University of Sistan and Baluchestan

Stable Economy Journal

Online ISSN: 2821 - 1049

Iranian Scientific Social Welfare Association

Investigating the APT Multi-Factor Pricing Model in Terms of Centrality in the Iranian Stock Market Network

Hadi Esmaeilpour Moghadam[1] | Arezou Karami[2]

1. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: esmaeilpour@um.ac.ir

2. Ph. D. Student in Economics, Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: ar.karami@um.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 30 December 2025
Revised in revised form: 22April 2026
Accepted: 6 May 2026
Published online:11May2026

JEL: G11, G14, O15

Keywords:
Complex Network,
Stock,
Factor Price Modeling,
Centrality.

ABSTRACT

The stock market generates a vast volume of data alongside intricate interconnections among firms; consequently, network analysis offers a suitable framework for capturing its structural features and dynamic behavior. Despite its relevance, the Iranian stock market has received limited attention from a network-based perspective, with existing studies largely confined to descriptive network properties. Moreover, the role of network centrality within asset pricing models—particularly as a potential source of systematic risk—has not yet been empirically examined. Accordingly, this study aims to evaluate the explanatory power of the Arbitrage Pricing Theory (APT) model by incorporating network centrality as an additional risk factor in the Iranian stock market. To this end, stock returns of actively traded firms over the period 2013–2023 were collected. A market network was then constructed using the correlation matrix of stock returns combined with a thresholding approach, and centrality measures were computed for each asset. Subsequently, the APT model was estimated by including centrality as a novel risk factor. For empirical testing, the Fama–MacBeth cross-sectional regression method and the Gibbons, Ross, and Shanken (GRS) test were employed. The findings indicate that the coefficient associated with centrality is positive and statistically significant. This suggests that stocks occupying more central positions in the network—due to their stronger interconnectedness with other firms—are more exposed to macroeconomic shocks and market spillovers, and therefore command higher expected returns. Overall, integrating network analysis into asset pricing frameworks reveals additional dimensions of risk and can enhance investment decision-making, portfolio management, and policy formulation in the Iranian capital market.

Cite this article: Esmaeilpour Moghadam, H., & Karami, A. (2026). Investigating the APT multi-factor pricing model in terms of centrality in the Iranian stock market network.*Stable Economy Journal*, 7(1),111-140. DOI: 10.22111/sedj.2026.54391.1673

© The Author(s).
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/sedj.2026.54391.1673

Extended Abstract

Introduction

Financial markets exhibit a high degree of complexity arising from dense interconnections among assets, institutions, and macroeconomic forces. Traditional asset pricing frameworks, including the Arbitrage Pricing Theory (APT), typically assume that systematic risk can be adequately captured by a finite set of observable macroeconomic and firm-specific factors. While these models have provided a robust foundation for empirical finance, they often abstract from the structural interdependencies that characterize real-world financial systems. In recent years, advances in network theory have enabled researchers to model financial markets as complex networks, where nodes represent assets and edges capture interrelationships such as return correlations or spillovers.

Despite the growing prominence of network-based approaches in financial economics, their integration into asset pricing models remains relatively underdeveloped, particularly in emerging markets. The Tehran Stock Exchange (TSE), as one of the largest and most dynamic markets in the Middle East, presents a compelling case for such analysis. Existing studies on the TSE have largely focused on descriptive network properties, with limited attention to the role of network topology in explaining cross-sectional variations in returns. Specifically, the potential of network centrality measures—such as closeness centrality—to act as proxies for systematic risk factors has not been rigorously examined. This study seeks to bridge this gap by incorporating a network-based centrality measure into the APT framework and evaluating its contribution to explaining stock returns in the Iranian market. By doing so, it extends the conventional asset pricing paradigm to account for endogenous market structure and interconnectedness. The central research question is whether stocks that occupy more central positions in the network—indicating higher levels of connectedness and potential exposure to market-wide shocks—command distinct risk premia.

Method

The empirical analysis is conducted using a comprehensive dataset of firms listed on the TSE, selected based on continuous trading activity to ensure data consistency and reliability. Daily stock returns are computed and used to construct a correlation matrix, which serves as the foundation for building the financial network. To extract meaningful connections and reduce noise, a threshold filtering technique is applied, retaining only statistically significant correlations. This results in a sparse but informative network structure that captures the core interdependencies among stocks.

Within this network, the study employs closeness centrality as the primary metric of interest. Closeness centrality measures the average shortest path distance from a given node to all other nodes in the network, thereby reflecting how quickly information or shocks can propagate to and from that node. Stocks with higher closeness centrality are interpreted as being more integral to the network structure and potentially more exposed to systemic influences.

The centrality measure is then incorporated into a multifactor APT model as an additional explanatory variable. The baseline model includes conventional factors such as excess market returns, exchange rate changes, inflation rates, and firm size. The extended model augments this specification with the centrality factor, allowing for a direct assessment of its marginal contribution to explaining return variation.

To estimate the model, the study adopts the Fama–MacBeth regression approach, which is widely used in asset pricing to evaluate the cross-sectional significance of risk factors. In the first stage, time-series regressions are conducted to estimate factor loadings for each asset. In the second stage, cross-sectional regressions are performed to determine whether these loadings are priced. Additionally, the GRS test (Gibbons, Ross, and Shanken test) is employed to assess the joint validity of the model by testing whether the intercepts (pricing errors) are statistically different from zero.

Results

The empirical findings provide strong support for the inclusion of network centrality as a relevant factor in asset pricing. The estimated coefficients for closeness centrality are statistically significant across multiple model specifications, indicating that a stock's position within the network has a measurable impact on its expected return. Specifically, stocks with higher centrality tend to exhibit higher sensitivity to systematic risk, consistent with the hypothesis that central nodes are more exposed to aggregate shocks.

The extended APT model demonstrates a clear improvement in explanatory power relative to the baseline specification. This is evidenced by higher adjusted R-squared values and more stable coefficient estimates. Importantly, the GRS test fails to reject the null hypothesis of zero pricing errors, suggesting that the model provides an adequate description of the cross-section of returns. This result underscores the robustness of the extended framework and its ability to capture relevant risk dimensions that are omitted in traditional models.

The Fama–MacBeth regression results further confirm the economic and statistical significance of the centrality factor. The risk premium associated with centrality is positive and significant, implying that investors demand compensation for holding stocks that are more centrally positioned in the network. This finding aligns with the notion that such stocks are more vulnerable to systemic shocks and contagion effects.

In addition to the centrality measure, the conventional factors included in the model also exhibit expected signs and significance. Excess market returns remain a dominant driver of stock performance, while exchange rate fluctuations and inflation capture important macroeconomic influences in the Iranian context. Firm size is found to have a negative relationship with returns, consistent with the well-documented size effect in asset pricing literature. Together, these results highlight the multifaceted nature of risk in emerging markets and the importance of incorporating both macroeconomic and structural factors.

Conclusion

This study contributes to the asset pricing literature by integrating network-based measures into the APT framework and providing empirical evidence from an emerging market setting. The findings demonstrate that network centrality is a significant and economically meaningful determinant of stock returns, serving as a proxy for a previously unobserved dimension of systematic risk. By capturing the structural interdependencies among assets, the proposed approach enhances the explanatory power of traditional models and offers a more comprehensive understanding of market dynamics.

From a theoretical perspective, the results suggest that asset pricing models should account not only for exogenous risk factors but also for endogenous features of the financial system, such as network topology. This extension aligns with recent developments in financial economics that emphasize the role of interconnectedness and systemic risk.

From a practical standpoint, the implications are substantial. For investors and portfolio managers, the significance of centrality implies that network metrics can serve as valuable tools for portfolio construction and risk management. Incorporating centrality measures may improve diversification strategies by identifying assets that are more susceptible to contagion. For regulators and policymakers, monitoring the network structure of the market can enhance the detection of systemic vulnerabilities and support more effective macroprudential policies. Highly central stocks, in particular, may warrant closer supervision due to their potential to amplify shocks.

Finally, for financial analysts and researchers, this study underscores the importance of adopting interdisciplinary approaches that combine insights from network science and financial economics. Future research may extend this framework by exploring alternative centrality measures, dynamic network structures, or nonlinear modeling techniques, thereby further enriching our understanding of financial markets.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study adheres to the standards of academic ethics. All data used are Tehran Stock Exchange stock statistics collected from the official website of the Iranian Stock Exchange, which are publicly available. No human subjects participated in this study; therefore, no informed consent or personal data protection procedures were required. This study adheres to the principles of research integrity, transparency, and proper citation of sources.

Authors' contribution: All authors have contributed to the writing of the article and have provided the necessary cooperation.

Funding: This article received no external funding and benefited solely from the usual institutional support, including access to library resources and online facilities.

Use of Artificial Intelligence: Artificial Intelligence tools were used only to edit the language and improve clarity. All responsibility for the content and scientific interpretations lies with the authors.

Conflict of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgements: The authors sincerely thank the anonymous reviewers and editors of the Stable Economy Journal for their constructive feedback, which significantly improved the manuscript. The usual disclaimers apply.

اقتصاد باثبات
شاپا الکترونیکی: ۱۰۴۹-۲۸۲۱

بررسی مدل قیمت‌گذاری چندعاملی APT با لحاظ مرکزیت در شبکه بازار سهام ایران

هادی اسماعیل پورمقدم[۱] | آرزو کرمی[۲]

۱. نویسنده مسئول، استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: esmaeilpour@um.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: ar.karami@um.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۹

تاریخ ویرایش:۱۴۰۴/۲/۵

تاریخ پذیرش :۱۴۰۵/۲/۱۶

تاریخ انتشار:۱۴۰۵/۲/۲۱

JEL: G11, G14, O15

واژه‌های کلیدی:
شبکه پیچیده،
سهام،
قیمت‌گذاری چندعاملی،
مرکزیت

چکیده

بازار سهام حجم گسترده‌ای از داده‌ها و روابط متقابل میان شرکت‌ها را تولید می‌کند؛ ازاین‌رو، استفاده از تحلیل شبکه می‌تواند چارچوبی مناسب برای درک پویایی‌ها و ساختار ارتباطی بازار فراهم سازد. با وجود اهمیت این موضوع، بازار سهام ایران کمتر از منظر تحلیل شبکه بررسی شده و مطالعات موجود عمدتاً بر ویژگی‌های توصیفی شبکه تمرکز داشته‌اند. افزون بر این، تاکنون نقش مرکزیت شبکه در چارچوب مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی و به‌عنوان منبع بالقوه ریسک سیستماتیک مورد آزمون قرار نگرفته است. ازاین‌رو، هدف اصلی این پژوهش بررسی توان توضیحی مدل قیمت‌گذاری چندعاملی آربیتراژ (APT) با لحاظ معیار مرکزیت شبکه در بازار سهام ایران است. برای این منظور، بازده سهام شرکت‌های دارای معاملات منظم طی دوره زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ استخراج شد. سپس با استفاده از ماتریس همبستگی بازده سهام و رویکرد آستانه، شبکه بازار سهام تشکیل و معیار مرکزیت هر سهم محاسبه شد. در ادامه، مدل APT با وارد کردن مرکزیت به‌عنوان عامل ریسکی جدید برآورد گردید. به‌منظور آزمون، از روش مقطعی فاما–مک‌بث و آزمون گیبونز، راس و شانکن استفاده شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد ضریب معیار مرکزیت مثبت و از نظر آماری معنادار است؛ به این معنا که سهام با جایگاه مرکزی‌تر در شبکه، به دلیل ارتباط گسترده‌تر با سایر شرکت‌ها، در معرض شوک‌های کلان و سرریزهای بازار قرار داشته و بازده مورد انتظار بالاتری خواهد داشت. بنابراین، ادغام تحلیل شبکه با مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی، ابعاد جدیدی از ریسک را آشکار ساخته و می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران، مدیریت سبد دارایی و سیاست‌گذاری در بازار سرمایه ایران کمک کند.

