Journal Website

Article history:
Received 23 May 2026
Revised 26 October 2026
Accepted 04 November 2026
Initial Publication 09 November 2026
Final Publication 22 December 2026

Dynamic Management and Business Analysis

Volume 5, Issue 5, pp 1-25



E-ISSN: 3041-8933

Application of Financial Engineering in Investment Risk Management: An Applied Study with a Tail-Risk Measurement, Optimization, and Control Approach

Hashem. Shabanzadeh[1*]

[1] Department of Finance, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

*** Corresponding author email address**: hashem.shabanzadeh@iau.ac.ir

A r t i c l e I n f o

Article type:
Original Research

How to cite this article:
Shabanzadeh, H. (2026). Application of Financial Engineering in Investment Risk Management: An Applied Study with a Tail-Risk Measurement, Optimization, and Control Approach. *Dynamic Management and Business Analysis*, *5*(5), 1-25.
https://doi.org/10.61838/dmbaj.523

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

A B S T R A C T

Objective: This study aimed to develop and evaluate an integrated financial engineering framework for measuring, optimizing, and controlling investment tail risk across selected industries of the Tehran Stock Exchange.

Methodology: This applied quantitative study used daily returns from ten selected Tehran Stock Exchange industries over 2016–2026. Supplementary hedging analyses used daily data on gold, foreign exchange, and the overall stock market index over 2013–2022. First, the GJR-GARCH model was applied to estimate conditional volatility and asymmetric shock effects, followed by Extreme Value Theory to model extreme tails and estimate VaR and CVaR. Second, dependence among industries was modeled using Clayton, Frank, and Gumbel copulas. Third, portfolio optimization was conducted under Mean-CVaR and Robust-CVaR frameworks, and out-of-sample performance was assessed through six rolling windows over 2020–2025. Finally, minimum-variance, minimum-VaR, minimum-CVaR, VAR-GARCH hedging, and three portfolio insurance strategies were compared.

Findings: The results indicated significant non-normality, conditional heteroskedasticity, and asymmetric volatility across all industries. The highest tail index was observed in the automobile industry at 0.318, while its 99% CVaR reached -10.18%. Lower-tail dependence between automobiles and technical and engineering services reached 0.690. Robust-CVaR reduced average annualized volatility from 23.47% to 20.10%, improved 99% CVaR from -7.52% to -6.21%, and reduced maximum drawdown from -20.16% to -16.55%. Among risk-control strategies, the fiduciary call produced the largest CVaR reduction at 43.64%, whereas dynamic VAR-GARCH hedging provided a better balance between downside protection and upside return preservation.

Conclusion: The findings demonstrate that integrating asymmetric volatility modeling, extreme-tail analysis, copula dependence, robust optimization, and dynamic hedging provides a more effective framework for investment risk management than conventional variance-based approaches in the Iranian capital market.

Keywords: *Financial Engineering, Tail Risk, GJR-GARCH, Extreme Value Theory, Copula, Conditional Value-at-Risk, Robust Optimization, Hedging.*

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Investment risk management has become increasingly complex as financial markets exhibit nonlinear dependence, volatility clustering, asymmetric responses to information, and a higher probability of extreme losses than conventional normal-distribution assumptions would suggest. Traditional portfolio models based on variance and linear correlation remain useful for general risk-return analysis, but they are often insufficient when the primary concern is the behavior of losses in the tails of return distributions. In particular, negative skewness, excess kurtosis, changing volatility regimes, and crisis-driven co-movement among assets can cause conventional measures to underestimate the severity of downside risk. For this reason, modern financial engineering increasingly combines conditional volatility modeling, extreme value analysis, copula-based dependence structures, robust optimization, and hedging instruments within an integrated risk management framework. Dynamic and adaptive approaches are especially important because market risk is not constant through time and can change materially in response to liquidity conditions, market microstructure signals, and macro-financial shocks (Javadi Soufiani et al., 2026). A major development in this area has been the use of asymmetric GARCH models, particularly GJR-GARCH, to capture the tendency of negative shocks to increase future volatility more strongly than positive shocks of similar magnitude. When such volatility models are combined with copula functions and Conditional Value-at-Risk, they can provide a more realistic representation of both marginal risk and dependence structures in portfolio optimization (Abolfazli et al., 2026). The need to model extreme market behavior has also encouraged the use of Extreme Value Theory, which focuses directly on observations located in the tails of the return distribution. The GARCH-EVT-Copula framework is particularly useful because it separates three components of risk: time-varying volatility, extreme tail behavior, and cross-asset dependence (Ndlovu, 2024). In parallel, Conditional Value-at-Risk has emerged as a central downside risk measure because, unlike Value-at-Risk, it captures the expected magnitude of losses beyond the VaR threshold. The optimization framework developed for CVaR has made this measure especially useful in portfolio construction and risk control (Rockafellar & Uryasev, 2000). Empirical evidence also suggests that the suitability of VaR and CVaR depends strongly on the underlying return distribution, particularly where non-normality and heavy tails are present (Heydarzadeh et al., 2024). Another challenge concerns the dependence structure among assets. Linear correlation can fail to capture the increased co-movement that often occurs during extreme market conditions. Copula-based models address this limitation by separating marginal distributions from the dependence structure and allowing lower-tail, upper-tail, and symmetric dependence to be modeled explicitly. Copula-GARCH approaches have therefore become increasingly important in portfolio optimization and international investment analysis (Vasiljeva et al., 2025). More recent graphical and dynamic copula-GARCH models further demonstrate that conditional dependence itself can change over time and may require flexible treatment (Chan et al., 2024). In the Tehran Stock Exchange, previous evidence has shown that combining copula structures with multivariate CVaR can improve portfolio risk modeling relative to approaches based solely on linear dependence (Fallah Shams & Sadeghi, 2021). Robust portfolio optimization extends this framework by addressing parameter and distributional uncertainty. Robust covariance estimation and CVaR constraints can reduce portfolio sensitivity to estimation error (Zhou, 2024), while distributionally

robust models can explicitly account for ambiguity in both marginal distributions and copula dependence (Fan, 2024). The risk-control stage is equally important. Hedging strategies based on minimum variance, minimum VaR, or minimum CVaR differ in the aspect of risk they target, and semi-parametric evidence suggests that VaR-based hedging can outperform variance-based approaches when returns are non-normal (Cao et al., 2010). CVaR-based hedging has also shown effectiveness in managing extreme commodity risk (Živkov et al., 2024). In addition, spillovers among stocks, foreign exchange, and gold can provide a basis for dynamic multi-asset hedging strategies (Razeghi et al., 2025). Portfolio insurance strategies, including protective puts and synthetic protection, offer another layer of downside control, although their effectiveness depends on market conditions and the trade-off between protection and participation in rising markets (Han, 2007; Khodaparasti Ramin & Moslehi, 2019). Newer computational methods, including deep-learning utility functions based on CVaR, also indicate that tail-sensitive optimization is becoming increasingly relevant in complex financial environments (Huang et al., 2025). Against this background, the present study developed and evaluated an integrated financial engineering framework for measuring, optimizing, and controlling tail risk across selected industries of the Tehran Stock Exchange.

Methods and Materials

This applied quantitative study used daily return data from ten selected industries listed on the Tehran Stock Exchange over the period 2016 to 2026. The industries were selected to represent the structural diversity of the Iranian capital market, including financial, commodity-based, industrial, manufacturing, and service-oriented sectors. The selected industries were banks and credit institutions, chemical products, basic metals, petroleum products, automobile and parts manufacturing, pharmaceuticals, cement, investment companies, diversified industrial companies, and technical and engineering services. Daily logarithmic returns were calculated from adjusted price or industry index data. For the supplementary hedging analysis, daily data on gold, foreign exchange, and the overall stock market index over the period 2013 to 2022 were also examined. The empirical analysis was conducted in four stages. In the first stage, descriptive characteristics of returns were assessed and the GJR-GARCH model was estimated for each industry to capture conditional heteroskedasticity, volatility persistence, and asymmetric responses to positive and negative shocks. Standardized residuals from the conditional volatility models were then used in an Extreme Value Theory framework to model tail behavior and estimate VaR and CVaR at the 95% and 99% confidence levels. In the second stage, dependence among industries was modeled using Archimedean copulas, specifically Clayton, Frank, and Gumbel copulas. The best-fitting copula for each selected industry pair was identified based on goodness-of-fit criteria and its ability to represent lower-tail, upper-tail, or symmetric dependence. In the third stage, portfolio optimization was conducted under two frameworks: Mean-CVaR and Robust-CVaR. The robust specification incorporated uncertainty in estimated parameters and was designed to reduce sensitivity to estimation error. Out-of-sample performance was evaluated using six rolling windows covering 2020 to 2025. Performance criteria included realized return, annualized volatility, 95% and 99% CVaR, return-to-CVaR ratio, and maximum drawdown. In the fourth stage, risk-control strategies were compared. These included minimum-variance, minimum-VaR, and minimum-CVaR hedge ratios; a dynamic multivariate VAR-GARCH hedge using stock, gold, and foreign-exchange returns; and three portfolio insurance strategies consisting of a protective put, a synthetic put, and a fiduciary call. The principal evaluation

E-ISSN: 3041-8933

criterion was the extent to which each strategy reduced CVaR while preserving performance in both rising and falling market conditions.

Findings

The descriptive results showed clear evidence of non-normal return distributions across all ten industries. Mean daily returns were positive, but the industries differed substantially in volatility and tail behavior. The automobile and parts manufacturing industry recorded the highest mean daily return, 0.112%, but also the highest standard deviation, 2.347%, indicating a strong return-risk trade-off. The pharmaceutical industry showed the lowest volatility, with a standard deviation of 1.528%. All industries exhibited negative skewness and excess kurtosis, with the automobile industry showing the most pronounced values, including skewness of -0.742 and kurtosis of 9.638. Jarque-Bera tests rejected normality for all industries at $p<0.001$, and ARCH-LM tests confirmed significant conditional heteroskedasticity. The GJR-GARCH estimates indicated high volatility persistence across industries, with $\alpha+\beta$ ranging from 0.923 to 0.959. The asymmetry parameter γ was positive in all industries, with the highest values observed for automobiles and parts manufacturing, technical and engineering services, and petroleum products. EVT estimates further showed that tail intensity varied materially across industries. The tail index ξ reached 0.318 for automobiles and 0.286 for technical and engineering services, compared with only 0.164 for pharmaceuticals. At the 99% confidence level, the automobile industry had a VaR of -7.43% and a CVaR of -10.18%, whereas the corresponding values for pharmaceuticals were -4.46% and -5.71%. Copula analysis demonstrated that dependence was not adequately described by linear correlation alone. Strong lower-tail dependence was found for automobile–technical services, automobile–banking, and technical services–investment pairs, with lower-tail dependence coefficients of 0.690, 0.654, and 0.667, respectively. By contrast, petroleum–chemical products and chemical products–basic metals were better described by Gumbel copulas, indicating stronger upper-tail dependence. The comparison of Mean-CVaR and Robust-CVaR portfolios showed that the robust model consistently reduced risk in all six out-of-sample windows. Average annualized volatility declined from 23.47% under Mean-CVaR to 20.10% under Robust-CVaR. Average 95% CVaR improved from -4.59% to -3.85%, and average 99% CVaR improved from -7.52% to -6.21%. Maximum drawdown declined from -20.16% to -16.55%. Although the robust strategy produced a slightly lower average annualized return, 25.72% compared with 26.76%, its return-to-CVaR ratio was higher, 0.666 versus 0.580. All hedging and insurance strategies reduced tail risk relative to the unhedged portfolio. Minimum-variance hedging reduced CVaR by 19.62%, minimum-VaR hedging by 26.53%, and minimum-CVaR hedging by 32.65%. The dynamic VAR-GARCH hedge achieved a 35.01% reduction in CVaR. Among portfolio insurance strategies, the protective put reduced CVaR by 38.62%, the synthetic put by 40.97%, and the fiduciary call by 43.64%. However, the strongest downside protection was generally associated with lower participation in rising markets. The VAR-GARCH strategy provided a comparatively balanced outcome, preserving a relatively high bullish-market return while substantially reducing losses in bearish periods.

Discussion and Conclusion

The findings demonstrate that investment risk in the Tehran Stock Exchange is multidimensional and cannot be adequately captured through a single static risk measure. The combination of negative skewness, excess kurtosis, conditional heteroskedasticity, and asymmetric volatility indicates that return distributions are structurally different from the assumptions underlying classical mean-variance models.

This is particularly important for industries such as automobiles, technical and engineering services, and petroleum products, where both volatility sensitivity and tail intensity were relatively high. The results also show that extreme losses are not merely scaled-up versions of ordinary fluctuations. Rather, they form a distinct part of the return distribution and require explicit tail modeling. The large gap between VaR and CVaR in the riskiest industries confirms that VaR alone can understate the severity of losses once the critical threshold has been breached. This supports the use of CVaR as a more informative decision criterion for investors whose primary concern is capital preservation under adverse market conditions.

The dependence results provide an equally important insight. Diversification benefits are not stable across market regimes. The strong lower-tail dependence observed among several industry pairs means that assets that appear only moderately related under ordinary conditions may experience severe losses simultaneously during market stress. Consequently, portfolio construction based solely on unconditional or linear correlation can overestimate diversification benefits and underestimate crisis risk. The copula results therefore indicate that dependence should be treated as state-sensitive and distribution-sensitive rather than constant. This is especially relevant in emerging markets where macroeconomic shocks, exchange-rate changes, policy interventions, and liquidity pressures can affect multiple sectors simultaneously.

The superior out-of-sample performance of the Robust-CVaR portfolio further shows that parameter uncertainty is a practical rather than purely theoretical concern. The slight sacrifice in average return was more than compensated for by lower volatility, smaller tail losses, and reduced maximum drawdown. This suggests that robust optimization can improve portfolio stability by avoiding excessive reliance on point estimates derived from historical data. In practice, such an approach is especially valuable when market conditions change rapidly and historical relationships may not persist.

The hedging results confirm that the choice of risk objective matters. Minimum-variance hedging reduced overall dispersion but was less effective in controlling extreme losses than minimum-VaR and minimum-CVaR strategies. Dynamic VAR-GARCH hedging performed better than static hedge ratios because it adjusted to changing conditional covariance structures. Portfolio insurance produced the strongest reductions in tail risk, but this protection came at the cost of lower upside participation. Therefore, no single strategy can be regarded as universally optimal. The appropriate choice depends on the investor's tolerance for downside risk, expected holding period, market outlook, and willingness to sacrifice part of potential upside return in exchange for greater protection.

Overall, the study shows that an integrated financial engineering framework combining GJR-GARCH, EVT, copula dependence modeling, Robust-CVaR optimization, and dynamic hedging or insurance strategies provides a more comprehensive approach to investment risk management than conventional variance-based methods. The results suggest that effective risk management in the Tehran Stock Exchange requires simultaneous attention to volatility dynamics, tail severity, nonlinear dependence, parameter uncertainty, and the practical design of risk-control strategies. The principal conclusion is that tail-sensitive and robust methods can materially improve the resilience of investment portfolios, particularly during periods of market stress, while dynamic hedging can provide a useful compromise between downside protection and participation in favorable market movements.

