

Supply Chain Management and Its Importance in the Era of Globalization with the Presentation of a Mathematical Model

1. Abbas Raad[✉]*: Assistant Professor, Department of Industrial Management and Information Technology, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a-raad@sbu.ac.ir (Corresponding Author)

2. Zeynab Doostgharin[✉]: Ph.D. Student, Department of Industrial Management, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Article history



Received: 11 April 2025

Revised: 09 July 2025

Accepted: 19 July 2025

Published: 01 September 2025

Abstract:

This study examines the role of futures contracts in financial risk management within the supply chain under the volatile economic conditions of Iran. In light of challenges arising from price and currency fluctuations, financial instruments such as futures contracts are analyzed as a strategy to mitigate risk and enhance stability across the supply chain. The research introduces a mathematical model based on a hybrid of the Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO), integrating them into a Hybrid Genetic-Particle algorithm (HGP), to account for critical factors such as risk aversion levels, demand variability, and price volatility. The dataset utilized in the study was extracted from the Iran Khodro Company. The results demonstrate that the HGP algorithm outperforms both GA and PSO in terms of accuracy for risk prediction and factor loading, exhibiting a lower margin of error in modeling long-term risks and price fluctuations. Moreover, the sensitivity analysis of futures contracts reveals that these instruments can be effectively employed for risk hedging under conditions of economic instability. This study offers a practical framework and proposes strategies to improve supply chain management within domestic industries, emphasizing the need to strengthen financial infrastructure and establish transparent regulatory frameworks. Based on the findings, it is recommended that the HGP model be applied in key industries such as automotive manufacturing and petrochemicals to evaluate its operational efficiency. Additionally, the development of artificial intelligence software for risk monitoring, enhancement of decision-making processes, and the formulation of standardized methodologies for risk assessment and contract valuation by regulatory bodies can significantly contribute to the reinforcement of financial infrastructure.

Keywords: supply chain, supply chain management, globalization, mathematical model.

Citation: Raad, A., & Doostgharin, Z. (2025). Supply Chain Management and Its Importance in the Era of Globalization with the Presentation of a Mathematical Model, *Accounting, Finance and Computational Intelligence*, 3(2), 1-17.



Copyright: © 2025 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**

In recent decades, the importance of supply chain management (SCM) has grown exponentially due to the increasing complexity of global markets, technological advancements, and dynamic consumer demands. As the global economy continues to evolve, businesses face heightened challenges in ensuring stability, efficiency, and resilience within their supply chains. Originally conceptualized in the early 1990s, SCM has transformed from a logistics-centric function into a strategic cornerstone of modern organizations (Hou-ca, 2000). It encompasses the coordination of procurement, production, distribution, and delivery activities aimed at minimizing costs while maximizing customer satisfaction (Roy et al., 2021). In this context, globalization has played a dual role—expanding market access while simultaneously increasing vulnerability to supply chain disruptions (Vidrova, 2020). As businesses strive to meet these challenges, effective SCM is viewed not merely as an operational necessity but as a competitive advantage in global markets (González-Loureiro et al., 2015).

In volatile economic environments such as Iran, characterized by high inflation rates, exchange rate fluctuations, and geopolitical uncertainties, the management of financial risks within the supply chain becomes paramount. The use of financial instruments like futures contracts offers a strategic approach to mitigating these risks by locking in future prices and providing protection against market shocks (Liu & Wang, 2019). Futures contracts serve as a critical component of financial hedging strategies, particularly in sectors where pricing volatility directly impacts procurement and production costs (Caldentey & Haugh, 2009). However, the successful application of such tools requires advanced mathematical models that account for multiple uncertainty parameters and are capable of real-time decision support. To this end, hybrid algorithms that combine genetic algorithms (GA) and particle swarm optimization (PSO) have emerged as powerful tools in predictive modeling for supply chain risk management (Kline, 1994).

Simultaneously, sustainability and integrated supply chain frameworks have gained traction across both developed and developing economies. The implementation of green supply chain models, as discussed in (Eslaminejad, 2023), highlights the necessity of embedding ecological considerations alongside financial strategies. Similarly, the systematic review by (Koberg & Longoni, 2019) emphasizes the role of sustainable practices and supplier evaluation criteria in mitigating operational and social risks. In emerging markets, such as Iran, where macroeconomic instability is prevalent, supply chain risk modeling must consider the multifaceted nature of uncertainty. Therefore, the present study contributes to this growing field by developing a hybrid genetic–particle swarm optimization (HGP) model to analyze the effectiveness of futures contracts in mitigating price-based risks in supply chain operations.

In addition to aligning with theoretical frameworks, the present study builds upon recent empirical works focused on data-driven and tech-enabled SCM. Research by (Shukla & Singh, 2024) demonstrated how real-time data processing and algorithmic concurrency revolutionize SCM by enhancing risk anticipation and responsiveness. Furthermore, (Eyieyien et al., 2024) introduced a conceptual framework that ties advanced logistics technologies to competitiveness in the UK market, underscoring the relevance of intelligent modeling in today's supply chain systems. The relevance of such models is reinforced by (Qian & Arkadievna, 2024), who explored the stability of global supply chains under trade uncertainties, and by (Beigmohammadi, 2024), who empirically identified critical success factors for sustainable SCM in petrochemical industries. By integrating these insights and adopting real-world data from a major Iranian automotive firm (Iran Khodro), this research presents a tailored mathematical model suitable for implementation in unstable economic environments.

Methods and Materials

This study employs a mathematical modeling approach based on a hybrid genetic–particle swarm optimization (HGP) algorithm. The goal is to optimize risk management in the supply chain by simulating the behavior of futures contracts under fluctuating economic conditions. The model includes key variables such as risk aversion level, demand diversity, and price volatility. The data used for the model was extracted from the Iran Khodro company. The algorithm was trained and tested in various phases to predict different outputs including factor loading, pricing volatility, and long-term risk. Comparative performance of GA, PSO, and HGP algorithms was evaluated through visualized risk predictions and data-fitting diagnostics over six- and twelve-month forecast periods. Additionally, sensitivity analysis was conducted to examine the responsiveness of the model under multiple futures contract scenarios.

Findings

The results revealed that the HGP algorithm significantly outperformed both GA and PSO in terms of accuracy and consistency. In modeling factor loading, the HGP yielded higher values above the 0.6 threshold, suggesting stronger relationships between latent and observable variables. The predictive accuracy for long-term price volatility was also superior in HGP models, with error distributions more tightly clustered and less erratic than those produced by the other algorithms.

Moreover, the sensitivity analysis showed that futures contracts could effectively stabilize prices and mitigate risks in volatile economic conditions. In both six-month and twelve-month forecasting windows, the HGP algorithm maintained higher fidelity to historical trends, producing better-fitting models and lower forecast error margins. PSO was consistently the weakest performer, particularly in scenarios involving sharp price fluctuations. Risk simulation graphs demonstrated that the HGP model provided a more responsive and less error-prone representation of peak load conditions and demand-driven cost risks in the supply chain.

Additionally, the comparative analysis between real-world data and model outputs confirmed the robustness of the HGP approach. The correlation between observed and predicted values in the HGP scenario was higher than in GA or PSO cases, validating the model's practical applicability. Future pricing trends generated by HGP showed smoother trajectories with narrower confidence intervals, making the model highly suitable for industries with high risk exposure, such as automotive and petrochemicals.

Discussion and Conclusion

The findings of this study underscore the pivotal role that advanced algorithmic modeling can play in enhancing financial risk management within supply chains, particularly in highly unstable economies. The superior performance of the hybrid genetic–particle algorithm confirms the effectiveness of combining evolutionary and swarm-based techniques in capturing complex and nonlinear relationships. The ability of HGP to model long-term risk, anticipate price volatility, and align closely with historical data suggests its high potential for practical deployment in industrial settings.

By offering a predictive and adaptable framework, the model supports decision-makers in designing resilient supply chains that can absorb financial shocks and maintain continuity in operations. The inclusion of real-world data further validates the model's utility and demonstrates that such approaches can bridge the gap between theoretical optimization and operational applicability. Moreover, futures contracts emerge as viable instruments not only for hedging price risks but also for contributing to supply chain stability and cost control.

This study contributes to the literature by demonstrating how tailored mathematical tools, developed through hybrid algorithms, can address the specific challenges faced by emerging markets. As supply chains continue to face global disruptions—ranging from geopolitical instability to resource scarcity—the need for predictive, data-driven strategies becomes increasingly urgent. The proposed HGP model offers a replicable and customizable solution that can be extended to other industries and economies with similar structural risks.

By reinforcing the strategic integration of financial hedging tools and intelligent modeling techniques, this research advances the frontier of supply chain risk management. It lays the groundwork for future developments in AI-driven supply chain technologies, while also highlighting the importance of local data and contextual awareness in model design. Overall, the study provides a robust, evidence-based roadmap for firms seeking to navigate uncertainty and build sustainable, responsive supply chain systems.

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.

