

Presenting a Mathematical Model of Futures Contracts to Cover Supply Chain Financial Risk

1. Zeinab Doost Gharin¹: Department of Industrial Management, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Abbas Raad^{2*}: Assistant Prof, Department of Industrial Management and Information Technology, Management and Accounting Faculty, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran. Email: a-raad@sbu.ac.ir (Corresponding Author)

3. Amirreza Alizadeh Majd³: Department of Business Management and Entrepreneurship, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Article history



Received: 23 July 2024

Revised: 31 October 2024

Accepted: 07 November 2024

Published: 15 December 2024

Abstract:

The study aims to design a mathematical model of futures contracts to reduce and cover financial risks in supply chain management. This applied research employed a mathematical modeling approach. Genetic algorithms, particle swarm optimization, and a hybrid approach combining the two were used to solve the model. The proposed model was developed based on minimizing the total opportunity cost (TOC) and implemented as a case study in Iran Khodro Company. Data were collected through a field-based approach using the company's operational information. The findings revealed that futures contracts effectively reduced price fluctuations and contributed to managing financial risks in the supply chain. The hybrid genetic-particle swarm algorithm demonstrated higher accuracy in predicting risks and optimizing supply chain performance compared to the individual algorithms. It minimized errors under different market conditions and provided estimates closer to real-world data. Futures contracts serve as an effective tool for mitigating financial risk in supply chains and improving companies' financial performance. The use of hybrid algorithms in modeling enhances prediction accuracy and efficiency by overcoming the weaknesses of single methods, offering a practical solution for risk management in complex supply chain environments.

Keywords: Supply chain, futures contracts, risk management, mathematical model, genetic algorithm, particle swarm optimization

Citation: Doost Gharin, Z., Raad, A., & Alizadeh Majd, A. (2024). Presenting a Mathematical Model of Futures Contracts to Cover Supply Chain Financial Risk. *Accounting, Finance and Computational Intelligence*, 2(3), 156-174.



Copyright: © 2024 by the authors. Published under the terms and conditions of Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

Extended Abstract

Introduction

Supply chain management (SCM) has increasingly become a focal point of academic and industrial research due to globalization, heightened competition, and growing uncertainty in global markets (Chopra & Meindl, 2007). A supply chain, by definition, is a complex network of suppliers, manufacturers, distributors, and retailers, and it operates under significant risks that can disrupt the natural flow of materials, finances, and information (Harland et al., 2003). Disruptions in one segment often cascade throughout the entire chain, leading to operational and financial inefficiencies (Hosseini & Sheikhi, 2013). Hence, the importance of designing robust mechanisms for supply chain risk management (SCRM) has grown remarkably in recent years.

Financial risks, particularly those arising from price fluctuations of raw materials, transportation costs, and market instability, are among the most critical threats to supply chain performance (Garvey & Carnovale, 2020). Traditional risk management tools have proven insufficient in dealing with the highly dynamic and non-linear risk propagation in supply chains (Huo et al., 2019). Futures contracts, as one of the key financial instruments, have long been recognized for their ability to hedge against market volatility and stabilize expected financial outcomes (Soleimani, 2019). They offer buyers and sellers the opportunity to agree on a predetermined price for future transactions, thus mitigating uncertainty and enabling smoother cash flow management (Al-e Ali et al., 2020).

Scholars have stressed that while futures contracts are effective in risk hedging, their implementation requires advanced modeling and optimization methods due to the stochastic nature of supply chain risks (Zenios, 2007). Mathematical models provide an abstract yet practical representation of complex realities, simplifying decision-making under uncertainty (Comelli et al., 2008). In this context, metaheuristic algorithms such as Genetic Algorithms (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO) have emerged as powerful tools to solve large-scale, non-linear optimization problems that characterize financial risk management (Salahi, 2020). The integration of such algorithms in hybrid forms has been shown to increase accuracy and efficiency by combining the strengths of different techniques while mitigating their weaknesses (Garvey & Carnovale, 2020).

Recent research has highlighted several dimensions of supply chain risk. On one hand, structural studies emphasize interdependencies among different risks and their cascading effects (Chowdhury et al., 2019). On the other, behavioral models underline how herd mentality and risk preferences influence risk propagation in supply networks (Huo et al., 2019). Moreover, leadership and governance factors significantly shape multi-tier sustainable supply chain management, showing that risk management is not merely technical but also organizational (Jia et al., 2018). To further complicate matters, digitalization and artificial intelligence are redefining how risks are assessed and mitigated. Studies demonstrate that AI-driven frameworks improve agility and predictive capabilities (Wong et al., 2024), while deep learning models have been applied to forecast delays in supply chains based on macroeconomic indicators (Gabellini et al., 2024).

Beyond financial efficiency, risk management strategies are also increasingly linked to resilience and sustainability goals. Research on green building supply chains has identified resilience capabilities as key to mitigating both economic and environmental risks (Jiang et al., 2024). Similarly, resilience strategies in the automotive industry, grounded in stakeholder theory, underline the importance of collaborative approaches (Jum'a et al., 2024). Broader frameworks, such as Lean, Agile, Resilient, and Green (LARG) supply chains, highlight the multidimensionality of risk management (Rachid et al., 2024). These frameworks emphasize the need for integrated approaches that balance efficiency, adaptability, and sustainability.

The present study builds on these perspectives by designing a mathematical model that integrates futures contracts as a hedging mechanism into supply chain financial risk management. By employing GA, PSO, and a hybrid GA-PSO approach, the study aims to minimize the total opportunity cost (TOC) within the supply chain. The model was tested through a case study in Iran Khodro Company, a leading automotive manufacturer. This setting provides a practical context for validating the theoretical assumptions, given the automotive industry's exposure to global risks and its reliance on efficient risk management strategies (Doaei & Farzaman, 2020; Naved, 2025).

Therefore, this research contributes to the literature by combining financial hedging instruments with advanced computational optimization techniques, offering both theoretical insights and practical solutions for managing supply chain risks in complex environments.

Methods and Materials

This study adopts an applied research design grounded in mathematical modeling. The proposed model focuses on minimizing the total opportunity cost (TOC), incorporating variables related to inventory holding, futures contracts, order decisions, and financing costs. Futures contracts are embedded in the model to mitigate the adverse effects of price fluctuations across supply chain stages.

To solve the optimization problem, three approaches were employed: Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), and a hybrid GA-PSO method. These metaheuristic algorithms were chosen for their robustness in handling large-scale, non-linear problems with multiple variables and constraints. The hybrid model was specifically designed to capitalize on the exploration capacity of GA and the exploitation ability of PSO.

The model was implemented in Iran Khodro Company, one of the largest automotive manufacturers in Iran, serving as a case study. Operational and financial data from the company were collected, including procurement costs, inventory records, and market price fluctuations. Field methods, including direct observation and interaction with supply chain managers, were employed to ensure accuracy and relevance of the dataset.

Simulation experiments were carried out to test the performance of each algorithm under different risk scenarios. Performance metrics included accuracy in risk prediction, minimization of TOC, and proximity of modeled results to real-world data.

Findings

The results of the analysis demonstrated that futures contracts significantly reduced the volatility of costs associated with supply chain operations. The TOC function, incorporating inventory holding, contract costs, and financing, was effectively minimized through the proposed optimization model.

The GA approach provided feasible solutions but was limited in precision due to premature convergence in some cases. PSO showed better adaptability to dynamic conditions but occasionally suffered from local optima traps. In contrast, the hybrid GA-PSO approach consistently outperformed both individual methods by producing results closer to actual observed data and with lower error margins.

The hybrid model achieved higher accuracy in predicting risk scenarios, as indicated by smoother and more stable distribution of loading factors in simulations. It also minimized deviations between predicted and real-world data, demonstrating stronger robustness against different risk conditions.

Sensitivity analyses confirmed that futures contracts were effective in mitigating the adverse impacts of price fluctuations in both short-term and long-term horizons. This led to enhanced financial stability and better alignment between supply and demand dynamics within the supply chain.

Overall, the hybrid GA-PSO approach proved to be the most effective method for optimizing supply chain financial risk management, confirming its superiority in both predictive accuracy and cost minimization.

Discussion and Conclusion

The findings highlight the critical role of futures contracts in managing financial risks within supply chains. By stabilizing cash flows and reducing exposure to price volatility, these instruments contribute to improved financial performance and resilience. The hybrid GA-PSO approach demonstrated its value by addressing the limitations of individual algorithms, providing more accurate and reliable predictions.

The results align with prior studies emphasizing the importance of integrating financial instruments with advanced optimization models for effective risk management (Comelli et al., 2008; Zenios, 2007). They also support evidence from industry-specific research showing that futures contracts are effective in hedging risks across sectors such as oil markets (Al-e Ali et al., 2020) and automotive supply chains (Doaei & Farzaman, 2020).

Furthermore, the study complements emerging literature on digital and AI-driven risk management (Gabellini et al., 2024; Wong et al., 2024), resilience strategies (Jiang et al., 2024; Jum'a et al., 2024), and integrated frameworks for sustainable supply chains (Rachid et al., 2024). By embedding futures contracts into a computational optimization framework, the research bridges traditional financial tools and modern technological approaches, offering a comprehensive pathway for managing risks in today's volatile global supply chains.

