Iranian Journal of Supply Chain Management
Vol. 28, No. 1, Spring 2026, Serial No. 90
ISSN: 2008-9198 , E-ISSN: 2717-1647

Structural Analysis of Barriers to Blockchain Adoption in the Pharmaceutical Supply Chain: An Integrated Fuzzy Delphi, Interpretive Structural Modeling, and MICMAC Approach

Masoud Barati[1*], Reyhaneh Bidram[2], Parham TalaiePour[3]

[1]Correspondence: Assistant Professor, Department of management, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
Email Address: Barati_masoud@iau.ac.ir

[2]PhD Student in Business Management, Department of management, Se.C., Islamic Azad University, Semnan, Iran.
Email Address: reyhaneh.bidram@iau.ir

[3]Master of Business Administration, Department of management, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
Email Address: parhamtalaeipoor@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 13 November 2025

Received in revised form: 20 December 2025

Accepted: 1 June 2026

Available online: 15 June 2026

Keywords:

Blockchain

Pharmaceutical Supply Chain

Interpretive Structural Modeling

Fuzzy Delphi,

MICMAC Analysis

ABSTRACT

With the expansion of digital approaches in the pharmaceutical industry, blockchain technology has gained increasing attention as an innovative tool for enhancing transparency, traceability, and data security across pharmaceutical supply chains. Despite these potential benefits, effective blockchain implementation requires coordinated interaction among regulatory institutions, supply chain actors, and technological infrastructures, and in practice faces a set of interrelated technical, organizational, financial, and regulatory barriers whose underlying causal structure must be clearly understood. This study aims to identify and structurally analyze the key barriers to blockchain implementation in Iran's pharmaceutical supply chain. In the first phase, a systematic literature review combined with the Fuzzy Delphi method was employed to identify ten validated barriers. In the second phase, the hierarchical and causal relationships among these barriers were examined using Interpretive Structural Modeling (ISM). In the third phase, MICMAC analysis was applied to assess the driving power and dependence of the identified variables. The findings indicate that inadequate technical infrastructure and technological complexity emerge as root and independent barriers exerting the strongest influence on other obstacles, whereas lack of top management support and employee resistance to change appear as dependent barriers located at higher levels of the structural model. Accordingly, this study proposes strategies such as developing pharmaceutical-specific digital infrastructure, enhancing technical competencies of the workforce, strengthening managerial commitment, and establishing national blockchain standards tailored to the pharmaceutical sector. By presenting a structured and context-specific analytical framework, this research provides practical insights for policymakers and industry decision-makers seeking to advance sustainable, blockchain-based digital transformation in pharmaceutical supply chains.

Cite this article: M. Barati, R. Bidram, and P. TalaiePour, "Structural Analysis of Barriers to Blockchain Adoption in the Pharmaceutical Supply Chain: An Integrated Fuzzy Delphi, Interpretive Structural Modeling, and MICMAC Approach, vol. 28, no. 1, pp. 1-20, 2026. DOI: https://doi.org/10.47176/scmj.2026.1681

OPEN ACCESS

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights
Publisher: Imam Hossein University

Introduction

The pharmaceutical supply chain is one of the most complex and highly regulated supply networks in the world. It involves multiple stakeholders including manufacturers, distributors, logistics providers, pharmacies, regulatory agencies, and healthcare institutions. Ensuring the integrity, safety, and traceability of pharmaceutical products throughout this network is critical because any disruption, counterfeit entry, or lack of transparency can directly affect public health. In recent years, digital transformation initiatives have aimed to address these challenges by integrating advanced information technologies into supply chain management systems. Among emerging technologies, blockchain has gained considerable attention as a promising solution for enhancing transparency, trust, and security in complex supply networks. Blockchain is a distributed ledger technology that allows transactions and data exchanges to be recorded in a decentralized and immutable manner. In the context of pharmaceutical supply chains, blockchain can improve traceability of medicines, prevention of counterfeit drugs, secure information sharing among stakeholders, and efficient monitoring of product flows. These capabilities are particularly important in pharmaceutical logistics where regulatory compliance, product authenticity, and timely delivery are essential. Despite its significant potential benefits, the adoption of blockchain in pharmaceutical supply chains has been relatively slow. Organizations often face numerous technical, organizational, financial, and regulatory barriers that hinder the implementation of blockchain-based solutions. These barriers are not independent; rather, they interact with each other and create a complex system of constraints that influence the feasibility of technology adoption. Therefore, understanding not only the existence of these barriers but also their structural relationships and causal influences is essential for designing effective strategies for blockchain implementation.

The present study focuses on identifying and analyzing the barriers to blockchain adoption in Iran’s pharmaceutical supply chain. The main objective of the research is to develop a structured analytical framework that reveals the hierarchical relationships among these barriers and determines which factors act as key drivers within the system. To achieve this goal, the study adopts an integrated methodological approach combining systematic literature review, the Fuzzy Delphi Method (FDM), Interpretive Structural Modeling (ISM), and MICMAC analysis. Through this approach, the study first identifies potential barriers from the literature, then validates them through expert consensus, and finally analyzes their structural interactions and influence levels.

By identifying the most influential barriers and mapping their interrelationships, the research aims to provide practical insights for policymakers, managers, and decision-makers involved in the pharmaceutical sector. Understanding these structural relationships can help organizations prioritize interventions and allocate resources more effectively when planning the adoption of blockchain technologies.

Results and Discussion

The research process led to the identification and validation of ten major barriers that hinder the adoption of blockchain technology in the pharmaceutical supply chain. These barriers were first extracted through a systematic review of relevant academic literature and industry reports. Subsequently, the Fuzzy Delphi

Method was employed to refine and validate the list of barriers through expert judgment. This method allows researchers to handle uncertainty and subjective opinions by incorporating fuzzy logic into the traditional Delphi process, thereby improving the reliability of expert consensus. After confirming the final set of barriers, Interpretive Structural Modeling (ISM) was applied to determine the contextual relationships among them. ISM is a well-established methodology used to identify and structure relationships among complex variables. Through pairwise comparisons and expert evaluations, the barriers were organized into a hierarchical model representing their causal interactions. The ISM results revealed a multi-level hierarchical structure in which some barriers act as fundamental driving factors, while others emerge as dependent outcomes influenced by those underlying conditions. Among the identified barriers, inadequate technical infrastructure and technological complexity of blockchain systems were found to occupy the lowest levels of the hierarchy. These factors demonstrated strong driving power and relatively low dependence on other variables, indicating that they are foundational obstacles affecting the entire adoption process. Inadequate infrastructure refers to limitations in digital platforms, information systems, interoperability capabilities, and network reliability required for implementing blockchain-based solutions. Since blockchain systems rely heavily on robust technological environments and integrated data exchange platforms, the absence of appropriate infrastructure significantly complicates their deployment. Similarly, the technological complexity associated with blockchain—including issues related to scalability, integration with existing systems, and technical expertise requirements—can discourage organizations from adopting the technology. At higher levels of the ISM hierarchy, several organizational and behavioral barriers were identified. These include factors such as lack of top management support, limited technical knowledge among employees, and resistance to organizational change. The model indicates that these barriers are largely influenced by the underlying technological and infrastructural challenges. For example, when the technology is perceived as highly complex or when the infrastructure is insufficient, senior managers may hesitate to invest in implementation initiatives. Likewise, employees may resist adopting systems that require unfamiliar technical skills or significant changes in existing workflows. To further analyze the relationships among the identified barriers, the study employed MICMAC analysis (Cross-Impact Matrix Multiplication Applied to Classification). This technique categorizes variables based on their driving power and dependence. The results of the MICMAC analysis confirmed the findings of the ISM model. Barriers such as infrastructure limitations and technological complexity were classified as independent or driving variables, meaning they strongly influence other barriers while being less affected by them. Conversely, barriers such as employee resistance and managerial hesitation were classified as dependent variables, indicating that they are largely outcomes of other structural conditions. The combined ISM–MICMAC analysis demonstrates that blockchain adoption challenges should be viewed as part of a systemic structure of interrelated obstacles rather than isolated issues. Attempting to address only surface-level organizational problems without resolving foundational technological limitations may lead to ineffective implementation strategies. Therefore, policymakers and industry leaders must prioritize interventions that address the root drivers of the problem.

Conclusion

The findings of this study highlight the importance of adopting a systemic and structured perspective when addressing the barriers to blockchain implementation in pharmaceutical supply chains. By integrating the Fuzzy Delphi Method, Interpretive Structural Modeling, and MICMAC analysis, the research provides a comprehensive framework for identifying and analyzing the complex relationships among adoption barriers. The results indicate that technological and infrastructural limitations play a central role in shaping other organizational and behavioral challenges. In particular, inadequate technical infrastructure and the inherent complexity of blockchain technology were identified as the most influential barriers. These factors significantly affect managerial decisions, employee attitudes, and the overall readiness of organizations to adopt blockchain-based solutions. Based on these findings, several practical implications can be suggested. First, policymakers and regulatory authorities should focus on developing national digital infrastructures and technological standards that facilitate blockchain integration within the pharmaceutical sector. Establishing clear regulatory frameworks and interoperability standards can reduce uncertainty and encourage organizations to explore blockchain applications. Second, pharmaceutical companies and supply chain stakeholders should invest in capacity building and technical skill development among their workforce. Training programs and knowledge-sharing initiatives can reduce resistance to change and increase the organizational readiness required for implementing advanced technologies. Third, organizational leaders should actively support digital transformation initiatives by providing strategic direction, allocating sufficient resources, and encouraging collaborative innovation among supply chain partners. Strong managerial commitment can significantly enhance the likelihood of successful blockchain implementation.

Overall, this study contributes to the growing body of research on digital transformation in healthcare and pharmaceutical logistics by offering a structured analysis of blockchain adoption barriers. The proposed framework can assist decision-makers in prioritizing actions and designing more effective implementation strategies. Future research may extend this work by applying quantitative validation methods, conducting case studies in different countries, or examining additional technological and regulatory factors that influence blockchain adoption in healthcare supply chains.

نشریه «مدیریت زنجیره تامین»
سال بیست و هشتم، شماره ۹۰، بهار ۱۴۰۵؛ ص ۲۰-۱
شاپای چاپی: ۲۰۰۸-۹۱۹۸| شاپای الکترونیکی: ۲۷۱۷-۱۶۴۷

تحلیل ساختاری موانع پذیرش بلاک‌چین در زنجیره تأمین صنعت داروسازی: رویکرد تلفیقی دلفی فازی، مدل‌سازی ساختاری تفسیری و تحلیل میک‌مک

مسعود براتی[1*]، ریحانه بیدرام[2]، پرهام طلائی‌پور[3]

[1]استادیار، گروه مدیریت، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: Barati_masoud@iau.ac.ir

[2]دانشجوی دکتری مدیریت بازرگانی، گروه مدیریت، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران. رایانامه: reyhaneh.bidram@iau.ir

[3]کارشناسی ارشد مدیریت کسب و کار، گروه مدیریت، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف اباد، ایران. رایانامه: parhamtalaeipoor@gmail.com

چکیده

با گسترش رویکردهای دیجیتال در صنعت داروسازی، فناوری بلاک‌چین به‌عنوان ابزاری نوین برای ارتقای شفافیت، قابلیت رهگیری و امنیت داده‌ها در زنجیره تأمین دارویی مورد توجه قرار گرفته است. با وجود این ظرفیت‌ها، پیاده‌سازی مؤثر بلاک‌چین مستلزم تعامل هماهنگ میان n هادهای حاکمیتی، بازیگران زنجیره تأمین و زیرساخت‌های فناورانه است و در عمل با مجموعه‌ای از موانع فنی، سازمانی، مالی و مقرراتی مواجه می‌شود که درک ساختار علّی آن‌ها برای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری راهبردی ضروری است. هدف این پژوهش، شناسایی و تحلیل ساختاری موانع کلیدی پیاده‌سازی بلاک‌چین در زنجیره تأمین صنعت داروسازی ایران است. در مرحله نخست، با مرور نظام‌مند ادبیات و به‌کارگیری روش دلفی فازی، ده مانع معتبر شناسایی شد. در مرحله دوم، روابط سلسله‌مراتبی و وابستگی‌های علّی این موانع با استفاده از مدل‌سازی ساختاری–تفسیری (ISM) تحلیل گردید و در مرحله سوم، به‌منظور ارزیابی قدرت نفوذ و وابستگی متغیرها، تحلیل میک‌مک (MICMAC) انجام شد. نتایج نشان داد که نبود زیرساخت فنی مناسب و پیچیدگی فناوری بلاک‌چین به‌عنوان عوامل ریشه‌ای و مستقل، بیشترین تأثیر را بر سایر موانع دارند، در حالی‌که نبود حمایت مدیریت ارشد و مقاومت کارکنان در برابر تغییر به‌عنوان عوامل وابسته در سطوح بالاتر ساختار تحلیلی قرار می‌گیرند. بر این اساس، راهکارهایی نظیر توسعه زیرساخت‌های دیجیتال متناسب با الزامات صنعت دارو، ارتقای دانش و مهارت‌های فنی نیروی انسانی، تقویت تعهد مدیریتی و تدوین چارچوب‌ها و استانداردهای ملی بلاک‌چین پیشنهاد می‌شود. این پژوهش با ارائه یک چارچوب تحلیلی ساختاریافته و بومی‌شده، می‌تواند مبنایی کاربردی برای مدیران و سیاست‌گذاران حوزه دارو در مسیر دیجیتال‌سازی پایدار و مبتنی بر بلاک‌چین فراهم آورد.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:
نوع مقاله: علمی پژوهشی
دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۲
بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹
پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱
ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵

کلیدواژه‌ها:
بلاک‌چین
زنجیره تأمین داروسازی
مدل‌سازی ساختاری تفسیری
دلفی فازی
تحلیل میک‌مک

استناد: براتی، مسعود، بیدرام، ریحانه، طلائی‌پور، پرهام، " تحلیل ساختاری موانع پذیرش بلاک‌چین در زنجیره تأمین صنعت داروسازی: رویکرد تلفیقی دلفی فازی، مدل‌سازی ساختاری تفسیری و تحلیل میک‌مک، دوره ۲۸، شماره۱، صفحات ۲۰-۱، ۱۴۰۵.

