Journal of Financial Management Knowledge

journal homepage:www.jfmk.ir

# Assessing the Efficiency of Cryptocurrency Market

Arman Malek [a], Kamran Pakizeh [b]

[a]. *Faculty of Financial Sciences, Kharazmi university, Tehran, Iran*
[b]. *Faculty of Financial Sciences, Kharazmi university, Tehran, Iran*

A R T I C L E I N F O

*Keywords:*
***Cryptocurrency Market, Adaptive market hypothesis, Efficiency market hypothesis.***

Received:
April 11, 2024
Accepted:
September 29, 2024

A B S T R A C T

The weak form of informational efficiency in the cryptocurrency markets focused on Bitcoin, Litecoin, Ethereum and Ripple is examined by comprehensive tests that are applied in both static and dynamic methods. Our main goal is to determine whether the efficiency of cryptocurrency market varies over time, and to give an evaluation of the adaptive market hypothesis (AMH) and to compare the efficiency among cryptocurrencies. Our results show that the weak form of efficiency for Bitcoin, Ethereum, and Litecoin validated by ADF and VR tests while Ripple is inefficient based on ADF, it is efficient due to VR result. Based on the outcomes of the adjusted market inefficiency test, it is concluded that efficiency does not follow a consistent trend; instead, it fluctuates over time which are consistent with Adaptive Market Hypothesis and the concept of adaptive efficiency . Based on the number of days, crypto markets show efficient behavior, the Bitcoin is the most efficient, followed by Ethereum, while Ripple is the least efficient.

Citation: Malek, A., & Pakizeh, K. (2025). Assessing the efficiency of cryptocurrency market. *Journal of Financial Management Knowledge, 1*(2), 43-58.

## Extended Abstract

### Introduction

Efficient Market Hypothesis (EMH) is a fundamental concept in finance and is widely used to analyze price dynamics in financial markets as many theories, including Markowitz's portfolio theory and the Capital Asset Pricing Model, have been directly or indirectly derived from it. Market efficiency encompasses various dimensions, which can be divided into three main types including informational efficiency, allocational efficiency, and transactional efficiency. A market demonstrates informational efficiency when asset prices consistently reflect all available information. Market efficiency is often classified into three forms: weak, semi-strong, and strong. Classification depends on the type of information influencing prices.

Through studying past research, it becomes apparent that they viewed market efficiency as a static phenomenon with binary states, focusing on whether market is efficient or not. However, recent studies, by expanding the scope of research, have yielded new findings. One such development is the Adaptive Markets Hypothesis (AMH), which was introduced as a replacement for the static view of market efficiency, suggesting that efficiency evolves. This hypothesis examines concept of market efficiency over time rather than in binary conditions, proposing that market efficiency may vary across different periods and markets and change over time.

In recent studies, there has been a growing focus on examining the efficiency of cryptocurrency markets. The cryptocurrency market grew quickly in both size and number of cryptocurrencies, attracting significant attention and interest from speculators and investors thanks to its fast price increases, accordingly, several studies have examined market (in)efficiency.

This study significantly enhances and complements prior research in multiple ways. Firstly, it brings a fresh perspective to the emerging field of cryptocurrency analysis. Secondly, unlike most previous papers that focused solely on Bitcoin, this study expands its scope to include four of the most consequential cryptocurrencies based on market capitalization and historical data availability. Thirdly, rather than confining our efficiency examination to a static context, we thoroughly investigate it statically and dynamically. Our main goal is to determine whether the efficiency of cryptocurrency markets varies over time aiding in the evaluation of the of the adaptive market hypothesis (AMH) and allow us to compare the efficiency of specific cryptocurrencies.

### Methodology

The weak form of informational efficiency in cryptocurrency markets, focusing on bitcoin, litecoin, Ethereum and ripple, was examined using three tests with both static and dynamic methods. Firstly we examine predictability in a static state via the augmented Dickey-Fuller unit root test and Variance ratio test In the next section, we examine efficiency in a time-varying frame work to assess changes in predictability over time by using Adjusted Market Inefficiency Magnitude (AMIM) method recently published.

For our empirical analysis, we use data from four cryptocurrencies: Bitcoin, Ethereum, Ripple and Litecoin.The data consists of the closing daily price from November 2016 to November 2022 extracted from cryptodatadownload and coinmarketcap. All currencies are expressed in terms of tether which is approximately equal to the US dollar . This research concentrate on mentioned cryptocurrencies which are usually used in the existing literature for reasons like: largest cryptocurrencies by market capitalization and highest trading volumes compared to other cryptocurrencies, their longstanding dominance in the market has been maintained over recent years.

### Results and discussion

Based on the Findings of the ADF test during the analysis period, on the logarithmic price data of four variables - Bitcoin, Ethereum and Litecoin-do not show any significant evidence to reject the presence of a unit root in the model. This implies that there are random processes in these variables. However, when examining the logarithmic price data for Ripple, there is no random process in the Ripple variable.

In the following, the variance ratio test is calculated for various values of K (daily lags)

and ultimately for the absolute value of Max z. All probability values reported above 5 %, imply that the null hypothesis is not dismissed at the 95% confidence level, which means the future price of an asset cannot be predicted by market participants based on historical data.

Summary of the results from ADF and VR tests. Based on this criterion, we can say that the Bitcoin, Ethereum and Litecoin data in this study are efficient because of ADF and VR test results.

Based on AMIM method where the market is (in)efficient ,amim values are (positive) negative. our result confirm that The market's efficiency level fluctuates over time, This aligns with existing research indicating that market efficiency changes over time. In order to conduct a more detailed analysis of efficiency in a time-varying framework and to enhance the reliability of our findings, we use various overlapping windows 90-180-270 day rolling windows.

## Conclusion

this paper aims to investigate the weak level of informational efficiency observed in cryptocurrencies. To accomplish this, we have selected four of the most prominent cryptocurrencies based on market capitalization, being launched in the biggest exchange and having historical data, and employed 3 tests to evaluate the weak Efficient Market Hypothesis. Augmented Dickey-Fuller unit root test (ADF), Variance Ratio (VR) and Adjusted Market Inefficiency Magnitude (AMIM).

Based on an analysis conducted using the generalized Dickey-Fuller tests and Variance Ratio tests, we have determined the efficiency of Bitcoin, Ethereum, and Litecoin data within the specified time frame. However, when it comes to Ripple data, the results indicate inefficiency. The variations in the result can be attributed to the use of different comparison methodss and the presence of factors like disparities in market value among the selected samples, specific governing conditions, and events that took place during the study period for each cryptocurrency. In the second part, we assess the predictability of time-varying returns by conducting a dynamic analysis and our results confirm that The market's efficiency level fluctuates over time, aligning with existing research that indicates market efficiency changes over time.

## Funding

There is no funding support.

## Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved thecontent of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

## Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

## Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

نشریه دانش مدیریت مالی

journal homepage:www.jfmk.ir

# بررسی کارایی بازار رمز ارزها

**آرمان مالک** – دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده علوم مالی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
**کامران پاکیزه** [۱]– دانشیار گروه مدیریت مالی و مهندسی مالی، دانشکده علوم مالی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

**اطلاعات مقاله**

**واژگان کلیدی:**
***بازار رمزارزها،***
***کارایی تطبیقی بازار،***
***نظریه کارایی بازار.***

**تاریخ دریافت:**
**۱۴۰۳/۰۱/ ۲۳**
**تاریخ پذیرش:**
**۱۴۰۳/۰۷/ ۰۸**

**چکیده**

طبق فرضیه بازار کارا قیمت‌های فعلی سهام، انعکاس‌دهنده تمام اطلاعات موجود و در دسترس بازار است که معادل با همان ارزش منصفانه انهاست. فرضیه بازار تطبیقی این موضوع که کارایی بازار در طول زمان بین کارایی و ناکارایی متغیر است را مطرح می‌کند. در این مقاله سعی بر این است که کارایی رمزارزهای بیت‌کوین، اتریوم، لایت‌کوین و ریپل در بازه زمانی نوامبر ۲۰۱۶ الی نوامبر ۲۰۲۲ در شکل ضعیف با استفاده از رویکردی جامع شامل آزمون‌های دیکی فولر تعمیم‌یافته، نسبت واریانس و در طول زمان با آزمون میزان ناکارایی تعدیل‌شدهٔ بازار مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد. نتایج نشان می دهد که کارایی در شکل ضعیف برای داده‌های بیت‌کوین و اتریوم و لایت‌کوین در بازه موردمطالعه توسط دو آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته و نسبت واریانس تأیید و داده‌های ریپل در آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته دال بر ناکارایی و در آزمون نسبت واریانس کارایی را نشان داده است. بر اساس آزمون میزان ناکارایی تعدیل‌شدهٔ بازار مشخص شد که کارایی روند ثابتی نداشته؛ بلکه در طول زمان دچار تغییر می شود و مفهوم کارایی تطبیقی در بازه موردمطالعه برای تمامی نمونه‌ها تأیید گردید ، از طرفی با توجه به نتایج تعداد روزهای ناکارایی در بین رمزارزهای مورد مطالعه بیت کوین کاراترین رمزارز و ریپل ناکاراترین رمز ارز در بازه زمانی مورد مطالعه تشخیص داده می‌شود.

**استناد:** مالک، آرمان و پاکیزه، کامران (۱۴۰۳). بررسی کارایی بازار رمز ارزها. *نشریه دانش مدیریت مالی*. ۱ (۲)، ۴۳–۵۸.

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان «بررسی جامع کارایی در بازار رمزارزها» می‌باشد که توسط آرمان مالک نگارش شده و تحت راهنمایی دکتر کامران پاکیزه (استاد راهنما) و دکتر مجید میرزایی قزانی (استاد مشاور) تدوین گردیده است.

