Barriers, Capabilities and Consequences of Supply Chain Intelligence in Iranian Industry

Amir Ehsan Zahedi*
PhD in Production and Operations Management; Assistant Professor; Department of Management; Faculty of Administrative Sciences and Economics; Arak University; Arak, Iran;
Email: a-zahedimoghadam@araku.ac.ir

Mahdiyeh Haghighat
Master of Industrial Management; Department of Industrial Management (IT Operations); Faculty of Management; Kharazmi University; Tehran, Iran Email: mahdiyeh.haghighat78@gmail.com

Iranian Journal of Information Processing and Management

Iranian Research Institute for Information Science and Technology (IranDoc)
ISSN 2251-8223
eISSN 2251-8231
Indexed by SCOPUS, ISC, & LISTA
Vol. 41 | No. 2 | pp. 441-468
Winter 2026
https://doi.org/10.22034/jipm.2025.2061431.2019

Received: 22, May 2025 **Accepted: 01, Oct. 2025**

Abstract: Industry 4.0, using advanced technologies such as the internet of things, artificial intelligence, data analytics, robotics, sensors, and smart networks has created new possibilities for businesses to improve production and operational processes automatically and without the need for human intervention. Smart supply chain of Iranian manufacturing and service companies can be very transformative and challenging at the same time. Iranian companies have always sought to improve their supply chain processes with the increasing advancement of technology, but they face many problems due to some obstacles. The present study aims to find the obstacles, capabilities, and consequences of implementing smart supply chains in Iranian industries. The research has a developmental and applied orientation and is qualitative in terms of methodology, and was conducted using the Grounded Theory strategy. The data collection tool is semi-structured interviews, which were conducted by theoretical sampling of experts, and a total of 11 managers of leading industries in smart manufacturing were interviewed to achieve the criterion of "theoretical adequacy". For validation, two methods of participant review and non-participating experts review were used in the research, and after receiving corrective comments, the final model was presented. MAXQDA software was used to implement the Grounded Theory. 372 initial open codes formed 81 concepts that were categorized into 20 categories. Software, hardware, environmental, and organizational requirements are causal conditions for the smart factory (central category). Transparency, optimization, cost efficiency, supply chain agility, and integration are strategies that result from the central category. Uncertainty, relationship breadth, and data explosion, and specific influencing conditions and infrastructure, technology and technical barriers, security issues, financial

* Corresponding Author

and economic barriers, organizational and managerial barriers, cultural barriers and environmental barriers are general context conditions that affect strategies. Intra-chain consequences, environmental consequences and financial consequences are the outputs of applying strategies. To digitize the supply chain, organizations need strong and scalable IT infrastructures. These infrastructures include servers, networks, data storage systems and cloud systems that can process large volumes of data. High security is essential to protect sensitive information and prevent cyber threats. Expert human resources must work in an organizational culture that is receptive to innovation and digital change. Human resources must be continuously trained in different fields of new technologies and update their capabilities.

Keywords: Artificial Intelligence, Blockchain, Data Analysis, Industry 4.0, Internet of Things, Smart Supply Chain

موانع، قابلیت‌ها و پیامدهای هوشمندسازی زنجیرهٔ تأمین در صنعت ایران

امیراحسان زاهدی
دکتری مدیریت تولید و عملیات؛ استادیار؛ گروه مدیریت؛ دانشکده علوم اداری و اقتصاد؛ دانشگاه اراک؛ اراک، ایران؛
پدیدآور رابط a-zahedimoghadam@araku.ac.ir

مهدیه حقیقت
کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی؛ گروه مدیریت عملیات و فناوری؛ دانشکده مدیریت؛ دانشگاه خوارزمی؛ تهران، ایران؛
mahdiyeh.haghighat78@gmail.com

پژوهش‌نامهٔ پردازش و مدیریت اطلاعات

دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۹ مقاله برای اصلاح به مدت ۶ روز نزد پدیدآوران بوده است.

نشریهٔ علمی | رتبهٔ بین‌المللی
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک)
شاپا (چاپی) ۸۲۲۳-۲۲۵۱
شاپا (الکترونیکی) ۸۲۳۱-۲۲۵۱
نمایه در LISTA، ISC، و SCOPUS
jipm.irandoc.ac.ir
دورهٔ ۴۱ | شمارهٔ ۲ | ص‌ص ۴۴۱-۴۶۸
زمستان ۱۴۰۴
https://doi.org/10.22034/jipm.2025.2061431.2019

چکیده: صنعت ۴/۰ با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، تحلیل داده‌ها، رباتیک، حسگرها، و شبکه‌های هوشمند امکانات جدیدی برای کسب‌وکارها ایجاد کرده است که فرایندهای تولیدی و عملیاتی را به‌صورت خودکار و بدون نیاز به دخالت انسان بهبود می‌بخشند. هوشمندسازی زنجیره تأمین شرکت‌های تولیدی و خدماتی ایران می‌تواند بسیار تحول‌آفرین و در عین حال چالش‌برانگیز باشد. شرکت‌های ایرانی با پیشرفت روزافزون فناوری، همواره به‌دنبال بهبود فرایندهای زنجیره تأمین خود بوده‌اند، اما به‌دلیل برخی موانع با مشکلات زیادی روبه‌رو هستند. پژوهش حاضر با هدف یافتن موانع، قابلیت‌ها و پیامدهای به‌کارگیری زنجیره تأمین هوشمند در صنایع ایران انجام می‌شود. پژوهش حاضر دارای جهت‌گیری توسعه‌ای و کاربردی و از نظر روش‌شناسی، کیفی است که با استفاده از راهبرد نظریه داده‌بنیاد انجام شده است. ابزار گردآوری داده‌ها مصاحبه‌های عمیق نیمه‌ساختاریافته است و نمونه‌برداری از خبرگان به‌روش غیراحتمالی و از نوع هدفدار یا نظری انجام شد و تا دستیابی به معیار «کفایت نظری» در مجموع، با ۱۱ نفر از مدیران صنایع پیشرو در هوشمندسازی مصاحبه گردید. برای اعتبارسنجی، از دو روش بازبینی مشارکت‌کنندگان و مرور خبرگان غیرشرکت‌کننده در پژوهش بهره‌گیری، و پس از دریافت نظرات اصلاحی، الگوی نهایی ارائه شد. برای پیاده‌سازی نظریه داده‌بنیاد از نرم‌افزار MAXQDA استفاده گردید. ۳۷۲ کد باز اولیه، ۸۱ مفهوم را تشکیل داده و در ۲۰ مقوله دسته‌بندی

شدند. الزامات نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و محیطی و سازمانی، شرایط علّی برای کارخانه هوشمند (مقوله‌محوری) هستند. شفافیت، بهینه‌سازی، کارایی هزینه‌ها، چابکی زنجیره تأمین و یکپارچه‌سازی راهبردهایی هستند که از مقوله‌محوری منتج می‌شوند. عدم اطمینان، گستردگی روابط و انفجار داده‌ها شرایط خاص تأثیرگذار و موانع زیرساختی، فناوری و فنی، مسایل حفاظتی، موانع مالی و اقتصادی، موانع سازمانی و مدیریتی، موانع فرهنگی و موانع محیطی شرایط زمینه‌ای عمومی هستند که بر راهبردها تأثیر می‌گذارند. پیامدهای درون‌زنجیره‌ای، پیامدهای محیطی و پیامدهای مالی خروجی‌های حاصل از به‌کارگیری راهبردها هستند. برای دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین، سازمان‌ها به زیرساخت‌های فناوری اطلاعات قوی و مقیاس‌پذیر نیاز دارند. این زیرساخت‌ها شامل سرورها، شبکه‌ها، سیستم‌های ذخیره‌سازی داده و سیستم‌های ابری هستند که بتوانند حجم بالای داده‌ها را پردازش کنند. وجود امنیت بالا برای حفاظت از اطلاعات حساس و جلوگیری از تهدیدات سایبری ضروری است. نیروی انسانی متخصص باید در یک فرهنگ سازمانی کار کند که پذیرای نوآوری و تغییرات دیجیتال باشد. نیروی انسانی باید به‌طور مستمر در زمینه‌های مختلف تکنولوژی‌های جدید آموزش دیده و توانمندی‌های خود را به‌روز کند.

کلیدواژه‌ها: اینترنت اشیا، بلاک‌چین، تحلیل داده‌ها، زنجیره تأمین هوشمند، صنعت ۴/۰، هوش مصنوعی

۱. مقدمه

با پیدایش مفاهیم نوین صنعتی، نیاز به زنجیره‌های تأمین کارآمد و پایدار که در تصمیم‌گیری‌های روزمره مفید واقع شوند، بیش از گذشته مورد توجه قرار گرفته‌اند. ازاین‌رو، راهبردهای مورد نیاز برای نیل به اهداف سازمان‌ها شامل مفاهیمی همچون نوآوری و مشارکت بیشتر مصرف‌کننده برای تأثیرگذاری بر جهت و نتایج فرایند تولید است (Júnior, Frederico and Costa 2023). برای رقابت در سطح جهانی، شرکت‌های تولیدی باید کارایی را بهبود بخشند و هزینه‌ها را ازطریق نوآوری‌های فرایندی جدید کاهش دهند؛ نوآوری‌هایی مانند رباتیک، اتوماسیون انبار، کارخانه‌های هوشمند و کمک به تولید انعطاف‌پذیر (Attaran 2023). در این راستا، به‌منظور پاسخ به چنین چالش‌های بزرگی در کسب‌وکارهای ایران، خروج از زنجیره تأمین سنتی و به‌کارگیری زنجیره تأمین دیجیتال ضروری است (Ahmad Amouei, Valmohammadi and Fathi 2023).

تولید هوشمند یک پارادایم تولیدی پیشرفته است که فناوری‌های جدیدی مانند اینترنت اشیا، ارتباط ماشین با ماشین، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، فناوری‌های اتوماسیون و همچنین کلان‌داده‌ها را با فرایندهای تولیدی ادغام می‌کند (Li et al. 2023). اتوماسیون

صنعتی بر رمزگذاری سرتاسر، به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها، شفافیت داده‌ها و ادغام یکپارچه سیستم‌های فیزیکی و مجازی در کلِ عملیات تولید تأکید نموده و در نتیجه، باعث افزایش کارایی، کاهش خطاها و هزینه‌ها، افزایش سرعت تولید و بهبود کیفیت می‌شود (Büchi, Cugno and Castagnoli 2020). صنعت ۴/۰ می‌تواند با پشتیبانی از چندین کارکرد کلیدی همچون لجستیک و عملیات، بهره‌وری سازمان را افزایش دهد (Bag et al. 2023).

پذیرش فناوری‌های دیجیتال تولید در محیط تجاری جهانی فعلی از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است. قدرت دگرگون‌کننده فناوری‌های صنعتی چهارم در حال تغییر شکلِ تولید در سطح جهانی است. پذیرش این فناوری‌ها شرکت‌ها را قادر می‌سازد که هوشمندی را در خود جای دهند و ابزارهای جدیدی برای طراحی راهبردهای نوینِ تولید ارائه نمایند. فناوری‌های صنعت چهارم پتانسیل بهبود انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری سیستم‌های تولیدی را دارند؛ هرچند پذیرش این فناوری‌های مدرن ممکن است بسیار چالش برانگیز باشد (Yang, Fu and Zhang 2021).

