



<https://nmrj.ui.ac.ir/>  
New Marketing Research Journal  
E-ISSN: 2228- 7744  
Vol. 15, Issue 3, No.58, 2025  
Document Type: Research Paper  
Received: 12/07/2025 Accepted: 01/11/2025

## Developing a Conceptual Model for the Implementation of Industry 4.0 Technologies in the Supply Chain: A Grounded Theory Approach

Sanaz Shafiee \* 

Assistant professor, Department of Business Management and Information Technology Management, Faculty of Management, Payame Noor University, Tehran, Iran.  
s.shafiei@pnu.ac.ir

### Abstract

In recent decades, digital transformation and emergence of technologies associated with Industry 4.0 have fundamentally reshaped the structure, performance, and competitiveness of supply chains across various industries. This study aimed to identify and elucidate the role of Industry 4.0 technologies in the smartification of supply chains. The research adopted a qualitative approach grounded in Grounded Theory. Data were collected through semi-structured interviews with 10 experts from both academia and industry. For data analysis, we employed Strauss and Corbin's 3-stage coding method—open, axial, and selective coding. Subsequently, Interpretive Structural Modeling (ISM) was used to hierarchically structure the key concepts and MICMAC analysis was conducted to assess the position of each component based on its driving power and dependency. The findings indicated that the successful implementation of Industry 4.0 technologies in supply chains necessitated the availability of information infrastructure, formulation of a digital strategy, enhancement of human resource skills, and overcoming of cultural resistance within organizations. Additionally, Industry 4.0 technologies were identified as dependent variables in the model with their effectiveness in improving productivity, flexibility, and responsiveness of the supply chain contingent upon the realization of lower-level components. MICMAC analysis further highlighted factors, such as market pressure, digital strategy, and technological infrastructure, as key driving forces in the transformation of supply chains. The practical implications of this research included the development of digital transformation roadmaps, formulation of organizational policies for technology adoption, re-engineering of supply chain processes, enhancement of employees' digital skills, and establishment of national policies related to Industry 4.0.

**Keywords:** Industry 4.0, Smart Supply Chain, Digital Transformation, Grounded Theory, Interpretive Structural Modeling (ISM), MICMAC Analysis.

### Introduction

\*Corresponding author

Shafiee, S. (2025). Developing a Conceptual Model for the Implementation of Industry 4.0 Technologies in the Supply Chain: A Grounded Theory Approach. *New Marketing Research Journal*, 15 (3), 133 - 160 .

2228-7744 © The Author(s). Published by University of Isfahan  
This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



## Introduction

In recent decades, rapid advancement of digital transformation and emergence of Industry 4.0 technologies have fundamentally reshaped supply chain structures, performance, and competitiveness (Emon & Khan, 2025; Ostadi et al., 2024). Increasing global competition, volatile markets, shorter product life cycles, and the demand for resilient and adaptive operations have compelled organizations to rethink traditional supply chain management and transition toward digital and intelligent ecosystems (Al Mashalah et al., 2022). Industry 4.0 often referred to as the 4<sup>th</sup> industrial revolution, integrates technologies, such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), Big Data analytics, Blockchain, Augmented and Virtual Reality, Advanced Robotics, and Cloud Computing. These innovations facilitate real-time connectivity, automation, and data-driven decision-making throughout the supply chain (George, 2024; Huang et al., 2023).

While these technologies enhance productivity, transparency, and agility, their implementation presents significant challenges, particularly in developing economies. Barriers like a lack of digital infrastructure, inadequate integration of legacy systems, insufficient human resource capabilities, and cultural resistance to technological change remain critical obstacles (Reaidy et al., 2024). In response to these challenges, this study aimed to identify and explain the key factors influencing the successful deployment of Industry 4.0 technologies in manufacturing supply chains. The research sought to address the following questions: (1) What role do Industry 4.0 technologies play in the digitalization of supply chains? (2) What are the barriers to their implementation? and (3) How can a conceptual model be developed to describe the relationships among these factors?

## Materials & Methods

This research employed a qualitative, exploratory-applied design within the interpretive paradigm by using Grounded Theory (Strauss and Corbin) as its primary methodological framework. Data were collected through semi-structured interviews with 10 experts, including academic scholars and industrial managers in the fields of manufacturing and digital transformation. The interview questions were developed based on a systematic literature review and refined through consultations with experts. Purposeful and judgmental sampling techniques were utilized to ensure a diverse representation of expertise. Data saturation was achieved after the 10<sup>th</sup> interview. The qualitative data were analyzed by using a 3-stage coding process: open, axial, and selective coding. During the open coding phase, 60 primary concepts were extracted from the interview transcripts. These concepts were then categorized into 6 axial categories that represented causal, contextual, intervening, strategic, and consequential conditions. Subsequently, the core category—digitalization of the supply chain through Industry 4.0 technologies—was identified. To validate and structure the relationships among these categories, Interpretive Structural Modeling (ISM) and MICMAC analysis were employed. 11 key variables were selected for ISM modeling and their pairwise influences were analyzed to determine hierarchical levels. The MICMAC analysis further classified the variables based on their driving power and degree of dependence, identifying independent, linkage, and dependent factors. This methodological integration facilitated the development of a robust, multilevel conceptual model that illustrated the dynamic interdependencies among organizational, technological, and human enablers of Industry 4.0 implementation.

## Research Findings

The results indicated that the successful implementation of Industry 4.0 technologies in manufacturing supply chains relied on a series of interconnected organizational, technological, and human factors. The ISM analysis identified 6 hierarchical levels. The foundational layer consisted of market pressure and competition followed by the need for transparency, a shortage of digital skills, and cultural resistance. The mid-level included technological infrastructure and digital strategy, while the upper levels encompassed employee training, systems integration, and ultimately the adoption of Industry 4.0 technologies. These factors led to enhanced productivity, cost reduction, flexibility, and responsiveness. The MICMAC analysis classified "market pressure", "digital strategy", and "IT infrastructure" as driving (independent) variables, while "integration", "skills", and "training" were identified as linkage variables—both influencing and being influenced by other factors. The dependent variables—"productivity improvement", "cost reduction", and "supply chain flexibility"—represented the ultimate performance outcomes. Furthermore, the study found that technological adoption alone was insufficient; it required

complementary enablers, such as management commitment, employee empowerment, and a supportive digital culture. The results also highlighted that technologies like AI, IoT, Big Data, and Blockchain could significantly enhance real-time monitoring, traceability, decision-making accuracy, and transparency. However, their effectiveness was contingent upon organizational readiness, infrastructure maturity, and strategic alignment.


### **Discussion of Results & Conclusion**

The study concluded that Industry 4.0 technologies served as critical yet dependent enablers in the digital transformation of supply chains. Their effectiveness hinged on the prior establishment of a coherent digital strategy, a robust technological infrastructure, and a digitally skilled and motivated workforce. The ISM–MICMAC-based conceptual model–illustrated that digital transformation followed a hierarchical cause-and-effect progression: from strategic and infrastructural readiness to technological implementation, culminating in performance outcomes. 5 major barriers were identified: (1) the absence of a comprehensive digital roadmap, (2) inadequate IT infrastructure, (3) a shortage of digital skills, (4) cultural resistance to change, and (5) insufficient structured training programs. Addressing these barriers necessitated an integrated approach that encompassed strategic governance, investment in infrastructure, process re-engineering, and human capacity building. Practically, the findings offer managerial guidelines for designing effective digital transformation roadmaps, developing training and motivation systems, and formulating organizational policies to enhance readiness for Industry 4.0 adoption. Theoretically, this research contributes to the growing body of literature on smart supply chains by providing a contextually grounded conceptual model that bridges the gap between technological potential and organizational capability. Future research could extend this work by quantitatively validating the proposed model across various industries and regions.



## مقاله پژوهشی

### ارائه مدل مفهومی استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین با رویکرد نظریه داده‌بنیاد

ساناز شفیعی\* 

استادیار، گروه مدیریت بازرگانی و مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران  
s.shafiei@pnu.ac.ir

#### چکیده

در دهه‌های اخیر، تحول دیجیتال و ظهور فناوری‌های مرتبط با صنعت ۴.۰، موجب دگرگونی اساسی در ساختار، عملکرد و رقابت‌پذیری زنجیره‌های تأمین در صنایع مختلف شده است. پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تبیین نقش فناوری‌های کلیدی صنعت ۴.۰، شامل اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده، بلاکچین، واقعیت افزوده و واقعیت مجازی، رباتیک پیشرفته و محاسبات ابری در هوشمندسازی زنجیره تأمین انجام شده است. این مطالعه از نظر ماهیت، کیفی و از نظر راهبرد پژوهش، مبتنی بر نظریه داده‌بنیاد (Grounded Theory) است. داده‌های پژوهش از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساخت یافته با ۱۰ نفر از خبرگان صنعتی و دانشگاهی گردآوری شده است. برای تحلیل داده‌ها، از کدگذاری سه مرحله‌ای استراوس و کوربین، شامل کدگذاری باز، محوری و انتخابی استفاده شد. سپس با بهره‌گیری از مدل‌سازی ساختاری تفسیری، مفاهیم کلیدی سطح‌بندی شدند و در پایان با تحلیل MICMAC، جایگاه هر مؤلفه براساس قدرت نفوذ و وابستگی مشخص شد. یافته‌ها نشان داد که استقرار موفق فناوری‌های صنعت ۴.۰، در زنجیره تأمین، نیازمند فراهم بودن زیرساخت‌های اطلاعاتی، تدوین راهبرد دیجیتال، ارتقا مهارت منابع انسانی و رفع مقاومت فرهنگی در سازمان است. همچنین، فناوری‌های صنعت ۴.۰، به‌عنوان متغیرهای وابسته در مدل شناسایی شدند که نقش آن‌ها در افزایش بهره‌وری، انعطاف‌پذیری و پاسخ‌گویی زنجیره تأمین، مشروط به تحقق مؤلفه‌های سطح پایین تر است. تحلیل MICMAC نیز مؤلفه‌هایی مانند فشار بازار، راهبرد دیجیتال و زیرساخت فناوری را به‌عنوان عوامل محرک و مؤثر در تحول زنجیره تأمین معرفی کرد. کاربردهای نتایج این پژوهش را می‌توان در طراحی نقشه‌راه تحول دیجیتال، توسعه سیاست‌های سازمانی برای پذیرش فناوری، بازمهندسی فرایندهای زنجیره تأمین، ارتقا مهارت دیجیتال کارکنان، و تدوین سیاست‌های ملی در حوزه صنعت ۴.۰ دانست.

**کلیدواژه‌ها:** صنعت ۴.۰، زنجیره تأمین هوشمند، تحول دیجیتال، نظریه داده‌بنیاد، مدل‌سازی ساختاری تفسیری، تحلیل MICMAC.



## ۱. مقدمه

افزایش رقابت جهانی، تغییر در الگوهای مصرف، کاهش چرخه عمر محصولات، گسترش بازارهای دیجیتال، نیاز به انعطاف پذیری بیشتر و تاب آوری در برابر اختلالات باعث شده که زنجیره های تأمین به عنوان ستون فقرات سازمان ها، به یکی از محورهای بسیار مهم تحول راهبردی تبدیل شوند. در چنین بستری، سازمان ها برای بقا و توسعه، ناگزیر به بازاندیشی در روش های مدیریت زنجیره تأمین و حرکت به سمت دیجیتالی شدن و بهره گیری از فناوری های نوین هستند (Al Mashalah et al., 2022; Alabdali et al., 2022).

ظهور مفهوم صنعت ۴.۰ که به عنوان موج چهارم انقلاب صنعتی شناخته می شود، نقطه عطفی در تحول زنجیره های تأمین به حساب می آید (Emon et al., 2024; Ostadi et al., 2025). این مفهوم با تکیه بر فناوری هایی همچون اینترنت اشیا (Internet of Things (IoT)، هوش مصنوعی (Artificial Intelligence)، کلان داده (Big Data)، بلاکچین (Blockchain)، واقعیت مجازی (Virtual Reality)، واقعیت افزوده (Augmented Reality)، رباتیک پیشرفته و محاسبات ابری (Cloud Computing)، امکان اتصال بی درنگ تمامی اجزای زنجیره تأمین، جمع آوری و تحلیل حجم عظیمی از داده ها، بهینه سازی خودکار فرایندها و افزایش شفافیت در کل زنجیره را فراهم می کند (George, 2024; Huang et al., 2023).