DOI: https://doi.org/10.47176/scmj.2026.1681

© نویسنده(گان) حق نشر و حقوق کامل انتشار را برای خود محفوظ می‌دارند.

ناشر: دانشگاه جام امام حسین(ع).

۱- مقدمه

در چشم‌انداز پیچیده و پویای تولید و زنجیره‌های تامین امروزی، شبکه‌های تأمین به‌طور فزاینده‌ای جهانی، دیجیتالی و به‌هم‌پیوسته شده‌اند. این پیوستگی، اهمیت شفافیت، رهگیری و یکپارچگی داده‌ها را در عملکرد زنجیره‌های تأمین بیش از پیش آشکار ساخته است. در چنین بستری، فناوری بلاک‌چین که در ابتدا به عنوان زیربنای رمزارزها معرفی شد [۱]، امروزه به یکی از نوآوری‌های تحول‌ساز قرن بیست‌ویکم بدل گردیده است. این فناوری با فراهم‌سازی بستری ایمن، غیرمتمرکز و تغییرناپذیر برای تبادل داده میان سازمان‌ها، ظرفیت چشم‌گیری برای ارتقای شفافیت، اطمینان اطلاعاتی و پایداری عملیات زنجیره تأمین دارد [۲][۳].

با وجود این قابلیت‌ها، ساختار سنتی بسیاری از زنجیره‌های تأمین، به‌ویژه در صنعت داروسازی، همچنان متکی بر جریان‌های اطلاعاتی جزیره‌ای و غیرشفاف است. در این ساختارها، اگرچه دارو از تولیدکننده به توزیع‌کننده و سپس به داروخانه یا بیمارستان منتقل می‌شود، اما مصرف‌کننده نهایی و حتی برخی نهادهای نظارتی دسترسی مستقیمی به اطلاعات فرآیند تولید، شرایط حمل‌ونقل و نگهداری دارو ندارند. این فقدان شفافیت، زمینه بروز مخاطراتی چون دستکاری محصول، افت کیفیت در زنجیره و ورود داروهای تقلبی یا فاسد را فراهم می‌کند؛ مخاطراتی که پیامدهای جدی و گاه جبران‌ناپذیری برای سلامت عمومی در پی دارند. در این میان، راه‌حل‌های مبتنی بر بلاک‌چین، با تکیه بر قابلیت‌هایی نظیر قراردادهای هوشمند، رهگیری بلادرنگ و یکپارچگی داده‌های زنجیره، به‌عنوان جایگزینی نوین برای رفع این نارسایی‌های ساختاری مطرح شده‌اند [۴۶].

با وجود این مزیت‌ها، روند پذیرش و استقرار بلاک‌چین در صنایع تولیدی و زنجیره‌های تأمین همچنان کُند و نامتوازن است. اگرچه سازمان‌ها منافع بالقوه‌ای نظیر افزایش شفافیت عملیاتی، پیشگیری از تقلب و بهبود کارایی را شناسایی کرده‌اند، اما در عمل با مجموعه‌ای از موانع چندوجهی روبه‌رو هستند که پیاده‌سازی مؤثر این فناوری را با چالش مواجه می‌کند. این موانع، ریشه در محدودیت‌های فنی، مقاومت سازمانی، ابهامات قانونی و هزینه‌های اجرایی بالا دارند. به‌عنوان نمونه، صابری و همکاران [۳] نبود چارچوب‌های حکمرانی شفاف و تعهد مدیریتی را از موانع اصلی گسترش بلاک‌چین دانسته‌اند ، در حالی‌که کول و همکاران [۲] بر پیچیدگی فناورانه و ضعف زیرساخت‌های فنی تأکید کرده‌اند . پیچیدگی این چالش‌ها زمانی دوچندان می‌شود که ماهیت نظام‌مند و وابسته به‌هم موانع در نظر گرفته شود. پیاده‌سازی بلاک‌چین یک «ارتقا فنی ساده» نیست، بلکه تحولی همه‌جانبه است که مستلزم تغییرات سازمانی، فرآیندی و رفتاری است. بسیاری از رویکردهای تحلیلی سنتی موانع را به صورت منفرد بررسی می‌کنند و از تعاملات علّی میان آن‌ها غافل می‌مانند. ازاین‌رو، به‌کارگیری یک رویکرد ساختاری و علّی برای ترسیم روابط میان موانع و شناسایی آن‌هایی که بیشترین اثر را بر سایرین دارند، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

با وجود رشد قابل‌توجه ادبیات مرتبط با کاربرد بلاک‌چین در زنجیره‌های تأمین، بررسی دقیق‌تر مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از این پژوهش‌ها ماهیتی توصیفی یا مفهومی دارند و عمدتاً بر شناسایی فهرستی از مزایا و چالش‌ها تمرکز کرده‌اند، بدون آن‌که به روابط علی و ساختار درونی موانع بپردازند [۴]. به بیان دیگر، اگرچه موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین در مطالعات مختلف شناسایی شده‌اند، اما چگونگی تعامل، وابستگی متقابل و نقش محرک یا تابع هر یک از این موانع کمتر به‌صورت نظام‌مند تحلیل شده است. این خلا به‌ویژه در صنایعی با پیچیدگی بالا و الزامات نظارتی سخت‌گیرانه، مانند صنعت داروسازی، نمود پررنگ‌تری دارد.

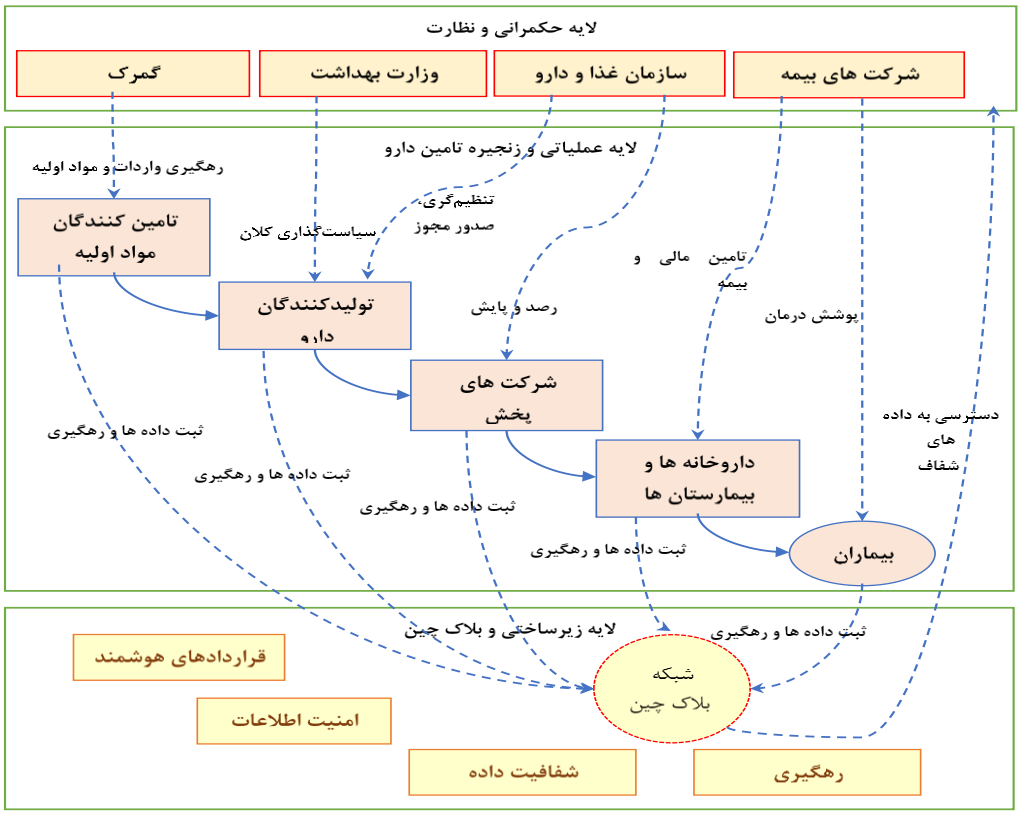
مرور ادبیات نشان می‌دهد که پژوهش‌های موجود عمدتا بر صنایع عمومی زنجیره تامین، لجستیک یا خرده‌فروشی متمرکز بوده و مطالعات سیستماتیک و ساختاری که به‌طور خاص صنعت داروسازی را بررسی کنند، محدود و پراکنده‌اند. در حالی‌که زنجیره تامین دارویی به دلیل حساسیت بالای محصولات، ضرورت رهگیری دقیق، الزامات قانونی چندلایه و خطر بالای تقلب و جعل، زمینه‌ای متمایز برای کاربرد بلاک‌چین محسوب می‌شود [۵]. این کمبود پژوهش‌های متمرکز باعث شده است که تصمیم‌گیران صنعت داروسازی، با وجود آگاهی از پتانسیل‌های فناوری، چارچوبی تحلیلی برای اولویت‌بندی موانع و طراحی مسیر پیاده‌سازی در اختیار نداشته باشند. این شکاف پژوهشی در کشورهای در حال توسعه و به‌ویژه ایران برجسته‌تر است؛ تفاوت‌های نهادی، محدودیت‌های زیرساختی، شرایط خاص مقرراتی و ساختار مالکیت در زنجیره تامین دارویی ایران موجب می‌شود نتایج مطالعات انجام‌شده در کشورهای توسعه‌یافته، قابلیت تعمیم مستقیم نداشته باشند. با این حال، پژوهش‌های تجربی که روابط علی میان موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین در این بستر را به‌صورت نظام‌مند تحلیل کنند، بسیار اندک‌اند.

صنعت داروسازی ایران به‌عنوان یکی از توسعه‌یافته‌ترین صنایع در منطقه خاورمیانه و آسیای غربی، نمونه‌ای بارز از این پیچیدگی‌هاست. تولیدکنندگان دارویی کشور حدود ۹۰ درصد نیاز دارویی جامعه داخلی را خود تولید می‌کنند و برای توسعه همکاری با شرکت‌های دارویی خارجی، زیرساخت‌های تولید و استانداردهای کیفی خود را ارتقا داده‌اند. سرمایه‌گذاری و

مشارکت‌های خارجی در زمینه‌های تحقیقاتی و تولیدی موجب افزایش شفافیت و بهبود عملکرد پایدار شرکت‌ها شده است. با این حال، محدودیت‌های نهادی، زیرساختی و شرایط خاص مقرراتی در ایران، لزوم تحلیل نظام‌مند و بومی موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین را برجسته می‌سازد [۶].

زنجیره تأمین صنعت داروسازی در ایران، به دلیل ماهیت حیاتی محصولات، حساسیت به شرایط نگهداری، الزام به رهگیری سری‌ساخت و تاریخ انقضا و همچنین نظارت و مداخله همزمان نهادهای متعدد حاکمیتی، ساختاری پیچیده و چندلایه دارد که آن را از بسیاری از صنایع دیگر متمایز می‌سازد. این زنجیره شامل مراحل تأمین مواد اولیه، تولید دارو، توزیع، عرضه و مصرف نهایی است که در هر یک از این مراحل، بازیگران مختلف صنعتی و نهادهای نظارتی در تعامل مستمر با یکدیگر قرار دارند. ساختار فعلی زنجیره تأمین داروی کشور و نهادهای حاکمیتی مرتبط با آن، به‌منظور تبیین بستر واقعی پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین، در شکل (۱) ارائه شده است.

