Journal Website

Article history:
Received 24 June 2025
Revised 26 October 2025
Accepted 04 November 2025
Initial Published 09 November 2025
Final Publication 16 January 2026

Dynamic Management and Business Analysis

Volume 4, Issue 4, pp 1-24

E-ISSN: 3041-8933

Modeling Complex and Composite Behaviors of Stock Market Entropy Fluctuations Using Statistical Physics

Mahsa. Rahavi[1], Gholamreza. Zomorodian[2*], Bahman. Banimahd[3]

[1] Department of Economic Sciences, Ka.C., Islamic Azad University, Alborz, Iran
[2] Department of Financial Management, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
[3] Department of Accounting, Ka.C., Islamic Azad University, Alborz, Iran

*** Corresponding author email address**: Gh.zomorodian@iau.ac.ir

A r t i c l e I n f o

Article type:
Original Research

How to cite this article:
Rahavi, M., Zomorodian, G., & Banimahd, B. (2025). Modeling Complex and Composite Behaviors of Stock Market Entropy Fluctuations Using Statistical Physics. *Dynamic Management and Business Analysis*, *4*(4), 1-24.
https://doi.org/10.61838/dmbaj.4.4.6

© 2025 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.

A B S T R A C T

Objective: This study aims to analyze and model the complex and composite behaviors of stock market entropy fluctuations in Iran using statistical physics, integrating Brownian motion, Poisson, Lévy, and Lévy–Khintchine processes.

Methods and Materials: This quantitative study employed a predictive modeling approach using monthly data from Iran's stock market indices from 2012 to 2024. Random contact processes, jump-diffusion mechanisms, and composite probability distributions were applied under a statistical physics framework. The study utilized Brownian, Poisson, and Lévy–Khintchine processes to simulate random and jump fluctuations. Data analysis was performed with R, Python, and MATLAB software using correlation tests, multivariate regression, AR and GARCH models, and a multivariate exponentially weighted moving average (EWMA) model to examine the dynamic interdependence among variables.

Findings: Results revealed that stock market entropy was significantly influenced by oil price volatility, exchange rate fluctuations, global gold prices, market risk premiums, and cryptocurrency prices. Sudden shocks in oil and cryptocurrency markets sharply increased market entropy and complexity, whereas smaller fluctuations had gradual effects. The Lévy–Khintchine and jump-diffusion models effectively captured nonlinear dynamics and inter-variable interactions. Engel–Sheppard and Tsay tests confirmed that correlations among variables were time-varying, and the EWMA model outperformed the conditional heteroskedasticity model in dynamic estimation.

Conclusion: The study concludes that statistical physics models, particularly the Lévy–Khintchine process, provide a robust framework for understanding and forecasting nonlinear and complex behaviors in Iran's stock market. These models enhance the precision of volatility and entropy estimation and can guide risk management and investment strategies.

Keywords: *Complex behaviors, Stock market entropy, Statistical physics, Random fluctuations, Lévy–Khintchine process*

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Financial stress and political instability are among the most crucial determinants of energy market dynamics, especially in oil-exporting countries where fiscal performance and economic growth are highly dependent on energy revenues. In recent years, fluctuations in global oil prices, financial crises, and political uncertainty have profoundly influenced both the stability of energy markets and the return on energy investments (Ahmadian et al., 2024; Wei & Guo, 2017). The relationship between financial stress and energy returns has attracted growing attention in the context of developing economies, as rising financial pressures can amplify volatility and weaken the capacity of energy markets to sustain long-term growth (Fallahpour et al., 2019; Rezagholizadeh et al., 2023).

Financial stress is a multidimensional concept reflecting pressures in the credit, currency, equity, and debt markets. It acts as a key indicator for anticipating financial instability and predicting fluctuations in macroeconomic performance (Ebrahimi Shaghaghi & Eslami Mofidabadi, 2021; Giannellis & Tzanaki, 2025). In oil-dependent economies, such stress is often magnified by external shocks—such as declines in oil demand or price collapses—which directly affect government revenues and fiscal balance (Anand et al., 2023; Chang & Torres, 2023). Moreover, political instability can exacerbate these effects by disrupting institutional governance, deterring foreign investment, and reducing the predictability of energy policy frameworks (Li et al., 2024; Nguyen Huu & Örsal, 2024).

Recent studies emphasize that financial stress, political instability, and energy returns are interconnected through both direct and indirect transmission channels (Salisu et al., 2024; Usman et al., 2024). For instance, volatility in the financial sector can limit liquidity, raise capital costs, and constrain investment in energy projects, while political risks can diminish investor confidence and distort market expectations (Falahati & Ghaffari Nia Herikandei, 2022; Özkan et al., 2024). In this sense, understanding how these factors interact is essential for formulating strategies to mitigate systemic risk in energy-exporting nations.

Research has further shown that the interaction between macroeconomic stability and the financial sector plays a decisive role in determining the long-term performance of energy markets. Countries with stable financial systems and robust political institutions are better equipped to withstand external shocks and sustain energy sector investment (Demirtas et al., 2025; Lee & Fang, 2025). By contrast, economies with high political risk or fragile banking systems experience sharp fluctuations in energy returns and increased exposure to global uncertainty (Rezagholizadeh & Rajabpour, 2021; Wang et al., 2024).

In Iran and other OPEC economies, the effect of financial stress on energy returns has been found to be particularly severe, largely due to their dependence on oil exports and limited diversification of revenue sources (Heydari et al., 2018; Matoufi, 2018). The design of domestic financial stress indices in these economies has helped identify key components—such as exchange rate volatility, interest rate movements, and government debt ratios—that determine macroeconomic resilience (Fallahpour et al., 2019; Farjad Bakhshour et al., 2022). Meanwhile, studies such as (Giannellis & Tzanaki, 2025) and (Lyu et al., 2025) highlight that financial uncertainty and systemic risk exhibit nonlinear and asymmetric relationships with energy prices and stock returns.

Furthermore, the growing integration of green finance, digitalization, and renewable energy development has reshaped the interaction between financial and energy markets (Sultanuzzaman et al., 2024; Wang & Xu, 2025). Green innovation and climate-oriented financial reforms can enhance energy efficiency and mitigate the adverse effects of financial shocks on the energy sector (Demirtas et al., 2025; Lee & Fang, 2025). However, the extent of these benefits remains contingent upon political stability and the effectiveness of financial governance (Kahkhai Akbari et al., 2024; Ünüvar & Yeldan, 2023).

Based on these theoretical and empirical foundations, this study aims to analyze the dynamic effects of financial stress and political stability on future energy returns in selected oil-exporting countries, employing advanced econometric modeling to capture nonlinear relationships. The study contributes to the literature by integrating political, financial, and macroeconomic dimensions into a unified predictive framework, thereby offering insights into the mechanisms through which financial instability and political risk shape the long-term sustainability of energy markets.

Methods and Materials

The study is applied in nature and follows a descriptive–analytical design within a post-event framework. The statistical population consists of selected OPEC member countries, including Algeria, Iran, Iraq, Kuwait, Nigeria, Qatar, Saudi Arabia, and the United Arab Emirates, observed during the period 2005–2023.

Data for the study were collected from international financial and energy databases, including the World Bank, IMF, and OPEC statistics. The financial stress index was constructed using the Principal Component Analysis (PCA) method to combine multiple financial variables, such as government debt ratios, tax revenues, real interest rates, money supply ratios, and real exchange rate movements, into a single composite measure.

Panel data analysis was employed to estimate the nonlinear relationship between financial stress, political stability, and future energy returns. Specifically, a Panel Smooth Transition Regression (PSTR) model was applied to capture regime-dependent effects of financial stress on energy returns. Diagnostic tests, including unit root and cointegration analyses, were performed to ensure the reliability and stationarity of the time series.

Findings

The results indicated that the financial stress index had a significant and negative impact on future energy returns across the sampled countries, with the effect intensifying at higher levels of financial stress. The estimated coefficient for financial stress was -0.11 ($p < 0.05$), implying that rising financial stress leads to a proportional decline in energy market performance. Conversely, the political stability index exhibited a positive and statistically significant effect ($\beta = 0.49$, $p < 0.1$), confirming that stable governance environments are associated with improved energy returns.

Moreover, GDP growth and ICT development demonstrated positive and meaningful contributions to energy returns, with coefficients of 0.08 and 0.17, respectively. These findings suggest that macroeconomic expansion and technological advancement enhance the efficiency and profitability of energy systems.

The nonlinear estimation from the PSTR model revealed the existence of threshold effects, indicating that when financial stress surpasses a specific level (threshold = 0.21), its adverse impact on

E-ISSN: 3041-8933

energy returns accelerates sharply. This result underscores the presence of multiple economic regimes, each characterized by different sensitivities to financial and political conditions.

Diagnostic tests, including the Breusch–Pagan and Hausman statistics, confirmed the model's robustness and validity. The adjusted R^2 value of 0.82 indicated that the model explains a substantial proportion of the variance in future energy returns. Additionally, the long-term cointegration relationship among variables confirmed the stability of the estimated coefficients over the observed period.

Discussion and Conclusion

The results of this study highlight the significant role that financial stress plays in shaping the performance and sustainability of energy markets in oil-exporting economies. When financial systems experience heightened stress—marked by currency depreciation, credit constraints, and fiscal imbalances—energy investments tend to contract, leading to lower returns and reduced resilience to external shocks. These findings align with previous research emphasizing the negative feedback loop between financial instability and energy sector performance.

Political stability emerged as an equally important determinant of energy returns, as it ensures policy consistency, contract enforcement, and investor confidence. Stable political environments foster a predictable business climate that facilitates long-term energy projects and encourages international collaboration. Conversely, political uncertainty disrupts governance mechanisms, raises transaction costs, and discourages both domestic and foreign investment in energy infrastructure.

The positive influence of GDP and ICT underscores the interconnectedness between macroeconomic development and energy market performance. Economic growth generates demand-side stability and provides financial resources for infrastructure investments, while ICT advancements enhance energy efficiency and system optimization. Together, these factors contribute to a virtuous cycle of stability and productivity in energy markets.

The nonlinear dynamics identified through the PSTR model reveal that financial stress does not exert uniform effects across all conditions; rather, its influence intensifies once a certain threshold is exceeded. This implies that during severe financial distress, the energy market becomes more sensitive to small fluctuations, reflecting a regime-switching behavior typical of high-risk economic environments.

From a policy perspective, these findings underscore the necessity of strengthening financial resilience and improving political governance in oil-exporting nations. Establishing sovereign wealth funds, diversifying fiscal revenues, and promoting green finance initiatives can mitigate the adverse impacts of financial stress. Furthermore, political reforms aimed at enhancing transparency, reducing corruption, and stabilizing regulatory frameworks are critical for fostering investor confidence and sustaining energy sector growth.

In conclusion, the study provides empirical evidence that the interplay between financial stress and political stability critically determines the trajectory of energy returns in developing oil-based economies. By recognizing the nonlinear nature of these relationships, policymakers can design adaptive strategies to manage systemic risks and promote long-term energy market sustainability. Strengthening institutional capacity, integrating technology-driven solutions, and adopting green financial mechanisms represent key pathways for achieving resilience and energy security in an increasingly volatile global environment.