مدیریت زنجیره تأمین و اهمیت آن در عصر جهانی شدن با ارائه مدل ریاضی



تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۲۲ فروردین ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۸ تیر ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۸ تیر ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۱۰ شهریور ۱۴۰۴

۱. عباس راد*^۱: استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
ایمیل: a-raad@sbu.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲. زینب دوست قرین^۲: دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

این پژوهش به بررسی نقش قراردادهای آتی در مدیریت ریسک مالی زنجیره تأمین در اقتصاد پرنوسان ایران می‌پردازد. با توجه به چالش‌های ناشی از نوسانات قیمتی و نرخ ارز، استفاده از ابزارهای مالی مانند قراردادهای آتی به عنوان راهکاری برای کاهش ریسک و افزایش ثبات در زنجیره تأمین مورد تحلیل قرار گرفته است. در این مطالعه، یک مدل ریاضی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و ترکیب آن با الگوریتم ازدحام ذرات ارائه شده است تا عوامل مؤثر مانند سطح ریسک‌گریزی، تنوع تقاضا و نوسانات قیمتی را در نظر بگیرد. داده‌های مورد استفاده از شرکت ایران خودرو استخراج شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم هیبرید HGP در مقایسه با GA و PSO، دقت بالاتری در پیش‌بینی ریسک و بار عاملی (لودینگ فکتور) دارد و قادر است تغییرات قیمت و ریسک‌های بلندمدت را با خطای کمتری مدل‌سازی کند. همچنین، تحلیل حساسیت قراردادهای آتی نشان داد که این ابزارها می‌توانند به‌طور مؤثر برای پوشش ریسک در شرایط بی‌ثباتی اقتصادی به کار روند. این پژوهش با ارائه چارچوبی کاربردی، راهکارهایی برای بهبود مدیریت زنجیره تأمین در صنایع داخلی پیشنهاد می‌کند و بر ضرورت تقویت زیرساخت‌های مالی و تدوین قوانین شفاف تأکید دارد. بر اساس یافته‌های پژوهش، پیشنهاد می‌شود که مدل HGP در صنایع کلیدی مانند خودروسازی و پتروشیمی، به‌منظور ارزیابی عملی کارایی آن، مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، توسعه نرم‌افزارهای هوش مصنوعی برای پایش ریسک و بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری و تدوین استانداردهای شفاف برای محاسبه ریسک و ارزش‌گذاری قراردادها توسط سازمان‌های نظارتی، می‌تواند به تقویت زیرساخت‌های مالی کمک کند.

کلیدواژه‌گان: زنجیره تأمین، مدیریت زنجیره تأمین، جهانی شدن، مدل ریاضی.

شیوه استناددهی: راد، عباس. و دوست قرین، زینب. (۱۴۰۴). مدیریت زنجیره تأمین و اهمیت آن در عصر جهانی شدن با ارائه مدل ریاضی. *حسابداری، امور مالی و هوش محاسباتی*، ۳(۲)، ۱۷-۱۰.



در دهه‌های اخیر، جهانی‌شدن و تحول دیجیتال موجب دگرگونی عمیقی در نحوه اداره زنجیره‌های تأمین شده‌اند، به گونه‌ای که این حوزه از یک وظیفه لجستیکی صرف به یکی از ارکان راهبردی سازمان‌ها در محیط رقابتی امروز تبدیل شده است (Hou-ca, 2000). جهانی‌شدن بازارها، کوتاه شدن چرخه عمر محصولات، افزایش نیازهای مشتریان، و فشارهای زیست‌محیطی، زنجیره‌های تأمین را به نظام‌هایی پیچیده، حساس و شکننده تبدیل کرده‌اند که نیازمند مدیریت نوآورانه، علمی و پیش‌نگر هستند (Roy et al., 2021; Vidrova, 2020). در این بستر، مدیریت زنجیره تأمین نه تنها شامل هماهنگی بین تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان است، بلکه باید توانایی پیش‌بینی، کنترل و مقابله با ریسک‌ها و نوسانات غیرمنتظره را نیز دارا باشد (Shukla & Singh, 2024).

در اقتصادهای پرریسکی مانند ایران، که با نوسانات شدید نرخ ارز، تحریم‌های اقتصادی و عدم ثبات سیاست‌های مالی مواجه هستند، مدیریت ریسک در زنجیره تأمین به یک الزام استراتژیک تبدیل شده است. یکی از ابزارهای حیاتی برای پوشش این ریسک‌ها، استفاده از قراردادهای آتی و ابزارهای مالی مشتقه است که با تثبیت قیمت‌ها در آینده، سازمان‌ها را از ضررهای ناشی از شوک‌های قیمتی محافظت می‌کنند (Caldentey & Haugh, 2009; Liu & Wang, 2019). این ابزارها به‌ویژه در صنایعی که زمان تحویل، تأمین مواد اولیه و نرخ ارز نقشی اساسی در هزینه تمام‌شده و قیمت فروش دارند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. با این حال، اثربخشی ابزارهای مالی در زنجیره تأمین وابسته به وجود زیرساخت‌های مناسب، الگوریتم‌های مدل‌سازی دقیق و چارچوب‌های تصمیم‌گیری هوشمند است (Qian & Arkadievna, 2024).

به‌منظور مدیریت کارآمد این پیچیدگی‌ها، پژوهشگران و متخصصان از مدل‌های ریاضی، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و شبیه‌سازی سیستم‌ها بهره می‌برند. الگوریتم‌هایی مانند الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و مدل‌های هیبریدی مانند HGP از جمله روش‌های پرکاربرد برای پیش‌بینی ریسک و تحلیل تغییرات قیمت در زنجیره‌های تأمین هستند (Kline, 1994). این الگوریتم‌ها قابلیت مدل‌سازی توزیع خطا، تحلیل حساسیت، و پیش‌بینی بلندمدت ریسک را دارند و با ارزیابی عملکرد در سناریوهای مختلف، امکان تصمیم‌گیری بهینه را فراهم می‌سازند (Beigmohammadi, 2024). پژوهش حاضر نیز در همین راستا تلاش کرده است تا با بهره‌گیری از مدل HGP، الگویی ریاضی برای تحلیل قراردادهای آتی در زنجیره تأمین طراحی کرده و دقت پیش‌بینی آن را در مقایسه با GA و PSO ارزیابی کند.

در همین زمینه، مطالعات متعدد نشان داده‌اند که موفقیت مدیریت زنجیره تأمین در گرو بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، زیرساخت‌های دیجیتال و تحلیل‌های مبتنی بر داده‌های بزرگ است. برای نمونه، پژوهش (Shukla & Singh, 2024) نشان می‌دهد که پردازش همزمان داده‌ها در لحظه، یکی از راهکارهای انقلابی در مدیریت زنجیره تأمین است که دقت پیش‌بینی‌ها و سرعت پاسخگویی به اختلالات را به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌دهد. همچنین، (Eyieyien et al., 2024) بر اهمیت یکپارچه‌سازی فناوری در لجستیک و زنجیره تأمین تأکید کرده و آن را عامل کلیدی افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود رقابت‌پذیری اقتصادی معرفی می‌کنند. یافته‌های این مطالعه با پژوهش حاضر همسو است که تلاش دارد با تلفیق الگوریتم‌های پیشرفته و تحلیل داده‌های واقعی (از جمله اطلاعات ایران‌خودرو)، راهکاری عملی برای پوشش ریسک‌های مالی در زنجیره تأمین ارائه کند.

از منظر دیگر، پایداری زنجیره تأمین نیز در دهه گذشته به یکی از معیارهای اصلی ارزیابی عملکرد سازمان‌ها تبدیل شده است. پژوهش (Koberg & Longoni, 2019) با مرور نظام‌مند ادبیات موجود نشان می‌دهد که مدیریت پایدار زنجیره تأمین نه تنها به عملکرد اقتصادی بلکه به معیارهای زیست‌محیطی و اجتماعی نیز وابسته است. این امر در پژوهش (Eslaminejad, 2023) نیز مورد تأکید قرار گرفته، جایی که نگارنده با ارائه مدلی مفهومی برای زنجیره تأمین سبز در شرکت‌های ورزشی ایرانی، نشان می‌دهد که تعامل عوامل اکولوژیکی، فناوری سبز، و مدیریت پایدار، منجر به تقویت تاب‌آوری زنجیره تأمین می‌شود. به همین ترتیب، پژوهش حاضر نیز با تأکید بر تحلیل ریسک‌های ناشی از نوسانات قیمت و پیش‌بینی بار عاملی قراردادهای آتی، گامی در جهت تقویت پایداری زنجیره تأمین از منظر اقتصادی برداشته است.