۱. نویسنده مسئول
Email: k.pakizeh@khu.ac.ir

**۱- مقدمه**

با گسترش بازارهای مالی در سراسر جهان، موضوع کارایی بازارها در کانون توجه محققین بازارهای مالی قرار گرفته است و منجر به این شده است که کارایی اطلاعاتی به‌عنوان مهم‌ترین رکن کارایی بازار موردتوجه محققین قرار گیرد. به‌طورکلی کارایی در بازارهای مالی بدین معناست که قیمت اوراق بهادار تمام اطلاعات موجود را به طور کامل نشان دهد بر اساس فرضیه بازار کارا، قیمت بازاری یک سرمایه به طور کامل اطلاعات در دسترس را منعکس می‌کند؛ لذا تغییرات قیمت بازاری آن سرمایه خاص، تنها به اخبار و اطلاعات جدید بستگی دارد. در این شرایط می‌توان گفت قیمت بازار از یک رویکرد گام تصادفی[۱] پیروی می‌کند؛ لذا غیرقابل‌پیش‌بینی است (Fama, 1970). به‌عنوان یک نتیجه، یک سرمایه‌گذار جدید و بی‌اطلاع از تغییرات بازار که یک پرتفوی متنوع شده خریداری کرده است همان سودی را کسب می‌کند که یک سرمایه‌گذار باتجربه به دست می‌آورد (Malkiel, 2003). به‌عبارت‌دیگر هیچ‌کس نمی‌تواند بر بازار غلبه پیدا کند و به‌دست‌آوردن سود بیشتر از بازار یا سودهای غیرعادی کاملاً از روی شانس و اتفاقی خواهد بود. باتوجه‌به اطلاعاتی که انتظار می‌رود در قیمت‌های منعکس شده باشند سه سطح از کارایی تعریف می‌شود. این سه سطح شامل کارایی ضعیف[۲]، کارایی نیمه قوی[۳] و کارایی قوی[۴] است. در سطح کارایی ضعیف، فرض می‌شود همهٔ اطلاعات و اخبار گذشته اثر خود را بر قیمت‌ها گذاشته‌اند بنابراین نمی‌توان با استفاده از اطلاعات موجود در قیمت‌های گذشته و بررسی داده‌های و روند گذشته قیمت، به پیش‌بینی آینده پرداخت به‌نحوی‌که این پیش‌بینی باعث ایجاد بازده مازاد شود؛ زیرا هرگونه قابلیت پیش‌بینی از طریق بررسی قیمت‌های گذشته به‌سرعت در قیمت‌ها منعکس می‌شود و نفعی نخواهد داشت. در سطح کارایی نیمه قوی، قیمت‌های گذشته منعکس‌کننده همه اطلاعات عام و منتشرشده هستند. در این سطح، اطلاعات محدود به قیمت‌های گذشته نیست؛ بلکه در برگیرنده همه اطلاعات و اخبار اقتصادی است که بر قیمت تأثیرگذار هستند، در اصطلاح به این نوع اطلاعات، "اطلاعات بنیادی" گفته می‌شود. در سطح کارایی قوی، تمام اطلاعات از جمله اطلاعات محرمانه و اطلاعات در دسترس عموم در قیمت انعکاس دارد (Fama, 1970). روش‌های متفاوتی برای بررسی و آزمون کارایی مطرح شده است و با گذشت زمان و افزایش مطالعاتی که به بررسی کارایی بازار پرداختند انتقاداتی به الگوهای آزمون کارایی بازار مطرح شد و به بیان ایرادات وارده به آزمون‌های مذکور، پرداختند. در ادامه، برخی از عمده‌ترین انتقادات واردشده در خصوص مباحث اولیهٔ کارایی بازار بیان می‌شود:

در بخشی از مالی رفتاری محققان این اصل از فرضیه کارایی را (EMH[۵]) که معامله‌گران تصمیمات عقلایی می‌گیرند با بیان نظریه‌هایی مثل نظریه چشم‌انداز[۶] (Kahneman & Tversky, 1979)، نظریه حسرت[۷] (Lommes & Sugden, 1982) و موضوع بیش واکنشی و کم واکنشی[۸] به اخبار یا تورش‌های رفتاری[۹] (Simon, 1955) این موضوع را که سرمایه‌گذاران در تصمیم‌گیری به‌صورت بهینه نسبی یا به‌عبارت‌دیگر منطقی و نه لزوماً عقلانی عمل می‌کنند را به چالش می‌کشند. گروسمن و استیگلیتز[۱۰] (۱۹۸۰) به بررسی یکی از فروض کارایی قوی[۱۱] بازار مبنی بر صفر بودن هزینهٔ به‌دست‌آوردن اطلاعات و هزینه‌های معاملات پرداختند و نشان دادند که به دلیل مثبت‌بودن منافع کسب اطلاعات و

[1]Random Walk
[2] Weak form
[3] Semi strong
[4]Strong form
[5] Efficient Market Hypothesis
[6] Prospect Theory
[7] Regret Theory
[8] Over reaction Under reaction
[9] Behavioral Biases
[10] Grossman, Sanford J., and Joseph E. Stiglitz
[11]Strong form

هزینه‌های معاملات، مدل شدید فرضیه کارایی بازار قطعاً مصداق واقعی ندارد؛ لذا در دنیای واقعی، اطلاعاتی که منافع حاصل از اعمال آن اطلاعات در تصمیمات سرمایه‌گذاری بیشتر از هزینه‌های ان باشد در قیمت‌ها منعکس می‌شوند.
باتوجه‌به انتقادات و مطالعات انجام‌شده در بررسی آزمون‌های اولیه کارایی بازار، فاما[1] (۱۹۹۱) با بسط‌دادن عناوین آزمون‌ها اصلاحاتی در تقسیم‌بندی اولیه خود از آزمون‌ها انجام داد که اصلاحات وی شامل جایگزینی آزمون‌های "قابلیت پیش‌بینی" با آزمون‌های ضعیف، "مطالعهٔ وقایع" را جایگزین آزمون‌های نیمه قوی و "آزمون اطلاعات خصوصی" را جایگزین آزمون‌های قوی کارایی بازار نمود. انتقادات مطرح‌شدهٔ دیگر در خصوص کارایی بازار، بر موارد نقض سیستماتیک آن و ناهنجاری‌های بازار[2] اشاره داشتند که بر تغییرات فصلی (چرخه‌ای) و قابل‌پیش‌بینی بودن بازده سهام (مغایر کارایی بازار) دلالت داشتند. این ناهنجاری‌ها عمدتاً شامل اثر ژانویه[3]، اثر آخر هفته (قبل از روز تعطیل)، آخر ماه، روز دوشنبه، اثر بنگاه‌های کوچک، معمای خط ارزش[4]و موارد دیگر هستند. دلایل مختلفی برای بروز هرکدام از ناهنجاری‌های فوق بیان شده و در مواردی نیز، پیشنهاداتی برای خنثی‌کردن اثر آنها مطرح شده است البته چاردیا[5] (۲۰۱۴) کاهش بازدهی استراتژی های مبنی بر بی قاعدگی بازار را مطرح کرد که نشان از بهبود سطح کارایی بازار با عمومی شدن این بی قاعدگی ها دارد.
در مجموع پیشرفت‌های حاصل‌شده در خصوص آزمون‌های کارایی بازار، ازیک‌طرف سبب کاهش و تغییر فروض اولیه این آزمون‌ها (مانند حذف ثبات بازده) شده که منجر به ملموس‌تر و درک‌پذیرتر شدن و از طرف دیگر باعث توسعهٔ مدل‌های قیمت‌گذاری تعادلی دارایی شده است؛ لذا رویکردهای جایگزین برای بررسی کارایی مطرح شد.
با مطالعه پژوهش‌های گذشته متوجه می‌شویم که آنها کارایی بازار را پدیده‌ای ایستا که حالت صفر و یک دارد می‌دانستند و به بررسی این موضوع می‌پرداختند که یک بازار کارا است یا نیست. مطالعات جدید با گسترش دامنه مطالعات و بررسی تحولات بازار و اثر آن بر کارایی به نتایج جدیدی دست یافتند. فرضیهٔ بازارهای تطبیقی (AMH)[6]یکی از این دستاوردها بود. لو (۲۰۰۴)[7] فرضیه بازارهای تطبیقی را مطرح کرد و موضوع کارایی بازار را در طول زمان و نه در شرایط صفر و یکی بررسی کرد و این موضوع که ممکن است بازار در برخی دوره‌ها کارا و در برخی دیگر ناکارا باشد و در طول زمان و در بین بازارها دچار تغییر شود را مطرح کرد. درواقع از سوی دیگر بحث تصمیمات عقلایی و رفتار غیربهینه یا تورش‌های رفتاری را در یک قالب جدید که فرایندی تکاملی است تحلیل کرد. از جمله فروض حاکم بر این فرضیه می‌توان مواردی ازجمله این‌که سرمایه‌گذاران بر مبنای علایق تصمیم‌گیری می‌کنند و در برخی مواقع دچار اشتباه شده، سپس یاد گرفته و تطابق می‌دهند. براین‌اساس تصمیمات جدید از نتایج و پیامدهای تصمیمات قبلی است که با مرور زمان بهینه می‌شود.
لو (۲۰۰۵) با استفاده از یک آزمون خودهمبستگی غلتان، پیش‌بینی‌پذیری را روی S&P بررسی کرد و این مهم که حرکت به سمت تعادل یا کارایی کامل تضمینی داشته باشد را نادرست دانست بدین ترتیب درجه کارایی را به عواملی از جمله بازیگران حاضر در بازار و شرایط حاکم در هر لحظه از زمان وابسته دانست. هدف کلی این پژوهش بررسی کارایی سطح ضعیف بازار رمزارزها (بیت‌کوین، اتریوم،ریپل،لایت‌کوین) در دو حالت استاتیک و پویا (داینامیک) است که در هر بخش از آزمون های متفاوتی جهت مطالعه و بررسی جامع کارایی استفاده می شود. لذا کاربرد این پژوهش از سه جنبه زیر بسیار حائز اهمیت است:

۱. از لحاظ نظری: این مطالعه به بررسی کارایی در حالت استاتیک و درحالت داینامیک و متغیر در زمان پرداخته است درحالی‌که مطالعات گذشته به مسئله متغیربودن کارایی طی زمان زیاد توجه نداشتند.

