



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

Journal of Asset Management and Financing
E-ISSN: 2383-1189
Vol. 13, Issue 2, No. 49, Summer 2025, p 129-154
Received: 15/10/2024 Accepted: 01/02/2025

Research Paper

Dynamic Relationship between the Iranian Stock Market and Commodity Markets: A TVP-VAR Approach and Portfolio Optimization

Hadi Esmailpour Moghadam* 

Assistant Professor, Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
esmailpour@um.ac.ir

Emad Sharifbagheri

M. A. Student in Economics, Department of Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

emad.sharifbagheri@mail.um.ac.ir

Abstract

This study employs the Time-Varying Parameter Vector Autoregression (TVP-VAR) model to investigate the dynamic relationships among various commodity markets—including copper, aluminum, nickel, tin, zinc, lead, gold, and crude oil—and the Iranian stock market over the period from June 16, 2014, to May 21, 2024. The results indicate that cross-market interactions account for approximately 42.69% of the forecast error variance, revealing significant spillovers among these markets. By utilizing pairwise connectedness indices, an optimal asset portfolio is constructed using the minimum connectedness approach (MCoP) and subsequently compared with traditional methods such as the Minimum Variance Portfolio (MVP) and the Minimum Correlation Portfolio (MCP). The results demonstrate that optimal portfolio weights vary across investment strategies, with gold and the Iranian stock index consistently exhibiting the highest weights in the optimal portfolios. Furthermore, an examination of optimal weights in two-asset portfolios highlights a preference for increased investments in copper and gold. Hedging strategies also prove effective in mitigating asset volatility, particularly in the nickel and Brent oil markets.

Keywords: Connectedness Approach, Risk, Market Spillover, Portfolio Management.

Introduction

Recently, the integration of the global financial system has significantly declined due to external shocks, underscoring the critical need for diversification in investment portfolios. The Markowitz Portfolio Theory serves as the foundational framework in this context, emphasizing the simultaneous evaluation of risk and return in investment decisions. Its primary objective is to identify a portfolio that minimizes risk for a specified level of return or maximizes return for a given level of risk. Furthermore, the Minimum Correlation approach calculates the weights of the investment portfolio using a conditional correlation matrix. A more contemporary method, known as Minimum Connectedness, has gained prominence as it allocates greater weights to assets that exhibit minimal connectivity and influence on other assets. This method assesses the interdependencies among assets and the spillover effects between markets. Despite the extensive body of research examining spillovers across various markets, the specific analysis of spillovers between the Iranian stock market and commodity markets has not been sufficiently explored. This study aims to address this gap in the literature.

Materials and Methods

This study employs a four-step empirical framework. In the first stage, the Time-Varying Parameter Vector Autoregression (TVP-VAR) method is utilized to analyze the dynamic relationships among essential metals, including copper, aluminum, nickel, tin, zinc, and lead, as well as gold, oil, and the Tehran Stock Exchange Index, during the period from June 16, 2014, to May 21, 2024. The TVP-VAR method is particularly well-suited for examining complex and dynamic financial relationships due to its unique characteristics, such as the elimination of random window selection requirements and reduced sensitivity to outlier observations. The second phase involves variance decomposition, which facilitates a more nuanced analysis of the connections and spillovers among the markets. In the third phase, an optimal asset portfolio is constructed using the Minimum Connectedness approach (MCoP), and its performance is

*Corresponding author

Esmailpour, H. and Sharifbagheri, E. (2025). Dynamic Relationship between the Iranian Stock Market and Commodity Markets: A TVP-VAR Approach and Portfolio Optimization. *Journal of Asset Management and Financing*, 13(2), 129-154.



2383-1189 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



10.22108/amf.2025.143052.1931

compared with that of traditional methods, including the Minimum Variance Portfolio (MVP) and the Minimum Correlation Portfolio (MCP). Finally, two key performance measures—hedging effectiveness and cumulative return—are employed to evaluate portfolio performance. These analytical stages are conducted through both pairwise and multivariate analyses to enhance the robustness and accuracy of the results.

Findings

The results of the TVP-VAR model indicate that the average total connections amount to 69.42, accounting for approximately 69.42% of the forecast error variance, while in-sample variations represent the remaining 31.57%. These findings suggest a relatively strong systemic risk among the studied markets. Within this network, copper exhibited the highest spillover effect to other markets, whereas Brent oil and gold demonstrated significant responsiveness. Throughout the observation period, copper consistently maintained the highest level of connectivity among the base metals. The estimation of optimal weights revealed considerable variation in asset allocations across different investment approaches. Notably, gold held the highest weight in the Minimum Variance Portfolio (MVP) approach, while the Iranian stock index represented the largest weight in the other two portfolio strategies. The discrepancies in optimal weights within the MVP approach were more pronounced compared to the other two approaches, which exhibited greater similarity in their asset allocations. Furthermore, hedging effectiveness across all three approaches demonstrated that hedging strategies—particularly for nickel and Brent oil—significantly reduce asset volatility. An analysis of optimal weights in two-asset portfolios indicated greater average allocations for the Copper/Nickel and Gold/Brent pairs, highlighting a tendency for increased investment in copper and gold. Additionally, the high hedging effectiveness of 91% in the Nickel/Gold portfolio suggests that incorporating nickel into the investment strategy can enhance risk-return characteristics. The optimal hedging ratios illustrated the highest risk neutralization for the Nickel/Copper combination, achieving an average efficiency of 84%, while the ratio for Nickel/TSE was negative, with a minimum value of -0.04.

Discussion & Conclusion

The analysis highlights the essential role of diversification within asset portfolios for effective risk management. The findings emphasize the significant weight attributed to copper and gold across various investment strategies. Copper, due to its substantial spillover effects on other markets, and gold, which serves as a safe-haven asset resilient to market fluctuations, have been identified as strategic investments. Consequently, it is advisable for investors to closely monitor these two markets and increase their allocations in investment portfolios to enhance risk-return characteristics. Moreover, hedging strategies provide investors with the capability to mitigate existing asset volatilities and associated risks. This research underscores the necessity for continuous and adaptable portfolio management, particularly in light of the dynamic nature of correlations among assets. Overall, employing innovative approaches, such as Minimum Connectedness, in lieu of traditional methods may lead to improved investment portfolio performance and allow for quicker responses to market changes. This adaptability and dynamism in portfolio management ultimately contribute to reduced risk and increased returns.

مقاله پژوهشی

ارتباط پویای بین بازار سهام ایران و بازارهای کالایی: رویکرد TVP-VAR و بهینه‌سازی سبد دارایی

هادی اسماعیل پور مقدم 

استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

esmaeilpour@um.ac.ir

عماد شریف‌باقری

دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

emad.sharifbagheri@mail.um.ac.ir

چکیده

پژوهش حاضر با به‌کارگیری روش خودرگرسیون برداری با پارامترهای متغیر در زمان (TVP-VAR)، روابط پویای بین بازارهای آتی کالایی شامل مس، آلومینیوم، نیکل، قلع، روی، سرب، طلا، نفت خام و بازار سهام ایران را در بازه زمانی ۲۶ خرداد ۱۳۹۳ تا ۱ خرداد ۱۴۰۳ بررسی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات متقابل بین این بازارها، تقریباً ۴۲/۶۹٪ از واریانس خطای پیش‌بینی را تبیین می‌کند که گواهی بر وجود سرریزهای درخور توجهی میان این بازارها است. در ادامه، با استفاده از شاخص‌های همبستگی زوجی، سبد بهینه‌ای از دارایی‌ها را با رویکرد سبد دارایی حداقل اتصالات ارائه می‌دهد و آن را با روش‌های سنتی سبد دارایی حداقل واریانس و سبد دارایی حداقل همبستگی مقایسه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که وزن‌های بهینه در سبد در رویکردهای مختلف سرمایه‌گذاری متفاوت‌اند؛ باین‌حال، طلا و شاخص بورس ایران به طور مداوم دارای بالاترین وزن‌ها در سبدهای بهینه بوده‌اند. تحلیل وزن‌های بهینه سبدهای دو متغیره نیز نشان داد که تمایل به سرمایه‌گذاری بیشتر در مس و طلا است. این یافته‌ها پیامدهای مهمی برای سیاست‌گذاران و سرمایه‌گذاران دارد.

کلیدواژه‌ها: رویکرد اتصالات، ریسک، سرریز بازارها، مدیریت سبد

طبقه‌بندی JEL: G14, G41, C32.

* نویسنده مسئول

اسماعیل پور مقدم، هادی و شریف‌باقری، عماد. (۱۴۰۴). ارتباط پویای بین بازار سهام ایران و بازارهای کالایی: رویکرد TVP-VAR و بهینه‌سازی سبد دارایی. مدیریت دارایی و تأمین مالی، ۱۳ (۲)، ۱۲۹-۱۵۴.



مقدمه

در دهه‌های اخیر، یکپارچگی نظام مالی جهانی به دلیل وقوع شوک‌های خارجی اقتصاد کاهش یافته است؛ از این رو، متنوع‌سازی سبد سرمایه‌گذاری ضرورت پیدا کرده است (Qu & Suganthan, 2011; Mishra et al., 2016). پایه‌ای‌ترین نظریه سبد دارایی، نظریه سبد مارکوویتز است که در تشکیل سبد، به دو عامل ریسک و بازده توجه می‌شود. براساس این نظریه، هدف سرمایه‌گذار انتخاب سبدی است که ریسک را در سطح مشخصی از بازده حداقل یا بازده را در سطح مشخصی از ریسک حداکثر کند (Markovitz, 1959). در رویکرد دیگر سبد دارایی موسوم به حداقل همبستگی^۱، وزن‌های سبد با استفاده از ماتریس همبستگی شرطی به دست می‌آید (Christoffersen et al., 2014). رویکرد نسبتاً جدیدی که برودستاک و همکاران (Broadstock et al., 2022) معرفی کرده‌اند، رویکرد موسوم به حداقل اتصال^۲ است. براساس این رویکرد، دارایی که کمترین اتصال را با دیگر دارایی‌های موجود داشته باشد و کمترین تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری را دارد، وزن بیشتری می‌گیرد (Broadstock et al., 2022). شایان ذکر است که اتصال نقش مهمی در مدیریت ریسک ایفا می‌کند (Billio et al., 2012). از طریق اتصال نیز می‌توان وابستگی متقابل بین دارایی‌ها (Torrente & Uberti, 2021) و سرریزهای بین بازارها را سنجید (Yu et al., 2018; Bisias et al., 2012; Xiao et al., 2020; Maggi et al., 2020; Andries & Galasan, 2020).

اخیراً بررسی اتصالات متقابل بین دارایی‌های مالی به موضوعی درخور توجه تبدیل شده است؛ زیرا نوسانات رخ داده در بازاری خاص می‌تواند به بازارهای دیگر نیز منتقل شود. بیشتر ادبیات درباره بررسی اثرات سرریز بین بازارها، به سهام به عنوان عامل اصلی سرریز اشاره می‌کند (Papathanasiou et al., 2022; Zhang et al., 2021; Elsayed et al., 2020; Evrim, 2016; Wang et al., 2016; Mandaci et al., 2020; Zhang, 2017). باین حال، در برخی از مطالعات، بیت‌کوین را به عنوان فرستنده خالص سرریزها تأیید کرده‌اند (Adekoya & Oliyide, 2021; Yousaf & Yarovaya, 2022; Elsayed et al., 2022). نتایج برخی مطالعات نیز دلالت بر دریافت‌کننده اثرات سرریز توسط اوراق قرضه (Duncan & Kabundi, 2013; Tiwari et al., 2018) و کالاها (Zhang et al., 2019) دارد. از نفت و طلا نیز هر دو به عنوان نقش فرستنده (Samitas et al., 2022; Mensi, 2016; Maghyreh et al., 2019; et al., 2019) و دریافت‌کننده (Zeng et al., 2020; Kang & Lee, 2019) سرریزها یاد کرده‌اند. با وجود مطالعات مختلف در بررسی اثرات سرریز بین بازارها، بررسی سرریز بین بازار سهام ایران و بازارهای کالایی دیده نمی‌شود که در این پژوهش، این موضوع بررسی می‌شود؛ بنابراین، این پژوهش از چند جهت دارای نوآوری است: اول، در این پژوهش، ارتباطات بازار سهام ایران با گروه گسترده‌ای از دارایی‌ها شامل فلزات اساسی، طلا و نفت بررسی می‌شود؛ دوم، این پژوهش از روش خودرگرسیون برداری با پارامترهای متغیر در زمان^۳ (TVP-VAR) که آنتوناکاکیس و همکاران (Antonakakis et al., 2020) آن را توسعه داده‌اند، برای تحلیل روابط پویای بین فلزات اساسی مانند مس، آلومینیوم، نیکل، قلع، روی و سرب، به همراه طلا و نفت در کنار شاخص کل بورس ایران در بازه زمانی ۲۶ خرداد ۱۳۹۳ تا ۱ خرداد ۱۴۰۳ استفاده می‌کند. ویژگی‌های متمایز روش TVP-VAR این است که نیازی به انتخاب تصادفی اندازه پنجره غلتان ندارد، به مشاهدات پرت حساسیت کمتری دارد و با تغییرات پارامترها در تحلیل داده‌های با تواتر پایین به خوبی سازگار است. این مزایا روش TVP-VAR را به گزینه‌ای مناسب برای بررسی روابط پیچیده و پویا در بازارهای مالی تبدیل کرده است؛ سوم، سبد بهینه‌ای از دارایی‌ها با استفاده از رویکرد جدید سبد دارایی حداقل اتصالات^۴ ارائه شده و با روش‌های سنتی سبد دارایی حداقل واریانس و حداقل همبستگی مقایسه می‌شود. این رویکرد را نخستین بار برداستاک و همکاران (Broadstock et al., 2022) معرفی کردند.

¹ Minimum Correlation

² Minimum Connectedness

³ Time-Varying Parameter Vector Autoregressions (TVP-VAR)

⁴ Minimum Connectedness portfolio (MCoP)

(2022) معرفی کردند که با در نظر گرفتن تمامی شاخص‌های اتصالات زوجی به جای واریانس یا ماتریس همبستگی، امکان نظارت دقیق‌تر بر نوسانات بازار و واکنش سریع‌تر به تغییرات را فراهم و به بهبود مدیریت ریسک کمک می‌کند. استفاده از رویکرد حداقل اتصالات به جای روش‌های سنتی در ایجاد سبد بهینه، انعطاف‌پذیری و پویایی بیشتری در مدیریت سبد سرمایه‌گذاری ایجاد می‌کند و به کاهش ریسک و افزایش بازدهی منجر می‌شود.