استناد: اسماعیل پورمقدم، هادی و کرمی، آرزو. (۱۴۰۵). بررسی مدل قیمت‌گذاری چندعاملی APT با لحاظ مرکزیت در شبکه بازار سهام ایران. *اقتصاد باثبات*، ۷ (۱)، ۱۱۱-۱۴۰.

DOI: 10.22111/sedj.2026.54391.1673

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

حق‌مؤلف © نویسندگان.

۱. مقدمه

علاقه به استفاده از روش شبکه‌های پیچیده[1] در تحقیقات مالی به تازگی گسترش یافته است. تحلیل شبکه می‌تواند باعث افزایش تفهیم نوسانات سیستم‌های مالی شود (*Pecora and Spelta, 2015*). تحلیل شبکه به عنوان ابزار متدولوژی قدرتمند برای مدل‌سازی تعاملات بین واحدهای اقتصادی، شرکت‌ها و نهادهای مالی شناخته می‌شود. به علاوه این رویکرد از حوزه‌های تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ[2] به شمار می‌رود. در پی بحران مالی اخیر، استدلال شده است که نظریه شبکه می‌تواند درک سیستم‌های مالی، ریسک سیستماتیک و درک تمامی عوامل ناشی از شکست در بازارهای مالی را غنی نماید. رویکرد تحلیل شبکه‌های پیچیده در بازار سهام می‌تواند تصویر روشنی از ساختار داخلی بازار سهام ارائه دهد (*Dimitrios and Vasileios, 2015*). شایان ذکر است که تجزیه و تحلیل همبستگی در امور مالی غیر معمول نیست. در واقع، تجزیه و تحلیل همبستگی در تخصیص دارایی و مدیریت ریسک به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است و منجر به نتیجه-گیری مدل‌های بسیاری از مدیریت سبد و تخصیص دارایی شده است که با موفقیت در برنامه‌های دنیای واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند (*Tse et al., 2010*).

بررسی و ارزیابی عوامل مؤثر بر قیمت سهام شرکت‌ها، می‌تواند در تصمیم‌گیری اقتصادی و پیش‌بینی‌های اقتصادی و مالی این شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران آن‌ها کمک کننده باشد. در این ارتباط، الگوی قیمت‌گذاری چندعاملی با استفاده از طیف وسیعی از عوامل مؤثر بر بازده سهام شرکت‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. تبیین ارتباط بین ریسک، بازده و قیمت‌گذاری دارایی‌ها، مفهومی است که در دهه‌های اخیر به پارادایم غالب و مسلط در بازارهای سرمایه تبدیل شده است.

از این رو، مطالعه حاضر در تلاش است با ایجاد شبکه‌ای کامل از ارتباطات مبتنی بر همبستگی برای سهام‌های بورس اوراق بهادار ایران، معیار مرکزیت را برای هر شرکت در شبکه استخراج نماید. در ادامه با استفاده از داده‌های سهام فعال در بورس اوراق بهادار تهران، الگوی قیمت‌گذاری آربیتراژ با لحاظ مرکزیت به عنوان یک عامل ریسکی بررسی گردیده و اساساً به این سوال پاسخ داده می‌شود که آیا الگوی قیمت‌گذاری چندعاملی با لحاظ معیار مرکزیت، می‌تواند بازده سهام شرکت‌ها را توضیح

---

[1] Complex Network

[2] Big Data

دهد. به عبارت دیگر، آیا مرکزیت می‌تواند جایگزین مناسبی برای عامل ریسک در مدل قیمت‌گذاری چندعاملی باشد. هرچند که مطالعات مختلفی پیرامون بررسی عوامل ریسکی نظیر نرخ ارز، تورم و قیمت نفت در مدل‌های قیمت‌گذاری چندعاملی انجام گرفته است؛ اما این مطالعه، اولین مطالعه‌ای است که مرکزیت در شبکه بازار سهام را به عنوان یکی از عوامل ریسکی در مدل قیمت‌گذاری چندعاملی مطرح می‌کند و به بررسی آن در مدل *APT*[1] می‌پردازد.

ادامه این مقاله به شرح زیر می‌باشد: در بخش دو و سه، مبانی نظری و پیشینه تحقیق مرور می‌گردد. سپس در بخش چهارم، روش تحقیق توصیف می‌شود و در نهایت، به ارائه نتایج و نتیجه-گیری پرداخته می‌شود.

۲. ادبیات موضوع و پیشینه تحقیق

ادبیات مالی کلاسیک عمدتاً بر تبیین رابطه میان ریسک و بازده و شناسایی عوامل تعیین‌کننده بازده دارایی‌ها متمرکز بوده است. در این چارچوب، نظریه انتخاب سبد سرمایه‌گذاری *Markowitz (1952)* نقطه آغاز تحلیل‌های نوین مالی به شمار می‌رود. براساس این نظریه، سرمایه‌گذاران با در نظر گرفتن بازده مورد انتظار و ریسک، که معمولاً با واریانس بازده اندازه‌گیری می‌شود، اقدام به تشکیل پرتفوی بهینه می‌کنند. مهم‌ترین نتیجه این نظریه آن است که از طریق متنوع‌سازی می‌توان بخش قابل‌توجهی از ریسک غیرسیستماتیک را کاهش داد.

در ادامه، مدل قیمت‌گذاری دارایی سرمایه‌ای[2] *(CAPM)* توسط *Sharpe (1964)*، *Lintner (1965)* و *Mossin (1966)* توسعه یافت. این مدل بیان می‌کند که بازده مورد انتظار هر دارایی تابعی از ریسک سیستماتیک آن دارایی در مقایسه با پرتفوی بازار است و بتا به‌عنوان شاخص حساسیت بازده دارایی نسبت به نوسانات بازار شناخته می‌شود. با وجود اهمیت *CAPM*، محدودیت فروض آن، از جمله وجود بازار کامل، امکان استقراض و وام‌دهی با نرخ بدون ریسک، انتظارات همگن سرمایه‌گذاران و اتکای صرف به یک عامل ریسک، موجب شد پژوهشگران به توسعه مدل‌های جایگزین بپردازند.

[1] The Arbitrage Pricing Theory

[2] The Capital Asset Pricing Model

یکی از مهم‌ترین این مدل‌ها، نظریه قیمت‌گذاری آربیتراژ *(APT)* است که توسط *Ross(1976)* معرفی شد. این نظریه بازده دارایی‌ها را حاصل تأثیر مجموعه‌ای از عوامل سیستماتیک می‌داند و برخلاف *CAPM*، به یک عامل واحد بازار محدود نمی‌شود. در واقع، مدل *APT* عوامل خارج از بازار را که بر اوراق بهادار اثر می‌گذارند شناسایی می‌کند که از آن‌ها به‌عنوان عوامل ریسک یاد می‌شود. افزون بر این، این مدل در مقایسه با *CAPM* به فروض محدودکننده کمتری نیاز دارد (*Elton et al., 2003*). در چارچوب *APT*، فرصت‌های سود آربیتراژی، پایدار نخواهند بود و در بازارهای کارا به سرعت از بین می‌روند. به بیان دیگر، بدون پذیرش ریسک و بدون انجام سرمایه‌گذاری خالص، امکان کسب بازده مثبت مستمر وجود ندارد (*Berry et al., 1988*). این نظریه بیان می‌کند که بازده مورد انتظار سهام تابعی خطی از حساسیت آن نسبت به عوامل ریسکی مختلف است. عوامل مزبور می‌توانند از دو منبع ناشی شوند: نخست، عوامل اقتصاد کلان که بر همه اوراق بهادار اثرگذارند و از طریق تنوع‌بخشی قابل حذف نیستند؛ دوم، عوامل خاص هر شرکت که با متنوع‌سازی قابل کاهش‌اند (*Watsham and Parramore, 1997; Greonwold Fraser, 1997*). از این‌رو، نظریه *APT*در مقایسه با *CAPM* از عمومیت بیشتری برخوردار بوده و انعطاف‌پذیری بالاتری در شناسایی منابع ریسک دارد (*Cuthbertson, 1996*).

با وجود توسعه مدل‌های چندعاملی، بخش قابل‌توجهی از رویکردهای قیمت‌گذاری دارایی همچنان بر ویژگی‌های منفرد شرکت‌ها مانند اندازه، نسبت ارزش دفتری به بازار، نسبت قیمت به سود، نقدشوندگی و سایر شاخص‌های بنیادی تمرکز دارند. این در حالی است که بازارهای مالی ماهیتی به‌شدت به‌هم‌پیوسته دارند و بازده سهام نه‌تنها تحت تأثیر ویژگی‌های داخلی شرکت، بلکه متأثر از روابط متقابل میان شرکت‌ها، صنایع و کل ساختار بازار است. ازاین‌رو، نادیده گرفتن این وابستگی‌ها می‌تواند به برآورد ناقص ریسک و بازده منجر شود. در سال‌های اخیر، تحلیل شبکه‌های پیچیده به‌عنوان رویکردی نوین در اقتصاد و مالی مورد توجه قرار گرفته است. در این رویکرد، هر شرکت یا سهم به‌عنوان یک گره و روابط میان آن‌ها ـ مانند همبستگی بازده، جریان اطلاعات، پیوندهای معاملاتی یا وابستگی‌های بخشی ـ به‌عنوان یال در نظر گرفته می‌شود. تحلیل شبکه این امکان را فراهم می‌کند که ساختار درونی بازار، میزان تمرکز، خوشه‌های صنعتی، مسیر انتقال شوک‌ها و

بازیگران کلیدی بازار شناسایی شوند. برخلاف مدل‌های سنتی که بیشتر به متغیرهای فردی توجه دارند، تحلیل شبکه رفتار جمعی بازار و تعاملات میان اجزا را نیز منعکس می‌سازد.

