



<https://amf.ui.ac.ir>

Journal of Asset Management and Financing

E-ISSN: 2383-1189

Vol. 14, Issue 4, No. 55, 2027, p 23-46

Received: 13/10/2024

Accepted: 29/11/2025

Research Paper

Stock Selection Using Hierarchical Risk Parity and Correlation-Based Minimum Spanning Trees Based on Correlation Coefficients Matrix in the 50 Most Active Companies of Tehran Stock Exchange

Saeid Fallahpour * 

Associate Professor, Department of Financial Engineering, Faculty of Accounting and Financial Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran
falahpor@ut.ac.ir

Ali Namaki

Associate Professor, Department of Financial Engineering, Faculty of Accounting and Financial Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran
alinamaki@ut.ac.ir

Reza Fazli

M.A., Department of Financial Engineering, Faculty of Accounting and Financial Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran
reza.fazli@ut.ac.ir

Abstract

Portfolio optimization represents a central challenge in financial investment. This study evaluates the performance of a proposed stock selection model for the Tehran Stock Exchange, comparing its outcomes to both the market index and the Markowitz model using statistical tests. Portfolios were constructed by applying the Hierarchical Risk Parity (HRP) method combined with marginal asset selection, utilizing two distinct correlation matrices. These portfolios were rebalanced semiannually based on updated correlation coefficients and the composition of the Top 50 Active Companies Index. The results demonstrate that the HRP approach with asset selection generally outperforms both the index and the Markowitz model in terms of portfolio performance, a finding consistent across various market conditions, including recessions and booms. Statistical tests confirm the significant superiority of this method over the Markowitz approach. Furthermore, this research achieved effective diversification within the Tehran Stock Exchange using fewer assets than other methods. The primary innovation of this work lies in the application of two distinct correlation matrices and the implementation of two novel methodologies for asset weighting and selection, offering practical insights for both individual and institutional investors.

Keywords: Portfolio Optimization, Hierarchical Risk Parity, Minimum Spanning Tree, Asset Selection, Marginal Ssets

JEL Classification: C61, G11, G32

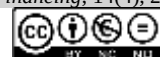
Introduction

The process of selecting financial assets and constructing an investment portfolio has long been characterized by uncertainty. Portfolio management—which entails the analysis, selection, and ongoing maintenance of a collection of investments—is inherently complex and often lacks a formalized structure. Capital markets allow investors to allocate surplus capital across various assets to generate profit. A primary objective of investment is to distribute capital among a set of assets in a manner that maximizes expected return while minimizing associated risk (Namaki & Kafi Mousavi, 2023). Investors tend to prefer assets or asset combinations that offer the highest expected return for a given level of risk. Consequently, understanding the future price behavior of assets, the factors that influence them, and their associated risks is essential (Noorahmadi & Sadeghi, 2023). The stock market, as a central investment venue, has attracted significant attention, yet the selection of an optimal stock portfolio remains a complex challenge influenced by numerous variables (Tavakoli et al., 2013).

Accurately assessing portfolio risk requires a clear understanding of the dynamic relationships among assets. While correlation matrices are commonly used for this purpose, they often contain noise due to market instability. Techniques such as Minimum Spanning Trees (MST) and Planar Maximally Filtered Graphs (PMFG) can help filter this noise and clarify underlying asset linkages (Pozzi et al.,

*Corresponding author

Fallahpour, S., Namaki, A. and Fazli, R. (2027). stock selection by using hierarchical risk parity method and minimum spanning tree based on correlation coefficients matrix in the 50 most active companies of Tehran Stock Exchange. *Journal of Asset Management and Financing*, 14(4), 23-46.



2013). Financial markets also exhibit inherent hierarchical structures, with interconnected industries and sectors. Hierarchical Risk Parity (HRP)—the core methodological framework of this study—capitalizes on such structures to achieve improved diversification and risk control. By integrating HRP with MST and employing two distinct correlation matrices, this research seeks to construct efficient portfolios within the Tehran Stock Exchange, balancing theoretical rigor with practical applicability.

Materials and Methods

The data for this study were sourced from the historical trading records of the Tehran Stock Exchange (TSE), with a specific focus on its 50 most active companies. The analysis covers the period from 2016 to early 2023. All data processing and model implementation were performed using Python. Initially, the logarithmic daily returns for the selected stocks were computed for each six-month interval. These returns were then used to derive covariance and correlation matrices. Two distinct types of correlation matrices were employed: a Full Cross-Correlation (FC) matrix and a Global Motion Subtracted Correlation (GMSC) matrix. The GMSC was obtained by filtering out the market-wide component based on the eigenvalue distribution defined by the Marchenko–Pastur theorem.

The Hierarchical Risk Parity (HRP) method was subsequently applied for portfolio construction. The correlation matrices were first converted into metric distance matrices, after which Minimum Spanning Trees (MST) were generated using Kruskal's algorithm. The HRP algorithm itself follows a three-step procedure: (1) hierarchical clustering to group assets with similar return profiles, (2) quasi-diagonalization of the covariance matrix to order correlated assets contiguously, and (3) recursive bisection for top-down capital allocation, wherein riskier clusters are assigned proportionally lower weights. To improve diversification and streamline the portfolio, a marginal asset selection process was implemented using modified network centrality and periphery metrics—specifically, degree, betweenness, closeness, eccentricity, and eigenvector centrality. Assets identified as peripheral based on a composite of these centrality measures were selected for inclusion. Portfolios of varying sizes (comprising 3, 5, 10, 20, and 30 assets) were formed and rebalanced on a semiannual basis. The performance of the portfolios constructed using the HRP methodology was evaluated against two benchmarks: the TSE Top 50 Index and a classical Markowitz mean–variance optimization model. The Markowitz model was constrained to non-negative weights in accordance with the short-selling restrictions present in the Iranian capital market.

Findings

The analysis was conducted using adjusted price data for the 50 most active companies on the Tehran Stock Exchange from July 2016 to January 2023. From logarithmic and normalized returns, two distinct correlation matrices were constructed: a Full Cross-Correlation (FC) matrix and a Global Motion-Subtracted Correlation (GMSC) matrix. These matrices were used to build Minimum Spanning Trees (MSTs), identify marginal assets, and implement the Hierarchical Risk Parity (HRP) algorithm, which involved hierarchical clustering, quasi-diagonalization, and recursive bisection. Eight distinct portfolio strategies were evaluated based on the number of assets (5, 10, 25, 50) and the type of correlation matrix used. The results indicate that HRP-based portfolios consistently outperformed both the Top 50 Index and the Markowitz model across several key metrics, including cumulative returns, annualized returns, Sharpe ratios, and drawdown reduction. For instance, the GMSC-HRP (10 assets) and FC-HRP (5 assets) strategies achieved cumulative returns of 2966% and 2625%, respectively, compared to the index's return of 2034%. The Wilcoxon signed-rank test confirmed the statistically significant superiority of six out of the eight HRP-based portfolios at the 10% significance level.

A regime-based analysis further contextualizes these results. HRP portfolios delivered performance comparable to the index during stable periods, significantly outperformed it during the bull market (2017–2020), and demonstrated a marked ability to mitigate losses during the subsequent bear market (2021–2022). Notably, FC-HRP models were found to be more effective for smaller portfolio sizes, making them suitable for individual investors, whereas GMSC-HRP models performed better with larger portfolios, aligning with the needs of institutional investors. In summary, the HRP approach, combined with MST-based marginal asset selection, provided robust diversification, superior risk-adjusted returns, and demonstrated resilience across varying market conditions.

Discussion and Conclusion

The findings demonstrate that the Hierarchical Risk Parity (HRP) approach, combined with asset selection, generally outperformed the Top 50 Index, resulting in lower portfolio standard deviation and superior risk-adjusted returns, as evidenced by higher Sharpe ratios. Both correlation inputs—the Full Cross-Correlation (FC) and the Global Motion Subtracted Correlation (GMSC) matrices—were found to be effective within the HRP framework. A principal contribution of this study is the novel simultaneous application of the GMSC matrix and the integration of HRP asset weighting with MST-based marginal asset selection, specifically for the Tehran Stock Exchange (TSE). The results suggest a distinct advantage based on portfolio size: the FC matrix yielded superior performance for smaller portfolios (e.g., 5 assets), whereas the GMSC matrix proved more effective for larger portfolios. Consequently, FC-based HRP models are recommended for individual investors with limited capital, while GMSC-based strategies appear better suited for institutional investors. HRP-based portfolios delivered particularly strong results during the bull market (2017–2020) and demonstrated notable resilience during the subsequent downturn beginning in August 2020, effectively mitigating losses.

Furthermore, the HRP weighting method, even without asset selection, improved the performance of the full 50-asset portfolio compared to simple index weighting. The use of marginal asset selection via Minimum Spanning Tree (MST) facilitates efficient diversification with a smaller asset count, reducing associated trading costs while preserving portfolio efficiency. Future research could enhance the model by integrating HRP with machine learning techniques or exploring advanced graph-based market structures to improve predictive accuracy and interpretability. Extending this methodology to other asset classes in the Iranian market, such as bonds, gold ETFs, and derivatives, would further test its capacity for risk reduction and return enhancement.

مقاله پژوهشی

انتخاب سهام با استفاده از رویکرد برابری ریسک سلسله‌مراتبی و درخت پوشای کمینه مبتنی بر ماتریس ضرایب همبستگی در ۵۰ شرکت فعال تر بورس اوراق بهادار تهران

سعید فلاح‌پور 

دانشیار، گروه مهندسی مالی، دانشکده حسابداری و علوم مالی، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
falahpor@ut.ac.ir

علی نمکی

دانشیار، گروه مهندسی مالی، دانشکده حسابداری و علوم مالی، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
alinamaki@ut.ac.ir

رضا فضلی

کارشناس ارشد، دانشکده حسابداری و علوم مالی، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
reza.fazli@ut.ac

چکیده

مسئله بهینه‌سازی سبد دارایی یکی از چالش‌های اساسی در حوزه سرمایه‌گذاری مالی است. هدف این پژوهش، ارزیابی عملکرد مدل ارائه‌شده برای انتخاب سهام در بورس اوراق بهادار تهران و مقایسه آن با شاخص و رویکرد مارکویتز براساس آزمون‌های آماری است. در پژوهش حاضر، با استفاده از روش وزن‌دهی برابری ریسک سلسله‌مراتبی و انتخاب دارایی‌های حاشیه‌ای، سبدهای سهام ساخته شده است. این سبدها در دو حالت مختلف براساس ماتریس‌های همبستگی متفاوت تشکیل شده و سپس هر شش ماه یک‌بار براساس ضرایب همبستگی و ترکیب شرکت‌های عضو شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر، بازنگری و وزن‌دهی مجدد شده است. در ادامه، عملکرد این سبدها با شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر و رویکرد مارکویتز مقایسه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که رویکرد ریسک سلسله‌مراتبی با انتخاب دارایی توانسته است در بیشتر موارد عملکرد سبد سهام را براساس شاخص‌های ارزیابی در مقایسه با شاخص و رویکرد مارکویتز بهبود دهد. نتایج آزمون‌های آماری نیز برتری معنادار این روش را در مقایسه با رویکرد مارکویتز تأیید می‌کند. افزون بر این، پژوهش حاضر توانسته است با انتخاب بهینه دارایی و ساخت سبدهایی با تعداد دارایی کمتر در مقایسه با روش‌های مشابه، به تنوع‌بخشی کارآمد در بورس اوراق بهادار تهران دست یابد. نوآوری اصلی این پژوهش در استفاده هم‌زمان از دو ماتریس همبستگی متفاوت به‌عنوان ورودی و به‌کارگیری دو روش نوین برای وزن‌دهی و انتخاب دارایی در بازار سهام تهران است؛ به‌گونه‌ای که نتایج آن می‌تواند برای سرمایه‌گذاران شخصی و نهادی در استفاده از ماتریس‌های همبستگی مختلف کاربرد داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی سبد، برابری ریسک سلسله‌مراتبی، درخت پوشای کمینه، انتخاب دارایی، دارایی‌های حاشیه‌ای.

