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).

10.22108/nmrj.2025.145929.3216

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 4th 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 10th 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تحقیقات بازاریابی نوین
سال پانزدهم، شماره سوم، شماره پیاپی (۵۸) ۱۴۰۴
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۱۰
ص: ۱۶۰- ۱۳۳

مقاله پژوهشی

ارائۀ مدل مفهومی استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیرۀ تأمین با رویکرد نظریۀ داده‌بنیاد

ساناز شفیعی*
استادیار، گروه مدیریت بازرگانی و مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکدۀ 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 زنجیرۀ تأمین انجام شده است. این مطالعه ازنظر ماهیت، کیفی و ازنظر راهبرد پژوهش، مبتنی‌بر نظریۀ داده‌بنیاد (Grounded Theory) است. داده‌های پژوهش ازطریق مصاحبه‌های نیمه‌ساخت‌یافته با ۱۰ نفر از خبرگان صنعتی و دانشگاهی گردآوری شده است. برای تحلیل داده‌ها، از کدگذاری سه‌مرحله‌ای 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 زنجیرۀ 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 زنجیرۀ تأمین، مشروط به تحقق مؤلفه‌های سطح پایین‌تر است. تحلیل MICMAC نیز مؤلفه‌هایی مانند فشار بازار، راهبرد دیجیتال و زیرساخت فناوری را به‌عنوان عوامل محرک و مؤثر در تحول زنجیرۀ تأمین معرفی کرد. کاربردهای نتایج این پژوهش را می‌توان در طراحی نقشه‌راه تحول دیجیتال، توسعۀ سیاست‌های سازمانی برای پذیرش فناوری، بازمهندسی فرایندهای زنجیرۀ تأمین، ارتقا مهارت دیجیتال کارکنان، و تدوین سیاست‌های ملی در حوزۀ صنعت ۴.۰ **دانست.**

کلیدواژه‌ها: صنعت ۴.۰، زنجیرۀ تأمین هوشمند، تحول دیجیتال، نظریۀ داده‌بنیاد، مدل‌سازی ساختاری تفسیری، تحلیل MICMAC.

---

* نویسنده مسؤول

شفیعی، ساناز . (۱۴۰۴). ارائه مدل مفهومی استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین با رویکرد نظریه داده بنیاد، *تحقیقات بازاریابی نوین*، ۱۵ (۳)، ۱۳۳- ۱۶۰ .

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).

10.22108/nmrj.2025.145929.3216

۱. مقدمه

افزایش رقابت جهانی، تغییر در الگوهای مصرف، کاهش چرخهٔ عمر محصولات، گسترش بازارهای دیجیتال، نیاز به انعطاف‌پذیری بیشتر و تاب‌آوری در برابر اختلالات باعث شده که زنجیره‌های تأمین به‌عنوان ستون فقرات سازمان‌ها، به یکی از محورهای بسیار مهم تحول راهبردی تبدیل شوند. در چنین بستری، سازمان‌ها برای بقا و توسعه، ناگزیر به بازاندیشی در روش‌های مدیریت زنجیرهٔ تأمین و حرکت به‌سمت دیجیتالی شدن و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین هستند (Al Mashalah et al., 2022; Alabdali et al., 2022).

ظهور مفهوم صنعت ۴.۰ که به‌عنوان موج چهارم انقلاب صنعتی شناخته می‌شود، نقطهٔ عطفی در تحول زنجیره‌های تأمین به حساب می‌آید (Emon et al., 2025; Ostadi et al., 2024). این مفهوم با تکیه بر فناوری‌هایی همچون اینترنت اشیا (Internet of Things (IoT))، هوش مصنوعی (Artificial Intelligence)، کلان‌داده (Big Data)، بلاکچین (Blockchain)، واقعیت مجازی (Virtual Reality)، واقعیت افزوده (Augmented Reality)، رباتیک پیشرفته و محاسبات ابری (Cloud Computing)، امکان اتصال بی‌درنگ تمامی اجزای زنجیرهٔ تأمین، جمع‌آوری و تحلیل حجم عظیمی از داده‌ها، بهینه‌سازی خودکار فرایندها و افزایش شفافیت در کل زنجیره را فراهم می‌کند (George, 2024; Huang et al., 2023).

افزون‌بر نقش مهم این فناوری‌ها در بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین، شواهد نشان می‌دهد که فناوری‌های صنعت ۴.۰ کاربردهای حیاتی در بازاریابی و فروش نیز دارند. بازاریابی معاصر به‌شدت متکی بر داده‌های هوشمند و فناوری‌های صنعت ۴.۰ است که زنجیرهٔ تأمین را بهینه و بازاریابی و فروش را نیز تقویت می‌کند (نصرآبادی و همکاران، ۱۴۰۴). پیشینهٔ نظری نشان می‌دهد که بازاریابی طی چهار نسل تکامل یافته است: نسل محصول‌محور، نسل مشتری‌محور، نسل انسان‌محور و، جدیدترین نسل، یعنی نسل چهارم، مبتنی‌بر فناوری‌های ارتباطی و اطلاعاتی و ناشی از توسعهٔ سریع فناوری‌های تحول‌آفرین است (طالاری و خوشرو، ۱۴۰۱)؛ برای مثال، مطالعات اخیر نشان داده است که هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های مشتریان می‌تواند فرایند شخصی‌سازی پیشنهادهای بازاریابی را بهبود دهد و تصمیم‌گیری بازاریابی را هوشمندتر سازد (Kumar et al., 2024). همچنین، چارچوب‌های پیشرفتهٔ بازاریابی مبتنی‌بر بهینه‌سازی عصبی، عملکرد کلی بازاریابی را در سطح سازمانی بهبود بخشیده است (Wei et al., 2024). ازسوی‌دیگر، بلاکچین و قراردادهای هوشمند نیز در مدیریت برند، شفافیت تراکنش‌ها و اعتماد مشتری مؤثرند. مطالعات نشان می‌دهند بلاکچین می‌تواند نفوذ خود را در مبادلات مصرفی و جنبه‌های مالی بازاریابی اعمال کند (Lebcir et al., 2025). بدین ترتیب، فناوری‌های کلیدی صنعت ۴.۰، نه‌تنها در بهبود عملیات زنجیرهٔ تأمین، بلکه در تقویت فرایندهای بازاریابی و فروش شرکت‌ها و جوامع اقتصادی نیز معطوف است.