در ادامه، بخش دوم مقاله پیشینه پژوهش را مرور می‌کند. بخش سوم، داده‌ها و رویکرد اقتصادسنجی به‌کاررفته را توصیف می‌کند و بخش چهارم، یافته‌های تجربی به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل مدل را ارائه می‌دهد و در نهایت، بخش پنجم، بحث و نتیجه‌گیری می‌شود.

مبانی نظری

بخش زیادی از ادبیات مالی با هدف بررسی تأثیر سرریز بازده بین طبقات دارایی مختلف صورت گرفته است. نتایج پژوهش‌های احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2024)، رودری و همکاران (Roudari et al., 2022)، صیادی و کریمی (Sayadi & Karimi, 2019) و حیدری و بشیری (Heidari & Bashiri, 2012) در بررسی سرریز بین بازارهای سهام و ارز نشان داد که سرریز ریسک معناداری بین بازارهای ارز و سهام وجود دارد. بردبار و حیدری (Bordbar & Heidari, 2017) رابطه بین نوسانات قیمت نفت و بازده سهام را بررسی کردند. نتایج حاکی از ارتباط منفی و معنادار بین نوسانات بازار نفت و نوسانات بازده سهام بود. سرریز ریسک میان صنایع بورسی ایران در پژوهش طالبلو و همکاران (Taleblou et al., 2024) بررسی شد. نتایج نشان داد که صنایع پتروشیمی، فلزات، معادن و پالایشگاه‌ها بیشترین اتصالات و سرریز نوسانات را دارا بوده‌اند. در پژوهشی، شیرمردی و همکاران (Shirmardi et al., 2024) اثر شوک‌های مالی و اقتصادی بر بازده سهام بازار نیویورک را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در کوتاه‌مدت، شوک‌های اقتصادی اثر منفی دارند و در بلندمدت، سودآوری بیشترین تأثیر را دارد.

نتایج بررسی اثرات سرریز میان بازارهای سهام و کالایی در کانگ و همکاران (Kang et al., 2017)، نتامیس و ژو (Ntantamis & Zhou, 2015)، منسی و همکاران (Mensi et al., 2015) و کرتی و همکاران (Creti et al., 2013) حاکی از سرریز معنادار بین بازارهای کالا و سهام بود. نتایج غزانی و همکاران (Ghazani et al., 2024)، آل یحیایی و همکاران (Al-Yahyaee et al., 2019) و یون و همکاران (Yoon et al., 2019) حاکی از تشدید سرریز بین بازارهای مالی و کالایی در طول بحران بود. بررسی سرریز میان بازارهای سهام و نفت در پژوهش ژانگ (Zhang, 2017) نشان داد شوک‌های نفتی سهم محدودی در بازار سهام دارند؛ درحالی‌که نقش شوک‌های نفت در پژوهش حنیف و همکاران (Hanif et al., 2024) درخور توجه بود. نتایج جونتیلا و همکاران (Junttila et al., 2018) نشان‌دهنده همبستگی منفی بازارهای سهام و نفت در طول دوره‌های رکود مالی بود. خو و همکاران (Xu et al., 2019) نشان دادند که اثر سرریزهای بد بین بازارهای سهام و نفت بر سرریزهای خوب غالب است. ارتباط سرریزهای قیمت نفت و سهام انرژی پاک نیز در پژوهش وانگ و همکاران (Wang et al., 2024) تأیید شد. بررسی ارتباط میان بازارهای سهام و طلا در پژوهش سینگهال و همکاران (Singhal et al., 2019) حاکی از وجود ارتباط مثبت بین قیمت‌های طلا و قیمت سهام بود. بررسی سرریز میان بازارهای سهام و فلزات گرانبها در پژوهش‌های اودین و همکاران (Uddin et al., 2020) و جیانگ و همکاران (Jiang et al., 2019) حاکی از وجود شواهدی از انتقال نوسانات طولانی‌مدت بین بازارها است.

بخشی دیگر از ادبیات مالی با استفاده از اثرات سرریز میان دارایی‌ها سبد دارایی‌ها را مدیریت کرده‌اند. براساس پژوهش اوزتک و اوکال (Öztek & Öcal, 2017) تنوع سبد بازارهای سهام و کالایی در زمان‌های آرام در مقایسه با دوره‌های پرنوسان،

نتایج بهتری ارائه می‌دهد. پنگ (Peng, 2020) و بلوسوا و درفیتنر (Belousova & Dorfleitner, 2021) دریافتند که فلزات گرانبها متنوع‌کننده خوبی برای بازارهای سهام هستند. بهاتیا و همکاران (Bhatia et al., 2020) دریافتند که نقره پوشش بهتری از سایر فلزات گرانبها برای بازارهای سهام نوظهور ارائه می‌دهد.

اسکیادوپولوس (Skiadopoulos, 2012) از طلا و نقره به عنوان تنوع‌بخش‌های خوب برای سرمایه‌گذاران استفاده کرد. در پژوهش هود و مالیک (Hood & Malik, 2013) پناهگاه امن بودن طلا برخلاف نقره و پلاتین تأیید شد و نتایج نشان داد طلا به عنوان پناهگاهی امن ضعیف برای بازار سهام S&P500 عمل می‌کند. نفت به عنوان دارایی پوششی برای بازارهای سهام در حال ظهور در پژوهش سادورسکی (Sadorsky, 2014) با استفاده از تحلیل سرریزهای نوسانات بین بازارهای سهام در حال ظهور و کالاهای مختلف شد. نتایج پژوهش اولسون و همکاران (Olson et al., 2014) حاکی از این بود که شاخص انرژی به طور کلی ابزار پوششی ضعیف است؛ در مقابل در پژوهش بتاچرجی و همکاران (Bhattacharjee et al., 2024) پناهگاه امن بودن انرژی پاک تأیید شد.

روش پژوهش

در این پژوهش، چارچوب تجربی چهارمرحله‌ای به این شرح استفاده شده است: در مرحله اول، مدل TVP-VAR تخمین زده می‌شود تا ماتریس‌های واریانس کوواریانس متغیر در طول زمان به دست آید. این روش مشابه رویکرد آنتوناکاکیس و همکاران (Antonakakis et al., 2020) است؛ گام دوم شامل تجزیه واریانس است که امکان تجزیه و تحلیل دقیق اتصالات و سرریزها را فراهم می‌کند؛ در مرحله سوم، سبد بهینه دارایی‌ها که با رویکرد سبد دارایی حداقل اتصالات^۱ به دست آمده است، با سبد بهینه حاصل از روش‌های حداقل واریانس^۲ و حداقل همبستگی^۳ مقایسه می‌شود. برای مقایسه عملکرد سبدها از دو معیار اثربخشی هج^۴ و بازدهی تجمعی سبد دارایی‌ها استفاده می‌شود. این مراحل به صورت دوبه‌دو و چندمتغیره انجام می‌شود تا نتایج دقیق‌تری حاصل شود.

مدل خودرگرسیون برداری با پارامترهای متغیر در زمان (TVP-VAR)

رویکرد دیبولد و ییلماز (2009, 2012, 2014) به عنوان یکی از تکنیک‌های پرترفدار اقتصادسنجی برای مطالعه اتصالات شناخته می‌شود. یکی از محدودیت‌های این رویکرد، وابستگی شدید آن به اندازه پنجره غلطان تصادفی^۵ است. یکی از تلاش‌هایی که برای رفع این نقص انجام شده است، جایگزین کردن رویکرد خودرگرسیون برداری با پارامترهای متغیر در زمان (TVP-VAR) به جای مدل VAR با پنجره غلطان است که آنتوناکاکیس و همکاران (Antonakakis et al., 2020) انجام داده‌اند. ویژگی متمایز این روش، رویکرد نوآورانه آن است که مزایای متعددی را به همراه دارد: نخست آنکه این روش نیازی به انتخاب اندازه تصادفی پنجره غلطان ندارد؛ دوم آنکه این روش قادر است تمام مشاهدات را بدون هیچ گونه از دست دادن داده‌ها حفظ کند؛ زیرا که در این مدل به طور پویا پارامترهای هر زمان براساس داده‌های قبلی به روزرسانی می‌شوند؛ سوم آنکه حساسیت کمتری به مشاهدات دورافتاده دارد و سرانجام، این روش با تغییرات پارامترها در تحلیل مجموعه داده‌هایی با تواتر کم، سازگاری بهتری دارد. در این مقاله، از چارچوب اتصالات مبتنی بر TVP-VAR با بهره‌گیری از الگوریتم چندمتغیره فیلتر

¹ Minimum Connectedness Portfolio

² Minimum Variance Portfolio

³ Minimum Correlation Portfolio

⁴ Hedging Effectiveness

⁵ Random rolling window

$$\varphi_{ij,t}^{gen}(L) = \frac{E(\varphi_{i,t}^2(L)) - E[\varphi_{i,t}(L) - E(\varphi_{i,t}(L)) | \epsilon_{j,t+1}, \dots, \epsilon_{j,t+L}]^2}{E(\varphi_{it}^2(L))}$$

$$= \frac{\sum_{l=0}^{L-1} (\epsilon_{it} A_{lt} \sum_t \epsilon_j)^2}{(\epsilon_j \sum_t \epsilon_j) \sum_{l=0}^{L-1} (\epsilon_{it} A_{lt} \sum_t A_{lt} \epsilon_i)} \quad (5)$$

$$gSOT_{ij,t} = \frac{\varphi_{ij,t}^{gen}(L)}{\sum_{j=1}^K \varphi_{ij,t}^{gen}(L)} \quad (6)$$

در مدل تعمیم یافته، e_i برداری $1 \times K$ از صفرهای انتخابی است که موقعیت i ام آن برابر با ۱ است. $\varphi_{ij,t}^{gen}(L)$ نشان دهنده کاهش متناسب در واریانس خطای پیش بینی L مرحله ای متغیر i است که ناشی از شرطی شدن شوک های آینده متغیر j است. در صورتی که $\sum_{j=1}^K \varphi_{ij,t}^{gen}(L) \neq 1$ ، تبدیل پذیر به مجموعه سطری ۱ نرمال است که به آن جدول سرریز تعمیم یافته^۱ $gSOT_{ij,t}$ گفته می شود. این جدول، پایه و اساس معیارهای خلاصه سازی سرریز چندگانه است که شامل اثرات کل شبکه از سایر متغیرها^۲ بر متغیر i (رابطه ۷) و نیز اتصال جهتی یک شوک از متغیر i به سایر^۳ (رابطه ۸) در شبکه است.

$$S_{i \leftarrow, t}^{gen, from} = \sum_{j=1, i \neq j}^K gSOT_{ij,t} \quad (7)$$

$$S_{i \rightarrow, t}^{gen, to} = \sum_{j=1, i \neq j}^K gSOT_{ji,t} \quad (8)$$

یکی از اصول مهم در رویکرد اتصال، بررسی اثر جهتی خالص^۴ متغیر i بر شبکه است که به صورت معادله (۹) محاسبه می شود:

$$S_{i,t}^{gen, net} = S_{i \rightarrow, t}^{gen, to} - S_{i \leftarrow, t}^{gen, from} \text{ if } S_{i,t}^{gen, net} < 0 (S_{i,t}^{gen, net} > 0) \quad (9)$$

متغیر i به عنوان گیرنده (فرستنده) خالص در شبکه عمل می کند. هسته مرکزی این شبکه، شاخص اتصال کل^۵ را ارائه می دهد که میزان اتصال یا به عبارتی ریسک بازار را نشان می دهد. این شاخص برای مدیران سبد و ریسک ضروری است. شاخص اتصال کل، میانگین کل اتصال از سایر گره ها در شبکه را محاسبه می کند و به فرم معادله (۱۰) تعریف می شود:

$$gSOT_t = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K S_{i \leftarrow, t}^{gen, from} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K S_{i \rightarrow, t}^{gen, to} \quad (10)$$

در نهایت در تحلیل عمیق تر، رویکرد اتصال، روابط دو متغیر و مفهوم سرریزهای جهت دار زوجی را بررسی می کند. این دیدگاه بر ایده سرریزهای خالص زوجی^۶ متمرکز است که جهت دار است و می تواند تأثیرات متقابل بین دو متغیر را آشکار کند. (معادله ۱۱)

$$S_{ij,t}^{gen, net} = gSOT_{ji,t}^{gen, to} - gSOT_{ij,t}^{gen, from} \quad (11)$$

اگر $S_{ij,t}^{gen, net} > 0$ نشان دهنده تأثیر درخور توجه متغیر i بر متغیر j است.

سبد دارایی بهینه

یکی از متداول ترین رویکردهای استفاده شده در ایجاد سبد، روش حداقل واریانس^۷ است (رابطه ۱۲) که سبدي با کمترین واریانس براساس دارایی های متعدد ایجاد می کند (Markowitz, 1959).

