

Analyzing and Forecasting Bitcoin Price Trends: A Comparative Study of Linear and Nonlinear Models

Minoo Nazifi Naeini¹, Rasoul Bakhshi Dastjerdi² , S.Abbas Hosseini Ghaffar³

1. Ph.D. Student in Financial Economics, Department of Economic Sciences, Faculty of Economics, Shahid Ashrafi Isfahani University, Isfahan, Iran. Email: minonazifi@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Economic Sciences, Faculty of Economics, Isfahan University, Isfahan, Iran. (Corresponding Author) Email: r.bakhshi@ase.ui.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Economic Sciences, Faculty of Economics, Shahid Ashrafi Isfahani University, Isfahan, Iran. Email: hoseini_abbasn@yahoo.com

Abstract

Financial markets, including the Bitcoin market, are inherently complex and nonlinear. Predicting their direction and strength remains a significant challenge for traders and investors. This study aims to model the strength of Bitcoin price trends using a Markov convolutional regression model, artificial neural networks (ANN), and time series analysis. To evaluate trend strength, technical indicators and oscillators such as the Relative Strength Index (RSI) and the Ichimoku trading system are employed. Daily Bitcoin price data from January 1, 2014, to July 9, 2023, are analyzed. The findings indicate that the neural network model effectively forecasts Bitcoin prices, while the Markov convolutional regression model successfully identifies periods of rotation and shock. Furthermore, the analysis reveals that the Bitcoin market experiences longer durations of low volatility compared to high volatility periods. Among the influencing factors in the ANN model, the Standard & Poor's 500 Index has the most substantial impact on Bitcoin prices, surpassing other economic variables. Notably, the time series model demonstrates the lowest mean absolute error. Across all three models, network difficulty, global gold prices, and exchange rates significantly affect Bitcoin prices.

Article information

Review History:

Received: nov. 9, 2024

Revised: nov. 19, 2024

Accepted: dec. 14, 2024

Published online: sep. 15, 2025

Keywords:

Bitcoin
Financial Markets
Forecasting
Ichimoku
Indicator
Neural Network
Time Series

JEL Classification:

B26-C24- C22 -C58-E37-N15

Corresponding Author:

r.bakhshi@ase.ui.ac.ir



Economic Research and Perspectives

Original Research Article/ Vol.25, No.4, 2025, pp: 157-188

Aim and Introduction:

Amid declining trust in traditional fiat currencies, Bitcoin has emerged as a potential safe haven and a store of value. Its adoption may increase over time, potentially positioning it as a global currency or an asset for wealth preservation. However, like other financial markets, the Bitcoin market is characterized by inherent complexity and nonlinearity, making price trend analysis and prediction particularly challenging for investors and traders. These complexities necessitate the development of advanced predictive models to capture the dynamic behavior of Bitcoin prices.

Methodology:

The primary objective of this study is to analyze and forecast Bitcoin price trends using three distinct modeling approaches: the Markov convolutional regression model, artificial neural networks, and time series analysis. To assess the strength of price trends, technical indicators and oscillators such as the RSI, MACD, and the Ichimoku trading system are utilized. The study employs both technical and economic variables. Technical variables include the number of daily Bitcoin transactions, network difficulty, Bitcoin reserves, and transaction volumes. Economic variables include the S&P 500 Index, the New York Stock Exchange Index, the U.S. Dollar Index, U.S. interest rates, and oil prices. Data were collected on a daily basis from July 9, 2014, to July 9, 2023. The research design is applied in nature, and the statistical population comprises Bitcoin price data. The econometric approach incorporates the comparative evaluation of the three models, particularly focusing on their accuracy in trend prediction and their responsiveness to various economic and technical indicators.

Results and Discussion:

The results demonstrate that the artificial neural network model outperforms the other two models in predicting Bitcoin prices. In particular, the S&P 500 Index emerges as the most influential variable in the ANN model, highlighting a strong linkage between traditional equity markets and cryptocurrency behavior. Both the RSI and Ichimoku indicators suggest a probable decrease in Bitcoin prices in the upcoming months, followed by a potential increase toward the end of 2024. The Markov convolutional regression model effectively identifies years marked by market rotation and shocks and reveals that periods of low volatility tend to last longer than those of high volatility. Furthermore, the time series model, while not outperforming the ANN in accuracy, exhibits the lowest mean absolute error. Across all models, the variables of network difficulty, global gold price, and exchange rate consistently show statistically significant impacts on Bitcoin pricing, underscoring their crucial role in shaping market dynamics.

Conclusion:

The comparative analysis of the three modeling approaches reveals that the artificial neural network model yields the most accurate forecasts of Bitcoin prices, as indicated by its lowest mean squared error. The consistent significance of the network difficulty, global gold price, and exchange rate variables across models reflects growing investor confidence in Bitcoin as a financial asset. This suggests the potential for capital movement from traditional markets, such as gold and Forex, toward cryptocurrencies. Additionally, the application of MACD and Ichimoku systems confirms the anticipated short-term decline and subsequent long-term increase in Bitcoin prices. These findings offer valuable insights for policymakers, investors, and analysts aiming to understand the dynamics of cryptocurrency markets and improve predictive accuracy.

تحلیل روند و پیش‌بینی قیمت بیت کوین: یک تحلیل مقایسه‌ای از مدل‌های خطی و غیرخطی

مینو نظیفی نایینی^۱، رسول بخشی دستجردی^۲ , سید عباس حسینی غفار^۳

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد مالی، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان، ایران.
minonazifi@gmail.com

۲. دانشیار، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول).
r.bakhshi@ase.ui.ac.ir

۳. استادیار، گروه علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان، ایران.
hoseini_abbas@yahoo.com

چکیده	اطلاعات مقاله
تحلیل و پیش‌بینی قیمت بیت‌کوین به دلیل ماهیت غیرخطی، نوسان‌پذیر و تأثیرپذیر از عوامل گوناگون، همواره چالشی مهم در حوزه مالی و اقتصادی به‌شمار می‌رود. این پژوهش با هدف بررسی روند قیمتی و پیش‌بینی نوسانات بیت‌کوین، از داده‌های روزانه بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵ بهره گرفته و مجموعه‌ای از متغیرهای فنی (حجم معاملات، سختی شبکه، میزان ذخیره بیت‌کوین و ...)، اقتصادی (شاخص S&P500، نرخ بهره آمریکا، قیمت نفت، شاخص دلار) و اجتماعی (تعداد سرچ گوگل و توییت‌های بیت‌کوین) را وارد مدل کرده است. در بخش روش‌شناسی، از سه رویکرد مکمل استفاده شده است: ۱- شبکه عصبی مصنوعی (ANN) جهت پیش‌بینی دقیق قیمت‌ها؛ ۲- رگرسیون چرخشی مارکوف (MSR) برای شناسایی رژیم‌های نوسانی بازار و اثر شوک‌ها؛ ۳- ابزارهای تحلیل تکنیکال، ایچیموکو (RSI) برای تفسیر روندهای بازار. یافته‌ها حاکی از آن است که شبکه عصبی، پیش‌بینی دقیقی ارائه می‌دهد و در آن، شاخص S&P بیشترین اثر را دارد. مدل مارکوف نشان می‌دهد که بازار بیت‌کوین در بلندمدت بیشتر در وضعیت کم‌نوسان قرار دارد، و نرخ بهره آمریکا و EUR/USD از متغیرهای کلیدی‌اند. همچنین، تحلیل تکنیکال، روند کلی صعودی را تأیید می‌کند، اما RSI و ابر ایچیموکو هشدار اصلاحات کوتاه‌مدت را می‌دهند. نتایج پژوهش، کاربرد راهبردی برای تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران بلندمدت و معامله‌گران کوتاه‌مدت دارد و ضرورت توجه به متغیرهای کلان اقتصادی در کنار شاخص‌های فنی را برجسته می‌سازد.	تاریخچه داوری: دریافت: ۱۴۰۳/۸/۱۹ بازنگری: ۱۴۰۳/۸/۲۹ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۲۴ انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۶/۲۵ کلمات کلیدی: بیت کوین شبکه عصبی پیش‌بینی سری‌های زمانی اندیکاتور ایچیموکو بازارهای مالی طبقه‌بندی JEL: B26, C24, C22, C58, E37, N15 نویسنده مسئول: r.bakhshi@ase.ui.ac.ir

۱. مقدمه

بیت کوین اولین و مشهورترین ارز دیجیتال است و قیمت بیت کوین از زمان عرضه تاکنون به شدت نوسان داشته است. این نوسانات قیمتی، سرمایه‌گذاری در بیت کوین را به یک کار پرخطر تبدیل کرده است. با این حال، برخی از افراد معتقدند که می‌توان با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی، جهت حرکت قیمت بیت کوین را در آینده پیش‌بینی کرد. در این مطالعه، به تحلیل قدرت روند قیمت بیت کوین با استفاده از اندیکاتورهای و همچنین پیش‌بینی قیمت بیت کوین ضمن اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر قیمت بیت کوین با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی^۱ و سری زمانی پرداخته می‌شود. بازارهای مالی، مانند بازار بیت کوین، به‌طور ذاتی، پیچیده و غیرخطی هستند. پیش‌بینی جهت و قدرت روند این بازارها، چالشی دشوار برای معامله‌گران و سرمایه‌گذاران است. نتایج مطالعات متعددی نشان داده‌اند که این روش‌ها می‌توانند پیش‌بینی‌های دقیقی از جهت و قدرت روند آینده بازار بیت کوین ارائه دهند.