یکی از مهم‌ترین مفاهیم در تحلیل شبکه، مرکزیت است. مرکزیت نشان‌دهنده میزان اهمیت، نفوذ یا جایگاه یک گره در ساختار شبکه است (*Freeman, 1997; Albert et al., 2000*). در بازار سهام، شرکتی که از مرکزیت بالاتری برخوردار است، معمولاً با تعداد بیشتری از سهام در ارتباط قرار دارد یا در مسیر انتقال اطلاعات و نوسانات نقش مهم‌تری ایفا می‌کند. چنین شرکت‌هایی می‌توانند در انتشار اطلاعات، سرایت شوک‌های قیمتی و جهت‌دهی به رفتار بازار اثرگذارتر باشند (*Todorova, 2019*). از منظر اقتصادی، قرار گرفتن در موقعیت مرکزی شبکه می‌تواند با افزایش مواجهه سهم نسبت به ریسک‌های سیستماتیک همراه باشد (*Huang et al., 2024*). سهام مرکزی به دلیل پیوند گسترده‌تر با سایر سهام، بیش از دیگران تحت تأثیر تحولات کلان، نوسانات عمومی بازار و رفتار جمعی سرمایه‌گذاران قرار می‌گیرند. بنابراین انتظار می‌رود سرمایه‌گذاران برای نگهداری این نوع دارایی‌ها صرف ریسک بیشتری مطالبه کنند (*Hani et al., 2025*). بر این اساس، معیار مرکزیت می‌تواند به‌عنوان متغیری مکمل در مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی مطرح شود و بخشی از تغییرات بازده را توضیح دهد که در مدل‌های سنتی کمتر مورد توجه بوده است. در واقع، اگر ساختار شبکه‌ای بازار، اطلاعاتی درباره میزان سرایت‌پذیری، وابستگی و ریسک سیستماتیک شرکت‌ها دربرداشته باشد، انتظار می‌رود ورود شاخص‌های مرکزیت به مدل‌های چندعاملی، قدرت توضیحی آن‌ها را افزایش دهد.

۲-۱. مطالعات داخلی

در ایران نیز طی سال‌های اخیر توجه به تحلیل شبکه بازار سهام افزایش یافته است. تقی‌زاده و ناظمی (۱۳۹۸) در تحقیقی موضوع شبکه همبستگی سهام شرکت‌های دارویی بورس و فرابورس را در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ بررسی کردند و نشان دادند برخی شرکت‌ها نقش مرکزی‌تری در شبکه دارند. اسماعیل‌پورمقدم و همکاران (۱۳۹۸الف) در بررسی موضوع ارائه شاخصی جدید برای انعکاس رفتار بازار سهام با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه های پیچیده در سال ۱۳۹۵ بیان کردند سهام مرکزی به دلیل ارتباط گسترده‌تر با سایر سهام، بیش از دیگران در معرض شوک‌های جمعی قرار

دارند. هم‌چنین اسماعیل‌پورمقدم و همکاران (۱۳۹۸ب) در بررسی حوزه داده کاوی بازار سهام ایران با مدل‌سازی فیلترینگ شبکه‌های پیچیده با استفاده از رویکرد MST و داده‌های بورس تهران نشان دادند ساختار بازار سهام ایران از نوع شبکه آزاد از مقیاس است؛ به این معنا که تعداد محدودی از سهام اثرگذاری بالایی بر کل بازار دارند.

صداقتی و همکاران (۱۳۹۹) در ارزیابی مبحث مدیریت پرتفوی براساس توپولوژی شبکه بازار سهام ایران با استفاده از نظریه گراف، پیچیدگی شبکه بازار سهام ایران را در افق‌های زمانی مختلف در سالهای ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸ بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد در کوتاه‌مدت، بازار از درهم‌تنیدگی بالایی برخوردار است، اما در افق‌های بلندمدت از شدت این پیچیدگی کاسته می‌شود. فلاح‌پور و قهرمانی (۱۴۰۰) با بررسی ویژگی‌های مرکزیت به‌عنوان معیاری نوین برای تحلیل شبکه، سنجش ریسک و انتخاب پرتفوی سهام با استفاده از تحلیل شبکه طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۵ نقش معیار مرکزیت در برآورد ریسک و تشکیل سبد سهام را مطالعه کردند. یافته‌های آنان نشان داد مرکزیت می‌تواند شاخص مناسبی برای سنجش ریسک سهام باشد و استفاده از آن در انتخاب پرتفوی عملکرد بهتری نسبت به برخی روش‌های متعارف ایجاد می‌کند.

رستم‌زاده و یادگار (۱۴۰۱) در مطالعه خود با موضوع آسیب پذیری شبکه سرایت بازار سهام ایران با رویکرد نظریه شبکه‌های پیچیده نظیر نظریه گراف، پیچیدگی شبکه بازار سهام ایران را در افق‌های زمانی مختلف در سال ۱۳۹۵ با تشکیل شبکه‌ای از صنایع منتخب اقتصاد ایران نشان دادند صنایعی مانند فلزات اساسی، بانک‌ها و واسطه‌گری مالی از نظر معیارهای مرکزیت جایگاه بالاتری دارند و در انتقال اثرات سرایتی مهم‌ترند.

نواحمدی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای با بررسی مدیریت سبد سرمایه گذاری براساس معیارهای مرکزیت (تحلیل شبکه سهام ۵۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران) از سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ با بهره‌گیری از روش‌های یادگیری ماشین بدون نظارت و تحلیل شبکه، سهام مناسب برای سرمایه‌گذاری را براساس معیارهای مختلف مرکزیت شناسایی کردند. نتایج آنان نشان داد سهام با مرکزیت بالاتر تأثیر بیشتری بر سایر سهام بازار دارند. تقی‌زاده و عبدزاده کنفی (۱۴۰۲) با تحلیلی بر بازار سرمایه با استفاده از رویکرد شبکه از سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ متمرکز شدند. آن‌ها ساختار ارتباطی شرکت‌های بازار سرمایه ایران را بر مبنای قیمت، بازده و حجم معاملات بررسی کردند.

یافته‌ها نشان داد با افزایش سطح همبستگی، ارتباط میان شرکت‌ها کاهش یافته و بی‌نظمی شبکه افزایش می‌یابد. هم‌چنین برخی شرکت‌ها از موقعیت ممتاز شبکه‌ای برخوردارند و نقش بازیگران کلیدی بازار را ایفا می‌کنند.

۲-۲. مطالعات خارجی

مطالعه شبکه‌های مالی و به‌ویژه شبکه بازار سهام طی دو دهه اخیر رشد قابل‌توجهی داشته است. یکی از نخستین مطالعات اثرگذار در این حوزه، *Laloux et al. (2000)* بود که با بررسی ماتریس همبستگی بازده سهام و داده‌های تجربی مربوط به سهام *S&P500* با سایر بازارهای اصلی طی دوره زمانی ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۶ نشان دادند روابط میان دارایی‌ها حاوی اطلاعات مهمی درباره ساختار بازار است. یافته‌های این مطالعه زمینه توسعه رویکردهای شبکه‌ای در مالی را فراهم کرد. در ادامه، *Brida et al. (2016)* در مطالعه‌ای با موضوع تحلیل شبکه‌ای بازده و حجم معاملات در بازارهای سهام، به تحلیل شبکه برای تحلیل ساختار بازار در طول دوره طولانی از ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ پرداختند. *Zhong et al. (2016)* در پژوهشی موضوع شاخص‌های جدید مبتنی بر ساختار شبکه را برای نمایش بازار مالی با استفاده از رویکرد شبکه بررسی کردند. *Zhao et al. (2016)* به بررسی ساختار بازار سهام در مواقع بحران در ۳۲۲ سهام تشکیل‌دهنده *S&P500* با استفاده از شبکه مبتنی بر همبستگی پرداختند. این مطالعات به صورت هم‌راستا، با تحلیل ساختار توپولوژیکی[1] بازارهای مالی نشان دادند شبکه بازار سهام می‌تواند ابزاری مؤثر برای شناسایی روابط پنهان میان دارایی‌ها، مدیریت ریسک و بهبود تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران باشد. همچنین *Eberhard et al. (2017)* در بررسی تحلیل پویای مبتنی بر شبکه در بازار سهام شیلی طی دوره زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ با استفاده از ایجاد شاخصی جدید و اعتبارسنجی تغییرات روزانه بازار شبکه سهام دریافتند ساختار شبکه بر بازده و حجم معاملات اثرگذار است. *Sharma et al. (2017)* در بررسی موضوع هم‌حرکتی‌های بخشی در بازار سهام هند در تحلیل شبکه با روش آستانه طی دوره زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ نشان دادند که تحلیل شبکه‌ای درک بهتری از وابستگی میان سهام فراهم می‌کند. مطالعات جدیدتر مانند *Bahari et al. (2024)* در بررسی موضوع شبکه، همبستگی و ساختار بخش مالی بورس مالزی قبل، حین و

[1] Topological Structure

بعد از کووید-۱۹ با استفاده از همبستگی و تحلیل شبکه در دوره زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱؛ *Bhattacharjee and Maiti (2025)* در مورد بینش‌های توپولوژیکی و نقشه‌برداری تجسم شبکه از بازار سهام هند با استفاده از تکنیک فیلترینگ و درخت پوشای حداقلی در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴؛ *Achitouv (2025)* با تحلیل دینامیکی شبکه سهام مالی *S&P500* و بهبود پیش‌بینی با استفاده از ویژگی‌های شبکه در دوره بلندمدت ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۴ و کوتاه مدت ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۴ و *Liu (2025)* با بررسی رمزگشایی از انتقال ریسک سیستمی با کاوشی تجربی از پویایی شبکه و نقدینگی بازار در بخش مالی در سال ۲۰۱۱ در اروپا بر اهمیت روزافزون تحلیل شبکه در بازارهای مالی تأکید کرده‌اند.

یکی از شاخه‌های مهم این ادبیات، بررسی مرکزیت در بازار سهام است. *Lee and Djauhari (2012)* با بررسی موضوع تحلیل شبکه‌های سهام در بورس کوالالامپور با استفاده از رویکرد تحلیل شبکه در دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ نشان دادند شاخص‌های مرکزیت قادرند سهام اثرگذار و گره‌های کلیدی بازار را شناسایی کنند. *Coletti (2016)* با مطالعه بازار سهام ایتالیا با استفاده از بازده و حجم از طریق تحلیل شبکه و درخت پوشای حداقلی در دهه ۲۰۱۱-۲۰۰۱ دریافت شرکت‌های فعال در صنایع پتروشیمی، گاز طبیعی و بیمه از جایگاه مرکزی برخوردارند. *Majapa and Gossel (2016)* در تحقیق خود با مبحث توپولوژی شبکه بازار سهام آفریقای جنوبی در طول بحران مالی ۲۰۰۸ از طریق نقشه‌های درخت پوشای حداقل در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ نشان دادند سهام بخش مالی و منابع طبیعی دارای بیشترین اتصال در شبکه هستند. مطالعات دیگری ارتباط میان مرکزیت و ریسک را بررسی کرده‌اند. *Pozzi et al. (2013)* در مطالعه‌ای با موضوع پراکندگی ریسک در بازارهای مالی و سرمایه‌گذاری بهتر در بازارهای پیرامونی با رویکرد شبکه طی دوره زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ و *Qiao et al. (2016)* در بررسی اینکه آیا اثرات پیوند شبکه‌ای می‌توانند بازده را تعیین کنند؟ به ارزیابی شواهدی از بازار سهام چین با رویکرد روش همبستگی شرطی پویا[1] (*DCC*) طی دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ پرداختند. آن‌ها استدلال کردند سهام دارای مرکزیت بالا، علاوه بر ریسک خاص شرکت، بیشتر در معرض شوک‌های جمعی و سرایت بازار قرار دارند. *Acemoglu et al.*

[1] The Dynamic Conditional Correlations

(2012) با بررسی موضوع منشأ شبکه‌ای نوسانات کل از طریق رویکرد ساختار شبکه‌ای با حضور پیوندهای ورودی-خروجی بین‌بخشی نشان دادند ریسک‌های بخشی می‌توانند از طریق ساختار شبکه‌ای اقتصاد به سایر بخش‌ها منتقل شوند. *Aobdia et al. (2013)* در ارزیابی موضوع ساختار شبکه بین صنعتی و قابلیت پیش‌بینی متقابل سود و بازده سهام با رویکرد تحلیل شبکه‌ای دریافتند شرکت‌های متعلق به صنایع مرکزی در معرض ریسک سیستماتیک بیشتری قرار دارند. *Ahern and Jarrad (2014)* با ارزیابی اهمیت پیوندهای صنعتی در امواج ادغام با استفاده از توپولوژی شبکه طی دوره زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۸ نتیجه گرفتند بخش‌های مرکزی‌تر در شبکه، آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به ریسک دارند.