مفهوم زنجیره تأمین هوشمند و دیجیتال در درجه اول، فرایندهای زنجیره تأمین به‌عنوان یک سیستم را که دارای زیرسیستم‌های متعدد است، بررسی می‌کند. به‌بیان دیگر، همچنان‌که زنجیره تأمین، یک سیستم پیچیده متشکل از روابط متقابل، متنوع و غیرقابل پیش‌بینی بین زیرسیستم‌های آن است، بر افزوده شدن فناوری‌های دیجیتال و انواع متفاوت آنها بر پیچیدگی این سیستم می‌افزاید. بنابراین، پیاده‌سازی این سیستم‌های پیچیده می‌تواند ابهام و چالشی اساسی برای شرکت‌هایی باشد که با استفاده از اینترنت اشیا داده‌ها را دریافت می‌کنند و تحلیل‌های آنها مبتنی‌بر هوش مصنوعی و یادگیری‌های ماشینی است (Pappas et al. 2021). بسیاری از شرکت‌ها تلاش‌های ابتدایی برای یکپارچگی فناوری‌های دیجیتال در فرایندهای زنجیره تأمین خود را انجام داده‌اند، اما تحول کلی شرکت‌ها به سمت دیجیتال‌سازی هنوز در مراحل ابتدایی خود قرار دارد (Queiroz et al. 2022; Rahamneh et al. 2023). این مسئله، به‌ویژه در کشورهای توسعه‌نیافته و درحال‌توسعه که از فرایند دیجیتال‌سازی عقب هستند، باید با ملاحظات بیشتری صورت گیرد (Agrawal and Narain 2023).

بهره‌گیری از صنعت نسل چهارم در زنجیره تأمین شرکت‌های تولیدی و خدماتی ایران می‌تواند بسیار تحول‌آفرین و در همان حال چالش‌برانگیز باشد. شرکت‌ها با استفاده از امکاناتی که فناوری در اختیار آنها قرار داده است، در حال حرکت به‌سوی نسل چهارم

صنعت هستند. شرکت‌هایی که خود را با تحولات صنعتی جدید زودتر هماهنگ کنند، می‌توانند از توان رقابت‌پذیری بیشتری در به‌کارگیری و توسعه الزامات مرتبط با انقلاب صنعتی نسل چهارم در صنایع برخوردار شوند. شرکت‌های ایرانی با پیشرفت روزافزون فناوری، همواره به‌دنبال بهبود فرایندهای زنجیره تأمین خود بوده‌اند، اما به‌دلیل برخی موانع با مشکلات زیادی روبه‌رو هستند. سرمایه‌گذاری کلان مورد نیاز، پیچیدگی‌های اجرا و ادغام تجهیزات، عدم اطمینان از پشتیبانی، لزوم فرهنگ‌سازی و آموزش نیروی انسانی و مشکلات زیرساختی از جملهٔ این موانع است. در این راستا، شرکت‌ها نیازمند برنامه‌ریزی راهبردی گسترده‌ای هستند و این تحول مستلزم شناخت دقیق ابهامات موجود برای پیاده‌سازی فناوری‌های دیجیتال در زنجیره تأمین است.

بنابراین، سؤالاتی در مورد پیاده‌سازی زنجیره تأمین دیجیتال در صنایع ایران وجود دارد؛ به‌ویژه این سؤال که عوامل تأثیرگذار، ابعاد، قابلیت‌ها، موانع و پیامدهای به‌کارگیری زنجیره تأمین هوشمند در صنعت ایران کدام‌اند؟ مطالعات محدود با دیدگاهی جامع و کل‌نگر به بررسی موضوع پرداخته‌اند و بنابراین، خلأ پژوهشی در این زمینه احساس می‌شود. پژوهش حاضر با هدف یافتن موانع، قابلیت‌ها و پیامدهای به‌کارگیری زنجیره تأمین هوشمند در صنایع ایران انجام می‌شود. مطالعه در مورد ادراک‌ها و تفسیرهای متخصصان برای فهم چگونگی مفهوم‌سازی و اعمال تحول دیجیتال مفید است (Vaz et al. 2022). درک بهتر از ادراکات مشترک افراد در مورد دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین، شامل موانع درک‌شده و اقدام‌های مربوط می‌تواند به توسعه راهبردهای مدیریتیِ مؤثرتر کمک کند.

۲. پیشینه پژوهش

زنجیره تأمین به مجموعه فرایندها و فعالیت‌های مرتبط با تأمین مواد اولیه، تولید، توزیع و تحویل محصولات به مشتریان گفته می‌شود. به‌منظور حفظ رقابت‌پذیری، زمان فرآوری و انجام کار، انعطاف‌پذیری و توانایی تولید بسیاری از انواع منحصربه‌فرد محصولات باید در دسته‌های کوچک یا دسته‌های یک‌اندازه بهبود و ارتقا یابد. در یک محیط سفارشی‌سازیِ انبوه و طراحی مختص مشتری باید گزینه‌های سفارشی‌سازی متنوع‌تر و قابلیت عملکردی بیشتری برای مشتری مهیا شود و از سوی دیگر، بایستی انعطاف‌پذیری، شفافیت و جهانی‌سازی هم برای زنجیره تأمین فراهم آید (Kumar et al. 2021). ادغام

فناوری‌های پیشرفته در عملیات زنجیره تأمین متعارف منجربه تولید حجم قابل توجهی از داده‌ها و اطلاعات می‌شود. چنین اطلاعاتی می‌تواند برای بهبود ارزش زنجیره تأمین به کار رود. به‌عنوان مثال، فناوری‌های دیجیتال از جمله برچسب‌های هوشمند، قراردادهای هوشمند و ذخیره‌سازی دیجیتال امکان ردیابی را در تمام مراحل چرخه عمر یک محصول، از دستیابی به مواد خام تا تحویل محصول نهایی، فراهم می‌آورند (Al-Okaily and Al-Okaily 2025).

زنجیره تأمین ۴/۰ به‌عنوان مجموعه‌ای از فعالیت‌های به‌هم‌پیوسته مربوط‌به هماهنگی، خدمات بین تأمین‌کنندگان و مصرف‌کنندگان، برنامه‌ریزی، و کنترل محصولات تعریف شده است. هدف آن ایجاد راه‌های جدید برای ایجاد ارزش افزوده برای مشتریان و تأمین‌کنندگان و ایجاد درآمد بیشتر از طریق یکپارچه‌سازی و هماهنگی فرایندهاست (Rasool, Greco and Grimaldi 2022). زنجیره تأمین دیجیتال به‌صورت متداول برای بحث در مورد چگونگی توسعه، اجرا و به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتالِ پیشرفته از قبیل اینترنت اشیا، بلاک‌چین، یادگیری ماشین، هوش مصنوعی، تجزیه‌وتحلیل و غیره در فرایندهای زنجیره تأمین استفاده می‌شود (Nahr, Nozari and Sadeghi 2021).

دیجیتال شدن هنوز یک پدیده نوظهور است که به درک نظری نیاز دارد (Zúñiga et al. 2023). اصطلاح دیجیتال‌سازی به یک راهبرد تجاری مدرن اشاره دارد که فراتر از کاربرد منفرد و محدود فناوری است و اجرای نظام‌مند و گسترده فناوری در سراسر زنجیره تأمین را شامل می‌شود (Ishfaq, Davis-Sramek and Gibson 2022). پیاده‌سازی فناوری‌های دیجیتال در زمینه مدیریت زنجیره تأمین منجربه اتخاذ شیوه‌هایی می‌شود که کارآمدتر، چابک‌تر و ناب‌تر هستند. در محیط رقابتی امروز، این شرکت‌ها نیستند که با یکدیگر رقابت می‌کنند، بلکه زنجیره‌های تأمین آنها هستند که به رقابت می‌پردازند (Hayat et al. 2023). در سال‌های اخیر، فرایند دیجیتال‌سازی، با کمک فناوری اطلاعات و ارتباطات، یک عامل حیاتی در کسب مزیت رقابتی بوده است (Maiti and Shilpa 2020). خرده‌فروشی، تولید فولاد، بسته‌بندی، موادغذایی و ساخت‌وساز از جمله صنایعی هستند که مراحل دیجیتال‌سازی کسب‌وکار را آغاز کرده‌اند (Paiola and Gebauer 2020).

اجزای زنجیره تأمین هوشمند به‌شرح زیر هستند:

۱. بلاک‌چین[1]: پایگاه داده کاملاً توزیع‌شده‌ای است که بین گره‌های مختلف یک شبکه کامپیوتری به‌اشتراک گذاشته می‌شود. بلاک‌چین به‌عنوان یک پایگاه داده، اطلاعات را به‌صورت الکترونیک، اما در قالب دیجیتال ذخیره می‌کند. بلاک‌چین با ایجاد فضای مناسب و کاملاً ایمن، کمک می‌کند که خریداران و فروشندگان بدون هیچ واسطه‌ای با یکدیگر در ارتباط باشند. فناوری بلاک‌چین چهار ویژگی اصلی را شامل می‌شود: شفافیت، قابلیت اطمینان، اجرای هوشمند، و رمزگذاری (Kouhizadeh, Zhu and Sarkis 2020).

۲. اینترنت اشیا[2]: شبکه اطلاعاتی از اشیای فیزیکی، حسگرها، ماشین‌ها، ساختمان‌ها و موارد دیگر است که امکان جمع‌آوری و تبادل داده‌ها و تعامل و همکاری اشیا را فراهم می‌آورد (Rad et al. 2022). اینترنت اشیا الگوی جدیدی است که ایده اصلی آن، اتصال همه اشیا به اینترنت است. اینترنت اشیا سنسورهای مختلف، اشیا، و گره‌های هوشمند را ادغام می‌کند که می‌توانند بدون دخالت انسان با هم ارتباط برقرار سازند و در حال حاضر کاربردهای وسیعی در شبکه‌های هوشمند، مراقبت‌های بهداشتی، و حمل‌ونقل دارد. با به‌کارگیری اینترنت اشیا محیطی ایجاد می‌شود که در آن، اطلاعات پایه دریافتی از هر یک از کنشگران مستقل متصل به شبکه را بتوان در همان لحظه دریافت کرد و به‌طور مؤثر با دیگران به اشتراک گذاشت (Dadhaneeya, Nema and Arora 2023).

۳. رایانش ابری[3]: سیستم ارائه خدمات ذخیره‌سازی آنلاین کلیه برنامه‌ها و داده‌ها در سرور مجازی بدون نیاز به نصب است (Rad et al. 2022).

۴. هوش مصنوعی[4]: سیستمی است که بر اساس شش رشته اصلی از جمله پردازش زبان طبیعی، بازنمایی دانش، استدلال خودکار، یادگیری ماشین، بینایی رایانه، و رباتیک به‌صورت انسانی و عقلانی فکر می‌کند (Bai et al. 2020).