طبقه‌بندی JEL: G32، G11، C61

* نویسنده مسئول

فلاح‌پور، سعید، نمکی، علی و فضلی، رضا. (۱۴۰۵). انتخاب سهام با استفاده از رویکرد برابری ریسک سلسله‌مراتبی و درخت پوشای کمینه مبتنی بر ماتریس ضرایب همبستگی در ۵۰ شرکت فعال تر بورس اوراق بهادار تهران، مدیریت دارایی و تأمین مالی، ۱۴ (۴)، ۲۳-۴۶.



مقدمه

از دیرباز، تصمیم‌گیری درباره انتخاب صحیح دارایی‌های مالی و سهام برای ایجاد سبد سرمایه‌گذاری، همیشه با تردید همراه بوده است و این مسئله یکی از دغدغه‌های اساسی مدیران سرمایه‌گذاری و سرمایه‌گذاران بوده است. مدیریت سبد سرمایه‌گذاری سهام که شامل تجزیه و تحلیل ترکیب سرمایه‌گذاری‌ها و انتخاب و مدیریت نگهداری مجموعه‌ای از سرمایه‌گذاری‌هاست، فرایند پیچیده‌ای است و اغلب از ساختار خاصی تبعیت نمی‌کند. بازارهای سرمایه باعث می‌شوند تا سرمایه‌گذاران منابع مالی مازاد خود را در یک یا چند دارایی سرمایه‌گذاری کنند و از این طریق سود به دست آورند. یکی از مهم‌ترین اهداف سرمایه‌گذاری تخصیص سرمایه به مجموعه‌ای از دارایی‌ها برای به حداکثر رساندن بازده و به حداقل رساندن ریسک است (Namaki & Kafimousavi, 2023).

در اساس، فرد سرمایه‌گذار در زمان سرمایه‌گذاری ترجیح می‌دهد تا دارایی یا ترکیبی از دارایی‌ها را انتخاب کند که در آینده با ریسک معین، بیشترین بازده را داشته باشد؛ بنابراین، سرمایه‌گذاران و تحلیل‌گران به دنبال دانستن قیمت آینده دارایی‌ها و عوامل مؤثر بر آن و ریسک این دارایی‌ها هستند. تجزیه و تحلیل بازارهای مالی و ریسک‌های اساسی صنعت بسیار مهم است و تأثیر آن در توسعه و طراحی سبد سرمایه‌گذاری و راهبردهای سرمایه‌گذاری بسیار مهم و شایان توجه است (Nourahmadi & Sadeghi, 2022).

یکی از مهم‌ترین گزینه‌هایی که امروزه توجه سرمایه‌گذاران را به خود جلب کرده است، بورس اوراق بهادار و تشکیل سبد بهینه در آن است. به هر حال انتخاب و گزینش سهام شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار و تشکیل سبد سهام بهینه بستگی به عوامل متعددی دارد که تصمیم‌گیری را برای تحلیل‌گران و کارشناسان فن پیچیده می‌کند. یکی از عوامل این است که انتخاب سبد سهام از دید افراد مختلف متفاوت است. همچنین به لحاظ تغییرات سریع و رو به رشد محیطی این تصمیم‌گیری باید با دقت و سرعت بیشتری انجام گیرد. پژوهش‌ها و مطالعات بسیاری که در حوزه تعیین اولویت معیارهای انتخاب سهام و تشکیل سبد سهام بهینه با توجه به معیارهای مختلف انجام گرفته است، نشان از اهمیت این موضوع دارد که چگونه می‌توان با مدیریت صحیح برای تشکیل مطلوب‌ترین سبد سهام اقدام کرد (Tavakoli et al., 2013).

برای ارزیابی دقیق ریسک در این سبدها باید پویایی روابط بین دارایی‌های مذکور را درک کرد. روش‌های مختلفی برای بررسی قدرت ارتباط در شبکه‌های مالی وجود دارد که یکی از آن‌ها ماتریس‌های همبستگی است. استنتاج دقیق این ماتریس‌های همبستگی از یک مجموعه داده با دارایی‌ها و نمونه‌ها به دلایل متعدد چالش‌برانگیز است. ماتریس همبستگی حاوی مقادیر درخور توجهی نويز است. به دلیل نبود ثبات در بازارها اغلب پنجره‌ای کوچک از داده‌ها انتخاب می‌شود، جایی که بتوان فرض کرد داده‌ها ثابت هستند. این اغلب منجر به نزدیک‌شدن داده‌ها به هم می‌شود، حتی اگر مقدار زیادی داده وجود داشته باشد. روش‌هایی برای کمک به حذف نويز در این شرایط به کار می‌رود که یکی از آن‌ها درختان پوشا کمینه و دیگری نمودارهای حداکثر فیلترشده مسطح است (Pozzi et al., 2013).

به علاوه، بازارهای مالی به صورت ساختارهای سلسله‌مراتبی نیز مطالعه شده‌اند. به علت همبستگی میان سهم‌ها در یک صنعت و تفاوت بازده صنایع مختلف، درک ساختار سلسله‌مراتبی از طریق روش‌هایی مانند برابری ریسک سلسله‌مراتبی یا روش‌های طبقه‌بندی سهام براساس نوع فعالیت می‌تواند در کاهش ریسک سرمایه‌گذاری‌ها و افزایش بازده مؤثر باشد (De Prado, 2016). روش برابری ریسک سلسله‌مراتبی که در پژوهش حاضر استفاده شده است، در زمره این گونه پژوهش‌ها قرار می‌گیرد. این پژوهش از ترکیب ساختار سلسله‌مراتبی و درخت پوشای کمینه بهره می‌گیرد که قابلیت انتخاب سهام را دارد و نیز ساختار سلسله‌مراتبی را در خود جای می‌دهد. به علاوه، به دلیل نمایش درخت پوشای کمینه، قابلیت تصویرسازی مناسب از مدل و بازار سهام را نیز دارد. دو ماتریس همبستگی متفاوت به نام‌های همبستگی مقاطع کامل و همبستگی کسرشده سراسری به عنوان ورودی مدل‌ها استفاده شده است. این راهبرد با دارابودن قابلیت انتخاب از میان سهم‌ها می‌تواند روشی علمی را برای انتخاب دارایی براساس داده‌های تاریخی در بورس تهران با در نظر گرفتن ساختار سلسله‌مراتبی ایجاد کند. این روش با استفاده از مقاله چو و سونگ (Cho & Song, 2023) انجام شده است.

اهداف این پژوهش شامل بررسی کارایی ترکیب دو روش کاهش ریسک، یعنی برابری ریسک سلسله‌مراتبی و انتخاب دارایی‌های حاشیه‌ای، با عملکرد سبد سهام مشتمل بر شرکت‌های حاضر در شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر در بورس تهران است. در بخش دوم به مبانی پژوهش پرداخته شد. ابتدا مفاهیم استفاده‌شده در پژوهش توضیح داده شد. در ادامه بخش، خلاصه‌ای از مطالعات قبلی در زمینه موردپژوهش ارائه می‌شود. در بخش سوم، روش پژوهش تشریح و مراحل انجام پژوهش به‌صورت نمودار نمایش داده شده است. در انتهای بخش سوم، معیارهای ارزیابی عملکرد توضیح داده می‌شود. در بخش چهارم، نمونه‌ای از درخت پوشای کمینه و نمودار دندوگرام ماتریس‌های همبستگی نمایش داده می‌شود. در ادامه، نمودارها و جداول ارائه‌شده، سبدهای سهام به‌دست‌آمده از این پژوهش را با شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر از منظر ریسک و بازده و دیگر معیارهای ارزیابی عملکرد که در بخش سوم تشریح شدند، مقایسه شده است. در بخش انتهایی (بخش پنجم)، به نتایج کلی به‌دست‌آمده از پژوهش اشاره می‌شود و درباره پیشنهادها و نوآوری‌های پژوهش بحث می‌شود.

مبانی نظری

در دهه ۱۹۵۰ مارکویتز^۱، پدر نظریه مدرن، سبد نظریه خود را ارائه کرد که بیان می‌کند سرمایه‌گذاران هنگام تصمیم‌گیری درخصوص کارآمدترین روش تخصیص منابع عقلانی عمل می‌کنند. اگرچه نمی‌توانند ریسک سبد را به‌طور کامل حذف کنند، سرمایه‌گذاران وجوه خود را میان تمام اوراق بهاداری که حداکثر بازده موردانتظار را دارد، متنوع‌سازی می‌کنند. این روش موفق شد در جایی که مردم فقط به میانگین و واریانس بازده سبد سهام علاقه‌مند بودند، رویکردی بهینه برای تخصیص منابع در میان اوراق بهادار دارای ریسک ایجاد کند. نظریه مدرن سبد، روشی رسمی و درعین‌حال قابل قبول برای یافتن سبدهای بهینه فراهم می‌کند که مرز کارا نامیده می‌شود که بیشترین بازده موردانتظار برای سطحی معین از ریسک یا کمترین ریسک را به ازای سطحی معین از بازده موردانتظار ارائه می‌کند (Dostjahan, 2022).

متنوع‌سازی سبد و عملکرد اوراق بهادار طی بحران مالی اعتباری ۲۰۰۸، نیاز به صنعت مدیریت دارایی برای ایجاد چارچوب‌های نظری جدید با نتایج تجربی قوی را آشکار کرد. مدل‌های جدید مبتنی بر ریسک است؛ به این معنی که آنها سعی می‌کنند عوامل ریسک را به‌جای بازده موردانتظار که پیش‌بینی‌پذیر نیست، تخمین بزنند. وزن سبد جدید، بازده موردانتظار را در نظر نمی‌گیرد و فقط به عوامل ریسک خاص مؤثر بر هر ورق بهادار در سبد بستگی دارد.

به دلیل دشواری در تخمین بازده موردانتظار و کوواریانس برای طبقات مختلف دارایی، رویکرد میانگین واریانس دارای اشکالات بسیاری است. به‌منظور برطرف کردن این اشکالات، دپرادو (De Prado, 2016) اولین پژوهشگری بود که مدل سلسله‌مراتبی را برای ساخت سبد پیشنهاد کرد. این روش برابری ریسک سلسله‌مراتبی^۲ از اطلاعات موجود در ماتریس کوواریانس استفاده می‌کند. برابری ریسک سلسله‌مراتبی می‌تواند وزن‌های یک سبد را محاسبه کند و مشکلات الگوریتم خط بحرانی را با استفاده از ریاضیات مدرن نظریه گراف و یادگیری ماشین حل کند (De Prado, 2016). باوجود دیدگاه رایج مبنی بر شکست متنوع‌سازی در بحران اعتباری اخیر (بحران سال ۲۰۰۸)، راهبردهای برابری ریسک، عملکرد خوبی در مقایسه با رویکردهای سنتی بهینه‌سازی سبد دارایی از خود نشان دادند (Nourahmadi & Sadeghi, 2022).

بازارهای مالی را می‌توان به‌عنوان سیستم‌های پیچیده‌ای در نظر گرفت که دارای عناصر متقابل زیادی هستند و دارای نوسانات زیادی در ویژگی‌های قابل مشاهده مرتبط با خود، مانند قیمت سهام یا شاخص بازار هستند. وضعیت بازار تحت تأثیر تعاملات بین اجزای آن است که می‌تواند معامله‌گران یا سهام باشد؛ علاوه‌براین، فعالیت بازار نیز به‌طور چشمگیری تحت تأثیر ورود اطلاعات خارجی است. ویژگی‌های آماری نوسانات قیمت سهام و همبستگی بین حرکات قیمت سهام مختلف به‌منظور درک و مدل‌سازی

¹ Markowitz

² Hierarchical Risk parity (HRP)

پویایی بازار مالی تجزیه و تحلیل شده است (Pan & Sinha, 2007). برابری ریسک سلسله‌مراتبی نیاز به ساختار سلسله‌مراتبی کامل یک بازار مالی دارد که هانعی برای مدیریت میزان زیادی از سرهمیه‌گذاری‌ها است. برای مقابله با این محدودیت، مدل برابری ریسک سلسله‌مراتبی با استفاده از انتخاب دارایی پیشنهاد شده است (De Prado, 2016).

