند، بلکه با بازیابی سریع، موقعیت خود را حتی نسبت به قبل ارتقا دهد.

در جدول ۱، مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴٫۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور ارائه شده‌اند که از مطالعات پیشین استخراج شده‌اند. این جدول به‌گونه‌ای طراحی شده است که هر عامل (شاخص) در سطرهای جدول قرارگرفته و منابع علمی مرتبط با آن در ستون‌ها مشخص شده‌اند. این ساختار به خواننده کمک می‌کند تا به‌صورت مقایسه‌ای، پوشش مطالعات مختلف را نسبت به هر عامل بررسی کرده و درک جامعی از ادبیات موجود در این حوزه به‌دست آورد.

جدول ۱. عوامل کلیدی صنعت ٤٫۰ در ارتقاء تاب‌آوری زنجیره‌تأمین بر اساس مطالعات پیشین

ردیف	عوامل	Marinagi et al. (2023)	Spieske & Birkel (2021)	Huang et al. (2023)	Hsu et al. (2022)	Joshi & Sharma (2022)	Ozkan-Ozen et al. (2020)	Maryniak et al. (2021)	Xu et al. (2022)	Resende et al. (2021)	Agarwal et al. (2022)	Frederico (2021)	Al-Okaily et al. (2024)	Musah (2023)	Al-Talib et al. (2020)	Raja Santhi & Muthuswamy (2022)	Ayyildiz (2023)	Zhao et al. (2024)	Patidar et al. (2023)
۱	همکاری و ارتباط مؤثر	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
۲	ادغام فناوری‌های صنعت ۴٫۰							✓	✓	✓	✓								
۳	آموزش کارکنان						✓				✓								
۴	حمایت مدیریت ارشد						✓				✓	✓	✓						
۵	بلوغ فناوری اطلاعات			✓	✓			✓		✓		✓							
۶	سازگاری با بازار							✓						✓	✓				

ردیف	عوامل	Marinagi et al. (2023)	Spieske & Birkel (2021)	Huang et al. (2023)	Hsu et al. (2022)	Joshi & Sharma (2022)	Ozkan-Ozen et al. (2020)	Maryniak et al. (2021)	Xu et al. (2022)	Resende et al. (2021)	Agarwal et al. (2022)	Frederico (2021)	Al-Okaily et al. (2024)	Musah (2023)	Al-Talib et al. (2020)	Raja Santhi & Muthuswamy (2022)	Ayyildiz (2023)	Zhao et al. (2024)	Patidar et al. (2023)
۷	مدیریت ریسک	✓			✓			✓									✓		
۸	تغییرات طراحی زنجیره		✓		✓							✓							
۹	استفاده از ظرفیت							✓		✓				✓					✓
۱۰	حمایت دولت						✓						✓						
۱۱	برنامه‌ریزی زنجیره	✓				✓	✓	✓			✓					✓	✓		
۱۲	منبع‌یابی قابل اعتماد		✓		✓									✓			✓	✓	
۱۳	مدیریت موجودی	✓												✓		✓			
۱۴	شفافیت زنجیره		✓	✓		✓	✓	✓							✓				
۱۵	سرعت زنجیره تاب‌آور	✓	✓					✓											
۱۶	درک ساختار زنجیره	✓	✓		✓														
۱۷	فرهنگ تاب‌آوری		✓		✓			✓	✓										
۱۸	امنیت زنجیره	✓			✓		✓			✓				✓					

ردیف	عوامل	Marinagi et al. (2023)	Spieske & Birkel (2021)	Huang et al. (2023)	Hsu et al. (2022)	Joshi & Sharma (2022)	Ozkan-Ozen et al. (2020)	Maryniak et al. (2021)	Xu et al. (2022)	Resende et al. (2021)	Agarwal et al. (2022)	Frederico (2021)	Al-Okaily et al. (2024)	Musah (2023)	Al-Talib et al. (2020)	Raja Santhi & Muthuswamy (2022)	Ayyildiz (2023)	Zhao et al. (2024)	Patidar et al. (2023)
	تاب‌آور																		
۱۹	مدیریت دانش	✓							✓									✓	
۲۰	ثبات مالی زنجیره						✓	✓		✓				✓			✓		
۲۱	سرمایه‌گذاری در فناوری	✓		✓				✓						✓		✓			

روش[1]

این پژوهش ازنظر نتیجه جزء تحقیقات کاربردی-توسعه‌ای قلمداد می‌شود زیرا به دنبال توسعه الگویی علمی و نوین از عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴٫۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور می‌باشد. بدین منظور، در مرحله اول عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴٫۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور از طریق روش فراترکیب شناسایی می‌شوند و در مرحله دوم تحقیق، محققان از طریق روش دیمتل فازی و نظرخواهی از ۱۰ نفر از خبرگان فعال در صنعت فولاد یزد (جدول ۲) به دنبال تعیین روابط بین عوامل شناسایی شده هستند.

جدول ۲. مشخصات خبرگان تحقیق

ردیف	جایگاه سازمانی	مدرک تحصیلی	سابقه فعالیت
۱	مدیر مالی سازمان	فوق‌لیسانس حسابداری	۱۷ سال سابقه فعالیت
۲	مدیر بازرگانی سازمان	لیسانس اقتصاد	۱۳ سال سابقه فعالیت
۳	مسئول IT سازمان	لیسانس کامپیوتر	۱۱ سال سابقه فعالیت

1. Method

ردیف	جایگاه سازمانی	مدرک تحصیلی	سابقه فعالیت
۴	مسئول انبار سازمان	لیسانس کامپیوتر	۱۴ سال سابقه فعالیت
۵	مدیر منابع انسانی سازمان	لیسانس (غیرمرتبط)	۶ سال سابقه فعالیت
۶	مسئول تعمیرات سازمان	لیسانس مکانیک	۹ سال سابقه فعالیت
۷	مهندس کنترل کیفیت سازمان	لیسانس متالوژی	۱۱ سال سابقه فعالیت
۸	مسئول ایمنی سازمان	لیسانس (غیرمرتبط)	۷ سال سابقه فعالیت
۹	معاون خط تولید سازمان	فوق‌دیپلم (غیرمرتبط)	۶ سال سابقه فعالیت
۱۰	مسئول آزمایشگاه سازمان	لیسانس متالوژی	۱۲ سال سابقه فعالیت

روش‌شناسی ترکیبی این پژوهش (فراترکیب + دیمتل فازی) به‌گونه‌ای طراحی‌شده که مستقیماً از چارچوب نظری آن پشتیبانی می‌کند.

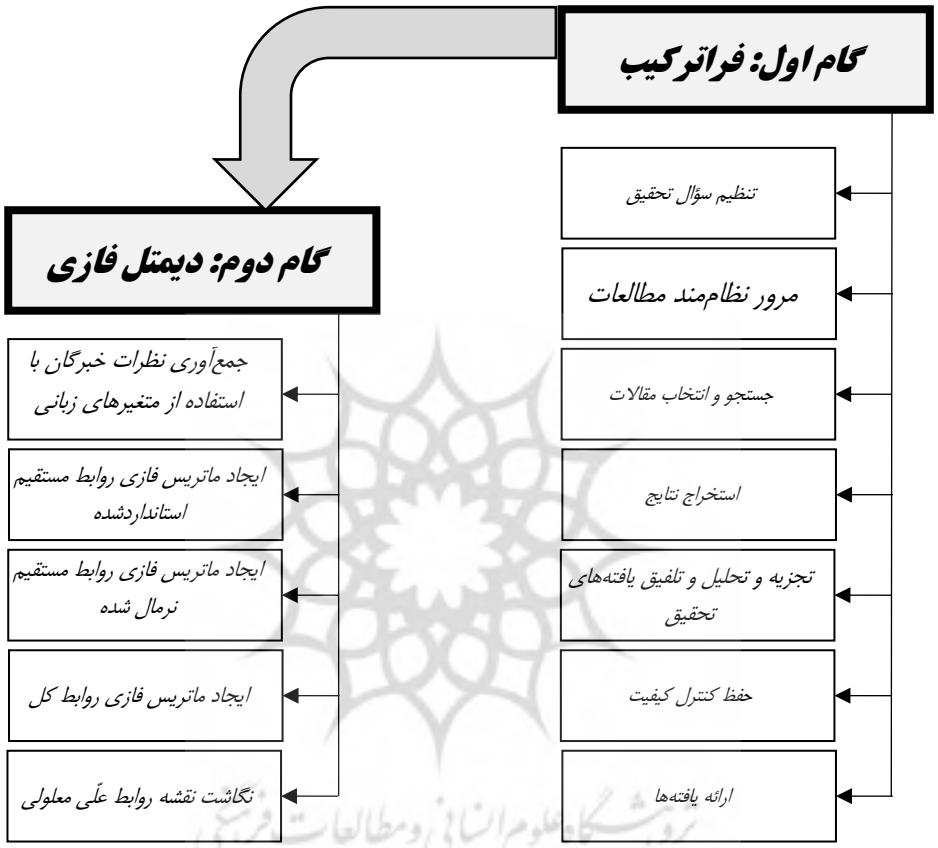
فراترکیب: این تحقیق در مرحله اول با شناسایی نظام‌مند ۲۱ عامل و دسته‌بندی آنان در ۵ بُعد با به‌کارگیری روش فراترکیب، در حقیقت به شناسایی و تعریف عملیاتی «منابع» (فناوری‌ها) و «قابلیت‌ها» (شاخص‌های تاب‌آوری) می‌پردازد. این عوامل، پایگاه منابع و شاخص‌های عینی برای سنجش مفاهیم نظری پژوهش را فراهم می‌کنند. فراترکیب 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 فراترکیب از روش هفت مرحله‌ای سانلوسکی و باروسو[1] (۲۰۰۷) 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 منتشرشده در پایگاه‌های علمی معتبر داخلی و بین‌المللی مرتبط با عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در 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 تأمین در صنایع فولاد یزد تشکیل دادند که با به‌کارگیری روش نمونه‌گیری هدفمند، ۱۰ نفر از آنان برای مشارکت در مرحله تحلیل روابط علّی و معلولی بین عوامل