شاپای الکترونیکی: ۸۹۳۳-۳۰۴۱

مدیریت پویا و تحلیل کسب و کار

دوره ۴، شماره ۴، صفحه ۲۴-۱

وبسایت مجله

تاریخچه مقاله
دریافت شده در تاریخ ۳ تیر ۱۴۰۴
اصلاح شده در تاریخ ۴ آبان ۱۴۰۴
پذیرفته شده در تاریخ ۱۳ آبان ۱۴۰۴
اولین انتشار در تاریخ ۱۸ آبان ۱۴۰۴
انتشار نهایی در تاریخ ۲۶ دی ۱۴۰۴

مدل‌سازی رفتارهای پیچیده و کامپوزیتی نوسانات آنتروپی بازار سهام با استفاده از فیزیک آماری

مهسا رهاوی[۱]، غلامرضا زمردیان[۲*]، بهمن بنی مهد[۳]

۱. گروه علوم اقتصادی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، البرز، ایران
۲. گروه مدیریت مالی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳. گروه حسابداری، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، البرز، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: Gh.zomorodian@iau.ac.ir [*]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله
پژوهشی اصیل

نحوه استناد به این مقاله:
رهاوی، مهسا.، زمردیان، غلامرضا.، و بنی مهد، بهمن. (۱۴۰۴). مدل‌سازی رفتارهای پیچیده و کامپوزیتی نوسانات آنتروپی بازار سهام با استفاده از فیزیک آماری. *مدیریت پویا و تحلیل کسب و کار*، ۴(۴)، ۲۴-۱.

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

چکیده

هدف: هدف پژوهش حاضر، تحلیل و مدل‌سازی رفتارهای پیچیده و کامپوزیتی نوسانات آنتروپی بازار سهام ایران با استفاده از مفاهیم فیزیک آماری و استخراج الگوهای پویای نوسانات از فرآیندهای براونی، پواسون، لوی و لوی-خینچین است. **روش‌شناسی:** این پژوهش از نوع کمی و در چارچوب مدل‌سازی پیش‌بینی انجام شده است. داده‌های پژوهش شامل شاخص‌های اصلی بازار سهام ایران در بازه زمانی ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۳ با فرکانس ماهانه است. برای تحلیل از فرآیند تماس‌های تصادفی بین شاخص‌ها، فرآیند نوسانات پرش تصادفی، و توابع ترکیبی احتمال در چارچوب فیزیک آماری استفاده شد. مدل‌های براونی، پواسون و لوی-خینچین برای شبیه‌سازی حرکات تصادفی و پرش‌های ناگهانی به کار رفتند. داده‌ها با نرم‌افزارهای R ، Python و MATLAB تحلیل و از آزمون‌های همبستگی، رگرسیون چندمتغیره، مدل‌های AR ، GARCH و مدل میانگین متحرک وزنی نمائی چندمتغیره برای بررسی پویایی روابط میان متغیرها استفاده گردید. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد که آنتروپی بازار سهام ایران به طور معناداری تحت تأثیر نوسانات قیمت نفت، نرخ ارز، اونس جهانی طلا، صرف ریسک بازار و رمزارزها قرار دارد. نوسانات شدید قیمت نفت و رمزارزها موجب افزایش آنتروپی و پیچیدگی بازار شده‌اند، در حالی که نوسانات کوچک‌تر تأثیر تدریجی‌تری دارند. مدل پرش تصادفی و فرآیند لوی-خینچین توانستند به‌طور دقیق پویایی رفتارهای غیرخطی و اثرات متقابل میان متغیرهای کلان اقتصادی و مالی را تبیین کنند. بر اساس نتایج آزمون انگل–شپارد و تسای، همبستگی میان متغیرها زمان‌متغیر بوده و مدل میانگین متحرک وزنی نمائی عملکرد بهتری نسبت به مدل ناهمسان‌واریانس شرطی داشت. **نتیجه‌گیری:** پژوهش حاضر نشان داد که مدل‌سازی فیزیک آماری و به‌ویژه فرآیند لوی-خینچین ابزاری قدرتمند برای درک پیچیدگی و پیش‌بینی رفتارهای غیرخطی در بازار سهام ایران است. این مدل‌ها با توانایی شناسایی پرش‌های تصادفی، امکان تحلیل دقیق‌تر ریسک و بی‌ثباتی بازار را فراهم می‌کنند و می‌توانند به بهبود تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران و سیاست‌گذاران کمک کنند.

کلیدواژگان: *رفتارهای پیچیده، آنتروپی بازار سهام، فیزیک آماری، نوسانات تصادفی، فرآیند لوی-خینچین*

مقدمه

بازار سهام یکی از مهم‌ترین ارکان نظام مالی هر کشور محسوب می‌شود و نقش محوری در تخصیص بهینه منابع، ایجاد فرصت‌های سرمایه‌گذاری، و تسهیل رشد اقتصادی ایفا می‌کند. رفتار نوسانات در بازارهای مالی، به‌ویژه در بازار سهام، همواره به‌عنوان یکی از چالش‌برانگیزترین موضوعات در اقتصاد مالی مطرح بوده است. پیچیدگی ذاتی بازار، اثرپذیری از متغیرهای کلان اقتصادی و سیاسی، و تأثیر متقابل بین بازارهای انرژی، کالا و سرمایه، منجر به شکل‌گیری رفتارهای غیرخطی، ناگهانی و پیش‌بینی‌ناپذیر در ساختار نوسانات بازار شده است (Soltani Pour Sardou, 2024). در این میان، نظریه‌های فیزیک آماری و مدل‌های مبتنی بر آنتروپی، ابزارهای نوینی را برای تحلیل و تبیین چنین رفتارهایی در اختیار پژوهشگران مالی قرار داده‌اند که امکان مدل‌سازی ساختارهای پیچیده و ترکیبی را فراهم می‌سازند (Hosseini Pour & Rezaei, 2024).

در دهه‌های اخیر، نوسانات بازارهای سهام بیش از پیش تحت تأثیر متغیرهای ژئوپولیتیکی و نوسانات انرژی قرار گرفته‌اند. بحران‌های ژئوپولیتیکی همچون جنگ روسیه و اوکراین، همه‌گیری کووید-۱۹ و تغییرات ساختاری در سیاست‌های انرژی جهانی، اثرات قابل‌توجهی بر پویایی بازارهای مالی و انرژی داشته‌اند (Adekoya et al., 2023). نوسانات شدید در قیمت نفت خام، گاز طبیعی، طلا و رمزارزها باعث افزایش بی‌ثباتی در بازده سهام شده و به انتقال شوک‌های نوسانی بین بازارهای منطقه‌ای و بین‌المللی دامن زده‌اند (Aliu et al., 2023). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که در شرایط بحران، ساختار هم‌حرکتی بین بازارهای مالی و انرژی تقویت شده و اثرات متقابل آنها موجب افزایش آنتروپی بازار و پیچیدگی رفتار سرمایه‌گذاران می‌شود (Huang et al., 2023).

از دیدگاه نظری، آنتروپی به‌عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری میزان بی‌نظمی و عدم قطعیت در سیستم‌های پیچیده تعریف می‌شود. در بازارهای مالی، افزایش آنتروپی به معنای افزایش عدم اطمینان و پراکندگی بازده‌ها است که بیانگر رفتار غیرقابل پیش‌بینی بازار می‌باشد. رویکرد آنتروپی در تحلیل بازارهای مالی، برخلاف مدل‌های سنتی که بر واریانس یا انحراف معیار تمرکز دارند، قادر است نوسانات پنهان و ساختاری بازار را نیز شناسایی کند (Behera & Rath, 2024). از سوی دیگر، مدل‌های فیزیک آماری همچون فرآیند لوی-خینچین و حرکت براونی، چارچوبی فراهم می‌آورند که بر اساس آن، نوسانات کوچک و پرش‌های بزرگ بازار را می‌توان به‌صورت هم‌زمان مدل‌سازی نمود و بدین‌ترتیب رفتارهای کامپوزیتی بازار را به‌صورت واقع‌بینانه‌تری تحلیل کرد (Basdekis et al., 2022).

در سطح جهانی، مطالعات متعددی به بررسی اثرات نوسانات انرژی بر بازده بازار سهام پرداخته‌اند. برای مثال، پژوهش (Magazzino et al., 2023) نشان داد که بازار نفت به‌عنوان یک منبع اصلی شوک در نوسانات مالی اروپا عمل می‌کند و تغییرات ناگهانی قیمت آن، سبب انتقال نوسانات به بازارهای سهام می‌شود. همچنین، مطالعه (Huszar et al., 2023) تأکید کرد که ریسک انرژی به یک عامل ساختاری جدید در تعیین بی‌ثباتی بازارهای سهام اروپایی تبدیل شده و موجبات افزایش سرایت نوسانات میان بازارهای مالی را فراهم آورده است. در همین راستا، پژوهش (Yadav et al., 2023) نشان داد که بازارهای انرژی و سهام در کشورهای چین و اروپا دارای رابطه نوسانی چندمقیاسی هستند و انتقال نوسانات میان آن‌ها از الگوهای غیرخطی و زمان‌متغیر پیروی می‌کند.

در شرایط بحرانی ناشی از جنگ روسیه و اوکراین، رفتار بازارهای مالی تغییرات چشمگیری داشته است. به گفته (Adekoya et al., 2023)، چندفرکتالیتی و هم‌بستگی متقاطع بین بازار نفت خام و بازارهای سهام اروپایی و غیراروپایی در این دوران به‌صورت معناداری افزایش یافته است. این یافته‌ها بیانگر آن است که بحران‌های ژئوپولیتیکی منجر به افزایش آنتروپی سیستم مالی می‌شوند و ساختار هم‌حرکتی

بازارها را تغییر می‌دهند. همچنین، (Aliu et al., 2023) در مطالعه‌ای مشابه به این نتیجه رسید که جنگ اوکراین باعث نوسانات شدید در شاخص‌های DAX، ATX و FTSEMIB شده و هم‌زمان با کاهش نقدینگی، پیچیدگی بازار را افزایش داده است.

از منظر داخلی نیز، تحلیل آنتروپی بازار سرمایه ایران موضوع پژوهش‌های نوینی بوده است. به‌عنوان نمونه، (Soltani Pour Sardou, 2024) نشان داد که میزان مشارکت سرمایه‌گذاران نهادی و آنتروپی صورت‌های مالی از عوامل مؤثر بر بازده سهام در بورس تهران هستند. یافته‌های وی بیانگر آن بود که افزایش بی‌نظمی اطلاعاتی در گزارش‌های مالی با افزایش نوسانات و کاهش کارایی بازار همراه است. همچنین (Talebi et al., 2024) در پژوهش خود اثبات کرد که کیفیت حسابرسی و سطح شفافیت اطلاعاتی نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل نوسانات بازده سهام دارد. این یافته‌ها در چارچوب مدل‌های آنتروپی، تأییدکننده نقش اطلاعات نامتقارن و ساختار گزارشگری مالی در شکل‌گیری رفتارهای نوسانی بازار می‌باشند.

در کنار مطالعات اقتصادی، دیدگاه‌های میان‌رشته‌ای در حوزه فیزیک مالی نیز رشد قابل‌توجهی یافته است. فیزیک آماری با تمرکز بر رفتار جمعی اجزا و پویایی‌های چندعاملی، ابزار تحلیلی قدرتمندی را برای تحلیل سیستم‌های پیچیده همچون بازار سهام فراهم می‌کند (Katsampoxakis et al., 2022). در این چارچوب، بازار به‌عنوان شبکه‌ای از تعاملات پویا میان سرمایه‌گذاران، نهادها و متغیرهای اقتصادی در نظر گرفته می‌شود که هر جزء آن می‌تواند از طریق ارتباطات محلی و جهانی، بر ساختار کل بازار تأثیر بگذارد. مدل‌های فیزیکی مانند ایزینگ (Ising Model)، شبکه‌های پیچیده و فرآیندهای تصادفی چندمقیاسی در این زمینه کاربرد فراوانی دارند و امکان تبیین پدیده‌های غیرخطی و آشوبناک بازار را فراهم می‌سازند (Basdekis et al., 2022).