۵. کلان‌داده[5]: جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل حجم زیادی از داده‌های موجود با استفاده از یک سری تکنیک‌ها برای فیلتر کردن، ضبط و گزارش بینش‌هاست که در آن داده‌ها

1. blockchain
2. internet of things (IOT)
3. cloud computing
4. artificial intelligence
5. big data

در حجم زیاد با سرعت‌های بالاتر و با تنوع بیشتر پردازش می‌شوند.

۶. شبیه‌سازی[1]: فناوری که منعکس‌کننده داده‌های دنیای فیزیکی مانند ماشین‌ها، محصولات و انسان‌ها در دنیای مجازی با هدف ساده‌سازی و مقرون‌به‌صرفه بودن طراحی، ایجاد، آزمایش و عملیات زنده سیستم‌هاست.

۷. واقعیت افزوده[2]: روش‌های تعاملی است که می‌تواند اشیای مجازی را برای هم‌زیستی و تعامل در محیط واقعی جاسازی کند (Öztürk 2023).

۸. واقعیت مجازی[3]: استفاده از فناوری رایانه برای ایجاد یک دنیای تعاملی است که به کاربر امکان می‌دهد شیء مجازی و تمام صحنه مجازی را در زمان واقعی کنترل کند (Hayat et al. 2023).

۹. ربات‌های خودمختار[4]: ماشین‌آلات و تجهیزاتی هستند که فرایندهای عملیاتی را خودکار می‌کنند. این ربات‌ها همچنین دارای رباتیک مشارکتی هستند که به انسان‌ها و ماشین‌ها اجازه می‌دهند در یک محیط یادگیری مشترک کار کنند.

۱۰. چاپگرهای سه‌بعدی[5]: فرایند اتصال مواد در لایه‌های متوالی به‌منظور ساخت اشیا از داده‌های مدل سه‌بعدی برای گزینه‌های طراحی و دستیابی به پتانسیل بزرگ جهت سفارشی‌سازی انبوه هستند (Öztürk 2023).

۱۱. امنیت سایبری[6]: اقداماتی در جهت جلوگیری از حملات، آسیب‌رسانی و دسترسی غیرمجاز به سیستم‌های متصل به اینترنت از جمله سخت‌افزار، نرم‌افزار و داده هستند (Öztürk 2023).

۱۲. یادگیری ماشین[7]: به خودآموزی از اطلاعات می‌پردازد و سپس از آن در جهت یادگیری بدون نیاز به دخالت انسان استفاده می‌کند (Ghobakhloo 2022).

۱۳. سیستم‌های فیزیکی-سایبری[8]: دسته‌های مدرنی از ماشین‌های هوشمند هستند که از ابزارهای محاسباتی، ارتباطی و کنترل برای پیوند دادن دنیای فیزیکی-سایبری استفاده

1. simulation
2. augmented reality (AI)
3. virtual reality (VI)
4. autonomous robots
5. 3D printing
6. cyber security
7. machine learning
8. cyber-physical systems (CPS)

می‌کننـد (Verma et al. 2020). سیسـتم‌های فیزیکی‌سـایبری هوشـمند، جهـان فیزیکـی و دیجیتـال را بـا اتصـال حسـگرها، محرک‌هـا و واحـد محاسـبات هوشـمند بـه هـم متصـل می‌کننـد (Qiao et al. 2023).

۱۴. شـبکه حسـگر بی‌سـیم[1]: به‌طـور عمـده بـرای محیـط پیرامـون، موقعیت‌یابـی و تشـخیص اشـیا و افـراد بـه کار مـی‌رود. همچنیـن بـرای حفـظ دمـا، رطوبـت، فشـار، شـدت لـرزش و تمرکـز مـواد شـیمیایی و سـطح آلاینده‌هـا کاربـرد دارد. شـبکه حسـگر بی‌سـیم می‌توانـد به‌عنـوان حسـگر محیـط یـا پدیـده مربـوط بـه اشـیا یـا افـرادی کـه بـه آنهـا متصـل شـده‌اند، بـه کار رود (Chen and Chen 2022).

یـکی از مهم‌تریـن قابلیت‌هـای هوشمندسـازی زنجیـره تأمیـن، افزایـش شـفافیت و قابلیـت ردیـابی در طـول زنجیـره اسـت. فناوری‌هـایی ماننـد اینترنـت اشـیا و بلاک‌چیـن، امـکان جمع‌آوری و ذخیره‌سـازی داده‌هـای مرتبـط بـا حرکـت کالاهـا و مـواد اولیـه را در هـر مرحلـه از زنجیـره فراهـم می‌کننـد (Wang and Li 2024). ایـن قابلیـت بـه شـرکت‌ها اجـازه می‌دهـد کـه وضعیـت موجـودی، مشـکلات احتمـالی، و نقـاط ضعـف را به‌صـورت دقیـق شناسـایی کننـد و فرایندهـا را بهبـود بخشـند. فناوری‌هـای پیشـرفته، ماننـد هـوش مصنـوعی و داده‌هـای بـزرگ بـه شـرکت‌ها کمـک می‌کننـد تـا موجـودی انبـار را بـر اسـاس الگوهـای مصـرف و تقاضـای بـازار بهینـه سـازند. ایـن فناوری‌هـا همچنیـن قـادر بـه پیش‌بینـی تقاضـا بـر اسـاس داده‌هـای تاریـخی، فصـلی، و شـرایط بـازار هسـتند کـه می‌تواننـد بـه کاهـش هزینه‌هـای نگهـداری و جلوگیـری از کمبـود کالا کمـک کننـد (Puto et al. 2021).

دیجیتال‌سـازی زنجیـره تأمیـن، امـکان افزایـش انعطاف‌پذیـری در مواجهـه بـا تغییـرات سـریع بـازار و بحران‌هـا را فراهـم می‌کنـد. ابزارهـای دیجیتـال بـه شـرکت‌ها اجـازه می‌دهنـد تـا بـا سـرعت بیشـتری فرایندهـای خـود را تنظیـم نماینـد، مسیرهـای جدیـد تأمیـن را شناسـایی کننـد، و بـه تقاضاهـای متغیـر پاسـخ دهنـد (Al Tera, Alzubi and Iyiola 2024). اتوماسیـون، یـکی از قابلیت‌هـای کلیـدی دیجیتال‌سـازی اسـت کـه منجربـه کاهـش زمـان و هزینه‌هـای عملیـاتی می‌شـود. فناوری‌هـایی ماننـد رباتیـک و یادگیـری ماشیـن می‌تواننـد وظایـف تکـراری ماننـد بسـته‌بندی، انبـارداری و حمل‌ونقـل را به‌صـورت خـودکار انجـام دهنـد. ایـن امـر افزون‌بـر افزایـش کارایی، دقـت عملیـات را نیـز بهبـود می‌بخشـد.

1. wireless sensor network (WSN)

سکوهای دیجیتال امکان تبادل سریع و دقیق اطلاعات بین تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، و خرده‌فروشان را فراهم می‌آورند. این بهبود در ارتباطات و هماهنگی می‌تواند به کاهش تأخیرها، جلوگیری‌از اشتباهات، و افزایش بهره‌وری در زنجیره تأمین منجر شود. فناوری‌های دیجیتال ابزارهایی را برای شناسایی ریسک‌ها و اختلالات احتمالی در زنجیره تأمین فراهم می‌کنند. با استفاده از تحلیل داده‌ها و سناریوسازی، شرکت‌ها می‌توانند برنامه‌های اضطراری تهیه کرده و از تأثیرات منفی رویدادهای غیرمنتظره مانند بحران‌های جهانی یا اختلالات طبیعی جلوگیری کنند.

دیجیتال‌سازی با بهینه‌سازی فرایندها، کاهش ضایعات، و افزایش سرعت عملیات به کاهش هزینه‌های عملیاتی کمک می‌کند. ابزارهای تحلیلی پیشرفته می‌توانند فرصت‌های صرفه‌جویی را شناسایی کرده و فرایندهایی را که نیاز به بهبود دارند، تشخیص دهند (Puto et al. 2021). تجربه مشتری یکی از اولویت‌های اصلی در زنجیره تأمین دیجیتال است. با استفاده از فناوری‌هایی مانند سیستم‌های مدیریت سفارش و ردیابی در زمان واقعی، شرکت‌ها می‌توانند خدمات بهتری ارائه دهند. مشتریان می‌توانند اطلاعات دقیقی درباره وضعیت سفارشات خود دریافت کنند و این امر به افزایش رضایت و وفاداری آنها منجر می‌شود (Al Tera, Alzubi and Iyiola 2024).

فناوری‌های دیجیتال امکان تحلیل دقیق مصرف انرژی و تولید ضایعات را فراهم می‌آورند. این تحلیل‌ها می‌توانند به شرکت‌ها در بهینه‌سازی فرایندهای خود کمک کرده و اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌هایشان را کاهش دهند. برای مثال، برنامه‌ریزی بهتر مسیرهای حمل‌ونقل می‌تواند منجربه کاهش مصرف سوخت و انتشار کربن شود (Harju et al. 2023). دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین می‌تواند فرصت‌های جدیدی برای نوآوری در مدل‌های کسب‌وکار ایجاد کند. برای مثال، شرکت‌ها می‌توانند از داده‌های جمع‌آوری‌شده برای ارائه خدمات شخصی‌سازی‌شده، راه‌اندازی سکوهای اشتراکی، یا ایجاد زنجیره‌های تأمین کاملاً مجازی استفاده کنند (Puto et al. 2021). این نوآوری‌ها می‌توانند مزیت رقابتی قابل توجهی ایجاد کنند.

دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین قابلیت‌های بی‌شماری برای شرکت‌ها فراهم می‌کند که شامل بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها، افزایش انعطاف‌پذیری، و تقویت پایداری است (Pham et al. 2024). این تحول، شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا با چالش‌های پیچیده دنیای امروز مقابله کنند و به فرصت‌های جدید بازار پاسخ دهند. برای بهره‌برداری کامل از این

قابلیت‌ها لازم است سازمان‌ها راهبردهای دقیق و متناسب با نیازهای خود تدوین کنند و از فناوری‌های مناسب بهره گیرند (Wang and Li 2024).

پردازش ابری امکان ذخیره‌سازی، پردازش و دسترسی به داده‌ها از هر نقطه‌ای را فراهم می‌کند و این امر باعث می‌شود که زنجیره تأمین انعطاف‌پذیرتر و مقیاس‌پذیرتر شود. استفاده از ربات‌ها و ماشین‌های خودکار در فرایندهای مختلف زنجیره تأمین از جمله انبارداری، بسته‌بندی و حمل‌ونقل به افزایش دقت و سرعت کمک می‌کند (Puto et al. 2021). این ربات‌ها می‌توانند به‌طور خودکار کالاها را شناسایی، دسته‌بندی و جابه‌جا کنند که منجربه کاهش خطاهای انسانی و افزایش کارایی می‌شود (Al Tera, Alzubi and Iyiola 2024). با استفاده از ابزارهای دیجیتال و تحلیل داده‌های بلادرنگ، شرکت‌ها قادر به اتخاذ تصمیمات سریع‌تر و هوشمندانه‌تر خواهند بود. این سیستم‌ها می‌توانند اطلاعات مختلف مانند وضعیت موجودی، تأمین‌کنندگان و شرایط حمل‌ونقل را به‌طور بلادرنگ تجزیه‌وتحلیل کرده و تصمیمات مبتنی‌بر داده را برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین اتخاذ کنند.