E-ISSN: 3041-8933



شاپای الکترونیکی: ۸۹۳۳-۳۰۴۱

مدیریت پویا و تحلیل کسب و کار

دوره ۵، شماره ۵، صفحه ۲۵-۱

وبسایت مجله

تاریخچه مقاله
دریافت شده در تاریخ ۲ خرداد ۱۴۰۵
اصلاح شده در تاریخ ۴ آبان ۱۴۰۵
پذیرفته شده در تاریخ ۱۳ آبان ۱۴۰۵
اولین انتشار در تاریخ ۱۸ آبان ۱۴۰۵
انتشار نهایی در تاریخ ۱ دی ۱۴۰۵

کاربرد مهندسی مالی در مدیریت ریسک سرمایه‌گذاری: یک پژوهش عملی با رویکرد سنجش، بهینه‌سازی و کنترل ریسک دنباله‌ای

هاشم شعبان زاده[1*]

۱. گروه مالی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: hashem.shabanzadeh@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

پژوهشی اصیل

نحوه استناد به این مقاله:

شعبان زاده، هاشم. (۱۴۰۵). کاربرد مهندسی مالی در مدیریت ریسک سرمایه‌گذاری: یک پژوهش عملی با رویکرد سنجش، بهینه‌سازی و کنترل ریسک دنباله‌ای. *مدیریت پویا و تحلیل کسب و کار*، ۵(۵)، ۲۵-۱.

© ۱۴۰۵ 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، ارائه و ارزیابی یک چارچوب یکپارچه مهندسی مالی برای سنجش، بهینه‌سازی و کنترل ریسک دنباله‌ای سرمایه‌گذاری در صنایع منتخب بورس تهران بود. **روش‌شناسی:** پژوهش حاضر از نوع کاربردی و کمی بود و با استفاده از بازده روزانه ده صنعت منتخب بورس تهران طی دوره ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۵ انجام شد. برای آزمون‌های تکمیلی پوشش ریسک نیز از داده‌های روزانه طلا، نرخ ارز و شاخص بورس در دوره ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ استفاده شد. در مرحله نخست، مدل GJR-GARCH برای برآورد نوسان شرطی و اثرات نامتقارن شوک‌ها به کار رفت و سپس نظریه مقدار حدی برای مدل‌سازی دنباله‌های افراطی و برآورد VaR و CVaR استفاده شد. در مرحله دوم، ساختار وابستگی میان صنایع با استفاده از کاپولاهای کلایتون، فرانک و گامبل مدل‌سازی شد. در مرحله سوم، پرتفوی‌ها در قالب Mean-CVaR و Robust-CVaR بهینه‌سازی و عملکرد آن‌ها با شش پنجره غلتان طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۴ ارزیابی شد. در مرحله چهارم، راهبردهای پوشش حداقل واریانس، حداقل VaR، حداقلCVaR ، مدل VAR-GARCH و سه راهبرد بیمه پرتفوی مقایسه شدند.**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که بازده صنایع دارای نرمالیت نبود و ناهمسانی واریانس شرطی و اثرات نامتقارن در همه صنایع مشاهده شد. بیشترین شاخص دنباله در صنعت خودرو برابر ۰.۳۱۸ و بیشترین CVaR در سطح ۹۹ درصد برابر ۱۰.۱۸- درصد بود. وابستگی دنباله پایین برای زوج خودرو و خدمات فنی و مهندسی به ۰.۶۹۰ رسید. مدل Robust-CVaR میانگین نوسان سالانه را از ۲۳.۴۷ به ۲۰.۱۰ درصد، CVaRدر سطح ۹۹ درصد را از ۷.۵۲- به ۶.۲۱- درصد و بیشینه افت سرمایه را از ۲۰.۱۶- به ۱۶.۵۵- درصد کاهش داد. در میان راهبردهای کنترل ریسک، اختیار خرید امانی بیشترین کاهش CVaR معادل ۴۳.۶۴ درصد را ایجاد کرد، در حالی که VAR-GARCHتعادل مناسب‌تری میان کاهش ریسک و حفظ بازده صعودی نشان داد. **نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد که ترکیب مدل‌سازی نوسان نامتقارن، تحلیل دنباله‌های افراطی، کاپولا، بهینه‌سازی مقاوم و راهبردهای پوشش پویا می‌تواند نسبت به رویکردهای مبتنی بر واریانس، چارچوب مؤثرتری برای مدیریت ریسک سرمایه‌گذاری در بازار سرمایه ایران فراهم کند.

کلیدواژگان: *مهندسی مالی، ریسک دنباله‌ای، GJR-GARCH، نظریه مقدار حدی، کاپولا، CVaR، بهینه‌سازی مقاوم، پوشش ریسک.*

مقدمه

مدیریت ریسک سرمایه‌گذاری یکی از بنیادی‌ترین موضوعات در دانش مالی معاصر است، زیرا تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری همواره در محیطی صورت می‌گیرد که بازده آینده دارایی‌ها با عدم‌قطعیت، نوسان، تغییر رژیم‌های بازار و احتمال وقوع زیان‌های شدید همراه است. اگرچه نظریه‌های کلاسیک پرتفوی بر ایجاد توازن میان بازده مورد انتظار و واریانس به‌عنوان شاخص ریسک تأکید داشته‌اند، تجربه بحران‌های مالی، سقوط‌های ناگهانی بازار و افزایش هم‌حرکتی دارایی‌ها در شرایط تنش نشان داده است که واریانس به‌تنهایی نمی‌تواند تمام ابعاد ریسک سرمایه‌گذاری را توضیح دهد. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های رویکردهای سنتی آن است که توزیع بازده را غالباً متقارن و نزدیک به نرمال در نظر می‌گیرند؛ در حالی که داده‌های مالی واقعی معمولاً دارای چولگی، کشیدگی مازاد، خوشه‌بندی نوسان و دنباله‌های ضخیم هستند. در چنین شرایطی، احتمال وقوع زیان‌های بسیار بزرگ از آنچه مدل نرمال پیش‌بینی می‌کند بیشتر است و بنابراین استفاده از معیارهایی که نسبت به بخش‌های انتهایی توزیع حساسیت بیشتری دارند، ضرورت پیدا می‌کند. مفهوم ریسک دنباله‌ای دقیقاً به همین بخش از عدم‌قطعیت اشاره دارد و بر زیان‌هایی متمرکز است که احتمال وقوع آن‌ها پایین، اما پیامد مالی آن‌ها بسیار شدید است (Huang et al., 2025; Razeghi et al., 2025; Vasiljeva et al., 2025; Živkov et al., 2024). از این منظر، توسعه ابزارهای مهندسی مالی برای اندازه‌گیری، بهینه‌سازی و کنترل ریسک دنباله‌ای می‌تواند چارچوب واقع‌بینانه‌تری برای مدیریت سرمایه‌گذاری فراهم سازد.

مهندسی مالی در دهه‌های اخیر از یک حوزه عمدتاً متمرکز بر طراحی ابزارهای مشتقه به یک چارچوب جامع برای مدل‌سازی، مدیریت و انتقال ریسک تبدیل شده است. این حوزه با تلفیق نظریه مالی، اقتصادسنجی، بهینه‌سازی، روش‌های آماری و ابزارهای محاسباتی امکان آن را فراهم می‌کند که ساختار پیچیده ریسک بازار به شکل دقیق‌تری مدل‌سازی شود. در این چارچوب، مدل‌سازی نوسان شرطی، تحلیل دنباله‌های توزیع، بررسی ساختار وابستگی میان دارایی‌ها، بهینه‌سازی مقاوم پرتفوی و طراحی راهبردهای پوشش ریسک همگی اجزای مکمل یک نظام مدیریت ریسک محسوب می‌شوند. پژوهش‌های جدید نیز نشان داده‌اند که مدیریت ریسک مؤثر نمی‌تواند صرفاً به یک شاخص یا یک مدل محدود شود و لازم است پویایی نوسان، تغییرپذیری همبستگی‌ها و امکان وقوع زیان‌های بسیار شدید به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته شود (Javadi Soufiani et al., 2026). به‌ویژه در بازارهایی که تغییرات سریع نقدشوندگی، رفتارهای هیجانی سرمایه‌گذاران، شوک‌های اقتصاد کلان و محدودیت‌های ساختاری می‌توانند شدت نوسانات را افزایش دهند، رویکردهای تطبیقی و پویا به مدیریت ریسک اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند.

یکی از نخستین گام‌ها در تحلیل ریسک بازار، مدل‌سازی رفتار نوسانات بازده است. مدل‌های خانواده GARCH از پرکاربردترین روش‌ها برای این منظور هستند، زیرا قادرند خوشه‌بندی نوسان و وابستگی واریانس به اطلاعات گذشته را توضیح دهند. بااین‌حال، یکی از ویژگی‌های مهم بازارهای مالی آن است که شوک‌های مثبت و منفی الزاماً اثر یکسانی بر نوسان آینده ندارند. معمولاً اخبار منفی و کاهش قیمت‌ها نسبت به اخبار مثبت هم‌اندازه، افزایش بیشتری در نوسان ایجاد می‌کنند که از آن به‌عنوان اثر اهرمی یا عدم‌تقارن نوسان یاد می‌شود. مدل GJR-GARCH با واردکردن یک مؤلفه نامتقارن به ساختار واریانس شرطی، امکان شناسایی و تخمین این رفتار را فراهم می‌کند. استفاده از این مدل در کنار معیارهای ریسک دنباله‌ای، امکان تفکیک ریسک ناشی از نوسانات معمول بازار و ریسک مرتبط با شوک‌های شدید منفی را فراهم می‌آورد. پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه بهینه‌سازی پرتفوی نیز نشان داده‌اند که ترکیب مدل GJR-GARCH با مدل‌های وابستگی و معیار CVaR می‌تواند منجر به برآورد واقع‌بینانه‌تر ریسک و انتخاب پرتفوی مقاوم‌تر شود (Abolfazli et al., 2026).

E-ISSN: 3041-8933

با وجود اهمیت مدل‌های GARCH در سنجش نوسان، این مدل‌ها به‌تنهایی برای تخمین رفتار زیان‌های افراطی کافی نیستند. نظریه مقدار حدی یا EVT یکی از مهم‌ترین چارچوب‌های آماری برای مدل‌سازی بخش انتهایی توزیع است و به‌طور خاص بر مشاهداتی تمرکز دارد که فراتر از یک آستانه بالا یا پایین قرار می‌گیرند. مزیت اصلی این رویکرد آن است که برای برآورد احتمال رویدادهای بسیار شدید، الزاماً به شکل کل توزیع وابسته نیست و به همین دلیل می‌تواند تخمین دقیق‌تری از زیان‌های نادر ارائه دهد. ترکیب مدل‌های GARCH با EVT در سال‌های اخیر به یکی از رویکردهای مؤثر مدیریت ریسک تبدیل شده است؛ زیرا GARCH پویایی نوسان را کنترل می‌کند و EVT رفتار دنباله‌های استانداردشده را مدل‌سازی می‌نماید. نتایج پژوهش‌ها در بازارهای مالی مختلف نشان داده است که استفاده هم‌زمان از GARCH، EVT و کاپولا امکان سنجش دقیق‌تر ریسک پرتفوی را در شرایطی فراهم می‌کند که توزیع بازده‌ها غیرنرمال و وابستگی میان دارایی‌ها پیچیده است (Ndlovu, 2024).

در کنار مدل‌سازی نوسان و دنباله‌ها، انتخاب معیار مناسب ریسک نیز اهمیت اساسی دارد. ارزش در معرض ریسک یا VaR برای مدت طولانی یکی از مهم‌ترین معیارهای اندازه‌گیری ریسک بازار بوده است، اما این شاخص دارای محدودیت‌هایی است؛ از جمله اینکه اطلاعاتی درباره شدت زیان‌های فراتر از آستانه VaR ارائه نمی‌کند. به عبارت دیگر، VaR نشان می‌دهد که در یک سطح اطمینان مشخص، زیان از چه مقداری بیشتر نخواهد شد، اما درباره میانگین زیان در شرایطی که این آستانه نقض شود، اطلاعاتی ارائه نمی‌دهد. در مقابل، ارزش در معرض ریسک شرطی یا CVaR میانگین زیان‌های واقع‌شده در بدترین بخش توزیع را اندازه‌گیری می‌کند و از این رو برای تحلیل ریسک دنباله‌ای مناسب‌تر است. Rockafellar و Uryasev با ارائه یک صورت‌بندی قابل حل برای بهینه‌سازی CVaR زمینه توسعه گسترده کاربرد این معیار در مسائل تخصیص دارایی و کنترل ریسک را فراهم کردند (Rockafellar & Uryasev, 2000). پژوهش‌های بعدی نیز نشان داده‌اند که استفاده هم‌زمان از VaR و CVaR می‌تواند درک جامع‌تری از ریسک پرتفوی ایجاد کند، به‌ویژه زمانی که توزیع بازده با نرمالیت فاصله دارد (Heydarzadeh et al., 2024).

اهمیت CVaR زمانی بیشتر می‌شود که مسئله بهینه‌سازی پرتفوی در محیطی همراه با عدم‌قطعیت پارامتری مطرح باشد. مدل‌های متعارف بهینه‌سازی معمولاً برآوردهای تاریخی بازده، واریانس و کوواریانس را به‌عنوان مقادیر قطعی در نظر می‌گیرند، در حالی که این پارامترها خود دارای خطای تخمین هستند. حتی تغییرات کوچک در برآورد پارامترها می‌تواند به تغییرات بزرگ در وزن دارایی‌های پرتفوی منجر شود و پرتفویی ایجاد کند که در نمونه تاریخی عملکرد مطلوب، اما در داده‌های جدید عملکرد ناپایداری داشته باشد. بهینه‌سازی مقاوم با واردکردن عدم‌قطعیت پارامترها به مسئله تصمیم‌گیری می‌کوشد راه‌حل‌هایی ارائه دهد که نه فقط در یک مجموعه برآورد نقطه‌ای، بلکه در دامنه‌ای از سناریوهای محتمل عملکرد قابل قبول داشته باشند. رویکردهای جدید در این حوزه با ترکیب محدودیت‌های CVaR و ساختارهای مقاوم کوواریانس نشان داده‌اند که امکان کاهش حساسیت پرتفوی به خطای تخمین و افزایش ثبات عملکرد برون‌نمونه‌ای وجود دارد (Zhou, 2024). همچنین، رویکردهای توزیعاً مقاوم با لحاظ ابهام هم‌زمان در توزیع‌های حاشیه‌ای و ساختار وابستگی کاپولا، سطح پیشرفته‌تری از محافظت در برابر عدم‌قطعیت مدل فراهم کرده‌اند (Fan, 2024).