1 Sandelowski & Barroso

(با استفاده از روش دیمتل فازی) انتخاب شدند. مراحل اجرای تحقیق را می‌توان در شکل ۱ مشاهده کرد.

شکل ۱. مراحل اجرای تحقیق



دیمتل فازی: در مرحله دوم، این تحقیق با تحلیل روابط علّی-معلولی بین ابعاد و عوامل با استفاده از روش دیمتل فازی، درصدد است تا «مکانیزم‌های پویا» حاکم بر سیستم را آشکار سازد. کشف این‌که کدام عوامل، «علّی» (تأثیرگذار) و کدام «معلول» (تأثیرپذیر) هستند، درک چگونگی بسیج منابع برای ایجاد قابلیت تاب‌آوری را ممکن می‌سازد و به‌طور مستقیم به قلب «نظریه قابلیت‌های پویا» مربوط می‌شود. داده‌های موردنیاز 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. به‌طورکلی، برای انجام روش دیمتل فازی مراحل ذیل طی شد (کیانی و همکاران،۱۴۰۲):

در گام نخست، معیارهای ارزیابی که ذاتاً دارای روابط علّی بوده و طیف وسیعی از شرایط پیچیده را پوشش می‌دهند، تدوین‌شده 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	۰	(۰/۲۵ و ۰ و ۰)
تأثیر خیلی کم	۱	(۰/۵ و ۰/۲۵ و ۰)
تأثیر کم	۲	(۰/۷۵ و ۰/۵ و ۰/۲۵)
تأثیر زیاد	۳	(۱ و ۰/۷۵ و ۰/۵)
تأثیر خیلی زیاد	۴	(۱ و ۱ و ۰/۷۵)

در گام دوم، نظرات خبرگان جمع‌آوری و میانگین‌گیری می‌شود. بدین منظور، با مشارکت P خبره، ماتریس‌های Z_1تاZ_p تشکیل می‌شوند که درایه‌های آن‌ها با اعداد فازی مثلثی نمایش داده می‌شوند. ماتریس میانگین Z از رابطه $Z = \frac{Z^1 \oplus Z^2 \oplus \dots Z^P}{P}$ محاسبه و به‌عنوان «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 به‌صورت (۰،۰،۰) تعریف می‌شوند.

سپس در گام سوم، با استفاده از رابطه استانداردسازی (رابطه ۱)، مقیاس‌های شاخص‌ها به مقیاس‌های قابل‌مقایسه تبدیل‌شده و ماتریس حاصل، «ماتریس فازی روابط مستقیم استانداردشده» یا X نامیده می‌شود.

$$a_{ij} = \left(\sum_{j=1}^{i} I_{ij}, \sum_{j=1}^{i} m_{ij}, \sum_{j=1}^{i} u_{ij} \right) \quad \text{رابطه ۱)}$$

$$r = max_{1 \leqslant i \leqslant n} \left(\sum_{j=1}^{i} u_{ij} \right) \quad \text{رابطه ۲)}$$

رابطه ۳) $$x_{ij} = \frac{Z_{ij}}{r} = \left(I'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij}\right)$$

گام چهارم: ماتریس فازی روابط مجموع T به دست می‌آید. توضیح آنکه $x_{ij} = \left(I'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij}\right)$ و مقادیر درایه‌های ماتریس‌های X_u, X_m, X_I به ترتیب شامل مقادیر I' و m' و u' در ماتریس X هستند.

رابطه ۴) $$XI = \left[I''_{ij}\right], Xm = \left[m''_{ij}\right], Xu = \left[u''_{ij}\right]$$

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

رابطه ۵) $$\left[I''_{ij}\right] = X_I \times (I - X_I)^{-1}$$

رابطه ۶) $$\left[m''_{ij}\right] = X_m \times (I - X_m)^{-1}$$

رابطه ۷) $$\left[u''_{ij}\right] = X_u \times (I - X_u)^{-1}$$

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

گام پنجم: به دست آوردن مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس T که با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند.

رابطه ۸) $$\widetilde{\mathrm{R}} = \left(\widetilde{\mathrm{R}}_{\mathrm{i}}\right)_{1\times \mathrm{n}} = \left[\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \widetilde{\mathrm{T}}_{\mathrm{ij}}\right]_{1\times \mathrm{n}}$$

رابطه ۹) $$\widetilde{\mathrm{D}} = \left(\widetilde{\mathrm{D}}_{\mathrm{i}}\right)_{\mathrm{n}\times 1} = \left[\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}} \widetilde{\mathrm{T}}_{\mathrm{ij}}\right]_{\mathrm{n}\times 1}$$

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

در گام ششم، میزان اهمیت شاخص‌ها از طریق مجموع $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)$ و روابط بین معیارها از طریق تفاضل $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)$ مشخص می‌شوند. اگر نتیجه تفاضل بزرگ‌تر از صفر باشد، معیار مربوطه یک عامل اثرگذار و اگر کوچک‌تر از صفر باشد، یک عامل اثرپذیر محسوب

می‌شود.

سپس در گام هفتم، اعداد فازی حاصل از مرحله قبل با استفاده از رابطه دیفازی‌سازی به مقادیر قطعی تبدیل می‌شوند که در آن B مقدار دیفازی‌شده عدد فازی $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ محسوب می‌گردد (کیانی و همکاران،۱۴۰۲).

رابطه ۱۰) $$B = \frac{l + m + n}{3}$$

یافته‌ها

شناسایی شاخص‌ها و مؤلفه‌های مناسب برای پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور: در این تحقیق عوامل مؤثر بر آمادگی سازمان برای اجرای صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور با بررسی پژوهش‌های پیشین به‌دست آمده است. درواقع عواملی مناسب‌اند که در فرایند پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور در سازمان‌ها تأثیرگذارند، یا نشان‌دهنده این مفهوم باشند که همراه با مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور در سازمان‌ها پیاده‌سازی این صنعت در سازمان‌ها تسهیل می‌گردد. بدین‌گونه که یا بر صنعت ۴,۰ سازمان یا بر ایجاد مؤثر مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور در آن یا بر هردو اثرگذارند.

مرحله ۱: تنظیم و معرفی سؤال پژوهش: در این مرحله، ابتدا باید به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

چه کسی: جامعه موردمطالعه را مطرح می‌نماید. در پژوهش حاضر مقالات مجلات معتبر جستجو و بررسی می‌شوند.

چه وقت: چارچوب زمانی پژوهش را بیان می‌دارد. در پژوهش حاضر مقالات ۵ سال گذشته بررسی و تحلیل گردیده‌اند.

چگونگی: روشی که برای جستجو و تحلیل پژوهش‌ها به‌کار گرفته می‌شود را نمایش می‌دهد. در این پژوهش از روش کیفی «تحلیل اسنادی»، برای بررسی و تحلیل مقالات و داده‌های ثانویه، بهره گرفته شده است.

با در نظرگرفتن هدف ابتدائی پژوهش حاضر (شناسایی شاخص‌های مناسب برای

طراحی مدلی شبکه‌ای برای پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور)، سؤال این تحقیق بدین‌شکل مطرح می‌گردد: مؤلفه‌ها و متغیرهای مناسب برای پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور چه می‌باشند؟

مرحله ۲: جستجو و تحلیل نظام‌مند مطالعات: برای جستجو و بررسی نظام‌مند مطالعات، از کلمات کلیدی مطابق جدول (۴) جداگانه و به‌شکل ترکیبی بهره‌گرفته شده است.

