



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.
- 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 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.

ارائه مدل شبکه‌ای عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور

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 سال‌های اخیر، مفاهیم زنجیره تأمین تاب‌آور و صنعت ۴,۰ توجه قابل توجهی را از سوی دانشگاه‌ها و سازمان‌ها به خود جلب کرده‌اند. با این حال، علی‌رغم این که سازمان‌های مجهز به فناوری‌های صنعت ۴,۰ پتانسیل بالایی برای بهبود تاب‌آوری زنجیره تأمین 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 علی و معلولی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین 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 نتیجه 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 علی و معلولی عوامل شناسایی شد.

* نویسنده مسئول: andalib@ yazd.ac.ir

ارائه مدل شبکه‌ای عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در...؛ حسینی و همکاران | ۲۰۳

نتایج نشان داد که بعد مدیریتی-نهادی، تأثیرگذارترین و بعد عملیاتی تأثیرپذیرترین ابعاد در پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور است. همچنین، در بعد مدیریتی-نهادی، «تعهد و حمایت مدیریت ارشد از اجرای فناوری‌های صنعت ۴,۰»؛ در بعد فناوری-ساختاری «سرمایه گذاری در فناوری‌های صنعت ۴,۰»؛ در بعد سازمانی «همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره تأمین»؛ در بعد عملیاتی «توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره تأمین تاب آور» و در بعد فرهنگی «حمایت‌های دولت از به کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰» از تأثیرگذارترین عوامل برای اجرای صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور 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 تاب آور و صنعت ۴,۰ فراهم کرده که یافته‌های آن، راهنمای عملی برای مدیران در تدوین راهبردهای پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ محسوب می‌شود.

کلیدواژه‌ها: صنعت ۴,۰، زنجیره تأمین تاب آور، 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 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). در نتیجه، 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 مورد توجه 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 از جمله اینترنت اشیا، 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 می‌کند (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 (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.

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 به طور 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 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 به کارگیری 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 ۴,۰ و زنجیره تأمین 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. 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. 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 علی و مدل یکپارچه هستند. نکته قابل تأمل دیگر، فقدان مدل‌های جامعی است که به‌طور 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، باوجود اینکه پژوهش فردریکو^۴ (۲۰۲۱) به نقش حیاتی فناوری‌ها در شرایط بحرانی مانند همه‌گیری کووید-۱۹ اشاره می‌کند، اما سازوکارهای علی این تأثیرات را به‌وضوح تشریح نمی‌نماید. در مقابل این شکاف، برخی مطالعات اخیر کوشیده‌اند تا نگاهی سیستمی‌تر ارائه دهند. برای مثال، قادر^۵ 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^۶ 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. 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 (به‌ویژه ابعاد فرهنگی و نهادی) ارائه نمی‌دهند. همچنین شکورا 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 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 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.

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 به عنوان منابع ارزشمند در نظر گرفته می‌شوند که پتانسیل ایجاد مزیت رقابتی را دارند. با این حال، 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 به عنوان یک قابلیت پویای کلیدی تعبیر می‌شود که از طریق پیاده‌سازی و بسیج هوشمندانه منابع صنعت ۴,۰ شکل می‌گیرد و به سازمان امکان می‌دهد نه تنها در برابر

ارائه مدل شبکه‌ای عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در...؛ حسینی و همکاران | ۲۰۹

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 زنجیره تأمین تاب‌آور ارائه شده‌اند که از مطالعات پیشین استخراج شده‌اند. این جدول به گونه‌ای طراحی شده است که هر عامل (شاخص) در سطرهای جدول قرار گرفته و منابع علمی مرتبط با آن در ستون‌ها مشخص شده‌اند. این ساختار به خواننده کمک می‌کند تا به صورت مقایسه‌ای، پوشش مطالعات مختلف را نسبت به هر عامل بررسی کرده و درک جامعی از ادبیات موجود در این حوزه به دست آورد.

جدول ۱. عوامل کلیدی صنعت ۴,۰ در ارتقاء تاب‌آوری زنجیره تأمین بر اساس مطالعات پیشین

ردیف	عوامل	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)	Ozkan-Ozen et al. (2020)	Joshi & Sharma (2022)	Hsu et al. (2022)	Huang et al. (2023)	Spieske & Birkel (2021)	Marinagi 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	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)	Ozkan-Ozen et al. (2020)	Joshi & Sharma (2022)	Hsu et al. (2022)	Huang et al. (2023)	Spieske & Birkel (2021)	Marinagi 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	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)	Ozkan-Ozen et al. (2020)	Joshi & Sharma (2022)	Hsu et al. (2022)	Huang et al. (2023)	Spieske & Birkel (2021)	Marinagi et al. (2023)
	تاب‌آور																		
۱۹	مدیریت دانش		✓									✓							✓
۲۰	ثبات مالی زنجیره			✓			✓				✓		✓	✓					
۲۱	سرمایه‌گذاری 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 ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور می‌باشد. بدین منظور، در مرحله اول عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین 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	فوق لیسانس 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 (غیر مرتبط)	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 (غیر مرتبط)	۷ سال سابقه فعالیت
۹	معاون خط تولید سازمان	فوق دیپلم (غیر مرتبط)	۶ سال سابقه فعالیت
۱۰	مسئول آزمایشگاه سازمان	لیسانس متالوژی	۱۲ سال سابقه فعالیت