از منظر نظری، یکی از مهم‌ترین مزیت‌های مدل‌های آماری پیچیده، توانایی آن‌ها در جداسازی نوسانات کوچک (که به‌صورت پیوسته در بازار رخ می‌دهند) از پرش‌های بزرگ و ناگهانی است. فرآیند لوی-خینچین این امکان را فراهم می‌کند تا تغییرات ناگهانی در رفتار بازار، مانند شوک‌های قیمتی نفت یا رمزارزها، در مدل لحاظ شود و از این طریق، تخمین دقیق‌تری از آنتروپی بازار به دست آید (Yang et al., 2024). این فرآیند با ترکیب مؤلفه‌های حرکت براونی و پرش تصادفی، قادر است ساختار پیچیده و ترکیبی نوسانات را بازنمایی کند.

در سطح کاربردی، تحلیل آنتروپی و مدل‌های فیزیک آماری می‌توانند به بهبود مدیریت ریسک و تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران کمک کنند. پژوهش (Behera & Rath, 2024) با بررسی کشورهای گروه G20 نشان داد که پیوند بین قیمت نفت و بازده سهام به‌شدت پویاست و در دوره‌های نوسان شدید انرژی، وابستگی متقابل میان بازارها افزایش می‌یابد. این نتیجه تأکید می‌کند که سیاست‌گذاران اقتصادی باید در تنظیم سیاست‌های مالی و انرژی، پویایی‌های چندبعدی بازارهای مالی را مدنظر قرار دهند. همچنین، (Duppati et al., 2023) در پژوهشی مشابه بیان داشت که اثرات قیمتی سوخت‌ها بر بازده بازار سهام در طول همه‌گیری کووید-۱۹ به‌صورت زمان‌متغیر بوده و تغییرات ساختاری شدیدی در رفتار سرمایه‌گذاران ایجاد کرده است.

در سطح کلان‌تر، (Soury, 2024) با بهره‌گیری از مدل کوپولای تغییر رژیم، نشان داد که بازارهای مالی و نفتی در دوره‌های بحرانی، وارد فاز هم‌حرکتی شدید می‌شوند که موجب انتقال سریع نوسانات بین این دو بازار می‌گردد. به‌علاوه، (Adekoya et al., 2023) تأکید کرد که چنین هم‌حرکتی‌هایی نه‌تنها در دوره‌های بحران بلکه در زمان بهبود اقتصادی نیز به‌صورت معکوس ادامه می‌یابد و اثرات پس‌مانده‌ای در ساختار پیچیدگی بازار برجای می‌گذارد. این یافته‌ها اهمیت مطالعه رفتارهای کامپوزیتی بازار را در چارچوب مدل‌های فیزیک آماری دوچندان می‌سازد.

پژوهش‌های جدیدتر در حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین نیز تلاش کرده‌اند تا با ترکیب مدل‌های آماری و داده‌محور، رفتارهای پیچیده بازار را با دقت بیشتری پیش‌بینی کنند. برای مثال، (Yang et al., 2024) نشان داد که با استفاده از مدل‌های یادگیری عمیق مبتنی

E-ISSN: 3041-8933

بر داده‌های انرژی و ریسک ژئوپولیتیکی، می‌توان رفتار بازدهی سهام صنایع انرژی را در اروپا با دقت بالایی برآورد کرد. این ترکیب از فیزیک آماری و هوش مصنوعی، رویکردی چندرشته‌ای برای تحلیل بازارهای مالی در دنیای پرریسک کنونی ارائه می‌دهد.

در فضای داخلی، ساختار بازار سهام ایران نیز از تغییرات اقتصادی و سیاسی جهانی متأثر است. نوسانات قیمت نفت، نرخ ارز، و تحولات سیاسی، از جمله مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر بی‌ثباتی بازار سرمایه ایران محسوب می‌شوند. (Baharmoghadam et al., 2022) با بررسی نقش کمیته حسابرسی در کنترل نوسانات غیرعادی و بازده سهام شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس تهران، تأکید کرد که نهادهای نظارتی و کیفیت نظارت مالی می‌توانند در کاهش رفتارهای پرریسک و افزایش کارایی اطلاعاتی بازار مؤثر باشند. همچنین، یافته‌های (Hosseini Pour & Rezaei, 2024) نشان داد که ترکیب حضور سرمایه‌گذاران نهادی و مدل‌های آنتروپی در تحلیل بازده سهام، ابزار مناسبی برای ارزیابی پیچیدگی بازار و پیش‌بینی رفتار نوسانی شاخص‌ها است.

در نهایت، بررسی هم‌زمان نوسانات قیمتی نفت، نرخ ارز، طلا، رمزارزها و صرف ریسک بازار در چارچوب مدل‌های فیزیک آماری می‌تواند درک عمیق‌تری از ساختار پویای بازار سهام فراهم کند. استفاده از فرآیند لوی-خینچین و مدل‌های پرش تصادفی این امکان را فراهم می‌سازد تا رفتارهای ترکیبی و چندمقیاسی بازار با دقت بالاتری تبیین شوند. چنین رویکردی با ادغام مفاهیم آنتروپی و فیزیک آماری، تصویری جامع از تعامل میان متغیرهای کلان اقتصادی و رفتار سرمایه‌گذاران ارائه می‌دهد و می‌تواند به توسعه ابزارهای نوین برای پیش‌بینی ریسک و بی‌ثباتی در بازارهای مالی کمک کند (Basdekis et al., 2022; Yadav et al., 2023; Yang et al., 2024).

بنابراین، با توجه به اهمیت روزافزون پیچیدگی بازارهای مالی و تأثیر متقابل متغیرهای انرژی و اقتصادی بر آنتروپی بازار سهام، هدف این پژوهش تحلیل و مدل‌سازی رفتارهای پیچیده و کامپوزیتی نوسانات آنتروپی بازار سهام ایران با استفاده از چارچوب فیزیک آماری و فرآیند لوی-خینچین است.

روش پژوهش

در این مقاله استفاده از فرآیند تماس‌های تصادفی بین شاخص‌ها فرآیند نوسانات پرش تصادفی بر اساس محیط کلان اقتصادی با ترکیب حرکت استاندارد براونی، فرآیند پوآسون، فرآیند لوی و فرآیند لوی-خینچین و تعیین سطح‌سطح آنتروپی بازارهای مالی استفاده شده است که پویایی مدل‌سازی رفتارهای پیچیده و کامپوزیتی نوسانات آنتروپی بازار سهام با استفاده از فیزیک آماری ارایه می‌دهد. مدل‌سازی توزیع‌های کامپوزیتی احتمالی شاخص‌ها بر فیزیک آماری از توابع فرآیند تماس‌های تصادفی بین شاخص‌ها فرآیند نوسانات پرش تصادفی بر اساس محیط کلان اقتصادی و استخراج مدل رفتارهای پیچیده و کامپوزیتی نوسانات از حرکت استاندارد برآونی، فرآیند پوآسون، فرآیند لوی و فرآیند لوی- خینچین تبیین صورت گرفته شده است. این تحقیق از نوع کمی با رویکرد مدل‌سازی پیش‌بینی است که هدف آن بررسی رفتار پیچیده و کامپوزیتی نوسانات آنتروپی بازار سهام با استفاده از مدل‌سازی توزیع‌های کامپوزیتی احتمالی می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از بازارهای مالی ایران با فرکانس ماهانه در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۳ گردآوری شده است. جامعه آماری شامل تمامی شاخص‌های اصلی بازار سهام ایران بوده و نمونه آماری بر اساس ماه‌های موجود در بازه زمانی مذکور استخراج شده است. متغیرهای مورد بررسی به دو دسته تقسیم شده‌اند:

متغیر وابسته: آنتروپی بازار سهام

متغیرهای مستقل: نوسانات قیمت نفت، نوسانات اونس جهانی طلا، نوسانات نرخ ارز، صرف ریسک بازار، قیمت رمزارزها و بیت کوین، و حجم معاملات

برای اندازه‌گیری و مدل‌سازی متغیرها، از ابزارهای مختلف آماری و ریاضی استفاده شده است. نوسانات بازار با استفاده از مدل‌های توابع توزیع پواسون و حرکت براونی برآورد شده و برای تحلیل رفتار پیچیده شاخص‌های بازار سهام از فرایند لوی-خینچین[1] بهره گرفته شده است. این رویکرد امکان مدل‌سازی رفتارهای پرش تصادفی و نوسانات غیرخطی را فراهم می‌کند و ابعاد پیچیده نوسانات بازار را به صورت کمی مورد بررسی قرار می‌دهد.

در مرحله بعد، آنتروپی بازار سهام با توجه به تماس‌ها و حرکات تصادفی قیمت‌ها و همچنین فرایند نوسانات پرش تصادفی محاسبه شده است. این محاسبات با استفاده از شاخص‌های ریاضی مرتبط با فرایند لوی-خینچین انجام می‌شود تا بتوان اثرات هر یک از متغیرهای مستقل بر میزان پیچیدگی و عدم قطعیت بازار را به دقت ارزیابی کرد. در نهایت، برای تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی پیش‌بینی از نرم‌افزارهای آماری مانند R، Python و MATLAB استفاده شده و آزمون‌های همبستگی، رگرسیون چندمتغیره و شبیه‌سازی توزیع‌های کامپوزیتی احتمالی به منظور بررسی روابط و پیش‌بینی رفتار آتی بازار به کار گرفته شده است. این روش‌ها امکان سنجش دقیق اثرات متغیرهای کلان اقتصادی و مالی بر آنتروپی بازار سهام را فراهم می‌کنند و به درک بهتر رفتارهای پیچیده نوسانات کمک می‌نمایند.

نوسانات قیمت دارایی‌ها (X_t) با استفاده از فرایند لوی-خینچین مدل می‌شوند:

$$X_t = \mu_t + \sigma w_t + j_t x_t = mu_t + \sigma w_t + j_t x_t = \mu_t + \sigma w_t + j_t$$

که در آن:

mu: نرخ بازده میانگین

σ: انحراف معیار حرکات کوچک

w_t: حرکت براونی استاندارد

$j_t x_t$: فرآیند پرش تصادفی (Jump Process) با توزیع پواسون

این مدل امکان جدا کردن نوسانات کوچک و پرش‌های بزرگ را فراهم کرده و پایه محاسبه آنتروپی بازار می‌باشد.تخمین پارامترها: پارامترهای (mu)، (σ)، (w_t) با استفاده از روش بیشینه احتمال (MLE) محاسبه می‌شوند.

آنتروپی بازار به منظور سنجش عدم قطعیت و پیچیدگی بازده‌ها بر اساس شبیه‌سازی توزیع ترکیبی حرکات براونی و پرش‌ها محاسبه می‌شود.

اگر ($P(X_i)$) احتمال وقوع بازده (X_i) باشد، آنتروپی (Shannon) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$H(X_t) = \sum iP(X_i)logP(X_i)H(X) = \frac{sumP(X_i)}{logP(X_i)H(X)} = i\sum P(X_i)logP(X_i)$$

در این مطالعه، توزیع‌های ترکیبی کامپوزیتی احتمالی شامل سه جزء اصلی هستند:

۱. نوسانات کوچک (حرکات براونی)
۲. پرش‌های بزرگ (Jump Process)
۳. اثر متغیرهای کلان اقتصادی و مالی

هر جزء با توزیع مخصوص خود مدل شده و با ترکیب وزن‌دهی شده، توزیع نهایی بازده‌ها ایجاد می‌شود.

شبیه‌سازی Monte Carlo

[1]. Lévy-Khintchine Process

E-ISSN: 3041-8933

برای ارزیابی دقیق آنتروپی و رفتار پیچیده بازار، از شبیه‌سازی Monte Carlo استفاده می‌شود:

۱. تولید نمونه‌های تصادفی (X_i) با توجه به فرایند لوی-خینچین
۲. ترکیب نمونه‌های حرکات براونی و پرش‌ها با وزن‌های مشخص شده
۳. محاسبه تابع توزیع تجمعی F(X) و احتمال وقوع بازده‌های مختلف
٤. محاسبه آنتروپی Shannon از روی احتمال‌های شبیه‌سازی شده

این روش امکان تحلیل اثرات غیرخطی و ترکیبی متغیرها بر آنتروپی بازار را فراهم می‌کند.