فناوری‌های پیشرفته مانند یادگیری ماشین و تحلیل پیش‌بینی به شرکت‌ها کمک می‌کنند که پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از مشکلات احتمالی یا تغییرات بازار داشته باشند (Puto et al. 2021). این پیش‌بینی‌ها می‌توانند شامل تغییرات در تقاضا، نوسانات قیمت، یا اختلالات در تأمین باشند و به شرکت‌ها اجازه می‌دهند که به‌طور مؤثری برنامه‌ریزی و پاسخ‌گویی کنند. دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین به گسترش تجارت الکترونیک و کانال‌های فروش آنلاین منجر شده است. این فناوری‌ها به شرکت‌ها این امکان را می‌دهند که به‌طور مستقیم با مصرف‌کنندگان ارتباط برقرار کرده و فرایند فروش را ساده‌تر سازند. برای مثال، سکوهای تجارت الکترونیک امکان مشاهده موجودی، سفارش‌گذاری آنلاین و پیگیری وضعیت ارسال را برای مشتریان فراهم می‌آورند (Dong et al. 2023).

فناوری‌های دیجیتال به شرکت‌ها این امکان را می‌دهند که تجربه مشتری را به‌طور چشمگیری بهبود بخشند. مشتریان از طریق استفاده از چت‌بات‌ها، دستیارهای دیجیتال، و تعاملات آنلاین می‌توانند در اسرع وقت پاسخ‌گویی‌های مورد نیاز خود را دریافت کنند (Pham et al. 2024). همچنین استفاده از داده‌های مربوط به رفتار مشتریان می‌تواند به‌طور شخصی‌سازی‌شده تجربه خرید را برای هر مشتری بهینه سازد. داده‌هایی که از طریق دیجیتال‌سازی جمع‌آوری می‌شوند، می‌توانند به‌عنوان یک منبع مهم برای نوآوری و توسعه محصولات جدید به کار روند. با تحلیل داده‌های مشتری، شرکت‌ها می‌توانند به

نیازهـای جدیـدِ بـازار پاسـخ داده و محصـولات و خدمـات خـود را به‌طـور بهینه‌تـری طـراحی کننـد (Wang and Li 2024). ایـن قابلیـت به‌ویـژه در صنایع رقابـتی کـه بـه نـوآوری سـریع نیـاز دارنـد، بسیـار ارزشـمند اسـت.

هـوش مصنـوعی و ربات‌هـای هوشـمند یـکی از قابلیت‌هـای کلیـدی در دیجیتال‌سـازی زنجیـره تأمیـن هسـتند کـه می‌تواننـد بـرای تحلیـل داده‌هـا، پیش‌بیـنی مشـکلات، و اتخـاذ تصمیمـات هوشـمندانه بـه کار رونـد. ربات‌هـا و سیسـتم‌های هوشـمند می‌تواننـد در تمـامی مراحـل زنجیـره تأمیـن از جملـه تأمیـن، تولیـد، توزیـع، و خدمـات پس‌ازفـروش، به‌طـور خـودکار تصمیمـات بهینـه بگیرنـد. دیجیتال‌سـازیِ زنجیـره تأمیـن نه‌تنهـا فرایندهـا را بهینه‌سـازی می‌کنـد، بلکـه می‌توانـد مدل‌هـای تجـاری جدیـد، فرصت‌هـای نـوآوری، و بهبـود تجربـه مشـتری را به‌همـراه داشـته باشـد (Puto et al. 2021). ایـن قابلیت‌هـا بـه شـرکت‌ها ایـن امـکان را می‌دهنـد کـه بـا سـرعت و دقـت بیشـتری بـه تغییـرات محیـطی پاسـخ داده و سـرانجام، مزیـت رقابـتی خـود را افزایـش دهنـد (Harju et al. 2023; Dixit et al. 2024).

سـابقه پژوهش‌هـای بین‌المللـی در زمینـه چالش‌هـا و موانـع دیجیتال‌سـازی زنجیـره تأمیـن را می‌تـوان بـه شـرح جـدول ۱، برشـمرد.

جدول ۱. پژوهش‌های بین‌المللی درخصوص چالش‌ها و موانع هوشمندسازی زنجیره تأمین

محققان	چالش‌ها و موانع	یافته‌ها
Nguyen, Akbari and Nguyen (2024)	یکی از چالش‌های اساسی در مسیر دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین، کمبود زیرساخت‌های فناوری پیشرفته است.	این محدودیت‌ها، ارتباطات میان اعضای زنجیره تأمین را دشوار کرده و توانایی شرکت‌ها در استفاده از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی را کاهش می‌دهد.
	یکی‌از موانع کلیدی، فقدان دانش و آگاهی در میان مدیران و کارکنان نسبت به مزایای دیجیتال‌سازی است.	بسیاری از مدیران هنوز اهمیت استفاده از فناوری‌های دیجیتال را در بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها درک نکرده‌اند. این عدم آگاهی می‌تواند موجب شود که دیجیتال‌سازی به‌عنوان یک اولویت راهبردی در نظر گرفته نشود.
	مسایل مربوط به حفاظت از داده‌ها، حریم خصوصی، و مالکیت معنوی می‌تواند ریسک استفاده از فناوری‌های دیجیتال را افزایش دهد.	این محدودیت‌ها موجب می‌شود که بسیاری از شرکت‌ها در اجرای فناوری‌های نوین دچار تردید شوند.

محققان	چالش‌ها و موانع	یافته‌ها
Salamah, Alzubi and Yinal (2023)	یکی از موانع، عدم یکپارچگی میان سیستم‌های اطلاعاتی تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، و توزیع‌کنندگان است.	این مشکل باعث می‌شود که جریان اطلاعات در زنجیره تأمین دچار تأخیر یا اختلال شود.
	نگرانی از خطاهای سیستم‌های دیجیتال یا وابستگی بیش از حد به فناوری می‌تواند مانعی برای پذیرش آن باشد.	دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین نیازمند همکاری نزدیک میان تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، و مشتریان است.
Perano et al. (2023)	نبودِ استانداردهای مشترک برای تبادلِ داده‌ها و عدم هماهنگی در استفاده از سکوهای فناوری اطلاعات، بهره‌وری زنجیره را کاهش می‌دهد.	دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجه در خرید فناوری‌های نوین، نرم‌افزارها، سخت‌افزارها و آموزش نیروی انسانی است.
Hennley et al. (2020)	دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین با خطرات امنیتی متعددی همراه است.	ضعف در امنیت سایبری می‌تواند منجربه دسترسی غیرمجاز به اطلاعات حساس، سرقت داده‌ها یا اختلال در عملکرد سیستم‌ها شود. بسیاری از شرکت‌ها به‌دلیل نبودِ زیرساخت‌های امنیتی قوی، در پذیرش فناوری‌های دیجیتال دچار تردید می‌شوند.
	فرهنگ سازمانی مقاوم در برابر تغییر، یکی دیگر از موانع مهم دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین است.	کارکنان و حتی مدیران ممکن است به‌دلیل نگرانی از کاهش امنیت شغلی، افزایش فشار کاری، یا نیاز به یادگیری مهارت‌های جدید، دربرابر پذیرش فناوری‌های جدید مقاومت نشان دهند.
	بسیاری از فناوری‌ها و تجهیزات دیجیتال مورد نیاز برای زنجیره تأمین وابسته به تأمین‌کنندگان خارجی هستند.	این وابستگی، به‌ویژه تحت تأثیر تحریم‌ها و محدودیت‌های واردات، روند دیجیتال‌سازی را دشوارتر کرده است.
Al Tera, Alzubi and Iyiola (2024)	برخی از مدیران و کارکنان نسبت‌به عملکرد و مزایای فناوری‌های نوین اعتماد کافی ندارند.	این بی‌اعتمادی به‌ویژه در حوزه‌هایی مانند تحلیل داده‌ها، سامانه‌های ابری، و هوش مصنوعی دیده می‌شود.
Hovanec et al. (2023)	دیجیتال‌سازی مستلزم آموزش نیروی کار در زمینه‌های جدید فناوری است.	نبودِ برنامه‌های آموزشی کافی و کارآمد در سازمان‌ها و هزینه‌های بالای آموزش، این فرایند را پیچیده‌تر کرده است.

محققان	چالش‌ها و موانع	یافته‌ها
Zhao, Hong and Lau (2023)	برخی شرکت‌ها به‌دلیل سرعت بالای تغییرات فناوری، نگران سرمایه‌گذاری در سیستم‌هایی هستند که ممکن است در آینده نزدیک منسوخ شوند.	این نگرانی باعث کاهش تمایل به پذیرش فناوری‌های نوین می‌شود. منابع فناوری داخلی برای حمایت‌از دیجیتال‌سازی کافی نیستند و این مسئله باعث می‌شود شرکت‌ها به فناوری‌های خارجی، وابسته باقی بمانند.

در میان پژوهش‌های داخلی که به موضوع هوشمندسازی در صنعت پرداخته‌اند Monshizadeh et al. (2023) در مطالعه‌ای باعنوان «توسعه یک مدل آمادگی صنعت ۴/۰ با استفاده از رویکرد نقشه‌های شناختی فازی» نشان دادند که چهارمین انقلاب صنعتی، پارادایم جدیدی در هوشمند شدن تولید است که فرصت‌های مختلفی را برای شرکت‌ها فراهم می‌آورد.«اصلانی لیایی» و همکاران توانمندی‌های چندگانه زنجیره تأمین پایدار بر پایه هوش مصنوعی شامل توانمندی رقابت‌پذیری، عملیاتی، فناوری و تاب‌آوری را ارزیابی کردند (۱۴۰۰). «نوذری» و همکاران به ارزیابی ریسک‌های سایبری در زنجیره تأمین مبتنی‌بر اینترنت اشیا پرداختند. در این پژوهش بیان گردید که اینترنت اشیا یک الگوی به‌نسبت جدید است و با استفاده از این فناوری، تمام بخش‌های اصلی زنجیره تأمین از جمله تأمین، تولید، توزیع و فروش می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد و دارای مزایای فراوانی در سایر بخش‌هاست (Nozari et al. 2022).

بررسی نقادانه پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات انجام‌شده در یک قلمرو جغرافیایی خاص انجام شده‌اند و بسیاری از آنها به بررسی ابعاد محدودی پرداخته‌اند. افزون‌بر این، تعداد پژوهش‌های داخلی بسیار محدود است و محققان در پژوهش‌های خود صرفاً به شناسایی و تحلیل چند عامل مؤثر اکتفا نموده‌اند. بنابراین، لزوم نگاهی موشکافانه و دقیق به هوشمندسازی و ابعاد مختلف آن در صنعت ایران احساس می‌شود. نوآوری پژوهش حاضر شناسایی موانع، قابلیت‌ها و پیامدهای هوشمندسازی زنجیره تأمین در صنعت ایران و ارائه الگویی جامع و کاربردی طی یک مطالعه کیفی با استفاده از نقطه‌نظرات متخصصان صنعت کشور است.