زنجیره تأمین داروی ایران در عمل تنها یک توالی خطی از «تأمین‌کنندگان مواد اولیه» تا «بیمار» نیست، بلکه در بستر یک سازوکار حکمرانی پیچیده عمل می‌کند که در آن، بازیگران عملیاتی زنجیره (تأمین‌کنندگان مواد اولیه، تولیدکنندگان دارو، شرکت‌های پخش، داروخانه‌ها و بیمارستان‌ها و در نهایت بیماران) به‌طور همزمان تحت نظارت و مداخله نهادهای حاکمیتی مختلف قرار دارند. نهادهایی نظیر وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، سازمان غذا و دارو ، گمرک جمهوری اسلامی ایران و سازمان‌های بیمه‌گر هر یک از منظر سیاست‌گذاری، صدور مجوز، نظارت بر واردات و تأمین مالی خدمات دارویی بر بخش‌های مختلف این زنجیره اثر می‌گذارند.در این ساختار، علاوه بر جریان فیزیکی دارو، لایه‌ای از جریان‌های اطلاعاتی حساس – شامل اطلاعات سری‌ساخت، تاریخ انقضا، مجوزها، گزارش‌های کیفی، اطلاعات تجویز و مصرف و داده‌های بیمه‌ای – میان بازیگران مختلف زنجیره و نهادهای حاکمیتی در گردش است. شکل (۱) نشان می‌دهد که این داده‌ها در عمل در چارچوب یک «مکانیسم حکمرانی اطلاعات» و از طریق سازوکارهایی مانند اعتماد نهادی، اعمال قدرت، پاسخگویی و نظارت مدیریت می‌شوند. در عین حال، ویژگی‌هایی مانند شفافیت داده، امنیت اطلاعات، امکان رهگیری و استفاده از قراردادهای هوشمند، در لایه زیرساختی مبتنی بر بلاک‌چین به‌عنوان ظرف بالقوه این حکمرانی اطلاعاتی تصویر شده‌اند. چنین ساختاری بیانگر آن است که پیاده‌سازی بلاک‌چین در زنجیره تأمین داروی ایران نه صرفاً یک ارتقای فناورانه، بلکه بازطراحی نحوه حکمرانی بر داده‌ها، روابط قدرت و سازوکارهای پاسخگویی در کل زنجیره است.



شکل(۱): ساختار فعلی زنجیره تأمین دارو در ایران، عناصر اصلی و نهادهای حاکمیتی مرتبط

بر این اساس، موانع پذیرش و پیاده‌سازی بلاک‌چین در صنعت داروسازی ایران را نمی‌توان به صورت مجموعه‌ای از عوامل منفرد و جدا از بستر حاکمیتی و نهادی موجود در نظر گرفت؛ بلکه این موانع در دل همین ساختار چندلایه و در تعامل با یکدیگر شکل می‌گیرند. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با اتکا به ساختار واقعی و حاکمیتی زنجیره تأمین دارویی کشور به دنبال ارائه یک چارچوب ساختاری و علّی برای تحلیل موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین است. در این چارچوب، ابتدا موانع بالقوه از طریق مرور ادبیات و نظر خبرگان شناسایی و با بهره‌گیری از روش دلفی فازی پالایش شده‌اند؛ سپس با استفاده از مدل‌سازی ساختاری–تفسیری، روابط سلسله‌مراتبی و علّی میان موانع در بستر حکمرانی موجود ترسیم شده و در ادامه، با تحلیل میک-مک جایگاه هر مانع از نظر قدرت تأثیرگذاری و وابستگی مشخص شده است. نتایج این فرایند، تصویری ساختاری از تعامل موانع در چارچوب نهادی و اطلاعاتی زنجیره تأمین داروی ایران ارائه می‌دهد و می‌تواند مدیران و سیاست‌گذاران را در شناسایی موانع زیربنایی‌تر و طراحی نقشه راه واقع‌بینانه برای گذار به حکمرانی مبتنی بر بلاک‌چین یاری دهد.

۲- مبانی نظری پژوهش

۲-۱- زنجیره تأمین

زنجیره تأمین به‌عنوان یکی از مفاهیم بنیادین در مدیریت عملیات و لجستیک، نقش محوری در کارایی، بهینه‌سازی و ایجاد مزیت رقابتی برای سازمان‌ها دارد. در سال‌های اخیر، تعاریف سنتی این مفهوم در پاسخ به تغییرات محیطی، فناوری و انتظارات مشتریان، تکامل یافته‌اند و دیدگاه‌های جدید ویژگی‌هایی مانند پویایی، شبکه‌ای بودن، پایداری و توانمندی مقابله با اختلال را برجسته می‌کنند [۷]. مطابق با دیدگاه ویلند [۸]زنجیره تأمین نه تنها به صورت یک ردیف خطی از تأمین‌کنندگان تا مشتریان دیده نمی‌شود، بلکه به عنوان یک سیستم اجتماعی–بوم‌شناختی پویا تعریف شده است که تحت تأثیر تعاملات میان اجزا و محیط بیرونی قرار دارد. مدیریت زنجیره تأمین شامل هماهنگی راهبرد جریان کالاها، خدمات، اطلاعات و مالی در کل شبکه است، به‌گونه‌ای که ارزش افزوده برای مشتریان و ذینفعان ایجاد گردد [۹]. به گفته برنداو و گودینهو فیلهو [۱۰] زنجیره تأمین به عنوان یک شبکه پیچیده و پویا از موجودیت‌ها و روابط تعریف می‌شود که توان تطبیق با تغییرات محیطی از ویژگی‌های اساسی آن است.

۲-۲- مدیریت زنجیره تامین در صنعت دارو

زنجیره تأمین داروسازی شامل مراحل تأمین مواد اولیه (API)، تولید دارو تحت الزامات GMP، توزیع از طریق شرکت‌های پخش، عرضه در داروخانه‌ها و بیمارستان‌ها و نظارت مستمر نهادهای قانون‌گذار نظیر سازمان غذا و دارو است. در این زنجیره، علاوه بر جریان فیزیکی کالا، جریان اطلاعات نقش حیاتی در کنترل اصالت، ایمنی و کیفیت دارو ایفا می‌کند [۱۱].

فناوری بلاک‌چین در مدیریت زنجیره تامین دارویی از منظر نظری، با محورهایی همچون شفافیت اطلاعات، قابلیت ردیابی و تعاملات توزیع‌شده میان شرکت‌ها و نهادهای متعدد تعریف می‌شود [۴]. زنجیره تامین دارو، که شامل تامین‌کنندگان مواد اولیه، تولیدکنندگان، توزیع کنندگان، داروخانه‌ها و نهادهای نظارتی است، به علت پیچیدگی‌های متعدد و حساسیت بالا نسبت به کیفیت و اصالت، نیازمند سامانه‌های مدیریت اطلاعات با قابلیت دسترسی امن و قابل‌اعتماد است [۱۲]. استفاده از بلاک‌چین به‌عنوان یک دفتر کل توزیع‌شده و غیرقابل تغییر، می‌تواند به کاهش عدم اطمینان اطلاعات، تقویت اعتماد میان شرکت‌ها و بهبود ردیابی محصول از مبدا تا مصرف‌کننده نهایی کمک کند، که در پژوهش‌ها نیز نشان داده شده است که سطح ردیابی دارو در زنجیره با سرمایه‌گذاری مستمر در بلاک‌چین بهبود می‌یابد [۱۳]. این رویکرد از دیدگاه نظری مبتنی بر مدل‌های انتشار نوآوری و کاهش عدم‌قطعیت در مدیریت زنجیره تأمین است که بلاک‌چین را به‌عنوان فناوری‌ای معرفی می‌کند که می‌تواند به بهبود هماهنگی، تسهیل اشتراک اطلاعات و افزایش اعتماد بین شرکت‌ها و نهادها کمک کند [۱۴]. در گسترش نظریه‌ی مدیریت زنجیره تامین دارویی، بلاک‌چین نه‌فقط به‌عنوان ابزار فناوری اطلاعات، بلکه به‌عنوان یک چارچوب حکمرانی تعاملی مطرح می‌شود که می‌تواند هزینه‌های تراکنش، خطاهای داده‌ای و مخاطرات ناشی از تقلب و جعل را کاهش دهد [۱۵]. علاوه بر این، تحقیقات نشان می‌دهد که ویژگی‌های بلاک‌چین مانند شفافیت، تغییرناپذیری و قراردادهای هوشمند، با افزایش قابلیت ردیابی دارو و اعتماد میان بخش‌های مختلف زنجیره ارتباط مثبت دارند، که این امر منجر به پایداری و تاب‌آوری بیشتر در زنجیره تامین دارو می‌شود [۱۶].

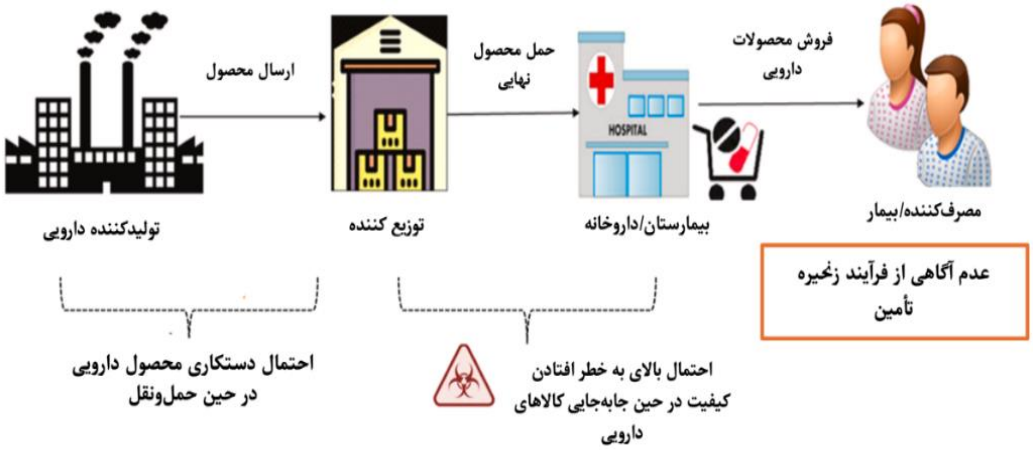
۲-۳- فناوری بلاکچین

فناوری بلاکچین یکی از نوآوری‌های محوری در تحول دیجیتال و فناوری اطلاعات است؛ این فناوری به‌عنوان یک دفتر کل غیرمتمرکز، توزیع‌شده و تغییرناپذیر شناخته می‌شود که امکان ثبت و ذخیره‌سازی تراکنش‌ها را با امنیت، شفافیت و قابلیت ردیابی بالا فراهم می‌آورد [۱۷]. از ویژگی‌های برجسته این

فناوری می‌توان به عدم تمرکز قدرت کنترل، شفافیت تراکنش‌ها، تغییرناپذیری داده‌ها پس از ثبت و قابلیت ردیابی محصول در تمام مراحل زنجیره اشاره کرد؛ این ویژگی‌ها کمک می‌کنند تا هزینه‌ها کاهش یابند، اعتماد افزایش یابد و فرآیندها با دقت بیشتری پیگیری شوند [۱۸].

علاوه‌براین، قراردادهای هوشمند بر بستر بلاکچین امکان خودکارسازی فرآیندهای قراردادی، اجرای تعهدات بدون دخالت انسانی و کاهش خطاهای انسانی را فراهم می‌آورند که منجر به بهبود کارایی عملیاتی، تسریع در پردازش تراکنش‌ها و کاهش تأخیرها می‌شود [۱۹]. با این همه، پیاده‌سازی بلاکچین در زنجیره تأمین با موانعی جدی روبرو است. از جمله این موانع می‌توان به هزینه‌های ابتدایی و جاری بالای استقرار، مشکلات مقیاس‌پذیری، دشواری‌های فنی در ادغام با سیستم‌های موجود، ملاحظات قانونی و مقرراتی و کمبود آگاهی و تخصص فنی اشاره کرد [۲۰]. تحولات اخیر بلاک‌چین نظیر استفاده از قراردادهای هوشمند برای رهگیری خودکار دارو، ارائه خدمات blockchain-as-a-service برای نهادهای نظارتی و توکن‌سازی به‌منظور اصالت‌سنجی محصولات دارویی، کاربرد این فناوری را از سطح مفهومی فراتر برده و افق‌های جدیدی را برای زنجیره تأمین داروسازی ایجاد کرده‌اند.در صنعت داروسازی، فناوری بلاک‌چین به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای افزایش شفافیت، ردیابی و مقابله با داروهای تقلبی شناخته شده است که خطرهای جدی برای سلامت عمومی ایجاد می‌کنند [۲۱]. این فناوری با ایجاد یک دفترکل توزیع‌شده و غیرقابل‌تغییر، امکان ثبت و رهگیری تراکنش‌ها از مرحله تولید تا مصرف‌کننده نهایی را فراهم می‌کند، که به شرکت‌ها کمک می‌کند نه‌تنها اصالت محصولات را تضمین کنند، بلکه بهبود هماهنگی بین ذی‌نفعان متعدد زنجیره تامین را نیز ممکن سازد؛ به‌طوری‌که اطلاعات محصول در هر نقطه از زنجیره در دسترس و قابل‌بررسی است [۲۲].