باوجود این مزایا، پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ در زنجیره‌های تأمین با چالش‌های گسترده‌ای همراه است. نبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات قدرتمند و پایدار، یکپارچه نبودن سیستم‌های فعلی با فناوری‌های نوین، کمبود نیروی انسانی با مهارت‌های مرتبط با داده، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا، مقاومت فرهنگی در برابر تغییر و نبود فرهنگ داده‌محور، ازجمله موانع عمدهٔ این تحول‌اند. علاوه‌بر این، چالش‌های جدی در حوزهٔ امنیت سایبری، حفاظت از داده‌ها و نگرانی‌های حقوقی مرتبط

با بـه اشـتراک‌گذاری داده در اکوسیسـتم‌های گسـتردهٔ زنجیرهٔ تأمین نیز به موانع ساختاری این مسیر افزوده اسـت (Arif et al., 2023; Reaidy et al., 2024).

چـالش دیگـر، موضـوع اقتصـادی اسـت. سرمایه‌گذاری‌های اولیه برای پیاده‌سازی زیرساخت‌های صنعت ۴.۰ بسیار هنگفت است و بسیاری از سازمان‌ها در ارزیابی دقیق بازگشت سرمایه با تردید مواجه‌انـد (Al-Banna et al., 2024). نبـود مـدل‌های بومی‌شـده، استانداردهای مشخص و نقشهٔ راه شفاف نیـز رونـد ایـن پیاده‌سازی را دشوارتر می‌کند.

ازسـوی‌دیگر، افـزایش ریسـک‌های ناشـی از اختلالات زنجیرهٔ تـأمین در سـال‌های اخیـر –بـه‌ویژه در پی بحران‌های جهانی نظیـر پانـدمی کرونـا، جنگ‌هـای منطقه‌ای، تغییرات اقلیمی و کمبود مـواد اولیـه– ضـرورت حرکت به‌سمت زنجیره‌های تأمین هوشـمند و تـاب‌آور را دوچندان کرده است. زنجیرهٔ تأمینی که نتواند با استفاده از داده‌هـای لحظـه‌ای، الگوریتم‌هـای پیش‌بینـی، ردیـابی بی‌درنگ و شبیه‌سازی دیجیتال، واکنش سریع به تغییـرات محیطی داشته باشد، به‌سرعت از بازار رقابتی حذف خواهد شد (Kareem et al., 2025; Li et al., 2023).

مسـئلهٔ کلیـدی اینجاسـت کـه چگونـه می‌تـوان بـا بهره‌گیـری از فناوری‌هـای صـنعت ۴.۰، سـاختار زنجیره‌هـای تـأمین را به‌گونـه‌ای بـازطراحی کـرد کـه شفافیت و قابلیت ردیابی در کل زنجیره افـزایش یابـد و در عین حال، ضمن بهبود بهره‌وری، هزینه‌های عملیاتی کاهش، تصمیم‌گیری‌ها سریع‌تر و دقیق‌تر انجـام شـود و با افزایش تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری سیستم نیـز پاسـخ به تغییـرات بـازار تسـهیل شـود. علاوه‌بـر ایـن، تجربـه و رضایت مشتری ازطریـق تحویـل سـریع‌تر و باکیفیـت‌تر ارتقـا یابـد و در نهایـت حرکـت به‌سـمت پایـداری زیست‌محیطی و کاهش پیامدهای منفی آن تحقـق پیـدا کنـد (Alfaqiyah et al., 2025; Arif et al., 2023; Javaid et al., 2022). ایـن اهـداف درصـورتی محقـق خواهـد شـد کـه موانـع سـاختاری، فرهنگـی، فنـی و اقتصـادی کـه پـیشِ روی سـازمان‌ها در مسـیر تحـول دیجیتال قرار دارد، شناسایی، تحلیل و مدیریت شود.

در چند سال اخیر، پژوهشـگرانی ماننـد Mutale et al. (2024)، Abdallah et al. (2025) و Al-Okaily et al. (2024) بـر اسـتفاده از فناوری‌هـای صـنعت ۴.۰ بـرای توسـعه و بهینه‌سـازی سیسـتم‌ها در حوزه‌هـای عملیاتی مختلف، به‌ویژه صنایع تولیدی، تأکید کرده‌اند. برخـی پژوهش‌هـا از فناوری‌هـای کلیـدی صـنعت ۴.۰ مانند رایانش ابری و اینترنت اشیا صـحبت می‌کننـد؛ امـا برخی از تعاریف و مفاهیم مربوطه هنوز استانداردسازی نشده‌اند (Kotzias et al., 2022). برخی پژوهش‌هـا نیـز رونـدهای اصـلی، چالش‌هـا و مزایـای اسـتفاده از فناوری‌های نوین در صنعت ۴.۰ و مشکلات عمده مانند امنیـت و حـریم خصوصـی، الزامـات داده‌هـا و استانداردسازی نشـدن را بررسـی کرده‌انـد (Popov et al., 2022; Tang et al., 2025; Valamede et al., 2021). ایـن مطالعـات نشـان می‌دهنـد کـه کـاربرد فناوری‌هـایی ماننـد اینترنـت اشـیا، هـوش مصـنوعی، کلان‌داده، بلاکچین، واقعیت افزوده و واقعیت مجـازی می‌تواند منجر بـه بهبـود بهـره‌وری، افـزایش شـفافیت و قابلیت ردیابی، کاهش خطاهای عملیاتی، بهبود سـرعت و دقـت تصـمیم‌گیری و ارتقـای رضـایت مشـتری در زنجیره‌های تأمین شود. باوجود این، بسیاری از تعـاریف و استانداردهای مرتبط با پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰ هنوز به‌صورت جامع تدوین نشده‌اند (Abdallah et al., 2025; Ghani, 2024; Han et al., 2025).