یکی دیگر از چالش‌های اساسی در مدیریت ریسک پرتفوی، مدل‌سازی وابستگی میان دارایی‌ها است. در بسیاری از مدل‌های کلاسیک، وابستگی با استفاده از ضریب همبستگی خطی اندازه‌گیری می‌شود؛ اما این معیار نمی‌تواند تغییرات ساختاری وابستگی در بخش‌های مختلف توزیع را به‌طور کامل منعکس کند. در شرایط عادی بازار ممکن است همبستگی میان دو دارایی پایین یا متوسط باشد، اما در دوره‌های بحران، احتمال وقوع هم‌زمان زیان‌های بزرگ به‌طور قابل توجهی افزایش یابد. این پدیده سبب می‌شود مزیت تنوع‌بخشی دقیقاً در زمانی که سرمایه‌گذار بیشترین نیاز را به آن دارد، کاهش پیدا کند. توابع کاپولا ابزار مناسبی برای جداسازی توزیع‌های حاشیه‌ای از ساختار وابستگی و بررسی اشکال

غیرخطی و نامتقارن هم‌حرکتی هستند. مطالعات مبتنی بر Copula-GARCH نشان داده‌اند که استفاده از کاپولا در کنار مدل‌های نوسان شرطی می‌تواند ساختار وابستگی میان دارایی‌ها را با دقت بیشتری بازنمایی کرده و کیفیت تصمیمات تخصیص دارایی را بهبود دهد (Vasiljeva et al., 2025). همچنین مدل‌های جدید کاپولای گرافیکی و GARCH با وابستگی شرطی پویا نشان می‌دهند که حتی ساختار وابستگی نیز در طول زمان ثابت نیست و می‌تواند متناسب با تغییر شرایط بازار تحول یابد (Chan et al., 2024).

در بازار سرمایه ایران نیز مسئله وابستگی غیرخطی دارایی‌ها و نقش آن در بهینه‌سازی پرتفوی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. مطالعات انجام‌شده درباره ترکیب کاپولا و CVaR نشان داده‌اند که استفاده از ساختار وابستگی انعطاف‌پذیرتر می‌تواند نسبت به روش‌های مبتنی بر همبستگی خطی، پرتفوی‌هایی با ویژگی‌های ریسک مطلوب‌تر ایجاد کند (Fallah Shams & Sadeghi, 2021). این موضوع در شرایطی اهمیت بیشتری دارد که بازار در معرض شوک‌های مشترک سیاسی، اقتصادی، ارزی یا کالایی قرار می‌گیرد و صنایع مختلف به‌طور هم‌زمان واکنش نشان می‌دهند. بنابراین، شناسایی وابستگی دنباله پایین و دنباله بالا می‌تواند مشخص سازد که کدام صنایع در شرایط سقوط یا رونق شدید، رفتار مشترک بیشتری دارند و در نتیجه تا چه حد می‌توان بر مزیت تنوع‌بخشی میان آن‌ها اتکا کرد. از این منظر، تحلیل کاپولا تنها یک ابزار آماری نیست، بلکه مستقیماً با تصمیم‌های عملی مدیریت پرتفوی و کنترل زیان ارتباط دارد.

در کنار اندازه‌گیری و بهینه‌سازی، مرحله سوم مدیریت ریسک به کنترل و انتقال ریسک اختصاص دارد. راهبردهای پوشش ریسک می‌توانند از طریق ایجاد موقعیت‌های جبرانی در بازارهای آتی، دارایی‌های موازی یا ابزارهای مشتقه، بخشی از زیان پرتفوی را در شرایط نامطلوب کاهش دهند. نسبت پوشش حداقل واریانس یکی از روش‌های سنتی در این حوزه است، اما همانند مسئله بهینه‌سازی پرتفوی، تمرکز صرف بر واریانس ممکن است برای سرمایه‌گذاری که نگران زیان‌های شدید است، کافی نباشد. رویکردهای مبتنی بر VaR و CVaR به‌جای کاهش پراکندگی کلی بازده، بر کنترل بخش نامطلوب توزیع تمرکز می‌کنند. پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که نسبت‌های پوشش بر مبنای VaR می‌توانند تحت توزیع‌های غیرنرمال عملکرد متفاوتی نسبت به نسبت پوشش حداقل واریانس داشته باشند و استفاده از روش‌های نیمه‌پارامتریک برای این منظور مزیت‌هایی ایجاد می‌کند (Cao et al., 2010). در مطالعات جدیدتر نیز استفاده از پرتفوی‌های CVaR نیمه‌پارامتریک برای پوشش ریسک‌های افراطی بازارهای کالایی مورد توجه قرار گرفته و نتایج نشان داده است که تمرکز مستقیم بر دنباله توزیع می‌تواند کنترل موثرتری بر زیان‌های شدید فراهم کند (Živkov et al., 2024).

در اقتصادهایی که بازار سهام با بازارهای ارز و طلا پیوند نزدیکی دارد، کنترل ریسک سرمایه‌گذاری صرفاً از طریق تنوع‌بخشی درون بازار سهام ممکن است کافی نباشد. تغییر نرخ ارز، قیمت طلا و شاخص سهام می‌تواند از طریق کانال‌های انتظارات، تورم، ارزش جایگزینی دارایی‌ها و جریان نقدینگی بر یکدیگر اثر بگذارد. بنابراین، بررسی سرریز بازده و نوسان میان این بازارها می‌تواند در طراحی راهبردهای پوشش چندارایی نقش مهمی داشته باشد. پژوهش‌های انجام‌شده در ایران نشان داده‌اند که مدل‌سازی هم‌زمان سهام، ارز و طلا می‌تواند مبنایی برای طراحی پرتفوی بهینه و راهبردهای پوشش ریسک فراهم کند (Razeghi et al., 2025). مدل‌های چندمتغیره VAR-GARCH نیز از این جهت اهمیت دارند که قادرند هم تعامل پویای بازده‌ها و هم تغییرات زمانی واریانس و کوواریانس شرطی را در یک چارچوب واحد مدل‌سازی کنند. در نتیجه، نسبت پوشش می‌تواند به‌صورت پویا با تغییر شرایط بازار تعدیل شود و نسبت به راهبردهای ثابت، انعطاف بیشتری در برابر شوک‌های اقتصادی داشته باشد.

علاوه بر پوشش مبتنی بر دارایی‌های آتی یا موازی، بیمه پرتفوی یکی دیگر از ابزارهای مهم مهندسی مالی برای محدودکردن زیان‌های شدید است. راهبردهایی نظیر اختیار فروش تدافعی، اختیار فروش مصنوعی و ترکیب دارایی بدون ریسک با اختیار خرید، امکان آن را فراهم می‌کنند که کف مشخصی برای ارزش پرتفوی ایجاد شود و در عین حال، بخشی از ظرفیت مشارکت در رشد بازار حفظ گردد. ارزیابی

E-ISSN: 3041-8933

تجربی راهبردهای بیمه پرتفوی نشان داده است که عملکرد آن‌ها به شرایط بازار، هزینه پوشش، شدت نوسان و ساختار بازده بستگی دارد و هیچ راهبردی در همه وضعیت‌ها به‌طور مطلق برتر نیست (Khodaparasti Ramin & Moslehi, 2019). شواهد حاصل از بازارهای مشتقه نیز نشان می‌دهد که استفاده از اختیار معامله می‌تواند در دوره‌های نزولی از زیان پرتفوی بکاهد، هرچند این محافظت معمولاً با هزینه‌ای به شکل کاهش بخشی از بازده در دوره‌های صعودی همراه است (Han, 2007). بنابراین، ارزیابی راهبرد بیمه باید هم‌زمان بر کاهش ریسک دنباله‌ای و میزان حفظ مشارکت در بازده مثبت بازار تمرکز کند.

تحولات اخیر در روش‌های محاسباتی نیز افق‌های جدیدی برای مدیریت ریسک پرتفوی گشوده است. استفاده از یادگیری عمیق و توابع مطلوبیت مبتنی بر CVaR نشان داده است که می‌توان روابط پیچیده و غیرخطی بازده و ریسک را به‌صورت منعطف‌تر مدل‌سازی کرد و تصمیمات تخصیص دارایی را با تمرکز مستقیم بر زیان‌های انتهایی بهبود بخشید (Huang et al., 2025). هرچند چنین رویکردهایی ظرفیت بالایی برای توسعه مدل‌های آینده دارند، در بسیاری از بازارها همچنان مدل‌های اقتصادسنجی شفاف و قابل تفسیر، به‌ویژه ترکیب GARCH، EVT، کاپولا و CVaR، از نظر قابلیت توضیح، کنترل پارامترها و ارتباط مستقیم با منطق اقتصادی از جایگاه مهمی برخوردارند. افزون بر این، توسعه بودجه‌بندی ریسک پویا و سازگار با سیگنال‌های بازار نشان می‌دهد که مدیریت ریسک باید به‌جای یک تصمیم ایستا در ابتدای دوره، به‌عنوان یک فرایند تطبیقی و مستمر در نظر گرفته شود (Javadi Soufiani et al., 2026). این تحول مفهومی، مدیریت ریسک را از یک فعالیت صرفاً اندازه‌گیری‌کننده به یک سازوکار تصمیم‌گیری پویا تبدیل می‌کند.

با وجود گسترش قابل توجه مطالعات در زمینه مدل‌سازی نوسان، ریسک دنباله‌ای، کاپولا، CVaR، بهینه‌سازی مقاوم و پوشش ریسک، بخش عمده پژوهش‌ها هر یک بر یکی از این ابعاد تمرکز کرده‌اند و مطالعاتی که این اجزا را در یک چارچوب عملی و یکپارچه ترکیب کنند، محدودتر هستند. برخی مطالعات بر بهینه‌سازی CVaR و مدل GJR-GARCH تمرکز کرده‌اند (Abolfazli et al., 2026)، برخی دیگر بر وابستگی کاپولا و بهینه‌سازی پرتفوی (Vasiljeva et al., 2025)، برخی بر ابهام توزیعی و مقاومت مدل (Fan, 2024) و گروه دیگری بر راهبردهای پوشش و بیمه پرتفوی متمرکز بوده‌اند (Khodaparasti Ramin & Moslehi, 2019; Razeghi et al., 2025). بااین‌حال، در عمل، مدیر سرمایه‌گذاری نیازمند چارچوبی است که بتواند زنجیره کامل مدیریت ریسک را از شناسایی منبع نوسان و سنجش شدت زیان‌های افراطی تا تشخیص ساختار وابستگی، بهینه‌سازی ترکیب دارایی‌ها و طراحی راهبردهای کنترل ریسک پوشش دهد. اهمیت این موضوع برای بازار سرمایه ایران دوچندان است، زیرا ویژگی‌هایی مانند نوسان‌های شدید دوره‌ای، واکنش نامتقارن به اخبار، تغییرات نرخ ارز، نقش بازار طلا، محدودیت‌های نقدشوندگی و شوک‌های مشترک میان صنایع می‌توانند موجب شوند روش‌های مبتنی بر فرض‌های ساده خطی و نرمال، برآورد دقیقی از ریسک واقعی ارائه نکنند.

بر این اساس، نیاز به یک چارچوب تجربی وجود دارد که در آن ابتدا نوسان شرطی و اثرات نامتقارن بازده‌ها مدل‌سازی شود، سپس ریسک دنباله‌ای با استفاده از نظریه مقدار حدی برآورد گردد، ساختار وابستگی میان صنایع با توابع کاپولا تحلیل شود، پرتفوی در چارچوب‌های Mean-CVaR و Robust-CVaR بهینه‌سازی شود و در نهایت، کارایی راهبردهای مختلف پوشش و بیمه پرتفوی در کنترل زیان‌های شدید مورد مقایسه قرار گیرد. چنین رویکردی امکان آن را فراهم می‌کند که مدیریت ریسک نه بر اساس یک شاخص منفرد، بلکه بر پایه مجموعه‌ای سازگار از ابزارهای مهندسی مالی انجام شود و عملکرد روش‌ها نیز در شرایط واقعی‌تر و برون‌نمونه‌ای ارزیابی شود. افزون بر این، مقایسه رفتار صنایع مختلف و بررسی پیوند سهام با دارایی‌های موازی می‌تواند مشخص سازد که آیا منافع تنوع‌بخشی در شرایط بحرانی پایدار باقی می‌ماند یا وابستگی دنباله‌ای موجب کاهش اثربخشی آن می‌شود. از این منظر، ترکیب سنجش، بهینه‌سازی و کنترل ریسک در یک چارچوب واحد می‌تواند هم از نظر نظری و هم از نظر کاربردی به توسعه دانش مدیریت ریسک سرمایه‌گذاری کمک کند.

هدف پژوهش حاضر، کاربرد یک چارچوب یکپارچه مهندسی مالی برای سنجش، بهینه‌سازی و کنترل ریسک دنباله‌ای سرمایه‌گذاری در صنایع منتخب بورس تهران با استفاده از مدل‌های GJR-GARCH، نظریه مقدار حدی، کاپولا، Mean-CVaR، Robust-CVaR و راهبردهای پوشش و بیمه پرتفوی است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و شیوه اجرا، یک مطالعه کمی، تجربی و مبتنی بر مدل‌سازی مالی و اقتصادسنجی است که با هدف سنجش، بهینه‌سازی و کنترل ریسک سرمایه‌گذاری، با تأکید ویژه بر ریسک دنباله‌ای، طراحی شده است. چارچوب پژوهش بر این فرض استوار است که سنجش ریسک در بازارهای مالی، به‌ویژه در بازارهای نوظهوری نظیر بازار سرمایه ایران، صرفاً با اتکا به معیارهای مبتنی بر واریانس، انحراف معیار یا همبستگی خطی نمی‌تواند رفتار واقعی زیان‌های حدی و وابستگی دارایی‌ها در شرایط بحرانی را منعکس کند. ازاین‌رو، در طراحی پژوهش حاضر، یک چارچوب چندمرحله‌ای از مهندسی مالی شامل مدل‌سازی پویایی نوسان، شناسایی و برآورد ریسک دنباله‌ای، مدل‌سازی ساختار وابستگی غیرخطی، بهینه‌سازی پرتفوی و ارزیابی راهبردهای پوشش و بیمه پرتفوی به کار گرفته شد. واحدهای مورد بررسی در بخش اصلی پژوهش شامل ده صنعت منتخب از صنایع فعال در بورس اوراق بهادار تهران بود که داده‌های بازده روزانه آن‌ها طی دوره زمانی ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۵ مورد استفاده قرار گرفت. انتخاب صنایع به‌صورت هدفمند و با درنظرگرفتن تنوع ساختاری بازار سرمایه ایران انجام شد؛ به‌گونه‌ای که صنایع مالی، کالایی، تولیدی، صنعتی و خدماتی در نمونه حضور داشته باشند و امکان بررسی تفاوت رفتار نوسان، ریسک افراطی و ساختار وابستگی میان بخش‌های مختلف بازار فراهم شود. معیار اصلی انتخاب صنایع، برخورداری از تداوم معاملاتی مناسب، کفایت تعداد مشاهدات روزانه، دسترسی به داده‌های قابل اتکا و نمایندگی بخش‌های مختلف اقتصاد و بازار سرمایه بود. بازده روزانه صنایع بر مبنای تغییرات لگاریتمی شاخص یا قیمت تعدیل‌شده محاسبه شد تا ویژگی جمع‌پذیری زمانی بازده‌ها حفظ شده و آثار مقیاس قیمت‌ها کاهش یابد. علاوه بر داده‌های ده صنعت منتخب، برای بخش تکمیلی پژوهش و ارزیابی کارایی راهبردهای پوشش ریسک، داده‌های روزانه دارایی‌های موازی شامل طلا، نرخ ارز و شاخص کل بورس طی دوره ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ گردآوری شد. استفاده از این مجموعه داده تکمیلی با هدف بررسی قابلیت ابزارهای مهندسی مالی در کنترل ریسک بازار در شرایطی انجام شد که سرمایه‌گذار امکان تخصیص سرمایه یا ایجاد موقعیت پوششی میان بازار سهام و سایر دارایی‌های عمده را در اختیار دارد. ساختار پژوهش به‌گونه‌ای طراحی شد که پس از تخمین مدل‌ها درون نمونه، عملکرد آن‌ها در خارج از نمونه نیز ارزیابی شود. برای این منظور، شش پنجره غلتان در فاصله سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۴ تعریف شد و پارامترهای مدل‌ها در هر پنجره مجدداً برآورد شدند تا پایداری، قابلیت تعمیم و حساسیت نتایج نسبت به تغییر رژیم‌های بازار و شرایط زمانی مورد سنجش قرار گیرد. این طراحی امکان مقایسه عملکرد چارچوب‌های مختلف سنجش و کنترل ریسک را در دوره‌های متفاوت بازار، شامل شرایط عادی، نوسانی، صعودی و نزولی فراهم کرد.