در حوزه مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی، *Yang et al. (2010)* در مطالعه خود بر کاربرد نظریه قیمت‌گذاری آربیتراژ در بازار اوراق بهادار چین با استفاده از داده های پانلی در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ متمرکز شدند. آن‌ها عوامل اندازه شرکت، نسبت ارزش بازار به دفتری و نسبت قیمت به سود را در مدل *APT* بازار چین بررسی کردند، اما شواهد کافی برای تأیید کامل مدل نیافتند. *Sirait and Sumarto (2019)* با بررسی این که کدامین مدل *CAPM* یا *APT* در تعیین قیمت‌گذاری دارایی‌ها در بازار سرمایه اندونزی مؤثر است، پرداختند. آن‌ها مدل *APT* را با لحاظ عوامل کلان اقتصادی در بورس اندونزی در سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ تأیید نکردند. در مقابل، *Kim et al. (2012)* در مطالعه‌ای درباره ارزیابی و مقایسه مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی در بازار سهام کره جنوبی طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ قدرت توضیحی مناسب مدل‌های چندعاملی را تایید کردند. *Khudoykulov (2017)* با بررسی موضوع تحلیل مدل قیمت‌گذاری آربیتراژ بر بازده سهام آتن در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ نیز اثر معنادار متغیرهای اقتصاد کلان بر بازده سهام یونان را تأیید نمود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

با توجه به هدف مقاله، مراحل برآورد مدل به این صورت است که در ابتدا، معیار مرکزیت در شبکه بازار سهام ایران استخراج می‌شود؛ به منظور استخراج معیار مرکزیت در شبکه بازار سهام ایران، بازده ۲۴۶ سهام که طی دوره زمانی ۱۴۰۲-۱۳۹۲ معاملات منظمی داشته‌اند، محاسبه شده و سپس به کمک ماتریس همبستگی بازده سهام و روش آستانه، شبکه بازار سهام ایجاد می‌شود. پس از ایجاد شبکه بازار سهام، معیار مرکزیت برای هر سهام استخراج می‌شود. به منظور بررسی این که آیا مرکزیت

می‌تواند به عنوان عامل ریسکی در مدل قیمت‌گذاری APT باشد، مدل قیمت‌گذاری با لحاظ مرکزیت آزمون می‌شود. بدین منظور، رگرسیون (۸) به صورت مجزا برای هر شرکت برآورد می‌شود و در ادامه، برای تأیید عامل ریسکی بودن معیار مرکزیت، از آزمون گیبونز، راس و شانکن (GRS) استفاده می‌شود. هم‌چنین مطابق با رویکرد فاما و مک‌بث (۱۹۷۳)، ضرایب بتای حاصل از رگرسیون معادله (۸)، به عنوان متغیر مستقل و مازاد بازده بدون ریسک هر سهم به عنوان متغیر وابسته تعریف می‌شود. ضرایب هریک از بتاها در رگرسیون مقطعی که معنادار باشد، نشان دهنده عامل ریسکی بودن آن است. بدین منظور، در این قسمت، ابتدا روش شبکه‌های پیچیده معرفی شده و سپس معیار مرکزیت توصیف می‌گردد و در ادامه روش آزمون مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی ارائه می‌شود.

شبکه عبارت است از سه تایی $G = (V.E.f)$ که در آن V مجموعه‌ای متناهی از گره‌ها است، $E \subseteq V \otimes V = \{e_1.e_2.\dots.e_m\}$ مجموعه‌ای از پیوندها یا یال‌ها و f نگاشتی است که برخی از عناصر E را به یک جفت از عناصر V مربوط می‌کند؛ به طوری که اگر $v_i \in V$ و $v_j \in V$ باشد، آن‌گاه خواهیم داشت: $f: e_p \longrightarrow [v_i.v_j]$ و $f: e_q \longrightarrow [v_j.v_i]$ *(Kito and Ueda, 2014)*.

برای ایجاد شبکه بازار سهام، فرض می‌شود $p_i(t)$ قیمت پایانی سهم i در روز t باشد. بازده سهام در روز tام به صورت زیر تعریف می شود:

$$r_i(t) = lnp_i(t) - lnp_i(t-1) \quad (۱)$$

برای تعیین اتصالات شبکه، از فرآیند زیر استفاده و با استفاده از همبستگی بازده سهام، شبکه ایجاد می‌شود. یال اتصالی دو گره با همبستگی بین دو سری بازده سهام تعریف می‌گردد. به طور خاص، همبستگی بین دو سهام به عنوان یک جمله از ماتریس همبستگی C در نظر گرفته می‌شود که از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$c_{ij} = \frac{\langle r_i r_j \rangle - \langle r_i \rangle \langle r_j \rangle}{\sqrt{\left(\langle r_i^2 \rangle - \langle r_i \rangle^2\right)\left(\langle r_j^2 \rangle - \langle r_j \rangle^2\right)}} \quad (۲)$$

که r نشان دهنده بازده است و $\langle r_i \rangle$، نشان‌دهنده میانگین سهام i در طول دوره است. علاوه بر این، مقدار آستانه معین θ، $0 \leq \theta \leq 1$ بر اساس مدل ارائه شده توسط *Xu et al. (2018)* تعیین می‌گردد

و یک یال بدون جهت بین گره‌های i و j رسم می‌شود، اگر مقدار قدرمطلق c_{ij} بزرگتر یا مساوی θ باشد. *Xu et al. (2018)* بر این اساس که تغییر در شبکه ساخته شده باید با تغییر در بازار حقیقی سازگار باشد، یک تابع سازگار بین آن‌ها معرفی می‌کنند و آستانه بهینه با توجه به ماکزیمم کردن سازگاری انتخاب می‌شود. بر این اساس، برای هر مقدار $\theta_i = [0.1]$، ماتریس همبستگی C_i و شبکه N_i ساخته می‌شود و تابع ذیل محاسبه می‌گردد:

$$G_{\theta_i} = \frac{\langle D_C D_N \rangle - \langle D_C \rangle \langle D_N \rangle}{\sigma_{D_C} \sigma_{D_N}}$$

(۳)

این تابع، سازگاری بین تغییرات در ماتریس همبستگی و شبکه را اندازه‌گیری می‌نماید که در آن، D_C و D_N به ترتیب تغییرات در ماتریس و شبکه و σ_{D_C} و σ_{D_N} مربوط به انحراف معیار آن‌ها است که با روش عددی مقدار آستانه بهینه بر اساس (۴) انتخاب می‌شود:

$$\hat{\theta} = arg\, \underset{\theta_i}{max}\{G_{\theta_i}\}$$

(۴)

مطابق با *Zhang et al. (2010)* ، از قدرمطلق همبستگی به عنوان وزن اختصاص داده شده به یال در شبکه استفاده می‌گردد. اگر $w_{ij} \neq 0$، آن‌گاه یک یال بین گره‌های i و j وجود خواهد داشت.

مرکزیت به مکان نقاط در یک شبکه اشاره دارد (*Freeman, 1978*). مرکزیت دارای مفهوم گسترده‌ای است که برای شناسایی و تعیین مهم‌ترین کنشگران و یا ارتباطات در یک شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس، می‌توان از معیار مرکزیت برای تعیین گره‌های اصلی در یک شبکه سهام استفاده کرد و بیشترین سهام مرتبط و متصل در بازار سهام را شناسایی نمود. مرکزیت گره‌های شبکه را می‌توان با شاخص مرکزیت نزدیکی مورد مطالعه قرار داد. شاخص مرکزیت نزدیکی یک گره بیانگر میانگین طول کوتاه‌ترین مسیرهای موجود میان آن گره و سایر گره‌های موجود در شبکه است. گره‌های دارای شاخص نزدیکی بالا، از قدرت بیشتری در شبکه برخوردار هستند و نقش مرکزی‌تری در شبکه ایفا می‌کنند و قابلیت دسترس‌پذیری بیشتری برای سایر گروه‌ها دارند. شاخص نزدیکی گره k از طریق معادله (۵) محاسبه می‌شود:

$$C_C(P_K) = \sum_{i=1}^{n} d(p_i . p_k)^{-1}$$

(۵)

در این معادله، $d(p_i.p_k)^{-1}$، کوتاه‌ترین مسیر اتصال دو گره p_i و p_k است (اسماعیل‌پورمقدم و همکاران، ۱۳۹۸).

بازده هر دارایی i در مدل APT با یک الگوی k عاملی به صورت زیر توضیح داده می‌شود:

$$r_{it} - r_{ft} = \alpha_i + \beta_{i1}F_{1t} + \cdots + \beta_{ik}F_{kt} + \varepsilon_{it} \quad (۶)$$

که F، عوامل ریسکی هستند که بر بازده دارایی‌ها اثرگذارند. معادله (۶) فرآیندی آماری را نشان می‌دهد که در آن، داده‌های بازده تولید می‌شود. از آن‌جایی که در مدل APT، فرض می‌شود که فرصت آربیتراژ وجود ندارد، بنابراین آلفاها می‌بایست به صورت خطی با بتای آن‌ها مرتبط باشند؛ در این صورت با صفر بودن میانگین عوامل ریسکی، معادله (۷) بررسی می‌گردد:

$$E(r_i) = \mu_i = r_f + \gamma_1\beta_{i1} + \cdots + \gamma_k\beta_{ik} \quad (۷)$$

که در آن، μ_i مازاد بازده انتظاری، β_{ik} میزان در معرض ریسک بودن از طریق عامل k و γ_k صرف ریسک عامل k است (*Chen et al., 1986*).