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

استقرار صنعت ۴.۰ و تبیین روابط میان این عوامل در مسیر پیاده‌سازی صنعت ۴.۰، در زنجیره‌های تأمین صنایع تولیدی است. این پژوهش به‌طور 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 پیشِ روی 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 زنجیرهٔ 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 به‌صورت 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 مبتنی‌بر نظریهٔ داده‌بنیاد و تحلیل ساختاری تفسیری، تلاش دارد روابط علّی 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 علاوه‌بر ارزش نظری، می‌تواند به‌عنوان راهنمای عملی برای تصمیم‌گیرندگان و مدیران زنجیرهٔ تأمین در استقرار موفق صنعت ۴.۰ استفاده شود. به‌این‌ترتیب، پژوهش حاضر نه‌تنها 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 ارزش‌افزودهٔ چشمگیری برای نظریه و عمل در حوزهٔ مدیریت زنجیرهٔ تأمین ایجاد می‌کند.

۲. پیشینهٔ پژوهش

صنعت ۴.۰، که به‌عنوان چهارمین انقلاب صنعتی شناخته می‌شود، با اتکا بر مجموعه‌ای از فناوری‌های پیشرفته ازجمله اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی، تحلیل‌های داده‌های حجیم و هم‌گرایی دیجیتال؛ ساختار طراحی، تولید، توزیع و مدیریت زنجیره‌های تأمین را بازتعریف کرده است. در قالبِ زنجیرهٔ تأمین هوشمند، اجزای زنجیره به‌صورت بی‌درنگ به یکدیگر متصل می‌شوند، تصمیم‌گیری‌ها بر پایهٔ داده و الگوریتم‌های تحلیلی انجام می‌شود و فرایندها به‌سمت خودکارسازی، انعطاف‌پذیری و هم‌زمانی عملکردی حرکت می‌کنند این تغییر فناورانه، نه‌تنها کارایی و شفافیت را افزایش می‌دهد، بلکه قابلیت‌های واکنش سریع، تاب‌آوری و پایداری زنجیره را نیز تقویت می‌کند؛ ازاین‌رو تحول دیجیتال به‌عنوان 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 به‌عنوان رکن‌های اصلی صنعت ۴.۰ شناخته می‌شوند. با بهره‌گیری از این فناوری‌ها، ارتباط پیوسته بین ماشین‌ها، انسان‌ها و

سامانه‌ها ممکن می‌شود و این زمینه را فراهم می‌آورد که زنجیرهٔ تأمین به‌شکلی خودمختار، قابل ردیابی و چابک عمل کند. به‌کارگیری این ابزارها تصمیم‌گیری‌های زنجیرهٔ 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 زنجیرهٔ 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؛ بااین‌حال، پژوهش‌های موجود بیشتر بر جنبه‌های جداگانهٔ این فناوری‌ها تمرکز کرده و به تأثیر یکپارچهٔ آن‌ها بر بهینه‌سازی زنجیرهٔ 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 نه‌تنها به کاهش تأخیرها کمک می‌کند، بلکه موجب افزایش شفافیت و اطمینان در کل شبکهٔ تأمین می‌شود. این قابلیت‌ها مدیریت موجودی را بهینه کرده، از بروز کمبود کالا جلوگیری می‌کند و کارایی فرایندهای لجستیکی را بهبود می‌بخشد. افزون‌بر این، اینترنت اشیا ازطریق 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).

کاربردهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در مدیریت زنجیرهٔ 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. علاوه‌بر این، سیستم‌های تصمیم‌گیری خودکار مبتنی‌بر AI می‌توانند در برابر اختلالات بازار واکنش سریع نشان دهند و در نتیجه چابکی، انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری زنجیرهٔ 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 زنجیرهٔ تأمین شناخته شده است. این فناوری با ایجاد دفتر کل 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 کنند (Herbke et al., 2024; Tripathi et al., 2023).

در حوزهٔ 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

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. علاوه‌بر این، سازمان‌ها برای مدیریت و نگهداری این فناوری‌ها به نیروی انسانی متخصص نیاز دارند که به‌ویژه برای کسب‌وکارهای کوچک و متوسط چالش‌برانگیز است.

