KMANPUB | Decision Science and Intelligent Systems Vol. 2 No. 4 (2025): 1-24

Article history:
Received 18 May 2025
Revised 26 December 2025
Accepted 04 January 2026
Published online 21 January 2026

Strengthening the Food Supply Chain through Blockchain Technology: A Strategy for Sustainable Development

Mehran Ziaeian[1*], Pooria Malekinejad[2], Hajar Soleymanizadeh[3]

[1] Assistant Professor, Department of Management, Faculty of Management and Innovation, Shahid Ashrafi Esfahani University, Isfahan, Iran
[2] PhD of Industrial Management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Department of Industrial Management, Yazd University, Yazd, Iran
[3] PhD Student, Department of Industrial Management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran

*** Corresponding author email address**: m.ziaeian@ashrafi.ac.ir

A r t i c l e I n f o

Article type:
Original Research

How to cite this article:
Ziaeian, M., Malekinejad, P., & Soleymanizadeh, H. (2025). Strengthening the Food Supply Chain through Blockchain Technology: A Strategy for Sustainable Development. *Decision Science and Intelligent Systems. 2(4), 1-24.*

© 2025 the authors. Published by KMAN Publication Inc. (KMANPUB), Ontario, Canada. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

A B S T R A C T

In recent years, numerous studies have examined the impact of Blockchain Technology on supply chain sustainability. However, limited attention has been devoted to explaining how blockchain can be applied to enhance sustainable supply chain practices. Therefore, the present study aimed to identify the factors influencing supply chain sustainability, investigate the role of blockchain in each identified factor, and examine the interrelationships among these factors in order to propose an appropriate model for the sustainability of the food supply chain. This study is applied in terms of objective and descriptive-causal in terms of nature and methodology. To conduct the research, eleven factors were initially identified through a review of the literature, and the application of blockchain technology in each factor was examined. Subsequently, by employing the Interpretive Structural Modeling (ISM) technique, the relationships among the identified factors were determined, and based on these relationships, a conceptual model for sustainable supply chain management in the country's food industry was developed. Furthermore, the goodness-of-fit of the proposed conceptual model was evaluated using the Structural Equation Modeling (SEM) approach. A questionnaire consisting of 38 items was then designed and distributed among 350 experts, managers, and employees of the food industry using convenience sampling. The findings of the study demonstrated that resource utilization and working conditions are considered fundamental factors in achieving sustainable supply chain management in the country's food industry.

Keywords: *Supply Chain, Sustainable Supply Chain, Blockchain Technology*

Extended Abstract

Introduction

The increasing pressure of global competition, environmental regulations, and rising consumer awareness regarding sustainability has compelled organizations to move toward more sustainable operational models. In recent decades, sustainable supply chain management has emerged as one of the most significant paradigms in industrial and organizational management due to escalating environmental degradation, resource scarcity, and social concerns associated with industrial activities. Sustainable supply chain management refers to the strategic integration of economic, environmental, and social objectives throughout all stages of the supply chain in order to ensure long-term organizational performance and sustainable development (Dubey et al., 2017). Scholars have emphasized that achieving sustainability in supply chains requires transparency, traceability, efficient resource utilization, ethical labor practices, and collaborative relationships among supply chain partners (Bratt et al., 2021). In this context, Blockchain Technology has attracted substantial attention as an emerging digital technology capable of transforming supply chain structures and improving sustainability outcomes. Blockchain technology operates as a decentralized and immutable ledger system in which information is recorded in interconnected blocks secured through cryptographic mechanisms (Monrat et al., 2019). This structure prevents unauthorized data manipulation and enhances transparency and reliability throughout the supply chain (Guo & Yu, 2022). The application of blockchain technology enables real-time information sharing, smart contract implementation, secure transactions, and enhanced traceability of products and processes (Tan & Saraniemi, 2023). Consequently, blockchain has been recognized as a powerful technological enabler for sustainable supply chain management because it improves trust among stakeholders, reduces operational inefficiencies, minimizes fraud, and supports environmental and social sustainability objectives (Khanfar et al., 2021). The food industry represents one of the most sensitive and strategically important sectors in both developed and developing economies due to its direct impact on public health, food security, economic growth, and environmental sustainability. In many countries, including Iran, food supply chains face serious sustainability challenges associated with resource depletion, excessive energy consumption, food waste, environmental pollution, lack of transparency, and unethical labor practices. Unsustainable agricultural production, inefficient transportation systems, and weak monitoring mechanisms have intensified environmental pressures and reduced the overall sustainability of food supply chains. Furthermore, increasing consumer demand for safe, traceable, and ethically produced food products has created a growing need for advanced technological solutions capable of improving transparency and accountability within food supply chains. Prior studies have examined various aspects of blockchain adoption in sustainable supply chains, including implementation barriers, technological acceptance, transparency enhancement, and environmental performance improvement (Liu et al., 2021; Yadav & Singh, 2020). Nevertheless, limited attention has been devoted to investigating the underlying relationships among sustainability factors and explaining how blockchain technology contributes to the interaction of these factors in the context of food supply chains (Difrancesco et al., 2023). Therefore, the present study aimed to identify the factors influencing sustainable food supply chain management, investigate the role of blockchain technology in each identified factor, and develop a conceptual model explaining the interrelationships among these factors in the food industry.

Methods and Materials

The present study was applied in terms of objective and descriptive-causal in terms of research design. Considering the use of questionnaires for data collection, the study was also categorized as survey-based research. Initially, a comprehensive review of the literature related to sustainable supply chain management and blockchain technology was conducted to identify the major factors influencing sustainability in the food supply chain. Based on the literature review and expert opinions, eleven key factors were identified, including reliability, responsiveness, financial performance, quality, resource utilization, pollution reduction, energy waste prevention, working conditions, human rights, social commitment, and consumer-related issues. To localize and validate the identified factors within the context of the national food industry, interviews and consultations were conducted with 20 academic and industrial experts specializing in supply chain management, blockchain technology, and the food industry. Academic experts included university professors with extensive research experience in blockchain and supply chain management, while industrial experts consisted of managers and supervisors with at least five years of professional experience in the food industry. Purposive sampling was employed to select the experts. In the first phase of the study, Interpretive Structural Modeling (ISM) was utilized to determine the relationships among the identified factors and develop the conceptual model of blockchain-based sustainable food supply chain management. A pairwise comparison questionnaire was designed and distributed among 15 experts selected through snowball sampling. The ISM procedure involved constructing the Structural Self-Interaction Matrix (SSIM), developing the initial and final reachability matrices, determining factor levels, and finally constructing the hierarchical conceptual model. In the second phase, Structural Equation Modeling (SEM) using Smart PLS3 software was applied to evaluate the validity and goodness-of-fit of the conceptual model. A questionnaire consisting of 38 items was developed based on the research literature and conceptual framework. The questionnaire was distributed among experts, managers, and employees of the food industry using convenience sampling. A total of 350 questionnaires were distributed, and 312 valid questionnaires were returned and used for analysis. Convergent validity was assessed using factor loadings and Average Variance Extracted (AVE), while reliability was evaluated through Cronbach's alpha and Composite Reliability indices. Model fitness was assessed using the coefficients of determination (R^2), predictive relevance (Q^2), effect size (F^2), and Standardized Root Mean Square Residual (SRMR).

Findings

The findings of the study demonstrated that all identified factors significantly contributed to the sustainability of the food supply chain under the blockchain-based framework. The results of the Interpretive Structural Modeling analysis indicated that working conditions and resource utilization occupied the foundational levels of the conceptual model, suggesting that these two factors play a critical role in shaping and influencing other sustainability dimensions within the food supply chain. The hierarchical structure derived from ISM revealed that responsiveness, social commitment, human rights, reliability, pollution reduction, energy waste prevention, quality improvement, financial performance, and consumer-related issues were interconnected in multiple levels and influenced each other dynamically. The reliability and validity assessment results confirmed the adequacy of the measurement model. All factor loadings exceeded the acceptable threshold of 0.40, while Average Variance Extracted values were higher than 0.50 for all constructs. Cronbach's alpha coefficients and Composite Reliability values were

above 0.70, indicating satisfactory reliability and internal consistency of the measurement instrument. The results of Structural Equation Modeling showed strong explanatory and predictive capabilities for the proposed model. The R^2 values ranged from 0.714 to 0.816, indicating that the independent variables substantially explained the variance of endogenous constructs. Similarly, Q^2 values ranged between 0.391 and 0.487, confirming the predictive relevance of the model. The overall goodness-of-fit assessment demonstrated a satisfactory fit, as the SRMR value of 0.044 was significantly below the recommended threshold of 0.08. Hypothesis testing results revealed that all proposed relationships were statistically significant at the 95% confidence level. Pollution had a strong positive effect on consumer-related issues ($\beta = 0.871$, $t = 46.06$). Resource utilization significantly influenced responsiveness ($\beta = 0.545$, $t = 11.36$), while working conditions positively affected responsiveness ($\beta = 0.383$, $t = 7.57$). Responsiveness had substantial positive effects on social commitment ($\beta = 0.845$, $t = 38.15$) and human rights ($\beta = 0.860$, $t = 44.11$). Human rights and social commitment significantly enhanced reliability, with path coefficients of 0.538 and 0.403, respectively. Reliability positively affected energy waste prevention ($\beta = 0.874$, $t = 45.09$), and energy waste prevention significantly reduced pollution levels ($\beta = 0.859$, $t = 42.25$). Moreover, consumer-related issues significantly improved product quality ($\beta = 0.872$, $t = 48.16$), and quality had a substantial positive effect on financial performance ($\beta = 0.848$, $t = 39.02$). These findings confirmed the integrated and interdependent nature of sustainability dimensions in blockchain-enabled food supply chains.

Discussion and Conclusion

The findings of the present study highlight the transformative role of blockchain technology in enhancing sustainable supply chain management within the food industry. The results demonstrated that working conditions and resource utilization represent the fundamental infrastructure for achieving sustainability in food supply chains. Improving working conditions through transparent information sharing, ethical labor management, and traceable employment records can strengthen organizational responsiveness and social accountability. Similarly, efficient resource utilization supported by blockchain-based traceability systems contributes significantly to reducing environmental pressures and enhancing operational efficiency. The study further revealed that responsiveness serves as a critical intermediary factor connecting foundational sustainability dimensions with broader social and ethical outcomes such as social commitment and human rights. Blockchain technology enables organizations to respond more effectively to market changes, consumer demands, and regulatory requirements by facilitating real-time information exchange and transparent monitoring mechanisms. The positive relationship between human rights, social commitment, and reliability indicates that ethical and socially responsible practices can substantially improve stakeholder trust and confidence in food supply chains. Enhanced reliability subsequently contributes to reducing energy waste and environmental pollution through improved operational transparency and monitoring. Another important finding of the study was the significant influence of pollution reduction on consumer-related issues. Increasing consumer awareness regarding environmental sustainability and food safety has made transparency and accountability essential requirements for food supply chains. Blockchain technology allows consumers to access accurate information regarding product origin, production processes, and environmental impacts, thereby increasing consumer trust and satisfaction. Improved quality and financial performance resulting from blockchain implementation further demonstrate the strategic importance of digital transformation in sustainable food supply chain management. Overall, the findings suggest that blockchain technology can

serve as a comprehensive technological infrastructure for integrating environmental, social, and economic sustainability dimensions within food supply chains. The implementation of blockchain-based systems can improve transparency, traceability, trust, responsiveness, resource efficiency, and environmental performance while simultaneously enhancing product quality and organizational financial outcomes. Despite its contributions, the present study faced certain limitations, including the absence of feedback loop analysis among the identified variables and the concentration on a specific industrial context. Future studies are recommended to investigate reciprocal relationships among sustainability factors and examine the role of other Industry 4.0 technologies such as the Internet of Things and cyber-physical systems in sustainable supply chain management. In conclusion, blockchain technology possesses substantial potential to strengthen sustainable food supply chains by creating transparent, secure, and efficient operational environments capable of supporting long-term environmental, social, and economic sustainability objectives.