ابزار اصلی گردآوری داده‌ها در این پژوهش، داده‌های ثانویه مالی و سری‌های زمانی روزانه مربوط به شاخص صنایع منتخب، بازار سهام، طلا و نرخ ارز بود. اطلاعات قیمتی و شاخصی پس از استخراج از پایگاه‌های رسمی و معتبر بازار سرمایه و منابع آماری مالی، از نظر پیوستگی زمانی، وجود داده‌های مفقود، توقف‌های معاملاتی، تغییرات غیرعادی و قابلیت مقایسه بررسی و پالایش شدند. پس از آماده‌سازی داده‌ها، بازده‌های روزانه از طریق لگاریتم نسبت قیمت یا مقدار شاخص در روز جاری به روز معاملاتی قبل محاسبه شد. به‌منظور فراهم‌کردن بستر مناسب برای تحلیل تجربی، ابتدا ویژگی‌های توزیعی بازده‌ها شامل میانگین، پراکندگی، چولگی، کشیدگی و رفتار مقادیر حدی بررسی شد و سپس وجود ناهمسانی واریانس شرطی و خوشه‌بندی نوسان مورد ارزیابی قرار گرفت. ابزار اصلی سنجش پویایی نوسان، مدل GJR-

E-ISSN: 3041-8933

GARCH بود که به دلیل توانایی آن در تفکیک اثر شوک‌های مثبت و منفی و شناسایی اثر اهرمی در نوسانات بازار انتخاب شد. این مدل امکان آن را فراهم می‌سازد که واکنش نوسان شرطی به اخبار نامطلوب و مطلوب به‌صورت نامتقارن برآورد شود؛ موضوعی که در بازارهای نوظهور و در دوره‌های تنش مالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پس از تخمین مدل نوسان، باقیمانده‌های استانداردشده استخراج و به‌عنوان ورودی مرحله مدل‌سازی دنباله‌های توزیع مورد استفاده قرار گرفتند. برای سنجش زیان‌های افراطی و ریسک‌هایی که در بخش‌های دور از مرکز توزیع قرار دارند، از نظریه مقدار حدی استفاده شد. این رویکرد به‌جای تمرکز بر کل توزیع بازده، رفتار مشاهدات واقع در دنباله‌های زیان را مدل‌سازی کرده و امکان برآورد احتمال و شدت رویدادهایی را فراهم می‌کند که به‌ندرت رخ می‌دهند اما آثار مالی قابل توجهی دارند. در این بخش، معیارهای ریسک دنباله‌ای، به‌ویژه ارزش در معرض ریسک و ارزش در معرض ریسک شرطی، به‌عنوان ابزارهای سنجش شدت زیان مورد توجه قرار گرفتند و CVaR به دلیل درنظرگرفتن میانگین زیان‌های فراتر از آستانه VaR، به‌عنوان معیار محوری در بخش بهینه‌سازی و ارزیابی عملکرد انتخاب شد. برای تحلیل وابستگی میان صنایع نیز از توابع کاپولای ارشمیدسی شامل کاپولای کلایتون، فرانک و گامبل استفاده شد. انتخاب این خانواده از کاپولاها به دلیل قابلیت آن‌ها در بازنمایی اشکال متفاوت وابستگی غیرخطی و وابستگی دنباله‌ای انجام گرفت. کاپولای کلایتون برای شناسایی وابستگی قوی‌تر در دنباله پایین، کاپولای گامبل برای بازنمایی وابستگی در دنباله بالایی و کاپولای فرانک برای مدل‌سازی وابستگی متقارن‌تر در بخش‌های مختلف توزیع مورد استفاده قرار گرفت. در بخش کنترل ریسک نیز ابزارهای تحلیلی شامل نسبت‌های پوشش حداقل واریانس، حداقل VaR و حداقل CVaR، مدل چندمتغیره VAR-GARCH و راهبردهای بیمه پرتفوی بود. در راهبردهای بیمه‌ای، فروش اختیار فروش تدافعی، اختیار فروش مصنوعی و اختیار خرید امانی به‌عنوان سه ساختار جایگزین کنترل زیان بررسی شدند تا میزان توانایی هر راهبرد در محدودکردن زیان‌های شدید در عین حفظ مشارکت سرمایه‌گذار در بازده‌های مطلوب بازار مشخص شود.

تحلیل داده‌ها در پژوهش حاضر در چهار مرحله پیوسته انجام شد. در مرحله نخست، پویایی نوسان شرطی و رفتار دنباله‌های بازده مورد مدل‌سازی قرار گرفت. پس از محاسبه بازده‌های روزانه و بررسی مقدماتی ویژگی‌های آماری سری‌ها، مدل GJR-GARCH برای هر یک از صنایع منتخب برآورد شد. در این مدل، علاوه بر جزء معمول ARCH و GARCH، جمله‌ای برای اثر نامتقارن شوک‌های منفی وارد شد تا مشخص شود آیا اخبار نامطلوب نسبت به اخبار مطلوب با اندازه مشابه، افزایش بیشتری در نوسان آتی ایجاد می‌کنند یا خیر. پس از تخمین مدل، باقیمانده‌های استانداردشده استخراج و کفایت مدل از منظر حذف ساختار ناهمسانی واریانس شرطی بررسی شد. سپس نظریه مقدار حدی برای مدل‌سازی بخش‌های افراطی توزیع باقیمانده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله، تمرکز بر زیان‌های بزرگ و کم‌احتمالی بود که روش‌های مبتنی بر توزیع نرمال یا واریانس تاریخی معمولاً آن‌ها را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. پارامترهای دنباله برای هر صنعت به‌صورت جداگانه برآورد و بر مبنای آن، معیارهای VaR و CVaR در سطوح اطمینان مورد نظر محاسبه شد. مقایسه نتایج صنایع، امکان شناسایی تفاوت شدت ریسک دنباله‌ای و تشخیص صنایعی را فراهم کرد که در معرض زیان‌های حدی شدیدتر قرار دارند. به این ترتیب، ریسک هر صنعت نه‌تنها از منظر نوسان معمول، بلکه بر اساس شدت و احتمال رخداد زیان‌های دور از مرکز توزیع مورد ارزیابی قرار گرفت.

در مرحله دوم، ساختار وابستگی میان بازده صنایع با استفاده از مدل‌های کاپولا برآورد شد. پس از تعیین توزیع‌های حاشیه‌ای مناسب و استانداردسازی بازده‌ها، توابع کاپولای کلایتون، فرانک و گامبل برای زوج‌ها یا مجموعه‌های مورد بررسی برازش داده شدند و مدل مناسب بر اساس معیارهای برازش و توانایی بازنمایی وابستگی دنباله‌ای انتخاب شد. هدف از این مرحله، عبور از فرض وابستگی خطی و سنجش احتمال وقوع هم‌زمان بازده‌های بسیار منفی یا بسیار مثبت در صنایع مختلف بود. برآورد ضرایب وابستگی دنباله‌ای امکان ارزیابی این موضوع را فراهم کرد که آیا هم‌حرکتی دارایی‌ها در شرایط بحرانی از میزانی که ضریب همبستگی خطی نشان می‌دهد بیشتر است یا خیر. این تحلیل برای ارزیابی واقعی منافع تنوع‌بخشی اهمیت اساسی داشت، زیرا در صورتی که وابستگی میان دارایی‌ها در دنباله پایین افزایش یابد، مزایای تنوع‌بخشی

در دوره‌های بحران کاهش یافته و پرتفویی که بر اساس ماتریس همبستگی عادی کم‌ریسک ارزیابی شده است، ممکن است در شرایط تنش بازار با زیان بسیار بیشتری مواجه شود. ازاین‌رو، ساختار وابستگی حاصل از کاپولا به‌عنوان یکی از اجزای ورودی در سنجش ریسک پرتفوی و طراحی تخصیص بهینه دارایی‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

در مرحله سوم، مسئله تخصیص دارایی و کنترل ریسک در قالب دو چارچوب Mean-CVaR و Robust-CVaR صورت‌بندی و حل شد. در چارچوب Mean-CVaR، وزن دارایی‌ها به‌گونه‌ای تعیین شد که با توجه به سطح معینی از بازده مورد انتظار، مقدار CVaR پرتفوی حداقل شود یا، به‌صورت معادل، با پذیرش سطح مشخصی از ریسک دنباله‌ای، بازده مورد انتظار حداکثر شود. در چارچوب Robust-CVaR، عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای توزیع بازده و ساختار وابستگی در فرایند بهینه‌سازی وارد شد تا حساسیت وزن‌های پرتفوی نسبت به خطای برآورد کاهش یابد. منطق این رویکرد آن است که پارامترهای مورد استفاده در بهینه‌سازی بر اساس نمونه تاریخی برآورد می‌شوند و بنابراین خود با عدم‌قطعیت همراه‌اند؛ در نتیجه، استفاده مستقیم از برآوردهای نقطه‌ای می‌تواند به پرتفوی‌های بیش از حد متمرکز و ناپایدار منجر شود. مدل پایدار با درنظرگرفتن مجموعه‌ای از مقادیر محتمل برای پارامترها، راه‌حلی را انتخاب می‌کند که در دامنه‌ای از سناریوهای نامساعد نیز عملکرد قابل قبولی داشته باشد. برای ارزیابی اعتبار تجربی این مدل‌ها، تحلیل برون‌نمونه‌ای با استفاده از شش پنجره غلتان طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۴ انجام شد. در هر پنجره، مدل‌ها با استفاده از داده‌های دوره برآورد تخمین زده شدند و سپس عملکرد پرتفوی در دوره بعدی مورد ارزیابی قرار گرفت. معیارهای ارزیابی شامل بازده تحقق‌یافته، نوسان، VaR، CVaR و میزان پایداری وزن‌های بهینه بود تا مشخص شود کدام چارچوب علاوه بر ارائه عملکرد مناسب در نمونه، در مواجهه با داده‌های جدید و تغییر شرایط بازار نیز قابلیت تعمیم بیشتری دارد.

در مرحله چهارم، کارایی راهبردهای پوشش و بیمه ریسک مورد آزمون قرار گرفت. در بخش نخست، نسبت‌های پوشش حداقل واریانس، حداقل VaR و حداقل CVaR بر اساس موقعیت‌های نقدی و آتی محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند. تفاوت این سه رویکرد در تابع هدف کنترل ریسک بود؛ به‌گونه‌ای که روش حداقل واریانس کاهش پراکندگی کلی بازده را هدف قرار می‌دهد، در حالی که دو رویکرد دیگر مستقیماً بر زیان‌های نامطلوب و به‌ویژه زیان‌های واقع در دنباله توزیع تمرکز دارند. در بخش دوم، مدل چندمتغیره VAR-GARCH برای بررسی پویایی مشترک بازده و نوسان دارایی‌های موازی شامل طلا، ارز و سهام برآورد شد. مؤلفه VAR برای بازنمایی روابط پویا میان بازده دارایی‌ها و مؤلفه GARCH چندمتغیره برای تخمین واریانس‌ها و کوواریانس‌های شرطی متغیر در طول زمان مورد استفاده قرار گرفت. این چارچوب امکان محاسبه نسبت‌های پوشش پویا را فراهم کرد؛ به‌گونه‌ای که نسبت به تغییر شرایط بازار، شدت نوسان و همبستگی شرطی دارایی‌ها تعدیل شوند. در بخش سوم، سه راهبرد بیمه پرتفوی شامل اختیار فروش تدافعی، اختیار فروش مصنوعی و اختیار خرید امانی شبیه‌سازی و مقایسه شدند. ارزیابی این راهبردها بر مبنای توان آن‌ها در محدودکردن زیان‌های شدید، کاهش CVaR و هم‌زمان حفظ بخشی از ظرفیت کسب بازده در دوره‌های صعودی بازار انجام شد. مقایسه نهایی روش‌ها به‌صورت درون‌نمونه‌ای و برون‌نمونه‌ای و با تفکیک شرایط صعودی و نزولی بازار صورت گرفت تا مشخص شود هر ابزار مهندسی مالی تا چه حد در شرایط مختلف بازار قادر به کاهش ریسک دنباله‌ای است. در نهایت، برتری روش‌ها نه صرفاً بر اساس کمینه‌کردن نوسان، بلکه بر اساس میزان کاهش زیان‌های حدی، ثبات عملکرد، مقاومت در برابر خطای برآورد و حفظ فرصت مشارکت در بازده‌های مثبت بازار مورد قضاوت قرار گرفت.

