



Paper Type: Original Article



Assessment of Dynamic Efficiency and Forecasting Stock Return Volatility in the Iranian Stock Exchange based on a Hybrid DEA-GARCH Model

Nastaran Sattarikhadem^{1,*}, Mohsen Rostamy²

¹Department of Financial Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran;
n.sattarikhadem@iau.ir.

²Department of Mathematics and Computer Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran;
rostamy@srbiau.ac.ir.

Citation:



Sattarikhadem, N., & Rostamy, M. (2026). Assessment of dynamic efficiency and forecasting stock return volatility in the Iranian Stock Exchange based on a hybrid DEA-GARCH model. *Management: Modeling, analysis and applications*, 3(2), 113-122.

Received: 27/09/2025

Reviewed: 22/12/2025

Revised: 16/01/2026

Accepted: 13/04/2026

Abstract

Purpose: To examine the relationship between firms' efficiency and stock return volatility in the Tehran Stock Exchange using a hybrid Data Envelopment Analysis–Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (DEA–GARCH) model.

Methodology: This is an applied study with a descriptive–analytical approach based on real market data. Firms' efficiency was first measured dynamically using window DEA, and then incorporated as an exogenous variable into a GARCH model to analyze and forecast return volatility.

Findings: The results indicate that more efficient firms experience lower volatility and more stable returns, while less efficient firms face higher fluctuations. A significant negative correlation was found between efficiency and return volatility ($\rho = -0.63$). The hybrid model also outperformed the standard GARCH model (RMSE = 0.009, MAPE = 6.7%).

Originality/Value: By integrating DEA and GARCH, this study provides a novel framework for simultaneously analyzing efficiency and risk, improving volatility forecasting accuracy and offering practical insights for investors and policymakers.

Keywords: Data envelopment analysis, Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models, Stock returns, Dynamic efficiency, Tehran Stock Exchange, Hybrid model.



Corresponding Author: n.sattarikhadem@iau.ir



<https://doi.org/10.22105/mmaa.v3i2.124>



Licensee. **Management: Modeling, Analysis and Application**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



ارزیابی کارایی زمانی و پیش بینی نوسانات بازده سهام در بورس ایران مبتنی بر مدل هیبریدی DEA-GARCH

نسترن ستاری خادم^۱، محسن رستمی^۲

^۱ گروه مهندسی مالی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

^۲ گروه ریاضی و علوم کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

چکیده

هدف: بررسی رابطه بین کارایی شرکت ها و نوسانات بازده سهام در بورس تهران با استفاده از مدل هیبریدی تحلیل پوششی داده ها^۱-ناهمسانی واریانس شرطی خودرگرسیون تعمیم یافته^۲.

روش شناسی پژوهش: پژوهشی کاربردی با رویکرد توصیفی-تحلیلی مبتنی بر داده های واقعی بازار سرمایه؛ کارایی شرکت ها با DEA پنجره ای به صورت پویا محاسبه و سپس در مدل GARCH به عنوان متغیر برونزا برای تحلیل و پیش بینی نوسانات وارد شد.

یافته ها: نتایج نشان داد شرکت های کارا تر دارای نوسانات کمتر و بازده پایدارتر هستند، در حالی که شرکت های ناکارا نوسانات بیشتری دارند. همچنین همبستگی منفی و معنادار بین کارایی و نوسانات بازده ($\rho = -0.63$) مشاهده شد و عملکرد مدل پیشنهادی نسبت به مدل استاندارد بهبود یافت ($MAPE=6.7\%$, $RMSE=0.009$).

اصالت/ارزش افزوده علمی: این پژوهش با ترکیب DEA و GARCH، چارچوبی نوین برای تحلیل هم زمان کارایی و ریسک ارایه می دهد که دقت پیش بینی نوسانات را افزایش داده و می تواند در تصمیم گیری های سرمایه گذاری و سیاست گذاری مالی کاربرد داشته باشد.

کلیدواژه ها: تحلیل پوششی داده ها، مدل ناهمسانی واریانس شرطی خودرگرسیون تعمیم یافته، بازده سهام، کارایی زمانی، بورس اوراق بهادار تهران، مدل هیبریدی.

۱- مقدمه

در سال های اخیر، نوسانات بازده سهام و دقت پیش بینی آن ها به عنوان یکی از مباحث محوری در مهندسی مالی و مدیریت ریسک مطرح شده اند. شناخت دقیق الگوهای تلاطم در بازده سهام برای تصمیم گیری سرمایه گذاران، مدیریت پرتفوی، تنظیم گران بازار و طراحان ابزارهای مشتقه از اهمیت ویژه ای برخوردار است [1]، [2]. در بازارهای نوظهور و در حال توسعه مانند بورس اوراق بهادار تهران، ترکیب ویژگی های ساختاری بازار، تاثیرات متغیرهای کلان اقتصادی و وجود عدم کفایت های اطلاعاتی موجب پیچیدگی بیشتر در مدل سازی و پیش بینی نوسانات شده است [3]، [4].

¹ Data Envelopment Analysis (DEA)

² Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH)

یکی از آسیب‌های روش‌های متعارف پیش‌بینی تلاطم، تمرکز صرف بر ساختارهای سری زمانی و نادیده گرفتن کارایی نسبی شرکت‌ها و ساختار عملیاتی آن‌ها است. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که ویژگی‌های بنیادی و کارایی عملیاتی شرکت‌ها می‌تواند در رفتار بازده و پراکندگی آن نقش داشته باشد؛ از این رو، ادغام اطلاعات کارایی در مدل‌های پیش‌بینی ریسک می‌تواند دقت تخمین‌ها را افزایش دهد [5]، [6].

رویکرد *DEA* به‌عنوان ابزار سنجش کارایی با توانایی مقایسه چند-ورودی و چند-خروجی، می‌تواند کارایی زمانی شرکت‌ها را استخراج کرده و به‌عنوان متغیری توضیحی یا ورودی در مدل‌های نوسان مورد استفاده قرار گیرد [5]، [7]. از سوی دیگر، خانواده مدل‌های *GARCH* و انواع توسعه‌یافته آن (مانند *EGARCH*، *TGARCH* و دیگر ساختارهای نامتقارن) ابزار استاندارد برای مدل‌سازی و پیش‌بینی واریانس شرطی بازده‌ها هستند و در مطالعات مختلف داخلی و بین‌المللی برای تحلیل نوسانات شاخص‌ها و قیمت سهام به‌کار گرفته شده‌اند [8]، [9].