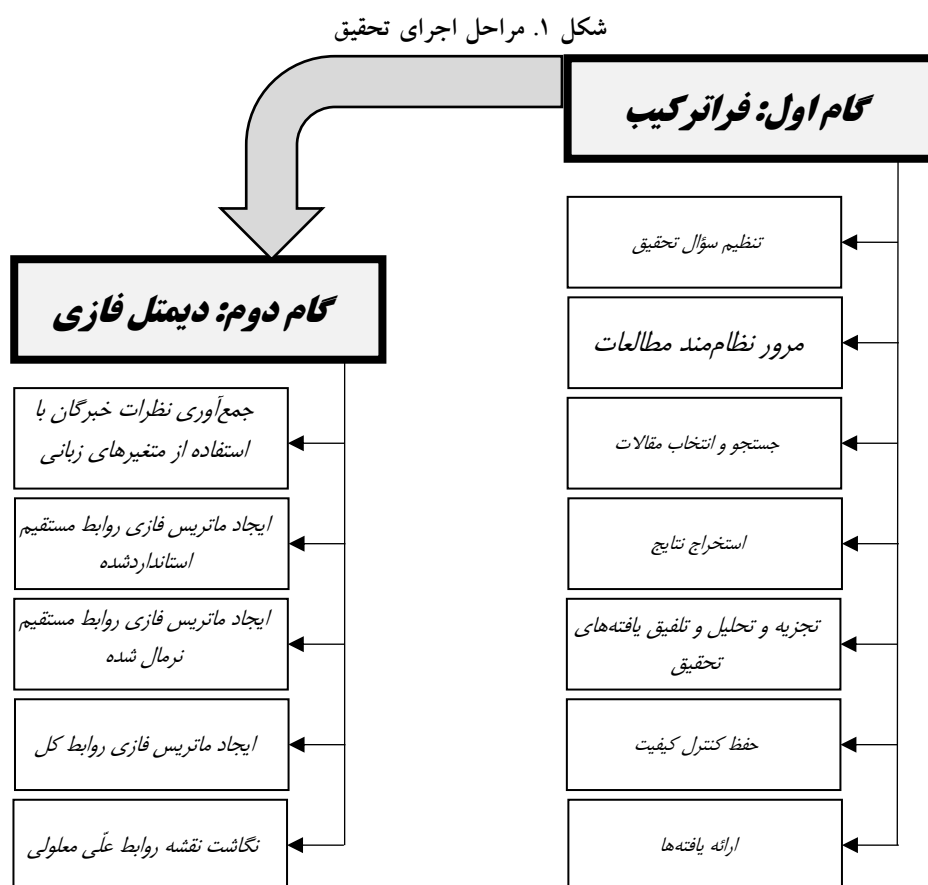
روش شناسی ترکیبی این پژوهش (فرا ترکیب + دیمتل فازی) به گونه‌ای طراحی شده که مستقیماً از چارچوب نظری آن پشتیبانی می‌کند.

فرا ترکیب: این تحقیق در مرحله اول با شناسایی نظام‌مند ۲۱ عامل و دسته‌بندی آنان در ۵ بُعد با به کارگیری 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 (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 منتشر شده 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 به کارگیری روش نمونه‌گیری هدفمند، ۱۰ نفر از آنان برای مشارکت در مرحله تحلیل روابط علی 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.



دیمتل فازی: در مرحله دوم، این تحقیق با تحلیل روابط علی-معلولی بین ابعاد و عوامل با استفاده از روش دیمتل فازی، درصدد است تا «مکانیزم‌های پویا» حاکم بر سیستم را آشکار سازد. کشف این که کدام عوامل، «علی» (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 جمع آوری 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 می دهند، تدوین شده و برای مدیریت ابهام موجود در قضاوت های انسانی، مقیاس کلامی فازی مطابق با الگوی ارائه شده در جدول (۳) طراحی می گردد.