¹ Generalized spillover table

² From others

³ To others

⁴ Net total directional connectedness

⁵ Total Connectedness Index (TCI)

⁶ Net Pairwise Directional Spillovers

⁷ Minimum Variance Portfolio (MVP)

$$w_{H_t} = \frac{H_t^{-1}I}{I H_t^{-1}I} \quad (۱۲)$$

که w_{H_t} بردار $K \times 1$ بعدی وزن سبب است، I بردار K بعدی از یک‌ها و H_t ماتریس واریانس کوواریانس شرطی $K \times K$ بعدی در دوره t است. وزن دارایی‌ها در رویکرد حداقل همبستگی که کریستوفرسن و همکاران (Christoffersen et al., 2014) داده‌اند، با استفاده از ماتریس همبستگی شرطی به دست می‌آید. در این رویکرد گام نخست، محاسبه همبستگی‌های شرطی بین متغیرها است:

$$R_t = \text{diag}(H_t)^{-0.5} H_t \text{diag}(H_t)^{-0.5} \quad (۱۳)$$

که در آن R_t ماتریس $K \times K$ بعدی است. سپس، وزن‌ها به صورت رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$w_{R_t} = \frac{R_t^{-1}I}{I R_t^{-1}I} \quad (۱۴)$$

در سبب با رویکرد حداقل اتصالات (MCoP) تمامی شاخص‌های اتصالات زوجی به جای واریانس یا ماتریس همبستگی استفاده می‌شوند (Broadstock et al., 2022). هدف از این روش، به حداقل رساندن ارتباط متقابل بین متغیرها و سرریزهای آنها است. در این روش، وزن بیشتری به دارایی‌هایی داده می‌شود که نه بر دیگر متغیرها تأثیر می‌گذارند و نه متأثر از آنها قرار می‌گیرند که به صورت رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$w_{R_t} = \frac{PCI_t^{-1}I}{I PCI_t^{-1}I} \quad (۱۵)$$

که PCI_t ماتریس شاخص اتصال زوجی و I ماتریس یک‌ها^۱ است؛ در نهایت، برای نشان دادن عملکرد سبب از نسبت شارپ^۲ و امتیاز اثربخشی هج استفاده می‌شود. نسبت شارپ (رابطه ۱۶)، به عنوان نسبت پاداش به نوسان شناخته می‌شود (Sharpe, 1966):

$$SR = \frac{\bar{r}_p}{\sqrt{\text{Var}(\bar{r}_p)}} \quad (۱۶)$$

که $\bar{r}_p$ نشان دهنده بازده سبب است^۳. براساس پژوهش ادینگتون (Ederington, 1979) اثربخشی هج به صورت رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود:

$$HE = 1 - \frac{\text{Var}(y_p)}{\text{Var}(y_{unchanged})} \quad (۱۷)$$

$\text{Var}(y_p)$ واریانس بازده سبب، $\text{Var}(y_{unchanged})$ واریانس دارایی بدون هج^۴ و HE درصد کاهش در واریانس موقعیت بدون هج را نشان می‌دهد.

یافته‌ها

پژوهش حاضر با هدف بررسی سرریزهای بازده و ایجاد سبب بهینه‌ای از بازارهای مالی انجام شده است تا اتصالات میان آنها را بررسی کند. در بازارهای مالی بررسی شده شامل بازار سهام ایران، طلا به عنوان فلزی گرانبها، نفت برنت به عنوان کالای انرژی، فلزات اساسی مانند مس، آلومینیوم، نیکل، قلع، روی و سرب است. دوره زمانی این پژوهش از ۲۶ خرداد ۱۳۹۳ تا ۱

¹ Identity matrix

² Sharpe ratio

³ برای سادگی فرض می‌شود که نرخ بدون ریسک برابر با صفر است.

⁴ Un-hedged asset

خرداد ۱۴۰۳ (۱۶ ژوئن ۲۰۱۴ تا ۲۱ می ۲۰۲۴) با تواتر روزانه در نظر گرفته شده است. به دلیل نوسانات ذاتی این بازارها و واکنش سریع آنها به رویدادهای مختلف سیاسی و اقتصادی، استفاده از تواتر روزانه امکان بررسی دقیق تر تغییرات آنها در طول دوره مطالعه شده را فراهم می کند. شاخص کل بورس اوراق بهادار ایران به کمک زبان برنامه نویسی پایتون^۱ و روش خراش سایت^۲ از وبسایت بورس اوراق بهادار تهران^۳ و بقیه داده ها به صورت خام از وبسایت اینوستینگ^۴ جمع آوری شده اند. سپس بازده لگاریتمی آنها نیز به کمک رابطه (۱۸) محاسبه شده است که $return_{it}$ نشان دهنده بازده دارایی و p شاخص قیمت دارایی در زمانهای مختلف است. از زبان برنامه نویسی آر^۵ برای تخمین مدل TVP-VAR استفاده شده است.

$$return_{it} = \log(p_{it}) - \log(p_{it-1}) \quad (18)$$

وضعیت مانایی متغیرهای پژوهش با کمک دو آزمون ریشه واحد ای آراس^۶ و دیکی فولر تعمیم یافته^۷ بررسی شد که باتوجه به معناداری تمام متغیرها در سطح خطای ۱٪ می توان نتیجه گرفت که همه متغیرها مانا هستند. نتایج آمار توصیفی متغیرهای پژوهش در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): آماره های توصیفی متغیرهای پژوهش

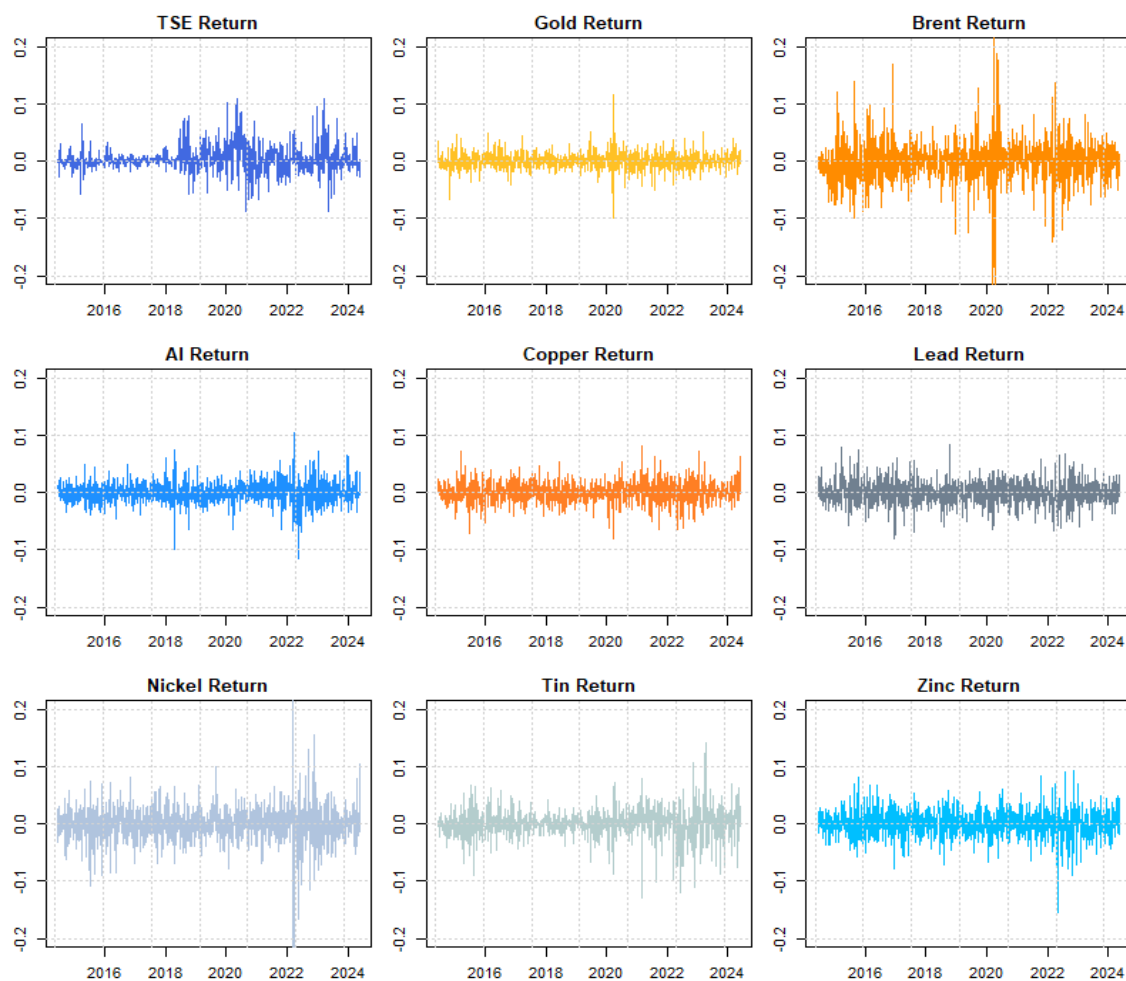
Table (1): Descriptive Statistics of the variables

Zinc	Tin	Nickel	Lead	Copper	Al	Brent	Gold	TSE	
۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	میانگین
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	میان
۰/۰۹۳	۰/۱۴۲	۰/۶۱۹	۰/۰۸۴	۰/۰۸۱	۰/۱۰۴	۰/۳۷۳	۰/۱۱۷	۰/۱۰۹	پیشینه
-۰/۱۵۵	-۰/۱۲۹	-۰/۵۲۳	-۰/۰۸۰	-۰/۰۸۱	-۰/۱۱۶	-۰/۳۹۷	-۰/۱۰۰	-۰/۰۸۸	کمینه
۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۳۸	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۳۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱۹	انحراف معیار
-۰/۲۲۰	-۰/۳۳۸	۲/۶۲۰	-۰/۰۴۱	-۰/۰۵۲	-۰/۰۴۸	-۰/۴۸۴	۰/۲۷۴	۰/۸۸۵	چولگی
۶/۳۲۰	۹/۴۴۹	۱۰۹/۲۵۲	۴/۹۴۷	۴۵۱/۵۱	۷/۶۴۳	۲۶/۶۱۶	۱۳/۱۱۷	۹/۴۳۱	کشیدگی
۱۰/۲۷۱	۸/۱۸۲	۵۵/۸۵۹	۱۵/۶۱۸	۱۸/۴۲۱	۱۷/۱۰۹	۴۴/۸۷۹	۱۷/۱۰۷	۱۸۷/۸۹۹	Q(20)
(-۰/۴۷۶)	(-۰/۰۷۶)	(۰/۰۰۰)	(-۰/۰۹۸)	(-۰/۰۳۳)	(-۰/۰۵۸)	(۰/۰۰۰)	(-۰/۰۵۶)	(۰/۰۰۰)	(Prob)
۵۲/۴۶۹	۱۱۳/۶۶۶	۷۲۶/۹۰۹	۳۰/۱۸۶	۱۵/۹۷۱	۱۹۰/۲۱۶	۳۵۹/۲۶۷	۲۰۲/۴۲۵	۳۲۱/۹۱۴	Q ² (20)
(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(-۰/۰۸۶)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(Prob)
۶۲۶/۳۸۴	۲۳۴۷/۵۲۰	۶۳۱۸۶۰/۱۰	۲۱۱/۹۹۵	۳۳۶/۰۶۵	۱۲۰۴/۰۹۶	۳۱۱۹۲/۷۷۰	۵۷۳۱/۷۱۱	۲۴۸۳/۹۲۷	Jarque-Bera
(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(Prob)

تحلیل آماری داده ها نشان می دهد که میانگین بازدهی ها به طور کلی در اطراف صفر متمرکز است. از میان متغیرهای مختلف، بازده فلز نیکل با انحراف معیار ۰/۰۳۸ بالاترین میزان نوسان را دارد؛ در حالی که بازده طلا با انحراف معیار ۰/۰۱۳ دارای کمترین نوسان است. این یافته ها نشان می دهند که ریسک مرتبط با بازده سرمایه گذاری در طلا نسبتاً کمتر از سایر

¹ Python² web scraping³ www.tsetmc.com⁴ Investing.com⁵ R programming language⁶ Elliott, Rothenberg and Stock (ERS)⁷ Augmented Dickey-Fuller test (ADF)

گزینه‌ها است. نتایج تحلیل آماره‌های چولگی و کشیدگی شواهد درخور توجهی را درباره غیرنرمال بودن توزیع بازدهی‌ها ارائه می‌دهند؛ علاوه بر این، آماره آزمون جاک-برا که برابر صفر است، نیز تأیید دیگری بر غیرنرمال بودن مشاهدات بازدهی متغیرها است. یکی دیگر از نکات مهمی که آزمون‌های وزنی پورمانتوی^۱ فیشر و گالاگر (Fisher & Gallagher, 2012) از جدول (۱) تأیید می‌کند، وجود خودهمبستگی معنادار در اجزای احلال و مربعات آنها (Q²20 و Q20) در بیشتر متغیرها است که از اجرای مدل‌سازی سری‌های زمانی با استفاده از رویکرد TVP-VAR با ساختار واریانس کوواریانس متغیر در زمان پشتیبانی می‌کند. در ادامه، شکل (۱) نیز روند بازدهی هریک از متغیرها را در دوره زمانی پژوهش نشان می‌دهد که به‌وضوح مشخص است که نوسان بازده نفت برنت و فلز نیکل بیشتر از بقیه است.



شکل (۱): روند بازدهی متغیرهای پژوهش

Figure (1): Return series of variables

¹ Weighted Portmanteau tests

جدول (۲): همبستگی‌های غیرشرطی

Table (2): Unconditional Correlations

Zinc	Tin	Nickel	Lead	Copper	Al	Brent	Gold	TSE
۰/۰۸۳	۰/۱۰۸	۰/۰۱۴	۰/۰۷۹	۰/۰۷۹	۰/۰۶۳	۰/۰۸۷	۰/۰۴۳	۱ TSE
۰/۱۹۷	۰/۲۰۷	۰/۱۹۶	۰/۱۵۸	۰/۲۵۲	۰/۱۵۲	۰/۱۲۴	۱	Gold
۰/۲۳۶	۰/۲۰۶	۰/۱۸۱	۰/۱۶۱	۰/۳۳۱	۰/۲۲۱	۱		Brent
۰/۵۰۶	۰/۳۶۱	۰/۲۶۷	۰/۳۶۱	۰/۵۱۲	۱			Al
۰/۶۴۱	۰/۴۷۶	۰/۳۸۶	۰/۴۷	۱				Copper
۰/۵۶۲	۰/۳۳۶	۰/۲۹۳	۱					Lead
۰/۳۸۶	۰/۴۰۵	۱						Nickel
۰/۴۲۴	۱							Tin
۱								Zinc

تحلیل همبستگی بین بازدهی متغیرهای نتایج نشان می‌دهد که بازده شاخص کل و طلا ارتباط ضعیفی با سایر متغیرهای بررسی شده دارند. در مقابل، فلزات اساسی نظیر آلومینیوم، مس، سرب و روی همبستگی درخور توجهی با یکدیگر دارند.

برآورد شاخص‌های اتصالات

قبل از برآورد، تعیین تعداد بهینه وقفه مدل ضروری است. تعداد بهینه وقفه‌ها را می‌توان با استفاده از معیارهای مختلفی مانند آکائیک^۱، شوارتز-بیزین^۲ و هنان کوئین^۳ به دست آورد. از آنجاکه معیار شوارتز-بیزین در تعداد وقفه‌ها صرفه‌جویی می‌کند، بر همین اساس، از یک وقفه برای برآورد مدل استفاده شد.