افزون بر نقش مهم این فناوری ها در بهینه سازی زنجیره تأمین، شواهد نشان می دهد که فناوری های صنعت ۴.۰ کاربردهای حیاتی در بازاریابی و فروش نیز دارند. بازاریابی معاصر به شدت متکی بر داده های هوشمند و فناوری های صنعت ۴.۰ است که زنجیره تأمین را بهینه و بازاریابی و فروش را نیز تقویت می کند

(نصرآبادی و همکاران، ۱۴۰۴). پیشینه نظری نشان می دهد که بازاریابی طی چهار نسل تکامل یافته است: نسل محصول محور، نسل مشتری محور، نسل انسان محور و، جدیدترین نسل، یعنی نسل چهارم، مبتنی بر فناوری های ارتباطی و اطلاعاتی و ناشی از توسعه سریع فناوری های تحول آفرین است (طالاری و خوشرو، ۱۴۰۱)؛ برای مثال، مطالعات اخیر نشان داده است که هوش مصنوعی با تحلیل داده های مشتریان می تواند فرایند شخصی سازی پیشنهادهای بازاریابی را بهبود دهد و تصمیم گیری بازاریابی را هوشمندتر سازد (Kumar et al., 2024). همچنین، چارچوب های پیشرفته بازاریابی مبتنی بر بهینه سازی عصبی، عملکرد کلی بازاریابی را در سطح سازمانی بهبود بخشیده است (Wei et al., 2024). از سوی دیگر، بلاکچین و قراردادهای هوشمند نیز در مدیریت برند، شفافیت تراکنش ها و اعتماد مشتری مؤثرند. مطالعات نشان می دهند بلاکچین می تواند نفوذ خود را در مبادلات مصرفی و جنبه های مالی بازاریابی اعمال کند (Lebcir et al., 2025). بدین ترتیب، فناوری های کلیدی صنعت ۴.۰، نه تنها در بهبود عملیات زنجیره تأمین، بلکه در تقویت فرایندهای بازاریابی و فروش شرکت ها و جوامع اقتصادی نیز معطوف است.

با وجود این مزایا، پیاده سازی صنعت ۴.۰ در زنجیره های تأمین با چالش های گسترده ای همراه است. نبود زیرساخت های فناوری اطلاعات قدرتمند و پایدار، یکپارچه نبودن سیستم های فعلی با فناوری های نوین، کمبود نیروی انسانی با مهارت های مرتبط با داده، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا، مقاومت فرهنگی در برابر تغییر و نبود فرهنگ داده محور، از جمله موانع عمده این تحول اند. علاوه بر این، چالش های جدی در حوزه امنیت سایبری، حفاظت از داده ها و نگرانی های حقوقی مرتبط

کند (Alfaqiyah et al., 2025; Arif et al., 2023; Javaid et al., 2022). این اهداف در صورتی محقق خواهد شد که موانع ساختاری، فرهنگی، فنی و اقتصادی که پیش روی سازمان‌ها در مسیر تحول دیجیتال قرار دارد، شناسایی، تحلیل و مدیریت شود. در چند سال اخیر، پژوهشگرانی مانند Mutale et al. (2024)، Al-Okaily و Abdallah et al. (2025) et al. (2024) بر استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ برای توسعه و بهینه‌سازی سیستم‌ها در حوزه‌های عملیاتی مختلف، به‌ویژه صنایع تولیدی، تأکید کرده‌اند. برخی پژوهش‌ها از فناوری‌های کلیدی صنعت ۴.۰ مانند رایانش ابری و اینترنت اشیا صحبت می‌کنند؛ اما برخی از تعاریف و مفاهیم مربوطه هنوز استانداردسازی نشده‌اند (Kotzias et al., 2022). برخی پژوهش‌ها نیز روندهای اصلی، چالش‌ها و مزایای استفاده از فناوری‌های نوین در صنعت ۴.۰ و مشکلات عمده مانند امنیت و حریم خصوصی، الزامات داده‌ها و استانداردهای نوین را بررسی کرده‌اند (Popov et al., 2022; Tang et al., 2025; Valamede et al., 2021). این مطالعات نشان می‌دهند که کاربرد فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده، بلاکچین، واقعیت افزوده و واقعیت مجازی می‌تواند منجر به بهبود بهره‌وری، افزایش شفافیت و قابلیت ردیابی، کاهش خطاهای عملیاتی، بهبود سرعت و دقت تصمیم‌گیری و ارتقای رضایت مشتری در زنجیره‌های تأمین شود. با وجود این، بسیاری از تعاریف و استانداردهای مرتبط با پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰ هنوز به صورت جامع تدوین نشده‌اند (Abdallah et al., 2025; Ghani, 2024; Han et al., 2025).

با توجه به این چالش‌ها و فرصت‌ها، پژوهش حاضر با تکیه بر داده‌های کیفی، در پی شناسایی موانع کلیدی

با به اشتراک گذاری داده در اکوسیستم‌های گسترده زنجیره تأمین نیز به موانع ساختاری این مسیر افزوده است (Arif et al., 2023; Reaidy et al., 2024).

چالش دیگر، موضوع اقتصادی است. سرمایه‌گذاری‌های اولیه برای پیاده‌سازی زیرساخت‌های صنعت ۴.۰ بسیار هنگفت است و بسیاری از سازمان‌ها در ارزیابی دقیق بازگشت سرمایه با تردید مواجه‌اند (Al-Banna et al., 2024). نبود مدل‌های بومی شده، استانداردهای مشخص و نقشه راه شفاف نیز روند این پیاده‌سازی را دشوارتر می‌کند.

از سوی دیگر، افزایش ریسک‌های ناشی از اختلالات زنجیره تأمین در سال‌های اخیر - به‌ویژه در پی بحران‌های جهانی نظیر پاندمی کرونا، جنگ‌های منطقه‌ای، تغییرات اقلیمی و کمبود مواد اولیه - ضرورت حرکت به سمت زنجیره‌های تأمین هوشمند و تاب‌آور را دوچندان کرده است. زنجیره تأمینی که نتواند با استفاده از داده‌های لحظه‌ای، الگوریتم‌های پیش‌بینی، ردیابی بی‌درنگ و شبیه‌سازی دیجیتال، واکنش سریع به تغییرات محیطی داشته باشد، به سرعت از بازار رقابتی حذف خواهد شد (Kareem et al., 2025; Li et al., 2023).

مسئله کلیدی اینجاست که چگونه می‌توان با بهره‌گیری از فناوری‌های صنعت ۴.۰، ساختار زنجیره‌های تأمین را به گونه‌ای بازطراحی کرد که شفافیت و قابلیت ردیابی در کل زنجیره افزایش یابد و در عین حال، ضمن بهبود بهره‌وری، هزینه‌های عملیاتی کاهش، تصمیم‌گیری‌ها سریع‌تر و دقیق‌تر انجام شود و با افزایش تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری سیستم نیز پاسخ به تغییرات بازار تسهیل شود. علاوه بر این، تجربه و رضایت مشتری از طریق تحویل سریع‌تر و باکیفیت‌تر ارتقا یابد و در نهایت حرکت به سمت پایداری زیست‌محیطی و کاهش پیامدهای منفی آن تحقق پیدا

زنجیره تأمین در استقرار موفق صنعت ۴.۰ استفاده شود. به این ترتیب، پژوهش حاضر نه تنها شناخت علمی نتایج ترکیبی فناوری‌های صنعت ۴.۰ را ارتقا می‌دهد، بلکه راهکارهای عملی برای غلبه بر چالش‌های اجرایی و مدیریتی پیاده‌سازی این فناوری‌ها ارائه کرده و ارزش افزوده چشمگیری برای نظریه و عمل در حوزه مدیریت زنجیره تأمین ایجاد می‌کند.

## ۲. پیشینه پژوهش

صنعت ۴.۰، که به عنوان چهارمین انقلاب صنعتی شناخته می‌شود، با اتکا بر مجموعه‌ای از فناوری‌های پیشرفته از جمله اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی، تحلیل‌های داده‌های حجیم و هم‌گرایی دیجیتال؛ ساختار طراحی، تولید، توزیع و مدیریت زنجیره‌های تأمین را بازتعریف کرده است. در قالب زنجیره تأمین هوشمند، اجزای زنجیره به صورت بی‌درنگ به یکدیگر متصل می‌شوند، تصمیم‌گیری‌ها بر پایه داده و الگوریتم‌های تحلیلی انجام می‌شود و فرایندها به سمت خودکارسازی، انعطاف‌پذیری و هم‌زمانی عملکردی حرکت می‌کنند این تغییر فناورانه، نه تنها کارایی و شفافیت را افزایش می‌دهد، بلکه قابلیت‌های واکنش سریع، تاب‌آوری و پایداری زنجیره را نیز تقویت می‌کند؛ از این رو تحول دیجیتال به عنوان محوری راهبردی برای حفظ و ارتقای مزیت رقابتی سازمان‌ها مطرح می‌شود (Emon et al., 2025; Reaidy et al., 2024).

فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، تحلیل کلان‌داده، هوش مصنوعی، محاسبات ابری، سیستم‌های سایبر-فیزیکی (Cyber Physical System)، واقعیت افزوده و واقعیت مجازی، و بلاکچین، امروزه به عنوان رکن‌های اصلی صنعت ۴.۰ شناخته می‌شوند. با بهره‌گیری از این فناوری‌ها، ارتباط پیوسته بین ماشین‌ها، انسان‌ها و

استقرار صنعت ۴.۰ و تبیین روابط میان این عوامل در مسیر پیاده‌سازی صنعت ۴.۰، در زنجیره‌های تأمین صنایع تولیدی است. این پژوهش به طور خاص بر بررسی نقش فناوری‌های کلیدی صنعت ۴.۰، شامل اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده، بلاکچین، واقعیت افزوده و مجازی، رباتیک پیشرفته و محاسبات ابری در زنجیره‌های تأمین صنایع تولیدی تمرکز دارد؛ بنابراین، سؤالات زیر در پژوهش حاضر مطرح می‌شود: فناوری‌های صنعت ۴.۰ چه نقشی در هوشمندسازی و بهینه‌سازی زنجیره‌های تأمین ایفا می‌کنند؟

موانع اصلی پیش‌روی استقرار صنعت ۴.۰ در زنجیره‌های تأمین صنایع تولیدی چیست؟ چه نوع الگوی مفهومی می‌توان برای تبیین روابط میان عوامل کلیدی و مسیر تحول دیجیتال در زنجیره تأمین ارائه کرد؟

نوآوری پژوهش حاضر در سه بُعد کلیدی، درخور توجه است: نخست اینکه، برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که فقط به بررسی یکی از فناوری‌های صنعت ۴.۰ مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی یا بلاکچین پرداخته‌اند، این پژوهش به صورت جامع و یکپارچه تأثیر ترکیبی این فناوری‌ها بر هوشمندسازی، بهینه‌سازی و تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین صنایع تولیدی را تحلیل می‌کند؛ دوم اینکه، پژوهش با بهره‌گیری از رویکرد کیفی مبتنی بر نظریه داده‌بنیاد و تحلیل ساختاری تفسیری، تلاش دارد روابط علی و سلسله‌مراتبی میان عوامل مؤثر و موانع اجرایی را آشکار سازد؛ رویکردی که خلأ موجود در مطالعات عمدتاً کمی و مرور ادبیات را پر می‌کند؛ سوم، پژوهش با تمرکز بر صنایع تولیدی در کشورها و بسترهای در حال توسعه، مدلی مفهومی و بومی ارائه می‌دهد که علاوه بر ارزش نظری، می‌تواند به عنوان راهنمای عملی برای تصمیم‌گیرندگان و مدیران

کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در مدیریت زنجیره تأمین به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند، به‌ویژه در حوزه‌هایی مانند پیش‌بینی تقاضا، نگهداری پیشگیرانه تجهیزات و بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند الگوهای پنهان در داده‌های پیچیده را شناسایی کنند و بدین ترتیب امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای تولید و توزیع فراهم شود. علاوه بر این، سیستم‌های تصمیم‌گیری خودکار مبتنی بر AI می‌توانند در برابر اختلالات بازار واکنش سریع نشان دهند و در نتیجه چابکی، انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری زنجیره تأمین را افزایش دهند (Culot et al., 2024; Iseri et al., 2025; Pandey et al., 2024).