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

متغیر کلامی	مقیاس عددی	اعداد فازی مثلثی متناظر
بدون تأثیر	۰	(۰، ۰، ۰/۲۵)
تأثیر خیلی کم	۱	(۰، ۰/۲۵ و ۰/۵)
تأثیر کم	۲	(۰/۲۵ و ۰/۵ و ۰/۷۵)
تأثیر زیاد	۳	(۰/۵ و ۰/۷۵ و ۱)
تأثیر خیلی زیاد	۴	(۱ و ۱ و ۰/۷۵)

در گام دوم، نظرات خبرگان جمع آوری و میانگین گیری می شود. بدین منظور، با مشارکت P خبره، ماتریس های Z_1 تا Z_p تشکیل می شوند که درایه های آن ها با اعداد فازی مثلثی نمایش داده می شوند. 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» نام گذاری می شود. هر درایه از این ماتریس به شکل $Z_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ بوده و عناصر قطر اصلی آن به صورت (۰، ۰، ۰) تعریف می شوند. سپس در گام سوم، با استفاده از رابطه استانداردسازی (رابطه ۱)، مقیاس های شاخص ها به مقیاس های قابل مقایسه تبدیل شده و ماتریس حاصل، «ماتریس فازی روابط مستقیم استاندارد شده» یا X نامیده می شود.

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

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

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

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

$$XI = [I''_{ij}], Xm = [m''_{ij}], Xu = [u''_{ij}] \quad \text{رابطه ۴}$$

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

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

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

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

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.

$$\bar{R} = (\bar{R}_i)_{1 \times n} = \left[\sum_{i=1}^n \tilde{T}_{ij} \right]_{1 \times n} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\bar{D} = (\bar{D}_i)_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n \tilde{T}_{ij} \right]_{n \times 1} \quad \text{رابطه ۹}$$

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

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

می شود.

سپس در گام هفتم، اعداد فازی حاصل از مرحله قبل با استفاده از رابطه دیفازی سازی به مقادیر قطعی تبدیل می شوند که در آن B مقدار دیفازی شده عدد فازی $\tilde{A}$ (a_1, a_2, a_3) محسوب می گردد (کیانی و همکاران، ۱۴۰۲).

$$B = \frac{l + m + n}{3} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

یافته ها

شناسایی شاخص ها و مؤلفه های مناسب برای پیاده سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور: در این تحقیق عوامل مؤثر بر آمادگی سازمان برای اجرای صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور با بررسی پژوهش های پیشین به دست آمده است. درواقع عواملی مناسب اند که در فرایند پیاده سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور در سازمان ها تأثیر گذارند، یا نشان دهنده این مفهوم باشند که همراه با مدیریت زنجیره تأمین تاب آور در سازمان ها پیاده سازی این صنعت در سازمان ها تسهیل می گردد. بدین گونه که یا بر صنعت ۴,۰ سازمان یا بر ایجاد مؤثر مدیریت زنجیره تأمین تاب آور در آن یا بر هر دو اثر گذارند.

مرحله ۱: تنظیم و معرفی سؤال پژوهش: در این مرحله، ابتدا باید به سؤالات زیر 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 بیان می دارد. در پژوهش حاضر مقالات ۵ سال گذشته بررسی و تحلیل گردیده اند.

چگونگی: روشی که برای جستجو و تحلیل پژوهش ها به کار گرفته می شود را نمایش می دهد. در این پژوهش از روش کیفی «تحلیل اسنادی»، برای بررسی و تحلیل مقالات و داده های ثانویه، بهره گرفته شده است.

با در نظر گرفتن هدف ابتدائی پژوهش حاضر (شناسایی شاخص های مناسب برای

ارائه مدل شبکه‌ای عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در...؛ حسینی و همکاران | ۲۱۷

طراحی مدلی شبکه‌ای برای پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور)، سؤال این تحقیق بدین شکل مطرح می گردد: مؤلفه‌ها و متغیرهای مناسب برای پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور چه می باشند؟

مرحله ۲: جستجو و تحلیل نظام مند مطالعات: برای جستجو و بررسی نظام مند مطالعات، از کلمات کلیدی مطابق جدول (۴) جداگانه و به شکل ترکیبی بهره گرفته شده است.

جدول ۴. کلمات کلیدی به کارگرفته شده در بررسی نظام مند ادبیات

معادل فارسی	معادل انگلیسی
صنعت ۴,۰	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 بهره گیری 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 موردنظر 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 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***"