با این حال، شواهدی وجود دارد که افزودن اطلاعات اقتصادی-بنیادی و شاخص‌های کارایی می‌تواند به بهبود عملکرد این مدل‌ها در پیش‌بینی در دوره‌های بحرانی و نامتقارن کمک کند [2]، [10]. با توجه به مرجع‌های موجود و نیازهای عملی بازار سرمایه ایران، طراحی یک مدل هیبریدی که به‌صورت سیستماتیک از خروجی‌های دینامیک *DEA* به‌عنوان ورودی یا متغیر کنترلی در مدل‌های پیش‌بینی واریانس خانواده *GARCH* استفاده نماید، می‌تواند چندین مزیت نظری و عملی فراهم آورد: افزایش دقت پیش‌بینی در دوره‌های بحران، فراهم‌سازی بینش‌های مدیریتی برای تصمیم‌گیران پرتفوی در مورد رابطه میان کارایی عملیاتی و نوسانات بازده و امکان سنجش عملکرد نسبی مدل‌ها از دیدگاه ارزش در معرض خطر و معیارهای ریسک دیگر [5]، [7]. لذا مساله اصلی این پژوهش این است که: «آیا و تا چه حد وارد کردن شاخص‌های کارایی زمانی استخراج‌شده از *DEA* به‌عنوان متغیرهای توضیحی یا تنظیم‌کننده در مدل‌های خانواده *GARCH* می‌تواند دقت و قابلیت پیش‌بینی نوسانات بازده سهام در بورس اوراق بهادار تهران را بهبود بخشد؟»

۲- پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، توسعه مدل‌های *DEA* در مواجهه با عدم قطعیت، داده‌های فازی، عوامل نامطلوب و محدودیت‌های وزنی، توجه گسترده‌ای را در ادبیات تحقیق به خود جلب کرده است. در این راستا، پژوهش پیکانی و همکاران [11] با ارائه یک مدل *DEA* فازی قابل تنظیم، گامی مهم در شخصی‌سازی نگرش واحدهای تصمیم‌گیرنده نسبت به خوش‌بینی و بدبینی برداشت و با استفاده از معیارهای امکان، ضرورت و اعتبار، انعطاف‌پذیری بالایی در سنجش کارایی تحت ابهام فراهم کرد. از سوی دیگر، رحمانی و همکاران [12] با تمرکز بر مساله دفازی‌سازی و رتبه‌بندی اعداد فازی، روشی نوین مبتنی بر توزیع آماری بتا ارائه دادند که دقت و انسجام بیشتری در تبدیل اطلاعات فازی به مقادیر قطعی فراهم می‌سازد و می‌تواند به‌عنوان مکمل روش‌های *DEA* فازی مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه این جریان پژوهشی، خدادادی پور و همکاران [13] با معرفی یک مدل تصادفی *DEA* با در نظر گرفتن خروجی‌های نامطلوب و ارزیابی متقاطع، امکان رتبه‌بندی دقیق‌تر واحدهای تصمیم‌گیرنده را در شرایط عدم قطعیت آماری فراهم کردند و کارایی نیروگاه‌های حرارتی را به‌صورت تجربی تحلیل نمودند. همچنین، رازی پور و همکاران [14] با پرداختن به مساله تعیین نزدیک‌ترین هدف کارایی در حضور محدودیت‌های وزنی، مدلی کاربردی برای بهبود عملکرد واحدهای ناکارا ارائه دادند که ضمن حفظ ملاحظات ترجیحی، مسیر بهینه دستیابی به مرز کارایی را مشخص می‌کند. مجموعه این مطالعات نشان می‌دهد که تلفیق *DEA* با رویکردهای فازی، تصادفی و محدودیت‌محور، نقش اساسی در افزایش دقت، واقع‌گرایی و کاربردپذیری ارزیابی کارایی در مسایل پیچیده مدیریتی و اقتصادی ایفا می‌کند.

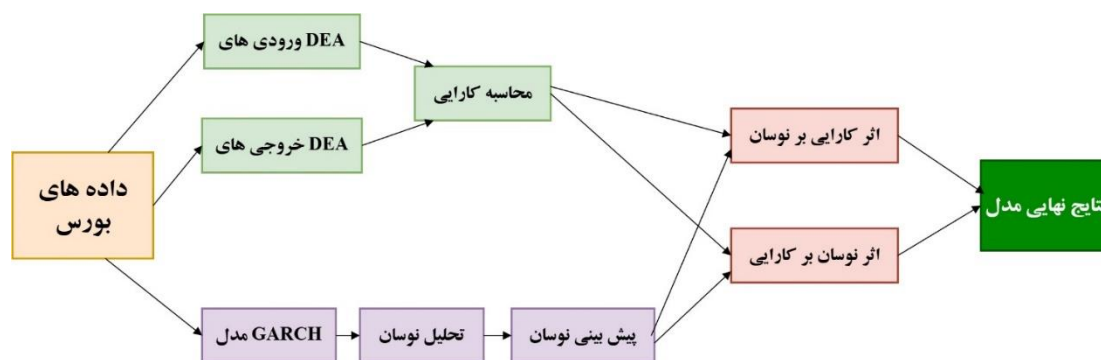
در ادبیات اخیر مربوط به بورس ایران، مطالعاتی با تمرکز بر مدل‌سازی دینامیک بازده و نقش متغیرهای کلان انجام شده است که نشان می‌دهد عوامل بنیادین، نرخ ارز، ریسک سیاسی و ساختار بازار می‌توانند به‌طور معناداری نوسانات را تحت تاثیر قرار دهند [3]، [10]. همچنین پژوهش‌هایی که به کاربرد روش‌های ترکیبی پرداخته‌اند، مانند چارچوب‌های دو مرحله‌ای *DEA* و یادگیری عمیق با استفاده از شبکه‌های عصبی هیبریدی برای پیش‌بینی شاخص‌ها، نشان داده‌اند که مدل‌های هیبریدی می‌توانند عملکرد پیش‌بینی را نسبت به مدل‌های منفرد بهبود دهند [6]، [15].