پژوهش‌های موجود، نبود بررسی جامعی از تأثیر یکپارچهٔ فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر زنجیرهٔ تأمین تولیدی را نشان می‌دهند. بیشتر پژوهش‌ها فقط بر کاربردهای جداگانهٔ هر فناوری تمرکز کرده‌اند و تأثیر ترکیبی آن‌ها بر بهینه‌سازی و هوشمندسازی زنجیرهٔ تأمین به‌درستی بررسی نشده است. این پژوهش با هدف بررسی یکپارچهٔ نقش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در ایجاد زنجیره‌های تأمین هوشمند و کارآمد انجام می‌شود و به‌دنبال ارائهٔ 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 علّی میان این عوامل با استفاده از روش‌شناسی کیفی و مبتنی‌بر داده‌های میدانی پرداخته است. همچنین، در کشورهای در حال توسعه، پژوهش‌های میدانی با هدف ارائهٔ مدل‌های بومی برای استقرار صنعت ۴.۰، در زنجیرهٔ تأمین، بسیار محدود است. پژوهش حاضر با استفاده از نظریهٔ داده‌بنیاد و تحلیل ساختاری تفسیری، تلاش دارد مدلی مفهومی 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 زنجیرهٔ تأمین شناسایی شد. ازجملهٔ 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, 2024; George et al., 2020; Huang et al., 2023)، 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 زنجیرهٔ تأمین (Chatterjee et al., 2023; Pandey et al., 2024) اشاره کرد. در کنار این مؤلفه‌ها، داده‌های حاصل از مصاحبه‌های نیمه‌ساخت‌یافته 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 زنجیرهٔ تأمین برجسته می‌سازند. همچنین، نظریهٔ پذیرش فناوری (Technology Acceptance Model) و نظریهٔ انتشار نوآوری‌ها، نقش عوامل رفتاری و فرهنگی را در پذیرش و به‌کارگیری فناوری‌های نوین توضیح می‌دهند. در نهایت، نظریهٔ سیستم‌ها مبنای رویکرد سیستمی پژوهش را فراهم و ارتباط متقابل میان مؤلفه‌ها را توجیه می‌کند؛ موضوعی که با استفاده از

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. ازنظر هدف، پژوهش حاضر توسعه‌ای-کاربردی و ازنظر ماهیت، کیفی با رویکرد نظریهٔ داده‌بنیاد است. داده‌ها در مرحلهٔ نخست ازطریق مصاحبه‌های نیمه‌ساخت‌یافته با ۱۰ نفر از خبرگان صنعتی و دانشگاهی گردآوری شد. سؤالات مصاحبه بر مبنای بررسی نقش فناوری‌های کلیدی صنعت ۴.۰ (اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده، بلاکچین، واقعیت افزوده و مجازی، رباتیک پیشرفته و محاسبات ابری) طراحی شد تا ابعاد مختلف استقرار این فناوری‌ها در زنجیرهٔ تأمین پوشش داده شود.

برای تحلیل داده‌های کیفی، از کدگذاری سه‌مرحله‌ای استراوس و کوربین 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 زمرهٔ روش‌های آمیخته اکتشافی-توالی قرار می‌گیرد، بدین معنا که ابتدا مرحلهٔ کیفی (استخراج مفاهیم ازطریق نظریهٔ داده‌بنیاد) انجام و سپس مرحلهٔ کمی-ساختاری (سطح‌بندی و تحلیل روابط میان متغیرها با ISM و MICMAC) برای تقویت و تبیین یافته‌ها به کار گرفته شد. برای اجرای مصاحبه‌ها، پرسش‌نامهٔ نیمه‌ساختاریافته‌ای همراه با فهرستی از سؤالات اصلی به‌عنوان راهنمای مصاحبه تهیه شد. طراحی سؤالات بر پایهٔ چارچوب نظری پژوهش، سؤالات اصلی تحقیق، و مرور نظام‌مند منابع علمی صورت گرفت و سپس با مشورت دو خبرهٔ دانشگاهی، اصلاحات محتوایی و مفهومی در آن اعمال شد.

نمونه‌گیری در بخش کیفی به‌صورت هدفمند و قضاوتی انجام شد. درمجموع، با ۱۰ نفر از خبرگان صنعتی و دانشگاهی مصاحبه انجام شد. مصاحبه‌ها تا مرحله‌ای ادامه یافت که اشباع نظری حاصل شد؛ یعنی پس‌از مصاحبهٔ 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

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

به‌منظور اطمینان از روایی داده‌های کیفی و اعتبار کدهای استخراج‌شده، 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 نظریهٔ داده‌بنیاد انجام شد. مراحل تحلیل شامل کدگذاری باز، کدگذاری محوری و کدگذاری انتخابی بود.

پس‌از شناسایی و فهرست کردن تمامی شاخص‌ها برای تشخیص روابط درونی متغیرها از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری استفاده شده است که روشی مناسب برای تجزیه‌وتحلیل تأثیر یک متغیر بر متغیرهای دیگر است.

٤. 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 بازِ استخراج شده از مصاحبه‌های انجام شده را نشان می‌دهد. به‌منظور شفاف‌سازی فرایند تحلیل داده‌ها، در جدول ۳ نمونه‌ای از شواهد گفتاری خبرگان مرتبط با کدهای باز استخراج‌شده ارائه شده است.

جدول ۲ – کدهای حاصل از کدگذاری باز

Table 2 - Codes Resulting From Open Coding

ردیف	کد باز استخراج‌شده	ردیف	کد باز استخراج‌شده
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	استفادهٔ محدود از دوقلوی دیجیتال
۴	پیش‌بینی تقاضا با کلان‌داده	۳۴	ترس از پایش دائمی عملکرد
۵	بهینه‌سازی انبار با هوش مصنوعی	۳۵	پراکندگی دادهٔ مشتری
۶	آموزش دیجیتال با واقعیت افزوده	۳۶	نبود هم‌راستایی بین واحدهای سازمانی

ردیف	کد باز استخراج‌شده	ردیف	کد باز استخراج‌شده
۷	بی‌اعتمادی به فناوری	۳۷	نداشتن بلوغ دیجیتال در زنجیرهٔ تأمین
۸	نگرانی دربارهٔ از دست رفتن شغل	۳۸	همگام‌سازی اطلاعات فروش و انبار
۹	هزینهٔ اولیهٔ 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 گزارش‌دهی	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	فاصلهٔ فناورانه با تأمین‌کنندگان بین‌المللی
۲۰	افزایش انعطاف‌پذیری تأمین	۵۰	نبود توازن فناورانه در زنجیرهٔ 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 زنجیرهٔ تأمین	۵۷	استمرار فرایندهای غیرخودکار
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 استخراج‌شده

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

ردیف کد باز	کد باز استخراج‌شده	نمونه شواهد گفتاری خبرگان
۱	پیش‌بینی خرابی با اینترنت اشیا	با نصب حسگرها روی تجهیزات، می‌توانیم خرابی‌ها را قبل‌از 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 به‌صورت 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 برنامهٔ مشخصی برای دیجیتالی کردن فرایندها ندارد و این مانع پیاده‌سازی فناوری‌ها می‌شود.