نتایج مربوط به معیار میانگین اتصالات کل در جدول (۳) ارائه شده است. مطابق نتایج، تجزیه واریانس خطا نشان می‌دهد که تغییرات بین‌بخشی حدود ۴۲/۶۹ درصد و تغییرات درون‌بخشی ۵۷/۳۱ درصد از واریانس خطای پیش‌بینی را تبیین می‌کنند. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت هر دو عامل در شبکه بررسی شده است. براساس نتایج ستون آخر (FROM) اثرپذیری هریک از بازارها از بقیه متغیرهای موجود در شبکه مشخص می‌شود؛ براین اساس، بازارهای مس (۶۱/۴۹٪) و روی (۵۹/۹۴٪) به ترتیب بیشترین اثرپذیری را از بقیه بازارها دارند. از طرف دیگر، ردیف (TO) بیانگر درصد اثرگذاری هر متغیر بر سایرین است که باتوجه به جدول (۳) واضح است که مس و روی با ۷۷/۷۷٪ و ۷۱٪ مؤثرترین متغیرهای موجود در شبکه هستند. ردیف (NET) هم اثرگذاری خالص هر متغیر را نشان می‌دهد که برای هر متغیر برابر با تفاضل دو بخش TO و FROM است. مس با ۱۶/۲۸ درصد اثرگذاری خالص مثبت، فرستنده خالص سرریزهای بازده به سایر متغیرها است و بازده‌های شاخص بورس ایران (۲/۹۲-) و طلا (۷/۸۴-) گیرنده خالص شوک‌های بازده هستند. براساس سرریز جفتی (NPDC) که تأثیر متقابل متغیرها را نشان می‌دهد، عدد ۸ مربوط به مس نشان‌دهنده تسلط سرریز مس بر بازارهای دیگر است.

¹ AIC

² BIC

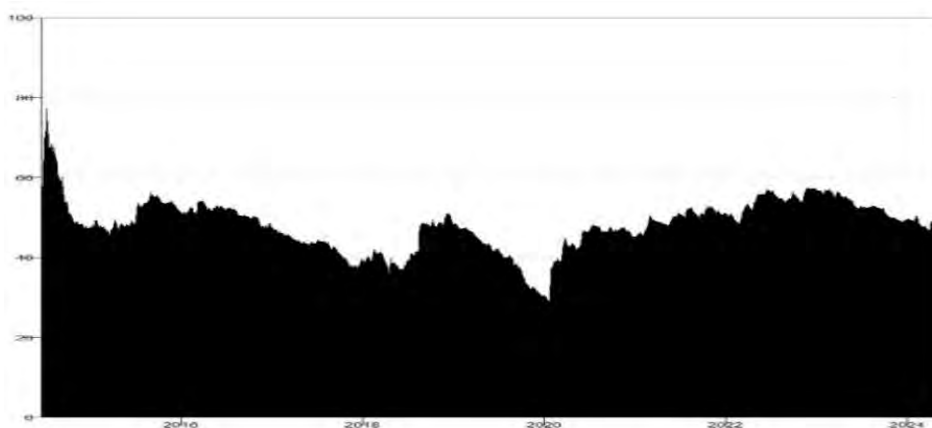
³ HQ

جدول (۳): متوسط اتصالات پویای بازده‌ها

Table (3): Averaged Dynamic Connectedness of returns

FROM	Zinc	Tin	Nickel	Lead	Copper	Al	Brent	Gold	TSE	
۹/۴۴	۱/۲۶	۱/۶۸	۱/۰۱	۱/۲۵	۱/۰۹	۱/۰۲	۱/۴	۰/۷۲	۹۰/۵۶	TSE
۲۶/۱۴	۳/۶۸	۳/۹۸	۳/۶۳	۴/۱۴	۵/۳۱	۲/۸۲	۱/۸۳	۷۳/۸۶	۰/۷۴	Gold
۳۰/۵۳	۴/۹۲	۳/۸۱	۳/۶۲	۲/۷۲	۸/۰۹	۴/۶۹	۶۹/۴۷	۱/۴	۱/۲۸	Brent
۴۹/۴۸	۱۱/۴۹	۵/۵۶	۶/۸۳	۷/۱۷	۱۲/۱۹	۵۰/۵۲	۳/۳۵	۲/۱۳	۰/۷۶	Al
۶۱/۴۹	۱۵/۶۷	۸/۴۷	۹/۸۷	۹/۱۸	۳۸/۵۱	۹/۵۱	۵/۱۶	۲/۹	۰/۷۳	Copper
۵۱/۵۷	۱۵/۴۴	۵/۶۶	۵/۶۴	۴۸/۴۳	۱۱/۵	۶/۸۹	۲/۴	۳/۰۷	۰/۹۸	Lead
۴۸/۱	۹/۸۵	۹/۰۹	۵۱/۹	۵/۵	۱۲/۱۵	۶/۰۵	۲/۷۱	۲/۳۹	۰/۳۶	Nickel
۴۷/۴۹	۸/۷	۵۲/۵۱	۹/۲۹	۵/۵۸	۱۰/۹۶	۵/۷۶	۲/۸۹	۳/۵۴	۰/۷۸	Tin
۵۹/۹۴	۴۰/۰۶	۶/۶۹	۸/۲۴	۱۲/۹۱	۱۶/۴۸	۹/۴۶	۳/۱۱	۲/۱۵	۰/۹	Zinc
۳۸۴/۱۷	۷۱	۴۴/۹۵	۴۸/۱۲	۴۸/۴۵	۷۷/۷۷	۴۶/۱۹	۲۲/۸۶	۱۸/۳	۶/۵۲	TO
TCI =	۱۱/۰۷	-۲/۵۴	۰/۰۳	-۳/۱۲	۱۶/۲۸	-۳/۲۸	-۷/۶۷	-۷/۸۴	-۲/۹۲	NET
۴۲/۶۹	۷	۴	۶	۴	۸	۴	۲	۰	۱	NPDC

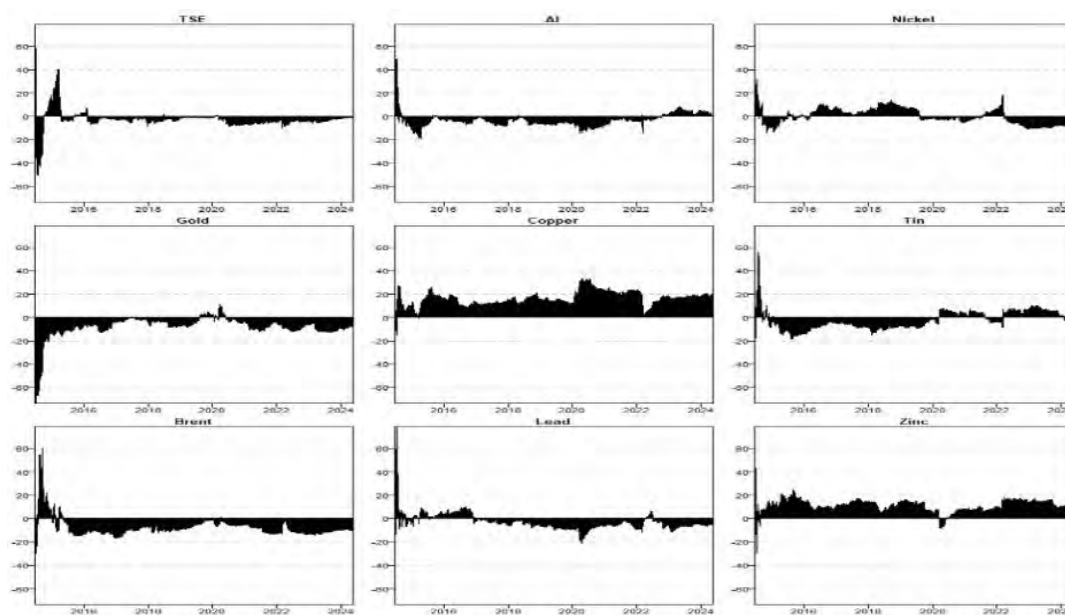
اگرچه میانگین اتصالات بین متغیرها می‌تواند تصویری کلی از الگوی شبکه ارائه دهد، ممکن است جزئیات دقیق را نادیده بگیرد. برای درک بهتر پویایی شبکه، دوره نمونه به بازه‌های کوتاه‌تری تقسیم می‌شود تا امکان بررسی پویای روابط بین متغیرها فراهم آید. شکل (۲) پویایی‌های شاخص اتصالات کل را در طول زمان نشان می‌دهد. براساس شکل (۲) میزان اتصالات کل در شبکه بررسی شده، تغییرات چشمگیری را در طول زمان نشان می‌دهد و از کمتر از ۴۰ درصد تا بیشتر از ۶۰ درصد متغیر است. این امر نشان‌دهنده آن است که اتصالات بین انواع مختلف دارایی‌ها نه تنها به رویدادهای مرتبط با بازارهای جهانی واکنش نشان می‌دهند، بلکه این واکنش نیز می‌تواند بسیار سریع باشد؛ برای مثال، افزایش این شاخص تا حدود ۵۰ درصد در سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۹ (Bazrayi et al., ۱۳۹۷-۱۳۹۸) می‌تواند به دلیل تأثیر مستقیم نوسانات ارزی بر بازار سهام باشد که با یافته‌های بذرائی و همکاران (Bazrayi et al., ۲۰۲۱) همخوانی دارد. در سال ۲۰۲۰ (۱۳۹۹) به دلیل همه‌گیری بیماری کووید-۱۹، شاخص TCI به دلیل رکود و کاهش تقاضای جهانی افت شدیدی کرد؛ اما در سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۲۲ (۱۴۰۰-۱۴۰۱) با بهبود وضعیت اقتصادی و رشد قیمت فلزات، دوباره افزایش یافت که نشانگر افزایش تقاضای جهانی و تعامل بیشتر بازارهای بین‌المللی با بازار سهام ایران است.



شکل (۲): پویایی‌های شاخص اتصالات کل

Figure (2): Total Connectedness Index dynamics

شکل (۳) مشخص می‌کند که آیا متغیرها به‌عنوان انتقال‌دهندگان خالص^۱، دریافت‌کنندگان خالص^۲ یا بدون الگوی مشخص در انتقال شوک‌ها عمل کرده‌اند. مقادیر مثبت نشان می‌دهند که یک متغیر به‌عنوان انتقال‌دهنده شوک‌ها به سیستم عمل کرده است، در حالی که مقادیر منفی نشان‌دهنده پذیرش خالص شوک‌ها از سیستم توسط آن متغیر هستند. براساس شکل (۳) طی زمان بررسی شده، اثرگذاری متغیرها دستخوش تغییرات متعددی شده است. فلز قلع از ابتدای دوره تا حدود ۲۰۲۰ پذیرنده خالص سرریزهای بازده بوده است؛ اما پس از آن، نقش آن به فرستنده سرریز بازده تغییر یافته است. از طرفی دیگر، فلزاتی مانند مس و روی عمدتاً فرستنده‌های خالص شوک‌های بازده بوده‌اند. طلا و نفت هم به دلیل نقش منحصربه‌فردشان در شرایط نااطمینانی به طور عمده گیرنده خالص شوک‌های بازده از سایر متغیرهای شبکه بوده‌اند.



شکل (۳): خالص سرریزهای جهت‌دارکل

Figure (3): Net Total Directional Connectedness Index

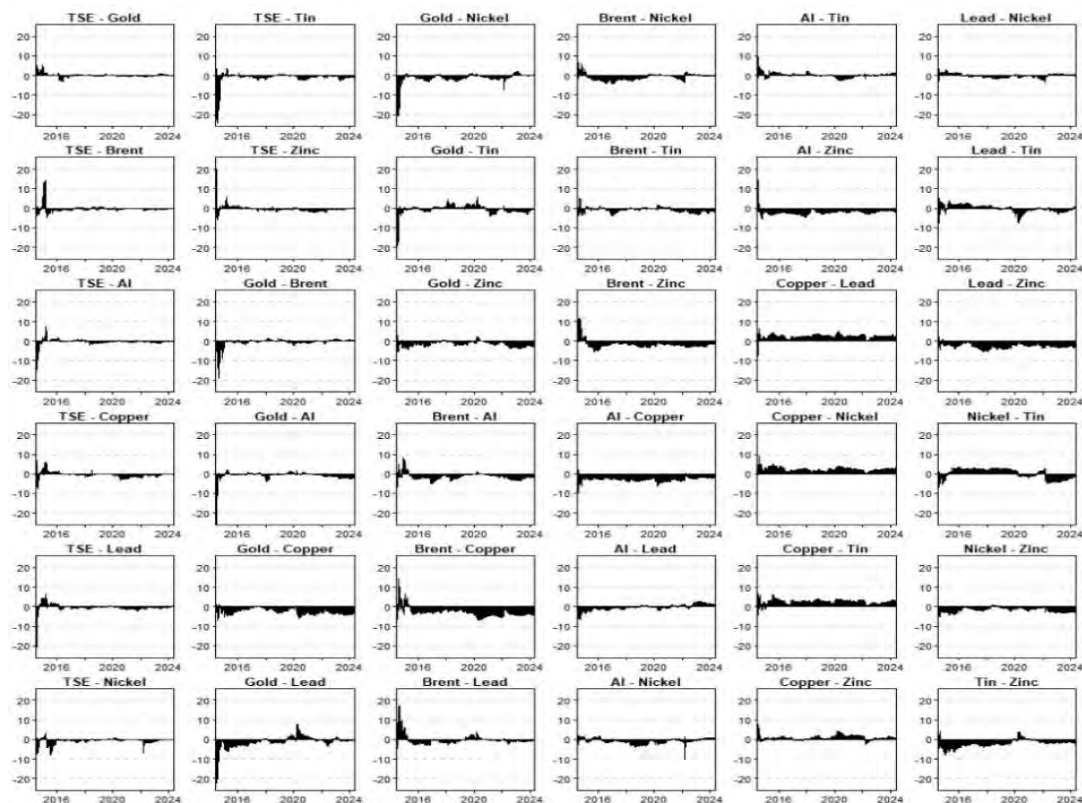
تأثیر متقابل بازارها با شاخص خالص سرریزهای جفتی^۳ در شکل (۴) ارائه شده است که مقدار مثبت شاخص نشان‌دهنده تأثیر درخور توجه یکی از بازارها (متغیر اول) بر بازار دیگر (متغیر دوم) است. در این حالت، بازار اول به‌عنوان منشأ سرریز بازده در نظر گرفته می‌شود، درحالی‌که بازار دوم، پذیرنده این تأثیر است؛ براین اساس، فلز طلا در تقابل با سایر متغیرها عمدتاً نقش پذیرنده سرریزهای بازده را داشته و شدت این پذیرندگی در برابر بازارهای مس، سرب و روی نیز بیشتر بوده است. تحلیل شدت سرریز بین بازارهای مختلف در شکل (۵) نشان‌دهنده اتصالات جفتی پویا^۴ بین متغیرهای مختلف در طول زمان است. مقادیر بالاتر بین دو متغیر، تعامل قوی‌تر و ارتباط نزدیک‌تر بین بازده آنها را نشان می‌دهد؛ برای نمونه، در شکل (۵) به آسانی مشخص است که شدت تعاملات میان فلزات اساسی بسیار زیاد است که بیشترین مقادیر آن در میان بازار مس با سایر فلزات اساسی مشاهده می‌شود؛ علاوه‌براین، مس با نفت برنت و فلز طلا هم تعاملات پویای نسبتاً زیادی دارد.

