

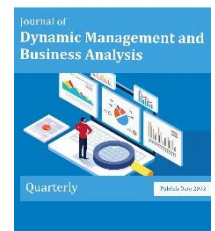


Journal Website

Article history:
Received 22 December 2025
Revised 23 April 2026
Accepted 30 April 2026
Published online 23 August 2026

Dynamic Management and Business Analysis

Volume 5, Issue 3, pp 1-21



E-ISSN: 3041-8933

Presenting a Dairy Supply Chain Risk Management Model Based on Blockchain Technology Using the Simulated Annealing Metaheuristic Algorithm

Fariborz. Khoshkar Kisomi¹, Mohammad Ali. Enayati Shiraz^{2*}, Rokhsare Babajafari. Esfandabad³

¹ Department of Industrial Management, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

² Department of Business Management, And.C., Islamic Azad University, Andimeshk, Iran

³ Department of Management, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

* Corresponding author email address: ma.enayati@iau.ac.ir

Article Info

Article type:

Original Research

How to cite this article:

Khoshkar Kisomi, F., Enayati Shiraz, M. A., & Babajafari Esfandabad, R. (2026). Presenting a Dairy Supply Chain Risk Management Model Based on Blockchain Technology Using the Simulated Annealing Metaheuristic Algorithm. *Dynamic Management and Business Analysis*, 5(3), 1-21.
<https://doi.org/10.61838/dmbaj.337>



© 2026 the author(s). Published by Knowledge Management Scientific Association. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) License.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to design and validate a blockchain-based dairy supply chain risk management model using the simulated annealing algorithm for simultaneous optimization of cost and risk.

Methodology: This applied study employed a descriptive-analytical simulation approach. The research population consisted of dairy supply chain actors organized within a three-tier structure including suppliers, processing plants, and market demand nodes. Operational data such as production capacity, procurement and transportation costs, market demand, and risk indicators were collected from industry records. The proposed model incorporated binary and quantitative decision variables, stochastic demand modeled through Poisson distribution, and parametric disruption risks. A multi-objective optimization framework was solved using the simulated annealing metaheuristic, and algorithm performance was evaluated through convergence behavior and sensitivity analysis.

Findings: The results demonstrated that simulated annealing successfully minimized total supply chain cost and risk simultaneously while achieving stable convergence toward optimal solutions. Sensitivity analysis confirmed robustness of the model under variations in risk weighting, demand fluctuations, and cooling parameters. The optimal solution adopted a multi-supplier allocation strategy that improved operational flexibility and balanced risk exposure across the supply chain network.

Conclusion: Integrating blockchain technology with simulated annealing provides an effective framework for dairy supply chain risk management, enhancing transparency, resilience, and strategic decision-making in multi-tier supply systems.

Keywords: Supply Chain Risk Management, Dairy Industry, Blockchain Technology, Simulated Annealing, Multi-Objective Optimization, Guilan Province.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Supply chain management has evolved from a purely operational function into a strategic capability that determines organizational competitiveness, sustainability, and resilience in dynamic markets. Modern supply chains operate in complex, interconnected environments characterized by uncertainty, demand volatility, and exposure to operational disruptions. These challenges have elevated supply chain risk management to a central research and managerial priority, particularly in industries dealing with perishable products such as dairy manufacturing. Effective coordination among suppliers, producers, distributors, and markets is essential to ensure product quality, cost efficiency, and continuity of operations (Jaboob et al., 2024; Ngo et al., 2024).

Recent studies emphasize that integration across supply chain actors significantly improves operational performance while reducing vulnerability to disruptions. Integrated supply chain structures enable organizations to respond proactively to uncertainty rather than reactively managing crises (Munir et al., 2020). In agro-based industries, supply chains face additional complexities related to logistics coordination, resource allocation, and demand unpredictability, making risk-aware optimization models increasingly necessary (Kumar & Sahoo, 2025). The dairy industry represents a particularly sensitive context because of product perishability, strict quality requirements, and time-dependent distribution processes. Inefficient risk management in such systems may result in financial loss, reduced product quality, and diminished consumer trust (Al Aziz et al., 2025).

Digital transformation has introduced new opportunities to redesign supply chain structures. Emerging technologies enable real-time monitoring, transparent data exchange, and intelligent decision-making processes. Transformative supply chains increasingly rely on digital platforms to enhance visibility and operational coordination (Massari et al., 2025). Among these technologies, blockchain has attracted substantial attention due to its decentralized architecture, immutability of records, and ability to establish trust among supply chain participants. Blockchain technology improves transparency, reduces fraud risk, and enables secure information sharing across organizational boundaries (Raja et al., 2025).

Blockchain-based decision-support systems have demonstrated strong potential for improving risk evaluation and financial transparency in supply chain ecosystems (Zhang et al., 2025). In food supply chains, blockchain applications allow end-to-end traceability, which reduces contamination risks and strengthens safety management processes (Ma et al., 2024). Furthermore, blockchain platforms facilitate automation through smart contracts, enabling faster coordination and reduced transaction costs across global supply networks (Agnola et al., 2025). The integration of reliable information flows remains a key driver of supply chain efficiency, and digital infrastructures are increasingly recognized as essential enablers of coordinated operations (Marouti Sharif Abadi et al., 2024; Zaman et al., 2025).

Despite these advantages, successful adoption of blockchain technology requires comprehensive managerial frameworks and optimization models capable of handling complex decision variables. Research in the Iranian economic context indicates that technological adoption must be accompanied by organizational, financial, and institutional alignment to achieve meaningful improvements in supply chain performance (Ayin & Noori, 2024). Simulation-based studies also demonstrate that blockchain-enabled

smart contracts enhance operational efficiency and reduce uncertainty in logistics systems (Jahaniyan & Kiani, 2024).

Parallel to technological advancements, optimization and decision-support methodologies have gained importance in managing multi-objective supply chain problems. Artificial intelligence and decision-support systems help organizations identify optimal strategies under uncertainty and competing objectives (Baryannis et al., 2019). Metaheuristic algorithms, in particular, are well suited for solving nonlinear, multi-dimensional optimization problems commonly encountered in supply chain networks. These approaches allow simultaneous consideration of cost, risk, capacity, and demand constraints, thereby improving strategic planning outcomes.

Risk prioritization studies further highlight the necessity of systematic modeling approaches that account for logistical disruptions, resource limitations, and crisis conditions within supply chains (Asghari Hamad et al., 2025). Sustainable supply chain research also emphasizes the importance of forward-looking models capable of balancing efficiency and resilience in agricultural and food industries (Abedini et al., 2024). Moreover, experiences from other critical supply networks demonstrate that robust risk management frameworks can significantly enhance system stability during large-scale disruptions (Baba Zadeh Rafiei et al., 2024).

Considering these developments, integrating blockchain technology with advanced optimization algorithms provides a promising pathway toward intelligent supply chain risk management. Such integration enables transparent information exchange, data-driven decision-making, and adaptive allocation of resources under uncertainty. Therefore, the present study aims to develop and validate a blockchain-based dairy supply chain risk management model optimized through a simulated annealing metaheuristic algorithm to simultaneously minimize cost and risk.

Methods and Materials

This study adopted an applied and descriptive–analytical research design using simulation-based modeling. The research focused on the dairy supply chain of Guilan Province, structured as a three-tier network consisting of raw milk suppliers, processing factories, and market demand nodes.

Operational data were collected from industry records and included production capacities, procurement costs, transportation expenses, processing costs, daily demand levels, and risk indicators associated with supply disruptions. The modeling framework incorporated binary decision variables representing supplier selection and transportation decisions, as well as quantitative variables describing order quantities, inventory levels, and production rates. Market demand was modeled as a stochastic variable following a Poisson probability distribution, reflecting real-world fluctuations in consumption patterns.

The proposed supply chain model considered multiple constraints including supplier capacity limits, production capacity restrictions, demand satisfaction requirements, and logistics feasibility conditions. A multi-objective optimization function was developed to minimize total operational cost and aggregated supply risk simultaneously.

To solve the optimization problem, the simulated annealing (SA) metaheuristic algorithm was employed. The algorithm began with randomly generated feasible solutions and iteratively explored neighboring solutions while probabilistically accepting inferior solutions during early stages to avoid local

optima. Key parameters such as initial temperature, cooling rate, iteration number, and stopping criteria were calibrated through preliminary experimentation to achieve stable convergence behavior.

Model performance was evaluated through convergence analysis and sensitivity testing. Sensitivity analysis examined the stability of the model under variations in risk weighting coefficients, demand fluctuations, and algorithmic cooling parameters. Multiple simulation scenarios were executed to ensure robustness and reliability of results.

Findings

Simulation results demonstrated that the simulated annealing algorithm successfully converged toward an optimal allocation strategy balancing cost efficiency and risk mitigation. During initial temperature levels, solution diversity was high and substantial variations in cost and risk values were observed. As temperature decreased, the algorithm progressively improved solution quality, leading to consistent reductions in both performance indicators.

The final optimized solution indicated a hybrid supplier allocation strategy rather than reliance on a single supplier. One supplier with lower cost but higher risk was primarily assigned to high-capacity industrial factories, while medium-risk suppliers served smaller processing units. A low-risk supplier was selectively utilized as a strategic backup source, ensuring system resilience against potential disruptions.

Results revealed significant reductions in total supply chain cost alongside measurable decreases in aggregated risk levels. Convergence patterns showed rapid improvement during early iterations followed by gradual stabilization, confirming effective exploration and exploitation phases of the simulated annealing algorithm. From later temperature stages onward, cost and risk values stabilized, indicating algorithmic convergence toward a near-global optimum solution.