ردیف کد باز	کد باز استخراج‌شده	نمونه شواهد گفتاری خبرگان
۲۰	افزایش انعطاف‌پذیری تأمین	وقتی اطلاعات لحظه‌ای موجود باشد، می‌توانیم سریع‌تر منابع جایگزین پیدا کنیم و انعطاف‌پذیری زنجیرهٔ تأمین افزایش می‌یابد.
۲۳	کاهش تأخیر با اطلاعات بی‌درنگ	داده‌های واقعی زمان‌بندی حمل‌ونقل باعث شده تا تأخیرها به حداقل برسد.
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 همهٔ عملکردشان 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.

پس‌از این مرحله کدها به‌صورت مقدماتی در دسته‌های مفهومی اولیه دسته‌بندی شده‌اند. کدگذاری محوری فرایندی است برای برقراری ارتباط نظام‌مند میان کدهای باز (مفاهیم اولیه)، ترکیب آن‌ها در قالب مقوله‌های اصلی (محوری) و سازمان‌دهی آن‌ها با استفاده از الگوی پارادایمی کدگذاری. از میان بیش از ۶۰ کد باز استخراج‌شده، مقولات زیر شناسایی و در قالب الگوی پارادایمی مطابق جدول ۴ طبقه‌بندی شده‌اند:

جدول ۴- کدگذاری محوری

Table 4- Axial Coding

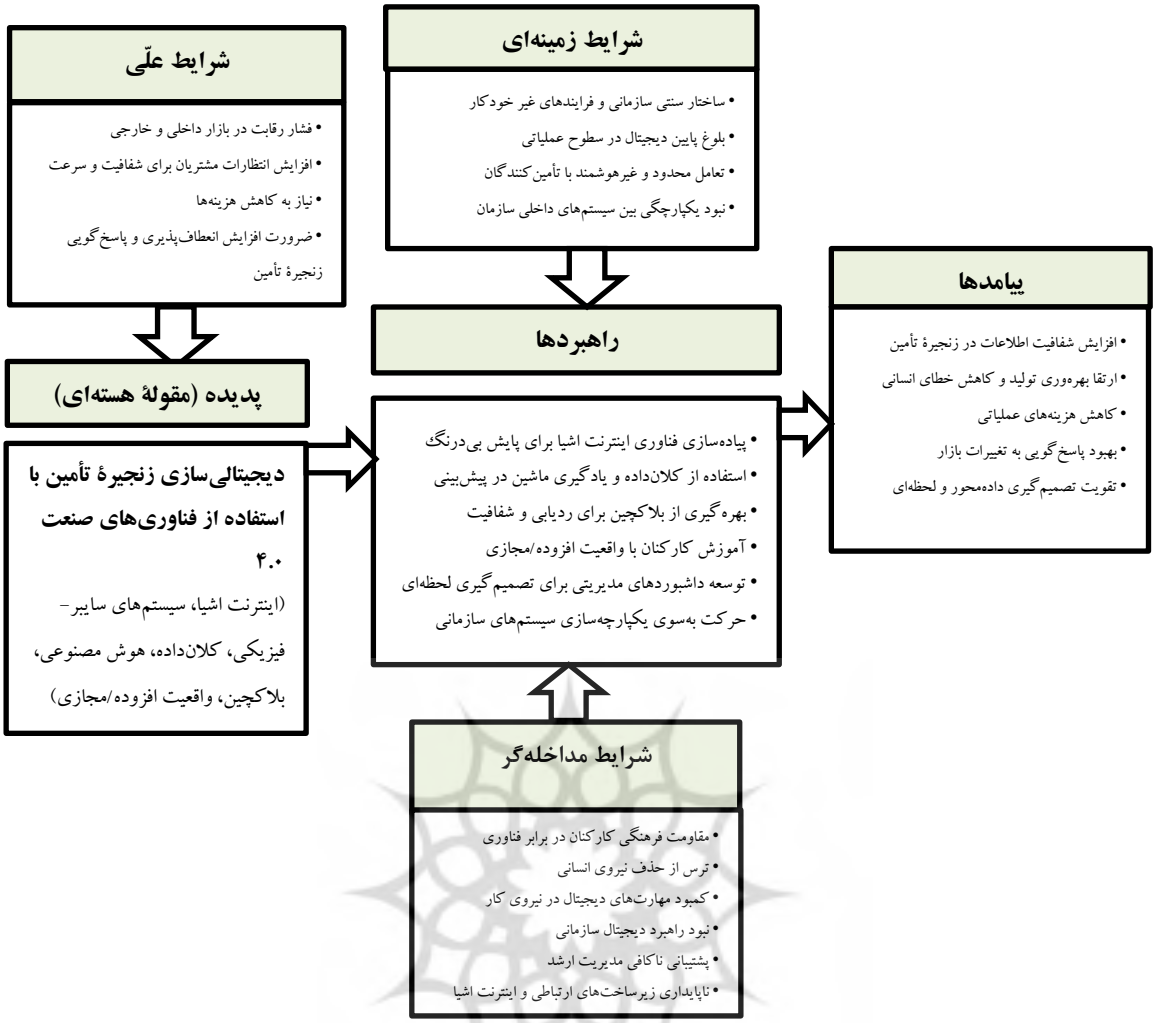
شرایط علّی	
مفاهیم کلیدی استخراج‌شده	**شرح**
فشار برای کاهش هزینه	رقابت داخلی و خارجی
نیاز به انعطاف‌پذیری تأمین	نوسانات عرضه و تقاضا
انتظارات جدید مشتریان	سرعت، شفافیت، کیفیت بالا
پدیده‌محوری	
دیجیتالی‌سازی زنجیرهٔ تأمین با صنعت ۴.۰	به‌کارگیری فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، سیستم‌های سایبری فیزیکی،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