نکته قابل توجه آن است که در ادبیات بین‌المللی، قراردادهای آتی عمدتاً در بستر بازارهای توسعه‌یافته و دارای ثبات مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛ اما پژوهش حاضر با توجه به شرایط خاص اقتصاد ایران—نظیر نرخ تورم بالا، محدودیت‌های ارزی، و تحریم‌ها—تلاش کرده است تا کارایی این ابزارها را در بستری متفاوت و با پیچیدگی‌های خاص بررسی کند. پژوهش (Glushkova et al., 2019) نیز با تحلیل مدیریت زنجیره تأمین در کشورهای در حال توسعه، بر اهمیت تطبیق سیاست‌های زنجیره تأمین با واقعیت‌های

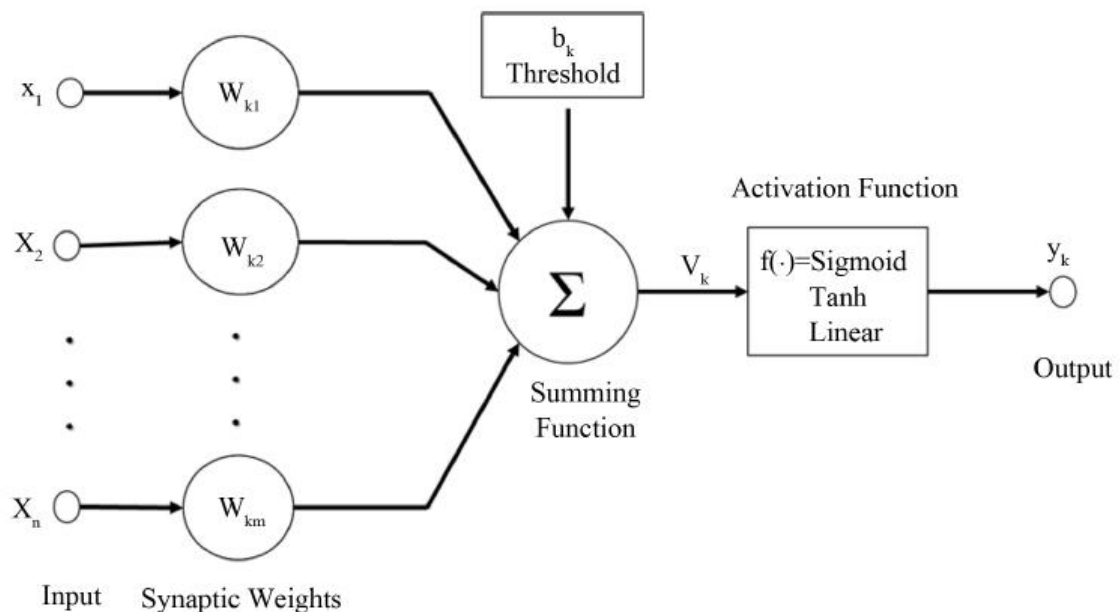
ژئوپلیتیکی تأکید کرده و پیشنهاد می‌کند که مدل‌های مدیریت ریسک باید به شکل بومی شده طراحی شوند. مطالعه حاضر نیز، با تکیه بر داده‌های شرکت ایران‌خودرو و استفاده از الگوریتم HGP، در همین راستا حرکت کرده و الگویی متناسب با شرایط اقتصادی ایران ارائه داده است.

در تکمیل این بحث، باید به نقش انتخاب تأمین‌کنندگان و بهینه‌سازی هزینه‌ها در موفقیت مدل پیشنهادی اشاره کرد. پژوهش (Amorim et al., 2016) نشان می‌دهد که انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب در شرایط عدم قطعیت، نقش حیاتی در افزایش انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین دارد. همچنین (Dargi et al., 2014) با بهره‌گیری از رویکرد ANP فازی، بهینه‌سازی انتخاب تأمین‌کنندگان را از عوامل تعیین‌کننده در کاهش ریسک زنجیره تأمین معرفی می‌کند. یافته‌های این پژوهش با مدل HGP نیز همسو است که تأمین‌کنندگان را بر اساس شاخص‌هایی نظیر هزینه، قابلیت اطمینان، و تطبیق‌پذیری با نوسانات قیمت ارزیابی می‌کند. همچنین مطالعه (Adewale et al., 2024) با تمرکز بر صنعت ساخت‌وساز مقرون‌به‌صرفه، نشان داده است که بهره‌وری عملیاتی در زنجیره تأمین با به کارگیری شیوه‌های مدیریت پیشرفته مانند الگوریتم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی به طور چشمگیری افزایش می‌یابد.

در نهایت، با توجه به یافته‌های پژوهش‌های گذشته و هدف‌گذاری مقاله حاضر، می‌توان چنین استنتاج کرد که در شرایط اقتصادی پرنوسان، رویکردهای ترکیبی و مبتنی بر داده‌های واقعی به مراتب دقت بیشتری در پیش‌بینی ریسک و پشتیبانی تصمیم‌گیری دارند. پژوهش (Qian & Arkadievna, 2024) نیز تأکید دارد که برای حفظ ثبات در زنجیره تأمین جهانی، باید از ابزارهای سنجش ریسک، پیش‌بینی سناریوهای اضطراری، و الگوریتم‌های هوشمند بهره گرفت. مطالعه حاضر نیز با تکیه بر الگوریتم هیبریدی HGP، تلاش کرده است تا مدلی دقیق، واقع‌بینانه و قابل پیاده‌سازی برای پوشش ریسک زنجیره تأمین در صنایع کلیدی مانند خودروسازی و پتروشیمی ارائه دهد.

روش پژوهش و مواد

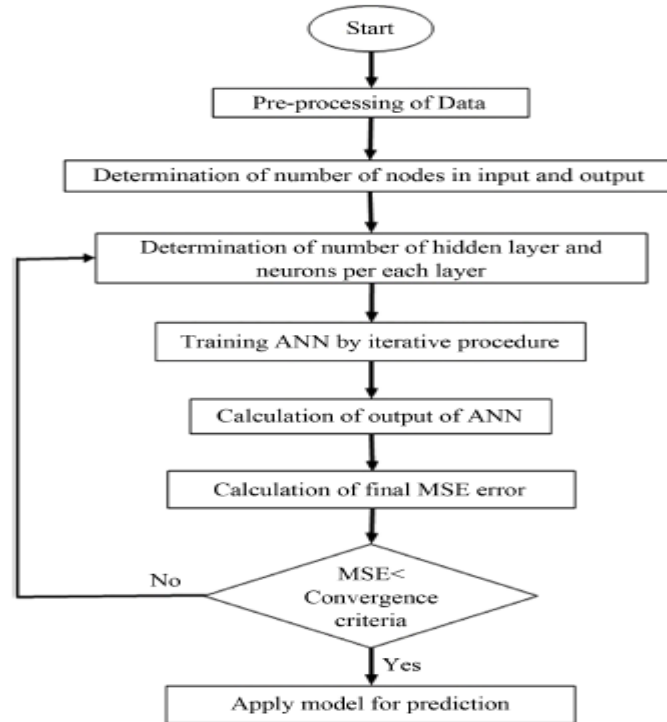
در این مطالعه با استفاده از الگوریتم ژنتیک^۱ مدل‌سازی ریاضی و پیاده‌سازی الگوی قراردادهای آتی به منظور پوشش ریسک زنجیره تأمین صورت گرفته است. برای حل و بهینه‌سازی مدل به داده‌هایی از قبیل قابلیت اطمینان، هزینه، ارزش، ریسک و ... نیاز است که این داده‌ها شرکت ایران خودرو تهیه شد. مطابق چارت زیر داده‌های اخذ شده به ورودی شبکه ساخته شده منتقل و در لایه میانی شبکه پردازش می‌شوند تا مقادیر بهینه توابع هدف در هر مرحله مشخص گردد.



شکل ۱: شماتیک شبکه عصبی مصنوعی به منظور وارد نمودن داده‌ها و اخذ خروجی

¹ Genetic Algorithm

در مراحل مختلف شبکه را برای خروجی‌های مختلف (بار عاملی، نوسان قیمتی، ریسک و ...) با هر یک از الگوریتم، آموزش و تست شد تا بهینه‌ترین پاسخها را به عنوان خروجی به دست آید. الگوریتم به دست آوردن هریک از خروجی‌های تحلیل شده در شکل ۲، گزارش شده است.