¹ Net transmitter of shocks

² Net receiver of shocks

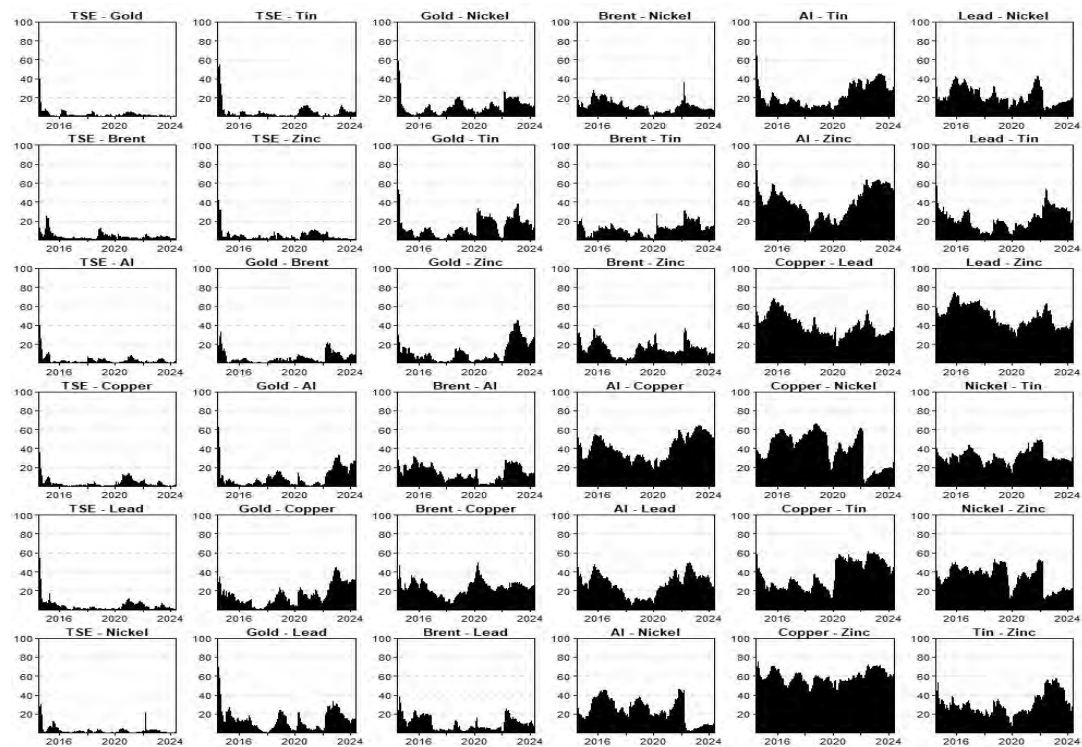
³ Dynamic Net Pairwise Connectedness

⁴ Dynamic Pairwise Connectedness



شکل (۴): خالص سرریزهای زوجی

Figure(4): Net Pairwise Directional Connectedness Index



شکل (۵): اتصالات زوجی پویا

Figure(5): Pairwise Connectedness Index dynamics

سبد بهینه دارایی‌ها

نتایج برآورد وزن‌های بهینه سبدهای دارایی براساس روش‌های حداقل واریانس (MVP)، حداقل همبستگی (MCP) و حداقل اتصالات (MCoP) در جدول (۴) ارائه شده است.

بیشترین وزن در نظر گرفته‌شده در سبد رویکرد MVP با ۳۶٪ مربوط به فلز طلا بوده، درحالی‌که در دو رویکرد دیگر، بیشترین وزن مربوط به بازار سهام ایران بوده است. انحراف معیار سبد تشکیل‌شده براساس رویکرد حداقل اتصالات (MCoP) پایین‌تر از سبدهای تشکیل‌شده با استفاده از روش‌های سنتی است. در رویکرد MVP فاصله کمترین و بیشترین وزن بهینه برابر ۳۶٪ است، به‌طوری‌که در رویکردهای MCP و MCoP به ترتیب برابر ۲۲٪ و ۱۷٪ است که نشان‌دهنده شباهت بیشتر رویکردهای MCP و MCoP به یکدیگر هستند.

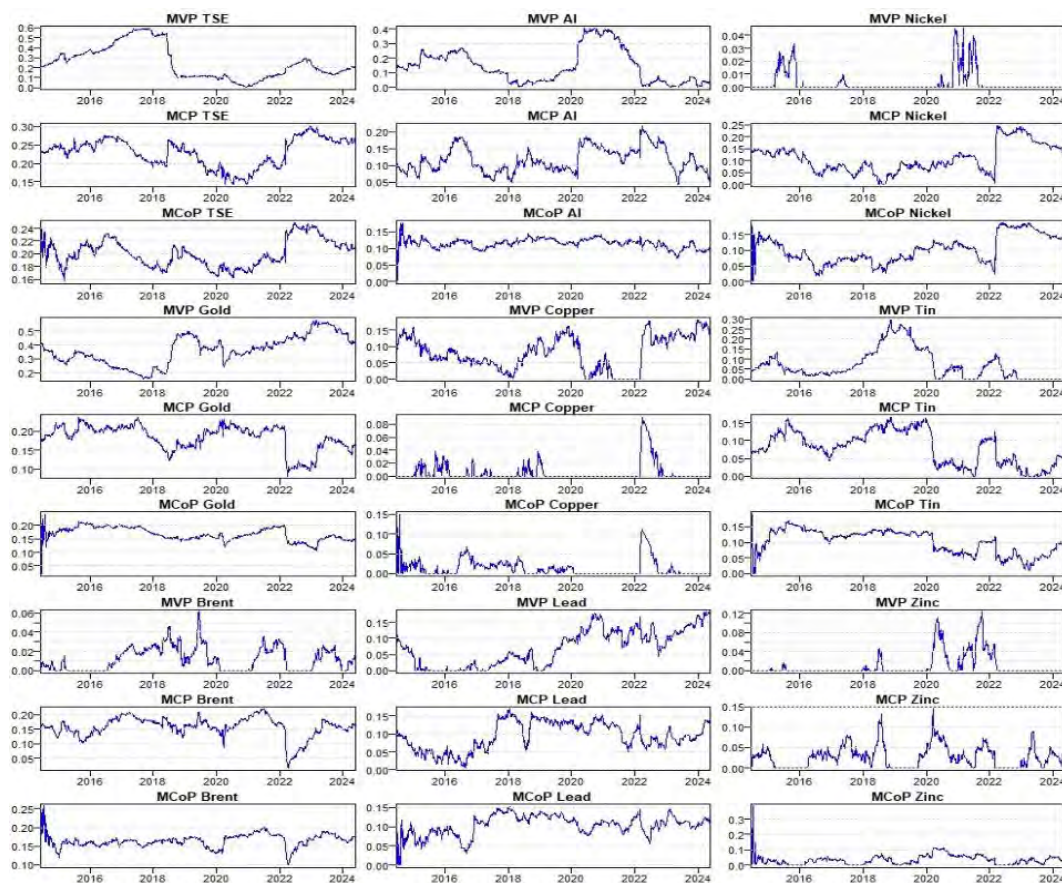
اثربخشی هج (HE) به میزان موفقیت دارایی در کاهش ریسک سبد اشاره دارد که هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده اثربخشی بیشتر است؛ برای مثال، اگر بر مبنای سبد حداقل واریانس، وزن صفر درصدی برای نیکل و وزن ۱ درصدی برای نفت لحاظ شود، نوسان هریک از دارایی‌ها در این سبد به طور معناداری به اندازه ۹۵ درصد کاهش می‌یابد. بالاترین اثربخشی هج، نیز در سه روش برای نیکل و سپس نفت است.

پویایی‌های مرتبط به این سه رویکرد را می‌توان در شکل (۶) مشاهده کرد. مطابق شکل (۶) ترکیب MVP به طور چشمگیری با MCP و MCoP متفاوت است، درحالی‌که MCP و MCoP ترکیبات مشابهی دارند. این شباهت به دلیل استفاده از ماتریس واریانس-کوواریانس متغیر با زمان در هر دو روش است. در MCP، واریانس-کوواریانس به‌سادگی به ماتریس همبستگی تبدیل می‌شود؛ اما در MCoP نیاز به محاسبات پیچیده‌تری مانند GIRF و GFEVD و تحلیل اتصالات زوجی دارد؛ درنتیجه، باوجود بلوک‌های سازنده اولیه مشابه، فرایندهای تبدیل متفاوت منجر به وزن‌های سبد نزدیک در MCP و MCoP می‌شود. شکل (۷) تحولات زمانی بازده تجمعی را نشان می‌دهد؛ به استثنای اوایل سال ۲۰۲۲ که سه شاخص با یکدیگر برابر شده‌اند، مقدار MVP در طی زمان به میزان مشخصی بیشتر از دو رویکرد دیگر بوده است.

جدول (۴): آماره‌های توصیفی وزن‌های سبدهای چندمتغیره

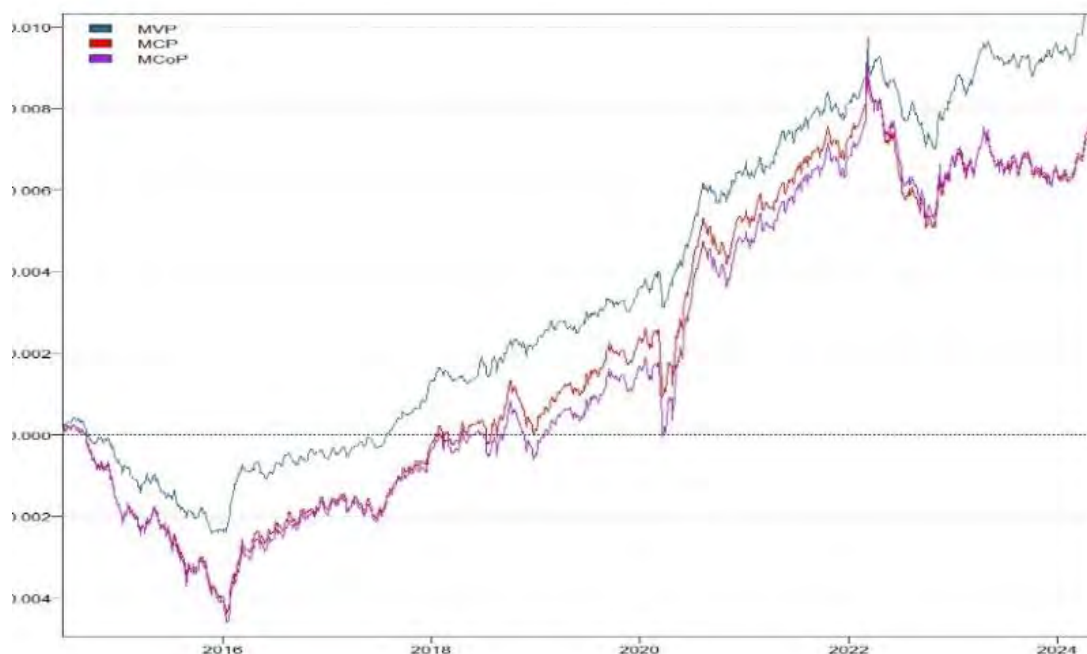
Table (4): Descriptive Statistics of Dynamic Multivariate Portfolio Weights

نماد	نتایج رویکرد حداقل واریانس (MVP)					نتایج رویکرد حداقل همبستگی (MCP)					نتایج رویکرد حداقل اتصالات (MCoP)				
	احتمال	میانگین	انحراف معیار	٪ ۵	٪ ۹۵	HE	احتمال	میانگین	انحراف معیار	٪ ۵	٪ ۹۵	HE	احتمال	میانگین	انحراف معیار
TSE	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۵۸	۰/۸۲	۰	۰/۲۳	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۶۱	۰	۰/۲	۰/۰۲	۰/۱۷
Gold	۰/۳۶	۰/۱	۰/۱۹	۰/۵۴	۰/۵۷	۰	۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۱	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۱۳
Brent	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۳	۰/۹۵	۰	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۲	۰/۸۹	۰	۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۱۴
Al	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۳۸	۰/۷۸	۰	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۵۳	۰	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۹
Copper	۰/۰۸	۰/۰۵	۰	۰/۱۶	۰/۷۶	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۳	۰/۴۹	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰
Lead	۰/۰۷	۰/۰۶	۰	۰/۱۶	۰/۸	۰	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۵۹	۰	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۵
Nickel	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۲	۰/۹۵	۰	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۹	۰	۰/۱	۰/۰۴	۰/۱۸
Tin	۰/۰۷	۰/۰۷	۰	۰/۲۴	۰/۸۶	۰	۰/۰۸	۰/۰۵	۰	۰/۱۵	۰/۷	۰	۰/۱	۰/۰۴	۰/۱۵
Zinc	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۰۶	۰/۸۶	۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰	۰/۰۸	۰/۷	۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰



شکل (۶): وزن‌های سبد چندمتغیره پویا

Figure (6): Dynamic Multivariate Portfolio Weights



شکل (۷): وزن‌های سبد چندمتغیره پویا

Figure (7): Dynamic Multivariate Portfolio Weights

وزنهای پویای سبدي دو متغیره^۱ دارایی‌ها

وزنهای سبدي دومتغیره و نسبت‌های بهینه هج براساس مطالعات کرونر و ان‌جی (Kroner & Ng, 1998) و کرونر و سلطان (Kroner & Sultan, 1993) نیز محاسبه شده که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵): آماره‌های توصیفی وزنهای سبدهای دومتغیره و نسبت‌های هج