---

[1] Fama
[2] Market Anomalies
[3] The January Effect
[4] Value line enigma
[5] Tarun Chordia Et al.
[6] Adaptive Market Hypothesis
[7] Andrew W. Lo

۲. از لحاظ سرمایه‌گذاری: سرمایه‌گذاران می‌توانند از این مطالعه به‌منظور دستیابی به اطلاعات بیشتر مبنی برمتغیر بودن کارایی طی زمان و متفاوت بودن کارایی رمزارزهای موردمطالعه بهره ببرند.
۳. از چشم‌انداز مؤسسات مالی: این مؤسسات می‌توانند این مطالعه را جدی بگیرند و با تشخیص روند متغیر کارایی بازار رمزارزها به این بازار ورود کنند و در دوره های خاص که کارایی ضعیف تر است با استفاده از استراتژی های روندی و معاملاتی خود بازدهی بالاتر از بازار به دست آورند.

فرضیه‌هایی در این راستا مطرح میشود این است که :

- بازار رمزارزها در سطح ضعیف کارایی دارد.
- کارایی بازار رمزارزها در طول زمان دچار تغییر و نوسان است و نتایج ما فرضیه بازار تطبیقی را تأیید می‌کند.
- کارایی بازار رمزارزها در طول زمان دچار تغییر و نوسان است و نمی‌توان بیان کرد که کارایی همواره در حال بهبود است؛ ولی در حالت کلی کارایی در بازار رمزارزها با افزایش حجم معاملات روند روبه‌رشدی دارد.

نوآوری پژوهش حاضر این است که این مطالعه برای اولین بار در این تحقیق به بررسی کارایی از هر دو منظر حالت استاتیک و حالت داینامیک با استفاده از روش جدید اندازه‌گیری و محاسبهٔ میزان ناکارایی تعدیل‌شدهٔ بازار[1] (AMIM) جهت بررسی تغییرکارایی در بازار رمزارزها پرداخته است که از حیث موضوعی در داخل کشور دارای نوآوری است.

## ۲- پیشنه پژوهش

### ۲-۱- پیشینه نظری

در دهه‌های اخیر، تحقیقات تجربی زیادی دررابطه با اعتبار فرضیه گام تصادفی یا فرضیه بازار کارا با شکل ضعیف باتوجه‌به بازارهای سهام در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه انجام شده است. تحقیقات تجربی در مورد آزمایش فرضیه گام تصادفی نتایج متفاوتی را تولید کرده است. مقاله رابرتز (Roberts, 1959) یکی از اولین مقالات در مورد کارایی بازار ضعیف است. او متوجه شد که تغییرات هفتگی شاخص داوجونز به‌گونه‌ای رفتار می‌کند که گویی توسط یک مدل شانسی ساده ایجاد شده‌اند. این تصویری از مدل گام تصادفی برای قیمت سهام است. ساموئلسون (Samuelson, 1965) و فاما (Fama, 1970) نشان می‌دهند که EMH فرض می‌کند که قیمت سهام با ظهور اطلاعات جدید به‌سرعت تنظیم می‌شود و بنابراین، قیمت‌های فعلی به طور کامل همه اطلاعات موجود را منعکس می‌کنند و باید از یک فرآیند تصادفی پیروی کنند که به این معنی است که تغییرات متوالی قیمت سهام (بازده) به طور مستقل و یکسان توزیع می‌شود. پس از این مطالعات، شکل ضعیف فرضیه بازار کارا (EMH) به طور قابل‌توجهی در ادبیات برای بسیاری از دارایی‌های مالی سنتی و همچنین کالاها (Kristoufek & Vosvrda, 2014) و حتی هنر (David et al., 2013) مورد بررسی قرار گرفته است، بااین‌حال بیت‌کوین تقریباً ناشناخته بوده است. مطالعات اولیه تحقیقاتی بیت‌کوین عمدتاً بر مسائل امنیتی، قانونی و فنی آن متمرکز بود (Reid & arrigan, 2013 ; Clark & Esse, 2012; Barber et al., 2012). از سال ۲۰۱۳، مطالعات با تمرکز بر جنبه‌های مالی ارز دیجیتال نیز شروع به ظهور کرده است( Kristoufek, 2013; Bornholdt & Sneppen, 2014; Kondor et al., 2014; Garcia et al., 2014). همانطور که بیت‌کوین شروع به شناخته‌شدن بیشتر برای جامعه مالی کرد، موضوعات موردعلاقه به اقتصاد سنتی و مسائل مالی نزدیکتر شده است. مطالعه اینکه آیا بازارهای بیت‌کوین را می‌توان به‌عنوان بازارهای مالی استاندارد با رابطه‌ای فرضیه بازار کارا (EMH) در نظر گرفت یکی از این سؤالات مهم بوده است.

اورکوهارت[2] (۲۰۱۶) دررابطه‌با کارایی ضعیف بازار، اولین نویسنده‌ای است که این شکل از کارایی را در بازار بیت‌کوین (از آغاز آن در سال ۲۰۱۰ تا اواسط سال ۲۰۱۶) با استفاده از پنج تست قوی تجزیه‌وتحلیل کرده است. هدف این آزمون‌ها

[1] Adjusted Market Inefficiency Magnitude
[2] Urquhart

بررسی خودهمبستگی‌ها، وابستگی سریالی و نسبت‌های واریانس در بازده روزانه بیت‌کوین است. یافته‌های این مطالعه ویژگی‌های ناکارایی بازار بیت‌کوین را در طول دوره نمونه کامل نشان می‌دهد. با این حال، بر اساس تجزیه‌وتحلیل پنجره‌های غیر همپوشانی[1]، اورکوهارت استدلال می‌کند که بازار بیت‌کوین ممکن است با بلوغ کاراتر شود. نودا (Noda, 2016) معیاری را برای تعیین کمیت کارایی بازار استخراج کردند. آنها تغییرات سطح کارایی را با تخمین خودهمبستگی در بازده ماهانه سهام از طریق یک مدل خودرگرسیون متغیر با زمان (TVAR) بررسی کردند که برای گرفتن مجموعه‌ای از ضرایب خودهمبستگی در هر مشاهده در زمان طراحی شده بود. به طور خاص، معیار نودا (Noda, 2016) باهدف گرفتن درجه زمان – متغیر از کارایی بازار (TIME) طراحی شده است. معیار TIME از ضرایب خودهمبستگی بازگشتی، درجه متغیر با زمان کارایی بازار را می‌گیرد و ازاین‌رو هدف آن اندازه‌گیری سطح ناکارایی بازار است. معیار ذکر شده برای اعمال روی داده‌های فرکانس بالا زمانی که تعداد تخمین‌ها می‌تواند تا میلیون‌ها در یک روز باشد، چالش‌برانگیز است. باریویرا و همکاران (Bariviera et al., 2017) از یک رویکرد پویا، بر اساس هورست نمایی، نشان می‌دهد که بیت‌کوین از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ ناکارا است و در بقیه دوره تا سال ۲۰۱۷ با نوفه سفید مشخص می‌شود. تیواری و همکاران (Tiwari et al., 2018) کارایی اطلاعاتی را از ۱۸ جولای ۲۰۱۰ تا ۱۶ ژوئن ۲۰۱۷ بررسی می‌کنند که یافته‌های آنها کارایی بیت‌کوین را به‌استثنای ماه‌های آوریل – آگوست در سال ۲۰۱۳ و آگوست – نوامبر در سال ۲۰۱۶ نشان می‌دهد. نتیجه ناکارایی بیت‌کوین در مطالعات بعدی که از طیف وسیعی از روش‌ها و آزمون های مختلف و مجموعه داده‌های مختلف استفاده کرده‌اند، پشتیبانی شده است، که نمونه‌هایی از آن عبارتند از: آلوارز رامیرز و همکاران (Alvarez-Ramirez et al., 2018). کاپورال و همکاران (Caporale et al., 2018) شواهدی مبنی بر ناکارایی بیت‌کوین، لایت‌کوین، ریپل و دش ارائه می‌دهند. به طور مشابه، ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2018) شواهدی مبنی بر ناکارایی ۱۲ ارز دیجیتال ارائه می‌دهند. ویدال توماس و ایبانز (Vidal-Tomás & Ibañez, 2018) اثرات رویدادهای بیت‌کوین و اخبار سیاست پولی را بر قیمت بیت‌کوین مطالعه می‌کنند و خلاصه می‌کنند که بیت‌کوین به مرور زمان کاراتر شده است و به اخبار پولی واکنشی نشان نمی‌دهد. کریستوفک (Kristoufek, 2018) تکامل کارایی دو بازار بیت‌کوین (دلار آمریکا و یوان چین) را بررسی می‌کند و بازارها را عمدتاً ناکارا می‌داند. الیحیایی و همکاران (Al-Yahyaee et al., 2018) کارایی بیت‌کوین را با طلا، سهام و نرخ ارز خارجی مقایسه کرده و متوجه شدند که بیت‌کوین کمترین کارایی را در این مجموعه دارد. زرگر و کومار (Zargar & Kumar, 2019) کارایی بازده بیت‌کوین با فرکانس بالا را با استفاده از آزمون‌های نسبت واریانس مختلف مطالعه می‌کنند که عمدتاً ناکارایی بازارها را نشان می‌دهد. بااین‌حال، بازار ارزهای دیجیتال می‌تواند در دوره‌های خاصی نیز کارا باشد (Kristoufek & Vosvrda, 2019; Kristoufek, 2018).

خطرات سیستماتیک موجود در چنین بازارهایی نیز به طور کامل در مطالعه کوربت و همکاران (Corbet et al., 2019) بررسی شده است. یکی از دلایل ریسک ها و ناکارایی ها می‌تواند این باشد که تجارت در بازارها دشوار بوده است و از این رو نقدینگی نسبت به سایر بازارها نسبتاً پایین بوده است. سهولت معامله با یک ارز دیجیتال می‌تواند به طور قابل توجهی با سهولت معامله با ارز دیگری متفاوت باشد، بنابراین نقدینگی در این نوع ارزها به طور قابل توجهی متفاوت است (Phillip et al., 2018). نقدینگی و کارایی بازار ارتباط تنگاتنگی با هم دارند و بازارهای مختلف سطوح مختلف نقدینگی را نشان می‌دهند (Brauneis & Mestel, 2018; Wei, 2018 ). در ادامه خلاصه برخی از پژوهش‌های خارجی و داخلی که اخیراً در مورد کارایی بازار و پیش‌بینی قیمت انجام‌گرفته، آورده شده است.