علم تصمیم گیری و سیستم های هوشمند دوره ۲، شماره ۴ (۱۴۰۴): ۲۴-۱

تاریخچه مقاله
دریافت شده در تاریخ ۲۸ اردیبهشت ۱۴۰۴
اصلاح شده در تاریخ ۵ دی ۱۴۰۴
پذیرفته شده در تاریخ ۱۴ دی ۱۴۰۴
منتشر شده در تاریخ ۱ بهمن ۱۴۰۴

تقویت زنجیره تأمین مواد غذایی با فناوری بلاکچین: راهکاری برای توسعه پایدار

مهران ضیائیان[۱*]، پوریا مالکی نژاد[۲]، هاجر سلیمانی زاده[۳]

۱. استادیار گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و نوآوری، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان، ایران
۲. دانش آموخته دکتری مدیریت صنعتی گرایش تولید و عملیات، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۳. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی گرایش تولید و عملیات، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: m.ziaeian@ashrafi.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله
پژوهشی اصیل

نحوه استناد به این مقاله:
ضیائیان، مهران.، مالکی نژاد، پوریا.، و سلیمانی زاده، هاجر. (۱۴۰۴). تقویت زنجیره تأمین مواد غذایی با فناوری بلاکچین: راهکاری برای توسعه پایدار. *علم تصمیم گیری و سیستم های هوشمند، ۲(۴)، ۲۴-۱.*

© ۱۴۰۴ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

چکیده

در سال‌های اخیر، مطالعات بسیاری مرتبط با تأثیر فناوری بلاک‌چین بر پایداری زنجیره تأمین صورت گرفته است. در مطالعات صورت گرفته چگونگی کاربرد بلاک‌چین بر پایداری زنجیره تأمین کمتر مورد بررسی قرار گرفته است؛ لذا هدف از انجام این پژوهش شناسایی عوامل اثرگذار بر پایداری زنجیره تأمین و بررسی نقش بلاک‌چین در هر یک از عوامل شناسایی شده و بررسی ارتباط میان عوامل با یکدیگر به منظور ارائه مدلی مناسب در راستای پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی است. این پژوهش از لحاظ هدف کاربردی و از لحاظ ماهیت و روش، توصیفی- علی است. به منظور انجام پژوهش حاضر در ابتدا ۱۱ عامل با مرور پیشینه پژوهش شناسایی و کاربرد بلاک‌چین در هر یک از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از تکنیک مدل‌سازی ساختاری تفسیری، نحوه ارتباط عوامل شناسایی شده تعیین و بر اساس آن مدل مفهومی پایداری زنجیره تأمین در صنایع غذایی کشور ارائه شد. در ادامه با استفاده از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری برازش مدل مفهومی به دست آمده، مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه پرسشنامه‌ای متشکل از ۳۸ سوال طراحی و در اختیار ۳۵۰ نفر از خبرگان، مدیران و کارکنان صنایع غذایی به روش نمونه‌گیری در دسترس قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از منابع و شرایط کاری به عنوان عوامل زیر بنایی در پایداری زنجیره تأمین صنایع غذایی کشور به شمار می‌رود.

کلیدواژگان: *زنجیره تأمین، زنجیره تأمین پایدار، فناوری بلاک‌چین*

مقدمه

رقابت جهانی، قوانین و مقررات دولت و تقاضای مشتریان برای پایداری، سازمان‌ها را وادار به حرکت به سوی آینده‌ای پایدار کرده است (Jabbour et al., 2020). سازمان‌ها در تلاش هستند تا محصولات و خدمات خود را به گونه‌ای تولید و عرضه نمایند تا ضمن حداکثرکردن سود، آسیب‌های زیست محیطی و اجتماعی ناشی از فعالیت‌های خود را به حداقل رسانند (Fu et al., 2022). این رویکرد باعث ظهور مفهوم مدیریت زنجیره تامین پایدار شده که در سال‌های اخیر به دلیل رشد جمعیت جهانی، محدودیت‌های منابع، فعالیت‌های مصرف و افزایش سطح زباله و آلودگی مورد توجه بسیاری از محققین و صنایع مختلف قرار گرفته است (Junaid et al., 2022). زنجیره تأمین پایدار بر تمرکز زنجیره تأمین، جهت دستیابی همزمان به سه بعد مشارکت اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی برای رشد پایدار در بلندمدت اشاره دارد (Dubey et al., 2017). (Koberg & Longoni, 2019) زنجیره تأمین پایدار را به عنوان طراحی، هماهنگی، کنترل و سازماندهی یک زنجیره تأمین برای پایدار ساختن آن با حداقل انتظارات برای دستیابی به دوام اقتصادی، اطمینان از عدم آسیب به محیط زیست و سیستم‌های اجتماعی در مدت زمان طولانی تعریف کرده‌اند (Moktadir, Paul, Bai, & Santibanez Gonzalez, 2025). به طور کلی زنجیره تأمین پایدار به عنوان ادغام استراتژیک و شفاف جهت دستیابی به اهداف اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی یک سازمان در هماهنگی سیستمی فرآیندهای کلیدی کسب و کار سازمانی برای بهبود عملکرد بلندمدت اقتصادی فرد و سازمان تعریف شده است (Jia et al., 2018). زنجیره تأمین پایدار اهمیت هماهنگی بین شرکاء زنجیره تأمین و مدیریت موثر جریان مواد، اطلاعات و سرمایه برای دستیابی به این اهداف سه گانه پایداری را تضمین می‌کند (Bratt et al., 2021). دستیابی به زنجیره تأمین پایدار مستلزم استقرار ارزش‌ها و اخلاق در سازمان، سیستم‌های فناوری اطلاعات کارآمد و انعطاف‌پذیر، استراتژی‌های شرکتی و استفاده از فناوری‌های پیشرفته با تمرکز بر توسعه پایدار است (Khan et al., 2023). یکی از فناوری‌های مؤثر در جهت استقرار زنجیره تأمین پایدار، فناوری بلاک‌چین است (Shah et al., 2023). بلاکچین مجموعه‌ای از بلاک‌ها بوده که به صورت یک زنجیر به هم متصل شده‌اند (Monrat et al., 2019). در هر یک از بلاک‌ها مجموعه‌ای از اطلاعات وجود دارد که توسط کاربران شبکه تائید شده است (Guo & Yu, 2022). برای اتصال بلاک‌ها به یکدیگر از توابع ریاضی به نام توابع هش استفاده شده است (Varma, Dixit, Ray, & Kaur, 2024). استفاده از این ساختار کمک می‌کند که بلاک‌ها به هم متصل شده و در صورت تغییر اطلاعات یک بلاک، تمامی بلاک‌های بعد از آن نامعتبر شود (Xu et al., 2019). در صورتی می‌توان محتویات بلاک‌ها را تغییر یا بلاک جدیدی به زنجیره بلوکی اضافه کرد که مورد تأیید اعضای شبکه از طریق مکانیسم اجماع باشد (He, Zhao, Zhang, Chen, & Ma, 2025)؛ به عبارتی دیگر بلاک‌چین با ساختن بلوک‌های رمزگذاری شده و اعتبارسنجی مداوم آن‌ها از تراکنش‌های جعلی جلوگیری می‌کند(Dutta et al., 2020) . علاوه بر این، استفاده از توافق‌نامه‌های هوشمند در بلاک‌چین برای کنترل عملیات، شفافیت تراکنش را بهبود بخشیده و اعتماد کاربران را افزایش می‌دهد (Tan & Saraniemi, 2023). استدلال شده است که فناوری بلاک‌چین می‌تواند بخش‌های متعددی همچون مدیریت زنجیره تأمین را تحت تأثیر خود قرار داده و اثرات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی گسترده‌ای داشته باشد (Lim et al., 2021). فناوری بلاک‌چین می‌تواند از طریق تسهیل اتصال بلادرنگ، اطمینان از اعتماد شرکاء، تسریع فرآیندهای پرداخت و ارزان‌تر کردن آن‌ها، استفاده از قراردادها و توافقات هوشمند، ردیابی ضایعات و محصولات بازیافتی بر جنبه‌های زیست محیطی زنجیره تأمین تأثیر گذارد (Ababneh et al., 2023). یک زنجیره تأمین مبتنی بر بلاک‌چین تضمین بهتری از حقوق بشر و شیوه‌های کاری منصفانه ارائه می‌دهد. به عنوان مثال، یک سابقه شفاف از تاریخچه محصول به خریداران اطمینان می‌دهد که کالاهای خریداری شده، از منابعی تهیه و تولید شوند که از نظر اخلاقی معتبر هستند (Kshetri, 2021). قراردادهای هوشمند مخصوصاً برای

قواعد ردیابی و کنترل شرایط پایدار و سیاست‌های نظارتی به طور مستقل و اعمال یا حاکمیت اصلاحات مناسب قابل استفاده هستند (Zhang et al., 2022). زنجیره‌های بلاک‌چین می‌توانند منجر به از بین رفتن میانجی‌گری و واسطه‌ها در زنجیره تأمین شوند که در آن سطوح کمتر منجر به هزینه‌های تراکنش و کاهش زمان می‌شود و ضایعات کسب‌وکار را در زنجیره تأمین کاهش می‌دهد (Mangla et al., 2022). فناوری بلاک‌چین می‌تواند فوراً هر تغییری در داده‌ها را به اشتراک بگذارد (Wu, 2025) و امکان استقرار سریع محصولات و فرآیندها را فراهم کند (Kamble et al., 2023). همچنین با استفاده از بلاک‌چین می‌توان خطاهای انسانی و زمان تراکنش را به حداقل رسانده و از طریق افزایش اعتماد در مشتریان زمینه خرید بیشتر و بهبود عملکرد مالی را فراهم کرد (Erol et al., 2022).

یکی از صنایعی که نه تنها در کشور ما بلکه در دنیا نیز از جایگاه بسزایی برخوردار می‌باشد، صنعت مواد غذایی است. صنعت مواد غذایی به واسطه تأثیر در سلامت افراد جامعه، سهم عمده در صادرات کشور، میزان مصرف بالا توسط افراد جامعه و ... همواره مورد توجه مسئولین و محققین مختلف بوده است (دلجو و همکاران، ۱۴۰۴). در صورت عدم مدیریت مناسب زنجیره تأمین مواد غذایی، پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در ایران، زنجیره تأمین مواد غذایی به‌گونه‌ای شکل گرفته که در بسیاری از مراحل خود، فشار قابل‌توجهی بر محیط‌زیست وارد می‌کند. این فشار از همان مرحله تولید آغاز می‌شود؛ جایی که به دلیل محدودیت‌های اقلیمی و کمبود منابع آب، کشاورزی ناپایدار و کشت محصولات پرمصرف آب، منابع طبیعی را فرسوده کرده است. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، خشک شدن تالاب‌ها و فرونشست زمین، تنها بخشی از پیامدهای زیست‌محیطی این روند است که مستقیماً با تأمین غذا در کشور گره خورده است (پیشدار، ۱۴۰۴). همچنین استفاده گسترده از کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی برای افزایش تولید، به آلودگی خاک و منابع آب انجامیده و تعادل طبیعی اکوسیستم‌ها را بر هم زده است. این آلودگی‌ها در بلندمدت کیفیت زمین‌های کشاورزی را کاهش می‌دهند و سلامت محیط‌زیست و انسان را به خطر می‌اندازند. در مراحل حمل‌ونقل و توزیع نیز ناکارآمدی زیرساخت‌ها باعث افزایش ضایعات غذایی شده است. هدررفت مواد غذایی به معنای هدررفت آب، انرژی و منابعی است که برای تولید آن‌ها مصرف شده و در نهایت به افزایش پسماند و آلودگی محیط‌زیست منجر می‌شود. نگرانی‌های اجتماعی و زیست محیطی درباره تأثیرات زنجیره تأمین مواد غذایی بر محیط زیست منجر به فشار فزاینده ذینفعان به منظور بهبود عملکرد پایداری چرخه عمر محصول از زمان تولید محصول تا تحویل به مشتری شده است. از آنجایی که بیشتر محصولات غذایی فاسد شدنی هستند می‌توانند بر سلامت جامعه، دیدگاه و باور افراد جامعه و محیط زیست تأثیر گذار باشند (سارانی و همکاران، ۱۴۰۳)؛ از این‌رو علاوه بر اهمیت بعد اقتصادی، توجه به ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی ضروری و الزامی است. از سویی دیگر، با توجه به مزایای بلاک‌چین در زمینه‌های مختلفی همچون ردیابی محصولات و ضایعات تولید شده (Paliwal et al., 2020)، ایجاد اطمینان در خریداران از طریق ارائه سابقه شفاف از تاریخچه محصولات تولید شده (Yadav & Singh, 2020)، کاهش هزینه‌ها از طریق کاهش وابستگی به واسطه‌ها و برقراری تراکنش‌های مستقیم میان اعضای زنجیره تأمین (Yousefi & Tosarkani, 2022)، کنترل کیفیت محصولات تولید شده (Rejeb & Rejeb, 2020) و ... بلاک‌چین می‌تواند تضمین‌کننده پایداری در زنجیره تأمین مواد غذایی به شمار رود. در دهه گذشته مطالعات بسیاری در حوزه بلاک‌چین و زنجیره تأمین پایدار صورت گرفته است. در اکثر مطالعات شناسایی و رتبه‌بندی موانع و چالش‌های بکارگیری و استقرار بلاک‌چین در زنجیره تأمین پایدار (Liu et al., 2021)، بررسی عوامل مؤثر بر استقرار بلاک‌چین در زنجیره تأمین پایدار (Zhang et al., 2022)، بررسی تأثیر بلاک‌چین و مزایای حاصل از آن در پایداری زنجیره تأمین (Khanfar et al., 2021)، مرور سیستماتیک به منظور شناسایی اثرات فناوری بلاک‌چین در بخش‌های مختلف زنجیره تأمین پایدار (Yadav & Singh, 2020) و ... مورد بررسی قرار گرفته است. در بین مطالعات صورت گرفته کمتر مطالعه‌ای به بررسی چگونگی نقش بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین و نحوه ارتباط میان عوامل اثرگذار بر پایداری زنجیره تأمین پرداخته است (Difrancesco et al., 2023)؛ بنابراین، در پژوهش حاضر، علاوه