Sensitivity analysis confirmed the robustness of the proposed model. Variations in risk weighting, demand uncertainty, and cooling parameters produced only minor deviations in objective function values. Statistical indicators demonstrated low standard deviation across simulation scenarios, suggesting strong stability of the optimization framework. Computational efficiency was also satisfactory, with reasonable processing time required to reach stable solutions.

Overall, the results indicate that integrating blockchain-based transparency with metaheuristic optimization enables efficient resource allocation, improved operational flexibility, and enhanced resilience within the dairy supply chain.

Discussion and Conclusion

The findings of this study demonstrate that combining blockchain technology with metaheuristic optimization offers a powerful framework for managing risks in complex supply chain systems. The ability of the simulated annealing algorithm to simultaneously reduce cost and risk confirms the suitability of metaheuristic approaches for multi-objective decision environments characterized by uncertainty and interdependent variables.

The emergence of a multi-supplier allocation pattern highlights the importance of diversification strategies in supply chain risk management. Rather than pursuing purely cost-minimizing solutions, the optimized model implicitly balanced economic efficiency with resilience considerations. This outcome reflects a shift in modern supply chain thinking, where robustness and adaptability are viewed as equally critical as operational efficiency.

Blockchain integration further strengthens this framework by enabling transparent information exchange and traceability across all supply chain levels. Enhanced visibility allows organizations to detect disruptions earlier, coordinate responses more effectively, and build trust among stakeholders. In perishable-product industries such as dairy manufacturing, these capabilities contribute directly to quality assurance, operational continuity, and customer confidence.

The convergence stability observed in the optimization process demonstrates that simulated annealing can effectively escape local optima and explore complex solution spaces. This capability is particularly valuable in supply chain environments where numerous interacting constraints make analytical optimization impractical. The sensitivity analysis results also indicate that the proposed model maintains reliable performance under changing environmental conditions, suggesting practical applicability in real-world operations.

From a managerial perspective, the integration of digital technologies with advanced analytics represents a fundamental transformation in supply chain governance. Decision-making shifts from intuition-based planning toward data-driven optimization supported by intelligent algorithms and secure digital infrastructures. Such systems enable organizations to anticipate risks rather than merely react to disruptions.

In conclusion, the study provides evidence that a blockchain-enabled, simulated annealing-based optimization model can significantly enhance dairy supply chain risk management. By improving transparency, enabling adaptive resource allocation, and achieving simultaneous cost-risk optimization, the proposed framework contributes to the development of resilient, intelligent, and sustainable supply chain systems capable of operating effectively in uncertain and rapidly changing environments.

ارائه الگوی مدیریت ریسک زنجیره تأمین صنایع لبنی مبتنی بر فناوری بلاک چین با استفاده از الگوریتم فراابتکاری تبرید شبیه سازی شده

فریبرز خوشکار کیسمی^۱، محمد علی عنایتی شیراز^۲، رخساره باباجعفری اسفندآباد^۳

۱. گروه مدیریت صنعتی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
۲. گروه مدیریت بازرگانی، واحد اندیمشک، دانشگاه آزاد اسلامی، اندیمشک، ایران
۳. گروه مدیریت، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: ma.enayati@iau.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

پژوهشی/اصیل

نحوه استناد به این مقاله:

خوشکار کیسمی، فریبرز، عنایتی شیراز، محمد علی، و باباجعفری اسفندآباد، رخساره. (۱۴۰۵). ارائه الگوی مدیریت ریسک زنجیره تأمین صنایع لبنی مبتنی بر فناوری بلاک چین با استفاده از الگوریتم فراابتکاری تبرید شبیه سازی شده. *مدیریت پویا و تحلیل کسب و کار*، ۵(۳)، ۲۱-۱.



© ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده(گان) است. انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY 4.0) صورت گرفته است.

هدف: هدف این پژوهش طراحی و اعتبارسنجی مدل مدیریت ریسک زنجیره تأمین صنایع لبنی مبتنی بر فناوری بلاک چین با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه سازی شده به منظور بهینه سازی همزمان هزینه و ریسک بود. **روش شناسی:** این پژوهش از نوع کاربردی و با رویکرد توصیفی-تحلیلی مبتنی بر شبیه سازی انجام شد. جامعه آماری شامل زنجیره تأمین صنایع لبنی استان گیلان در سه سطح تأمین کنندگان، کارخانه ها و بازارهای مصرف بود. داده های مورد نیاز شامل ظرفیت تولید، هزینه های خرید و حمل و نقل، تقاضای بازار، شاخص های ریسک و اطلاعات عملیاتی از مستندات واقعی شرکت ها استخراج شد. مدل تحقیق با استفاده از متغیرهای تصمیم باینری و کمی، تقاضای تصادفی با توزیع پواسون و پارامترهای ریسک طراحی گردید. برای حل مسئله بهینه سازی چندهدفه، الگوریتم فراابتکاری تبرید شبیه سازی شده اجرا و عملکرد آن از طریق تحلیل همگرایی و تحلیل حساسیت ارزیابی شد. **یافته ها:** نتایج نشان داد الگوریتم تبرید شبیه سازی شده توانست کاهش معنادار همزمان هزینه کل و سطح ریسک زنجیره تأمین را محقق سازد و به راه حل های پایدار و همگرا دست یابد. تحلیل حساسیت بیانگر پایداری مدل در برابر تغییرات پارامترهای کلیدی از جمله وزن ریسک، تقاضای بازار و نرخ خنک سازی بود. الگوی تخصیص بهینه منابع مبتنی بر رویکرد چندتأمین کننده ای بوده که تعادل هزینه-ریسک و انعطاف پذیری عملیاتی زنجیره تأمین را افزایش داد. **نتیجه گیری:** ادغام فناوری بلاک چین با الگوریتم تبرید شبیه سازی شده چارچوبی کارآمد برای مدیریت ریسک زنجیره تأمین صنایع لبنی فراهم می کند و می تواند موجب افزایش شفافیت، کاهش عدم قطعیت ها، بهبود تاب آوری زنجیره تأمین و ارتقای تصمیم گیری های راهبردی در سیستم های تأمین چندسطحی شود.

کلیدواژه ها: مدیریت ریسک زنجیره تأمین، صنایع لبنی، بلاک چین، الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، بهینه سازی چندهدفه، گیلان

مقدمه

زنجیره تأمین به عنوان یکی از بنیادی ترین زیرساخت های رقابت پذیری سازمان ها در اقتصاد معاصر شناخته می شود و نقش آن در ایجاد ارزش، افزایش بهره وری و تضمین تداوم فعالیت های تولیدی و خدماتی غیرقابل انکار است. در دهه های اخیر، پیچیده تر شدن شبکه های تولید، جهانی شدن بازارها و وابستگی متقابل بازیگران اقتصادی موجب شده است که مدیریت زنجیره تأمین از یک فعالیت عملیاتی به یک حوزه راهبردی و تصمیم ساز تبدیل شود. پژوهش ها نشان می دهد عملکرد سازمان ها به میزان زیادی به توانایی آن ها در مدیریت جریان کالا، اطلاعات و منابع مالی در طول زنجیره وابسته است (Jaboob et al., 2024). در چنین شرایطی، ریسک های زنجیره تأمین به یکی از مهم ترین چالش های مدیریتی تبدیل شده اند، زیرا اختلال در هر بخش از زنجیره می تواند اثرات آشناری بر کل سیستم اقتصادی برجای بگذارد (Ngo et al., 2024).

گسترش عدم قطعیت های محیطی، تغییرات تقاضا، بحران های جهانی، نوسانات اقتصادی و اختلالات لجستیکی باعث شده است که سازمان ها بیش از گذشته به رویکردهای مدیریت ریسک زنجیره تأمین توجه نشان دهند. مدیریت ریسک نه تنها به معنای کاهش تهدیدهاست، بلکه شامل ایجاد انعطاف پذیری، افزایش تاب آوری و حفظ عملکرد پایدار در مواجهه با بحران ها نیز می شود (Munir et al., 2020). مطالعات حوزه مدیریت زنجیره تأمین نشان می دهد که یکپارچگی میان اعضای زنجیره و هماهنگی اطلاعاتی میان تأمین کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع کنندگان نقش تعیین کننده ای در کاهش آسیب پذیری سیستم دارد (Oliveira et al., 2022).

در میان صنایع مختلف، صنعت لبنیات به دلیل ماهیت فاسدشدنی محصولات، حساسیت به زمان، وابستگی شدید به کیفیت مواد اولیه و پیچیدگی فرآیندهای لجستیکی، یکی از پرریسک ترین زنجیره های تأمین محسوب می شود. مدیریت ناکارآمد ریسک در این صنعت می تواند پیامدهایی همچون کاهش کیفیت محصولات، افزایش هزینه های عملیاتی، اتلاف منابع و کاهش اعتماد مصرف کنندگان را به همراه داشته باشد (Al Aziz et al., 2025). از این رو، تحلیل ساختار زنجیره های تأمین کشاورزی و غذایی نشان می دهد که طراحی مدل های نوین مدیریت ریسک برای این صنایع یک ضرورت استراتژیک محسوب می شود (Sahoo & Kumar, 2025).