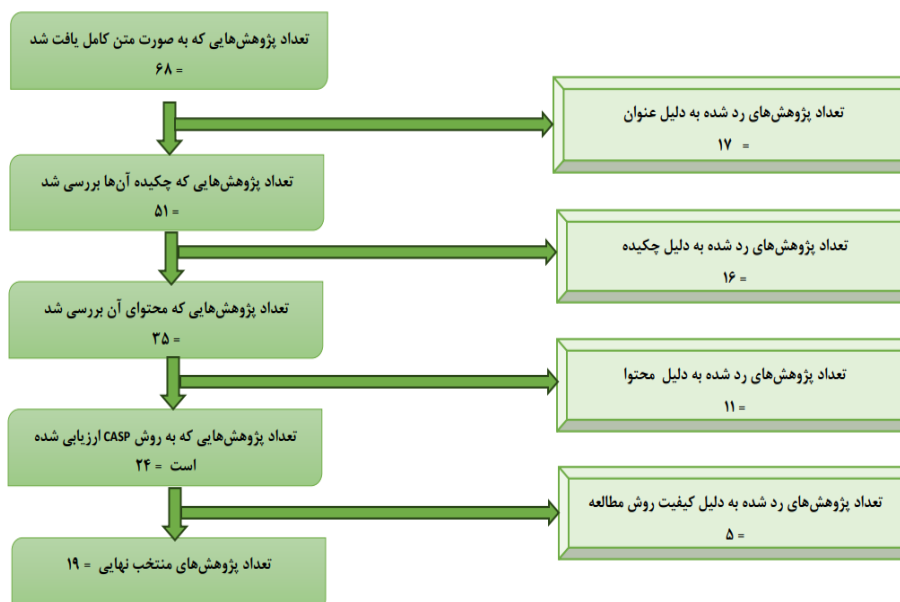
علت انتخاب بازه زمانی فوق به این دلیل است که بهره گیری از صنعت ۴,۰ برای

1 Google Scholar
2 Web of Science
3 Scopus

زنجیره تأمین تاب آور، موضوعی می باشد که در سال های اخیر در پژوهش ها ذکر گردیده است.

مرحله ۳: جستجو و انتخاب پژوهش های مؤثر: برای انتخاب مقالات مناسب از مفاهیم گوناگونی از جمله عنوان، چکیده، محتوا، جزئیات مقاله شامل نام نویسنده، زمان انتشار و دیگر ویژگی های 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 مورد مطالعه و نوع مقاله بودند. معیارهایی که بیانگر ویژگی های مورد نیاز برای انتخاب مقالات بودند، عبارت اند از ۱. ثبت پژوهش در پایگاه های معتبر ۲. مطالب و محتوا در ارتباط با صنعت ۴,۰ و نقش آن در تاب آوری زنجیره تأمین باشد ۳. ارائه اطلاعات کافی در مقاله و داشتن کیفیت مناسب به منظور ترکیب در پژوهش. شکل (۲) نشان می دهد که در ابتدا تعداد کل مقالات شناسایی شده در ارتباط با موضوع، ۶۸ مورد بوده که ۴۹ پژوهش به دلایل گوناگون مانند: مناسب نبودن عنوان، چکیده، محتوا، روش پژوهش، حذف شده اند و در پایان داده های ۱۹ پژوهش به کار گرفته شده است.

شکل ۲. نحوه انتخاب تعداد پژوهش های مؤثر بر پژوهش



مرحله ۴: استخراج یافته‌های پژوهش: در این مرحله ابتدا، کلیه عبارات مرتبط با صنعت ۴,۰ 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 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 زنجیره تأمین تاب آور 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 زنجیره تأمین تاب آور تأثیر گذارند و طی بررسی این پژوهش‌ها گردآوری گردیده است، در قالب کد به عنوان نتیجه فرایند کدگذاری مرتبه اول، در جدول (۵) شرح داده شده است:

جدول ۵. متغیرهای کلیدی مناسب برای پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور

ردیف	عامل	توضیحات
۱	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 عبارت‌اند 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.
۲	ادغام فناوری‌های مختلف صنعت ۴,۰	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.
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 فناوری‌های 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 فرهنگ سازمانی 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 فعلی 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 زنجیره تأمین افزایش دهد و ریسک‌های مرتبط با تقلب یا خطاها را کاهش دهد.
۸	قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه‌برداری زنجیره تأمین	زنجیره‌های تأمین باید به گونه‌ای طراحی شوند که تغییرات طراحی در هر مرحله از زنجیره تأمین در آن گنجانده شود. اینکه آیا زنجیره تأمین از نظر فناوری قادر است طراحی شبکه خود را مطابق با نیازهای مورد نیاز تغییر دهد، یکی از عوامل اصلی در افزایش انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین است.
۹	استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره تأمین	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 به کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰ در تولید و بازتولید زنجیره تأمین بهره ببرند.
۱۰	حمایت‌های دولت از به کارگیری 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 زنجیره تأمین آن‌ها و ایجاد تاب‌آوری در زنجیره آن‌ها کمک نمایند.
۱۱	توسعه برنامه‌ریزی زنجیره تأمین	این شامل تنظیم برنامه بر اساس پیش‌بینی‌های برنامه‌ریزی تقاضا و درعین حال در نظر گرفتن محدودیت‌های ظرفیت تولید و در دسترس بودن مواد است. شرکت‌هایی که از نظر فن آوری در فرآیند برنامه‌ریزی مجموعه‌ای خود توانایی خوبی دارند، می‌توانند از برآورده شدن تقاضا و کاهش شانس فروش