In conclusion, futures contracts, when combined with advanced optimization algorithms, provide a powerful mechanism for enhancing financial stability and resilience in supply chains. The proposed hybrid GA-PSO model not only ensures better risk prediction and cost minimization but also contributes to broader goals of efficiency, adaptability, and sustainability.

Authors' Contributions

Authors equally contributed to this article.

Acknowledgments

Authors thank all participants who participate in this study.

Declaration of Interest

The authors report no conflict of interest.

Funding

According to the authors, this article has no financial support.

Ethical Considerations

All procedures performed in this study were under the ethical standards.

ارائه مدل ریاضی قراردادهای آتی برای پوشش ریسک مالی زنجیره تأمین



۱. زینب دوست قرین¹: گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. عباس راد²: استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، ایمیل: a-raad@sbu.ac.ir (نویسنده مسئول)

۳. امیررضا علیزاده مجد³: گروه مدیریت کسب و کار و کارآفرینی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

هدف پژوهش طراحی مدلی ریاضی مبتنی بر قراردادهای آتی به منظور کاهش و پوشش ریسک‌های مالی در مدیریت زنجیره تأمین است. این تحقیق از نوع کاربردی و مبتنی بر مدلسازی ریاضی است. برای حل مدل از الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و رویکرد ترکیبی هیبریدی استفاده شد. مدل پیشنهادی بر اساس حداقل‌سازی مجموع هزینه فرصت (TOC) توسعه یافته و در شرکت ایران خودرو به عنوان مطالعه موردی پیاده‌سازی شد. داده‌ها از طریق رویکرد میدانی و استفاده از اطلاعات عملیاتی شرکت جمع‌آوری و پردازش گردید. نتایج نشان دادند که قراردادهای آتی توانستند نوسانات قیمتی را کاهش داده و به مدیریت ریسک مالی زنجیره کمک کنند. الگوریتم هیبریدی ژنتیک-ازدحام ذرات در مقایسه با استفاده منفرد از هر الگوریتم، دقت بالاتری در پیش‌بینی ریسک و بهینه‌سازی عملکرد زنجیره تأمین ارائه داد. این الگوریتم توانست خطاهای ناشی از شرایط مختلف بازار را به حداقل رسانده و پیش‌بینی‌هایی نزدیک‌تر به داده‌های واقعی ارائه نماید. قراردادهای آتی ابزاری کارآمد برای پوشش ریسک مالی در زنجیره تأمین محسوب می‌شوند و به بهبود عملکرد مالی شرکت‌ها کمک می‌کنند. استفاده از الگوریتم‌های ترکیبی در مدل‌سازی به دلیل پوشش نقاط ضعف روش‌های منفرد، موجب افزایش دقت و کارایی پیش‌بینی‌ها شده و می‌تواند راهکاری اثربخش برای مدیریت ریسک در شرایط پیچیده زنجیره تأمین باشد.

کلیدواژه‌گان: زنجیره تأمین، قراردادهای آتی، مدیریت ریسک، مدل ریاضی، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات

شیوه استناددهی: دوست قرین، زینب، راد، عباس، و علیزاده مجد، امیررضا. (۱۴۰۳). ارائه مدل ریاضی قراردادهای آتی برای پوشش ریسک مالی زنجیره تأمین. *حسابداری، امور مالی و هوش محاسباتی*، ۲(۳)، ۱۷۴-۱۵۶.



مدیریت زنجیره تأمین در دهه‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین موضوعات تحقیقاتی و کاربردی در عرصه اقتصاد و مدیریت تبدیل شده است. جهانی‌شدن، رقابت فشرده، کوتاه‌شدن چرخه عمر محصولات، و افزایش عدم قطعیت در بازارها سبب شده‌اند که سازمان‌ها با ریسک‌های متعددی در زنجیره‌های تأمین خود مواجه شوند (Chopra & Meindl, 2007). ریسک در زنجیره تأمین رخدادی بالقوه است که جریان طبیعی مواد، اطلاعات و سرمایه را مختل کرده و می‌تواند عملکرد کل زنجیره را تحت تأثیر قرار دهد (Harland et al., 2003). بنابراین، شناسایی، ارزیابی و مدیریت این ریسک‌ها به موضوعی حیاتی برای پایداری و سودآوری سازمان‌ها تبدیل شده است (Hosseini & Sheikhi, 2013). ریسک‌های زنجیره تأمین را می‌توان به دو دسته درون‌زا و برون‌زا تقسیم کرد. ریسک‌های درون‌زا شامل اختلالات داخلی مانند مشکلات تولید، حمل‌ونقل و کمبود موجودی هستند، در حالی که ریسک‌های برون‌زا ناشی از عوامل محیطی نظیر نوسانات قیمت، تغییرات تقاضا، بلایای طبیعی و بحران‌های سیاسی محسوب می‌شوند (Garvey & Carnovale, 2020). شدت و دامنه اثر این ریسک‌ها به دلیل پیوستگی و درهم‌تنیدگی اجزای زنجیره تأمین به سرعت افزایش یافته و پیامدهای مالی سنگینی برای سازمان‌ها ایجاد می‌کند (Chu et al., 2020). از این رو، مدیریت ریسک زنجیره تأمین نیازمند رویکردهایی ترکیبی است که علاوه بر شناسایی دقیق ریسک‌ها، امکان کاهش هزینه‌های ناشی از آن‌ها را نیز فراهم سازد (Salahi, 2020).

یکی از ابزارهای مهم برای پوشش ریسک‌های مالی در زنجیره تأمین، استفاده از قراردادهای آتی است (Soleimani, 2019). قراردادهای آتی به شرکت‌ها این امکان را می‌دهند که اثر نوسانات قیمت کالاها و مواد اولیه را کاهش داده و ثبات بیشتری در جریان نقدی خود ایجاد کنند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که این قراردادها نه تنها در بازارهای نفت (Al-e Ali et al., 2020)، بلکه در سایر صنایع نیز به عنوان یک ابزار پوشش ریسک کارآمد مطرح هستند (Soufi Fard et al., 2016). به عبارت دیگر، قراردادهای آتی به مثابه مکانیزمی عمل می‌کنند که شرکت‌ها را در برابر نوسانات ناخواسته بازار محافظت می‌نمایند و به ارتقای عملکرد مالی آن‌ها کمک می‌کنند (Doaei & Farzaman, 2020).

با این حال، پیچیدگی زنجیره‌های تأمین مدرن و ماهیت پویا و غیرخطی ریسک‌ها سبب شده است که ابزارهای سنتی مدیریت ریسک به تنهایی کافی نباشند (Comelli et al., 2008). از این رو، استفاده از مدل‌های ریاضی و بهینه‌سازی پیشرفته برای طراحی استراتژی‌های پوشش ریسک اهمیت فراوانی یافته است (Zenios, 2007). الگوریتم‌های فراابتکاری همچون الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با الهام از طبیعت و فرایندهای تکاملی، ابزارهای قدرتمندی برای حل مسائل پیچیده مدیریت ریسک هستند (Salahi, 2020). این روش‌ها قادرند با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف ریسک، بهینه‌ترین تصمیم‌ها را برای حداقل‌سازی هزینه فرصت و افزایش کارایی زنجیره تأمین پیشنهاد دهند (Garvey & Carnovale, 2020).

از سوی دیگر، مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهند که ریسک‌های زنجیره تأمین تنها محدود به مسائل داخلی شرکت‌ها نیستند، بلکه عوامل جهانی و منطقه‌ای نیز در این میان نقش پررنگی دارند. به طور مثال، ریسک‌های ناشی از همگرایی منطقه‌ای، سیاست‌های تجاری و شرایط اقتصاد کلان می‌توانند اثرات شدیدی بر عملکرد زنجیره تأمین داشته باشند (Qian & Arkadievna, 2024). پژوهش‌ها با بهره‌گیری از داده‌های کلان اقتصادی و روش‌های یادگیری عمیق نشان داده‌اند که پیش‌بینی دقیق ریسک‌ها و تأخیرها در زنجیره‌های تأمین صنعتی امکان‌پذیر است (Gabellini et al., 2024). همچنین، توسعه فناوری‌های دیجیتال و هوش مصنوعی نقش مهمی در افزایش چابکی و تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین ایفا کرده‌اند (Wong et al., 2024). در حوزه صنایع غذایی نیز دیجیتالی‌شدن فرایندها به عنوان راهکاری نوین برای کاهش ریسک‌های کیفی و ایمنی مطرح شده است (Sharma et al., 2024).

ابعاد انسانی و رفتاری نیز در مدیریت ریسک زنجیره تأمین بی‌تأثیر نیستند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ذهنیت جمعی و ترجیحات ریسک‌پذیری می‌تواند نحوه انتشار ریسک را در شبکه‌های پیچیده زنجیره تأمین تغییر دهد (Huo et al., 2019). به همین ترتیب، مدل‌های ساختاری تفسیری و تحلیلی نشان داده‌اند که وابستگی متقابل ریسک‌ها و تعاملات میان اجزای زنجیره از اهمیت زیادی برخوردار است (Chowdhury et al., 2019). این یافته‌ها بر ضرورت توجه به ابعاد اجتماعی، رفتاری و ساختاری در طراحی مدل‌های مدیریت ریسک تأکید دارند (Jia et al., 2018).