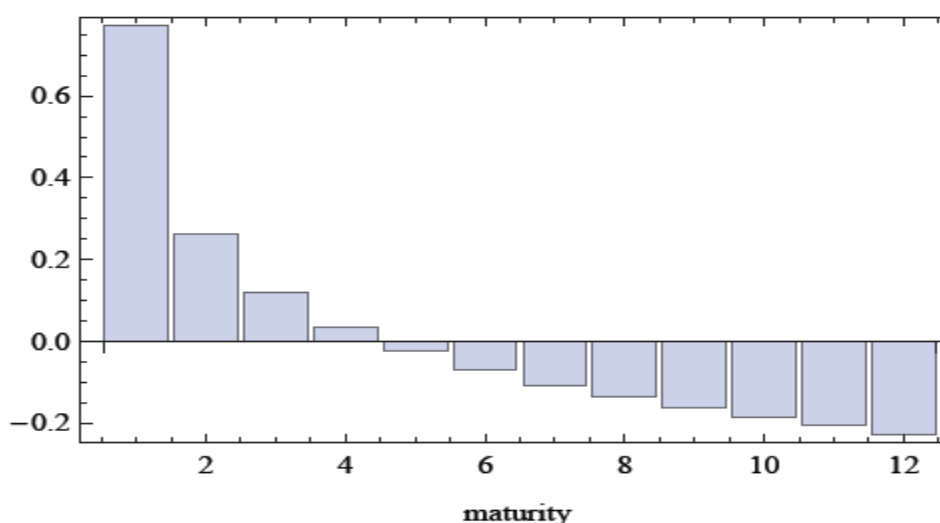


شکل ۲: الگوریتم اخذ خروجی برای مدل

یافته‌ها

در شکل ۳، لودینگ فکتور به دست آمده از الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است. بار عاملی مقدار عددی است که میزان شدت رابطه میان یک متغیر پنهان و متغیر آشکار مربوطه را طی فرآیند تحلیل مسیر مشخص می‌کند. هرچه مقدار بار عاملی یک شاخص در رابطه با یک عامل مشخص بیشتر باشد، آن شاخص سهم بیشتری در تبیین آن عامل ایفا می‌کند. همچنین اگر بار عاملی یک شاخص منفی باشد، نشان‌دهنده تأثیر منفی آن در تبیین عامل مربوطه می‌باشد. قدرت رابطه بین عامل (متغیر پنهان) و متغیر قابل مشاهده به‌وسیله بار عاملی نشان داده می‌شود. بار عاملی مقداری بین صفر و یک است. اگر بار عاملی کمتر از ۰٫۳ باشد رابطه ضعیف در نظر گرفته شده و از آن صرف‌نظر می‌شود. بار عاملی بین ۰٫۳ تا ۰٫۶ قابل قبول است و اگر بزرگ‌تر از ۰٫۶ باشد خیلی مطلوب است (کلاین^۱، ۱۹۹۴).

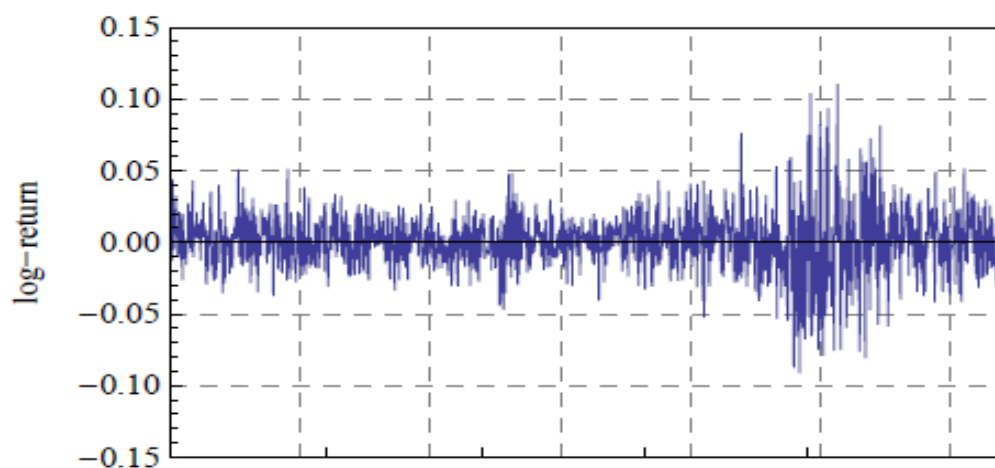
¹ Kline



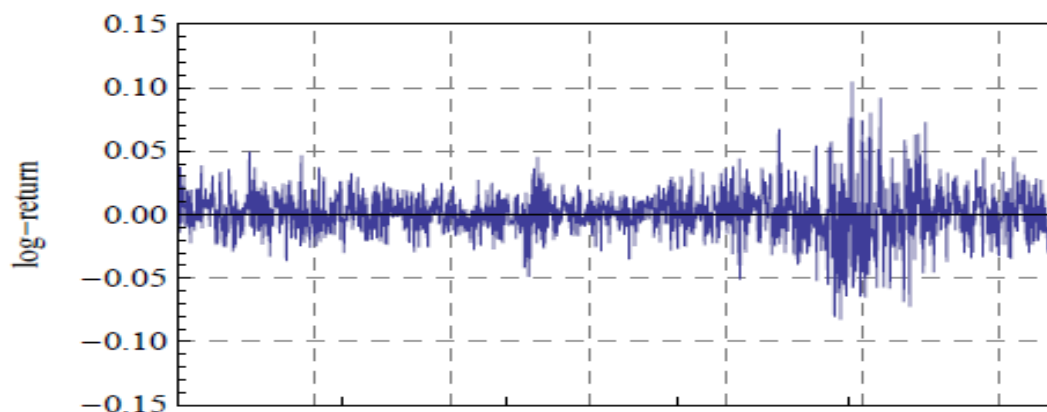
شکل ۳: لودینگ فکتور به دست آمده از الگوریتم ژنتیک

به همان اندازه که احتمال کسب سود در قراردادهای آتی بیشتر است، احتمال کسب زیان بر اثر پیش‌بینی نادرست قیمت و ریسک در آینده نیز در قراردادهای آتی، بیشتر از سایر انواع قراردادها است و بنابراین، ممکن است سرمایه‌گذار به علت پیش‌بینی نادرست قیمت سهم، متحمل زبانی سنگین در مقایسه با مبلغ سرمایه‌گذاری خود شود، بنابراین، به همان اندازه که احتمال کسب بازده در قراردادهای آتی بیشتر از سایر قراردادها است، ریسک این اوراق نیز در مقایسه با سهام، بسیار بیشتر است که لازم است روش مناسبی برای پیش‌بینی این ریسک مشخص گردد.

مدل‌سازی میزان ریسک به‌وسیله الگوریتم‌های ژنتیک (GA) و هیبرید ژنتیک-ازدحام ذرات (HGP) و ازدحام ذرات (PSO) در شکل‌های ۴ و ۵، به ترتیب نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد الگوریتم HGP حساسیت بیشتری نسبت به پیش‌بینی میزان ریسک ناشی از تغییرات قیمت قراردادهای آتی دارد. همچنین مشاهده می‌گردد کمترین میزان پیش‌بینی ریسک ناشی از تغییرات قیمت در مدل‌های الگوریتم PSO مشاهده شد که از این نظر نسبت با دو الگوریتم دیگر نقطه ضعف محسوب می‌شود.