جدول ٤. کلمات کلیدی به‌کارگرفته شده در بررسی نظام‌مند ادبیات

معادل فارسی	معادل انگلیسی
صنعت ۴,۰	Industry 4.0
زنجیره‌تأمین تاب‌آور	Resilient supply chain
زنجیره‌تأمین	supply chain
انقلاب صنعتی چهارم	The fourth industrial revolution

در این مطالعه با بهره‌گیری از واژه‌های کلیدی مرتبط، به گردآوری اطلاعات منتشرشده در مجلات و منابع معتبر خارجی به‌طور متمرکز پرداخته شد. منظور از این عمل تشخیص ادبیاتی معتبر و مرتبط با موضوع در بازه زمانی موردنظر بود. جامعه موردمطالعه مقالات منتشرشده در منابع اطلاعاتی نشریات معتبر و پایگاه‌های اطلاعاتی خارجی مانند گوگل اسکولار[1]، وب‌آف‌ساینس[2] و اسکوپوس[3] بوده است.

در پژوهش حاضر کلیدواژه‌های جدول (۳) در پایگاه داده‌های ذکر شده در بازه زمانی ۲۰۲۰ الی ۲۰۲۵ به شرح انجام گردیده است:

"The fourth industrial revolution" OR "industry 4.0" OR "I4.0"
AND
"Resilient"
AND
"supply chain***"

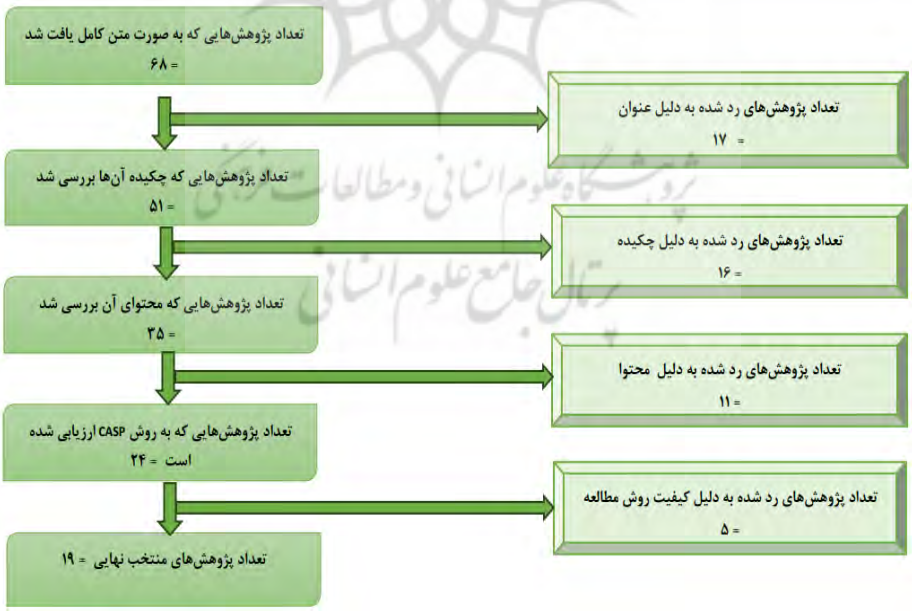
علت انتخاب بازه زمانی فوق به این دلیل است که بهره‌گیری از صنعت ۴,۰ برای

1 Google Scholar
2 Web of Science
3 Scopus

زنجیره‌تأمین تاب‌آور، موضوعی می‌باشد که در سال‌های اخیر در پژوهش‌ها ذکر گردیده است.

مرحله ۳: جستجو و انتخاب پژوهش‌های مؤثر: برای انتخاب مقالات مناسب از مفاهیم گوناگونی ازجمله 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 موردبررسی حذف گردیدند. معیارهای انتخاب و رد مقالات شامل زبان پژوهش، بازه زمانی موردمطالعه و نوع مقاله بودند. معیارهایی که بیانگر ویژگی‌های موردنیاز برای انتخاب مقالات بودند، عبارت‌اند از ۱. ثبت پژوهش در پایگاه‌های معتبر ۲. مطالب و محتوا در ارتباط با صنعت ۴,۰ و نقش آن در تاب‌آوری زنجیره‌تأمین باشد ۳. ارائه اطلاعات کافی در مقاله و داشتن کیفیت مناسب به‌منظور ترکیب در پژوهش. شکل (۲) نشان می‌دهد که در ابتدا تعداد کل مقالات شناسایی‌شده در ارتباط با موضوع، ۶۸ مورد بوده که ۴۹ پژوهش به دلایل گوناگون مانند: مناسب نبودن عنوان، چکیده، محتوا، روش پژوهش، حذف شده‌اند و در پایان داده‌های ۱۹ پژوهش به‌کارگرفته شده است.

شکل ۲. نحوه انتخاب تعداد پژوهش‌های مؤثر بر پژوهش



مرحله ۴: استخراج یافته‌های پژوهش: در این مرحله ابتدا، کلیه عبارات مرتبط با صنعت ۴,۰ و زنجیره‌تأمین تاب‌آور به شکل کدگذاری مرتبه اول استخراج شد. سپس این کدها، به‌صورت مفاهیمی که ساختار درون داده‌ها را نشان می‌دهد، به‌وسیله کدگذاری باز شناسایی گردیدند. در ادامه، کدهای مشابه به کمک کدگذاری محوری، در شکل ابعاد تأثیرگذار طبقه‌بندی گردیدند. در ابتدا، متن کامل ۱۹ مقاله منتخب نهایی دقیق مطالعه گردیده و کدگذاری باز روی آن‌ها انجام گردید تا کلیه مفاهیم و عوامل مرتبط با صنعت ۴,۰ همراه با زنجیره‌تأمین تاب‌آور استخراج گردد (جدول ۱). این کدگذاری توسط دو محقق، جداگانه انجام شد و در ادامه، نتایج کار آن‌ها با همدیگر مقایسه و هر شکل یا ابهام به کمک تحلیل و بررسی دوطرفه برطرف گردید. تعدادی عوامل که بر بسترسازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور تأثیرگذارند و طی بررسی این پژوهش‌ها گردآوری گردیده است، در قالب کد به‌عنوان نتیجه فرایند کدگذاری مرتبه اول، در جدول (۵) شرح داده شده است:

جدول ۵. متغیرهای کلیدی مناسب برای پیاده‌سازی صنعت ٤,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور

ردیف	عامل	توضیحات
۱	همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره‌تأمین	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 عبارت‌اند از: تصمیم‌گیری تداوم مشترک، زیرساخت‌های ارتباطی دائمی و تمایل به اشتراک‌گذاری اطلاعات و منابع. در این زمینه، اعتماد متقابل پیش‌شرط است. برخی از محققان حتی همکاری با رقبا را در تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین مفید می‌دانند.
۲	ادغام فناوری‌های مختلف صنعت ۴,۰	به‌عنوان‌مثال اینترنت اشیاء با امکان نظارت زمان واقعی بر کالاها، دید بیشتری را در سراسر زنجیره‌تأمین 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.
۳	آموزش و توسعه کارکنان در زمینه	سرمایه‌گذاری در آموزش کارکنان برای موفقیت پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴,۰ بسیار مهم است. سازمان‌ها باید اطمینان حاصل کنند که نیروی کارشان با

ردیف	عامل	توضیحات
	فناوری‌های دیجیتال	مهارت‌های لازم برای بهره‌برداری مؤثر از سیستم‌های جدید مجهز است.
۴	تعهد و حمایت مدیریت ارشد از اجرای فناری‌های صنعت ۴,۰	تعهد قوی رهبری برای هدایت تغییرات به سمت شیوه‌های صنعت ۴,۰ 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 فرهنگ‌سازمانی مناسبی برای نوآوری ایجاد کند.
۵	بلوغ بالای فناوری اطلاعات در شرکت	زیرساخت موجود باید قادر به پشتیبانی از فناوری‌های جدید باشد. سازمان‌ها باید قابلیت‌های فعلّی خود را ارزیابی کرده و در صورت لزوم سرمایه‌گذاری‌هایی برای ارتقاء انجام دهند.
۶	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.
۷	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.
۸	قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه‌برداری زنجیره‌تأمین	زنجیره‌های تأمین باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که تغییرات طراحی در هر مرحله از زنجیره‌تأمین در آن گنجانده شود. اینکه آیا زنجیره‌تأمین ازنظر فناوری قادر است طراحی شبکه خود را مطابق با نیازهای موردنیاز تغییر دهد، یکی از عوامل اصلی در افزایش انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین است.
۹	استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره‌تأمین	همراه با استفاده از تمامی ظرفیت، نسبت خروجی واقعی به حداکثر خروجی ممکن می‌گردد و برحسب درصد بیان می‌شود. زنجیره‌ی تأمین سازمان‌ها باید از تمامی ظرفیت خود برای به‌کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰ در تولید و بازتولید زنجیره‌تأمین بهره ببرند.
۱۰	حمایت‌های دولت از به‌کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰	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.
۱۱	توسعه برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین	این شامل تنظیم برنامه بر اساس پیش‌بینی‌های برنامه‌ریزی تقاضا و درعین‌حال در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت تولید و در دسترس بودن مواد است. شرکت‌هایی که ازنظر فن‌آوری در فرآیند برنامه‌ریزی مجموعه‌ای خود توانایی خوبی دارند، می‌توانند از برآورده شدن تقاضا و کاهش شانس فروش