با وجود رشد پژوهش‌های مرتبط، چند خلا پژوهشی کلیدی در زمینه پیش‌بینی نوسانات بازده سهام در بورس ایران قابل شناسایی است: ۱- بسیاری از مطالعات یا بر مدل‌های سری زمانی تمرکز کرده‌اند (*GARCH* و مشتقات آن) و یا صرفاً بر تحلیل کارایی به‌صورت جداگانه؛ ادغام سیستماتیک این دو رویکرد در یک ساختار هیبریدی که کارایی زمانی شرکت‌ها را به‌طور مستقیم وارد مدل نوسان کند، کمتر مورد بررسی قرار گرفته است [5]،

[7]، ۲- مطالعات موجود که از رویکردهای ترکیبی استفاده کرده‌اند اغلب از روش‌های «دومرحله‌ای» یا افزایشی به‌صورت تجربی بهره برده‌اند، اما یک چارچوب نظری و تجربی منسجم برای نحوه تبدیل خروجی‌های DEA (نمرات کارایی زمانی) به متغیرهای تأثیرگذار در مدل‌های $GARCH$ و بررسی اثر آن‌ها بر ساختار واریانس شرطی کمتر تدوین شده است [2]، [6]، ۳- کمبود بررسی‌های مقایسه‌ای دقیق میان مدل‌های متقارن و نامتقارن $GARCH$ در حضور متغیرهای توضیحی مبتنی بر کارایی، به‌ویژه در زمینه بازار ایران، مشاهده می‌شود؛ به‌ویژه که نوسانات در بازارهای نوظهور تمایل به نامتقارنی و جهش‌های بزرگ دارد [9]، [10] و ۴- همچنین، در بسیاری از پژوهش‌ها، اثر عوامل کلان و ریسک‌های سیاسی و ارزی بر نوسانات مورد توجه قرار گرفته اما ترکیب آن‌ها با متغیرهای کارایی شرکت‌ها و سنجش افزایشی دقت پیش‌بینی در قالب یک مدل هیبریدی یکپارچه هنوز به‌طور کامل بررسی نشده است [3].

مطالعات مشابه در ایران و جهان نشان می‌دهد که استفاده از DEA برای استخراج شاخص‌های کارایی و ادغام آن با مدل‌های $GARCH$ یا شبکه‌های عصبی هیبریدی باعث افزایش دقت پیش‌بینی می‌شود [1]، [2]، [4-8]، [15]، [16]. این مطالعات بر اهمیت تلفیق تحلیل کارایی و مدل‌سازی نوسانات به‌ویژه در بازارهای نوظهور تأکید دارند و چارچوب‌های ترکیبی هیبریدی را به‌عنوان روشی نوین برای تحلیل دقیق‌تر عملکرد بازار و بازده سهام معرفی کرده‌اند.

مدل مفهومی مطالعه حاضر مبتنی بر یک رویکرد ترکیبی است که به‌صورت مرحله‌ای به تحلیل هم‌زمان کارایی و نوسان‌پذیری در بازار سهام ایران می‌پردازد. در گام نخست، داده‌های واقعی بورس به‌عنوان ورودی وارد چارچوب DEA می‌شوند تا شاخصی از کارایی زمانی شرکت‌ها استخراج گردد. سپس همان داده‌ها در مسیر موازی وارد مدل‌های خانواده $GARCH$ می‌شوند تا ساختار ناهمسانی و نوسانات بازده شناسایی و پیش‌بینی شود. در مرحله ادغامی، خروجی‌های دو مدل در قالب یک ساختار هیبریدی ترکیب شده و دو مسیر تحلیلی مورد بررسی قرار می‌گیرد: ۱- اینکه کارایی زمانی چگونه می‌تواند بر نوسان‌پذیری سهام اثرگذار باشد و ۲- اینکه شدت نوسانات تا چه حد می‌تواند بر رفتار کارایی شرکت‌ها تأثیر بگذارد. در پایان، تلفیق این دو مسیر، تصویری جامع از پویایی‌های بازار، رفتار شرکت‌ها و رابطه متقابل کارایی-نوسان ارائه می‌دهد و زمینه را برای تدوین راهبردهای دقیق‌تر سرمایه‌گذاری و سیاست‌گذاری مالی فراهم می‌سازد. مدل مفهومی پژوهش حاضر به‌صورت زیر است:



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش.

Figure 1- Conceptual model of the research.

۳- روش‌شناسی

این پژوهش از نوع کاربردی و کمی است و با هدف توسعه یک مدل هیبریدی برای تحلیل رفتار شرکت‌ها در بورس ایران طراحی شده است. ترکیب روش‌های DEA و $GARCH$ انتخاب شده است؛ زیرا هر یک از این ابزارها به‌تنهایی قابلیت تحلیل بخشی از بازار را دارند. DEA یک ابزار غیرپارامتریک برای سنجش کارایی شرکت‌ها است که امکان تحلیل عملکرد نسبی شرکت‌ها را بدون فرضیات ساختاری خاص فراهم می‌کند و $GARCH$ قادر است نوسانات و ریسک بازده سهام را با دقت بالا پیش‌بینی کند. به این ترتیب، تلفیق این دو رویکرد امکان بررسی رابطه میان کارایی شرکت‌ها و رفتار نوسانی بازده سهام را به‌صورت یکپارچه فراهم می‌کند. این روش‌شناسی هم تحلیل تاریخی و هم پیش‌بینی را شامل می‌شود و با استفاده از داده‌های واقعی بورس تهران، علاوه بر سنجش کارایی و نوسانات، قابلیت کاربرد عملی در تحلیل بازار و تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران را نیز فراهم می‌سازد.

جامعه آماری شامل کلیه شرکت های فعال در بورس اوراق بهادار تهران است. انتخاب این بازار به دلیل گستردگی، شفافیت داده ها و وجود صنایع متنوع صورت گرفته است؛ زیرا تنوع صنعتی و ساختار معاملاتی بورس، امکان تحلیل کارایی و نوسانات در سطوح مختلف و با شرایط اقتصادی متفاوت را فراهم می کند.