در ایران نیز صنایع لبنی از جایگاه اقتصادی و اجتماعی ویژه ای برخوردارند و به عنوان یکی از ارکان امنیت غذایی کشور شناخته می شوند. بررسی های انجام شده در زمینه زنجیره های تأمین پایدار نشان می دهد که توسعه این صنعت نیازمند رویکردهای آینده نگر، یکپارچه و مبتنی بر فناوری های نوین است (Abedini et al., 2024). همچنین مطالعات حوزه مدیریت ریسک لجستیک نشان داده اند که عواملی نظیر اختلالات تأمین، نوسانات تقاضا، مشکلات حمل و نقل و ضعف هماهنگی اطلاعاتی از مهم ترین تهدیدهای پیش روی زنجیره های تأمین محسوب می شوند (Asghari Hamad et al., 2025).

تحول دیجیتال در سال های اخیر چشم انداز جدیدی برای مدیریت زنجیره تأمین ایجاد کرده است. فناوری های نوظهور نظیر اینترنت اشیا، کلان داده ها، هوش مصنوعی و بلاک چین امکان ایجاد شفافیت، ردیابی لحظه ای و تصمیم گیری هوشمند را فراهم کرده اند. زنجیره های تأمین تحول آفرین به واسطه بهره گیری از فناوری های دیجیتال قادرند عملکرد عملیاتی خود را بهبود داده و ریسک های ساختاری را کاهش دهند (Massari et al., 2025). در این میان، فناوری بلاک چین به عنوان یکی از مهم ترین نوآوری های دیجیتال، ظرفیت بالایی برای بازطراحی فرآیندهای زنجیره تأمین ارائه کرده است.

بلاک چین یک دفترکل توزیع شده و غیرمتمرکز است که امکان ثبت تغییرناپذیر داده ها، ایجاد اعتماد میان بازیگران و حذف واسطه های غیرضروری را فراهم می کند. استفاده از این فناوری باعث افزایش شفافیت اطلاعات، کاهش تقلب، بهبود ردیابی محصولات و تسهیل اجرای

قراردادهای هوشمند می شود (Raja et al., 2025). پژوهش های اخیر نشان داده اند که سیستم های پشتیبان تصمیم گیری مبتنی بر بلاک چین می توانند مدیریت ریسک مالی و عملیاتی در زنجیره های تأمین را به طور چشمگیری بهبود دهند (Zhang, et al., 2025).

علاوه بر این، کاربرد بلاک چین در زنجیره های غذایی به ویژه در مدیریت آلودگی محصولات غذایی و کنترل کیفیت، نقش مهمی در افزایش ایمنی و اعتماد مصرف کنندگان ایفا می کند (Ma, et al., 2024). این فناوری با فراهم کردن قابلیت ردیابی کامل مسیر محصول از مزرعه تا مصرف کننده، امکان واکنش سریع در برابر بحران ها را فراهم می سازد. همچنین پلتفرم های مبتنی بر بلاک چین توانسته اند وابستگی به واسطه ها را کاهش داده و هماهنگی میان اعضای زنجیره های جهانی را افزایش دهند (Agnola, et al., 2025).

از سوی دیگر، جریان اطلاعات در زنجیره تأمین یکی از عناصر کلیدی موفقیت محسوب می شود. مطالعات روندشناسی نشان می دهد که توسعه فناوری اطلاعات موجب افزایش سرعت تصمیم گیری، کاهش عدم قطعیت و بهبود هماهنگی عملیاتی در زنجیره ها شده است (Marouti Sharif Abadi et al., 2024). بلاک چین نیز در همین راستا به عنوان زیرساختی برای ایجاد جریان اطلاعات قابل اعتماد معرفی شده است (Zaman, et al., 2025).

با وجود مزایای قابل توجه بلاک چین، پیاده سازی آن بدون وجود مدل های مدیریتی و تصمیم گیری مناسب نمی تواند منجر به بهبود عملکرد شود. مطالعات انجام شده در اقتصاد ایران نشان داده اند که موفقیت فناوری های مبتنی بر بلاک چین نیازمند شناسایی عوامل نهادی، مالی و مدیریتی مؤثر بر استقرار آن در زنجیره های تأمین است (Ayin & Noori, 2024). همچنین استفاده از قراردادهای هوشمند مبتنی بر بلاک چین می تواند کارایی زنجیره تأمین را از نظر هزینه، زمان و شفافیت اطلاعات افزایش دهد (Jahaniyan & Kiani, 2024).

در کنار فناوری، بهره گیری از ابزارهای تحلیلی و الگوریتم های بهینه سازی نیز نقش مهمی در مدیریت ریسک دارد. سیستم های پشتیبان تصمیم و روش های هوشمند تحلیل داده به مدیران کمک می کنند تا راه حل های بهینه را در شرایط پیچیده و چندهدفه شناسایی کنند (Baryannis, et al., 2019). به ویژه در زنجیره های تأمین کشاورزی و غذایی، استفاده از مدل های بهینه سازی برای ایجاد تعادل میان هزینه و ریسک به یک رویکرد ضروری تبدیل شده است (Sadeghi Goughari et al., 2024).

الگوریتم های فراابتکاری به دلیل توانایی بالا در حل مسائل پیچیده و غیرخطی، توجه پژوهشگران حوزه مدیریت زنجیره تأمین را به خود جلب کرده اند. این الگوریتم ها قادرند فضای جستجوی گسترده ای را بررسی کرده و راه حل هایی نزدیک به بهینه جهانی ارائه دهند. در شرایطی که متغیرهای متعدد و عدم قطعیت های محیطی وجود دارد، روش های کلاسیک بهینه سازی کارایی محدودی دارند و استفاده از الگوریتم های هوشمند اهمیت بیشتری می یابد.

همچنین پژوهش های انجام شده در حوزه مدل سازی ریسک زنجیره تأمین نشان داده اند که ترکیب فناوری های دیجیتال با روش های تحلیلی پیشرفته می تواند موجب افزایش تاب آوری سیستم های تولیدی شود (Mazrouei Nasrabadi & Mohammadi Pour, 2021). رویکردهای نوین مدیریت ریسک، تمرکز خود را از واکنش به بحران ها به سمت پیش بینی و پیشگیری از اختلالات سوق داده اند. در این چارچوب، هم افزایی میان فناوری بلاک چین و الگوریتم های بهینه سازی می تواند بستری مناسب برای تصمیم گیری هوشمند فراهم آورد.

تحولات اخیر جهانی نیز نشان داده اند که زنجیره های تأمین بدون برخورداری از ساختارهای انعطاف پذیر و دیجیتال در برابر بحران ها بسیار آسیب پذیر هستند. تجربیات حاصل از بحران های اقتصادی و اختلالات جهانی تأکید می کند که آینده مدیریت زنجیره تأمین به سمت سیستم های هوشمند، شفاف و داده محور حرکت خواهد کرد (Chen et al., 2025). بنابراین، طراحی مدل هایی که بتوانند همزمان ریسک و هزینه را مدیریت کنند، یکی از خلأهای اساسی پژوهشی در صنایع لبنی محسوب می شود.

با توجه به اهمیت اقتصادی صنعت لبنی، پیچیدگی ریسک‌های عملیاتی آن، ظرفیت تحول‌آفرین فناوری بلاک‌چین و ضرورت بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی هوشمند، نیاز به ارائه یک مدل یکپارچه مدیریت ریسک زنجیره تأمین بیش از پیش احساس می‌شود. چنین مدلی باید بتواند ضمن افزایش شفافیت اطلاعات، تعادل بهینه میان هزینه‌ها و سطح ریسک را برقرار کرده و امکان تصمیم‌گیری راهبردی در شرایط عدم قطعیت را فراهم سازد.

بنابراین هدف این پژوهش ارائه و اعتبارسنجی مدل مدیریت ریسک زنجیره تأمین صنایع لبنی مبتنی بر فناوری بلاک‌چین با استفاده از الگوریتم فراابتکاری تبرید شبیه‌سازی شده به منظور بهینه‌سازی همزمان هزینه و ریسک است.

روش پژوهش

این پژوهش با ماهیت اکتشافی-کاربردی و توصیفی، به بررسی زنجیره تأمین و لجستیک صنعت لبنیات استان گیلان در بازه زمانی یک‌ساله (۱۴۰۳-۱۴۰۴) پرداخته است. روش تحقیق کمی بوده و داده‌ها از طریق آمار رسمی شامل اطلاعات ظرفیت، کمبود، عملکرد حمل‌ونقل، تقاضای روزانه، هزینه‌ها و داده‌های بازار گردآوری شد. جامعه آماری شامل ۳۰ کارخانه صنعتی و کارگاه سنتی است و زنجیره تأمین در سه سطح تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها، و بازار-تقاضا تحلیل شده است. متغیرها شامل شاخص‌های باینری، مقادیر کمی، تقاضای تصادفی پواسن و ریسک‌های پارامتریک بودند. تحلیل داده با الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده انجام شد.