یافته‌ها

متغیرهای مستقل شامل نوسانات نفت، طلا، نرخ ارز، صرف ریسک بازار، رمزارزها و حجم معاملات هستند. اثر هر متغیر بر آنتروپی بازار سهام با رگرسیون چندمتغیره غیرخطی و تحلیل همبستگی پیشرفته بررسی می‌شود. همچنین، تست‌های حساسیت با تغییر وزن اجزای توزیع کامپوزیتی و شدت پرش‌ها انجام شده تا پایداری نتایج بررسی شود.

در این مطالعه از مدل دو لایه جهت الگوسازی و پیش‌بینی استفاده شده است. لازم به ذکر است که تعداد لایه‌های پنهان می‌تواند بیشتر شود، ولی افزایش آن‌ها سبب پیچیده‌تر شدن محاسبات خواهد شد. با افزایش لایه‌های پنهان، پیچیدگی‌های الگو افزایش یافته و خطای مدل‌سازی کاهش می‌یابد. ولی استفاده از لایه‌های بیشتر با مشکلاتی همچون افزایش حجم و زمان انجام محاسبات، افزایش تعداد معادلات نهایی و پیچیدگی فرآیند پیش‌بینی همراه است. لذا محقق باید یا تعداد لایه‌ها را به‌منظور کاهش خطا، افزایش دهد و یا با ساده‌سازی و استفاده از متغیرهایی که بیشترین تاثیر را بر متغیر هدف دارند، حجم معادلات و زمان تخمین را کاهش دهد.

متغیرهای ورودی به صورت ذیل می‌باشند.

- ورودی شمارهٔ یک (r_1): شاخص‌های قیمتی نوسات نفت (OIL)
- ورودی شمارهٔ دو (r_2): شاخص‌های قیمتی نوسانات طلا (GOLD)
- ورودی شمارهٔ سه (r_3): شاخص‌های قیمتی نوسانات ارز (EX)
- ورودی شمارهٔ چهار (r_4): شاخص‌های قیمتی صرف ریسک بازار (Risk)
- ورودی شمارهٔ پنج (r_5): شاخص‌های قیمتی رمز ارز (Bit Coin)
- ورودی شمارهٔ شش (r_6): شاخص‌های قیمتی حجم معاملات (ST)

میزان خطای پیش‌بینی با معیارهای میانگین مربعات خطا (MSE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE) محاسبه شده است[1] که به شرح ذیل می‌باشد.

[1]. این معیارها به صورت زیر قابل تعریف هستند.

$$MSE = \frac{\sum(\hat{Y}_t - Y_t)^2}{N}, \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum(\hat{Y}_t - Y_t)^2}{N}}, \quad MAE = \frac{\sum\left|\hat{Y}_t - Y_t\right|}{N}$$

جدول ۱

میزان خطای پیش بینی

معیار	MAPE	MAE	RMSE	MSE
خطا	۰.۵۳۹۷۲	۰.۰۰۱۰۲۱	۰.۰۰۱۳۰۸	۱.۷۱۲۵۱E-۰۶

به منظور بررسی مانایی سری‌های زمانی مورد مطالعه و پرهیز از دستیابی به نتایج رگرسیونی کاذب، آزمون‌های متعارف دیکی فولر تعمیم یافته (ADF) و فیلیپس پرون (PP) مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج این آزمون در جدول ۲ گزارش شده است. بر پایه نتایج این آزمون‌ها، داده‌های نرخ بازدهی هر شش متغیر در سطح معناداری ۱ درصد مانا هستند. لذا برآورد مدل سری زمانی خودرگرسیونی برای این متغیرها بلامانع است.

جدول ۲

آزمون ریشه واحد برای متغیرها

آزمون ریشه واحد	r_{1t}	r_{2t}	r_{3t}	r_{4t}	r_{5t}	r_{6t}
ADF	-۱۷/۳۱	-۲۰/۴۷	-۲۲/۱۶	-۲۲/۹۳	-۱۹/۵۹	-۲۷/۳۷
PP	-۱۸/۵۶	-۲۰/۶۰	-۲۲/۶۱	-۲۳/۲۱	-۲۶/۷۱	-۲۱/۳۹

کلیه آماره‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادارند.

در ادامه، با استفاده از توابع خودهمبستگی و نمودارهای همبسته نگار مربوط به سری‌های زمانی نرخ بازدهی داده‌ها، مدل خودرگرسیون مطلوب توضیح دهنده رفتار داده‌های تحت مطالعه برآورد می‌گردد. همچنین بر روی باقیمانده‌های این مدل‌ها آزمون‌های ناهمسان واریانس وهمبستگی سریالی انجام می‌پذیرد. نتایج در جدول ۳ گزارش می‌گردد.

جدول ۳

نتایج برآورد مدل خودرگرسیونی و آزمون‌های مربوطه

آزمون ریشه واحد	r_{1t}	r_{2t}	r_{3t}	r_{4t}	r_{5t}	r_{6t}
مدل مطلوب خودرگرسیونی	AR(۸)	AR(۵)	AR(۸)	AR(۵)	AR(۶)	AR(۴)
آماره آزمون همبستگی سریالی	۰/۲۲	۱/۷۵	۰/۷۶	۰/۰۶	۰/۴۷	۰/۱۴
آماره آزمون ناهمسان واریانس	۲۲/۶۷	۸/۶۳	۲/۹۴	۳/۶۳	۱/۸۷	۲/۴۷

هیچکدام از آماره‌های آزمون همبستگی سریالی معنادار نیستند. کلیه آماره‌های آزمون ناهمسان واریانس در سطح ۹۵ درصد معنادارند.

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{\hat{Y}_t - Y_t}{Y_t} \right|}{N}$$

E-ISSN: 3041-8933

همچنانکه می‌توان ملاحظه کرد، داده‌های نرخ بازدهی نوسانات نفت از یک الگوی خودرگرسیونی با وقفه‌های ۱و ۸ دوره زمانی پیروی می‌کند. از طرفی دیگر، نرخ بازدهی نوسانات طلا دارای یک فرآیند بهینه خودرگرسیونی با وقفه‌های ۱ و ۵ دوره قبل است. بازدهی نوسانات نرخ ارز و صرف ریسک بازار دارای الگوی بهینه به ترتیب AR(8) و AR(5) می‌باشند. پس از حصول اطمینان از ناهمسان واریانس بودن داده‌های سری زمانی بازدهی شش متغیر مورد مطالعه، مدل بهینه توضیح دهنده رفتار پویای واریانس اجزای اخلال را برازش خواهیم نمود. نتایج نشان می‌دهد که برای داده‌های نرخ بازدهی شش متغیر، مدل ناهمسان واریانس شرطی و مدل میانگین متحرک وزنی نمائی چند متغیره GARCH(1,1) مدل بهینه است.

در این مرحله، به منظور دستیابی به ماتریس واریانس کواریانس شرطی و مدل میانگین متحرک وزنی نمائی چند متغیره بین داده‌های آنتروپی بازار مورد بررسی، از مدل‌سازی پرش تصادفی و فرایند لوی-خینچین بهره خواهیم گرفت. برای این منظور ابتدا مدل پرش تصادفی تخمین زده خواهد شد. سپس بر اساس متدولوژی توضیح داده شده، به منظور آزمون پویایی ماتریس همبستگی بین متغیرها از آزمون‌های تسای (۲۰۰۰) و انگل – شپارد (۲۰۰۱) بهره خواهیم جست. نتایج برآورد مدل پرش تصادفی و آزمون‌های مذکور در جدول‌های ۴ و ۵ گزارش شده است.

جدول ۴

نتایج برآورد مدل پرش تصادفی

Variable	Coefficient	Std.Error	t-value	t-Prob
ρ_1	۰/۱۸	۰/۰۵	۳/۷۷	۰/۰۰
ρ_2	۰/۱۰	۰/۰۵	۲/۲۲	۰/۰۳
ρ_3	۰/۳۱	۰/۰۴	۷/۷۶	۰/۰۰
ρ_4	۰/۲۴	۰/۰۵	۴/۷۰	۰/۰۰
ρ_5	۰/۱۰	۰/۰۴	۲/۵۸	۰/۰۰
ρ_6	۰/۲۳	۰/۰۵	۴/۲۸	۰/۰۰

بازدهی نوسانات نرخ ارز و صرف ریسک بازار دارای همبستگی بالایی با آنتروپی بازار سهام است. از طرفی بازدهی نوسانات نفت و حجم معاملات نیز دارای همبستگی بالایی با آنتروپی بازار سهام هستند. بر پایه نتایج آزمون‌های تسای و انگل –شپارد ، ماتریس همبستگی بین دارایی‌ها زمان –متغیر است. بنابراین مدل میانگین متحرک وزنی نمائی در مدل‌سازی همبستگی بین داده‌های مورد مطالعه از عملکرد مطلوب تری نسبت به مدل ناهمسان واریانس شرطی است.

جدول ۵

نتایج آزمون انگل-شپارد و تسای

وقفه	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵
مقدار آماره انگل-شپارد	۴۰/۳۸	۴۳/۸۸	۵۸/۴۸	۶۷/۴۴	۷۵/۲۱
معناداری	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
مقدار آماره تسای	۵۲/۸۸	معناداری آماره تسای	۰/۰۰		

با توجه به اینکه مدل میانگین متحرک وزنی نمائی ماتریس همبستگی بین دارایی‌ها را به صورت پویا تخمین می‌زند، از این‌رو در ادامه این بخش از فصل، این مدل تخمین زده خواهد شد. نتایج برازش این مدل در جدول ۶ گزارش شده است.

جدول ۶

نتایج برآورد مدل میانگین متحرک وزنی نمائی

Variable	Coefficient	Std.Error	t-value	t-Prob
α	۰/۲۰	۰/۰۳	۶/۴۸	۰/۰۰
β	۰/۱۲	۰/۰۵	۲/۴	۰/۰۳

همچنانکه در جدول ۶ مشاهده می‌گردد، ضریب بتای مدل میانگین متحرک وزنی نمائی معنادار نیست. در مقابل ضریب آلفا در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار است. از این‌رو نتیجه می‌گیریم که شوک‌های بازدهی هر شش متغیر اثرات متقابل معناداری بر همدیگر داشته اند، درواقع سرایت شوک‌ها در میان این شش متغیر معنادار است. با این وجود اثرات معناداری از سرایت نوسانات بین بازدهی این شش متغیر نیز دیده می‌شود. به منظور بررسی دقیق عملکرد مدل میانگین متحرک وزنی نمائی از آزمون‌های تشخیصی هاسکینگ- پورتمن (۱۹۸۰) و لی- مک لیود (۱۹۸۱) مورد استفاده قرار گرفته است. این نتایج در جدول ۷ گزارش شده است.

جدول ۷

نتایج آزمون‌های تشخیصی مدل میانگین متحرک وزنی نمائی

مقدار آماره آزمون پورتمن	۱۴/۶۹	۳۳/۳۰	۶۹/۱۵
وقفه	۵	۱۰	۲۰
معناداری	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
مقدار آماره آزمون مک لیوود	۱۴/۹۴	۳۴/۱۸	۷۲/۴۶
وقفه	۵	۱۰	۲۰
معناداری	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰

با توجه به نتایج آزمون هاسکینگ- پورتمن، باقیمانده‌های مدل میانگین متحرک وزنی نمائی همسان واریانس هستند. در واقع فرضیه صفر آزمون پورتمن مبنی بر عدم وجود اثر ARCH رد نمی‌گردد. همچنین فرضیه صفر آزمون مک-لیوود حاکی از ناهمبستگی سریالی در باقیمانده‌های مدل میانگین متحرک وزنی نمائی چند متغیره قابل رد نیست. لذا با استناد به این دو آزمون مدل میانگین متحرک وزنی نمائی چند متغیره از عملکرد مطلوب برخوردار بوده و در برازش این مدل خطای تصریح مشاهده نمی‌گردد.