۳. روش پژوهش

پژوهش حاضر بر مبانی فلسفی تفسیری و دارای جهت‌گیری توسعه‌ای و کاربردی بوده و از

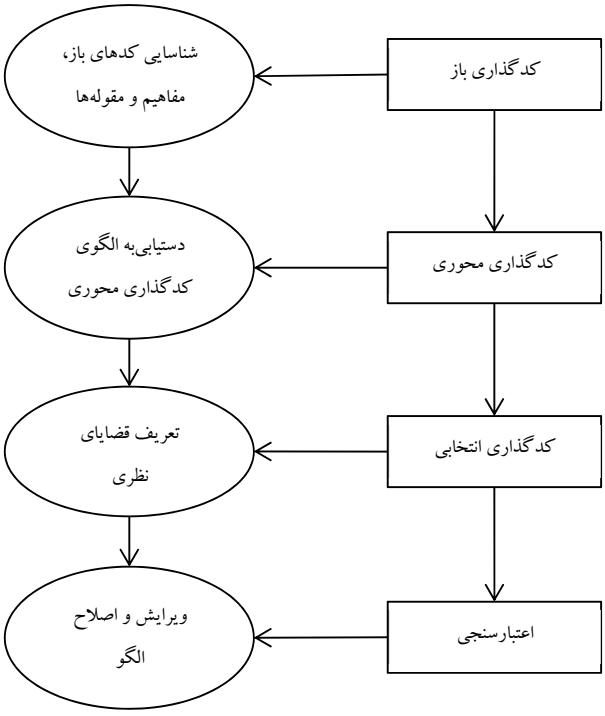
نظر روش‌شناسی، کیفی است. در این پژوهش چون به‌دنبال شکل‌دهی چارچوب مفهومی و تدوین تئوری بوده و نیاز به آشکارسازی دانش ضمنی خبرگان وجود دارد، از راهبرد نظریه داده‌بنیاد بهره‌گیری شده است. منظور از نظریه داده‌بنیاد، نظریه برگرفته از داده‌هایی است که در طی فرایند پژوهش به‌صورت نظام‌مند، گردآوری و تحلیل می‌شوند. نظریه برگرفته از داده‌ها با احتمال بیشتری می‌تواند نمایانگر واقعیت باشد و با ایجاد بصیرت و ادراک عمیق‌تر، رهنمود مطمئنی برای عمل باشد. هدف پژوهش توصیف و تبیین است و برای گردآوری داده‌ها از هر دو روش کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شده است. ابزار گردآوری داده‌ها، مصاحبه‌های عمیق نیمه‌ساختاریافته با خبرگان است. نمونه‌برداری از خبرگان به‌روش نمونه‌گیری غیراحتمالی و از نوع هدفدار یا نظری است. نمونه‌برداری نظری، فرایند جمع‌آوری داده برای تولید نظریه است که بدان‌وسیله تحلیلگر، به‌طور همزمان داده‌هایش را جمع‌آوری، کدگذاری و تحلیل کرده و تصمیم می‌گیرد به‌منظور بهبود نظریه خود، در آینده چه داده‌هایی را جمع‌آوری و آنها را در کجا پیدا کند. معیار قضاوت در مورد زمان متوقف کردن نمونه‌برداری نظری «کفایت نظری» مقوله‌ها یا نظریه است و به وضعیتی اشاره دارد که در آن هیچ دادهٔ بیشتری یافت نمی‌شود که پژوهشگر به‌وسیله آن بتواند ویژگی‌های مقوله را رشد دهد. در زمان انجام مصاحبه‌ها سعی گردید با استفاده از نظر مصاحبه‌شوندگان، افراد دیگری به لیست مصاحبه‌ها اضافه گردند تا بر غنای کار افزوده شود و مطابق تعریف، نمونه‌گیری نظری تا زمانی‌که مقوله‌ها به کفایت نظری برسند، ادامه یافت که در مجموع، ۱۱ نفر از مدیران ارشد و میانی صنایع پیشرو در هوشمندسازی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. مشخصات جمعیت‌شناختی خبرگان به‌شرح جدول ۲، است.

جدول ۲. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی مصاحبه‌شوندگان

ویژگی‌های جمعیت‌شناختی	گروه‌ها	فراوانی
جنسیت	آقا	۸
	خانم	۳
تحصیلات	لیسانس	۰
	فوق‌لیسانس	۶
	دکتری	۵

ویژگی‌های جمعیت‌شناختی	گروه‌ها	فراوانی
تجربیات	۱۰-۱۵ سال	۰
	۱۵-۲۰ سال	۳
	۲۰-۲۵ سال	۵
	۲۵-۳۰ سال	۳

برای پیاده‌سازی نظریه داده‌بنیاد، از نرم‌افزار "MAXQDA" استفاده شده است. گام‌های نظریه داده‌بنیاد به‌شرح شکل ۱، است.



شکل ۱. گام‌های پژوهش

٤. تجزیه و تحلیل یافته‌ها

رکن اساسی در فرایند تحلیل، کدگذاری است. فرایند تفکیک داده‌های حاصل از نمونه‌گیری، توصیف و بیان آنها با عباراتی کوتاه را کدگذاری گویند. فرایند تحلیل شامل

سه نوع کدگذاری باز، کدگذاری محوری، و کدگذاری انتخابی است.

۱. کدگذاری باز: کدگذاری باز شامل ۳ مرحله است. مرحله اول، کدگذاری نکات کلیدی (گزیده متن مصاحبه‌ها)ست که با استفاده از نرم‌افزار "MAXQDA" تعداد ۳۷۲ کد باز شناسایی و نشانه‌گذاری گردید. در مرحله دوم، کدهای باز احصاشده در ظاهر متفاوت، اما با مفهومی مشابه در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و مفاهیم را می‌سازند که ۳۷۲ کد باز اولیه، ۸۱ مفهوم را تشکیل دادند. مرحله سوم، ساخت مقوله‌هاست. مقوله‌ها در مقایسه با مفاهیم انتزاعی‌تر بوده و سطح بالاتری را نشان می‌دهند که در این پژوهش ۸۱ مفهوم ساخته‌شده در ۲۰ مقوله دسته‌بندی گردیدند. فهرست مفاهیم و مقوله‌های حاصل از نرم‌افزار در جدول ۳، قابل مشاهده است.

جدول ۳. مفاهیم و مقوله‌های استخراج‌شده در نرم‌افزار "MAXQDA"

مفهوم	مقوله	مفهوم	مقوله
نبود استانداردهای مشترک برای ادغام سیستم‌های فیزیکی	موانع زیرساختی، فناوری و فنی	عدم اطمینان نسبت‌به تقاضا و زمان تحویل	عدم اطمینان
فقدان سامانه‌ها و سکوها جهت پردازش سریع و دقیق داده‌ها در مدیریت زنجیره تأمین		تغییر و تحولات گسترده و غیرقابل پیش‌بینی	
چالش‌های اتصال		عدم‌اطمینان محیطی	
فقدان متخصصان و مهارت‌های فناوری		برقراری ارتباط با سیستم‌های پیچیده	روابط پیچیده و چندوجهی
حجم بالای محاسباتی(فقدان سیستم داده‌کاوی مدرن و عدم به‌کارگیری الگوریتم‌های داده‌کاوی)		برقراری ارتباط مؤثر با مشتریان	
امنیت سایبری	مسایل حفاظتی	روابط غیرقابل پیش‌بینی بین زیرسیستم‌ها	انفجار داده‌ها
حفظ حریم خصوصی		جریان عظیم تولید داده	
عدم اعتماد		تشکیل پایگاه داده‌های مختلف	

مفهوم	مقوله	مفهوم	مقوله
هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه برای دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین	موانع مالی و اقتصادی	بلاکچین	الزامات فنی (نرم‌افزاری)
عدم تخصیص منابع مالی کافی برای دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین		اینترنت اشیا	
طولانی شدن نرخ بازگشت سرمایه		هوش مصنوعی	
هزینه بر بودن تعمیر و نگهداری سیستم		کلان‌داده	
نبود سیاست‌های حمایتی مشوق‌های مالیاتی، وام‌های کم‌بهره، یا برنامه‌های مشارکتی، بیمه سبز		رایانش ابری و سیستم‌های ذخیره‌سازی آن	
عدم تخصیص متناسب بودجه جهت دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین		سیستم‌های سخت‌افزاری/ تجهیزات مدرن	الزامات فنی (سخت‌افزاری)
مقاومت کارکنان و مدیران در برابر تغییرات	موانع سازمانی و مدیریتی	نیروی متخصص	
فقدان دستورالعمل استاندارد سازمانی و مقررات پیرامون دیجیتال کردن در زنجیره تأمین		الزامات امنیتی و حفاظتی	
عدم درک و تعهد کافی مدیریت ارشد		داده‌های دقیق و به‌موقع	
فقدان سبک کاری واحد در اجرای دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین		الزامات آموزشی (آموزش مستمر، آشنایی، آگاهی و برنامه‌ریزی و ...)	الزامات محیطی و سازمانی
فقدان راهبردهای نوآوری مناسب		الزامات دورن سازمانی (انعطاف‌پذیری در برابر تغییر، حمایت مدیریت ارشد، و تحول رهبری، و ...)	
ر هبری ناکافی		تطبیق محیطی و حقوقی	
ناکافی بودن نقشه راه راهبردی		الزامات فرهنگی (سازمانی، پذیرش تغییر و ...)	
عدم اتخاذ مکانیسم حاکمیتی		همکاری و یکپارچگی با شرکای تجاری	