[1] non-overlapping window analysis

**۲-۲- مطالعات خارجی**

به عنوان اولین جریانهای فکری و پژوهشی در این حوزه می‌توان گفت یک مدل پیش بینی ورشکستگی تک متغیره با کاکیناکا و اومنو[1] (۲۰۲۲) کارایی بازار ارزهای دیجیتال اصلی را در طول همه‌گیری COVID-19 در افق‌های سرمایه‌گذاری متفاوت با استفاده از رهیافت تحلیل چندفراکتال نامتقارن بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که پس از شیوع، بازارها در کوتاه‌مدت چندفراکتالی قوی‌تری را نشان دادند، اما در بلندمدت چندفراکتالیته ضعیف‌تری را نشان دادند. به‌عبارت‌دیگر بازارها در کوتاه‌مدت ناکاراتر شدند، اما در بلندمدت ناکارایی کاهش یافته است.

مارتین، مویلا و ارگوادز[2] (۲۰۲۱) به بررسی کارایی بازار رمزارزها در مورد پنج رمزارز: بیت‌کوین، لایت‌کوین، اتریوم، ریپل، استلار و مونرو با استفاده از مجموعه‌ای از پنج تست که هم در زمینهٔ ایستا و هم در زمینهٔ پویا اعمال می‌شوند پرداخته و به این نتیجه رسیده است که کارایی باگذشت زمان افزایش پیدا کرده است؛ هرچند که این افزایش کارایی در بین رمزارزهای مختلف متفاوت است و این افزایش کارایی در مورد رمزارزهای بیت‌کوین لایت‌کوین و اتریوم مشهودتر است.

آپو و فیری[3] (۲۰۲۱) به بررسی کارایی اطلاعاتی بازار رمزارزها در سطح ضعیف برای پنج رمزارز: بیت‌کوین، اتریوم، لایت‌کوین، بیت‌کوین کش و ریپل در دو تایم فریم روزانه و هفتگی با استفاده از مجموعه‌ای از تست‌های گام تصادفی پرداخته است و به این نتیجه رسیده است که بازار رمزارزها در تایم فریم‌های هفتگی نسبت به تایم فریم روزانه کمتر کاراست.

تران و لیرویک[4] (۲۰۱۹) سطح کارایی بازار در پنج ارز دیجیتال بزرگ را با استفاده از معیار جدید اندازه‌گیری ناکارایی بازار تعدیل شده (AMIM) بررسی می‌کنند. یافته‌ها تحقیق نشان می‌دهد که سطح کارایی بازار در پنج ارز دیجیتال بزرگ بسیار متغیر است. به‌طوری‌که به طور خاص، قبل از سال ۲۰۱۷، بازارهای ارزهای دیجیتال عمدتاً ناکارا هستند. بااین‌حال، بازارهای ارزهای دیجیتال باگذشت زمان در دوره ۲۰۱۷–۲۰۱۹ کاراتر می‌شوند. به طور متوسط، لایت‌کوین کاراترین ارز دیجیتال و ریپل ناکاراترین ارز دیجیتال است.

بیرد و بالچ[5] (۲۰۱۹) در این تحقیق به بررسی این موضوع می‌پردازد که آیا با داده‌های تاریخی قیمت و حجم سهام می‌توان قیمت‌های آینده را با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی پیش‌بینی کرد و در بازهٔ موردمطالعهٔ ۲۰۰۳ –۲۰۱۷ نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۰۹ قیمت‌ها را می‌توان بادقت قابل‌قبولی پیش‌بینی کرد؛ اما بعد از ۲۰۰۹ قدرت پیش‌بینی‌کنندگی مدل‌ها به‌شدت کاهش می‌یابد.

**۲-۳- مطالعات داخلی**

در ایران نیز برخی از پژوهشگران به بررسی کارایی بازار سهام در سطح ضعیف پرداخته‌اند (تهرانی و همکاران، ۱۳۸۹؛ راسخی و خانعلی پور، ۱۳۸۸؛ سلیمی فر و شیرزور، ۱۳۸۹؛ فلاحپور و همکاران، ۱۳۹۱؛ تالانه و هجران کش راد، ۱۳۹۰؛ فدایی نژاد، ۱۳۷۴).

محمدپور و رضازاده (۱۳۹۸) این مطالعه به بررسی کارایی سطح ضعیف و متغیر طی زمان در بازارهای طلا و ارز ایران می‌پردازد. برای بررسی کارایی سطح ضعیف از آزمون ریشه واحد خطی دیکی فولر تعمیم‌یافته و برای بررسی کارایی متغیر طی زمان از آزمون ریشه واحد غیرخطی مارکوف سویچینگ استفاده کرده است و با بررسی نتایج هر دو آزمایش بیان می‌کند که روش مارکوف سویچینگ دارای قدرت برازش بالاتری نسبت به روش‌های خطی است که منطقی هم به نظر می‌رسد. زیرا سری‌های قیمتی در بازار طلا و ارز دارای الگوی غیرخطی هستند.

---

[1] Kakinaka & Umeno
[2] Martín, Muela and Arguedas
[3] Apopo and Phiri
[4] Tran & Leirvik
[5] Byrd & Balch

حکمت و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه خود به بررسی کارایی سطح ضعیف بازار سرمایه ایران با استفاده از الگوی ARMA-GARCH ضرایب ثابت و ضرایب متغیر طی دوره زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ پرداخته است و با بررسی نتایج مدل‌های ایستا و پویا تأثیر نوع روش بر نتایج آزمون کارایی را نشان می‌دهد. نتایج آزمون‌های تکمیلی نشان دادند که هرچه رتبه نقدشوندگی بالاتر باشد، به‌احتمال زیاد کارایی مطابق مدل‌های پویا تأیید می‌شود.

رافعی و همکاران (۱۳۹۶) در این پژوهش به بررسی پیش‌بینی‌پذیری قیمت سرب و کارایی این بازار در سطح ضعیف و معرفی یک الگوی مناسب برای پیش‌بینی قیمت سرب در بازار جهانی با دو رویکرد تکنیکال و بنیادی و با مجموعه‌ای از روش‌های خطی و غیرخطی پرداخته و با بررسی کارایی بازار سرب نشان داد که این بازار در سطح ضعیف کارا نیست و سری زمانی قیمت از گام تصادفی پیروی نمی‌کند؛ بنابراین تغییرات قیمت پیش‌بینی‌پذیر هستند و نشان می‌دهد که در رویکرد تکنیکال، مدل‌های سری زمانی شبکه عصبی GMDH ترکیب شده با الگوریتم ژنتیک دارای خطای کمتری بودند. در رویکرد بنیادی نیز روش رگرسیون جزءبه‌جزء عملکرد خارج از نمونهٔ بهتری نسبت به سایر روش‌های پیش‌بینی داشت.

کرباسی یزدی و همکاران (۱۳۹۱) این مطالعه با استفاده از آزمون ریشه واحد (دیکی فولر تعمیم‌یافته) وجود پدیده بازگشت به میانگین در شاخص کل قیمت سهام، شاخص قیمت و بازده نقدی سهام و شاخص پنجاه شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران را در بازهٔ زمانی ۱۳۸۰-۱۳۸۹ بررسی می‌کند و نشان می‌دهد که شاخص کل قیمت سهام و شاخص پنجاه شرکت برتر از فرایند گام تصادفی پیروی کرده و به میانگین برنگشته‌اند؛ ولی شاخص قیمت و بازده نقدی در سطح خطای ۵٪ و ۱۰٪ از فرایند گام تصادفی پیروی نکرده و به میانگین برگشته‌اند.ند پس در حالت کلی بورس اوراق بهادار تهران وجود کارایی را در دو شاخص کل و پنجاه شرکت برتر نشان می‌دهد، ولی نتایج شاخص قیمت و بازده نقدی نبود کارایی را در سطح ضعیف بیان می‌کند.

مرور ادبیات حاکی از آن است که کارایی بازار رمزارزها در اغلب مطالعات در حالت ایستا مورد بررسی قرار گرفته و شواهدی وجود دارد که بازده بیت‌کوین با فرضیه بازار کارا مطابقت ندارد و بازده بیت‌کوین مستقل نیست، بلکه قابل‌پیش‌بینی است؛ لذا هدف مطالعه حاضر بررسی کارایی سطح ضعیف بازار کریپتوکارنسی (رمزارزهای انتخابی) در دو حالت استاتیک و پویا (داینامیک) است. کارایی بازار رمزارزها برای رمزارزهای بیت‌کوین، اتریوم، لایت‌کوین و ریپل موردمطالعه قرار خواهد گرفت همچنین در مطالعه با استفاده از روش جدید اندازه‌گیری و محاسبهٔ میزان ناکارایی تعدیل‌شدهٔ بازار[1] (AMIM) به بررسی کارایی متغیر طی زمان در بازار رمزارزها و شناسایی دوره‌های کارایی و ناکارایی بازار رمزارزها علاوه بر سایر آزمون ها، پرداخته خواهد شد.