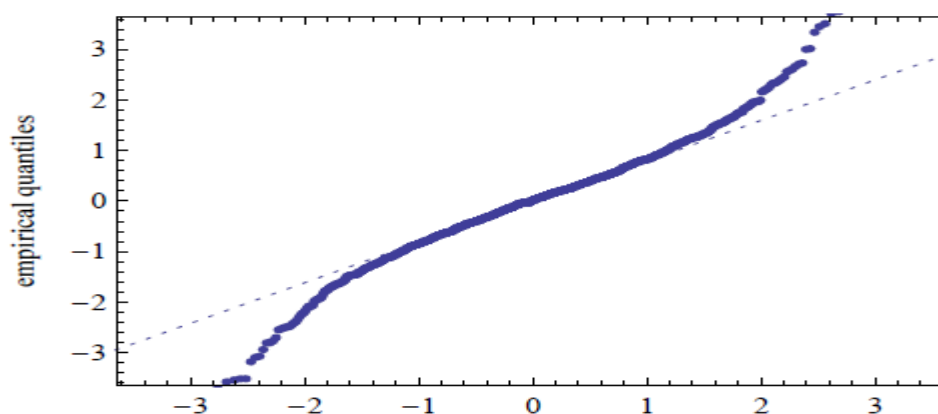


شکل ۴: پیش‌بینی ریسک بلند مدت ناشی از تغییرات قیمت با الگوریتم HGP

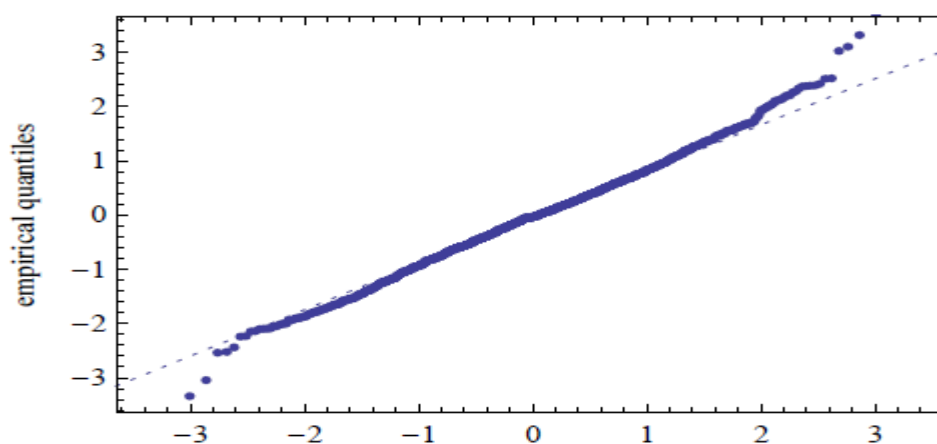


شکل ۵: پیش‌بینی ریسک بلند مدت ناشی از تغییرات قیمت با الگوریتم PSO

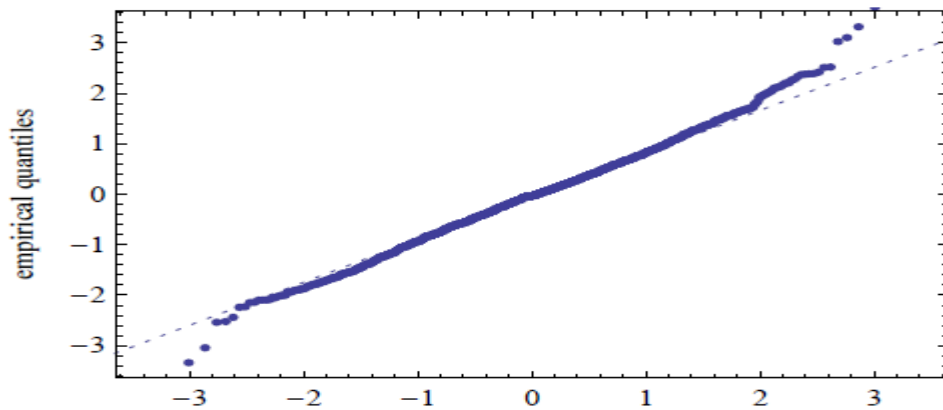
شکل‌های ۶ تا ۹، نمودارهای برازش داده‌ها را برای آینده نشان می‌دهد. هر یک از الگوریتم با داده‌های تاریخی و روند پیش‌بینی آینده تطبیق داده شده و میزان همبستگی آن‌ها با داده‌ها مشخص است. برای الگوریتم‌های مختلف دو دوره ۶ و ۱۲ ماهه در نظر گرفته شده است. الگوریتم HGP بهترین فیتینگ (برازش) ممکن از بین سایر الگوریتم‌ها را برای پیش‌بینی داده‌های آینده و تطبیق داده‌های قبلی از خود نشان می‌دهد.



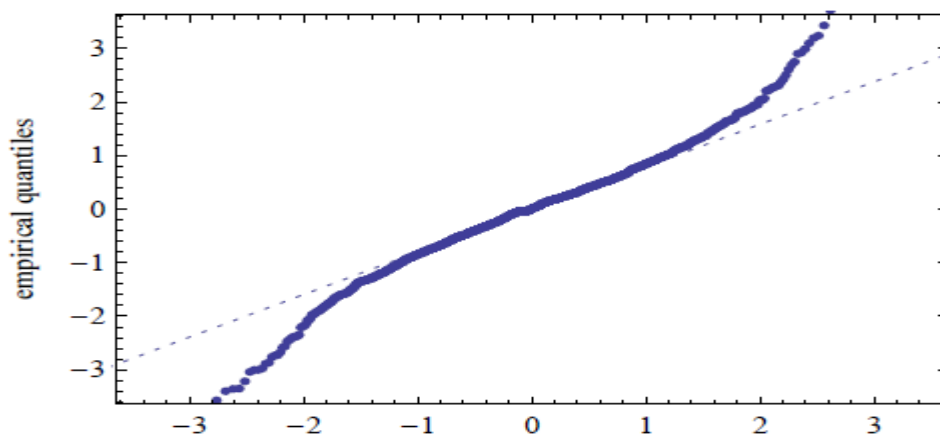
شکل ۶: پیش‌بینی ریسک ناشی از تغییرات قیمت با الگوریتم GA در بازه زمانی ۶ ماه



شکل ۷: پیش‌بینی ریسک ناشی از تغییرات قیمت با الگوریتم PSO در بازه زمانی ۱۲ ماه

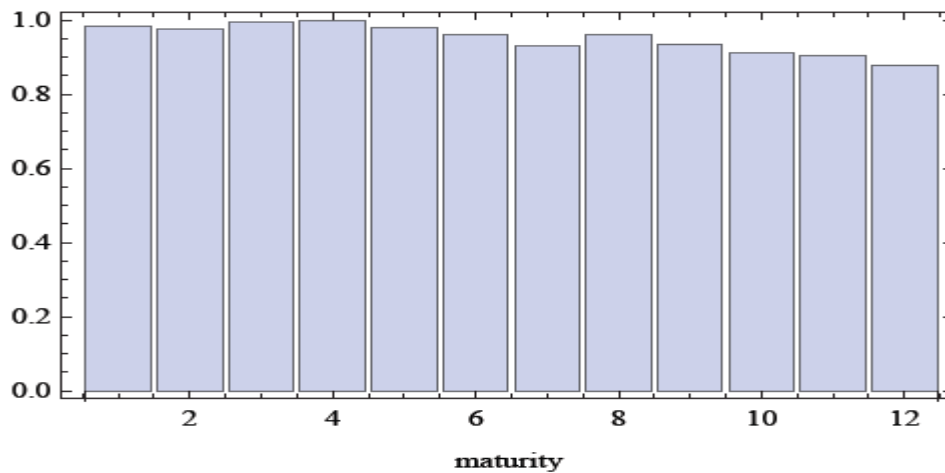


شکل ۸: پیش‌بینی ریسک ناشی از تغییرات قیمت با الگوریتم GA در بازه زمانی ۱۲ ماه

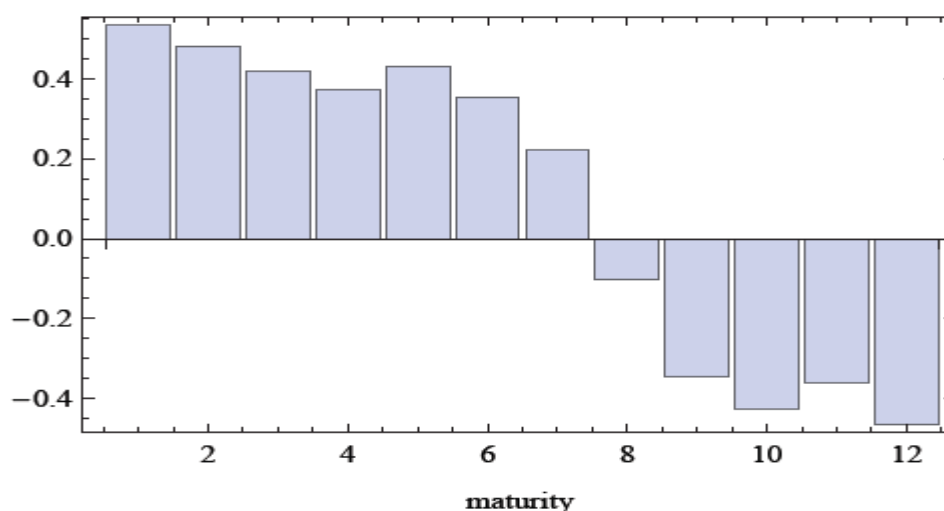


شکل ۹: پیش‌بینی ریسک ناشی از تغییرات قیمت با الگوریتم GA در بازه زمانی ۱۲ ماه

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، 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 نوسان‌تری دارد و به‌صورت کامل بالاتر از ۰.۶ قرار گرفته است در نتیجه به‌منظور مدل‌سازی مناسب‌تر است و خطای کمتری در شرایط مختلف ایجاد می‌کند.