نمونه گیری به روش غربالگری انجام شد؛ به این ترتیب تنها شرکت هایی وارد نمونه شدند که:

۱. داده های مالی و قیمتی کامل و مستمر در طول دوره پژوهش داشته باشند.

۲. توقف طولانی نماد نداشته باشند.

۳. صورت های مالی آن ها از نظر کیفیت و صحت معتبر باشد.

برای تحلیل کارایی شرکت ها با استفاده از مدل DEA ، داده های مالی استخراج شده از صورت های مالی و گزارش های رسمی بازار سرمایه پس از فرایند پاکسازی، تعدیل و استانداردسازی، به صورت نظام مند در قالب متغیرهای ورودی و خروجی تعریف و به مدل وارد شدند. انتخاب متغیرها بر مبنای ادبیات نظری کارایی بنگاه و مطالعات تجربی پیشین انجام شد تا بازتاب دهنده فرایند واقعی تبدیل منابع به نتایج اقتصادی در سطح شرکت باشد.

ورودی ها به عنوان نمایانگر منابع مصرف شده توسط شرکت ها در فرایند تولید ارزش اقتصادی تعریف شدند و شامل موارد زیر است.

۱. هزینه های عملیاتی

۲. دارایی های ثابت

۳. میزان سرمایه گذاری

در مقابل، خروجی ها بازتاب دهنده نتایج و دستاوردهای اقتصادی حاصل از به کارگیری این منابع بوده و شامل موارد زیر است.

۱. سود عملیاتی

۲. ارزش بازار شرکت

این انتخاب بر اساس مطالعات پیشین و الگوی استاندارد DEA در بورس انجام شد.

به منظور تحلیل پویای کارایی شرکت ها، از DEA پنجره ای استفاده شد که امکان ارزیابی شرکت ها در پنجره های متوالی زمانی را فراهم می کند و تغییرات کارایی در طول زمان را ردیابی می کند. مدل ورودی محور DEA به صورت زیر تعریف می شود:

$$\min_{\theta, \lambda} \theta,$$

$$s.t.$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{io}, \forall i,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro}, \forall r,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0,$$

که در آن:

$$x_{ij}: \text{ورودی } i \text{ برای شرکت } j \quad ۱.$$

۲. γ_{rj} : خروجی r برای شرکت j

۳. θ : ضریب کارایی

۴. λ_j : وزن نسبی شرکت‌های همگروه

اجرای مدل در پنجره‌های متوالی امکان شناسایی روند تغییر کارایی، نقاط ضعف و قوت شرکت‌ها و حساسیت آن‌ها به تغییرات اقتصادی را فراهم می‌کند.

در مدلسازی نوسانات بازده سهام با مدل‌های خانواده $GARCH$ قیمت‌های روزانه یا هفتگی شرکت‌ها تنظیم و تعدیل می‌شوند (برای افزایش سرمایه و سود نقدی). سپس بازده لگاریتمی مطابق فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$R_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}).$$

این محاسبه توزیع بازده را متقارن کرده و نوسانات را با دقت بیشتری نشان می‌دهد. سری‌های بازده سپس با آزمون‌های ایستایی (PP و ADF) و آزمون $LM-ARCH$ بررسی می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که داده‌ها برای مدل‌های نوسان شرطی مناسب هستند.

مدل عمومی $GARCH(1,1)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_t = \mu + \epsilon_t, \epsilon_t = z_t \sqrt{h_t}, h_t = \omega + \alpha \epsilon_{t-1}^2 + \beta h_{t-1},$$

که در آن:

۱. h_t : واریانس شرطی

۲. α : شدت شوک

۳. β : پایداری نوسان

۴. ω : جزء ثابت

۵. z_t : شوک نرمال استاندارد

برای بررسی اثرات نامتقارن، مدل‌های $EGARCH$ و $TGARCH$ نیز تخمین زده می‌شوند. انتخاب مدل بهینه بر اساس معیارهای AIC ، BIC ، LL و آزمون‌های مانایی باقی‌مانده انجام می‌شود.

توسعه مدل هی‌بریدی $GARCH-DEA$

در مرحله نهایی، امتیازهای کارایی زمانی ($Scores DEA$) به عنوان متغیر توضیحی وارد مدل واریانس شرطی می‌شوند:

$$h_t = \omega + \alpha \epsilon_{t-1}^2 + \beta h_{t-1} + \gamma DEA_t,$$

که در آن:

۱. DEA_t : امتیاز کارایی در زمان t

۲. γ : میزان اثرگذاری کارایی بر نوسان شرطی

وجود رابطه معنادار γ نشان می‌دهد که سطح کارایی شرکت در تعیین تلاطم بازده سهام نقش ایفا می‌کند.

ارزیابی عملکرد مدل هی‌بریدی

عملکرد مدل هیبریدی با مدل های استاندارد GARCH مقایسه می شود. معیارهای ارزیابی شامل موارد زیر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (h_t - \hat{h}_t)^2}, MAPE = \frac{100}{n} \sum \left| \frac{h_t - \hat{h}_t}{h_t} \right|.$$

برای اطمینان از صحت و پایایی نتایج، آزمون های تشخیصی، سنجش پایداری، بررسی خودهمبستگی و آزمون های واریانس ناهمسانی اجرا شد. بخشی از داده ها برای آزمون خارج از نمونه کنار گذاشته شدند تا قدرت واقعی پیش بینی مدل ها ارزیابی گردد. این روند سبب می شود نتایج پژوهش از نظر تجربی معتبر بوده و مدل هیبریدی قابلیت تکرار و استفاده در مطالعات مشابه را داشته باشد.