به منظور آزمون مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی می‌توان از یکی از دو رویکرد سری زمانی و رویکرد مقطعی استفاده نمود. رویکرد مقطعی توسط فاما و مک‌بث (۱۹۷۳) معرفی شده است. بر این اساس در مرحله اول، با استفاده از رگرسیون‌های بازده‌های هر دارایی روی سبد بازار، بتاها برآورد می‌شود و در مرحله دوم، با استفاده از رگرسیون مقطعی، صرف‌های ریسک برآورد می‌شود. در رویکرد سری زمانی، معادله (۸) برآورد می‌شود:

$$r_{it} - r_{ft} = \alpha_i + \beta_i(r_{mt} - r_{ft}) + \varepsilon_{it} \quad (۸)$$

برای این که مدل قیمت‌گذاری دارایی تأیید شود، می‌بایست تمامی آلفاها در رگرسیون فوق، تفاوت معناداری با صفر نداشته باشند (*Gibbons et al., 1989*). فرضیه صفر برای تمامی دارایی‌ها به صورت $H_0: \alpha_i = 0$ است. برای اطمینان از این موضوع، می‌توان از آزمون گیبونز، راس و شانکن (*GRS*) کمک گرفت. این آزمون، بر کفایت توضیح‌دهندگی مدل مورد مطالعه تمرکز دارد. اگر در رگرسیون مورد مطالعه، عامل مرکزیت به همراه سایر متغیرهای مدل بتواند تغییرات بازده سهام را به طور کامل توضیح دهد، انتظار می‌رود آلفای رگرسیون برابر صفر باشد. با دسترسی به توزیع آلفا

با استفاده از آزمون GRS، می‌توان برابری آلفاها با صفر را مورد آزمون قرار داد. آماره GRS به صورت (۹) محاسبه می‌شود:

$$\left(\frac{T}{N}\right)\left(\frac{T-N-L}{T-L-1}\right)\left(\frac{\widehat{\alpha}'\tau^{-1}\hat{\alpha}}{1+\frac{\bar{\mu}_m^2}{\hat{\sigma}_m^2}}\right) \approx F(N, T-N-L)$$

(۹)

که N تعداد شرکت‌ها، T تعداد دوره‌های زمانی، L تعداد عامل‌های مدل، $\hat{\alpha}$ بردار $N \times 1$ عرض از مبدأها، τ برآورد کننده بدون تورش از ماتریس کوواریانس جملات اخلال، $\bar{\mu}_m^2$ میانگین نمونه مازاد بازده بازار و $\hat{\sigma}_m^2$ واریانس نمونه مازاد بازده بازار است. در مدل قیمت‌گذاری، میزان احتمال این آزمون چنانچه کمتر از ۵ درصد باشد، فرضیه صفر مبنی بر صفر بودن آلفاها رد می‌شود. داده‌های مربوط به قیمت سهام، اندازه، بتای $CAPM$ و بازده بازار از نرم‌افزار پردازش اطلاعات مالی ره آورد نوین و داده‌های مربوط به نرخ ارز بازار آزاد، قیمت نفت و نرخ سود سپرده کوتاه‌مدت بانکی از بانک مرکزی ایران و داده مربوط به نرخ تورم از مرکز آمار ایران استخراج شده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای R [۱] و $Matlab$ انجام گرفته است.

۴. یافته‌های پژوهش

برای ایجاد شبکه بازار سهام، از قیمت پایانی روزانه سهام برای محاسبه بازده استفاده شده و سپس همبستگی بازده سهام محاسبه گردیده و بر مبنای همبستگی، شبکه بازار سهام ایجاد می‌شود. مطابق متدولوژی معرفی شده توسط زو و همکاران (۲۰۱۸)، آستانه انتخابی با آزمایش انتخاب‌های متوالی θ، برابر ۰/۴ می‌باشد. بدین ترتیب، شبکه بازار سهام ایران شامل ۲۴۶ گره و ۷۶۰۰ یال بین سهام است و میانگین درجه شبکه برابر ۵۱/۸۱ است و بیانگر این است که هر سهام به طور متوسط با حدود ۵۲ سهام دیگر در ارتباط است. جدول (۱) ویژگی‌های کلی شبکه بازار سهام را نشان می‌دهد.

جدول ۱: ویژگی‌های کلی شبکه بازار سهام ایران (منبع: یافته‌های تحقیق)

ویژگی	مقدار

[۱] کتابخانه‌های *network* و *sna*

تعداد گره‌ها	۲۴۶
اندازه شبکه	۷۶۰۰
تراکم شبکه	۰/۲۱
میانگین درجه شبکه	۵۱/۸۱

پس از ایجاد شبکه بازار سهام، مرکزیت بر اساس معیار مرکزیت نزدیکی محاسبه شده است. هرچه فاصله یک گره با بقیه گره‌ها کمتر باشد، آن گره، معیار مرکزیت نزدیکی بیشتری خواهد داشت. از آن‌جا که سهام مرکزی، با سهام بیشتری در ارتباط هستند، علاوه بر ریسک خاص فردی، در معرض ریسک‌ها و شوک‌های جمعی نیز قرار دارند. به منظور تحلیل دقیق‌تر این موضوع، بتای CAPM برای هر سهام محاسبه شده و ارتباط بتای CAPM و مرکزیت هر سهام در جدول (۲) بررسی می‌شود. نتایج، یک همبستگی مثبت بین بتای CAPM و مرکزیت هر سهام نشان می‌دهد و بیانگر این است که سهام مرکزی‌تر، اوراقی با ریسک سیستماتیک بالاتر می‌باشند. از این رو، انتظار می‌رود سهام با مرکزیت بالاتر، ریسک بالاتری داشته باشند. هم‌چنین، ارتباط میان مرکزیت و ریسک (انحراف معیار بازده) سهام نیز در جدول (۲) ارائه می‌شود. نتایج آزمون همبستگی پیرسون در جدول (۲) بیانگر همبستگی مثبت و معنادار میان مرکزیت و ریسک سهام می‌باشد.

جدول ۲: نتایج آزمون همبستگی (منبع: یافته‌های تحقیق)

	ضریب همبستگی	آماره آزمون	P-value
ریسک	۰/۸۷	۴/۲۱	۰/۰۰
بتای CAPM	۰/۶۵	۵/۱۰	۰,۰۰

نتایج حاصل از جدول (۲)، این تصور را ایجاد می‌نماید که مرکزیت با ریسک سهام مرتبط است. بنابراین، این سؤال مطرح می‌شود که آیا مرکزیت می‌تواند جایگزینی برای عامل ریسک در مدل قیمت‌گذاری چند عاملی آربیتراژ باشد. برای پاسخ به این سؤال، مطابق رویکرد فاما-مک‌بث، ضرایب عوامل با استفاده از رگرسیون‌های سری زمانی طی دوره زمانی ۱۴۰۲-۱۳۹۲ برای هر شرکت برآورد شده و به عنوان متغیر مستقل در مدل رگرسیون مقطعی با تعداد ۲۴۶ شرکت قرار می‌گیرند. هم-چنین، تأیید مدل قیمت‌گذاری دارایی با لحاظ عامل مرکزیت، با آماره GRS در مرحله رگرسیون سری زمانی و معناداری در مرحله رگرسیون مقطعی مشخص می‌گردد.

به منظور آزمون مدل قیمت‌گذاری APT با لحاظ معیار مرکزیت (CNTR) در شرکت‌ها، متغیرهای دیگری که در الگوی چندعاملی لحاظ می‌شوند، شامل بازده بازار (R_m)، اندازه (SMB)، نرخ تورم (INF) و نرخ ارز (EX) است. نرخ بازده بدون ریسک (R_f) در این تحقیق، به صورت نرخ سود سپرده‌های کوتاه‌مدت بانکی در نظر گرفته شده است. مدل APT مازاد بازده مورد انتظار سهام را

برابر مازاد بازدهی بدون ریسک و ضریبی از عوامل ریسکی می‌داند که در این مطالعه، عامل مرکزیت در شبکه بازار سهام نیز به عنوان یکی از عوامل ریسکی بررسی می‌شود. در مرحله نخست، ضرایب عوامل ریسکی شامل مرکزیت، مازاد بازده بازار، اندازه، نرخ تورم و نرخ ارز از طریق رگرسیون‌های سری زمانی طی دوره زمانی ۱۴۰۲-۱۳۹۲ برای هر شرکت، برآورد شده و سپس به عنوان متغیر مستقل به مدل رگرسیون مقطعی با ۲۴۶ شرکت مورد مطالعه وارد می‌شوند. جدول (۳) آمار توصیفی متغیرهای پایه‌ای تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۳: آمار توصیفی متغیرهای تحقیق (منبع: یافته‌های تحقیق)

متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
$R - R_f$	۷/۹۱	۱۸/۲۱	-۴۵/۳۳	۱۶۱/۰۹
$R_m - R_f$	-۴/۱۶	۰/۹۰	-۷/۰۴	-۲/۰۱
CNTR	۰/۵۶	۰/۰۲	۰/۵۱	۰/۶۰
SMB	۱۲/۸۴	۰/۷۶	۱۱/۶۵	۱۶/۰۴
βCAPM	۰/۷۵	۰/۳۰	-۰/۳۶	۱/۵۱

نتایج حاصل از رگرسیون مقطعی فاما-مک‌بث با لحاظ عامل مرکزیت، در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴: نتایج رگرسیون فاما-مک‌بث (منبع: یافته‌های تحقیق)

متغیر	ضریب	آماره t	Prob.
C	-۷/۱۶	-۱/۱۹	۰/۱۷۲
$R_m - R_f$	۵/۳۶	۴/۸۱	۰/۰۰۰
CNTR	۳/۷۵	۶/۰۰	۰/۰۰۰
SMB	۱/۱۸	۳/۹۹	۰/۰۰۰
INF	۲/۲۰	۲/۹۴	۰/۰۰۳
EX	۰/۹۱	۴/۲۱	۰/۰۰۰
R^2	۰/۴۴		
F-statistic	۱۸/۱۱		
Prob(F-statistic)	۰/۰۰		

متغیرهایی که در برآورد رگرسیون مقطعی فاما-مک‌بث معنادار می‌شوند، می‌توانند به عنوان عامل ریسکی برای بازده سهام مطرح شوند. نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد مرکزیت از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد مثبت و معنادار می‌باشد. از این رو، مرکزیت می‌تواند به عنوان عامل ریسکی در مدل‌های چندعاملی ظاهر شود. متغیرهای عامل بازار، اندازه، تورم و نرخ ارز نیز در سطح اطمینان

۹۵ درصد، معنادار می‌باشند؛ اما بازده نفت به دلیل این که بر اساس نتایج برآورد مدل در جدول (۴)، معنادار نشده است، به عنوان عامل ریسکی در این مطالعه مطرح نمی‌باشد. از این رو، عامل‌های ریسکی در مدل قیمت‌گذاری APT به صورت مرکزیت، بازار، اندازه، تورم و نرخ ارز شناسایی می‌شوند. همان‌طور که از جدول (۴) مشخص است، آماره F در این رگرسیون معنادار است که نشان‌دهنده معنادار شدن کل مدل است. در ادامه، آزمون GRS برای عامل‌های ریسکی که در برآورد فوق معنادار شده‌اند، در جدول (۵) ارائه می‌شود. آماره این آزمون فرض صفر بودن عرض از مبدأ رگرسیون را برای بازده سهام شرکت‌ها آزمون می‌کند.