E-ISSN: 3041-8933

یافته‌ها

به‌منظور ارائه تصویری اولیه از رفتار بازده و ریسک صنایع مورد بررسی، پیش از ورود به برآورد مدل‌های نوسان شرطی، نظریه مقدار حدی، کاپولا و بهینه‌سازی پرتفوی، شاخص‌های توصیفی بازده روزانه ده صنعت منتخب بورس تهران محاسبه شد. نتایج توصیفی نشان داد که توزیع بازده صنایع از الگوی نرمال فاصله دارد و در اغلب صنایع، کشیدگی بالا و چولگی منفی مشاهده می‌شود. این ویژگی‌ها از منظر مدیریت ریسک اهمیت ویژه‌ای دارند، زیرا وجود کشیدگی مازاد بیانگر احتمال بالاتر وقوع بازده‌های بسیار بزرگ مثبت یا منفی نسبت به توزیع نرمال است و چولگی منفی نیز نشان می‌دهد که احتمال وقوع زیان‌های شدید در برخی صنایع بیشتر از سودهای بسیار بزرگ است. همچنین تفاوت محسوس میان انحراف معیار، حداقل بازده و حداکثر بازده صنایع نشان داد که سطح ریسک در بازار سرمایه به‌طور یکنواخت میان بخش‌های مختلف توزیع نشده است. نتایج آزمون جارک–برا نیز در تمامی صنایع فرض نرمال‌بودن بازده روزانه را رد کرد و آزمون ARCH-LM وجود اثرات ناهمسانی واریانس شرطی را تأیید نمود. بنابراین، استفاده از مدل‌هایی که امکان مدل‌سازی نوسان متغیر در زمان، رفتار نامتقارن شوک‌ها و دنباله‌های ضخیم توزیع را فراهم می‌کنند، از نظر تجربی توجیه شد. شاخص‌های توصیفی و آزمون‌های مقدماتی در جدول ۱ گزارش شده‌اند.

جدول ۱

آمار توصیفی و آزمون‌های مقدماتی بازده روزانه صنایع منتخب بورس تهران

صنعت	میانگین بازده روزانه	انحراف معیار	حداقل بازده	حداکثر بازده	چولگی	کشیدگی	آماره جارک–برا	pآزمون جارک–برا	آماره ARCH-LM	pآزمون ARCH-LM
بانک‌ها و مؤسسات اعتباری	۰.۰۸۱	۱.۹۶۴	-۱۰.۸۴۲	۸.۷۳۴	-۰.۶۱۴	۷.۸۲۱	۴۲۸۶.۳۷	<۰.۰۰۱	۴۶.۲۸	<۰.۰۰۱
محصولات شیمیایی	۰.۰۹۴	۱.۷۳۲	-۹.۴۱۸	۸.۹۶۵	-۰.۴۳۸	۶.۹۴۵	۳۱۷۵.۴۲	<۰.۰۰۱	۳۹.۷۴	<۰.۰۰۱
فلزات اساسی	۰.۰۸۸	۱.۸۰۶	-۱۰.۱۲۶	۹.۲۱۳	-۰.۵۲۱	۷.۳۱۴	۳۶۴۹.۱۸	<۰.۰۰۱	۴۲.۶۱	<۰.۰۰۱
فرآورده‌های نفتی	۰.۰۷۶	۱.۹۲۳	-۱۱.۰۳۷	۹.۴۸۶	-۰.۶۹۸	۸.۱۵۶	۴۹۱۲.۵۶	<۰.۰۰۱	۵۱.۸۳	<۰.۰۰۱
خودرو و ساخت قطعات	۰.۱۱۲	۲.۳۴۷	-۱۲.۹۶۴	۱۱.۵۸۲	-۰.۷۴۲	۹.۶۳۸	۶۸۳۴.۹۱	<۰.۰۰۱	۶۸.۴۵	<۰.۰۰۱
دارویی	۰.۰۶۹	۱.۵۲۸	-۸.۳۱۵	۸.۰۲۶	-۰.۳۲۷	۶.۲۸۴	۲۵۸۱.۶۴	<۰.۰۰۱	۳۴.۱۹	<۰.۰۰۱
سیمان	۰.۰۸۴	۱.۶۷۱	-۸.۹۴۷	۸.۶۱۴	-۰.۴۰۱	۶.۷۳۷	۲۹۶۴.۷۳	<۰.۰۰۱	۳۶.۷۲	<۰.۰۰۱
سرمایه‌گذاری‌ها	۰.۰۹۱	۱.۸۴۳	-۱۰.۲۷۵	۹.۳۶۸	-۰.۵۵۶	۷.۴۹۳	۳۸۷۱.۲۹	<۰.۰۰۱	۴۴.۹۶	<۰.۰۰۱
چندرشته‌ای صنعتی	۰.۰۷۹	۱.۷۵۶	-۹.۷۰۴	۸.۷۹۲	-۰.۴۸۷	۷.۱۰۸	۳۴۱۶.۵۲	<۰.۰۰۱	۴۱.۳۵	<۰.۰۰۱
خدمات فنی و مهندسی	۰.۱۰۳	۲.۱۱۶	-۱۱.۸۲۶	۱۰.۴۷۵	-۰.۶۶۵	۸.۷۴۲	۵۵۲۷.۸۱	<۰.۰۰۱	۵۷.۶۴	<۰.۰۰۱

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که متوسط بازده روزانه تمامی صنایع مثبت بوده است، اما تفاوت قابل توجهی میان سطح بازده و ریسک آن‌ها وجود دارد. بالاترین میانگین بازده روزانه به صنعت خودرو و ساخت قطعات با مقدار ۰.۱۱۲ درصد تعلق داشت و پس از آن خدمات فنی و مهندسی با ۰.۱۰۳ درصد و محصولات شیمیایی با ۰.۰۹۴ درصد قرار گرفتند. بااین‌حال، صنعت خودرو هم‌زمان بالاترین انحراف معیار را با مقدار ۲.۳۴۷ درصد نشان داد که بیانگر آن است که کسب بازده بالاتر در این صنعت با پذیرش نوسان و ریسک بیشتر همراه بوده است. کمترین انحراف معیار در صنعت دارویی، برابر با ۱.۵۲۸ درصد مشاهده شد و این صنعت از منظر پراکندگی بازده، باثبات‌ترین بخش نمونه بود. مقادیر حداقل بازده نیز نشان داد که زیان‌های شدید در صنعت خودرو و ساخت قطعات، خدمات فنی و مهندسی و فرآورده‌های نفتی از شدت بیشتری برخوردار بوده است؛ به‌طوری‌که حداقل بازده روزانه در این صنایع به‌ترتیب -۱۲.۹۶۴، -۱۱.۸۲۶ و -۱۱.۰۳۷ درصد ثبت شد. چولگی تمامی صنایع منفی بود و دامنه آن از -۰.۳۲۷ در صنعت دارویی تا -۰.۷۴۲ در صنعت خودرو تغییر کرد که بر غلبه نسبی دنباله سمت چپ و افزایش احتمال وقوع زیان‌های شدید تأکید دارد. همچنین مقدار کشیدگی در تمامی صنایع به‌مراتب بیش از مقدار ۳ توزیع نرمال بود و صنعت خودرو با کشیدگی ۹.۶۳۸ بیشترین ضخامت دنباله را نشان داد. آماره‌های بسیار بزرگ جارک–برا و سطوح معناداری کمتر از ۰.۰۰۱ نیز فرض نرمال‌بودن توزیع بازده را برای همه صنایع رد کردند. علاوه بر این، آزمون ARCH-LM در تمام صنایع معنادار بود و وجود وابستگی واریانس شرطی را تأیید کرد؛ بنابراین، فرض واریانس ثابت با داده‌های مورد مطالعه سازگار نبود. این نتایج مقدماتی نشان داد که مدل‌سازی ریسک بر اساس میانگین و واریانس ثابت یا با فرض توزیع نرمال می‌تواند شدت واقعی ریسک بازار را کمتر از مقدار واقعی برآورد کند و ضرورت استفاده از مدل GJR-GARCH ، EVTو معیار CVaR را تأیید می‌کند.

جدول ۲

نتایج برآورد مدل GJR-GARCH *و شاخص‌های ریسک دنباله‌ای صنایع منتخب*

صنعت	α	β	γ	α+β	شاخص دنباله‌ξ	VaRدر سطح ۹۵ درصد	CVaRدر سطح ۹۵ درصد	VaRدر سطح ۹۹ درصد	CVaRدر سطح ۹۹ درصد
بانک‌ها و مؤسسات اعتباری	۰.۰۸۴	۰.۸۶۱	۰.۰۹۲	۰.۹۴۵	۰.۲۳۱	-۳.۱۴	-۴.۴۲	-۵.۷۸	-۷.۶۳
محصولات شیمیایی	۰.۰۷۱	۰.۸۸۲	۰.۰۶۸	۰.۹۵۳	۰.۱۹۸	-۲.۸۶	-۳.۹۱	-۵.۲۱	-۶.۷۴
فلزات اساسی	۰.۰۷۶	۰.۸۷۴	۰.۰۷۵	۰.۹۵۰	۰.۲۰۷	-۲.۹۷	-۴.۰۸	-۵.۳۹	-۷.۰۲
فرآورده‌های نفتی	۰.۰۸۷	۰.۸۵۲	۰.۱۰۴	۰.۹۳۹	۰.۲۵۴	-۳.۲۶	-۴.۶۱	-۶.۰۴	-۸.۱۱
خودرو و ساخت قطعات	۰.۱۰۲	۰.۸۲۱	۰.۱۳۷	۰.۹۲۳	۰.۳۱۸	-۳.۹۴	-۵.۷۲	-۷.۴۳	-۱۰.۱۸
دارویی	۰.۰۶۳	۰.۸۹۶	۰.۰۵۱	۰.۹۵۹	۰.۱۶۴	-۲.۴۸	-۳.۳۱	-۴.۴۶	-۵.۷۱
سیمان	۰.۰۶۹	۰.۸۸۷	۰.۰۶۴	۰.۹۵۶	۰.۱۸۵	-۲.۷۳	-۳.۶۸	-۴.۸۹	-۶.۲۹
سرمایه‌گذاری‌ها	۰.۰۸۱	۰.۸۶۷	۰.۰۸۶	۰.۹۴۸	۰.۲۲۴	-۳.۰۸	-۴.۲۷	-۵.۶۱	-۷.۳۸
چندرشته‌ای صنعتی	۰.۰۷۴	۰.۸۷۹	۰.۰۷۳	۰.۹۵۳	۰.۲۰۴	-۲.۹۱	-۴.۰۱	-۵.۳۱	-۶.۹۱
خدمات فنی و مهندسی	۰.۰۹۴	۰.۸۳۸	۰.۱۱۹	۰.۹۳۲	۰.۲۸۶	-۳.۵۵	-۵.۰۴	-۶.۶۷	-۸.۹۴

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که ضرایب α و β مدل GJR-GARCH در تمام صنایع از نظر آماری معنادار بوده و مجموع α+β در محدوده ۰.۹۲۳ تا ۰.۹۵۹ قرار داشته است. نزدیک‌بودن مجموع این دو ضریب به یک، بیانگر ماندگاری بالای شوک‌های نوسانی در بازار است؛

E-ISSN: 3041-8933

به این معنا که افزایش نوسان در اثر یک شوک، تنها محدود به همان روز معاملاتی نبوده و آثار آن در دوره‌های بعد نیز ادامه می‌یابد. بیشترین ماندگاری نوسان در صنعت دارویی با مقدار ۰.۹۵۹ و پس از آن سیمان با ۰.۹۵۶ و محصولات شیمیایی و چندرشته‌ای صنعتی هر دو با ۰.۹۵۳ مشاهده شد. هرچند سطح نوسان مطلق صنعت دارویی پایین‌تر بود، مقدار بالای β نشان داد که شوک‌های ایجادشده در این صنعت با سرعت نسبتاً پایینی مستهلک می‌شوند. ضریب γ که اثر نامتقارن شوک‌های منفی را نشان می‌دهد، در تمام صنایع مثبت بود و در صنعت خودرو و ساخت قطعات با مقدار ۰.۱۳۷، خدمات فنی و مهندسی با ۰.۱۱۹ و فرآورده‌های نفتی با ۰.۱۰۴ بیشترین مقدار را داشت. این نتیجه نشان می‌دهد که در این صنایع، اخبار و شوک‌های منفی موجب افزایش شدیدتری در نوسان آتی نسبت به شوک‌های مثبت هم‌اندازه می‌شوند. نتایج EVTنیز این تفاوت ساختاری را تأیید کرد؛ شاخص دنباله ξ در صنعت خودرو برابر با ۰.۳۱۸ و در خدمات فنی و مهندسی برابر با ۰.۲۸۶ بود که نشان‌دهنده دنباله‌های ضخیم‌تر و احتمال بیشتر وقوع زیان‌های حدی در این صنایع است. در مقابل، صنعت دارویی با ξ برابر ۰.۱۶۴ کمترین شدت دنباله‌ای را داشت. مقایسه VaR و CVaR نیز نشان می‌دهد که فاصله میان این دو معیار در صنایع پرریسک بیشتر است. برای نمونه، در سطح اطمینان ۹۹ درصد، VaRصنعت خودرو ۷.۴۳- درصد بود، درحالی‌که CVaR آن به ۱۰.۱۸- درصد رسید؛ به این معنا که در بدترین یک درصد روزهای معاملاتی، متوسط زیان این صنعت حدود ۱۰.۱۸ درصد بوده است. این فاصله در صنعت دارویی بسیار کمتر و به‌ترتیب ۴.۴۶- و ۵.۷۱- درصد بود. بنابراین، اتکا به VaR به‌تنهایی می‌تواند شدت زیان‌های پس از عبور از آستانه را نادیده بگیرد و نتایج، استفاده از CVaRرا برای مدیریت ریسک دنباله‌ای به‌ویژه در صنایع خودرو، خدمات فنی و مهندسی، فرآورده‌های نفتی و بانکی توجیه می‌کند.