ارزش بیت کوین در بازار رمزارزها درست مانند یک سهم در بازار بورس می‌باشد که در حال حاضر، از تعدادی الگوریتم در بازار بورس برای پیش‌بینی قیمت‌ها استفاده می‌شود. از آنجاکه، مؤلفه‌های مؤثر بر قیمت بیت کوین متفاوت هستند، لازم است ارزش بیت کوین پیش‌بینی گردد تا تصمیمات صحیح برای سرمایه‌گذاری بر روی آن اتخاذ شود (ولانکار و همکاران، ۲۰۱۸). مدل‌های شبکه عصبی، بویژه شبکه عصبی پرسپترون چند لایه^۲، در پیش‌بینی قیمت بیت کوین دقت بالاتری را نشان می‌دهند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی دقت بیشتری نسبت به مدل‌های سنتی مانند آریمای^۴ سری‌های زمانی^۴ دارد (نظیفی و همکاران، ۱۳۹۲).

باوجوداین، فقدان پژوهش‌های جامع تجربی در زمینه اولویت‌بندی عوامل مؤثر در قیمت بیت کوین و تحلیل قدرت روند احساس می‌شود. در مطالعات صورت گرفته تاکنون، هرکدام از عوامل اقتصادی، عوامل فنی و عوامل اجتماعی مؤثر در رمزارزها جداگانه بررسی شده است و اولویت‌بندی رتبه تأثیرگذاری هر یک از عوامل فنی، اقتصادی و اجتماعی تاکنون مطالعاتی با این مضمون صورت نگرفته است.

در این مطالعه، با به‌کارگیری مدل شبکه عصبی (مدل‌های غیرخطی) و مدل سری‌های زمانی (مدل خطی)، ضمن ارزیابی عوامل مؤثر بر قیمت بیت کوین به پیش‌بینی قیمت بیت کوین پرداخته می‌شود. از طرفی در این پژوهش، برای بررسی دقیق‌تر و دربرگرفتن بخش بیشتری از نوسانات قیمت بیت کوین، طول دوره زمانی افزایش داده شده است. همچنین، تحلیل قدرت روند قیمت در

1. ANN

2. Velankar (2018).

3. MLP

4. ARIMA

اقتصادسنجی مغفول مانده و کمتر به موضوع کاربردی اندیکاتورهای اوسیلاتورها پرداخته شده است که در این مطالعه، با استفاده از اندیکاتورهای اوسیلاتورهای معتبر در بازار مالی، به تحلیل قدرت روند قیمت بیت کوین پرداخته می‌شود.

سؤالاتی که در این مطالعه، به دنبال پاسخ به آنها هستیم، این است که آیا اولویت‌بندی بین متغیرهای مؤثر بر قیمت بیت کوین وجود دارد؟ روند قیمت بیت کوین در آینده چگونه خواهد بود؟ در بخش ۲ این مقاله، به معرفی ادبیات موضوع پرداخته خواهد شد؛ در بخش ۳، چهارچوب مفهومی معرفی و مجموعه داده انتخاب شده تشریح می‌شود؛ در بخش ۴، روش تحقیق و اقتصادسنجی مورد استفاده معرفی می‌گردد؛ در بخش ۵، نتایج تجربی استخراج و درباره آن بحث می‌شود؛ بخش ۶ به نتیجه‌گیری اختصاص خواهد یافت و رهنمودهایی برای تحقیقات آتی ارائه می‌دهد.

۲. مبانی نظری

به‌طور کلی، ارزشها را می‌توان کالاهای اقتصادی دانست که با عرضه و تقاضا در بازار قیمت‌گذاری می‌شوند. ارزشهای مجازی توسط متغیرهای کلان اقتصادی یک کشور مانند تولید ناخالص داخلی، نرخ بهره، تورم، بیکاری و سایر عوامل مؤثر هدایت می‌شوند. عملکرد عرضه یا ثابت است (اگر مقدار ارز ثابت باشد) یا طبق برخی از الگوریتم‌های شناخته شده عمومی تکامل می‌یابد، که مورد اول در خصوص بازار بیت کوین است. تقاضای بازار ناشی از انتظارات در مورد توسعه اقتصادی کلان نیست، بلکه فقط با سود پیش‌بینی شده، از نگهداشتن ارز و فروش آن در زمانی دیگر هدایت می‌شود، زیرا نگهداشتن رمزارز هیچ سود دیگری ندارد (کریستوفک، ۲۰۱۳). نظریه‌های اقتصادی قیمت بیت کوین شامل چندین جنبه مهم است:

الف) ویژگی‌های بازار: بیت کوین به‌عنوان یک دارایی با ویژگی‌های خاص، مانند نوسانات شدید قیمت، مورد بررسی قرار می‌گیرد. این نوسانات به‌دلیل رفتارهای بازار غیرمستحکم و مقایسه با دارایی‌های سنتی مانند طلا است (گرونوالد، ۲۰۱۴)؛ ب) هزینه‌های استخراج: نظریه‌های اقتصادی نشان می‌دهند که هزینه‌های استخراج بیت کوین معمولاً پس از تغییرات قیمت آن تغییر می‌کنند، به این معنی که قیمت بیت کوین بر هزینه‌های استخراج تأثیر می‌گذارد (مارتینسن، ۲۰۲۲)؛ ج) نظریه‌های عرضه و تقاضا: قیمت بیت کوین تحت تأثیر عوامل اقتصادی خرد و کلان، مانند تقاضا و عرضه، قرار دارد. این عوامل می‌توانند شامل شاخص‌های بازار سهام و نرخ ارز باشند (کرولوا، ۲۰۲۴).

1. Kristoufek, L. (2013).
2. Gronwald (2014).
3. Marthinsen (2022).
4. Koroleva (2024).

نظریه بازار کارا: نتایج برخی تحقیقات نشان می‌دهند که قیمت بیت کوین به اطلاعات عمومی به سرعت واکنش نشان می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک کالای اقتصادی استاندارد در نظر گرفته شود (بارتوس، ۲۰۱۵).

این مطالعه براساس مدل عرضه و تقاضای بیت کوین می‌باشد. عوامل مؤثر بر قیمت بیت کوین شامل مجموعه‌ای از عوامل اقتصادی، اجتماعی، تکنولوژیکی و سیاسی است. عوامل به تحلیلگران و سرمایه‌گذاران کمک می‌کنند تا با درک بهتر از دینامیک‌های بازار، تصمیمات بهتری در زمینه سرمایه‌گذاری در بیت کوین بگیرند. متغیر وابسته، قیمت بیت کوین است؛ چهار متغیر مستقل وجود دارد که اصل عرضه و تقاضا را نشان می‌دهد: اول، تعداد بیت کوین در گردش بیانگر کل عرضه پول است؛ دوم، تعداد کل معاملات روزانه بیت کوین که اندازه اقتصاد بیت کوین است؛ سوم، سختی استخراج رمزارز، سرعت پول را اندازه‌گیری می‌کند و با ضرب تعداد رمزارزها در تعداد روزهای سپری شده از زمان آخرین معامله، هزینه این رمزارزها محاسبه می‌شود؛ چهارم، نرخ مبادله روزانه بین دلار و یورو بیانگر سطح عمومی قیمت‌ها است. همچنین از شاخص استاندارد اند پورز ۲۵۰۰ و شاخص داوجونز، جفت ارز، بازار فارکس، قیمت طلا، نرخ بهره آمریکا و قیمت نفت به عنوان متغیرهای مستقلی که نمایانگر وضعیت عمومی اقتصاد جهانی است، استفاده شده است.