بلاکچین نیز به‌عنوان یک فناوری کلیدی در افزایش شفافیت و اعتماد در زنجیره تأمین شناخته شده است. این فناوری با ایجاد دفترکل توزیع‌شده، اصالت تراکنش‌ها را تضمین می‌کند و در صنایع حساس برای پیگیری منشأ محصولات و تضمین کیفیت، بسیار مؤثر است. بلاکچین می‌تواند ریسک‌های مرتبط با تقلب و جعل را کاهش دهد و با ایجاد سوابق تغییرناپذیر، اعتماد بین ذی‌نفعان را تقویت کند. همچنین، قراردادهای هوشمند بر بستر بلاکچین می‌توانند فرایندهای خودکار و بدون واسطه را تسهیل کند (Herbke et al., 2024; Tripathi et al., 2023).

در حوزه تحلیل داده‌های کلان نیز پژوهش‌ها به اهمیت تحلیل حجم عظیمی از داده‌های مربوط به رفتار مشتریان، روندهای بازار و عملکرد عملیاتی اشاره کرده‌اند. ابزارهای داده‌های کلان به شرکت‌ها کمک می‌کنند تا تصمیمات راهبردی دقیق‌تری بگیرند و ریسک‌ها را کاهش دهند. همچنین، هم‌افزایی بین

سامانه‌ها ممکن می‌شود و این زمینه را فراهم می‌آورد که زنجیره تأمین به‌شکلی خودمختار، قابل ردیابی و چابک عمل کند. به‌کارگیری این ابزارها تصمیم‌گیری‌های زنجیره تأمین را تسهیل کرده و کارایی و بهره‌وری را ارتقا می‌دهد. به‌ویژه، فناوری بلاکچین نقش مهمی در افزایش شفافیت و ردیابی در زنجیره‌های تأمین ایفا می‌کند (Hübschke et al., 2025) و اینترنت اشیا نیز به‌طور فزاینده در پایش لحظه‌ای فرایندهای زنجیره تأمین به کار گرفته می‌شود (Karim et al., 2024)؛ لذا این فناوری‌ها ستون‌های تحقق اصولی، مانند اتصال، انعطاف‌پذیری و پردازش زمان واقعی در ساختارهای سازمانی به شمار می‌آیند؛ با این حال، پژوهش‌های موجود بیشتر بر جنبه‌های جداگانه این فناوری‌ها تمرکز کرده و به تأثیر یکپارچه آن‌ها بر بهینه‌سازی زنجیره تأمین کمتر پرداخته شده است (Javaid et al., 2022; Mubarik et al., 2024).

مطالعات اخیر نشان می‌دهند که اینترنت اشیا نقش کلیدی در ارتقای شفافیت و قابلیت ردیابی زنجیره‌های تأمین ایفا می‌کند. به‌کارگیری حسگرها و ابزارهای مجهز به IoT امکان پایش بی‌درنگ موجودی، جریان حمل‌ونقل و عملکرد تجهیزات را فراهم می‌سازد؛ موضوعی که نه تنها به کاهش تأخیرها کمک می‌کند، بلکه موجب افزایش شفافیت و اطمینان در کل شبکه تأمین می‌شود. این قابلیت‌ها مدیریت موجودی را بهینه کرده، از بروز کمبود کالا جلوگیری می‌کند و کارایی فرایندهای لجستیکی را بهبود می‌بخشد. افزون بر این، اینترنت اشیا از طریق اشتراک‌گذاری داده‌ها میان تأمین‌کنندگان، همکاری و هماهنگی در زنجیره را تسهیل کرده و به کاهش اثر اختلالات احتمالی کمک می‌کند (Al-Ibrahim et al., 2024; Zrelli et al., 2024).

برای استقرار صنعت ۴.۰ در صنایع تولیدی ارائه دهد که از منظر علمی و کاربردی اتکاپذیر باشد. براساس مرور نظام‌مند مطالعات پیشین، مجموعه‌ای از مؤلفه‌های کلیدی صنعت ۴.۰ در ارتباط با زنجیره تأمین شناسایی شد. از جمله این مؤلفه‌ها می‌توان به فشار بازار و رقابت (Al Mashalah et al., 2022; Ostadi et al., 2024)، نیاز به شفافیت و قابلیت ردیابی (Hübschke et al., 2025; Karim et al., 2024)، زیرساخت فناوری و سیستم‌های اطلاعاتی (George, 2023; George et al., 2020; Huang et al., 2024)، لزوم یکپارچه‌سازی سیستم‌ها (Mubarik et al., 2024)، بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها (Culot et al., 2024; Iseri et al., 2025) و افزایش انعطاف‌پذیری و پاسخ‌گویی زنجیره تأمین (Chatterjee et al., 2023; Pandey et al., 2024) اشاره کرد. در کنار این مؤلفه‌ها، داده‌های حاصل از مصاحبه‌های نیمه‌ساخت یافته با خبرگان صنعتی و دانشگاهی، به شناسایی مؤلفه‌های دیگری منجر شد که کمتر در منابع پیشین بدان توجه شده است.

افزون‌بر مرور پیشینه و یافته‌های کیفی، مدل مفهومی این پژوهش بر چند چارچوب نظری نیز استوار است. دیدگاه منبع‌محور (Resource-Based View) و قابلیت‌های پویا اهمیت منابع فناورانه، زیرساخت‌های دیجیتال و مهارت‌های انسانی را در ایجاد مزیت رقابتی و تاب‌آوری زنجیره تأمین برجسته می‌سازند. همچنین، نظریه پذیرش فناوری (Technology Acceptance Model) و نظریه انتشار نوآوری‌ها، نقش عوامل رفتاری و فرهنگی را در پذیرش و به‌کارگیری فناوری‌های نوین توضیح می‌دهند. در نهایت، نظریه سیستم‌ها مبنای رویکرد سیستمی پژوهش را فراهم و ارتباط متقابل میان مؤلفه‌ها را توجیه می‌کند؛ موضوعی که با استفاده از

داده‌های کلان و هوش مصنوعی به ایجاد زنجیره‌های تأمین کارآمد و پیش‌بینی‌پذیر کمک می‌کند (Chatterjee et al., 2023; Jamarani et al., 2024). باوجود این مزایا، چالش‌های اجرایی مانند هزینه‌های هنگفت پیاده‌سازی، پیچیدگی‌های فنی، ریسک‌های امنیت سایبری و مقاومت کارکنان در برابر تغییر، مانع از پذیرش سریع این فناوری‌ها شده است. علاوه بر این، سازمان‌ها برای مدیریت و نگهداری این فناوری‌ها به نیروی انسانی متخصص نیاز دارند که به‌ویژه برای کسب و کارهای کوچک و متوسط چالش برانگیز است.

پژوهش‌های موجود، نبود بررسی جامعی از تأثیر یکپارچه فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر زنجیره تأمین تولیدی را نشان می‌دهند. بیشتر پژوهش‌ها فقط بر کاربردهای جداگانه هر فناوری تمرکز کرده‌اند و تأثیر ترکیبی آن‌ها بر بهینه‌سازی و هوشمندسازی زنجیره تأمین به‌درستی بررسی نشده است. این پژوهش با هدف بررسی یکپارچه نقش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در ایجاد زنجیره‌های تأمین هوشمند و کارآمد انجام می‌شود و به دنبال ارائه راهکارهای عملی برای غلبه بر چالش‌های اجرایی در پیاده‌سازی این فناوری‌هاست.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بسیاری از پژوهش‌ها به معرفی فناوری‌ها یا بررسی چالش‌ها به‌صورت مجزا پرداخته‌اند، و کمتر مطالعه‌ای به تبیین جامع روابط علی میان این عوامل با استفاده از روش‌شناسی کیفی و مبتنی بر داده‌های میدانی پرداخته است. همچنین، در کشورهای در حال توسعه، پژوهش‌های میدانی با هدف ارائه مدل‌های بومی برای استقرار صنعت ۴.۰، در زنجیره تأمین، بسیار محدود است. پژوهش حاضر با استفاده از نظریه داده‌بنیاد و تحلیل ساختاری تفسیری، تلاش دارد مدلی مفهومی

مدل‌سازی ساختاری تفسیری و تحلیل MICMAC در این پژوهش دنبال شده است.

### ۳. روش پژوهش

این پژوهش در چارچوب پارادایم تفسیری انجام شده است؛ پارادایمی که بر درک و تبیین پدیده‌ها از منظر کنشگران و با تکیه بر داده‌های واقعی و زمینه‌ای تأکید دارد. از نظر هدف، پژوهش حاضر توسعه‌ای-کاربردی و از نظر ماهیت، کیفی با رویکرد نظریه داده‌بنیاد است. داده‌ها در مرحله نخست از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساخت یافته با ۱۰ نفر از خبرگان صنعتی و دانشگاهی گردآوری شد. سؤالات مصاحبه بر مبنای بررسی نقش فناوری‌های کلیدی صنعت ۴۰ (اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده، بلاکچین، واقعیت افزوده و مجازی، رباتیک پیشرفته و محاسبات ابری) طراحی شد تا ابعاد مختلف استقرار این فناوری‌ها در زنجیره تأمین پوشش داده شود.

برای تحلیل داده‌های کیفی، از کدگذاری سه‌مرحله‌ای استراوس و کورین شامل کدگذاری باز، محوری و انتخابی استفاده و نتایج کدگذاری مفهومی به شناسایی مقولات کلیدی و روابط میان آن‌ها منجر شد. در ادامه، برای تکمیل یافته‌های کیفی و اعتبارسنجی روابط میان مفاهیم، از روش مدل‌سازی ساختاری

تفسیری (ISM) و تحلیل MICMAC بهره‌گیری شد؛ بنابراین، پژوهش حاضر در زمره روش‌های آمیخته اکتشافی-توالی قرار می‌گیرد، بدین معنا که ابتدا مرحله کیفی (استخراج مفاهیم از طریق نظریه داده‌بنیاد) انجام سپس مرحله کمی-ساختاری (سطح‌بندی و تحلیل روابط میان متغیرها با ISM و MICMAC) برای تقویت و تبیین یافته‌ها به کار گرفته شد. برای اجرای مصاحبه‌ها، پرسش‌نامه نیمه‌ساختاریافته‌ای همراه با فهرستی از سؤالات اصلی به‌عنوان راهنمای مصاحبه تهیه شد. طراحی سؤالات بر پایه چارچوب نظری پژوهش، سؤالات اصلی تحقیق، و مرور نظام‌مند منابع علمی صورت گرفت و سپس با مشورت دو خبره دانشگاهی، اصلاحات محتوایی و مفهومی در آن اعمال شد.

نمونه‌گیری در بخش کیفی به صورت هدفمند و قضاوتی انجام شد. در مجموع، با ۱۰ نفر از خبرگان صنعتی و دانشگاهی مصاحبه انجام شد. مصاحبه‌ها تا مرحله‌ای ادامه یافت که اشباع نظری حاصل شد؛ یعنی پس از مصاحبه نهم و دهم، اطلاعات جدید و معناداری به داده‌های قبلی افزوده نشد و الگوهای اصلی مفاهیم به‌طور کامل شکل گرفت. جدول ۱ اطلاعات جمعیت‌شناختی خبرگان را نشان می‌دهد.