بر شناسایی عوامل اثرگذار بر پایداری زنجیره تأمین و بررسی نقش بلاک‌چین در هر یک از عوامل شناسایی شده، ارتباط میان عوامل و نحوه تعامل آن‌ها با یکدیگر به منظور ارائه مدلی مناسب در راستای پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به شکاف پژوهشی موجود و مزایای بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین، هدف از انجام این پژوهش بررسی چگونگی نقش بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین در صنعت مواد غذایی است.

در حال حاضر تحقیقات داخلی و خارجی متفاوتی پیرامون کاربرد استفاده از فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین انجام شده است. سجادیان و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی بکارگیری بلاک‌چین در زنجیره تأمین پایدار حوزه سلامت پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که متغیر رمزگذاری داده‌ها با ضریب ۲/۰۳ بیشترین تاثیرگذاری و متغیر مقیاس‌پذیری با ضریب ۲/۲۰ بیشترین اثرپذیری را داشتند. از بین ۱۵ عامل، متغیر استاندارد سازی و توسعه بسترهای نرم افزاری با ضریب ۲/۹۷ بیشترین درجه مرکزیت را داشتند. کیانی هرچگانی (۱۴۰۲) به شناسایی موانع تکنولوژی بلاک‌چین در زنجیره تأمین پایدار در شرکت ورق خودرو چهارمحال و بختیاری پرداخت. در این پژوهش دسته بندی موانع در قالب هفت مضمون اصلی ایجاد شد که شامل عدم تعهد مدیران، موانع پایداری، موانع خارج از سازمان، عدم آشنایی کارکنان با بلاک چین، نبود قوانین مشخص، موانع داخلی، موانع زیر ساختی می باشند. حسینی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی عوامل موثر بر زنجیره تأمین پایدار با رویکرد بلاک‌چین مبتنی بر نقشه شناختی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که ضریب بهبود عملکرد محیطی با ۶/۸۴۴ درجه بیشترین مرکزیت و ضریب شفافیت با ۰/۹۵۸ درجه کمترین مرکزیت را دارند. همچنین بهبود عملکرد محیطی بیشترین تاثیر و بیشترین اثربخشی را داشت. با توجه به نتایج این تحقیق، به مدیران توصیه شد برای شفافیت عملکرد، کاهش هزینه، افزایش اعتماد به تراکنش‌ها و امنیت بهتر به فناوری بلاک‌چین در حال ظهور توجه ویژه‌ای داشته باشند. (Yousefi & Tosarkani, 2022) به بررسی بهبود عملکرد ناشی از اجرای بلاک‌چین برای رسیدگی به مشکل محافظه‌کاری مدیریتی و پذیرش این فناوری پرداختند. در این مطالعه، یک رویکرد تحلیلی برای شناسایی توانمندسازهای پذیرش فناوری بلاک‌چین و تحلیل تاثیر آن‌ها بر عملکرد زنجیره تأمین پیشنهاد شد. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که فناوری بلاک‌چین می تواند با ایجاد قراردادهای هوشمند و افزایش پایداری، ردیابی و شفافیت محیطی، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد زنجیره تامین مواد معدنی داشته باشد. (Roy et al., 2022) به بررسی کاربرد بلاک‌چین در زنجیره تأمین مواد غذایی پایدار در هند پرداختند. نتایج این پژوهش، مثبت بودن پذیرش فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین مواد غذایی را نشان می‌دهد. (Park & Li, 2021) در مقاله خود بر مدیریت زنجیره تأمین و عملکرد پایدار آن در زمینه‌های حفاظت از محیط‌زیست، برابری اجتماعی و کارایی حاکمیت متمرکز شدند. در این پژوهش، میزان بهبود سه شاخص پایداری در طول زنجیره تأمین مبتنی بر فناوری بلاک‌چین، مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که فناوری بلاک‌چین مدیریت ضایعات را بهبود می‌بخشد و ایمنی، سلامت مواد غذایی را در طول زنجیره تأمین مواد غذایی فراهم می‌کند. (Khanfar et al., 2021) به بررسی سیستماتیک کاربردهای فناوری بلاک‌چین در تولید پایدار و مدیریت زنجیره تأمین پرداختند. یافته‌های این پژوهش به گسترش از درک کاربردهای بلاک‌چین در تولید پایدار و زنجیره تأمین پایدار کمک می‌کند و توضیح می‌دهد که چگونه بلاک‌چین می‌تواند با ایجاد شفافیت، قابلیت ردیابی، اشتراک‌گذاری اطلاعات در زمان واقعی و امنیت قابلیت‌های داده، بر عملکرد پایدار تولیدکنندگان تأثیر بگذارد. (Korepin et al., 2021) مطالعه‌ای با هدف توسعه مکانیزمی جهت بهبود قابلیت اطمینان زنجیره تأمین با استفاده از فناوری بلاک‌چین انجام دادند. یافته‌ها نشان داد که بلاک‌چین تبادل داده‌ها را بین شرکت‌کنندگان شبکه بهبود می‌بخشد و آن‌ها را شفاف، قابل دسترس، تغییرناپذیر و ایمن می‌کند. همچنین مشخص شد که بلاک‌چین تأثیر مثبتی بر همکاری زنجیره تأمین دارد. (Joo & Han, 2021) در مطالعه‌ای شواهدی از اعتماد توزیع شده در زنجیره تأمین مواد غذایی پایدار مبتنی بر بلاک‌چین ارائه دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که شفافیت تاثیر قابل توجهی بر رضایت کاربران دارد. همچنین، اعتماد توزیع شده نقش میانجی را در روابط بین سه عامل

تعیین‌کننده و رضایت ایفا می‌کند. (Di Vaio & Varriale, 2020) در تحقیقی تحت عنوان فناوری بلاک چین در مدیریت زنجیره تأمین برای عملکرد پایدار در صنعت فرودگاه، به بررسی پیامدهای اصلی فناوری بلاک چین برای مدیریت عملیات با تمرکز بر فرآیندهای تصمیم‌گیری در مدیریت زنجیره تأمین از منظر عملکرد پایدار پرداختند. این مطالعه صنعت فرودگاه را از منظر عملکرد پایدار و تجزیه و تحلیل داده‌ها با خواندن و پردازش صورت‌های مالی، گزارش‌های غیرمالی و وب‌سایت زیرساخت‌های استراتژیک فرودگاهی در جنوب ایتالیا پوشش داد. بلاک-چین از شیوه‌های پایدار با ایجاد یک زنجیره تأمین قابل اعتماد، شفاف، قابل ردیابی و ایمن پشتیبانی می‌کند. با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد فناوری بلاک‌چین در زنجیره تأمین پایدار عوامل متفاوتی استخراج شده که در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. عوامل زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر بلاک‌چین

ردیف	عامل پایداری		تعریف	منبع
۱	اقتصادی	قابلیت اطمینان	با استفاده از بلاک‌چین، می‌توان تاریخچه محصولات و مواد غذایی مختلف را به صورت شفاف و قابل اعتماد ثبت کرد. هرگاه یک محصول در زنجیره تأمین ثبت شود، اطلاعات آن در یک بلاک جدید به لایه بلاک‌چین اضافه می‌شود و نمی‌توان آن را تغییر داد یا حذف کرد. این امر به تأیید اصالت محصولات و جلوگیری از تقلب کمک کرده و قابلیت اطمینان را در زنجیره تأمین مواد غذایی تضمین می‌کند.	(Braccini & Margherita, ۲۰۱۸; Korepin, Dzenzeliuk, Seryshev, & Rogulin, ۲۰۲۱; Pandey, Pratap, Dwivedi, & Khan, ۲۰۲۵)
۲		پاسخگویی	با استفاده از بلاک‌چین، تمام اعضای زنجیره تأمین به اطلاعات به‌روز و دقیقی در مورد محصولات، موجودی‌ها، تغییرات قیمت و سایر جزئیات دسترسی دارند. این امکان به طرفین زنجیره تأمین کمک می‌کند تا به سرعت به تغییرات پاسخ دهند و تصمیمات مناسب را بگیرند. به علاوه، بلاک‌چین به عنوان یک سیستم توزیع شده، تراکنش‌ها را به صورت مستقیم بین اعضای زنجیره تأمین انجام می‌دهد و نیازی به واسطه‌ها و فرآیندهای پیچیده ندارد. این موضوع باعث افزایش سرعت انجام تراکنش‌ها و کاهش تأخیرها در زنجیره تأمین می‌شود. با سرعت بالا و کاهش تاخیرها، زمان پاسخگویی به سفارشات و درخواست‌ها بهبود می‌یابد.	(Khanfar et al., ۲۰۲۱; Nandi et al., ۲۰۲۱)
۳		عملکرد مالی	بلاک‌چین می‌تواند با در دسترس بودن منابع مالی، به اعضای زنجیره تأمین در صنعت مواد غذایی کمک کند. با استفاده از بلاک‌چین، اعضا می‌توانند به صورت مستقیم با سرمایه‌گذاران و حمایت‌کنندگان مالی در ارتباط با پروژه‌ها و فعالیت‌های پایدار ارتباط برقرار کنند و منابع مالی لازم را تأمین کنند. همچنین بلاک‌چین امکان ردیابی دقیق و شفاف مسیر غذا از مزرعه تا میز مصرف را فراهم می‌کند. این امر به اعضای زنجیره تأمین و نهایتاً به مصرف‌کنندگان اطمینان می‌دهد که محصولاتی که مصرف می‌کنند، از منابع پایدار و با رعایت استانداردهای بهداشتی و ایمنی تولید شده‌اند.	(Di Vaio & Varriale, ۲۰۲۰; Ghahremani-Nahr, Aliahmadi, & Nozari, ۲۰۲۲; Mhlanga & Shao, ۲۰۲۵)
۴		کیفیت	با استفاده از بلاک‌چین، ریسک‌های مربوط به کیفیت محصولات غذایی کاهش می‌یابد. با ردیابی دقیق و شفاف مسیر غذا، می‌توان به سرعت مشکلاتی مانند آلودگی، نقص کیفیت و تقلب را شناسایی کرد و اقدامات اصلاحی مناسب را به موقع انجام داد. این امر به تولیدکنندگان امکان می‌دهد تا به صورت سریع‌تر واکنش نشان دهند و مسائل کیفیت را در مراحل زودهنگام متوقف کنند. از سویی دیگر بلاک‌چین به تمامی شرکای زنجیره تأمین پایدار غذایی امکان همکاری بهتر و مشارکت در بهبود کیفیت محصولات را می‌دهد. با به اشتراک گذاری اطلاعات مربوط به کیفیت و روند تولید در بستر بلاکچین، شرکای زنجیره تأمین می‌توانند به صورت همزمان و هماهنگ در جهت بهبود کیفیت محصولات فعالیت کنند.	(Sahoo et al., ۲۰۲۲; Yousefi & Tosarkani, ۲۰۲۲)