شکل‌گیری قیمت بیت کوین را می‌توان در یک نسخه توسعه داده شده از مدل بارو (۱۹۷۹) برای استاندارد طلا تحلیل کرد. برای مقایسه، پایه پول ارز مجازی بیت کوین با یک ارز سنتی تحت کنترل دولت مانند دلار در نظر گرفته می‌شود. به همین ترتیب، فرض می‌شود که کاربران باید بیت کوین را به دلار یا سایر ارزهای سنتی تبدیل کنند، زیرا آنها در اقتصاد از ارزهای سنتی برای خرید کالا و خدمات استفاده می‌کنند. فرض می‌شود B نشان‌دهنده کل بیت کوین‌های در گردش است و P^B نشان دهنده نرخ ارز بیت کوین (بارو، ۱۹۷۹). سپس، کل پول بیت کوین، M^s ، توسط $P^B B$ حاصل می‌شود:

$$M^s = P^B B \quad (1)$$

فرض بر این است که تقاضا برای بیت کوین به سطح قیمت عمومی کالاها و خدمات، P ، اندازه اقتصاد بیت کوین، G ، و سرعت گردش بیت کوین، V ، بستگی دارد. سرعت بیت کوین، سرعت استفاده از یک واحد بیت کوین برای خرید کالا و خدمات را اندازه‌گیری می‌کند و به هزینه فرصت برای نگهداری آن بستگی دارد (تورم و نرخ بهره).

$$M^d = PG/V \quad (2)$$

1. Bartoš (2015).

2. S&P 500

3. Barro

4. Barro, R. J. (1979).

تبادل بین عرضه و تقاضا، حاکی از رابطه قیمت تعادلی است:

$$P^B = PG / VB \quad (3)$$

قیمت با معادله (۳) ارائه می‌شود، که به این معنی است قیمت بیت کوین با سرعت بیت کوین در گردش رابطه عکس، و با اندازه اقتصاد بیت کوین و سطح عمومی قیمت رابطه مستقیم دارد (بوویور و سلمی، ۲۰۱۴). برای بررسی فرضیه‌های شکل‌گیری قیمت: ۱- نیروهای عرضه و تقاضای بازار بیت کوین؛ ۲- جذابیت بیت کوین برای سرمایه‌گذاران؛ ۳- تحولات اقتصادی و کلان جهانی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۳. پیشینه پژوهش

تأثیر هر یک از محققان بسیاری که در زمینه قیمت بیت کوین فعالیت نموده‌اند، در ادامه اشاره به تحقیقات‌شان می‌شود. در اینجا چند نمونه از تحقیقات منتشر شده در مورد پیش‌بینی قیمت بیت کوین و قدرت روند آن آورده شده است:

ژائو (۲۰۲۴): این مطالعه مدل‌های یادگیری ماشین، از جمله رگرسیون خطی و مدل‌های شبکه عصبی را برای پیش‌بینی قیمت بیت کوین مقایسه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی و مقایسه با رگرسیون خطی، بویژه در زمان نوسانات قیمت، عملکرد بهتری دارند.

خدیجه (۲۰۲۴): این تحقیق از یادگیری تقویتی عمیق استفاده می‌کند و بر اهمیت داده‌های بلاک‌چین در پیش‌بینی قیمت بیت کوین تأکید می‌کند. نتیجه‌گیری می‌شود که اطلاعات خاص بلاک‌چین برای پیش‌بینی‌های دقیق ضروری است.

ژو (۲۰۲۳): این مطالعه از یک مدل پیش‌بینی ترکیبی با رگرسیون بردار پشتیبان دوقلو استفاده و ۲۷ عامل مؤثر بر قیمت بیت کوین را شناسایی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که مدل رگرسیون بردار پشتیبان دوقلو، بهترین دقت پیش‌بینی را دارد.

سرافینی (۲۰۲۰): این مقاله تأثیر احساسات بازار بر قیمت بیت کوین را با استفاده از روش‌های آماری و یادگیری عمیق بررسی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که احساسات یک پیش‌بینی‌کننده مهم است و مدل آریمای در مقایسه با شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی‌ها عملکرد بهتری دارد.

1. Bouoiyour & Selm (2014).
2. Zhao, C. (2024).
3. Khadija, M. et al. (2024).
4. Zhu, Y. et al. (2023)
5. XGBoost-WOA-TWSVR
6. Serafini, G. et al. (2020).

اگرwal (۲۰۱۹): ۱: این مطالعه پارامترهای مختلف مؤثر بر پیش‌بینی قیمت بیت کوین را با استفاده از مدل‌های یادگیری عمیق تحلیل می‌کند و تأثیر عوامل اجتماعی-اقتصادی را مورد بررسی قرار می‌دهد.

آذری (۲۰۱۹): ۲: این تحقیق از مدل آری برای پیش‌بینی قیمت بیت کوین استفاده می‌کند و اثربخشی آن را در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت نشان می‌دهد، اما محدودیت‌هایی در شناسایی نوسانات در زمان نوسانات قیمت دارد.

ژی (۲۰۱۹): ۳: این مطالعه به مقایسه روش‌های یادگیری عمیق برای پیش‌بینی قیمت بیت کوین می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های شبکه عصبی حافظه طولانی کوتاه‌مدت ۴ در پیش‌بینی قیمت بهتر از سایر مدل‌ها عمل می‌کنند، در حالی که مدل‌های شبکه‌های عصبی عمیق ۵ برای پیش‌بینی نوسانات قیمت مؤثرتر هستند.

چن، (۲۰۲۳): ۴: این تحقیق، به بررسی تأثیر متغیرهای مختلف بر قیمت بیت کوین می‌پردازد و نشان می‌دهد که قیمت اتریوم و شاخص‌های بازار سهام ژاپن از ۲۰۱۸ به بعد تأثیر بیشتری دارند.

(وایونی، ۲۰۲۴): ۷: این تحقیق، به بررسی تأثیر متغیرهای کلان اقتصادی بر قیمت بیت کوین در ایالات متحده می‌پردازد و نشان می‌دهد که بین قیمت طلا و قیمت بیت کوین رابطه مثبت و معناداری وجود دارد.

در این مطالعه، سعی می‌شود ضمن مدل‌سازی قیمت بیت کوین از طریق مجموعه عوامل اقتصادی، فنی و اجتماعی، با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی و سری‌های زمانی، سعی شده عوامل مؤثر در قیمت بیت کوین را اولویت‌نمایی نماید.

تاکنون مطالعات صورت گرفته، تنها به پیش‌بینی پرداخته‌اند. در این پژوهش، سعی شده است در کنار پیش‌بینی قیمت بیت کوین، به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر آن نیز بپردازد. یکی دیگر از مراحل این مطالعه، تحلیل روند قیمت بیت کوین بوده که در هیچ‌یک از مطالعات گذشته، قدرت روند قیمت بیت کوین ارزیابی نشده است.

-
1. Aggarwal, A. et al. (2019).
 2. Azari, A. (2019).
 3. Ji (2019).
 4. LSTM
 5. DNN
 6. Chen (2023).
 7. Wahyuni (2024).

۴. روش شناسی پژوهش

با توجه به این چهارچوب مفهومی، داده‌های سری زمانی برای متغیر وابسته، قیمت روزانه بیت کوین و ۱۴ متغیر مستقل شامل متغیرهای فنی مرتبط با بیت کوین شامل تعداد معاملات روزانه بیت کوین، سختی روزانه شبکه بیت کوین، میزان ذخیره روزانه بیت کوین، حجم روزانه معاملات بیت کوین، متغیرهای اجتماعی شامل تعداد روزانه پست‌های ارسالی مرتبط با بیت کوین، تعداد روزانه جستجوی کلمات مرتبط با بیت کوین و متغیرهای اقتصادی شامل شاخص استاندارد اند پورز، شاخص قیمت سهام بورس نیویورک، شاخص دلار، نرخ بهره آمریکا و قیمت نفت می‌باشد.

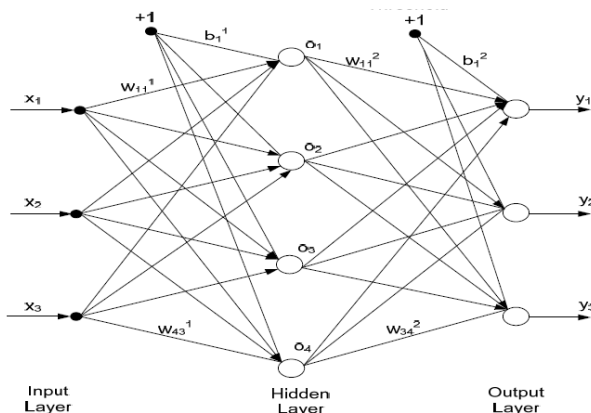
دوره زمانی ۹ ژوئیه ۲۰۱۴ (شروع بازار معامله بیت کوین) تا ۹ ژوئیه ۲۰۲۳ روزانه جمع‌آوری شده است. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این مطالعه، اس پی اس اس ۲ برای سری‌های زمانی و متلب ۳ برای شبکه عصبی می‌باشد. تمام سری‌های زمانی در این پژوهش، از وبگاه‌های^۴ معتبر بارگیری شدند. همچنین، از دو پراکسی برای میزان شناخت عمومی و علاقه به بیت کوین استفاده شده است: اول، تعداد جستجوهای بیت کوین در گوگل و دوم، تعداد روزانه توییت‌های مربوط به بیت کوین که از وبگاه مربوطه^۵ بارگیری شده است. برای واژه‌های کلیدی، هشتگ مربوطه^۶ به کار رفته است.