با توجه به نتایج بدست آمده، در برآورد ماتریس واریانس –کواریانس شرطی بین دارایی ها، مدل میانگین متحرک وزنی نمائی بر مدل ناهمسان واریانس شرطی ارجعیت دارد. در بخش بعدی هر دو مدل مذکور برای بهینه سازی پویای آنتروپی بازار سهام با بکارگیری فرایند لوی-خینچین بکارگرفته خواهند شد و در راستای اهداف و فرضیات تحقیق نتایج آن‌ها مقایسه خواهند شد. به منظور جلوگیری از تفصیل و دور شدن از هدف اصلی تحقیق از آوردن نمودارهای واریانس و کواریانس شرطی بازدهی هر شش متغیر مورد بررسی پرهیز شده است.

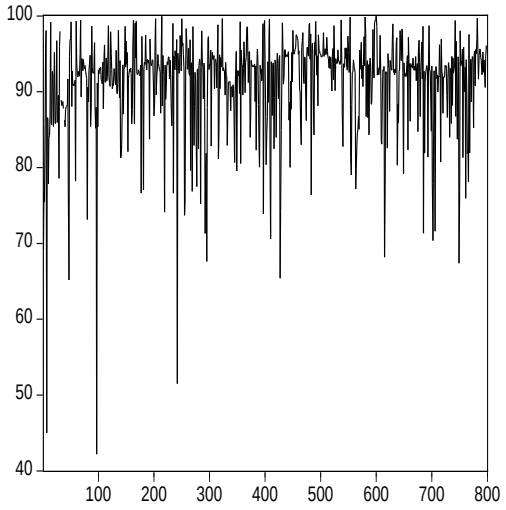
E-ISSN: 3041-8933

در این بخش با بکارگیری ماتریس واریانس- کواریانس پویای شرطی و با استفاده از متدولوژی بحث شده در خصوص بهینه سازی آنتروپی بازار سهام، اوزان زمان-متغیر پویای بهینه بر اساس هر دو مدل ناهمسان واریانس شرطی و مدل میانگین متحرک وزنی نمائی چند متغیره محاسبه خواهند گردید. با توجه به آنکه حجم نمونه مورد مطالعه ۱۵۶ است، لذا به این تعداد نقاط بهینه طی زمان خواهیم داشت. نمودارهای زیرنتایج بهینه سازی آنتروپی بازار سهام را بر اساس فرایند لوی-خینچین حاصل شده به نمایش می‌گذارد.

شکل ۱

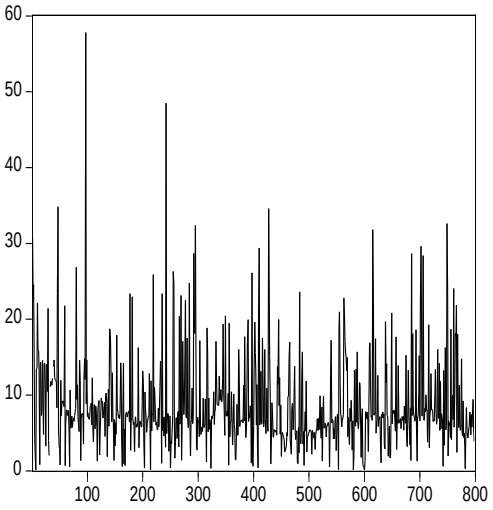
سهم بهینه پویای نوسانات بازار نفت

پرش‌های بزرگ (Jump Process)



براساس روزکاری

نوسانات کوچک (حرکات براونی)



براساس روزکاری

نمودار ۱ تقابل نوسانات کوچک (حرکات براونی) و پرش‌های بزرگ (Jump Process) را در سبد بهینه پویای نوسانات قیمت نفت به نمایش می‌گذارد. نوسانات قیمت نفت به عنوان یکی از شاخص‌های مهم اقتصادی و ژئوپولیتیکی، نقش کلیدی در تعیین رفتار بازارهای مالی دارد. تغییرات ناگهانی و غیرقابل پیش‌بینی قیمت نفت باعث افزایش عدم قطعیت در تصمیمات سرمایه‌گذاران و پیچیدگی بازار سهام می‌شود. یافته‌های ما نشان داد که نوسانات نفت به دو شکل اثرگذار هستند: حرکات کوچک و پیوسته که معمولاً با مدل براونی شبیه‌سازی می‌شوند و اثر تدریجی بر آنتروپی دارند و پرش‌های ناگهانی بزرگ که با فرایند پرش تصادفی مدل‌سازی شده و موجب افزایش فوری و شدید آنتروپی می‌شوند. از سوی دیگر، اثر نوسانات نفت بر سایر متغیرها نیز قابل توجه است. به عنوان مثال، افزایش نوسانات نفت باعث افزایش ریسک نرخ ارز و صرف ریسک بازار می‌شود که به صورت ترکیبی اثر بیشتری بر آنتروپی بازار سهام دارد. این یافته‌ها با تحقیقات پیشین همسو است؛ گوش و کنجیلال[1] (۲۰۱۶) نشان داده‌اند که نوسانات نفت اثر قابل توجهی بر نوسانات بازارهای سهام دارد و کیلیان و پارک[2] (۲۰۰۹) نیز ارتباط بین شوک‌های نفتی و افزایش عدم قطعیت بازار را تایید کرده‌اند. علاوه بر اثر مستقیم، نوسانات نفت می‌تواند اثرات غیرخطی و فصلی نیز داشته

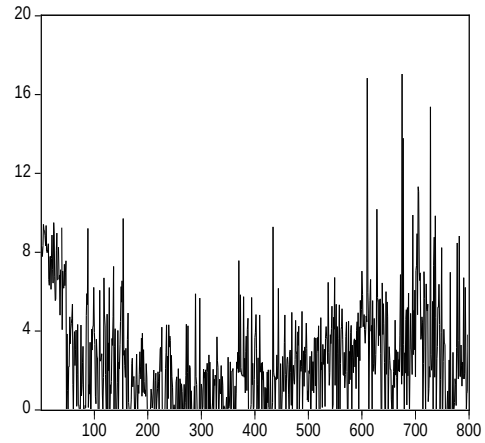
[1]. Ghosh & Kanjilal
[2]. Kilian & Park

باشد. در برخی ماه‌ها که بازار به شوک‌های نفتی حساس‌تر است، تغییرات ناگهانی قیمت نفت موجب افزایش شدید آنتروپی و پیچیدگی رفتار سرمایه‌گذاران می‌شود، در حالی که در شرایط باثبات‌تر، اثر آن کمتر و تدریجی است.

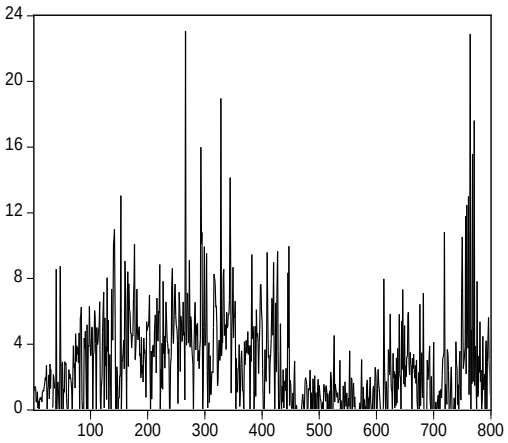
شکل ۲

سهم بهینه پویای نوسانات بازار طلا

نوسانات کوچک (حرکات براونی)



پرش‌های بزرگ (Jump Process)



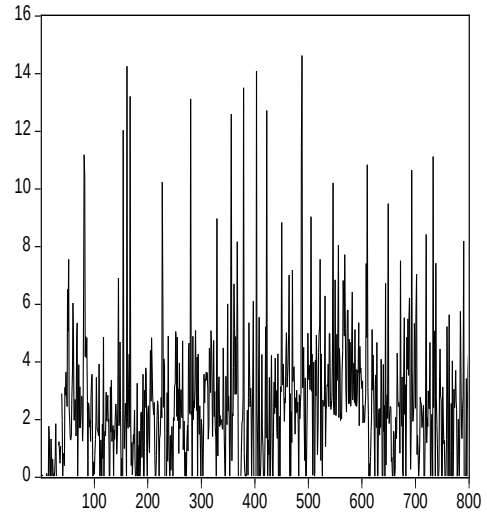
نمودار ۲ تقابل نوسانات کوچک (حرکات براونی) و پرش‌های بزرگ (Jump Process) را در سبد بهینه پویای نوسانات بازار طلا به نمایش می‌گذارد. طلا به عنوان دارایی امن و شاخص ثبات اقتصادی، نوسانات آن تاثیر قابل توجهی بر آنتروپی بازار سهام دارد. افزایش نوسانات طلا موجب افزایش عدم قطعیت در تصمیمات سرمایه‌گذاران شده و رفتارهای معاملاتی پیچیده‌تر را ایجاد می‌کند. تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر طلا بر آنتروپی به شدت غیرخطی است؛ در دوره‌های بحران اقتصادی، افزایش نوسانات طلا باعث افزایش شدید آنتروپی می‌شود، در حالی که در شرایط عادی اثر آن کمتر و تدریجی است. تاثیر نوسانات طلا تنها به اثر مستقیم محدود نمی‌شود؛ افزایش نوسانات طلا همچنین باعث تغییرات در صرف ریسک بازار و حجم معاملات می‌شود که به نوبه خود موجب افزایش پیچیدگی بازار می‌گردد. این رابطه ترکیبی نشان می‌دهد که مدل‌های ساده نمی‌توانند اثر واقعی نوسانات طلا را بر آنتروپی توصیف کنند و استفاده از توزیع‌های کامپوزیتی ضروری است. همچنین، اثر نوسانات طلا بر سرمایه‌گذاران بین‌المللی و داخلی متفاوت است. سرمایه‌گذاران بین‌المللی بیشتر تحت تاثیر قیمت طلا و نوسانات آن قرار دارند، در حالی که سرمایه‌گذاران داخلی ممکن است اثر کمتری مشاهده کنند.