در مطالعات مختلف نشان داده شده است که بلاک‌چین می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی ردیابی داروها و شناسایی داروهای مختلط یا تقلبی را تسهیل کند و ضمن ارتقای اعتماد و امنیت زنجیره تأمین، فرایندهای اجرایی و تبادل اطلاعات را بهینه کند [۲۳]. با این حال، این فناوری نیز با چالش‌هایی در حوزه‌های هزینه‌های پیاده‌سازی، یکپارچگی با سیستم‌های موجود و هماهنگی با الزامات قانونی و استانداردهای جهانی مواجه است، که نیازمند راهکارهای سازمانی، فنی و نظارتی مناسب هستند [۱۲].



شکل (۲): جریان سنتی موجود در زنجیره تامین دارویی آنلاین [۴۶]

شکل (۲) جریان سنتی موجود در زنجیره تامین دارویی آنلاین را نشان می‌دهد. در این مدل، محصولات دارویی از تولیدکننده به توزیع‌کننده و سپس به بیمارستان یا داروخانه منتقل شده و نهایتا به مصرف‌کننده (بیمار) می‌رسد. با این حال، مشتریان از فرآیند تولید، حمل‌ونقل و شرایط نگهداری داروها آگاهی ندارند. فقدان شفافیت در زنجیره تامین، احتمال دستکاری محصول دارویی در حین حمل‌ونقل و به خطر افتادن کیفیت کالاهای دارویی را افزایش می‌دهد. این مشکلات، همراه با عدم اعتماد به اصالت داروها، منجر به تحویل داروهای تقلبی یا فاسد به مصرف‌کننده نهایی می‌شود و می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری برای سلامت عمومی داشته باشد.

۲-۴- موانع پیاده‌سازی بلاک چین

اجرای موفق فناوری بلاک‌چین در سازمان‌ها مستلزم مواجهه با مجموعه‌ای از موانع چندوجهی است که در پنج دسته سازمانی، فنی، مالی، حقوقی و زیست‌محیطی طبقه‌بندی می‌شوند[۲]. هر یک از این ابعاد، چالش‌های خاصی در مسیر پیاده‌سازی ایجاد

می‌کنند و تعامل میان آن‌ها اغلب پیچیدگی تصمیم‌گیری و اجرای پروژه‌های بلاک‌چینی را افزایش می‌دهد [۴].

در بُعد سازمانی، یکی از مهم‌ترین موانع، نبود حمایت مدیریت ارشد است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بسیاری از پروژه‌های بلاک‌چین به دلیل فقدان پشتیبانی مدیران عالی با شکست مواجه می‌شوند؛ زیرا این حمایت در تخصیص بودجه، هماهنگی بین‌بخشی و ایجاد رهبری لازم برای تحول سازمانی نقشی تعیین‌کننده دارد. تانگساکول و سوریاتاناپاس [۲۴] نیز نبود تعهد مدیریت عالی را از موانع کلیدی استقرار فناوری‌های نوظهور می‌دانند که حتی بر حاکمیت داده و هماهنگی میان ذی‌نفعان اثر منفی می‌گذارد. در صنعت داروسازی نیز پذیرش موفق بلاک‌چین به تعهد راهبردی رهبری ارشد وابسته است؛ زیرا بدون این حمایت، پروژه‌ها معمولاً از تأمین منابع کافی و هم‌راستایی با اولویت‌های سازمانی بازمی‌مانند و به آزمایش‌های سطحی یا پروژه‌های نیمه‌تمام محدود می‌شوند [۱۲][۲۵].

مانع دیگر، آگاهی ناکافی از فناوری بلاک‌چین است. ناآگاهی مدیران و کارکنان نسبت به قابلیت‌ها و محدودیت‌های واقعی این فناوری، انتظارات غیرواقعی و استفاده نادرست از پروژه‌ها را در پی دارد. سینق و همکاران [۲۶] نشان می‌دهند که آموزش سازمانی، اجرای پروژه‌های پایلوت و تحلیل دقیق هزینه–فایده می‌تواند این چالش را کاهش دهد. در صنعت داروسازی نیز ذی‌نفعان مختلف، از جمله واحدهای بالینی، نظارتی و تجاری، اغلب از اصول اصلی بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند آگاهی کافی ندارند؛ مسئله‌ای که اعتماد به این فناوری را کاهش داده و تصمیم‌گیری را کند می‌کند [۱۳][۲۵].

از دیگر موانع سازمانی می‌توان به نیاز به بازطراحی فرآیندها و تغییر در ساختار تصمیم‌گیری اشاره کرد. مطالعات نشان می‌دهد که نبود هماهنگی میان بازطراحی فرآیندها و سازوکارهای حاکمیت داده، پروژه‌ها را در مرحله بهره‌برداری با مشکل مواجه می‌کند. همچنین مقاومت کارکنان در برابر تغییر از عوامل بازدارنده مهم است [۲۷]. پژوهش والش و همکاران [۲۵] نشان می‌دهد که ترس از تغییر نقش‌ها یا از دست دادن کنترل داده‌ها، کارکنان را به مقاومت در برابر فناوری‌های نو سوق می‌دهد. در زنجیره تأمین داروسازی نیز پذیرش بلاک‌چین مستلزم بازطراحی اساسی فرآیندها برای هماهنگی با دفاتر توزیع‌شده است؛ در غیر این صورت، اجرای آن می‌تواند به تکرار، سردرگمی و مقاومت در تیم‌های عملیاتی منجر شود [۲۸][۲۹].

در بُعد فنی، یکی از محدودیت‌های اصلی، نبود زیرساخت مناسب است. وجود سیستم‌های قدیمی و جزیره‌ای در بسیاری از سازمان‌ها، مانع اتصال پایدار و اجرای کارآمد شبکه‌های بلاک‌چینی می‌شود [۱۶]. پلتفرم‌های بلاک‌چین در زنجیره‌های تأمین داروسازی به زیرساختی قوی شامل گره‌های امن، اتصال شبکه، نرم‌افزار میانی و ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر نیاز دارند.[۲۸] بسیاری از محیط‌های فناوری اطلاعات موجود که برای پایگاه‌های داده متمرکز طراحی شده‌اند، ظرفیت لازم برای سیستم‌های دفتر کل توزیع‌شده را ندارند و همین امر نیاز به سرمایه‌گذاری و نگهداری را به چالشی مالی و لجستیکی تبدیل می‌کند [۲۵].

کمبود نیروی انسانی ماهر نیز از دیگر موانع فنی مهم است. نبود متخصصان رمزنگاری، توسعه قراردادهای هوشمند و مدیریت سیستم‌های توزیع‌شده، استقرار بلاک‌چین را کند کرده و وابستگی سازمان‌ها به مشاوران خارجی را افزایش می‌دهد.[۳۰] علاوه بر این، با وجود شفافیت و تغییرناپذیری داده‌ها، ضعف در طراحی قراردادهای هوشمند یا مدیریت کلیدهای رمزنگاری می‌تواند خطرات امنیتی تازه‌ای ایجاد کند. کارلوس فریرا و همکاران [۳۱] برای کاهش این تهدیدها، استفاده از رمزنگاری چندلایه و کنترل‌های امنیتی پیشرفته را توصیه کرده‌اند. همچنین پیچیدگی معماری بلاک‌چین، از جمله الگوریتم‌های اجماع و تعامل داده‌های درون‌زنجیره و برون‌زنجیره، توسعه و نگهداری سیستم را دشوار می‌سازد [۳۲]. این شکاف مهارتی در صنعت داروسازی نیز به افزایش زمان و هزینه پیاده‌سازی منجر می‌شود [۲۸][۲۵].

دو مانع مهم دیگر در این حوزه، مشکلات یکپارچگی با سامانه‌های موجود مانند ERP و SCM و نبود استانداردهای فنی و داده‌ای مشترک است. سالزانو و همکاران [۲۶] نشان می‌دهند که نبود سازگاری در ساختار داده‌ها، هزینه و زمان پروژه را افزایش می‌دهد و آنتونی جونیور [۳۳] نیز استانداردسازی API و هویت دیجیتال را برای همکاری بین‌پلتفرمی ضروری می‌داند. در صنایع دارویی، سیستم‌های قدیمی مانند برنامه‌ریزی منابع سازمانی، مدیریت انبار و پرونده‌های الکترونیکی سلامت، اغلب به‌سختی با راهکارهای بلاک‌چینی یکپارچه می‌شوند [۱۳]. این چالش‌ها معمولاً نیازمند میان‌افزارهای پرهزینه و مهاجرت تدریجی هستند تا از اختلال در فرآیندهای حیاتی جلوگیری شود [۳۴]. افزون بر این، نبود استانداردهای جهانی برای تراکنش‌ها، ساختار داده و پروتکل‌های تعامل‌پذیری، پیاده‌سازی بلاک‌چین را در زنجیره‌های تأمین جهانی دارویی دشوار می‌کند و می‌تواند به شکل‌گیری راهکارهای جزیره‌ای بینجامد [۱۵].

در حوزه اقتصادی– مالی، دو مانع کلیدی شامل هزینه‌های بالای پیاده‌سازی و عدم اطمینان از بازگشت سرمایه است. پذیرش بلاک‌چین مستلزم سرمایه‌گذاری اولیه قابل‌توجه در نرم‌افزار، سخت‌افزار و خدمات یکپارچه‌سازی است.[۳۵] بسیاری از شرکت‌های داروسازی، به‌ویژه شرکت‌های کوچک‌تر، این هزینه‌ها را در مقایسه با منافع کوتاه‌مدت توجیه‌پذیر نمی‌دانند و

ترجیح می‌دهند منابع مالی خود را به حوزه‌هایی مانند تحقیق و توسعه یا انطباق با مقررات اختصاص دهند [۲۵]. همچنین به گفته سینگ و همکاران [۲۷]، هزینه‌های طراحی، توسعه، مجوز پلتفرم و نگهداری شبکه، سرمایه‌گذاری اولیه سنگینی می‌طلبد و نبود شفافیت در تقسیم هزینه میان شرکای تجاری نیز انگیزه مشارکت را کاهش می‌دهد.

از سوی دیگر، چنان‌که چیزمِجی اوغلو و همکاران [۳۶] مطرح کرده‌اند، دشواری در برآورد منافع واقعی و طولانی بودن زمان بازگشت سرمایه موجب احتیاط سازمان‌ها در پذیرش بلاک‌چین می‌شود. مزایایی مانند افزایش شفافیت، کاهش داروهای تقلبی و بهبود قابلیت ردیابی، اغلب به‌سختی قابل اندازه‌گیری مالی هستند. این عدم قطعیت، تصمیم‌گیری مدیران داروسازی را دشوار کرده و به‌ویژه در سازمان‌های ریسک‌گریز که شاخص‌های بازگشت سرمایه در آن‌ها نقش کلیدی دارد، مانع سرمایه‌گذاری می‌شود [۳۷].

در بُعد حقوقی و مقرراتی، ابهامات قانونی و نگرانی‌های مرتبط با حریم خصوصی داده‌ها از جدی‌ترین چالش‌ها هستند. قوانین و چارچوب‌های حقوقی مربوط به قراردادهای هوشمند، مالکیت داده و مسئولیت طرفین هنوز شفاف نیستند؛ موضوعی که تانگساکول و سوریاتاناپاس [۲۴] نیز بر آن تأکید کرده‌اند. افزون بر این، شفافیت ذاتی بلاک‌چین و ثبت‌ناپذیری اطلاعات شخصی می‌تواند با مقرراتی مانند مقررات عمومی حفاظت در تعارض قرار گیرد. پانیا و همکاران [۳۸] استفاده از فناوری‌هایی مانند اثبات دانایی صفر و محاسبات چندجانبه ایمن را برای حفظ محرمانگی در کنار شفافیت توصیه می‌کنند. همچنین نبود دستورالعمل‌های شفاف و یکپارچه قانونی باعث می‌شود شرکت‌های داروسازی نسبت به ریسک‌های انطباق و مسئولیت‌های حقوقی محتاط باشند و پذیرش گسترده بلاک‌چین را به تعویق بیندازند [۳۷][۳۹].