ردیف	عامل	توضیحات
		ازدست‌رفته اطمینان حاصل کنند و درنتیجه انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین را بهبود بخشند.
۱۲	توسعه منبع یابی از پایگاه عرضه قابل‌اعتماد	تأمین‌کنندگان قابل‌اعتماد ضروری است زیرا اختلالات در سطوح پایین‌تر می‌تواند بر هر زنجیره‌تأمینی در سازمان‌ها تأثیر بگذارد. نقش تأمین‌کنندگان به‌ویژه در زمینه صنعت ۴٫۰ مهم است زیرا یک سازمان نمی‌تواند واقعاً از فناوری‌های مخرب بهره‌مند شود اگر سایر شرکای زنجیره‌تأمین آن هنوز به روش‌های متعارف کار کنند.
۱۳	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 فاسدشدن و هدر رفتن شود، اجتناب کنند.
۱۴	توسعه قابلیت مشاهده یا شفافیت زنجیره‌تأمین	به توانایی دسترسی به اطلاعات مربوط به هویت، مکان و وضعیت موجودیت‌هایی که بین تأمین‌کنندگان و مشتریان سطح پایین‌تر در زنجیره‌تأمین ارسال می‌شوند، مربوط می‌شود. این ممکن است شامل موجودی‌ها، شرایط تقاضا و عرضه و همچنین برنامه‌های تولید و خرید باشد.
۱۵	توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره‌تأمین تاب‌آور	بر سرعت سازمان در انجام سازگاری‌های انعطاف‌پذیر تمرکز می‌کند و زمان هدایت به‌عنوان یک شاخص کلیدی است. این عامل شامل انعطاف‌پذیری شرکت‌ها برای واکنش سریع به شرایط محیطی جدید است، به‌ویژه در هنگام مواجهه با اختلال در تولید، حمل‌ونقل، تأمین منابع یا نیروی کار
۱۶	توسعه قابلیت درک کل ساختار زنجیره‌تأمین	درک ساختار زنجیره‌تأمین برای شناسایی مسیرهای بحرانی و تنگناهای بالقوه در زنجیره‌تأمین موردنیاز است که می‌تواند از طریق تکنیک‌های مدل‌سازی و نقشه‌برداری به دست آید. داشتن این نوع ابزارها هنگام مواجهه با اختلالات زنجیره‌های تأمین برای فعال کردن تجزیه‌وتحلیل آسیب‌پذیری و شبیه‌سازی سناریو بسیار مهم است.
۱۷	توسعه فرهنگ زنجیره‌تأمین تاب‌آور در سازمان	ایجاد فرهنگ مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور یک سابقه بسیار متنوع است که شامل طرز فکر آگاهی از ریسک، امکانات یادگیری زنجیره‌تأمین تاب‌آور و پشتیبانی مدیریت ارشد است. در زمینه فناوری‌های صنعت ۴٫۰ تصمیم‌گیرندگان باید بتوانند بینش‌های داده‌های پردازش‌شده را تفسیر کنند.
۱۸	ایجاد امنیت و	مجموعه‌ای از استراتژی‌ها، سیاست‌ها و اقداماتی اطلاق می‌شود که به‌منظور

ردیف	عامل	توضیحات
	تضمین ایمنی در ایجاد زنجیره‌تأمین تاب‌آور	حفاظت از زنجیره‌تأمین 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 زنجیره‌تأمین سازمان می‌تواند امنیت فیزیکی، امنیت اطلاعات یا امنیت حمل‌ونقل باشد.
۱۹	توسعه راهبردهای مدیریت دانش در زنجیره‌تأمین سازمان	مدیریت دانش در زنجیره‌تأمین به شرکت‌کنندگان در حوزه‌های مختلف زنجیره‌تأمین به‌منظور شناسایی محل دانش موجود، نحوه جریان یافتن آن از طریق بخش‌های حیاتی زنجیره‌تأمین 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 راه‌حل‌های بهتر پس از ایجاد اختلال.
۲۰	ایجاد قدرت یا ثبات مالی مناسب برای زنجیره‌تأمین	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 زنجیره‌تأمین 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. تأمین مالی زنجیره‌تأمین اعتبار کوتاه‌مدتی را فراهم می‌کند که سرمایه در گردش را هم برای خریداران و هم برای فروشندگان بهینه می‌کند.
۲۱	سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت ۴,۰	فناوری‌های دیجیتال پیشرفته در حال حاضر نیز در تولید استفاده می‌شود، اما فناوری‌های صنعت ۴,۰، زنجیره‌تأمین را متحول می‌کند. این امر منجر به کارایی بیشتر و تغییر روابط تولید سنتی بین تولیدکنندگان، تأمین‌کنندگان، مشتریان و همچنین بین انسان و ماشین می‌شود. نُه فناوری مهم که پایه‌های صنعت ۴,۰ را شکل می‌دهند: داده‌ورزی و کلان داده، ربات‌های خودکار، شبیه‌سازی، یکپارچگی افقی و عمودی سیستم، اینترنت اشیاء، امنیت سایبری، فناوری ابر، تولید افزاینده، واقعیت افزوده

مرحله ۵: تجزیه‌وتحلیل و تلفیق یافته‌ها: در گام بعدی، کدهای شبیه به هم به‌وسیله کدگذاری محوری در شکل مفاهیم مشترک و در پایان، به‌صورت ابعاد اصلی طبقه‌بندی گردیدند. این ابعاد به‌وسیله تحلیل میان محققان و بررسی مجدد مقالات پژوهش ارزیابی گردیدند و تأیید شدند. در این مرحله، عوامل تعیین‌شده در مرحله قبل که به‌صورت یک

کد بیان گردیده است، بنابر شباهت موضوعی در یک مفهوم جدید طبقه‌بندی می‌شوند و به‌شکل کدهای رتبه دوم نمایش داده می‌شوند. نتیجه فرآیند کدگذاری مرتبه دوم در جدول (۶) ارائه گردیده است.

جدول ٦. نتیجه فرآیند کدگذاری مرتبه دوم

ردیف	ابعاد	کدگذاری		شاخص‌ها
۱	عوامل مدیریتی-نهادی (MI)	MI	MI1	توسعه برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین
۲			MI2	توسعه راهبردهای مدیریت موجودی زنجیره‌تأمین
۳			MI3	ایجاد قدرت یا ثبات مالی مناسب برای زنجیره‌تأمین
۴			MI4	توسعه راهبردهای مدیریت دانش در زنجیره‌تأمین سازمان
۵			MI5	تعهد و حمایت مدیریت ارشد از اجرای فناوری‌های صنعت ۴,۰
۶			MI6	توسعه استراتژی‌های مدیریت ریسک
۷	فناوری-ساختاری (TS)	TS	TS1	ادغام فناوری‌های مختلف صنعت ۴,۰
۸			TS2	بلوغ بالای فناوری اطلاعات در شرکت
۹			TS3	قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه‌برداری زنجیره
۱۰			TS4	توسعه قابلیت درک کل ساختار زنجیره‌تأمین
۱۱			TS5	سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت ۴,۰
۱۲	عوامل سازمانی (O)	O	O1	همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره‌تأمین
۱۳			O2	توسعه منبع یابی از پایگاه عرضه قابل‌اعتماد
۱۴			O3	ایجاد امنیت و تضمین ایمنی در ایجاد تاب‌آوری زنجیره
۱۵			O4	توانایی سازگاری با شرایط متغیر بازار
۱۶	عوامل عملیاتی (A)	A	A1	استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره‌تأمین
۱۷			A2	توسعه قابلیت مشاهده یا شفافیت زنجیره‌تأمین
۱۸			A3	توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره‌تأمین تاب‌آور
۱۹	عوامل فرهنگی (C)	C	C1	توسعه فرهنگ زنجیره‌تأمین تاب‌آور در سازمان
۲۰			C2	آموزش و توسعه کارکنان در زمینه فناوری‌های دیجیتال
۲۱			C3	حمایت‌های دولت از به‌کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰

مرحله ۶: کنترل کیفیت: در این پژوهش، برای تحلیل پایایی عوامل، از شاخص کاپا

استفاده گردیده است. بدین‌صورت که یک خبره دیگر بدون اطلاع از نحوه ترکیب کدها و مفاهیم حاصل‌شده توسط محقق، به دسته‌بندی عوامل می‌پردازد و سپس مجموعه‌های طرح گردیده توسط پژوهشگر با مجموعه‌های شکل‌گرفته توسط خبره، مقایسه می‌گردد. با توجه به نتایج جدول (۷)، پژوهشگر اصلی ۵ دسته و سایر خبرگان ۷ دسته ارائه نمودند که ۴ دسته میان آن‌ها مشترک بود. بر اساس محاسبات انجام‌شده، مقدار شاخص کاپا ۰/۴۹ به دست آمد که مطابق با جدول (۸) در محدوده توافق قابل‌قبول قرار دارد.