E-ISSN: 3041-8933

شکل ۳

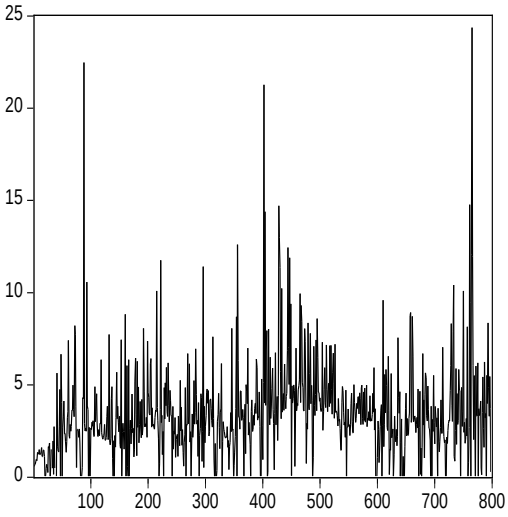
سهم بهینه پویای نوسانات بازار ارز

نوسانات کوچک (حرکات براونی)



روزکاری

پرش‌های بزرگ (Jump Process)



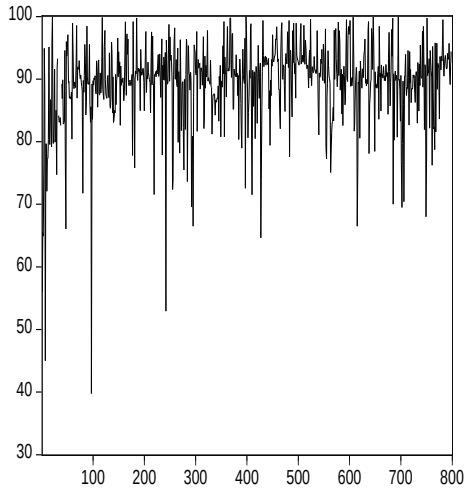
روزکاری

نمودار ۳ تقابل نوسانات کوچک (حرکات براونی) و پرش‌های بزرگ (Jump Process) را در سبد بهینه پویای نوسانات بازار ارز را به نمایش می‌گذارد. نوسانات نرخ ارز، به خصوص نرخ دلار، یکی از عوامل کلیدی در تعیین پیچیدگی بازار سهام است. افزایش نوسانات ارز باعث افزایش ریسک تبدیل، تغییر انتظارات سرمایه‌گذاران و در نتیجه افزایش آنتروپی بازار می‌شود. تحلیل ما نشان داد که پرش‌های ناگهانی نرخ ارز، تاثیر فوری و شدیدی بر شاخص‌های بازار سهام دارند، در حالی که نوسانات کوچک و پیوسته اثر تدریجی و کمتر آشکار دارند. اثر نرخ ارز همچنین از طریق ارتباط با سایر متغیرها تشدید می‌شود. به طور مثال، افزایش نوسانات نرخ ارز در کنار افزایش نوسانات نفت و طلا، موجب اثر مرکب بر پیچیدگی و عدم قطعیت بازار می‌شود. این اثرات غیرخطی نیازمند مدل‌سازی توزیع‌های کامپوزیتی و فرایندهای پرش تصادفی برای تحلیل دقیق هستند. به علاوه، اثر نوسانات نرخ ارز می‌تواند بر رفتار معاملاتی کوتاه‌مدت و بلندمدت متفاوت باشد. در کوتاه‌مدت، افزایش نوسانات نرخ ارز موجب افزایش آنتروپی می‌شود، اما در بلندمدت بازار ممکن است خود را با شرایط جدید تطبیق داده و اثرات کاهش یابد.

شکل ۴

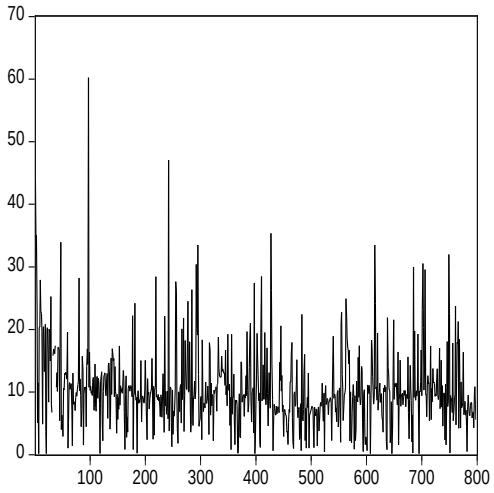
سهم بهینه پویای نوسانات صرف ریسک بازار

پرش‌های بزرگ (Jump Process)



روزکاری

نوسانات کوچک (حرکات براونی)



روزکاری

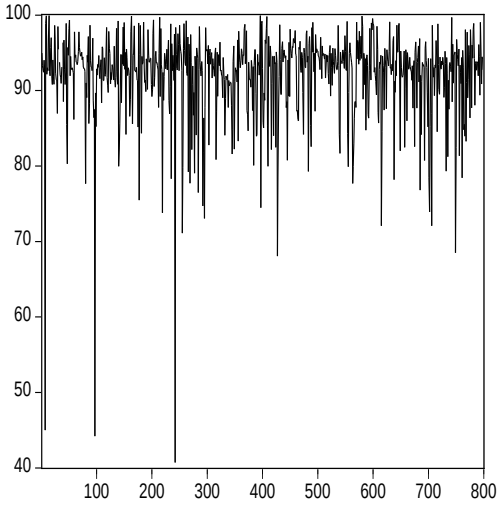
نمودار ۴ تقابل نوسانات کوچک (حرکات براونی) و پرش‌های بزرگ (Jump Process) را در سبد بهینه پویای نوسانات صرف ریسک بازار را به نمایش می‌گذارد. صرف ریسک بازار، که نشان‌دهنده پاداش ریسک سرمایه‌گذاران است، اثر مهمی بر پیچیدگی بازار سهام دارد. افزایش صرف ریسک، سرمایه‌گذاران را به اتخاذ رفتارهای متنوع و پیچیده‌تر وادار می‌کند و در نتیجه آنتروپی بازار افزایش می‌یابد. تحلیل رگرسیونی نشان داد که اثر صرف ریسک بازار بر آنتروپی تقریباً خطی است، اما در دوره‌های نوسانات شدید اثر غیرخطی نیز مشاهده شد. اثر صرف ریسک همچنین با نوسانات سایر متغیرها ترکیب می‌شود و اثر مرکب بر پیچیدگی بازار ایجاد می‌کند. به عنوان مثال، افزایش صرف ریسک در کنار نوسانات نفت و نرخ ارز باعث افزایش قابل توجه آنتروپی می‌شود.

E-ISSN: 3041-8933

شکل ۵

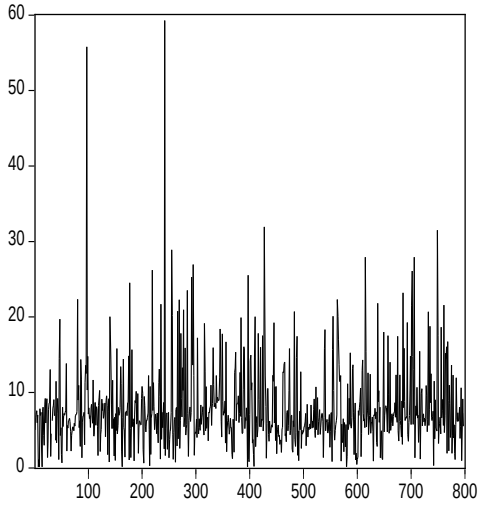
سهم بهینه پویای نوسانات رمز ارز

پرش‌های بزرگ (Jump Process)



روزکاری

نوسانات کوچک (حرکات براونی)



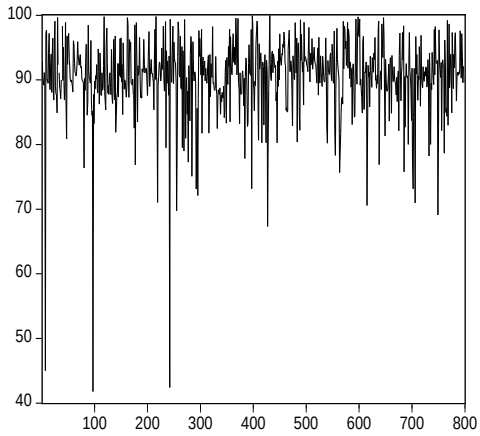
روزکاری

نمودار ۵ تقابل نوسانات کوچک (حرکات براونی) و پرش‌های بزرگ (Jump Process) را در سبد بهینه پویای نوسانات بازار رمز ارز را به نمایش می‌گذارد. نوسانات رمزارزها، به خصوص بیت‌کوین، به دلیل طبیعت پرنوسان و نوظهورشان، اثر قابل توجهی بر آنتروپی بازار سهام دارند. تغییرات شدید قیمتی بیت‌کوین موجب افزایش عدم قطعیت در رفتار سرمایه‌گذاران و پیچیدگی بیشتر بازار می‌شود. تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر رمزارزها غالباً غیرخطی و ترکیبی است و در برخی ماه‌ها اثر افزایشی و در برخی دیگر اثر کاهش پیچیدگی بازار مشاهده شد . نوسانات رمزارزها همچنین می‌تواند اثرات غیرمستقیم بر سایر متغیرها داشته باشد. به عنوان مثال، افزایش نوسانات رمزارزها با افزایش حجم معاملات و نوسانات نرخ ارز همراه است، که این ترکیب موجب افزایش آنتروپی بازار سهام می‌شود.

شکل ۶

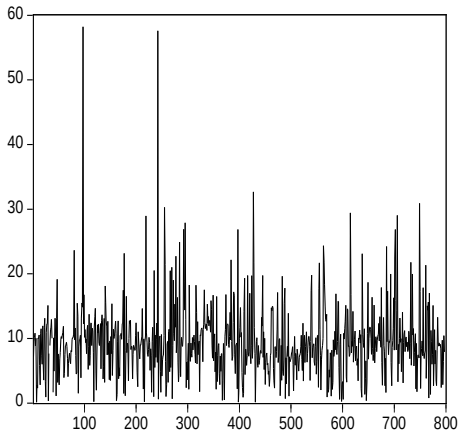
سهم بهینه پویای نوسانات حجم معاملات

پرش‌های بزرگ (Jump Process)



روزکاری

نوسانات کوچک (حرکات براونی)



روزکاری

نمودار ۶ تقابل نوسانات کوچک (حرکات براونی) و پرش‌های بزرگ (Jump Process) را در سبد بهینه پویای نوسانات حجم معاملات بازار سهام را به نمایش می‌گذارد. حجم معاملات به عنوان شاخص فعالیت بازار، اثر دوگانه‌ای بر آنتروپی دارد. افزایش حجم معاملات معمولاً نشان‌دهنده نقدینگی بالا و کاهش عدم قطعیت است، که اثر کاهشی بر آنتروپی دارد. با این حال، در دوره‌های نوسانات شدید و شوک‌های بازار، افزایش حجم معاملات می‌تواند نشان‌دهنده رفتار هیجانی و پیچیدگی بیشتر بازار باشد و آنتروپی را افزایش دهد .تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر حجم معاملات بسته به ترکیب با سایر متغیرها متفاوت است. به طور مثال، افزایش حجم معاملات در کنار نوسانات شدید نفت و رمزارزها اثر مرکب بر پیچیدگی بازار ایجاد می‌کند و مدل‌های ساده نمی‌توانند این اثر را به درستی توضیح دهند.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که نوسانات آنتروپی بازار سهام ایران تحت تأثیر ترکیبی و چندعاملی متغیرهای کلان اقتصادی از جمله نوسانات قیمت نفت، نرخ ارز، اونس جهانی طلا، صرف ریسک بازار و رمزارزها قرار دارد. تحلیل داده‌ها بر مبنای مدل‌های فیزیک آماری و فرآیند لوی–خینچین نشان داد که نوسانات شدید در قیمت نفت و رمزارزها موجب افزایش ناگهانی آنتروپی و پیچیدگی بازار می‌شوند، در حالی که نوسانات کوچک‌تر و تدریجی اثرات آرام‌تر اما ماندگارتری دارند. همچنین، نتایج مدل میانگین متحرک وزنی نمائی نشان داد که همبستگی میان متغیرهای مذکور و آنتروپی بازار به‌صورت زمان‌متغیر عمل کرده و الگوهای پویایی در طول زمان به وجود می‌آورد. این یافته‌ها با رویکردهای فیزیک آماری همسو است که در آن، پویایی سیستم‌های پیچیده با تغییرات لحظه‌ای پارامترهای محیطی و درونی تبیین می‌شود (Basdekis et al., 2022; Behera & Rath, 2024).