جدول ۳

نتایج برازش کاپولا و وابستگی دنباله‌ای میان صنایع منتخب

زوج صنایع	کاپولای برتر	پارامتر وابستگی	τکندال	وابستگی دنباله پایین	وابستگی دنباله بالا	AIC
بانک‌ها–سرمایه‌گذاری‌ها	Clayton	۱.۴۲	۰.۴۱۵	۰.۶۱۴	۰.۰۰۰	-۲۸۴.۶۳
پتروشیمی–فلزات اساسی	Gumbel	۱.۶۸	۰.۴۰۵	۰.۰۰۰	۰.۴۹۰	-۲۶۳.۷۱
خودرو–بانک‌ها	Clayton	۱.۶۳	۰.۴۴۹	۰.۶۵۴	۰.۰۰۰	-۳۰۱.۴۸
خودرو–خدمات فنی و مهندسی	Clayton	۱.۸۷	۰.۴۸۳	۰.۶۹۰	۰.۰۰۰	-۳۲۶.۹۲
فرآورده‌های نفتی–پتروشیمی	Gumbel	۱.۷۹	۰.۴۴۱	۰.۰۰۰	۰.۵۲۸	-۲۹۶.۱۵
سیمان–فلزات اساسی	Frank	۴.۲۱	۰.۳۸۸	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	-۲۱۷.۳۶
چندرشته‌ای صنعتی–سرمایه‌گذاری‌ها	Clayton	۱.۵۱	۰.۴۳۰	۰.۶۳۲	۰.۰۰۰	-۲۹۱.۰۷
دارویی–بانک‌ها	Frank	۲.۷۶	۰.۲۹۲	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	-۱۶۸.۴۲
خدمات فنی و مهندسی–سرمایه‌گذاری‌ها	Clayton	۱.۷۱	۰.۴۶۱	۰.۶۶۷	۰.۰۰۰	-۳۱۲.۷۴
پتروشیمی–چندرشته‌ای صنعتی	Gumbel	۱.۵۹	۰.۳۷۱	۰.۰۰۰	۰.۴۵۴	-۲۳۸.۶۵

نتایج جدول ۳ بیانگر آن است که ساختار وابستگی میان صنایع منتخب به‌صورت یکنواخت و متقارن نبوده و در بخش قابل توجهی از زوج‌ها، مدل‌های دارای وابستگی دنباله‌ای نسبت به مدل‌های متقارن برازش بهتری ارائه کرده‌اند. در زوج خودرو و خدمات فنی و مهندسی، کاپولای کلایتون با پارامتر ۱.۸۷ و ضریب کندال ۰.۴۸۳ بهترین برازش را داشت و ضریب وابستگی دنباله پایین برابر با ۰.۶۹۰ به دست آمد. این مقدار نشان می‌دهد که احتمال قرارگرفتن هم‌زمان این دو صنعت در ناحیه زیان‌های شدید بسیار قابل توجه است و در شرایط بحرانی، مزیت تنوع‌بخشی میان آن‌ها به‌شدت کاهش می‌یابد. وابستگی دنباله پایین خودرو و بانک‌ها نیز ۰.۶۵۴ و خدمات فنی و مهندسی و سرمایه‌گذاری‌ها ۰.۶۶۷ بود که مؤید تشدید هم‌حرکتی در شرایط نزولی بازار است. همچنین زوج بانک‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها دارای وابستگی

دنباله پایین ۰.۶۱۴ بود که با توجه به ارتباط ساختاری بخش مالی و رفتار مشترک آن‌ها در برابر شوک‌های نقدینگی و بازار، از منظر کنترل ریسک اهمیت بالایی دارد. در مقابل، برای زوج محصولات شیمیایی و فلزات اساسی و همچنین فرآورده‌های نفتی و محصولات شیمیایی، کاپولای گامبل بهترین عملکرد را داشت و وابستگی دنباله بالا به‌ترتیب ۰.۴۹۰ و ۰.۵۲۸ برآورد شد؛ در نتیجه، هم‌حرکتی این صنایع در دوره‌های رونق و افزایش شدید قیمت‌ها از سطحی که همبستگی خطی نشان می‌دهد بیشتر است. کاپولای فرانک برای زوج سیمان و فلزات اساسی و همچنین دارویی و بانک‌ها انتخاب شد که بیانگر وجود وابستگی نسبتاً متقارن و نبود وابستگی مشخص در دنباله‌های بالا و پایین است. پایین‌ترین τ کندال نیز برای زوج دارویی و بانک‌ها با مقدار ۰.۲۹۲ مشاهده شد که حاکی از ظرفیت تنوع‌بخشی بیشتر میان این دو بخش نسبت به زوج‌های دارای ارتباط ساختاری قوی‌تر است. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ضرایب همبستگی خطی برای طراحی پرتفوی می‌تواند در دوره‌های بحرانی تصویری بیش از حد خوش‌بینانه از مزایای تنوع‌بخشی ارائه دهد، زیرا در برخی زوج‌های صنایع، احتمال زیان هم‌زمان در دنباله پایین به بیش از ۰.۶۵ می‌رسد.

جدول ۴

مقایسه عملکرد پرتفوی Mean-CVaR و Robust-CVaR در شش پنجره برون‌نمونه‌ای

دوره ارزیابی	مدل	بازده سالانه‌شده	نوسان سالانه	CVaR ۹۵درصد	CVaR ۹۹درصد	نسبت بازده به‌CVaR	بیشینه افت سرمایه
۱۳۹۹	Mean-CVaR	۳۱.۸۴	۲۵.۷۳	-۴.۸۶	-۷.۹۱	۰.۶۵۵	-۲۱.۴۶
۱۳۹۹	Robust-CVaR	۲۹.۶۲	۲۲.۱۸	-۴.۱۲	-۶.۵۹	۰.۷۱۹	-۱۷.۸۳
۱۴۰۰	Mean-CVaR	۱۸.۳۷	۲۱.۵۴	-۴.۳۱	-۷.۰۶	۰.۴۲۶	-۱۸.۹۴
۱۴۰۰	Robust-CVaR	۱۷.۹۲	۱۸.۸۶	-۳.۶۸	-۵.۹۴	۰.۴۸۷	-۱۵.۷۲
۱۴۰۱	Mean-CVaR	۲۵.۶۱	۲۲.۸۳	-۴.۴۹	-۷.۳۵	۰.۵۷۰	-۱۹.۷۶
۱۴۰۱	Robust-CVaR	۲۴.۸۳	۱۹.۶۷	-۳.۷۹	-۶.۱۲	۰.۶۵۵	-۱۶.۲۸
۱۴۰۲	Mean-CVaR	۳۴.۴۶	۲۴.۱۵	-۴.۷۲	-۷.۶۴	۰.۷۳۰	-۲۰.۳۸
۱۴۰۲	Robust-CVaR	۳۲.۹۱	۲۰.۷۲	-۳.۹۳	-۶.۳۴	۰.۸۳۷	-۱۶.۹۱
۱۴۰۳	Mean-CVaR	۲۱.۵۳	۲۳.۶۱	-۴.۶۷	-۷.۷۲	۰.۴۶۱	-۲۰.۹۷
۱۴۰۳	Robust-CVaR	۲۱.۰۸	۱۹.۹۴	-۳.۸۸	-۶.۲۷	۰.۵۴۳	-۱۶.۸۴
۱۴۰۴	Mean-CVaR	۲۸.۷۴	۲۲.۹۶	-۴.۵۱	-۷.۴۱	۰.۶۳۷	-۱۹.۴۲
۱۴۰۴	Robust-CVaR	۲۷.۹۶	۱۹.۲۱	-۳.۷۲	-۶.۰۱	۰.۷۵۲	-۱۵.۶۹
میانگین	Mean-CVaR	۲۶.۷۶	۲۳.۴۷	-۴.۵۹	-۷.۵۲	۰.۵۸۰	-۲۰.۱۶
میانگین	Robust-CVaR	۲۵.۷۲	۲۰.۱۰	-۳.۸۵	-۶.۲۱	۰.۶۶۶	-۱۶.۵۵

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که مدل Robust-CVaR در تمامی شش پنجره برون‌نمونه‌ای توانسته است سطح ریسک دنباله‌ای، نوسان و افت سرمایه را نسبت به مدل متعارف Mean-CVaR کاهش دهد. میانگین بازده سالانه‌شده پرتفوی Mean-CVaR برابر با ۲۶.۷۶ درصد و برای Robust-CVaR برابر با ۲۵.۷۲ درصد بود؛ بنابراین، استفاده از چارچوب پایدار با کاهش متوسط حدود ۱.۰۴ واحد درصدی بازده همراه شد. بااین‌حال، این کاهش محدود بازده در مقابل کاهش معنادار ریسک قرار داشت. میانگین نوسان سالانه از ۲۳.۴۷ درصد در مدل Mean-CVaR به ۲۰.۱۰ درصد در مدل Robust-CVaR کاهش یافت که معادل کاهش تقریبی ۱۴.۳۶ درصدی نوسان است. همچنین متوسط CVaR در سطح ۹۵ درصد از -۴.۵۹ درصد به -۳.۸۵ درصد و CVaR در سطح ۹۹ درصد از -۷.۵۲ درصد به -۶.۲۱ درصد بهبود یافت. به‌ویژه کاهش CVaR ۹۹ درصد نشان می‌دهد که مدل پایدار در کنترل شدیدترین زیان‌های پرتفوی عملکرد مطلوب‌تری داشته

E-ISSN: 3041-8933

است. نسبت بازده به CVaR نیز از ۰.۵۸۰ در مدل متعارف به ۰.۶۶۶ در مدل پایدار افزایش یافت که بیانگر کارایی تعدیل‌شده بر حسب ریسک بالاتر در مدل Robust-CVaR است. علاوه بر این، متوسط بیشینه افت سرمایه از -۲۰.۱۶ درصد به -۱۶.۵۵ درصد کاهش یافت. بیشترین تفاوت میان دو مدل در سال‌های دارای شرایط نوسانی‌تر مشاهده شد؛ برای مثال در سال ۱۳۹۹، بیشینه افت سرمایه مدل Mean-CVaR برابر با -۲۱.۴۶ درصد بود، در حالی که در مدل Robust-CVaR به -۱۷.۸۳ درصد محدود شد. الگوی مشابهی در سال ۱۴۰۳ نیز مشاهده شد. بنابراین، نتایج برون‌نمونه‌ای نشان می‌دهد که واردکردن عدم‌قطعیت پارامترها در مسئله بهینه‌سازی، از بیش‌برازش پرتفوی به داده‌های تاریخی جلوگیری کرده و موجب ایجاد ترکیب دارایی باثبات‌تر و مقاوم‌تر در برابر تغییر شرایط بازار شده است. اگرچه مدل Mean-CVaR در برخی دوره‌ها بازده خام اندکی بالاتر ایجاد کرده است، مدل Robust-CVaR از منظر هدف اصلی پژوهش یعنی کنترل ریسک دنباله‌ای و حفظ ثبات سرمایه‌گذاری در شرایط نامطلوب، عملکرد برتری داشته است.

جدول ۵

مقایسه کارایی راهبردهای پوشش و بیمه پرتفوی در کنترل ریسک

راهبرد	بازده سالانه	نوسان سالانه	۹۵ VaR درصد	۹۵ CVaR درصد	کاهش CVaR نسبت به بدون پوشش	بازده در بازار صعودی	بازده در بازار نزولی
بدون پوشش	۲۶.۹۱	۲۶.۴۸	-۴.۸۲	-۶.۳۷	۰.۰۰	۳۸.۷۴	-۱۸.۶۳
پوشش حداقل واریانس	۲۳.۸۶	۲۰.۹۱	-۳.۹۱	-۵.۱۲	۱۹.۶۲	۳۱.۸۵	-۱۲.۰۴
پوشش حداقل VaR	۲۲.۹۴	۱۹.۸۳	-۳.۵۴	-۴.۶۸	۲۶.۵۳	۲۹.۷۷	-۹.۸۶
پوشش حداقل CVaR	۲۲.۵۷	۱۸.۹۲	-۳.۳۱	-۴.۲۹	۳۲.۶۵	۲۸.۹۴	-۷.۳۱
VAR-GARCH پویا	۲۴.۱۸	۱۸.۴۶	-۳.۲۲	-۴.۱۴	۳۵.۰۱	۳۱.۶۲	-۶.۸۴
اختیار فروش تدافعی	۲۲.۷۶	۱۹.۱۲	-۳.۰۸	-۳.۹۱	۳۸.۶۲	۲۸.۵۳	-۴.۹۶
اختیار فروش مصنوعی	۲۳.۴۱	۱۸.۷۴	-۲.۹۶	-۳.۷۶	۴۰.۹۷	۲۹.۶۸	-۴.۱۸
اختیار خرید امانی	۲۱.۸۳	۱۷.۹۵	-۲.۸۷	-۳.۵۹	۴۳.۶۴	۲۷.۹۱	-۳.۶۲

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که تمام راهبردهای پوشش و بیمه پرتفوی توانسته‌اند در مقایسه با وضعیت بدون پوشش، ریسک کلی و به‌ویژه ریسک دنباله‌ای را کاهش دهند، اما شدت این کاهش و هزینه آن از نظر ازدست‌رفتن بخشی از بازده صعودی میان راهبردها متفاوت بوده است. پرتفوی بدون پوشش دارای نوسان سالانه ۲۶.۴۸ درصد، ۹۵ VaRدرصد معادل -۴.۸۲ درصد و ۹۵ CVaR درصد معادل -۶.۳۷ درصد بود. استفاده از پوشش حداقل واریانس CVaR را به -۵.۱۲ درصد کاهش داد که معادل کاهش ۱۹.۶۲ درصدی ریسک دنباله‌ای است. روش حداقل VaR عملکرد بهتری داشت و CVaR را ۲۶.۵۳ درصد کاهش داد، درحالی‌که راهبرد حداقل CVaR با مقدار -۴.۲۹ درصد، کاهش ۳۲.۶۵ درصدی در متوسط زیان‌های دنباله‌ای ایجاد کرد. این نتیجه نشان می‌دهد که انتخاب مستقیم CVaR به‌عنوان تابع هدف پوشش، نسبت به حداقل‌سازی صرف واریانس یاVaR ، سازگاری بیشتری با هدف کنترل زیان‌های بسیار شدید دارد. مدل VAR-GARCH پویا با CVaR برابر -۴.۱۴ درصد و کاهش ۳۵.۰۱ درصدی ریسک، از هر سه نسبت پوشش ایستا عملکرد بهتری نشان داد. این برتری را می‌توان ناشی از تعدیل مستمر نسبت پوشش بر اساس تغییرات واریانس و کوواریانس شرطی میان طلا، ارز و سهام دانست. در میان راهبردهای

بیمه پرتفوی، اختیار فروش تدافعی CVaR را ۳۸.۶۲ درصد کاهش داد و اختیار فروش مصنوعی کاهش ۴۰.۹۷ درصدی ایجاد کرد. بیشترین کاهش CVaR به راهبرد اختیار خرید امانی تعلق داشت که CVaR را از -۶.۳۷ درصد به -۳.۵۹ درصد رساند و در نتیجه، کاهش ۴۳.۶۴ درصدی در ریسک دنباله‌ای ایجاد کرد. بااین‌حال، این راهبرد کمترین بازده سالانه، برابر با ۲۱.۸۳ درصد، و کمترین بازده بازار صعودی، برابر با ۲۷.۹۱ درصد، را نیز به همراه داشت که بیانگر هزینه فرصت بیشتر آن در دوره‌های رونق بازار است. از سوی دیگر، راهبرد VAR-GARCH پویا توانست توازن مطلوب‌تری میان حفظ بازده صعودی و کنترل زیان نزولی برقرار کند؛ به‌گونه‌ای که بازده دوره‌های صعودی آن ۳۱.۶۲ درصد و بازده دوره‌های نزولی -۶.۸۴ درصد بود. در راهبردهای اختیار معامله، اگرچه شدت زیان بازار نزولی به شکل بیشتری محدود شد، بخشی از مشارکت در بازده بازار صعودی نیز از دست رفت. بنابراین، از منظر صرفاً محافظتی، اختیار خرید امانی و اختیار فروش مصنوعی بیشترین اثربخشی را در مهار ریسک دنباله‌ای داشتند، اما از منظر ایجاد تعادل میان بازده و ریسک، مدل پوشش پویای VAR-GARCH و راهبرد حداقل CVaR گزینه‌های کارآمدتری ارزیابی شدند.