افزون بر این، پایداری و تاب‌آوری زنجیره‌های تأمین نیز به‌عنوان محورهای کلیدی در پژوهش‌های اخیر مطرح شده‌اند (Jiang et al., 2024). مفهوم زنجیره تأمین سبز و مقاوم، بر تلفیق اهداف زیست‌محیطی با راهبردهای مدیریت ریسک تمرکز دارد و می‌تواند به ایجاد ارزش افزوده پایدار برای سازمان‌ها منجر شود (Rachid et al., 2024). در این راستا، توسعه استراتژی‌های تاب‌آورانه مبتنی بر نظریه ذی‌نفعان، به‌ویژه در صنایع خودروسازی، اهمیت بالایی یافته است (Jum'a et al., 2024). هم‌چنین، بهره‌گیری از تحلیل‌های پیش‌بینانه در مدیریت زنجیره تأمین خودرو به کاهش ریسک‌ها و افزایش کارایی کمک می‌کند (Naved, 2025).

با توجه به آنچه بیان شد، می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت ریسک زنجیره تأمین نیازمند رویکردی جامع و چندبعدی است که ابعاد مالی، رفتاری، فناورانه و زیست‌محیطی را توأمان در نظر گیرد. قراردادهای آتی به‌عنوان یکی از ابزارهای مالی کارآمد می‌توانند در چارچوب مدل‌های ریاضی و الگوریتم‌های پیشرفته بهینه‌سازی، نقش مهمی در کاهش ریسک و بهبود عملکرد مالی زنجیره ایفا کنند. بنابراین، هدف پژوهش حاضر طراحی یک مدل ریاضی قراردادهای آتی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های ژنتیک، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و رویکرد هیبریدی است تا به پوشش ریسک‌های مالی زنجیره تأمین کمک نماید.

روش پژوهش و مواد

این پژوهش به لحاظ هدف کاربردی و به لحاظ نوع روش، مدل‌سازی ریاضی است.

مسائل بزرگ و پیچیده نیازمند گروهی متخصص است تا دامنه وسیعی از مهارت‌ها را برای حل آن مورد استفاده قرار دهد بسیاری از مسائل سازمانی، برای مثال دارای جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، مهندسی، طبیعی، زیستی و روانشناسی هستند. اگرچه غیر ممکن است که یک فرد در همه این رشته‌ها متخصص شود، اما وجود یک گروه این امکان را که مساله از جنبه‌های مختلف و به وسیله متخصصین مختلف مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد را فراهم می‌سازد، و به این ترتیب جوابی بهتر برای مساله یافته می‌شود. یک مدل، نمایش خاصی از یک واقعیت است. جنبه مشترک مدل‌ها، علیرغم گوناگونی آنها، ساده کردن "واقعیت" است. مدل عبارت است از یک تجرید انتخابی (مبتنی بر انتخاب) از واقعیت.

این پژوهش جامعه آماری ندارد و مدل در مطالعه موردی یعنی شرکت ایران خودرو پیاده سازی شدند. در این روش محقق مدتی در میان جامعه مورد پژوهش خود زندگی می‌کند و به پژوهش درباره موضوعی خاص در آن محیط می‌پردازد. محقق هیچگونه دستکاری در محیط انجام نمی‌دهد، بلکه بدون هیچ دخالتی در جریان طبیعی رویدادها ندارد. در پژوهش میدانی، مشاهده عنصر اصلی را تشکیل می‌دهد. به عبارتی، منظور از مطالعات میدانی پژوهش‌هایی است که موضوع مورد مطالعه در اختیار محقق قرار داشته و بدان دسترسی باشد.

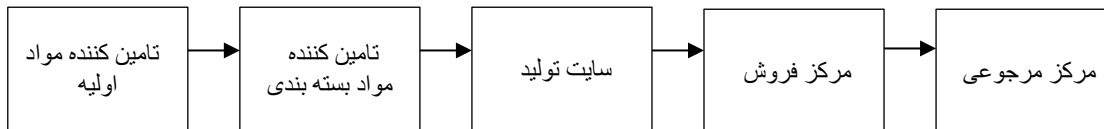
پژوهش میدانی می‌تواند به عنوان یک رهیافت کلی و وسیع پژوهش کیفی یا روشی برای جمع آوری داده‌های کیفی در نظر گرفته شود. ایده‌ی اصلی این است که محقق به داخل میدان یا فیلد می‌رود تا پدیده‌ها را در وضع طبیعی خود مشاهده کند. از این رو، احتمالاً بسیار به مشاهده‌ی مشارکتی نزدیک است. محقق پژوهش میدانی نوعاً نکات مهم را یادداشت و بعد جمع آوری و تجزیه و تحلیل می‌کند.

بنابراین روش‌های میدانی به روش‌هایی اطلاق می‌شود که محقق برای گردآوری اطلاعات ناگزیر است به محیط بیرون برود و با مراجعه به افراد یا محیط، و نیز برقراری ارتباط مستقیم با واحد تحلیل یعنی افراد، اعم از انسان، مؤسسات، سکونت‌گاه‌ها، موردها و غیره، اطلاعات مورد نظر خود را گردآوری کند. در واقع، او باید ابزار سنجش یا ظروف اطلاعاتی خود را به میدان ببرد و با پرسشگری، مصاحبه، مشاهده و تصویربرداری آن‌ها را تکمیل نماید و سپس برای استخراج، طبقه‌بندی، و تجزیه و تحلیل به محل کار خود برگردد.

یافته‌ها

بهینه‌سازی عملکرد زنجیره‌تأمین توسط حداقل‌سازی مجموع موردانتظار هزینه فرصت در طول زنجیره‌تأمین است که متغیرهای مربوط به TOC با استفاده از استراتژی‌های قراردادهای آتی در تولید یک محصول کمینه می‌شود. معادلات این تحقیق از مقالات هارلند و همکاران (۲۰۰۳) و صوفی‌فرد و همکاران (۱۳۹۵) استخراج گردیده است. در واقع تابع هدف در اینجا به صورت معادله ۱ تعریف می‌شود:

که معادله TOC مجموعه هزینه‌های موجودی اولیه، هزینه قراردادهای آتی، تصمیم و هزینه‌ها در دومین بازه زمانی شامل هزینه سهام و هزینه نگهداری است که در ادامه به تفصیل آورده می‌شود. علاوه بر این زنجیره تامین مورد بررسی در پژوهش به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:



شکل ۱. زنجیره تامین مورد بررسی در این پژوهش

تعداد قراردادهای آتی: قرارداد آتی به طور کلی، قراردادی است که در آن خریدار و فروشنده توافق می‌کنند، مقدار معینی کالای مشخص را با کیفیت مشخص، قیمت معلوم و در زمان مشخص معامله کنند. در این قرارداد فروشنده متعهد تحویل کالا در تاریخ تعیین شده در زمان عقد قرارداد و همچنین خریدار متعهد به پرداخت وجه در تاریخ مذکور می‌باشد. سرمایه‌گذاران معمولاً از این نوع قرارداد برای پوشش ریسک خود استفاده می‌کنند.

میزان سفارش: هدف زنجیره تامین حداقل کردن کل هزینه‌های سفارش دهی، نگهداری و کالا می‌باشد. مقدار سفارش اقتصادی (EOQ) این سه هزینه را با تعیین مقدار سفارش بهینه، متعادل می‌سازد. راهکارهای مدیریتی برای کاهش مقدار سفارش و در نتیجه میزان موجودی در زنجیره تامین بدون افزایش هزینه‌ها بصورت زیر می‌باشد:

- کاهش هزینه‌های ثابت و هزینه‌های حمل و نقل در هر سفارش

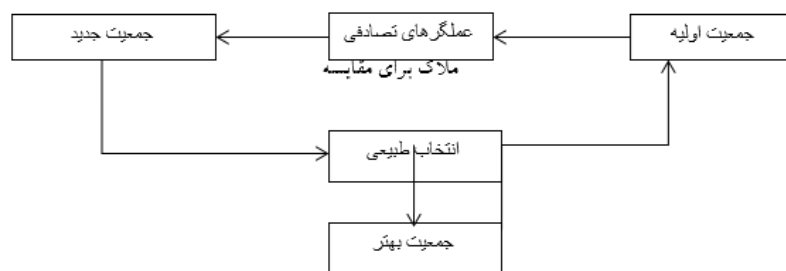
- اجرای طرح تخفیف براساس حجم کالا بجای طرح تخفیف بر اساس میزان سفارش کالا

- حذف و یا کاهش تبلیغات تجاری

میزان تامین مالی: تامین مالی به فرآیند تامین سرمایه مورد نیاز برای فعالیت‌های کسب و کار، خرید تجهیزات و سرمایه‌گذاری گفته می‌شود. استفاده از تامین مالی در هر نظام اقتصادی حیاتی است و این امکان را به شرکت‌ها می‌دهد تا محصولات مورد نیاز خود را خریداری و تامین کنند. تامین مالی برای ایجاد، توسعه و افزایش سودآوری کسب و کار امری ضروری محسوب می‌شود. به طور متفاوتی تامین مالی یک روش برای استفاده از ارزش زمانی پول (TVM) است تا بتواند جریان‌های پول مورد نیاز آتی را برای استفاده در پروژه‌های امروز به کارگیری نماید.