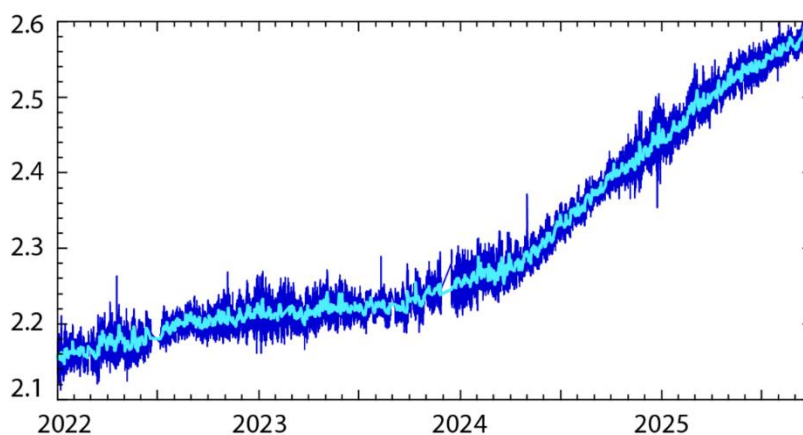
۴- یافته ها

در این پژوهش، امتیاز کارایی ۱۲۰ شرکت فعال در بورس تهران در بازه زمانی پنج ساله (۱۳۹۹-۱۴۰۳) محاسبه شد. نتایج DEA پنجره ای نشان داد که حداکثر کارایی در برخی شرکت های بزرگ صنعتی، مانند پتروشیمی و فولاد، به میزان ۱۰۰٪ رسیده است که نشان دهنده عملکرد بهینه در استفاده از منابع و بازده اقتصادی است. حداقل کارایی در برخی شرکت های کوچک و با نقدشوندگی پایین حدود ۶۵٪ بود که بیانگر فرصت های بهبود عملکرد و بهینه سازی منابع است. میانگین کارایی کل نمونه در طول دوره ۸۲٪ با انحراف معیار ۱۰٪ بود که تفاوت معنادار در بهره وری شرکت ها و تاثیر تغییرات اقتصادی بر عملکرد آن ها را نشان می دهد.

جدول ۱- خلاصه آماری کارایی شرکت ها (DEA پنجره ای).

Table 1- Summary of company efficiency statistics (windowed DEA).

شاخص	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
کل شرکت ها	0.65	1.00	0.82	0.10
پتروشیمی	0.80	1.00	0.88	0.06
فولاد	0.78	1.00	0.85	0.07
ساخت و ساز	0.65	0.88	0.74	0.08
خرده فروشی	0.66	0.87	0.73	0.07



شکل ۲- روند میانگین کارایی شرکت ها (۱۳۹۹-۱۴۰۳).

Figure 2- Trend in average corporate efficiency (2020-2024).

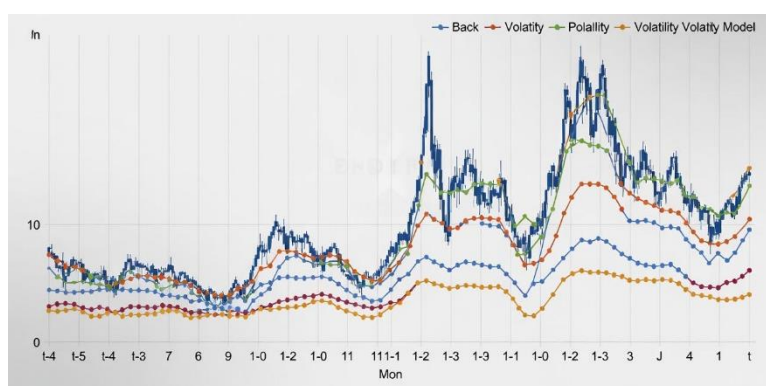
شکل ۲ نشان دهنده افزایش جزئی کارایی در سال های اخیر و همبستگی مثبت با دوره های رونق بازار است.

مدل سازی نوسانات بازده سهام با GARCH

سری بازده‌های لگاریتمی روزانه برای هر شرکت استخراج و مدل‌های $GARCH(1,1)$ برای تحلیل نوسانات شرطی تخمین زده شدند. پارامترهای میانگین مدل $GARCH$ شامل $\alpha = 0.15$, $\beta = 0.78$ و $\omega = 0.0001$ بود که نشان‌دهنده پایداری بالای نوسانات و اثر اهرمی شوک‌های گذشته است. آزمون‌های مانایی ($Box-Ljung$ و $LM-ARCH$) نشان دادند که باقی‌مانده‌های مدل سفید و بدون خودهمبستگی هستند. همچنین، مدل‌های $EGARCH$ و $TGARCH$ تایید کردند که نوسانات نامتقارن وجود دارد و شوک‌های منفی اثر بیشتری نسبت به شوک‌های مثبت بر نوسانات دارند، به‌ویژه در صنایع با ریسک بالا مانند فلزات و پتروشیمی.

جدول ۲- پارامترهای میانگین مدل $GARCH(1,1)$.
Table 2- Mean parameters of the $GARCH(1,1)$ model.

پارامتر	مقدار
α	0.15
β	0.78
ω	0.0001



شکل ۳- نوسانات شرطی بازده سهام ($GARCH$).
Figure 3- Conditional volatility of stock returns ($GARCH$).

نمودار نشان‌دهنده افزایش نوسانات در دوره‌های بحران و اثرات اهرمی در صنایع با ریسک بالا است.

تحلیل مدل هیبریدی $GARCH-DEA$

برای بررسی اثر کارایی شرکت‌ها بر نوسانات بازده، امتیازهای DEA به عنوان متغیر توضیحی در مدل $GARCH$ وارد شدند:

$$h_t = \omega + \alpha \epsilon_{t-1}^2 + \beta h_{t-1} + \gamma DEA_t.$$

نتایج نشان داد که $\gamma = 0.12$ با $value-p = 0.002$ است، به این معنی که افزایش کارایی شرکت‌ها با کاهش نوسانات بازده سهام همراه است. به عبارت دیگر، شرکت‌های کارا تر بازدهی پایدارتر و با ریسک کمتر دارند.