۱-۴. تصریح مدل

روش تحقیق در این مقاله، به دو بخش تشخیص قدرت روند قیمت بیت کوین و پیش‌بینی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر قیمت بیت کوین تقسیم می‌شود. در این پژوهش، برای تشخیص قدرت روند قیمت بیت کوین، از اندیکاتورهای کمک گرفته شده و ابزار تحلیلی سری‌های زمانی و شبکه‌های عصبی جهت رتبه‌بندی عوامل مؤثر و پیش‌بینی قیمت بیت کوین به کار گرفته شده است.

شبکه عصبی مصنوعی: یکی از متداول‌ترین انواع شبکه‌های پیش‌رونده، شبکه‌های پرسپترون چند لایه می‌باشند که در این تحقیق نیز از آنها استفاده شده است. این شبکه‌ها از نوع شبکه‌های چندلایه‌ای می‌باشند. در لایه اول (لایه ورودی)، اطلاعات ورودی سیستم به شبکه تغذیه می‌شود. لایه خروجی که خروجی‌های شبکه در آن محاسبه می‌شود. لایه‌های بین لایه ورودی و لایه خروجی، لایه‌های مخفی نامیده می‌شوند که پردازش داده‌ها در آنها صورت می‌گیرد. علت اینکه به این شبکه‌ها، پیش‌رونده گفته می‌شود، این است که خروجی هر لایه به عنوان ورودی لایه بعد در نظر گرفته می‌شود.

1. standard & poors500
2. SPSS
3. MATLAB
4. investing.com، coindesk.com و quandl.com
5. bitcoinplus.com
6. " # Bitcoin " ، " # BTC " ،



شکل ۱: معماری یک شبکه عصبی چند لایه پیشرو

Figure 1: Architecture of a Multilayer Perceptron (MLP)

پرسپترون چند لایه، یک نوع شبکه عصبی است که از چندین لایه نورون تشکیل شده و برای حل مسائل پیچیده یادگیری ماشین به کار می‌رود. این مدل شامل لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و لایه خروجی است. در ادامه، اجزای اصلی این مدل و فرمول‌های مربوط به آن به شرح ذیل می‌باشد. شبکه‌های عصبی چند لایه، یکی از روش‌های محبوب در یادگیری عمیق است. این مدل شامل چندین لایه از نورون‌ها است که به صورت پیوسته به هم متصل شده‌اند. بازدهی این روش‌ها در مدل سازی فرایندهایی است که رفتاری به شدت غیرخطی دارند. هر مدل شبکه عصبی شامل یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک یا چند لایه پنهان می‌باشد. در کاربرد شبکه عصبی در پیش‌بینی، می‌توان آن را به عنوان یک تابع غیرخطی پارامتری در نظر گرفت، که بر روی مجموعه‌ای از داده‌ها به کار می‌رود. یکی از این توابع غیرخطی که در پیش‌بینی سری‌های زمانی بسیار متداول است، تانژانت هیپربولیک است. این تابع به عنوان تابع فعال سازی در شبکه عصبی استفاده شده است. این تابع غیرخطی را می‌توان به صورت ترکیبی از قطعاتی غیرخطی (تابع فعال سازی) به کار گرفت که هر یک توجیه کننده بخشی از رفتار کلی داده‌های مورد استفاده در پیش‌بینی‌اند. وزن‌ها با استفاده از قانون یادگیری به روز می‌شوند:

$$w_{ij}^{(l)} = w_{ij}^{(l)} - \eta \delta_j^{(l)} a_i^{(l-1)} \quad (4)$$

که در آن، η نرخ یادگیری و $\delta_j^{(l)}$ خطای نورون j در لایه است. مراحل تا زمانی که تابع هزینه به حد قابل قبولی کاهش یابد یا تعداد تکرارها به پایان برسد، تکرار می‌شود. سپس مدل پس از آموزش، بر

روی داده‌های تست ارزیابی می‌شود تا عملکرد آن بررسی شود و با استفاده از مدل آموزش‌دیده، می‌توان پیش‌بینی‌هایی برای داده‌های جدید انجام داد.

سری زمانی به مجموعه‌ای از مشاهدات X_t گفته می‌شود که هر یک در زمان بخصوص t ثبت شده اند و شامل مدل اتورگرسیون، مدل میانگین متحرک، مدل آرما و مدل آرما می‌باشند. هنگام استفاده از این روش در مرحله اول، ارزیابی مانایی متغیرها باید مورد توجه قرار گیرد. اگر سری زمانی مانا نباشد، با تفاضل مرتبه یک ایستا می‌شود. اگر یک سری زمانی نامانا را در یک مدل رگرسیون قرار دهیم، تخمین زنده‌های حداقل مربعات معمولی (OLS) سازگار نبوده و آزمون‌های آماری معتبر نیستند. بنابراین، ممکن است یک رابطه علی و از نظر آماری معنادار بین دو متغیر استنباط شود، در صورتی که چنین رابطه‌ای وجود ندارد (انگل و همکاران، ۱۹۸۷).

به منظور اجتناب از رگرسیون کاذب، آزمون ایستایی انجام می‌شود. اگر این مجموعه دارای یک روند باشد، باید زمان به‌عنوان یک متغیر توضیحی در مدل قرار گیرد. علاوه بر این، می‌توان p تا از A_{yt} را مورد بررسی قرار داد که پویایی روند را به حساب می‌آورد:

$$\Delta y_t = a_0 + \delta t + \theta y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (5)$$

برای انتخاب مدل میانگین شرطی، پس از جمع‌آوری داده‌ها با توجه به اینکه داده‌ها به‌صورت روزانه جمع‌آوری شده بود و مؤلفه فصلی و تناوبی در آنها مشاهده نمی‌شود، داده‌ها به‌صورت یک سری داده‌های یک متغیره ذخیره گردید. با توجه به نمودارهای ACF و PACF نمونه‌ای و قواعد موجود و بررسی مشاهدات و برازش چندین مدل ARMA و با بررسی مقدار معیار آکائیک، مدل با کمترین مقدار AIC انتخاب و این ملاک به‌صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$AIC(M) = n \ln \hat{\sigma}_a^2 + 2M \quad (6)$$

n تعداد مشاهدات در نظر گرفته شده و M تعداد پارامترهای الگو است. الگوی خود رگرسیون با میانگین متحرک هم‌جمعی (ARIMA) که به روش باکس جنکینز مشهور است، برخلاف مدل‌های اقتصادسنجی، پیش‌بینی رفتار یک متغیر با مربوط کردن آن به مجموعه‌ای از متغیرهای دیگر براساس یک رابطه علی صورت نمی‌گیرد، بلکه پیش‌بینی صرفاً براساس رفتار همان متغیر (یا متغیرهای دیگر) در گذشته انجام می‌پذیرد.

تشخیص روند سهم، یکی از دغدغه‌های مهم معامله‌گران است. ابزارهای متنوعی در بستر تحلیل تکنیکال وجود دارد که تحلیل‌گران با استفاده از اندیکاتور می‌توانند به راحتی روند آینده هر سهمی را در بازار شناسایی کنند. از بهترین اندیکاتور و شاخص‌های پیش‌بینی روند و تشخیص روند می‌توان به اندیکاتور مکدی^۲ سیستم معاملاتی ابرهای ایچیموکو^۳ اشاره کرد. در پیش‌بینی و اولویت‌بندی

1. Engle, R., Granger, C. (1987).

2. MACD

3. Ichimoku clouds

عوامل مؤثر بر قیمت بیت کوین، از دو روش شبکه عصبی (مدل غیرخطی) و سری های زمانی (مدل خطی) استفاده خواهد شد.

۲-۴. داده های تحقیق

در این مطالعه، مدل موردبررسی به صورت زیر تعریف شده است:

$$\text{Price} = B_0 + B_1 \text{Transaction} + B_2 \text{Difficulty} + B_3 \text{supply} + B_4 \text{volume} + B_5 \text{Gold} + B_6 \text{Sp} + B_7 \text{Dw} + \text{rate} + B_8 \text{Tweets} + B_9 \text{Gtrend} + B_{10} \text{oil} + B_{11} \text{dummy} \quad (7)$$

price: قیمت بیت کوین؛ شاخص قیمت بیت کوین به دلار

Transaction: تعداد معاملات؛ تعداد معاملات روزانه بیت کوین

Difficulty: سختی شبکه؛ سختی روزانه شبکه بیت کوین

Supply: ذخیره بیت کوین؛ میزان ذخیره بیت کوین

Volume: حجم معاملات؛ تعداد روزانه بیت کوین در گردش

Oil: قیمت جهانی نفت؛ نماینده متغیرهای کلان اقتصادی است که از بین متغیرهای کلان اقتصادی،

قیمت جهانی نفت به عنوان یک متغیر برونزای قدرتمند می باشد.