پوزی و همکاران (Pozzi et al., 2013) نشان دادند که با تعریف ماتریس‌های همبستگی مناسب، سپس ساخت نمودارهای فیلترشده مالی درخت پوشای کمینه و نمودار مسطح حداکثر فیلترشده، در نهایت ایجاد شاخص‌های مناسب برای انتخاب سبدهای ساخته‌شده از سهام واقع در مناطق مرکزی یا پیرامونی می‌توان به سبد کارآمد دست یافت. آن‌ها عملکرد سرمایه‌گذاری را با استفاده از طیف وسیعی از معیارها از جمله نسبت سیگنال به نویز بین میانگین بازده و انحرافات استاندارد آنها، کمی‌سازی کردند. این معیارها عبارت‌اند از: واریانس سبد، احتمال به دست آوردن بازده بیشتر، احتمال بازده غیرمنفی، و میانگین بازده و نسبت اطلاعات شارپ. همه نتایج به طور مداوم نشان داد سبدهایی که از مجموعه‌ای از سهام حاشیه‌ای تشکیل می‌شوند، ریسک کمتر و بازده بهتری در مقایسه با سبدهایی دارند که از مجموعه‌ای از سهام مرکزی تشکیل می‌شوند. عملکرد ضعیف سبد مرکزی ممکن است نتیجه این واقعیت باشد که مرکز شبکه به احتمال زیاد در معرض آشفتگی‌های ناگهانی به دلیل اثر گله‌ای قرار می‌گیرد. در طول دوره‌های رونق و سقوط، سیستم به شدت همبسته می‌شود و سرمایه‌گذاران در همان جهت بازار خرید یا فروش اقدام می‌کنند (Pozzi et al., 2013).

از این رو، سبدهای حاوی شرکت‌هایی که در مرکز این خلق و خوی غیرمنطقی قرار دارند، احتمال بیشتری دارد که ریسک بیشتری را به همراه داشته باشند. یک تنوع کارآمد در صورتی امکان‌پذیر است که سبد دارایی از سهامی تشکیل شده باشد که با همبستگی کم و نسبت سیگنال به نویز بازده مورد انتظار بالا مشخص می‌شود. آن‌ها نشان دادند که این اوراق در حاشیه نمودارهای فیلترشده مالی قرار دارند (Pozzi et al., 2013). به طور خاص، سبدهای ساخته‌شده در این پژوهش شامل دارایی‌های انتخاب‌شده از مجموعه دارایی‌های حاشیه‌ای^۱ در درخت پوشای کمینه مبتنی بر ماتریس ضرایب همبستگی هستند (Pozzi et al., 2013).

روش پژوهش

داده‌های این پژوهش از طریق سابقه معاملات سهام در بورس اوراق بهادار تهران در دسترس و قابل اتکا است. قلمرو پژوهش بورس اوراق بهادار تهران است و ۵۰ شرکت فعال‌تر بورس اوراق بهادار تهران در آن بررسی می‌شود. بازه زمانی این پژوهش از سال ۹۵ تا ابتدای سال ۱۴۰۲ است. مراحل پردازش داده‌ها و اجرای مراحل مدل به ترتیب مشخص‌شده در نرم‌افزار پایتون انجام شد.

ابتدا لگاریتم بازده روزانه داده‌های ۶ ماه گذشته ۵۰ شرکت فعال‌تر بورس تهران محاسبه شد. سپس ماتریس کوواریانس و ماتریس ضرایب همبستگی بازده‌ها براساس همان داده‌های لگاریتم بازده روزانه محاسبه شد. در این پژوهش از دو ماتریس همبستگی استفاده شد که یکی از آن‌ها ماتریس همبستگی متقاطع کامل است که در ادامه تعریف شده است. با فرض اینکه قیمت آخرین معامله سهم i ام در زمان t باشد، $p_i(t)$ بازده لگاریتمی برابر با $R(t) = \ln p_i(t) - \ln p_i(t-1)$ می‌شود، با فرض اینکه میانگین حسابی لگاریتم بازده‌ها در بازه زمانی $\{R_i(t-T+1), \dots, R_i(t)\}$ برابر با $\mu(t)$ و انحراف معیار آن برابر با $\sigma(t)$ باشد. برای نرمال‌سازی بازده‌ها از فرمول (۱) استفاده می‌شود.

$$\tilde{R}_i(t) = \frac{R_i(t) - \mu(t)}{\sigma(t)} \quad (1)$$

اگر سری زمانی نرمال‌شده بازده برای n دارایی به صورت $\tilde{R}_i^t = [\tilde{R}_i(t-T+1), \dots, \tilde{R}_i(t)]$ باشد که $i = 1, 2, \dots, N$ ، ضریب همبستگی متقاطع کامل (FC) به صورت فرمول (۲) تعریف می‌شود.

¹ Peripheral Assets

$$\rho_{ij}^t = \left(\frac{1}{T}\right)(\bar{R}_i^t \cdot \bar{R}_j^t) - \left(\frac{1}{T^2}\right)(\bar{R}_i^t \cdot 1_T)(\bar{R}_j^t \cdot 1_T) \quad (2)$$

1_T یک ماتریس با درایه‌های ۱ به طول T است که بازه زمانی تابع بازده است. $x \cdot y$ ضرب داخلی دو بردار x و y است. ماتریس دومی که در این تحقیق استفاده شده است، ماتریس همبستگی با کاستن حرکت سراسری است که در آن توزیع مارچنکو-پاستور^۱ نمایانگر توزیع مقدار ویژه‌های یک ماتریس تصادفی^۲ است. براساس این توزیع مقدار ویژه‌های یک ماتریس تصادفی از نظر فرضیه دارای حد بالایی است؛ در نتیجه مقدار ویژه‌های ماتریس همبستگی را که بزرگ‌تر از حد بالای این توزیع باشد، می‌توان به عنوان اتفاقاتی در نظر گرفت که به صورت تصادفی اتفاق نیفتاده‌اند؛ بر این اساس، تابع چگالی احتمال ماتریس متقاطع کامل می‌تواند به صورت فرمول (۳) نوشته شود (Cho & Song, 2023).

$$\rho = \lambda_1 u_1 u_1^T + \sum_{i=2}^{N_g} \lambda_i u_i u_i^T + \sum_{i=N_g+1}^N \lambda_i u_i u_i^T \quad (3)$$

که در این معادله λ_i و u_i به ترتیب نشان‌دهنده مقدار ویژه و بردار ویژه مرتب‌شده از بزرگ به کوچک ρ یا ضریب همبستگی است. N_g نشان‌دهنده تعداد مقادیر ویژه ماتریس است که از حد بالای توزیع مارچنکو-پاستور تجاوز می‌کند. شایان ذکر است که حد بالا و N_g در طول زمان (با تغییر بازه زمانی) تغییر می‌کند. به طور مشخص، جزء اول تساوی شماره (۳) یعنی $\lambda_1 u_1 u_1^T$ را می‌توان به عنوان حرکت سراسری قلمداد کرد. به علاوه می‌توان حرکت سراسری را واکنش کل بازار به اطلاعات بیرونی (واکنش تمامی سهام‌ها به اتفاقات که کل بازار را تحت تأثیر قرار می‌دهد) دانست؛ در نهایت اجزای همان ماتریس همبستگی با کاستن حرکت سراسری به صورت زیر تعریف می‌شود (Cho & Song, 2023).

$$\tilde{\rho} = \rho - \lambda_1 u_1 u_1^T \quad (4)$$

از لحاظ نظری، ماتریس همبستگی با کسر حرکت سراسری بر روابط داخلی بین ریسک‌های خاص دارایی‌ها تمرکز دارد که با حذف ریسک بازار ناشی از اطلاعات خارجی به دست می‌آید. رویکرد برابری ریسک سلسله‌مراتبی در انتخاب دارایی حاشیه‌ای با استفاده از درخت پوشای کمینه ماتریس همبستگی را می‌توان به فضای متریک با رابطه (۵) تبدیل کرد.

$$D_{ij} = \sqrt{2(1 - r_{ij})} \quad (5)$$

که r_{ij} اجزای یکی از دو ماتریس همبستگی است. درخت پوشای کمینه براساس فواصل در معادله (۵) درختی است که مجموع فواصل بین دارایی‌ها کوچک‌ترین است. توجه داشته باشید که الگوریتم کروسکال برای محاسبه درخت پوشای کمینه استفاده می‌شود. جالب توجه است که درخت پوشای کمینه و خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی تجمعی با یک پیوند در اتصال میان خوشه‌ها یکتا هستند؛ بنابراین، تخصیص دارایی با رویکرد برابری ریسک سلسله‌مراتبی و انتخاب سهام مبتنی بر درخت پوشای کمینه را می‌توان در یک راهبرد چینش سبد ترکیب کرد. از آنجایی که ماتریس همبستگی متقاطع کامل و ماتریس همبستگی با کاستن حرکت سراسری استفاده‌شده برای ساختن درخت پوشای کمینه در طول زمان تغییر می‌کند، راهبرد سبد استفاده‌شده در این پژوهش از ساختار سلسله‌مراتبی بازار مالی در هر بازنگری و وزن‌دهی مجدد سبد سهام استفاده می‌کند (Cho & Song, 2023).

¹ Marchenko-Pastur Distribution

² Random Matrix

مراحل الگوریتم برابری ریسک سلسله‌مراتبی این گونه تعریف می‌شود: مرحله اول خوشه‌بندی درخت است. این مرحله سرمایه‌گذاری‌ها را در ساختار سلسله‌مراتبی از خوشه‌ها ترکیب می‌کند، به‌طوری‌که تخصیص منابع سرمایه‌گذاری می‌تواند از طریق نمودار درختی از بالا به پایین جریان پیدا کند. ورودی مدل فقط یک ماتریس $N \times N$ است و فاصله به صورت رابطه *Error! Reference source not found.* تعریف می‌شود.

$$d: (x_i, x_j) \subset B \rightarrow R \in [0,1] \quad d_{i,j} = d[x_i, x_j] = \sqrt{\frac{1}{2}(1 - \rho_{i,j})} \quad (6)$$

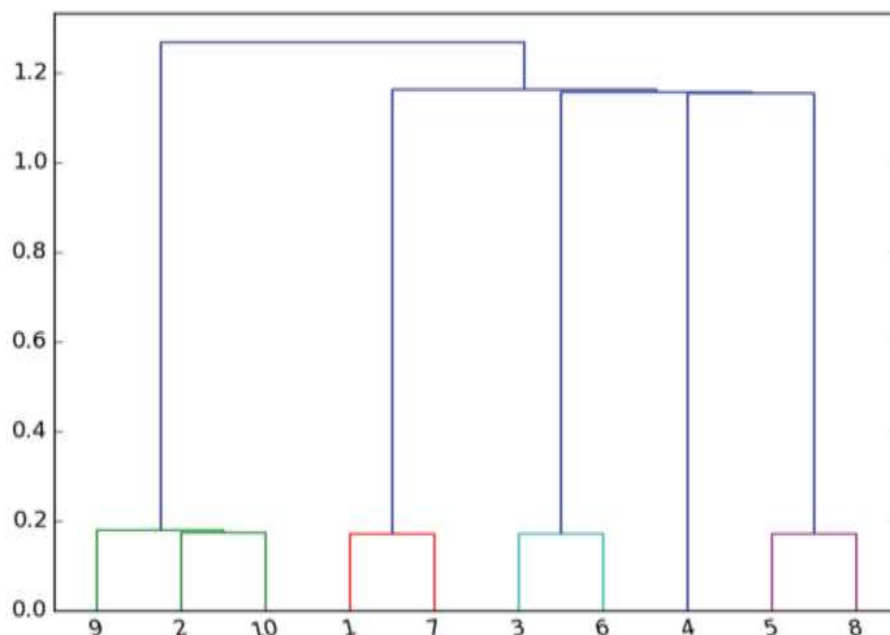
که B حاصل ضرب دکارتی اعضای مجموعه $\{1, \dots, i, \dots, N\}$ است که فضای متریک D را می‌سازد. سپس باید فاصله اقلیدسی مجموعه را به کمک رابطه (۷) محاسبه کرد.

$$\tilde{d}: (D_i, D_j) \subset B \rightarrow R \in [0, \sqrt{N}] = \sqrt{\sum_{n=1}^N (d_{n,i} - d_{n,j})^2} \quad (7)$$

سپس نحوه خوشه‌بندی به این صورت است: ابتدا دو ستون (i^*, j^*) به صورت رابطه (۸) خوشه‌بندی شد.

$$(i^*, j^*) = \arg \min(i, j) \{ \tilde{d}_{i,j} \}' i \neq j \quad (8)$$

سپس $\{\tilde{d}_{i,j}\}$ با خوشه جدید جایگزین شد تا به $N-1$ خوشه رسید؛ برای مثال، فکر کنید که چگونه روش طبقه‌بندی شرکت‌ها مانند روش $MSCI^1$ سهام را در سطوح مختلف (۱۰ بخش، ۲۴ گروه صنعتی، ۶۷ صنعت، ۱۵۶ زیرصنعت) با استفاده از روش‌های سلسله‌مراتبی کمی و کیفی طبقه‌بندی می‌کند. خوشه‌بندی درختان به همان هدف به روش دقیق ریاضی به دست می‌آید.