## ۳- روش‌شناسی پژوهش

مطالعه حاضر باهدف بررسی کارایی اطلاعاتی سطح ضعیف بازار رمزارزها و پیش‌بینی‌پذیری در بازهٔ زمانی موردمطالعه از نوامبر ۲۰۱۶ لغایت نوامبر ۲۰۲۲ (به‌صورت روزانه) صورت می‌پذیرد. نمونه موردمطالعه شامل ۴ رمزارز (بیت‌کوین، اتریوم، لایت‌کوین، و ریپل) در بازار رمزارزها است که طی ۶ سال به‌صورت ۲۴ ساعته و باارزش بازار بیشتر از ۱ میلیارد دلار(سال۲۰۲۳) مورد معامله قرار گرفته‌اند. دلیل انتخاب این رمزارزها اولاً دردسترس‌بودن اطلاعات آنها و ثانیاً لیست‌شدن آنها در صرافی‌های معتبر است. این تحقیق از لحاظ هدف کاربردی بوده و از لحاظ روش تحقیق، روش کمی غیرآزمایشی است که از لحاظ جمع‌آوری اطلاعات تحقیقی، علی پس رویدادی محسوب می‌شود. روش گردآوری داده‌ها، اسناد کاوی بوده که جهت جمع‌آوری مبانی نظری موضوع از روش کتابخانه‌ای استفاده می‌شود. داده‌های قیمتی مورد نیاز جهت بررسی بازار رمزارزها از طریق اطلاعات منتشرشده توسط سایت‌های مختلف قابل‌دسترسی است. در این پژوهش داده‌ها

[1] Adjusted Market Inefficiency Magnitude

از سایت کوین مارکت کپ[1] و کریپتودیتادانلود[2] که تمامی اطلاعات مربوط به رمزارزها را به‌صورت روزانه، ساعتی و دقیقه‌ای منتشر می‌کند اخذ می‌گردد. در این پژوهش به‌منظور آزمون فرضیه‌ها از آمار توصیفی و استنباطی استفاده شده است. در بخش آمار توصیفی برای همهٔ نمونه‌ها در تایم فریم روزانه میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی محاسبه می‌شود. در بخش آمار استنباطی نیز میزان پیش‌بینی‌پذیر بودن بازدهی هریک از رمزارزهای ذکر شده فوق مورد بررسی و آزمون قرار می‌گیرد. ازآنجاکه پیش‌بینی‌پذیر بودن یکی از ناهنجاری‌هایی است که فرضیه بازار کارا را به چالش می‌کشاند، در این پژوهش نیز از این شاخص برای برآورد میزان کارایی اطلاعاتی در بازار معاملات رمزارزهای متفاوت استفاده می‌کنیم. برای بررسی پیش‌بینی‌پذیر بودن داده‌های مربوط به رمزارزهای مختلف از آزمون ریشه واحد دیکی فولرتعمیم یافته (جهت بررسی مانایی و نامانایی سری زمانی بازده رمزارزها)، آزمون نسبت واریانس به تفکیک هریک از رمزارزهای متفاوت استفاده می‌شود که توضیح مختصری از هریک از این آزمون‌ها در ادامه ارائه شده است. برای بررسی کارایی در طول زمان نیز از آزمون محاسبهٔ میزان ناکارایی تعدیل‌شدهٔ بازار استفاده می‌کنیم[3].

### ۳-۱- آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته

یکی از روش‌های پارامتریک که به کمک آن می‌توان قابل پیش‌بینی‌بودن یا نبودن یک سری زمانی را موردمطالعه قرارداد و به بررسی وضعیت مانایی (پایایی) آن سری زمانی پرداخت، آزمون ریشه واحد است. در این آزمون یک فرایند تصادفی را مانای اکید می‌نامند، اگر ویژگی‌های آن با تغییر مبدأ زمانی تغییر نکند، یعنی روابط زیر برقرار باشد:

$$F(x_1, \dots., x_t) = F(x_{1+k}, \dots., x_{t+k}) \quad \text{رابطه ۱)}$$

$$\Delta \mathrm{R_t} = \mathrm{b_0} + \mathrm{b_1} + \gamma \mathrm{R_{t-1}} + \sum_{\mathrm{j}=1}^{p} \delta_j \Delta \mathrm{R_{t-j}} + \epsilon_\mathrm{t} \quad \text{رابطه ۲)}$$

که در آن $\mathrm{F}$ تابع توزیع مشترک مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی است. فرض مانایی یا پایایی در مقابل فرض نوفه سفید بودن متغیرها قرار دارد. متغیر نوفه سفید، متغیری با ساختاری غیرقابل‌تشخیص است که رفتار قبل آن را نمی‌توان به آینده تعمیم داد. باتوجه‌به آنچه گفته شد اگر بتوان نامانایی سری زمانی بازده رمزارزها را اثبات نمود، می‌توان حکم به نوفه‌سفید بودن یا به عبارتی دیگر به تصادفی‌بودن آن داد. دیکی و فولر (۱۹۷۹) برای اولین بار توانستند یک آزمون آماری را برای بررسی ریشه واحد در سری های زمانی توسعه دهند. آزمون ریشه واحد که توسط دیکی و فولر (۱۹۷۹) توسعه داده شد، دارای فرم ساده زیر بود:

$$y_t = \rho y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \text{رابطه ۳)}$$

در ادامه در راستای افزایش قابلیت اتکای آزمون و رفع ایرادات وارده اصلاحاتی در فرم اولیه ایجاد شد و وقفه های متغیر وابسته وارد مدل شدند. در این صورت، می توان آزمون ریشه واحد دیکی- فولر تعمیم یافته (با لحاظ عرض از مبدأ در فرضیه مخالف) را به صورت زیر نوشت:

$$\Delta y_t = \alpha + \beta y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p} \emptyset_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad \text{رابطه ۴)}$$

### ۳-۲- آزمون نسبت واریانس

آزمون نسبت واریانس برای آزمون فرضیه گام تصادفی توسط لو و مکینلی[4] در سال ۱۹۸۸ مطرح شد. لو و مکینلی بیان کردند اگر واریانس بازدهی با فاصله زمانی $\mathrm{k}$ واحد زمان، $\mathrm{k}$ برابر بازدهی سهام با فاصله زمانی ۱ واحد باشد، فرضیه گام

[1] Coin market cap

[2] Cryptodatadownload

[3] آزمون دیکی فولرتعمیم یافته به اختصار ADF، نسبت واریانس به اختصار VR، محاسبه میزان ناکارایی تعدیل شده بازار به اختصارAMIM مطرح می شوند.

[4] Lo & Mackinlay ''Stock Market Prices Do Not Follow Random Walks: Evidence from a Simple Specification Test''1988

تصادفی پذیرفته می‌شود؛ زیرا اگر بازده‌های سهام از هم مستقل باشند آنگاه باید واریانس آنها یک تابع خطی از فاصله زمانی (که بازده در آن محاسبه شده است) باشد. به عبارتی دیگر، اگر واریانس تغییرات با فاصله‌زمانی k لگاریتم قیمت‌ها، kبرابر واریانس تغییرات متوالی لگاریتم قیمت‌ها $(x_t - x_{t-k})$ باشد فرضیه گام تصادفی تایید می‌شود.

$$VR(K) = \sigma^2(k)/\sigma^2(1)$$ رابطه ۵)

$$\sigma^2(k) = {}^{1}/_{k^{th}}\, variance\ of\ the\ k - differeces$$ رابطه ۶)

$$\sigma^2(1) = is\ the\ variance\ of\ the\ first\ differnces$$ رابطه ۷)

$$VR(K) = \frac{var(x_t + x_{t-1} + \cdots + x_{t-k+1})/k}{var(x_t)}$$ رابطه ۸)

### ۳-۳- آزمون محاسبهٔ میزان ناکارایی تعدیل‌شدهٔ بازار (AMIM)

آزمون AMIM[1] در سال ۲۰۱۹ توسط تران و لیوریک[2] در مقالهٔ "روشی ساده و قدرتمند جهت محاسبه کارایی بازار"[3] در مجلهٔ تحقیقات مالی[4] مطرح شد. این روش برای بررسی کارایی در طول زمان طراحی شده است که نتایج با استفاده از ضرایب خودهمبستگی سری زمانی و فواصل اطمینان این ضرایب، محاسبه می‌شود. این روش را می‌توان MIM [5] ارتقایافته دانست. روش MIM براساس روش TIME[6] (Noda, 2016) که به بررسی کارایی در بازار سهام ژاپن پرداخته، طراحی شده است. روش AMIM نواقص MIM مثل ناپیوستگی در ضرایب، عدم امکان مقایسه و تفسیر دشوار را رفع کرده است. از طرفی این روش مشکل استفاده از داده‌ها با فرکانس پایین و انتخاب تعداد (لگ) تاخیرهای خودهمبستگی که مشکل غالب در روش‌های گذشته است را نیز برطرف نموده‌است در این روش برای محاسبه تعداد لگ‌ها از اماره‌های اطلاعاتی مثل اکائیک استفاده می‌کند. AMIM در دامنه $(-\infty,1]$ نوسان دارد به‌طوریکه اگر بازار کاملاً ناکارا باشد مقدار ۱+ را گزارش می‌دهد (در حالت کلی اگر بازار ناکارا باشد مقادیر مثبت) و اگر بازار کارا باشد مقادیرصفر یا منفی را به‌عنوان خروجی می‌دهد.

$$r_i = \alpha + \beta_1 r_{t-1} + \beta_2 r_{t-2} + \cdots + \beta_q r_{t-q} + \varepsilon_t$$ رابطه ۹)

$$\hat{\beta}^{standard} = l^{-1}\,\hat{\beta}$$ رابطه ۱۰)

$$MIM = \frac{\sum_{j=1}^{q}\left|\hat{\beta}_{j,t}^{standard}\right|}{1+\sum_{j=1}^{q}\left|\hat{\beta}_{j,t}^{standard}\right|}$$ رابطه۱۱)

$$AMIM = \frac{MIM_t - R_{CI}}{1 - R_{CI}}$$ رابطه ۱۲)

که در آن $r_t$ بازدهی ساده در زمان t است. $\beta_t$ شامل ضرایب خودرگرسیون است. $\hat{\beta}$ یک بردار ستونی، که شامل ضرایب پیش‌بینی $\widehat{\beta_1}$ تا $\widehat{\beta_q}$ است، L یک ماتریس مثلثی است که از تجزیه چولیسکی ماتریس واریانس کواریانس مجانبی به دست می‌آید و برای استاندارد کردن $\hat{\beta}$ مورداستفاده قرار می‌گیرد و $R_{CI}$ مقدار بحرانی ۹۵ درصد است.

## ۴- یافته‌های پژوهش

### ۴-۱ آمار توصیفی

آمار توصیفی شامل مجموعه روش‌هایی جهت جمع‌آوری، خلاصه‌سازی، طبقه‌بندی و توصیف عددی استفاده می‌شود. به عبارتی، آمار توصیفی اطلاعاتی در مورد پارامترهای مرکزی و پراکندگی داده‌های پژوهش در اختیار قرار می‌دهد. در

[1] Adjusted Market Inefficiency Magnitude
[2] Vu Le Tran, Thomas Leirvik
[3] A simple but powerful measure of market efficiency
[4] Finance Research Letters
[5] Market Inefficiency Magnitude
[6] Time-Varying degree of market efficiency

جدول ۱ شاخص‌های مرکزی از جمله میانگین و میانه و شاخص‌های پراکندگی از جمله انحراف معیار، کشیدگی و چولگی برای متغیرهای مختلف محاسبه شده است.