ردیف	عامل	توضیحات
		از دست رفته اطمینان حاصل کنند و در نتیجه انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین را بهبود بخشند.
۱۲	توسعه منبع یابی از پایگاه عرضه قابل اعتماد	تأمین کنندگان قابل اعتماد ضروری است زیرا اختلالات در سطوح پایین‌تر می‌تواند بر هر زنجیره تأمینی در سازمان‌ها تأثیر بگذارد. نقش تأمین کنندگان به‌ویژه در زمینه صنعت ۴,۰ مهم است زیرا یک سازمان نمی‌تواند واقعاً از فناوری‌های مخرب بهره‌مند شود اگر سایر شرکای زنجیره تأمین آن هنوز به روش‌های متعارف کار کنند.
۱۳	توسعه راهبردهای مدیریت موجودی زنجیره تأمین	مدیریت موجودی بخشی از مدیریت زنجیره تأمین 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 کسب و کارها 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.
۱۴	توسعه قابلیت مشاهده یا شفافیت زنجیره تأمین	به توانایی دسترسی به اطلاعات مربوط به هویت، مکان و وضعیت موجودیت‌هایی که بین تأمین کنندگان 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.
۱۵	توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره تأمین 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، حمل و نقل، تأمین منابع یا نیروی کار
۱۶	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 نقشه‌برداری 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.
۱۷	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 ۴,۰ تصمیم‌گیرندگان باید بتوانند بینش‌های داده‌های پردازش شده را تفسیر کنند.
۱۸	ایجاد امنیت و	مجموعه‌ای از استراتژی‌ها، سیاست‌ها و اقداماتی اطلاق می‌شود که به منظور

ردیف	عامل	توضیحات
	تضمین ایمنی در ایجاد زنجیره تأمین تاب آور	حفاظت از زنجیره تأمین در برابر تهدیدات و خطرات مختلف طراحی شده است. هدف اصلی این اقدامات، اطمینان از یک جریان بی وقفه و امن کالاها و خدمات از تأمین کنندگان به مشتریان نهایی است. بخش اساسی ایجاد تاب آوری در زنجیره تأمین سازمان می تواند امنیت فیزیکی، امنیت اطلاعات یا امنیت حمل و نقل باشد.
۱۹	توسعه راهبردهای مدیریت دانش در زنجیره تأمین سازمان	مدیریت دانش در زنجیره تأمین به شرکت کنندگان در حوزه های مختلف زنجیره تأمین به منظور شناسایی محل دانش موجود، نحوه جریان یافتن آن از طریق بخش های حیاتی زنجیره تأمین و آگاهی در زمینه محل وجود شکاف های دانش کمک می کند. 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 حل های بهتر پس از ایجاد اختلال.
۲۰	ایجاد قدرت یا ثبات مالی مناسب برای زنجیره تأمین	مجموعه ای از فرآیندهای تجاری و تأمین مالی مبتنی بر فناوری است که هزینه ها را کاهش می دهد و کارایی را برای طرف های درگیر در معامله بهبود می بخشد. تأمین مالی زنجیره تأمین زمانی بهترین کار را انجام می دهد که خریدار رتبه اعتباری بهتری نسبت به فروشنده داشته باشد و بنابراین بتواند با هزینه کمتری به سرمایه دسترسی داشته باشد. تأمین مالی زنجیره تأمین اعتبار کوتاه مدتی را فراهم می کند که سرمایه در گردش را هم برای خریداران و هم برای فروشندگان بهینه می کند.
۲۱	سرمایه گذاری در فناوری های صنعت ۴،۰	فناوری های دیجیتال پیشرفته در حال حاضر نیز در تولید استفاده می شود، اما فناوری های صنعت ۴،۰، زنجیره تأمین را متحول می کند. این امر منجر به کارایی بیشتر و تغییر روابط تولید سستی بین تولید کنندگان، تأمین کنندگان، مشتریان و همچنین بین انسان و ماشین می شود. نه فناوری مهم که پایه های صنعت ۴،۰ را شکل می دهند: داده ورزی و کلان داده، ربات های خود کار، شبیه سازی، یکپارچگی افقی و عمودی سیستم، اینترنت اشیاء، امنیت سایبری، فناوری ابر، تولید افزاینده، واقعیت افزوده

مرحله ۵: تجزیه و تحلیل و تلفیق یافته ها: در گام بعدی، کدهای شبیه به هم به وسیله کدگذاری محوری در شکل مفاهیم مشترک و در پایان، به صورت ابعاد اصلی طبقه بندی 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

ارائه مدل شبکه‌ای عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در...؛ حسینی و همکاران | ۲۲۳

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 ۶. نتیجه فرآیند کدگذاری مرتبه دوم