جدول ۷. محاسبه وضعیت تبدیل کدهای کیفی به مفاهیم توسط پژوهشگر و متخصص

		نظر پژوهشگر		
		بلی	خیر	مجموع کدگذار اول
نظر متخصص	بلی	$A=4$	$B=1$	۵
	خیر	$C=3$	$D=0$	۳
	مجموع کدگذار دوم	۷	۱	$N=8$

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

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

$$= 0.02563$$

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

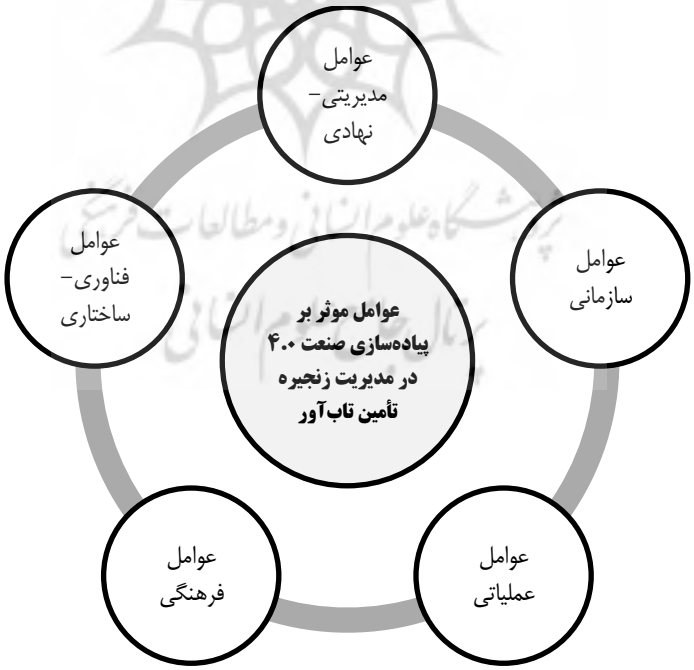
جدول ۸. وضعیت شاخص کاپا

مقدار عددی شاخص کاپا	وضعیت توافق
کمتر از ۰	ضعیف
۰ - ۰,۲	بی‌اهمیت
۰,۲۱ – ۰,۴	متوسط
۰,۴۱ – ۰,۶	مناسب

مقدار عددی شاخص کاپا	وضعیت توافق
۰,۶۱ – ۰,۸	معتبر
۰۸۱-۱	عالی

مرحله ۷: ارائه یافته‌ها: در جدول (۵)، متغیرهای تأثیرگذار در پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین 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 (۶)، ارائه شده‌اند و در پایان برای تحلیل و بررسی کنترل کیفیت و پایایی مدل، شاخص کاپا به‌کار گرفته شده است. به این صورت که کارشناس دیگری بدون اطلاع از نحوه تلفیق کدها و مفاهیم شکل‌گرفته توسط محقق، اقدام به طبقه‌بندی مفاهیم می‌نماید، سپس مفاهیم ایجادشده توسط پژوهشگر با مفاهیم مطرح‌شده توسط کارشناس، مقایسه می‌شود. شاخص کاپا حاصل‌شده در این مرحله برابر با ۰/۴۹ است که مناسب بودن وضعیت توافق میان پژوهشگر و متخصص را بیان می‌نماید.

شکل ۳. مدل مفهومی پژوهش



تعیین روابط علت و معلولی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ٤,٠ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور

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 قسمت‌های گذشته مطرح شد، ابتدا ماتریس‌های 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 ارزیابی‌های 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 می‌شود که هر خبره می‌بایست تأثیر هر عنصر سطری بر عناصر ستونی را با اعداد فازی (بر اساس جدول ۲) در ماتریس مربوطه ثبت کند. درنهایت، با میانگین‌گیری از نظرات تمامی خبرگان، ماتریس اولیه Z حاصل می‌گردد.

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

با استفاده از نظرات ۱۰ خبره، ماتریس اولیه از طریق میانگین‌گیری حسابی از آرای تمامی آن‌ها تشکیل شد. در ادامه، پس از تجمیع و محاسبه میانگین نظرات و انجام فرآیند نرمال‌سازی بر روی ماتریس فازی اولیه روابط مستقیم (مطابق با روابط ۱، ۲ و ۳ و الگوی جدول ۹)، ماتریس نرمال‌شده روابط مستقیم فازی حاصل گردید.

جدول ۹. ماتریس نرمال ارتباط مستقیم فازی ابعاد اصلی

	مدیریتی-نهادی (MI)	فناوری-ساختاری (TS)	سازمانی (O)	عملیاتی (A)	فرهنگی (C)
(MI)	(۰,۰۰۰،۰,۰۰۰،۰,۰۰۰)	(۰,۱۱۳،۰,۱۹۴،۰,۲۷۴)	(۰,۱۲۹،۰,۲۱۰،۰,۲۹۰)	(۰,۱۱۳،۰,۱۹۴،۰,۲۷۴)	(۰,۰۰۸،۰,۰۸۱،۰,۱۶۱)
(TS)	(۰,۱۰۵،۰,۱۸۵،۰,۲۶۶)	(۰,۰۰۰،۰,۰۰۰،۰,۰۰۰)	(۰,۰۷۳،۰,۱۵۳،۰,۲۳۴)	(۰,۰۷۳،۰,۱۵۳،۰,۲۳۴)	(۰,۰۰۸،۰,۰۶۵،۰,۱۴۵)
(O)	(۰,۰۳۲،۰,۱۱۳،۰,۱۹۴)	(۰,۰۵۶،۰,۱۳۷،۰,۲۱۸)	(۰,۰۰۰،۰,۰۰۰،۰,۰۰۰)	(۰,۰۷۳،۰,۱۵۳،۰,۲۳۴)	(۰,۰۰۰،۰,۰۳۲،۰,۱۱۳)

	مدیریتی-نهادی (MI)	فناوری-ساختاری (TS)	سازمانی (O)	عملیاتی (A)	فرهنگی (C)
(A)	(۰,۰۳۲،۰,۱۰۵،۰,۱۸۵)	(۰,۰۴۸،۰,۱۲۹،۰,۲۱۰)	(۰,۰۴۸،۰,۱۲۹،۰,۲۱۰)	(۰,۰۰۰،۰,۰۰۰،۰,۰۰۰)	(۰,۰۰۸،۰,۰۳۲،۰,۱۱۳)
(C)	(۰,۰۴۰،۰,۱۰۵،۰,۱۸۵)	(۰,۰۳۲،۰,۰۷۳،۰,۱۴۵)	(۰,۰۳۲،۰,۱۰۵،۰,۱۸۵)	(۰,۰۴۰،۰,۱۰۵،۰,۱۸۵)	(۰,۰۰۰،۰,۰۰۰،۰,۰۰۰)

پس از نرمال‌سازی نظرات خبرگان در مورد ابعاد، ماتریس T با به‌کارگیری روابط ۴ تا ۷ روش دیمتل فازی برای هر یک از مقادیر فازی (پایین، میانی و بالا) محاسبه شد. درنهایت، از تلفیق این سه ماتریس، ماتریس نهایی روابط کل (T) در قالب جدول (۱۰) به دست آمد.