۵	زیست-محیطی	استفاده از منابع	در صنعت غذایی، می‌توان با استفاده از بلاک‌چین، اطلاعات مربوط به مبدأ و روند تولید مواد اولیه مانند محصولات کشاورزی را ردیابی کرد. این امر به تولیدکنندگان امکان می‌دهد تا به صورت دقیق منابع زیست محیطی مورد استفاده خود را مشخص کنند. با داشتن داده‌های دقیق و شفاف در بلاک‌چین، می‌توان بهبودهایی در مصرف منابع مانند آب، انرژی و مواد اولیه داشت. مصرف کنندگان همچنین می‌توانند با دسترسی به اطلاعات در بلاک‌چین، رفتارهای مصرفی خود را تغییر داده و از منابع زیست محیطی به صورت بهینه استفاده کنند.	(Parung, ۲۰۱۹; Varriale et al., ۲۰۲۰)
۶		آلودگی	بلاک‌چین امکان ردیابی دقیق و شفافیت بیشتر را در زنجیره تأمین غذایی فراهم می‌کند. این فناوری به تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان امکان می‌دهد تا مراحل تولید، حمل و نقل، ذخیره‌سازی و توزیع محصولات را به دقت ردیابی کنند. با این ردیابی دقیق، می‌توان آلودگی‌ها را به سرعت تشخیص داد و مسئولان را قادر به مداخله و اصلاح آن‌ها کرد. همچنین بلاک‌چین می‌تواند تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان را به استفاده از روش‌ها و فناوری‌های پایدار تشویق کند. با ردیابی منابع و روند تولید در بلاک‌چین، می‌توان تضمین کرد که منابعی که در تولید غذا استفاده می‌شوند، مطابق با استانداردهای زیست‌محیطی بوده و آلودگی را به حداقل ممکن می‌رسانند. این امر باعث می‌شود تا تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان ترغیب شوند که از روش‌ها و فناوری‌های پایدارتری استفاده کنند که به کاهش آلودگی محیطی منجر می‌شود.	(Khanfar, Iranmanesh, Ghobakhloo, Senali, & Fathi, ۲۰۲۱; Upadhyay, Mukhuty, Kumar, & Kazancoglu, ۲۰۲۱; Yao, Liu, & Tian, ۲۰۲۵)
۷		جلوگیری از اتلاف انرژی	بلاک‌چین امکان بهینه‌سازی حمل و نقل محصولات را فراهم می‌کند. با استفاده از بلاک‌چین، می‌توان مراحل حمل و نقل محصولات را بهینه‌سازی کرده و مسیرهای کوتاه‌تر و بهینه را انتخاب کرد. این کاهش در مسافت حمل و نقل منجر به کاهش مصرف سوخت و انرژی مورد نیاز برای انتقال محصولات می‌شود. بلاک‌چین همچنین می‌تواند به اشتراک‌گذاری اطلاعات بین اعضای زنجیره تأمین کمک کند. با این رویکرد، امکان به اشتراک‌گذاری روش‌ها و تجارب موفق در کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری فراهم می‌شود. به گونه‌ای که این اشتراک اطلاعات می‌تواند به بهبود عملکرد صنعت غذایی از لحاظ محیط‌زیستی و کاهش اتلاف انرژی کمک کند.	(Almutairi et al., ۲۰۲۳; Munir et al., ۲۰۲۲)
۸	اجتماعی	شرایط کاری	بلاک‌چین می‌تواند به افزایش شفافیت در زنجیره تأمین کمک کند. اطلاعات مربوط به شرایط کاری، وضعیت دانش و مهارت کارکنان، حقوق کارگران، وضعیت اجتماعی و سایر جنبه‌های اجتماعی مرتبط با صنعت غذایی می‌توانند در بلاک-چین ثبت شده و به طور علنی در دسترس قرار بگیرند. این شفافیت می‌تواند به تسهیل ارزیابی و رصد شرایط کاری و اجتماعی، ارتقاء عدالت و بهبود شرایط کاری برای کارگران کمک کند.	(Kang, Tan, Chan, & Kong, ۲۰۲۵; Park & Li, ۲۰۲۱)
۹		حقوق بشر	با استفاده از بلاک‌چین، می‌توان هویت کارگران در زنجیره تأمین را تأیید کرد. اطلاعاتی مانند مدارک تحصیلی، تجربه کاری، سوابق حرفه‌ای و مجوزهای مرتبط با کارگران می‌توانند در بلاک‌چین ثبت شده و به صورت امن در دسترس قرار بگیرند. این اعتمادسازی در تأیید هویت کارگران می‌تواند به جلوگیری از بهره‌برداری غیرقانونی از نیروی کار، کار کودکان و نقض حقوق کارگران کمک کند. همچنین بلاک‌چین می‌تواند به افزایش شفافیت در زنجیره تأمین کمک کند. اطلاعات مرتبط با شرایط کاری، حقوق کارگران، اجبار کاری، کار کودکان و سایر نقاط ضعف در زنجیره تأمین می‌توانند در بلاک‌چین ثبت شده و به صورت عمومی در دسترس قرار بگیرند. این شفافیت می‌تواند به شناسایی نقاط ضعف، ارتقای عدالت و تضمین حقوق کارگران در صنعت غذایی کمک کند.	(Park & Li, ۲۰۲۱; Rejeb & Rejeb, ۲۰۲۰; Saberi et al., ۲۰۱۹)
۱۰		تعهد اجتماعی	بلاک‌چین می‌تواند به ردیابی دقیق محصولات در طول زنجیره تأمین کمک کند. با استفاده از تکنولوژی بلاک‌چین، می‌توان مسیر تولید و توزیع محصول را از ابتدا	(Sahoo et al., ۲۰۲۲)

		تا انتها ردیابی کرد و اطمینان حاصل کرد که محصولات مورد نظر با استانداردهای اجتماعی تعهد شده تولید شده‌اند. این ردیابی دقیق می‌تواند به تأیید منشأ محصولات، ارزش‌های اجتماعی و محیط‌زیستی و تعهدات مرتبط با آنها کمک کند. بلاک‌چین می‌تواند به ایجاد شبکه‌های همکاری و اشتراک منافع در زنجیره تأمین کمک کند. با استفاده از بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند، می‌توان شرکت‌ها و سازمان‌ها را به یکدیگر همراهی کرده و تعاملات را بر اساس تعهدات اجتماعی سازماندهی کرد. این اشتراک منافع و همکاری می‌تواند به بهبود شرایط کارگران، توسعه پایدار و بهره‌وری اجتماعی در زنجیره تأمین غذایی منجر شود.	
۱۱	مسائل مربوط به مصرف‌کنندگان	بلاک‌چین می‌تواند به افزایش شفافیت در زنجیره تأمین غذایی کمک کند. اطلاعات مرتبط با محصولات شامل منشأ، روند تولید، روش‌های کشت و دامپروری، استفاده از مواد شیمیایی، روش‌های فرآوری و سایر اطلاعات مرتبط می‌توانند در بلاک‌چین ثبت شده و به صورت عمومی در دسترس قرار بگیرند. این امر به مصرف‌کنندگان اطمینان می‌دهد که محصولاتی که مصرف می‌کنند، با استانداردهای مورد نیاز تولید شده‌اند و اعتماد عمومی را به صنعت غذایی افزایش می‌دهد. همچنین بلاک‌چین می‌تواند به مشارکت مستقیم مصرف‌کنندگان در زنجیره تأمین غذایی کمک کند. از طریق بلاک‌چین، مصرف‌کنندگان می‌توانند به صورت مستقیم با تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان در ارتباط و با آنها تعامل داشته باشند. این امر به مصرف‌کنندگان این امکان را می‌دهد تا نظارت بیشتری بر زنجیره تأمین غذایی و بهبود آن داشته باشند.	(Agrawal et al., ۲۰۲۱; Ghobakhloo, ۲۰۲۰)

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی است چرا که در این پژوهش، توسعه دانش و کاربرد عملی آن در جهت بکارگیری بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین صنعت غذایی کشور مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین این پژوهش از نظر ماهیت و روش، توصیفی- علی بوده چرا که علاوه بر بررسی وضعیت موجود صنعت غذایی کشور نسبت به پایداری زنجیره تأمین، عوامل اثرگذار بر آن قبل از انجام پژوهش مشخص نبوده و در حین اجرای آن شناسایی شده است. از سویی دیگر به دلیل استفاده از پرسشنامه جهت گردآوری داده‌ها، این پژوهش از دسته پژوهش‌های پیمایشی به شمار می‌رود. ابتدا با مرور پیشینه پژوهش، عوامل اثرگذار بر بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین صنعت غذایی کشور شناسایی شده و در ادامه با استفاده از نظرات ۲۰ نفر از خبرگان دانشگاهی و صنعتی در این حوزه مورد بررسی و بومی‌سازی قرار گرفت. خبرگان دانشگاهی این بخش اساتید دانشگاهی بوده‌اند که در زمینه زنجیره تأمین و بلاک‌چین در طی چند سال اخیر سابقه فعالیت‌های تحقیقاتی مختلف داشته‌اند. همچنین خبرگان صنعتی شامل مدیران و سرپرستان صنعت مواد غذایی کشور با حداقل سابقه کار پنج سال بوده‌اند که با استفاده از روش نمونه‌گیری قضاوتی انتخاب شدند. در ادامه و در مرحله اول به منظور برقراری ارتباط میان عوامل شناسایی شده در پژوهش، اقدام به طراحی پرسشنامه مقایسه زوجی گردید. به منظور پاسخ به سؤالات پرسشنامه از ۱۵ نفر از خبرگان به روش نمونه‌گیری گلوله برفی نظرخواهی شد. مشخصات خبرگان به صورت جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات خبرگان

ردیف	سابقه کاری	مدرک تحصیلی	موقعیت کاری
۱	۹ سال	لیسانس	کارشناس کنترل کیفیت
۲	۱۳ سال	لیسانس	کارشناس کنترل کیفیت
۳	۱۵ سال	لیسانس	سرپرست خط تولید
۴	۱۷ سال	فوق لیسانس	مدیر تولید
۵	۹ سال	لیسانس	کارشناس تحقیق و توسعه

کارشناس بسته‌بندی مواد غذایی	لیسانس	۱۴ سال	۶
کارشناس ایمنی مواد غذایی	لیسانس	۱۱ سال	۷
تکنسین خطوط تولید غذایی	لیسانس	۷ سال	۸
کارشناس برنامه‌ریزی تولید	لیسانس	۱۱سال	۹
مدیر فروش	فوق لیسانس	۱۵ سال	۱۰
کارشناس فروش	لیسانس	۱۱ سال	۱۱
استاد دانشگاه	دکتری	۱۲ سال	۱۲
استاد دانشگاه	دکتری	۸ سال	۱۳
استاد دانشگاه	دکتری	۱۰ سال	۱۴
استاد دانشگاه	دکتری	۱۳ سال	۱۵

در رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری تعداد ۸ الی ۱۵ نفر به منظور پاسخ به پرسشنامه مقایسه زوجی کافی است (Meher & Mishra, 2019). در ادامه به منظور ارائه مدل مفهومی پژوهش از رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری بهره گرفته شده است. گام‌های مدل‌سازی ساختاری تفسیری به شرح زیر ارائه شده است (Dhir & Dhir, 2020).

الف) تشکیل ماتریس خود تعاملی ساختاری:

در گام اول نحوه ارتباط میان عوامل اثرگذار بر بکارگیری بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین مورد بررسی قرار گرفته است. در این گام از نمادهای مختلف ریاضی به منظور نشان دادن ارتباط میان عوامل اثرگذار بر بکارگیری بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی استفاده شده است. نحوه استفاده از نمادهای ریاضی به صورت زیر نشان داده شده است.