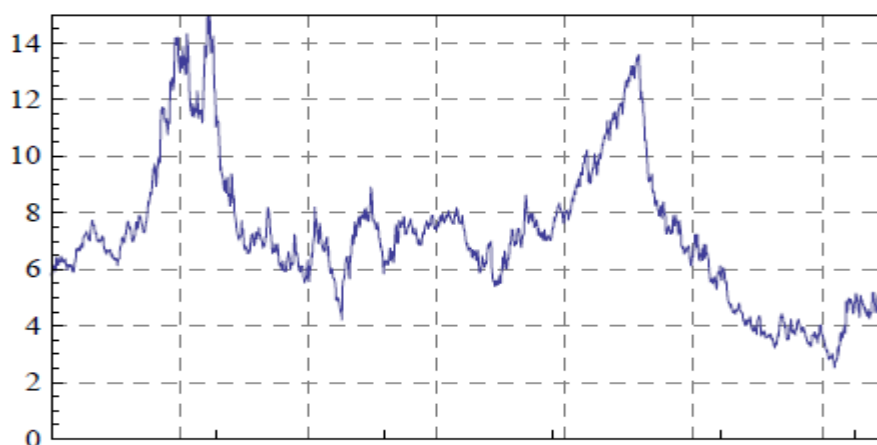


شکل ۱۰: لودینگ فکتور به دست آمده از الگوریتم HGP در مدل دوم

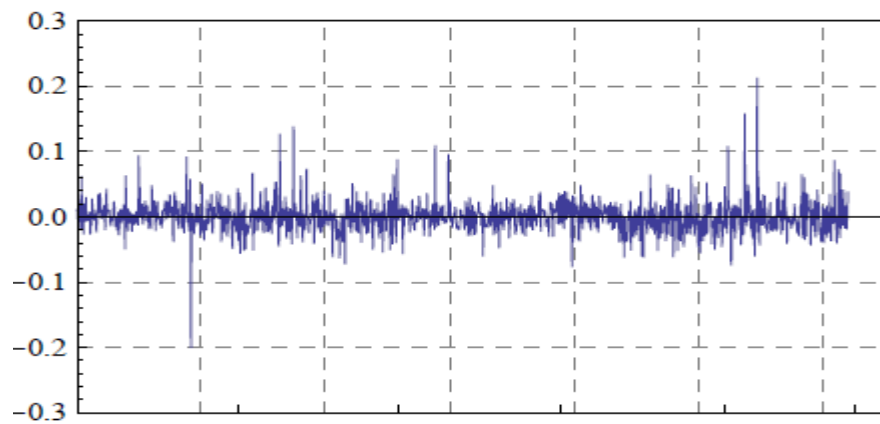


شکل ۱۱: لودینگ فکتور به دست آمده از الگوریتم PSO در مدل دوم

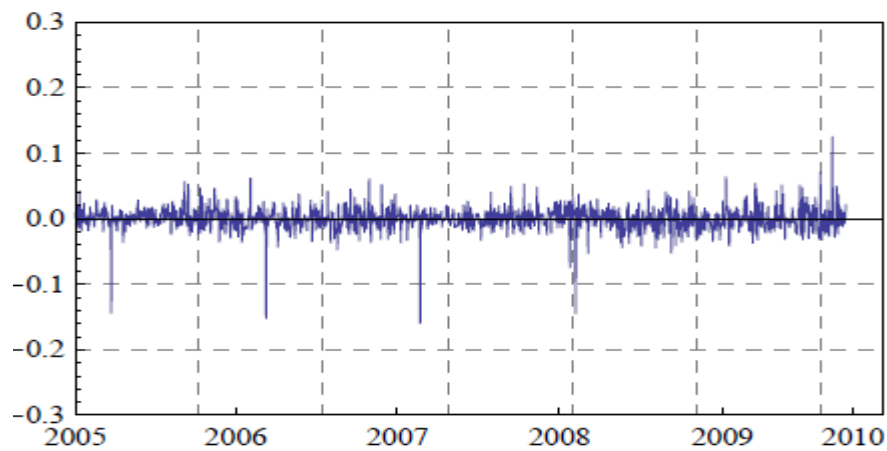
تقاضا و عرضه کامل برای یک زنجیره جهت سودده بودن آن کافی نیست، زنجیره باید قادر به مدیریت هزینه‌های خود اعم از هزینه‌های ثابت و متغیر باشد. در سطوح بالایی تقاضا ممکن است شرکت‌ها توانایی و صلاحیت خود را برای کنترل دستورالعمل‌های هزینه‌ای سرمایه‌گذاری خود از دست بدهند. در شکل ۱۲ نوسانات قیمت در زنجیره تأمین فرضی در قراردادهای آتی برای مدل دوم نشان داده شده است. محور افقی زمان و محور عمودی درصد تغییرات قیمت را در قراردادهای آتی نشان می‌دهد. مدل‌سازی میزان ریسک به وسیله الگوریتم‌های (GA) و (HGP) و (PSO) در شکل‌های ۱۳ و ۱۴، به ترتیب نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد الگوریتم HGP حساسیت بیشتری نسبت به پیش‌بینی میزان ریسک ناشی از تغییرات قیمت قراردادهای آتی دارد. همچنین مشاهده می‌گردد کمترین میزان پیش‌بینی ریسک ناشی از تغییرات قیمت در مدل‌های الگوریتم PSO مشاهده شد که از این نظر نسبت با دو الگوریتم دیگر نقطه ضعف محسوب می‌شود.



شکل ۱۲: تغییرات قیمت در طول زمان در قراردادهای آتی

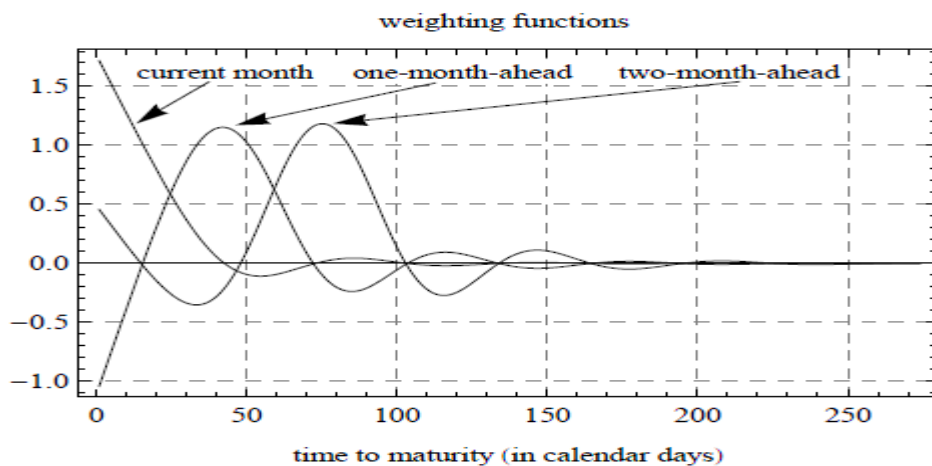


شکل ۱۳: پیش‌بینی ریسک بلند مدت ناشی از تغییرات قیمت با الگوریتم GA

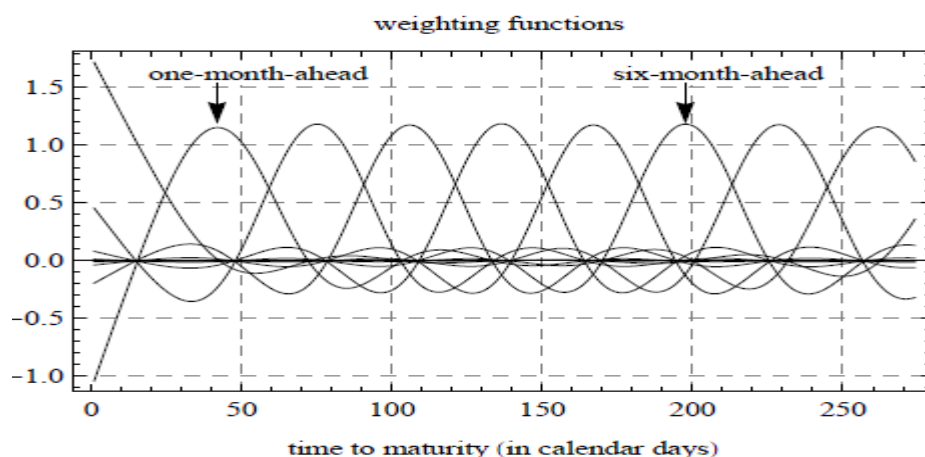


شکل ۱۴: پیش‌بینی ریسک بلند مدت ناشی از تغییرات قیمت با الگوریتم PSO

نمودارهای ۱۵ و ۱۶ حساسیت منحنی قیمت آتی نظری را به تغییرات مربوطه نشان می‌دهد قیمت واقعی آتی نمودار ۱۵، حساسیت‌ها را برای زمان جاری، یک ماه آینده و دو ماه نشان می‌دهد. قراردادهای آتی پیش رو نمودار ۱۶، حساسیت‌ها را برای هشت قرارداد آتی فرضی در آینده ترسیم می‌کند.