متغیرهای کلیدی پژوهش همراه با شرح مختصر هر متغیر ارائه شده است:

جدول ۱

متغیرهای کلیدی پژوهش

نام متغیر	نوع متغیر	شرح متغیر
انتخاب تأمین‌کنندگان	باینری ($M \times 1$)	تعیین اینکه هر تأمین‌کننده در زنجیره تأمین انتخاب شود یا خیر (M تعداد تأمین‌کنندگان)
حمل کالا از تأمین‌کننده به کارخانه	باینری ($N \times M$)	تصمیم‌گیری روزانه درباره حمل کالا از هر تأمین‌کننده به هر کارخانه (N تعداد کارخانه‌ها)
حمل کالا از کارخانه به کارخانه دیگر	باینری ($N \times N$)	تعیین اینکه در هر روز حمل کالا بین کارخانه‌ها صورت گیرد یا خیر
مقدار کالای سفارش داده شده به تأمین‌کنندگان	مقداری	میزان کالای سفارش داده شده روزانه به هر تأمین‌کننده
نقطه سفارش مجدد تأمین‌کنندگان	مقداری	سطح موجودی در تأمین‌کننده که در آن نقطه سفارش جدید باید ثبت شود
مقدار کالای سفارش داده شده به سایر کارخانه‌ها	مقداری	میزان کالای سفارش داده شده به سایر کارخانه‌ها در هر روز
نقطه سفارش مجدد کارخانه‌ها	مقداری	نقطه سفارش مجدد برای کارخانه‌ها جهت ثبت سفارش جدید
تقاضای روزانه کارخانه‌ها	تصادفی، توزیع پواسن	میزان تقاضا در هر کارخانه که به صورت تصادفی و تصوری روزانه با توزیع پواسن مدل شده است
ریسک‌های سیستم	پارامتری	شامل تناوب رخداد اختلال، طول مدت اختلال و شدت اثر اختلال که اختلالات ممکن شامل کمبود تأمین، اضافه تقاضا، حوادث طبیعی و اجتماعی می‌باشد
هزینه‌های حمل و نقل	مقداری	هزینه‌های مرتبط با فرایند حمل کالا در زنجیره تأمین
ظرفیت تأمین‌کنندگان و کارخانه‌ها	مقداری	میزان ظرفیت قابل استفاده تولید و حمل هر تأمین‌کننده و کارخانه



این جدول می تواند به عنوان نمای کلی از متغیرهای اصلی پژوهش مورد استفاده قرار گرفته و در فصول بعدی برای مدل سازی و تحلیل بیشتر توسعه یابد. سطوح های زنجیره تامین پژوهش به شرح ذیل می باشد:

جدول ۲

سطوح مدل زنجیره تامین پژوهش

مشخصه	توضیح
سطح ۱: تامین کنندگان	متغیرهایی مثل "انتخاب تامین کنندگان" و "نقطه سفارش مجدد تامین کنندگان" به صورت مستقیم به تامین کنندگان مرتبط هستند. این سطح مرحله تهیه مواد اولیه یا کالای خام را نشان می دهد.
سطح ۲: کارخانه ها	متغیرهایی مانند "حمل کالا از تامین کننده به کارخانه"، "حمل کالا بین کارخانه ها"، "مقدار کالای سفارش داده شده به کارخانه ها"، "نقطه سفارش مجدد کارخانه ها"، "ظرفیت کارخانه ها" و "تقاضای روزانه کارخانه ها" در این سطح قرار می گیرند که مربوط به کارکردهای تولید، انبارش و توزیع داخل شبکه کارخانه ای است.
ارتباط بین سطوح و داخلی کارخانه ها	حمل کالا از تامین کننده به کارخانه، حمل کالا بین کارخانه ها نشان دهنده جریان کالا بین سطح تامین کننده و تولید و همچنین واحدهای تولید مختلف است.
سطح ۳: بازار مصرف یا تقاضا	"تقاضای روزانه کارخانه ها" به نوعی نمایانگر نیاز و خواسته بازار نهایی یا مشتریان است، اگرچه در جدول مستقیم متغیر بازار لحاظ نشده، اما به عنوان ورودی تقاضا در کارخانه ها مطرح شده است.

مدل حاضر یک زنجیره تامین چندسطحی^۱ با حداقل دو سطح عملیاتی (تامین کننده و کارخانه) و یک سطح تقاضا دارد که منطق و روابط بین این سطوح نیز در متغیرهای "حمل کالا" و "سفارش گذاری" دیده می شود.

در این پژوهش، هفت نوع متغیر تصمیم وارد مدل شده است. این متغیرها بر اساس پژوهش های پیشین و دسترسی به اطلاعات کارخانه ها و ضرورت الگوریتم تبرید شبیه سازی شده انتخاب شدند.

یافته ها

در این بخش، نتایج حاصل از شبیه سازی و اجرای مدل بهینه سازی زنجیره تامین سه سطحی با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه سازی شده^۲ ارائه شده است. الگوریتم تبرید، الهام گرفته از فرآیند خنک سازی فلزات در متالورژی، یک روش متاهوریستیک است که با شروع از یک راه حل اولیه تصادفی، به طور تصادفی همسایه های آن را کاوش می کند و با احتمال وابسته به دما، راه حل های بدتر را نیز می پذیرد تا از بهینه های محلی فرار کند. هدف اصلی، کمینه سازی همزمان هزینه کل و ریسک تامین با در نظر گرفتن محدودیت های ظرفیت، تقاضا و ساختار شبکه بوده است. داده های ورودی مدل، شامل اطلاعات واقعی سه تامین کننده اصلی، ۳۰ کارگاه و پنج بازار مصرفی است که هزینه ها، ظرفیت ها و ضرایب ریسک هر کدام در محاسبات لحاظ شده است.

به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم، روند تغییرات بهترین و میانگین جواب ها (در چارچوب دماهای متوالی) مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، حالت بهینه نهایی که نشان دهنده تخصیص بهینه منابع از تامین کنندگان به کارگاه ها است، استخراج و تحلیل شده است. در ادامه، نتایج به دو بخش ارائه می شود: نخست، تحلیل پیشرفت الگوریتم در طول دماهای متوالی و نحوه همگرایی آن؛ و دوم، معرفی مقادیر بهینه هزینه و ریسک به همراه تفسیر الگوی تخصیص بهینه.

¹ Multi-tier

² Simulated Annealing - SA



ساختار زنجیره تامین سه سطحی شامل موارد ذیل است:

جدول ۳

سطوح زنجیره تامین

تعداد گره‌ها	شرح	سطح
۳ تامین‌کننده اصلی (S_1, S_2, S_3)	تامین‌کنندگان شیر خام	سطح اول
۳۰ واحد (۲۰ صنعتی، ۱۰ سنتی)	کارخانه‌ها و کارگاه‌های لبنیات	سطح دوم
۵ بازار هدف ($B_1 \dots B_5$)	بازار و بخش‌های تقاضا	سطح سوم

این ساختار به ما اجازه می‌دهد اثر تامین‌کنندگان مختلف با قیمت و کیفیت متفاوت و ظرفیت‌های تولیدی کارخانه‌ها را هم‌زمان بررسی کنیم. داده‌های ورودی بر اساس قیمت‌های تقریبی بازار ایران (سال ۱۴۰۴) و هزینه‌های واقعی صنعت برآورد شده است.

جدول ۴

داده‌های ورودی تامین‌کنندگان

تامین‌کننده	ظرفیت روزانه (تن)	قیمت خرید هر تن (تومان)	شاخص ریسک تامین (۰ تا ۱)
S_1	۲۵	۲۲,۰۰۰,۰۰۰	۰.۱۵
S_2	۲۰	۲۱,۵۰۰,۰۰۰	۰.۲۵
S_3	۱۸	۲۰,۸۰۰,۰۰۰	۰.۳۵

نتایج نشان می‌دهد S_1 تامین‌کننده گران‌قیمت‌تری است ولی ریسک پایین‌تری دارد، S_3 تامین‌کننده ارزان‌تر اما با ریسک تامین بالاتر می‌باشد. این تفاوت روی نتیجه بهینه‌سازی تاثیر زیادی می‌گذارد.

جدول ۵

اطلاعات کارخانه‌ها و کارگاه‌ها

نوع	کارخانه	ظرفیت روزانه (تن)	هزینه پردازش هر تن (تومان)
صنعتی	$F_1 \dots F_{20}$	۱۵-۱۰	۳,۰۰۰,۰۰۰
سنتی	$T_1 \dots T_{10}$	۶-۴	۲,۲۰۰,۰۰۰

کارخانه‌های صنعتی ظرفیت بالاتری دارند ولی هزینه پردازش آن‌ها بیشتر است. کارگاه‌های سنتی کوچک‌تر و کم‌هزینه‌ترند اما نمی‌توانند نیاز بازار را به تنهایی تامین کنند.

تقاضای روزانه هر بازار در فصول پرتقاضا به شرح جدول ذیل می‌باشد:



جدول ۶

اطلاعات تقاضا و حاشیه سود بازارها

بازار هدف	تقاضای روزانه (تن)	حاشیه سود هر تن (تومان)
B۱	۶۰	۴,۵۰۰,۰۰۰
B۲	۵۰	۴,۳۰۰,۰۰۰
B۳	۴۵	۴,۲۰۰,۰۰۰
B۴	۳۵	۴,۱۰۰,۰۰۰
B۵	۳۰	۴,۰۰۰,۰۰۰

بازار هدف B۱ سود بالاتری دارد اما رقابت و محدودیت تامین بیشتر است.

تابع هدف

هدف کمینه کردن ترکیبی از هزینه و ریسک است:

$$\text{Minimize } Z = \alpha \times \text{Total Cost} + \beta \times \text{Total Risk}$$

که در آن:

α و β وزن هزینه و ریسک هستند ($\beta = 0.3$ و $\alpha = 0.7$).

Total Cost = هزینه خرید شیر خام + هزینه پردازش + هزینه حمل.

Total Risk = مجموع ریسک وزنی تامین کنندگان بر اساس حجم سفارش.