جدول ۱۰. ماتریس روابط بین کل زوج‌ها (*T*) در ابعاد اصلی

	مدیریتی-نهادی (MI)	فناوری-ساختاری (TS)	سازمانی (O)	عملیاتی (A)	فرهنگی (C)
(MI)	(۰,۰۲۳،۰,۱۴۹،۰,۹۰۶)	(۰,۱۳۱،۰,۳۲۴،۱,۱۵۱)	(۰,۱۴۸،۰,۳۴۹،۱,۲۱۶)	(۰,۱۳۶،۰,۳۴۰،۱,۲۱۵)	(۰,۰۱۰،۰,۱۳۶،۰,۷۴۹)
(TS)	(۰,۱۱۴،۰,۲۸۵،۱,۰۳۳)	(۰,۰۲۳،۰,۱۳۹،۰,۸۴۹)	(۰,۰۹۴،۰,۲۸۳،۱,۰۸۹)	(۰,۰۹۴،۰,۲۸۵،۱,۰۹۷)	(۰,۰۱۰،۰,۱۱۵،۰,۶۸۲)
(O)	(۰,۰۴۲،۰,۲۰۴،۰,۸۸۵)	(۰,۰۶۶،۰,۲۳۱،۰,۹۲۵)	(۰,۰۱۴،۰,۱۱۹،۰,۷۹۰)	(۰,۰۸۳،۰,۲۵۴،۰,۹۸۷)	(۰,۰۰۲،۰,۰۷۶،۰,۵۹۱)
(A)	(۰,۰۴۱،۰,۱۸۹،۰,۸۴۹)	(۰,۰۵۷،۰,۲۱۶،۰,۸۸۸)	(۰,۰۵۹،۰,۲۲۴،۰,۹۲۹)	(۰,۰۱۳،۰,۱۱۲،۰,۷۶۳)	(۰,۰۰۹،۰,۰۷۲،۰,۵۷۰)
(C)	(۰,۰۴۸،۰,۱۸۲،۰,۸۲۵)	(۰,۰۴۳،۰,۱۶۴،۰,۸۱۸)	(۰,۰۴۴،۰,۱۹۸،۰,۸۸۸)	(۰,۰۵۲،۰,۲۰۰،۰,۸۹۵)	(۰,۰۰۱،۰,۰۳۸،۰,۴۵۳)

بعد از ماتریس روابط کل (*T*)، ماتریس دیفازی شده روابط کل (طبق رابطه ۱۰) به صورت جدول زیر محاسبه می‌گردد.

جدول ۱۱. ماتریس دیفازی شده روابط کل ابعاد اصلی

	مدیریتی-نهادی (MI)	فناوری ساختاری (TS)	سازمانی (O)	عملیاتی (A)	فرهنگی (C)
(MI)	۰,۲۷۷	۰,۴۴۸	۰,۴۷۹	۰,۴۷۱	۰,۲۳۳
(TS)	۰,۳۹۸	۰,۲۶۱	۰,۴۱	۰,۴۱۳	۰,۲۰۸
(O)	۰,۳۱۴	۰,۳۴۴	۰,۲۳۵	۰,۳۷۴	۰,۱۶۴
(A)	۰,۲۹۸	۰,۳۲۷	۰,۳۴	۰,۲۲۵	۰,۱۵۹
(C	۰,۲۹	۰,۲۷۶	۰,۳۱۴	۰,۳۱۷	۰,۱۱

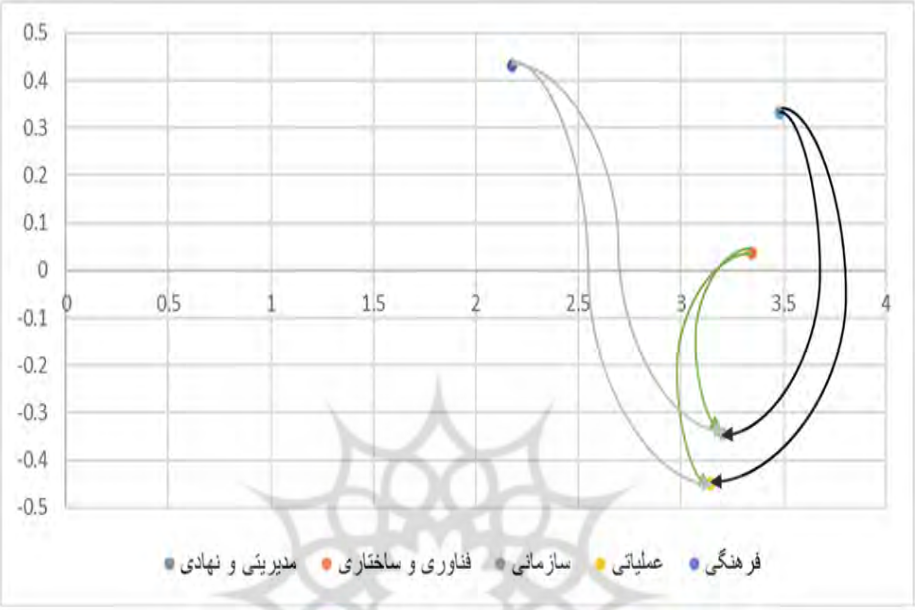
در ادامه، $\widetilde{D}$ (جمع سطرها) و $\widetilde{R}$ (جمع ستون‌ها) محاسبه و نتیجه به همراه مقادیر $\widetilde{D}_i + \widetilde{R}_i$ (بردار برتری) و $\widetilde{D}_i - \widetilde{R}_i$ (بردار ارتباط) در جدول (۱۲) مشاهده می‌گردد. (طبق روابط ۸ و ۹) $\widetilde{D}$نشانگر میزان تأثیرگذاری و $\widetilde{R}$ نمایانگر میزان تأثیرپذیری عوامل می‌باشد. $\widetilde{D}_i + \widetilde{R}_i$ بیانگر مجموع تأثیرگذاری و تأثیرپذیری و وزن(اهمیت) عامل موردنظر می‌باشد و $\widetilde{D}_i - \widetilde{R}_i$ بیانگر ارتباطات هر عامل بر پدیده موردبررسی می‌باشد، اعداد منفی شاخص $\widetilde{D}_i - \widetilde{R}_i$نشان‌دهندهٔ عوامل تأثیرپذیر(معلول) و اعداد مثبت نشان‌دهندهٔ عوامل تأثیرگذار (علت) می‌باشند.

جدول ۱۲. محاسبه مقادیر $\widetilde{D}_i + \widetilde{R}_i$ و $\widetilde{D}_i - \widetilde{R}_i$ ابعاد اصلی

	R	D	D+R	D-R
مدیریتی-نهادی (MI)	۱,۵۷۷	۱,۹۰۸	۳,۴۸۵	۰,۳۳۲
فناوری-ساختاری (TS)	۱,۶۵۷	۱,۶۹۲	۳,۳۴۹	۰,۰۳۵
سازمانی (O)	۱,۷۷۹	۱,۴۳۲	۳,۲۱	-۰,۳۴۷
عملیاتی (A)	۱,۷۹۹	۱,۳۴۹	۳,۱۴۸	-۰,۴۵۱
فرهنگی (C)	۰,۸۷۵	۱,۳۰۶	۲,۱۸۱	۰,۴۳۱

بر اساس تحلیل نظرات خبرگان و داده‌های جدول (۱۲)، نمودار علّی-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. ازنظر نقش علّی، ابعاد مدیریتی-نهادی، فناوری-ساختاری و فرهنگی به‌عنوان عوامل علّی شناسایی شده‌اند، درحالی‌که ابعاد سازمانی و عملیاتی نقش معلول را ایفا می‌کنند. به‌این‌ترتیب، ابعاد مدیریتی-نهادی، فرهنگی و فناوری-ساختاری بر سایر ابعاد تأثیرگذار بوده و ابعاد سازمانی و عملیاتی تحت تأثیر آن‌ها قرار دارند.

شکل ٤. روابط علت و معلولی ابعاد اصلی بر پیاده‌سازی صنعت ٤,٠ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور



جدول ۱۳. محاسبه مقادیر $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ و $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ برای همه عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ٤,٠ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور

ابعاد	چالش	R	D	D+R	D-R	نوع
مدیریتی-نهادی (MI)	MI1	۲,۰۲۳	۱,۶۰۵	۳,۶۲۸	-۰,۴۱۸	معلول
	MI2	۱,۹۲۸	۱,۶۴۳	۳,۵۷۱	-۰,۲۸۵	معلول
	MI3	۱,۸۳۷	۱,۷۹۴	۳,۶۳۱	-۰,۰۴۳	معلول
	MI4	۱,۴۷۸	۱,۶۵۶	۳,۱۳۵	۰,۱۷۸	علّت
	MI5	۱,۰۱۸	۱,۹۶	۲,۹۷۸	۰,۹۴۲	علّت
	MI6	۱,۵۱۹	۱,۱۴۵	۲,۶۶۳	-۰,۳۷۴	معلول
فناوری-ساختاری (TS)	TS1	۲,۳۹۱	۲,۴۲۸	۴,۸۱۹	۰,۰۳۷	علّت
	TS2	۲,۴۲۲	۲,۵۶۵	۴,۹۸۷	۰,۱۴۲	علّت
	TS3	۲,۵۴۸	۲,۱۰۸	۴,۶۵۶	-۰,۴۴	معلول
	TS4	۲,۴۰۷	۱,۹۳۱	۴,۳۳۸	-۰,۴۷۶	معلول
	TS5	۱,۸۸۲	۲,۶۱۸	۴,۵۰۱	۰,۷۳۶	علّت