جدول ۱- اطلاعات جمعیت‌شناختی خبرگان

Table 1- Demographic Information of Experts

سابقه کار (سال)	مدرک تحصیلی	حوزه تخصصی	بخش تخصصی
۱۵	دکتری	مدیریت زنجیره تأمین	دانشگاهی
۱۲	کارشناسی ارشد	تولید هوشمند	صنعتی
۲۰	دکتری	مهندسی صنایع	دانشگاهی
۱۴	کارشناسی ارشد	تحول دیجیتال	صنعتی
۱	دکتری	سیستم‌های اطلاعاتی	دانشگاهی
۱۵	کارشناسی ارشد	خودکارسازی و اینترنت اشیا	صنعتی
۱۶	دکتری	مدیریت نوآوری	دانشگاهی
۱۲	کارشناسی ارشد	کاربردهای صنعت ۴.۰	صنعتی
۱۳	دکتری	مدیریت عملیات	صنعتی
۱۶	کارشناسی ارشد	یکپارچه‌سازی دیجیتال و ERP	صنعتی

برای تجزیه و تحلیل تأثیر یک متغیر بر متغیرهای دیگر است.

#### ۴. یافته‌ها

با استفاده از روش کدگذاری باز و تحلیل محتوای مصاحبه‌ها، مفاهیم کلیدی استخراج شد و مبنای تحلیل ساختاری و سطح‌بندی روابط میان آن‌ها قرار گرفت. **جدول ۲**، ۶۰ کد باز استخراج شده از مصاحبه‌های انجام شده را نشان می‌دهد. به منظور شفاف‌سازی فرایند تحلیل داده‌ها، در **جدول ۳** نمونه‌ای از شواهد گفتاری خبرگان مرتبط با کدهای باز استخراج شده ارائه شده است.

به منظور اطمینان از روایی داده‌های کیفی و اعتبار کدهای استخراج شده، کدهای اولیه توسط دو متخصص خارج از تیم پژوهش بازبینی و تأیید شد. همچنین، برای ارزیابی وضوح و دقت تفاسیر، نتایج برخی مصاحبه‌ها برای بازنگری در اختیار مصاحبه‌شوندگان منتخب قرار گرفت. تحلیل داده‌ها براساس نظریه داده‌بنیاد انجام شد. مراحل تحلیل شامل کدگذاری باز، کدگذاری محوری و کدگذاری انتخابی بود. پس از شناسایی و فهرست کردن تمامی شاخص‌ها برای تشخیص روابط درونی متغیرها از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری استفاده شده است که روشی مناسب

جدول ۲- کدهای حاصل از کدگذاری باز

Table 2 - Codes Resulting From Open Coding

ردیف	کد باز استخراج شده	ردیف	کد باز استخراج شده
۱	پیش‌بینی خرابی با اینترنت اشیا	۳۱	دیجیتال‌سازی نکردن اطلاعات مشتریان
۲	خودکارسازی فرایند تولید	۳۲	پیچیدگی زنجیره و نیاز به هماهنگی دیجیتال
۳	کمبود منابع برای تحلیل داده	۳۳	استفاده محدود از دوقلوی دیجیتال
۴	پیش‌بینی تقاضا با کلان‌داده	۳۴	ترس از پایش دائمی عملکرد
۵	بهینه‌سازی انبار با هوش مصنوعی	۳۵	پراکندگی داده مشتری
۶	آموزش دیجیتال با واقعیت افزوده	۳۶	نبود هم‌راستایی بین واحدهای سازمانی

ردیف	کد باز استخراج شده	ردیف	کد باز استخراج شده
۷	بی‌اعتمادی به فناوری	۳۷	نداشتن بلوغ دیجیتال در زنجیره تأمین
۸	نگرانی درباره از دست رفتن شغل	۳۸	همگام‌سازی اطلاعات فروش و انبار
۹	هزینه اولیه زیاد، اما بازگشت سرمایه مثبت	۳۹	بهبود برنامه‌ریزی تولید بی‌درنگ
۱۰	کنترل مصرف انرژی با اینترنت اشیا	۴۰	ناپایداری ارتباط اینترنت اشیا
۱۱	دقت و سرعت گزارش دهی	۴۱	ضعف حمایت مدیریت ارشد
۱۲	ردیابی اصالت کالا با بلاکچین	۴۲	شکاف نسلی در پذیرش فناوری
۱۳	ناسازگاری سیستم‌های قدیمی	۴۳	کمبود تخصص در تعمیر فناوری پیشرفته
۱۴	کمبود مهارت دیجیتال کارکنان	۴۴	ناآگاهی از مزایای فناوری بلاکچین
۱۵	مقاومت مدیریتی در برابر تحول	۴۵	استفاده از کلان‌داده‌ها در تحلیل کیفیت
۱۶	نبود راهبرد دیجیتال مشخص	۴۶	استفاده از واقعیت افزوده در نگهداری و تعمیرات
۱۷	ضعف در اشتراک‌گذاری داده بین واحدها	۴۷	خطای نسبی در پیش‌بینی با هوش مصنوعی
۱۸	یکپارچه نبودن سیستم‌های اطلاعاتی	۴۸	داشبوردهای بی‌درنگ مدیریتی
۱۹	نبود همکاری دیجیتال با شرکا	۴۹	فاصله فناورانه با تأمین‌کنندگان بین‌المللی
۲۰	افزایش انعطاف‌پذیری تأمین	۵۰	نبود توازن فناورانه در زنجیره تأمین
۲۱	کاهش خطای انسانی با هوش مصنوعی	۵۱	وابستگی فناورانه به خارج
۲۲	آموزش ایمنی با واقعیت مجازی	۵۲	نبود پلتفرم ارتباطی دیجیتال با شرکا
۲۳	کاهش تأخیر با اطلاعات بی‌درنگ	۵۳	تسریع تصمیم‌گیری با داده
۲۴	کمبود پشتیبانی فنی داخلی	۵۴	خرید فناوری بدون ارزیابی نیاز
۲۵	نیاز به بازطراحی ساختار سازمانی	۵۵	یکپارچه‌سازی کنترل کیفیت با تولید
۲۶	پایش عملکرد تجهیزات با فناوری	۵۶	ارزیابی داده‌محور منابع انسانی
۲۷	شفافیت در هزینه‌های زنجیره تأمین	۵۷	استمرار فرایندهای غیر خودکار
۲۸	تحلیل ریسک تأمین با هوش مصنوعی	۵۸	ناسازگاری تجهیزات قدیمی با فناوری جدید
۲۹	هماهنگ‌سازی داده‌های انبار	۵۹	ریسک امنیت سایبری در تعاملات زنجیره
۳۰	اولویت چالش فرهنگی بر فنی	۶۰	پایش بی‌درنگ تجهیزات

جدول ۳- نمونه شواهد گفتاری خبرگان مرتبط با کدهای باز استخراج شده

Table 3- Sample of Expert Verbal Evidence Related to Extracted Open Codes

ردیف کد باز	کد باز استخراج شده	نمونه شواهد گفتاری خبرگان
۱	پیش‌بینی خرابی با اینترنت اشیا	با نصب حسگرها روی تجهیزات، می‌توانیم خرابی‌ها را قبل از وقوع، پیش‌بینی و از توقف خطوط تولید جلوگیری کنیم.
۵	بهینه‌سازی انبار با هوش مصنوعی	هوش مصنوعی به ما کمک می‌کند تا چیدمان کالاها و زمان‌بندی برداشت از انبار را بهینه کنیم.
۶	آموزش دیجیتال با واقعیت افزوده	با استفاده از واقعیت افزوده، کارکنان جدید می‌توانند مراحل تعمیر ماشین‌آلات را به صورت تعاملی یاد بگیرند.
۱۲	ردیابی اصالت کالا با بلاکچین	با بلاکچین می‌توانیم مسیر کامل محصول را ثبت و از تقلب و تغییرات غیرمجاز جلوگیری کنیم.
۱۶	نبود راهبرد دیجیتال مشخص	شرکت ما هنوز برنامه مشخصی برای دیجیتالی کردن فرایندها ندارد و این مانع پیاده‌سازی فناوری‌ها می‌شود.

ردیف کد باز	کد باز استخراج شده	نمونه شواهد گفتاری خبرگان
۲۰	افزایش انعطاف پذیری تأمین	وقتی اطلاعات لحظه‌ای موجود باشد، می‌توانیم سریع‌تر منابع جایگزین پیدا کنیم و انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین افزایش می‌یابد.
۲۳	کاهش تأخیر با اطلاعات بی‌درنگ	داده‌های واقعی زمان‌بندی حمل‌ونقل باعث شده تا تأخیرها به حداقل برسند.
۲۸	تحلیل ریسک تأمین با هوش مصنوعی	با الگوریتم‌های AI می‌توانیم ریسک تأمین مواد اولیه را پیش‌بینی کنیم و برنامه‌ریزی جایگزین داشته باشیم.
۳۴	ترس از پایش دائمی عملکرد	برخی کارکنان از اینکه همه عملکردها آن‌لاین پایش می‌شود، ناراضی‌اند.
۴۷	خطای نسبی در پیش‌بینی با هوش مصنوعی	گاهی الگوریتم پیش‌بینی تقاضا اشتباه می‌کند و باید بازبینی انسانی هم داشته باشیم.

مقوله‌های اصلی (محوری) و سازمان‌دهی آن‌ها با استفاده از الگوی پارادایمی کدگذاری. از میان بیش از ۶۰ کد باز استخراج شده، مقولات زیر شناسایی و در قالب الگوی پارادایمی مطابق جدول ۴ طبقه‌بندی شده‌اند:

پس از این مرحله کدها به صورت مقدماتی در دسته‌های مفهومی اولیه دسته‌بندی شده‌اند. کدگذاری محوری فرایندی است برای برقراری ارتباط نظام‌مند میان کدهای باز (مفاهیم اولیه)، ترکیب آن‌ها در قالب