از سال ۱۹۶۰ تقلید از پدیده‌های طبیعی برای استفاده در الگوریتم‌های قوی جهت حل مسائل مشکل بهینه‌سازی مورد توجه قرار گرفت که تکنیک‌های محاسبه تکاملی نام گرفتند الگوریتم ژنتیک که اولین بار توسط جان هالند در دانشگاه میشیگان پیشنهاد شد و در سال ۱۹۷۵ در کتابش به نام "تطبیق در سیستم‌های طبیعی و مصنوعی" توسعه داده شد.

با توجه به این مطالب مشکل کلی تئوری داروین را می‌توان به صورت شکل (۲) مدل کرد.



شکل ۲. تئوری داروین

به طور خلاصه الگوریتم ژنتیک را می‌توان به صورت زیر از فرآیند تطابق طبیعی استنتاج کرد.

همانطور که خصوصیات ارثی موجودات زنده بوسیله ژن‌ها بر روی کروموزوم‌ها، رمزگذاری شده‌اند هر یک از پاسخ‌های ممکن را نیز می‌توان بوسیله رشته‌های عددی در سیستم دودویی رمزگذاری کرد و جمعیتی از رشته‌های عددی فوق را به عنوان نامزدهای حل مسأله در نظر گرفت.

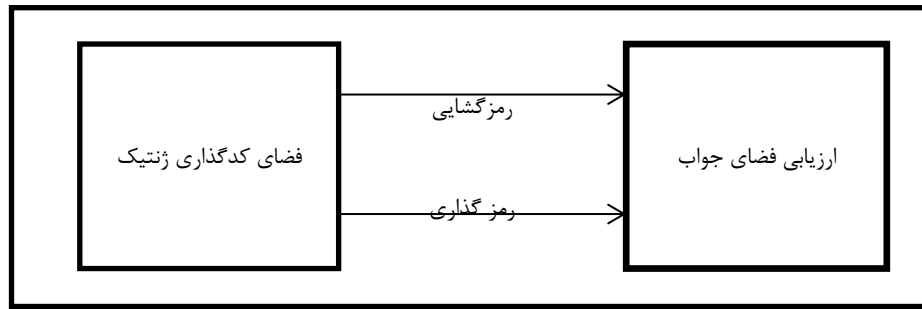
در سیستم‌های طبیعی، عدم قابلیت بقا و سازش ژن، سبب تغییر کثرت نسبی ژن‌ها به نفع دیگر ژن‌ها و بالعکس قابلیت بقا و سازش ژن مذکور، کثرت نسبی ژن‌ها را به نفع همین ژن تغییر می‌دهد. از طریق کثرت نسبی ژن‌ها انتخاب طبیعی سبب تجمع تنوعات مفید می‌گردد. مشابه به این وضعیت، قابلیت بقای هر رشته جمعیت، متوسط میزان انطباق آن رشته با شرایط مسأله سنجیده می‌شود. در الگوریتم ژنتیک، مسأله و شرایط آن به مثابه محیط در نظریه تکاملی انواع است.

جدول ۱. مقایسه الگوریتم ژنتیک با فرآیند تکامل طبیعی (ژن و همکاران، ۱۹۹۷)

فرآیندهای سازگار با سیستم‌های طبیعی	الگوریتم ژنتیک
کروموزوم	رشته‌های عددی ۰ و ۱
خصوصیات ارثی موجودات زنده بر روی کروموزوم‌های رمز گذاری شده است.	پاسخ‌های ممکن مسأله را بوسیله رشته‌های عددی رمزگذاری می‌کنیم
محیط	تابع برازندگی مسأله در قالب یک رابطه ریاضی گنجانده می‌شوند
اصل انتخاب طبیعی (Reproduction)	تکثیر هر رشته را به عنوان متغیر تابع برازندگی در نظر گرفته، مقدار برازندگی هر رشته محاسبه می‌شود متناسب با مقدار برازندگی، رشته‌های جمعیت جدید انتخاب می‌شوند. بنابراین رشته‌های با برازندگی بالا حفظ و رشته‌های با برازندگی کم حذفی می‌شوند.
ترکیب (Crossing Over)	ترکیب رشته‌های جمعیت دو به دو با یکدیگر زوج شده و از یک نقطه قطع می‌شوند. سپس نیم‌تکه‌هایی دو رشته تعویض می‌شوند.
جهش Mutation	جهش یک جمعیت از رشته به صورت تصادفی انتخاب، مقدار آن تغییر می‌یابد.
جانشین شدن بازی به جای باز دیگر در طول زنجیره DNA	تکرار مراحل فوق از مرحله تکثیر
ایجاد نسل‌های جدید و تکامل موجودات	

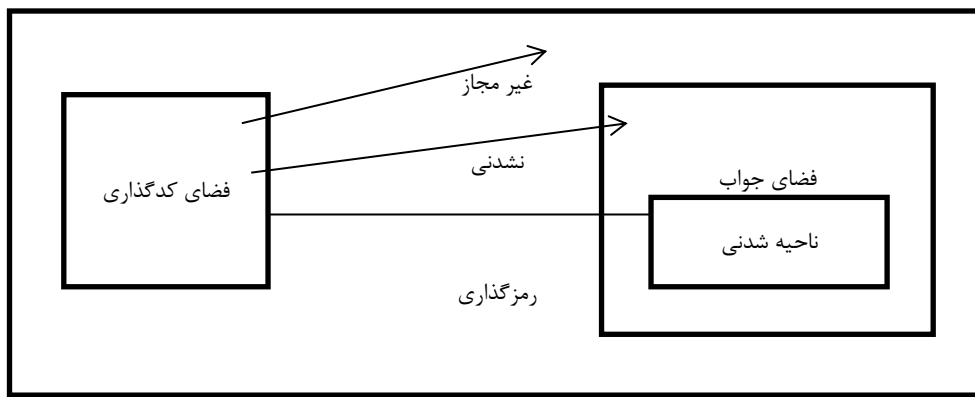
بدین ترتیب پس از تکرار چندین نسل، شایسته‌ترین نسل که همان پاسخ بهینه مسأله می‌باشد تولید خواهد شد. با شبیه‌سازی ریاضی عملگرهای ژنتیک در طی یک جستجوی همه جانبه و یا تکامل تدریجی بر روی یک جمعیت از جواب‌های در طی دنباله‌ای از نسل‌ها، در پی یافتن متکامل‌ترین نمونه است که به بهترین وجه تابع هدف را بهینه و محدودیت‌ها را تامین می‌کند.

در رشته‌های دودویی، تعداد بیت‌هایی که برای کدگذاری متغیر استفاده می‌شود به دقت موردنظر برای جواب‌ها، محدوده تغییر پارامترها و رابطه بین پارامترها وابسته است. رشته یا دنباله‌ای از بیت‌ها که به عنوان شکل کد شده یک جواب از مسأله مورد نظر می‌باشد کروموزوم نامیده می‌شود. در حقیقت بیت‌های یک کروموزوم نقش ژن‌ها در طبیعت را بازی می‌کنند. یکی از ویژگی‌های اصلی الگوریتم‌های ژنتیک آن است که متناوباً بر روی فضای کدینگ و فضای جواب کار می‌کنند. عملیات ژنتیک بر روی فضای کدینگ یا کروموزوم‌ها اعمال می‌شود در حالیکه انتخاب و ارزیابی بر روی فضای جواب عمل می‌نماید. شکل (۳) بیان کننده همین مطلب است (ژن و همکاران، ۱۹۹۷).



شکل ۳. فضای کدینگ و فضای جواب

موجه بودن یک کروموزوم مربوط به حالتی است که بعد از رمزگشایی، همه محدودیت‌های مسأله را ارضا می‌کند، در غیر این صورت کروموزوم غیرموجه خواهد بود. شکل (۴) بیانگر دو مفهوم فوق است.



شکل ۴. قانونمند و موجه بودن

در تمام الگوریتم‌های فراابتکاری، بدلیل نیاز به حل شدنی در شروع کار، لازم است حل شدنی را بر طبق ساختار مشخصی ذخیره کنیم که به این ساختار، نحوه نمایش جواب می‌گویند. در این پایان‌نامه برای نمایش جواب از یک ماتریس یک سطری و با $N+2*V$ ستون استفاده شده است، به طوری که N نشاندهنده تعداد نمونه‌ها و V نشاندهنده تعداد واسطه می‌باشد. تمام واسطه باید حتما حداقل به یک نمونه سفر نمایند و هر سفر از یک تامین کننده آغاز و به یک تامین کننده ختم می‌شود. پس باید تامین کننده ابتدا و انتهای هر مسیر را مشخص کرده. ماتریس زیر نحوه نمایش یک جواب با ۱۰ نمونه، ۳ واسطه و ۳ تامین کننده را نشان می‌دهد همانطور که در شکل زیر مشخص شده است.