Gold: قیمت جهانی طلا؛ نماینده قیمت دارایی های رقیب است که از بین قیمت دارایی های رقیب،

قیمت جهانی طلا به عنوان متغیری با اهمیت در بسیاری از تحولات پولی و مالی بین المللی می باشد.

S&P: شاخص استاندارد اند پورز؛ شاخص مالی جهانی

DW: شاخص داوجونز؛ شاخص مالی جهانی

Index: نرخ ارز؛ شاخص دلار

Rate: نرخ بهره آمریکا؛ شاخص مالی جهانی

Forex: فارکس؛ نرخ مبادله میان ارزهای دلار و یورو (نماینده قیمت دارایی های رقیب است که نرخ

ارز به عنوان یک متغیر مهم و تأثیرگذار بر شاخص قیمت سهام، حجم انتخاب شده است).

Tweets: هشتگ بیت کوین؛ تعداد روزانه پست های ارسالی مرتبط با بیت کوین در توییتر

Gtrend: سرچ بیت کوین در گوگل؛ تعداد روزانه جست و جوی کلمات مرتبط با بیت کوین

DUM: شاخص ناآرامی سیاسی؛ متغیر مجازی در صورت وجود ناآرامی سیاسی عدد ۱ و در

غیراین صورت عدد صفر را اتخاذ می کند.

بیت کوین از زمان پیدایش خود در سال ۲۰۰۹، مسیری پر فراز و نشیب را طی کرده است. پس

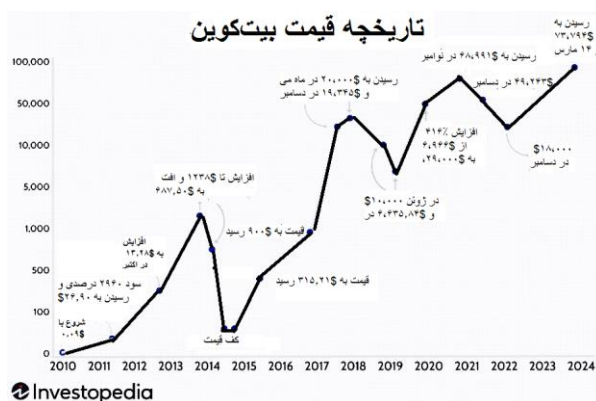
از یک شروع آرام، قیمت این ارز دیجیتال در سال های اولیه به آرامی افزایش یافت. اما در سال ۲۰۱۷،

بیت کوین با رشد خیره کننده ای مواجه شد و به اوج تاریخی خود رسید. این رشد سریع به دلیل

افزایش علاقه سرمایه گذاران بزرگ، پذیرش بیشتر در بازار و توسعه زیرساخت های مرتبط با ارزهای

دیجیتال بود. با این حال، این رشد دیری نپایید و در سال ۲۰۱۸، بیت کوین با یک سقوط شدید

مواجه شد. رویدادهای مختلفی بر روند قیمت بیت کوین تأثیر گذاشته‌اند. از جمله این رویدادها می‌توان به تغییر در مقررات دولتی در کشورهای مختلف، هک صرافی‌های ارز دیجیتال، ورود شرکت‌های بزرگ به بازار ارزهای دیجیتال، نوسانات بازارهای سنتی و رویدادهای جهانی مانند همه‌گیری کووید-۱۹ اشاره کرد. هر یک از این رویدادها به نحوی بر اعتماد سرمایه‌گذاران و در نتیجه بر قیمت بیت کوین تأثیر گذاشته‌اند. علاوه بر این، عوامل فنی مانند عرضه محدود بیت کوین و توسعه فناوری بلاک‌چین نیز نقش مهمی در تعیین قیمت این ارز دیجیتال ایفا می‌کنند.



شکل ۲: روند زمانی قیمت بیت کوین

Figure 2: Bitcoin Price Trend

روند تعداد معاملات: تعداد معاملات روزانه بیت کوین به‌طور کلی از سال ۲۰۱۴ رو به افزایش بوده است. این رشد نشان‌دهنده افزایش پذیرش بیت کوین به‌عنوان یک روش پرداخت و دارایی سرمایه‌گذاری است. نوسانات در تعداد معاملات معمولاً به تغییرات قیمت، اخبار مهم، و رویدادهای اقتصادی مرتبط با بیت کوین بستگی دارد. در زمان‌های رونق بازار، تعداد معاملات افزایش می‌یابد و در دوره‌های رکود، کاهش می‌یابد.

روند سختی شبکه: سختی استخراج بیت کوین به‌تدریج افزایش یافته است. این افزایش نشان‌دهنده رقابت بیشتر میان ماینرها و افزایش قدرت پردازشی شبکه است. تغییرات در سختی شبکه معمولاً به تعداد ماینرها و قدرت پردازشی موجود بستگی دارد. در زمان‌هایی که ماینرهای بیشتری وارد شبکه می‌شوند، سختی افزایش می‌یابد.

روند ذخیره بیت کوین: ذخیره بیت کوین به‌دلیل محدودیت عرضه (۲۱ میلیون بیت کوین) به‌تدریج افزایش می‌یابد. با توجه به الگوریتم نصف شدن یا هالوینگ، عرضه جدید کاهش می‌یابد.

نوسانات در ذخیره بیت کوین به تغییرات در تقاضا و قیمت بستگی دارد. در زمان‌هایی که تقاضا برای بیت کوین افزایش می‌یابد، ممکن است ذخیره در دسترس کاهش یابد.

روند حجم معاملات: حجم معاملات روزانه معمولاً با نوسانات قیمت ارتباط دارد. در زمان‌های رونق، حجم معاملات افزایش می‌یابد. اخبار مثبت یا منفی، تغییرات قیمت و رویدادهای اقتصادی، تأثیر زیادی بر حجم معاملات دارند.

روند هشتگ بیت کوین: تعداد هشتگ‌ها و پست‌های مرتبط با بیت کوین در توییتر از سال ۲۰۱۴ به‌طور کلی افزایش یافته است. رویدادهای خبری، تغییرات قیمت و تأثیر شخصیت‌های معروف بر بازار می‌تواند باعث نوسانات در تعداد هشتگ‌ها شود.

روند سرچ بیت کوین در گوگل: جستجوهای مرتبط با بیت کوین در گوگل معمولاً با نوسانات قیمت ارتباط دارد. افزایش قیمت یا اخبار مهم باعث افزایش جستجوها می‌شود، در حالی که در دوره‌های رکود، جستجوها کاهش می‌یابد.

روند قیمت جهانی نفت: قیمت جهانی نفت از سال ۲۰۱۴ تحت تأثیر عوامل اقتصادی و سیاسی قرار داشته است. تغییرات در عرضه و تقاضا، تحریم‌ها و بحران‌های سیاسی می‌تواند بر قیمت نفت تأثیر بگذارد که به نوبه خود بر بازارهای مالی تأثیرگذار است.

روند قیمت جهانی طلا: قیمت طلا به‌عنوان یک دارایی امن از سال ۲۰۱۴ نوسانات زیادی را تجربه کرده است. بحران‌های اقتصادی، تغییرات نرخ بهره و ناآرامی‌های سیاسی می‌تواند بر قیمت طلا تأثیر بگذارد.

روند نرخ ارز: شاخص دلار آمریکا از سال ۲۰۱۴ تحت تأثیر سیاست‌های اقتصادی و مالی آمریکا قرار داشته است. تغییرات در سیاست‌های مالی فدرال رزرو، نرخ بهره و وضعیت اقتصادی می‌تواند بر نرخ ارز تأثیر بگذارد.

روند شاخص داو جونز: از سال ۲۰۱۴ رشد قابل توجهی داشته است. اخبار اقتصادی، تغییرات در سیاست‌های مالی و عملکرد شرکت‌های بزرگ می‌تواند بر این شاخص اثرگذار باشد.

روند شاخص استاندارد اند پورز: این شاخص نیز مانند داو جونز رشد داشته است. عملکرد شرکت‌ها، تغییرات اقتصادی و بحران‌های مالی می‌تواند بر این شاخص تأثیر بگذارد.

روند نرخ بهره آمریکا: نرخ بهره آمریکا از سال ۲۰۱۴ تحت تأثیر سیاست‌های فدرال رزرو قرار داشته است. تغییرات اقتصادی و تصمیمات فدرال رزرو در مورد نرخ بهره می‌تواند تأثیر زیادی بر بازارهای مالی داشته باشد.