در نهایت، از منظر پایداری، مصرف بالای انرژی به‌ویژه در الگوریتم‌های اثبات کار از دغدغه‌های مهم زیست‌محیطی است.[۳۳] برخی سازوکارهای اجماع بلاک‌چین در صنعت دارو، به توان محاسباتی بالایی نیاز دارند و در نتیجه مصرف انرژی قابل‌توجهی ایجاد می‌کنند.[۲۱] اگرچه بسیاری از بلاک‌چین‌های سازمانی از الگوریتم‌های کم‌مصرف‌تر استفاده می‌کنند، نگرانی‌های زیست‌محیطی و هزینه‌های انرژی همچنان از چالش‌های مهم برای هم‌راستایی با اهداف پایداری در صنعت داروسازی به شمار می‌روند.[۴۰] پژوهش سیوارام [۳۳] نیز نشان می‌دهد که ردپای کربنی شبکه‌های عمومی موجب نگرانی در حوزه پایداری شده است. هرچند الگوریتم‌های جایگزین مانند اثبات سهام و شبکه‌های خصوصی می‌توانند انتشار کربن را کاهش دهند، این موضوع همچنان چالشی اساسی برای مقیاس‌پذیری پایدار فناوری باقی می‌ماند.

موانع شناسایی‌شده در این پژوهش را می‌توان در چارچوب نظری TOE و نظریه نهادی تفسیر کرد؛ به‌گونه‌ای که موانع فناورانه مانند پیچیدگی فناوری و زیرساخت‌ها در بُعد فناوری، موانع مرتبط با حمایت مدیریت و تغییر فرآیندها در بُعد سازمانی و موانع قانونی و نظارتی در بُعد محیطی قرار می‌گیرند.

جدول (۱) موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین را نشان می‌دهد.

جدول(۱): موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین

دسته	مانع	منبع	شرح
سازمانی	عدم حمایت مدیریت ارشد	تانگساکول و سوریاتاناپاس [۲۴]	نبود پشتیبانی مدیریت عالی سازمان‌ها موجب شکست پروژه‌های بلاک‌چینی می‌شود، زیرا تصمیم‌گیری در زمینه بودجه، تغییرات ساختاری و رهبری تحول به این حمایت وابسته است.
سازمانی	آگاهی ناکافی از فناوری	سینق و همکاران [۲۶]	نداشتن درک درست از ظرفیت‌ها و الزامات بلاک‌چین در میان مدیران و کارکنان باعث ایجاد انتظارات غیرواقعی و انتخاب ناصحیح پروژه‌ها می‌شود. افزایش دانش سازمانی و آموزش رسمی می‌تواند این مانع را برطرف کند.
سازمانی	نیاز به بازطراحی فرآیندها	آنتونی جونیور [۴۱]	پیاده‌سازی بلاک‌چین مستلزم بازنگری فرآیندهای کسب‌وکار و تصمیم‌گیری درون‌سازمانی است. عدم تطبیق فرآیندهای سنتی با مدل غیرمتمرکز بلاک‌چین موجب توقف پروژه‌ها می‌شود.
سازمانی	مقاومت کارکنان در برابر تغییر	والش و همکاران [۲۵]	کارکنان ممکن است به دلیل ترس از تغییر نقش‌ها یا از بین رفتن کنترل داده، در برابر فناوری‌های نو از جمله بلاک‌چین مقاومت کنند؛ این مسئله با فرهنگ‌سازی و مشارکت تدریجی قابل رفع است.
فنی	نبود زیرساخت فنی مناسب	سالزانو و همکاران [۳۰]	زیرساخت‌های قدیمی و سامانه‌های جزیره‌ای توان پشتیبانی از بلاک‌چین را ندارند. برای اجرای موفق، ارتقای شبکه، ذخیره‌سازی و سخت‌افزار الزامی است.

جدول(۱): موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین

دسته	مانع	منبع	شرح
فنی	کمبود نیروی کار ماهر	جوشی و شارما [۳۱]	کمبود متخصصان در حوزه رمزنگاری، قراردادهای هوشمند و شبکه‌های توزیع‌شده موجب کندی توسعه و افزایش وابستگی به منابع خارجی می‌شود.
فنی	نگرانی‌های امنیتی	[۳۲]کاراوس فریرا	وجود ریسک در طراحی قراردادهای هوشمند، مدیریت کلیدهای رمز و خطاهای کدنویسی می‌تواند آسیب‌پذیری‌هایی را در شبکه ایجاد کند. تقویت لایه‌های امنیتی ضروری است.
فنی	پیچیدگی فناوری	سیوارما [۳۳]	الگوریتم‌های اجماع پیچیده و تعامل بین داده‌های درون‌زنجیره و برون‌زنجیره، توسعه و نگهداری سیستم را دشوار می‌کند و به تخصص سطح بالا نیاز دارد.
فنی	مشکلات یکپارچگی با سیستم‌های موجود	سالزانو و همکاران [۳۰]	اتصال بلاک‌چین به سیستم‌های فعلی مانند ERP و SCM چالشی فنی و پرهزینه است چون استاندارد و ساختار داده در این سامانه‌ها متفاوت است.
فنی	نبود استانداردهای فنی و داده‌ای	آنتونی جونیور [۴۱]	فقدان استانداردهای یکسان در واسط‌های نرم‌افزاری (API) و قالب‌های داده مانع اشتراک‌گذاری و همکاری بین پلتفرم‌های مختلف بلاک‌چینی می‌شود.
مالی	هزینه‌های بالای پیاده‌سازی	سینق و همکاران [۲۷]	مخارج سنگین ایجاد زیرساخت، خرید مجوز نرم‌افزار و نگهداری سیستم، مانع پذیرش توسط بنگاه‌های کوچک و متوسط است.
مالی	عدم اطمینان در بازگشت سرمایه (ROI)	جیزمِجی‌اوغلو و همکاران [۳۶]	دشواری در اندازه‌گیری منافع واقعی و زمان‌بر بودن بازده سرمایه‌گذاری مانع تصمیم‌گیری اقتصادی برای پذیرش بلاک‌چین می‌شود.
حقوقی	ابهامات قانونی و مقرراتی	تانگساکول و سوریاتاناپاس [۲۴]	نبود چارچوب‌های قانونی شفاف درباره قراردادهای هوشمند، مالکیت داده و مسئولیت ذی‌نفعان، مانع اجرای پایدار بلاک‌چین است.
حقوقی	نگرانی‌های حریم خصوصی داده‌ها	پانیا و همکاران [۳۸]	ساختار شفاف بلاک‌چین با الزامات حریم خصوصی همچون GDPR در تعارض است. استفاده از فناوری‌هایی چون اثبات دانایی صفر برای حفظ محرمانگی توصیه می‌شود.
زیست‌محیطی	مصرف بالای انرژی	سیوارما [۳۳]	الگوریتم‌های اثبات کار، مصرف انرژی زیادی دارند و با اهداف پایداری و کاهش انتشار کربن سازگار نیستند. راه‌حل‌های جایگزین مبتنی بر اثبات سهام پیشنهاد می‌شوند.

۳- روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، در زمره‌ی تحقیقات کاربردی– توسعه‌ای قرار دارد و از نظر ماهیت، اکتشافی– توصیفی محسوب می‌شود. هدف اصلی آن، شناسایی و تحلیل روابط ساختاری میان موانع پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین صنعت داروسازی ایران است. به‌منظور دستیابی به این هدف، یک رویکرد چندمرحله‌ای تلفیقی به کار گرفته شد که شامل روش دلفی فازی برای پالایش و تأیید ابتدایی موانع، مدل‌سازی ساختاری– تفسیری برای تعیین روابط سلسله‌مراتبی میان موانع و تحلیل MICMAC برای ارزیابی قدرت محرک و وابستگی هر مانع است. این رویکرد ترکیبی، امکان تحلیل نظام‌مند روابط علّی میان موانع را در چارچوبی اجتماعی–فنی فراهم کرده و ساختار سلسله‌مراتبی نهایی را در انطباق با اصول نظریه سیستم‌ها استخراج می‌کند. جامعه‌ی آماری این پژوهش شامل متخصصان دارای تجربه و دانش فنی در حوزه فناوری بلاک‌چین و مدیریت زنجیره تأمین دارویی بود. با توجه به ماهیت اکتشافی موضوع و ضرورت بهره‌گیری از دیدگاه‌های تخصصی، از روش نمونه‌گیری هدفمند استفاده شد. این روش امکان انتخاب افرادی با تجربه عملی و بینش عمیق در پروژه‌های دیجیتال مبتنی بر بلاک‌چین را فراهم می‌کند. برای گسترش دامنه‌ی انتخاب نیز از روش گلوله‌برفی بهره گرفته شد تا خبرگان واجد شرایط بیشتری شناسایی گردند.

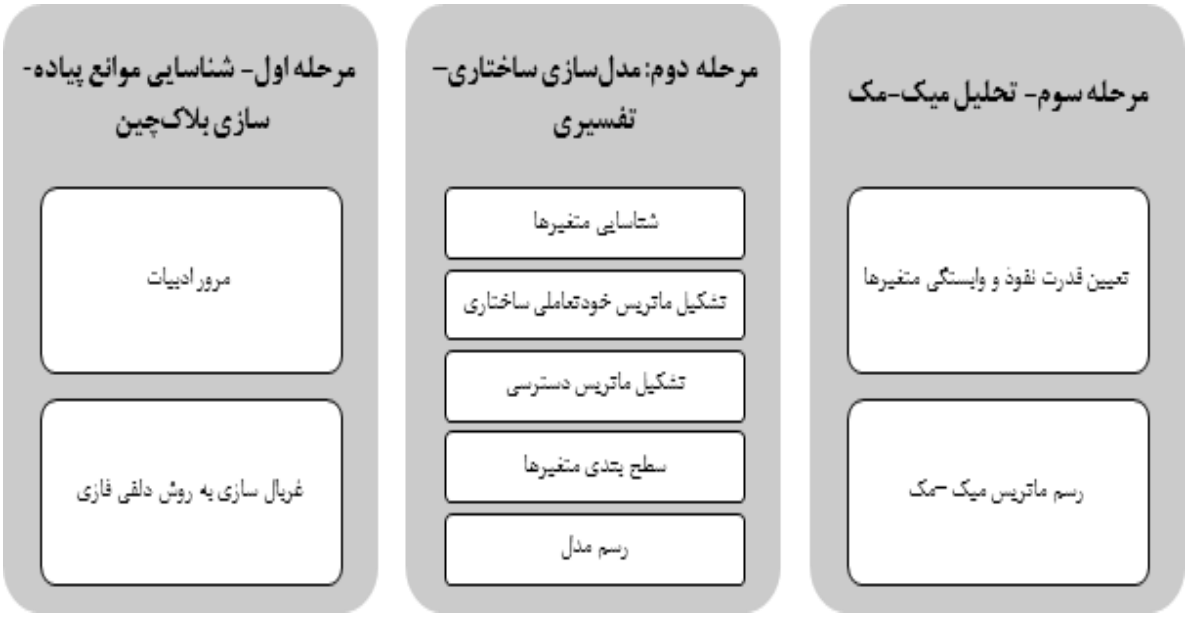
خبرگان منتخب برای فرآیند دلفی، از میان متخصصان زنجیره تأمین دارویی، فناوری اطلاعات، تولید و توزیع دارو و امور نظارتی انتخاب شدند. این تنوع تخصصی امکان راستی‌آزمایی موانع استخراج‌شده از ادبیات و تطبیق آن‌ها با شرایط واقعی صنعت داروسازی را فراهم کرده و روایی محتوایی نتایج را تقویت نموده است.

در نهایت، دوازده نفر در پنل نهایی خبرگان شرکت داشتند که در همه مراحل دلفی فازی و ISM–MICMAC مشارکت کردند. ترکیب این گروه به گونه‌ای تنظیم شد که توازن میان محیط دانشگاهی و صنعتی برقرار گردد. شش نفر از آنان خبرگان

دانشگاهی بودند؛ استادان و پژوهشگران ارشد در حوزه‌های مدیریت زنجیره تأمین، مهندسی صنایع و سیستم‌های اطلاعاتی با بیش از ده سال سابقه پژوهشی یا مشاوره‌ای در پروژه‌های تحول دیجیتال داروسازی. شش نفر دیگر از خبرگان صنعتی شامل مدیران ارشد، رؤسای عملیات و متخصصان فناوری اطلاعات شرکت‌های دارویی ایرانی بودند که در حوزه‌هایی مانند تولید، بسته‌بندی، توزیع و کنترل کیفیت فعال‌اند و با مسائل مرتبط با شفافیت و رهگیری در زنجیره تأمین دارویی آشنایی عملی داشتند.