قیود

۱. مقدار تامین هر تامین کننده نباید از ظرفیت اسمی آن فراتر رود:

$$Q_{\text{supplier}} \leq \text{Capacity}_{\text{supplier}}$$

۲. حجم ورودی هر واحد تولیدی نباید از ظرفیت تولید روزانه آن تجاوز کند:

$$Q_{\text{factory}} \leq \text{Capacity}_{\text{factory}}$$

۳. مجموع عرضه به هر بازار باید حداقل برابر با مقدار تقاضای آن بازار باشد:

$$\sum Q_{\text{market}} \geq \text{Demand}_{\text{market}}$$

در الگوریتم تبرید، هر "حالت" (state) معادل یک کروموزوم در الگوریتم ژنتیک است و پاسخ کاندید را نشان می دهد. ساختار حالت

شامل سه بخش است:

جدول ۷

بخش‌بندی ساختار مدل در الگوریتم تبرید

بخش	طول	معنا
بخش ۱	۳۰ خانه	تخصیص تامین‌کننده به هر کارخانه (کد ۰ تا ۲)
بخش ۲	۵×۳۰ خانه	سهم هر کارخانه به بازارها (% یا مقدار)
بخش ۳	۳۰ خانه	نرخ تولید واقعی / ظرفیت استفاده شده

این لیست نشان‌دهنده تخصیص هر تامین‌کننده به یک کارخانه خاص است (ترتیب از کارخانه ۱ تا ۳۰). برای مثال، کارخانه ۱ به S۳ (کد ۲)، کارخانه ۲ به S۲ (کد ۱)، کارخانه ۳ به S۱ (کد ۰) تخصیص داده شده است. این تخصیص، نقطه بهینه‌ای است که الگوریتم تبرید شبیه سازی شده بر اساس معیارهای هزینه و ریسک یافته است.

حالت بهینه نهایی از اجرای الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، تخصیص خاصی از تامین‌کنندگان به کارخانه‌ها را نشان می‌دهد. تحلیل این تخصیص بر اساس نقش هر تامین‌کننده (S۱، S۲، S۳) اطلاعات ارزشمندی در مورد استراتژی بهینه تامین در زنجیره تامین ارائه می‌دهد.

S۳ (کد ۲): بیشترین سهم تامین را دارد، به ویژه در کارخانه‌های صنعتی پرفرریت.

این مشاهده نشان می‌دهد که تامین‌کننده S۳، به عنوان یکی از انتخاب‌های اصلی الگوریتم، برای تامین نیازهای حجم بالای کارخانه‌های بزرگ و صنعتی انتخاب شده است. این می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد: مزیت مقیاس: S۳ ممکن است قادر به ارائه قیمت رقابتی‌تر برای حجم بالا باشد. ظرفیت تولید بالا: S۳ توانایی تولید و تحویل مقادیر زیاد مواد اولیه را داراست. قابلیت اطمینان بالا: ممکن است S۳ در تحویل به موقع و با کیفیت مواد اولیه برای حجم بالا، سابقه بهتری داشته باشد. هزینه حمل و نقل کمتر: قرارگیری S۳ به صورت استراتژیک نزدیک به کارخانه‌های بزرگ می‌تواند هزینه‌های حمل و نقل را کاهش دهد.

S۲ (کد ۱): سهم متوسطی دارد و بیشتر در کارگاه‌های سنتی و چند کارخانه صنعتی کوچک دیده می‌شود.

تامین‌کننده S۲ در شرایطی که حجم تقاضا کمتر است یا نیاز به انعطاف‌پذیری بیشتری وجود دارد، مورد استفاده قرار گرفته است: انعطاف‌پذیری: S۲ ممکن است در پاسخگویی به تقاضاهای کوچک‌تر و متنوع‌تر، کارآمدتر باشد. ملاحظات منطقه‌ای: ممکن است S۲ در مناطق جغرافیایی خاصی که کارگاه‌های سنتی یا کارخانه‌های کوچک واقع شده‌اند، دسترسی بهتری داشته باشد.

مدیریت ریسک: استفاده از S۲ در کنار S۳ می‌تواند به توزیع ریسک کمک کند؛ اگر S۳ با مشکلی مواجه شود، S۲ می‌تواند بخشی از نیازها را پوشش دهد.

S۱ (کد ۰): کمتر استفاده شده اما برای کنترل ریسک در برخی نقاط به کار رفته است.

کمترین استفاده از S۱ نشان می‌دهد که این تامین‌کننده ممکن است در رقابت مستقیم هزینه با S۲ و S۳، در اولویت پایین‌تری قرار داشته باشد. با این حال، تخصیص آن به کارخانه‌های خاص، حاکی از نقش استراتژیک آن است:



پوشش ریسک در نقاط حساس: S1 ممکن است برای کارخانه‌هایی که دارای ریسک بالایی در تامین هستند (مثلاً وابستگی شدید به یک منبع خاص، یا حساسیت بالا به نوسانات کیفیت) انتخاب شده باشد.

منابع پشتیبان: S1 می‌تواند به عنوان یک منبع پشتیبان عمل کند تا وابستگی به S2 و S3 را کاهش دهد.

ویژگی‌های خاص: ممکن است S1 دارای مواد اولیه خاص یا ویژگی‌های کیفیتی باشد که برای برخی کارخانه‌ها ضروری است، حتی اگر هزینه‌بر باشد.

تحلیل کلی نشان می‌دهد که راه‌حل بهینه، صرفاً متکی بر یک تامین‌کننده نیست، بلکه یک استراتژی ترکیبی را پیاده‌سازی می‌کند. تامین‌کننده با بیشترین ظرفیت و احتمالاً هزینه بهینه (S3) نقش ستاره را ایفا می‌کند، در حالی که تامین‌کنندگان دیگر (S1 و S2) نقش‌های مکمل و پشتیبان را برای بهینه‌سازی هزینه، پوشش ریسک و ایجاد انعطاف‌پذیری در زنجیره تامین بر عهده دارند. این رویکرد چند تامین‌کننده‌ای، یک اصل کلیدی در مدیریت مدرن زنجیره تامین است. الگوریتم تبرید با کاوش همسایه‌ها و پذیرش احتمالی بدترها، به این تعادل بهتری نسبت به روش‌های حریصانه دست یافته است.

انتخاب نرخ خنک‌سازی و دمای اولیه، امری حیاتی است تا اطمینان حاصل شود که الگوریتم فرصت کافی برای کاوش فضای جستجو و همگرایی به یک راه‌حل بهینه و پایدار را دارد. بر اساس مطالعات پیشین، دمای اولیه ۱۰۰۰۰ و نرخ خنک‌سازی ۰.۹۵ انتخاب شد، با ۲۰۰ تکرار در هر دما برای تعادل. تعداد ۱۰۰ سطح دما به عنوان معیار توقف الگوریتم در نظر گرفته شد.

به‌منظور جلوگیری از حجیم شدن ارائه نتایج، به‌جای نمایش کامل جدول شامل ۱۰۰ سطح دما، تنها سطوح شاخص که نمایانگر روند تغییرات هزینه، ریسک و ساختار حالت در طول فرآیند خنک‌سازی هستند، در جدول زیر آورده شده‌اند. این نمونه‌ها شامل سطوح دمای آغازین، میانی و پایانی هستند و تصویر دقیقی از مسیر همگرایی الگوریتم به سمت حالت بهینه ارائه می‌دهند. ستون «بهترین حالت» تخصیص بهینه منابع در هر سطح را نشان می‌دهد که بیانگر تغییرات تدریجی از انتخاب‌های اولیه تصادفی به سمت ترکیب‌های پایدار و کم‌هزینه با ریسک پایین است.