جدول ۵: نتایج آزمون سری زمانی GRS (منبع: یافته‌های تحقیق)

آماره GRS	Prob.
۱/۷۹	۰/۱۰۹

مطابق نتایج جدول (۵)، فرض صفر پذیرفته شده و در نتیجه آلفاهای برآورد شده تفاوت معناداری با صفر ندارند. از این رو، عامل مرکزیت و هم‌چنین عوامل بازار، نرخ ارز و تورم و اندازه به عنوان عوامل ریسک در توضیح‌دهندگی مازاد بازده سهام مورد مطالعه شناخته می‌شوند. از آنجایی که نتایج ارائه شده در جدول (۴) حاکی از معنادار بودن ضریب متغیرمستقل یا عامل ریسکی مرکزیت بر بازده مورد انتظار سهام است، بنابراین الگوی قیمت‌گذاری APT با لحاظ عامل مرکزیت تأیید می‌گردد. به طور کلی، نتایج حاصل از این مطالعه، اعتبار مدل قیمت‌گذاری آربیتراژ را با لحاظ عامل مرکزیت تأیید می‌کند. افزون بر این، دیگر متغیرهای اثرگذار بر بازده مورد انتظار سهام نظیر نرخ ارز و تورم شناسایی شده‌اند. نتایج این مطالعه تأیید می‌نماید که روش شبکه با ارائه رویکردی نوآورانه برای اندازه‌گیری روابط متقابل میان سهام، مدل قیمت‌گذاری جدیدی از بازار سهام را ارائه می‌دهد. در نتیجه در مدیریت سبد، در کنار توجه به عملکرد سهام بر اساس معیارهای بنیادی، می‌توان به موقعیت سهام در شبکه که معیار مرکزیت، معرف آن است، توجه نمود.

۴,۱ تحلیل استحکام

به منظور استحکام[1] نتایج، آزمون مدل قیمت‌گذاری APT با لحاظ معیار مرکزیت، با حضور متغیرهای دیگری که در الگوی چندعاملی لحاظ می‌شوند، شامل بازده نفت (ROIL) و بازده طلا (RGold) در مدل‌های مجزا بررسی می‌شود. نتایج حاصل از رگرسیون مقطعی فاما-مک‌بث با لحاظ عامل مرکزیت و هم‌چنین آزمون GRS برای این دو مدل، در جدول (۶) ارائه شده است.

[1] Robustness

جدول ۶: نتایج تحلیل استحکام (منبع: یافته‌های تحقیق)

متغیر	ضریب	آماره t	Prob.
CNTR	۱/۹۷۴	۳/۴۱۰	۰/۰۰۱
ROIL	۲/۱۷	۰/۳۵	۰/۶۵۰
R^2	۰/۴۸		
F-statistic	۱۸/۱۱		
Prob(F-statistic)	۰/۰۰		
آماره GRS	Prob.		
۱/۸۶	۰/۱۰۷		
CNTR	۲,۲۵۰	۳,۱۴۱	۰,۰۰۲
RGold	۱,۰۵۲	۴,۰۲۳	۰,۰۰۰
R^2	۰,۴۶		
F-statistic	۲۰,۳۶۱		
Prob(F-statistic)	۰,۰۰۰		
آماره GRS	Prob.		
۱/۸۲	۰/۱۰۷		

مطابق جدول (۶) نشان می‌دهد مرکزیت از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد مثبت و معنادار می‌باشد. از این رو، مرکزیت می‌تواند به عنوان عامل ریسکی در مدل‌های چندعاملی ظاهر شود. این موضوع بیانگر آن است که اثر مرکزیت بر بازده مورد انتظار سهام، به مشخصات خاص مدل وابسته نبوده و از پایداری مناسبی برخوردار است. همچنین، نتایج آزمون GRS در تمامی الگوها نشان‌دهنده عدم معناداری آلفاها می‌باشد که مؤید کفایت مدل در توضیح بازده‌ها است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که یافته‌های پژوهش نسبت به تغییر در ترکیب عوامل ریسکی، از استحکام لازم برخوردار بوده و مدل ارائه‌شده از قابلیت اتکای مناسبی برخوردار است. نتایج به‌دست‌آمده از تخمین مدل نشان می‌دهد که ضریب مرکزیت به‌عنوان یک عامل ریسک، از نظر آماری معنادار بوده و می‌تواند در تبیین بازده دارایی‌ها نقش ایفا نماید. این یافته حاکی از آن است که موقعیت یک دارایی در شبکه، می‌تواند در تعیین میزان ریسک و بازده مورد انتظار آن مؤثر باشد. به بیان دیگر، دارایی‌هایی که از نظر ساختار شبکه‌ای در موقعیت‌های مرکزی‌تری قرار دارند، ممکن است در معرض شوک‌های سیستمی بیشتری بوده و در نتیجه، صرف ریسک بالاتری را دارا باشند. علاوه بر این، نتایج آزمون GRS مؤید اعتبار مدل نظریه قیمت‌گذاری آربیتراژ (APT) با لحاظ معیار مرکزیت است. هم‌چنین یافته‌ها نشان می‌دهد که سایر متغیرها شامل مازاد بازده بدون ریسک، نرخ ارز و تورم، به‌همراه متغیر اندازه شرکت، به‌عنوان منابع مهم ریسک در بازار سهام عمل می‌کنند.

۵. بحث

بر اساس نتایج تحقیق، تغییرات در شرایط کلان اقتصادی و ویژگی‌های بنگاهی می‌توانند به‌طور هم‌زمان بر ساختار ریسک-بازده تأثیرگذار باشند. به‌طور خاص، اثرگذاری نرخ ارز و تورم می‌تواند نشان‌دهنده حساسیت بازار به شوک‌های بیرونی و بی‌ثباتی‌های اقتصادی باشد. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که شرایط اقتصاد کلان و ویژگی‌های شرکت به طور جمعی بر ساختار ریسک-بازده تأثیر می‌گذارند که با ادبیات موجود نظیر *Wang (2024)*، *Chen et al. (2024)* و *Abu Khalaf et al. (2025)* سازگار است. به طور خاص، مشاهده این مطالعه مبنی بر اینکه نرخ ارز و تورم نشان‌دهنده حساسیت بازار به شوک‌های خارجی و بی‌ثباتی اقتصادی هستند، توسط چندین مطالعه پشتیبانی می‌شود. به عنوان مثال، تحقیقات در بازارهای اندونزی نشان می‌دهد که نرخ بهره و تورم به طور قابل توجهی بر بازده سهام سبز تأثیر می‌گذارند (*Nurdina et al., 2026*). علاوه بر این، برخی مطالعات نشان می‌دهند که بازارهای سهام در اقتصادهای نوظهور، مانند نیجریه و آفریقای جنوبی، پس از بحران مالی ۲۰۰۸ نسبت به عوامل ریسک کلان اقتصادی، از جمله تورم و نرخ ارز، حساس‌تر شده‌اند (*Ikoku and Okany, 2014*).

با این حال، نتایج این پژوهش در خصوص عامل ریسکی بودن اندازه با یافته‌های *Yang et al. (2010)* همخوانی ندارد. این ناهمخوانی ممکن است ناشی از تفاوت در دوره زمانی مورد بررسی، ساختار بازار، یا روش‌شناسی مورد استفاده باشد. به عنوان مثال، مطالعات نشان می‌دهد که اثرات اندازه شرکت می‌تواند بین بازارهای توسعه‌یافته و نوظهور متفاوت باشد (*Khan et al., 2019*)؛ به طوری که سهام شرکت‌های بزرگ در سطح جهانی قیمت‌گذاری می‌شوند، در حالی که سهام شرکت‌های متوسط و کوچک تحت تأثیر متغیرهای داخلی در بازارهای نوظهور قرار می‌گیرند (*Wang and Ye, 2016*).

از سوی دیگر، نتایج مطالعه حاضر بازده نفت را به‌عنوان یک عامل ریسک معنادار تأیید نکرد که این یافته با نتایج گزارش‌شده توسط *Baghdadabad et al. (2011)* هم‌راستا است. این امر می‌تواند نشان‌دهنده آن باشد که علی‌رغم اهمیت بالقوه نفت در اقتصاد کلان، اثر آن بر بازده سهام ممکن است به‌صورت غیرمستقیم و از طریق سایر متغیرها منتقل شود یا در دوره مورد بررسی از شدت کافی برای تأثیرگذاری مستقیم برخوردار نبوده باشد. در حالی که قیمت نفت می‌تواند بر بازارهای سهام، به ویژه در اقتصادهای وابسته به نفت یا در شرایط بحرانی بازار، تأثیر مستقیم آنها به عنوان یک عامل ریسک جهانی می‌تواند پیچیده و غیرمستقیم باشد (*Mensi et al., 2021; Alqahtani*

et al., 2019; et al., 2020; Kumar et al., 2020; Horobet). برخی تحقیقات نشان می‌دهد که بازده بازارهای نوظهور ممکن است به اندازه بازارهای توسعه‌یافته به تغییرات قیمت نفت حساس نباشد. این رابطه همچنین می‌تواند نامتقارن باشد، به طوری که افزایش ناگهانی قیمت نفت تأثیر متفاوتی نسبت به کاهش قیمت نفت داشته باشد (*Ramos and Veiga, 2010*)

در نهایت، تأکید بر مرکزیت به عنوان معیاری برای ساختار شبکه در مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی، یک حوزه تحقیقاتی در حال توسعه است. مطالعات بررسی می‌کنند که چگونه مرکزیت شبکه بر پیش‌بینی قیمت دارایی و انتشار اطلاعات در شبکه‌های مالی تأثیر می‌گذارد (*Yu et al., 2024; Yu et al., 2023; Hatcher and Hellmann, 2025*). این امر، شناخت روزافزون نظریه شبکه در درک رفتار بازار مالی را برجسته می‌کند. در مجموع، یافته‌های این پژوهش بر اهمیت در نظر گرفتن مرکزیت به عنوان یک معیار ساختار شبکه در مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی تأکید دارد و می‌تواند زمینه‌ساز توسعه چارچوب‌های تحلیلی دقیق‌تر برای درک رفتار بازارهای مالی باشد.

۶. نتیجه‌گیری

بازار سهام به‌واسطه تولید حجم بالایی از داده‌ها و وجود روابط متقابل میان شرکت‌ها، بستری مناسب برای به‌کارگیری تحلیل شبکه در راستای درک ساختار و پویایی‌های آن فراهم می‌کند. با این حال، در بازار سهام ایران، مطالعات شبکه‌ای محدود بوده و عمدتاً به توصیف ساختار شبکه بسنده کرده‌اند. مهم‌تر آن که، نقش مرکزیت شبکه به‌عنوان عامل بالقوه در تبیین بازده و ریسک سیستماتیک، در چارچوب مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی مورد بررسی قرار نگرفته است. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی توان توضیحی مدل قیمت‌گذاری آربیتراژ چندعاملی (*APT*) با لحاظ معیار مرکزیت شبکه انجام می‌شود. نتایج نشان داد که مرکزیت به عنوان یک عامل ریسک معنادار در چارچوب مدل قیمت‌گذاری آربیتراژ *(APT)* عمل می‌کند. همچنین آزمون *GRS* و برآوردهای فاما-مک‌بث، اعتبار تجربی مدل *APT* با لحاظ معیار مرکزیت را تأیید کردند. علاوه بر این، یافته‌ها حاکی از آن است که سایر متغیرها نظیر مازاد بازده بدون ریسک، نرخ ارز، تورم و اندازه شرکت نیز از منابع مهم ریسک در بازار سهام ایران محسوب می‌شوند. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که جایگاه هر سهم در شبکه بازار و میزان ارتباط آن با سایر سهام، می‌تواند به‌عنوان معیار تعیین‌کننده‌ای مهم برای ریسک و بازده در نظر گرفته شود. درواقع، افزودن معیارهای مبتنی بر شبکه‌های پیچیده به

مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی، می‌تواند درک دقیق‌تری از سازوکارهای ریسک در بازار سهام فراهم آورد و چارچوب APT را از طریق لحاظ روابط تعاملی میان سهام توسعه دهد.