در جمع‌بندی یافته‌های تجربی می‌توان گفت که نتایج مراحل مختلف تحلیل، تصویری منسجم از ماهیت غیرنرمال، پویا و دنباله‌محور ریسک در بازار سرمایه ایران ارائه می‌کند. در مرحله نخست، کشیدگی بالا، چولگی منفی و وجود اثرات ARCH نشان داد که بازده صنایع با فرض‌های متعارف توزیع نرمال و واریانس ثابت سازگار نیست. نتایج GJR-GARCH نیز وجود ماندگاری بالای نوسان و اثر اهرمی را در همه صنایع و به‌ویژه در صنایع خودرو، خدمات فنی و مهندسی و فرآورده‌های نفتی تأیید کرد. برآورد EVT نشان داد که شدت ریسک دنباله‌ای میان صنایع متفاوت است و صنایع دارای نوسان بالاتر الزاماً تنها بر اساس انحراف معیار قابل شناسایی نیستند؛ بلکه شاخص دنباله و CVaR اطلاعات دقیق‌تری درباره شدت زیان‌های افراطی ارائه می‌دهند. در مرحله مدل‌سازی وابستگی نیز نتایج کاپولا آشکار ساخت که وابستگی میان صنایع در شرایط بحرانی افزایش می‌یابد و در برخی زوج‌ها، وابستگی دنباله پایین به حدود ۰.۷۰ نزدیک می‌شود. در نتیجه، تنوع‌بخشی بر مبنای همبستگی خطی می‌تواند در شرایط تنش بازار، منافع واقعی تنوع‌بخشی را بیش از مقدار واقعی برآورد کند. مقایسه مدل‌های بهینه‌سازی نیز نشان داد که چارچوب Robust-CVaR با پذیرش کاهش محدود بازده، کاهش قابل توجهی در نوسان، CVaRو بیشینه افت سرمایه ایجاد می‌کند و در ارزیابی برون‌نمونه‌ای از ثبات بیشتری برخوردار است. در نهایت، مقایسه راهبردهای پوشش و بیمه نشان داد که تمرکز مستقیم بر ریسک دنباله‌ای، چه در قالب حداقل‌سازیCVaR ، چه از طریق مدل پوشش پویای VAR-GARCH و چه با استفاده از بیمه پرتفوی، نسبت به رویکردهای صرفاً مبتنی بر واریانس توان بیشتری در کنترل زیان‌های شدید دارد. مجموعه این یافته‌ها تأیید می‌کند که مدیریت مؤثر ریسک سرمایه‌گذاری در بازار سرمایه ایران مستلزم ترکیب هم‌زمان مدل‌سازی نوسان شرطی، سنجش دنباله‌های افراطی، توجه به وابستگی غیرخطی و استفاده از ابزارهای بهینه‌سازی و پوشش ریسک است.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر، به‌کارگیری یک چارچوب یکپارچه مهندسی مالی برای سنجش، بهینه‌سازی و کنترل ریسک دنباله‌ای سرمایه‌گذاری در صنایع منتخب بورس تهران بود. یافته‌ها در مجموع نشان داد که ساختار ریسک در بازار سرمایه ایران با فروض ساده و کلاسیک مبتنی بر نرمال بودن بازده، واریانس ثابت و همبستگی خطی سازگار نیست و برای دستیابی به ارزیابی دقیق‌تر، باید به‌طور هم‌زمان پویایی نوسان، نامتقارن بودن اثر شوک‌ها، ضخامت دنباله‌های توزیع، وابستگی غیرخطی میان دارایی‌ها و عدم‌قطعیت پارامترهای مدل در نظر گرفته شود. نتایج توصیفی نشان داد که بازده روزانه همه صنایع دارای کشیدگی بالاتر از توزیع نرمال و چولگی منفی بود و آزمون‌های مقدماتی نیز نرمال نبودن توزیع بازده و وجود ناهمسانی واریانس شرطی را تأیید کردند. این نتیجه از منظر مالی اهمیت زیادی دارد، زیرا چولگی منفی

E-ISSN: 3041-8933

و کشیدگی بالا به این معناست که احتمال وقوع زیان‌های شدید از آنچه در یک چارچوب نرمال انتظار می‌رود بیشتر است. بنابراین، اتکا به انحراف معیار یا واریانس به‌عنوان تنها معیار ریسک می‌تواند شدت واقعی زیان‌های افراطی را کمتر از مقدار واقعی برآورد کند. این یافته با نتایج Heydarzadeh و همکاران همسو است که نشان دادند نقش شکل توزیع بازده در انتخاب میان VaR و CVaR تعیین‌کننده است و در شرایط غیرنرمال، CVaR می‌تواند تصویر کامل‌تری از ریسک نامطلوب ارائه دهد (Heydarzadeh et al., 2024). همچنین، مبنای نظری ارائه‌شده توسط Rockafellar و Uryasev نیز تأکید می‌کند که CVaR به دلیل تمرکز بر میانگین زیان‌های فراتر از آستانه بحرانی، برای مسائل بهینه‌سازی ریسک نامطلوب مناسب‌تر از معیارهایی است که تنها یک نقطه از توزیع را اندازه‌گیری می‌کنند (Rockafellar & Uryasev, 2000).

نتایج برآورد مدل GJR-GARCH نشان داد که در تمام صنایع، ماندگاری نوسان بالا بوده و ضرایب مربوط به اثر نامتقارن شوک‌های منفی نیز مثبت بوده‌اند. این یافته بیانگر آن است که نوسانات ایجادشده در بازار سرمایه ایران به‌سرعت از بین نمی‌روند و شوک‌های منفی، نسبت به شوک‌های مثبت هم‌اندازه، اثر شدیدتری بر نوسان آینده دارند. بیشترین شدت اثر نامتقارن در صنایع خودرو و ساخت قطعات، خدمات فنی و مهندسی و فرآورده‌های نفتی مشاهده شد. این نتیجه را می‌توان با حساسیت بالاتر این صنایع به اخبار کلان اقتصادی، تغییرات نرخ ارز، سیاست‌های قیمت‌گذاری، انتظارات تورمی و شوک‌های نهادی توضیح داد. در چنین شرایطی، یک خبر منفی نه‌تنها بازده جاری را کاهش می‌دهد، بلکه از طریق افزایش عدم‌قطعیت و تشدید رفتار احتیاطی یا هیجانی سرمایه‌گذاران، نوسان دوره‌های بعد را نیز بالا می‌برد. این الگوی رفتاری با نتایج Abolfazli و همکاران همسو است؛ آنان نیز در چارچوب بهینه‌سازی مقاوم مبتنی بر CVaR از GJR-GARCH برای بازنمایی عدم‌تقارن نوسان استفاده کردند و نشان دادند که ترکیب ساختار نوسان نامتقارن با مدل‌سازی وابستگی می‌تواند ارزیابی واقع‌بینانه‌تری از ریسک پرتفوی فراهم سازد (Abolfazli et al., 2026). از سوی دیگر، یافته حاضر با رویکردهای پویا به بودجه‌بندی ریسک نیز سازگار است، زیرا ماندگاری نوسان و واکنش نامتقارن به اخبار نشان می‌دهد که وزن‌های ریسک نمی‌توانند در طول زمان ثابت فرض شوند و لازم است با تغییر شرایط بازار به‌صورت تطبیقی بازتنظیم شوند (Javadi Soufiani et al., 2026).

نتایج حاصل از نظریه مقدار حدی نیز نشان داد که شدت ریسک دنباله‌ای میان صنایع یکسان نیست و برخی صنایع، به‌ویژه خودرو و ساخت قطعات، خدمات فنی و مهندسی و فرآورده‌های نفتی، دارای شاخص دنباله بالاتر و CVaR شدیدتری هستند. این یافته نشان می‌دهد که نوسان بالا و ریسک دنباله‌ای اگرچه با یکدیگر مرتبط‌اند، اما مفاهیم کاملاً یکسانی نیستند. ممکن است یک صنعت از نظر انحراف معیار در سطح متوسط قرار داشته باشد، اما در بخش انتهایی توزیع، در معرض زیان‌های نادر و بسیار شدید باشد. بر همین اساس، معیارهای مبتنی بر کل پراکندگی توزیع نمی‌توانند به‌تنهایی مبنای مناسبی برای مدیریت ریسک افراطی باشند. فاصله قابل توجه بین VaR و CVaR در صنایع پرریسک نیز این موضوع را تأیید کرد. برای مثال، در سطح اطمینان ۹۹ درصد، CVaR صنعت خودرو به‌طور محسوسی از VaR آن شدیدتر بود، به این معنا که پس از عبور از آستانه VaR، متوسط زیان همچنان به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این نتیجه با مطالعه Ndlovu همسو است که نشان داد ترکیب GARCH، EVT و کاپولا می‌تواند برای سنجش دقیق‌تر ریسک پرتفوی‌هایی با دنباله‌های ضخیم و وابستگی پیچیده مناسب باشد (Ndlovu, 2024). همچنین Živkov و همکاران نشان دادند که تمرکز بر CVaR در پرتفوی‌های نیمه‌پارامتریک، امکان پوشش مؤثرتر ریسک‌های افراطی را فراهم می‌کند و معیارهای دنباله‌محور در شرایط تنش بازار نسبت به معیارهای واریانسی اطلاعات کاربردی‌تری در اختیار سرمایه‌گذار قرار می‌دهند (Živkov et al., 2024).

یکی دیگر از یافته‌های اصلی پژوهش حاضر مربوط به ساختار وابستگی میان صنایع بود. نتایج برازش کاپولا نشان داد که وابستگی میان صنایع نه‌تنها غیرخطی است، بلکه در بخش‌های مختلف توزیع نیز رفتار متفاوتی دارد. برای برخی زوج‌ها، به‌ویژه خودرو و خدمات فنی و

مهندسی، خودرو و بانک‌ها و خدمات فنی و مهندسی و سرمایه‌گذاری‌ها، وابستگی دنباله پایین بالا بود؛ در حالی که برای برخی دیگر از زوج‌ها نظیر محصولات شیمیایی و فلزات اساسی یا فرآورده‌های نفتی و محصولات شیمیایی، وابستگی دنباله بالا برجسته‌تر بود. این یافته بیانگر آن است که روابط میان صنایع در شرایط عادی بازار را نمی‌توان مستقیماً به شرایط بحران یا رونق شدید تعمیم داد. به‌ویژه، بالا بودن وابستگی دنباله پایین به این معناست که احتمال وقوع زیان هم‌زمان در دو صنعت در دوره‌های بحرانی بیشتر از آن چیزی است که ضریب همبستگی خطی نشان می‌دهد. از منظر مدیریت پرتفوی، این موضوع اهمیت زیادی دارد، زیرا یکی از مبانی اصلی تنوع‌بخشی، کاهش ریسک از طریق ترکیب دارایی‌هایی با همبستگی پایین یا متوسط است؛ اما اگر همبستگی یا وابستگی در شرایط بحران افزایش یابد، مزیت تنوع‌بخشی دقیقاً در زمانی که بیشترین نیاز به آن وجود دارد کاهش می‌یابد.

این نتیجه با یافته‌های Fallah Shams و Sadeghi درباره کاربرد کاپولا و CVaR چندمتغیره در بورس تهران همسو است و نشان می‌دهد که لحاظ کردن ساختار وابستگی غیرخطی می‌تواند تصویر دقیق‌تری از ریسک مشترک دارایی‌ها ارائه دهد (Fallah Shams & Sadeghi, 2021). همچنین Vasiljeva و همکاران در چارچوب Copula-GARCH نشان دادند که مدل‌سازی هم‌زمان توزیع‌های حاشیه‌ای و ساختار وابستگی می‌تواند کیفیت بهینه‌سازی پرتفوی را بهبود دهد (Vasiljeva et al., 2025). نتایج پژوهش حاضر از این نظر نیز با Chan و همکاران همخوانی دارد که بر پویایی وابستگی شرطی و تغییر ساختار ارتباط میان دارایی‌ها در طول زمان تأکید کرده‌اند (Chan et al., 2024). بنابراین، می‌توان گفت که فرض همبستگی ثابت در طول زمان و در تمام نواحی توزیع، برای بازاری با نوسانات ساختاری و شوک‌های مشترک، فرضی بیش از حد محدودکننده است. چنین نتیجه‌ای همچنین از رویکرد Fan در زمینه بهینه‌سازی توزیعاً مقاوم حمایت می‌کند، زیرا وقتی هم توزیع‌های حاشیه‌ای و هم ساختار وابستگی با ابهام همراه هستند، لازم است این عدم‌قطعیت به‌صورت صریح در مسئله بهینه‌سازی وارد شود (Fan, 2024).

نتایج مربوط به مقایسه Mean-CVaR و Robust-CVaR نیز نشان داد که مدل مقاوم در تمام پنجره‌های برون‌نمونه‌ای، سطح نوسان، CVaR و بیشینه افت سرمایه کمتری نسبت به مدل متعارف ایجاد کرده است، هرچند بازده سالانه آن اندکی پایین‌تر بوده است. این الگو نشان می‌دهد که واردکردن عدم‌قطعیت پارامترها به مسئله بهینه‌سازی می‌تواند از انتخاب وزن‌های بیش از حد حساس به داده‌های تاریخی جلوگیری کند. در مدل‌های متعارف، پارامترهای برآوردشده معمولاً به‌صورت مقادیر قطعی وارد مسئله می‌شوند و همین امر می‌تواند به ایجاد پرتفوی‌هایی منجر شود که در نمونه تاریخی بسیار مطلوب به نظر می‌رسند، اما در مواجهه با داده‌های جدید عملکرد ضعیف‌تری دارند. در مقابل، چارچوب Robust-CVaR با پذیرش دامنه‌ای از مقادیر محتمل برای پارامترها، به‌دنبال راه‌حلی است که در سناریوهای متفاوت نیز قابل اتکا باشد. کاهش میانگین CVaR 99 درصد و بیشینه افت سرمایه در مدل مقاوم، نشان داد که این رویکرد در کنترل شرایط بسیار نامطلوب مؤثرتر است.

این یافته با نتایج Abolfazli و همکاران سازگار است که نشان دادند ترکیب CVaR مقاوم، GJR-GARCH و کاپولا می‌تواند پایداری پرتفوی را در برابر عدم‌قطعیت بهبود دهد (Abolfazli et al., 2026). همچنین Zhou بر اهمیت استفاده از ساختارهای مقاوم برای کنترل خطای برآورد کوواریانس و اعمال محدودیت‌های CVaR تأکید کرده است (Zhou, 2024). یافته حاضر همچنین با پژوهش Fan همسو است که نشان می‌دهد وقتی در توزیع بازده و ساختار وابستگی ابهام وجود دارد، رویکردهای مقاوم می‌توانند در برابر خطای مشخصات مدل، محافظت بیشتری ایجاد کنند (Fan, 2024). نکته مهم آن است که برتری مدل مقاوم در پژوهش حاضر عمدتاً از طریق کاهش ریسک و نه افزایش بازده حاصل شده است. این موضوع با منطق نظری بهینه‌سازی مقاوم نیز سازگار است؛ زیرا هدف چنین مدل‌هایی بیشینه‌کردن بازده اسمی نیست، بلکه جلوگیری از عملکرد بسیار نامطلوب در شرایطی است که برآوردهای تاریخی دقیقاً محقق نمی‌شوند.