۱	۴	۵	۲	۳	۷	۸	۱۰	۶	۹	۱	۳	۲	۲	۲	۳
ترتیب تلاقی نمونه‌ها										تامین کننده ابتدایی		تامین کننده		تامین کننده	
										و انتهای برای واسطه اول		ابتدایی و انتهای برای واسطه دوم		ابتدایی و انتهای برای واسطه سوم	

شکل ۵. ماتریس نمایش جواب

در این مثال نمونه‌ها ۱ و ۴ و ۵ از واسطه اول خدمت دریافت می‌کنند و این وسیله مسیر خود را از تامین کننده اول آغاز کرده و پس از سرویس به نمونه‌ها به تامین کننده سوم می‌رود. به همین منوال مسیر واسطه دوم از تامین کننده سوم شروع کرده و پس از سرویس به نمونه‌ها ۲، ۳، ۷ و ۸ و ۱۰ مجدداً به تامین کننده دوم بر می‌گردد و مسیر واسطه سوم نیز از تامین کننده دوم شروع به شده و پس از سرویس به نمونه‌ها ۶ و ۹ به تامین کننده سوم می‌رود. به صورت مشخص‌تر می‌توان مسأله را با توجه به شکل زیر تحلیل کرد.

۱	۱	۴	۵	۳	*	۲	۲	۳	۷	۸	۱۰	۲	*	۲	۶	۹	۳
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---	---

شکل ۶. شکل دیگر از ماتریس نمایش جواب

برای شرح نحوه عملکرد ترکیبی مورد استفاده در الگوریتم از دو کروموزوم تصادفی زیر به عنوان والدین استفاده می‌کنیم. رویکرد عملگر ترکیبی مورد استفاده به این صورت است که ابتدا دو نقطه برش به تصادف بر روی قسمت نمونه‌ها انتخاب می‌کنیم (سواندانه، ۲۰۰۸):

$P1=$

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

$P2=$

۴	۵	۲	۱	۸	۷	۶	۹	۳	۱۰
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

برای تولید فرزند ابتدا ژن‌های مابین دو نقطه برش را با هم جابجا می‌کنیم

$P1=$

			۱	۸	۷	۶			
--	--	--	---	---	---	---	--	--	--

$P2=$

			۴	۵	۶	۷			
--	--	--	---	---	---	---	--	--	--

سپس در والد اول از ابتدای کروموزوم شروع نموده و هر عددی که مابین کروموزوم فرزند اول نباشد، عیناً در ژن مربوط به خود می‌نویسیم و برای اعداد تکراری جای خالی قرار داده می‌شود و سپس برای فرزند دوم نیز همین کار را انجام می‌دهیم.

$P1=$

		۳	۱	۸	۷	۶		۹	۱۰
--	--	---	---	---	---	---	--	---	----

$P2=$

		۲	۴	۵	۶	۷	۹		۱۰
--	--	---	---	---	---	---	---	--	----

سپس برای پر کردن مکان‌های خالی در فرزند اول، در والد دوم از ابتدای کروموزوم شروع کرده و هر عددی که در فرزند اول نباشد به جای مکان خالی، گذاشته می‌شود تا کلیه مکانهای خالی پر گردد. برای فرزند دوم نیز به همین صورت در والد اول از ابتدای کروموزوم شروع کرده و هر عددی که در فرزند دوم نباشد را در مکان خالی قرار می‌دهیم.

$P1=$

دوست قرین و همکاران

۱	۹	۵	۶	۷	۸	۱	۳	۲	۴
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$P2=$

۱	۳	۹	۷	۶	۵	۴	۲	۸	۱
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

عملگر جهش برخلاف عملگر ترکیبی، روی ژن‌های یک کروموزوم انجام می‌شود و به این صورت است که ابتدا یک کروموزوم انتخاب می‌شود و رویکرد جهش بر روی یک یا چند ژن از آن کروموزوم انجام می‌شود.

عملگر جهش در الگوریتم پیشنهادی به صورت زیر می‌باشد:

در این قسمت از روش درج (*Insert Mutation*) برای اعمال عملگر جهش استفاده کرده‌ایم که به شرح زیر می‌باشد.

گام دوم: یک مسیر را به تصادف انتخاب کنید.

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

گام سوم: دو عدد که مربوط به ژن نمونه‌ها می‌باشد را به تصادف از مسیر انتخاب شده در گام قبل در نظر می‌گیریم.

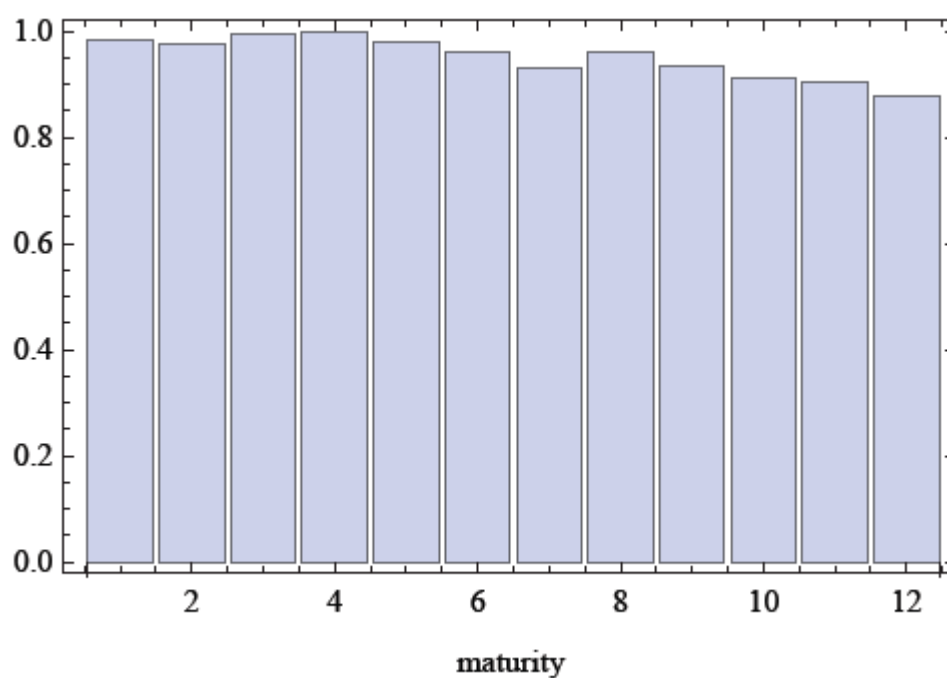
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

گام چهارم: ژن دوم یا عدد دوم را دقیقاً بعد از ژن اول قرار می‌دهیم. همه ژن‌های بعد از این دو ژن را به مکان بعدی شیفت می‌دهیم

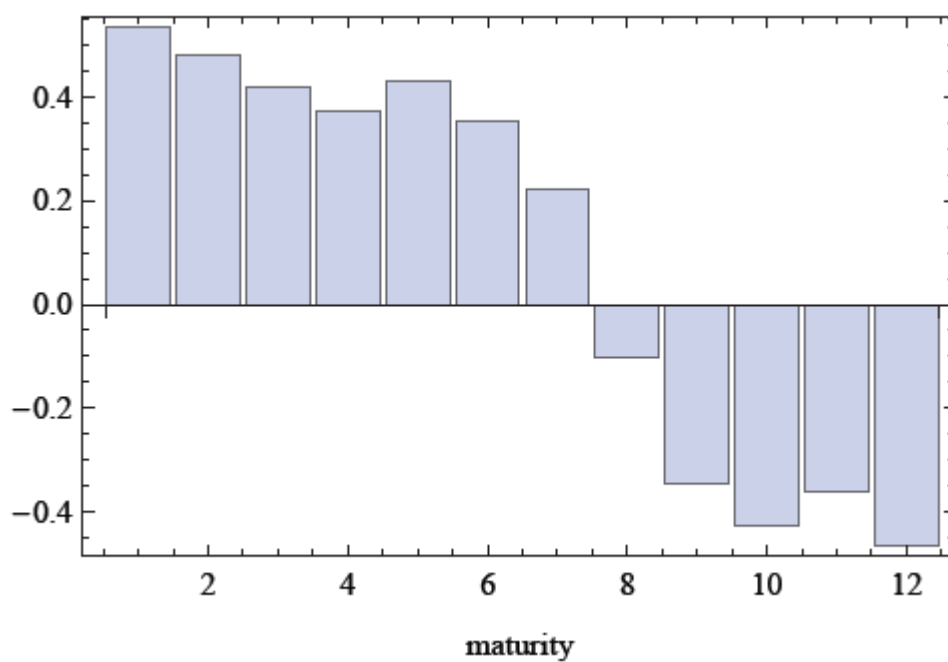
۱	۲	۶	۳	۴	۵	۷	۸	۹	۱۰
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

در مدل پیشنهادی، سناریوها بر اساس پارامتر باینری تعیین می‌شوند که نشان‌دهنده وضعیت تامین‌کنندگان در هنگام بروز اختلال است. اگر تعداد تامین‌کنندگان n باشد، تعداد سناریوهای اختلال برابر با n^2 خواهد بود. تعداد این سناریوهای اختلال با افزایش تعداد تامین‌کنندگان به طور تصاعدی افزایش می‌یابد و حل مدل با تعداد زیادی سناریو دشوار یا غیرممکن است. بنابراین برای کاهش سناریوها از روش ژنتیک استفاده شده است. این روش به دلیل اجرای ساده، کاربرد گسترده مجموعه داده‌های بزرگ و کارایی بالا، یک روش دسته بندی نسبتاً رایج است. این روش در صفحات قبل به تفصیل مورد بحث قرار گرفت.