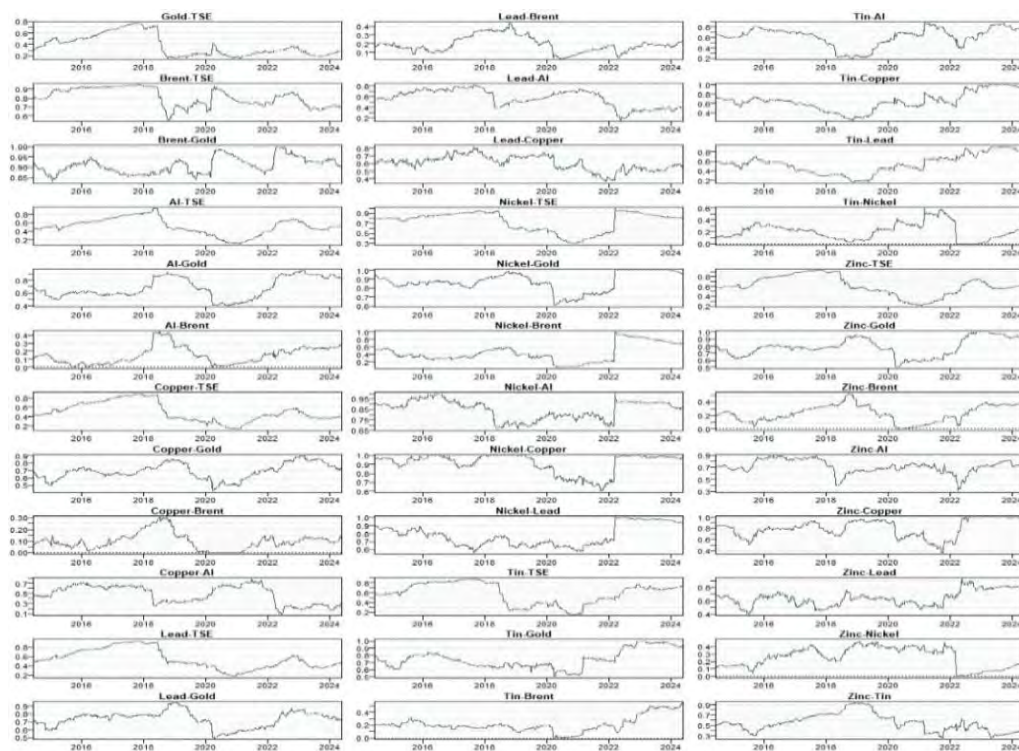
Table (5): Descriptive Statistics of Dynamic Bivariate Portfolio Weights and Hedge Ratios

ردیف	نمادها	وزنهای سبدي دومتغیره			نسبت‌های هج			احتمال
		میانگین	انحراف معیار	HE	احتمال	میانگین	انحراف معیار	HE
۱	TSE/Gold	۰/۳۸	۰/۱۹	۰/۷۲	۰	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۲
۲	TSE/Brent	۰/۸۱	۰/۱	۰/۲۳	۰	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲
۳	TSE/Al	۰/۵۱	۰/۲	۰/۶	۰	۰/۰۷	۰/۱	۰/۰۲
۴	TSE/Copper	۰/۵	۰/۲۱	۰/۶	۰	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۳
۵	TSE/Lead	۰/۵۴	۰/۲۱	۰/۵۶	۰	۰/۰۹	۰/۱	۰/۰۳
۶	TSE/Nickel	۰/۷۳	۰/۲	۰/۴۳	۰	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱
۷	TSE/Tin	۰/۵۸	۰/۲۲	۰/۴۹	۰	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۴
۸	TSE/Zinc	۰/۶۱	۰/۲	۰/۴۹	۰	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۳
۹	Gold/TSE	۰/۶۲	۰/۱۹	۰/۳۶	۰	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۲
۱۰	Gold/Brent	۰/۹۱	۰/۰۴	۰/۰۸	۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴
۱۱	Gold/Al	۰/۶۸	۰/۱۶	۰/۳۵	۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۶
۱۲	Gold/Copper	۰/۶۹	۰/۱۱	۰/۲۶	۰	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۱
۱۳	Gold/Lead	۰/۷۳	۰/۱	۰/۲۷	۰	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۷
۱۴	Gold/Nickel	۰/۸۷	۰/۱	۰/۱۵	۰	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۵
۱۵	Gold/Tin	۰/۷۴	۰/۱۳	۰/۲۲	۰	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۸
۱۶	Gold/Zinc	۰/۷۹	۰/۱۳	۰/۲۲	۰	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۷
۱۷	Brent/TSE	۰/۱۹	۰/۱	۰/۷۹	۰	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۰۳
۱۸	Brent/Gold	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۸۹	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۰۵
۱۹	Brent/Al	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۸	۰/۰۱	۰/۴۸	۰/۲	۰/۰۷
۲۰	Brent/Copper	۰/۱	۰/۰۷	۰/۸	۰/۲۶	۰/۷۳	۰/۳۴	۰/۱۵
۲۱	Brent/Lead	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۷۸	۰	۰/۳۳	۰/۱۸	۰/۰۵
۲۲	Brent/Nickel	۰/۴۴	۰/۲۴	۰/۶	۰	۰/۲۵	۰/۱۲	۰/۰۶
۲۳	Brent/Tin	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۷۲	۰	۰/۳۸	۰/۱۸	۰/۰۶
۲۴	Brent/Zinc	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۷۱	۰	۰/۴۴	۰/۲	۰/۰۸
۲۵	Al/TSE	۰/۴۹	۰/۲	۰/۵۱	۰	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۲
۲۶	Al/Gold	۰/۳۲	۰/۱۶	۰/۶۶	۰	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۰۸
۲۷	Al/Brent	۰/۸۵	۰/۱۱	۰/۱۳	۰	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۹
۲۸	Al/Copper	۰/۴۸	۰/۱۸	۰/۳۲	۰	۰/۵۱	۰/۱۶	۰/۳
۲۹	Al/Lead	۰/۵۷	۰/۱۶	۰/۳۳	۰	۰/۳۴	۰/۱۴	۰/۱۶
۳۰	Al/Nickel	۰/۸۵	۰/۰۹	۰/۱	۰	۰/۲	۰/۱۱	۰/۱۴
۳۱	Al/Tin	۰/۶۲	۰/۱۸	۰/۲۵	۰	۰/۲۷	۰/۰۸	۰/۱۵

^۱ yy . am Bivariate PooolloWeighss

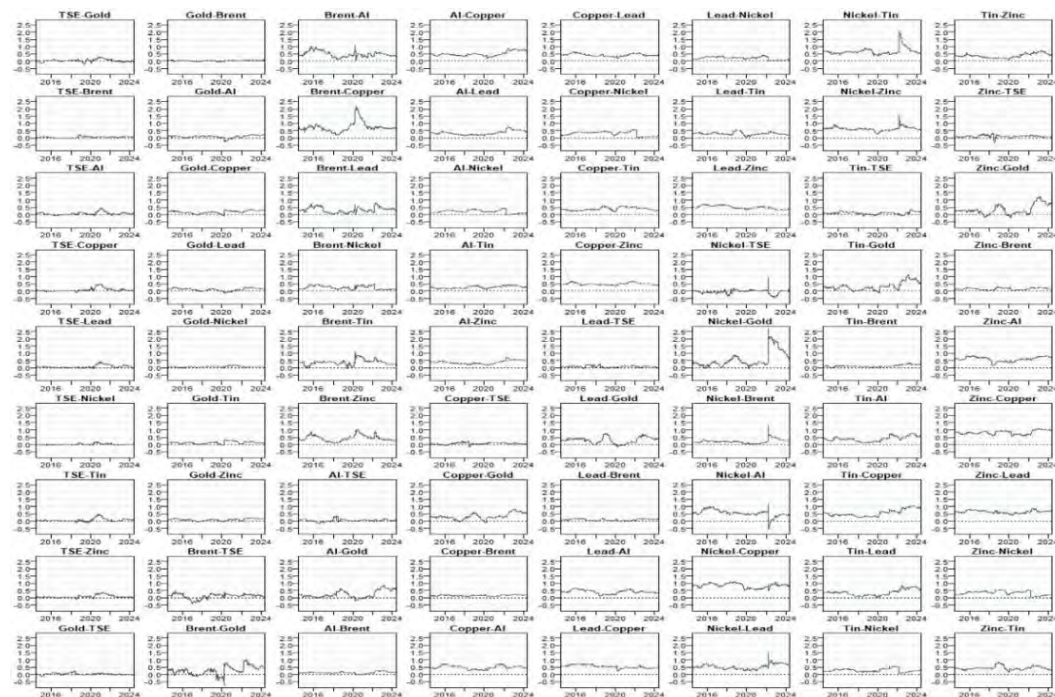
۰	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۳۸	۰	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۷۱	Al/Zinc	۳۲
۰/۶۱	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۶	۰	۰/۴۸	۰/۲۱	۰/۵	Copper/TSE	۳۳
۰/۱۶	۰/۱	۰/۲	۰/۳۳	۰	۰/۵۸	۰/۱۱	۰/۳۱	Copper/Gold	۳۴
۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۱۶	۰	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۹	Copper/Brent	۳۵
۰	۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۴۹	۰	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۵۲	Copper/Al	۳۶
۰	۰/۲۵	۰/۰۹	۰/۴۳	۰	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۶۱	Copper/Lead	۳۷
۰	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۳	۰	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۹۱	Copper/Nickel	۳۸
۰	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۳۹	۰	۰/۱۸	۰/۲	۰/۶۵	Copper/Tin	۳۹
۰	۰/۴۲	۰/۰۷	۰/۵	۰	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۸۱	Copper/Zinc	۴۰
۰/۶۱	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۸	۰	۰/۵۳	۰/۲۱	۰/۴۶	Lead/TSE	۴۱
۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۲۲	۰/۲۹	۰	۰/۶۶	۰/۱	۰/۲۷	Lead/Gold	۴۲
۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۹	۰	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۸۱	Lead/Brent	۴۳
۰	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۴۱	۰	۰/۴	۰/۱۶	۰/۴۳	Lead/Al	۴۴
۰	۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۵۴	۰	۰/۳۶	۰/۰۹	۰/۳۹	Lead/Copper	۴۵
۰	۰/۱۳	۰/۱	۰/۲۲	۰	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۷۷	Lead/Nickel	۴۶
۰	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۲۹	۰	۰/۳۲	۰/۲	۰/۵۵	Lead/Tin	۴۷
۰	۰/۳۴	۰/۱۱	۰/۵	۰	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۶۴	Lead/Zinc	۴۸
۰/۶۱	۰/۰۳	۰/۱۳	-۰/۰۴	۰	۰/۸۶	۰/۲	۰/۲۷	Nickel/TSE	۴۹
۰/۱۶	۰/۱	۰/۵۴	۰/۵۷	۰	۰/۹۱	۰/۱	۰/۱۳	Nickel/Gold	۵۰
۰/۱۳	۰/۱	۰/۱۴	۰/۲۲	۰	۰/۶۴	۰/۲۴	۰/۵۶	Nickel/Brent	۵۱
۰	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۵۵	۰/۰۷	۰/۸۱	۰/۰۹	۰/۱۵	Nickel/Al	۵۲
۰	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۸۴	۰/۴۲	۰/۸۲	۰/۱۱	۰/۰۹	Nickel/Copper	۵۳
۰	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۵۴	۰/۰۱	۰/۸	۰/۱۳	۰/۲۳	Nickel/Lead	۵۴
۰	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۶۷	۰/۰۳	۰/۷۱	۰/۱۴	۰/۲۱	Nickel/Tin	۵۵
۰	۰/۲	۰/۱۲	۰/۶۲	۰/۰۲	۰/۷۱	۰/۱۴	۰/۲۵	Nickel/Zinc	۵۶
۰/۶۱	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۹	۰	۰/۶۱	۰/۲۲	۰/۴۲	Tin/TSE	۵۷
۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۳۴	۰	۰/۷۴	۰/۱۳	۰/۲۶	Tin/Gold	۵۸
۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۳	۰	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۷۹	Tin/Brent	۵۹
۰	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۳۹	۰	۰/۵۲	۰/۱۸	۰/۳۸	Tin/Al	۶۰
۰	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۵۶	۰	۰/۵۲	۰/۲	۰/۳۵	Tin/Copper	۶۱
۰	۰/۱۵	۰/۲	۰/۳۶	۰	۰/۵۱	۰/۲	۰/۴۵	Tin/Lead	۶۲
۰	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۲۸	۰	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۷۹	Tin/Nickel	۶۳
۰	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۳۸	۰	۰/۳۴	۰/۱۷	۰/۵۵	Tin/Zinc	۶۴
۰/۶۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱	۰	۰/۶	۰/۲	۰/۳۹	Zinc/TSE	۶۵
۰/۱۶	۰/۱	۰/۳۳	۰/۳۴	۰	۰/۷۴	۰/۱۳	۰/۲۱	Zinc/Gold	۶۶
۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۱۶	۰	۰/۲	۰/۱۲	۰/۷۷	Zinc/Brent	۶۷
۰	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۶	۰/۰۱	۰/۴۴	۰/۱۱	۰/۲۹	Zinc/Al	۶۸
۰	۰/۴۳	۰/۱۳	۰/۸۲	۰/۱۹	۰/۴۵	۰/۱۶	۰/۱۹	Zinc/Copper	۶۹
۰	۰/۳۳	۰/۰۹	۰/۶۴	۰	۰/۳۸	۰/۱۱	۰/۳۶	Zinc/Lead	۷۰
۰	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۳۳	۰	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۷۵	Zinc/Nickel	۷۱
۰	۰/۲	۰/۱۳	۰/۴۳	۰	۰/۳۴	۰/۱۷	۰/۴۵	Zinc/Tin	۷۲

در هر ردیف در جدول (۵) وضعیت جفت بازارها مشخص شده است. کمترین میانگین وزنی (۰/۰۹) برای سبد Nickel/Copper و Brent/Gold است که نشان می‌دهد سرمایه‌گذاران ترجیح می‌دهند مس و طلا را بیشتر از نیکل و نفت برنت نگر دارند. بالاترین میانگین وزنی (۰/۹۱) نیز برای Copper/Nickel و Gold/Brent است که بیان می‌کند برای سبد یک دلاری، سرمایه‌گذاران ترجیح می‌دهند ۰/۹۱ سنت در مس و طلا و ۰/۰۹ سنت باقی‌مانده را در نیکل و نفت برنت سرمایه‌گذاری کنند. تفسیر هریک از جفت بازارهای دیگر نیز به همین ترتیب است. بالاترین HE (۰/۹۱) برای سبدی متشکل از Nickel/Gold است که نشان می‌دهد معرفی نیکل به مجموعه‌ای از بازارها به طور چشمگیری ویژگی‌های ریسک-بازده آن را بهبود می‌بخشد؛ علاوه‌براین، مطابق شکل (۸) وزن‌های بهینه در طول دوره نمونه، متغیر در زمان هستند؛ به این معنی که مدیریت پویای سبد هنگام سرمایه‌گذاری در این بازارها لازم است. نسبت‌های بهینه هج مشخص می‌کند چه میزان از ریسک دارایی اصلی خنثی شده است. بیشترین میانگین نسبت هج در بین بازارهای بررسی شده مربوط به Nickel/Copper با ۰/۸۴ است و حاکی از این است که ۰/۸۴ ریسک سرمایه‌گذاری در بازار فلز نیکل توسط سرمایه‌گذاری در بازار فلز مس جبران خواهد شد و کمترین نسبت هم برای Nickel/TSE با مقدار منفی ۰/۰۴ بوده است. در شکل (۹) نیز می‌توان روند پویای آنها را در طی زمان مشاهده کرد.