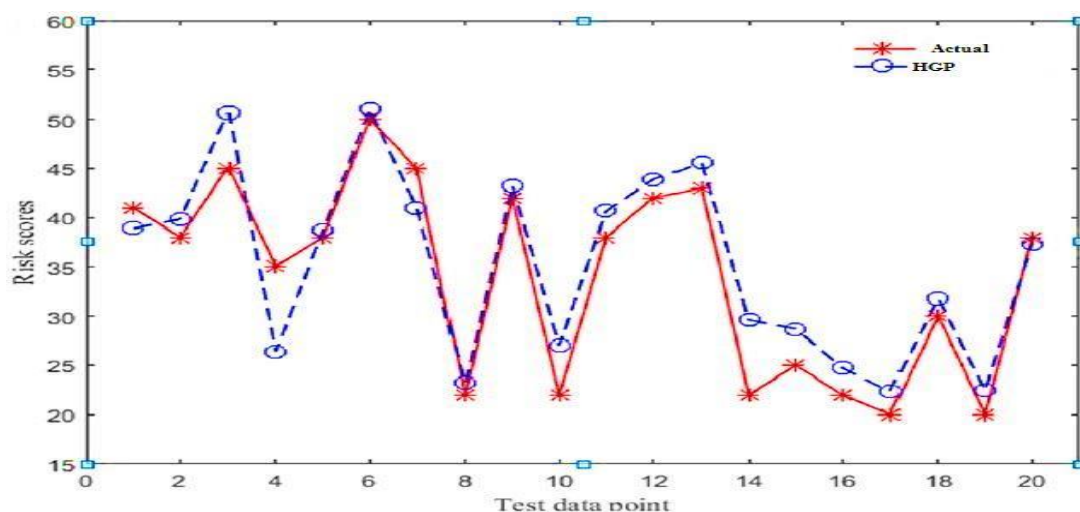


شکل ۱۵: تابع وزنی قراردادهای آتی

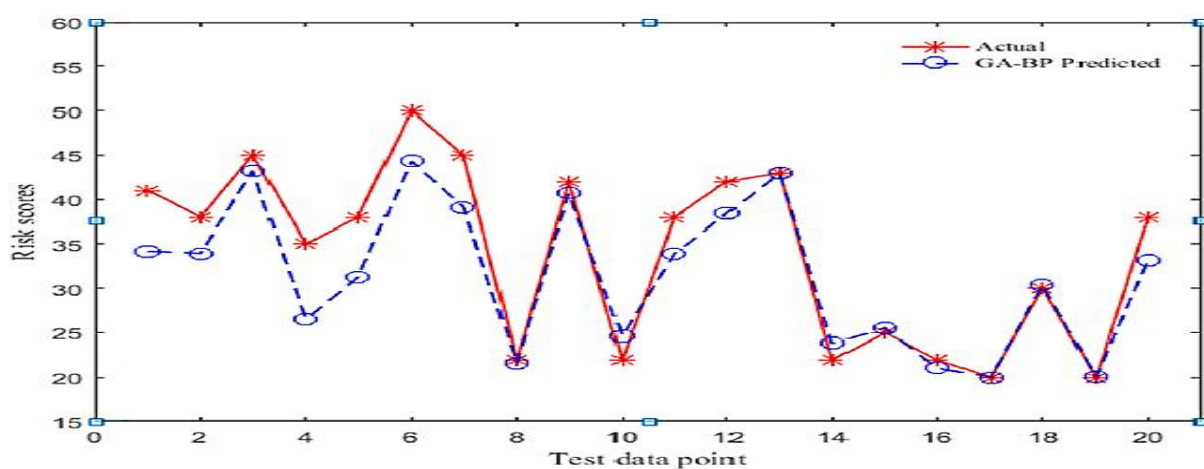


شکل ۱۶: تابع وزنی قراردادهای آتی

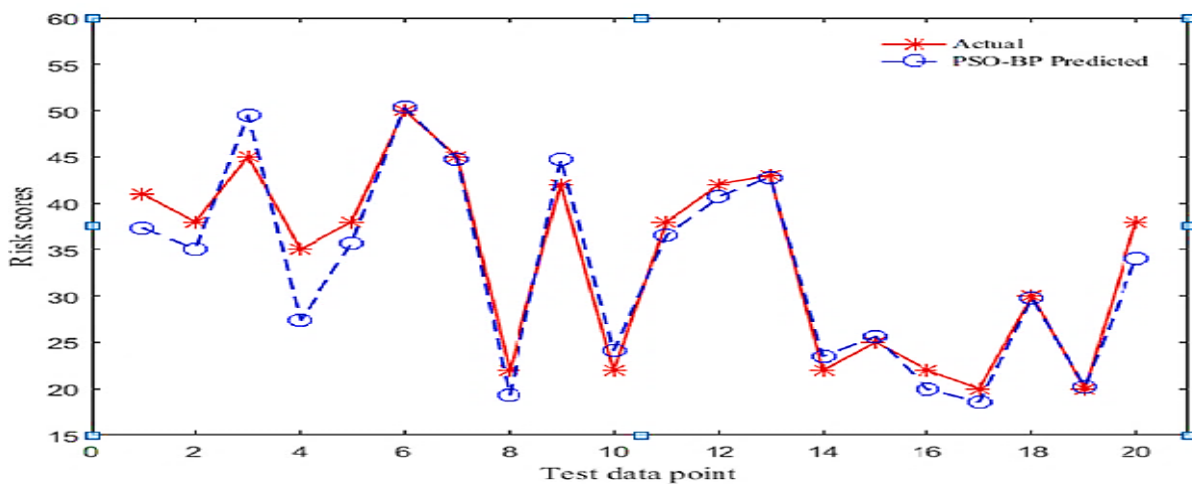
مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی الگوریتم های مذکور در تحقیق با نتایج داده های حقیقی انجام شده است. نتایج این مقایسه در شکل های ۱۷ تا ۱۹، مشاهده می شود. در این شکل ها نتایج پیش بینی ریسک به دست آمده از مدل سازی های با داده های واقعی در یک نمودار تطبیق و مقایسه شده است.



شکل ۱۷: تطبیق داده های واقعی با نتایج مدل سازی با الگوریتم HGP



شکل ۱۸: تطبیق داده های واقعی با نتایج مدل سازی با الگوریتم GA



شکل ۱۹: تطبیق داده‌های واقعی با نتایج مدل‌سازی با الگوریتم HGP

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که استفاده از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (HGP)، در مقایسه با الگوریتم‌های GA و PSO، دقت بیشتری در پیش‌بینی ریسک‌های مرتبط با نوسانات قیمت و لودینگ فکتور قراردادهای آتی در زنجیره تأمین دارد. این نتیجه با یافته‌های (Kline, 1994) همسو است که بیان می‌کند بار عاملی بالا در مدل‌سازی ساختاری، نشان‌دهنده قابلیت بالای متغیرها در تبیین پدیده‌های پیچیده است. در این مطالعه، مدل HGP توانست با توزیع بهینه و نوسان کم، پیش‌بینی دقیق‌تری از ریسک ارائه دهد، که خود گواهی بر قدرت تحلیل‌پذیری این مدل در مواجهه با پیچیدگی‌های اقتصادی محیط ایران است.

علاوه بر آن، یافته‌ها نشان دادند که الگوریتم HGP نسبت به GA و PSO حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات قیمتی داشته و در بازه‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه عملکرد پایدارتری از خود نشان داد. این نتایج با نتایج پژوهش (Liu & Wang, 2019) هم‌راستا است که در آن استفاده از قراردادهای آتی در شرایط عدم قطعیت بازار به عنوان ابزاری مؤثر برای کاهش ریسک در زنجیره‌های تأمین مطرح شده است. همچنین، مطالعه (Caldentey & Haugh, 2009) نیز به‌طور مشابه نشان می‌دهد که ترکیب قراردادهای تأمینی با روش‌های مدل‌سازی مالی می‌تواند ثبات مالی و عملیاتی شرکت‌ها را تضمین کند، چیزی که در پژوهش حاضر نیز به وضوح دیده می‌شود.

مطابق با تحلیل حساسیت انجام‌شده، قراردادهای آتی در شرایط ناپایدار اقتصادی ایران توانستند نقش مؤثری در تثبیت قیمت‌ها و کاهش عدم قطعیت ایفا کنند. این یافته با پژوهش (Qian & Arkadievna, 2024) هم‌راستا است که در آن اشاره می‌شود مدیریت ریسک کارآمد در زنجیره تأمین جهانی، نه‌تنها به ثبات عملکرد بلکه به تاب‌آوری بلندمدت آن نیز منجر می‌شود. از همین‌رو، طراحی مدل‌های ریاضی و پیش‌بینی‌پذیر برای پوشش ریسک، به‌ویژه در کشورهایی با نوسانات ساختاری، یک ضرورت استراتژیک محسوب می‌شود.

در بخش دیگری از نتایج، مقایسه الگوریتم‌ها نشان داد که HGP نسبت به PSO توانایی بالاتری در تحلیل توزیع خطا و پیش‌بینی دقیق ریسک‌های ناشی از تغییرات قیمت دارد. این یافته‌ها با مطالعات (Amorim et al., 2016) و (Dargi et al., 2014) مطابقت دارد که در آن‌ها انتخاب ابزارهای تحلیلی مناسب و شاخص‌های کارآمد، مهم‌ترین عامل در ارتقاء دقت تصمیم‌گیری در انتخاب تأمین‌کنندگان و پیش‌بینی قیمت معرفی شده‌اند. به‌ویژه استفاده از روش‌های چندمعیاره در ترکیب با الگوریتم‌های هوشمند، می‌تواند موجب بهینه‌سازی تصمیمات استراتژیک گردد، همان‌گونه که در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد.