در شکل‌های ۶ و ۷ لودینگ فکتور که نشان‌دهنده توزیع خطا در پیک بار در مدلسازی‌ها است برای الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم هیبرید ژنتیک و ازدحام ذرات نشان داده شده است. مشاهده می‌شود در الگوریتم *HGP* لودینگ فکتور توزیع کم نوسان تری دارد و به صورت کامل بالاتر از ۰.۶ قرار گرفته است در نتیجه به منظور مدلسازی مناسب تر است و خطای کمتری در شرایط مختلف ایجاد می‌کند.

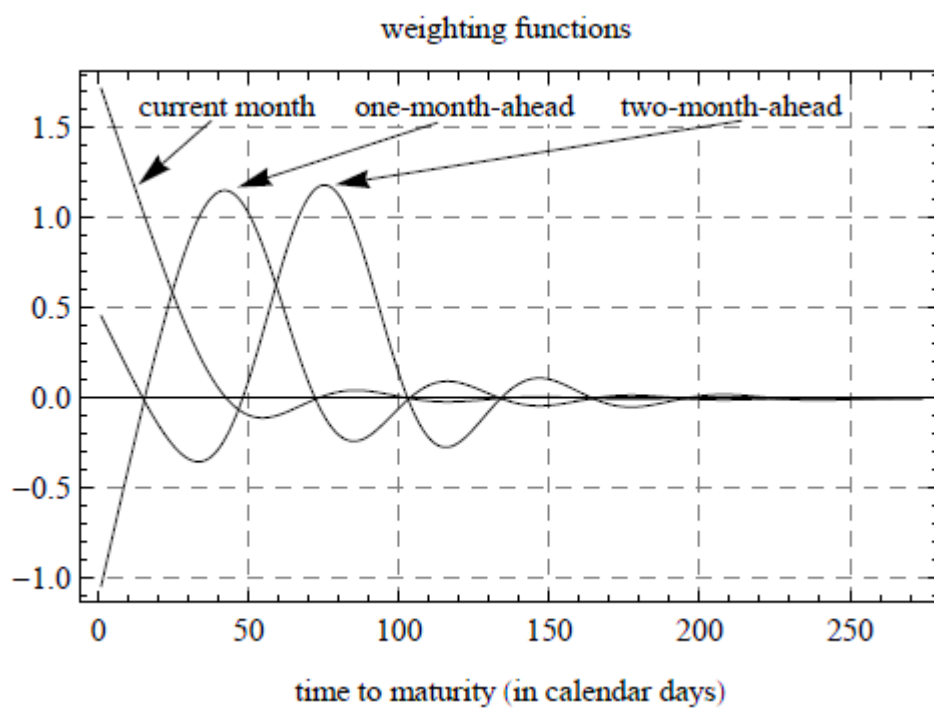


شکل ۶. لودینگ فکتور به دست آمده از الگوریتم HGP در مدل دوم

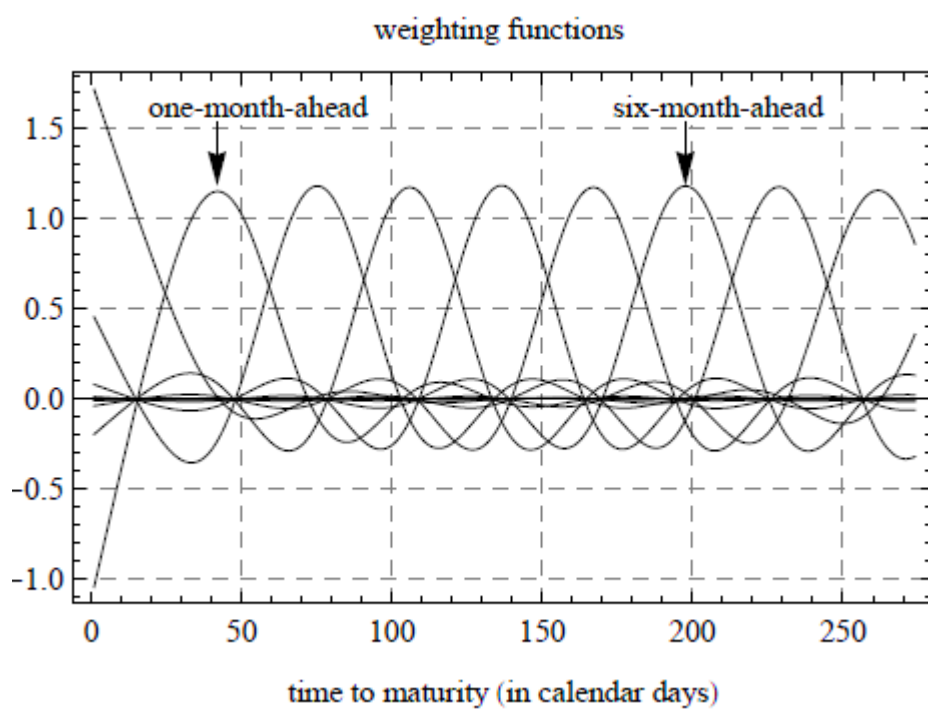


شکل ۷. لودینگ فکتور به دست آمده از الگوریتم PSO در مدل دوم

شکل‌های ۸ و ۹ حساسیت منحنی قیمت آتی نظری را به تغییرات مربوطه نشان می‌دهد قیمت واقعی آتی نمودار شکل ۸ حساسیت‌ها را برای زمان جاری، یک ماه آینده و دو ماه نشان می‌دهد. قراردادهای آتی پیش رو نمودار شکل ۹، حساسیت‌ها را برای هشت قرارداد آتی فرضی در آینده ترسیم می‌کند.