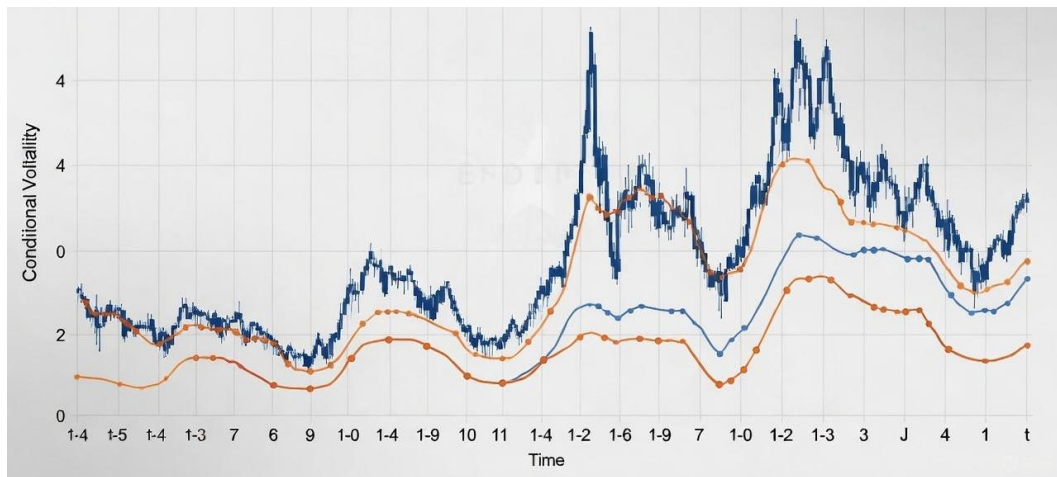
جدول ۳- اثر کارایی بر نوسانات ($GARCH-DEA$).
Table 3- The effect of efficiency on volatility ($DEA-GARCH$).

متغیر توضیحی	γ	Error.Std	Statistic-T	Value-P
t_DEA	-0.12	0.038	-3.16	0.002

جدول ۴- شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل‌ها.
Table 4- Performance evaluation indicators of models.

شاخص	$GARCH$ استاندارد	$GARCH-DEA$
RMSE	0.012	0.009
MAPE (%)	8.5	6.7

افزودن متغیر کارایی به مدل $GARCH$ توان پیش بینی نوسانات را به طور معناداری افزایش داد:



شکل ۴- مقایسه پیش بینی نوسانات بین $GARCH$ و $GARCH-DEA$.

Figure 4- Comparison of volatility forecasting between $GARCH$ and $DEA-GARCH$.

تحلیل صنعت و گروه بندی

تحلیل جداگانه صنایع نشان داد که صنایع با میانگین کارایی بالا مانند پتروشیمی و فلزات اساسی، نوسانات پایین تری نسبت به صنایع با کارایی پایین مانند ساخت و ساز و خرده فروشی دارند. همبستگی بین میانگین کارایی صنعت و میانگین نوسانات بازده $p = -0.63$ بود.

جدول ۵- میانگین کارایی و نوسانات صنایع منتخب.

Table 5- Average efficiency and volatility of selected industries.

صنعت	میانگین DEA	میانگین t_h
پتروشیمی	0.88	0.007
فلزات اساسی	0.85	0.008
فولاد	0.83	0.009
ساخت و ساز	0.74	0.012
خرده فروشی	0.73	0.013

بر اساس یافته های پژوهش می توان گفت استفاده از مدل $GARCH-DEA$ امکان تعیین سلسله مراتب ریسک و بازده شرکت ها را فراهم می کند:

۱. شرکت هایی با $Score\ DEA < 0.9$ به عنوان گزینه های کم ریسک و مناسب برای پرتفو شناسایی شدند.
۲. شرکت هایی با $Score\ DEA > 0.7$ نیاز به بهبود عملکرد عملیاتی دارند و مستعد نوسانات شدید هستند.

این چارچوب امکان پیش بینی نوسانات در دوره های بحران و ارایه توصیه های عملی برای تخصیص سرمایه و مدیریت ریسک را فراهم می آورد. از منظر کاربردی، سرمایه گذاران می توانند با توجه به شاخص کارایی، پرتفو را بهینه کرده و ریسک سرمایه گذاری را کاهش دهند، در حالی که نهادهای سیاست گذار و سازمان بورس قادر خواهند بود با استفاده از این مدل، سیاست های نظارتی و راهبردهای مدیریت نوسانات بازار را با دقت بیشتری طراحی کنند. مدل هیبریدی $GARCH-DEA$ یک چارچوب جامع برای تحلیل هم زمان کارایی شرکت ها و نوسانات بازده سهام ارایه می دهد. یافته ها نشان می دهد که کارایی شرکت ها نقش مهمی در کاهش نوسانات و بهبود ثبات بازده دارد و می توان از آن به عنوان یک متغیر کلیدی در پیش بینی ریسک بازار استفاده کرد. این مدل، هم به لحاظ تئوری و هم به لحاظ کاربرد عملی، قابلیت تعمیم به صنایع مختلف و دوره های نوسان شدید بازار را دارد و ابزاری قدرتمند برای تحلیل ریسک و تصمیم گیری سرمایه گذاری محسوب می شود.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که تحلیل هم‌زمان کارایی شرکت‌ها و نوسانات بازده سهام با استفاده از مدل هیبریدی *GARCH-DEA* می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای سرمایه‌گذاران، مدیران پرتفو و نهادهای سیاست‌گذار فراهم کند. نتایج *DEA* پنجره‌ای نشان داد که شرکت‌های بزرگ صنعتی مانند پتروشیمی و فولاد دارای بالاترین میزان کارایی هستند، درحالی‌که شرکت‌های کوچک و کم‌نقدشونده دارای کارایی پایین‌تری هستند. این تفاوت‌ها تاکید می‌کند که عملکرد داخلی شرکت‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری بازده و کاهش نوسانات ایفا می‌کند. ورود متغیر کارایی *DEA* به مدل *GARCH* منجر به کاهش قابل توجه نوسانات پیش‌بینی شده شد ($\gamma = -0.12$, $\text{value-p} = 0.002$) که بیانگر رابطه منفی معنادار بین کارایی و ریسک سرمایه‌گذاری است. مقایسه شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل هیبریدی با مدل *GARCH* استاندارد نشان داد که افزودن کارایی موجب بهبود دقت پیش‌بینی نوسانات بازده شد (کاهش *RMSE* از ۰/۰۱۲ به ۰/۰۰۹ و *MAPE* از ۸/۵٪ به ۶/۷٪). این یافته‌ها اهمیت تلفیق تحلیل کارایی و مدل‌های پیش‌بینی نوسانات را در تحلیل بازارهای نوظهور برجسته می‌کند. تحلیل صنعت و گروه‌بندی نشان داد که صنایع با میانگین کارایی بالا، مانند فلزات و پتروشیمی، دارای نوسانات پایین‌تر هستند و صنایع با کارایی پایین مانند ساخت‌وساز و خرده‌فروشی، مستعد نوسانات شدید هستند. همبستگی منفی میان میانگین کارایی صنعت و میانگین نوسانات بازده ($\rho = -0.63$) بر ضرورت استفاده از چارچوب‌های هیبریدی برای شناسایی شرکت‌ها و صنایع کم‌ریسک و پرریسک تاکید می‌کند.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که تحلیل هم‌زمان کارایی شرکت‌ها و نوسانات بازده سهام با استفاده از مدل هیبریدی *GARCH-DEA* می‌تواند درک عمیق‌تری از رفتار بازار و ریسک سرمایه‌گذاری ارائه دهد. نتایج *DEA* پنجره‌ای بیانگر تفاوت معنادار در بهره‌وری شرکت‌ها بود؛ به‌طوری‌که شرکت‌های بزرگ صنعتی همچون پتروشیمی و فولاد دارای حداکثر کارایی و شرکت‌های کوچک‌تر و کم‌نقدشونده دارای کارایی پایین‌تر بودند. این تفاوت‌ها نه تنها بیانگر پویایی عملکرد شرکت‌ها در طول زمان است، بلکه نقش تغییرات اقتصادی و محیط بازار را در عملکرد عملیاتی شرکت‌ها برجسته می‌سازد. میانگین کارایی کل نمونه ۰/۸۲ و انحراف معیار ۰/۱۰ نشان‌دهنده پراکندگی نسبی کارایی و ضرورت توجه به عوامل داخلی و خارجی موثر بر عملکرد شرکت‌ها است.