**جدول ۱. آمار توصیفی متغیرها**

| متغیر | نماد | تعداد مشاهده | میانگین | میانه | انحراف معیار | چولگی | کشیدگی | حداقل | حداکثر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بیت‌کوین | BTC | ۲۱۹۲ | ۱۷۱۴۱/۷۵ | ۹۳۱۵/۶ | ۱۶۹۵۶/۷۱ | ۱/۲۱۳۳۹ | ۳/۱۹۸۳ | ۶۸۴/۹ | ۶۷۵۲۷/۹ |
| اتریوم | ETH | ۲۱۹۲ | ۹۵۷/۲۹۲۳ | ۳۴۴/۵۷۵ | ۱۱۶۱/۰۴۴ | ۱/۴۳۸۹ | ۳/۹۵۳۳۷ | ۶/۷ | ۴۸۰۸/۳۸ |
| ریپل | XRP | ۲۱۹۲ | ۰/۴۵۵۳۹۸ | ۰/۳۲۷۴۲ | ۰/۳۶۰۸۰۷ | ۱/۸۲۲۴۱۷ | ۸/۱۹۱۵۱۷ | ۰/۰۰۵۴ | ۲/۷۸ |
| لایت‌کوین | LTC | ۲۱۹۲ | ۸۹/۳۳۵۲ | ۶۱/۸۶۶۵ | ۶۵/۸۳۶ | ۱/۲۳۴۰۵ | ۴/۴۴۴۳ | ۳/۵ | ۳۸۶/۸۲ |

**جدول ۲. نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته**

| داده | بازه زمانی | ADF with trend & drift | ADF with drift | نتیجه |
|---|---|---|---|---|
| **Btc** | ۲۰۱۶/۱۱/۱ - ۲۰۲۲/۱۱/۱ | ۰/۷۶۰۲ | ۰/۱۶۰۳ | عدم رد کارایی |
| **Eth** | ۲۰۱۶/۱۱/۱ - ۲۰۲۲/۱۱/۱ | | ۰/۱۵۲۰ | عدم رد کارایی |
| **xrp** | ۲۰۱۶/۱۱/۱ - ۲۰۲۲/۱۱/۱ | ۰/۳۲۷۲ | ۰/۰۳۸۳ | رد کارایی |
| **ltc** | ۲۰۱۶/۱۱/۱ - ۲۰۲۲/۱۱/۱ | | ۰/۰۵۴۲ | عدم رد کارایی |

همان‌طور که مطرح شد فرض صفر آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته، ریشه واحد داشتن است که در بازه مورد بررسی برای داده‌های لگاریتمی قیمت چهار متغیر بیت‌کوین، اتریوم، لایت‌کوین در سطح اطمینان ۹۵٪ شواهدی مبنی بر رد ریشه واحد داشتن مدل یافت نشد(جدول ۲)؛ یعنی نتایج وجود ریشه واحد (وجود روند تصادفی) را گزارش می‌دهند؛ اما در داده‌های مربوط به لگاریتم قیمت ریپل در سطح اطمینان ۹۵٪ ریشه واحد داشتن مدل رد شده است؛ یعنی نتایج عدم وجود ریشه واحد (نبود روند تصادفی) را گزارش داده است.

**جدول ۳. نتایج آزمون نسبت واریانس**

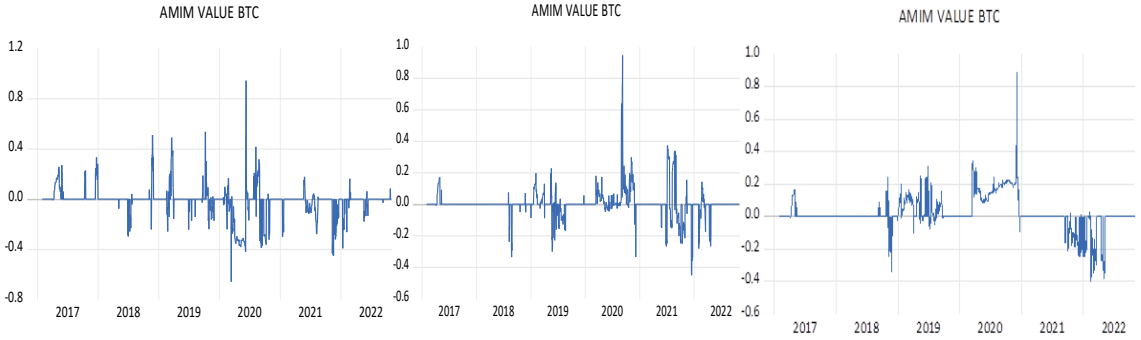
| داده | احتمال | | | | | نتیجه |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | K=2 | K=4 | K=8 | K=16 | Max z | |
| **BTC** | ۰/۱۴۰۰ | ۰/۶۹۷۰ | ۰/۷۳۱۰ | ۰/۴۰۶۰ | ۰/۲۹۰۰ | عدم رد کارایی در سطح ۵٪ |
| **ETH** | ۰/۱۸۳۰ | ۰/۹۹۱۰ | ۰/۱۹۰۰ | ۰/۰۶۳۰ | ۰/۱۴۸۰ | عدم رد کارایی در سطح ۵٪ |
| **XRP** | ۰/۵۵۹۰ | ۰/۸۳۴۰ | ۰/۳۵۳۰ | ۰/۰۷۹۰ | ۰/۱۶۶۰ | عدم رد کارایی در سطح ۵٪ |
| **LTC** | ۰/۲۰۶۰ | ۰/۴۰۵۰ | ۰/۸۷۲۰ | ۰/۷۸۸۰ | ۰/۳۸۶۰ | عدم رد کارایی در سطح ۵٪ |

در جدول ۳ نتیجه آزمون نسبت واریانس برای مقادیر متفاوت K (لگ‌های روزانه) و در نهایت برای قدرمطلق Max z محاسبه شده است و تمامی ارزش احتمالات بالای ۵٪ گزارش شده‌اند که به این معنی است که فرض صفر در سطح ۹۵٪ رد نمی‌شود و شواهد کافی برای رد این فرض که لگاریتم قیمتی داده‌ها از یک فرایند گام تصادفی پیروی می‌کند وجود ندارد.

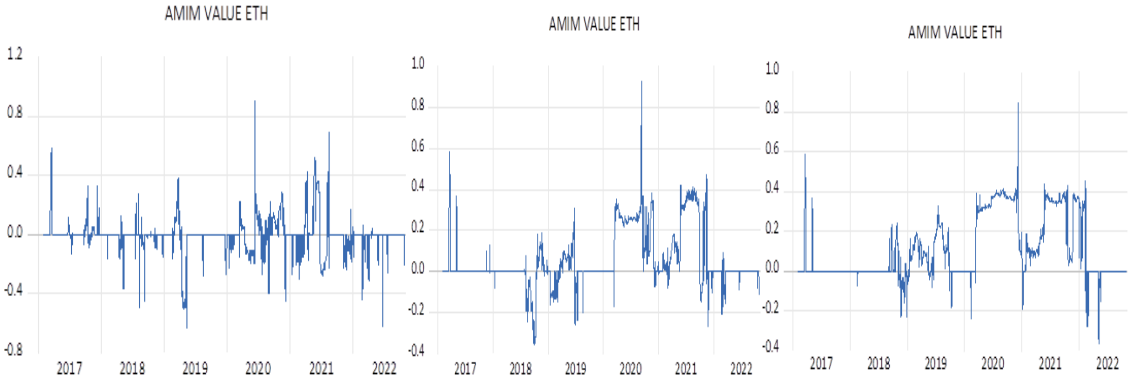
- **نتایج آزمون میزان ناکارایی تعدیل‌شدهٔ بازار AMIM**

شکل‌های ۱ تا ۴ نشان‌دهنده آماره محاسبهٔ میزان ناکارایی تعدیل‌شدهٔ هر یک از رمز ارزهای مورد پژوهش است که به ترتیب با طول پنجره ۹۰ ، ۱۸۰ و ۲۷۰ روزه است و نواحی بزرگتر از صفر در واقع همان دوره‌هایی است که ناکارا است.

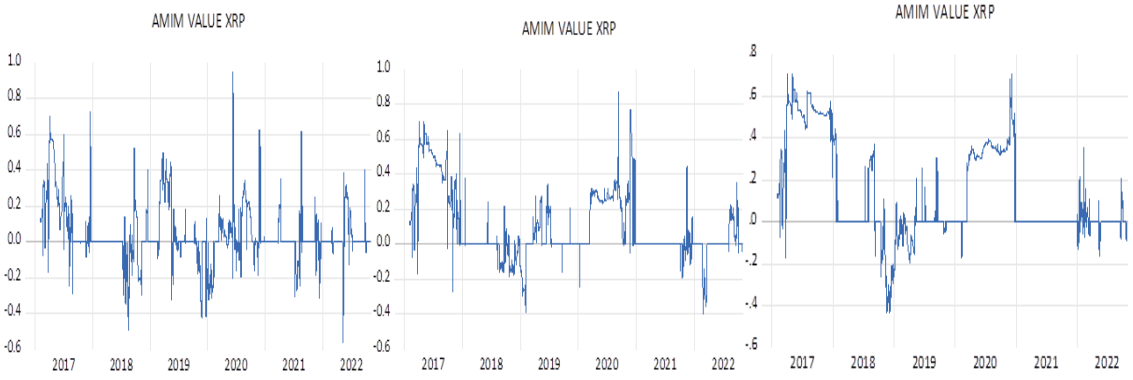
شکل۱. بررسی AMIM بیت‌کوین با طول پنجره ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ روز