V: i منجر به j می‌شود

V: J منجر به i می‌شود

X: برای نشان دادن تأثیر دوطرفه بین i و j

O: برای نشان دادن عدم تأثیر بین i و j

ب) ایجاد ماتریس دستیابی اولیه: پس از تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری، ماتریس دستیابی اولیه ایجاد می‌شود. نحوه ایجاد ماتریس دستیابی اولیه به صورت جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. نحوه ایجاد ماتریس دستیابی اولیه

عدد مربوطه در قرینه خانه (i j)	عدد مربوطه در خانه (i j)	خانه (i j)
۰	۱	V
۱	۰	A
۱	۱	X
۰	۰	O

ج) تشکیل ماتریس دستیابی نهایی: با توجه به برقراری رابطه تعاملی بین عناصر ماتریس دستیابی اولیه می‌بایست سازگار شود. بدین منظور باید ماتریس اولیه را به توان $k+1$ رساند، به‌طوری که حالت پایدار برقرار شود. بدین ترتیب برخی عناصر صفر تبدیل به ۱ خواهد شد که به صورت (۱*) نشان داده می‌شود.

د) تعیین سطح شاخص‌ها: پس از شناسایی مجموعه قابل دستیابی (خروجی) و مجموعهٔ مقدم (ورودی) برای هر عامل و تعیین مجموعهٔ مشترک، سطح‌بندی عوامل مورد بررسی قرار گرفته است. مجموعهٔ قابل دستیابی برای هر عامل، مجموعه‌ای است که در آن اعداد درون سطرهای ماتریس دستیابی نهایی به صورت یک و مجموعه مقدم، مجموعه‌ای است که در آن ستون‌ها به‌صورت یک نشان داده شده باشند. با به دست آوردن اشتراک این دو مجموعه، مجموعه مشترک به دست خواهد آمد. عناصری که مجموعه مشترک با مجموعه قابل دستیابی یکسان باشد، سطح اول اولویت را به خود تخصیص می‌دهند. با حذف این عناصر و تکرار این مرحله برای سایر عوامل، سطح کلیه عوامل تعیین خواهد شد.

هـ) ترسیم مدل ساختاری تفسیری: براساس سطوح تعیین شده و ماتریس دستیابی نهایی، مدل پژوهش ارائه خواهد شد. .

در ادامه با استفاده از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری و نرم افزار Smart PLS3 اعتبار و برازش مدل ارائه شده مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور پرسشنامه‌ای شامل ۳۸ سوال بر اساس ادبیات مرتبط با موضوع پژوهش طراحی و در اختیار خبرگان، مدیران و کارکنان صنعت غذایی کشور با استفاده از روش نمونه‌گیری در دسترس قرار گرفت. با توجه به رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری حجم نمونه مورد استفاده در این پژوهش از رابطه $5q < n < 15q$ که در آن q تعداد سوالات پرسش‌نامه و n اندازه نمونه می‌باشد، به دست آمده است (هومن،۱۳۹۷). با توجه به تعداد ۳۸ سوال طراحی شده، ۳۵۰ پرسشنامه توزیع که از این میان تعداد ۳۱۲ پرسشنامه بازگشت داده شد. برای تعیین روایی در این پژوهش از ابزار روایی همگرا[1] بهره گرفته شده است. روایی همگرا بیانگر میزان همبستگی سوالات طراحی شده مرتبط با متغیر مورد نظر است/. بدین منظور از دو معیار ضرایب بار عاملی[2] و میانگین واریانس به اشتراک[3] گذاشته استفاده شده است. حد قابل قبول برای این دو معیار به ترتیب ۰/۴ و ۰/۵ می‌باشد (Hair Jr et al., 2021). همچنین برای بررسی پایایی پرسشنامه پژوهش از معیارهای آلفای کرونباخ[4] و پایایی ترکیبی[5] استفاده شده است. آلفای کرونباخ بیانگر میزان همبستگی یک سازه و شاخص‌های مربوط به آن است. همچنین معیار پایایی ترکیبی، پایایی سازه‌ها را نه به صورت مطلق بلکه با توجه به همبستگی سازه‌هایشان با یکدیگر محاسبه می‌کند. مقدار کناسب برای این دومعیار عدد بالاتر از ۰/۷ است (Kineber et al., 2021). نتایج حاصل از مقادیر پایایی و روایی به صورت جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. مقادیر پایایی و روایی

پایایی ترکیبی	آلفای کرونباخ	AVE	ضرایب بار عاملی	گویه‌های مرتبط با هر متغیر	متغیرهای پژوهش
۰/۹۱۰	۰/۸۵۱	۰/۷۷۰	۰/۸۸۶	Q۱	شرایط کاری
			۰/۸۷۲	Q۲	
			۰/۸۷۴	Q۳	
۰/۹۲۰	۰/۸۸۴	۰/۷۴۳	۰/۸۵۳	Q۴	استفاده از منابع
			۰/۸۶۳	Q۵	
			۰/۸۷۵	Q۶	
			۰/۸۵۷	Q۷	
۰/۹۰۵	۰/۷۴۲	۰/۷۶۰	۰/۸۶۰	Q۸	پاسخگویی
			۰/۸۸۲	Q۹	
			۰/۸۷۴	Q۱۰	

[1] Convergent validity
[2] Outer Loadings
[3] Average Variance Extracted (AVE)
[4] Cronbach’s Alpha
[5] Composite Reliability (CR)

حقوق بشر	Q۱۱	۰/۸۸۰	۰/۷۶۹	۰/۸۵۰	۰/۹۰۹
	Q۱۲	۰/۸۷۸			
	Q۱۳	۰/۸۷۲			
تعهد اجتماعی	Q۱۴	۰/۸۷۹	۰/۷۵۷	۰/۸۳۹	۰/۹۰۳
	Q۱۵	۰/۸۵۵			
	Q۱۶	۰/۸۷۶			
قابلیت اطمینان	Q۱۷	۰/۸۵۶	۰/۷۴۴	۰/۸۸۵	۰/۹۲۱
	Q۱۸	۰/۸۶۱			
	Q۱۹	۰/۸۶۸			
	Q۲۰	۰/۸۶۵			
جلوگیری از اتلاف انرژی	Q۲۱	۰/۸۷۵	۰/۷۴۱	۰/۸۸۳	۰/۹۲۰
	Q۲۲	۰/۸۴۷			
	Q۲۳	۰/۸۵۲			
	Q۲۴	۰/۸۶۹			
آلودگی	Q۲۵	۰/۸۸۶	۰/۷۸۰	۰/۸۵۹	۰/۹۱۴
	Q۲۶	۰/۸۷۱			
	Q۲۷	۰/۸۹۲			
مسائل مربوط به مصرف‌کنندگان	Q۲۸	۰/۸۵۶	۰/۷۴۴	۰/۸۸۵	۰/۹۲۱
	Q۲۹	۰/۸۵۷			
	Q۳۰	۰/۸۶۸			
	Q۳۱	۰/۸۷۰			
کیفیت	Q۳۲	۰/۸۷۳	۰/۷۷۴	۰/۸۵۴	۰/۹۱۱
	Q۳۳	۰/۸۷۳			
	Q۳۴	۰/۸۹۲			
عملکرد مالی	Q۳۵	۰/۸۵۹	۰/۷۳۲	۰/۸۸۹	۰/۹۱۹
	Q۳۶	۰/۸۵۵			
	Q۳۷	۰/۸۵۲			
	Q۳۸	۰/۸۷۳			

با توجه به مقادیر به دست آمده در جدول ۴ پایایی و روایی پرسشنامه پژوهش تأیید شده است. به منظور برازش مدل ساختاری از معیارهای Q^2 و R^2 و F^2 پژوهش اقدام گردیده است. معیار Q^2 مرتبط با سازه‌های درون‌زا بوده که قدرت پیش‌بینی مدل را تعیین می‌کند. در مورد شدت قدرت پیش‌بینی مدل در مورد سازه‌های درون‌زا، سه مقدار ۰/۰۲، ۰/۱۵ و ۰/۳۵ تعیین شده است. معیار R^2 نیز همانند معیار Q^2 تنها برای سازه‌های درون‌زای (وابسته) مدل محاسبه می‌شود و در مورد سازه‌های برون‌زا (مستقل) مقدار این معیار صفر است. سه مقدار ۰/۱۹، ۰/۳۳ و ۰/۶۷ به عنوان معیار برای مقادیر ضعیف، متوسط و قوی R^2 معرفی شده است معیار F^2 شدت تأثیر را مورد بررسی قرار می‌دهد. مقدار این متغیر بین صفر تا یک است. سه مقدار ۰/۰۲، ۰/۱۵ و ۰/۳۵ به ترتیب نشان‌دهنده اندازه تأثیر کوچک، متوسط و بزرگ است (Lin & Powell, 2021). برازش کلی مدل با شاخص ریشه میانگین مربعات باقی‌مانده استاندارد شده[1] مورد سنجش قرار گرفته است. SRMR تفاوت استاندارد شده بین همبستگی مشاهده شده و مورد انتظار را نشان می‌دهد (Dash & Paul, 2021). مقدار این شاخص بین صفر تا یک متغیر بوده و به هر میزان که کوچکتر باشد بیانگر برازش بیشتر کل مدل است. خط برش این شاخص هشت درصد است. به

[1] Standardized Root Mean Square Residual (SRMR)

عبارت دیگر چنانچه SRMR یک مدل ۸ درصد یا کمتر باشد بیانگر برازش کلی بالای مدل و هرقدر که بیشتر از ۸ درصد باشد بیانگر برازش کمتر مدل است (Mai et al., 2021).

نتایج

با توجه به عوامل به دست آمده و اثر گذار بر بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین در صنعت غذایی کشور و همچنین نظرات خبرگان مقایسه زوجی ارتباط بین این عوامل به صورت جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵. ماتریس خود تعاملی ساختاری

	قابلیت اطمینان	پاسخگویی	عملکرد مالی	کیفیت	استفاده از منابع	آلودگی	جلوگیری از اتلاف انرژی	شرایط کاری	حقوق بشر	تعهد اجتماعی	مسائل مربوط به مصرف کنندگان
قابلیت اطمینان	O	V	V	A	A	V	V	A	A	A	V
پاسخگویی			V	V	A	V	V	A	V	V	V
عملکرد مالی				A	A	A	A	A	A	A	A
کیفیت					A	A	A	A	A	A	A
استفاده از منابع						V	V	O	V	V	V
آلودگی							A	A	A	A	V
جلوگیری از اتلاف انرژی								A	O	A	V
شرایط کاری									V	V	V
حقوق بشر										X	V
تعهد اجتماعی											V
مسائل مربوط به مصرف‌کنندگان											

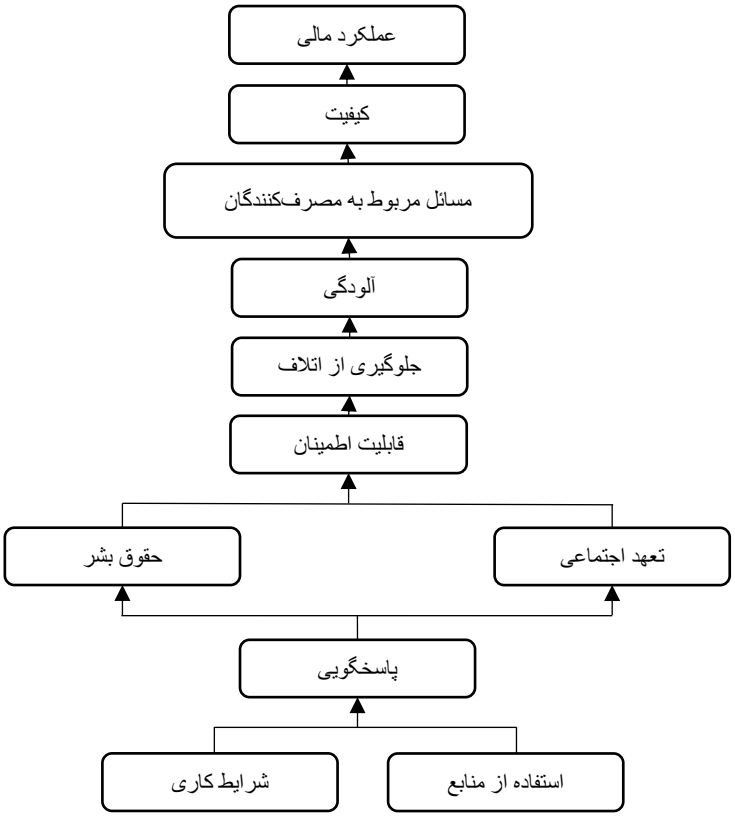
با استفاده از جدول ۵ ماتریس دستیابی اولیه تشکیل داده شد و سپس جدول دستیابی نهایی بر اساس آن به دست آمد. برای تعیین سطح ابعاد مطابق با آنچه در روش تحقیق بیان شد نیاز به شناسایی، مجموعه‌های دست‌یابی، مقدم و مشترک است که در جدول ۶ تعیین شده است.