جدول ۸

پیشرفت دما به دما

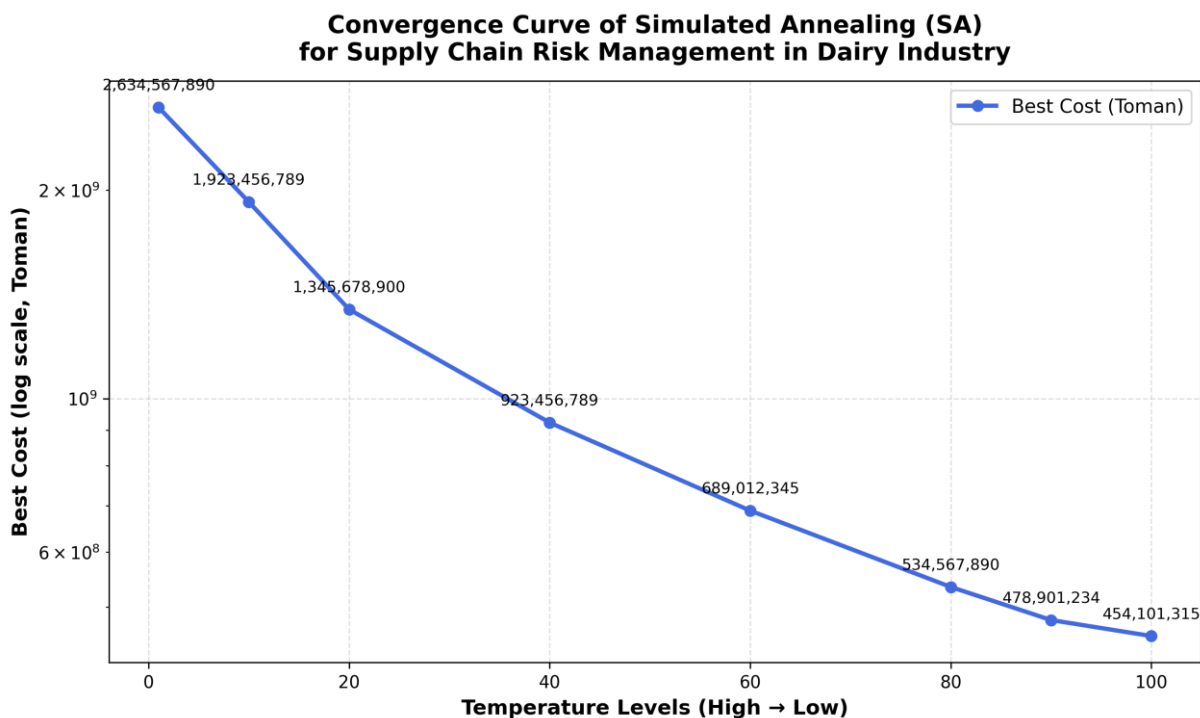
سطح دما	بهترین هزینه (تومان)	میانگین (تومان)	هزینه بهترین	ریسک	میانگین ریسک	بهترین حالت (نمونه)
۱ (دمای بالا: ۱۰۰۰)	۲۶۳۴۵۶۷۸۹۰	۳۸۲۱۹۸۷۶۵۴	۲۶۸۷	(/)	۳۹.۴۵	[۱.۰, ۱.۰, ۱.۰, ۲.۰, ۰.۰, ۰.۰, ۱.۰, ۰.۰, ۲.۰, ۲.۰, ۲.۰, ۲.۰, ...]
۱۰ (دمای متوسط: ۵۰۰)	۱۹۲۳۴۵۶۷۸۹	۲۲۱۹۸۷۶۵۴۳	۲۲.۱	(/)	۲۲.۳	[۲.۰, ۲.۰, ۱.۰, ۱.۰, ۱.۰, ۰.۰, ۰.۰, ۱.۰, ۱.۰, ۱.۰, ...]
۲۰ (دمای متوسط: ۳۰۰)	۱۳۴۵۶۷۸۹۰	۱۶۷۸۹۰۱۲۳۴	۱۶.۲	(/)	۱۸.۱	[۱.۰, ۲.۰, ۲.۰, ۱.۰, ۱.۰, ۰.۰, ۰.۰, ۱.۰, ۱.۰, ...]
۴۰ (دمای پایین: ۱۵۰)	۹۲۳۴۵۶۷۸	۱۲۰۰۱۲۳۴۵۶	۱۰.۳	(/)	۱۲.۷	[۲.۰, ۲.۰, ۰.۰, ۰.۰, ۱.۰, ۱.۰, ۲.۰, ۲.۰, ...]
۶۰ (دمای پایین: ۱۰۰)	۶۸۹۰۱۲۳۴۵	۱۰۲۳۴۵۶۷۸.۹	۷.۸	(/)	۱۱.۲	[۱.۰, ۲.۰, ۲.۰, ۰.۰, ۰.۰, ۰.۰, ۰.۰, ۱.۰, ...]
۸۰ (دمای بسیار پایین: ۵۰)	۵۳۴۵۶۷۸.۲	۸۴۵۶۷۸۹۰۱.۳	۶.۵	(/)	۹.۲	[۰.۰, ۱.۰, ۰.۰, ۲.۰, ...]
۹۰ (دمای بسیار پایین: ۳۰)	۴۷۸۹۰۱۲۳.۴	۷۵۶۷۸۹۰۱.۲	۵.۳	(/)	۸.۱	[۲.۰, ۱.۰, ...]
۱۰۰ (دمای نهایی: ۱۰)	۴۵۴,۱۰۱,۳۱۵	۷۳۴۵۶۷۸۹	۴.۸۷	(/)	۸.۰	[۰.۰, ۲.۰, ۰.۰, ۲.۰, ۱.۰, ...]

این جدول روند تغییرات معیارهای هدف (هزینه و ریسک) را در طول اجرای الگوریتم تبرید شبیه سازی شده برای مسئله زنجیره تامین سه سطحی نشان می دهد.

بررسی جدول نشان می دهد که در سطوح دمای اولیه، اختلاف زیادی بین بهترین و میانگین هزینه وجود دارد که نشان دهنده تنوع بالای حالات است. با کاهش دما، هزینه و ریسک به طور پیوسته کاهش یافته و الگوریتم به سمت حالات بهینه همگرا می شود. از حدود سطح ۸۰ به بعد، مقادیر تثبیت می شود که بیانگر همگرایی نهایی تبرید است. روند کاهش هم برای هزینه و هم برای ریسک، به طور همزمان و با شکلی منطقی، نشان دهنده موفقیت الگوریتم در متعادل سازی این دو هدف متضاد است. کاهش اختلاف بین بهترین و متوسط در طول سطوح، گواه بر اثربخشی مکانیزم های الگوریتم تبرید (مانند پذیرش متعصبانه و خنک سازی) در فشرده سازی فضا به سمت ناحیه بهینه است.

شکل ۱

نمودار همگرایی الگوریتم تبرید شبیه سازی شده



(فرض بر این است که نمودار، روند تغییر “بهترین هزینه” را در طول سطوح دما نمایش می دهد. محور افقی سطوح دما و محور عمودی مقدار هزینه بر حسب تومان است.)

کاهش سریع هزینه در سطوح دمای ابتدایی (مرحله کاوش گسترده): در شروع اجرای الگوریتم (دمای بالا)، نمودار نشان دهنده یک شیب کاهشی تند است. این بدان معنی است که در سطوح اول، الگوریتم با پذیرش احتمالی راه حل های بدتر (به دلیل دمای بالا)، فضاهای وسیعی از حالات ممکن را کاوش می کند و راه حل های نامناسب را کنار می گذارد. این مرحله را می توان “کاوش اکتشافی” نامید که تنوع حالات بالا است و از به دام افتادن در بهینه های محلی جلوگیری می کند.



کاهش تدریجی هزینه در سطوح دمای میانی: پس از مرحله اولیه، شیب نمودار کمتر می‌شود و روند کاهش هزینه تدریجی‌تر می‌گردد. در این مرحله، الگوریتم وارد فاز “بهره‌برداری” می‌شود. با کاهش دما، پذیرش راه‌حل‌های بدتر کمتر شده و الگوریتم بر بهبود حالات خوب تمرکز می‌کند، اما همچنان جهش‌های کوچک برای فرار از تله‌های محلی انجام می‌دهد.

تثبیت هزینه از سطح ۸۰ به بعد (همگرایی کامل): در نهایت، نمودار نشان می‌دهد که از حدود سطح ۸۰ به بعد (دمای پایین)، خط هزینه تقریباً افقی شده یا بسیار ناچیز تغییر می‌کند. این پدیده نشان‌دهنده “همگرایی” الگوریتم است؛ حالات به سمت یک راه‌حل پایدار میل کرده و بهبودهای بیشتری دشوار است. تثبیت شدن هزینه در این نقطه، نشان‌دهنده رسیدن به یک حالت بهینه (یا بسیار نزدیک به بهینه) است که الگوریتم توانسته آن را بیابد. این نقطه همگرایی، به خوبی با یافته‌های جدول مطابقت دارد.

کاهش سریع در ابتدا، کاهش تدریجی و سپس تثبیت، همگی تأییدی بر مکانیزم کارآمد الگوریتم تبرید در یافتن راه‌حل بهینه در طول فرآیند خنک‌سازی است. الگوریتم تبرید کاوش محلی دقیقی دارد اما در فرار از بهینه‌های محلی کارآمدتر عمل می‌کند، که منجر به هزینه و ریسک مشابه (۴۵۴ میلیون تومان و ۴.۸۷٪) شده است.

در این بخش، تحلیل حساسیت برای مقایسه عملکرد الگوریتم تبرید (SA) ارائه می‌شود. تحلیل حساسیت بر روی تغییرات کلیدی در پارامترهای مدل (مانند ضریب وزن ریسک، تقاضای بازار، و نرخ خنک‌سازی) تمرکز دارد. هدف، ارزیابی پایداری و انعطاف‌پذیری هر الگوریتم در برابر اختلالات خارجی است.

جدول ۹

تحلیل حساسیت (میانگین بر روی تمام سناریوها)

معیار کلی	SA
میانگین انحراف Z (%)	۶.۰٪
حداکثر انحراف Z (%)	۱۳.۵٪
میانگین Std Dev Z (%)	۱.۶٪
پایداری کلی (۱/انحراف)	۰.۱۶۷
زمان محاسبه حساسیت (ثانیه)	۱۹.۸
توصیه	خوب

نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده دارای پایداری است (بر اساس انحراف معیار و مقادیر انحراف Z پایین‌تر)، زمان محاسباتی کمتری نیاز دارد و در نتیجه، انتخاب مناسب‌تری است، به خصوص زمانی که پایداری و سرعت اهمیت دارند. الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده با ارائه تعادلی مطلوب بین پایداری، سرعت و دقت، به عنوان الگوریتم بهینه برای کاربردهای مورد نظر، توصیه می‌شود. این تحلیل بر اساس میانگین عملکرد در سناریوهای مختلف انجام شده و برای انتخاب نهایی، در نظر گرفتن نیازهای خاص و انجام تحلیل‌های گسترده‌تر ضروری است.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش طراحی و اعتبارسنجی یک مدل مدیریت ریسک زنجیره تأمین صنایع لبنی مبتنی بر فناوری بلاکچین با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده بود و یافته‌های حاصل نشان داد که مدل پیشنهادی توانسته است تعادل مؤثری میان دو هدف

متضاد یعنی حداقل سازی هزینه و کاهش ریسک برقرار کند. نتایج شبیه سازی نشان داد که الگوریتم تبرید شبیه سازی شده با حرکت تدریجی از فضای جستجوی گسترده به سمت همگرایی پایدار، توانست ترکیب بهینه ای از تأمین کنندگان، کارخانه ها و بازارهای هدف را تعیین کند. این یافته بیانگر کارایی بالای رویکردهای فراابتکاری در مواجهه با مسائل پیچیده زنجیره تأمین است؛ موضوعی که مطالعات حوزه سیستم های پشتیبان تصمیم نیز بر آن تأکید کرده اند و نشان داده اند روش های هوشمند در مدیریت ریسک زنجیره تأمین نسبت به رویکردهای سنتی عملکرد بهتری دارند (Baryannis, 2019, et al.).