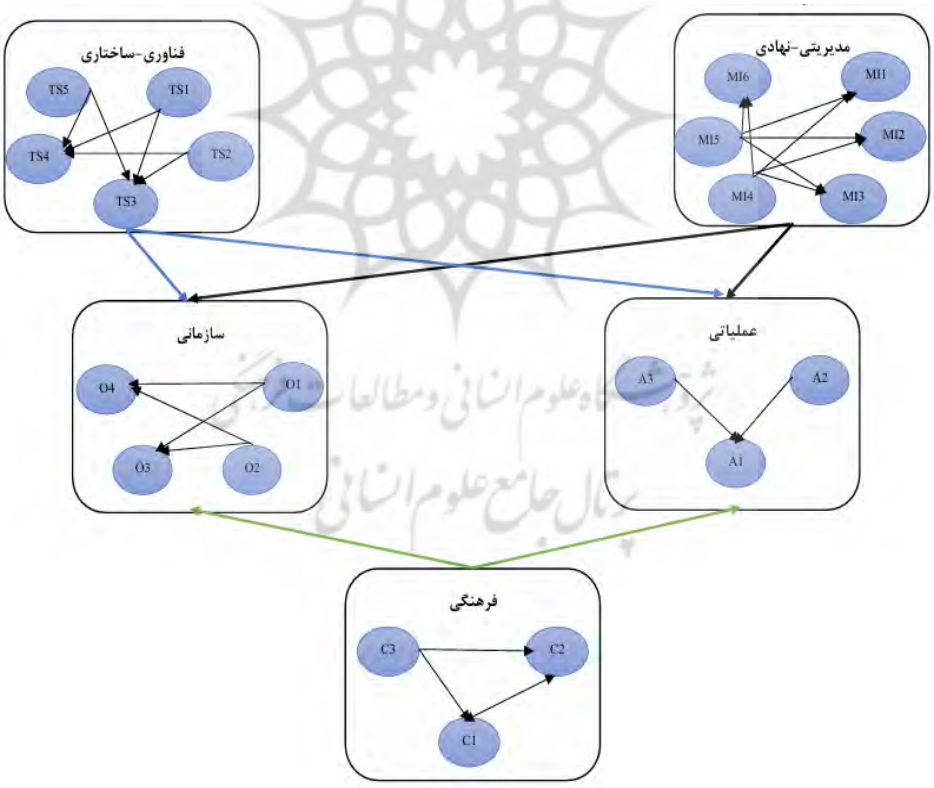
ابعاد	چالش	R	D	D+R	D-R	نوع
سازمانی (O)	O1	۳,۳۷۳	۳,۸۰۹	۷,۱۸۲	۰,۴۳۶	علّت
	O2	۳,۵۷۳	۳,۷۹۸	۷,۳۷۱	۰,۲۲۶	علّت
	O3	۳,۶۹۴	۳,۵۳۶	۷,۲۳	- ۰,۱۵۷	معلول
	O4	۳,۶۵۵	۳,۱۵۱	۶,۸۰۶	-۰,۵۰۴	معلول
عملیاتی (A)	A1	۲,۹۵۹	۲,۶۴۴	۵,۶۰۲	-۰,۳۱۵	معلول
	A2	۲,۵۵۷	۲,۷۱۷	۵,۲۷۴	۰,۱۶	علّت
	A3	۲,۵۶۵	۲,۷۱۹	۵,۲۸۴	۰,۱۵۵	علّت
فرهنگی (C)	C1	۱,۶۵۱	۱,۰۱۶	۲,۶۶۸	-۰,۶۳۵	معلول
	C2	۱,۳۳۲	۱,۲۸۱	۲,۶۱۴	-۰,۰۵۱	معلول
	C3	۰,۹۷۵	۱,۶۶	۲,۶۳۵	۰,۶۸۶	علّت

شکل (۵) بنابر نظر خبرگان در ارتباط میان شاخص‌های مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور در هر بعد و داده‌های جدول (۱۳)، رسم گردیده است. مطابق با جدول (۱۰) و شکل (۵)، در بعد مدیریتی-نهادی (MI)، «تعهد و حمایت مدیریت ارشد از اجرای فناری‌های صنعت ۴,۰» (MI5) نسبت به سایر شاخص‌های این بعد، از بیشترین تأثیرگذاری و شاخص «توسعه برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین»(MI1) بیشترین تأثیرپذیری برخوردار می‌باشد. همچنین در این بعد، «ایجاد قدرت یا ثبات مالی مناسب برای زنجیره‌تأمین»(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 زنجیره‌تأمین سازمان»(MI4) و «تعهد و حمایت مدیریت ارشد از اجرای فناری‌های صنعت ۴,۰» (MI5) علّی بوده و عوامل «توسعه برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین»(MI1)، «توسعه راهبردهای مدیریت موجودی زنجیره‌تأمین» (MI2)، «ایجاد قدرت یا ثبات مالی مناسب برای زنجیره‌تأمین»(MI3) و «توسعه استراتژی‌های مدیریت ریسک»(MI6) معلول به‌حساب می‌آیند. در بعد فناوری-ساختاری (TS) در میان تمام عوامل، شاخص «سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت ۴,۰» (TS5) از بیشترین تأثیرگذاری و شاخص «قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه‌برداری

زنجیره‌تأمین»(TS3) از بیشترین تأثیرپذیری، برخوردار هستند. به‌علاوه، با توجه به جدول (۱۰)، 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 ۴,۰»(TS1)، «بلوغ بالای فناوری اطلاعات در شرکت»(TS2) و «سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت ۴,۰» (TS5) علّی بوده و شاخص‌های «قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه‌برداری زنجیره‌تأمین»(TS3) و «توسعه قابلیت درک کل ساختار زنجیره‌تأمین»(TS4) معلول به‌حساب می‌آیند. در بعد سازمانی (O)، شاخص «همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره‌تأمین»(O1) دارای بیشترین تأثیرگذاری و شاخص «ایجاد امنیت و تضمین ایمنی در ایجاد زنجیره‌تأمین تاب‌آور» (O3) دارای بیشترین تأثیرپذیری نسبت به دیگر شاخصان این بعد، هستند. به‌علاوه شاخص «توسعه منبع یابی از پایگاه عرضه قابل‌اعتماد»(O2) از بیشترین تأثیرگذاری و اهمیت در سیستم برخوردار می‌باشد و بیشترین ارتباطات را با دیگر عوامل این بعد دارد. در این بعد، شاخص‌های «همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره‌تأمین»(O1) و «توسعه منبع یابی از پایگاه عرضه قابل‌اعتماد»(O2) علّی بوده و شاخص‌های «ایجاد امنیت و تضمین ایمنی در ایجاد زنجیره‌تأمین تاب‌آور» (O3) و «توانایی سازگاری با شرایط متغیر بازار»(O4) معلول به‌حساب می‌آیند. در بعد عملیاتی (A) در میان تمام عوامل، عامل «توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره‌تأمین تاب‌آور» (A3) دارای بیشترین تأثیرگذاری و عامل «استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره‌تأمین»(A1) دارای بیشترین تأثیرپذیری، است. در این بعد، عامل «استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره‌تأمین»(A1) دارای بیشترین اهمیت، تأثیرگذاری و تأثیرپذیری در سیستم می‌باشد. در بعد عملیاتی، عوامل «توسعه قابلیت مشاهده یا شفافیت زنجیره‌تأمین» (A2) و «توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره‌تأمین تاب‌آور» (A3) علّی بوده و عامل «استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره‌تأمین»(A1) معلول در نظر گرفته می‌شود. در بعد فرهنگی (C)، عامل «حمایت‌های دولت از به‌کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰» (C3) دارای بیشترین تأثیرگذاری و عامل «توسعه فرهنگ زنجیره‌تأمین

تاب‌آور» (C1) در سازمان دارای بیشترین تأثیرپذیری نسبت به دیگر شاخصان این بعد، می‌باشد. در این بعد، عامل «توسعه فرهنگ زنجیره‌تأمین تاب‌آور در سازمان»(C1) نسبت به دیگر شاخصان، از بیشترین اهمیت و تعاملات علّی برخوردار است. در بعد فرهنگی، عامل «حمایت‌های دولت از به‌کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰»(C3) علّی بوده و عوامل «توسعه فرهنگ زنجیره‌تأمین تاب‌آور در سازمان»(C1) و «آموزش و توسعه کارکنان در زمینه فناوری‌های دیجیتال» (C2) معلول به‌حساب می‌آیند. همچنین می‌توان بیان نمود که عوامل «توسعه فرهنگ زنجیره‌تأمین تاب‌آور در سازمان»(C1) و «آموزش و توسعه کارکنان در زمینه فناوری‌های دیجیتال»(C2) دارای روابط متقابل می‌باشند.