جدول ۶ تعیین سطوح عوامل زنجیره تأمین پایدار مبتنی بر بلاک‌چین

سطح	مجموعه مشترک	مجموعه مقدم	مجموعه دستیابی	عوامل
۱	{۱}	{۱۰ و ۹ و ۸ و ۵ و ۲ و ۱}	{۱۱ و ۷ و ۶ و ۴ و ۳ و ۱}	۱- قابلیت اطمینان
۸	{۲}	{۸ و ۵ و ۲}	{۱۱ و ۱۰ و ۹ و ۷ و ۶ و ۴ و ۳ و ۱}	۲- پاسخگویی
۶	{۳}	{۱۱ و ۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱}	{۳}	۳- عملکرد مالی
۸	{۴}	{۱۱ و ۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۶ و ۵ و ۴ و ۲ و ۱}	{۴ و ۳}	۴- کیفیت
۷	{۵}	{۵}	{۱۱ و ۱۰ و ۹ و ۷ و ۶ و ۵ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱}	۵- استفاده از منابع
۵	{۶}	{۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۶ و ۵ و ۲ و ۱}	{۱۱ و ۶ و ۴ و ۳}	۶- آلودگی
۶	{۷}	{۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۵ و ۲ و ۱}	{۱۱ و ۷ و ۶ و ۴ و ۳}	۷- جلوگیری از اتلاف انرژی
۱	{۸}	{۸}	{۱۱ و ۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۶ و ۴ و ۳ و ۲ و ۱}	۸- شرایط کاری

۴	{۱۰ و ۹}	{۱۰ و ۹ و ۸ و ۵ و ۲}	{۱۱ و ۱۰ و ۹ و ۷ و ۶ و ۴ و ۳ و ۱}	۹- حقوق بشر
۲	{۹ و ۱۰}	{۱۰ و ۹ و ۸ و ۵ و ۲}	{۱۱ و ۱۰ و ۹ و ۷ و ۶ و ۴ و ۳ و ۱}	۱۰- تعهد اجتماعی
۵	{۱۱}	{۱۱ و ۱۰ و ۹ و ۸ و ۷ و ۶ و ۵ و ۲ و ۱}	{۱۱ و ۴ و ۳}	۱۱- مسائل مربوط به مصرف-کنندگان

با توجه به جدول ۶ و بر اساس سه مجموعه مقدم، مشترک و دستیابی، سطح‌بندی عوامل اثرگذار بر بکارگیری بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین صورت پذیرفته است. همان‌گونه که در جدول ۶ مشاهده شده، عوامل اثر گذار بر بکارگیری بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین در ۹ سطح قرار گرفته است. با توجه به جدول ۶، مدل مفهومی پژوهش به صورت شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش

مدل بدست آمده در پژوهش که در شکل ۱ به آن پرداخته شد، به منظور برازش آماری در نرم‌افزار Smart PLS3 قرار داده شد تا با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از ۳۱۲ نفر از کارکنان و مدیران صنعت غذایی کشور، مورد آزمون قرار بگیرد. بر اساس جدول ۷ در این بخش به برازش مدل ساختاری و مقادیر Q^2 و R^2 برای متغیرهای وابسته مدل پژوهش و مقادیر برای تمامی متغیرها اقدام گردیده است.

جدول ۷. معیارهای مرتبط با برازش مدل ساختاری

ردیف	متغیرهای درون‌زا	R^2	Q^2
۱	قابلیت اطمینان	۰/۸۱۶	۰/۴۳۹
۲	پاسخگویی	۰/۸۰۰	۰/۳۹۱
۳	عملکرد مالی	۰/۷۲۰	۰/۳۹۷
۴	کیفیت	۰/۷۶۱	۰/۴۴۸
۵	آلودگی	۰/۷۳۸	۰/۴۳۳
۶	جلوگیری از اتلاف انرژی	۰/۷۶۳	۰/۴۸۷
۷	حقوق بشر	۰/۷۳۹	۰/۴۶۰
۸	تعهد اجتماعی	۰/۷۱۴	۰/۴۶۴

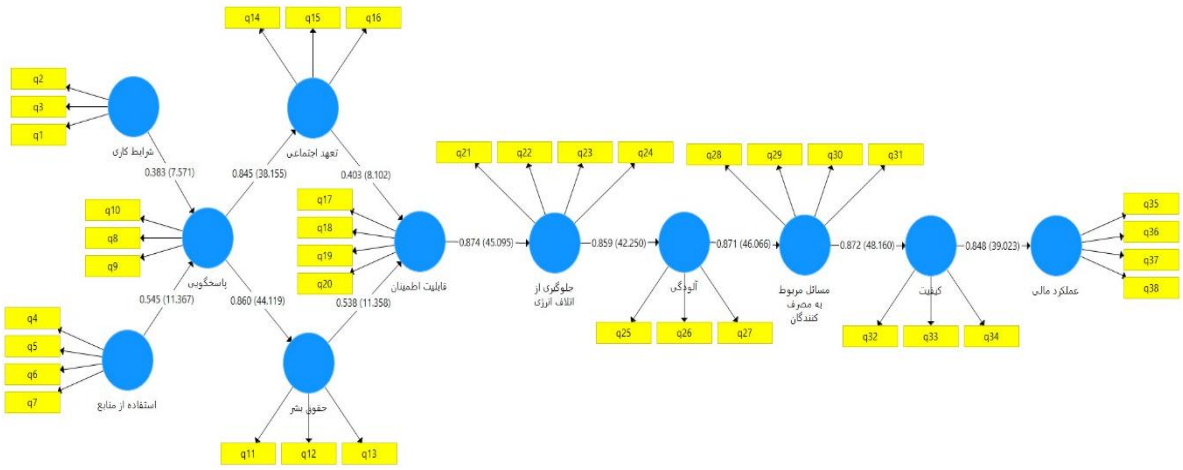
۰/۴۵۴	۰/۷۵۹	مسائل مربوط به مصرف‌کنندگان	۹

با توجه به مقادیر به دست آمده در جدول ۷ نیز برازش مدل ساختاری مورد تأیید قرار گرفته است. به عبارتی دیگر تغییرات متغیرهای وابسته به خوبی توسط متغیرهای مستقل تبیین شده است. به منظور برازش کلی مدل با توجه به مطالب ذکر شده در روش تحقیق از شاخص SRMR استفاده گردیده که مقدار به دست آمده در این پژوهش برابر با ۰/۰۴۴ است که نشان از برازش مناسب کلی مدل این پژوهش دارد. مقادیر آماره تی در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای تمامی مسیرها باید از میزان استاندارد قدرمطلق ۱/۹۶ بالاتر باشد (لین و پاول،۲۰۲۱). در جدول ۸ ضرایب مسیر و آماره تی و همچنین شدت ارتباطات نشان داده شده است.

جدول ۸. نتایج حاصل از آماره تی و ضرایب مسیر

فرضیه	رابطه	جهت رابطه	ضریب مسیر	آماره تی	شدت تأثیر	نتیجه آزمون
۱	آلودگی بر مسائل مربوط به مصرف‌کنندگان	مستقیم	۰/۸۷۱	۴۶/۰۶	۰/۱۸۵	تأیید
۲	استفاده از منابع بر پاسخگویی	مستقیم	۰/۵۴۵	۱۱/۳۶	۰/۳۹۸	تأیید
۳	تعهد اجتماعی بر قابلیت اطمینان	مستقیم	۰/۴۰۳	۸/۱۰	۰/۲۶۴	تأیید
۴	جلوگیری از اتلاف انرژی بر آلودگی	مستقیم	۰/۸۵۹	۴۲/۲۵	۰/۸۱۹	تأیید
۵	حقوق بشر بر قابلیت اطمینان	مستقیم	۰/۵۳۸	۱۱/۳۵	۰/۴۷۰	تأیید
۶	شرایط کاری بر پاسخگویی	مستقیم	۰/۳۸۳	۷/۵۷	۰/۱۹۶	تأیید
۷	قابلیت اطمینان بر جلوگیری از اتلاف انرژی	مستقیم	۰/۸۷۴	۴۵/۰۹	۰/۲۲۶	تأیید
۸	مسائل مربوط به مصرف‌کنندگان بر کیفیت	مستقیم	۰/۸۷۲	۴۸/۱۶	۰/۱۸۱	تأیید
۹	پاسخگویی بر تعهد اجتماعی	مستقیم	۰/۸۴۵	۳۸/۱۵	۰/۵۰۰	تأیید
۱۰	پاسخگویی بر حقوق بشر	مستقیم	۰/۸۶۰	۴۴/۱۱	۰/۸۳۸	تأیید
۱۱	کیفیت بر عملکرد مالی	مستقیم	۰/۸۴۸	۳۹/۰۲	۰/۵۶۸	تأیید

با توجه به اعداد به دست آمده آماره تی بالاتر از ۱/۹۶ در سطح اطمینان ۹۵ درصد در جدول ۸، تمامی روابط میان عوامل اثرگذار بر بکارگیری بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین صنعت غذایی کشور مورد تأیید قرار گرفته است. در شکل ۲ آماره تی و ضرایب مسیر نشان داده شده است.