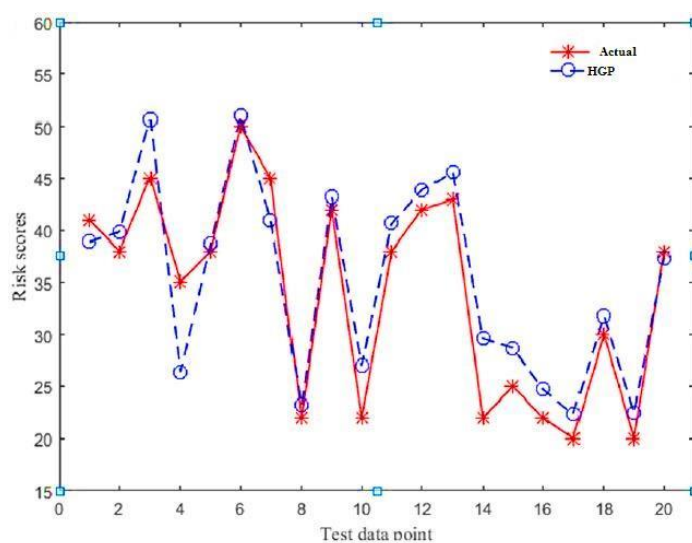


شکل ۸. تابع وزنی قراردادهای آتی

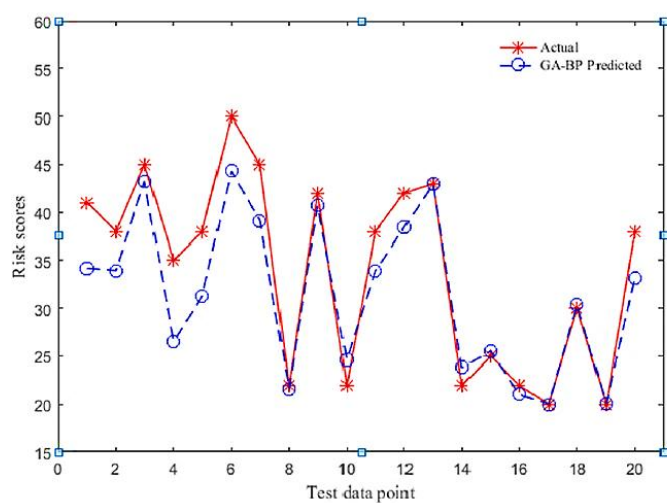


شکل ۹. تابع وزنی قراردادهای آتی

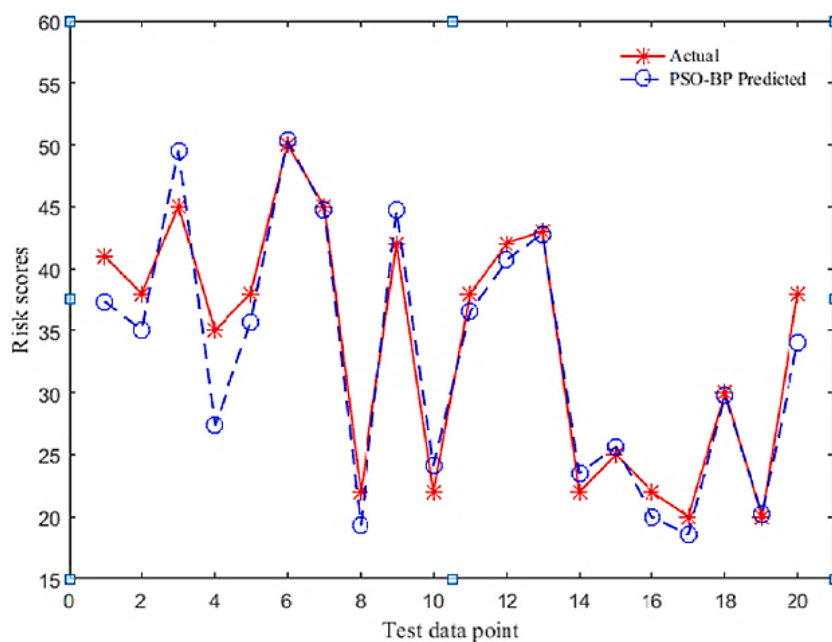
مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی الگوریتم‌های مذکور در تحقیق با نتایج داده‌های حقیقی انجام شده است. نتایج این مقایسه در شکل‌های ۱۰ تا ۱۱ مشاهده می‌شود. در این شکل‌ها نتایج پیش‌بینی ریسک به دست آمده از مدل‌سازی‌های با داده‌های واقعی در یک نمودار تطبیق و مقایسه شده است.



شکل ۱۰. تطبیق داده‌های واقعی با نتایج مدل‌سازی با الگوریتم HGP



شکل ۱۱. تطبیق داده‌های واقعی با نتایج مدل‌سازی با الگوریتم GA



شکل ۱۲. تطبیق داده‌های واقعی با نتایج مدلسازی با الگوریتم HGP

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که قراردادهای آتی می‌توانند به‌عنوان ابزاری مؤثر در پوشش ریسک مالی زنجیره تأمین عمل کنند و نوسانات قیمتی را به‌طور قابل توجهی کاهش دهند. مدل ریاضی ارائه‌شده که بر مبنای حداقل‌سازی مجموع هزینه فرصت (TOC) توسعه یافته بود، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و رویکرد هیبریدی توانست عملکردی دقیق‌تر در پیش‌بینی ریسک و بهینه‌سازی هزینه‌های زنجیره تأمین ارائه دهد. یافته‌ها نشان دادند که الگوریتم هیبریدی با ترکیب نقاط قوت هر دو روش، دقت بالاتری در شناسایی و کاهش ریسک‌ها دارد. این موضوع بیانگر آن است که استفاده از رویکردهای ترکیبی می‌تواند یکی از مهم‌ترین راهکارها برای مواجهه با پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های موجود در زنجیره‌های تأمین باشد (Salahi, 2020).

از دیدگاه نظری، نتایج این تحقیق با مطالعات پیشین هم‌راستا است. به‌عنوان مثال، پژوهش‌های مرتبط با نقش قراردادهای آتی در بازار نفت نشان داده‌اند که این ابزارها قادرند ریسک ناشی از نوسانات شدید قیمت را کاهش دهند و ثبات بیشتری در جریان نقدینگی ایجاد نمایند (Al-e Ali et al., 2020). همین یافته‌ها در صنایع دیگر از جمله خودروسازی و صنایع غذایی نیز مشاهده شده است، به‌گونه‌ای که قراردادهای آتی به‌عنوان یک ابزار پوشش ریسک مؤثر عمل می‌کنند و از زیان‌های ناشی از تغییرات پیش‌بینی‌نشده جلوگیری می‌نمایند (Doaei & Farzaman, 2020; Soleimani, 2019). در مطالعه حاضر نیز الگوریتم هیبریدی توانست با ارائه پیش‌بینی‌های نزدیک‌تر به داده‌های واقعی، کارایی قراردادهای آتی را در کاهش ریسک مالی زنجیره تأمین تقویت کند.

همچنین نتایج تحقیق حاضر همخوانی بالایی با مطالعاتی دارد که بر ضرورت استفاده از مدل‌های ریاضی و ابزارهای بهینه‌سازی برای مدیریت ریسک زنجیره تأمین تأکید کرده‌اند. بر اساس تحقیقات (Zenios, 2007)، بهینه‌سازی مالی و طراحی مدل‌های ریاضی می‌تواند به‌طور مستقیم بر کیفیت تصمیم‌گیری و کارایی پوشش ریسک تأثیر بگذارد. یافته‌های مشابه در پژوهش (Comelli et al., 2008) نشان داد که ترکیب جریان‌های مالی و فیزیکی در زنجیره تأمین با استفاده از مدل‌سازی ریاضی به افزایش دقت پیش‌بینی و کاهش هزینه‌ها منجر می‌شود. نتایج مطالعه حاضر نیز نشان دادند که مدل پیشنهادی با تمرکز بر TOC توانسته است به تعادل بهینه‌ای میان هزینه‌های سفارش‌دهی، نگهداری و قراردادهای آتی دست یابد.

علاوه بر این، تحلیل مقایسه‌ای الگوریتم‌ها در تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از روش‌های ترکیبی نسبت به الگوریتم‌های منفرد دقت بیشتری در شناسایی و کاهش ریسک دارد. این یافته با مطالعه (Garvey & Carnovale, 2020) هم‌راستا است که در آن مدل «موج‌دار» برای ارزیابی شدت ریسک زنجیره تأمین نشان داد که روش‌های چندلایه و مبتنی بر شبیه‌سازی می‌توانند وابستگی‌ها و انتشار ریسک‌ها را بهتر در نظر بگیرند. به همین ترتیب، پژوهش (Huo et al., 2019) نیز تأکید کرده است که انتشار ریسک در شبکه‌های پیچیده نیازمند مدل‌هایی است که عوامل رفتاری و ترجیحات ریسک را در کنار اطلاعات هشداردهنده مدنظر قرار دهند. در مطالعه حاضر نیز به‌کارگیری الگوریتم هیبریدی توانست شرایط مختلف ریسک را با خطای کمتر مدل‌سازی کند که این امر همسو با ادبیات مربوط به نقش رویکردهای چندعاملی در مدیریت ریسک است.

یکی دیگر از یافته‌های مهم این تحقیق، تأیید اهمیت قراردادهای آتی در بهبود عملکرد مالی زنجیره تأمین بود. بر اساس نتایج، قراردادهای آتی توانستند اثر نوسانات عرضه و تقاضا را کاهش داده و پایداری بیشتری در زنجیره تأمین ایجاد کنند. این موضوع با پژوهش‌های (Harland et al., 2003; Hosseini & Sheikhi, 2013) همخوانی دارد که نشان داده‌اند ریسک‌های زنجیره تأمین در صورت عدم مدیریت مؤثر، می‌توانند کل شبکه را تحت تأثیر قرار دهند. به همین ترتیب، تحقیق (Chopra & Meindl, 2007) بر این نکته تأکید می‌کند که زنجیره تأمین باید به‌عنوان یک کل یکپارچه مدیریت شود تا اثرات ریسک در بخش‌های مختلف بر کل سیستم کنترل گردد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که قراردادهای آتی با ایجاد ثبات مالی و کاهش نوسانات قیمت، نقش قابل توجهی در این یکپارچگی ایفا می‌کنند.

در کنار این یافته‌ها، نتایج تحقیق با جریان‌های نوین تحقیقاتی که بر دیجیتالی‌شدن و هوشمندسازی زنجیره تأمین تأکید دارند نیز هم‌راستا است. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری عمیق می‌تواند پیش‌بینی ریسک را بهبود بخشد (Gabellini et al., 2024; Wong et al., 2024). در مطالعه حاضر نیز الگوریتم‌های فراابتکاری توانستند با بهره‌گیری از روش‌های هوشمند، دقت پیش‌بینی‌ها را افزایش دهند. این هم‌گرایی بین استفاده از قراردادهای مالی سنتی و ابزارهای نوین فناوری می‌تواند مسیر تازه‌ای برای مدیریت ریسک در زنجیره‌های تأمین پیچیده فراهم سازد.

علاوه بر بعد فناوریانه، بعد تاب‌آوری و پایداری زنجیره تأمین نیز در نتایج این تحقیق انعکاس یافته است. یافته‌ها نشان داد که قراردادهای آتی می‌توانند به افزایش تاب‌آوری زنجیره در برابر شوک‌های قیمتی و اختلالات کمک کنند. این یافته‌ها با نتایج (Jiang et al., 2024; Jum'a et al., 2024) همخوان است که بر نقش استراتژی‌های تاب‌آورانه در صنایع خودروسازی و ساختمان سبز تأکید کرده‌اند. همچنین، نتایج این مطالعه با مدل‌های پیشنهادی برای زنجیره‌های سبز، چابک و مقاوم همسو است (Rachid et al., 2024). به این ترتیب، می‌توان گفت که یافته‌های تحقیق حاضر علاوه بر بعد مالی، در ابعاد تاب‌آوری و پایداری نیز ارزشمند است.