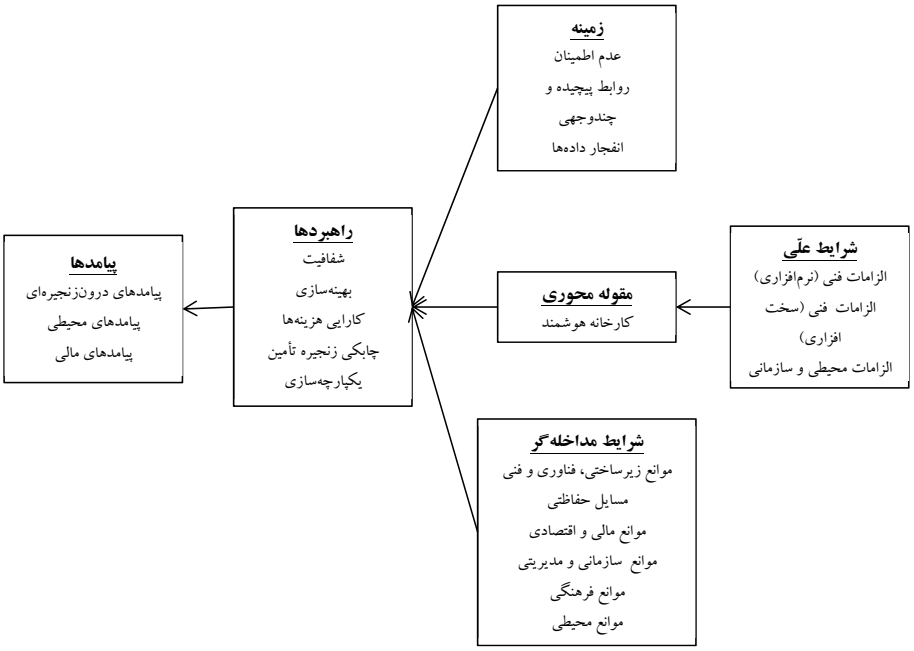
مفهوم	مقوله	مفهوم	مقوله
عدم فرهنگ صحیح استفاده از فناوری مورد نیاز برای دیجیتال کردن زنجیره تأمین	موانع فرهنگی	الزامات حقوقی و قانونی	
نگرش‌های متفاوت نسبت به دیجیتال‌سازی		مدیریت تغییر و تطبیق	
نبودِ فرهنگ یادگیری مداوم و سرمایه‌گذاری در آموزش در بسیاری از سازمان‌ها		بهبود عملکرد و کارایی زنجیره	پیامدهای درون‌زنجیره‌ای
ریسک‌های غیرقابل پیش‌بینی محیطی (عدم قطعیت محیطی)	موانع محیطی	بهبود فرایندهای مدیریت موجودی	
محدودیت‌های انرژی		امکان دسترسی به داده‌های به‌روز و دقیق	
عدم حمایت از بهره‌داران		اتخاذ تصمیمات بهتر در مورد تولید، توزیع، موجودی و تأمین منابع	
قابلیت ردیابی	شفافیت	پاسخگویی سریع‌تر به تغییرات بازار، تقاضا، یا مشکلات ناشی از اختلالات در زنجیره تأمین	
مقیاس‌پذیری		ارتقای تجربه مشتری	
افزایش درجه اشتراک اطلاعات		بهبود امنیت اطلاعات و کاهش ریسک‌ها	
همکاری و مشارکت بهینه	بهینه‌سازی	ایجاد نوآوری جدید	
مدیریت بهینه روابط مشتری		بهبود فرایندها، شفافیت، و هماهنگی میان بهره‌داران مختلف در زنجیره تأمین	
تاب‌آوری در زنجیره تأمین		پاسخگویی	
امکان تحلیل دقیق مصرف انرژی و تولید ضایعات	کارایی هزینه‌ها	بهبود رقابت در بازار (مزیت رقابتی)	پیامدهای محیطی
صرفه‌جویی، بازدهی بیشتر، بهبود کارایی و بهره‌وری		بهبود سطح حاکمیت شرکتی	

مفهوم	مقوله	مفهوم	مقوله
دسترسی‌پذیری و پاسخگویی آنلاین	چابکی زنجیره تأمین	انطباق‌پذیری	
انعطاف‌پذیری		کسب‌وکار جدید (خلق و توسعه محصول جدید)	
سرعت در تصمیم‌گیری		کاهش هزینه‌های معاملات خارجی و مقرون‌به‌صرفه بودن	پیامدهای مالی
تبادل و هماهنگی اطلاعات	یکپارچه‌سازی	بازگشت اقتصادی سرمایه‌گذاری	
هماهنگی قابلیت‌ها و اهداف سازمان			

۲. کدگذاری محوری: رویّه کدگذاری محوری، عملی مربوط به دسته‌بندی مفاهیم به زیرشاخه‌ها در امتداد خطوط ویژگی‌ها و ابعاد آن است. مجموع مقوله‌های مستخرج از داده‌های خام، در قالب الگویی به‌نام الگوی کدگذاری محوری گردآوری می‌شوند. در این مرحله، نظریه‌پرداز داده‌بنیاد یک مقوله مرحله کدگذاری باز را انتخاب کرده و آن را در مرکز فرایندی که در حال بررسی آن است، به‌عنوان «پدیده مرکزی» قرار داده و آنگاه، دیگر مقوله‌ها را به آن ربط می‌دهد (Creswell 2002). مقوله‌های دیگر عبارت‌اند از: شرایط علّی، راهبردها، شرایط زمینه‌ای و مداخله‌گر، و پیامدها. این مرحله مشتمل‌بر ترسیم یک نمودار است که «الگوی کدگذاری» نامیده می‌شود (Lee 2001). الگوی کدگذاری، روابط فیمابین شرایط علّی، راهبردها، شرایط زمینه‌ای و مداخله‌گر و پیامدها را نمایان می‌کند که به‌شرح زیر تعریف می‌شوند:

الف) شرایط علّی: مقوله‌هایی مربوط به شرایطی هستند که بر مقوله محوری تأثیر می‌گذارند که شروطی لازم ولی ناکافی جهت دستیابی به پیامدهای حاصل از به‌کارگیری راهبردهاست. ب) مقوله محوری: مقوله اصلی که می‌توان دیگر مقوله‌ها را به آن ربط داده و به‌کرات در داده‌ها ظاهر می‌شود. ج) راهبردها: کنش‌ها و برهم‌کنش‌های خاصی که از پدیده محوری منتج می‌شوند. د) زمینه: شرایط خاصی که بر راهبردها تأثیر می‌گذارند. ه) شرایط مداخله‌گر: شرایط زمینه‌ای عمومی که بر راهبردها تأثیر می‌گذارند. و) پیامدها: خروجی‌های حاصل از به‌کارگیری راهبردها.

بر این اساس، مدل پارادایمی پژوهش مطابق شکل ۲، استخراج گردید.



شکل ۲. الگوی کدگذاری محوری

۳. کدگذاری انتخابی: در این پژوهش از روش ارائه قضایای نظری بر اساس مدل پارادایم برای کدگذاری انتخابی استفاده شده است. قضیه‌های نظری، بیانگر روابط تعمیم‌یافته بین یک طبقه و مفاهیم آن با طبقات معین است. بر اساس مدل پارادایمی ارائه‌شده برای فرایند کدگذاری انتخابی پنج قضیه نظری به‌شرح زیر مطرح می‌شود:

۱. الزامات فنی (نرم‌افزاری)، الزامات فنی (سخت‌افزاری) و الزامات محیطی و سازمانی؛ شرایط علّی برای کارخانه هوشمند (مقوله محوری) محسوب می‌شود؛

۲. شفافیت، بهینه‌سازی، کارایی هزینه‌ها، چابکی زنجیره تأمین و یکپارچه‌سازی؛ به‌عنوان کنش و واکنش‌هایی است که می‌تواند منجربه تداوم و حفظ کارخانه هوشمند شود؛

۳. عدم اطمینان، گستردگی روابط و انفجار داده‌ها؛ بستری خاص برای انجام اقداماتی جهت کارخانه هوشمند فراهم می‌آورد؛

۴. موانع زیرساختی، فناوری و فنی، مسایل حفاظتی، موانع مالی و اقتصادی، موانع سازمانی و مدیریتی، موانع فرهنگی و موانع محیطی؛ بستری عام برای انجام اقداماتی

جهت تداوم کارخانه هوشمند فراهم می‌آورد؛

۵. کارخانه هوشمند و اقدامات انجام‌شده برای حفظ و تداوم کارخانه هوشمند، که پیامدهای درون‌زنجیره‌ای، پیامدهای محیطی و پیامدهای مالی را در پی خواهد داشت.

اعتبارسنجی نظریه داده‌بنیاد: روش‌های مختلفی برای اعتبارسنجی در نظریه داده‌بنیاد وجود دارد که در پژوهش حاضر از دو روش بازبینی مشارکت‌کنندگان و مرور خبرگان غیرشرکت‌کننده در پژوهش (۳ نفر از مدیران و ۳ نفر از اعضای هیئت علمی مرتبط) استفاده شد. به این ترتیب، ضمن برگزاری کارگاه‌های جداگانه با مدیران مشارکت‌کننده در پژوهش و اعضای هیئت علمی دانشگاه دارای رشته تحصیلی مرتبط، فرایند کدگذاری و استخراج مفاهیم و مقوله‌ها مورد بررسی و بازبینی قرار گرفت و پس از دریافت نظرات اصلاحی، ویرایش لازم انجام و الگوی نهایی ارائه شد.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها منجربه شناسایی شش مقوله اصلی شد. این شش مقوله عبارت‌اند از: شرایط علّی، پدیده محوری، شرایط زمینه‌ای، شرایط مداخله‌گر، راهبردها، و پیامدها. پدیده محوری شناسایی‌شده «کارخانه هوشمند» است. شرایط علّی به‌عنوان مقوله‌هایی که بر مقوله محوری تأثیر می‌گذارند، شامل الزامات فنی (نرم‌افزاری)، الزامات فنی (سخت‌افزاری) و الزامات محیطی و سازمانی است.

مقوله‌های الزامات فنی (نرم‌افزاری)، الزامات فنی (سخت‌افزاری) با نتایج مطالعات Salamah, Alzubi and Yinal (2023) و Nguyen, Akbari and Nguyen (2024) و Wang and Li (2024) و Pham et al. (2024) و Al Tera, Alzubi and Iyiola (2024) مطابقت دارد. زیرساخت‌های فناوری اطلاعات یکی از ارکان اصلی دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین به شمار می‌روند. این زیرساخت‌ها شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار، شبکه‌ها و سامانه‌های ذخیره‌سازی هستند که به‌طور مؤثر و یکپارچه عمل کرده و امکان مدیریت و تبادل داده‌های زنجیره تأمین را فراهم می‌آورند.

مقوله‌های الزامات محیطی و سازمانی با نتایج پژوهش‌های Chen and Chen (2022) و Hovanec et al. (2023) و Dong et al. (2023) و Tobis et al. (2023) همراستاست. دیجیتال‌سازی فرایندی پیچیده است که به مهارت‌های فنی، مدیریتی و تحلیلی نیاز دارد تا سازمان‌ها بتوانند از فناوری‌های نوین بهره‌برداری کنند و زنجیره تأمین خود را به‌طور

مؤثر مدیریت نمایند. یکی از چالش‌های اصلی در پیاده‌سازی دیجیتال‌سازی، به‌ویژه در سازمان‌های سنتی، نیاز به آموزش مداوم و به‌روز نگه داشتن مهارت‌های کارکنان است.

شرایط مداخله‌گر به‌عنوان شرایط زمینه‌ای عمومی که بر راهبردها تأثیر می‌گذارند، شامل موانع زیرساختی، فناوری و فنی، مسایل حفاظتی، موانع مالی و اقتصادی، موانع سازمانی و مدیریتی، موانع فرهنگی و موانع محیطی است.

موانع زیرساختی، فناوری و فنی و مسایل حفاظتی با نتایج مطالعاتِ Perano et al. (2023) و Al Tera, Alzubi and Iyiola. (2024) و Hennley et al. (2020) و Dong et al. (2023) همسویی دارد. یکی از موانع اصلی در دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین، ضعف زیرساخت‌های ارتباطی مانند اینترنت پرسرعت، شبکه‌های مطمئن، و سامانه‌های ابری است. در بسیاری از کشورها و مناطق، به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه، این زیرساخت‌ها به‌طور کامل فراهم نیست و مانعی جدی برای پیاده‌سازی فناوری‌های نوین محسوب می‌شود.