شکل (۱): خوشه‌بندی ۱۰ سرمایه‌گذاری براساس روش برابری ریسک سلسله‌مراتبی

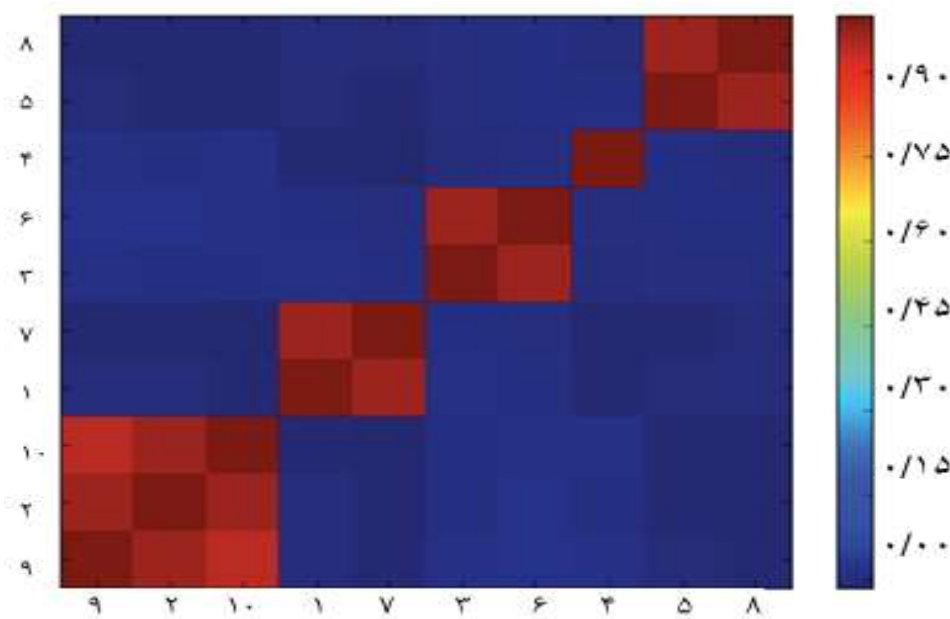
Figure (1) Clustering of 10 investments based on the hierarchical risk parity method

¹ Morgan Stanley Capital International

همان طور که در **Error! Reference source not found.** روش خوشه بندی به درستی مشخص کرده است که سری های ۹ و ۱۰ دارای ارتباط با سری ۲ هستند و از این رو (۹،۲،۱۰) با هم خوشه بندی می شوند. به طور مشابه، ۷ دارای ارتباط با ۱ است، ۶ دارای ارتباط با ۳ است، و ۸ دارای ارتباط با ۵ است. تنها مورد اصلی که تناسبی با دیگر سرمایه گذاری ها برای آن پیدا نشده است، مورد ۴ است و موردی است که الگوریتم خوشه بندی هیچ شباهتی برای آن پیدا نکرده است. مرحله دوم شبه قطری سازی است که در این مرحله سطرها و ستون های ماتریس کوواریانس را دوباره سازمان دهی می کند؛ به طوری که بزرگ ترین مقادیر در امتداد قطر قرار می گیرد. این شبه قطری ماتریس کوواریانس (بدون نیاز به تغییر مبنا) ویژگی مفیدی را ارائه می کند: سرمایه گذاری های مشابه در کنار هم و سرمایه گذاری های غیر مشابه دور از هم قرار می گیرند. این کار با جایگزینی خوشه ها با اجزای آنها به صورت بازگشتی با حفظ ترتیب خوشه بندی انجام می شود، تا زمانی که هیچ خوشه ای باقی نماند. به دلیل اینکه کوواریانس شبه قطری است، واریانس به صورت مجموعه پیوسته تعریف می شود. $L_i \in L$ که در آن $\tilde{V}_i = \tilde{W}_i' V_i \tilde{W}_i$ و L در آن یک لیست مرتب شده از تمام اجزا است، V_i یک ماتریس کوواریانس از زیر مجموعه های L_i است.

$$\tilde{w}_i = \text{diag}[v_i]^{-1} \frac{1}{\text{tr}[\text{diag}[v_i]^{-1}]} \quad (9)$$

که در آن diag^1 مخفف قطری سازی و tr^2 مخفف اثر ماتریس است. این تعریف از V_i از آنجایی شکل گرفته است که تخصیص دارایی به صورتی که با واریانس رابطه معکوس داشته باشد، برای یک ماتریس قطری بهینه است.



شکل (۲): مثالی از شبه قطری سازی ماتریس همبستگی

Figure (2) An example of quasi-diagonalization of the correlation matrix

همان طور که در شکل (۲) مشخص است، این مرحله ماتریس را شبه قطری می کند؛ به این معنا که بزرگ ترین مقادیر در امتداد قطر قرار می گیرد؛ با این حال، برخلاف تجزیه و تحلیل اجزای اصلی^۳ یا روش های مشابه، برابری ریسک سلسله مراتبی

¹ Diagonalization

² Trace

³ Principal Component Analysis(PCA)

نیازی به تغییر مبنا ندارد. برابری ریسک سلسله‌مراتبی مشکل تخصیص را به‌خوبی حل می‌کند؛ درحالی‌که با سرمایه‌گذاری‌های اصلی کار می‌کند. مرحله سوم شامل یک فرایند بخش‌بندی بازگشتی دومرحله‌ای است که در آن، تخصیص بهینه واریانس معکوس برای یک ماتریس کوواریانس مورب به کار گرفته می‌شود. در این مرحله، تخصیص بودجه به‌صورت بالا به پایین و بر اساس یک ساختار درختی انجام می‌گیرد؛ به‌گونه‌ای که به خوشه‌هایی با ریسک بالاتر، بودجه کمتری اختصاص داده می‌شود. این سازوکار امکان بهره‌گیری مؤثر از مزایای متنوع‌سازی را فراهم می‌کند. الگوریتم ریاضی این روش به شرح زیر است:

تخصیص وزن واحد به تمام سرمایه‌گذاری‌ها به صورتی که $w_n = 1, \forall n = 1, \dots, N$ به‌صورت متناوب لیست L_i را به دو لیست تقسیم کند، $L_i^{(1)} \cup L_i^{(2)}$ واریانس $(\tilde{v}_i^{(j)})$ را با شرایط $j=1,2$ محاسبه می‌شود. تقسیم به دو لیست به‌صورت معادله (۱۰) انجام می‌شود.

$$\alpha_i = 1 - \frac{\tilde{v}_i^{(1)}}{\tilde{v}_i^{(1)} + \tilde{v}_i^{(2)}}, 0 \leq \alpha_i \leq 1 \quad (10)$$

سپس وزن‌دهی مجدد w_n با عامل $\alpha_i, \forall n \in L_i$ به‌صورت معادله (۱۱) انجام می‌گیرد.

$$(1 - \alpha_i), \forall n \in L_i \quad (11)$$

تا جایی متوقف می‌شود که $|L_i| = 1, \forall L_i \in L$ این الگوریتم از شبه‌قطری‌سازی بالا به پایین و پایین به بالا نیز استفاده می‌کند. برای کاهش تعداد دارایی‌ها در سبب، دارایی‌ها با استفاده از معیار اصلاح‌شده ترکیبی حاشیه‌ای بودن دارایی^۱ پیشنهادشده توسط پوزی و همکاران در سال ۲۰۱۳ (Pozzi et al., 2013) انتخاب شد.

تعاریف برخی از متداول‌ترین معیارهای مرکزیت/پیرامونی، یعنی درجه^۲، مرکزیت بین^۳، خروج از مرکز^۴، نزدیکی^۵ و مرکزیت بردار ویژه^۶ که برای حاشیه‌ای بودن محاسبه شده‌اند، به شرح زیر است:

مرکزیت بین: مرکزیت بینابینی برای هر رأس تعداد این مسیرهای کوتاه است که از آن رأس عبور می‌کند. مرکزیت بینابینی کاربرد گسترده‌ای در نظریه شبکه دارد؛ این مفهوم نشان‌دهنده میزان واسطه‌بودن گره‌ها نسبت به یکدیگر است. درجه: در نظریه گراف، درجه (ظرفیت) یک رأس در یک گراف تعداد یال‌هایی است که به آن رأس متصل است. نزدیکی: در یک گراف همبند، مرکزیت نزدیکی (نزدیکی) یک گره معیاری از مرکزیت در یک شبکه است که به‌صورت معکوس مجموع طول کوتاه‌ترین مسیرها بین آن گره و تمام گره‌های دیگر در گراف محاسبه می‌شود؛ بنابراین، هرچه یک گره مرکزی‌تر باشد، به سایر گره‌ها نزدیک‌تر است. خروج از مرکز: حداکثر فاصله آن تا هر رأس دیگر است. مرکزیت بردار ویژه: مرکزیت بردار ویژه یک الگوریتم است که تأثیر انتقالی گره‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. ارتباطاتی که از گره‌های دارای امتیاز بالا منشأ می‌گیرد، بیشتر از ارتباطات از گره‌های دارای امتیاز پایین به امتیاز یک گره کمک می‌کند. امتیاز بالای بردار ویژه به این معنی است که یک گره به بسیاری از گره‌هایی که خودشان امتیاز بالایی دارند متصل است.

¹ Modified Hybrid Peripherality Measure

² Degree

³ Betweenness Centrality(BC)

⁴ Eccentricity(E)

⁵ Closeness(C)

⁶ Eigenvector Centrality(EC)

این معیارها برای گراف وزن‌دار و نیز غیر وزن‌دار محاسبه شده‌اند. به طور خاص، دو شاخص مرکزیت ترکیبی، مقادیر X و Y است که رتبه‌بندی معیارهای محاسبه‌شده قبلی را با هم ترکیب می‌کند. از نظر این معیارهای ترکیبی، مقادیر کوچک با رئوس مرکزی مرتبط است؛ درحالی‌که مقادیر بزرگ با رأس‌های محیطی مرتبط هستند.

$$x = \frac{C_D^w + C_D^u + C_{BC}^w + C_{BC}^u - 4}{4(N-1)} \quad (12)$$

$$Y = \frac{C_E^w + C_E^u + C_C^w + C_C^u + C_{EC}^w + C_{EC}^u - 6}{6(N-1)} \quad (13)$$

بنابراین، مجموع و تفاوت بین X و Y به‌عنوان معیارهای ترکیبی مرکزی در نظر گرفته شده است. مقدار $X + Y$ برای رئوس مرکزی کوچک و رئوس محیطی بزرگ است. درحالی‌که مقدار $X - Y$ بزرگ است، اگر رأس اتصالات مهم کمی داشته باشد و اگر تعداد زیادی اتصالات بی‌اهمیت داشته باشد، کوچک است.

براساس این معیارها شاخص حاشیه‌ای بودن محاسبه می‌شود و سپس از روی این شاخص‌ها رتبه‌بندی دارایی‌های حاشیه‌ای صورت می‌گیرد. هدف از محاسبه این شاخص‌ها انتخاب سهام حاشیه‌ای‌تر است؛ بنابراین، براساس این شاخص‌ها تعدادی از بیرونی‌ترین دارایی‌های جانبی انتخاب شده است.