ردیف	ابعاد	کدگذاری	شاخص‌ها
۱	عوامل مدیریتی - نهادهی (MI)	MI	توسعه برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین
۲			توسعه راهبردهای مدیریت موجودی زنجیره‌تأمین
۳			ایجاد قدرت یا ثبات مالی مناسب برای زنجیره‌تأمین
۴			توسعه راهبردهای مدیریت دانش در زنجیره‌تأمین سازمان
۵			تعهد و حمایت مدیریت ارشد از اجرای فناوری‌های صنعت ۴,۰
۶			توسعه استراتژی‌های مدیریت ریسک
۷	فناوری-ساختاری (TS)	TS	ادغام فناوری‌های مختلف صنعت ۴,۰
۸			بلوغ بالای فناوری اطلاعات در شرکت
۹			قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه‌برداری زنجیره
۱۰			توسعه قابلیت درک کل ساختار زنجیره‌تأمین
۱۱			سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت ۴,۰
۱۲	عوامل سازمانی (O)	O	همکاری و ارتباط مؤثر بین شرکا و ذینفعان زنجیره‌تأمین
۱۳			توسعه منبع یابی از پایگاه عرضه قابل اعتماد
۱۴			ایجاد امنیت و تضمین ایمنی در ایجاد تاب‌آوری زنجیره
۱۵			توانایی سازگاری با شرایط متغیر بازار
۱۶	عوامل عملیاتی (A)	A	استفاده از حداکثر ظرفیت در زنجیره‌تأمین
۱۷			توسعه قابلیت مشاهده یا شفافیت زنجیره‌تأمین
۱۸			توسعه قابلیت سرعت برای زنجیره‌تأمین تاب‌آور
۱۹	عوامل فرهنگی (C)	C	توسعه فرهنگ زنجیره‌تأمین تاب‌آور در سازمان
۲۰			آموزش و توسعه کارکنان در زمینه فناوری‌های دیجیتال
۲۱			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. 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 (۷)، پژوهشگر اصلی ۵ دسته و سایر خبرگان ۷ دسته ارائه نمودند که ۴ دسته میان آن‌ها مشترک بود. بر اساس محاسبات انجام شده، مقدار شاخص کاپا ۰/۴۹ به دست آمد که مطابق با جدول (۸) در محدوده توافق قابل قبول 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	$N = 8$

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

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

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

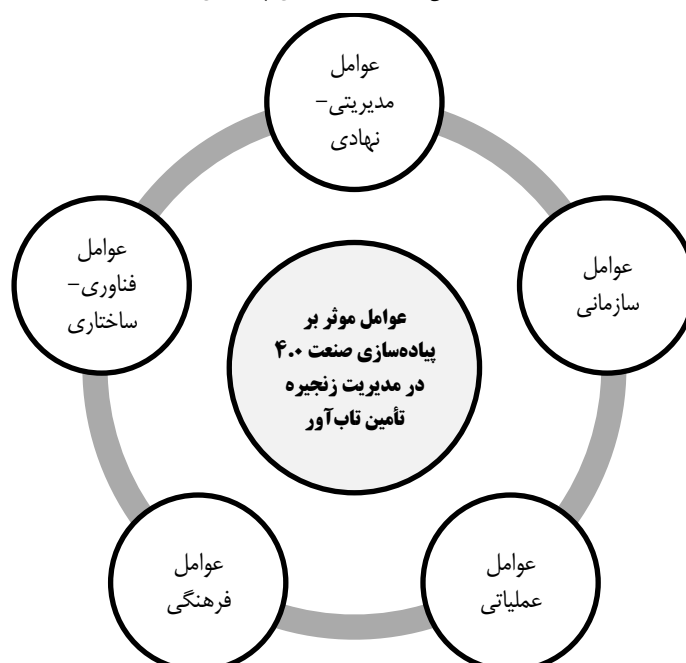
جدول ۸. وضعیت شاخص کاپا

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

مقدار عددی شاخص کاپا	وضعیت توافق
۰,۶۱-۰,۸	معتبر
۰,۸۱-۱	عالی

مرحله ۷: ارائه یافته‌ها: در جدول (۵)، متغیرهای تأثیرگذار در پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور، 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 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 ایجادشده توسط پژوهشگر با مفاهیم مطرح شده توسط کارشناس، مقایسه می‌شود. شاخص کاپا حاصل شده 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 ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین 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. در نهایت، 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-نهادهی (MI)	فناوری-ساختاری (TS)	سازمانی (O)	عملیاتی (A)	فرهنگی (C)
(MI)	(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)	(۰,۰۰۰,۰,۰۰۰,۰,۰۰۰)	(۰,۰۷۳,۰,۱۵۳,۰,۲۳۴)	(۰,۰۷۳,۰,۱۵۳,۰,۲۳۴)	(۰,۰۰۸,۰,۰۶۵,۰,۱۴۵)
(O)	(۰,۰۵۶,۰,۱۳۷,۰,۲۱۸)	(۰,۰۰۰,۰,۰۰۰,۰,۰۰۰)	(۰,۰۷۳,۰,۱۵۳,۰,۲۳۴)	(۰,۰۰۰,۰,۰۳۲,۰,۱۱۳)