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

پس‌از بررسی ۶۰ کد باز و ۶ مقولهٔ محوری در کدگذاری محوری، مقوله‌ای که بیشترین ارتباط را با سایر مفاهیم دارد و در مرکز شبکهٔ مفهومی قرار گرفته، عبارت است از: دیجیتالی‌سازی زنجیرهٔ تأمین با استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰؛ این مقوله، به‌عنوان پدیده بنیادین پژوهش، سایر مقولات را در دل خود جای می‌دهد.

بر پایهٔ تحلیل داده‌های کیفی با روش کدگذاری باز و محوری (براساس الگوی استراوس و کوربین) و ازطریق تحلیل محتوا بر روی داده‌های مصاحبه، در نهایت ۶ مقوله مفهومی و ۲۵ کد نهایی در قالب الگوی علّی، زمینه‌ای، مداخله‌گر، پدیده‌محوری، راهبرد و پیامد شناسایی شدند. شکل ۱ مدل مفهومی استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیرهٔ تأمین را نشان می‌دهد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



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

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

۱-۴- مدل‌سازی ساختاری تفسیری

براساس نتایج کدگذاری انتخابی در نظریهٔ داده‌بنیاد، ۱۱ متغیر کلیدی از میان مقولات نهایی (شامل شرایط علّی، زمینه‌ای، مداخله‌گر، پدیده‌محوری، راهبردها و پیامدها) برای مدل‌سازی ISM انتخاب شد. این متغیرها به‌دلیل 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 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 تأییدشده را که پس از تحلیل داده‌های کیفی برای ورود به مدل ISM انتخاب شده‌اند، نشان می‌دهد.

جدول ۵ - متغیرهای تأییدشده برای ورود به مدلISM

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 ۴.۰
۴	مقاومت فرهنگی کارکنان	۴.۴	✓	عامل مهم در شکست یا موفقیت تحول دیجیتال
۵	کمبود مهارت دیجیتال	۴.۵	✓	در لایهٔ عملیاتی بسیار تعیین‌کننده است.
۶	نبود راهبرد دیجیتال	۴.۲	✓	بدون راهبرد، تلاش‌ها پراکنده است.
۷	استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰	۴.۹	✓	هستهٔ اصلی تحول زنجیرهٔ تأمین
۸	آموزش و توانمندسازی کارکنان	۴.۵	✓	تسهیل‌کنندهٔ 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 زنجیرهٔ تأمین	۴.۸	✓	پیامد راهبرد کلان اجرای موفق تحول دیجیتال

برای مدل ساختاری-تفسیری، ۱۱ متغیر زیر وارد ماتریس SSIM شده است. پس‌از 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 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.

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

در گام بعدی فرایند مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، با استفاده از ماتریس دسترسی نهایی، سطح مفاهیم کلیدی تعیین شد. این فرایند با تحلیل مجموعه‌های دسترسی (Reachability Set)، مجموعه‌های پیش‌نیاز (Antecedent Set) و اشتراک این دو برای هر متغیر انجام شد. مفاهیمی که در آن‌ها مجموعه دسترسی و

اشتراک برابر بودند، در سطح اول مدل قرار گرفتند. پس‌از حذف مفاهیم سطح اول از ماتریس، این روند برای تعیین سطوح بالاتر به‌صورت گام‌به‌گام تکرار شد. در نهایت، تمامی مفاهیم در چندین سطح منطقی دسته‌بندی و پایه‌گذار ترسیم مدل نهایی ISM شدند.

در مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، سطح‌بندی مفاهیم یکی از مراحل کلیدی برای درک سلسله‌مراتب تأثیرگذاری مفاهیم بر یکدیگر است. این سطوح براساس ماتریس دسترسی نهایی (RM) استخراج می‌شوند و نشان‌دهندهٔ منطق زیرند. سطح‌بندی ارائه‌شده در جدول ۷ نشان می‌دهد کدام مفاهیم نقش اثرگذاری بیشتری و کدام، وابستگی بیشتری به دیگر مفاهیم دارد.

جدول ۷- سطح بندی مفاهیم **ISM**

Table 7 - Leveling of ISM Concepts

سطح		مفاهیم مربوطه
سطح ۱ (خروجی نهایی)		افزایش انعطاف‌پذیری و پاسخ‌گویی زنجیرهٔ تأمین، بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها
سطح ۲		استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰
سطح ۳		آموزش و توانمندسازی کارکنان، یکپارچه‌سازی سیستم‌ها
سطح ۴		نبود راهبرد دیجیتال، زیرساخت فناوری و سیستم‌های اطلاعاتی
سطح ۵		نیاز به شفافیت، مقاومت فرهنگی کارکنان، کمبود مهارت دیجیتال
سطح ۶ (مقدم‌ترین/پایه‌ترین)		فشار بازار و رقابت

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

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

در این پژوهش، متغیرهای بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها، افزایش انعطاف‌پذیری و پاسخ‌گویی زنجیرهٔ تأمین، استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰، در این ناحیه شناسایی شدند. این متغیرها در عمل، بازتاب مستقیم فعالیت‌های فناورانه، سازمانی و راهبردی‌اند و ازاین‌رو، تقویت آن‌ها نیازمند اقدام‌هایی پایه‌ای در لایه‌های پایین‌تر مدل است.