موانع مالی و اقتصادی با نتایج پژوهش‌های Nguyen et al. (2024) و Salamah, Alzubi, and Yinal (2023) همراستایی دارد. یکی از موانع اصلی مالی، هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه برای دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین است. خرید تجهیزات پیشرفته، توسعه نرم‌افزارها، نصب زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات، و استخدام نیروی انسانی متخصص نیازمند بودجه‌ای قابل توجه است که بسیاری از شرکت‌ها، به‌ویژه شرکت‌های کوچک و متوسط، قادر به تأمین آن نیستند.

موانع سازمانی و مدیریتی با نتایج مطالعات Dixit et al. (2024) و Bastos et al. (2024) و Tiwari et al. (2024) و Chen and Chen (2024) همسویی دارد. در عصر دیجیتال، همکاری و یکپارچگی با شرکای تجاری یکی از ارکان کلیدی موفقیت در دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین به شمار می‌آید. اولین گام در همکاری مؤثر با شرکای تجاری، ایجاد یکپارچگی در سیستم‌ها و داده‌هاست.

موانع فرهنگی و محیطی با نتایج پژوهش‌های Zhao, Hong and Lau (2023) و Fang et al. (2024) و Mishra et al. (2024) و Herold et al. (2021) مطابقت دارد. ایجاد تغییرات دیجیتال نیازمند فرهنگ سازمانی است که حمایت‌کنندهٔ نوآوری و استفاده از فناوری‌های جدید باشد.

بنابراین، برای دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین، سازمان‌ها به زیرساخت‌های فناوری اطلاعات قوی و مقیاس‌پذیر نیاز دارند. این زیرساخت‌ها شامل سرورها، شبکه‌ها،

سیستم‌های ذخیره‌سازی داده و سیستم‌های ابری هستند که بتوانند حجم بالای داده‌ها را پردازش کرده و سیستم‌های مختلف را به‌طور یکپارچه ارتباط دهند. همچنین، وجود امنیت بالا برای حفاظت از اطلاعات حساس و جلوگیری از تهدیدات سایبری ضروری است. سازمان‌ها باید زیرساخت‌هایی را برای حفاظت از داده‌های حساس خود پیاده‌سازی کنند. این اقدامات شامل رمزنگاری داده‌ها، امنیت شبکه‌ها، احراز هویت چندعاملی و ابزارهای نظارتی برای شناسایی تهدیدات سایبری است. همچنین برای بهره‌برداری‌از مزایای دیجیتال‌سازی، وجود داده‌های دقیق و به‌موقع از اهمیت بالایی برخوردار است. داده‌های مرتبط با موجودی، تقاضا، وضعیت حمل‌ونقل، و عملکرد تأمین‌کنندگان باید به‌طور مستمر جمع‌آوری و پردازش شوند.

با توجه به سرعت بالای تغییرات در فناوری، نیروی انسانی باید به‌طور مستمر در زمینه‌های مختلفِ فناوری‌های جدید آموزش دیده و توانمندی‌های خود را به‌روز کند. شرکت‌ها باید برنامه‌های آموزشی و توسعه‌ای مستمر برای کارکنان خود فراهم کنند تا آنان بتوانند به‌طور مؤثر از ابزارهای دیجیتال استفاده کنند و در مواجهه با چالش‌های جدید توانایی‌های لازم را داشته باشند. نیروی انسانی متخصص باید در یک فرهنگ سازمانی کار کند که پذیرای نوآوری و تغییرات دیجیتال باشد. کارکنان باید تشویق شوند که در مراحل مختلف از ابزارهای نوین برای بهبود فرایندها استفاده کنند و به‌طور فعال در ارتقای عملکرد زنجیره تأمین مشارکت نمایند.

توسعه زیرساخت‌های فناوری دیجیتال نیازمند سرمایه‌گذاری کلان است که شامل هزینه‌های خرید تجهیزات، توسعه نرم‌افزارها، و ایجاد شبکه‌های پیشرفته است. افزون‌بر این، حفاظت از داده‌ها به زیرساخت‌های امنیتی قوی نیاز دارد که در بسیاری از موارد به‌درستی فراهم نشده‌اند. رفع این موانع نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلان، تدوین سیاست‌های حمایتی، و همکاری بین‌المللی برای توسعه استانداردهای مشترک است.

نبودِ سیاست‌های حمایتی مانند مشوق‌های مالیاتی، وام‌های کم‌بهره، یا برنامه‌های مشارکتی می‌تواند مانع اجرای پروژه‌های دیجیتال‌سازی در زنجیره تأمین شود. نوسانات اقتصاد جهانی مانند تورم، رکود و تغییرات نرخ ارز، بر توانایی شرکت‌ها در برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری تأثیر منفی می‌گذارد. برای غلبه بر این موانع، لازم است دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی از طریق ارائه تسهیلات مالی، کاهش موانع تجاری، و تشویق به سرمایه‌گذاری، شرایط را برای توسعه فناوری‌های دیجیتال تسهیل کنند. شرکت‌ها نیز

باید از طریق برنامه‌ریزی دقیق و ارزیابی هزینه‌ها و منافع بلندمدت، به اولویت‌بندی پروژه‌های دیجیتال‌سازی بپردازند.

سازمان‌ها باید از سیستم‌های دیجیتال یکپارچه مانند سیستم‌های مدیریت منابع سازمانی[1] و مدیریت زنجیره تأمین[2] استفاده کنند که امکان تبادل اطلاعات به‌صورت بلادرنگ و یکپارچه را فراهم می‌آورند. دیجیتال‌سازی مستلزم تغییرات عمده در فرایندها و ساختارهای سازمانی است. بنابراین، مدیریت تغییر و انطباق سازمان با این تغییرات از الزامات کلیدی است. حمایت مدیریت ارشد و رهبری تحول در فرایند دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین یکی از ارکان اساسی موفقیت در این عرصه به‌شمار می‌آید.

سازمان‌ها باید محیطی ایجاد کنند که کارکنان بتوانند با راحتی و بدون ترس از شکست، فناوری‌های جدید را امتحان کنند. این پذیرش نوآوری باید از رأس هرم سازمانی شروع شود و مدیران ارشد باید خود را به‌عنوان الگوهایی برای استفاده از فناوری‌های جدید معرفی کنند. سازمان‌هایی که فرهنگ انعطاف‌پذیری دارند، قادر به تطبیق سریع با تحولات جدید خواهند بود و می‌توانند در رقابت‌های جهانی موفق‌تر عمل کنند. برای اینکه فرایندهای دیجیتال‌سازی به‌طور مؤثر پیاده‌سازی شوند، نیاز است که کارکنان در سطوح مختلف، اطلاعات و تجربیات خود را به اشتراک بگذارند و به‌طور گروهی به حل مسایل پیچیده بپردازند.

پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی به بررسی تأثیرات مختلف فناوری‌های نوین بر زنجیره تأمین، تغییرات مدیریت نیروی انسانی در عصر فناوری‌های نوظهور، تأثیر هوشمندسازی بر فرهنگ سازمانی، ملاحظات اخلاقی مرتبط با به‌کارگیری فناوری‌ها، تحولات حکمرانی صنعت همگام با پیشرفت فناوری، تجزیه‌وتحلیل و اولویت‌بندی موانع و چالش‌های هوشمندسازی و راهبردهای رفع آنها، شناسایی الزامات به‌کارگیری تولید هوشمند و طراحی الگوی جامع و کاربردیِ پیاده‌سازی زنجیره تأمین هوشمند در صنعت کشور پرداخته شود.

قدردانی

از کلیه مدیران و صنعتگرانی که با صرف وقت و دقت و صبوری در این پژوهش مشارکت نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

1. enterprise resource planning (ERP)
2. supply chain management (SCM)

فهرست منابع

اصلانی لیائی، ولی‌الله، صادق عابدی، علی‌رضا ایرج‌پور، و رضا احتشام راثی. ۱۴۰۰. ارائه مدلی برای ارزیابی توانمندی‌های چندگانه زنجیره تأمین پایدار بر پایه هوش مصنوعی. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی* ۱۱ (۳): ۱۰۷-۱۲۹. https://doi.org/10.52547/jimp.11.3.107

References

Agrawal, P., and R. Narain. 2023. Analysis of enablers for the digitalization of supply chain using an interpretive structural modelling approach. *International Journal of Productivity and Performance Management* 72 (2): 410-439. https://doi.org/10.1108/IJPPM-09-2020-0481

Ahmad Amouei, M., C. Valmohammadi, and K. Fathi. 2023. Developing and validating an instrument to measure the impact of digital supply chain activities on sustainable performance. *Journal of Enterprise Information Management* 36 (4): 925-951. https://doi.org/10.1108/JEIM-12-2021-0520

Al Tera, A., A. Alzubi, and K. Iyiola. 2024. Supply chain digitalization and performance: A moderated mediation of supply chain visibility and supply chain survivability. Heliyon 10 (4). https://doi.org/10,1016 /j.heliyon.2024.e25584

Al-Okaily, M., and A. Al-Okaily. 2025. Financial data modeling: an analysis of factors influencing big data analytics-driven financial decision quality. *Journal of Modelling in Management* 20 (2): 301-321. https://doi.org/10.1108/JM2-08-2023-0183

Aslani Liaei, V., S. Abedi, A. Irajpour, and R. Ehtesham Rathi. 2021. Designing a Model for Evaluation of Sustainable Supply Chain Multi Capabilities Based on Artificial Intelligence. *Journal of Industrial Management Perspective* 11 (3): 107-129. [In Persian] https://doi.org/10.52547/jimp.11.3.107

Attaran, M. 2020. Digital Technology Enablers and their Implications for Supply Chain Management. *Supply Chain Forum* 21 (3): 158-172. https://doi.org/10.1080/16258312.2020.1751568

Bag, S., P. Dhamija, S. Luthra, and D. Huisingh. 2023. How big data analytics can help manufacturing companies strengthen supply chain resilience in the context of the COVID-19 pandemic. *The International Journal of Logistics Management* 34 (4): 1141-1164. https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2021-0095

Bai, C., P. Dallasega, G. Orzes, and J. Sarkis. 2020. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics* 229: 107776. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776

Bastos, T., T.C. Teixeira, and L. J. Nunes. 2024. Forest 4.0: technologies and digitalization to create the residual biomass supply chain of the future. *Journal of Cleaner Production* 467: 143041. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143041

Büchi, G., M. Cugno, and R. Castagnoli. 2020. Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change* 150: 119790. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790.

Chen, Y., and G. Chen. 2022. Optimization of the intelligent asset management system based on WSN and RFID technology. *Journal of Sensor* 2022 (1): 3436530. https://doi.org/10.1155/2022/3436530

Creswell, J. W. 2002. *Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research*. Upper Saddle River, NJ: Merrill Prentice Hall.