نتایج نشان داد که استفاده از داده‌های واقعی استخراج‌شده از شرکت ایران‌خودرو باعث افزایش دقت مدل و کاربردی‌پذیری آن در صنایع داخلی شد. این یافته به‌طور مستقیم با نتایج پژوهش (Beigmohammadi, 2024) قابل تطبیق است که در آن، پیاده‌سازی مدل‌های زنجیره تأمین پایدار در بسترهای واقعی به‌عنوان عامل اصلی در افزایش اثربخشی

پیشنهاد شد. همچنین، در پژوهش (Hosseinzadeh & Ramezani, 2023) اشاره شده است که مدیریت یکپارچه قطعات یدکی و استفاده از سیاست‌های داده‌محور می‌تواند به بهینه‌سازی تصمیمات خرید و انبارداری منجر شود، که در پژوهش حاضر نیز در قالب تحلیل رفتار ریسک و بار عاملی در شبکه تأمین مشهود بود.

مطالعه (Koberg & Longoni, 2019) به روشنی بیان می‌کند که درک عمیق از پایداری زنجیره تأمین مستلزم توجه هم‌زمان به شاخص‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است. در این راستا، الگوریتم HGP با بهره‌گیری از ساختارهای ترکیبی، توانست مدل جامعی از متغیرهای قیمتی، رفتاری و محیطی ایجاد کند که با عملکرد دقیق، توانایی سنجش ریسک در سناریوهای بلندمدت را نیز داشت. در تأیید این یافته، پژوهش (Eslaminejad, 2023) نیز اشاره می‌کند که طراحی الگوهای سبز زنجیره تأمین بدون استفاده از تحلیل‌های پیش‌بینی‌محور نمی‌تواند موفق باشد.

از منظر راهبردی، می‌توان بیان داشت که در شرایط عدم قطعیت‌های ژئوپلیتیکی و چالش‌های اقتصادی ساختاری، ابزارهای پوشش ریسک مانند قراردادهای آتی، تنها در صورت وجود چارچوب‌های تحلیلی قوی و مدل‌های تصمیم‌یار قابل بهره‌برداری مؤثر خواهند بود. پژوهش (Eyieyien et al., 2024) نیز بر این نکته تأکید دارد که فناوری‌محوری در زنجیره تأمین تنها زمانی به مزیت رقابتی می‌انجامد که با الگوریتم‌های هوش مصنوعی و ابزارهای پیش‌بینی همراه باشد. مدل حاضر نیز با استفاده از الگوریتم‌های هیبریدی دقیقاً در این مسیر حرکت کرده و گامی مؤثر در جهت ارتقای سطح علمی مدیریت ریسک زنجیره تأمین در کشور برداشته است.

در نهایت، مطالعه حاضر تأیید کرد که رویکردهای مبتنی بر داده، مدلسازی ریاضی و بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوشمند در شرایط پریسک اقتصادی، به افزایش پایداری و کاهش هزینه‌های عملیاتی در زنجیره تأمین منجر می‌شوند. این نتایج با یافته‌های (González-Loureiro et al., 2015) هم‌راستا است که تأکید می‌کنند همگرایی بین استراتژی‌های کلان سازمانی و عملیات زنجیره تأمین، کلید موفقیت در بازار جهانی است. بنابراین، در کشورهایی با شرایط مشابه ایران، استفاده از مدل‌هایی همچون HGP نه تنها توصیه می‌شود، بلکه یک ضرورت راهبردی برای بقاء و رقابت‌پذیری است.

پژوهش حاضر با وجود مزایای متعددی که در ارائه مدل دقیق و هوشمند برای پیش‌بینی ریسک در زنجیره تأمین دارد، با محدودیت‌هایی نیز مواجه بوده است. نخست، داده‌های مورد استفاده تنها از یک شرکت صنعتی (ایران خودرو) استخراج شده‌اند و ممکن است تعمیم‌پذیری نتایج به سایر صنایع نیازمند احتیاط باشد. دوم، تمرکز مدل بر قراردادهای آتی و نوسانات قیمتی است و سایر عوامل مؤثر همچون تأخیر در زنجیره تأمین، اختلالات لجستیکی یا چالش‌های حقوقی در مدل لحاظ نشده‌اند. سوم، محدودیت در دسترسی به داده‌های مالی دقیق و محرمانه برخی شرکت‌ها، مانع از اعتبارسنجی گسترده‌تر مدل در صنایع گوناگون شد.

با توجه به یافته‌ها و محدودیت‌های موجود، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده از داده‌های چندصنعتی برای افزایش اعتبار بیرونی مدل استفاده شود. همچنین، توسعه مدل با در نظر گرفتن متغیرهای کیفی همچون رفتار مشتری، نوسانات سیاسی، یا شاخص‌های محیط‌زیستی می‌تواند به جامعیت بیشتر مدل کمک کند. از دیگر حوزه‌های پیشنهادی، بررسی مقایسه‌ای بین الگوریتم HGP و سایر الگوریتم‌های تکاملی جدید مانند الگوریتم خفاش یا الگوریتم زنبورعسل مصنوعی، در مدلسازی ریسک زنجیره تأمین است.

پیشنهاد می‌شود که سازمان‌های صنعتی و خدماتی، به‌ویژه در حوزه‌های حساس مانند خودروسازی و پتروشیمی، از مدل‌های مبتنی بر الگوریتم‌های هوشمند برای پیش‌بینی ریسک استفاده کنند. توسعه داشبوردهای هوش مصنوعی برای پایش لحظه‌ای ریسک و یکپارچه‌سازی این سامانه‌ها با سیستم‌های برنامه‌ریزی منابع سازمانی (ERP) می‌تواند اثربخشی این مدل‌ها را در عمل افزایش دهد. همچنین، نهادهای سیاست‌گذار می‌توانند با تدوین دستورالعمل‌های شفاف برای بهره‌برداری از ابزارهای مالی مشتقه، مسیر بهره‌برداری حرفه‌ای و امن از قراردادهای آتی را برای صنایع هموارتر 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، هیچ گونه تضاد منافع 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

- Adewale, A., Akinsulire, A. A., Okwandu, A. C., & Iwuanyanwu, O. (2024). Supply chain management and operational efficiency in affordable housing: An integrated review. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*.
- Amorim, P., Curcio, E., Almada-Lobo, E., Barbosa-Povoa, A., & Grossmann, I. E. (2016). Supplier selection in the processed food industry under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 252(3), 801-814. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.02.005>
- Beigmohammadi, N. (2024). *Identification and Ranking of Critical Success Factors for Sustainable Supply Chain Management at World-Class Level: Case Study of Jam Petrochemical Company* [Master's Thesis, Industrial Management, Payame Noor University of Tehran Province, Ray Center].
- Caldentey, R., & Haugh, M. B. (2009). Supply Contracts with Financial Hedging. *Operations Research*. <https://doi.org/10.1287/opre.1080.0521>
- Dargi, A., Anjomshoe, A., Rahiminezhad Galankashi, M., Memari, A., & Binti, M. (2014). Supplier Selection: A Fuzzy-ANP Approach. *Procedia Computer Science*, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.317>
- Eslaminejad, A. (2023). *Designing a Green Supply Chain Management Model in Sports Manufacturing Companies* [PhD Dissertation, Sport Management, Islamic Azad University, Shahrood Branch].
- Eyeyien, O. G., Adebayo, V. I., Ikevuje, A. H., & Anaba, D. C. (2024). Conceptual foundations of tech-driven logistics and supply chain management for economic competitiveness in the United Kingdom. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*.
- Glushkova, S., Lomakina, O., & Sakulyeva, T. (2019). The economy of developing countries in the context of globalization: Global supply chain management. *International Journal of Supply Chain Management*, 8, 876-884. <https://www.semanticscholar.org/paper/b6d449080836eda958de0daecaf1d73032cefa0c>
- González-Loureiro, M., Dabić, M., & Kiessling, T. S. (2015). Supply chain management as the key to a firm's strategy in the global marketplace: Trends and research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 45, 159-181. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-05-2013-0124>
- Hosseinizadeh, M. R., & Ramezani, S. (2023). A Framework for Integrated Spare Parts Supply Chain Management. *Supply chain management*, 25(78), 71-88.
- Hou-ca, S. (2000). Supply chain management: Theory and method. *Chinese Journal of Management Science*.
- Kline, R. B. (1994). *Principles and practice of structural equation modeling*. Guilford Press.
- Koberg, E., & Longoni, A. (2019). A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 207, 1084-1098. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.033>
- Liu, Z., & Wang, J. (2019). Supply chain network equilibrium with strategic financial hedging using futures. *European Journal of Operational Research*, 272, 962-978. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.029>
- Qian, C., & Arkadievna, 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>
- Roy, A., Chowdhary, A., & Madan, A. K. (2021). Impact of Supply Chain Management in Globalization. *International Journal of Advance Research and Innovation*, 9(2), 84-89. <https://doi.org/10.51976/ijari.922113>
- Shukla, S., & Singh, P. (2024). Revolutionizing supply chain management: Real-time data processing and concurrency. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. <https://doi.org/10.38124/ijisrt/UJSRT24MAY207>
- Vidrova, Z. (2020). Supply chain management in the aspect of globalization. SHS Web of Conferences, <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207404031>