انتخاب خبرگان بر اساس مجموعه‌ای از معیارها انجام شد تا هم اعتبار علمی و هم تنوع حرفه‌ای تضمین گردد. اعضای پنل باید حداقل ده سال تجربه مدیریتی، فنی یا آموزشی در زمینه بلاک‌چین یا مدیریت زنجیره تأمین داشته و دارای مدرک کارشناسی ارشد یا دکتری در رشته‌های مرتبط با فناوری اطلاعات یا مدیریت عملیات باشند. همچنین، مشارکت در حداقل یک پروژه مرتبط با دیجیتالی‌سازی یا بلاک‌چین در زنجیره تأمین دارویی و آشنایی با روش‌های تصمیم‌گیری چندمرحله‌ای مانند دلفی و ISM ضروری بود. شرط دیگر، تمایل و توانایی حضور در چند دور متوالی دلفی و ارزیابی جفتی به‌منظور اطمینان از ثبات داوری‌ها بود.

فرایند انجام پژوهش مطابق با شکل(۳) در سه مرحله انجام شده است.



شکل(۳): فرآیند پژوهش

۴- یافته‌های پژوهش

مرحله اول: شناسایی موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین در زنجیره تامین

در مرحله نخست، مرور جامع و نظام‌مند ادبیات پژوهشی با استفاده از پایگاه‌های علمی Scopus، Web of Science، IEEE Xplore و Google Scholar و با کلیدواژه‌هایی نظیر Blockchain Adoption، Supply Chain، Implementation Barriers و Pharmaceutical Manufacturing انجام شد و فهرست اولیه‌ای از ۱۵ مانع به دست آمد (جدول۱). در ادامه، این موانع با استفاده از روش دلفی فازی و با مشارکت خبرگان صنعت داروسازی پالایش شدند تا تنها عواملی که با الزامات، ویژگی‌ها و محدودیت‌های این صنعت همخوانی داشتند، در فهرست نهایی باقی بمانند. برای این منظور، پرسشنامه‌ای طراحی شد تا خبرگان اهمیت نسبی هر مانع را با بهره‌گیری از مقیاس زبانی فازی از «بسیار کم» تا «بسیار زیاد» ارزیابی کنند. سپس این ارزیابی‌های زبانی به اعداد فازی مثلثی تبدیل و در ادامه با استفاده از روش مرکز ثقل به مقادیر دقیق تبدیل شدند. بر اساس دیدگاه چانگ و همکاران [۴۳] و هورنگ و همکاران [۴۴]، آستانه پذیرش ۰/۷ در نظر گرفته شد؛ ازاین‌رو، موانعی که مقدار نهایی آن‌ها برابر یا بیشتر از این آستانه بود، تأیید شدند. فرایند دلفی فازی تا زمان دستیابی به ثبات در قضاوت خبرگان ادامه یافت؛ به‌گونه‌ای که معیار توقف، کمتر بودن اختلاف میان مقادیر غیرفازی دو دور متوالی از مقدار ۰,۲ بود که چنگ و لین [۴۵] آن را پیشنهاد کرده‌اند. در دور دوم، تغییر معناداری در میانگین فازی نظرات مشاهده نشد و فهرست موانع تثبیت شد که بیانگر حصول اجماع و اشباع نظری بود؛ در نهایت، ۱۰ مانع به شرح زیر برای مرحله مدل‌سازی انتخاب شد (جدول ۲).

جدول(۲): غربال‌سازی به روش دلفی فازی

مانع	میانگین فازی	عدد قطعی شده	نتیجه
عدم حمایت مدیریت ارشد(A2)	(۰/۵۶۳,۰/۸۱۳,۰/۹۳۸)	۰/۷۷۱	قبول
هزینه‌های بالای پیاده سازی (A1)	(۰/۵۸۳,۰/۸۳۳,۱/۰)	۰/۸۰۶	قبول
کمبود نیروی متخصص (فقدان دانش فنی)(A8)	(۰/۴۷۹,۰/۷۲۹,۰/۹۳۸)	۰/۷۱۵	قبول
مقاومت کارکنان در برابر تغییر(A5)	(۰/۵۰۰,/۷۵۰,۰/۹۵۸)	۰/۷۳۶	قبول
عدم وجود زیر ساخت‌های فنی مناسب(A4)	(۰/۵۲۱,۰/۷۷۱,۰/۹۷۹)	۰/۷۵۷	قبول
نگرانی‌های امنیتی (امنیت داده)	(۰/۳۷۵,۰/۶۲۵,۰/۸۵۴)	۰/۶۱۸	رد
عدم آگاهی کافی از فناوری (عدم درک مزایا)(A7)	(۰/۵۰۰,۰/۷۵۰,۰/۹۱۷)	۰/۷۲۲	قبول
مشکلات قانونی و نظارتی (محدودیت‌های قانونی)(A9)	(۰/۴۷۹,۰/۷۲۹,۰/۹۱۷)	۰/۷۰۸	قبول
پیچیدگی فناوری(A10)	(۰/۴۷۹,۰/۷۲۹,۰/۹۱۷)	۰/۷۰۸	قبول
عدم اطمینان از بازگشت سرمایه (ROI)	(۰/۳۵۴,۰/۶۰۴,۰/۸۳۳)	۰/۵۹۷	رد
مشکلات یکپارچه سازی با سیستم‌های موجود(A3)	(۰/۵۴۲,۰/۷۹۲,۰/۹۵۸)	۰/۷۶۴	قبول
فقدان استانداردهای مشخص	(۰/۳۷۵,۰/۶۲۵,۰/۸۷۵)	۰/۶۲۵	رد
نیاز به تغییر فرآیندها(A6)	(۰/۵۰۰,۰/۷۵۰,۰/۹۳۸)	۰/۷۲۹	قبول
مصرف انرژی	(۰/۳۵۴,۰/۶۰۴,۰/۸۱۳)	۰/۵۹۰	رد
نگرانی‌های حریم خصوصی	(۰/۳۳۳,۰/۵۸۳,۰/۸۳۳)	۰/۵۸۳	رد

مرحله دوم: مدل‌سازی ساختاری– تفسیری روابط میان موانع

برای شناسایی روابط سلسله‌مراتبی و تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم میان موانع پذیرفته‌شده، از مدل‌سازی ساختاری–تفسیری (ISM) استفاده شد.

ابتدا، براساس بیشترین فراوانی نظر خبرگان، نوع رابطه بین دو متغیر تعیین گردید. جدول(۳) ماتریس خود تعاملی ساختاری را نشان می‌دهد. در این جدول نمادهای V، A، X و O به‌ترتیب: اثر i بر j؛ اثر j بر i؛ اثر دوسویه؛ نبود رابطه را نشان می‌دهند.

جدول(۳): ماتریس خود تعاملی (اجماع نظر خبرگان)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	-	V	A	A	O	A	O	O	O	A
A2	-	-	A	A	X	A	A	A	A	A
A3	-	-	-	A	V	A	O	O	O	A
A4	-	-	-	-	V	V	O	O	O	A
A5	-	-	-	-	-	A	A	O	O	A
A6	-	-	-	-	-	-	O	O	O	A
A7	-	-	-	-	-	-	-	A	O	O
A8	-	-	-	-	-	-	-	-	O	A
A9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	o
A10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

در ادامه، این نمادها به ماتریس دسترسی (۱و۰) تبدیل شد و برای اعمال سازگاری و انتقال‌پذیری، از عملگر بولین استفاده گردید؛ به‌طوری‌که پس از پایدار شدن توان‌های ماتریس، ماتریس دسترسی نهایی استخراج و برخی روابط غیرمستقیم (با علامت *) از صفر به یک تغییر یافتند. جدول (۴)، ماتریس دسترسی نهایی را به همراه قدرت نفوذ و میزان وابستگی موانع نشان می‌دهد.

جدول(۴): ماتریس دستیابی سازگار شده (نهایی)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	قدرت نفوذ
A1	1	1	0	0	1*	0	0	0	0	0	3
A2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2
A3	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	4
A4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	6
A5	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2
A6	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	5
A7	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	3
A8	0	1	0	0	1*	0	1	1	0	0	4
A9	0	1	0	0	1*	0	0	0	1	0	3
A10	1	1	1	1	1	1	1*	1	0	1	9
میزان وابستگی	5	10	4	2	10	3	3	2	1	1	

سپس، با تعیین مجموعه دسترسی، مجموعه مقدم و مجموعه اشتراک برای هر مانع، سطح‌بندی انجام و متغیرها در شش سطح قرار گرفتند. مجموعه دسترسی شامل عواملی است که از یک عنصر ناشی می‌شوند و با بررسی سطر مربوط به آن عنصر در ماتریس، روابط خروجی (یال‌های جهت‌دار خروجی) مشخص می‌گردد. در مقابل، مجموعه مقدم عواملی را دربر می‌گیرد که به آن عنصر منتهی می‌شوند و با بررسی ستون مربوطه، روابط ورودی (یال‌های جهت‌دار ورودی) تعیین می‌شود. همچنین، مجموعه اشتراک شامل عناصری است که به‌طور هم‌زمان در هر دو مجموعه دسترسی و مقدم قرار دارند. برای تعیین سطح هر عامل، ابتدا بررسی می‌شود که آیا مجموعه دسترسی و مجموعه اشتراک آن برابر هستند یا خیر؛ در صورت برابری، آن عامل در بالاترین سطح مدل قرار می‌گیرد. سپس عامل تعیین‌شده از فرایند حذف می‌شود و این رویه به‌صورت تکراری برای سایر عوامل ادامه می‌یابد تا سطح همه عناصر مشخص گردد. جدول (۵) تکرارهای انجام‌شده برای سطح‌بندی متغیرهای مدل را نشان می‌دهد.

جدول(۵): سطح بندی متغیرها

موانع	مجموعه دسترسی	مجموعه مقدم	مجموعه اشتراک	سطح
A1	A1,A2,A5	A1,A3,A4,A6,A10	A1	دوم
A2	A1,A5	A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A9,A10	A1,A5	یک
A3	A1,A2,A3,A5	A3,A4,A6,A10	A3	سوم
A4	A1,A2,A3,A4,A5,A6	A4,A10	A4	پنجم
A5	A2,A5	A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A9,A10	A2,A5	یک
A6	A1,A2,A3,A5,A6	A4,A6,A10	A6	چهارم
A7	A2,A5,A7	A7,A8,A10	A7	دوم
A8	A2,A5,A7,A8	A8,A10	A8	سوم
A9	A2,A5,A9	A9	A9	دوم
A10	A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8,A10	A10	A10	ششم

نهایتاً با استفاده از ماتریس دسترسی نهایی و سطوح به‌دست‌آمده، گراف جهت‌دار چندسطحی ترسیم شد و روابط صرفاً انتقالی حذف گردید تا مدل نهایی روابط موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین در زنجیره تأمین صنعت دارو ارائه شود (شکل ۴).

شکل(۴): مدل ساختاری تفسیری موانع پیاده سازی بلاک چین در زنجیره تامین صنعت دارو

مرحله سوم: تحلیل قدرت محرک و وابستگی موانع با استفاده از تحلیل MICMAC

هدف از انجام این تحلیل، دسته‌بندی عوامل یک سیستم پیچیده بر اساس شدت اثرگذاری و شدت اثرپذیری آنهاست. جمع سطری مقادیر در ماتریس دستیابی نهایی برای هر عنصر بیانگر قدرت نفوذ و جمع ستونی نشانگر میزان وابستگی خواهد بود. به کمک قدرت وابستگی و قدرت نفوذ به‌دست‌آمده از ماتریس دسترسی نهایی که در جدول (۵) نشان داده شده‌اند، ماتریس MICMAC ترسیم می‌شود و مقدار قدرت نفوذ و وابستگی هر یک از عوامل بر روی نمودار مشخص می‌شود. تمامی متغیرها در چهار دسته مختلف جای می‌گیرند:

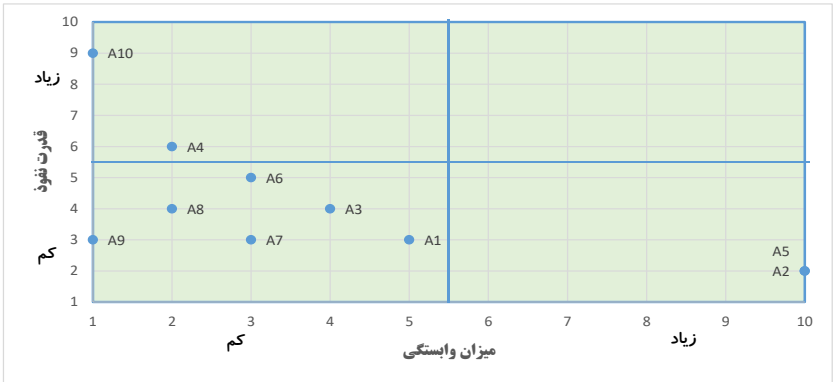
۱- خود مختار: عواملی که دارای قدرت نفوذ و وابستگی کمی هستند.