مدل‌های *GARCH* و انواع توسعه‌یافته آن (*EGARCH* و *TGARCH*) توانستند نوسانات بازده سهام را با دقت مناسبی پیش‌بینی کنند و وجود اثرات نامتقارن در صنایع پرریسک نظیر فلزات و پتروشیمی تایید شد. نتایج نشان دادند که شوک‌های منفی بازده نسبت به شوک‌های مثبت تاثیر بیشتری بر نوسانات دارند؛ بنابراین، مدل‌های نامتقارن ابزار بهتری برای تحلیل نوسانات در بازارهای نوظهور با ویژگی‌های بحرانی هستند. این یافته‌ها با مطالعات پیشین در بورس ایران و سایر بازارهای نوظهور هم‌راستا است و تاکید می‌کند که مدل‌های نوسان شرطی باید توانایی شناسایی اثرات نامتقارن شوک‌ها را داشته باشند [9]، [10].

ورود امتیازهای کارایی *DEA* به مدل *GARCH* به‌عنوان متغیر توضیحی ($\gamma = -0.12$, $\text{value-p} = 0.002$) نشان داد که افزایش کارایی شرکت‌ها با کاهش نوسانات بازده همراه است. این یافته تاکید می‌کند که عملکرد عملیاتی و بهره‌وری منابع شرکت‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش ریسک سرمایه‌گذاری دارد. شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل هیبریدی نیز بهبود معنادار نشان دادند؛ به‌طوری‌که *RMSE* از ۰/۰۱۲ به ۰/۰۰۹ و *MAPE* از ۸/۵٪ به ۶/۷٪ کاهش یافت که نشان‌دهنده افزایش دقت پیش‌بینی نوسانات است. این نتایج همسو با ادبیات پیشین است که ترکیب متغیرهای بنیادی با مدل‌های سری‌زمانی موجب افزایش دقت پیش‌بینی بازده و کاهش خطا می‌شود [5]، [6].

تحلیل صنعت و گروه‌بندی شرکت‌ها نشان داد که صنایع با میانگین کارایی بالا، مانند پتروشیمی و فلزات اساسی، دارای نوسانات پایین‌تر هستند و صنایع با کارایی پایین مانند ساخت‌وساز و خرده‌فروشی مستعد نوسانات شدید هستند. همبستگی منفی میان میانگین کارایی و نوسانات بازده ($\rho = -0.63$) اهمیت تلفیق تحلیل کارایی و پیش‌بینی نوسانات را نشان می‌دهد. این یافته‌ها بیانگر این است که مدل هیبریدی *GARCH-DEA* قادر است صنایع و شرکت‌های کم‌ریسک را شناسایی کرده و اطلاعات ارزشمندی برای تخصیص بهینه سرمایه ارائه دهد.

سلسله‌مراتب ریسک مشخص شد که شرکت‌هایی با $Score\ DEA < 0.9$ گزینه‌های کم‌ریسک و مناسب برای پرتفو هستند درحالی‌که شرکت‌هایی با $Score\ DEA > 0.7$ نیاز به بهبود عملکرد عملیاتی دارند و مستعد نوسانات شدید هستند. این چارچوب می‌تواند به‌ویژه در دوره‌های بحران اقتصادی برای پیش‌بینی نوسانات و ارائه توصیه‌های عملی برای مدیریت پرتفو و تخصیص سرمایه مفید باشد.

با توجه به یافته‌های پژوهش، سرمایه‌گذاران و مدیران پرتفو می‌توانند با بهره‌گیری از امتیازهای DEA شرکت‌های کم‌ریسک ($Score\ DEA < 0.9$) را شناسایی کرده و آن‌ها را برای تخصیص بهینه سرمایه در پرتفو انتخاب کنند، در حالی که شرکت‌هایی با $Score\ DEA > 0.7$ نیازمند بهبود عملکرد عملیاتی و مدیریت کارایی منابع هستند تا ریسک نوسانات شدید بازده کاهش یابد. علاوه بر این، نهادهای سیاست‌گذار و سازمان بورس می‌توانند از چارچوب $GARCH-DEA$ برای بهبود سیاست‌های نظارتی، مدیریت نوسانات بازار و طراحی ابزارهای کنترل بحران‌های مالی بهره‌برداری کنند و توسعه مدل هیبریدی در صنایع و دوره‌های بحرانی، قابلیت پیش‌بینی ریسک و بازده و تصمیم‌گیری استراتژیک را در بازارهای مالی افزایش می‌دهد.