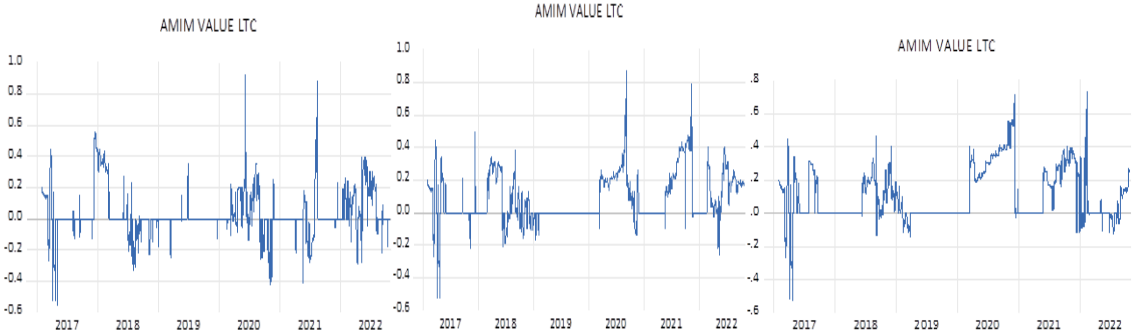

شکل ۲. نمودار بررسی AMIM اتریوم با طول پنجره ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ روز




شکل ۳. بررسی AMIM ریپل با طول پنجره ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ روز



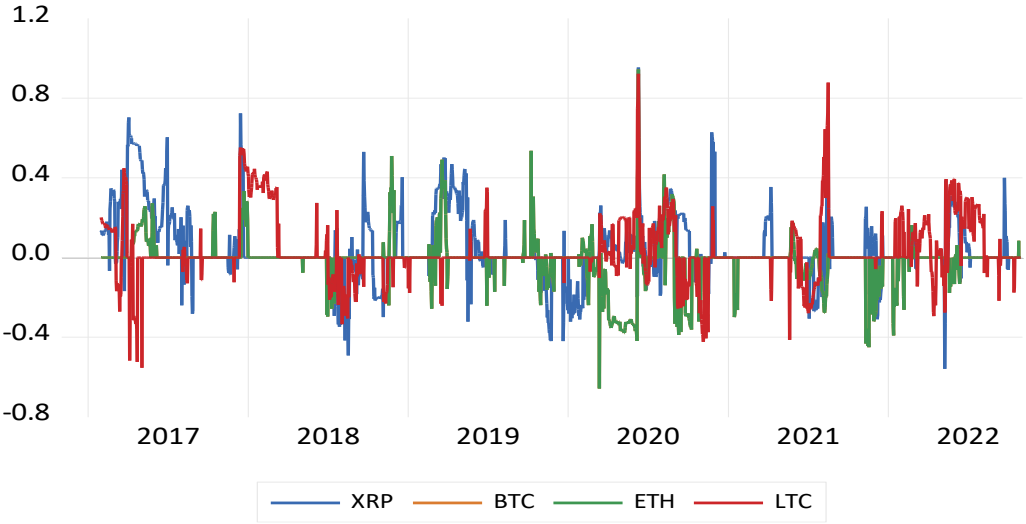

شکل ۴. بررسی AMIM بیت‌کوین با طول پنجره ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ روز



## ۵- نتیجه‌گیری

هدف کلی این پژوهش بررسی کارایی سطح ضعیف بازار کریپتوکارنسی (نمونه انتخابی از رمزارزها) در دو حالت استاتیک و پویا (داینامیک) است. برای بررسی وجود ریشه واحد سری‌های زمانی موردمطالعه از آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته استفاده شده است که داده‌های بیت‌کوین، اتریوم، لایت‌کوین وجود کارایی را در سطح اطمینان ۹۵٪ تأیید کرده و داده‌های ریپل بر ناکارایی اشاره دارند که می‌توان دلیل آن را به‌وجودآمدن مشکلات حقوقی ناشی از شکایت کمیسیون بورس اوراق بهادار آمریکا در قسمتی از دوره موردمطالعه دانست؛ نتیجه آزمون نسبت واریانس وجود کارایی در همه نمونه‌ها در بازه زمانی موردمطالعه را در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان می‌دهد. نتایج آزمون محاسبهٔ میزان ناکارایی تعدیل‌شده، وجود کارایی و ناکارایی را در بازه‌های زمانی متفاوت برای نمونه‌های موردمطالعه گزارش کرده که تأییدکننده رفتار تطبیقی داده‌ها و کارایی تطبیقی است.

**شکل ۵. بررسی AMIM ۹۰ روزه در سطح ۵ درصد برای رمزارزهای موردمطالعه در طول زمان موردمطالعه**




باتوجه‌به نتایج آزمون میزان ناکارایی تعدیل‌شدهٔ بازار (شکل ۵) به‌آسانی نمی‌توان اذعان داشت که کدام نمونه کارایی بیشتری نسبت به دیگری و یا کدام برهه زمانی کارایی بیشتری داشته است؛ اما در حالت کلی با بررسی نتایج می‌توان عنوان کرد که کارایی بعد از سال ۲۰۲۰ روند رو به بهبودی باتوجه‌به افزایش مقادیر منفی آزمون میزان ناکارایی تعدیل‌شدهٔ بازار داشته است که می‌تواند دلایلی از جمله افزایش حجم معاملات داشته باشد. از طرفی با توجه به نتایج تعداد روزهای ناکارایی در بین رمزارزهای مورد مطالعه بیت کوین کاراترین رمزارز و ریپل ناکاراترین رمز ارز در بازه زمانی مورد مطالعه تشخیص داده می‌شود که تاییدی بر نتایج مطالعات پیشین ازجمله مطالعات لوپز-مارتین و همکاران (۲۰۲۱) و تران و لیرویک (۲۰۱۹) است. باتوجه‌به نتایج مطالعه مبنی بر ثابت نبودن کارایی در طول زمان لذا در بازه‌های که کارایی بسیار ضعیف یا ناکارایی داریم می‌توان روند آتی قیمت یا بازدهی را پیش‌بینی کرد؛ بنابراین آگاهی نسبت به برهه‌های زمانی که کارای نداریم برای فعالین این حوزه قابل‌توجه است. لذا چند پیشنهاد پژوهشی برای مطالعات آتی در این حوزه پیشنهاد میگردد:

- بررسی کارایی برای تعداد رمزارزهای بیشتر و استفاده از آزمون ها و روش های دیگر از جمله روش های مبتنی بر ماشین لرنینگ
- بررسی کارایی با استفاده از داده‌ها با فرکانس بالاتر (داده‌های ساعتی یا ثانیه‌ای)
- بررسی اثر مواردی مثل تورم جهانی و سیاست‌های انبساطی یا انقباضی بانک‌های بزرگ جهانی بر کارایی متغیر طی زمان

## ۶- منابع


- تالانه، عبدالرضا و هجران‌کش راد، حدیث. (۱۳۹۰). بررسی کارایی بورس اوراق بهادار تهران در سطح ضعیف و نیمه قوی. *تحقیقات حسابداری و حسابرسی*،۳(۱۲).https://doi.org/10.22034/iaar.2011.104713
- تهرانی، رضا، مدرس، احمد و تحریری، آرش. (۱۳۸۹). ارزیابی تأثیر استفاده از شاخص‌های تحلیل تکنیکی بر بازده‌ی سهام‌داران. *فصلنامه تحقیقات اقتصادی*، ۴۵(۳).https://sid.ir/paper/11645/en
- حکمت، هانیه، رحمانی، علی، ملانظری، مهناز ، موسوی، میر حسین و قالیباف اصل، حسن. (۱۳۹۹). مدل‌های ایستا و پویا و ارزیابی کارایی بازار سهام شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران .*تحقیقات مالی*، ۴(۲۲).https://doi.org/10.22059/frj.2020.300741.1007011
- راسخی سعید، و خانعلی پور امیر. (۱۳۸۸). تحلیل تجربی نوسانات و کارایی اطلاعاتی بازار سهام (مطالعه موردی: بورس اوراق بهادار تهران). *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، شماره ۴۰: ۲۹ – ۵۸.
- رافعی، سمیه ، اسماعیلیان، مجید و بت شکن، محمود . (۱۳۹۶). بررسی کارایی و پیش‌بینی‌پذیری کالاهای صنعتی با رویکردهای بنیادین و تکنیکال. *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، ۷(۴)، ۱۰۷-۱۳۵.
- سلیمی فر، مصطفی و شیرزور، زهرا. (۱۳۸۹). بررسی کارایی اطلاعاتی بازار بورس به روش آزمون نسبت واریانس. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره ۵: ۱ – ۳۴.https://sid.ir/paper/197608/en
- فدایی نژاد، محمداسماعیل. (۱۳۷۴). آزمون شکل ضعیف کارایی بازار سرمایه و بورس اوراق بهادار تهـران. *تحقیقـات مـالی*، ۵(۶): ۶-۲۵.
- فلاحپور سعید، اصغری زاده عزت اله، و فراهانی، علیرضا. (۱۳۹۱). آزمون کارایی زیر بخشهای بورس اوراق بهادار تهـران در سـطح ضعیف. *فصلنامه بورس اوراق بهادار*، ۵(۱۷): ۵-۲۲. https://www.magiran.com/p1056502
- کرباسی یزدی، حسین، نوری فرد، یداله و چناری بوکت، حسن. (۱۳۹۱). مطالعه پدیده بازگشت به میانگین در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از آزمون ریشه واحد. *فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری*، ۱(۴): ۸۷-۱۰۳. https://www.magiran.com/p1535268
- محمدپور، سیاوش و رضازاده، علی. (۱۳۹۸). بررسی کارایی متغیر طی زمان در بازارهای طلا و ارز ایران. *تحقیقات مالی*، ۲۱(۳): ۴۴۸-۴۷۱.https://doi.org/10.22059/frj.2019.272213.1006790