جدول ۴- کدگذاری محوری

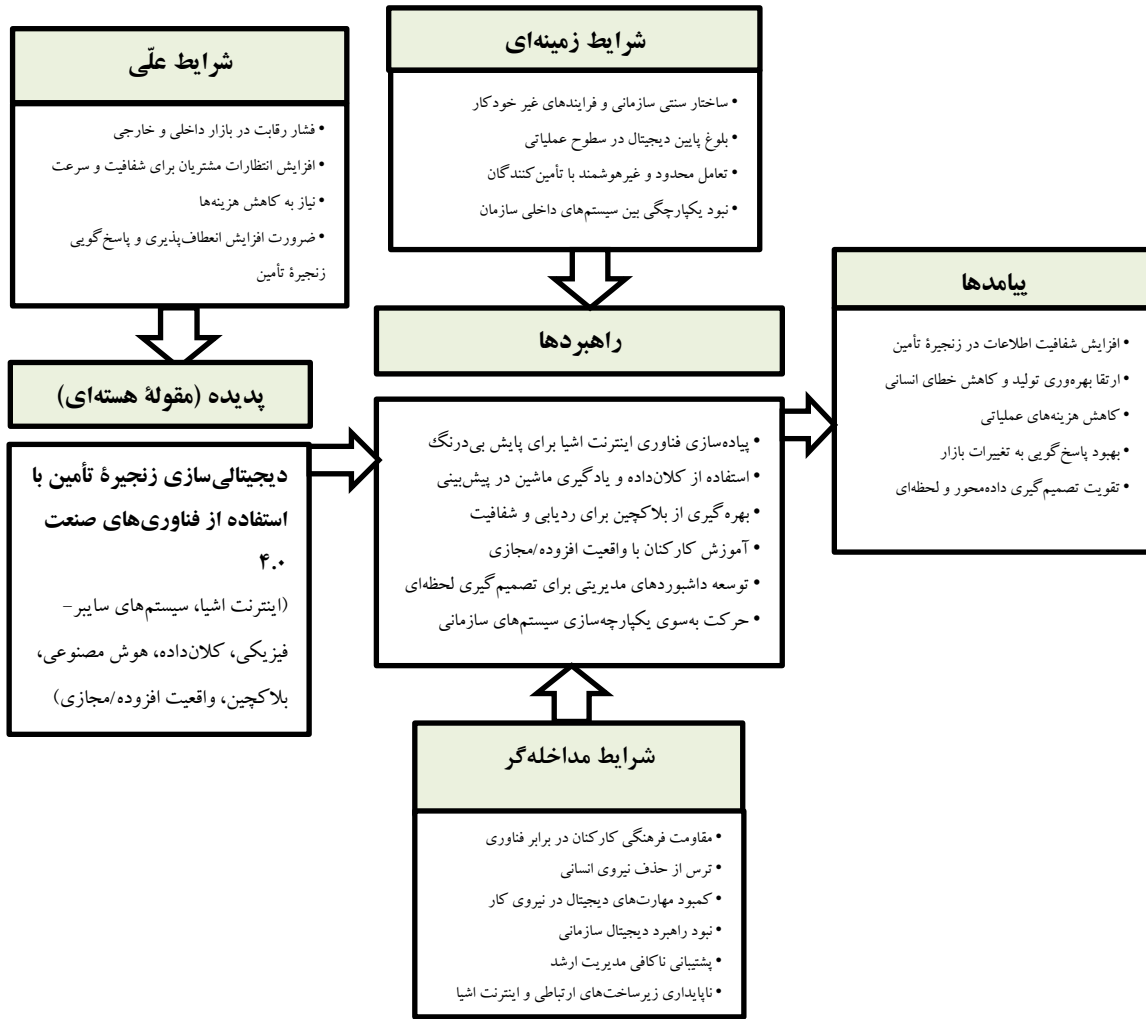
Table 4- Axial Coding

شرایط علی	
شرح	مفاهیم کلیدی استخراج شده
رقابت داخلی و خارجی	فشار برای کاهش هزینه
نوسانات عرضه و تقاضا	نیاز به انعطاف‌پذیری تأمین
سرعت، شفافیت، کیفیت بالا	انتظارات جدید مشتریان
پدیده محوری	
به کارگیری فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، سیستم‌های سایبری فیزیکی، هوش مصنوعی، کلان‌داده، بلاکچین، واقعیت مجازی و افزوده در تمام مراحل زنجیره تأمین برای دستیابی به هوشمندسازی، بهینه‌سازی، شفافیت و پاسخ‌گویی بهتر	دیجیتالی‌سازی زنجیره تأمین با صنعت ۴.۰
شرایط زمینه‌ای	
وجود فرایندهای دستی، نبود یکپارچگی در سیستم‌ها	ساختار سنتی زنجیره تأمین
نبود زیرساخت مناسب و تخصص در فناوری	بلوغ پایین دیجیتال سازمان
ناتوانایی تأمین‌کنندگان برای سازگاری با فناوری جدید	تأمین‌کنندگان سنتی
سختی در تغییرات سریع سازمانی	مدل سازمانی متمرکز
شرایط مداخله‌گر	
ترس از فناوری و حذف شغل	مقاومت کارکنان
ناتوانی در استفاده از فناوری‌های جدید	کمبود مهارت دیجیتال
قطع و وصل داده‌ها در اینترنت اشیا	ناپایداری زیرساخت اینترنت

شرایط علی	
شرح	مفاهیم کلیدی استخراج شده
پایه‌سازی مقطعی و غیر یکپارچه فناوری‌ها	نبود راهبرد دیجیتال
نبود حمایت مالی و تصمیم‌گیری برای تحول	پشتیبانی ناکافی مدیریت ارشد
راهبردها	
پایش بی‌درنگ ماشین‌آلات	استفاده از اینترنت اشیا برای نظارت بر تجهیزات
پیش‌بینی تقاضا و تحلیل کیفیت	استفاده از کلان‌داده و هوش مصنوعی
ردیابی و اصالت کالا	استفاده از بلاکچین
تصمیم‌گیری لحظه‌ای	پایه‌سازی داشبوردهای مدیریتی
ارتقای توان دیجیتال منابع انسانی	آموزش کارکنان با واقعیت مجازی / واقعیت افزوده
اتصال تولید، انبار، فروش، تأمین	حرکت به سوی یکپارچه‌سازی سیستم‌ها
پیامدها	
دسترسی به داده‌های به‌هنگام و دقیق	افزایش شفافیت
خودکارسازی تصمیم‌گیری و اجرای فرایندها	کاهش خطای انسانی
واکنش سریع به تغییرات بازار	بهبود پاسخ‌گویی
کاهش دوباره کاری، بهینه‌سازی منابع	کاهش هزینه‌ها
هماهنگی بهتر اجزا و کاهش اتلاف	ارتقای بهره‌وری زنجیره تأمین

و محوری (براساس الگوی استراوس و کوربین) و از طریق تحلیل محتوا بر روی داده‌های مصاحبه، در نهایت ۶ مقوله مفهومی و ۲۵ کد نهایی در قالب الگوی علی، زمینه‌ای، مداخله‌گر، پدیده‌محوری، راهبرد و پیامد شناسایی شدند. شکل ۱ مدل مفهومی استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین را نشان می‌دهد.

پس از بررسی ۶۰ کد باز و ۶ مقوله محوری در کدگذاری محوری، مقوله‌ای که بیشترین ارتباط را با سایر مفاهیم دارد و در مرکز شبکه مفهومی قرار گرفته، عبارت است از: دیجیتالی‌سازی زنجیره تأمین با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰؛ این مقوله، به‌عنوان پدیده بنیادین پژوهش، سایر مقولات را در دل خود جای می‌دهد. بر پایه تحلیل داده‌های کیفی با روش کدگذاری باز



شکل ۱- مدل مفهومی استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین

Figure 1 - Conceptual Model of Deploying Industry 4.0 Technologies in the Supply Chain

صنعت انجام شد. برای هر متغیر، فرم ارزیابی طراحی و میانگین اهمیت محاسبه شد. تمامی متغیرها با میانگین بالای ۴ از ۵ تأیید شدند. سپس با تشکیل ماتریس SSIM، روابط زوجی میان متغیرها (اثر مستقیم یا متقابل) استخراج و این ماتریس به ماتریس دسترسی (RM) تبدیل شد. **جدول ۵** متغیرهای نهایی و تأیید شده را که پس از تحلیل داده‌های کیفی برای ورود به مدل ISM انتخاب شده‌اند، نشان می‌دهد.

#### ۱-۴- مدل‌سازی ساختاری تفسیری

بر اساس نتایج کدگذاری انتخابی در نظریه داده‌بنیاد، ۱۱ متغیر کلیدی از میان مقولات نهایی (شامل شرایط عالی، زمینه‌ای، مداخله‌گر، پدیده‌محوری، راهبردها و پیامدها) برای مدل‌سازی ISM انتخاب شد. این متغیرها به دلیل نقش برجسته در تبیین تحول دیجیتال و دارا بودن سه ویژگی اصلی مدنظر برای مدل ISM شامل تأثیرگذاری سیستمی، قابلیت مقایسه و سطح‌پذیری سلسله‌مراتبی گزینش شدند.

فرایند اعتبارسنجی مفاهیم با نظر ۱۰ نفر از خبرگان

جدول ۵ - متغیرهای تأییدشده برای ورود به مدل ISM

Table 5 - Approved Variables for Entry into the ISM Model

ردیف	متغیر پیشنهادی برای مدل‌سازی ساختاری - تفسیری	میانگین امتیاز اهمیت (از ۵)	تأیید نهایی	توضیح تکمیلی خبرگان
۱	فشار بازار و رقابت	۴.۸	✓	عامل محرک دیجیتالی‌سازی در سطح راهبرد
۲	نیاز به شفافیت	۴.۶	✓	برای ردیابی و کنترل کیفی ضروری است.
۳	زیرساخت فناوری و سیستم‌های اطلاعاتی	۴.۷	✓	زیربنای اجرای صنعت ۴۰
۴	مقاومت فرهنگی کارکنان	۴.۴	✓	عامل مهم در شکست یا موفقیت تحول دیجیتال
۵	کمبود مهارت دیجیتال	۴.۵	✓	در لایه عملیاتی بسیار تعیین‌کننده است.
۶	نبود راهبرد دیجیتال	۴.۲	✓	بدون راهبرد، تلاش‌ها پراکنده است.
۷	استفاده از فناوری‌های صنعت ۴۰	۴.۹	✓	هسته اصلی تحول زنجیره تأمین
۸	آموزش و توانمندسازی کارکنان	۴.۵	✓	تسهیل‌کننده اجرای فناوری‌ها
۹	یکپارچه‌سازی سیستم‌ها	۴.۶	✓	برای تبادل اطلاعات بی‌درنگ ضروری است.
۱۰	بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها	۴.۷	✓	پیامد عملی و سنجش‌پذیر اجرای فناوری
۱۱	افزایش انعطاف‌پذیری و پاسخ‌گویی زنجیره تأمین	۴.۸	✓	پیامد راهبرد کلان اجرای موفق تحول دیجیتال

این تبدیل، استخراج روابط مستقیم و غیرمستقیم میان متغیرهای مدل ISM و آماده‌سازی داده‌ها برای سطح‌بندی نهایی مفاهیم بود. جدول ۶ ماتریس نهایی دسترسی را نشان می‌دهد.

برای مدل ساختاری-تفسیری، ۱۱ متغیر زیر وارد ماتریس SSIM شده است. پس از تدوین ماتریس SSIM و تعیین روابط میان مفاهیم کلیدی مدل، در گام بعدی، این ماتریس به ماتریس دسترسی ماتریس دسترسی (Reachability Matrix) تبدیل شد. هدف از

جدول ۶ - ماتریس دسترسی برای مدل ISM

Table 6 - Reachability Matrix for the ISM Model

از / به	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
M1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
M2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1
M3	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
M4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M5	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
M6	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
M7	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
M8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
M9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
M10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
M11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

دسترسی (Reachability Set)، مجموعه‌های پیش‌نیاز (Antecedent Set) و اشتراک این دو برای هر متغیر انجام شد. مفاهیمی که در آن‌ها مجموعه دسترسی و

در گام بعدی فرایند مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، با استفاده از ماتریس دسترسی نهایی، سطح مفاهیم کلیدی تعیین شد. این فرایند با تحلیل مجموعه‌های

مفاهیم یکی از مراحل کلیدی برای درک سلسله مراتب تأثیرگذاری مفاهیم بر یکدیگر است. این سطوح براساس ماتریس دسترسی نهایی (RM) استخراج می‌شوند و نشان‌دهنده منطبق زیرند. سطح بندی ارائه شده در جدول ۷ نشان می‌دهد کدام مفاهیم نقش اثرگذاری بیشتری و کدام، وابستگی بیشتری به دیگر مفاهیم دارد.

اشتراک برابر بودند، در سطح اول مدل قرار گرفتند. پس از حذف مفاهیم سطح اول از ماتریس، این روند برای تعیین سطوح بالاتر به صورت گام به گام تکرار شد. در نهایت، تمامی مفاهیم در چندین سطح منطقی دسته بندی و پایه گذار ترسیم مدل نهایی ISM شدند. در مدل سازی ساختاری-تفسیری، سطح بندی

جدول ۷- سطح بندی مفاهیم ISM  
Table 7 - Leveling of ISM Concepts

مفاهیم مربوطه	سطح
افزایش انعطاف پذیری و پاسخ گویی زنجیره تأمین، بهبود بهره وری و کاهش هزینه ها	سطح ۱ (خروجی نهایی)
استفاده از فناوری های صنعت ۴.۰	سطح ۲
آموزش و توانمندسازی کارکنان، یکپارچه سازی سیستم ها	سطح ۳
نبود راهبرد دیجیتال، زیرساخت فناوری و سیستم های اطلاعاتی	سطح ۴
نیاز به شفافیت، مقاومت فرهنگی کارکنان، کمبود مهارت دیجیتال	سطح ۵
فشار بازار و رقابت	سطح ۶ (مقدم ترین/پایه ترین)

متغیرهای پیوندی: متغیرهایی با قدرت نفوذ و وابستگی بیشتر، در این گروه قرار می‌گیرند. این متغیرها به دلیل موقعیت خاص خود در سیستم، نقش ناپایدار، پویا و دوسویه دارند؛ یعنی هم بر دیگر اجزا اثر می‌گذارند و هم بسیار از آن‌ها متأثر می‌شوند. در صورت هرگونه تغییر در این متغیرها، کل سیستم می‌تواند دچار اختلال یا بازآرایی شود و بالعکس.

در این پژوهش، متغیرهای آموزش و توانمندسازی کارکنان، یکپارچه سازی سیستم‌ها، کمبود مهارت دیجیتال در ناحیه پیوندی قرار گرفتند. این متغیرها نقش حیاتی در موفقیت یا شکست فرایند دیجیتالی سازی دارند و به عنوان نقاط حساس سیستم، نیازمند برنامه ریزی دقیق، پایش مستمر و سرمایه گذاری هدفمندند.