روند جفت ارز فارکس: نرخ برابری یورو به دلار آمریکا از سال ۲۰۱۴ نوسانات زیادی را تجربه کرده است. سیاست‌های مالی اروپا و آمریکا، بحران‌های اقتصادی و تغییرات سیاسی می‌تواند بر نرخ برابری ارزها تأثیر گذارد.

روند شاخص ناآرامی سیاسی: ناآرامی‌های سیاسی از سال ۲۰۱۴ تأثیر زیادی بر بازارهای مالی داشته‌اند. وقوع بحران‌های سیاسی یا اجتماعی می‌تواند باعث افزایش ناآرامی سیاسی و تأثیر بر بازارهای مالی شود.

۵. نتایج حاصل از برآورد

۵-۱. تحلیل قدرت روند قیمت بیت کوین

تحلیل قدرت روند قیمت بیت کوین با استفاده از اندیکاتورهای مکدی و ایچیموکو، یکی از روش‌های معتبر در تحلیل تکنیکال است. این دو ابزار به معامله‌گران کمک می‌کنند تا نقاط ورود و خروج مناسب را شناسایی کرده و روند بازار را بهتر درک کنند و تصویر واضح‌تری از وضعیت بازار ارائه دهند، اما همواره توصیه می‌شود که تحلیل تکنیکال با دیگر عوامل مانند تحلیل بنیادی و اخبار بازار ترکیب شود تا تصمیمات معاملاتی بهتری اتخاذ گردد.



شکل ۳: تحلیل روند قیمت بیت کوین با استفاده از اندیکاتور مکدی
Figure 3: Analysis of Bitcoin Price Trend Using the MACD Indicator

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در نمودار سالانه مکدی که سال‌های اخیر را به تصویر کشیده است، قدرت روند در دو سال آخر نزولی بوده و نمودارهای میله‌ای زیر خط صفر قرار داشتند و در سال ۲۰۲۰ اولین نمودار میله‌ای بالای خط صفر تشکیل شده و نشان از حرکت صعودی بیت کوین در سال آتی داشت و این روند صعودی قیمت بیت کوین، قدرت لازم برای صدور سیگنال خرید را دارد.

تقاطع صعودی: وقتی خط مکدی از زیر خط سیگنال عبور کند و به سمت بالا برود، این یک سیگنال خرید محسوب می‌شود که در شکل بالا، سیگنال خرید صادر شده است. همچنین اگر

هیستوگرام مکدی در حال افزایش باشد، نشان‌دهنده قدرت روند فعلی است که روند صعودی در حال قدرت گرفتن می‌باشد.



شکل ۴: تحلیل روند قیمت بیت کوین با استفاده از اندیکاتور ایچیموکو

Figure 4: Analysis of Bitcoin Price Trend Using the Ichimoku Indicator

منبع: یافته‌های پژوهش

ایچیموکو به دلیل اینکه شامل پیش‌بینی‌هایی برای آینده نیز هست، می‌تواند به تحلیلگران کمک کند تا نقاط ورود و خروج مناسبی را شناسایی کنند. نمودار کلی قیمت بیت کوین در سیستم معاملاتی ایچیموکو نشان می‌دهد با وجود اینکه ابر آینده نزولی است ولی ابر بعدی صعودی است و نوید بخش قدرت روند صعودی قیمت بیت کوین در سال‌های آتی می‌باشد و هم‌اکنون قیمت بیت کوین در حال کف سازی برای جهش قیمت در سال‌های آینده است. خط تنکن سن میانگین کوتاه‌مدت است و معمولاً به عنوان سیگنال‌های سریع‌تری برای تغییر روند استفاده می‌شود. اگر خط تنکن سن از بالای خط کیجون سن عبور کند، این یک سیگنال خرید است که این سیگنال خرید در این زمان در شکل بالا صادر شده است.

۲-۵. پیش‌بینی قیمت با مدل شبکه عصبی

برای آموزش شبکه عصبی، از یک شبکه با پیش‌روا استفاده شده است که دارای یک لایه ورودی با چهارده متغیر (که همان متغیرهای مستقل می‌باشند و اینجا به عنوان متغیرهای لایه ورودی آورده می‌شوند) و هشت گره یا واحد می‌باشد (متغیرهای ورودی به علاوه بایاس یا عرض از مبدأ، و تعداد متغیرهای دسته‌بندی شده لایه ورودی). تعداد واحد‌های متغیر ورودی برابر تعداد متغیرهای مستقل می‌باشد. این شبکه همچنین دارای یک لایه پنهان با ۷ گره است و لایه خروجی نیز قیمت بیت کوین می‌باشد. شکل (۵) بیانگر لایه‌های شبکه عصبی این مطالعه و مدل مورد استفاده شبکه

پیش‌خور^۱ و تابع غیرخطی تانژانت هایپربولیک است. تعداد تکرار آموزش توسط نرم افزار به صورت خودکار تا جایی که خطا پس از کم شدن شروع به افزایش می‌کند، انتخاب می‌شود. شبکه به صورت اتفاقی^۲ و غیرقابل بازگشت به شبکه^۳ تدوین شده است؛ زیرا الگوریتم غیرقابل بازگشت به شبکه معمولاً برای داده‌های کم تعداد انتخاب می‌شود. نتایج به دست آمده از مدل شبکه عصبی در جدول (۱) خلاصه شده است.

جدول ۱: نتایج مدل شبکه عصبی

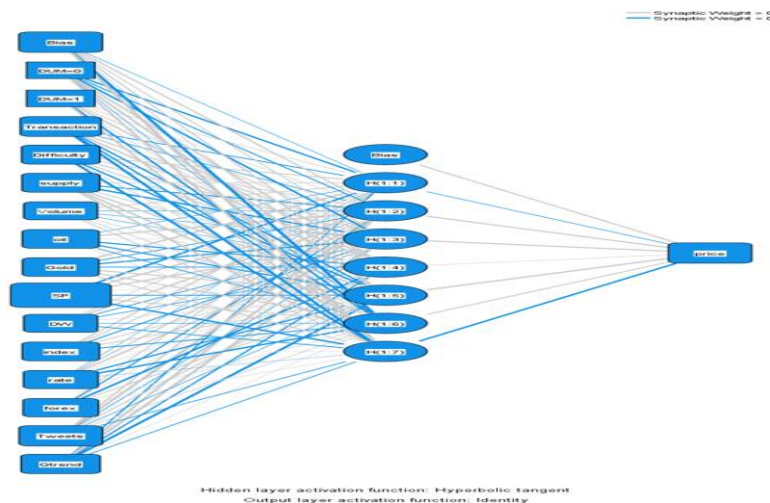
Table1: Neural Network Model Results

نمونه یادگیری	تعداد نمونه اختصاص یافته	مجموع مربعات خطا	۲۲,۹۷
	۱۶۳۳	خطای نسبی	۰,۰۲۸
نمونه آزمون	تعداد نمونه اختصاص یافته	مجموع مربعات خطا	۱۳,۷۱۸
	۷۲۰	خطای نسبی	۰,۰۳۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در دوره زمانی این مطالعه ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و یادگیری اختصاص داده شده و ۳۰ درصد داده مدل آموزش دیده را آزمون نموده‌اند و نتایج جدول ۱ خلاصه‌ای از برآورد دو نمونه آموزش و آزمون می‌باشد. برای آموزش سیستم تعریف می‌شود و سپس یک دوره زمانی جهت اعتبارسنجی مدل اختصاص وزن‌های سیناپسی ارائه شده می‌باشد. در این مطالعه، پرسپترون چند لایه دارای یک لایه‌ی پنهان که ۷ واحد در لایه می‌باشد و تابع فعال‌سازی لایه پنهان، تانژانت هایپربولیک و تابع فعال‌سازی لایه خروجی، تابع شناسایی^۴ می‌باشد. در شکل خطوط پررنگ نشانه وزن‌هایی هستند که توسط تابع فعال‌سازی، فعال شده‌اند و وزن سیناپسی مثبتی داشته‌اند و خطوط کمرنگ نیز نشانه‌های وزن‌های منفی هستند که توسط تابع فعال‌سازی، فعال نشده‌اند. وزن‌ها براساس آموزش شبکه عصبی و یادگیری آن فعال شده و در خروجی آن تأثیرگذار بوده‌اند.