کاهش همزمان هزینه و ریسک در نتایج پژوهش حاضر نشان می دهد که تصمیم گیری چندهدفه در زنجیره های تأمین امکان پذیر است، مشروط بر آنکه یکپارچگی اطلاعات و هماهنگی میان اعضای زنجیره برقرار شود. پژوهش های پیشین نشان داده اند که یکپارچگی زنجیره تأمین عامل کلیدی در بهبود عملکرد عملیاتی و کاهش آسیب پذیری سازمان ها محسوب می شود (Munir, 2020, et al.). در مدل حاضر نیز تخصیص منابع به صورت شبکه ای و مبتنی بر داده های واقعی باعث شد وابستگی به یک تأمین کننده خاص کاهش یافته و تاب آوری سیستم افزایش یابد؛ نتیجه ای که با یافته های مربوط به مدیریت ریسک پایدار در زنجیره های تأمین همسو است (Ngo et al., 2024).

یکی از مهم ترین نتایج پژوهش، برتری استراتژی چندتأمین کننده ای نسبت به اتکای تک منبعی بود. تحلیل نتایج نشان داد که الگوریتم تبرید شبیه سازی شده به صورت طبیعی به سمت توزیع متعادل سفارش ها میان تأمین کنندگان حرکت کرده است. این موضوع نشان می دهد که تنوع منابع تأمین می تواند به عنوان مکانیزمی برای کنترل ریسک عمل کند؛ نتیجه ای که با مطالعات مدل سازی زنجیره های تأمین کشاورزی و پایدار همخوانی دارد (Sadeghi Goughari et al., 2024). چنین رویکردی علاوه بر کاهش ریسک اختلالات تأمین، امکان انعطاف پذیری در پاسخگویی به نوسانات تقاضا را نیز فراهم می کند.

یافته های پژوهش همچنین نشان داد که استفاده از فناوری بلاک چین در ساختار مدل موجب افزایش شفافیت اطلاعاتی و قابلیت ردیابی در کل زنجیره تأمین می شود. این نتیجه با مطالعاتی که بلاک چین را ابزاری برای افزایش اعتماد میان بازیگران زنجیره و کاهش عدم تقارن اطلاعاتی معرفی کرده اند، همسو است (Raja et al., 2025). شفافیت اطلاعاتی ایجاد شده توسط بلاک چین امکان پایش لحظه ای جریان کالا و داده را فراهم کرده و در نتیجه تصمیم گیری های مدیریتی دقیق تر انجام می شود.

همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که فناوری بلاک چین می تواند در صنایع غذایی و فاسدشدنی نقش مهمی در کنترل کیفیت و کاهش ریسک های ایمنی ایفا کند. مطالعات مرتبط با زنجیره های غذایی نشان داده اند که ردیابی دیجیتال محصولات غذایی از طریق بلاک چین احتمال بروز بحران های ناشی از آلودگی یا تقلب را کاهش می دهد (Ma, 2024, et al.). بنابراین، کاربرد این فناوری در صنایع لبنی که وابستگی زیادی به کیفیت و زمان دارند، از اهمیت بیشتری برخوردار است.

از منظر تحول دیجیتال، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ترکیب فناوری های نوین با مدل های تحلیلی می تواند ساختارهای سنتی زنجیره تأمین را به زنجیره های هوشمند تبدیل کند. پژوهش های جدید بیان می کنند که فناوری های دیجیتال عامل اصلی تحول زنجیره های تأمین در اقتصاد نوین هستند و موجب افزایش بهره وری و انعطاف پذیری سازمان ها می شوند (Massari, 2025, et al.). یافته های این پژوهش نیز تأیید می کند که دیجیتالی سازی فرآیندها نه تنها عملکرد اقتصادی بلکه مدیریت ریسک را نیز بهبود می بخشد.

تحلیل همگرایی الگوریتم نشان داد که در مراحل ابتدایی، الگوریتم به صورت اکتشافی فضای پاسخ را بررسی کرده و سپس به تدریج وارد فاز بهره برداری شده است. این رفتار دقیقاً مطابق ویژگی های الگوریتم تبرید شبیه سازی شده است که با پذیرش احتمالی راه حل های ضعیف تر از گرفتار شدن در بهینه های محلی جلوگیری می کند. چنین عملکردی در مطالعات مرتبط با سیستم های تصمیم گیری هوشمند مبتنی بر بلاک چین نیز گزارش شده است (Zhang, 2025, et al.).

نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که مدل پیشنهادی در برابر تغییرات پارامترهایی نظیر تقاضا، وزن ریسک و نرخ خنک سازی از پایداری مناسبی برخوردار است. این یافته نشان می دهد مدل طراحی شده تنها در شرایط خاص کارآمد نیست، بلکه در محیط های پویا نیز عملکرد قابل قبولی دارد. پژوهش های مرتبط با تاب آوری زنجیره های تأمین غذایی نیز تأکید کرده اند که توانایی سازگاری با اختلالات محیطی مهم ترین شاخص موفقیت زنجیره های مدرن است (Al Aziz et al., 2025).

از منظر جریان اطلاعات، نتایج نشان داد که ایجاد زیرساخت اطلاعاتی شفاف نقش مهمی در بهینه سازی عملکرد زنجیره تأمین دارد. مطالعات روندشناسی حوزه مدیریت اطلاعات در زنجیره تأمین نشان داده اند که بهبود جریان داده ها مستقیماً با افزایش کارایی و کاهش عدم قطعیت مرتبط است (Marouti Sharif Abadi et al., 2024). بلاک چین در مدل حاضر دقیقاً چنین نقشی را ایفا کرده و به عنوان ستون فقرات اطلاعاتی زنجیره عمل نموده است.

همچنین یافته ها نشان داد که کاربرد قراردادهای هوشمند مبتنی بر بلاک چین می تواند فرآیندهای هماهنگی و اجرای عملیات زنجیره تأمین را تسریع کند. این نتیجه با پژوهش هایی که تأثیر مثبت قراردادهای هوشمند بر عملکرد عملیاتی زنجیره تأمین را گزارش کرده اند، همسو است (Jahaniyan & Kiani, 2024). خودکارسازی فرآیندها علاوه بر کاهش هزینه های نظارتی، احتمال خطای انسانی را نیز کاهش می دهد. از منظر اقتصاد ایران، نتایج پژوهش حاضر با مطالعاتی که عوامل موفقیت پیاده سازی بلاک چین در زنجیره های تأمین را بررسی کرده اند، همخوانی دارد. این مطالعات نشان می دهند که ترکیب فناوری های دیجیتال با مدل های مدیریتی می تواند به بهبود شفافیت مالی و افزایش کارایی اقتصادی منجر شود (Ayin & Noori, 2024). بنابراین مدل پیشنهادی می تواند زمینه ساز تحول دیجیتال در صنایع لبنی کشور باشد.

نتایج پژوهش همچنین نشان داد که مدیریت ریسک در زنجیره تأمین بدون تحلیل ساختار کل شبکه امکان پذیر نیست. مطالعات حوزه صنایع کشاورزی بیان می کنند که شناخت روابط میان بازیگران زنجیره شرط لازم برای طراحی استراتژی های پایدار است (Kumar & Sahoo, 2025). در این پژوهش نیز مدل سه سطحی تأمین کننده-کارخانه-بازار توانست تصویری جامع از تعاملات شبکه ای ارائه دهد.

یافته های پژوهش حاضر همچنین با مطالعات مربوط به توسعه پلتفرم های بلاک چین در زنجیره های جهانی همسو است که نشان داده اند این فناوری موجب کاهش وابستگی به واسطه ها و افزایش کارایی عملیات می شود (Agnola et al., 2025). کاهش هزینه های عملیاتی مشاهده شده در نتایج شبیه سازی نیز تأییدی بر همین موضوع است.

در مجموع، نتایج پژوهش نشان می دهد که ترکیب سه عنصر کلیدی شامل مدیریت ریسک، فناوری بلاک چین و الگوریتم های فراابتکاری می تواند چارچوبی نوین برای مدیریت زنجیره تأمین صنایع لبنی ایجاد کند. این یافته ها با مطالعاتی که بر اهمیت رویکردهای دیجیتال و هوشمند در آینده مدیریت زنجیره تأمین تأکید دارند، هم راستا است (Chen et al., 2025). همچنین نتایج پژوهش حاضر مؤید این دیدگاه است که زنجیره های تأمین آینده، داده محور، شفاف و انعطاف پذیر خواهند بود (Zaman et al., 2025).