متغیرهای مستقل: متغیرهایی که قدرت تأثیرگذاری بیشتر و وابستگی کم دارند، در دسته متغیرهای مستقل یا

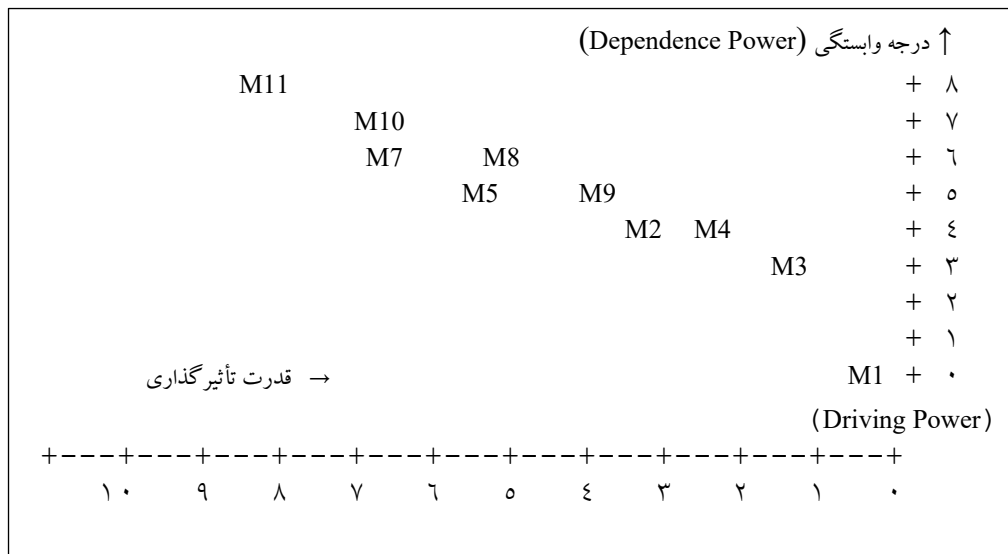
سپس تحلیل MICMAC که هدف آن تشخیص و تحلیل قدرت نفوذ و وابستگی متغیرهاست، انجام شد تا متغیرها براساس قدرت تأثیرگذاری و درجه وابستگی در یک ماتریس دوبعدی طبقه بندی شوند.

متغیرهای وابسته: این دسته شامل متغیرهایی است که قدرت تأثیرگذاری کم، ولی وابستگی بیشتری دارند. این متغیرها معمولاً در زمره نتایج و پیامدهای نهایی سیستم قرار دارند، زیرا شکل گیری یا تقویت آن‌ها وابسته به فعالیت مؤلفه های دیگر است.

در این پژوهش، متغیرهای بهبود بهره وری و کاهش هزینه‌ها، افزایش انعطاف پذیری و پاسخ گویی زنجیره تأمین، استفاده از فناوری های صنعت ۴.۰، در این ناحیه شناسایی شدند. این متغیرها در عمل، بازتاب مستقیم فعالیت های فناورانه، سازمانی و راهبردی اند و از این رو، تقویت آن‌ها نیازمند اقدام هایی پایه ای در لایه های پایین تر مدل است.

اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری، تدوین راهبردها و طراحی نقشه‌راه تحول دیجیتال، ضروری و حیاتی تلقی می‌شود. شکل ۲ نمودار پراکنندگی MICMAC را نشان می‌دهد که در آن قدرت تأثیرگذاری هر مفهوم در برابر درجه وابستگی آن ترسیم شده است. این نمودار به شناسایی مفاهیم محرک، وابسته، مستقل و پیونددهنده در مدل ISM کمک می‌کند.

به عبارتی محرک سیستم قرار می‌گیرند. این متغیرها معمولاً پایه‌گذار و تسهیلگر عملکرد کل سیستم بوده و آغاز حرکت و تحول وابسته به آن‌هاست. در این پژوهش، سه متغیر کلیدی در این دسته‌ها قرار گرفتند: ۱. فشار بازار و رقابت؛ ۲. نبود راهبرد دیجیتال؛ ۳. زیرساخت فناوری؛ ۴. سیستم‌های اطلاعاتی. تمرکز بر این متغیرها در سیاست‌گذاری،



شکل ۲- نمودار پراکنندگی MICMAC (قدرت تأثیرگذاری در برابر درجه وابستگی)  
Figure 2- MICMAC Scatter Plot (Influence Strength vs. Degree of Dependence)

تفسیری برای سطح‌بندی مفاهیم و ترسیم ساختار علی آن‌ها به کار گرفته شد. سطح‌بندی مفاهیم در شش لایه نشان داد که مفاهیم پایه‌ای (مانند فشار بازار، زیرساخت فناوری، نبود راهبرد دیجیتال) در سطوح پایین و مفاهیم پیامدی (مانند بهره‌وری، انعطاف‌پذیری، استفاده از صنعت ۴۰) در سطوح بالا جای گرفته‌اند.

براساس یافته‌های به‌دست‌آمده از مصاحبه‌های انجام‌شده و تحلیل داده‌ها به روش نظریه داده‌بنیاد، فناوری‌های صنعت ۴۰ در زنجیره تأمین، نه یک ابزار منفرد، بلکه بخش‌هایی از یک اکوسیستم سیستمی عمل می‌کنند. فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، تحلیل

## ۵. بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تبیین نقش فناوری‌های صنعت ۴۰ در هوشمندسازی و بهینه‌سازی زنجیره تأمین در صنایع تولیدی انجام شد. به‌منظور دستیابی به این هدف، از رویکرد کیفی مبتنی بر نظریه داده‌بنیاد استفاده و داده‌های پژوهش از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساخت یافته با خبرگان گردآوری شد. در مرحله تحلیل، ابتدا کدهای باز از متون مصاحبه‌ها استخراج و سپس با تلفیق آن‌ها در کدگذاری محوری و انتخابی، مفاهیم کلیدی در قالب ۱۱ متغیر نهایی مدل مفهومی تدوین شد. در ادامه، مدل‌سازی ساختاری-

نیروی انسانی و فرهنگ پذیرش فناوری است که Jamarani et al. (2024) و Chatterjee et al. (2023) نیز آن را از عوامل تعیین کننده موفقیت در پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ معرفی کرده‌اند.

در نتیجه، نقش صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین را باید در قالب یک موتور توان‌افزا، اما وابسته به پیشران‌های سازمانی و محیطی تفسیر کرد. این فناوری‌ها به‌تنهایی نمی‌توانند تحول ایجاد کنند؛ اما در صورت فراهم بودن بسترهای لازم، می‌توانند موجب افزایش شفافیت جریان داده‌ها و کالاهای، بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌ها، کاهش هزینه‌ها، افزایش چابکی و در نهایت ارتقا عملکرد کل زنجیره شوند.

بر اساس نتایج مراحل کدگذاری، فناوری‌های صنعت ۴.۰ نقش‌های چندگانه‌ای در هوشمندسازی زنجیره تأمین ایفا کرده‌اند که در قالب ۵ مقوله محوری می‌توان دسته‌بندی کرد:

#### ۱. شفاف‌سازی و ردیابی:

استفاده از فناوری بلاکچین موجب شفافیت اطلاعات در فرایندهای ورود، ذخیره‌سازی و توزیع شده است؛ ردیابی اصالت قطعات و کاهش تخلفات تأمین تسهیل شده است.

#### ۲. پایش بی‌درنگ و تصمیم‌گیری داده‌محور:

اینترنت اشیا و سیستم‌های سایبر-فیزیکی امکان کنترل لحظه‌ای خطوط تولید را فراهم کرده‌اند؛ داشبوردهای مدیریتی با استفاده از داده‌های زنده، تصمیم‌گیری سریع‌تر و دقیق‌تری را ممکن ساخته‌اند.

#### ۳. افزایش بهره‌وری و اتوماسیون:

رباتیک پیشرفته در کنار هوش مصنوعی باعث تسریع عملیات تولید، کاهش خطا و بهینه‌سازی هزینه‌ها شده است؛ فرایندهای تولید و کنترل کیفیت به‌صورت هم‌زمان و داده‌محور انجام می‌گیرد.

کلان‌داده، هوش مصنوعی، واقعیت افزوده و چاپ سه‌بعدی و... زمانی اثربخش خواهند بود که پیش‌زمینه‌های زیرساختی، فرهنگی، دانشی، و مدیریتی لازم برای پذیرش و پیاده‌سازی آن‌ها فراهم شده باشد.

مدل ISM توسعه‌یافته در این پژوهش نشان داد که استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ (M7) در سطح دوم مدل قرار دارد؛ این بدان معناست که این متغیر وابسته یا پیامدی است؛ یعنی تحقق آن بستگی به فعال شدن چندین مؤلفه در سطوح پایین‌تر دارد. همچنین، تحلیل MICMAC نشان داد که این متغیر در نقطه وابسته قرار دارد؛ به عبارت دیگر، این فناوری‌ها خود، اثرگذاری اندکی بر دیگر اجزا دارند؛ اما به شدت از دیگر متغیرها تأثیر می‌پذیرند.

این یافته‌ها حاکی از آن است که نقش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در هوشمندسازی زنجیره تأمین، نقشی کلیدی، اما متاخر است. آن‌ها به‌عنوان تسهیلگرانی عمل می‌کنند که می‌توانند زنجیره تأمین را به‌صورت پویا، شفاف، و پاسخ‌گو سازند؛ اما برای فعال شدن، نیاز به پیش‌شرط‌هایی مانند زیرساخت فناوری اطلاعات (M3)، راهبرد دیجیتال (M6)، مهارت نیروی انسانی (M5)، آموزش سازمانی (M8)، و فرهنگ پذیرش فناوری (M4) دارند.

این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های پیشین تا حد بسیاری همسو هستند؛ به‌عنوان مثال، Emon et al. (2025) و Reaidy et al. (2024) نشان داده‌اند که بهره‌گیری از فناوری‌های صنعت ۴.۰ بدون وجود زیرساخت‌ها و آمادگی سازمانی اثربخش نخواهد بود. یافته‌های Karim et al. (2024) و Hübschke et al. (2025) نیز نقش کلیدی اینترنت اشیا و بلاکچین در بهبود شفافیت و ردیابی زنجیره‌های تأمین را تأیید می‌کنند. مشابهت دیگری که با پژوهش‌های پیشین مشاهده شد، نقش پیش‌شرط‌های سازمانی مانند آموزش، مهارت

## ۴. پیش‌بینی‌پذیری و چابکی:

با استفاده از کلان‌داده و یادگیری ماشین، پیش‌بینی تقاضا، تحلیل ریسک و بهینه‌سازی موجودی بهبود یافته است؛ پاسخ به نوسانات بازار سریع‌تر شده و انعطاف‌پذیری زنجیره ارتقا یافته است.

## ۵. توسعه مهارت و آموزش دیجیتال:

فناوری‌هایی مانند واقعیت افزوده و واقعیت مجازی برای آموزش کارکنان در حوزه نگهداری و ایمنی به کار رفته‌اند؛ این موضوع منجر به ارتقا مهارت دیجیتال منابع انسانی شده است.

تحلیل داده‌های کیفی حاصل از مصاحبه‌ها، در کنار سطح‌بندی مفاهیم در مدل ISM و طبقه‌بندی قدرت وابستگی در تحلیل MICMAC، ۵ مانع اصلی را برای یکپارچه‌سازی صنعت ۴۰ در زنجیره تأمین صنایع تولیدی شناسایی کرد. این موانع نه تنها در کلام خبرگان، بلکه در جایگاه آن‌ها در ساختار مدل مفهومی نیز تأیید شدند:

۱. نبود راهبرد دیجیتال (M6)، مهم‌ترین مانع است که در سطح چهارم مدل ISM و در دسته محرک‌ها در MICMAC قرار گرفت. این یافته نشان می‌دهد که بدون وجود نقشه‌راه شفاف برای گذار دیجیتال، سازمان‌ها در مواجهه با صنعت ۴۰ سردرگم‌اند. نبود راهبرد موجب تصمیم‌گیری‌های ناهماهنگ، تخصیص منابع ناکارا و پیاده‌سازی‌های ناقص می‌شود. نبود راهبرد جامع تحول دیجیتال در سطح سازمان؛ ضعف در حمایت مدیریت ارشد؛ خرید فناوری بدون نیازسنجی دقیق و نبود هماهنگی بین واحدهای سازمانی (مثل فناوری اطلاعات و تولید)؛ برخی از موانع مدیریتی و راهبردی در توسعه صنعت ۴۰ هستند.