ارائه مدل شبکه‌ای عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در...؛ حسینی و همکاران | ۲۲۷

	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 به کارگیری روابط ۴ تا ۷ 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 (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)	(۰,۰۳۳,۰,۱۴۹,۰,۹۰۶)	(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

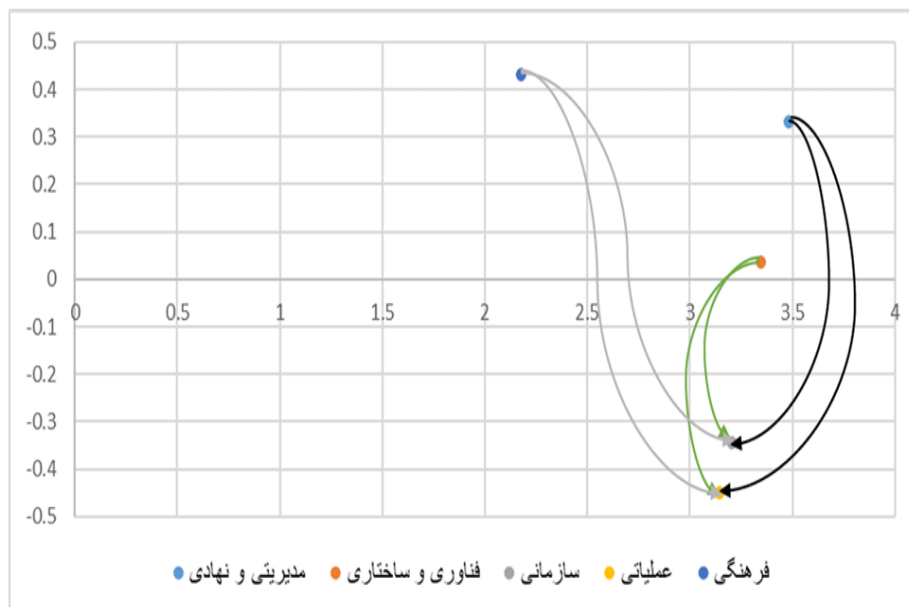
در ادامه، $\tilde{D}$ (جمع سطرها) و $\tilde{R}$ (جمع ستون‌ها) محاسبه و نتیجه به همراه مقادیر $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ (بردار برتری) و $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ (بردار ارتباط) در جدول (۱۲) مشاهده می‌گردد. (طبق روابط ۸ و ۹) نشانگر میزان تأثیرگذاری و $\tilde{R}$ نمایانگر میزان تأثیرپذیری عوامل می‌باشد.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

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

D-R	D+R	D	R	
۰,۳۳۲	۳,۴۸۵	۱,۹۰۸	۱,۵۷۷	مدیریتی-نهادی (MI)
۰,۰۳۵	۳,۳۴۹	۱,۶۹۲	۱,۶۵۷	فناوری-ساختاری (TS)
-۰,۳۴۷	۳,۲۱	۱,۴۳۲	۱,۷۷۹	سازمانی (O)
-۰,۴۵۱	۳,۱۴۸	۱,۳۴۹	۱,۷۹۹	عملیاتی (A)
۰,۴۳۱	۲,۱۸۱	۱,۳۰۶	۰,۸۷۵	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 ۴. روابط علت و معلولی ابعاد اصلی بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور



جدول ۱۳. محاسبه مقادیر $\bar{D}_i + \bar{R}_i$ و $\bar{D}_i - \bar{R}_i$ برای همه عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور

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

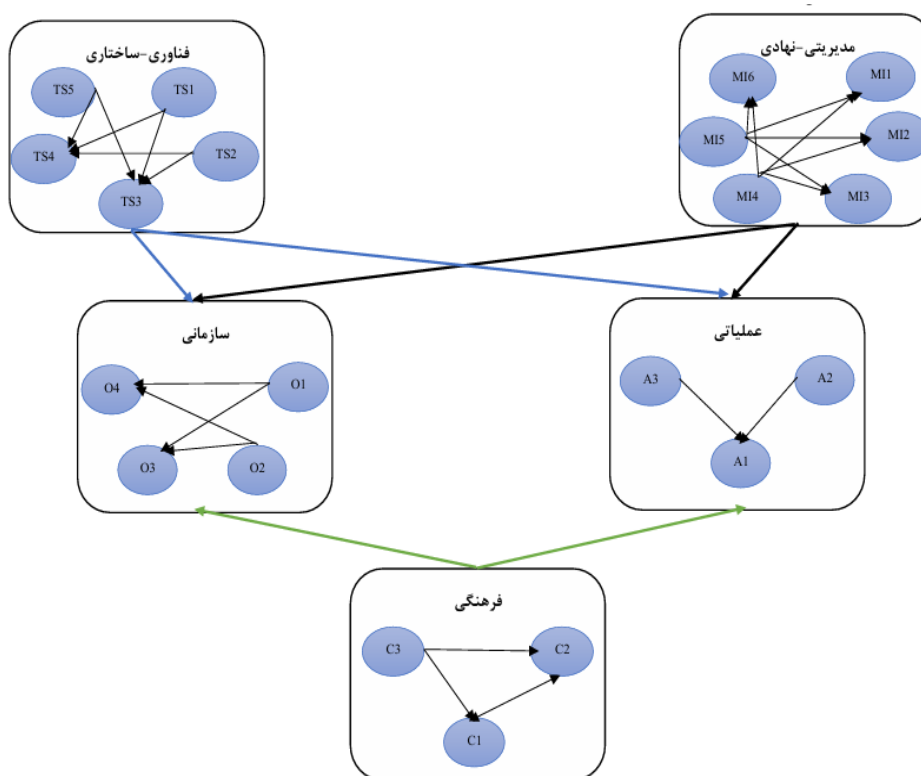
نوع	D-R	D+R	D	R	چالش	ابعاد
عکث	۰,۴۳۶	۷,۱۸۲	۳,۸۰۹	۳,۳۷۳	O1	سازمانی (O)
عکث	۰,۲۲۶	۷,۳۷۱	۳,۷۹۸	۳,۵۷۳	O2	
معلول	-۰,۱۵۷	۷,۲۳	۳,۵۳۶	۳,۶۹۴	O3	
معلول	-۰,۵۰۴	۶,۸۰۶	۳,۱۵۱	۳,۶۵۵	O4	
معلول	-۰,۳۱۵	۵,۶۰۲	۲,۶۴۴	۲,۹۵۹	A1	عملیاتی (A)
عکث	۰,۱۶	۵,۲۷۴	۲,۷۱۷	۲,۵۵۷	A2	
عکث	۰,۱۵۵	۵,۲۸۴	۲,۷۱۹	۲,۵۶۵	A3	
معلول	-۰,۶۳۵	۲,۶۶۸	۱,۰۱۶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

شکل (۵) بنابر نظر خبرگان در ارتباط میان شاخص‌های مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ در مدیریت زنجیره تأمین 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 فناوری‌های صنعت ۴,۰» (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 ۴,۰» (MI5) علی‌بده 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 ۴,۰» (TS5) از بیشترین تأثیرگذاری و شاخص «قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه‌برداری

زنجیره تأمین» (TS3) از بیشترین تأثیرپذیری، برخوردار هستند. به علاوه، 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) علی بوده و شاخص‌های «قابلیت ارائه تغییرات در طراحی یا نقشه‌برداری زنجیره تأمین» (TS3) و «توسعه قابلیت درک کل ساختار زنجیره تأمین» (TS4) معلول به حساب می‌آیند. 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 می‌باشد 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 می‌آیند. 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 می‌باشد. 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 می‌شود. در بعد فرهنگی (C)، عامل «حمایت‌های دولت از به کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰» (C3) دارای بیشترین تأثیرگذاری و عامل «توسعه فرهنگ زنجیره تأمین

تاب‌آور» (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 به کارگیری فناوری‌های صنعت ۴,۰» (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 ۵. روابط علت و معلولی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی صنعت ۴,۰ 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، درحالی‌که 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 (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، «سرمایه گذاری در فناوری‌های صنعت ۴,۰» به عنوان 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 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 (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 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 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 اسپسکه 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 ماریناک 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 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 انجام شده توسط محققانی چون تور تورلا و همکاران (۲۰۲۳) و العکیلی 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 تأمین 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 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. 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 ارائه شده صورت پذیرد، چراکه 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، 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 تعمیم یافته‌های این تحقیق باشد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافع ندارند.

ORCID

Maryam Hosseini



<https://orcid.org/0000-0001-5016-1062>

Davood Andalib



<https://orcid.org/0000-0002-4738-9362>

Ardakani

Alireza Naser Sadrabadi



<https://orcid.org/0000-0002-5906-7619>

Seyed Mojtaba Hosseini



<https://orcid.org/0000-0001-5862-2222>

Bamkan

منابع

۱. ارفعی، عزیز و نمایان، فرشید. (۱۴۰۱). شناسایی مؤلفه‌های بازاریابی گردشگری با استفاده از روش فراترکیب. *مطالعات اجتماعی گردشگری*. ۱۰(۲۰)، ۲۱۱-۲۳۴. doi: 10.52547/۲۳۴-۲۱۱, 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)، ۴۳-۱. 43. doi: 10.22054/۴۳-۱, 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. *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 Larg 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. 43. doi: 10.22054/jims.2023.71900.2835 [In Persian]

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 زنجیره تأمین 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.