افزایش پیچیدگی و آنتروپی بازار سهام در واکنش به نوسانات نفتی، بیانگر وابستگی ساختاری اقتصاد ایران به بخش انرژی است. شوک‌های ناشی از افزایش یا کاهش قیمت نفت نه‌تنها به‌صورت مستقیم بر ارزش شرکت‌های وابسته به انرژی تأثیر می‌گذارند، بلکه به‌واسطه

E-ISSN: 3041-8933

اثرات روانی و انتظارات سرمایه‌گذاران، بر کل بازار سهام نیز اثرگذار هستند. پژوهش (Behera & Rath, 2024) نیز به نتایجی مشابه دست یافته و نشان داده است که وابستگی میان قیمت نفت و بازده سهام در کشورهای گروه G20 پویا و غیرخطی است و در دوره‌های پرنوسان، ارتباط میان این دو متغیر تشدید می‌شود. از منظر نظری، این یافته با اصول فیزیک آماری همخوانی دارد، زیرا در این رویکرد، شوک‌های بیرونی به‌مثابه نیروهای نامتعادل‌کننده‌ای تلقی می‌شوند که موجب افزایش آنتروپی و بی‌نظمی در سیستم می‌شوند (Huang et al., 2023).

از سوی دیگر، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که نوسانات نرخ ارز و صرف ریسک بازار نیز تأثیر معناداری بر افزایش آنتروپی بازار دارند. افزایش نرخ ارز موجب تغییر انتظارات سرمایه‌گذاران و رشد عدم قطعیت نسبت به بازدهی آتی می‌شود. این امر به‌ویژه در اقتصادهای وابسته به واردات، به‌صورت تشدید نوسانات در بازار سرمایه بازتاب می‌یابد. یافته حاضر با مطالعه (Yadav et al., 2023) همسو است که نشان داد بازارهای انرژی و سهام در چین و اروپا از طریق سازوکار انتقال نوسانات چندمقیاسی با یکدیگر در تعامل هستند. در بازار ایران نیز، نرخ ارز به‌عنوان یک متغیر کلان اقتصادی بر پیچیدگی بازار تأثیرگذار بوده و موجب افزایش آنتروپی در بازده شاخص‌ها شده است. همچنین، نوسانات صرف ریسک بازار که معمولاً در شرایط بحرانی و پرریسک تشدید می‌شود، با افزایش پراکندگی رفتار سرمایه‌گذاران همراه بوده و موجب افزایش رفتارهای ناهمگن در تصمیم‌گیری می‌گردد (Soury, 2024).

یافته‌ها نشان دادند که نوسانات رمزارزها، به‌ویژه بیت‌کوین، از جمله مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر آنتروپی بازار سهام هستند. از آنجا که بازار رمزارزها ماهیتی جهانی، ناپایدار و مبتنی بر احساسات دارد، تغییرات قیمتی شدید در این بازار به‌صورت غیرمستقیم به بازارهای محلی از جمله بورس تهران سرایت می‌کند. این یافته با نتایج (Adekoya et al., 2023) هم‌راستا است که بیان داشت در دوران جنگ روسیه و اوکراین، هم‌بستگی چندفرکتالی میان بازار نفت و بازارهای سهام غیراروپایی افزایش یافته است. به‌عبارت دیگر، در شرایط نوسانی و بحرانی، ساختار بازارها به‌گونه‌ای تغییر می‌کند که تأثیرات متقابل بین بازارهای سنتی و دیجیتال تشدید می‌شود. بنابراین، افزایش نوسانات رمزارزها را می‌توان عامل محرکی برای افزایش آنتروپی و بی‌نظمی بازار سهام دانست (Aliu et al., 2023).

از منظر نظری، استفاده از مدل لوی–خینچین در این پژوهش، امکان تمایز بین نوسانات کوچک و پرش‌های بزرگ را فراهم کرد. نتایج شبیه‌سازی مونت‌کارلو نشان داد که پرش‌های قیمتی در بازار، سهم بیشتری در افزایش آنتروپی دارند. این امر با یافته‌های (Katsampoxakis et al., 2022) هم‌خوان است که در مطالعه خود بر روی بازارهای اروپایی در دوره کووید-۱۹، نشان داد که شوک‌های بزرگ انرژی موجب بروز رفتارهای نوسانی شدید و غیراستاندارد در بازده سهام می‌شوند. بر اساس تحلیل‌های فیزیک آماری، هرچه بسامد و شدت پرش‌ها بیشتر باشد، میزان بی‌نظمی سیستم افزایش یافته و احتمال پیش‌بینی دقیق رفتار آینده بازار کاهش می‌یابد. این تبیین نظری، در پژوهش حاضر نیز از طریق تغییرات شدید شاخص‌های انرژی و رمزارز تأیید شد (Huszar et al., 2023).

در ادامه، بررسی آزمون انگل–شپارد و تسای نشان داد که ماتریس همبستگی میان دارایی‌ها به‌صورت زمان‌متغیر عمل می‌کند. این یافته بدین معناست که روابط میان متغیرهای اقتصادی و شاخص‌های مالی در طول زمان ثابت نیستند، بلکه به‌واسطه تغییرات محیطی، اقتصادی و روانی دچار تحول می‌شوند. چنین رفتاری با ویژگی‌های سیستم‌های پیچیده هم‌خوان است که در آن، پویایی‌ها تابعی از تعاملات لحظه‌ای اجزای سیستم هستند. این نتیجه با مطالعه (Soury, 2024) مطابقت دارد که نشان داد در مدل کوپولای تغییر رژیم، ساختار هم‌حرکتی بازارهای مالی و نفتی در دوره‌های بحران و ثبات اقتصادی متفاوت است. در واقع، این پویایی زمانی در روابط میان بازارها سبب می‌شود که مدل‌های ایستا نتوانند رفتار واقعی بازار را به‌درستی توصیف کنند.

در حوزه بازار سرمایه ایران، یافته‌های حاضر از منظر داخلی نیز با نتایج تحقیقات پیشین همسو است. برای مثال، (Soltani Pour Sardou, 2024) تأکید کرد که سرمایه‌گذاران نهادی با کاهش آنتروپی اطلاعاتی در صورت‌های مالی، نقش مهمی در کنترل نوسانات بازار

دارند. از سوی دیگر، (Talebi et al., 2024) با بررسی اثر کیفیت حسابرسی بر نوسانات بازده سهام، نتیجه گرفت که هرچه شفافیت اطلاعاتی و کنترل نهادی بیشتر باشد، نوسانات غیرعادی بازار کاهش می‌یابد. در این پژوهش نیز مشاهده شد که در دوره‌هایی که حجم معاملات افزایش یافته و حضور نهادهای مالی فعال‌تر بوده است، میزان آنتروپی و پراکندگی اطلاعاتی بازار کاهش یافته است. این هم‌سویی یافته‌ها تأیید می‌کند که ساختار اطلاعاتی بازار نقش مهمی در کنترل رفتارهای پیچیده و غیرخطی ایفا می‌کند (Hosseini Pour & Rezaei, 2024).

نتایج مدل میانگین متحرک وزنی نمائی (EWMA) نشان داد که در برآورد ماتریس واریانس–کوواریانس شرطی بین دارایی‌ها، این مدل نسبت به مدل ناهمسان‌واریانس شرطی عملکرد بهتری دارد. این بدان معناست که تغییرات لحظه‌ای در شدت نوسانات بهتر با مدل‌های وزن‌دار پویا تبیین می‌شود. از دیدگاه فیزیک آماری، این یافته نشان می‌دهد که بازار در برابر شوک‌ها رفتاری حافظه‌دار دارد؛ یعنی اثرات نوسانات گذشته در دوره‌های بعدی تداوم یافته و موجب افزایش پیچیدگی می‌شوند. پژوهش (Magazzino et al., 2023) نیز با تحلیل روابط بین بازار نفت و بازده سهام اروپا، به نتیجه مشابهی دست یافت و تأکید کرد که اثرات شوک‌های انرژی به‌صورت پویا و با وقفه زمانی در بازار سهام انعکاس می‌یابد.

بر اساس تحلیل ریشه واحد و مدل خودرگرسیون، داده‌های نرخ بازدهی نوسانات شش متغیر مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار بودند. این یافته نشان‌دهنده پایداری نسبی الگوهای نوسانی است. با این حال، نوسانات قیمتی نفت و نرخ ارز بیشترین سهم را در واریانس شرطی داشتند. این نتیجه با یافته‌های (Basdekis et al., 2022) و (Adekoya et al., 2023) هم‌راستا است که نشان دادند شوک‌های نفتی می‌توانند به‌عنوان عامل محرک اصلی بی‌ثباتی مالی عمل کنند. در عین حال، تحلیل سری‌های زمانی نشان داد که رفتار نوسانی بازار ایران به‌دلیل وابستگی ساختاری به درآمدهای نفتی، از نوع غیرنرمال و دارای توزیع دنباله‌سنگین است که این ویژگی در مدل‌های لوی و پواسون بهتر قابل تبیین است (Yang et al., 2024).

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش اثبات کرد که بازار سهام ایران از الگوهای غیرخطی و چندمقیاسی تبعیت می‌کند. شوک‌های انرژی، تغییرات نرخ ارز و رمزارزها، هر یک در زمان‌های متفاوت موجب افزایش آنتروپی بازار می‌شوند. مدل فیزیک آماری با ترکیب مؤلفه‌های براونی و پرش تصادفی توانست رفتارهای ترکیبی را بهتر از مدل‌های کلاسیک توصیف کند. این نتایج با پژوهش (Huszar et al., 2023) همسو است که نشان داد ریسک انرژی و شوک‌های بیرونی ساختار هم‌حرکتی بازارهای مالی را تغییر داده و موجب شکل‌گیری فازهای بی‌ثباتی جدید می‌شوند. به‌عبارتی، در شرایطی که بازار تحت فشار متغیرهای جهانی قرار دارد، نوسانات درونی بازار نیز تشدید شده و پیچیدگی سیستم افزایش می‌یابد.

به‌طور خلاصه، می‌توان گفت که پژوهش حاضر با تلفیق مدل‌های فیزیک آماری و شاخص آنتروپی، تصویری جامع از رفتارهای پیچیده بازار سهام ارائه داده است. این یافته‌ها تأیید می‌کنند که بازار سهام ایران مشابه بسیاری از بازارهای جهانی، از الگوهای تصادفی چندسطحی تبعیت می‌کند و اثرات متقابل میان متغیرهای کلان اقتصادی، رفتاری و ساختاری در آن به‌صورت پویا و زمان‌متغیر شکل می‌گیرد (Adekoya et al., 2023; Basdekis et al., 2022; Yadav et al., 2023). چنین درکی از پویایی بازار می‌تواند پایه‌ای برای طراحی مدل‌های دقیق‌تر پیش‌بینی و سیاست‌گذاری مالی در آینده باشد.

این پژوهش علی‌رغم دستاوردهای علمی، دارای چند محدودیت است. نخست، داده‌های مورد استفاده صرفاً از شاخص‌های ماهانه بازار سهام ایران گردآوری شده است، در حالی که بررسی داده‌های روزانه یا با فرکانس بالا می‌توانست دقت تحلیل نوسانات را افزایش دهد. دوم، مدل لوی–خینچین اگرچه قادر به شناسایی پرش‌های بزرگ است، اما در مواجهه با نوسانات با ساختار حافظه‌دار بلندمدت ممکن است دچار خطای برآورد شود. سوم، اثر سایر متغیرهای غیرمالی مانند احساسات سرمایه‌گذاران، سیاست‌های پولی دولت یا عوامل ژئوپولیتیکی

E-ISSN: 3041-8933

داخلی در مدل لحاظ نشده است. همچنین، محدودیت دسترسی به داده‌های دقیق مربوط به معاملات رمزارزها در بازار ایران، مانع از تحلیل عمیق‌تر اثرات دیجیتال‌سازی مالی بر آنتروپی بازار شد.