1. Feed-forward
2. randomize
3. batch
4. identity



شکل ۵: وزن‌های سیناپسی و لایه‌های شبکه عصبی

Figure 5: Synaptic Weights and Neural Network Layers

مآخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۲: اهمیت متغیرهای توصیفی

Table.2: Importance of Descriptive Variables

متغیرهای مستقل	میزان اهمیت	ضرایب برآورد شده	رتبه اثرگذاری متغیر	نوع رابطه متغیر با قیمت بیت کوین
شخص استنادده پورز	۰,۲۰۶	۰,۷۱	۱	رابطه مثبت
هشتک بیت کوین	۰,۱۰۳	۰,۳۲	۲	رابطه مثبت
تعداد معاملات	۰,۰۸۹	۰,۱۰	۳	رابطه مثبت
سرچ بیت کوین در گوگل	۰,۰۷۷	۰,۱۵	۴	رابطه مثبت
سختی شبکه	۰,۰۷۱	۰,۲۴	۵	رابطه مثبت
ذخیره بیت کوین	۰,۰۶۸	-۰,۲۳	۶	رابطه منفی
نرخ ارز	۰,۰۶۵	۰,۰۸	۷	رابطه مثبت
قیمت جهانی نفت	۰,۰۶۱	۰,۰۴	۸	رابطه مثبت
قیمت جهانی طلا	۰,۰۶۰	۰,۰۰۲	۹	رابطه مثبت
فارکس	۰,۰۵۳	۰,۰۴	۱۰	رابطه مثبت
نرخ بهره آمریکا	۰,۰۴۹	-۰,۱۰	۱۱	رابطه منفی
شاخص داو جونز	۰,۰۴۴	۰,۱۷	۱۲	رابطه مثبت
حجم معاملات	۰,۰۴۳	-۰,۰۶	۱۳	رابطه منفی
شاخص ناآرامی سیاسی	۰,۰۰۹	-۰,۰۵	۱۴	رابطه منفی

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول (۲) میزان اهمیت متغیرهای ورودی در مدل‌سازی شبکه عصبی و پیش‌بینی قیمت بیت کوین را نشان می‌دهد و بیانگر این است که نرخ ارز در پیش‌بینی قیمت بیت کوین به روش شبکه عصبی بسیار اهمیت دارد و بیشترین ضریب اهمیت در جدول نیز متعلق به همین متغیر است.

نتایج، میزان اهمیت متغیرها را در پیش‌بینی قیمت بیت کوین کشور که با روش شبکه عصبی انجام شد، نشان می‌دهد. متغیر مهمی که در برآورد قیمت بیت کوین از درجه اهمیت بالایی برخوردار است، شاخص استاندارد اند پورز است و سپس توییت‌های مربوط به هشتگ بیت کوین می‌باشد. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، متغیرهای اجتماعی مانند توییت‌ها بر قیمت بیت کوین بسیار مؤثر است و در الگوسازی قیمت بیت کوین، شاخص بازار سهام آمریکا دارای بالاترین اهمیت می‌باشد. تأثیر متغیرهای مختلف بر قیمت بیت کوین به شرح زیر است:

اعداد معاملات: به‌طور کلی تأثیر مثبتی بر قیمت بیت کوین دارد، به این معنا که افزایش حجم معاملات می‌تواند منجر به افزایش قیمت شود (وانگ، ۲۰۱۶؛ نسوشن، ۲۰۲۳).

سختی شبکه: تأثیر آن متناقض است؛ درحالی‌که نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهند که ممکن است، تأثیر منفی بر قیمت داشته باشد، به‌دلیل افزایش هزینه‌های استخراج (لاموت فرناندز، ۲۰۲۰)، دیگران آن را به عنوان یک عامل خنثی در نظر می‌گیرند (کاجرلند، ۲۰۱۸۴).

ذخیره بیت کوین: تغییرات در ذخایر صرافی‌ها معمولاً با بازده بیت کوین منفی همبستگی دارند، به این معنا که ذخایر بالاتر می‌توانند فشار کاهشی بر قیمت‌ها وارد کنند (هانگ، ۲۰۲۱).
حجم معاملات: مشابه حجم معاملات، معمولاً همبستگی مثبتی با قیمت بیت کوین دارد (وانگ، ۲۰۱۶).
جستجوی گوگل: به‌طور کلی همبستگی مثبتی با قیمت بیت کوین نشان می‌دهد، به این معنا

که افزایش علاقه جستجو می‌تواند قیمت‌ها را بالا

قیمت جهانی نفت: معمولاً تأثیر منفی بر قیمت بیت کوین، بویژه در بلندمدت دارد. ببرد

(آستن، ۲۰۲۴).

-
1. Wang (2016).
 2. Nasution (2023).
 3. Lamothe-Fernández (2020).
 4. Kjærland (2018).
 5. Hoang (2021).
 6. Wang (2016).
 7. Orăștean (2024).

قیمت جهانی طلا: رابطه معمولاً منفی است؛ افزایش قیمت طلا می‌تواند منجر به کاهش قیمت بیت کوین شود (دایی، ۲۰۲۱؛ گاسباسی، ۲۰۲۱).

نرخ ارز: به‌طور کلی، نوسانات در نرخ ارز، تأثیر منفی بر قیمت بیت کوین دارند (متاکساز، ۲۰۲۴).
شاخص داوجونز: معمولاً همبستگی مثبتی با قیمت بیت کوین دارد، به این معنا که افزایش در بازار سهام می‌تواند منجر به افزایش قیمت بیت کوین شود.

شاخص استاندارد اند پورز: مشابه داوجونز، معمولاً تأثیر مثبتی بر قیمت بیت کوین دارد (وانگ، ۲۰۲۰).

نرخ بهره آمریکا: به‌طور کلی، نرخ‌های بهره بالاتر با قیمت‌های پایین‌تر بیت کوین مرتبط هستند (لو، ۲۰۲۳).
جفت ارز فارکس: تأثیر معمولاً منفی است، بویژه با ارزهای اصلی مانند دلار آمریکا (متاکساز، ۲۰۲۴).
شاخص ناآرامی سیاسی: معمولاً همبستگی منفی با قیمت بیت کوین دارد، زیرا افزایش ناآرامی می‌تواند منجر به کاهش قیمت‌ها شود (سو، ۲۰۲۲).

این خلاصه نشان‌دهنده یافته‌های مختلف از مطالعات است و تعامل پیچیده این عوامل با دینامیک قیمت بیت کوین را نشان می‌دهد.

پیش‌بینی قیمت با سری‌های زمانی

برای مانایی و هم‌انباشستگی و بررسی ایستایی متغیرها از آزمون دیکی فولر تعمیم یافته استفاده می‌شود. طبق نتایج حاصل شده در جدول ۳، متغیرهای قیمت بیت کوین، تعداد معاملات، سختی شبکه، ذخیره بیت کوین، قیمت جهانی نفت، قیمت جهانی طلا، شاخص استاندارد اند پورز، شاخص داوجونز، نرخ ارز، نرخ بهره آمریکا در سطح نامانا هستند، به همین دلیل مانایی تفاضل مرتبه اول متغیرها بررسی شده است که نتایج آن در جدول آمده است. با توجه به نتایج، تمام متغیرهای نامانا با یک مرتبه تفاضل‌گیری مانا می‌شوند.

1. Dai (2022).
2. Gozbasi (2021).
3. Metaxas (2024).
4. Wang (2020).
5. Lu (2023).
6. Metaxa (2024).
7. Su (2022).

جدول ۳: آزمون دیکی فولر تعمیم یافته در سطح و تفاضل مرتبه اول

Table.3: augmented Dickey-Fuller (ADF) Test at Level and First Difference

متغیر	نوع بررسی مانایی	در سطح			تفاضل مرتبه اول		
		احتمال	آماره	مانایی	احتمال	آماره	مانایی
قیمت بیت کوین	مقدار ثابت و روند	۰,۳۷	-۲,۴۰	نامانا	۰,۰۰	-۱۶,۵۱	مانا
تعداد معاملات	مقدار ثابت و روند	۰,۳۲	-۲,۵۰	نامانا	۰,۰۰	-۱۵,۲۶	مانا
سختی شبکه	مقدار ثابت و روند	۰,۹۹	-۰,۱۲	نامانا	۰,۰۰	-۴۲,۷۱	مانا
ذخیره بیت کوین	مقدار ثابت و روند	۰,۱۱	-۰,۱۲	نامانا	۰,۰۱	-۳,۸۶	مانا
حجم معاملات	مقدار ثابت و روند	۰,۰۰	-۹,۰۷	مانا	-	-	-
قیمت جهانی نفت	مقدار ثابت و روند	۰,۸۳	-۱,۴۶	نامانا	۰,۰۰	-۴۹,۷۲	مانا
قیمت جهانی طلا	مقدار ثابت و روند	۰,۱۸	-۲,۸۲	نامانا	۰,۰۰	-۲۷,۰۳	مانا
شاخص استاندارداند پورز	مقدار ثابت و روند	۰,۲۵	-۲,۶۵	نامانا	۰,۰۰	-۴۶,۰۸	مانا
شاخص داوجونز	مقدار ثابت و روند	۰,۲۵	-۲,۶۵	نامانا	۰,۰۰	-۴۶,۰۸	مانا
نرخ ارز	مقدار ثابت و روند	۰,۰۶	-۲,۷۲	نامانا	۰,۰۰	-۴۸,۷۷	مانا
نرخ بهره آمریکا	مقدار ثابت و روند	۰,۹۹	-۱,۹۸	نامانا	۰,۰۰	-۴۸,۵۷	مانا
فارکس	مقدار ثابت و روند	۰,۰۱	-۳,۲۸	مانا	-	-	-
هشتگ بیت کوین	مقدار ثابت و روند	۰,۰۰	-۴,۸۲	مانا	-	-	-
سرچ بیت کوین در گوگل	مقدار ثابت و روند	۰,۰۰	-۴,۷۷	مانا	-	-	-
شاخص نا آرامی سیاسی	مقدار ثابت و روند	۰,۰۰	-۱۱,۲۴	مانا	-	-	-