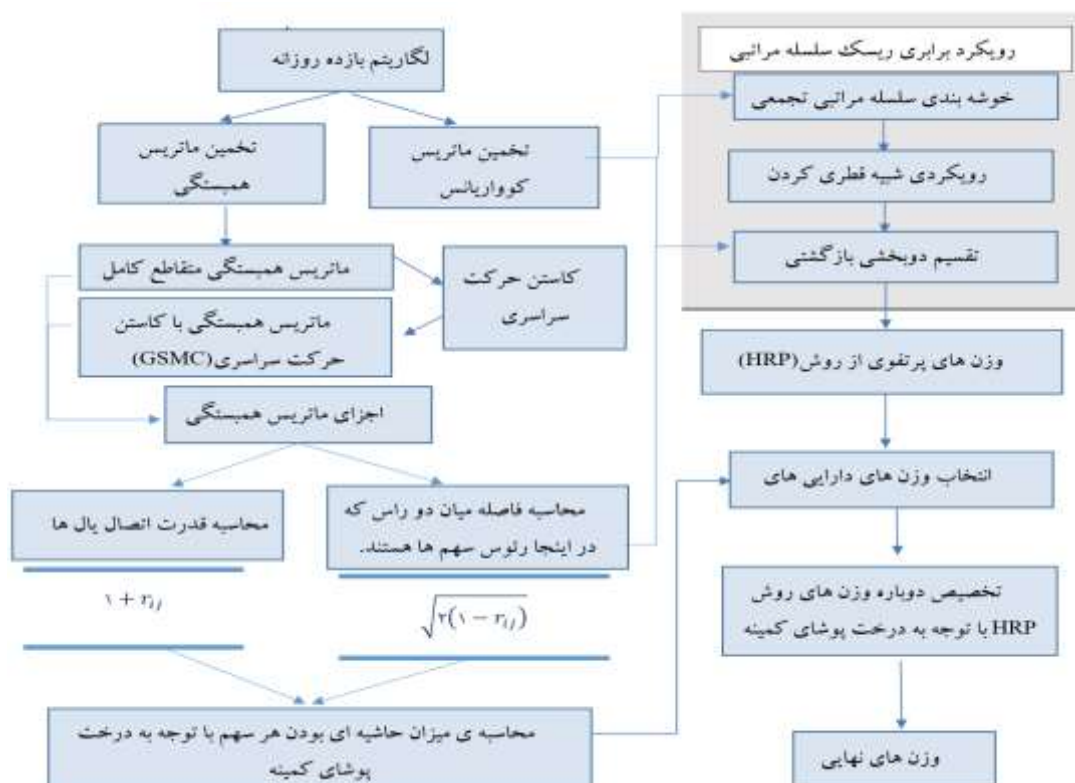
آخرین مرحله مدیریت سبد، مقیاس مجدد^۱ برابری ریسک سلسله‌مراتبی برای دارایی‌های انتخاب‌شده است. هدف، تولید وزن‌های نهایی است که ویژگی‌های کل سلسله‌مراتب بازار مالی را حفظ کند؛ بنابراین، وزن هر دارایی انتخاب‌شده بر مجموع وزن تمام دارایی‌های انتخاب‌شده تقسیم شده است.

روند توضیح داده‌شده هر شش ماه دوباره انجام می‌شود؛ زیرا ساختار سلسله‌مراتبی بازار و دارایی‌های حاشیه‌ای آن تغییر می‌کند؛ بنابراین، در شش ماه بعدی، چینش سبد سهام براساس داده‌های شش ماه قبل انجام می‌شود. سبدي براساس تعداد دارایی‌ها (۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰) و روش انتخاب دارایی‌های حاشیه‌ای با توجه به درخت پوشای کمینه ساخته می‌شود. ورودی این مدل‌ها دو ماتریس همبستگی متفاوت است و عملکرد سبد با شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر مقایسه می‌شود. به‌علاوه، این عملکرد با خود روش برابری ریسک سلسله‌مراتبی بدون انتخاب دارایی و شامل ۵۰ سهم نیز مقایسه می‌شود؛ بدین ترتیب، در طول بازه چندساله می‌توان به یک تنوع‌بخشی کارآمد رسید که در آن سهام با هم همبستگی ندارد و در طول زمان نیز این‌گونه باقی می‌ماند؛ به این ترتیب، پژوهشگران می‌توانند از این روش‌ها برای بررسی و بهبود عملکرد سبدهای خود استفاده کنند و به یک رویکرد منظم و علمی در انتخاب و مدیریت دارایی‌ها دست یابند.

درنهایت، روند کلی ساخت سبدهای برابری ریسک سلسله‌مراتبی برای ورودی دو ماتریس متفاوت با استفاده از انتخاب سهام را می‌توان در شکل (۳) خلاصه کرد.

مدل مارکوویتز به‌عنوان مدل رقیب در این پژوهش انتخاب شده است. مدل مارکوویتز با استفاده از حداکثرسازی نسبت شارپ در این پژوهش پیاده‌سازی شده است که در آزمون‌های فرضیه به‌عنوان معیار آزمون شده است (De Prado, 2016). به علت امکان‌نداشتن فروش استقراضی در بورس ایران، وزن سهام‌ها در مدل مارکوویتز پیاده‌سازی شده در پژوهش نامنفی هستند.

¹ Rebalancing



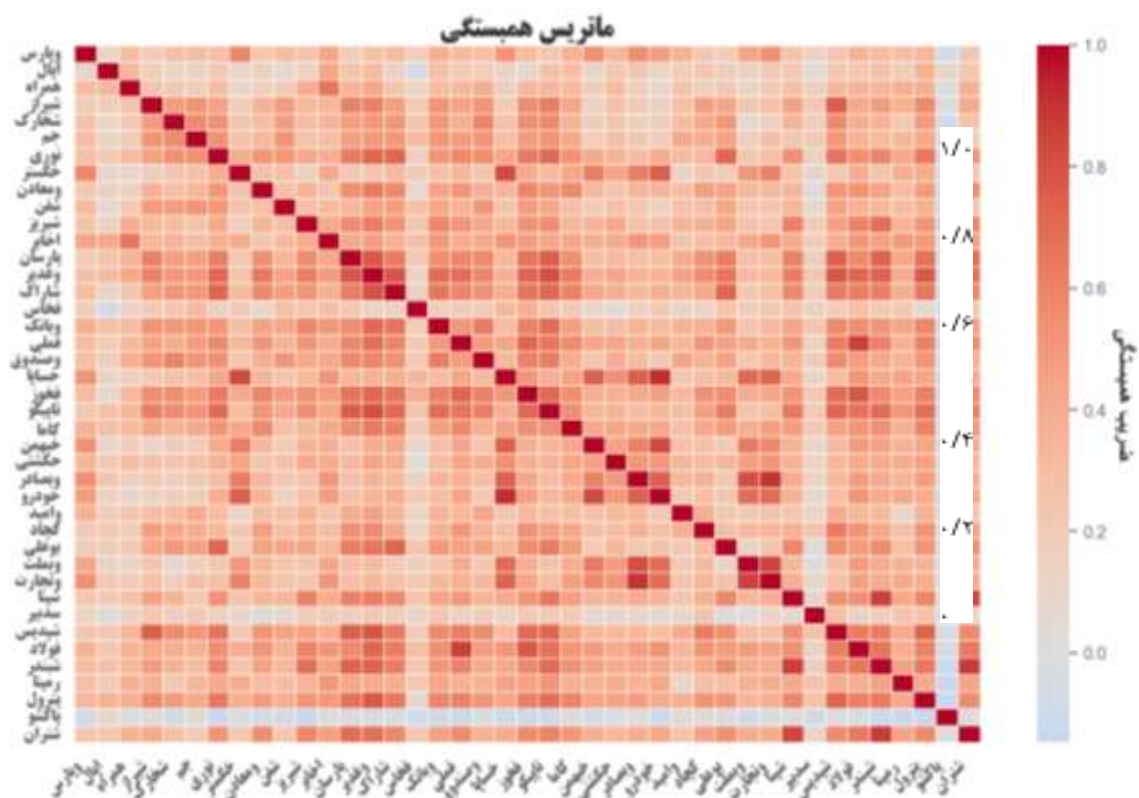
شکل (۳): مراحل انجام پژوهش

Figure (3) Research steps

در مرحله بعد سبدهای براساس تعداد دارایی‌ها (۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰) و روش انتخاب دارایی‌های حاشیه‌ای باتوجه به درخت پوشای کمینه ساخته شد. ورودی این مدل‌ها دو ماتریس همبستگی متفاوت است و عملکرد سبد با شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر مقایسه شد. به علاوه، این عملکرد با خود روش برابری ریسک سلسله‌مراتبی بدون انتخاب دارایی و شامل ۵۰ سهم نیز مقایسه می‌شود؛ درنهایت، با استفاده از متدهای ارزیابی عملکرد، این سبدهای سهام با یکدیگر مقایسه شد.

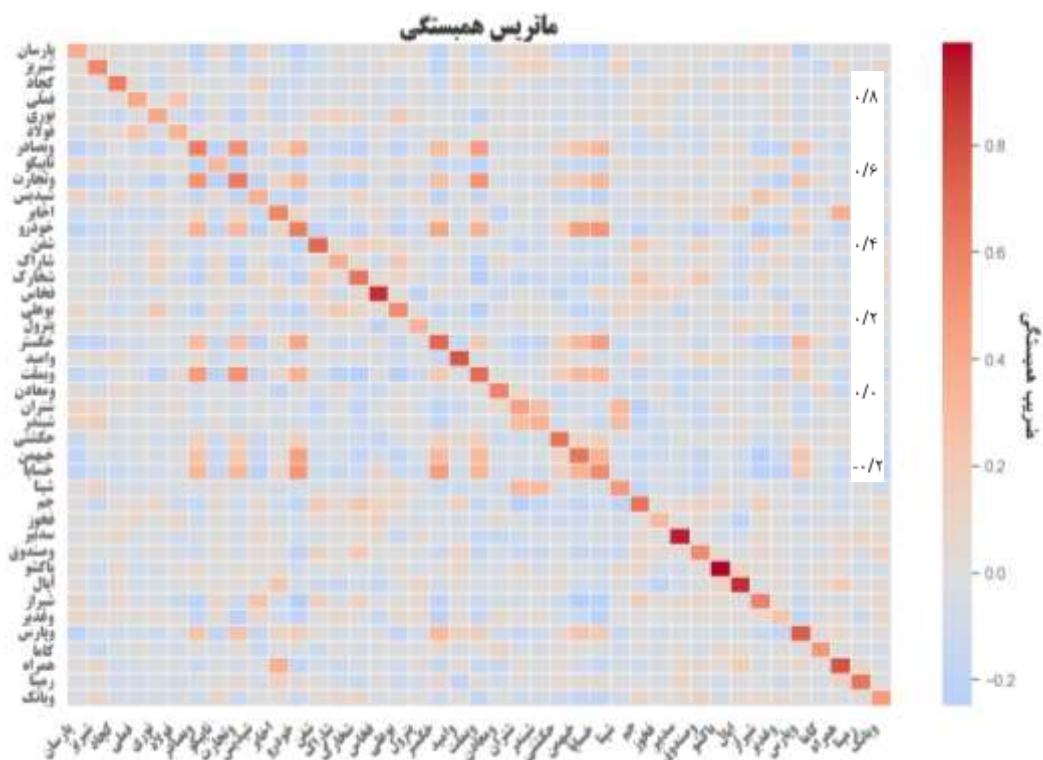
یافته‌ها

ابتدا اطلاعات قیمت‌های تعدیل‌شده ۵۰ شرکت فعال‌تر در بازه زمانی تیر ۹۵ تا دی ماه ۱۴۰۲ جمع‌آوری شد. پس از تبدیل داده‌های قیمت به بازده، بازده لگاریتمی و نرمال‌شده محاسبه شد و این بازده‌ها به عنوان ورودی برای محاسبه ماتریس همبستگی متقاطع کامل استفاده شد. پس از محاسبه ماتریس متقاطع کامل، حرکت سراسری از آن کاسته شد تا ماتریس همبستگی با کسر حرکت سراسری به دست آید. ماتریس همبستگی متقاطع کامل و ماتریس همبستگی با کسر حرکت سراسری در شکل (۴) و شکل (۵) ترسیم شده است.