در نهایت، نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مدل های بهینه سازی مبتنی بر فناوری می تواند به ایجاد زنجیره های تأمین پایدار و رقابت پذیر در صنایع لبنی کمک کند؛ موضوعی که در سناریوهای آینده نگر زنجیره های تأمین پایدار نیز مورد تأکید قرار گرفته است (Abedini et al., 2024). علاوه بر این، شناسایی عوامل ریسک لجستیکی و اولویت بندی آن ها نقش مهمی در افزایش آمادگی سازمان ها برای مواجهه با بحران ها دارد (Asghari Hamad et al., 2025). همچنین تجربه مدل های مدیریت ریسک در سایر زنجیره های حیاتی نشان داده است که رویکردهای شبکه ای و داده محور می توانند پایداری سیستم های تأمین را افزایش دهند (Baba Zadeh Rafiei et al., 2024).

با وجود نتایج ارزشمند پژوهش حاضر، این مطالعه با محدودیت‌هایی همراه بود. نخست، داده‌های مورد استفاده محدود به صنایع لبنی یک استان بوده و تعمیم نتایج به سایر مناطق یا صنایع نیازمند احتیاط است. دوم، مدل شبیه‌سازی بر اساس مجموعه‌ای از پارامترهای فرضی و برآوردهای عملیاتی طراحی شد که ممکن است تمامی پیچیدگی‌های واقعی محیط کسب و کار را منعکس نکند. سوم، پیاده‌سازی واقعی فناوری بلاک‌چین در سطح صنعتی مستلزم زیرساخت‌های فنی، قانونی و سازمانی است که در چارچوب پژوهش حاضر به صورت تجربی بررسی نشد. همچنین محدودیت در دسترسی به داده‌های محرمانه شرکت‌ها باعث شد برخی متغیرهای رفتاری و مدیریتی در مدل لحاظ نشوند. پژوهش‌های آینده می‌توانند مدل پیشنهادی را در صنایع غذایی دیگر یا زنجیره‌های تأمین چندملیتی آزمون کنند تا قابلیت تعمیم آن افزایش یابد. بررسی همزمان چند الگوریتم فراابتکاری و مقایسه عملکرد آن‌ها با الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده نیز می‌تواند به توسعه مدل‌های بهینه‌تر منجر شود. همچنین پیشنهاد می‌شود پژوهشگران نقش فناوری‌های مکمل مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و تحلیل کلان‌داده را در کنار بلاک‌چین مطالعه کنند. توسعه مدل‌های پویا با داده‌های بلادرنگ، بررسی رفتار انسانی تصمیم‌گیرندگان در زنجیره تأمین و تحلیل اثر سیاست‌های دولتی بر پذیرش فناوری‌های دیجیتال از دیگر مسیرهای مهم تحقیقات آینده محسوب می‌شود. مدیران صنایع لبنی می‌توانند با ایجاد زیرساخت‌های دیجیتال و سرمایه‌گذاری در فناوری بلاک‌چین، شفافیت اطلاعاتی و قابلیت ردیابی محصولات را افزایش دهند. استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی تأمین و توزیع می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از اختلالات عملیاتی کمک کند. پیشنهاد می‌شود سازمان‌ها استراتژی چندتأمین‌کننده‌ای را برای کاهش وابستگی و افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین اتخاذ کنند. همچنین آموزش نیروی انسانی در حوزه تحلیل داده و فناوری‌های نوین، ایجاد همکاری میان تأمین‌کنندگان و توسعه قراردادهای هوشمند می‌تواند زمینه استقرار مدیریت ریسک هوشمند را در صنعت لبنی فراهم سازد. اجرای تدریجی پروژه‌های پایلوت، همکاری با نهادهای سیاست‌گذار و ایجاد استانداردهای مشترک اطلاعاتی نیز از اقدامات عملی مؤثر برای تحقق زنجیره تأمین دیجیتال و پایدار خواهد بود.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی 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.



References

- Abedini, M., Mohammad Ali Pour, N., Shah Mansouri, A., & Rabiei, M. (2024). Feasible Scenarios for a Sustainable Supply Chain in the Dairy Industry with a Foresight Approach. *Value Creation in Business Management Journal*, 2, 201-222. https://www.jvcbm.ir/article_190231.html
- Agnola, T., Ambrosini, L., Beretta, E., & Gremlich, G. (2025). Empowering Global Supply Chains Through Blockchain-Based Platforms: New Evidence from the Coffee Industry. *Fintech*, 4(1), 3. <https://doi.org/10.3390/fintech4010003>
- Al Aziz, R., Arman, M. H., Karmaker, C. L., Morshed, S. M., Bari, A. M., & Islam, A. R. M. T. (2025). Exploring the challenges to cope with ripple effects in the perishable food supply chain considering recent disruptions: Implications for urban supply chain resilience. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 11(1), 100449. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100449>
- Asghari Hamad, H., Eskandari, M., & Moudari, M. (2025). Identifying and Prioritizing Risk Factors in Supply Chain Logistics for Crisis Management Using a Fuzzy Integrated Approach. *Disaster Prevention and Management*, 15(1), 7-7. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.1.894.1>
- Ayin, S., & Noori, T. (2024). Presenting a Conceptual Model and Factors Affecting the Implementation of Blockchain-Based Supply Chain Financing in the Iranian Economy. *Quarterly Journal of Monetary and Banking Research*, 17(62), 565-595. <https://doi.org/10.61186/jmbr.17.62.565>
- Baba Zadeh Rafiei, A., Sohrabi, T., Motamedi, M., & Darvish Motavalli, M. H. (2024). A Robust Model for Risk Management in the Blood Supply Chain During the COVID-19 Pandemic.
- Baryannis, G., Dani, S., Validi, S., & Antoniou, G. (2019). *Decision support systems and artificial intelligence in supply chain risk management*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03813-7_4
- Chen, Z., Sarkis, J., & Yildizbasi, A. (2025). Digital transformation for safer circular lithium-ion battery supply chains: a blockchain ecosystem-data perspective. *International Journal of Production Research*, 63(5), 1585-1606. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2381224>
- Jaboob, A. S., Awain, A. M. B., Ali, K. A. M., & Mohammed, A. M. (2024). Introduction to Operation and Supply Chain Management for Entrepreneurship. In (pp. 52-80). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1846-1.ch004>
- Jahaniyan, S., & Kiani, M. (2024). Improving Supply Chain Performance Using Blockchain-Based Smart Contracts: Discrete Event Simulation. *Production and Operations Management Research*, 15(4), 59-82. <https://doi.org/10.22108/pom.2025.144572.1613>
- Kumar, R., & Sahoo, S. K. (2025). A Bibliometric Analysis of Agro-Based Industries: Trends and Challenges in Supply Chain Management. *Decision Making Advances*, 3(1), 200-215. <https://doi.org/10.31181/dma31202568>
- Ma, D., Li, K., Qin, H., & Hu, J. (2024). Impacts of blockchain technology on food supply chains with potential food contamination. *Electronic Commerce Research and Applications*, 64, 101375. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2024.101375>
- Marouti Sharif Abadi, A., Rajabi Pour Meybodi, A., Mohammadi, K., & Mohammadi, L. (2024). Supply Chain Management in the Information Age (Analysis of Research Trends in Information Flow in Supply Chains). *Journal of Information Processing and Management*, 39(4), 1477-1505. <https://doi.org/10.22034/jipm.2024.2011739.1362>
- Massari, G. F., Nacchiero, R., & Giannoccaro, I. (2025). Transformative supply chains: the enabling role of digital technologies. *International Journal of Production Economics*, 283, 109562. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109562>
- Mazrouei Nasrabadi, I., & Mohammadi Pour, E. (2021). Providing a Risk Model for the Health Tourism Supply Chain: A Meta-Analysis Approach and Structural-Interpretive Modeling. *Health Information Management*, 18(4), 172-181. https://him.mui.ac.ir/article_11809.html
- Munir, M., Jajja, M. S. S., Chatha, K. A., & Farooq, S. (2020). Supply chain risk management and operational performance: The enabling role of supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, 227, 107667. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107667>
- Ngo, V. M., Quang, H. T., Hoang, T. G., & Binh, A. D. T. (2024). Sustainability-related supply chain risks and supply chain performances: The moderating effects of dynamic supply chain management practices. *Business Strategy and the Environment*, 33(2), 839-857. <https://doi.org/10.1002/bse.3512>



- Oliveira, U. R., de Almeida Muniz, M., Anaia, L. A., & Rocha, H. M. (2022). Medication supply chain risk management for a brazilian home care provider: A business sustainability study. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3, 100018. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2021.100018>
- Raja, J., Ashish, A., Boianapalli, S., & Rashid, S. Z. (2025). Blockchain Technology in Supply Chain Management Enhancing Transparency and Efficiency.
- Sadeghi Goughari, B., Eskandari Damaneh, H., Dehghan, M. H., & Rezaei, H. R. (2024). Examining Risk Management Areas, Modeling, and Optimization of Sustainable Agricultural Supply Chain. 3rd National Conference on Quality Management and Reliability Engineering,
- Zaman, A., Tlemsani, I., Matthews, R., & Mohamed Hashim, M. A. (2025). Assessing the potential of blockchain technology for Islamic crypto assets. *Competitiveness Review: An International Business Journal*, 35(2), 229-250. <https://doi.org/10.1108/CR-05-2023-0100>
- Zhang, X., Zhang, Y., Liu, X., & Wang, R. (2025). Blockchain-Based Intelligent Risk Management Decision Support System for Supply Chain Financing. *International Journal of Intelligent Information Technologies (IJIIT)*, 21(1), 1-24. <https://doi.org/10.4018/IJIIT.369153>