شکل ۵. روابط علت و معلولی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ٤,٠ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور



بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با به‌کارگیری روش‌شناسی ترکیبی (فراترکیب و دیمتل فازی)، الگویی علّی از عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور صنعت فولاد یزد ارائه نمود. یافته‌های حاصل از تحلیل‌های انجام‌شده به‌وضوح 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 علّی و تأثیرگذار را ایفا می‌کنند، درحالی‌که ابعاد سازمانی و عملیاتی عمدتاً به‌عنوان متغیرهای تأثیرپذیر و واسطه‌ای عمل می‌نمایند. شاخص «تعهد و حمایت مدیریت ارشد» به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل در بعد مدیریتی-نهادی شناسایی شد. این یافته کاملاً با نتایج مطالعاتی همچون اوزکان-اوزن و همکاران (۲۰۲۰))و آگاروال و همکاران (۲۰۲۲) 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» به‌عنوان عامل کلیدی شناسایی گردید. این نتیجه، یافته‌های محققانی مانند راجا سانتی و موتوسوامی (۲۰۲۲) و مارینا‌گی و همکاران (۲۰۲۳) را تأیید می‌کند. تحلیل این رابطه نشان می‌دهد که وجود زیرساخت‌های فناورانه قوی (مانند پلتفرم‌های اینترنت اشیاء، سیستم‌های ابری و حسگرهای پیشرفته) پیش‌نیاز غیرقابل‌انکاری 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 درنهایت پایه‌های تاب‌آوری عملیاتی را تقویت می‌کند. در بعد فرهنگی نیز، «حمایت‌های دولت» تأثیرگذارترین شاخص شناخته شد. این یافته با

پژوهش‌های العکیلی و همکاران (۲۰۲۴) و گادج و همکاران (۲۰۲۰) همسو است. دولت از طریق تدوین راهبردهای ملی، ارائه مشوق‌های مالی و مالیاتی و ایجاد کمپین‌های آگاهی‌بخش می‌تواند بر فرهنگ‌سازمانی 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 دوچندان 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 (۲۰۲۱) و هوانگ و همکاران (۲۰۲۳) 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. به‌طور مشابه، «توسعه قابلیت سرعت برای تاب‌آوری زنجیره تأمین» در بعد عملیاتی که مارینیاک و همکاران (۲۰۲۱) 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 علّی 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، عدم‌حمایت‌های نهادی و ضعف زیرساخت‌های دیجیتال می‌باشد. مطالعات انجام‌شده توسط محققانی چون تورتورلا و همکاران (۲۰۲۳) و العکیلی و همکاران (۲۰۲۴) نشان می‌دهد که این موانع به‌صورت زنجیره‌ای به هم مرتبط بوده و موفقیت درگرو توجه هم‌زمان به‌تمامی 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 فرهنگ‌سازمانی با مشارکت فعال کارکنان، توسعه برنامه‌های آموزشی ترکیبی، تدوین مدل‌های نوین تأمین مالی، اتخاذ راهبرد «شروع کوچک و مقیاس‌پذیری تدریجی»، استقرار چارچوب امنیتی لایه‌ای و مشارکت فعال در تدوین استانداردهای ملی می‌تواند اثربخشی قابل‌توجهی 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.

درنهایت، می‌توان جمع‌بندی نمود که درک این روابط علّی و اثرات سلسله‌مراتبی بین ابعاد مختلف، به مدیران کمک می‌کند تا با در نظرگیری همه‌جانبه 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. بااین‌وجود، تعمیم و تفسیر این یافته‌ها باید با احتیاط و با در نظر گرفتن محدودیت‌های ذاتی پژوهش حاضر ازجمله 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، چراکه پویایی‌های محیطی و ظهور فناوری‌های نوین می‌توانند این روابط را در گذر زمان دگرگون سازند. لذا، به‌منظور 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، به‌ویژه 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 تعمیم‌یافته‌های این تحقیق باشد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

ORCID

Maryam Hosseini **https://orcid.org/0000-0001-5016-1062**
Davood Andalib Ardakani **https://orcid.org/0000-0002-4738-9362**
Alireza Naser Sadrabadi **https://orcid.org/0000-0002-5906-7619**
Seyed Mojtaba Hosseini Bamkan **https://orcid.org/0000-0001-5862-2222**

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

۱. ارفعی، عزیز و نمامیان، فرشید. (۱۴۰۱). شناسایی مؤلفه‌های بازاریابی گردشگری با استفاده از روش فراترکیب. *مطالعات اجتماعی گردشگری*. ۱۰(۲۰)، ۲۱۱-۲۳۴. doi: 10.52547/journalitor.35996.10.20.211

۲. امیری، مقصود، حسینی دهشیری، سید جلال‌الدین، یوسفی هنومرور، احمد. (۱۳۹۷). تعیین ترکیب بهینه استراتژی‌های زنجیره‌تأمین لارج با بهره‌گیری از تحلیل SWOT، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تئوری بازی. *فصلنامه مدیریت صنعتی*، ۱۰(۲)، ۲۲۱- ۲۴۶. doi: 10.22059/imj.2018.257030.1007420

۳. کیانی، مهرداد، عندلیب اردکانی، داود، زارع‌احمدآبادی، حبیب و میرفخرالدینی، سید حیدر. (۱۴۰۲). تحلیلی بر توانمندسازهای مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد مدور و صنعت ۴,۰ در زنجیره‌تأمین. *مطالعات مدیریت صنعتی*، ۲۱(۷۰)، ۱-۴۳. 43. /doi: 10.22054/jims.2023.71900.2835

References

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. ... *aaa ddnnn nnn nnnnnnnnnn mmmmmmmmm* 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. *oosssssss*, 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. *uunnnnnnyyyyyy*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. *ee nnnnn* 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. *nn rrrnnmaaaa nnnnnnnnn nn oo llnnnnnn rrrrrr rr*, 30(15), 42476-42494. https://doi.org/10.1007/s11356-021-16972-y
10. Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *uuuaaal ggggg ggg tt*, 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. .. *ppl aaa nn aa aa:::::: :A nnaaaaaaaaaal uuuaaal*, 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. *aa aarrr nnn ggeee tt uuuaaal*, 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. .. *ddooooooo aaannigg nnn rrll*, 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. *EEEE eeee ss*, 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. *nnaaaaaaaaa uuuaaa ff rr ddccooo nnnnssssss*, s262, 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. .. *iiii iiii yyyy*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. ... *aaa uu raaa pppp aa aatttttt*, t 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. *uuuaaa ff nnnnmnnrrouunnnnn*, 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. *Mnnggeee tt ccc ooon*, 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. *uuiiii iiii yyyy* 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 *66hh EEEE aaaa-aa ccccc nnn rrr uuuuu uuooooooCCCC)* , *uu ll eeee EEEE*, 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. *oo ddooorrrll* , 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, *uuuaaa ff nnnnmnnn rrddnnnnnn*, n 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. *uuuuuu,,,, nnn rrraaooo nnnnnnnn*, 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. *bbbll oonnnll eee ggeee tt* , 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. *nnn ggeee tt nn rrrnnaaaaaaaaaaa nnaaaaaaaannll uuunnll* , 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. *. ooooooaii aa oo rnnnnnnmm nn ooii ll aaa* 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. *ooii sssss*, 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. *rr oaaaaa nnn ff uuuu gggg* 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. .... *tt nn nnuusyyy*, 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. .... *tt sss & nnuu ii gggggggg* 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. *pppp tt & nnuu rrrrrr rrg*, 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. *.. nnnnnnmnff hhh 11hhuuuu ll nnaaaaaanll ooff rrnnnnnnnnnuutt ii gggggggnn ttttt ttttttt tt eee tt* , 9-11.
36. Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *tt gggggggnnn ggeee tt uuuraal*, 18(7), 509–533. 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. *EEEE nnaaaaaaaaaaoo ff rr e-uu ii ssss* , 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. *uuuaaa nnnnnnnn rr ddoooooo*, 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. *rr ddoooooo nnnnii & nnnrrll*, 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 Larg Supply Chain Strategies Using SWOT Analysis, Multi-criteria Decision-making Techniques and Game Theory. *uuuuaaaaaannn ggeee tt uuuaaal*, 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. *Tuummmmh*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 *nn eeeee ee tt ddiss*, 21(70), 1-43. 43. doi: 10.22054/jims.2023.71900.2835 [In Persian]

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناد به این مقاله: حسینی، مریم.، عندلیب اردکانی، داود.، ناصر صدرآبادی، علیرضا.، حسینی بامکان، سید مجتبی. (۱۴۰۴). ارائه مدل شبکه‌ای عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره‌تأمین تاب‌آور، *مدیریت صنعتی، ۲۳(۷۸)*، ۱۹۷-۲۴۱. DOI: 10.22054/jims.2025.88102.2986

Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.