## ۲. ضعف زیرساخت فناوری و سیستم‌های اطلاعاتی

(M3)، دومین مانع اساسی است که در دسته

محرک‌های سیستمی قرار گرفت. بدون زیرساخت‌های ارتباطی، پردازشی و امنیتی، امکان استقرار فناوری‌های صنعت ۴۰ عملاً وجود ندارد. این یافته به خوبی نقش زیربنایی فناوری اطلاعات را در این تحول برجسته می‌سازد. ناپایداری ارتباطات در اینترنت اشیا؛ ناسازگاری سیستم‌های قدیمی با فناوری‌های صنعت ۴۰ و پراکندگی داده در سیستم‌های مختلف سازمانی، برخی از موانع فناورانه و زیرساختی در توسعه صنعت ۴۰ محسوب می‌شوند.

## ۳. کمبود مهارت دیجیتال در نیروی انسانی (M5)

در مدل ISM در سطح پنجم و در تحلیل MICMAC، در دسته پیوندی‌ها قرار گرفت. این جایگاه تحلیلی نشان می‌دهد که کمبود مهارت نه تنها مانعی جدی است، بلکه با بسیاری از مؤلفه‌های دیگر مانند آموزش، فرهنگ‌سازی و زیرساخت در ارتباط مستقیم است. ارتقا مهارت دیجیتال نیروی انسانی باید یکی از اولویت‌های اجرایی سازمان باشد. نداشتن مهارت‌های دیجیتال برای کار با سیستم‌های جدید؛ آموزش ناکافی در حوزه تحلیل داده و کار با نرم‌افزارهای هوشمند و وابستگی به مشاوران خارجی و پشتیبانی فنی ضعیف از مهارت‌های مورد نیاز برای توسعه صنعت ۴۰ است.

## ۴. مقاومت فرهنگی کارکنان (M4)، در دسته

متغیرهای پیوندی قرار گرفت، و نقش آن در کند کردن فرایند پذیرش فناوری کاملاً مشهود بود. مقاومت سازمانی در برابر تغییرات فناورانه، اغلب ریشه در ترس، ناآگاهی یا نبود مشارکت دارد. نادیده گرفتن این متغیر می‌تواند موجب شکست بسیاری از پروژه‌های صنعت ۴۰ شود. مقاومت کارکنان، به ویژه نیروهای قدیمی، در برابر فناوری، ترس از دست دادن شغل و اختلاف نسلی در پذیرش فناوری از موانع فرهنگی-انسانی پیش روی پذیرش صنعت ۴۰ هستند.

تراکنش‌ها افزایش می‌دهد و فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی تجربه خرید نوینی را در اختیار بازار قرار می‌دهند. بدین ترتیب، صنعت ۴.۰ نه تنها به بهینه‌سازی زنجیره تأمین کمک می‌کند، بلکه ظرفیت‌های جدیدی برای توسعه بازار و ارتقا رقابت‌پذیری اقتصادی سازمان‌ها ایجاد می‌کند.

با توجه به مدل مفهومی به دست آمده از ترکیب تحلیل داده‌بنیاد، سطح‌بندی ISM و طبقه‌بندی MICMAC، مجموعه‌ای از پیشنهاد‌های عملی و اجرایی ارائه می‌شود که هدف آن‌ها تسهیل فرایند هوشمندسازی و بهینه‌سازی زنجیره تأمین در بستر صنعت ۴.۰ است. این پیشنهادها در ۴ محور کلیدی راهبردی، زیرساختی، سازمانی و انسانی دسته‌بندی و براساس روابط علی و سلسله‌مراتبی متغیرها تنظیم شده‌اند.

### پیشنهاد‌های راهبردی و کلان مدیریتی

۱. تدوین یک راهبرد دیجیتال شفاف و یکپارچه: یافته‌ها نشان می‌دهد که «نبود راهبرد دیجیتال» مانعی کلیدی در استقرار فناوری صنعت ۴.۰ در سازمان است؛ لذا لازم است مدیریت ارشد با مشارکت ذی‌نفعان داخلی و خارجی، نقشه‌راهی جامع برای تحول دیجیتال تدوین کند. این نقشه‌راه باید شامل چشم‌انداز، مأموریت، اهداف مرحله‌ای، شاخص‌های ارزیابی عملکرد، اولویت‌بندی پروژه‌ها و بودجه‌بندی دقیق باشد.

۲. ایجاد ساختار حاکمیتی برای مدیریت تحول دیجیتال: برای تضمین انسجام و هماهنگی پروژه‌های دیجیتال، پیشنهاد می‌شود کمیته‌ای دائمی با عنوان «شورای تحول دیجیتال» یا «دفتر مدیریت پروژه‌های صنعت ۴.۰» در ساختار سازمانی تعریف شود که وظیفه نظارت راهبردی، یکپارچه‌سازی اقدام‌ها و تخصیص منابع را بر عهده داشته باشد.

۵. نبود نظام آموزش و توانمندسازی هدفمند (M8) نیز در دسته پیوندی‌ها قرار دارد. آموزش به‌عنوان پلی میان فناوری و منابع انسانی، نقش تسهیلگر دارد و نبود آن موجب می‌شود انتقال دانش، تعامل با فناوری و درک مزایای صنعت ۴.۰ در سازمان اتفاق نیفتد.

موانع پنج‌گانه گفته‌شده نشان می‌دهند که یکپارچگی صنعت ۴.۰ تنها از مسیر فنی نمی‌گذرد، بلکه مسئله‌ای چندلایه و میان‌رشته‌ای است که عوامل انسانی، مدیریتی، زیرساختی و فرهنگی در آن دخیل‌اند. این موانع به‌صورت نظام‌مند و در ارتباط متقابل با یکدیگر عمل می‌کنند و رفع آن‌ها نیازمند برنامه‌ریزی جامع و هم‌راستایی سازمانی است.

مدل، ISM، مفاهیم کلیدی را در ۶ سطح دسته‌بندی کرد. این سطح‌بندی، منطق علی-پیامدی بین مفاهیم را شفاف‌سازی می‌کند. مدل نشان می‌دهد که سازمان بدون حل موانع سطح ۵ و تأمین الزامات سطح ۴، نمی‌تواند به سطح دوم، یعنی استقرار فناوری‌ها برسد و طبیعتاً دستیابی به بهره‌وری و انعطاف‌پذیری نیز ممکن نخواهد بود.

مدل MICMAC نیز تأکید می‌کند که صرف تمرکز بر فناوری، بدون آماده‌سازی سازمان از نظر ساختاری و منابع انسانی، به موفقیت منجر نخواهد شد. این تحلیل از دیدگاه سیستمی، مکمل تفسیر سلسله‌مراتبی مدل ISM است.

علاوه‌بر این ۵ حوزه کلیدی در زنجیره تأمین، شواهد نشان می‌دهد که فناوری‌های صنعت ۴.۰ به‌طور مستقیم بر بازاریابی و فروش نیز اثرگذارند. هوش مصنوعی و کلان‌داده ابزارهای قدرتمندی برای تحلیل اولویت‌های مشتری و بازاریابی پیش‌بینانه فراهم و اینترنت اشیا و پلتفرم‌های دیجیتال امکان ارتباط لحظه‌ای با مشتریان و ارائه خدمات سفارشی را تقویت می‌کنند. بلاکچین شفافیت و اعتماد مشتریان را در

تولیدی نیاز به بازمهندسی دارند تا با فناوری‌های صنعت ۴.۰ سازگار شوند. این بازطراحی باید مبتنی بر اصول چابکی، کاهش ضایعات، بهبود جریان اطلاعات و پاسخ‌گویی سریع به تغییرات بازار انجام شود.

۸. سازوکارهای ارزیابی و پایش اثربخشی پروژه‌ها: هرگونه پروژه تحول دیجیتال نیازمند طراحی سیستم ارزیابی مستمر است. سازمان باید از طریق شاخص‌های عملکردی مانند کارایی کل تجهیزات، نرخ انتظار، نرخ ضایعات، و سطح رضایت ذی‌نفعان، میزان موفقیت پروژه‌ها را پایش کند و در صورت نیاز اقدام اصلاحی انجام دهد.

### پیشنهاد‌های منابع انسانی و فرهنگ‌سازانه

۹. توانمندسازی و آموزش هدفمند منابع انسانی: یکی از موانع کلیدی در این پژوهش، کمبود مهارت دیجیتال در بین کارکنان بود. پیشنهاد می‌شود برنامه‌های آموزشی متنوعی در قالب کارگاه‌های عملی، دوره‌های آنلاین، و یادگیری مشارکتی طراحی و اجرا شود تا مهارت‌های مرتبط با فناوری‌های صنعت ۴.۰ در سطوح مختلف سازمان توسعه یابد.

۱۰. مدیریت هوشمندانه مقاومت فرهنگی کارکنان: مقاومت در برابر تغییر امری طبیعی است؛ اما اگر مدیریت به‌موقع و آگاهانه انجام نشود، می‌تواند مانع تحقق اهداف دیجیتال شود. پیشنهاد می‌شود از روش‌هایی چون «مدیریت تغییر مبتنی بر مشارکت»، جلسات شفاف‌سازی، ارائه داستان‌های موفقیت، و استفاده از سفیران تغییر درون‌سازمانی بهره‌گرفته شود.

۱۱. استقرار کارگروه‌های میان‌رشته‌ای برای هدایت پروژه‌ها: موفقیت در پروژه‌های صنعت ۴.۰ نیازمند همکاری نزدیک میان حوزه‌های فناوری اطلاعات، مهندسی، عملیات و منابع انسانی است. تشکیل کارگروه‌های میان‌رشته‌ای با اختیار تصمیم‌گیری مستقل، به‌عنوان راهکاری مؤثر در هم‌سویی واحدها و

۳. طراحی نظام انگیزشی متناسب با پذیرش فناوری‌های نوین: برای ارتقا سطح مشارکت و پذیرش در میان کارکنان و مدیران، لازم است مشوق‌هایی نظیر پاداش‌های عملکردی، فرصت‌های رشد شغلی و امتیازهای مشارکت فناوریانه در نظام ارزیابی منابع انسانی گنجانده شود.

### پیشنهاد‌های زیرساختی و فناوریانه

۴. سرمایه‌گذاری هدفمند در زیرساخت‌های دیجیتال: براساس یافته‌های مدل، زیرساخت فناوری به‌عنوان یک متغیر محرک کلیدی شناخته شده است؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود سازمان در حوزه‌هایی همچون توسعه شبکه‌های ارتباطی پایدار، سرورهای امن، تجهیزات اینترنت اشیا، ذخیره‌سازی ابری و سیستم‌های پردازش کلان‌داده سرمایه‌گذاری هدفمند انجام دهد.

۵. یکپارچه‌سازی سیستم‌های عملیاتی و اطلاعاتی: برای تحقق مزایای صنعت ۴.۰، لازم است میان سامانه‌های برنامه‌ریزی منابع سازمان، مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت ارتباط مشتری، سیستم اجرایی تولید و سیستم‌های مدیریت کیفیت و انبارداری، یکپارچگی کامل برقرار شود. این مسئله موجب کاهش زمان پردازش داده، بهبود تصمیم‌گیری بی‌درنگ و افزایش قابلیت واکنش در زنجیره تأمین خواهد شد.

۶. توسعه زیرساخت‌های امنیت سایبری: در محیط صنعت ۴.۰ که مبتنی بر اتصال بی‌وقفه سیستم‌ها و دستگاه‌هاست، امنیت اطلاعات به یکی از چالش‌های حیاتی تبدیل می‌شود. پیشنهاد می‌شود سازمان در قبال طراحی سیاست‌های امنیت داده، آموزش امنیت سایبری به کارکنان، و استقرار ابزارهای دفاعی اقدام کند.