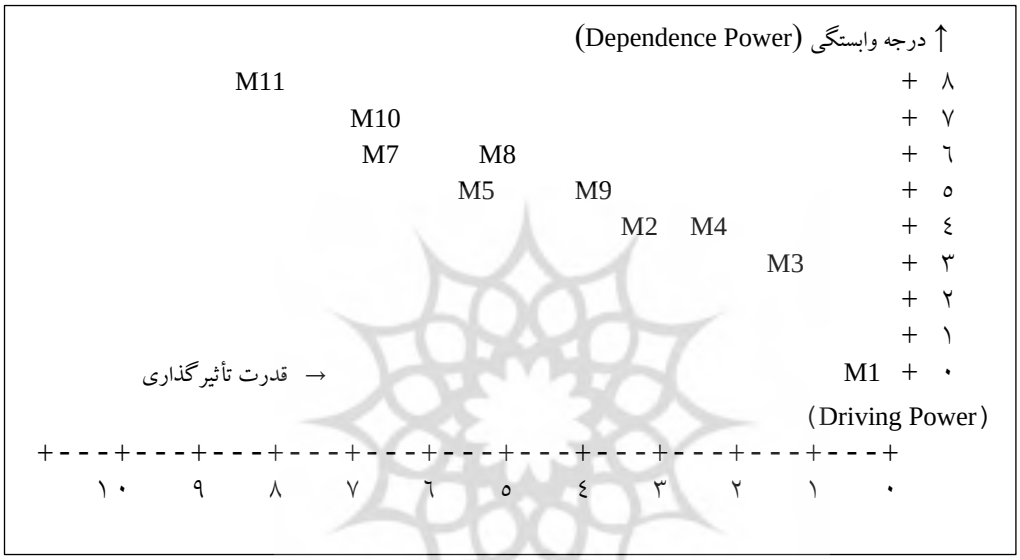
متغیرهای پیوندی: متغیرهایی با قدرت نفوذ و وابستگی بیشتر، در این گروه قرار می‌گیرند. این متغیرها به‌دلیل موقعیت خاص خود در سیستم، نقش ناپایدار، پویا و دوسویه دارند؛ یعنی هم بر دیگر اجزا اثر می‌گذارند و هم بسیار از آن‌ها متأثر می‌شوند. درصورت هرگونه تغییر در این متغیرها، کل سیستم می‌تواند دچار اختلال یا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

در این پژوهش، متغیرهای آموزش و توانمندسازی کارکنان، یکپارچه‌سازی سیستم‌ها، کمبود مهارت دیجیتال در ناحیهٔ پیوندی قرار گرفتند. این متغیرها نقش حیاتی در موفقیت یا شکست فرایند دیجیتالی‌سازی دارند و به‌عنوان نقاط حساس سیستم، نیازمند برنامه‌ریزی دقیق، پایش مستمر و سرمایه‌گذاری هدفمندند.

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

به‌عبارتی 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، اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری، تدوین راهبردها و طراحی نقشه‌راه تحول دیجیتال، ضروری و حیاتی تلقی می‌شود. شکل ۲ نمودار پراکندگی 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.



شکل ۲- نمودار پراکندگی **MICMAC** (قدرت تأثیرگذاری در برابر درجه وابستگی)

Figure 2- MICMAC Scatter Plot (Influence Strength vs. Degree of Dependence)

۵. بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تبیین نقش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در هوشمندسازی و بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین در صنایع تولیدی انجام شد. به‌منظور دستیابی به این هدف، از رویکرد کیفی مبتنی‌بر نظریهٔ داده‌بنیاد استفاده و داده‌های پژوهش ازطریق مصاحبه‌های نیمه‌ساخت‌یافته با خبرگان گردآوری شد. در مرحلهٔ 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-تفسیری برای سطح‌بندی مفاهیم و ترسیم ساختار علّی 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 ۴.۰) در سطوح بالا جای گرفته‌اند.

براساس یافته‌های به‌دست‌آمده از مصاحبه‌های انجام‌شده و تحلیل داده‌ها به روش نظریهٔ داده‌بنیاد، فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیرهٔ تأمین، نه یک ابزار منفرد، بلکه بخش نهایی از یک اکوسیستم سیستمی عمل می‌کنند. فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، تحلیل

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 نقطهٔ وابسته قرار دارد؛ به عبارت دیگر، این فناوری‌ها خود، اثرگذاری اندکی بر دیگر اجزا دارند؛ اما به‌شدت از دیگر متغیرها تأثیر می‌پذیرند.

این یافته‌ها حاکی از آن است که نقش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در هوشمندسازی زنجیرهٔ تأمین، نقشی کلیدی، اما متأخر است. آن‌ها به‌عنوان تسهیلگرانی عمل می‌کنند که می‌توانند زنجیرهٔ 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 نیروی انسانی و فرهنگ پذیرش فناوری است که Chatterjee et al. (2023) و Jamarani et al. (2024) نیز آن را از عوامل تعیین‌کنندهٔ موفقیت در پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ معرفی کرده‌اند.

در نتیجه، نقش صنعت ۴.۰ در زنجیرهٔ 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 درصورت فراهم بودن بسترهای لازم، می‌توانند موجب افزایش شفافیت جریان داده‌ها و کالاها، بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌ها، کاهش هزینه‌ها، افزایش چابکی و در نهایت ارتقا عملکرد کل زنجیره شوند.

براساس نتایج مراحل کدگذاری، فناوری‌های صنعت ۴.۰ نقش‌های چندگانه‌ای در هوشمندسازی زنجیرهٔ تأمین ایفا کرده‌اند که در قالب ۵ مقولهٔ 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.