Dadhaneeya, H., P. K. Nema, and V. K. Arora. 2023. Internet of Things in food processing and its potential in Industry 4.0 era: A review. *Trends in Food Science & Technology* 139: 104109. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.006

Dixit, V. K., R. K. Malviya, V. Kumar, and R. Shankar.2024. An analysis of the strategies for overcoming digital supply chain implementation barriers. *Decision Analytics Journal* 10: 100389. https://doi.

org/10.1016/j.dajour.2023.100389

Dong, Y., S. F. Ahmad, M. Irshad, M. Al-Razgan, Y. A. Ali, and E. M. Awwad. 2023. The Digitalization Paradigm: Impacts on Agri-Food Supply Chain Profitability and Sustainability. *Sustainability* 15 (21): 15627. https://doi.org/10.3390./su152115627

Fang, M., Y. Yu, K. Park, F. Liu, S. S. Xiao, and Y. Shi. 2024. Supply chain relationship dependencies and circular economy performance: The contingency role of digitalization capability. *Journal of Purchasing and Supply Management* 30(4): 100902. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2024.100902

Ghobakhloo, M., M. Iranmanesh, M. Vilkas, A. Grybauskas, and A. Amran. 2022. Drivers and barriers of Industry 4.0 technology adoption among manufacturing SMEs: a systematic review and transformation roadmap. *Journal of Manufacturing Technology Management* 33 (6): 1029-1058. https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2021-0505

Harju, A., J. Hallikas, M. Immonen, and K. Lintukangas. 2023. The impact of procurement digitalization on supply chain resilience: empirical evidence from Finland. *Supply Chain Management: An International Journal* 28 (7): 62-76. https://doi.org/10.1108/SCM-08-2022-0312

Hayat, A., V. Shahare, A. K. Sharma, and N. Arora. 2023. *Introduction to industry 4.0. In Blockchain and its Applications in Industry 4.0*. Singapore: Springer Nature Singapore: 29-59. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8730-4_2

Hennelly, P. A., J. S. Srai, G. Graham, and S. Fosso Wamba. 2020. Rethinking supply chains in the age of digitalization. *Production Planning & Control* 31 (2-3): 93-95. https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1631469

Herold, D. M., M. Ćwiklicki, K. Pilch, and J. Mikl. 2021. The emergence and adoption of digitalization in the logistics and supply chain industry: an institutional perspective. *Journal of Enterprise Information Management* 34(6): 1917-1938. https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2020-0382

Hovanec, M., P. Korba, M. Vencel, and S. Al-Rabeei. 2023. Simulating a digital factory and improving production efficiency by using virtual reality technology. *Applied Sciences* 13 (8): 5118. https://doi.org/10.3390/app13085118

Ishfaq, R., B. Davis-Sramek, and B. Gibson. 2022. Digital supply chains in omnichannel retail: A conceptual framework. *Journal of Business Logistics* 43 (2): 169-188. https://doi.org/10.1111/jbl.12277

Júnior, L. C. R., G. F. Frederico, and M. L. N. Costa. 2023. Maturity and resilience in supply chains: a systematic review of the literature. *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management* 5 (1): 1-25. https://doi.org/10.1108/IJIEOM-08-2022-0035

Kouhizadeh, M., Q. Zhu, and J. Sarkis. 2020. Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice. *Production Planning & Control* 31 (11-12): 950-966. https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1695925

Kumar, A., S. Choudhary, J. A. Garza-Reyes, V. Kumar, S. A. Rehman Khan, and N. Mishra. 2021. Analysis of critical success factors for implementing Industry 4.0 integrated circular supply chain - moving towards sustainable operations. *Production Planning & Control* 34 (10): 984–998. https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1980905

Lee, J. 2001. A grounded theory: integration and internalization in ERP adoption and use. *ETD Collection for University of Nebraska-Lincoln* AAI3016318. https://digitalcommons.unl.edu/dissertations/AAI3016318

Li, C., P. Zheng, Y. Yin, B. Wang, and L. Wang. 2023. Deep reinforcement learning in smart manufacturing: A review and prospects. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 40: 75-101*. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.11.003

Maiti, A., and R. G. Shilpa. 2020. Developing a framework to digitize supply chain between supplier and manufacturer. In 2020 5th International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS): 1-6. https://doi.org/10.1109/ICCCS49678.2020.9277211

Mishra, R., R. Kr Singh, and A. Gunasekaran. 2024. Digitalization of supply chains in Industry 4.0 environment of manufacturing organizations: conceptualization, scale development & validation. *Production Planning & Control* 35(11): 1278-1297. https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2172622

Monshizadeh, F., M. R. Sadeghi Moghadam, T. Mansouri, and M. Kumar. 2023. Developing an industry 4.0 readiness model using fuzzy cognitive mapsapproach. *International Journal of Production Economics* 255: 108658. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108658.

Nahr, J. G., H. Nozari, and M. E. Sadeghi. 2021. Green supply chain based on artificial intelligence of things (AIoT). *International Journal of Innovation in Management, Economics and Social Sciences* 1 (2): 56-63. https://doi.org/10.52547/ijimes.1.2.56

Nguyen, T., M. Akbari, and K. Nguyen.2024. Unlocking the potential of Vietnamese supply chain with digitalization: a bibliometric analysis and systematic literature review. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal* 17 (1):123-141. http://doi.org/10.31387/oscm0560418

Nozari, H., J. Ghahremani Nahr, M. Fallah, and A. Szmelter-Jarosz. 2022. Assessment of cyber risks in an IoT-based supply chain using a fuzzydecision-making method. *International Journal of Innovation inManagement Economics and Social Sciences* 2 (1): 52-64. https://doi.org/10.52547/ijimes.

Öztürk, Ö. 2023. Analysis of Industry 4.0 Technologies' Adoption Using Interpretive Structural Modelling: Empirical Findings from Manufacturing Sector in Turkey (Master's thesis, Middle East Technical University (Turkey)).

Paiola, M., and H. Gebauer. 2020. Internet of things technologies, digital servitization and business model innovation in BtoB manufacturing firms. *Industrial Marketing Management* 89: 245-264. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.03.009

Pappas, N., A. Caputo, M. M. Pellegrini, G. Marzi, and E. Michopoulou. 2021. The complexity of decision-making processes and IoT adoption in accommodation SMEs. *Journal of Business Research* 131: 573-583. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.01.010

Perano, M., A. Cammarano, V. Varriale, C. Del Regno, F. Michelino, and M. Caputo. 2023. Embracing supply chain digitalization and unphysicalization to enhance supply chain performance: a conceptual framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 53 (5/6): 628-659. https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2022-0201

Pham, T. N., M. T. Tran Hoang, Y. N. Nguyen Tran, and B. A. Nguyen Phan. 2024. Combining digitalization and sustainability: unveiling the relationship of digital maturity degree, sustainable supply chain management practices and performance. *International Journal of Productivity and Performance Management* 73 (8): 2508-2529. https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2023-0311

Puto, A., M. M. Pellegrini, G. Marzi, and E. Michopoulou. 2021. The complexity of decision-making processes and IoT adoption in accommodation SMEs. *Journal of Business Research* 131: 573-583. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.01.010

Qiao, S., N. N. Xiong, Y. Gao, Z. Fang, W. Yu, J. Zhang, and X. Jiang.2023. Self-supervised learning of depth and ego-motion for 3D perception in human computer interaction. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications* 20 (2): 1-21. https://doi.org/10.1145/3588571

Queiroz, M. M., S. Fosso Wamba, C. J. Chiappetta Jabbour, A. B. Lopes de Sousa Jabbour, and M. C. Machado. 2022. Adoption of Industry 4.0 technologies by organizations: a maturity levels perspective. *Annals of Operations Research* 6: 1-27. https://doi.org/10.1007/s10479-022-05006-6

Rad, F. F., P. Oghazi, M. Palmié, K. Chirumalla, N. Pashkevich, P. C.Patel, and S. Sattari. 2022. Industry 4.0 and supply chain performance: A systematic literature review of the benefits, challenges, and critical success factors of 11 core technologies. *Industrial Marketing Management* 105: 268-293. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.06.009

Rahamneh, A., S. Alrawashdeh, A. Bawaneh, Z. Alatyat, A. Mohammad, and S. Al-Hawary. 2023. The effect of digital supply chain on lean manufacturing: A structural equation modelling approach. *Uncertain*

Supply Chain Management 11 (1): 391-402. https://doi.org/10.5267/j.uscm.2022.9.003

Rasool, F., M. Greco, and M. Grimaldi. 2022. Digital supply chain performance metrics: a literature review.*Measuring Business Excellence*26 (1): 23-38. https://doi.org/10.1108/MBE-11-2020-0147

Salamah, E., A. Alzubi, and A. Yinal. 2023. Unveiling the impact of digitalization on supply chain performance in the post-COVID-19 era: the mediating role of supply chain integration and efficiency. S*ustainability* 16 (1): 304. https://doi.org/10.3390/su16010304

Tiwari, S., P. Sharma, and A. K. Jha. 2024. Digitalization & Covid-19: An institutional-contingency theoretic analysis of supply chain digitalization. *International Journal of Production Economics* 267, 109063. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.109063

Tubis, A. A., K. Grzybowska, and B. Król. 2023. Supply chain in the digital age: A Scientometric–Thematic literature review. *Sustainability* 15 (14): 11391. https://doi.org/10.3390/su151411391

Vaz, A. L. A., F. A. Ferreira, L. F. Pereira, R. J. Correia, and A. Banaitis. 2022. Strategic visualization: the (real) usefulness of cognitive mapping in smart city conceptualization. *Management Decision* 60 (4): 916-939. https://doi.org/10.1108/MD-11-2020-1512

Wang, S., and J. Li. 2024. How carbon emission trading mechanism and supply chain digitization affect manufacturing enterprises' competitiveness? Evidence from China. *Journal of Cleaner Production* 452: 142164. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142164

Yang, M., M. Fu, and Z. Zhang. 2021. The adoption of digital technologies in supply chains: Drivers, process and impact. *Technological Forecasting and Social Change* 169: 120795. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120795.

Zhao, N., J. Hong, and K. H. Lau. 2023. Impact of supply chain digitalization on supply chain resilience and performance: A multi-mediation model. *International Journal of Production Economics* 259: 108817. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108817

Zúñiga, E. R., N. Yasue, T. Hirose, H. Nomoto, and T. Sawaragi. 2023. An integrated discrete-event simulation with functional resonance analysis and work domain analysis methods for industry 4.0 implementation. *Decision Analytics Journal* 9: 100323. https://doi.org/10,1016./j.dajour.2023.100323..

امیراحسان زاهدی

متولد سال ۱۳۶۷، دارای مدرک تحصیلی دکتری در رشته مدیریت تولید و عملیات از دانشگاه یزد است. ایشان هم‌اکنون استادیار گروه مدیریت دانشگاه اراک است. آموزش عالی، هوش مصنوعی، مدیریت دانش، هوشمندسازی زنجیره تأمین، کارآفرینی و فناوری‌های نوین از جمله علایق پژوهشی وی است.

مهدیه حقیقت

متولد سال ۱۳۷۸، دارای مدرک کارشناسی ارشد در رشته مدیریت صنعتی از دانشگاه خوارزمی است.

مدیریت دانش، زنجیره تأمین هوشمند، دیجیتال‌سازی فرایندهای صنعتی، فناوری‌های مرتبط با صنعت نسل چهارم و پنجم از جمله علایق پژوهشی وی است.