### پیشنهاد‌های سازمانی و فرایندی

۷. بازطراحی فرایندهای کاری متناسب با قابلیت‌های دیجیتال: بسیاری از فرایندهای زنجیره تأمین صنایع

از آنجا که پژوهش حاضر در یک صنعت خاص با روش کیفی انجام شده، نتایج آن لزومی به تعمیم به تمام صنایع و شرکت‌ها ندارد. تفاوت‌های موجود در ساختار سازمانی، فرهنگ فناوری، سطح بلوغ دیجیتال و سیاست‌های حاکم بر سایر صنایع، ممکن است مسیر تحول دیجیتال آن‌ها را متفاوت سازد.

### منابع

طلالاری، محمد، و خوشرو، مینا (۱۴۰۱). تجزیه و تحلیل روند جهانی پژوهش‌های نسل چهارم بازاریابی: یک رویکرد آمیخته. *مجله تحقیقات بازاریابی نوین*، ۱۲(۲)، ۱۶۱-۱۸۸.

<https://doi.org/10.22108/nmrj.2022.133127.2677>  
نصرآبادی، غزل، امیری، صبا، و محمدی‌فر، یوسف (۱۴۰۴). بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر رضایت مشتریان در خرید کالاهای مصرفی. *مجله تحقیقات بازاریابی نوین*، ۱۵(۱)، ۸۷-۱۲۰.

<https://doi.org/10.22108/nmrj.2025.143880.3134>

### References

- Abdallah, A. B., Almomani, H. A., & Al-Zu'bi, Z. b. M. F. (2025). Industry 4.0-enabled supply chain performance: Do supply chain capabilities and innovation matter?. *Logistics*, 9(1), 36.  
<https://doi.org/10.3390/logistics9010036>
- Alabdali, M. A., & Salam, M. A. (2022). The impact of digital transformation on supply chain procurement for creating competitive advantage: An empirical study. *Sustainability*, 14(19), 12269 .  
<https://doi.org/10.3390/su141912269>
- Al-Banna, A., Yaqot, M., & Menezes, B. C. (2024). Investment strategies in Industry 4.0 for enhanced supply chain resilience: an empirical analysis. *Cogent business & management*, 11(1), 2298187.  
<https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2298187>

جلوگیری از جزیره‌ای شدن اقدام‌ها پیشنهاد می‌شود. افزون بر ابعاد عملیاتی و مدیریتی، نتایج این پژوهش از منظر بازاریابی نیز چشمگیر است. استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین، امکان شخصی‌سازی محصولات و خدمات، بهبود تجربه مشتری و ارتقای شفافیت و اعتماد در بازار را فراهم می‌آورد. این دستاوردها نه تنها زمینه ایجاد تمایز رقابتی را مهیا می‌کنند، بلکه جایگاه برند و رضایت مشتریان را نیز تقویت می‌سازند؛ بنابراین، پژوهش حاضر سهمی نظری و کاربردی در ادبیات بازاریابی ایفا می‌کند و نشان می‌دهد که صنعت ۴.۰ می‌تواند به‌عنوان محرکی کلیدی در توسعه بازار و ارتقای مزیت رقابتی سازمان‌ها عمل کند.

پژوهش حاضر بر مبنای رویکرد کیفی و نظریه داده‌بنیاد طراحی شده و تحلیل‌ها بیشتر مبتنی بر داده‌های حاصل از مصاحبه‌های نیمه‌ساخت یافته با خیرگان بوده است. با وجود دقت در انتخاب نمونه و رعایت اصول اشباع نظری، همچنان محدودیت‌هایی وجود دارد که ممکن است بر تکرارپذیری نتایج اثر بگذارد.

- 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>
- Al-Ibrahim, H. B., & Aksoy, M. S. (2024). IoT in supply chain management: An overview. *Journal of Advanced Management Science*, 12(2), 97-102 .  
<https://doi.org/10.18178/joams.12.2.97-102>
- Al-Mashalah, H., Hassini, E., Gunasekaran, A., & Bhatt, D. (2022). The impact of digital transformation on supply chains through e-commerce: Literature review and a conceptual framework. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 165, 102837.  
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102837>

- 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*, 10(17), e36421. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36421>
- Chatterjee, S., Chaudhuri, R., Gupta, S., Sivarajah, U., & Bag, S. (2023). Assessing the impact of big data analytics on decision-making processes, forecasting, and performance of a firm. *Technological Forecasting and Social Change*, 196, 122824. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122824>
- Culot, G., Podrecca, M., & Nassimbeni, G. (2024). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review of empirical studies and research directions. *Computers in Industry*, 162, 104132. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2024.104132>
- Emon, M. M. H., & Khan, T. (2025). The transformative role of Industry 4.0 in supply chains: Exploring digital integration and innovation in the manufacturing enterprises. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 11(2), 100516. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2025.100516>
- George, A. S. (2024). The fourth industrial revolution: a primer on industry 4.0 and its transformative impact. *Partners Universal Innovative Research Publication*, 2(1), 16-40. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10671872>
- George, A. S., & George, A. H. (2020). Industrial Revolution 5.0: the transformation of the modern manufacturing process to enable man and machine to work hand in hand. *Journal of Seybold Report*, 15(9), 214-232. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6548092>
- Ghani, S. (2024). Revolutionizing supply chains: A comprehensive study of Industry 4.0 technologies (IoT, Big Data, AI, etc.). *International Journal of Scientific Research in Engineering And Management*, 8(4), 1-5. <https://doi.org/10.55041/IJSREM30037>
- Han, H., & Li, J. (2025). Leveraging industry 4.0 technologies for sustainable supply chain management: A systematic review. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 16, 100246. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2025.100246>
- Herbke, P., Lamichhane, S., Barman, K., Pandey, S. R., Kupper, A., Abraham, A., & Sabadello, M. (2024). *DIDChain: Advancing supply chain data management with decentralized identifiers and blockchain*. Paper presented at the 2024 IEEE International Conference on Service-Oriented System Engineering (SOSE) <https://doi.org/10.1109/SOSE62363.2024.00013>
- Huang, K., Wang, K., Lee, P. K. C., & Yeung, A. C. L. (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>
- Hübschke, M., Buss, E., Holschbach, E., & Lier, S. (2025). Blockchain in supply chain management: A comprehensive review of success measurement methods. *Management Review Quarterly*, 1-55. <https://doi.org/10.1007/s11301-025-00546-0>
- Iseri, F., Iseri, H., Chrisandina, N. J., Iakovou, E., & Pistikopoulos, E. N. (2025). AI-based predictive analytics for enhancing data-driven supply chain optimization. *Journal of Global Optimization*. <https://doi.org/10.1007/s10898-025-01509-1>
- Jamarani, A., Haddadi, S., Sarvizadeh, R., Haghi Kashani, M., Akbari, M., & Moradi, S. (2024). Big data and predictive analytics: A systematic review of applications. *Artificial Intelligence Review*, 57(7), 176. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10811-5>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E. S. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0

- technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203-217.  
<https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>
- Kareem, S., Fehrer, J. A., Shalpegin, T., & Stringer, C. (2025). Navigating tensions of sustainable supply chains in times of multiple crises: A systematic literature review. *Business Strategy and the Environment*, 34(1), 316-337  
<https://doi.org/10.1002/bse.3990>
- Karim, M. R., Rodgers, D. C., & Hossain, M. A. (2024). The role of Internet of Things (IoT) in real-time supply chain monitoring. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 8(10), 1800-1816  
<https://doi.org/10.47772/IJRIS.2024.8100157>
- Kotzias, K., Bukhsh, F. A., Arachchige, J. J., Daneva, M., & Abhishta, A. (2022). Industry 4.0 and healthcare: Context, applications, benefits and challenges. *IET Software*.  
<https://doi.org/10.1049/sfw2.12074>
- Kumar, V., Ashraf, A. R., & Nadeem, W. (2024). AI-powered marketing: What, where, and how?. *International journal of information management*, 77(3), 102783.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2024.102783>
- Lebcir, I., KADI, O., Venkatachari, K., Sundrani, D., & Ray, A. P. (2025). Blockchain and smart contracts in consumer transactions: implications for marketing and finance. *Advances in Consumer Research*, 2(3), 391-340 .  
<https://doi.org/110.1109/ce2ct64011.2025.10939502>
- Li, Z., Gu, W., & Meng, Q. (2023). The impact of COVID-19 on logistics and coping strategies: a literature review. *Regional Science Policy & Practice*, 15(8), 1768-1795. <https://doi.org/10.1111/rsp3.12665>
- Mubarik, M. S., & Khan, S. A. (2024). Digital supply chain and Industry 4.0 technologies. In M. S., Mubarik & S. A. Khan (Eds.), *The Theory, Methods and Application of Managing Digital Supply Chains* (pp. 121-132). Emerald Publishing Limited.  
<https://doi.org/10.1108/978-1-80455-968-020241008>
- Mutale, M., & Mutono-Mwanza, B. G. (2024). The Effects of Industry 4.0 Technologies on supply chain management performance: A case study of DHL Zambia. *African Journal of Commercial Studies*, 5(2), 80-106  
<https://doi.org/10.59413/ajocs/v5.i.2.4>
- Nasrabadi, G., Amiri, S., & Mohamadifar, Y. (2025). Examining the impact of artificial intelligence on customer satisfaction in consumer goods purchases. *New Marketing Research Journal*, 15(1), 87-120.  
<https://doi.org/10.22108/nmrj.2025.143880.3134>
- Ostadi, B., Barrani, L., & Aghdasi, M. (2024). Developing a strategic roadmap towards integration in Industry 4.0: A dynamic capabilities theory perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 208, 123679  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123679>
- Pandey, B. K., Paramashivan, M. A., Mahajan, R., Mahajan, D. A., Behare, N., Gowwrii, G., & Pramanik, S. (2024). Applications of artificial intelligence and machine learning in supply chain management: An in-depth investigation. In B. K. Pandey, U. K. Kanike, A. S. George & D. Pandey (Eds.), *AI and Machine Learning Impacts in Intelligent Supply Chain* (pp. 74-90). IGI Global.  
<https://www.igi-global.com/gateway/chapter/338141>
- Popov, V. V., Kudryavtseva, E. V., Kumar Katiyar, N., Shishkin, A., Stepanov, S. I., & Goel, S. (2022). Industry 4.0 and digitalisation in healthcare. *Materials*, 15(6), 2140.  
<https://doi.org/10.3390/ma15062140>
- Reaidy, P., Alaeddini, M., Gunasekaran, A., Lavastre, O., & Shahzad, M. (2024). Unveiling the impact of industry 4.0 on supply chain performance: the mediating

- role of integration and visibility. *Production Planning & Control*, 1-22  
<https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2440454>
- Talari, M., & Khoshroo, M. (2022). Analyzing the global trend of Marketing 4.0 researches: A mixed-methods approach. *new Marketing Research Journal*, 12(2), 161-188.  
<https://doi.org/10.22108/nmrj.2022.133127.2677>
- Tang, Z., Zeng, C., & Zeng, Y. (2025). Research on data security in industry 4.0 manufacturing industry against the background of privacy protection challenges. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 38(5), 636-648  
<https://doi.org/10.1080/0951192X.2024.2319656>
- Tripathi, G., Ahad, M. A., & Casalino, G. (2023). A comprehensive review of blockchain technology: Underlying principles and historical background with future challenges. *Decision Analytics Journal*, 9, 100344.  
<https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100344>
- Valamede, L. S., & Santos Akkari, A. C. (2021). *Health 4.0: a conceptual approach to evaluate the application of digital technologies in the healthcare field*. the 6th Brazilian Technology Symposium (BTSym'20) Emerging Trends and Challenges in Technology.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-75680-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75680-2_3)
- Wei, C., Zelditch, B., Chen, J., Ribeiro, A. A. S. T., Tay, J. K., Elizondo, B. O., Almeida, L. B. D. (2024). *Neural optimization with adaptive heuristics for intelligent marketing system*. the 30th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining.  
<https://doi.org/10.1145/3637528.3671591>
- Zrelli, I., & Rejeb, A. (2024). A bibliometric analysis of IoT applications in logistics and supply chain management. *Heliyon*, 10(16), e36578.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36578>