۲- وابسته: عواملی که دارای قدرت نفوذ کم ولی وابستگی زیاد هستند.

۳- پیوندی: عواملی که دارای قدرت نفوذ و وابستگی زیاد هستند.

۴- مستقل: عواملی که دارای قدرت نفوذ زیاد ولی وابستگی کم می باشند.

شکل(۵) ماتریس MICMAC را برای موانع پیاده سازی بلاک چین در زنجیره تامین صنعت دارو نشان می‌دهد.



شکل(۵): ماتریس MICMAC موانع پیاده‌سازی بلاک چین در زنجیره تامین صنعت دارو

به این ترتیب، موانع پیاده‌سازی بلاک چین را میتوان در سه گروه به شرح زیر دسته‌بندی کرد:

گروه اول- موانع خودمختار، شامل: هزینه‌های بالای پیاده‌سازی(A1)، مشکلات یکپارچه‌سازی با سیستم‌های موجود(A3)، نیاز به تغییر فرآیندها(A6)، نبود آگاهی کافی از فناوری(A7)، کمبود نیروی متخصص(A8)، مشکلات قانونی و نظارتی(A9)

گروه دوم- موانع مستقل، شامل: نبود زیرساخت‌های فنی مناسب(A4)، پیچیدگی فناوری(A10)

گروه سوم- موانع وابسته، شامل: نبود حمایت مدیریت ارشد(A2)، مقاومت کارکنان در برابر تغییر(A5).

یافته‌های حاصل از مدل‌سازی ساختاری–تفسیری (ISM) و تحلیلMICMAC ، ساختار سلسله‌مراتبی و روابط علّی میان موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین در زنجیره تأمین دارویی را آشکار ساخت و نشان داد که این موانع در سطوح مختلف تأثیرگذاری قرار دارند. با این حال، برای تفسیر عمیق‌تر این نتایج، لازم است این ساختار تحلیلی در بستر واقعی زنجیره تأمین دارویی و محیط نهادی حاکم بر آن مورد توجه قرار گیرد. از این منظر، شکل (۶) به‌عنوان یک چارچوب مفهومی تلفیقی ارائه می‌شود که یافته‌های ساختاری پژوهش را در ارتباط با بازیگران اصلی زنجیره، نهادهای حاکمیتی و لایه فناورانه بلاک‌چین نمایش می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین صنعت داروسازی با مجموعه‌ای از موانع به‌هم‌پیوسته در ابعاد فنی، سازمانی، مدیریتی، انسانی و نهادی مواجه است که هر یک در سطوح متفاوتی از تأثیرگذاری و اثرپذیری قرار دارند. نتایج مدل‌سازی ساختاری–تفسیری (ISM) بیانگر آن است که این موانع به‌صورت سلسله‌مراتبی و علّی با یکدیگر در ارتباط بوده و موفقیت در استقرار بلاک‌چین مستلزم شناسایی عوامل ریشه‌ای و تمایز آن‌ها از موانع پیامدی است.

بر اساس ساختار مدلISM ، دو مانع «پیچیدگی فناوری» و «نبود زیرساخت‌های فنی مناسب» در پایین‌ترین سطوح مدل قرار داشته و به‌عنوان عوامل ریشه‌ای و مستقل، بیشترین قدرت نفوذ را بر سایر موانع اعمال می‌کنند. این یافته نشان می‌دهد که بدون سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال و کاهش پیچیدگی‌های فنی و مفهومی بلاک‌چین، تلاش برای رفع موانع مدیریتی یا رفتاری نظیر جلب حمایت مدیریت ارشد یا کاهش مقاومت کارکنان، اثربخشی پایداری نخواهد داشت. در مقابل، عواملی همچون «نبود حمایت مدیریت ارشد» و «مقاومت کارکنان در برابر تغییر» در سطوح بالای مدل قرار گرفته و ماهیتی وابسته دارند؛ به این معنا که ظهور آن‌ها بیش از آنکه علتی مستقل باشد، پیامد ضعف‌های فناورانه، دانشی و ساختاری در سازمان است.

یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین هم‌سویی معناداری دارد. به‌طور مشخص، نتایج با پژوهش القرنی و همکاران [۱۰] که زیرساخت و تخصیص منابع را عوامل پایه‌ای موفقیت فناوری‌های نوظهور معرفی کرده‌اند، هم‌راستا است. همچنین، پژوهش سینق و کومار [۲۵] با تأکید بر نقش سیاست‌های حمایتی، امنیت داده و توانمندسازی نیروی انسانی، زیرساخت فناورانه و سرمایه انسانی را به‌عنوان پیشران‌های اصلی پذیرش بلاک‌چین معرفی می‌کند که این رویکرد با ساختار علّی استخراج‌شده در این پژوهش انطباق کامل دارد. این هم‌راستایی نشان می‌دهد که اگرچه برخی موانع ماهیتی عمومی دارند، اما نحوه قرارگیری و شدت اثرگذاری آن‌ها به‌شدت وابسته به بستر صنعتی مورد مطالعه است.

تحلیل جامع موانع نشان داد که پیاده‌سازی بلاک‌چین در صنعت داروسازی ایران با چالش‌های چندسطحی مواجه است. در سطح فنی، نبود زیرساخت مناسب، پیچیدگی معماری بلاک‌چین و مشکلات یکپارچه‌سازی با سامانه‌های موجود، موانع اصلی طراحی و بهره‌برداری پایدار از این فناوری هستند. در سطح سازمانی و انسانی، کمبود آگاهی فناورانه، کمبود نیروی متخصص، نیاز به بازمهندسی فرآیندها و مقاومت کارکنان در برابر تغییر، پذیرش عملی فناوری را محدود می‌سازند. در سطح مدیریتی و نهادی نیز هزینه‌های بالای پیاده‌سازی، عدم اطمینان نسبت به بازگشت سرمایه و ابهامات حقوقی و مقرراتی، مانع گذار پروژه‌ها از مرحله پایلوت به استقرار عملیاتی می‌شوند.

اگرچه برخی از این موانع در سایر صنایع نیز قابل مشاهده‌اند، اما ساختار سلسله‌مراتبی آن‌ها در این پژوهش بازتاب‌دهنده شرایط خاص صنعت داروسازی است. حساسیت بالای محصول، الزامات سخت‌گیرانه نظارتی، ضرورت رهگیری دقیق سری‌ساخت دارو و مدیریت داده‌های حساس، سبب می‌شود نقش زیرساخت‌های فنی و چارچوب‌های قانونی در این صنعت برجسته‌تر از بسیاری از صنایع غیرحیاتی باشد. ازاین‌رو، روابط علّی میان موانع بیش از آنکه قابل تعمیم مستقیم باشد، باید در چارچوب الزامات نهادی و فنی صنعت داروسازی تفسیر شود.

نتایج حاصل از رویکرد تلفیقی دلفی فازی، مدل‌سازی ساختاری– تفسیری (ISM) و تحلیل MICMAC نشان داد که موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین در زنجیره تأمین دارویی ایران دارای ساختاری سلسله‌مراتبی، علّی و به‌هم‌پیوسته هستند و ازاین‌رو، نمی‌توان آن‌ها را به‌صورت هم‌زمان یا بدون اولویت‌بندی مورد مداخله قرار داد. یافته‌ها حاکی از آن است که موانعی نظیر نبود زیرساخت‌های فنی مناسب (A4)، پیچیدگی فناوری بلاک‌چین (A10) و مشکلات قانونی و مقرراتی (A9) در سطوح پایه‌ای مدل ISM قرار گرفته و به‌عنوان موانع پیشران، بیشترین تأثیر را بر سایر موانع سازمانی و رفتاری اعمال می‌کنند. در مقابل، موانعی مانند عدم حمایت مدیریت ارشد (A2) و مقاومت کارکنان در برابر تغییر (A5) در سطوح بالاتر ساختار قرار داشته و ماهیتی وابسته دارند.

با توجه به این ساختار علّی و در انطباق با ساختار نهادی و حکمرانی زنجیره تأمین دارویی ایران، مسیر پیاده‌سازی بلاک‌چین مستلزم اتخاذ یک رویکرد مرحله‌ای، نقش‌محور و مبتنی بر اولویت موانع پیشران است. بر این اساس، نتایج تحلیلی پژوهش به مجموعه‌ای از اقدامات عملیاتی ترجمه شده‌اند که متناسب با نقش بازیگران کلیدی زنجیره تأمین دارویی و نهادهای حاکمیتی طراحی شده‌اند.

جدول (۶) این اقدامات را در قالب یک نقشه راه زمانی ارائه می‌دهد. در این جدول، هر یک از لایه‌ها و بازیگران اصلی زنجیره تأمین دارویی (مطابق شکل ۱) با موانع متناظر شناسایی‌شده در مدل ISM و جایگاه آن‌ها در تحلیل MICMAC مرتبط شده‌اند و اقدامات پیشنهادی متناسب با فازهای کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت ارائه شده است. این نقشه راه نشان می‌دهد که پذیرش بلاک‌چین در صنعت داروسازی ایران نه یک تصمیم فناورانه مقطعی، بلکه یک فرآیند تحول نهادمند و تدریجی است که مستلزم مداخلات هماهنگ در سطوح حکمرانی، سازمانی و زیرساختی می‌باشد.

جدول(۶): نقشه راه پیاده‌سازی بلاک‌چین در زنجیره تأمین دارویی ایران

لایه / بازیگر کلیدی	موانع کلیدی متناظر (ISM)	ماهیت مانع (MICMAC)	اقدامات پیشنهادی	فاز زمانی اجرا	پیامد مورد انتظار
کارکنان عملیاتی زنجیره تأمین	مقاومت در برابر تغییر (A5)، آگاهی ناکافی (A7)	وابسته / پیوندی	آموزش‌های کاربردی، فرهنگ‌سازی و مشارکت تدریجی کارکنان در پروژه‌های آزمایشی	کوتاه‌مدت	افزایش پذیرش فناوری و کاهش مقاومت
مدیریت ارشد شرکت‌های دارویی	عدم حمایت مدیریت ارشد (A2)،هزینه بالای پیاده سازی(A1)	وابسته	جلب تعهد مدیریتی، تعریف اهداف راهبردی و تخصیص منابع اولیه	کوتاه‌مدت	تقویت رهبری تحول دیجیتال
شرکت‌های تولیدکننده دارو	نیاز به بازطراحی فرآیندها (A6)	پیوندی	بازمهندسی فرآیندهای تولید متناسب با رهگیری و ثبت داده‌های بلاک‌چینی	میان‌مدت	بهبود شفافیت و قابلیت رهگیری
شرکت‌های پخش و توزیع دارو	مشکلات یکپارچگی سیستم‌ها (A3)	پیوندی	یکپارچه‌سازی سامانه‌های لجستیکی و SCM با بستر بلاک‌چین	میان‌مدت	افزایش هماهنگی و کاهش خطا
واحدهای فناوری اطلاعات و شرکت‌های فناور	کمبود نیروی متخصص (A8)، نگرانی‌های امنیتی	پیشران / پیوندی	توسعه راهکارهای بومی، تقویت امنیت قراردادهای هوشمند	میان‌مدت	پایداری و امنیت فنی سیستم
نهادهای سیاست‌گذار فناوری و حاکمیت دیجیتال	نبود زیرساخت فنی مناسب (A4)، نبود استانداردها	پیشران	توسعه زیرساخت دیجیتال ملی، تدوین استانداردهای داده و API	بلندمدت	تعامل‌پذیری و مقیاس‌پذیری زنجیره
نهادهای حاکمیتی و قانون‌گذار (سازمان غذا و دارو، وزارت بهداشت، بیمه‌ها)	ابهامات قانونی و مقرراتی (A9)	پیشران	تدوین چارچوب‌های قانونی، مقررات قراردادهای هوشمند و مالکیت داده	بلندمدت	افزایش اعتماد نهادی و کاهش ریسک انطباق
لایه فناوری بلاک‌چین	پیچیدگی فناوری (A10)	پیشران	استفاده از بلاک‌چین‌های سازمانی کم‌پیچیدگی و الگوریتم‌های اجماع کم‌مصرف	بلندمدت	پذیرش پایدار و نهادمند فناوری
نهادهای بین‌بخشی (حاکمیت–صنعت–فناوری)	هزینه بالای پیاده سازی (A1)	وابسته	اجرای پروژه‌های پایلوت مشترک و ارزیابی تدریجی منافع	مستمر	کاهش عدم قطعیت و افزایش اطمینان سرمایه‌گذاری

در عین حال، این پژوهش با محدودیت‌هایی همراه است. اگرچه برخی یافته‌ها قابلیت مقایسه با سایر صنایع را دارند، اما ساختار سلسله‌مراتبی موانع و شدت روابط میان آن‌ها به‌شدت وابسته به بستر صنعت داروسازی ایران است و تعمیم نتایج بدون در نظر گرفتن تفاوت‌های نهادی و عملیاتی، با محدودیت مواجه خواهد بود. افزون بر این، شتاب تحول فناوری بلاک‌چین و تغییرات مداوم در مقررات می‌تواند در آینده بر اعتبار برخی یافته‌ها اثرگذار باشد. انجام پژوهش‌های آتی با داده‌های تجربی گسترده‌تر، تحلیل تطبیقی میان صنایع یا کشورها و ارزیابی سیاست‌های حمایتی مختلف می‌تواند به تکمیل و تعمیق نتایج این مطالعه کمک کند.