بر اساس یافته‌های پژوهش، پیشنهادها و توصیه های سیاستی ارائه می‌شود:

(۱) برای سرمایه‌گذاران و مدیران سبد دارایی، با توجه به معنادار بودن معیار مرکزیت به‌عنوان عامل ریسک، توصیه می‌شود در کنار شاخص‌های سنتی (مانند بتا، اندازه و متغیرهای کلان)، از معیار مرکزیت نیز در تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاری و مدیریت ریسک استفاده شود. سهام با مرکزیت بالا به دلیل قرارگیری در معرض شوک‌های سیستماتیک شبکه، نیازمند توجه ویژه در فرآیند متنوع‌سازی سبد هستند.

(۲) برای نهادهای ناظر بازار سرمایه، از آنجا که سهام با مرکزیت بالا می‌توانند نقش مهمی در انتقال شوک‌ها در کل بازار ایفا کنند، پایش ساختار شبکه بازار و شناسایی گره‌های مرکزی می‌تواند به عنوان ابزاری مکمل برای رصد ریسک سیستماتیک مورد استفاده قرار گیرد.

(۳) هم‌چنین، برای تحلیل‌گران مالی و پژوهشگران، نتایج نشان می‌دهد که لحاظ روابط بین سهام در قالب شبکه، اطلاعات ارزشمندی فراتر از مدل‌های سنتی فراهم می‌کند. بنابراین توصیه می‌شود تحلیل‌های مالی به سمت استفاده از روش‌های شبکه‌های پیچیده حرکت کرده و از این ابزارها برای بهبود مدل‌های پیش‌بینی بازده و ریسک بهره گرفته شود.

این مطالعه دارای محدودیت‌هایی است. نخست، تنها از معیار مرکزیت نزدیکی استفاده شده و سایر ابعاد ساختار شبکه در نظر گرفته نشده است. دوم، شبکه همبستگی با روش آستانه و به‌صورت ایستا برآورد شده و پویایی‌های زمانی بازار را به‌طور کامل منعکس نمی‌کند. سوم، تمرکز مطالعه بر بورس اوراق بهادار تهران ممکن است تعمیم‌پذیری نتایج را محدود کند. در راستای توسعه پژوهش، پیشنهاد می‌شود که از سایر معیارهای مرکزیت مانند درجه، بینابینی و مقدار ویژه استفاده شود؛ شبکه‌های پویا و پنجره‌های غلتان برای بررسی تغییرات زمانی ریسک به کار گرفته شوند؛ روش‌های جایگزین ساخت شبکه مانند MST و $PMFG$ مورد استفاده قرار گیرند و مطالعات تطبیقی بین بازارهای مختلف برای بررسی اعتبار بیشتر نتایج انجام شود.

قدردانی

نویسندگان صمیمانه از داوران و ویراستاران ناشناس مجله اقتصاد باثبات به خاطر بازخورد سازنده آن‌ها که به طور قابل توجهی دست‌نوشته را بهبود بخشید، تشکر می کنند. سلب مسئولیت های معمول اعمال می‌شود.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان در نگارش مقاله نقش داشته اند و همکاری لازم را انجام داده‌اند.

References

Abu Khalaf, B., AlQahtani, M. S., Al-Naimi, M. S., & Mardini, M. (2025). Geopolitical Risk and Its Influence on Egyptian Non-Financial Firms' Performance: The Moderating Role of FinTech. FinTech, 4(3), 30. https://ideas.repec.org/a/gam/jfinte/v4y2025i3p30-d1704404.html

Acemoglu, D., Carvalho, V. M., Ozdaglar, A. and Tahbaz-salehi, A. (2012). The network origins of aggregate fluctuations, Econometrica 80 (5), 1977–2016. http://hdl.handle.net/10.3982/ECTA9623

Achitouv, I. (2025). Dynamical analysis of financial stocks network: Improving forecasting using network properties. PloS one, 20(5), e0319985. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319985

Ahern, K.R. and Jarrad, H. (2014). The importance of industry links in merger waves, J. Finance 69 (2), 527–576. https://doi.org/10.1111/jofi.12122

Albert, R., Jeong, H., & Barabási, A. L. (2000). Error and attack tolerance of complex networks. nature, 406(6794), 378-382. https://doi.org/10.1038/35019019

Alqahtani, A., Bouri, E., & Vo, X. V. (2020). Predictability of GCC stock returns: The role of geopolitical risk and crude oil returns. Economic Analysis and Policy, 68, 239-249. https://10.1016/j.eap.2020.09.017

Aobdia, D., Judson, C., Ozel, N. B. (2013). Inter-industry network structure and the cross-predictability of earnings and stock returns, Rev. Account. Stud. 19 (3), 1–34. https://10.1007/s11142-014-9286-7

Baghdadabad, M. R. T., Nor, F. M., and Ibrahim, I. (2011). An Empirical Analysis of Funds'alternative Measures in the Drawdown Risk Measure (DRM) Framework. Journal of Advanced Studies in Finance, Vol.2, Issue.4, pp. 150-168. https://ideas.repec.org/a/srs/jasf00/v2y2011i2p149-167.html

Bahari, N. N., Bahaludin, H., Ismail, M., & Abdul Razak, F. (2024). Network, correlation, and community structure of the financial sector of Bursa Malaysia before, during, and after COVID-19. Journal of Data Science in Finance and Economics, 4(3), 362-387. https://doi.org/10.3934/DSFE.2024016

Berry, M. A., Burmeister, E., and McElroy, M. B. (1988). Sorting Out Risks Using Known APT Factors. *Financial Analysts Journal*, Vol.44, Issue.2, pp. 29-42. https://10.2469/faj.v44.n2.29

Bhattacharjee, B., & Maiti, M. (2025). A Study on the Topological Insights and Network Visualization Mapping of the Indian Equity Market. Risks, 13(4), 76 . https://doi.org/10.1002/9781394302628.ch27

Brida, J. G., Matesanz, D. and Seijas, M. N. (2016). Network analysis of returns and volume trading in stock markets: The Euro Stoxx case. *Physica A*, 751–764. https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.10.078

Chen, K., Luo, P., Sun, B., & Wang, H. (2015). Which stocks are profitable? A network method to investigate the effects of network structure on stock returns. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *436*, 224-235. https://10.1016/j.physa.2015.05.047

Chen, N. F., Roll, R., and Ross, S. A. (1986). Economic Forces and the Stock Market. *The Journal of business*, Vol.59, No.3, pp. 383-403. https://www.jstor.org/stable/2352710

Chen, Y., Wang, G. J., Zhu, Y., Xie, C., & Salah Uddin, G. (2024). Identifying systemic risk drivers of FinTech and traditional financial institutions: machine learning-based prediction and interpretation. The European Journal of Finance, 30(18), 2157-2190. https://10.1080/1351847X.2024.2358940

Coletti, P. (2016). Comparing minimum spanning trees of the Italian stock market using returns and volumes. *Physica A*, 463, 246–261. https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.07.029

Cuthbertson, K. (1996). *Quantitative Financial Economics: Stocks, Bonds and Foreign Exchange*. Chichester [etc.]: Wiley, cop.

Davallou, M. and Mehrali, S. (2024). Water Risk and Mining Firms' Stock Return. *Financial Research Letter*, 26, 232-258. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/frj.2023.356655.1007447

Dimitrios, K. & Vasileios, O. (2015). A Network Analysis of the Greek Stock Market. *Procedia Economics and Finance*, 33, 340-349. https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01718-9

Djauhari, M.A. and Gan, S.L. (2015). Optimality problem of network topology in stocks market analysis, *Physica A*, 419, 108–114. https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.09.060

Djauhari, M.A. and Gan, S.L. (2016). Network topology of economic sectors, J. Stat. Mech. *Theory Exp.*, 9, 093401. https://10.1088/1742-5468/2016/09/093401

Eberhard, J., Lavin, J. F. and Montecinos-Pearce, A. (2017). A Network-Based Dynamic Analysis in an Equity Stock Market, *Complexity*, 1-16. https://doi.org/10.1155/2017/3979836

Elton, E. J., Gruber, M. J., Brown, S. J., and Goetzmann, W. N. (2009). *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis*. John Wiley & Sons.

Elton, E.J. & Gruber, M. J. (1995). *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis*, Wiley.

Esmaeilpour, m. H., Mohammadi, t., Feghhi, k. M., & Shakeri, a. (2019b). A new index for reflection of stock market behavior using by complex network analysis approach. [in persian].

Esmeilpour Moghadam, H., Mohammadi, T.; Faqhi Kashani, M. and Shakri, A. (2018a). Sector growth and centrality in Iran's stock market: the application of complex network analysis, Economic Research and Policy, 90, 313-341. [in Persian]. http://qjerp.ir/article-1-2410-fa.html

Eyvazloo, R., Ghahramani, A. and Ajam, A. (2017). Analyzing the Performance of Fama and French Five-factor Model Using GRS Test. *Financial Research Letter*, 18, 691-714. [in Persian]. https://doi.org/10.22059/jfr.2017.62587

Fallahpour, S., & Ghahramani, A. (2021). An Analysis of centrality's features as a new measure for network analysis, risk measurement & portfolio selection. *Financial Research Journal*, *23*(2), 158-171. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jfr.2018.241407.1006515

Fama, E. F., and MacBeth, J. D. (1973). Risk, Return, and Equilibrium: Empirical Tests. *Journal of political economy*, 81, 607-636. http://dx.doi.org/10.1086/260061

Farshadfar, Z. (2016). Investigating the relationship between the exchange rate as one of the macroeconomic variables and the excess stock return using the APT model (a case study of exporting companies admitted to the Tehran Stock Exchange). Financial Knowledge of Securities Analysis, 33, 102-89. [in Persian].

Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. Social networks, 1(3), 215-239. https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7

Gibbons, M. & Ross, S. & Shanken, J. (1989). A Test of the Efficiency of a Given Portfolio. Econometrica, 57(5), 1121-1152. https://doi.org/10.2307/1913625

Groenewold Fraser, N. (1997). Share Prices and Macroeconomic Factors. *Journal of Business Finance & Accounting*, 24, 1367-1383. https://10.1111/1468-5957.t01-1-00168

Hani, U., Karimullah, K., & Alam, F. (2025). Understanding the investment behavior of FPIs and DIIs in Indian stock market in changing macroeconomic scenario: A post financial crisis (2008) analysis. Edelweiss Applied Science and Technology, 9(8), 1596-1611. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2007.04.031

Hatcher, M., & Hellmann, T. (2025). Networks, beliefs, and asset prices. Journal of Economic Dynamics and Control, 173, 105059. https://doi.org/10.1016/j.jedc.2025.105059

Horobet, A., Vrinceanu, G., Popescu, C., & Belascu, L. (2019). Oil price and stock prices of eu financial companies: evidence from panel data modeling. Energies, 12(21), 4072. https://ideas.repec.org/a/gam/jeners/v12y2019i21p4072-d280289.html

Huang, C., Deng, Y., Yang, X., Cai, Y., & Yang, X. (2024a). Financial network structure and systemic risk. The European Journal of Finance, 30(10), 1073-1096. https://10.1080/1351847X.2023.2269993

Ikoku, A. E., & Okany, C. T. (2014). Did the economic and financial crises affect stock market sensitivity to macroeconomic risk factors? Evidence from Nigeria and South Africa. International Journal of Business, 19(3), 275. https://ijb.cyut.edu.tw/var/file/10/1010/img/860/V193-4.pdf

Khan, F., Khan, H., Khan, S. U. R., Jumaa, M., & Jan, S. U. (2019). Macroeconomic Sensitivity, Risk-Return Trade-Off and Volatility Dynamics Evidence from Developed and Developing Markets. *International Journal of Corporate Finance and Accounting (IJCFA)*, *6*(1), 1-16. https://10.4018/IJCFA.2019010101

Khudoykulov, K. (2017). The analysis of the arbitrage pricing model on the stock return: a case of Athens stock market. *American Journal of Finance and Accounting*, *5*(1), 51-63. http://www.inderscience.com/link.php?id=86104

Kim, S. H., Kim, D., & Shin, H. S. (2012). Evaluating asset pricing models in the Korean stock market. *Pacific-Basin Finance Journal*, *20*(2), 198-227. https://doi.org/10.1016/j.pacfin.2011.09.001

Kito, T., & Ueda, K. (2014). The implications of automobile parts supply network structures: A complex network approach. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 63(1), 393-396. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.119

Kumar, S., Demirer, R., & Tiwari, A. K. (2020). Oil and risk premia in equity markets. Studies in Economics and Finance, 37(4), 697-723. https://doi.org/10.1108/SEF-03-2020-0059

Laloux, L., Cizeau, P., Cotters, M, & Bouchaud, J. (2000). Random matrix theory and financial correlations. *Mathematical models and methods in applied sciences*, 3, 1-7. https://doi.org/10.1142/S0219024900000255

Lee, G.S. and Djauhari, M. A. (2012). Stock networks analysis in Kuala Lumpur stock exchange, *Malays. J. Fundam. Appl. Sci*., 8(2), 60–66. https://doi.org/10.11113/mjfas.v8n2.124

Lintner, J. (1965). "The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets." The Review of

Economics and Statistics 47, 13–37. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-780850-5.50018-6

Liu, X. (2025). Unraveling systemic risk transmission: An empirical exploration of network dynamics and market liquidity in the financial sector. Journal of the Knowledge Economy, 16(2), 6629-6664. https://doi.org/10.1007/s13132-024-01861-9

Majapa, M. and Gossel, S. J. (2016). Topology of the South African stock market network across the 2008 financial crisis. *Physica A*, 445, 35–47. https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.10.108

Mazaherifar, P., Qalibaf Asl, H., Mohammadi, S. (2022). Investigating the co-movement of stock returns of companies in the Tehran Stock Exchange using the APT model. Management Research in Iran, 16, 93-104. (in Persian)

Mensi, W., Rehman, M. U., Maitra, D., Al-Yahyaee, K. H., & Vo, X. V. (2021). Oil, natural gas and BRICS stock markets: Evidence of systemic risks and co-movements in the time-frequency domain. Resources Policy, 72, 102062. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102062

Mohseni Damneh, Q. (2006). How to test the arbitrage-based pricing theory, Journal of Management, 27, 219-245. (in Persian)

Moradzadeh, M., Shahiki Tash, M., and Azazi, M. (2015). Experimental test of arbitrage pricing theory with adverse risk approach (D-APT) in Tehran Stock Exchange. Public Management Research, 9(34), 270-292. [in Persian]. https://doi.org/10.22111/jmr.2017.3111

Mossin, J. (1966). "Equilibrium in a Capital Asset Market". *Econometrica*, 34(4), 768–783. https://doi.org/10.2307/1910098

Namazi, M. and Mohammad Tabar Karsgari, H. (2006). Applying a multi-factor model to explain the stock returns of companies listed on the Tehran Stock Exchange, Accounting Advances, 1, 157-180. [In Persian].

Nurdina, N., Nurkholis, N., Adib, N., & Atmini, S. (2026). Macroeconomic Determinants and Green Assets in Explaining Stock Return Dynamics: Evidence from Indonesia. International Journal of Energy Economics and Policy, 16(2), 474. https://10.32479/ijeep.22269

Osoolian, M., Hassannezhad, M., Samiee Tabrizi, P. (2019). An Investigation on liquidity Risk in Bullish and Bearish of Tehran Security Exchange Market: Insights from liquidity-adjusted CAPM. *Financial Research Letter*, 21, 293-320. [in Persian]. https://10.22059/frj.2019.288337.1006919

Pecora, N. and Spelta, A. (2015). Shareholding relationships in the Euro Area banking market: A network perspective. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 43, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.04.011

Pozzi, F., Di Matteo, T. & Aste, T. (2013). Spread of risk across financial markets: better to invest in the peripheries, *Sci. Rep*., 3, 1–7. https://doi.org/10.1038/srep01665

Qarache, M., Alam Tabriz, A., Pazaki, M. (2011). Investigating the application of arbitrage pricing theory (APT) using macroeconomic variables in Tehran Stock Exchange, Financial Management Perspective, 10, 59-79. [in Persian]. https://jfr.ut.ac.ir/article_18607_3b8a392f002327a720b4387e1c56269e.pdf

Qiao, H., Xia, Y. & Li, Y. (2016). Can network linkage effects determine return? evidence from Chinese stock market, *PLoS One*, 11(6), e0156784. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156784

Ramos, S. B., & Veiga, H. (2010). Asymmetric effects of oil price fluctuations in international stock markets.

Ross, S. A. (1976). "The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing." The Journal of Economic Theory 13(3), 341–360. https://doi.org/10.1142/9789814417358_0001

Rostamzadeh, P., & Yadegar, Z. (2022). Vulnerability of Contagion Network in Iran Stock Market: Complex Networks Theory Approach. *Journal of Economics and Modelling*, *13*(1), 93-118. [In Persian]. https://doi.org/10.48308/jem.2022.226674.1745

Sajjadi, H., Farazmand, H., Badpa, B. (2010). Application of arbitrage pricing theory using macroeconomic variables in Tehran Stock Exchange. Journal of Economic Research, 46, 1, 66-45. [in Persian]. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.00398969.1390.46.1.3.1

Sedaghati, S., Farhadi, R., & Liyalestani, M. F. S. (2021). Portfolio Management Based on the Topology of the Iranian Stock Market Network. [In Persian]. https://doi.org/10.30497/ifr.2021.240229.1592

Sharma, K., Shah, S., Chakrabarti, A.S., Chakraborti, A. (2017). *Sectoral Co-movements in the Indian Stock Market: A Mesoscopic Network Analysis*. In: Aruka Y., Kirman A. (eds.) Economic Foundations for Social Complexity Science. Evolutionary Economics and Social Complexity Science, vol 9. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5705-2_11

Sharpe, W. F. (1964). "Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk." The Journal of Finance 19(3), 425–442. https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1964.tb02865.x

Sirait, S., & Sumarto, A. H. (2019). Which one is Effective in Setting Asset Pricing in Indonesia's Capital Market, the CAPM or APT?. *Scholars Bulletin*, *5*(3), 78-84. https://10.21276/sb.2019.5.3.2

Taghizadeh, R., & Abdzadeh Kanafi, M. (2023). An Analysis of Capital Market Using Network Approach. *Financial Research Journal*, *25*(3), 369-386. [In Persian]. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.10248153.1402.25.3.1.8

Taghizadeh, R., & Nazemi, A. (2019). Network Analysis of Stock Prices Case Study: Listed Pharmaceutical Companies in the OTC and Stock Market of Iran. [In Persian]. https://www.jik-ifea.ir/article_13901_b27152e13b5ed9b61478a1384d7b9bf2.pdf

Taleblo, R.and Sheikhi Habil, H. (2016). Financial asset pricing test in chemical and petrochemical sector companies: Comparison of factor models, Iran Energy Economics Research Journal, 25, 61-94. [In Persian]. https://www.magiran.com/p1900496

Tayebnia, A., Sorani, D. (2012). Macroeconomic factors and evidence of arbitrage pricing theory in Tehran Stock Exchange, Economic Research and Policy Quarterly, 66, 23-38. [In Persian]. https://search.isc.ac/dl/search/defaultta.aspx?DTC=8&DC=641470

Todorova, Z. (2019). Firm returns and network centrality. Risk Governance & Control: Financial Markets & Institutions, 9(3). http://doi.org/10.22495/rgcv9i3p6

Tse, C. K., Liu, J. & Lau, F. C. M. (2010). A network perspective of the stock market. *Journal of Empirical Finance*, 17, 659–667. https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2010.04.008

Wang, C. (2024). Stock return prediction with multiple measures using neural network models. Financial Innovation, 10(1), 72. https://doi.org/10.1186/s40854-023-00608-w

Wang, M. C., & Ye, J. K. (2016). The relationship between covariance risk and size effects in emerging equity markets. Managerial Finance, 42(3), 174-190. https://doi.org/10.1108/MF-10-2014-0269

Watsham, T.J. and Parramore, K. (1997). *Quantitative Methods in Finance*.1st edition. United Kingdom, London. Thomson Learning. https://www.academia.edu/33779387/Quantitative_Methods_in_Finance_Book_

Xu, X. J., Wang, K., Zhu, L., & L. J. Zhang (2018). Efficient construction of threshold networks of stock markets. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 509, 1080-1086. https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.06.083

Yang, Y., Tan, Z., and Zou, J. (2010). Applicability of Arbitrage Pricing Theory on Chinese Security Market. *IEEE: in Business Intelligence and Financial*, Third International Conference on Business Intelligence and Financial Engineering, pp. 179-182. https://doi.org/10.1109/BIFE.2010.50

Yu, M., Hu, X., & Zhong, A. (2024). Network centrality, information diffusion and asset pricing. International Review of Financial Analysis, 93, 103223. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103223

Zhang, J., Zhou, H. & L. Jiang (2010). Network topologies of Shanghai stock index. *Physics Procedia*, 3(5), 1733–1740. https://doi.org/10.1016/j.phpro.2010.07.012

Zhao, L. Li, W., Cai, X. (2016). Structure and dynamics of stock market in times of crisis. *Physics Letters A*, 380, 654–666. https://doi.org/10.1016/j.physleta.2015.11.015

Zhong, T., peng, Q., Wang, X., Zhang, J. (2016). Novel indexes based on network structure to indicate financial market. *Physica A*, 443, 583–594. https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.10.008