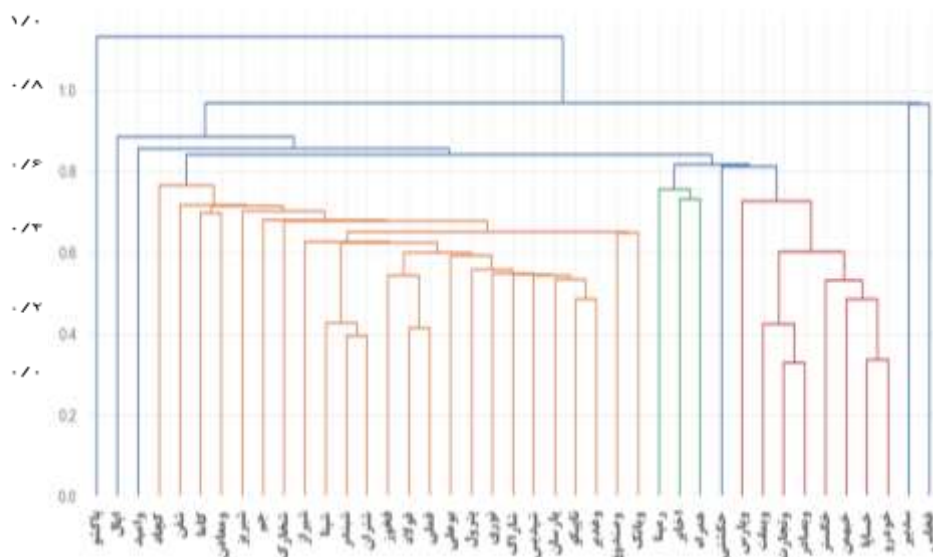
شکل (۴): ماتریس متقاطع کامل ۵۰ شرکت فعال‌تر بورس ایران در سبد ساخته‌شده در یکی از زیربازه‌های پژوهش (دی ماه ۱۴۰۰ تا تیرماه ۱۴۰۱)

Figure (4). Complete cross-matrix of the 50 most active companies on the Iranian Stock Exchange in the portfolio constructed in one of the research sub-periods



شکل (۴): ماتریس همبستگی با کسر حرکت سراسری ۵۰ شرکت فعال‌تر بورس ایران در بازه دی ماه ۱۴۰۰ تا تیرماه ۱۴۰۱

Figure (5) Correlation matrix with the global movement fraction of the 50 most active companies on the Iranian Stock Exchange



شکل (۷): دندوگرام نمایش دهنده ساختار ۵۰ شرکت فعال‌تر بورس تهران براساس ماتریس همبستگی متقاطع کامل

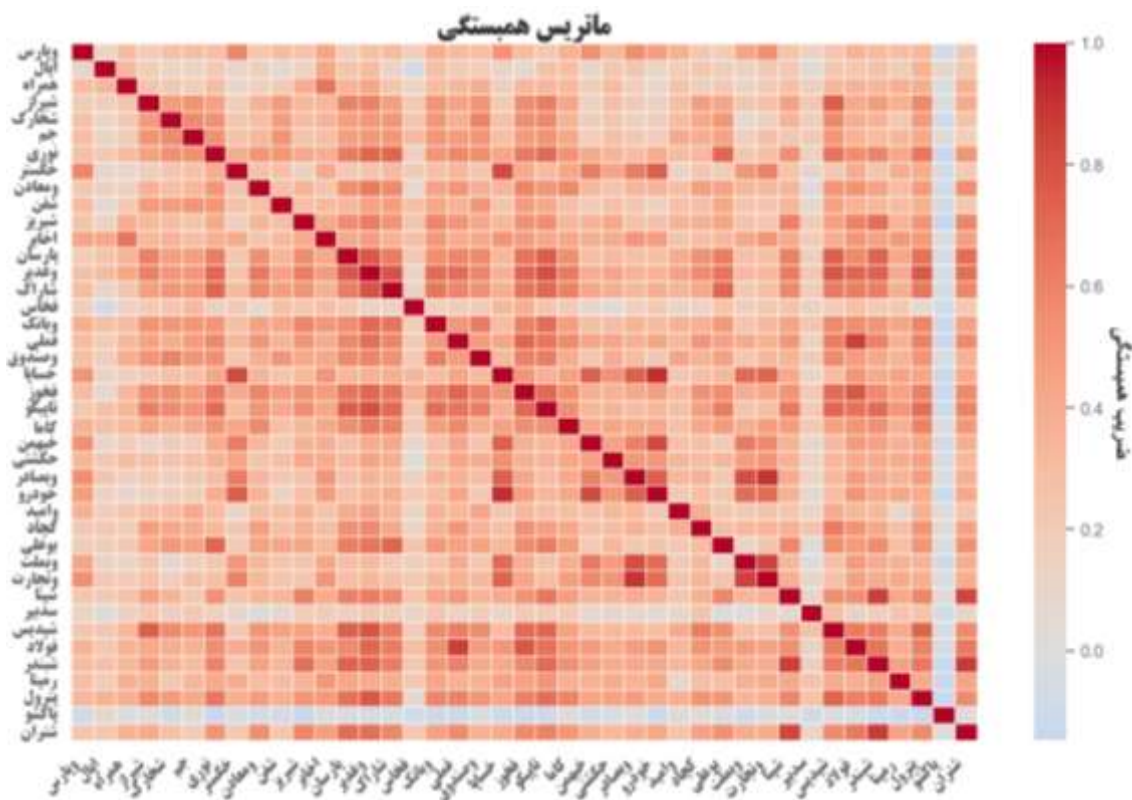


Figure (8) Dendrogram showing the structure of the 50 most active companies on the Tehran Stock Exchange based on the full cross-correlation matrix of Figure 2.

پس از مرحله اول مرحله شبه‌قطری‌سازی ماتریس انجام می‌گیرد. در انتها حاصل الگوریتم ریسک سلسله‌مراتبی به دست می‌آید که در جدول (۱) وزندهی دارایی‌ها براساس روش برابری ریسک سلسله‌مراتبی نشان داده شده است.

جدول (۱): وزندهی الگوریتم برابری ریسک سلسله‌مراتبی برای بازه دی ماه ۱۴۰۰ تا تیر ۱۴۰۱

Table (1) Hierarchical risk parity algorithm weights

نماد	وزن	نماد	وزن	نماد	وزن	نماد	وزن
رمپنا	۳۳٫۳۸٪	تاپیکو	۱۰٫۲۶٪	ویملت	۲۰٫۳۷٪	کاما	۲۰٫۷۰٪
شپنا	۲۰٫۲۱٪	خودرو	۱۰٫۴۵٪	فملی	۱۰٫۹۳٪	ومعادن	۲۰٫۷۰٪
شیراز	۲۰٫۲۱٪	خسپا	۳۰٫۵۸٪	همراه	۲۰٫۰۳٪	خگستر	۲۰٫۶۴٪
وتجارت	۱۰٫۲۴٪	فولاد	۱۰٫۹۳٪	وپارس	۳۰٫۲۸٪	وبصادر	۱۰٫۲۴٪
شبریز	۳۰٫۲۲٪	ویانک	۳۰٫۰۹٪	خبهمن	۱۰٫۴۵٪	اپال	۴۰٫۹۸٪
کچاد	۳۰٫۰۳٪	فخوز	۱۰٫۱۵٪	حکشتی	۳۰٫۲۸٪	وامید	۳۰٫۹۱٪
پترول	۱۰٫۳۱٪	شبندر	۱۰٫۱۵٪	پاکشو	۴۰٫۹۸٪	جم	۲۰٫۰۶٪
پارسان	۲۰٫۲۸٪	شپدیس	۲۰٫۵۰٪	شفن	۳۰٫۰۳٪	شخارک	۲۰٫۰۶٪
نوری	۱۰٫۳۱٪	وغدیر	۱۰٫۲۶٪	فخاس	۳۰٫۱۳٪	اخابر	۲۰٫۰۳٪
سدبیر	۳۰٫۱۳٪	شتران	۱۰٫۸۰٪	بوعلی	۲۰٫۱۶٪	وصندوق	۳۰٫۰۹٪
شاراک	۲۰٫۵۰٪						

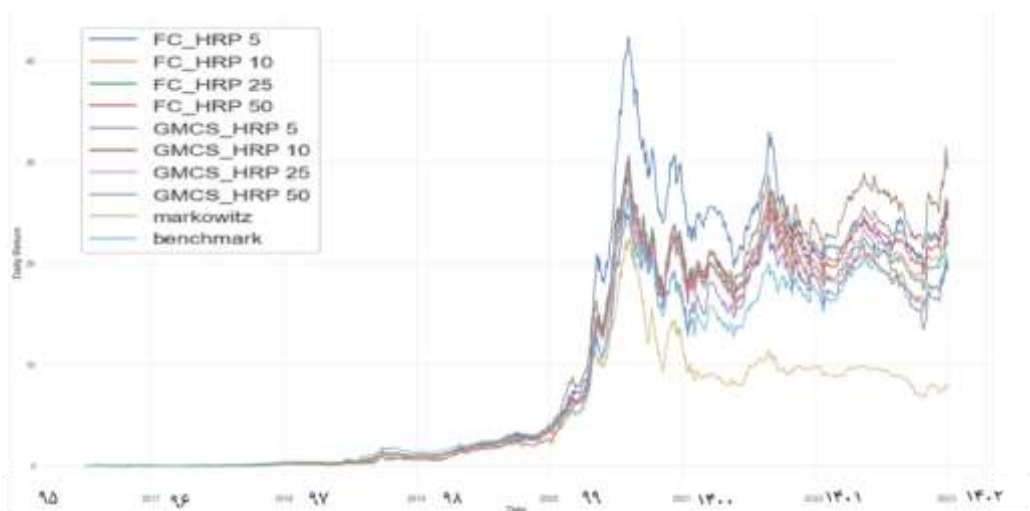
پس از این مرحله، وزن دارایی‌های انتخاب‌شده توسط معیارهای حاشیه‌ای در سبد مستقل خود مقیاس‌بندی مجدد شد.

جدول (۲): مقیاس بندی وزن های برابری ریسک سلسله مراتبی با ده دارایی براساس معیار حاشیه ای

Table (2) Scaling of hierarchical risk parity weights with ten assets based on the marginal-e criterion

نماد	وزن های جدید	نماد	وزن های جدید
۱ ویملت	۸۰۵۶٪	۶ حکشتی	۱۱۰۸۶٪
۲ فملی	۶۰۹۸٪	۷ پاکشو	۱۸۰۰۲٪
۳ همراه	۷۰۳۶٪	۸ شفن	۱۰۰۹۷٪
۴ وپارس	۱۱۰۸۶٪	۹ فخاس	۱۱۰۳۲٪
۵ خبهنم	۵۰۲۵٪	۱۰ بوعلی	۷۰۸۱٪

در نمودار شکل (۹) ۷ بازده سبدها با دو ماتریس همبستگی و تعداد دارایی ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ با انتخاب دارایی براساس درخت پوشای کمینه و وزن دهی با روش برابری ریسک سلسله مراتبی از تیر ماه سال ۱۳۹۵ تا دی ماه سال ۱۴۰۱ گزارش شده است. این سبدهای سهام با وزن دهی روش برابری ریسک سلسله مراتبی بدون انتخاب سهام (با ۵۰ شرکت فعال تر بورس ایران) و ورودی دو ماتریس همبستگی متفاوت و نیز شاخص ۵۰ شرکت فعال تر و رویکرد مارکویتز مقایسه شده است؛ برای مثال FC_HRP 25 و FC_HRP 25



شکل (۸): نمودار بازده شاخص ۵۰ شرکت فعال تر و رویکرد و مقایسه آن با راهبردهای پیاده سازی شده در تحقیق

Figure (9) Chart of the return of the 50 most active companies index and its approach and comparison with the strategies implemented in the research

به ترتیب نمایانگر سبد سهام ساخته شده با رویکرد ریسک سلسله مراتبی^۱ و ۲۵ دارایی انتخاب شده و با ورودی ماتریس همبستگی متقاطع کامل^۲ و ماتریس همبستگی با کسر حرکت سراسری^۳ است.

در جدول (۳) عملکرد ۸ راهبرد ارائه شده در این پژوهش با رویکرد ریسک سلسله مراتبی^۴ و تعداد دارایی های انتخاب شده ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ است و ماتریس همبستگی متقاطع کامل^۵ و ماتریس همبستگی با کسر حرکت سراسری^۶ نمایش داده شده که در این پژوهش براساس معیارهای ارزیابی بازده و ریسک مقایسه شده است.

¹ Hierarchical risk parity (HRP)

² Full cross correlation matrix (FC)

³ Global motion subtracted correlation matrix (GMSC)

⁴ Hierarchical risk parity (HRP)

⁵ Full cross correlation matrix (FC)

⁶ Global motion subtracted correlation matrix (GMSC)

جدول (۳): معیارهای عملکرد سبدهای سهام با ورودی‌های ماتریس‌های همبستگی و تعداد دارایی‌های متفاوت در بازه تیر ۱۳۹۵ تا دی ماه ۱۴۰۱

Table (3) Performance metrics of stock portfolios with inputs from correlation matrices and the number of different assets in the period

مارکوویتز	شاخص	تمام شرکت‌ها	k=25	k=10	k=5	عنوان روش پیشنهادی	معیار ارزیابی عملکرد
۷۸٪	۲۰۳٪	۲۴۹٪	۲۲۶٪	۱۹۷٪	۲۶۲٪	FC-HRP	بازده تجمعی
						GMSC-HRP	
۴۳٪	۶۳،۶٪	۶۹،۵٪	۶۶،۹٪	۶۳،۵٪	۷۰،۸٪	FC-HRP	میانگین بازده سالانه
						GMSC-HRP	
۱،۵۸٪	۱،۴۶٪	۱،۳۵٪	۱،۳۱٪	۱،۳۸٪	۱،۶۶٪	FC-HRP	انحراف معیار بازده روزانه
						GMSC-HRP	
۶۷،۳٪	۵۰،۹۱٪	۴۴،۱۷٪	۴۴،۷۵٪	۴۰،۱۱٪	۵۲،۱۶٪	FC-HRP	حداکثر کاهش
						GMSC-HRP	
۰،۸۰	۱،۷۷	۲،۱۹	۲،۱۳	۱،۸۶	۱،۸۳	FC-HRP	نسبت شارپ
						GMSC-HRP	

شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر در این بازه دارای بازده ۲۰۳۴ درصدی بوده است. در مقایسه راهبردها از بین ۸ راهبرد فقط ۲ راهبرد GMSC-HRP با پنج دارایی و FC-HRP با ده دارایی از شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر بازده کمتری کسب کرده‌اند. راهبرد GMSC-HRP با ده دارایی و راهبرد FC-HRP با پنج دارایی دارای بیشترین بازده بوده‌اند. این دو راهبرد با بازده‌های ۲۹۶۶ و ۲۶۲۵ درصدی به ترتیب به عملکردی بسیار بهتر از شاخص دست یافتند. راهبرد حداقل واریانس نیز دارای بازده بیشتر از شاخص بوده است.

در حالت انتخاب ۵ سهم راهبرد FC-HRP بسیار بهتر از راهبرد GMSC-HRP عمل کرده است. با انتخاب ۱۰ دارایی راهبرد GMSC-HRP بهتر از راهبرد FC-HRP بوده است و هرچه تعداد دارایی بیشتر شده است، همین روند ادامه داشته است؛ بدین معنا که راهبردهای GMSC-HRP برای تعداد دارایی بالاتر از ۱۰ عملکردهای بهتری داشته است؛ به همین دلیل برای سرمایه‌گذاران نهادی که توانایی اضافه کردن سهم‌های بیشتری به سبدهای سهام خود به واسطه امکانات بیشتر دارند، استفاده از ماتریس همبستگی GMSC-HRP بهتر است؛ اما برای سرمایه‌گذاران شخصی که سبدهای سهام با تعداد کمتری سهم دارند، راهبردهای FC-HRP مناسب‌تر است.

انحراف معیار بازده روزانه تنها در سه حالت، انتخاب پنج دارایی و روش GMSC-HRP با ده دارایی، بیشتر از شاخص پنجاه شرکت فعال‌تر است. این معیار نمایانگر ریسک در بازه‌های روزانه است؛ در نتیجه، ریسک روزانه هفت راهبرد به کاررفته در این پژوهش از شاخص پنجاه شرکت فعال‌تر کمتر است.

حداکثر کاهش که نمایانگر بزرگ‌ترین فاصله بین یک قله و دره و به نوعی نشان‌دهنده ریسک سرمایه‌گذاری است، در شاخص افت بالای ۵۰ درصدی را نشان می‌دهد. در راهبرد FC-HRP با ده دارایی به ۴۰ درصد رسیده است. در این شاخص، تنها راهبرد FC-HRP با پنج دارایی حداکثر افت بیشتری از شاخص داشته است؛ در نتیجه، این سبدهای سهام در مجموع ریسک کمتری در مقایسه با شاخص داشته‌اند، مگر در برخی مواردی که تعداد دارایی‌ها ده یا کمتر بوده است. در این موارد، ریسک سبدهای سهام در مقایسه با شاخص برابر یا بیشتر بوده است.

نسبت شارپ که نمایانگر بازده کسب‌شده به ازای ریسک است، در تمام راهبردها به جز راهبردهایی با انتخاب پنج سهم، از شاخص بهتر است؛ در نتیجه، این راهبردها توانسته‌اند به بازده‌های تعدیل‌شده نسبت به ریسک بهتر یا مشابه شاخص پنجاه شرکت فعال‌تر دست یابند.

رویکرد مارکوویتز در طول کل بازه پژوهش عملکرد ضعیف‌تر از سرمایه‌گذاری در شاخص و رویکردهای استفاده شده در پژوهش داشته است که در معیارهای بازده تجمعی و معیار حداکثر کاهش مشاهده می‌شود.

آزمون ویلکاکسون و آماره‌های آزمون ویلکاکسون در جدول (۴) نشان داده شده است. در هریک از این آزمون‌ها نسبت‌های شارپ شش‌ماهه یک سبد به صورت جفتی با نسبت‌های شارپ شش‌ماهه مدل مارکوویتز آزمون شده است.

جدول (۴): آماره‌های ویلکاکسون برای نسبت شارپ

Table (4) Wilcoxon statistics for Sharpe ratio

مقدار p	سبدهای سهام
۰,۷۸۷	FC-HRP 5
۰,۵۸۸	FC-HRP 10
۰,۰۴۰	FC-HRP 25
۰,۰۴۰	FC-HRP 50
۰,۰۹۴	GMSC-HRP 5
۰,۰۲۱	GMSC-HRP 10
۰,۰۴۰	GMSC-HRP 25
۰,۰۱۳	GMSC-HRP 50

باتوجه به سطح معنی‌داری ۱۰ درصد، در شش سبد از ۸ سبد فرضیه صفر تأیید می‌شود؛ به این معنا که بازده مدل ارائه‌شده در این پژوهش از مدل رقیب مارکوویتز از لحاظ آماری برتری دارد.

پس از بررسی عملکرد سبدهای سهام در طول زمان، عملکرد سبدهای سهام در بازه‌های مختلف بازار بررسی می‌شود. دوره پژوهش به سه قسمت تقسیم می‌شود؛ این سه قسمت نمایانگر دوره متعادل بازار^۱ و دوره صعودی^۲ و نزولی^۳ بازار است. این بازه‌ها بر مبنای بازده شاخص انتخاب شده است.

جدول (۵): دوره متعادل بازار از تیر ماه ۱۳۹۵ تا تیر ماه ۱۳۹۶

Table (5) Balanced market period

مدل مارکوویتز	شاخص	تمام شرکت‌ها	k=25	k=10	k=5	راهبرد	معیار ارزیابی عملکرد
-۸,۳٪	۴,۱٪	٪۳,۸	٪۴,۵۴	٪۱,۷-	٪۲,۱	FC-HRP	بازده تجمعی
						GMSC-HRP	
۰,۸۹٪	۰,۳۷٪	٪۰,۴۱	٪۰,۴۲	٪۰,۴۰	٪۰,۴۸	FC-HRP	انحراف معیار بازده روزانه
						GMSC-HRP	
-۱۲,۸٪	-۶,۳٪	-۸,۳٪	-٪۸,۲	-٪۹,۲	-٪۵,۲	FC-HRP	حداکثر کاهش
						GMSC-HRP	
-۲,۲۳	-۳,۳۱	-۲,۸۵	-۲,۶۰	-۳,۸۵	-۲,۶۵	FC-HRP	نسبت شارپ
						GMSC-HRP	

^۱ Sidewalk Market^۲ Bull Market^۳ Bear Market

جدول (۶): دوره بازار صعودی از تیر ماه ۱۳۹۶ تا مرداد ماه ۱۳۹۹

Table (6) Bull market period							
مدل مارکوویتز	شاخص	تمام شرکت‌ها	k=25	k=10	k=5	راهبرد	معیار ارزیابی عملکرد
%۲۳۶۶	%۲۵۳۴	%۲۸۴۴	%۲۷۴۶	%۲۶۵۳	%۴۰۹۳	FC-HRP	بازده تجمعی
						GMSC-HRP	
%۱،۶۸	%۱،۵۱	%۱،۴۱	%۱،۳۸	%۱،۵۶	%۱،۹۶	FC-HRP	انحراف معیار بازده روزانه
						GMSC-HRP	
%۱۹،۷۵	%۲۱،۰	%۲۱،۳	%۲۱،۰	%۲۰،۰	%۲۴،۷	FC-HRP	حداکثر کاهش
						GMSC-HRP	
۶،۵۹	۷،۴۲	۸،۶۳	۸،۵۸	۷،۴۹	۷،۴۷	FC-HRP	نسبت شارپ
						GMSC-HRP	

جدول (۷): دوره نزولی بازار بازه تیر ماه ۱۴۰۱ تا دی ماه ۱۴۰۱

Table (7) Market Downtrend Period							
مدل مارکوویتز	شاخص	تمام شرکت‌ها	k=25	k=10	k=5	راهبرد	معیار ارزیابی عملکرد
%۶۰،۸	%۲۲،۲	%۱۵،۰	%۲۰،۶	%۲۳،۲	%۳۶،۳	FC-HRP	بازده تجمعی
						GMSC-HRP	
%۱،۶۰	%۱،۶۳	%۱،۴۶	%۱،۳۹	%۱،۴	%۱،۴۷	FC-HRP	انحراف معیار بازده روزانه
						GMSC-HRP	
%۶۷،۳	%۵۰،۹	%۴۴،۲	%۴۴،۸	%۴۰،۱	%۵۲،۲	FC-HRP	حداکثر کاهش
						GMSC-HRP	
۲،۲۱	۱،۲۷	۱،۲۶	۱،۴۵	۱،۵۶	۱،۷۲	FC-HRP	نسبت شارپ
						GMSC-HRP	

دوره متعادل بازار در این پژوهش از تیرماه ۹۵ تا تیرماه ۹۶ است. در این دوره، ریسک و بازده سرمایه‌گذاری در شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر پایین بوده است. در این برهه تعادل بازار و نبود بازده‌های مثبت و منفی درخور توجه، عملکرد راهبردهای مبتنی بر برابری ریسک سلسله‌مراتبی و انتخاب دارایی‌های حاشیه‌ای تفاوت چندانی با سرمایه‌گذاری در خود شاخص ۵۰ شرکت ندارد. منفی بودن نسبت شارپ در این دوره نمایانگر مناسب نبودن بورس برای سرمایه‌گذاری در این برهه است؛ به این معنی که بازده بدون ریسک در این زمان عملکرد بهتری از بازده شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر داشته است. در این بازه رویکرد مارکوویتز بازده منفی کسب کرده است و نتوانسته است عملکردی همچون شاخص یا راهبردهای پیاده‌شده کسب کند. به علاوه، رویکرد مارکوویتز در این بازه نیز نتوانسته است انحراف معیار روزانه را که یکی از معیارهای ریسک است، کاهش دهد.

دوره بازار صعودی در این پژوهش از تیرماه ۹۶ تا مرداد ماه ۹۹ است. در این بازه، سرمایه‌گذاران در بورس اوراق بهادار تهران به بازده‌های خارق‌العاده دست یافتند. ۷ راهبرد از ۸ راهبرد برابری ریسک سلسله‌مراتبی و انتخاب دارایی بازده بیشتری از شاخص کسب کرده است. بیشتر راهبردها در کاهش انحراف معیار بازده روزانه نسبت به شاخص موفق بوده‌اند و نسبت شارپ بهتری نسبت به شاخص کسب کرده‌اند. در معیار حداکثر کاهش، سبدهای سهام دارای ۵ دارایی حداکثر کاهش بیشتری در مقایسه با شاخص داشته‌اند و نسبت شارپ معادل یا ضعیف‌تری در مقایسه با شاخص دارند که این نشان می‌دهد با پنج دارایی این راهبردها نتوانسته است ریسک سرمایه‌گذاری را کاهش دهد؛ اما عملکرد خوب راهبرد FC-HRP با ۵ دارایی نشان از برتری راهبرد FC-HRP از GMSC-HRP در سبدهای سهام با ۵ دارایی دارد که این مسئله درباره کل بازه پژوهش نیز صدق می‌کند.

رویکرد مارکوویتز در این دوره بازده ضعیفی داشته است و از بازده بازار بازده کمتری کسب کرده است و دارای نسبت شارپ برابر با ۶/۵۹ بوده است که فقط از یک سبد عملکرد بهتری داشته است.

در این دوره رکود که بازده شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر منفی ۲۲ درصد بوده است، ۶ راهبرد از ۸ راهبرد بررسی شده دارای بازده بهتری از شاخص بوده‌اند و حتی در راهبرد GMSC-HRP با تعداد دارایی ۱۰، بازده حدود صفر نیز حاصل شده است. از نظر معیار حداکثر کاهش، تمامی راهبردها به‌جز راهبرد FC-HRP با پنج دارایی بهتر از شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر عمل کرده است.

راهبردهای پیاده‌شده در این پژوهش عملکرد بسیار بهتری از رویکرد مارکوویتز در بازه نزولی شاخص داشته است. سرمایه‌گذاران با رویکرد مارکوویتز در این بازه به بازده ۶۰/۸٪ می‌رسیدند که عملکرد ضعیفی بوده است و سرمایه‌گذاری در راهبردهای رویکرد برابری ریسک سلسله‌مراتبی با درخت پوشای کمینه نتیجه بسیار بهتری به همراه داشته است و بازده منفی کمتری کسب شده است. بازده رویکرد مارکوویتز در دو دوره متعادل و نزولی بازار ضعیف بوده است که سبب عملکرد کلی ضعیف این مدل در مقایسه با شاخص و راهبردهای پیاده‌شده در این پژوهش شده است.

به علت بازده منفی و منفی‌بودن صورت کسر نسبت شارپ نیز منفی است. این نکته نشان می‌دهد که بازده شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر و راهبردها از نرخ بهره بدون ریسک کمتر بوده و بورس در این باه زمانی سرمایه‌گذاری مناسبی نبوده است. استفاده از این راهبردها در زمان بازار نزولی ثمربخش بوده است.

نتایج و پیشنهادها

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که رویکرد برابری ریسک سلسله‌مراتبی با انتخاب دارایی در بیشتر موارد در مقایسه با سرمایه‌گذاری در شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر عملکرد بهتری داشته است و از نظر معیارهای ریسکی می‌تواند انحراف معیار را کاهش دهد؛ علاوه‌براین، این رویکرد می‌تواند نسبت‌های ارزیابی بازده به‌ازای ریسک مانند نسبت شارپ را بهبود بخشد. دو ماتریس ورودی مدل ریسک سلسله‌مراتبی بدون انتخاب دارایی، یعنی ماتریس همبستگی متقاطع کامل و ماتریس همبستگی با کسر حرکت سراسری، به‌عنوان ورودی این مدل عملکرد خوبی داشته‌اند. از نوآوری‌های این پژوهش می‌توان به استفاده از ماتریس همبستگی جدید با کسر حرکت سراسری برای وزن‌دهی و همچنین ترکیب دو روش وزن‌دهی و انتخاب دارایی را در بورس ایران اشاره کرد.

شایان ذکر است که در مدل انتخاب دارایی‌های حاشیه‌ای براساس درخت پوشای کمینه، ماتریس همبستگی متقاطع کامل برای تعداد دارایی کمتر، برای مثال ۵ دارایی که ده درصد دارایی‌های شاخص را شامل می‌شود، عملکرد بهتری داشته است؛ اما مدل انتخاب دارایی براساس ماتریس همبستگی با کسر حرکت سراسری در دارایی‌های با تعداد بیشتر موفق‌تر عمل کرده است. باتوجه‌به این نکته که سرمایه‌گذاران شخصی امکانات کمتری از سرمایه‌گذاران نهادی دارند و تمایل آن‌ها به داشتن تعداد دارایی کمتر است، استفاده از ماتریس متقاطع کامل به این سرمایه‌گذاران توصیه می‌شود؛ اما صندوق‌های سرمایه‌گذاران نهادی و صرف وقت و انرژی بیشتر این گروه در راستای کسب بازده و اجتناب بیشتر از ریسک‌ها استفاده از ماتریس همبستگی با کسر حرکت سراسری به سرمایه‌گذاران نهادی توصیه می‌شود.

عملکرد راهبردهای استفاده‌شده در این پژوهش در زمان تعادل بازار تفاوت چندانی با شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر نداشت؛ اما بیشتر راهبردها در زمان صعود بازار از تیرماه ۹۶ تا مرداد ۹۹ بازده بیشتری نسبت به شاخص کسب کردند. یکی از دستاوردهای مهم این پژوهش، عملکرد خوب رویکرد انتخاب دارایی در بورس تهران در بازار نزولی بعد از مرداد سال ۹۹ است. رویکردهای ریسک سلسله‌مراتبی و انتخاب دارایی با دو ماتریس همبستگی متفاوت توانستند بازده منفی را به‌شدت کاهش دهند.

وزن‌دهی با روش برابری ریسک سلسله‌مراتبی بدون انتخاب دارایی عملکرد سبد پنجاه شرکت را در مقایسه با حالت وزن‌دهی براساس شاخص بهبود داده است. همان‌طور که از مطالعات مارکوویتز نتیجه می‌شود، تنوع‌بخشی با افزودن دارایی‌های بیشتر به سبد

سهام ممکن است و هرچه دارایی‌های اضافه‌شده بیشتر و غیرهمبسته‌تر باشد، تنوع‌بخشی کارآمدتری به دست می‌آید؛ اما افزودن دارایی‌ها برای سرمایه‌گذاران به سادگی ممکن نیست؛ زیرا نیازمند صرف زمان برای تحلیل و متحمل شدن هزینه‌های بیشتر برای معاملات و وزن‌دهی جدید در سبد سهام است. با استفاده از روش انتخاب دارایی‌های حاشیه‌ای که در این پژوهش برای انتخاب سهام استفاده شده، می‌توان با تعداد دارایی کمتر و از طریق افزودن دارایی‌های غیرهمبسته به تنوع‌بخشی کارآمد رسید، هزینه‌های معاملاتی را کاهش و کارایی سرمایه‌گذاران نهادی و شخصی را افزایش داد.

ترکیب این روش ریسک سلسله‌مراتبی با دیگر شاخه‌های یادگیری ماشین، مانند یادگیری عمیق، می‌تواند به عملکردهای بهتری منجر شود. مقالاتی که به ترکیب روش ریسک سلسله‌مراتبی با روش‌های دیگر پرداخته‌اند، همانند میله آ و ادلت (Millea & Edala, 2023) نشان می‌دهد که پژوهشگران می‌توانند با نوآوری‌های جدید به نتایج بهتری دست یابند. یکی از روش‌های نمایش شبکه‌های پیچیده استفاده از درخت پوشای کمینه و نظریه گراف است. این نمایش به صورت گراف می‌تواند شناخت بهتری از بازار ارائه کند. در این پژوهش از تقسیم‌بندی دارایی‌ها به دارایی‌های حاشیه‌ای و مرکزی استفاده شده است؛ اما پژوهشگران می‌توانند ویژگی‌های دیگری برای یال‌ها و رئوس گراف بازار تعریف کنند تا به شناخت عمیق‌تری از بازار برسند و راهبردهای سودآور دیگری نیز پایه‌گذاری کنند. ورودی این مدل‌ها ماتریس‌های همبستگی است که کاربرد جبر خطی در مالی را نشان می‌دهد. پژوهشگران می‌توانند با استفاده از دانش‌های حوزه جبر خطی و شناخت دقیق‌تر از ماتریس همبستگی بازار، ماتریس‌های دیگری معرفی کنند که ورودی بهتری برای مدل باشد. یکی از تلاش‌هایی که در این زمینه شده است، حذف نویزها از ماتریس همبستگی بازار بوده است و مقالاتی در زمینه مقایسه ماتریس‌های همبستگی بازار و فرضیه‌های آن در جبر خطی وجود دارد.

ترسیم شبکه‌ها براساس فرضیه گراف و درخت پوشای کمینه می‌تواند علاوه بر بازار سهام در بازارهای اختیار معاملات و آتی نیز استفاده شود. روش برابری ریسک سلسله‌مراتبی می‌تواند برای دارایی‌های دیگری مانند اوراق درآمد ثابت و صندوق‌های طلا در بازار بورس ایران نیز استفاده شود. باتوجه به منفی بودن بازده بازار بورس تهران در برخی سال‌ها، این رویکرد می‌تواند ریسک سرمایه‌گذاران را کاهش و گاهی نیز بازده را افزایش دهد.

منابع

توکلی، صادق (۱۳۹۲). انتخاب پرتفوی با استفاده از الگوریتم تئوری گراف و رویکرد ماتریسی [پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران].

دوست جهزدانی، علی (۱۴۰۱). استفاده از یادگیری ماشین در بهینه‌سازی سبد سهام با رویکرد برابری ریسک سلسله‌مراتبی [پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه دامغان].

نمکی، علی، و کافی موسوی، فاطمه (۱۴۰۱). بهینه‌سازی پرتفوی سهام با استفاده از الگوریتم‌های CNN-LSTM و شبکه عصبی پیچشی. چهارمین همایش سالانه انجمن مالی ایران، اصفهان.

نوراحمدی، مرضیه، و صادقی، حجت‌الله (۱۴۰۱). یادگیری ماشین مبتنی بر رویکرد سلسله‌مراتبی برابری ریسک (مطالعه موردی: پرتفولیو سهام متشکل از ۳۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران). تحقیقات مالی، ۲۴(۲)، ۲۳۶-۲۵۶.

<https://doi.org/10.22059/frj.2021.319092.1007146>

References

- Cho, Y., & Song, J. (2023). Hierarchical risk parity using security selection based on peripheral assets of correlation-based minimum spanning trees. *Financial Research Letters*, 53, 103608. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103608>
- De Prado, M. L. (2016). Building diversified Portfolio that outperform out of sample. *The Journal of Portfolio Management*, 42(4), 59-69. <https://doi.org/10.3905/jpm.2016.42.4.059>

- Dostjanzandani, A. (2022). *Using Machine Learning in Portfolio Optimization with a Hierarchical Risk Parity Approach* [Master's thesis, University of Damghan]. [In Persian]
- Millea, A., & Edalat, A. (2023). Using deep reinforcement learning with hierarchical risk parity for portfolio optimization. *International Journal of Financial Studies*, 11(1), 10. <https://doi.org/10.3390/ijfs11010010>
- Namaki, A., & Kafimousavi, F. (2023). *Stock portfolio optimization using CNN-LSTM algorithms and convolutional neural network*. The Fourth Annual Conference of the Iranian Financial Association. Isfahan. [In Persian]
- Nourahmadi, M., & Sadeqi, H. (2022). A Machine Learning-Based hierarchical risk parity approach: A case study of Portfolio consisting of stocks of the top 30 companies on the Tehran Stock Exchange. *Financial Research Journal*, 24(2), 236-256. <https://doi.org/10.22059/frj.2021.319092.1007146> [In Persian]
- Pan, R., & Sinha, S. (2007). Collective behavior of stock price movements in an emerging market. *Physical Review E*, 76, 046116. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.76.046116>
- Pozzi, F., Di Matteo, T., & Aste, T. (2013). Spread of risk across financial markets: better to invest in the peripheries. *Scientific Report*, 3, 1665. <https://doi.org/10.1038/srep01665>
- Tavakoli, S. (2013). *Portfolio Selection Using Graph Theory and a Matrix Approach* [Master's thesis, University of Tehran]. [In Persian]