۶- مراجع

[1] A. Chang, N. El-Rayes, & J. Shi, "Blockchain Technology for Supply Chain Management: A Comprehensive Review," FinTech, vol. 1, no. 2, pp. 191-205, 2022, doi: 10.3390/fintech1020015.

[2] R. Cole, M. Stevenson, and J. Aitken, "Blockchain technology: implications for operations and supply chain management," Supply Chain Management: An International Journal, vol. 24, no. 4, pp. 469–483, 2019.

[3] S. Saberi, M. Kouhizadeh, and M. Nair, "Blockchain technology in supply chain management: Applications, opportunities and challenges," International Journal of Production, vol. 231, p. 107546, 2019.

[4] J.-H. Tseng, Y.-C. Liao, B. Chong, and S.-w. Liao, "Governance on the Drug Supply Chain via Gcoin Blockchain," International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 15, no. 6, p. 1055, 2018. https://doi.org/10.3390/ijerph15061055

[5] K. Kutybayeva, A. Razaque, and H. M. Rai, "Enhancing Pharmaceutical Supply Chain Transparency and Security with Blockchain and Big Data Integration," Procedia Computer Science, vol. 259, pp. 1511-1522, 2025. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.04.106

[6] M. Rafieian Esfahani, B. Yazdani, M. Barati, A. Naqsh, and N. Janatian, "Designing a supply chain sustainability maturity model with a continuous improvement approach (Case study: Iranian pharmaceutical industry)," Supply Chain Management, vol. 25, no. 81, pp. 43-66, 2023. (In Persian)

[7] B. Anthony Jnr, "Investigating the decentralized governance of distributed ledger infrastructure implementation in extended enterprises," Journal of the Knowledge Economy, vol. 14, no. 4, pp. 5003–5032, 2023.

[8] A. Wieland, "Dancing the supply chain: Toward transformative supply chain management," Journal of Supply Chain Management, vol. 57, no. 1, pp. 58–73, 2021.

[9] L. Montag, "Circular economy and supply chains: Definitions, conceptualizations, and research agenda of the circular supply chain framework," Circular Economy and Sustainability, vol. 3, no. 1, pp. 35–75, 2023, doi: 10.1007/s43615-022-00172-y.

[10] M. S. Brandao and M. Godinho Filho, "Changing terms, evolving strategies: the tailoring of supply chain management terms and its implications," Supply Chain Management: An International Journal, vol. 29, no. 4, pp. 778–793, 2024.

[11] M. Rafieian Esfahani, B. Yazdani, M. Barati, A. Naqsh, and N. Janatian, "Drivers, enablers, and challenges of sustainability in the pharmaceutical supply chain: A systematic review," Supply Chain Management, vol. 25, no. 78, pp. 89-108, 2023.

[12] M. R. Amin, N. Akhtar, M. E. Hoque, A. R. Nabil, and K. M. S. Hossain, "Blockchain-Enabled Traceability in Pharmaceutical Supply Chains: An Integrated Engineering and IT Management Framework for Regulatory Compliance and Pandemic Resilience," Journal of Computer Science and Technology Studies, vol. 7, no. 10, pp. 343–356, 2025, doi: 10.32996/jcsts.2025.7.10.37.

[13] Y. Wen, Y. Wei, and L. Liu, "Research on operation strategy of multiple channels pharmaceutical supply chain based on blockchain technology," Scientific Reports, vol. 15, p. 17033, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-00727-7.

[14] D. A. Adeleke and A. D. Samuel, "The role of Blockchain technology in ensuring pharmaceutical supply chain integrity and traceability," Finance & Accounting, vol. 6, no. 11, pp. 2120–2133, 2024, doi: 10.51594/farj.v6i11.1700.

[15] C. Sim, H. Zhang, and M. L. Chang, "Improving End-to-End Traceability and Pharma Supply Chain Resilience using Blockchain," Blockchain in Healthcare Today, vol. 5, 2022, doi: 10.30953/bhty.v5.231.

[16] A. Nikzadipanah, M. Rahdar, and G. Bandani, "Resilience of the Drug Supply Chain Using Blockchain Technology," Journal of Military Medicine, vol. 26, no. 3, pp. 2332-2346, 2024, doi: 10.30491/JMM.2024.1006641.1154.

[17] I. Ioannou and G. Demirel, "Blockchain and supply chain finance: a critical literature review at the intersection of operations, finance and law," Journal of Banking and Financial Technology, vol. 6, no. 1, pp. 83–107, 2022.

[18] G. Tripathi, M. A. Ahad, and G. Casalino, "A comprehensive review of blockchain technology: Underlying principles and historical background with future challenges," Decision Analytics Journal, vol. 9, p. 100344, 2023, doi: 10.1016/j.dajour.2023.100344.

[19] M. A. Alqarni, M. S. Alkatheiri, S. H. Chauhdary, and S. Saleem, "Use of Blockchain-Based Smart Contracts in Logistics and Supply Chains," Electronics, vol. 12, no. 6, p. 1340, 2023.

[20] A. A. A. Sharabati and E. R. Jreisat, "Blockchain technology implementation in supply chain management: A literature review," Sustainability, vol. 16, no. 7, p. 2823, 2024.

[21] M. Uddin, "Blockchain Medledger: Hyperledger fabric enabled drug traceability system for counterfeit drugs in pharmaceutical industry," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 597, p. 120235, 2021. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.120235

[22] G. K. Badhotiya, V. P. Sharma, S. Prakash, V. Kalluri, and R. Singh, "Investigation and assessment of blockchain technology adoption in the pharmaceutical supply chain," Materials Today: Proceedings, vol. 46, pp. 10776-10780, 2021. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.673

[23] E. Fernando, Meyliana and Surjandy, "Success Factor of Implementation Blockchain Technology in Pharmaceutical Industry: A Literature Review," 2019 6th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), Semarang, Indonesia, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICITACEE.2019.8904335.

[24] M. Tangsakul and P. Sureeyatanapas, "Understanding critical barriers to the adoption of blockchain technology in the logistics context: An interpretive structural modelling approach," Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, vol. 10, no. 3, p. 100355, 2024, doi: 10.1016/j.joitmc.2024.100355.

[25] C. Walsh, P. O'Reilly, R. Gleasure, J. McAvoy, and K. O'Leary, "Understanding manager resistance to blockchain systems," European Management Journal, vol. 39, no. 3, pp. 353–365, 2021, doi: 10.1016/j.emj.2020.10.001.

[26] A. K. Singh, V. P. Kumar, G. Dehdasht, S. R. Mohandes, P. Manu, and F. P. Rahimian, "Investigating the barriers to the adoption of blockchain technology in sustainable construction projects," Journal of Cleaner Production, vol. 403, p. 136840, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.136840.

[27] A. K. Singh, V. R. P. Kumar, M. Irfan, S. R. Mohandes, and U. Awan, "Revealing the Barriers of Blockchain Technology for Supply Chain Transparency and Sustainability in the Construction Industry: An Application of Pythagorean FAHP Methods," Sustainability, vol. 15, no. 13, p. 10681, 2023, doi: 10.3390/su151310681.

[28] T. Riedel, "Addressing challenges: Adopting blockchain technology in the pharmaceutical industry for enhanced sustainability," Sustainability, vol. 16, no. 8, p. 3102, 2024, doi: 10.3390/su16083102.
[29] M. Peron, R. Pozzi, and M. P. Ciano, "Blockchain in the pharmaceutical sector: empirical evidence on the associated challenges and countermeasures," International Journal of Production Economics, vol. 288, p. 109685, 2025. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109685
[30] F. Salzano, L. Marchesi, R. Pareschi, and R. Tonelli, "Integrating blockchain technology within an information ecosystem," Blockchain: Research and Applications, vol. 5, no. 4, p. 100225, 2024, doi: 10.1016/j.bcra.2024.100225.
[31] S. Joshi and M. Sharma, "Assessment of implementation barriers of blockchain technology in public healthcare: evidences from developing countries," Health Systems (Basingstoke, England), vol. 12, no. 2, pp. 223–242, 2023, doi: 10.1080/20476965.2023.2206446.
[32] J. Carlos Ferreira, L. B. Elvas, R. Correia, and M. Mascarenhas, "Enhancing EHR Interoperability and Security through Distributed Ledger Technology: A Review," Healthcare (Basel, Switzerland), vol. 12, no. 19, p. 1967, 2024, doi: 10.3390/healthcare12191967.
[33] T. Sivaram, "Recent developments and challenges using blockchain techniques for peer-to-peer energy trading: A review," Results in Engineering, p. 103666, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.103666.
[34] G. K. Badhotiya, V. P. Sharma, S. Prakash, V. Kalluri, and R. Singh, "Investigation and assessment of blockchain technology adoption in the pharmaceutical supply chain," Materials Today: Proceedings, vol. 46, pp. 10776-10780, 2021. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.673
[35] M. Peron, R. Pozzi, and M. P. Ciano, "Blockchain in the pharmaceutical sector: empirical evidence on the associated challenges and countermeasures," International Journal of Production Economics, vol. 288, p. 109685, 2025. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109685
[36] S. Cizmecioglu, A. Calik, and E. Boz, "Review of barriers to implement blockchain technologies in logistics," in Proc. 7th Int. Conf. Blockchain Technol. Appl. (ICBTA '24), 2025, pp. 72–76, doi: 10.1145/3708622.3708630.
[37] U. H. Govindarajan, G. Narang, D. K. Singh, and V. S. Yadav, "Blockchain technologies adoption in healthcare: Overcoming barriers amid the hype cycle to enhance patient care," Technological Forecasting and Social Change, vol. 213, p. 124031, 2025. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124031
[38] A. Punia, P. Gulia, N. S. Gill, E. Ibeke, C. Iwendi, and P. K. Shukla, "A systematic review on blockchain-based access control systems in cloud environment," Journal of Cloud Computing, vol. 13, no. 1, p. 146, 2024, doi: 10.1186/s13677-024-00697-7.
[39] A. Ghadge, M. Bourlakis, S. Kamble, and S. Seuring, "Blockchain implementation in pharmaceutical supply chains: A review and conceptual framework," International Journal of Production Research, vol. 61, no. 19, pp. 6633–6651, 2023. https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2125595
[40] G. Tiwari, P. Channakkalavara, G. Singh, and P. N. K. Sarella, "Enhancing security, transparency, and efficiency of blockchain technology in pharmaceutical supply chain," Int. J. Pharm. Qual. Assur., vol. 15, no. 02, pp. 1009-1016, 2024.
[41] B. Anthony Jnr, "Enhancing blockchain interoperability and intraoperability capabilities in collaborative enterprise—a standardized architecture perspective," Enterprise Information Systems, vol. 18, no. 3, p. 2296647, 2024, doi: 10.1080/17517575.2023.2296647.
[42] S. Khan, A. Haleem, and M. I. Khan, "Risk management in Halal supply chain: An integrated fuzzy Delphi and DEMATEL approach," Journal of Modelling in Management, vol. 16, no. 1, pp. 172-214, 2021.
[43] C. H. Cheng and Y. Lin, "Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation," European Journal of Operational Research, vol. 142, no. 1, pp.
[44] J. S. Horng, S. F. Chou, C. H. Liu, and C. Y. Tsai, "Creativity, aesthetics and eco-friendliness: A physical dining environment design synthetic assessment model of innovative restaurants," Tourism Management, vol. 36, pp. 15-25, 2013.
[45] P. T. Chang, L. C. Huang, and H. J. Lin, "The fuzzy Delphi method via fuzzy statistics and membership function setting and an application to the human resources," Fuzzy Sets and Systems, vol. 112, pp. 511-520, 2000. (In Persian).
[46] S. Abdallah and N. Nizamuddin, "Blockchain-based solution for pharma supply chain industry," Computers & Industrial Engineering, vol. 177, p. 108997, 2023, doi: 10.1016/j.cie.2023.108997.