پژوهش‌های آینده می‌توانند با استفاده از داده‌های با فرکانس بالا و بهره‌گیری از مدل‌های ترکیبی یادگیری ماشین و فیزیک آماری، الگوهای دقیق‌تری از نوسانات و آنتروپی بازار ارائه دهند. همچنین، بررسی اثر هم‌زمان چند بازار منطقه‌ای (ایران، ترکیه، عربستان و امارات) می‌تواند درک بهتری از سازوکار انتقال نوسانات بین بازارها فراهم سازد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده از شاخص‌های مبتنی بر احساسات بازار و داده‌های متنی حاصل از شبکه‌های اجتماعی استفاده شود تا تأثیر روانی سرمایه‌گذاران نیز در مدل لحاظ گردد. علاوه بر این، ترکیب مدل لوی–خینچین با مدل‌های چندفرکتالی می‌تواند در شناسایی رفتارهای غیرایستا و آشوبناک بازار مفید واقع شود.

بر اساس نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران اقتصادی از مدل‌های مبتنی بر آنتروپی برای پایش ریسک سیستماتیک بازار سهام استفاده کنند. سرمایه‌گذاران می‌توانند با رصد تغییرات آنتروپی به‌عنوان شاخص بی‌ثباتی، استراتژی‌های پوشش ریسک خود را تنظیم نمایند. همچنین، نهادهای نظارتی می‌توانند با تقویت شفافیت اطلاعاتی و ارتقای کیفیت گزارشگری مالی، سطح بی‌نظمی اطلاعاتی بازار را کاهش داده و از نوسانات شدید جلوگیری کنند. به‌علاوه، توسعه زیرساخت‌های فناورانه برای تحلیل بلادرنگ داده‌های مالی می‌تواند به پیش‌بینی دقیق‌تر بحران‌ها و بهبود کارایی تصمیم‌گیری در بازارهای سرمایه کمک کند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

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

شفافیت داده‌ها

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

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

Adekoya, O. B., Asl, M. G., Oliyide, J. A., & Izadi, P. (2023). Multifractality and cross-correlation between the crude oil and the European and non-European stock markets during the Russia-Ukraine war. *Resources Policy*, *80*, Article 103134. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103134

Ahmadian, S., Jalaei, S. A., & Nejati, M. (2024). Comparison of the effects of financial intelligence, financial stress, and financial repression on energy exports. https://civilica.com/doc/2306801

Aliu, F., Mulaj, I., & Hašková, S. (2023). Consequences of the Russia-Ukraine war: evidence from DAX, ATX, and FTSEMIB. *Studies in Economics and Finance*, *40*(3), 549–568. https://doi.org/10.1108/SEF-12-2022-0555

Anand, B., Paul, S., & Nair, A. R. (2023). Time-varying effects of oil price shocks on financial stress: Evidence from India. *Energy Economics*, *122*, 106703. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106703

Baharmoghadam, M., Shamsoddinnezhad, A., & Shamsoddinnezhad, M. (2022). Examining the effect of the audit committee on abnormal fluctuations and stock returns in companies listed on the Tehran Stock Exchange. The First International Conference on Applied Research in Humanities, Economics, Management, and Accounting, Mashhad.

Basdekis, C., Christopoulos, A., Katsampoxakis, I., & Nastas, V. (2022). The Impact of the Ukrainian War on Stock and Energy Markets: A Wavelet Coherence Analysis. *Energies*, *15*(21), 8174. https://doi.org/10.3390/en15218174

Behera, C., & Rath, B. N. (2024). The interconnectedness between crude oil prices and stock returns in G20 countries. *Resources Policy*, *91*, 104950. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104950

Chang, M., & Torres, P. (2023). Oil price shocks, financial stress, and their impacts on emerging markets. *Emerging Markets Review*, *54*, 100914. https://doi.org/10.1016/j.ememar.2023.101003

Demirtas, C., Tiwari, A. K., Soyu Yildirim, E., & Shahbaz, M. (2025). Does financial development support renewable energy consumption: Evidence from the UK. *Renewable Energy*, *243*, 122480. https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122480

Duppati, G., Younes, B. Z., Tiwari, A. K., & Hunjra, A. I. (2023). Time-varying effects of fuel prices on stock market returns during COVID-19 outbreak. *Resources Policy*, *81*, Article 103317. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103317

Ebrahimi Shaghaghi, M., & Eslami Mofidabadi, H. (2021). The effect of financial stress on predicting macroeconomic indicators (Evidence from Iran's economy). National Conference on New Approaches in Accounting and Financial Affairs, Aliabad.

Falahati, F., & Ghaffari Nia Herikandei, S. (2022). The impact of political stability and energy consumption on economic growth in Persian Gulf countries. Second International Conference on Research Findings in Management, Economics, and Accounting, Tehran.

Fallahpour, S., Shirkond, S., & Ghanbari, A. (2019). Designing a financial stress index in Iran's financial system based on portfolio theory. *Applied Economic Theories Quarterly*, *6*(2), 101–134. https://ecoj.tabrizu.ac.ir/article_9057.html?lang=en

Farjad Bakhshour, M., Sokhanvar, T., Akhoundzadeh, S., & Jahangiri, S. (2022). Measuring the financial stress index and its effect on stock investment funds in the capital market: An Islamic applied approach using the dynamic least squares cointegration method. *Islamic Marketing Research Quarterly*, *1*(1). https://imr.yazd.iau.ir/article_702312.html

Giannellis, N., & Tzanaki, M. A. (2025). Macroeconomic responses to financial stress shocks: Evidence from the US and the Eurozone. *International Economics*, *181*, 100573. https://doi.org/10.1016/j.inteco.2024.100573

Heydari, H., Refah Kahriz, A., & Talebi, F. (2018). The effect of oil price fluctuations on the country risk index in OPEC member countries under different economic regimes. *Energy Economics Studies Quarterly*, *14*(57), 87–123. https://iiesj.ir/browse.php?a_id=930&sid=1&slc_lang=fa

Hosseini Pour, M., & Rezaei, S. (2024). Analyzing the effect of institutional investors on stock returns in the Tehran Stock Exchange using entropy models. International Conference on Financial Management and Investment, Tehran.

Huang, M., Shao, W., & Wang, J. (2023). Correlations between the crude oil market and capital markets under the Russia-Ukraine conflict: a perspective of crude oil importing and exporting countries. *Resources Policy*, *80*, Article 103233. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103233

Huszar, Z. R., Kotro, B. B., & Tan, R. S. K. (2023). European equity markets volatility spillover: Destabilizing energy risk is the new normal. *Journal of Financial Research*, *46*(S1), S205–S271. https://doi.org/10.1111/jfir.12359

Kahkhai Akbari, R., Khouzin, A., & Bokharaeian, M. (2024). A model for managing financial stress in the banking industry. Third National Conference on New Approaches in Accounting, Auditing, and Finance, Aliabad.

Katsampoxakis, I., Christopoulos, A., Kalantonis, P., & Nastas, V. (2022). Crude Oil Price Shocks and European Stock Markets during the COVID-19 Period. *Energies*, *15*(11), 4090. https://doi.org/10.3390/en15114090

Lee, C. C., & Fang, Y. (2025). Climate finance for energy security: An empirical analysis from a global perspective. *Economic Analysis and Policy*, *85*, 963–978. https://doi.org/10.1016/j.eap.2025.01.006

Li, H., Pei, X., Yang, Y., & Zhang, H. (2024). Assessing the impact of energy-related uncertainty on G20 stock market returns: A decomposed contemporaneous and lagged R connectedness approach. *Energy Economics*, *132*, 107475. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107475

Lyu, Y., Yi, H., Yang, M., Zou, Y., Li, D., & Qin, Z. (2025). Financial uncertainty shocks and systemic risk: Revealing the risk spillover from the oil market to the stock market. *Applied Energy*, *382*, 125311. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125311

Magazzino, C., Shahbaz, M., & Adamo, M. (2023). On the relationship between oil market and European stock returns. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*, 123452–123465. https://doi.org/10.1007/s11356-023-31049-8

E-ISSN: 3041-8933

Matoufi, A. (2018). Identifying the characteristics of financial stress in Iran's capital market. *Investment Knowledge Quarterly*, *7*(26), 237–258. http://www.jik-ifea.ir/article_12611.html?lang=en

Nguyen Huu, T., & Örsal, D. K. (2024). Geopolitical risks and financial stress in emerging economies. *World Economy*, *47*(1), 217–237. https://doi.org/10.1111/twec.13529

Özkan, O., Popescu, I. A., Destek, M. A., & Balsalobre-Lorente, D. (2024). Time-quantile impact of foreign direct investment, financial development, and financial globalisation on green growth in BRICS economies. *Journal of Environmental Management*, *371*, 123145. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123145

Rezagholizadeh, M., Elmi, Z., & Mohammadi Majd, S. (2023). The effect of financial stress on stock returns in industries listed on the Tehran Stock Exchange. *Quantitative Economics (Formerly Economic Studies)*, *20*(1), 32–73. https://www.researchgate.net/publication/375597121_The_Effect_of_Financial_Stress_on_the_Stock_Return_of_Accepted_Industries_in_Tehran_Stock_Exchange

Rezagholizadeh, M., & Rajabpour, H. (2021). *Financial stress, political risk, and economic growth: New evidence from Iran*. https://egdr.journals.pnu.ac.ir/article_6948.html?lang=en

Salisu, A. A., Ogbonna, A. E., Gupta, R., & Bouri, E. (2024). Energy-related uncertainty and international stock market volatility. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, *95*, 280–293. https://doi.org/10.1016/j.qref.2024.04.005

Soltani Pour Sardou, M. (2024). Examining the effect of institutional investors and financial statement entropy on stock returns in companies listed on the Tehran Stock Exchange. The 20th National Conference on Economics, Management, and Accounting, Shirvan.

Soury, M. (2024). Financial and Oil Market's Co-Movements by a Regime-Switching Copula. *Econometrics*, *12*(2), 14. https://doi.org/10.3390/econometrics12020014

Sultanuzzaman, M. R., Yahya, F., & Lee, C. C. (2024). Exploring the complex interplay of green finance, business cycles, and energy development. *Energy*, *306*, 132479. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132479

Talebi, R., Kiani, M. R., & Khodadadi, A. (2024). Investigating the impact of financial statement auditing on stock return volatility and trading volume in the Tehran Stock Exchange. The First International Conference on the Islamic Human Sciences Revolution, Tehran.

Ünüvar, B., & Yeldan, A. E. (2023). Green central banking under high inflation-More of a need than an option: An analytical exposition for Turkey. *Development Policy Review*, *41*(6), e12720. https://doi.org/10.1111/dpr.12720

Usman, O., Ozkan, O., Koy, A., & Adebayo, T. S. (2024). Energy-related uncertainty shocks and inflation dynamics in the U.S: A multivariate quantile-on-quantile regression approach. *Structural Change and Economic Dynamics*, *71*, 235–247. https://doi.org/10.1016/j.strueco.2024.07.012

Wang, F., Zhang, W., & Zhang, D. (2024). The time-varying impact of geopolitical risks on financial stress in China: A TVP-VAR analysis. *Finance Research Letters*, *69*, 106134. https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.106134

Wang, P., & Xu, X. (2025). Green finance and energy efficiency improvement: The role of green innovation and industrial upgrading. *Innovation and Green Development*, *4*(1), 100200. https://doi.org/10.1016/j.igd.2024.100200

Wei, Y., & Guo, X. (2017). Oil price shocks and China's stock market. *Energy*, *140*, 185–197. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.137

Yadav, M. P., Sharif, T., Ashok, S., Shingra, D., & Abedin, M. Z. (2023). Investigating volatility spillover of energy commodities in the context of the Chinese and European stock markets. *Research in International Business and Finance*. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2023.101948

Yang, T., Fang, S., Du, A. M., & Du, Q. (2024). Navigating the nexus: geopolitical risk, fossil energy prices, and European utility stock returns - implications for environmental management and energy security in a conflict-ridden global landscape. *Journal of Environmental Management*, *352*, Article 12008. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120086