شکل ۲. آماره تی و ضریب مسیر

بحث و نتیجه‌گیری

در طول دهه‌های گذشته، اصطلاح زنجیره تأمین در مطالعات بی‌شماری مورد بحث قرار گرفته است. قبل از ایجاد نگرانی در مورد محیط زیست و مسائل اجتماعی، مدیریت زنجیره تأمین صرفاً اثربخشی و پاسخگویی یک سیستم را از دریافت مواد خام و روش‌های تولید تا تحویل محصولات به کاربران نهایی در نظر می‌گرفت. با افزایش دغدغه‌ها و نگرانی‌های مرتبط با مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی، پایداری و مفهوم تولید پایدار به دلیل اثرات زیست‌محیطی زنجیره تأمین و محدودیت در منابع و مواد خام مورد توجه بسیاری از محققین و صنایع مختلف قرار گرفت. در سال‌های اخیر به دلیل رشد فزاینده جمعیت، اثرات منفی اجتماعی و زیست‌محیطی زنجیره تأمین چندین برابر شده است (پیشدار و همکاران، ۱۴۰۳). به عبارتی دیگر با رشد جمعیت، مصرف‌گرایی افزایش یافته و میزان تقاضا از خدمات اکوسیستم جهانی نیز رشد کرده که این امر پایداری منابع را تحت تأثیر خود قرار داده است. هدف از انجام این پژوهش، شناسایی عوامل اثرگذار بر پایداری زنجیره تأمین و بررسی نقش بلاک‌چین در هر یک از عوامل شناسایی شده در صنعت غذایی کشور است. با مرور ادبیات و پیشینه پژهش ۱۱ عامل اثرگذار بر پایداری زنجیره تأمین شناسایی و پس از تأیید خبرگان صنعت غذایی کشور، کاربرد بلاک‌چین در هر یک از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده از رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری، شرایط کاری و استفاده از منابع به عنوان متغیرهای پایه و زیر بنایی در مدل مفهومی ارائه شده قرار گرفته‌اند. این دو عامل نقش بنیادین و اثرگذار بر سایر ابعاد پایداری زنجیره تأمین دارند. شرایط کاری مناسب بیانگر رعایت اصول حقوق بشر، استانداردهای اجتماعی و ایمنی نیروی کار در تمامی سطوح زنجیره تأمین است و هرگونه ضعف در این حوزه می‌تواند به بروز مشکلات اجتماعی، کاهش اعتماد ذی‌نفعان و تضعیف پایداری کل زنجیره منجر شود. از سوی دیگر، استفاده بهینه از منابع، به‌ویژه منابع حیاتی نظیر آب، انرژی و مواد اولیه، هسته اصلی بعد زیست‌محیطی پایداری را تشکیل می‌دهد و تأثیر مستقیمی بر میزان آلودگی، اتلاف منابع و هزینه‌های تولید دارد. نتایج حاصل از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری در این پژوهش نشان داد که شرایط کاری و استفاده از منابع بر پاسخگویی تأثیر مثبت و معناداری دارد که این یافته پژوهش با نتایج بدست آمده از مطالعه صورت گرفته توسط (Gopalakrishnan et al., 2012)، همسو و سازگار است. در صورتی که صنعت غذایی کشور با استفاده از فناوری بلاک‌چین اطلاعات جامعی از کارمندان خود در رابطه با وضعیت تحصیلی و سطح دانش و مهارت آن‌ها، میزان حقوق دریافتی تمامی کارکنان، وضعیت اجتماعی و ... را به صورت شفاف در دسترس تمامی اعضای زنجیره تأمین صنعت غذایی کشور قرار دهد، زمینه برقراری عدالت فراهم شده و انگیزه دوچندانی در کارکنان به منظور ارائه عملکرد مناسب در جهت پاسخگویی در زمان مناسب به تغییرات شکل گرفته در بازار ایجاد خواهد کرد. فناوری بلاک‌چین با ایجاد یک بستر شفاف، امن و غیرقابل‌تغییر، امکان ثبت و ردیابی دقیق اطلاعات مربوط به مبدأ، مسیر حرکت و روند تولید مواد اولیه، به‌ویژه محصولات کشاورزی، را فراهم می‌کند. از طریق این فناوری می‌توان تمامی مراحل زنجیره تأمین، از کاشت و برداشت گرفته تا فرآوری، حمل‌ونقل و توزیع نهایی را به‌صورت دقیق مستندسازی کرد. همچنین بلاک‌چین قادر است میزان مصرف منابع زیست‌محیطی نظیر آب، انرژی، کودها و سایر نهاده‌ها را ثبت و پایش کند و تصویری شفاف از اثرات زیست‌محیطی تولید مواد غذایی ارائه دهد. این شفافیت اطلاعاتی به تولیدکنندگان، سیاست‌گذاران و فعالان بازار کمک می‌کند تا با تحلیل داده‌های واقعی و قابل‌اعتماد، تصمیم‌گیری آگاهانه‌تری داشته باشند و برنامه‌ریزی مؤثری برای افزایش بهره‌وری، کاهش اتلاف منابع و پاسخ‌دهی به‌موقع به تغییرات تقاضا و نوسانات بازار مواد غذایی انجام دهند. نتایج این پژوهش نشان داد که پاسخگویی بر تعهد اجتماعی و حقوق بشر تأثیر گذار بوده که این یافته پژوهش با یافته‌های بدست آمده از مطالعات صورت گرفته توسط (Cragg, 2012; Rubino & Mastrorocco, 2025) سازگار است. با توجه به تأکید روزافزون صنعت غذایی کشور بر لزوم پاسخگویی مؤثر به چالش‌ها و مسائل گوناگون مرتبط با زنجیره تأمین، بهره‌گیری از فناوری بلاک‌چین به‌عنوان ابزاری نوین و کارآمد می‌تواند

نقش بسزایی در این زمینه ایفا کند. استفاده از بلاک‌چین این امکان را فراهم می‌سازد تا تمامی مراحل تولید، تأمین و توزیع محصولات غذایی به‌صورت شفاف، قابل ردیابی و غیرقابل‌تحریف ثبت و پایش شوند. در نتیجه، می‌توان اطمینان بیشتری نسبت به رعایت استانداردهای اجتماعی، اخلاقی و حقوق بشر در فرآیند تولید محصولات غذایی به دست آورد. به بیان دیگر، فناوری بلاک‌چین با ایجاد شفافیت اطلاعاتی در زنجیره تأمین، زمینه لازم را برای پاسخگویی دقیق‌تر به انتظارات مصرف‌کنندگان، نهادهای نظارتی و تغییرات بازار فراهم می‌کند. از طریق ثبت اطلاعات مربوط به شرایط کار، نحوه به‌کارگیری نیروی انسانی و الزامات قانونی در هر مرحله از زنجیره، می‌توان از بروز تخلفاتی نظیر استفاده از نیروی کار غیرقانونی، به‌کارگیری کودکان کار، نقض حقوق کارکنان و آسیب‌های اجتماعی جلوگیری کرد. در نهایت، به‌کارگیری بلاک‌چین در صنعت غذایی علاوه بر افزایش اعتماد مصرف‌کنندگان، به ارتقای مسئولیت‌پذیری اجتماعی بنگاه‌ها و پایداری بلندمدت این صنعت کمک شایانی خواهد کرد. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از به‌کارگیری رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری در این پژوهش نشان داد که قابلیت حقوق بشر و تعهد اجتماعی تأثیر مثبت و معناداری بر قابلیت اطمینان دارد. به این معنا که هرچه بنگاه‌های فعال در صنعت غذایی کشور توجه بیشتری به رعایت اصول حقوق بشر و مسئولیت‌پذیری اجتماعی داشته باشند، سطح اعتماد و اطمینان ذی‌نفعان، به‌ویژه مصرف‌کنندگان، نسبت به محصولات غذایی افزایش می‌یابد. در این راستا، تلاش صنعت غذایی کشور برای رعایت مسائل اجتماعی و حقوق بشر از طریق ایجاد شفافیت اطلاعاتی در بستر فناوری بلاک‌چین، می‌تواند نقش مؤثری در جلوگیری از ورود محصولات تقلبی و بی‌کیفیت به بازار ایفا کند و زمینه عرضه محصولات غذایی سالم، ایمن و قابل اعتماد را در بازار داخلی فراهم سازد. افزون بر این، افزایش قابلیت اطمینان در میان مشتریان نه‌تنها به تقویت جایگاه برندهای غذایی و افزایش رضایت مصرف‌کنندگان منجر می‌شود، بلکه پیامدهای مثبتی در حوزه محیط‌زیست نیز به همراه دارد. شفاف‌سازی فرآیندهای تولید و توزیع از طریق بلاک‌چین می‌تواند شرکت‌ها را به بهینه‌سازی مصرف منابع، کاهش اتلاف انرژی و کنترل میزان آلایندگی ناشی از فعالیت‌های صنعتی تشویق کند. به بیان دیگر، با الزام شرکت‌های فعال در حوزه‌های مختلف تولید مواد غذایی به ثبت و در دسترس قرار دادن اطلاعات مرتبط با زنجیره تأمین خود در بستر بلاک‌چین، امکان پایش و کنترل شاخص‌های مرتبط با مصرف انرژی، انتشار آلاینده‌ها و سایر اثرات زیست‌محیطی فراهم می‌شود. این امر در نهایت به بهبود عملکرد زیست‌محیطی صنعت غذایی، ارتقای پایداری و افزایش اعتماد عمومی به محصولات عرضه‌شده در بازار منجر خواهد شد. از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به تأثیر آلودگی بر مسائل مرتبط با مصرف‌کنندگان اشاره کرد که این یافته پژوهش با نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته توسط (Khanfar et al., 2021; Wang, Han, Li, & Mou, 2025) مطابقت دارد. به عبارتی دیگر کاهش آلودگی ایجاد شده از سوی شرکت‌های فعال در صنعت غذایی کشور می‌تواند زمینه برطرف کردن انتظارات مشتریان و نگرانی‌های آن‌ها در رابطه با مسائل زیست محیطی را کاهش دهد. همچنین با استفاده از بلاک‌چین و شفافیت در اطلاعات مرتبط با فعالیت‌های شکل گرفته در طول زنجیره تأمین مواد غذایی می‌توان تعامل مشتریان و مصرف‌کنندگان را با تأمین‌کنندگان و شرکت‌های غذایی مختلف بهبود بخشیده و از این طریق انتظارات و نیازهای مشتریان در رابطه با کیفیت محصولات تولید شده را مرتفع نمود. با بهبود کیفیت محصولات، از طریق مشارکت مشتریان به واسطه فناوری بلاک‌چین، میزان خرید آن‌ها افزایش یافته و عملکرد مالی شرکت‌های مختلف در این حوزه و در نهایت صنعت غذایی کشور رشد چشمگیری خواهد داشت که این یافته پژوهش نیز با نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته توسط (Bastas & Liyanage, 2018) سازگار است.

محدودیت‌ها

پژوهش حاضر همانند بسیاری از پژوهش‌ها دارای محدودیت‌هایی در زمینه انجام فرایندهای پژوهش بوده است. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به عدم بررسی چرخه‌های مختلف میان محرک‌ها اشاره نمود که این محدودیت به عنوان یک محدودیت ساختاری در

تکنیک معادلات ساختاری همواره وجود داشته که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی مسیرهای برگشتی میان روابط شکل گرفته در این پژوهش مورد بررسی قرار گیرد.

پیشنهادات

با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش و قرار گرفتن دو متغیر استفاده از منابع وشرایط کاری به عنوان عوامل زیربنایی در بکارگیری بلاک‌چین در پایداری زنجیره تأمین، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی عوامل مؤثر بر دو متغیر مذکور مورد شناسایی و بررسی قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی تأثیر فناوری‌های دیگر صنعت ۴.۰ همچون اینترنت اشیاء، سیستم سایبر فیزیکی و ... در پایداری زنجیره تأمین مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

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

شفافیت داده‌ها

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

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

Ababneh, A. M. D., Almarashdah, M. A., Jebril, I., Al-Zaqeba, M. A. A., & Assaf, N. (2023). Driving sustainable supply chains: Blockchain-enabled eco-efficiency for resilient customs ports. *Uncertain Supply Chain Management* .

Agrawal, T. K., Kumar, V., Pal, R., Wang, L., & Chen, Y. (2021). Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*, *154*, 107130 .

Almutairi, K., Hosseini Dehshiri, S. J., Hosseini Dehshiri, S .S., Hoa, A. X., Arockia Dhanraj, J., Mostafaeipour, A., Issakhov, A., & Techato, K. (2023). Blockchain Technology application challenges in renewable energy supply chain management. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(28), 72041-72058 .

Bastas, A., & Liyanage, K. (2018). Sustainable supply chain quality management: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, *181*, 726-744 .

Braccini, A. M., & Margherita, E. G. (2018). Exploring organizational sustainability of industry 4.0 under the triple bottom line: The case of a manufacturing company. *SUSTAINABILITY*, *11*(1), 36 .

Bratt, C., Sroufe, R., & Broman, G. (2021). Implementing strategic sustainable supply chain management. *SUSTAINABILITY*, *13*(15), 8132 .

Cragg, W. (2012). Ethics, enlightened self-interest, and the corporate responsibility to respect human rights: A critical look at the justificatory foundations of the UN framework. *Business Ethics Quarterly*, *22*(1), 9-36 .

Dash, G., & Paul, J. (2021). CB-SEM vs PLS-SEM methods for research in social sciences and technology forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, *173*, 121092 .

Deljoo, B. , Ghasemi, R. , Moradi moghadam, M. and Mohaghar, A. (2025). Analyzing the capability-attractiveness of Internet of Things technology applications in the food industry. *Industrial Management Studies*, 23(78), 1-44. doi: 10.22054/jims.2025.85956.2971. [In persian].

Dhir, S., & Dhir, S. (2020). Modeling of strategic thinking enablers: a modified total interpretive structural modeling (TISM) and MICMAC approach. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, *11*(1), 175-188 .

Di Vaio, A., & Varriale, L. (2020). Blockchain technology in supply chain management for sustainable performance: Evidence from the airport industry. *International Journal of Information Management*, *52*, 102014 .

Difrancesco, R. M., Meena, P., & Kumar, G. (2023). How blockchain technology improves sustainable supply chain processes: a practical guide. *Operations Management Research*, *16*(2), 620-641 .