– Alvarez-Ramirez, J., Rodriguez, E., & Ibarra-Valdez, C. (2018). Long-range correlations and asymmetry in the market. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 492*, 948–955. https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.11.025
– Al-Yahyaee, K. H., Mensi, W., & Yoon, S.-M. (2018). Efficiency, multifractality, and the long-memory property of the Bitcoin market: A comparative analysis with stock, currency, and gold markets. *Finance Research Letters, 27*, 228–234. https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.03.017
– Apopo, N., & Phiri, A. (2021). On the (in)efficiency of cryptocurrencies: Have they taken daily or weekly random walks? *Heliyon, 7*(4), e06685. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06685
– Barber, S., Bayen, X., Shi, E., & Uzun, E. (2012). Bitter to better – How to make Bitcoin a better currency. In *Financial Cryptography and Data Security* (pp. 399–414). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32946-3_29
– Bariviera, A. F., Basgall, M. J., Hasperué, W., & Naiouf, M. (2017). Some stylized facts of the Bitcoin market. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 484*, 82–90. https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.04.048
– Bornholdt, S., & Sneppen, K. (2014). Do markets behave like ecosystems? *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2014*(10), P10010. https://doi.org/10.1088/1742-5468/2014/10/P10010
– Brauneis, A., & Mestel, R. (2018). Price discovery of cryptocurrencies: Bitcoin and beyond. *Economics Letters, 165*, 58–61. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.02.001
– Byrd, D., & Balch, T. H. (2019). Intra-day equity price prediction using deep learning as a measure of market efficiency. *arXiv*. https://arxiv.org/abs/1908.08168

- Caporale, G. M., Gil-Alana, L., & Mestel, R. (2018). Persistence in the cryptocurrency market. *Research in International Business and Finance*. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2018.03.002
- Chordia, T., Subrahmanyam, A., & Tong, Q. (2014). Have capital market anomalies attenuated in the recent era of high liquidity and trading activity? *Journal of Financial Economics, 114*(2), 336–367. https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2014.06.005
- Clark, J., & Essex, A. (2012). Commit-Coin: Carbon dating commitments with Bitcoin. In *Financial Cryptography and Data Security* (pp. 390–398). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32946-3_28
- Corbet, S., Lucey, B., Urquhart, A., & Yarovaya, L. (2019). Cryptocurrencies as a financial asset: A systematic analysis. *International Review of Financial Analysis, 62*, 182–199. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2018.09.003
- David, G., Oosterlinck, K., & Szafarz, A. (2013). Art market inefficiency. *Economics Letters, 121*(1), 23–25. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2013.07.020
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association, 74*(366), 427–431. https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482531
- Fadainejad, M. E. (1994). Test of weak form of efficient market in Tehran Security Exchange. *Journal of Financial Research, 2*(5–6), 6–26. (in Persian)
- Fallahpour, S., Asgharizadeh, E., & Farahani, A. (2012). Testing weak form efficiency of Tehran Stock Exchange subsections. *Journal of Securities Exchange, 5*(17), 5–22. https://www.magiran.com/p1056502 (in Persian)
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. *Journal of Finance, 25*(2), 383–417. https://doi.org/10.2307/2325486
- Fama, E. F. (1991). Efficient capital markets: II. *Journal of Finance, 46*(5), 1575–1617. https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1991.tb04636.x
- Garcia, D., Tessone, C. J., Mavrodiev, P., & Perony, N. (2014). The digital traces of bubbles: Feedback cycles between socio-economic signals in the Bitcoin economy. *Journal of the Royal Society Interface, 11*(99), 2014623. https://doi.org/10.1098/rsif.2014.0623
- Grossman, S. J., & Stiglitz, J. E. (1980). On the impossibility of informationally efficient markets. *American Economic Review, 70*(3), 393–408.
- Hekmat, H., Rahmani, A., Mola Nazari, M., Mosavi, M. H., & Ghalibaf Asl, H. (2021). Static & dynamic models and stock market efficiency evaluation of T.S.E. listed companies. *Financial Research Journal, 22*(4), 476–495. https://doi.org/10.22059/frj.2020.300741.1007011 (in Persian)
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica, 47*(2), 263–291. https://doi.org/10.2307/1914185
- Kakinaka, S., & Umeno, K. (2022). Cryptocurrency market efficiency in short- and long-term horizons during COVID-19: An asymmetric multifractal analysis approach. *Finance Research Letters, 46*, 102280. https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102280
- Karbasi Yazdi, H., Noorifard, Y., & Chenari Bouket, H. (2013). The study of mean reversion in Tehran Stock Exchange with unit root test. *Journal of Investment Knowledge, 1*(4), 87–104. https://www.magiran.com/p1535268 (in Persian)
- Kondor, D., Pósfai, M., Csabai, I., & Vattay, G. (2014). Do the rich get richer? An empirical analysis of the Bitcoin transaction network. *PLoS ONE, 9*(2), e86197. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086197
- Kristoufek, L. (2013). BitCoin meets Google Trends and Wikipedia: Quantifying the relationship between phenomena of the Internet era. *Scientific Reports, 3*, 3415. https://doi.org/10.1038/srep03415

- Kristoufek, L. (2018). On Bitcoin markets (in)efficiency and its evolution. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 503*, 257–262. https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.02.034
- Kristoufek, L., & Vosvrda, M. (2014). Commodity futures and market efficiency. *Energy Economics, 42*, 50–57. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.018
- Kristoufek, L., & Vosvrda, M. (2019). Cryptocurrencies market efficiency ranking: Not so straightforward. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 531*, 120845. https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.120845
- Lo, A. W. (2004). The adaptive markets hypothesis: Market efficiency from an evolutionary perspective. *Journal of Portfolio Management, 30*(5), 15–29. https://doi.org/10.3905/jpm.2004.442611
- Lo, A. W. (2005). Reconciling efficient markets with behavioral finance: The adaptive markets hypothesis. *Journal of Investment Consulting, 7*(2), 21–44.
- Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1988). Stock market prices do not follow random walks: Evidence from a simple variance ratio test. *Review of Financial Studies, 1*(1), 41–66. https://doi.org/10.1093/rfs/1.1.41
- Loomes, G., & Sugden, R. (1982). Regret theory: An alternative theory of rational choice under uncertainty. *The Economic Journal, 92*(368), 805–824. https://doi.org/10.2307/2232669
- López-Martín, C., Benito Muela, S., & Arguedas Sanz, R. (2021). Efficiency in cryptocurrency markets: New evidence. *Eurasian Economic Review, 11*(3), 403–431. https://doi.org/10.1007/s40822-021-00182-5
- Malkiel, B. G. (2003). The efficient market hypothesis and its critics. *Journal of Economic Perspectives, 17*(1), 59–82. https://doi.org/10.1257/089533003321164958
- Mohammadpoor, S., & Rezazadeh, A. (2019). The investigation of time-varying efficiency in financial markets of Iran: Case study of foreign exchange and gold markets. *Financial Research Journal, 21*(3), 448–471. https://doi.org/10.22059/frj.2019.272213.1006790 (in Persian)
- Noda, A. (2016). A test of the adaptive market hypothesis using a time-varying AR model in Japan. *Finance Research Letters, 17*, 66–71. https://doi.org/10.1016/j.frl.2016.01.004
- Phillip, A., Chan, J. S. K., & Peiris, S. (2018). A new look at cryptocurrencies. *Economics Letters, 163*, 6–9. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.01.020
- Rafei, S., Esmaelian, M., & Botshekan, M. (2018). The efficiency and predictability of industrial commodities using fundamental and technical approaches. *Journal of Industrial Management Perspective, 7*(4), 107–135. (in Persian)
- Rasekhy, S., & Khanalipour, A. (2009). An empirical analysis of stock market fluctuations and information efficiency: A case study for Tehran Stock Market. *Iranian Journal of Economic Research, 13*(40), 29–57. (in Persian)
- Reid, F., & Harrigan, M. (2013). An analysis of anonymity in the Bitcoin system. In *Security and Privacy in Social Networks* (pp. 197–223). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4139-7_10
- Roberts, H. V. (1959). Stock-market "patterns" and financial analysis: Methodological suggestions. *Journal of Finance, 14*(1), 1–10. https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1959.tb00481.x
- Salimifar, M., & Shirzour, Z. (2011). Investigation of informative efficiency of stock market using variance ratio test method. *Financial Engineering and Securities Management (Portfolio Management), 1*(5), 1–33. https://sid.ir/paper/197608/en (in Persian)
- Samuelson, P. A. (1965). Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly. *Industrial Management Review, 6*, 41–50
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics, 69*(1), 99–118. https://doi.org/10.2307/1884852
- Talaneh, A., & Hejran Keshrad, H. (2011). Investigating the performance of Tehran Stock Exchange at weak and semi-strong level. *Accounting and Auditing Research, 3*(12), 64–81. https://doi.org/10.22034/iaar.2011.104713 (in Persian)

- Tehrani, R., Modarres, A., & Tahriri, A. (2010). Evaluation of the effect of using technical analysis indexes on the returns of investors. *Journal of Economic Research (Tahghighat-e-Eghtesadi), 45*(3). https://sid.ir/paper/11645/en (in Persian)
- Tiwari, A. K., Jana, R. K., Das, D., & Roubaud, D. (2018). Informational efficiency of Bitcoin—An extension. *Research in International Business and Finance, 43*, 304–318. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2017.07.180
- Tran, V. L., & Leirvik, T. (2019). A simple but powerful measure of market efficiency. *Finance Research Letters, 29*, 141–151. https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.03.004
- Tran, V. L., & Leirvik, T. (2020). Efficiency in the markets of crypto-currencies. *Finance Research Letters, 35*, 101310. https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.101310
- Urquhart, A. (2016). The inefficiency of Bitcoin. *Economics Letters, 148*, 80–82. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2016.09.019
- Vidal-Tomás, D., & Ibañez, A. (2018). Semi-strong efficiency of Bitcoin. *Finance Research Letters, 27*, 259–265. https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.03.013
- Wei, W. C. (2018). Liquidity and market efficiency in cryptocurrencies. *Economics Letters, 168*, 21–24. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.04.003
- Zargar, F. N., & Kumar, D. (2019). Informational inefficiency of Bitcoin: A study based on high-frequency data. *Research in International Business and Finance, 47*, 344–353. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2018.09.011
- Zhang, W., Wang, P., Li, X., & Shen, D. (2018). Some stylized facts of the cryptocurrency market. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 509*, 1206–1213. https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.06.124