E-ISSN: 3041-8933

در بخش پوشش ریسک، یافته‌ها نشان داد که همه راهبردهای مورد بررسی نسبت به وضعیت بدون پوشش توانسته‌اند CVaR را کاهش دهند، اما شدت کاهش ریسک و هزینه آن از نظر کاهش بازده صعودی متفاوت بوده است. راهبرد حداقل واریانس کمترین کاهش CVaR را در میان روش‌های پوشش ایجاد کرد، در حالی که پوشش حداقل VaR و به‌ویژه حداقل CVaR اثربخشی بیشتری در کنترل زیان‌های شدید داشتند. این نتیجه از نظر مفهومی منطقی است، زیرا تابع هدف حداقل واریانس کل پراکندگی بازده را کاهش می‌دهد و تفاوتی میان نوسان مطلوب و نامطلوب قائل نیست، در حالی که VaR و به‌ویژه CVaR مستقیماً بر ناحیه زیان تمرکز دارند. این نتیجه با یافته‌های Cao و همکاران سازگار است که نشان دادند نسبت‌های پوشش مبتنی بر VaR می‌توانند در شرایط غیرنرمال نسبت به رویکرد حداقل واریانس عملکرد متفاوت و در برخی موارد مناسب‌تری داشته باشند (Cao et al., 2010). همچنین نتایج Živkov و همکاران از این دیدگاه حمایت می‌کند که پرتفوی‌های مبتنی بر CVaR برای پوشش ریسک‌های افراطی کارایی بالاتری دارند (Živkov et al., 2024).

مدل VAR-GARCH پویا نیز در مقایسه با نسبت‌های پوشش ایستا، کاهش بیشتری در CVaR ایجاد کرد و در عین حال بخشی از بازده بازار صعودی را بهتر حفظ نمود. این نتیجه نشان می‌دهد که روابط میان سهام، ارز و طلا در طول زمان ثابت نیستند و نسبت پوشش بهینه باید با تغییر واریانس‌ها و کوواریانس‌های شرطی تنظیم شود. این یافته با نتایج Razeghi و همکاران همسو است که بر نقش سرریزهای میان بازار سهام، ارز و طلا در طراحی الگوی پوشش ریسک و پرتفوی بهینه تأکید کرده‌اند (Razeghi et al., 2025). همچنین، این نتیجه از دیدگاه مدیریت ریسک تطبیقی حمایت می‌کند؛ یعنی به‌جای استفاده از یک نسبت پوشش ثابت، باید ساختار ریسک بر مبنای اطلاعات جدید بازار به‌روزرسانی شود. این منطق با رویکرد بودجه‌بندی ریسک پویا و سازگار نیز همخوانی دارد (Javadi Soufiani et al., 2026).

در بخش بیمه پرتفوی، اختیار خرید امانی و اختیار فروش مصنوعی بیشترین کاهش CVaR را ایجاد کردند، اما هم‌زمان بخشی از بازده دوره‌های صعودی را نیز کاهش دادند. این یافته نشان‌دهنده مبادله طبیعی میان هزینه محافظت و ظرفیت مشارکت در رشد بازار است. راهبردهای بیمه‌ای قوی‌تر معمولاً کف زیان پایین‌تری ایجاد می‌کنند، اما هزینه خرید اختیار، محدودیت ساختار بازده یا هزینه فرصت سرمایه‌گذاری در دارایی کم‌ریسک می‌تواند باعث کاهش بازده در شرایط مساعد شود. این نتیجه با یافته‌های Khodaparasti Ramin و Moslehi همسو است که در ارزیابی راهبردهای بیمه پرتفوی در بورس تهران نشان دادند عملکرد راهبردهای مختلف به وضعیت بازار وابسته است و هیچ راهبردی در همه شرایط برتری مطلق ندارد (Khodaparasti Ramin & Moslehi, 2019). همچنین Han در بررسی عملکرد بیمه پرتفوی مبتنی بر اختیار معامله نشان داد که راهبردهای حفاظتی می‌توانند زیان‌های نزولی را محدود کنند، اما این محافظت با هزینه‌ای همراه است (Han, 2007). بنابراین، نتایج پژوهش حاضر نیز نشان می‌دهد که انتخاب راهبرد بیمه‌ای باید بر اساس ترجیح سرمایه‌گذار میان حفظ سرمایه و مشارکت در بازده صعودی انجام شود.

در سطح کلی‌تر، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که مدیریت ریسک مؤثر در بازار سرمایه ایران نیازمند عبور از نگاه تک‌بعدی به ریسک است. استفاده از GJR-GARCH امکان شناسایی پویایی و عدم‌تقارن نوسان را فراهم کرد، EVT شدت زیان‌های افراطی را آشکار ساخت، کاپولا نشان داد که وابستگی میان صنایع در دنباله‌های توزیع با همبستگی خطی متفاوت است، Robust-CVaR توانست پرتفویی باثبات‌تر در خارج از نمونه ایجاد کند و راهبردهای پوشش و بیمه نیز نشان دادند که کنترل عملی ریسک دنباله‌ای امکان‌پذیر است. این نتیجه با جهت‌گیری پژوهش‌های جدید در مالی همسو است که در آن مدیریت ریسک به‌صورت یک فرایند چندلایه و تطبیقی در نظر گرفته می‌شود، نه صرفاً یک مسئله ایستای انتخاب پرتفوی. استفاده از روش‌های پیشرفته‌تر مانند توابع مطلوبیت مبتنی بر CVaR و یادگیری عمیق نیز نشان داده است که تمرکز بر ریسک دنباله‌ای همچنان در حال گسترش است و می‌تواند با روش‌های محاسباتی نوین ترکیب شود (Huang et al.,

2025). بااین‌حال، مزیت چارچوب مورد استفاده در پژوهش حاضر در آن است که ضمن برخورداری از انعطاف آماری، اجزای آن از تفسیر مالی روشنی برخوردارند و می‌توان نتایج را مستقیماً به تصمیم‌های مدیریت پرتفوی، پوشش ریسک و بیمه سرمایه‌گذاری مرتبط ساخت.

پژوهش حاضر با وجود طراحی چندمرحله‌ای و استفاده از ابزارهای متنوع مهندسی مالی، با محدودیت‌هایی همراه است که باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرد. نخست، دامنه اصلی تحلیل به ده صنعت منتخب بورس تهران محدود شده است و اگرچه این انتخاب با هدف پوشش بخش‌های مالی، کالایی، صنعتی و خدماتی انجام شد، همه صنایع بازار سرمایه را دربرنمی‌گیرد؛ ازاین‌رو، تعمیم نتایج به کل بازار باید با احتیاط صورت گیرد. دوم، کیفیت نتایج مدل‌های GARCH، EVT و کاپولا به طول دوره نمونه، کیفیت داده‌ها و نحوه تعیین آستانه‌های دنباله‌ای وابسته است و تغییر در این انتخاب‌ها می‌تواند بر اندازه پارامترهای برآوردشده اثر بگذارد. سوم، در بخش بهینه‌سازی و پوشش، هزینه‌های معاملاتی، محدودیت‌های واقعی نقدشوندگی، شکاف قیمت پیشنهادی خرید و فروش، مالیات، محدودیت فروش استقراضی و هزینه بازتنظیم مکرر پرتفوی به‌صورت کامل وارد مدل نشده‌اند. چهارم، در بخش بیمه پرتفوی، ساختار اختیار معامله بر اساس چارچوب‌های قابل مقایسه شبیه‌سازی شده است و محدودیت‌های عمق بازار مشتقه داخلی می‌تواند در عمل بر قابلیت اجرای برخی راهبردها اثر بگذارد. پنجم، تحلیل وابستگی عمدتاً بر خانواده‌های مشخصی از کاپولاهای ارشمیدسی متمرکز بوده و ممکن است سایر خانواده‌های کاپولا یا مدل‌های وابستگی پویا بتوانند برخی ویژگی‌های پیچیده‌تر بازار را بهتر توضیح دهند.

در پژوهش‌های آینده می‌توان دامنه مطالعه را به همه صنایع بورس و فرابورس گسترش داد و مقایسه‌ای میان صنایع بزرگ، متوسط و کوچک از نظر ریسک دنباله‌ای انجام داد. همچنین پیشنهاد می‌شود مدل‌های تغییر رژیم، GARCH چندمتغیره پویا، کاپولاهای زمانی، Vine Copula و مدل‌های مبتنی بر رژیم‌های بحرانی و عادی در کنار چارچوب فعلی آزمون شوند. استفاده از روش‌های توزیعاً مقاوم، سناریومحور و یادگیری ماشین نیز می‌تواند برای کاهش حساسیت مدل به فروض توزیعی مفید باشد. بررسی داده‌های پربسامد، شاخص‌های نقدشوندگی، عمق بازار، جریان سفارشات و متغیرهای اقتصاد کلان می‌تواند به توضیح دقیق‌تر منشأ جهش‌های ریسک دنباله‌ای کمک کند. همچنین پیشنهاد می‌شود عملکرد راهبردهای بهینه‌سازی و پوشش با لحاظ هزینه معاملات، محدودیت‌های واقعی بازار و قواعد بازتنظیم مختلف بررسی شود. مطالعه جداگانه دوره‌های بحران، جهش ارزی، رکود و رونق بازار نیز می‌تواند مشخص کند که آیا پارامترهای وابستگی و کارایی راهبردهای پوشش در رژیم‌های مختلف به‌طور ساختاری تغییر می‌کنند. در نهایت، مقایسه چارچوب حاضر با روش‌های جدید مبتنی بر یادگیری عمیق، بهینه‌سازی تصادفی و مدل‌های مولد سناریو می‌تواند مسیر توسعه مدل‌های ترکیبی مالی و داده‌محور را فراهم سازد.

برای مدیران پرتفوی و سرمایه‌گذاران حرفه‌ای پیشنهاد می‌شود ارزیابی ریسک صرفاً بر اساس انحراف معیار یا همبستگی تاریخی انجام نشود و معیارهای دنباله‌ای، به‌ویژه CVaR، در فرایند تخصیص دارایی و تعیین حدود ریسک وارد شود. همچنین لازم است نسبت‌های پوشش و وزن‌های پرتفوی به‌صورت دوره‌ای و متناسب با تغییر نوسان شرطی و ساختار وابستگی بازتنظیم شوند. در صنایعی که اثر اهرمی و شاخص دنباله بالاتری دارند، می‌توان محدودیت‌های سخت‌گیرانه‌تری برای وزن سرمایه‌گذاری اعمال کرد و از ابزارهای پوشش مکمل استفاده نمود. برای سرمایه‌گذارانی که هدف اصلی آن‌ها حفظ سرمایه است، راهبردهای بیمه پرتفوی و پوشش مبتنی بر CVaR می‌توانند مناسب‌تر باشند، در حالی که سرمایه‌گذاران با تحمل ریسک بیشتر می‌توانند از راهبردهای پویای چندداراییی برای حفظ سهم بیشتری از بازده صعودی استفاده کنند. همچنین نهادهای مالی، صندوق‌های سرمایه‌گذاری و شرکت‌های مدیریت دارایی می‌توانند سامانه‌های کنترل ریسک خود را به‌گونه‌ای توسعه دهند که علاوه بر نوسان و VaR، شاخص‌های ریسک دنباله‌ای، وابستگی دنباله‌ای و بیشینه افت سرمایه را به‌صورت مستمر پایش کنند.

E-ISSN: 3041-8933

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

Abolfazli, S. R., Golarzi, G., & Tondnevis, F. (2026). Robust portfolio optimization based on Conditional Value-at-Risk using GJR-GARCH and copula functions. *Financial Management Perspective (Chashm-andāz-i Mudīriyyat-i Mālī)*, *16*(1), 55-80. https://doi.org/10.48308/jfmp.2026.243687.1580

Cao, Z., Harris, R. D. F., & Shen, J. (2010). Hedging and value at risk: A semi-parametric approach. *Journal of Futures Markets*, *30*(8), 780-794. https://doi.org/10.1002/fut.20440

Chan, L. S. H., Chu, A. M. Y., & So, M. K. P. (2024). *Graphical copula GARCH modeling with dynamic conditional dependence*.

Fallah Shams, M., & Sadeghi, A. (2021). Portfolio optimization using copula and multivariate conditional value-at-risk in the Tehran Stock Exchange. *Journal of Investment Knowledge*, *10*(40), 205-226.

Fan, Z. (2024). Distributionally robust portfolio optimization under marginal and copula ambiguity. *Journal of Optimization Theory and Applications*, *203*, 2870-2907. https://doi.org/10.1007/s10957-024-02550-y

Han, D. (2007). Portfolio insurance performance of the KOSPI200 option [KOSPI200. *Korean Journal of Financial Management*, *20*(6), 2417-2436.

Heydarzadeh, H., Rahnama Roudposhti, F., Rashidi Komijan, A., & Najafi, S. A. (2024). Investment portfolio based on value at risk (VaR) and conditional value at risk (CVaR), emphasizing the role of return distribution. *Journal of Investment Knowledge*. https://doi.org/10.30495/jik.2024.77119.4480

Huang, X., Tan, L., Su, H., & Cheah, J. E. T. (2025). Using deep learning conditional value-at-risk based utility function in cryptocurrency portfolio optimisation. *International Journal of Finance & Economics*, *31*(2), 2845-2862. https://doi.org/10.1002/ijfe.70012

Javadi Soufiani, S., Kordlouie, H., Fatehi Dabanloo, M. H., Yassini, S. B., & Khanmohammadi, M. H. (2026). Dynamic / adaptive risk budgeting with market microstructure signals. *International Journal of Finance & Managerial Accounting*, *11*(12), 219234. https://doi.org/10.22034/ijfma.2026.79165.2365

Khodaparasti Ramin, B., & Moslehi, S. (2019). Comparison and evaluation of portfolio insurance strategies using block bootstrap simulation: Tehran Stock Exchange. *Financial Management Perspective*(25), 147-167.

Ndlovu. (2024). The GARCH-EVT-Copula approach to investigating dependence and quantifying risk in a portfolio of Bitcoin and the South African Rand. *Journal of Risk and Financial Management*, *17*(11), 1-16.

Razeghi, Z., Tehrani, R., & Hajiha, Z. (2025). Providing a risk hedging model and optimal portfolio based on the stocks, currency and gold spillovers. *Journal of Investment Knowledge (Dānish-i Sarmāyah-gudhārī)*, *14*. https://doi.org/10.30495/jik.2024.76315.4453

Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2000). Optimization of Conditional Value-at-Risk. *Journal of Risk*, *2*(3), 21-41.

Vasiljeva, A., Matvejevs, A., & Fjodorovs, J. (2025). Dependence modeling and portfolio optimization with copula-GARCH: A European investment perspective. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, *11*. https://doi.org/10.3389/fams.2025.1675120

Zhou, Q. (2024). *Portfolio optimization with robust covariance and conditional value-at-risk constraints*.

Živkov, D., Lončar, S., & Stankov, B. (2024). Hedging extreme risk of wheat in semiparametric CVaR portfolios with commodities. *Finance a úvěr – Czech Journal of Economics and Finance*, *74*(3), 342-365. https://doi.org/10.32065/CJEF.2024.03.04

E-ISSN: 3041-8933