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 ۴.۰ در زنجیرهٔ تأمین صنایع تولیدی شناسایی کرد. این موانع نه‌تنها 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 دستهٔ محرک‌ها در MICMAC قرار گرفت. این یافته نشان می‌دهد که بدون وجود نقشه‌راه شفاف برای گذار دیجیتال، سازمان‌ها در مواجهه با صنعت ۴.۰ 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 توسعهٔ صنعت ۴.۰ هستند.

۲. ضعف زیرساخت فناوری و سیستم‌های اطلاعاتی (M3)، دومین مانع اساسی است که در دستهٔ محرک‌های سیستمی قرار گرفت. بدون زیرساخت‌های ارتباطی، پردازشی و امنیتی، امکان استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ عملاً وجود ندارد. این یافته به‌خوبی نقش زیربنایی فناوری اطلاعات را در این تحول برجسته می‌سازد. ناپایداری ارتباطات در اینترنت اشیا؛ ناسازگاری سیستم‌های قدیمی با فناوری‌های صنعت ۴.۰ و پراکندگی داده در سیستم‌های مختلف سازمانی، برخی از موانع فناورانه و زیرساختی در توسعه صنعت ۴.۰ 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 نه‌تنها 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 حوزهٔ تحلیل داده و کار با نرم‌افزارهای هوشمند و وابستگی به مشاوران خارجی و پشتیبانی فنی ضعیف از مهارت‌های مورد نیاز برای توسعه صنعت ۴.۰ است.

۴. مقاومت فرهنگی کارکنان (M4)، در دستهٔ متغیرهای پیوندی قرار گرفت، و نقش آن در کُند 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 ۴.۰ شود. مقاومت کارکنان، به‌ویژه نیروهای قدیمی، در برابر فناوری، ترس از دست دادن شغل و اختلاف نسلی در پذیرش فناوری از موانع فرهنگی–انسانی پیشِ روی پذیرش صنعت ۴.۰ هستند.

۵. نبود نظام آموزش و توانمندسازی هدفمند (M8) نیز در دستهٔ 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 پنج‌گانهٔ 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 علّی-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 صِرف تمرکز بر فناوری، بدون آماده‌سازی سازمان ازنظر ساختاری و منابع انسانی، به موفقیت منجر نخواهد شد. این تحلیل از دیدگاه سیستمی، مکمل تفسیر سلسله‌مراتبی مدل ISM است.

علاوه‌بر این ۵ حوزهٔ کلیدی در زنجیرهٔ 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 ارائهٔ خدمات سفارشی را تقویت می‌کنند. بلاکچین شفافیت و اعتماد مشتریان را در تراکنش‌ها افزایش می‌دهد و فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی تجربه خرید نوینی را در اختیار بازار قرار می‌دهند. بدین ترتیب، صنعت ۴.۰ نه‌تنها به بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین کمک می‌کند، بلکه ظرفیت‌های جدیدی برای توسعهٔ بازار و ارتقا رقابت‌پذیری اقتصادی سازمان‌ها ایجاد می‌کند.

با توجه به مدل مفهومی به‌دست‌آمده 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 زنجیرهٔ تأمین در بستر صنعت ۴.۰ است. این پیشنهادها در ۴ محور کلیدی راهبردی، زیرساختی، سازمانی و انسانی دسته‌بندی و براساس روابط علّی 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.

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 فناورانه در نظام ارزیابی منابع انسانی گنجانده شود.

پیشنهادهای زیرساختی و فناورانه

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 توسعهٔ 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 زنجیرهٔ 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 زنجیرهٔ تأمین خواهد شد.

۶. توسعهٔ زیرساخت‌های امنیت سایبری: در محیط صنعت ۴.۰ که مبتنی‌بر 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 زنجیرهٔ تأمین صنایع تولیدی نیاز به بازمهندسی دارند تا با فناوری‌های صنعت ۴.۰ سازگار شوند. این بازطراحی باید مبتنی‌بر اصول چابکی، کاهش ضایعات، بهبود جریان اطلاعات و پاسخ‌گویی سریع به تغییرات بازار انجام شود.

۸. سازوکارهای ارزیابی و پایش اثربخشی پروژه‌ها: هرگونه پروژهٔ تحول دیجیتال نیازمند طراحی سیستم ارزیابی مستمر است. سازمان باید ازطریق شاخص‌های عملکردی مانند کارایی کل تجهیزات، نرخ انتظار، نرخ ضایعات، و سطح رضایت ذی‌نفعان، میزان موفقیت پروژه‌ها را پایش کند و درصورت 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 مبتنی‌بر مشارکت»، جلسات شفاف‌سازی، ارائهٔ داستان‌های موفقیت، و استفاده از سفیران تغییر درون‌سازمانی بهره گرفته 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

جلوگیری از جزیره‌ای شدن اقدام‌ها پیشنهاد می‌شود.

افزون‌بر ابعاد عملیاتی و مدیریتی، نتایج این پژوهش از منظر بازاریابی نیز چشمگیر است. استقرار فناوری‌های صنعت ۴.۰ در زنجیرهٔ تأمین، امکان شخصی‌سازی محصولات و خدمات، بهبود تجربهٔ مشتری و ارتقای شفافیت و اعتماد در بازار را فراهم می‌آورد. این دستاوردها نه‌تنها زمینهٔ 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 توسعهٔ بازار و ارتقای مزیت رقابتی سازمان‌ها عمل کند.

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

ازآنجاکه 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

طالاری، محمد، و خوشرو، مینا (۱۴۰۱). تجزیه‌وتحلیل 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)، ۱۲۰-۸۷.
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

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/IJRISS.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

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی