Journal Website

Article history:
Received 23 May 2026
Revised 25 October 2026
Accepted 01 November 2026
Initial Publication 10 November 2026
Final Publication 23 October 2027

Dynamic Management and Business Analysis

Volume 6, Issue 4, pp 1-23



E-ISSN: 3041-8933

The Mediating Role of Integration and Transparency in the Relationship Between Industry 4.0 and Supply Chain Performance

Morteza. Salehisarbijan[1*]

[1] Assistant Professor of Industrial Engineering, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran

*** Corresponding author email address**: m.salehisarbijan@uoz.ac.ir

A r t i c l e I n f o

Article type:
Original Research

How to cite this article:
Salehisarbijan, M. (2027). The Mediating Role of Integration and Transparency in the Relationship Between Industry 4.0 and Supply Chain Performance. *Dynamic Management and Business Analysis*, *6*(4), 1-23.
https://doi.org/10.61838/dmbaj.511

© 2027 the author(s). Published by Knowledge Management Scientific Association. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) License.

A B S T R A C T

Objective: This study aimed to investigate the effect of Industry 4.0 on supply chain performance with emphasis on the mediating roles of supply chain integration and transparency among industrial organizations in Tehran.

Methods and Materials: This applied study employed a descriptive-correlational design based on structural equation modeling. The statistical population consisted of managers, experts, and professionals working in supply chain management, production, operations, procurement, logistics, and information technology in industrial and manufacturing organizations in Tehran. Using the Cochran formula, a sample of 384 participants was selected through purposive and convenience sampling. Data were collected using a structured questionnaire measuring Industry 4.0, supply chain integration, transparency, and supply chain performance. Data analysis was conducted using SPSS version 27 and SmartPLS. Reliability, convergent and discriminant validity, structural path coefficients, and indirect effects were assessed, and bootstrapping with 5,000 resamples was used to test mediation effects.

Findings: Industry 4.0 had significant positive effects on supply chain integration ($\beta = 0.62$, $t = 15.12$, $p < 0.001$), transparency ($\beta = 0.58$, $t = 13.18$, $p < 0.001$), and supply chain performance ($\beta = 0.21$, $t = 4.29$, $p < 0.001$). Integration ($\beta = 0.36$, $t = 6.92$, $p < 0.001$) and transparency ($\beta = 0.31$, $t = 6.46$, $p < 0.001$) also significantly predicted supply chain performance. The indirect effect of Industry 4.0 on supply chain performance through integration was 0.223, while the indirect effect through transparency was 0.180; both effects were significant at $p < 0.001$. The model explained 61% of the variance in supply chain performance.

Conclusion: Industry 4.0 improves supply chain performance both directly and indirectly by strengthening integration and transparency; therefore, organizations should combine digital technology adoption with coordinated processes and transparent information flows to realize the full performance benefits of Industry 4.0.

Keywords: *Industry 4.0, Supply Chain Performance, Supply Chain Integration, Supply Chain Transparency, Digital Transformation, Structural Equation Modeling*

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The accelerating development of digital technologies has fundamentally transformed the architecture, coordination mechanisms, and competitive logic of contemporary supply chains. Among the most influential developments is Industry 4.0, which integrates technologies such as the Internet of Things, artificial intelligence, big data analytics, cloud computing, cyber-physical systems, blockchain, digital twins, and intelligent automation into organizational and interorganizational processes. Through the creation of connected, data-driven, and increasingly autonomous systems, Industry 4.0 enables firms to monitor operations in real time, improve the accuracy and speed of decision-making, reduce information delays, and respond more effectively to fluctuations in demand and supply. Smart supply chain management under Industry 4.0 therefore represents a transition from fragmented and sequential processes toward digitally interconnected networks in which information, materials, and decisions can be coordinated across organizational boundaries (Zhang et al., 2023). Empirical evidence has increasingly demonstrated that Industry 4.0 technologies can enhance supply chain performance by improving responsiveness, efficiency, flexibility, and operational decision-making (Rehman et al., 2024). Nevertheless, technological investment alone does not necessarily result in superior supply chain outcomes. The organizational value of digital technologies depends substantially on whether they are translated into complementary capabilities that facilitate information exchange, process coordination, and effective collaboration among supply chain actors. In this regard, supply chain integration and transparency constitute two particularly important mechanisms through which Industry 4.0 may influence performance. Industry 4.0 has been shown to transform the nature of supply chain collaboration by enabling closer digital connections among firms, suppliers, customers, and internal functional units (Veile et al., 2024). Similarly, IoT capability can strengthen supply chain integration and subsequently contribute to better firm performance by improving connectivity and information exchange (Argyropoulou et al., 2024). Digitalization and business automation may further support supply chain integration by reducing information fragmentation and enabling the synchronization of activities across purchasing, production, logistics, and distribution functions (Najat, 2024). Blockchain technology has likewise been associated with stronger integration and sustainable supply chain performance because shared and traceable information infrastructures can enhance coordination and trust among partners (Kamble & Gunasekaran, 2023). At the same time, transparency and visibility have become essential requirements for managing increasingly complex and volatile supply networks. Supply chain visibility allows organizations to access relevant and timely information about inventory, orders, production, transportation, supplier activities, and demand conditions, thereby reducing information asymmetry and facilitating more accurate responses to emerging problems (Agrawal et al., 2024). Digital twins can improve transparency by providing continuously updated representations of physical processes and supply chain assets (Patil et al., 2024), while Industry 4.0 technologies can improve visibility and operational efficiency through enhanced tracking and real-time information exchange (Kaur et al., 2023). Blockchain-enabled visibility has also been linked to improved supply chain integration and performance (Tan et al., 2023), and the combined use of artificial intelligence, blockchain, and the Internet of Things can promote transparency and strengthen circular supply chain performance in digitally mediated environments (Xing et al., 2026). These findings

suggest that transparency is not merely an informational outcome of digitalization but a strategic capability that may transform digital information into more effective operational decisions. Moreover, integration and transparency are likely to operate as complementary rather than competing mechanisms. A transparent supply chain without sufficient integration may provide extensive information but lack the organizational coordination necessary to act on that information, whereas an integrated supply chain with limited transparency may coordinate activities on the basis of incomplete or delayed data. Previous studies have shown that supply chain integration can mediate the effects of visibility on organizational outcomes (Hu et al., 2024), while the joint development of integration and analytical capabilities contributes to resilience and operational adaptability (Jiang et al., 2024). Industry 4.0 technologies have also been linked to supply chain resilience through agility, adaptability, and customer integration (Alfaqiyah et al., 2025), and recent evidence indicates that production-system integration and supply chain agility mediate the relationship between Industry 4.0 manufacturing practices and operational performance (Turan, 2026). Consequently, examining only the direct relationship between Industry 4.0 and supply chain performance may overlook the organizational mechanisms through which digital technologies generate operational value. Accordingly, the present study aimed to investigate the effect of Industry 4.0 on supply chain performance and to determine the mediating roles of supply chain integration and transparency among industrial organizations in Tehran.

Methods and Materials

This applied study employed a descriptive-correlational design based on structural equation modeling. The statistical population consisted of managers, experts, and professionals working in supply chain management, procurement, logistics, production and operations, inventory management, information technology, planning, and related managerial functions in industrial and manufacturing organizations located in Tehran. Using the Cochran formula for large populations with a 95% confidence level and a 5% margin of error, a final sample of 384 participants was included in the analysis. Participants were selected through purposive and convenience sampling. Eligibility criteria included employment in a function directly related to supply chain, production, logistics, procurement, operations, or information technology, at least two years of relevant professional experience, familiarity with organizational supply chain processes, and willingness to participate voluntarily. Data were collected using a structured questionnaire consisting of demographic items and measures of Industry 4.0, supply chain integration, supply chain transparency, and supply chain performance. Industry 4.0 was assessed through indicators related to digital connectivity, IoT, intelligent systems, real-time data exchange, automation, and data-driven decision-making. Supply chain integration measured coordination and information sharing across internal organizational units, suppliers, and customers. Transparency reflected the accessibility, visibility, traceability, and reliability of information concerning inventories, orders, production, transportation, suppliers, and material flows. Supply chain performance was assessed using indicators related to delivery reliability, responsiveness, flexibility, cycle-time reduction, inventory management, cost reduction, service quality, and responsiveness to demand changes. All substantive items were rated on a five-point Likert scale ranging from 1, strongly disagree, to 5, strongly agree. Data analysis was conducted using SPSS version 27 and SmartPLS. Descriptive statistics and Pearson correlations were initially calculated. The measurement model was evaluated using factor loadings, Cronbach's alpha, composite reliability, average variance extracted, and discriminant validity. The structural model was subsequently assessed

E-ISSN: 3041-8933

using standardized path coefficients, t-values, p-values, coefficients of determination, and predictive relevance. The significance of direct and indirect effects was examined through bootstrapping with 5,000 resamples and 95% confidence intervals.

Findings

Of the 384 participants, 247 (64.3%) were men and 137 (35.7%) were women. Regarding age, 61 participants (15.9%) were younger than 30 years, 132 (34.4%) were aged 30–39 years, 121 (31.5%) were aged 40–49 years, and 70 (18.2%) were aged 50 years or older. Most participants held postgraduate qualifications, with 224 individuals (58.3%) holding master's degrees and 88 (22.9%) holding doctoral degrees. The mean scores were 3.71 ± 0.66 for Industry 4.0, 3.78 ± 0.61 for supply chain integration, 3.69 ± 0.64 for transparency, and 3.83 ± 0.59 for supply chain performance. Industry 4.0 was positively correlated with integration ($r = 0.62$, $p < 0.01$), transparency ($r = 0.58$, $p < 0.01$), and supply chain performance ($r = 0.57$, $p < 0.01$). Integration and transparency were also positively correlated with supply chain performance ($r = 0.64$ and $r = 0.61$, respectively; $p < 0.01$). Measurement-model assessment demonstrated satisfactory psychometric properties. Factor loadings ranged from 0.71 to 0.89 across the constructs, Cronbach's alpha coefficients ranged from 0.88 to 0.92, composite reliability values ranged from 0.91 to 0.94, and average variance extracted values ranged from 0.61 to 0.67. Structural-model results showed that Industry 4.0 had a significant positive effect on integration ($\beta = 0.62$, $t = 15.12$, $p < 0.001$) and transparency ($\beta = 0.58$, $t = 13.18$, $p < 0.001$). Industry 4.0 also exerted a significant direct effect on supply chain performance ($\beta = 0.21$, $t = 4.29$, $p < 0.001$). Integration positively predicted supply chain performance ($\beta = 0.36$, $t = 6.92$, $p < 0.001$), as did transparency ($\beta = 0.31$, $t = 6.46$, $p < 0.001$). Industry 4.0 explained 38% of the variance in integration and 34% of the variance in transparency, while Industry 4.0, integration, and transparency jointly explained 61% of the variance in supply chain performance. The indirect effect of Industry 4.0 on supply chain performance through integration was 0.223 ($t = 6.19$, $p < 0.001$; 95% CI = 0.157–0.298), whereas the indirect effect through transparency was 0.180 ($t = 5.63$, $p < 0.001$; 95% CI = 0.121–0.247). The total indirect effect was 0.403, and the total effect of Industry 4.0 on supply chain performance was 0.613. Because the direct effect remained significant after the mediators were introduced, both integration and transparency demonstrated partial mediation.

Discussion and Conclusion

The findings demonstrate that Industry 4.0 contributes substantially to supply chain performance, but its influence is transmitted to a considerable extent through the development of integration and transparency. The stronger indirect effects compared with the remaining direct effect indicate that the value of Industry 4.0 is not derived solely from the presence of advanced technologies; rather, value emerges when digital technologies are embedded in coordinated organizational processes and produce timely, reliable, and visible information across the supply chain. Integration represented the stronger mediator, suggesting that digital technologies achieve particularly important performance gains when they connect organizational units and supply chain partners and enable coordinated planning and execution. Transparency also played a substantial mediating role by improving the availability and traceability of operational information, thereby supporting faster problem identification, more accurate decisions, and improved responsiveness. The simultaneous significance of both mediators indicates that these capabilities are complementary. Transparency provides the information required for effective action, whereas integration creates the structural and relational mechanisms through which that information can

be converted into coordinated responses. The model's ability to explain 61% of the variance in supply chain performance further indicates that Industry 4.0, integration, and transparency collectively constitute a meaningful framework for understanding performance differences among industrial supply chains. From a managerial perspective, organizations should therefore avoid treating Industry 4.0 as a purely technological investment. Digital transformation programs should be accompanied by the integration of information systems and business processes, stronger coordination with suppliers and customers, real-time data-sharing infrastructures, and mechanisms that improve the traceability and visibility of supply chain activities. Overall, the study concludes that Industry 4.0 significantly improves supply chain performance both directly and indirectly, while supply chain integration and transparency serve as critical partial mediators that convert digital technological capabilities into superior operational outcomes.

E-ISSN: 3041-8933


شاپای الکترونیکی: ۸۹۳۳-۳۰۴۱

مدیریت پویا و تحلیل کسب و کار

دوره ۶، شماره ۴، صفحه ۲۳-۱

وبسایت مجله

تاریخچه مقاله
دریافت شده در تاریخ ۲ خرداد ۱۴۰۵
اصلاح شده در تاریخ ۳ آبان ۱۴۰۵
پذیرفته شده در تاریخ ۱۰ آبان ۱۴۰۵
اولین انتشار در تاریخ ۱۹ آبان ۱۴۰۵
انتشار نهایی در تاریخ ۱ آبان ۱۴۰۶

تأثیر نقش میانجی یکپارچگی و شفافیت در صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین

مرتضی صالحی سربیژن[1*]

۱. استادیار صنایع گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: m.salehisarbijan@uoz.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

پژوهشی اصیل

نحوه استناد به این مقاله:

صالحی سربیژن، مرتضی. (۱۴۰۶). تأثیر نقش میانجی یکپارچگی و شفافیت در صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین. *مدیریت پویا و تحلیل کسب و کار*، ۶(۴)، ۲۳-۱.

© ۱۴۰۶ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده(گان) است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY 4.0) صورت گرفته است.

چکیده

هدف: هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با تأکید بر نقش میانجی یکپارچگی و شفافیت در شرکت‌ها و واحدهای صنعتی شهر تهران بود. **روش‌شناسی:** این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی-همبستگی مبتنی بر مدل‌سازی معادلات ساختاری بود. جامعه آماری شامل مدیران، کارشناسان و متخصصان حوزه‌های زنجیره تأمین، تولید، عملیات، تدارکات، لجستیک و فناوری اطلاعات در شرکت‌ها و واحدهای صنعتی شهر تهران بود. حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران ۳۸۴ نفر تعیین شد و نمونه‌گیری به‌صورت هدفمند و در دسترس انجام گرفت. داده‌ها با استفاده از پرسشنامه‌ای ساختاریافته برای سنجش صنعت ۴.۰، یکپارچگی، شفافیت و عملکرد زنجیره تأمین گردآوری شد. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۲۷ و SmartPLS انجام گرفت و برای آزمون مدل اندازه‌گیری و ساختاری از ضرایب پایایی، روایی همگرا و واگرا، ضرایب مسیر و روش بوت‌استرپ با ۵،۰۰۰ بازنمونه‌گیری استفاده شد. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد صنعت ۴.۰ اثر مثبت و معناداری بر یکپارچگی ($\beta = ۰.۶۲, t = ۱۵.۱۲, p < ۰.۰۰۱$)، شفافیت ($\beta = ۰.۵۸, t = ۱۳.۱۸, p < ۰.۰۰۱$) و عملکرد زنجیره تأمین ($\beta = ۰.۲۱, t = ۴.۲۹, p < ۰.۰۰۱$) داشت. همچنین، یکپارچگی ($\beta = ۰.۳۶, t = ۶.۹۲, p < ۰.۰۰۱$) و شفافیت ($\beta = ۰.۳۱, t = ۶.۴۶, p < ۰.۰۰۱$) اثر مثبت و معناداری بر عملکرد زنجیره تأمین نشان دادند. اثر غیرمستقیم صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین از طریق یکپارچگی برابر با ۰.۲۲۳ و از طریق شفافیت برابر با ۰.۱۸۰ بود و هر دو اثر در سطح ۰.۰۰۱ معنادار بودند. مدل توانست ۶۱ درصد از واریانس عملکرد زنجیره تأمین را تبیین کند. **نتیجه‌گیری:** یافته‌ها نشان دادند که صنعت ۴.۰ علاوه بر اثر مستقیم بر عملکرد زنجیره تأمین، بخش قابل توجهی از اثر خود را از طریق تقویت یکپارچگی و شفافیت منتقل می‌کند؛ بنابراین، سازمان‌ها برای دستیابی به مزایای کامل تحول دیجیتال باید توسعه فناوری‌های صنعت ۴.۰ را همزمان با افزایش هماهنگی بین‌سازمانی و بهبود شفافیت اطلاعات دنبال کنند.

کلیدواژگان: *صنعت ۴.۰، عملکرد زنجیره تأمین، یکپارچگی زنجیره تأمین، شفافیت زنجیره تأمین، تحول دیجیتال، مدل‌سازی معادلات ساختاری*

مقدمه

تحولات پرشتاب فناوری در دهه‌های اخیر، ماهیت رقابت، ساختار عملیات و شیوه مدیریت زنجیره‌های تأمین را به‌طور اساسی دگرگون کرده است. در این میان، ظهور صنعت ۴.۰ به‌عنوان مرحله‌ای نوین از تحول صنعتی، سازمان‌ها را با مجموعه‌ای از فناوری‌های هوشمند، متصل و داده‌محور مواجه ساخته است که می‌توانند نحوه برنامه‌ریزی، تولید، توزیع، هماهنگی و تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین را بازتعریف کنند. صنعت ۴.۰ بر تلفیق فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، کلان‌داده، رایانش ابری، سامانه‌های سایبری-فیزیکی، بلاکچین، دوقلوهای دیجیتال و اتوماسیون هوشمند استوار است و هدف آن ایجاد محیط‌های تولیدی و زنجیره‌های تأمینی است که در آنها جریان اطلاعات و عملیات با حداقل وقفه و حداکثر قابلیت مشاهده، تحلیل و واکنش انجام شود. در چنین بستری، زنجیره تأمین از ساختاری خطی و نسبتاً ایستا به شبکه‌ای پویا، متصل و مبتنی بر داده تبدیل می‌شود که در آن تصمیم‌گیری بلادرنگ، هماهنگی میان شرکای تجاری و پاسخ‌گویی سریع به تغییرات محیطی اهمیت محوری پیدا می‌کند (Zhang et al., 2023). فناوری‌های صنعت ۴.۰ نه‌تنها امکان خودکارسازی عملیات را فراهم می‌کنند، بلکه ظرفیت سازمان‌ها را برای شناسایی الگوها، پیش‌بینی اختلالات، تنظیم منابع و ایجاد ارزش در کل زنجیره افزایش می‌دهند. بر همین اساس، مطالعات جدید نشان داده‌اند که پیاده‌سازی این فناوری‌ها می‌تواند به افزایش کارایی، بهبود انعطاف‌پذیری، تقویت تاب‌آوری و ارتقای عملکرد عملیاتی و رقابتی زنجیره تأمین منجر شود (Rehman et al., 2024). در سطح گسترده‌تر، صنعت ۴.۰ به‌عنوان یکی از محرک‌های کلیدی تحول دیجیتال، در حال بازطراحی منطق همکاری میان سازمان‌ها، تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان است و می‌تواند مرزهای سنتی سازمانی را در جهت شکل‌گیری اکوسیستم‌های متصل و داده‌محور جابه‌جا کند (Veile et al., 2024).

اهمیت این تحول زمانی برجسته‌تر می‌شود که زنجیره‌های تأمین معاصر با پیچیدگی‌های فزاینده، نوسان تقاضا، اختلالات جهانی، افزایش انتظارات مشتریان و ضرورت واکنش سریع به تغییرات محیطی روبه‌رو هستند. در چنین شرایطی، عملکرد زنجیره تأمین دیگر صرفاً با شاخص‌هایی مانند کاهش هزینه یا افزایش سرعت تحویل ارزیابی نمی‌شود، بلکه معیارهایی نظیر انعطاف‌پذیری، قابلیت اطمینان، پاسخ‌گویی، نوآوری، تاب‌آوری، پایداری و قابلیت تطبیق با محیط نیز اهمیت یافته‌اند. فناوری‌های نوظهور می‌توانند از طریق بهبود کیفیت اطلاعات، افزایش سرعت انتقال داده، تسهیل هماهنگی و ایجاد دید جامع نسبت به جریان مواد و اطلاعات، زمینه ارتقای این ابعاد عملکردی را فراهم سازند (Xue & Li, 2023). با این حال، بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال به‌تنهایی تضمین‌کننده بهبود عملکرد نیست و اثربخشی آن تا حد زیادی به نحوه ادغام این فناوری‌ها با فرآیندها، ساختارها و روابط زنجیره تأمین بستگی دارد. برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مزایای صنعت ۴.۰ هنگامی آشکارتر می‌شود که سازمان‌ها بتوانند قابلیت‌های فناورانه را با طراحی فرایندها، سازوکارهای هماهنگی و راهبردهای کسب‌وکار همسو سازند (Margherita & Braccini, 2023). همچنین، نتایج مطالعات جدید حاکی از آن است که راهبردهای دیجیتال و محیطی می‌توانند شدت تأثیر فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر ایجاد ارزش و پایداری را تعدیل کنند و این امر نشان می‌دهد که اثرات این فناوری‌ها ماهیتی زمینه‌مند و وابسته به ظرفیت‌های مکمل سازمانی دارند (Nazir et al., 2026). از این منظر، بررسی صرف رابطه مستقیم میان صنعت ۴.۰ و عملکرد زنجیره تأمین ممکن است بخش مهمی از سازوکارهای واقعی ایجاد ارزش را نادیده بگیرد.

یکی از مهم‌ترین این سازوکارها، یکپارچگی زنجیره تأمین است. یکپارچگی زنجیره تأمین به میزان هماهنگی، همسویی و پیوند اطلاعاتی و عملیاتی میان واحدهای داخلی سازمان و همچنین میان سازمان با تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و مشتریان اشاره دارد. یکپارچگی مؤثر موجب می‌شود اطلاعات، منابع و فعالیت‌ها در بخش‌های مختلف زنجیره به‌صورت هماهنگ جریان یابند و تصمیم‌گیری‌ها بر مبنای تصویری مشترک از شرایط عملیاتی انجام شوند. در محیط‌های سنتی، پراکندگی اطلاعات، ناهمگونی سامانه‌ها و وجود مرزهای عملکردی بین

E-ISSN: 3041-8933

واحدها می‌تواند به ایجاد جزایر اطلاعاتی، دوباره‌کاری و تأخیر در تصمیم‌گیری منجر شود. در مقابل، فناوری‌های صنعت ۴.۰ از طریق ایجاد زیرساخت‌های متصل و تبادل بلادرنگ داده‌ها، زمینه یکپارچه‌سازی افقی و عمودی فرآیندها را فراهم می‌کنند. شواهد تجربی نشان داده‌اند که قابلیت اینترنت اشیا می‌تواند یکپارچگی زنجیره تأمین را تقویت کرده و از این طریق عملکرد بنگاه را بهبود بخشد (Argyropoulou et al., 2024). همچنین، دیجیتالی‌سازی و خودکارسازی کسب‌وکار می‌تواند با کاهش گسست اطلاعاتی و بهبود ارتباط میان اجزای زنجیره، یکپارچگی را تسهیل کند (Najat, 2024). از سوی دیگر، فناوری بلاکچین به دلیل ایجاد پایگاه داده اشتراکی، غیرمتمرکز و قابل ردیابی، ظرفیت بالایی برای تقویت یکپارچگی میان اعضای زنجیره تأمین دارد و مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از آن می‌تواند از طریق افزایش هماهنگی و اعتماد بین شرکای تجاری، عملکرد پایدار زنجیره را بهبود دهد (Kamble & Gunasekaran, 2023). در همین راستا، تحول دیجیتال ساختار همکاری میان اعضای زنجیره را از ارتباطات مقطعی به روابطی پیوسته‌تر، داده‌محور و هماهنگ‌تر سوق داده است (Veile et al., 2024).

یکپارچگی همچنین نقشی کلیدی در تبدیل داده‌ها و قابلیت‌های دیجیتال به نتایج عملکردی ایفا می‌کند. صرف دسترسی به حجم بالایی از اطلاعات، بدون وجود سازوکارهای هماهنگی میان واحدها و شرکای زنجیره، لزوماً به تصمیم‌گیری بهتر منجر نمی‌شود. زمانی که داده‌ها در سطح سازمانی و بین‌سازمانی یکپارچه می‌شوند، امکان هماهنگی برنامه تولید، مدیریت موجودی، زمان‌بندی حمل، پیش‌بینی تقاضا و تخصیص منابع به شکل مؤثرتری فراهم می‌شود. یافته‌های پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که یکپارچگی زنجیره تأمین می‌تواند اثر قابلیت تحلیل کلان‌داده را بر تاب‌آوری تقویت کند و در کنار قابلیت‌های تحلیلی، یکی از عوامل محوری در ایجاد پاسخ‌گویی مؤثر نسبت به اختلالات باشد (Jiang et al., 2024). همچنین، یکپارچگی می‌تواند سازوکاری واسطه‌ای میان قابلیت مشاهده و نتایج نوآورانه باشد؛ به‌گونه‌ای که افزایش قابلیت مشاهده عرضه و تقاضا زمانی به نوآوری محصول منجر می‌شود که اطلاعات حاصل در ساختارهای یکپارچه زنجیره به اشتراک گذاشته و استفاده شود (Hu et al., 2024). افزون بر این، شواهد جدید نشان می‌دهد که نقش یکپارچگی در محیط صنعت ۴.۰ فراتر از هماهنگی عملیاتی است و می‌تواند به افزایش چابکی زنجیره، بهبود پاسخ‌گویی و ارتقای عملکرد عملیاتی منجر شود (Turan, 2026). بنابراین، یکپارچگی نه‌تنها پیامد دیجیتالی‌شدن است، بلکه سازوکاری است که از طریق آن ظرفیت فناورانه به عملکرد واقعی تبدیل می‌شود.

در کنار یکپارچگی، شفافیت نیز یکی از قابلیت‌های بنیادین زنجیره تأمین هوشمند به شمار می‌رود. شفافیت به میزان دسترسی، قابلیت مشاهده، قابلیت ردیابی و قابلیت اعتماد اطلاعات در طول زنجیره اشاره دارد. در زنجیره‌های پیچیده، نبود شفافیت می‌تواند سبب بروز عدم قطعیت، افزایش موجودی اطمینان، تأخیر در شناسایی اختلالات و ضعف در هماهنگی میان شرکای تجاری شود. در مقابل، شفافیت اطلاعاتی به سازمان‌ها امکان می‌دهد وضعیت سفارش‌ها، موجودی‌ها، ظرفیت تولید، عملکرد تأمین‌کنندگان، حمل‌ونقل و تقاضای مشتریان را به‌صورت دقیق‌تر و به‌موقع‌تر مشاهده کنند. مفهوم قابلیت مشاهده زنجیره تأمین نیز ارتباط نزدیکی با شفافیت دارد و به توانایی سازمان برای دسترسی به اطلاعات مرتبط در طول زنجیره اشاره می‌کند. مطالعه مدیران و خبرگان نشان داده است که قابلیت مشاهده به یکی از اولویت‌های اصلی مدیریت زنجیره تأمین تبدیل شده است و مدیران آن را برای تصمیم‌گیری سریع، کنترل ریسک و هماهنگی میان اعضای زنجیره حیاتی می‌دانند (Agrawal et al., 2024). در محیط دیجیتال، فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا، بلاکچین و دوقلوهای دیجیتال امکان افزایش چشمگیر شفافیت را فراهم می‌کنند. دوقلوهای دیجیتال می‌توانند با ایجاد بازنمایی لحظه‌ای از دارایی‌ها و فرآیندها، دید مدیریتی را افزایش دهند و شواهد نشان داده‌اند که آمادگی برای استفاده از این فناوری با شفافیت زنجیره و عملکرد پایدار ارتباط مثبت دارد (Patil et al., 2024). همچنین، استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ در صنایع غذایی می‌تواند قابلیت مشاهده و کارایی عملیاتی را از طریق ردیابی دقیق‌تر و تبادل سریع‌تر اطلاعات افزایش دهد (Kaur et al., 2023).

شفافیت در زنجیره تأمین تنها یک پیامد فناورانه نیست، بلکه یکی از عوامل کلیدی در کاهش عدم تقارن اطلاعاتی و افزایش اعتماد بین اعضای زنجیره است. فناوری بلاکچین نمونه بارزی از این موضوع است؛ زیرا اطلاعات را در ساختاری مشترک و قابل ردیابی ثبت می‌کند و امکان دست‌کاری یا پنهان‌سازی داده‌ها را کاهش می‌دهد. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که قابلیت مشاهده مبتنی بر بلاکچین می‌تواند از طریق تقویت یکپارچگی، عملکرد زنجیره تأمین را بهبود دهد (Tan et al., 2023). همچنین، کاربردهای بلاکچین در بخش تولید می‌توانند با ارتقای قابلیت ردیابی، کاهش عدم قطعیت و افزایش اعتماد میان شرکای زنجیره به بهبود عملکرد منجر شوند (Jum'a, 2023). در سطح گسترده‌تر، ترکیب هوش مصنوعی، بلاکچین و اینترنت اشیا می‌تواند شفافیت را به یکی از ستون‌های اصلی عملکرد زنجیره‌های تأمین دیجیتال تبدیل کند؛ به‌ویژه در زنجیره‌های مبتنی بر پلتفرم که داده‌ها به‌طور مستمر میان بازیگران متعدد مبادله می‌شوند (Xing et al., 2026). شواهد دیگر نیز نشان می‌دهد که فناوری‌های پایه صنعت ۴.۰، از طریق افزایش قابلیت مشاهده، توان سازمان‌ها را برای ایجاد تاب‌آوری در شرایط پویای محیطی تقویت می‌کنند (Jain et al., 2024). از این رو، شفافیت می‌تواند یکی از مسیرهای اصلی باشد که از طریق آن سرمایه‌گذاری در فناوری به عملکرد بهتر زنجیره تأمین منجر می‌شود.

از منظر راهبردی، هم یکپارچگی و هم شفافیت با قابلیت‌های چابکی، تاب‌آوری و سازگاری پیوند دارند. زنجیره‌ای که اطلاعات آن شفاف اما فعالیت‌های آن فاقد یکپارچگی باشد، ممکن است از داده کافی برخوردار باشد اما توان هماهنگ‌سازی واکنش‌ها را نداشته باشد. در مقابل، یکپارچگی بدون شفافیت نیز می‌تواند هماهنگی را بر پایه اطلاعات ناقص یا تأخیردار قرار دهد. بنابراین، این دو قابلیت مکمل یکدیگرند و احتمالاً به‌صورت هم‌زمان در انتقال اثرات صنعت ۴.۰ بر عملکرد نقش دارند. پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که فناوری‌های صنعت ۴.۰ از طریق افزایش چابکی، سازگاری و یکپارچگی با مشتریان، می‌توانند تاب‌آوری زنجیره تأمین را تقویت کنند (Alfaqiyah et al., 2025). هوش مصنوعی نیز با بهبود تحلیل ریسک و پشتیبانی از تصمیم‌گیری پیش‌بینانه، می‌تواند چابکی زنجیره را افزایش دهد و به سازمان‌ها امکان دهد در برابر تغییرات محیطی سریع‌تر واکنش نشان دهند (Wong et al., 2024). از سوی دیگر، قابلیت‌های تحلیل کلان‌داده و قابلیت‌های پویای سبز نیز از طریق تقویت چابکی، مزیت رقابتی را ارتقا می‌دهند (Li et al., 2024). این شواهد نشان می‌دهند که ارزش فناوری‌های دیجیتال عمدتاً از طریق توسعه قابلیت‌های سازمانی واسطه‌ای شکل می‌گیرد و بررسی این قابلیت‌ها برای توضیح دقیق سازوکارهای اثرگذاری ضروری است.

ادبیات مرتبط با صنعت ۴.۰ همچنین بر پیامدهای پایداری و اقتصاد چرخشی تأکید دارد. سازمان‌ها به‌طور فزاینده از فناوری‌های دیجیتال برای کاهش اتلاف، استفاده کارآمدتر از منابع، افزایش قابلیت ردیابی مواد و طراحی جریان‌های بسته مواد استفاده می‌کنند. مطالعات نشان داده‌اند که صنعت ۴.۰ می‌تواند از طریق تسهیل شیوه‌های اقتصاد چرخشی، عملکرد پایدار سازمان‌های تولیدی را بهبود دهد (Kamble et al., 2023). همچنین، در بنگاه‌های کوچک و متوسط، فناوری‌های صنعت ۴.۰ می‌توانند ساختار زنجیره ارزش جهانی را دگرگون کرده و زمینه استفاده مؤثرتر از رویکردهای اقتصاد چرخشی را فراهم سازند (Suchek et al., 2024). افزون بر این، ترکیب فناوری‌های دیجیتال با شیوه‌های اقتصاد چرخشی و قابلیت مشاهده زنجیره می‌تواند به ایجاد آینده‌ای پایدارتر برای سازمان‌ها منجر شود (Junaid et al., 2024). در همین راستا، گذار از صنعت ۴.۰ به صنعت ۵.۰ نیز بر اهمیت انسان‌محوری، تاب‌آوری و پایداری تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که ارزش‌آفرینی در زنجیره‌های آینده صرفاً بر خودکارسازی متمرکز نخواهد بود، بلکه به نحوه هماهنگی فناوری با اهداف اجتماعی و محیطی نیز وابسته است (Dacre et al., 2024). بنابراین، بررسی نقش یکپارچگی و شفافیت صرفاً از منظر عملکرد اقتصادی اهمیت ندارد، بلکه می‌تواند برای درک پیامدهای گسترده‌تر دیجیتالی‌شدن در سطح پایداری و تاب‌آوری نیز مفید باشد.

E-ISSN: 3041-8933

با وجود مزایای شناخته‌شده، پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ فرآیندی ساده و صرفاً فناورانه نیست. فرهنگ سازمانی، آمادگی دیجیتال، مهارت‌های کارکنان، قابلیت همکاری سامانه‌ها، ساختار تصمیم‌گیری و میزان پذیرش فناوری می‌توانند بر نتایج پیاده‌سازی اثرگذار باشند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که اصول طراحی صنعت ۴.۰ با ویژگی‌های فرهنگ سازمانی رابطه معنادار دارند و موفقیت تحول دیجیتال نیازمند انطباق فناوری با ساختارهای فرهنگی و مدیریتی سازمان است (Tortorella et al., 2024). همچنین، شناسایی عوامل توانمندساز برای استقرار موفق زنجیره تأمین ۴.۰ نشان می‌دهد که قابلیت مشاهده و کارایی تنها زمانی بهبود می‌یابند که زیرساخت فناوری، منابع انسانی و سازوکارهای مدیریتی به‌صورت هماهنگ توسعه یابند (Singine & Yüksel, 2026). از همین رو، ارزیابی عملکرد صنعت ۴.۰ نیازمند مدلی است که علاوه بر متغیر فناورانه، سازوکارهای داخلی انتقال اثر را نیز در نظر گیرد. همچنین، در مطالعات مبتنی بر مدل‌سازی روابط پیچیده میان سازه‌های پنهان، استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی امکان بررسی هم‌زمان اثرات مستقیم، غیرمستقیم و میانجی را فراهم می‌سازد و برای مدل‌های پیش‌بینی‌محور و چندسازه‌ای رویکردی مناسب به شمار می‌رود (Hair et al., 2024).

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از پژوهش‌ها اثر صنعت ۴.۰ را بر عملکرد، چابکی، تاب‌آوری یا پایداری بررسی کرده‌اند، در حالی که برخی دیگر بر یکپارچگی یا قابلیت مشاهده به‌عنوان پیامدهای دیجیتالی‌شدن تمرکز داشته‌اند. با این حال، هنوز نیاز به بررسی هم‌زمان دو سازوکار یکپارچگی و شفافیت در رابطه میان صنعت ۴.۰ و عملکرد زنجیره تأمین وجود دارد. این شکاف زمانی مهم‌تر می‌شود که بدانیم این دو متغیر، اگرچه به یکدیگر مرتبط‌اند، ماهیت مفهومی متفاوتی دارند؛ یکپارچگی بر هماهنگی ساختاری و فرایندی میان اعضا تأکید دارد، در حالی که شفافیت بر دسترسی و قابلیت مشاهده اطلاعات در طول زنجیره متمرکز است. از منظر نظری، ممکن است فناوری‌های صنعت ۴.۰ ابتدا با افزایش اتصال و تبادل داده به شفافیت بیشتر منجر شوند و هم‌زمان از طریق همگرایی سامانه‌ها و هماهنگی فرایندها یکپارچگی را تقویت کنند؛ سپس هر دو مسیر به ارتقای عملکرد منتهی شوند. چنین الگویی می‌تواند توضیح دهد که چرا سازمان‌هایی با سطح مشابهی از سرمایه‌گذاری دیجیتال، نتایج عملکردی متفاوتی تجربه می‌کنند. علاوه بر این، مطالعاتی که بر تحول دیجیتال و زنجیره‌های تأمین هوشمند تمرکز دارند، بارها بر ضرورت توجه به قابلیت‌های مکمل سازمانی تأکید کرده‌اند (Rehman et al., 2024; Zhang et al., 2023). بنابراین، تحلیل هم‌زمان این دو میانجی می‌تواند تصویر جامع‌تری از سازوکار ارزش‌آفرینی صنعت ۴.۰ ارائه دهد و به مدیران کمک کند منابع خود را صرفاً بر خرید فناوری متمرکز نکنند، بلکه بر طراحی فرآیندهای هماهنگ و ایجاد زیرساخت‌های شفاف اطلاعاتی نیز سرمایه‌گذاری کنند.

بر این اساس، هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با تأکید بر نقش میانجی یکپارچگی و شفافیت در شرکت‌ها و واحدهای صنعتی شهر تهران است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-همبستگی از نوع مدل‌سازی معادلات ساختاری بود که با هدف بررسی تأثیر صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با در نظر گرفتن نقش میانجی یکپارچگی و شفافیت انجام شد. جامعه آماری پژوهش شامل مدیران، کارشناسان و متخصصان شاغل در حوزه‌های زنجیره تأمین، تدارکات و خرید، لجستیک، تولید و عملیات، برنامه‌ریزی، مدیریت موجودی، فناوری اطلاعات و مدیریت سیستم‌ها در شرکت‌ها و واحدهای صنعتی و تولیدی مستقر در شهر تهران بود. با توجه به گستردگی جامعه آماری و نبود امکان تعیین دقیق تعداد کل افراد واجد شرایط، حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران برای جوامع بزرگ و با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد، خطای نمونه‌گیری ۵ درصد و حداکثر پراکندگی صفت مورد بررسی، ۳۸۴ نفر تعیین شد. نمونه‌گیری به‌صورت هدفمند و در دسترس

انجام گرفت و تلاش شد مشارکت‌کنندگان از بخش‌ها و سطوح مختلف سازمانی مرتبط با فعالیت‌های زنجیره تأمین انتخاب شوند تا دیدگاه‌های متنوعی درباره میزان پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰، یکپارچگی فرآیندها، شفافیت اطلاعات و عملکرد زنجیره تأمین در مطالعه منعکس شود. معیارهای ورود به پژوهش شامل اشتغال در یکی از حوزه‌های مرتبط با زنجیره تأمین، تولید، لجستیک، خرید و تدارکات، فناوری اطلاعات یا مدیریت عملیات، داشتن حداقل دو سال سابقه کاری مرتبط، آشنایی با فرآیندهای زنجیره تأمین سازمان و رضایت آگاهانه برای شرکت در پژوهش بود. پرسشنامه‌ها به‌صورت حضوری و الکترونیکی در اختیار افراد واجد شرایط قرار گرفت و پس از بررسی پرسشنامه‌های جمع‌آوری‌شده و حذف موارد دارای پاسخ‌های ناقص یا الگوی پاسخ‌دهی نامعتبر، داده‌های مربوط به ۳۸۴ نفر به‌عنوان نمونه نهایی وارد تحلیل شد. پیش از تکمیل پرسشنامه، هدف پژوهش برای شرکت‌کنندگان توضیح داده شد و به آنان اطمینان داده شد که مشارکت در پژوهش کاملاً داوطلبانه است، اطلاعات جمع‌آوری‌شده صرفاً برای اهداف علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد و پاسخ‌ها به‌صورت محرمانه و بدون ثبت اطلاعات هویتی تحلیل خواهند شد.

داده‌های پژوهش با استفاده از یک پرسشنامه ساختاریافته چندبخشی گردآوری شد. بخش نخست پرسشنامه به اطلاعات جمعیت‌شناختی و حرفه‌ای شرکت‌کنندگان از جمله جنسیت، سن، سطح تحصیلات، سابقه کاری، سمت سازمانی و حوزه فعالیت شغلی اختصاص داشت. بخش اصلی پرسشنامه چهار سازه صنعت ۴.۰، یکپارچگی زنجیره تأمین، شفافیت زنجیره تأمین و عملکرد زنجیره تأمین را اندازه‌گیری می‌کرد. سازه صنعت ۴.۰ بر میزان بهره‌گیری سازمان از فناوری‌ها و قابلیت‌های دیجیتال مرتبط با انقلاب صنعتی چهارم تمرکز داشت و مؤلفه‌هایی نظیر استفاده از اینترنت اشیا، تحلیل داده‌های بزرگ، سیستم‌های هوشمند، اتوماسیون، اتصال دیجیتال تجهیزات و فرآیندها، تبادل بلادرنگ داده‌ها و استفاده از زیرساخت‌های دیجیتال در تصمیم‌گیری و عملیات زنجیره تأمین را پوشش می‌داد. سازه یکپارچگی زنجیره تأمین میزان هماهنگی و ارتباط درون‌سازمانی و بین‌سازمانی را ارزیابی می‌کرد و مواردی نظیر یکپارچگی اطلاعات میان واحدهای سازمان، هماهنگی میان تأمین‌کنندگان و سازمان، ارتباط با مشتریان، هماهنگی فرآیندهای خرید، تولید و توزیع و اشتراک اطلاعات عملیاتی میان اعضای زنجیره تأمین را در بر می‌گرفت. شفافیت زنجیره تأمین نیز بر قابلیت مشاهده، دسترسی و قابلیت اعتماد اطلاعات در طول زنجیره تأمین متمرکز بود و میزان دسترسی به اطلاعات مربوط به موجودی، سفارش‌ها، وضعیت تولید، حمل‌ونقل، عملکرد تأمین‌کنندگان، جریان مواد و امکان ردیابی فعالیت‌ها و محصولات را مورد سنجش قرار می‌داد. در نهایت، عملکرد زنجیره تأمین از طریق شاخص‌هایی نظیر سرعت پاسخ‌گویی به مشتری، قابلیت اطمینان تحویل، کاهش زمان چرخه سفارش، انعطاف‌پذیری عملیاتی، کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین، بهبود مدیریت موجودی، کیفیت خدمات و توانایی پاسخ‌گویی به تغییرات تقاضا ارزیابی شد. گویه‌های بخش اصلی بر اساس شاخص‌های متداول و تأییدشده در ادبیات صنعت ۴.۰ و مدیریت زنجیره تأمین تدوین و متناسب با اهداف پژوهش تنظیم شدند. پاسخ به همه گویه‌های اصلی بر اساس مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت از ۱ به معنای «کاملاً مخالفم» تا ۵ به معنای «کاملاً موافقم» صورت گرفت؛ به‌گونه‌ای که نمرات بالاتر نشان‌دهنده سطح بالاتر سازه مورد اندازه‌گیری بود. برای بررسی روایی محتوایی و صوری ابزار، نسخه اولیه پرسشنامه در اختیار تعدادی از استادان دانشگاه و متخصصان حوزه مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت عملیات و فناوری اطلاعات قرار گرفت و پس از دریافت دیدگاه‌های آنان، اصلاحات لازم در وضوح، تناسب و نحوه بیان گویه‌ها اعمال شد. همچنین، پیش از اجرای اصلی، پرسشنامه به‌صورت آزمایشی در گروهی از افراد دارای ویژگی‌های مشابه جامعه هدف اجرا شد تا میزان وضوح گویه‌ها و قابلیت اعتماد ابزار بررسی شود. در مرحله تحلیل مدل اندازه‌گیری، پایایی سازه‌ها با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی ارزیابی شد و مقادیر ۰.۷۰ و بالاتر به‌عنوان سطح مطلوب در نظر گرفته شد. روایی همگرا نیز بر اساس بارهای عاملی و میانگین واریانس استخراج‌شده بررسی شد؛ به‌طوری‌که مقدار حداقل ۰.۵۰ برای میانگین واریانس

E-ISSN: 3041-8933

استخراج‌شده به‌عنوان معیار پذیرش در نظر گرفته شد. روایی واگرا نیز از طریق مقایسه میزان اشتراک هر سازه با سایر سازه‌ها و شاخص نسبت هتروتریت-مونوتریت ارزیابی شد تا تمایز مفهومی میان صنعت ۴.۰، یکپارچگی، شفافیت و عملکرد زنجیره تأمین تأیید شود.

پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، داده‌ها ابتدا از نظر کامل بودن پاسخ‌ها، وجود داده‌های پرت، الگوهای پاسخ‌دهی غیرعادی و داده‌های مفقود بررسی و سپس برای تحلیل آماری آماده شدند. تحلیل توصیفی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ انجام شد و برای توصیف ویژگی‌های جمعیت‌شناختی شرکت‌کنندگان از فراوانی و درصد و برای توصیف متغیرهای اصلی پژوهش از میانگین و انحراف معیار استفاده شد. پیش از آزمون مدل مفهومی، ویژگی‌های توزیع داده‌ها، همبستگی میان متغیرها و احتمال وجود هم‌خطی چندگانه بررسی شد. ضرایب همبستگی پیرسون برای بررسی روابط دو متغیره میان صنعت ۴.۰، یکپارچگی، شفافیت و عملکرد زنجیره تأمین محاسبه شد و شاخص‌های تحمل و عامل تورم واریانس برای بررسی هم‌خطی مورد استفاده قرار گرفتند. برای آزمون هم‌زمان روابط مستقیم و غیرمستقیم میان متغیرهای پژوهش از مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی در نرم‌افزار SmartPLS استفاده شد. تحلیل در دو مرحله شامل ارزیابی مدل اندازه‌گیری و ارزیابی مدل ساختاری انجام گرفت. در ارزیابی مدل اندازه‌گیری، بارهای عاملی گویه‌ها، آلفای کرونباخ، پایایی ترکیبی، میانگین واریانس استخراج‌شده و روایی واگرا بررسی شدند. پس از تأیید کفایت مدل اندازه‌گیری، مدل ساختاری از طریق ضرایب مسیر استاندارد، آماره t، سطح معناداری، ضریب تعیین و شاخص‌های پیش‌بینی مدل ارزیابی شد. در مدل ساختاری، ابتدا اثر مستقیم صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین بررسی شد و سپس مسیرهای صنعت ۴.۰ به یکپارچگی، صنعت ۴.۰ به شفافیت، یکپارچگی به عملکرد زنجیره تأمین و شفافیت به عملکرد زنجیره تأمین مورد آزمون قرار گرفتند. به‌منظور بررسی نقش میانجی متغیرهای یکپارچگی و شفافیت، اثرات غیرمستقیم صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین از طریق هر یک از این دو متغیر محاسبه شد. معناداری اثرات مستقیم و غیرمستقیم با استفاده از روش بوت‌استرپ با ۵,۰۰۰ بازنمونه‌گیری بررسی شد و فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای ضرایب برآورد گردید. در صورتی که فاصله اطمینان اثر غیرمستقیم شامل صفر نبود، اثر میانجی از نظر آماری معنادار تلقی شد. همچنین، با مقایسه معناداری اثر مستقیم و غیرمستقیم، نوع میانجی‌گری به‌صورت میانجی‌گری جزئی یا کامل تعیین شد. در تمامی آزمون‌های آماری، سطح معناداری کمتر از ۰.۰۵ به‌عنوان ملاک تصمیم‌گیری آماری در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

در این پژوهش، داده‌های مربوط به ۳۸۴ نفر از مدیران، کارشناسان و متخصصان شاغل در حوزه‌های زنجیره تأمین، تولید، عملیات، تدارکات، لجستیک و فناوری اطلاعات در شرکت‌ها و واحدهای صنعتی شهر تهران مورد تحلیل قرار گرفت. از مجموع شرکت‌کنندگان، ۲۴۷ نفر معادل ۶۴.۳ درصد مرد و ۱۳۷ نفر معادل ۳۵.۷ درصد زن بودند. از نظر سنی، ۶۱ نفر معادل ۱۵.۹ درصد کمتر از ۳۰ سال، ۱۳۲ نفر معادل ۳۴.۴ درصد در دامنه سنی ۳۰ تا ۳۹ سال، ۱۲۱ نفر معادل ۳۱.۵ درصد در دامنه سنی ۴۰ تا ۴۹ سال و ۷۰ نفر معادل ۱۸.۲ درصد ۵۰ سال و بیشتر سن داشتند. از نظر سطح تحصیلات، ۷۲ نفر معادل ۱۸.۸ درصد دارای مدرک کارشناسی، ۲۲۴ نفر معادل ۵۸.۳ درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد و ۸۸ نفر معادل ۲۲.۹ درصد دارای مدرک دکتری بودند. همچنین، از نظر سابقه کاری، ۵۳ نفر معادل ۱۳.۸ درصد کمتر از ۵ سال، ۱۰۹ نفر معادل ۲۸.۴ درصد بین ۵ تا ۱۰ سال، ۱۳۷ نفر معادل ۳۵.۷ درصد بین ۱۱ تا ۲۰ سال و ۸۵ نفر معادل ۲۲.۱ درصد بیش از ۲۰ سال سابقه فعالیت حرفه‌ای داشتند. از نظر حوزه شغلی، ۹۶ نفر معادل ۲۵.۰ درصد در حوزه زنجیره تأمین و تدارکات، ۸۲ نفر معادل ۲۱.۴ درصد در حوزه تولید و عملیات، ۷۴ نفر معادل ۱۹.۳ درصد در حوزه لجستیک و توزیع، ۶۸ نفر معادل ۱۷.۷ درصد در حوزه فناوری اطلاعات و سیستم‌های دیجیتال و ۶۴ نفر معادل ۱۶.۷ درصد در سایر حوزه‌های مدیریتی مرتبط با برنامه‌ریزی، کنترل موجودی و مدیریت فرآیندها

فعالیت داشتند. این توزیع نشان داد که نمونه پژوهش از نظر ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و حرفه‌ای از تنوع مناسبی برخوردار بوده و بخش قابل توجهی از پاسخ‌دهندگان دارای تحصیلات تکمیلی و سابقه حرفه‌ای بیش از ۱۰ سال بوده‌اند؛ بنابراین، می‌توان انتظار داشت ارزیابی آنان از وضعیت فناوری‌های صنعت ۴.۰، یکپارچگی، شفافیت و عملکرد زنجیره تأمین مبتنی بر تجربه مستقیم و آشنایی کافی با فرآیندهای سازمانی و بین‌سازمانی بوده باشد.

جدول ۱

شاخص‌های توصیفی و ضرایب همبستگی میان متغیرهای اصلی پژوهش

متغیر	میانگین	انحراف معیار	صنعت ۴.۰	یکپارچگی	شفافیت	عملکرد زنجیره تأمین
صنعت ۴.۰	۳.۷۱	۰.۶۶	۱.۰۰			
یکپارچگی	۳.۷۸	۰.۶۱	۰.۶۲**	۱.۰۰		
شفافیت	۳.۶۹	۰.۶۴	۰.۵۸**	۰.۵۶**	۱.۰۰	
عملکرد زنجیره تأمین	۳.۸۳	۰.۵۹	۰.۵۷**	۰.۶۴**	۰.۶۱**	۱.۰۰

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میانگین تمامی متغیرهای اصلی پژوهش بالاتر از نقطه میانی مقیاس پنج‌درجه‌ای قرار داشت. بالاترین میانگین مربوط به عملکرد زنجیره تأمین با میانگین ۳.۸۳ و انحراف معیار ۰.۵۹ بود و پس از آن یکپارچگی با میانگین ۳.۷۸ و انحراف معیار ۰.۶۱، صنعت ۴.۰ با میانگین ۳.۷۱ و انحراف معیار ۰.۶۶ و شفافیت با میانگین ۳.۶۹ و انحراف معیار ۰.۶۴ قرار داشتند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که پاسخ‌دهندگان وضعیت متغیرهای مورد مطالعه را در سطحی بالاتر از متوسط ارزیابی کرده‌اند. علاوه بر این، تمامی ضرایب همبستگی میان متغیرهای پژوهش مثبت و در سطح ۰.۰۱ از نظر آماری معنادار بودند. صنعت ۴.۰ با یکپارچگی همبستگی مثبت و نسبتاً قوی معادل ۰.۶۲، با شفافیت همبستگی مثبت معادل ۰.۵۸ و با عملکرد زنجیره تأمین همبستگی مثبت معادل ۰.۵۷ داشت. همچنین، یکپارچگی با عملکرد زنجیره تأمین دارای قوی‌ترین همبستگی مشاهده‌شده در ماتریس، معادل ۰.۶۴، بود و شفافیت نیز با عملکرد زنجیره تأمین همبستگی مثبت معادل ۰.۶۱ نشان داد. همبستگی ۰.۵۶ میان یکپارچگی و شفافیت نیز نشان‌دهنده ارتباط قابل توجه این دو سازه بود، با این حال مقدار همبستگی به اندازه‌ای نبود که نشان‌دهنده هم‌پوشانی شدید یا عدم تمایز مفهومی میان آنها باشد. در مجموع، الگوی همبستگی‌ها با مدل مفهومی پژوهش همسو بود و نشان داد که افزایش سطح به‌کارگیری فناوری‌ها و قابلیت‌های صنعت ۴.۰ با افزایش یکپارچگی و شفافیت زنجیره تأمین همراه است و هر سه متغیر نیز با سطوح بالاتر عملکرد زنجیره تأمین ارتباط مثبت دارند. همچنین، با توجه به اینکه هیچ‌یک از ضرایب همبستگی از ۰.۸۰ فراتر نرفت، شواهد اولیه‌ای مبنی بر نبود مشکل جدی هم‌خطی چندگانه میان متغیرهای اصلی پژوهش به دست آمد.

جدول ۲

نتایج ارزیابی مدل اندازه‌گیری، پایایی و روایی همگرا

سازه	دامنه بارهای عاملی	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی	میانگین واریانس استخراج‌شده
صنعت ۴.۰	۰.۷۱ تا ۰.۸۶	۰.۸۹	۰.۹۲	۰.۶۱
یکپارچگی	۰.۷۳ تا ۰.۸۸	۰.۹۱	۰.۹۳	۰.۶۵
شفافیت	۰.۷۲ تا ۰.۸۷	۰.۸۸	۰.۹۱	۰.۶۳
عملکرد زنجیره تأمین	۰.۷۴ تا ۰.۸۹	۰.۹۲	۰.۹۴	۰.۶۷

E-ISSN: 3041-8933

نتایج ارزیابی مدل اندازه‌گیری در جدول ۲ نشان داد که تمامی سازه‌های پژوهش از پایایی و روایی همگرای مطلوب برخوردار بودند. بارهای عاملی گویه‌های مربوط به صنعت ۴.۰ در دامنه ۰.۷۱ تا ۰.۸۶، گویه‌های یکپارچگی در دامنه ۰.۷۳ تا ۰.۸۸، گویه‌های شفافیت در دامنه ۰.۷۲ تا ۰.۸۷ و گویه‌های عملکرد زنجیره تأمین در دامنه ۰.۷۴ تا ۰.۸۹ قرار داشتند. بنابراین، تمامی بارهای عاملی از حداقل معیار پذیرفته‌شده ۰.۷۰ بیشتر بودند و این امر نشان داد که گویه‌های مورد استفاده توانایی مناسبی در تبیین سازه‌های نهفته متناظر خود داشتند. مقادیر آلفای کرونباخ برای تمامی سازه‌ها بین ۰.۸۸ و ۰.۹۲ قرار گرفت و مقادیر پایایی ترکیبی نیز در دامنه ۰.۹۱ تا ۰.۹۴ بود که هر دو شاخص به‌طور محسوسی از حد معیار ۰.۷۰ بیشتر بودند. این نتایج، همسانی درونی مطلوب ابزار اندازه‌گیری را تأیید کردند. همچنین، میانگین واریانس استخراج‌شده برای صنعت ۴.۰ برابر با ۰.۶۱، برای یکپارچگی ۰.۶۵، برای شفافیت ۰.۶۳ و برای عملکرد زنجیره تأمین ۰.۶۷ به دست آمد. تمامی این مقادیر از آستانه ۰.۵۰ بیشتر بودند و نشان دادند که هر سازه بیش از نیمی از واریانس گویه‌های خود را تبیین کرده است. افزون بر این، بررسی روایی واگرا از طریق نسبت هتروتریت-مونوتریت نشان داد که تمامی مقادیر این شاخص کمتر از ۰.۸۵ بودند و در دامنه ۰.۵۳ تا ۰.۷۴ قرار داشتند. بنابراین، تمایز مفهومی کافی میان چهار سازه صنعت ۴.۰، یکپارچگی، شفافیت و عملکرد زنجیره تأمین تأیید شد. در مجموع، نتایج مدل اندازه‌گیری نشان داد که ابزار پژوهش از ویژگی‌های روان‌سنجی مناسب برخوردار است و امکان ورود به مرحله ارزیابی مدل ساختاری و آزمون روابط فرض‌شده میان متغیرها وجود دارد.

جدول ۳

نتایج آزمون اثرات مستقیم در مدل ساختاری

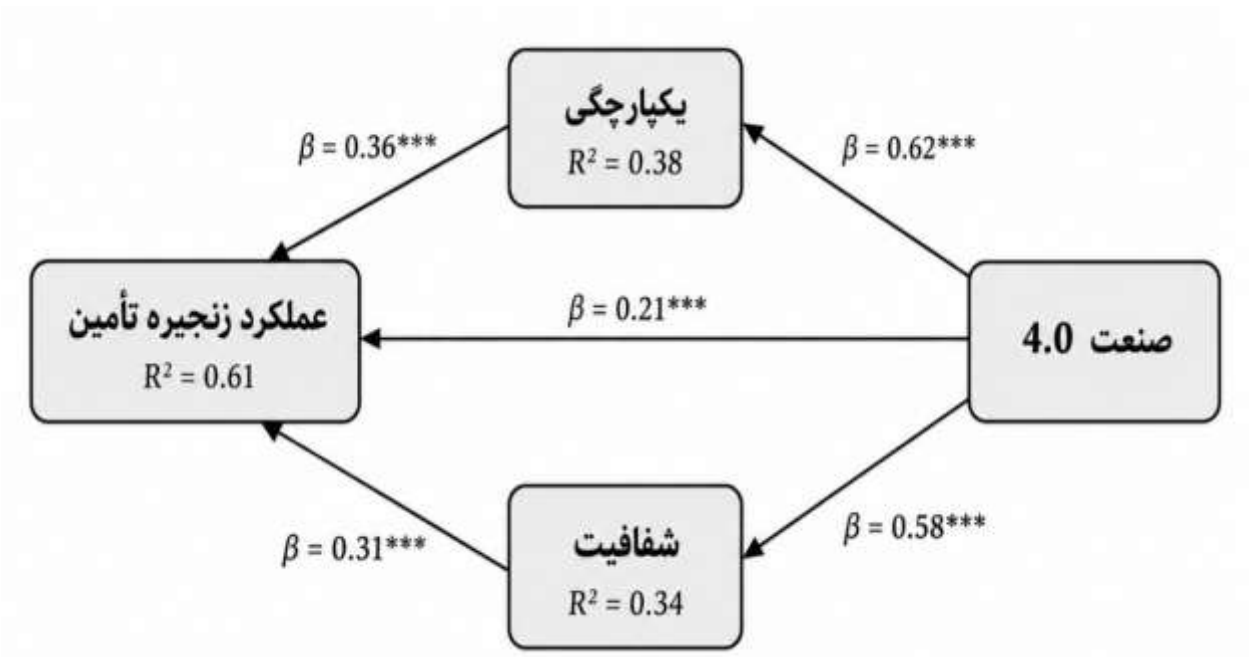
مسیر	ضریب مسیر استانداردβ	خطای استاندارد	آمارهt	مقدارp	نتیجه
صنعت ۴.۰ ← یکپارچگی	۰.۶۲	۰.۰۴۱	۱۵.۱۲	<۰.۰۰۱	معنادار
صنعت ۴.۰ ← شفافیت	۰.۵۸	۰.۰۴۴	۱۳.۱۸	<۰.۰۰۱	معنادار
صنعت ۴.۰ ← عملکرد زنجیره تأمین	۰.۲۱	۰.۰۴۹	۴.۲۹	<۰.۰۰۱	معنادار
یکپارچگی ← عملکرد زنجیره تأمین	۰.۳۶	۰.۰۵۲	۶.۹۲	<۰.۰۰۱	معنادار
شفافیت ← عملکرد زنجیره تأمین	۰.۳۱	۰.۰۴۸	۶.۴۶	<۰.۰۰۱	معنادار

نتایج مدل ساختاری ارائه‌شده در جدول ۳ نشان داد که تمامی مسیرهای مستقیم پیش‌بینی‌شده در مدل از نظر آماری معنادار بودند. اثر صنعت ۴.۰ بر یکپارچگی مثبت و قوی بود و ضریب مسیر استاندارد آن برابر با ۰.۶۲ به دست آمد که با آماره t برابر با ۱۵.۱۲ و مقدار p کمتر از ۰.۰۰۱ معنادار بود. این یافته نشان می‌دهد که افزایش سطح استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰، شامل دیجیتالی‌شدن فرآیندها، اتصال سیستم‌ها، تبادل بلادرنگ اطلاعات و استفاده از فناوری‌های هوشمند، با افزایش قابل توجه سطح هماهنگی و یکپارچگی میان واحدها و اعضای زنجیره تأمین همراه است. همچنین، اثر صنعت ۴.۰ بر شفافیت برابر با ۰.۵۸ بود و آماره t برابر با ۱۳.۱۸ نشان داد که این رابطه نیز در سطح کمتر از ۰.۰۰۱ معنادار است. بنابراین، هرچه سازمان‌ها از فناوری‌های صنعت ۴.۰ در سطح بالاتری استفاده کنند، قابلیت مشاهده، دسترسی و ردیابی اطلاعات در زنجیره تأمین نیز افزایش می‌یابد. اثر مستقیم صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین برابر با ۰.۲۱ بود که هرچند از دو مسیر قبلی ضعیف‌تر بود، اما با آماره t برابر با ۴.۲۹ همچنان از نظر آماری در سطح کمتر از ۰.۰۰۱ معنادار بود. علاوه بر این، یکپارچگی اثر مثبت و معناداری بر عملکرد زنجیره تأمین داشت و ضریب استاندارد این مسیر برابر با ۰.۳۶ بود. شفافیت نیز با ضریب مسیر ۰.۳۱ تأثیر مثبت و

معناداری بر عملکرد زنجیره تأمین نشان داد. مقایسه ضرایب مسیر نشان می‌دهد که در میان پیش‌بین‌های مستقیم عملکرد زنجیره تأمین، یکپارچگی دارای بیشترین اثر و پس از آن شفافیت و صنعت ۴.۰ قرار داشتند. این الگو بیانگر آن است که بخش مهمی از تأثیر فناوری‌های صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین احتمالاً نه به‌صورت صرفاً مستقیم، بلکه از طریق تقویت قابلیت‌های سازمانی و بین‌سازمانی، به‌ویژه یکپارچگی و شفافیت، منتقل می‌شود و همین امر ضرورت آزمون دقیق اثرات میانجی را تأیید می‌کند.

شکل ۱

مدل ساختاری تأثیر صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با نقش میانجی یکپارچگی و شفافیت



مدل ساختاری ارائه‌شده در شکل ۱ الگوی کلی روابط میان متغیرهای پژوهش را نمایش می‌دهد. در این مدل، صنعت ۴.۰ به‌عنوان متغیر برون‌زا، یکپارچگی و شفافیت به‌عنوان متغیرهای میانجی و عملکرد زنجیره تأمین به‌عنوان متغیر درون‌زای نهایی در نظر گرفته شدند. ضرایب مسیر استاندارد نشان دادند که صنعت ۴.۰ هم به‌طور مستقیم بر عملکرد زنجیره تأمین اثرگذار است و هم از طریق افزایش یکپارچگی و شفافیت، اثر غیرمستقیم بر آن اعمال می‌کند. ضریب تعیین برای متغیر یکپارچگی برابر با ۰.۳۸ بود؛ به این معنا که ۳۸ درصد از واریانس یکپارچگی توسط صنعت ۴.۰ تبیین شد. ضریب تعیین شفافیت برابر با ۰.۳۴ به دست آمد که نشان داد ۳۴ درصد از تغییرات این متغیر نیز به وسیله صنعت ۴.۰ قابل تبیین است. برای عملکرد زنجیره تأمین، ضریب تعیین برابر با ۰.۶۱ بود؛ بنابراین، صنعت ۴.۰، یکپارچگی و شفافیت در مجموع توانستند ۶۱ درصد از واریانس عملکرد زنجیره تأمین را توضیح دهند. مقدار ۰.۶۱ برای ضریب تعیین عملکرد نشان‌دهنده قدرت تبیین نسبتاً بالای مدل ساختاری بود و تأیید کرد که متغیرهای در نظر گرفته‌شده بخش قابل توجهی از تفاوت‌های موجود در عملکرد زنجیره تأمین را توضیح می‌دهند. همچنین، شاخص Q^2 برای یکپارچگی ۰.۲۴، برای شفافیت ۰.۲۱ و برای عملکرد زنجیره تأمین ۰.۳۹ به دست آمد. مثبت بودن تمامی مقادیر Q^2 نشان داد که مدل از قابلیت پیش‌بینی مناسبی برای سازه‌های درون‌زا برخوردار است و مقدار بالاتر مربوط به عملکرد زنجیره تأمین نیز قدرت پیش‌بینی مطلوب مدل در ارتباط با متغیر وابسته اصلی پژوهش را نشان داد.

E-ISSN: 3041-8933

جدول ۴

نتایج آزمون اثرات غیرمستقیم و نقش میانجی یکپارچگی و شفافیت

مسیر غیرمستقیم	اثر غیرمستقیمβ	خطای استاندارد	آمارهt	مقدارp	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	نوع میانجی‌گری
صنعت ۴.۰ ← یکپارچگی ← عملکرد زنجیره تأمین	۰.۲۲۳	۰.۰۳۶	۶.۱۹	<۰.۰۰۱	۰.۱۵۷تا ۰.۲۹۸	جزئی
صنعت ۴.۰ ← شفافیت ← عملکرد زنجیره تأمین	۰.۱۸۰	۰.۰۳۲	۵.۶۳	<۰.۰۰۱	۰.۱۲۱تا ۰.۲۴۷	جزئی
مجموع اثرات غیرمستقیم	۰.۴۰۳	۰.۰۴۸	۸.۴۰	<۰.۰۰۱	۰.۳۱۵تا ۰.۵۰۲	معنادار
اثر کل صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین	۰.۶۱۳	۰.۰۴۳	۱۴.۲۶	<۰.۰۰۱	۰.۵۲۶تا ۰.۶۹۴	معنادار

نتایج آزمون میانجی‌گری در جدول ۴ نشان داد که هر دو متغیر یکپارچگی و شفافیت نقش میانجی معناداری در رابطه میان صنعت ۴.۰ و عملکرد زنجیره تأمین ایفا می‌کنند. اثر غیرمستقیم صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین از طریق یکپارچگی برابر با ۰.۲۲۳ بود و آماره tبرابر با ۶.۱۹ و مقدار p کمتر از ۰.۰۰۱ نشان داد که این اثر از نظر آماری معنادار است. فاصله اطمینان ۹۵ درصد این اثر در دامنه ۰.۱۵۷ تا ۰.۲۹۸ قرار داشت و از آنجا که صفر در این فاصله قرار نگرفت، معناداری نقش میانجی یکپارچگی تأیید شد. همچنین، اثر غیرمستقیم صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین از طریق شفافیت برابر با ۰.۱۸۰ به دست آمد و با آماره t برابر با ۵.۶۳ در سطح کمتر از ۰.۰۰۱ معنادار بود. فاصله اطمینان ۹۵ درصد این مسیر بین ۰.۱۲۱ تا ۰.۲۴۷ قرار داشت که بار دیگر عدم قرارگیری صفر در فاصله اطمینان، معناداری اثر میانجی شفافیت را تأیید کرد. مقایسه دو اثر غیرمستقیم نشان داد که نقش میانجی یکپارچگی با ضریب ۰.۲۲۳ اندکی قوی‌تر از نقش میانجی شفافیت با ضریب ۰.۱۸۰ است. مجموع اثرات غیرمستقیم برابر با ۰.۴۰۳ بود و در سطح کمتر از ۰.۰۰۱ معنادار شد. با توجه به اینکه اثر مستقیم صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین پس از ورود دو متغیر میانجی همچنان مثبت و معنادار باقی ماند، الگوی میانجی‌گری برای هر دو متغیر از نوع میانجی‌گری جزئی تشخیص داده شد. اثر کل صنعت ۴ ۰.بر عملکرد زنجیره تأمین، شامل اثر مستقیم و مجموع اثرات غیرمستقیم، برابر با ۰.۶۱۳ بود که با آماره t برابر با ۱۴.۲۶ در سطح کمتر از ۰.۰۰۱ معنادار بود. این یافته نشان می‌دهد که صنعت ۴.۰ در مجموع تأثیر قابل توجهی بر عملکرد زنجیره تأمین دارد، اما بخش عمده‌ای از این اثر از طریق بهبود سازوکارهای یکپارچگی و شفافیت منتقل می‌شود. به بیان دیگر، صرف استفاده از فناوری‌های مرتبط با صنعت ۴.۰ برای دستیابی به حداکثر بهبود در عملکرد زنجیره تأمین کافی نیست و سازمان‌ها زمانی می‌توانند بیشترین بهره را از این فناوری‌ها به دست آورند که دیجیتالی‌شدن به افزایش هماهنگی میان واحدها و شرکای زنجیره، اشتراک سریع‌تر و دقیق‌تر اطلاعات، قابلیت مشاهده جریان مواد و اطلاعات و شفاف‌تر شدن فعالیت‌های زنجیره تأمین منجر شود. بر این اساس، یافته‌های پژوهش مدل مفهومی پیشنهادی را تأیید کرده و نشان دادند که یکپارچگی و شفافیت دو سازوکار مهم انتقال اثر صنعت ۴.۰ به عملکرد زنجیره تأمین محسوب می‌شوند.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که صنعت ۴.۰ تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد زنجیره تأمین دارد و در عین حال، یکپارچگی و شفافیت نیز به‌طور مستقل و معنادار عملکرد زنجیره تأمین را ارتقا می‌دهند. علاوه بر این، صنعت ۴.۰ اثر مثبت و معناداری بر هر دو متغیر یکپارچگی و شفافیت داشت و نتایج آزمون میانجی‌گری نشان داد که هر دو متغیر نقش میانجی جزئی و معناداری در رابطه میان صنعت ۴.۰ و عملکرد زنجیره تأمین ایفا می‌کنند. به بیان دقیق‌تر، اثر مستقیم صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین برابر با ۰.۲۱ بود، در حالی که اثر غیرمستقیم آن از طریق یکپارچگی ۰.۲۲۳ و از طریق شفافیت ۰.۱۸۰ به دست آمد. مجموع اثرات غیرمستقیم برابر با ۰.۴۰۳ و اثر کل صنعت

۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین برابر با ۰.۶۱۳ بود. همچنین، یکپارچگی با ضریب مسیر ۰.۳۶ و شفافیت با ضریب مسیر ۰.۳۱ بر عملکرد زنجیره تأمین اثر مثبت و معناداری داشتند. این الگو نشان می‌دهد که اگرچه پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت ۴.۰ به‌طور مستقیم می‌تواند عملکرد زنجیره تأمین را بهبود دهد، بخش مهم‌تری از این اثر از طریق سازوکارهای سازمانی و بین‌سازمانی، به‌ویژه تقویت یکپارچگی و افزایش شفافیت، منتقل می‌شود. این نتیجه با رویکردهای جدید در ادبیات زنجیره تأمین همسو است که فناوری را نه به‌عنوان یک عامل منفرد، بلکه به‌عنوان بستری برای توسعه قابلیت‌هایی می‌دانند که در نهایت به بهبود عملکرد منجر می‌شوند (Rehman et al., 2024; Zhang et al., 2023).

اثر مثبت صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین با یافته‌های مطالعاتی همسو است که نشان داده‌اند فناوری‌های دیجیتال می‌توانند از طریق بهبود سرعت پردازش اطلاعات، افزایش قابلیت پیش‌بینی، کاهش تأخیرهای تصمیم‌گیری و ارتقای هماهنگی، عملکرد عملیاتی را تقویت کنند. Rehman و همکاران نشان دادند که فناوری‌های صنعت ۴.۰ با عملکرد زنجیره تأمین رابطه مثبت دارند و این رابطه در شرایط همسویی راهبردی می‌تواند قوی‌تر شود (Rehman et al., 2024). همچنین، Turan نشان داد که شیوه‌های تولید مبتنی بر صنعت ۴.۰ می‌توانند عملکرد عملیاتی را ارتقا دهند و بخشی از این اثر از طریق یکپارچگی سیستم‌های تولید و چابکی زنجیره منتقل می‌شود (Turan, 2026). از منظر نظری، این یافته قابل انتظار است؛ زیرا فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، تحلیل کلان‌داده، هوش مصنوعی و دوقلوهای دیجیتال، سازمان را قادر می‌سازند داده‌های دقیق‌تر و بلادرنگ‌تری از وضعیت عملیات، سفارش‌ها، موجودی‌ها و جریان مواد دریافت کند و بر مبنای آن تصمیم‌های سریع‌تر و دقیق‌تری اتخاذ کند. این قابلیت‌ها می‌توانند زمان چرخه سفارش را کاهش دهند، قابلیت اطمینان تحویل را افزایش دهند و انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات تقاضا را بهبود بخشند. Xue و Li نیز بر این موضوع تأکید کرده‌اند که فناوری‌های تحول‌آفرین صنعت ۴.۰ می‌توانند به سازمان‌ها در ایجاد تعادل میان کارایی و تاب‌آوری کمک کنند (Xue & Li, 2023). بنابراین، اثر مستقیم مثبت صنعت ۴.۰ بر عملکرد زنجیره تأمین در پژوهش حاضر را می‌توان حاصل ظرفیت این فناوری‌ها در ارتقای کیفیت و سرعت تصمیم‌گیری و کاهش اصطکاک‌های عملیاتی دانست.

نتایج همچنین نشان داد که صنعت ۴.۰ اثر مثبت و قابل توجهی بر یکپارچگی زنجیره تأمین دارد. این یافته با پژوهش Argyropoulou و همکاران همسو است که نشان دادند قابلیت اینترنت اشیا می‌تواند یکپارچگی زنجیره تأمین را تقویت کرده و در نهایت به بهبود عملکرد بنگاه منجر شود (Argyropoulou et al., 2024). همچنین، Najat در مرور خود بر دیجیتالی‌سازی و خودکارسازی کسب‌وکار نشان داد که فناوری‌های دیجیتال می‌توانند یکپارچگی زنجیره را از طریق کاهش گسست اطلاعاتی، تسهیل تبادل داده و افزایش هماهنگی میان واحدها بهبود دهند (Najat, 2024). Veile و همکاران نیز بر این نکته تأکید کرده‌اند که صنعت ۴.۰ ساختار همکاری در زنجیره تأمین را متحول می‌کند و روابط میان اعضا را از تعاملات پراکنده و مقطعی به ارتباطاتی مستمر، یکپارچه و داده‌محور سوق می‌دهد (Veile et al., 2024). بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که فناوری‌های صنعت ۴.۰ از طریق اتصال سیستم‌ها، استانداردسازی جریان اطلاعات و ایجاد امکان تبادل بلادرنگ داده‌ها، مرزهای سنتی میان واحدها و شرکای زنجیره را کاهش می‌دهند و زمینه هماهنگی گسترده‌تر را فراهم می‌کنند. در چنین شرایطی، اطلاعات مربوط به خرید، تولید، موجودی، توزیع و تقاضا به‌صورت هماهنگ‌تری در دسترس قرار می‌گیرد و تصمیم‌ها می‌توانند با اتکا به داده‌های مشترک اتخاذ شوند.

اثر مثبت یکپارچگی بر عملکرد زنجیره تأمین نیز از دیگر یافته‌های مهم پژوهش بود. این نتیجه با مطالعات Jiang و همکاران و Hu و همکاران همخوانی دارد. Jiang و همکاران نشان دادند که یکپارچگی زنجیره تأمین در کنار قابلیت تحلیل کلان‌داده می‌تواند تاب‌آوری زنجیره را تقویت کند و سازمان را برای مقابله با اختلالات آماده‌تر سازد (Jiang et al., 2024). Hu و همکاران نیز نشان دادند که یکپارچگی نقش میانجی مهمی در ارتباط میان قابلیت مشاهده عرضه و تقاضا و نوآوری محصول دارد (Hu et al., 2024). در پژوهش حاضر نیز مشاهده

E-ISSN: 3041-8933

شد که یکپارچگی قوی‌ترین پیش‌بین مستقیم عملکرد زنجیره تأمین در میان متغیرهای میانجی بود. این موضوع را می‌توان چنین تبیین کرد که وقتی واحدهای درون سازمان و شرکای بیرونی زنجیره بر مبنای اطلاعات مشترک و فرآیندهای هماهنگ عمل می‌کنند، احتمال دوباره‌کاری، تأخیر، ناسازگاری برنامه‌ها و تصمیم‌های متناقض کاهش می‌یابد. یکپارچگی همچنین می‌تواند هماهنگی میان پیش‌بینی تقاضا، برنامه تولید، خرید مواد اولیه و توزیع را افزایش دهد و از این طریق عملکرد کلی را بهبود بخشد. Kamble و همکاران نیز نشان داده‌اند که فناوری بلاکچین می‌تواند از طریق تقویت یکپارچگی زنجیره تأمین، عملکرد پایدار را ارتقا دهد (Kamble & Gunasekaran, 2023). بنابراین، نتایج حاضر از این دیدگاه پشتیبانی می‌کند که ارزش فناوری زمانی آشکار می‌شود که به یکپارچگی واقعی در سطح فرآیندها و روابط زنجیره منجر شود.

در کنار یکپارچگی، نتایج نشان داد که صنعت ۴.۰ اثر مثبت و معناداری بر شفافیت زنجیره تأمین دارد. این یافته با نتایج Patil و همکاران همسو است که نشان دادند آمادگی برای استفاده از دوقلوهای دیجیتال می‌تواند شفافیت زنجیره تأمین را افزایش دهد و از این طریق عملکرد پایدار را تقویت کند (Patil et al., 2024). همچنین، Kaur و همکاران نشان دادند که پذیرش صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین مواد غذایی می‌تواند قابلیت مشاهده و کارایی عملیاتی را بهبود دهد (Kaur et al., 2023). Agrawal و همکاران نیز بر اهمیت قابلیت مشاهده به‌عنوان یکی از اولویت‌های مدیریتی در زنجیره تأمین تأکید کرده‌اند (Agrawal et al., 2024). فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا و سامانه‌های ردیابی هوشمند می‌توانند اطلاعات مربوط به مکان، وضعیت و حرکت کالاها را به‌صورت لحظه‌ای ثبت و منتقل کنند، در حالی که بلاکچین می‌تواند قابلیت اعتماد و ردیابی داده‌ها را افزایش دهد. Xing و همکاران نیز نشان داده‌اند که ترکیب هوش مصنوعی، بلاکچین و اینترنت اشیا می‌تواند شفافیت را در زنجیره‌های تأمین مبتنی بر پلتفرم افزایش داده و عملکرد زنجیره چرخشی را بهبود بخشد (Xing et al., 2026). بنابراین، اثر مثبت صنعت ۴.۰ بر شفافیت در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که دیجیتالی‌شدن نه‌تنها سرعت تبادل اطلاعات را افزایش می‌دهد، بلکه امکان مشاهده دقیق‌تر و قابل اعتمادتر وضعیت زنجیره را نیز فراهم می‌کند.

اثر مثبت شفافیت بر عملکرد زنجیره تأمین نیز با مطالعات پیشین همسو است. Tan و همکاران نشان دادند که قابلیت مشاهده مبتنی بر بلاکچین می‌تواند از طریق افزایش یکپارچگی، عملکرد زنجیره تأمین را ارتقا دهد (Tan et al., 2023). همچنین، Jum’a گزارش کرد که کاربردهای بلاکچین در زنجیره تأمین می‌توانند با افزایش شفافیت، اعتماد و قابلیت ردیابی، عملکرد زنجیره را بهبود دهند (Jum’a, 2023). Jain و همکاران نیز نشان دادند که فناوری‌های پایه صنعت ۴.۰ از طریق افزایش قابلیت مشاهده، تاب‌آوری زنجیره را در محیط‌های پویا تقویت می‌کنند (Jain et al., 2024). از منظر مدیریتی، شفافیت موجب کاهش عدم تقارن اطلاعاتی می‌شود و به مدیران اجازه می‌دهد مشکلات را پیش از تبدیل شدن به اختلالات گسترده شناسایی کنند. هنگامی که اطلاعات سفارش، موجودی، حمل‌ونقل و ظرفیت تولید در دسترس و قابل اعتماد باشد، سازمان می‌تواند تصمیم‌های دقیق‌تری درباره تخصیص منابع و پاسخ‌گویی به مشتریان اتخاذ کند. این امر به کاهش موجودی‌های غیرضروری، بهبود قابلیت اطمینان تحویل و افزایش سرعت واکنش منجر می‌شود. از این رو، شفافیت را می‌توان یک قابلیت کلیدی دانست که فاصله میان فناوری و عملکرد را کاهش می‌دهد.

مهم‌ترین یافته پژوهش حاضر، تأیید نقش میانجی جزئی یکپارچگی و شفافیت در رابطه میان صنعت ۴.۰ و عملکرد زنجیره تأمین بود. این نتیجه نشان می‌دهد که فناوری‌های صنعت ۴.۰ به‌تنهایی تضمین‌کننده عملکرد بهتر نیستند، بلکه باید به قابلیت‌هایی منجر شوند که سازمان بتواند از آنها برای هماهنگی و تصمیم‌گیری استفاده کند. این یافته با منطق مطالعاتی همسو است که بر نقش قابلیت‌های واسطه‌ای تأکید کرده‌اند. Turan نشان داد که یکپارچگی سیستم‌های تولید و چابکی نقش میانجی در ارتباط میان شیوه‌های صنعت ۴.۰ و عملکرد عملیاتی دارند (Turan, 2026). Alfaqiyah و همکاران نیز نشان دادند که فناوری‌های صنعت ۴.۰ از طریق چابکی، سازگاری و یکپارچگی با مشتریان می‌توانند تاب‌آوری زنجیره را افزایش دهند (Alfaqiyah et al., 2025). در همین راستا، Wong و همکاران نشان دادند که کاربرد

هوش مصنوعی در مدیریت ریسک می‌تواند چابکی زنجیره تأمین را تقویت کند و از این طریق واکنش‌پذیری زنجیره را بهبود دهد (Wong et al., 2024). این مطالعات همگی بر این ایده تأکید دارند که فناوری زمانی ارزش واقعی ایجاد می‌کند که در قالب یک قابلیت عملیاتی یا سازمانی تجلی یابد.

قوی‌تر بودن اثر میانجی یکپارچگی نسبت به شفافیت نیز قابل توجه است. این تفاوت می‌تواند نشان دهد که صرف دسترسی به اطلاعات شفاف، بدون وجود سازوکارهای هماهنگی و یکپارچه‌سازی، برای ایجاد اثر کامل بر عملکرد کافی نیست. به بیان دیگر، شفافیت اطلاعاتی شرط مهمی است، اما زمانی بیشترین ارزش را ایجاد می‌کند که اطلاعات مشاهده‌شده بتواند در فرآیندهای هماهنگ مورد استفاده قرار گیرد. Hu و همکاران نیز نشان داده‌اند که قابلیت مشاهده وقتی به نتایج عملکردی و نوآورانه منجر می‌شود که با یکپارچگی همراه باشد (Hu et al., 2024). همچنین، Tan و همکاران نشان دادند که رابطه میان قابلیت مشاهده مبتنی بر بلاکچین و عملکرد زنجیره تا حد زیادی از طریق یکپارچگی تقویت می‌شود (Tan et al., 2023). بنابراین، می‌توان استدلال کرد که یکپارچگی سازوکاری است که اطلاعات شفاف را به اقدام هماهنگ تبدیل می‌کند. در نتیجه، سازمان‌ها نباید شفافیت و یکپارچگی را به‌عنوان دو قابلیت مستقل و جایگزین یکدیگر در نظر بگیرند، بلکه باید آنها را به‌عنوان قابلیت‌هایی مکمل ببینند.

از منظر گسترده‌تر، یافته‌های پژوهش حاضر با ادبیات مربوط به پایداری و اقتصاد چرخشی نیز همسو است. Junaid و همکاران نشان دادند که فناوری‌های صنعت ۴.۰، شیوه‌های اقتصاد چرخشی و قابلیت مشاهده زنجیره می‌توانند به‌طور مشترک عملکرد پایدار را تقویت کنند (Junaid et al., 2024). Kamble و Gunasekaran نیز گزارش کردند که فناوری‌های صنعت ۴.۰ در کنار شیوه‌های اقتصاد چرخشی به بهبود عملکرد پایدار در سازمان‌های تولیدی منجر می‌شوند (Kamble et al., 2023). Suchek و همکاران نیز به نقش صنعت ۴.۰ در تحول زنجیره‌های ارزش جهانی و تسهیل گذار به اقتصاد چرخشی اشاره کرده‌اند (Suchek et al., 2024). در همین راستا، Dacre و همکاران تأکید کرده‌اند که تحول آینده زنجیره‌های تأمین به سمت صنعت ۵.۰ نیز بر پایداری، تاب‌آوری و انسان‌محوری استوار خواهد بود (Dacre et al., 2024). این شواهد نشان می‌دهد که یکپارچگی و شفافیت نه‌تنها برای بهبود عملکرد کوتاه‌مدت عملیاتی، بلکه برای دستیابی به اهداف گسترده‌تر پایداری و تاب‌آوری نیز اهمیت دارند.

همچنین، یافته‌های پژوهش را می‌توان در پرتو نقش فرهنگ سازمانی و آمادگی دیجیتال تفسیر کرد. Tortorella و همکاران نشان دادند که اصول طراحی صنعت ۴.۰ با فرهنگ سازمانی رابطه دارند و پیاده‌سازی موفق فناوری نیازمند هماهنگی میان فناوری، ساختار و فرهنگ است (Tortorella et al., 2024). Singine و Yüksel نیز بر مجموعه‌ای از عوامل توانمندساز برای پذیرش موفق زنجیره تأمین ۴.۰ تأکید کرده‌اند که در میان آنها قابلیت مشاهده و کارایی جایگاه مهمی دارند (Singine & Yüksel, 2026). از این منظر، اثرات مشاهده‌شده در پژوهش حاضر را نمی‌توان صرفاً به وجود فناوری نسبت داد؛ بلکه احتمالاً سازمان‌هایی که صنعت ۴.۰ را به‌صورت مؤثرتر پیاده کرده‌اند، هم‌زمان از زیرساخت‌های مناسب‌تر برای تبادل داده، هماهنگی فرآیندها و همکاری بین واحدی نیز برخوردار بوده‌اند. Nazir و همکاران نیز نشان داده‌اند که راهبردهای دیجیتال و محیطی می‌توانند رابطه میان صنعت ۴.۰، پایداری و خلق ارزش را تقویت کنند (Nazir et al., 2026). بنابراین، نتایج پژوهش حاضر از رویکردی حمایت می‌کند که صنعت ۴.۰ را بخشی از یک نظام اجتماعی-فنی گسترده‌تر می‌داند و نه صرفاً مجموعه‌ای از ابزارهای فناورانه.

در مجموع، نتایج پژوهش نشان داد که مدل مفهومی ارائه‌شده از قدرت تبیین مناسبی برخوردار است، به‌طوری که صنعت ۴.۰ توانست ۳۸ درصد از واریانس یکپارچگی و ۳۴ درصد از واریانس شفافیت را توضیح دهد و صنعت ۴.۰، یکپارچگی و شفافیت در مجموع ۶۱ درصد از واریانس عملکرد زنجیره تأمین را تبیین کردند. این سطح از تبیین نشان می‌دهد که دو متغیر میانجی انتخاب‌شده بخش مهمی از

E-ISSN: 3041-8933

سازوکار اثرگذاری صنعت ۴.۰ بر عملکرد را توضیح می‌دهند. در عین حال، باقی‌ماندن بخشی از واریانس تبیین‌نشده نشان می‌دهد که عوامل دیگری مانند چابکی، تاب‌آوری، قابلیت‌های تحلیلی، فرهنگ سازمانی، راهبرد دیجیتال و نوآوری نیز می‌توانند در این رابطه نقش داشته باشند؛ موضوعی که با نتایج مطالعات مربوط به کلان‌داده، چابکی و قابلیت‌های پویا همسو است (Li et al., 2024; Wong et al., 2024). بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد زنجیره تأمین در عصر صنعت ۴.۰ محصول تعامل میان فناوری و قابلیت‌های سازمانی است و نه نتیجه مستقیم سرمایه‌گذاری فناورانه به‌تنهایی.

این پژوهش با وجود ارائه شواهد تجربی درباره نقش میانجی یکپارچگی و شفافیت، دارای محدودیت‌هایی بود که باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرد. نخست، پژوهش به‌صورت مقطعی انجام شد و داده‌ها در یک مقطع زمانی گردآوری شدند؛ بنابراین، امکان استنباط روابط علّی قطعی میان متغیرها محدود است. دوم، داده‌ها بر اساس ادراک و پاسخ‌های خودگزارشی مدیران و کارشناسان جمع‌آوری شدند و ممکن است تحت تأثیر سوگیری پاسخ‌دهی، مطلوبیت اجتماعی یا برداشت‌های فردی قرار گرفته باشند. سوم، نمونه پژوهش به شرکت‌ها و واحدهای صنعتی شهر تهران محدود بود و ممکن است ویژگی‌های محیط کسب‌وکار، زیرساخت دیجیتال و ساختار زنجیره تأمین در سایر مناطق کشور با تهران متفاوت باشد. چهارم، پژوهش حاضر صنعت ۴.۰ را به‌صورت یک سازه کلی بررسی کرد و تفاوت میان فناوری‌های مختلف مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، بلاکچین و دوقلوهای دیجیتال به‌صورت جداگانه تحلیل نشد. همچنین، متغیرهای زمینه‌ای دیگری مانند اندازه سازمان، شدت رقابت، بلوغ دیجیتال، فرهنگ سازمانی و پویایی محیطی در مدل وارد نشدند؛ در نتیجه، بخشی از تغییرات عملکرد زنجیره تأمین می‌تواند تحت تأثیر عواملی باشد که در این پژوهش اندازه‌گیری نشده‌اند.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با استفاده از طرح‌های طولی، اثرات صنعت ۴.۰ بر یکپارچگی، شفافیت و عملکرد زنجیره تأمین را در طول زمان بررسی کنند تا امکان تحلیل دقیق‌تر روابط علّی و پویایی‌های تحول دیجیتال فراهم شود. همچنین، می‌توان مدل پژوهش حاضر را در صنایع مختلف مانند خودروسازی، دارویی، غذایی، پتروشیمی و تجارت الکترونیک به‌صورت جداگانه آزمون کرد و تفاوت‌های بین‌بخشی را مورد مقایسه قرار داد. بررسی تفکیکی فناوری‌های صنعت ۴.۰ و مقایسه اثر اینترنت اشیا، بلاکچین، هوش مصنوعی، کلان‌داده و دوقلوهای دیجیتال بر یکپارچگی و شفافیت نیز می‌تواند به شناخت دقیق‌تر سازوکارهای اثرگذاری کمک کند. پیشنهاد می‌شود در مدل‌های آینده، متغیرهایی مانند چابکی زنجیره تأمین، تاب‌آوری، اعتماد بین‌سازمانی، قابلیت‌های تحلیلی، بلوغ دیجیتال، فرهنگ سازمانی و پویایی محیطی به‌عنوان میانجی یا تعدیل‌گر وارد شوند. استفاده از داده‌های عینی عملکردی در کنار داده‌های ادراکی، به‌کارگیری روش‌های چندمنبعی و انجام مطالعات مقایسه‌ای بین کشورها نیز می‌تواند روایی بیرونی یافته‌ها را افزایش دهد و تصویر جامع‌تری از چگونگی ایجاد ارزش از طریق صنعت ۴.۰ ارائه کند.

بر مبنای نتایج این پژوهش، مدیران سازمان‌ها و زنجیره‌های تأمین باید پیاده‌سازی صنعت ۴.۰ را فراتر از خرید و استقرار فناوری در نظر بگیرند و آن را با بازطراحی فرآیندها، یکپارچه‌سازی سیستم‌ها و افزایش شفافیت اطلاعات همراه سازند. ایجاد پایگاه‌های داده مشترک، اتصال سامانه‌های خرید، تولید، انبار، فروش و لجستیک، توسعه داشبوردهای بلادرنگ و استانداردسازی جریان اطلاعات می‌تواند به افزایش یکپارچگی عملیاتی کمک کند. همچنین، سازمان‌ها باید زیرساخت‌هایی برای ردیابی سفارش‌ها، موجودی‌ها، مواد اولیه و حمل‌ونقل ایجاد کنند تا قابلیت مشاهده زنجیره افزایش یابد. توسعه همکاری دیجیتال با تأمین‌کنندگان و مشتریان، تعریف شاخص‌های مشترک عملکرد، آموزش کارکنان برای استفاده از داده‌های دیجیتال و ایجاد فرهنگ مبتنی بر اشتراک اطلاعات نیز اهمیت دارد. مدیران باید توجه داشته باشند که شفافیت بدون یکپارچگی ممکن است به انباشت اطلاعات بدون اقدام مؤثر منجر شود و یکپارچگی بدون شفافیت نیز می‌تواند تصمیم‌گیری را بر پایه داده‌های ناقص قرار دهد؛ بنابراین، این دو قابلیت باید به‌صورت هم‌زمان توسعه یابند. در نهایت، پیشنهاد می‌شود سازمان‌ها پیش از

سرمایه‌گذاری گسترده در فناوری‌های صنعت ۴.۰، سطح بلوغ دیجیتال، آمادگی فرایندی و توان یکپارچه‌سازی خود را ارزیابی کنند و برنامه تحول دیجیتال را بر مبنای پیوند روشن میان فناوری، شفافیت، هماهنگی و اهداف عملکردی زنجیره تأمین طراحی کنند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازین و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

Agrawal, T. K., Kalaiarasan, R., Olhager, J., & Wiktorsson, M. (2024). Supply chain visibility: A Delphi study on managerial perspectives and priorities. *International Journal of Production Research*, *62*(8), 2927-2942. https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2098873

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.

Argyropoulou, M., Garcia, E., Nemati, S., & Spanaki, K. (2024). The effect of IoT capability on supply chain integration and firm performance: An empirical study in the UK retail industry. *Journal of Enterprise Information Management*, *37*(3), 875-902. https://doi.org/10.1108/JEIM-06-2022-0219

Dacre, N., Yan, J., Frei, R., Al-Mhdawi, M. K. S., & Dong, H. (2024). Advancing sustainable manufacturing: A systematic exploration of Industry 5.0 supply chains for sustainability, human-centricity, and resilience. *Production Planning & Control*, 1-30. https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2380361

Hair, J. F., Sarstedt, M., Ringle, C. M., & Gudergan, S. P. (2024). *Advanced issues in partial least squares structural equation modeling*. Sage Publications.

Hu, M., Jiang, S., & Huo, B. (2024). The impacts of supply visibility and demand visibility on product innovation: The mediating role of supply chain integration. *The International Journal of Logistics Management*, *35*(2), 456-482. https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2021-0033

Jain, N. K., Chakraborty, K., & Choudhary, P. (2024). Building supply chain resilience through Industry 4.0 base technologies: Role of supply chain visibility and environmental dynamism. *Journal of Business & Industrial Marketing*, *39*(8), 1750-1763. https://doi.org/10.1108/JBIM-09-2023-0550

Jiang, Y., Feng, T., & Huang, Y. (2024). Antecedent configurations toward supply chain resilience: The joint impact of supply chain integration and big data analytics capability. *Journal of Operations Management*, *70*(2), 257-284. https://doi.org/10.1002/joom.1282

E-ISSN: 3041-8933

Jum'a, L. (2023). The role of blockchain-enabled supply chain applications in improving supply chain performance: The case of Jordanian manufacturing sector. *Management Research Review*, *46*(10), 1315-1333. https://doi.org/10.1108/MRR-04-2022-0298

Junaid, M., Du, J., Mubarik, M. S., & Shahzad, F. (2024). Creating a sustainable future through Industry 4.0 technologies: Untying the role of circular economy practices and supply chain visibility. *Business Strategy and the Environment*, *33*(6), 5753-5775. https://doi.org/10.1002/bse.3777

Kamble, S. S., & Gunasekaran, A. (2023). Analysing the role of Industry 4.0 technologies and circular economy practices in improving sustainable performance in Indian manufacturing organisations. *Production Planning & Control*, *34*(10), 887-901. https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1980904

Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Subramanian, N., Ghadge, A., Belhadi, A., & Venkatesh, M. (2023). Blockchain technology's impact on supply chain integration and sustainable supply chain performance: Evidence from the automotive industry. *Annals of Operations Research*, *327*(1), 575-600. https://doi.org/10.1007/s10479-021-04129-6

Kaur, A., Potdar, V., & Agrawal, H. (2023). Industry 4.0 adoption in food supply chain to improve visibility and operational efficiency: A content analysis. *IEEE Access*, *11*, 73922-73958. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3295780

Li, W., Waris, I., & Bhutto, M. Y. (2024). Understanding the nexus among big data analytics capabilities, green dynamic capabilities, supply chain agility and green competitive advantage: The moderating effect of supply chain innovativeness. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *35*(1), 119-140. https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2023-0263

Margherita, E. G., & Braccini, A. M. (2023). Industry 4.0 technologies in flexible manufacturing for sustainable organizational value: Reflections from a multiple case study of Italian manufacturers. *Information Systems Frontiers*, *25*(3), 995-1016. https://doi.org/10.1007/s10796-020-10047-y

Najat, T. (2024). *Digitalization and business automation for an effective supply chain integration: A literature review* 2024 IEEE 15th International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA), https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA61063.2024.10571518

Nazir, S., Piprani, A. Z., Mukhuty, S., Upadhyay, A., Vilko, J., & Poon, W. C. (2026). Industry 4.0 Integration for Sustainability and Value Creation: Moderating Role of Digital and Environmental Strategy. *Bus. Strategy Environ.*, *35*, 2192-2209.

Patil, A., Srivastava, S., Paul, S. K., & Dwivedi, A. (2024). Digital twins' readiness and its impacts on supply chain transparency and sustainable performance. *Industrial Management & Data Systems*, *124*(8), 2532-2566. https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2023-0767

Rehman, S. U., Bresciani, S., Zhang, Q., & Bertoldi, B. (2024). Tech and grow! Unraveling the interplay between Industry 4.0 technologies and supply chain performance: Marketing strategy alignment as a moderator. *International Entrepreneurship and Management Journal*, *20*(2), 1347-1376. https://doi.org/10.1007/s11365-024-00957-7

Singine, A. C., & Yüksel, H. (2026). Critical Enablers for Successful Supply Chain 4.0 Adoption: Enhancing Supply Chain Visibility and Efficiency. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, *21*(82), 287-311.

Suchek, N., Ferreira, J. J. M., & Fernandes, P. O. (2024). Industry 4.0 and Global Value Chains: What Implications for Circular Economy in SME? *Management Decision*, *62*(9), 2915-2936. https://doi.org/10.1108/MD-11-2022-1541

Tan, C. L., Tei, Z., Yeo, S. F., Lai, K. H., Kumar, A., & Chung, L. (2023). Nexus among blockchain visibility, supply chain integration and supply chain performance in the digital transformation era. *Industrial Management & Data Systems*, *123*(1), 229-252. https://doi.org/10.1108/IMDS-12-2021-0784

Tortorella, G. L., Prashar, A., Carim Junior, G., Mostafa, S., Barros, A., Lima, R. M., & Hines, P. (2024). Organizational culture and Industry 4.0 design principles: An empirical study on their relationship. *Production Planning & Control*, *35*(11), 1263-1277. https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2170294

Turan, H. (2026). Industry 4.0 Manufacturing Practices and Operational Performance: The Mediating Roles of Production Systems Integration and Supply Chain Agility. *Sustainability*, *18*(11), 5557.

Veile, J. W., Schmidt, M. C., Müller, J. M., & Voigt, K. I. (2024). The transformation of supply chain collaboration and design through Industry 4.0. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *27*(6), 986-1014. https://doi.org/10.1080/13675567.2022.2148638

Wong, L. W., Tan, G. W. H., Ooi, K. B., Lin, B., & Dwivedi, Y. K. (2024). Artificial intelligence-driven risk management for enhancing supply chain agility: A deep-learning-based dual-stage PLS-SEM-ANN analysis. *International Journal of Production Research*, *62*(15), 5535-5555. https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2063089

Xing, L., Chau, K. Y., Pan, S. H., & Sadiq, M. (2026). Enhancing Circular Supply Chain Performance in Platform-Based Economies: The Role of AI, Blockchain Integration, and the IoT in Promoting Transparency. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, *33*(2), 2295-2312.

Xue, J., & Li, G. (2023). Balancing resilience and efficiency in supply chains: Roles of disruptive technologies under Industry 4.0. *Frontiers of Engineering Management*, *10*(1), 171-176. https://doi.org/10.1007/s42524-022-0247-8

Zhang, G., Yang, Y., & Yang, G. (2023). Smart supply chain management in Industry 4.0: The review, research agenda and strategies in North America. *Annals of Operations Research*, *322*(2), 1075-1117. https://doi.org/10.1007/s10479-022-04689-1

E-ISSN: 3041-8933