شکل ۸: پویایی وزن‌های بهینه دومتغیره

Figure (8): Dynamics of bivariate optimal weights



شکل ۹: نسبت‌های پویای پوشش ریسک

Figure (9): Dynamic hedge ratios

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش روابط متقابل میان بازارهای مالی کلیدی بررسی شده است که تأثیر درخور توجهی بر تصمیم‌گیری افراد، مدیریت ریسک و مدیریت کارآمد سبد دارایی‌ها دارند. با استفاده از رویکرد نوین مبتنی بر روش خودرگرسیون برداری با پارامترهای متغیر در زمان (TVP-VAR)، پیوندهای متقابل بین بازارهای کالایی به همراه شاخص کل بورس ایران تحلیل شد. این بازارها شامل شش فلز اساسی (مس، آلومینیوم، نیکل، قلع، روی و سرب)، طلا (فلز گرانبها)، نفت برنت (انرژی) در بازه زمانی ۲۶ خرداد ۱۳۹۳ تا ۱ خرداد ۱۴۰۳ بودند. سپس با بهره‌گیری از اطلاعات حاصل از رویکرد TVP-VAR، سبد بهینه‌ای از دارایی‌ها (MCoP) با استفاده از شاخص‌های همبستگی زوجی (PCI) به دست آمد و با روش‌های سنتی MCP و MVP مقایسه شد؛ درنهایت، برای تحلیل دقیق‌تر، با استفاده از روش‌های دومتغیره و چندمتغیره اثربخشی هج تحلیل شد.

نتایج حاصل از برآورد مدل TVP-VAR نشان داد که میانگین اتصالات کل برای بازارهای مطالعه‌شده برابر با ۴۲/۶۹ است که تغییرات بین متغیرها حدود ۴۲/۶۹ درصد از واریانس خطای پیش‌بینی را توضیح می‌دهد؛ درحالی‌که تغییرات درون‌بخشی ۵۷/۳۱ درصد باقی‌مانده را تشکیل می‌دهند. این یافته‌ها حاکی از وجود ریسک سیستمی نسبتاً قوی بین بازارهای مذکور است. در این شبکه، فلز مس بیشترین انتقال‌دهی سرریزهای بازده را به سمت سایر بازارها داشت و در بین آنها، نفت برنت و فلز طلا - که دو کالای اساسی و راهبردی هستند - بیشترین تأثیرپذیری را نشان دادند. این امر نشان‌دهنده اهمیت چشمگیر این بازارها برای سرمایه‌گذاران است. در میان فلزات پایه، به‌ویژه با فلز مس بالاترین سطح از اتصالات پویا در طول دوره مشاهده شد. نتایج برآورد وزن‌های بهینه سبدهای دارایی چندمتغیره نیز بیانگر آن بود که در رویکردهای مختلف سرمایه‌گذاری، وزن‌های بهینه دارایی‌ها متفاوت است. به‌طورکلی، فلز طلا در رویکرد MVP بیشترین وزن را دارد، درحالی‌که شاخص بورس سهام ایران در دو سبد دیگر بیشترین وزن را دارد. فاصله وزن‌های بهینه در رویکرد MVP بیشتر از دو رویکرد MCP و MCoP است که شباهت بیشتری به یکدیگر دارند. اثربخشی هج نیز در سه رویکرد نشان داد که راهبردهای هج به‌ویژه برای

فلز نیکل و نفت برنت به کاهش درخور توجه نوسان دارایی‌ها منجر می‌شود. نتایج تحلیل وزن‌های بهینه سبدهای دومتغیره نشان داد میانگین وزنی بالاتر برای جفت‌های $Copper/Nickel$ و $Gold/Brent$ تمایل به سرمایه‌گذاری بیشتر در مس و طلا را نشان می‌دهد. اثربخشی بالای پوشش ریسک (۹۱٪) در سبد $Nickel/Gold$ نشان‌دهنده این است که اضافه کردن نیکل به بازارها می‌تواند ویژگی‌های ریسک-بازده را بهبود بخشد. نسبت‌های بهینه هیچ بیشترین ختنی‌سازی ریسک را به طور متوسط برای ترکیب $Nickel/Copper$ با ۸۴٪ کارایی نشان می‌دهد، درحالی‌که این نسبت برای $Nickel/TSE$ منفی و کمترین درصد (۰/۰۴-) را دارد. این تحلیل‌ها بر اهمیت مدیریت پویای سبد سرمایه‌گذاری باتوجه به ویژگی‌های ریسک و بازده تأکید دارند. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که تنوع‌بخشی به سبد دارایی‌ها نقش بسیار مهمی در مدیریت ریسک دارد. نتایج نشان می‌دهد که مس و طلا در رویکردهای مختلف سرمایه‌گذاری وزن بالایی دارند. فلز مس به دلیل بیشترین انتقال‌دهی سرریزهای بازده به سایر بازارها و تأثیرگذاری بالای آن، دارایی راهبردی به حساب می‌آید. طلا نیز به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود به عنوان دارایی امن و مقاوم در برابر نوسانات بازار، در سبدهای بهینه سرمایه‌گذاری وزن بالایی دارد؛ بنابراین، توصیه می‌شود سرمایه‌گذاران توجه ویژه‌ای به این دو بازار داشته باشند و با افزایش وزن این دارایی‌ها در سبد سرمایه‌گذاری، ویژگی‌های ریسک-بازده سبد خود را بهبود بخشند. راهبردهای هیچ به سرمایه‌گذاران این امکان را می‌دهد که نوسانات و ریسک‌های موجود در دارایی‌ها را کاهش دهند. این تحلیل نشان داده است که راهبردهای هیچ به ویژه برای فلز نیکل و نفت برنت منجر به کاهش درخور توجه نوسانات دارایی‌ها می‌شوند. باتوجه به تغییرات پویا در همبستگی بین دارایی‌ها، مدیریت سبد سرمایه‌گذاری باید پویا و انعطاف‌پذیر باشد. استفاده از رویکردهای نوین مانند حداقل اتصالات به جای روش‌های سنتی حداقل واریانس و حداقل همبستگی می‌تواند به بهبود عملکرد سبد سرمایه‌گذاری منجر شود. این رویکردها به سرمایه‌گذاران امکان می‌دهند که به تغییرات بازار سریع‌تر واکنش نشان دهند و ترکیب سبد خود را به طور مستمر بهینه‌سازی کنند. این انعطاف‌پذیری و پویایی در مدیریت سبد سرمایه‌گذاری، به کاهش ریسک و افزایش بازدهی منجر می‌شود.

باوجود بینش‌های درخور توجه، این پژوهش بر دارایی‌های فلزات اساسی، طلا، نفت برنت و شاخص کل بورس ایران متمرکز است؛ افزون بر این، شاخص کل بورس ایران، ضمن محدودیت زمانی معامله و محدودیت نوسان در سهام، قابل معامله نیست که آن را متمایز از سایر دارایی‌های مطالعه شده می‌کند. پژوهش‌های آتی می‌توانند بر سهام‌های موجود در بورس ایران متمرکز شوند و دامنه تحلیل را با افزودن دارایی‌های دیگر مانند اوراق قرضه، ارزهای دیجیتال و بازارهای بین‌المللی گسترش دهند تا چشم‌انداز جامع‌تری از روابط بین بازارها به دست آید؛ علاوه بر این، می‌تواند به مطالعه همبستگی‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف و تحلیل نقش سیاست‌های اقتصادی بر مدیریت سبد دارایی‌ها توجه شود.

منابع

- احمدی، حمیدرضا، هاشمی‌نژاد، سیدمحمد، محمودی، محمد (۱۴۰۴). بررسی سرریز ریسک بازار رمزارزها با بازارهای مالی داخلی. *دانش سرمایه‌گذاری*، ۱۴(۵۳)، ۵۷۴-۵۵۱.
- بردبار، نوشین، و حیدری، ابراهیم (۱۳۹۶). اثر نوسانات قیمت جهانی نفت بر بازده سهام صنایع انرژی بر در ایران. *تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ۸(۲۷)، ۱۷۷-۲۰۵. <http://dx.doi.org/10.29252/jemr.7.27.177>
- بذرانی، مریم، قویدل، صالح، و امام‌وردی، قدرت‌الله (۱۴۰۰). شناسایی مسیر سرایت بحران ارزی در صنایع بورسی. *مدلسازی اقتصادی*، ۱۵(۵۳)، ۷۳-۹۶. <https://doi.org/10.30495/eco.2021.1922778.2483>
- حیدری، حسن، و بشیری، سحر (۱۳۹۱). بررسی رابطه بین نااطمینانی نرخ واقعی ارز و شاخص قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران: مشاهداتی بر پایه مدل VAR-GARCH. *تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ۳(۹)، ۷۱-۹۳.

رودری، سهیل، فراهانی فرد، سعید، شاه‌آبادی، ابوالفضل، و عادل، امیدعلی (۱۴۰۱). بررسی فراوانی-زمان سرریز نوسانات میان نرخ ارز، تورم، قیمت سهام و قیمت مسکن در ایران. *اقتصاد و الگوسازی*، ۱۳(۲)، ۶۵-۹۳.

شیرمردی، سیده نرجس، صامتی، مجید، و شریفی رنانی، حسین (۱۴۰۲). نقش شوک‌های نااطمینانی مالی، مدل پنج‌عاملی فاما-فرنچ و مومنتوم در بازار سرمایه و تأثیرات آن بر بازده سهام. *پژوهش‌های حسابداری مالی و حسابرسی*، ۱۶(۶۱)، ۱-۵۰.

صیادی، محمد، و کریمی، نسیم (۱۳۹۸). مدلسازی وابستگی بین بازدهی سهام گروه محصولات شیمیایی، رشد قیمت نفت و رشد نرخ ارز در ایران؛ کاربرد توابع Vine Copula. *تحقیقات مدلسازی اقتصادی*، ۱۰(۳۸)، ۹۴-۴۵.

<http://dx.doi.org/10.29252/jemr.10.38.45>

طالبلو، رضا، مهاجری، پریسا، شاکری، عباس، محمدی، تیمور، و ذبیحی، زهرا (۱۴۰۳). برآورد ریسک سیستمی و سرریز تلاطمات در صنایع بورسی و کاربرد آن در سبدهای بهینه؛ رویکرد TVP-VAR. *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، در حال انتشار. <https://doi.org/10.22054/ijer.2024.77367.1250>

References

- Adekoya, O. B., & Oliyide, J. A. (2021). How COVID-19 drives connectedness among commodity and financial markets: Evidence from TVP-VAR and causality-in-quantiles techniques. *Resources Policy*, 70, 101898. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101898>
- Ahmadi, H. R., Hasheminezhad, S. M., & Mahmoodi, M. (2024). Investigating the risk spillover of cryptocurrency market with domestic financial markets. *Journal of Investment Knowledge*, 14(53), 551-574. [In Persian].
- Alptekin, A., Broadstock, D. C., Chen, X., & Wang, D. (2019). Time-varying parameter energy demand functions: Benchmarking state-space methods against rolling-regressions. *Energy Economics*, 82, 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.03.009>
- Al-Yahyaee, K. H., Mensi, W., Sensoy, A., & Kang, S. H. (2019). Energy, precious metals, and GCC stock markets: Is there any risk spillover? *Pacific Basin Finance Journal*, 56, 45-70. <https://doi.org/10.1016/j.pacfin.2019.05.006>
- Andries, A. M., & Galasan, E. (2020). Measuring financial contagion and spillover effects with a state-dependent sensitivity value-at-risk model. *Risks*, 8(1), 5. <https://doi.org/10.3390/risks8010005>
- Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., & Gabauer, D. (2020). Refined measures of dynamic connectedness based on time-varying parameter vector autoregressions. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(4), 84. <https://doi.org/10.3390/jrfm13040084>
- Bazrayi, M., Ghavidel, S., & Emamverdi, G. (2021). Identification of contagion path of currency crises in industries of Tehran stock exchange. *Economic Modelling*, 15(53), 73-96. <https://doi.org/10.30495/eco.2021.1922778.2483> [In Persian].
- Belousova, J., & Dorfleitner, G. (2012). On the diversification benefits of commodities from the perspective of euro investors. *Journal of Banking & Finance*, 36(9), 2455-2472. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2012.05.003>
- Bhatia, V., Das, D., & Kumar, S. B. (2020). Hedging effectiveness of precious metals across frequencies: Evidence from wavelet based Ddynamic conditional correlation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 541, 123631. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.123631>
- Bhattacharjee, P., Mishra, S., Bouri, E., & Wee, J. B. (2024). ESG, clean energy, and petroleum futures markets: Asymmetric return connectedness and hedging effectiveness. *International Review of Economics & Finance*, 94, 103375. <https://doi.org/10.1016/J.IREF.2024.103375>
- Billio, M., Getmansky, M., Lo, A. W., & Pelizzon, L. (2012). Econometric measures of connectedness and systemic risk in the finance and insurance sectors. *Journal of Financial Economics*, 104(3), 535-559. <https://doi.org/10.1016/J.JFINECO.2011.12.010>
- Bisias, D., Flood, M., Lo, A. W., & Valavanis, S. (2012). A survey of systemic risk analytics. *Annual Review of Financial Economics*, 4, 255-296. <https://doi.org/10.1146/annurev-financial-110311-101754>
- Bordbar, N., & Heidari, E. (2017). The effect of world oil price fluctuations on the return of the energy intensive industries stock in Iran. *Journal of Economic Modeling Research*, 8(27), 177-205. <http://dx.doi.org/10.29252/jemr.7.27.177> [In Persian].
- Broadstock, D. C., Chatziantoniou, I., & Gabauer, D. (2022). Minimum connectedness portfolios and the market