Dubey, R., Gunasekaran ,A., Papadopoulos, T., Childe, S. J., Shibin, K., & Wamba, S. F. (2017). Sustainable supply chain management: framework and further research directions. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 1119-1130 .

Dutta, P., Choi, T.-M., Somani, S., & Butala, R. (2020 .(Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *142*, 102067 .

Erol, I., Ar, I. M., & Peker, I. (2022). Scrutinizing blockchain applicability in sustainable supply chains through an integrated fuzzy multi-criteria decision making framework. *APPLIED SOFT COMPUTING*, *116*, 108331 .

Fu, Q., Abdul Rahman, A. A., Jiang, H., Abbas, J., & Comite, U. (2022). Sustainable supply chain and business performance: The impact of strategy, network design, information systems, and organizational structure. *SUSTAINABILITY*, *14*(3), 1080 .

Ghahremani-Nahr, J., Aliahmadi, A., & Nozari, H. (2022). An IoT-based sustainable supply chain framework and blockchain. *International Journal of Innovation in Engineering*, *2*(1), 12-21 .

Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *252*, 119869 .

Gopalakrishnan, K., Yusuf, Y. Y., Musa, A., Abubakar, T., & Ambursa, H. M. (2012). Sustainable supply chain management: A case study of British Aerospace (BAe) Systems. *International Journal of Production Economics*, *140*(1), 193-203 .

Guo, H., & Yu, X. (2022). A survey on blockchain technology and its security. *Blockchain: Research and Applications*, *3*(2), 100067 .

Hair Jr, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Danks, N. P., & Ray, S. (2021). *Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: A workbook*. Springer Nature .

He, J., Zhao, Y., Zhang, B., Chen, L., & Ma, X. (2025). The Impact of Blockchain Technology on Green Investment Decisions for a Sustainable Supply Chain with an Overconfident Manufacturer. *Sustainability*, *17*(1), 284.

Hoseini, S. R., Tari, G., Davodi, S. A., & Shafiee, M. (2023). Examining the Factors Affecting the Sustainable Supply Chain with the Blockchain Approach Based on Cognitive Map. *Supply Chain Management*, 24(77), 23-39. [In persian].

Jabbour, C. J. C., Fiorini, P. D. C., Ndubisi, N. O., Queiroz, M. M., & Piato, É. L. (2020). Digitally-enabled sustainable supply chains in the 21st century: A review and a research agenda. *Science of the Total Environment*, *725*, 138177 .

Jia, F., Zuluaga-Cardona, L., Bailey, A., & Rueda, X. (2018). Sustainable supply chain management in developing countries: An analysis of the literature. *Journal of Cleaner Production*, *189*, 263-278 .

Joo, J., & Han, Y. (2021). An evidence of distributed trust in blockchain-based sustainable food supply chain. *SUSTAINABILITY*, *13*(19), 10980 .

Junaid, M., Zhang, Q., & Syed, M. W. (2022). Effects of sustainable supply chain integration on green innovation and firm performance. *Sustainable Production and Consumption*, *30*, 145-15 .۷

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

Kang, K., Tan, B. Q., Chan, F. T., & Kong, X. T. (2025). Effect of blockchain on corporate social responsibility in supply chain management. *International Journal of Production Research*, 1-27.

Khan, S. A. R., Tabish, M., & Zhang, Y. (2023). Embracement of industry 4.0 and sustainable supply chain practices under the shadow of practice-based view theory: ensuring environmental sustainability in corporate sector. *Journal of Cleaner Production*, *398*, 136609 .

Khanfar, A. A., Iranmanesh, M., Ghobakhloo, M., Senali, M. G., & Fathi, M. (2021). Applications of blockchain technology in sustainable manufacturing and supply chain management: A systematic review. *SUSTAINABILITY*, *13*(14), 7870 .

Kiani Harchegani M. (2022). Identifying the obstacles of blockchain technology in sustainable supply chain (Case study: Varag Khodro Company of Chaharmahal and Bakhtiari). *Scientific Journal of Modern Research Approaches to Management and Accounting*, 6(23), 880-893. [In persian].

Kineber, A. F., Othman, I., Oke, A. E., Chileshe, N., & Buniya, M. K. (2021). Impact of value management on building projects success: structural equation modeling approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, *147*(4 .۰٤۰۲۱۰۱۱ ,(

Koberg, E., & Longoni, A. (2019). A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains. *Journal of Cleaner Production*, *207*, 1084-1098 .

Korepin, V., Dzenzeliuk, N., Seryshev, R., & Rogulin, R. (2021). Improving supply chain reliability with blockchain technology. *MARITIME ECONOMICS & LOGISTICS*, 1-14 .

Kshetri, N. (2021). Blockchain and sustainable supply chain management in developing countries. *International Journal of Information Management*, *60*, 102376 .

Lim ,M. K., Li, Y., Wang, C., & Tseng, M.-L. (2021). A literature review of blockchain technology applications in supply chains: A comprehensive analysis of themes, methodologies and industries. *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*, *154*, 107133 .

Lin, X., & Powell, S. R. (2021). Examining the relation between whole numbers and fractions: A meta-analytic structural equation modeling approach. *Contemporary Educational Psychology*, *67*, 102017 .

Liu, P., Hendalianpour, A., Hamzehlou, M., Feylizadeh, M. R., & Razmi, J .(۲۰۲۱) .Identify and rank the challenges of implementing sustainable supply chain blockchain technology using the bayesian best worst method. *Technological and Economic Development of Economy*, *27*(3), 656-680 .

Mhlanga, D., & Shao, D. (2025). Blockchain Technology and Sustainable Supply Chain Finance: A Pathway to Environmental Responsibility and Profitability. In Financial Inclusion and Sustainable Development in Sub-Saharan Africa (pp. 215-230): Routledge.

Mai, R., Niemand, T., & Kraus, S. (2021). A tailored-fit model evaluation strategy for better decisions about structural equation models. *Technological Forecasting and Social Change*, *173*, 121142 .

Mangla, S. K., Kazançoğlu, Y., Yıldızbaşı, A., Öztürk, C., & Çalık, A. (2022). A conceptual framework for blockchain-based sustainable supply chain and evaluating implementation barriers: A case of the tea supply chain. *Business Strategy and the Environment*, *31*(8), 3693-3716 .

Meher, J. R., & Mishra, R. K. (2019). Assessing the influence of knowledge management practices on organizational performance: an ISM approach. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, *49*(3), 440-456 .

Moktadir, M. A., Paul, S. K., Bai, C., & Santibanez Gonzalez, E. D. (2025). The current and future states of MCDM methods in sustainable supply chain risk assessment. Environment, Development and Sustainability, 27(3), 7435-7480.

Monrat, A. A., Schelén, O., & Andersson, K. (2019). A survey of blockchain from the perspectives of applications, challenges, and opportunities. *IEEE Access*, *7*, 117134-117151 .

Munir, M. A., Habib, M. S., Hussain, A., Shahbaz, M. A., Qamar, A., Masood, T., Sultan, M., Mujtaba, M., Imran, S., & Hasan, M. (2022). Blockchain adoption for sustainable supply chain management: Economic, environmental, and social perspectives. *Frontiers in Energy Research*, *10*, 899632 .

Nandi, S., Sarkis, J., Hervani, A. A., & Helms, M. M. (2021). Redesigning supply chains using blockchain-enabled circular economy and COVID-19 experiences. *Sustainable Production and Consumption*, *27*, 10-22 .

Paliwal, V., Chandra, S., & Sharma, S. (2020). Blockchain technology for sustainable supply chain management: A systematic literature review and a classification framework. *SUSTAINABILITY*, *12*(18), 763 .۸

Pandey, A. K., Pratap, S., Dwivedi, A., & Khan, S. A. (2025). Industry 4.0 and supply chain sustainability: benchmarking enablers to build reliable supply chain. Benchmarking: An International Journal, 32(2), 433-458.

Park, A., & Li, H. (2021). The effect of blockchain technology on supply chain sustainability performances. *SUSTAINABILITY*, *13*(4), 1726 .

Parung, J. (2019). The use of blockchain to support sustainable supply chain strategy. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering ,

Pishdar , M. (1404). Advancing Sustainability in Food Supply Chains: Barriers to Implementing the Product-as-a-Service Model with an Emphasis on the Role of Technology. *The Decision Science and Intelligent Systems*, 2(2), 1-20. [In persian].

Pishdar , M., Pourghader Chobar, A., & Gholi Beik, N. . (2025). Transition of the pharma supply chain towards intelligent sustainability according to the effect of circular supply chain practices in Industry 4.0 and transformational leadership. *The Decision Science and Intelligent Systems*, *1*(2), 53-70.

Rejeb, A., & Rejeb, K. (2020). Blockchain and supply chain sustainability. *Logforum*, *16* .(۳)

Roy, R., Chekuri, K., Sandhya, G., Pal, S. K., Mukherjee, S., & Marada, N. (2022). Exploring the blockchain for sustainable food supply chain. *Journal of Information and Optimization Sciences*, *43*(7), 1835-1847 .

Rubino, M., & Mastrorocco, I. (2025). Exploring the influence of board structure and composition on respect for human rights. Social Responsibility Journal, 21(2), 301-319.

Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, *57*(7), 2117-2135 .

Sahoo, S., Kumar, S., Sivarajah, U., Lim, W. M., Westland, J. C., & Kumar, A. (2022). Blockchain for sustainable supply chain management: trends and ways forward. *Electronic Commerce Research*, 1-56 .

Sajadiian, F. , karimi takalo, S. and shoul, A. (2023). Analysis of using blockchain in the sustainable supply chain of the health sector. *Health Information Management*, 20(1), 14-21. doi: 10.48305/him.2023.41634.1103. [In persian].

Sarani, P. , Shahraki, A. and Banihashemi, S. (2024). Identifying and Prioritizing Factors Affecting the Sustainability of the Agricultural Supply Chain with the Fuzzy DEMATEL and Fuzzy SWARA Approach in the Era of Covid-19: A Case Study. *Journal of Agricultural Economics & Development*, 38(1), 1-18. doi: 10.22067/jead.2024.82402.1193. [In persian].

Shah, A., Soomro, M .A., Zahid Piprani, A., Yu, Z., & Tanveer, M. (2023). Sustainable supply chain practices and blockchain technology in garment industry: An empirical study on sustainability aspect. *Journal of Strategy and Management* .

Tan, T. M., & Saraniemi, S .(۲۰۲۳) .Trust in blockchain-enabled exchanges: Future directions in blockchain marketing. *Journal of the Academy of marketing Science*, *51*(4), 914-939 .

Upadhyay, A., Mukhuty, S., Kumar, V., & Kazancoglu, Y. (2021). Blockchain technology and the circular economy : Implications for sustainability and social responsibility. *Journal of Cleaner Production*, *293*, 126130 .

Varma, A., Dixit, N., Ray, S., & Kaur, J. (2024). Blockchain technology for sustainable supply chains: A comprehensive review and future prospects. World Journal of Advanced Research and Reviews, 21(3), 980-994.

Varriale, V., Cammarano, A., Michelino, F., & Caputo, M. (2020). The unknown potential of blockchain for sustainable supply chains. *SUSTAINABILITY*, *12* .۹٤۰۰ ,(۲۲)

Wang, Y., Han, J., Li, J., & Mou, C. (2025). Perceived environmental responsibility: how environmental pollution promotes self-improvement product preference. Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics, 37(3), 730-749.

Xu, M., Chen, X., & Kou, G. (2019). A systematic review of blockchain. *Financial Innovation*, *5*(1), 1-14 .

Yadav, S., & Singh, S. P. (2020). Blockchain critical success factors for sustainable supply chain. *Resources, Conservation and Recycling* .۱۰٤٥۰٥ ,۱٥۲ ,

Yousefi, S., & Tosarkani, B. M. (2022). An analytical approach for evaluating the impact of blockchain technology on sustainable supply chain performance. *International Journal of Production Economics*, *246*, 108429 .

Zhang, J., Zhang, X., Liu, W., Ji, M., & Mishra, A. R. (2022). Critical success factors of blockchain technology to implement the sustainable supply chain using an extended decision-making approach. *Technological Forecasting and Social Change*, *182*, 121881.