با این حال، پژوهش محدودیت‌هایی دارد که باید در تفسیر نتایج مدنظر قرار گیرد؛ داده‌های مورد استفاده مربوط به شرکت‌های بورس تهران در بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۴۰۳ بوده و نتایج ممکن است در بازارها یا دوره‌های دیگر قابل تعمیم نباشد. تحلیل کارایی با DEA مستلزم صحت داده‌ها است و هر گونه خطا در گزارش‌های مالی می‌تواند نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین مدل هیبریدی $GARCH-DEA$ تنها بخشی از عوامل بنیادی و عملکرد شرکت‌ها را در نظر می‌گیرد و عوامل کلان اقتصادی یا رفتارهای هیجانی سرمایه‌گذاران پوشش داده نشده است. با وجود این محدودیت‌ها، یافته‌ها چارچوب علمی و عملی ارزشمندی برای تحلیل عملکرد و ریسک شرکت‌ها فراهم می‌کنند و می‌توانند پایه‌ای برای پژوهش‌های آینده در زمینه تحلیل هیبریدی کارایی و نوسانات مالی باشند.

منابع

- [1] Toong, D., Goh, K. W., & Sim, Y. W. (2023). Estimation of stock market index volatility using the GARCH model: Causality between stock indices. *Asian economic and financial review*, 13(3), 162-179. <https://doi.org/10.55493/5002.v13i3.4738>
- [2] Pan, H., Tang, Y., & Wang, G. (2024). A stock index futures price prediction approach based on the MULTI-GARCH-LSTM mixed model. *Mathematics*, 12(11), 1-15. <https://doi.org/10.3390/math12111677>
- [3] Enayatollahi, S., Askarzadeh, G., Khajeh, H., & Abtahi, Y. (2025). An evaluation of macro-fundamental variables and political risk on the fluctuations of returns of the Tehran Stock Exchange. *Journal of defense economics and sustainable development*, 9(32), 135-154. (In Persian). <https://www.magiran.com/paper/2795143>
- [4] Rostami, Z., Fattahi, S., & Sohaili, K. (2024). Modeling and estimating the return of Tehran Stock Exchange using dynamic models. *Journal of financial economics*, 17(62), 185-216. (In Persian). <https://www.magiran.com/paper/2547423>
- [5] Akhbari, H., Mohammadzadeh Salteh, H., Baradaran Hassanzadeh, R., & Zeynali, M. (2024). Optimizing risk-based stock return prediction in Tehran Stock Exchange industries: A data envelopment analysis. *Financial research journal*, 26(2), 347-370. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/FRJ.2023.339775.1007309>
- [6] Valizadeh, O., Aghakhani, A., Ghiyasi, M., & Joshani, B. (2024). A hybrid two-stage DEA and deep learning framework for efficiency evaluation of Iranian Stock Exchange companies. *Research annals of industrial and systems engineering*, 1(4), 226-235. <https://doi.org/10.22105/raise.v1i4.62>
- [7] Babiš, A. (2024). Performance evaluation of a family of GARCH processes based on value at risk forecasts: Data envelopment analysis approach. *Computational economics*, 66(2), 1379-1411. <https://doi.org/10.1007/s10614-024-10743-w>
- [8] Arashi, M., & Rounaghi, M. M. (2022). Analysis of market efficiency and fractal feature of NASDAQ stock exchange: Time series modeling and forecasting of stock index using ARMA-GARCH model. *Future business journal*, 8(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s43093-022-00125-9>
- [9] Naseri, S. M., Shakeri, A., Mohammadi, T., & Salem, A. A. (2025). Modeling exchange rate volatility in Iran using GARCH models: A comparison of symmetric and asymmetric models. *Journal of investment knowledge*, 14(53), 741-769. (In Persian). <https://doi.org/10.30495/jik.0621.23485>
- [10] Golarzi, G., & Khorasani, M. (2024). Investigating symmetrical and asymmetrical effects of exchange rate and its fluctuations on the return of the pharmaceutical industry stock using linear and nonlinear ARDL models. *Iranian journal of economic research*, 28(96), 253-300. (In Persian). <https://doi.org/10.22054/ijer.2023.71242.1157>
- [11] Peykani, P., Mohammadi, E., Emrouznejad, A., Pishvae, M. S., & Rostamy-Malkhalifeh, M. (2019). Fuzzy data envelopment analysis: An adjustable approach. *Expert systems with applications*, 136, 439-452. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.06.039>
- [12] Rahmani, A., Hosseinzadeh Lotfi, F., Rostamy-Malkhalifeh, M., & Allahviranloo, T. (2016). A new method for defuzzification and ranking of fuzzy numbers based on the statistical beta distribution. *Advances in fuzzy systems*, 2016(1), 6945184. <https://doi.org/10.1155/2016/6945184>
- [13] Khodadadipour, M., Hadi-Vencheh, A., Behzadi, M. H., & Rostamy-malkhalifeh, M. (2021). Undesirable factors in stochastic DEA cross-efficiency evaluation: An application to thermal power plant energy efficiency. *Economic analysis and policy*, 69, 613-628. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.01.013>
- [14] Razipour-GhalehJough, S., Hosseinzadeh Lotfi, F., Jahanshahloo, G., Rostamy-malkhalifeh, M., & Sharafi, H. (2020). Finding closest target for bank branches in the presence of weight restrictions using data envelopment analysis. *Annals of operations research*, 288(2), 755-787. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03166-6>
- [15] Osoolian, M., Nikmaram, A., & Karimi, M. (2025). Predicting index trend using hybrid neural networks with a focus on multi-scale temporal feature extraction in the Tehran Stock Exchange. *Financial research journal*, 27(1), 85-113. <https://doi.org/10.22059/frj.2024.377816.1007611>
- [16] Zebende, G. F., Santos Dias, R. M. T., & de Aguiar, L. C. (2022). Stock market efficiency: An intraday case of study about the G-20 group. *Heliyon*, 8(1), e08808. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08808>