- for green bonds: Advocating socially responsible investment (SRI) activity. In C. Ioros, & I. Chatziantoniou (Eds.), *Applications in Energy Finance* (pp. 217–253). Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92957-2_9
- Christoffersen, P., Errunza, V., Jacobs, K., & Jin, X. (2014). Correlation dynamics and international diversification benefits. *International Journal of Forecasting*, 30(3), 807–824. <https://doi.org/10.1016/J.IJFORECAST.2014.01.001>
- Creti, A., Joëts, M., & Mignon, V. (2013). nn hh nnks beee nn sock nnd oommodyyymrrk otttttt t. *Energy Economics*, 37, 16–28. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2013.01.005>
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427–431. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531>
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2009). Measuring financial asset return and volatility spillovers, with application to global equity markets. *The Economic Journal*, 119(534), 158–171. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2008.02208.x>
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. *International Journal of Forecasting*, 28(1), 57–66. <https://doi.org/10.1016/J.IJFORECAST.2011.02.006>
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2014). On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms. *Journal of Econometrics*, 182(1), 119–134. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2014.04.012>
- Duncan, A. S., & Kabundi, A. (2013). Domestic and foreign sources of volatility spillover to South African asset classes. *Economic Modelling*, 31, 566–573. <https://doi.org/10.1016/J.ECONMOD.2012.11.016>
- Ederington, L. H. (1979). The hedging performance of the new futures markets. *The Journal of Finance*, 34(1), 157–170. <https://doi.org/10.2307/2327150>
- Elliott, G., Rothenberg, T. J., Stock, J. H. (1996). Efficient tests for an autoregressive unit root. *Econometrica*, 64(4), 813–836. <https://doi.org/10.2307/2171846>
- Elsayed, A. H., Gozgor, G., & Lau, C. K. M. (2022). Risk transmissions between bitcoin and traditional financial assets during the COVID-19 era: The role of global uncertainties. *International Review of Financial Analysis*, 81, 102069. <https://doi.org/10.1016/J.IRFA.2022.102069>
- Elsayed, A. H., Nasreen, S., & Tiwari, A. K. (2020). Time-varying co-movements between energy market and global financial markets: Implication for portfolio diversification and hedging strategies. *Energy Economics*, 90, 104847. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2020.104847>
- Fisher, T. J., & Gallagher, C. M. (2012). New weighted portmanteau statistics for time series goodness of fit testing. *Journal of the American Statistical Association*, 107(498), 777–787. <https://doi.org/10.1080/01621459.2012.688465>
- Ghazani, M. M., Malekshah, A. A. M., & Khosravi, R. (2024). Analyzing time–frequency connectedness between cryptocurrencies, stock indices, and benchmark crude oils during the COVID-19 pandemic. *Financial Innovation*, 10, 119. <https://doi.org/10.1186/s40854-024-00645-z>
- Hanif, W., Hadhri, S., & Khoury, R. E. (2024). Quantile spillovers and connectedness between oil shocks and stock markets of the largest oil producers and consumers. *Journal of Commodity Markets*, 34, 100404. <https://doi.org/10.1016/J.JCOMM.2024.100404>
- Heidari, H., & Bashiri, S. (2012). Investigating the relationship between real exchange rate uncertainty and stock price index in Tehran stock exchange using VAR-GARCH models. *Journal of Economic Modeling Research*, 3(9), 71–93. [In Persian].
- Hood, M., & Malik, F. (2013). Is gold the best hedge and a safe haven under changing stock market volatility?. *Review of Financial Economics*, 22(2), 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.rfe.2013.03.001>
- Jiang, Y., Fu, Y., & Ruan, W. (2019). Risk spillovers and portfolio management between precious metal and BRICS stock markets. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 534, 120993. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2019.04.229>
- Junttila, J., Pesonen, J., & Raatikainen, J. (2018). Commodity market based hedging against stock market risk in times of financial crisis: The case of crude oil and gold. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 56, 255–280. <https://doi.org/10.1016/J.INTFIN.2018.01.002>
- Kang, S. H., & Lee, J. W. (2019). The network connectedness of volatility spillovers across global futures markets. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 526, 120756. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2019.03.121>
- Kang, S. H., McIver, R., & Yoon, S. M. (2017). Dynamic spillover effects among crude oil, precious metal, and agricultural commodity futures markets. *Energy Economics*, 62, 19–32. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2016.12.011>
- Koop, G., Pesaran, M. H., & Potter, S. M. (1996). Impulse response analysis in nonlinear multivariate models.

- Journal of Econometrics*, 74(1), 119–147. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(95\)01753-4](https://doi.org/10.1016/0304-4076(95)01753-4)
- Kroner, K. F., & Ng, V. K. (1998). Modeling asymmetric comovements of asset returns. *The Review of Financial Studies*, 11(4), 817–844. <https://doi.org/10.1093/rfs/11.4.817>
- Kroner, K. F., & Sultan, J. (1993). Time-varying distributions and dynamic hedging with foreign currency futures. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 28(4), 535–551. <https://doi.org/10.2307/2331164>
- aa ndcc ,,, E., Cgg E. Ç., & Tkkkn .. (2020). Dynamic connectedness and portfolio strategies: Energy and metal markets. *Resources Policy*, 68, 101778. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2020.101778>
- Maggi, M., Torrente, M.-L., & Uberti, P. (2020). Proper measures of connectedness. *Annals of Finance*, 16, 547–571. <https://doi.org/10.1007/s10436-020-00363-3>
- Maghyereh, A. I., Awartani, B., & Bouri, E. (2016). The directional volatility connectedness between crude oil and equity markets: New evidence from implied volatility indexes. *Energy Economics*, 57, 78–93. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2016.04.010>
- Markovitz, H. M. (1959). *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments*. Yale University Press.
- Mensi, W., Hammoudeh, S., Al-Jarrah, I. M.W., Al-Yahyaee, K. H., & Kang, S. H. (2019) Risk spillovers and hedging effectiveness between major commodities, and Islamic and conventional GCC banks. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 60, 68–88. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2018.12.011>
- Mensi, W., Hammoudeh, S., & Kang, S. H. (2015). Precious metals, cereal, oil and stock market linkages and portfolio risk management: Evidence from Saudi Arabia. *Economic Modelling*, 51, 340–358. <https://doi.org/10.1016/J.ECONMOD.2015.08.005>
- Mishra, S. K., Panda, G., & Majhi, B. (2016). Prediction based mean-variance model for constrained portfolio assets selection using multiobjective evolutionary algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, 28, 117–130. <https://doi.org/10.1016/J.SWEVO.2016.01.007>
- Ntantamis, C., & Zhou, J. (2015). Bull and bear markets in commodity prices and commodity stocks: Is there a relation?. *Resources Policy*, 43, 61–81. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2014.10.002>
- Olson, E., Vivian, A. J., & Wohar, M. E. (2014). The relationship between energy and equity markets: Evidence from volatility impulse response functions. *Energy Economics*, 43, 297–305. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2014.01.009>
- Öztek, M. F., & Öcal, N. (2017). Financial crises and the nature of correlation between commodity and stock markets. *International Review of Economics & Finance*, 48, 56–68. <https://doi.org/10.1016/J.IREF.2016.11.008>
- Papathanasiou, S., Koutsokostas, D., & Pergeris, G. (2022). Novel alternative assets within a transmission mechanism of volatility spillovers: The role of SPACs. *Finance Research Letters*, 47, 102602. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2021.102602>
- Peng, X. (2020). oo prccous m .. hddg or sff hvvnns for Chnn's fnmn rrk *Finance Research Letters*, 37, 101353. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2019.101353>
- Pesaran, H. H., & Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics Letters*, 58(1), 17–29. [https://doi.org/10.1016/S0165-1765\(97\)00214-0](https://doi.org/10.1016/S0165-1765(97)00214-0)
- Qu, B. Y., & Suganthan, P. N. (2011). Constrained multi-objective optimization algorithm with an ensemble of constraint handling methods. *Engineering Optimization*, 43(4), 403–416. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2010.493937>
- Roudari, S., Farahanifard, S., Shahabadi, A., & Adeli, O. (2022). Investigating the Time-Frequency Volatility Spillover among Exchange Rate, Inflation, Stocks and Housing Prices in Iran. *Journal of Economics and Modelling*, 13(2), 65–93. [In Persian].
- Sadorsky, P. (2014). Modeling volatility and correlations between emerging market stock prices and the prices of copper, oil and wheat. *Energy Economics*, 43, 72r 81. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2014.02.014>
- Shirmardi, S. N., Sameti, M., Sharifi, R. H. (2024). The role of financial uncertainty shocks, Fama French five factor model and Momentum in the capital market and its effects on stock returns. *Financial Accounting and Auditing Research*, 16(61), 1-50. [In Persian].
- Samitas, A., Papathanasiou, S., Koutsokostas, D., & Kampouris, E. (2022). Are timber and water investments safe-havens? A volatility spillover approach and portfolio hedging strategies for investors. *Finance Research Letters*, 47, 102657. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2021.102657>
- Sayadi, M., & Karimi, N. (2019). Modeling the dependency structure between stocks of chemical products return, oil price and exchange rate growth in Iran; an application of vine copula. *Journal of Economic Modeling Research*, 10(38), 45–94. <http://dx.doi.org/10.29252/jemr.10.38.45> [In Persian].
- Sharpe, W. F. (1966). Mutual fund performance. *The Journal of Business*, 39(1), 119–138. <http://dx.doi.org/10.1086/294846>
- Singhal, S., Choudhary, S., & Biswal, P. C. (2019). Return and volatility linkages among international crude oil price, gold price, exchange rate and stock markets: Evidence from Mexico. *Resources Policy*, 60, 255–261.

- <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2019.01.004>
- Skiadopoulos, G. (2012). Investing in commodities: Popular beliefs and misconceptions. *Journal of Asset Management*, 13, 77–83. <https://doi.org/10.1057/jam.2011.35>
- Taleblou, R., Mohajeri, P., Shakeri, A., Mohammadi, T., & Zabihi, Z. (2024). Estimating the systemic risk and volatility spillovers among industries listed stock market and its application in optimal portfolio; TVP-VAR approach. *Iranian Journal of Economic Research*, [In Print] <https://doi.org/10.22054/ijer.2024.77367.1250> [In Persian].
- Tiwari, A. K., Cunado, J., Gupta, R., & Wohar, M. E. (2018). Volatility spillovers across global asset classes: Evidence from time and frequency domains. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 70, 194–202. <https://doi.org/10.1016/J.QREF.2018.05.001>
- Torrente, M. L., & Uberti, P. (2021). Connectedness versus diversification: two sides of the same coin. *Mathematics and Financial Economics*, 15, 639–655. <https://doi.org/10.1007/s11579-021-00291-4>
- Uddin, G. S., Hernandez, J. A., Shahzad, S. J. H., & Kang, S. H. (2020). Characteristics of spillovers between the US stock market and precious metals and oil. *Resources Policy*, 66, 101601. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2020.101601>
- Wang, G. J., Xie, C., Jiang, Z. Q., & Stanley, H. E. (2016). Who are the net senders and recipients of volatility spillovers in China's financial market. *Finance Research Letters*, 18, 255–262. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2016.04.025>
- Wang, K. H., Wen, C. P., Long, H., & Moldovan, N. C. (2024). Towards sustainable development: Exploring the spillover effects of green technology innovation on energy markets and economic cycles. *Technological Forecasting and Social Change*, 203, 123368. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2024.123368>
- Wiesen, T. F. P., Beaumont, P. M., Norrbin, S. C., & Srivastava, A. (2018). Are generalized spillover indices overstating connectedness?. *Economics Letters*, 173, 131–134. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econlet.2018.10.007>
- Xiao, B., Yu, H., Fang, L., & Ding, S. (2020). Estimating the connectedness of commodity futures using a network approach. *Journal of Futures Markets*, 40(4), 598–616. <https://doi.org/10.1002/fut.22086>
- Xu, W., Ma, F., Chen, W., & Zhang, B. (2019). Asymmetric volatility spillovers between oil and stock markets: Evidence from China and the United States. *Energy Economics*, 80, 310–320. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2019.01.014>
- Yoon, S. M., Al Mamun, M., Uddin, G. S., & Kang, S. H. (2019). Network connectedness and net spillover between financial and commodity markets. *The North American Journal of Economics and Finance*, 48, 801–818. <https://doi.org/10.1016/J.NAJEF.2018.08.012>
- Yousaf, I., & Yarovaya, L. (2022). Static and dynamic connectedness between NFTs, Defi and other assets: Portfolio implication. *Global Finance Journal*, 53, 100719. <https://doi.org/10.1016/J.GFJ.2022.100719>
- Yu, J. W., Xie, W. J., & Jiang, Z. Q. (2018). Early warning model based on correlated networks in global crude oil markets. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 490, 1335–1343. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2017.08.046>
- Zeng, T., Yang, M., & Shen, Y. (2020). Fancy Bitcoin and conventional financial assets: Measuring market integration based on connectedness networks. *Economic Modelling*, 90, 209–220. <https://doi.org/10.1016/J.ECONMOD.2020.05.003>
- Zhang, D. (2017). Oil shocks and stock markets revisited: Measuring connectedness from a global perspective. *Energy Economics*, 62, 323–333. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2017.01.009>
- Zhang, D., Lei, L., Ji, Q., & Kutun, A. M. (2019). Economic policy uncertainty in the US and China and their impact on the global markets. *Economic Modelling*, 79, 47–56. <https://doi.org/10.1016/J.ECONMOD.2018.09.028>
- Zhang, H., Chen, J., & Shao, L. (2021). Dynamic spillovers between energy and stock markets and their implications in the context of COVID-19. *International Review of Financial Analysis*, 77, 101828. <https://doi.org/10.1016/J.IRFA.2021.101828>