در بعد بین‌المللی نیز نتایج این تحقیق هم‌راستا با پژوهش‌هایی است که به نقش اقتصاد کلان و سیاست‌های تجاری در مدیریت ریسک زنجیره تأمین پرداخته‌اند. به‌طور مثال، پژوهش (Qian & Arkadievna, 2024) نشان داده است که ثبات زنجیره‌های جهانی در اقتصاد تجارت خارجی نیازمند ابزارهای مدیریت ریسک مالی است. همین‌طور تحقیق (Chowdhury et al., 2019) با استفاده از مدل ساختاری نشان داد که وابستگی متقابل ریسک‌ها در صنایع پوشاک می‌تواند اثرات مالی قابل توجهی داشته باشد. نتایج این پژوهش نیز با تأکید بر اثرگذاری قراردادهای آتی در صنعت خودروسازی، مکمل یافته‌های پیشین است.

در مجموع، می‌توان گفت که یافته‌های تحقیق حاضر همسو با مطالعات داخلی و بین‌المللی نشان می‌دهد قراردادهای آتی ابزار مؤثری برای مدیریت ریسک مالی در زنجیره تأمین هستند. به‌کارگیری الگوریتم‌های ترکیبی و هوشمند نیز دقت این ابزارها را افزایش داده و زمینه‌ای برای توسعه راهکارهای پایدار و تاب‌آور فراهم می‌سازد. این ترکیب از ابزارهای مالی و مدل‌های ریاضی می‌تواند چارچوبی نوین برای مدیریت ریسک در زنجیره‌های پیچیده جهانی ارائه کند.

این پژوهش اگرچه نتایج ارزشمندی ارائه داد، اما دارای محدودیت‌هایی نیز بود. نخست آنکه داده‌های تحقیق محدود به مطالعه موردی در شرکت ایران خودرو بود و بنابراین تعمیم نتایج به سایر صنایع نیازمند احتیاط است. دوم آنکه مدل پیشنهادی صرفاً بر اساس الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات توسعه یافت و سایر الگوریتم‌های فراابتکاری یا یادگیری عمیق در آن لحاظ نشدند. سوم آنکه تمرکز تحقیق بر جنبه مالی ریسک بود و ابعاد غیرمالی مانند ریسک‌های زیست‌محیطی یا اجتماعی کمتر مورد توجه قرار گرفت. برای توسعه بیشتر این حوزه، پژوهش‌های آینده می‌توانند بر چند محور متمرکز شوند. نخست، تعمیم مدل پیشنهادی به صنایع مختلف نظیر کشاورزی، انرژی و فناوری اطلاعات می‌تواند دیدگاه‌های جامع‌تری ارائه دهد. دوم، ترکیب قراردادهای آتی با سایر ابزارهای مالی نظیر اختیار معامله و بیمه ریسک می‌تواند به طراحی مدل‌های جامع‌تر کمک

کند. سوم، استفاده از الگوریتم‌های نوین یادگیری ماشین و یادگیری عمیق می‌تواند دقت پیش‌بینی ریسک را افزایش دهد. همچنین، توجه به ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی مدیریت ریسک می‌تواند افق‌های تازه‌ای برای پژوهش‌های میان‌رشته‌ای فراهم سازد.

از منظر کاربردی، نتایج این تحقیق می‌تواند راهنمایی ارزشمند برای مدیران و سیاست‌گذاران باشد. شرکت‌ها می‌توانند با استفاده از قراردادهای آتی، ثبات بیشتری در جریان نقدینگی و عملکرد مالی خود ایجاد کنند. همچنین، بهره‌گیری از الگوریتم‌های ترکیبی برای پیش‌بینی ریسک می‌تواند توانایی مدیران در واکنش به شرایط غیرمنتظره را افزایش دهد. در سطح کلان، سیاست‌گذاران اقتصادی می‌توانند با ایجاد بسترهای قانونی و زیرساخت‌های فناورانه، زمینه استفاده گسترده‌تر از ابزارهای پوشش ریسک در صنایع مختلف را فراهم سازند.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازن اخلاقی

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

References

- Al-e Ali, S., Abounouri, A., Emamverdi, G. A., & Ghiasvand, A. (2020). The Application of Futures Contracts in Calculating Optimal Crude Oil Market Risk Hedging: A Comparison of Static and Dynamic Approaches. *Quarterly Journal of Econometric Modeling*, 5(2), 65-93.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operations*. PEARSON-Prentice Hall.
- Chowdhury, N. A., Syed Mithun, A., Zuhayer, M., Towfique, R., Golam, K., & Sanjoy Kumar, P. (2019). A structural model for investigating the driving and dependence power of supply chain risks in the readymade garment industry. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 51, 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.05.024>
- Chu, C. Y., Park, K., & Kremer, G. E. (2020). A global supply chain risk management framework: An application of text-mining to identify region-specific supply chain risks. *Advanced Engineering Informatics*, 45. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101053>
- Comelli, M., Fenies, P., & Tcherneva, N. (2008). A combined financial and physical flows evaluation for logistic process and tactical production planning: application in a company supply chain. *International Journal of Production Economics*, 112(1), 77-95. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.01.012>
- Doaei, M., & Farzamian, K. (2020). Identifying and Investigating the Impact of Supply Chain Risk Components on the Financial Performance of Iran Khodro Khorasan Company. *Scientific Journal of Supply Chain Management*.
- Gabellini, M., Civolani, L., Calabrese, F., & Bortolini, M. (2024). A Deep Learning Approach to Predict Supply Chain Delivery Delay Risk Based on Macroeconomic Indicators: A Case Study in the Automotive Sector. *Applied Sciences*, 14(11), 4688. <https://doi.org/10.3390/app14114688>

- Garvey, M. D., & Carnovale, S. (2020). The rippled newsvendor: A new inventory framework for modeling supply chain risk severity in the presence of risk propagation. *International Journal of Production Economics*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107752>
- Harland, C., Brenchley, R., & Walker, H. (2003). Risk in supply networks. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9, 51-62. [https://doi.org/10.1016/S1478-4092\(03\)00004-9](https://doi.org/10.1016/S1478-4092(03)00004-9)
- Hosseini, S. M., & Sheikhi, N. (2013). Explaining the Strategic Role of Supply Chain Management Operations in Improving Company Performance: A Case Study of Iran's Food Industry. *Strategic Management Studies*(10), 31-57.
- Huo, L., Guo, H., Cheng, Y., & Xie, X. (2019). A new model for supply chain risk propagation considering herd mentality and risk preference under warning information on multiplex networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 545. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.123506>
- Jia, F., Gong, Y., & Brown, S. (2018). Multi-tier sustainable supply chain management: The role of supply chain leadership. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.022>
- Jiang, Y., Zhang, Y., Yeganeh, A. J., & Zhao, D. (2024). Resilience of Green Building Supply Chain: Capabilities, Risks and Influence Mechanism. *Journal of Green Building*, 19(3), 41-69. <https://doi.org/10.3992/jgb.19.3.41>
- Jum'a, L., Qamardin, S., & Ikram, M. (2024). Developing Resilience Strategies Amid Supply Chain Risks in the Automotive Industry: A Stakeholder Theory Perspective. *Business Strategy and the Environment*, 33(8), 9197-9213. <https://doi.org/10.1002/bse.3977>
- Naved, M. (2025). Predictive Analytics for Risk Reduction in Vehicle Supply Chain Management. 391-404. <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0442-7.ch025>
- Qian, C., & Arkadieva, A. (2024). Stability and risk management of global supply chains in foreign trade economy. *American Journal of Economics and Business Innovation*. <https://doi.org/10.54536/ajebi.v3i1.2362>
- Rachid, B., Roland, D., Sebastien, D., & Ivana, R. (2024). Risk Management Approach for Lean, Agile, Resilient and Green Supply Chain. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 11(4), 742-750. <https://publications.waset.org/10006688/risk-management-approach-for-lean-agile-resilient-and-green-supply-chain>
- Salahi, F. (2020). Presenting a Model with a Hybrid Approach Aimed at Reducing Supply Chain Risk Costs. *Management accounting*, 13(45), 155-167.
- Sharma, J., Tyagi, M., & Kazançoğlu, Y. (2024). Impact of digital technologies on the risk assessment in food supply chain: a wake towards digitalisation. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(5), 3491-3504. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17035>
- Soleimani, I. (2019). Principles and Legal Conditions for Concluding International Oil Futures Contracts. *Qanoun Yar (Law Companion)*, 3(11), 129-158.
- Soufi Fard, R., Motar Hosseini, S. M., & Zanjirani Farahani, R. (2016). Investigating the Effects of a Vendor-Managed Inventory System in the Supply Chain Using a Mathematical Model.
- Wong, L. W., Tan, G. W. H., Ooi, K. B., Lin, B., & Dwivedi, Y. K. (2024). Artificial intelligence-driven risk management for enhancing supply chain agility: A deep-learning-based dual-stage PLS-SEM-ANN analysis. *International Journal of Production Research*, 62(15), 5535-5555. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2063089>
- Zenios, S. J. (2007). *Practical Financial Optimization: Decision Making for Financial Engineers*. Blackwell.