مأخذ: یافته‌های پژوهش

از طرفی، به دلیل اینکه بعضی از متغیرها نامانا و برخی دیگر مانا هستند، باید آزمون هم‌انباشتگی انجام شود. اگر دو متغیر از مرتبه یکسانی انباشته باشند، ترکیب خطی آنها می‌تواند هم‌انباشته باشد. در چنین مواردی، رگرسیون روی مقادیر دو متغیر معنی‌دار است. طبق فروض این آزمون، اگر متغیرهای پژوهش هم‌انباشته باشند، نیازی به تفاضل‌گیری نخواهد بود و اگر متغیرها هم‌انباشته نباشند، در این صورت می‌باید برای جلوگیری از رگرسیون کاذب از متغیرهای نامانا تفاضل‌گیری انجام شود. نتایج در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴: هم‌انباشتگی

Table.4: Cointegration

آزمون هم‌انباشتگی یوهانسون	احتمال		آماره
	۰,۰۰		-۴,۷۷
نتیجه	هم‌انباشته		

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در سری‌های زمانی اولین مرحله ایستا شدن متغیرها است، که تمام داده‌ها چون به‌صورت پس از یک بار تفاضل‌گیری ایستا می‌باشند، در ابتدا سری زمانی از لحاظ داشتن ریشه واحد آزمون می‌شوند؛ به‌دلیل اینکه غیرساکن بودن متغیرها نتایج استاندارد مدل‌های اقتصادسنجی را بی‌اعتبار می‌کند. برای جلوگیری از دچار شدن به مشکل رگرسیون کاذب، می‌باید درجه انباشتگی سری زمانی متغیرها آزمون شود. در این مطالعه، از آزمون یوهانسون برای ارزیابی سطوح و تفاضل اول متغیرها استفاده می‌شود. با توجه به هم‌انباشتگی، نیازی به انجام تخمین با استفاده از تفاضل متغیرهای نامانا نیست.

هدف نهایی ما انتخاب بهترین مدل یعنی مدلی با کمترین آکائیک است. کوچکی این مقدار در مرحله اولیه تصمیم‌نشانگر خوبی است، اما باید از آن فقط برای یک راهنمای اولیه استفاده کرد. آخرین تصمیم بین مدل‌ها باید براساس ماکزیمم درست‌نمایی اتخاذ شود. با توجه به نمودارهای ACF و PACF مدل‌های حدس زده شده مدل $AR(1)$ ، $MA(2)$ ، $ARMA(1,2)$ و $ARMA(1,1)$ می‌باشد که هر یک را امتحان نموده و بهترین مدل $AR(1,2)$ انتخاب شد. با توجه به نمودارهای ACF و PACF نمونه‌ای و قواعد موجود و بررسی مشاهدات و برازش چندین مدل $ARMA$ و با بررسی مقدار معیار آکائیک مطابق با جدول، مدل با کمترین (معیار آکاییک) AICC انتخاب شد؛ یعنی مدل $AR(1,1)$ پذیرفته شد:

جدول ۵: میزان معیار آکاییک برای انتخاب بهترین مدل

Table.5: Akaike Information Criterion for Selecting the Best Model

معیار آکاییک	مدل پیشنهادی
۱۶,۴۴۹۱۴	AR(1)
۱۸,۸۳۱۷۸	MA(2)
۱۶,۴۴۹۰۲	ARMA(1,1)
۱۶,۴۴۹۹۱	ARMA(1,2)
ARMA(1,1)	مدل انتخابی

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج برآورد خطی سری زمانی، نشان می‌دهد که در کوتاه‌مدت، متغیرهای حجم معاملات، قیمت نفت، شاخص دلار و اتورگرسیون و میانگین متحرک مرتبه اول بر قیمت بیت کوین اثر معنی‌داری گذاشته است و سایر متغیرها در پیش‌بینی قیمت بیت کوین، اثر معنی‌داری نداشته‌اند. تابع قیمت بیت کوین به شرح ذیل خواهد بود:

$$\begin{aligned} \log(\text{price}) = & -46.91 - 0.001 \log(\text{transaction}) - 0.009 \log(\text{difficulty}) + 3.41 \log(\text{supply}) - \\ & 0.005 \log(\text{volume}) + 0.062 \log(\text{oil}) + 0.002 \log(\text{gold}) + 0.089 \log(\text{sp}) + 0.128 \log(\text{dw}) \\ & - 0.860 \log(\text{index}) - 0.020 \log(\text{rate}) - 0.105 \log(\text{forex}) + 0.002 \log(\text{tweets}) + 0.014 \\ & \log(\text{gtrend}) + 0.001 \log(\text{dum}) + 0.9995 \ar(1) - 0.045 \text{ma}(1) \end{aligned}$$

جدول ۶: برآورد مدل سری زمانی

Table.6: Time Series Model Estimation

نوع رابطه متغیر با قیمت بیت کوین	معنی‌داری	آماره	ضرایب برآورد شده	برآورد/ متغیرها
رابطه منفی	۰,۲۶	-۱,۱۰	-۴۶,۹۱	ضریب ثابت
رابطه منفی	۰,۸۵	-۰,۱۸	-۰,۰۰۱	لگاریتم تعداد معاملات
رابطه منفی	۰,۵۹	-۰,۵۳	-۰,۰۰۹	لگاریتم سختی شبکه
رابطه مثبت	۰,۱۸	۱,۳۳	۳,۴۱	لگاریتم ذخیره بیت کوین
رابطه منفی	۰,۰۰	-۵,۳۵	-۰,۰۰۵	لگاریتم حجم معاملات
رابطه مثبت	۰,۰۰	۱,۷۴	۰,۰۶	لگاریتم قیمت جهانی نفت
رابطه مثبت	۰,۸۴	۰,۱۹	۰,۰۰۲	لگاریتم قیمت جهانی طلا
رابطه مثبت	۰,۷۰	۰,۳۸	۰,۰۸۹	لگاریتم شاخص استاندارد اند پورز
رابطه مثبت	۰,۵۱	۰,۶۴	۰,۱۲	لگاریتم شاخص داوجونز
رابطه منفی	۰,۰۰۹	-۲,۵۸	-۰,۸۶	لگاریتم نرخ ارز
رابطه منفی	۰,۳۴	-۰,۹۵	-۰,۰۲	لگاریتم نرخ بهره آمریکا
رابطه منفی	۰,۶۶	-۰,۴۲	-۰,۱۰	لگاریتم فارکس
رابطه مثبت	۰,۲۹	۱,۰۴	۰,۰۰۲	لگاریتم هشتگ بیت کوین
رابطه مثبت	۰,۰۰۴	۲,۸۳	۰,۰۱۰	لگاریتم سرچ بیت کوین در گوگل
رابطه مثبت	۰,۷۴	۰,۳۲	۰,۰۰۱	شاخص ناآرامی سیاسی
رابطه مثبت	۰,۰۰	۱۴۱۸,۶۱	۰,۹۹	اتورگرسیو با وقفه ۱
رابطه منفی	۰,۰۰۱	-۳,۱۲	-۰,۰۴	میانگین متحرک با وقفه ۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش

برای تحلیل روابط مختلف بین متغیرها و قیمت بیت کوین، می‌توان به عوامل اقتصادی، روان‌شناختی و تکنیکالی اشاره کرد. در زیر توضیحاتی برای هر یک از روابط ذکر شده ارائه می‌شود:

رابطه منفی لگاریتم تعداد معاملات با قیمت بیت کوین: ممکن است تعداد معاملات بالا نشان‌دهنده اشباع خرید باشد، به این معنا که قیمت ممکن است به‌زودی کاهش یابد. همچنین، افزایش تعداد معاملات می‌تواند به معنای نوسانات بیشتر باشد که می‌تواند به کاهش قیمت منجر شود.

رابطه منفی لگاریتم سختی شبکه با قیمت بیت کوین: افزایش سختی شبکه معمولاً نشان‌دهنده این است که استخراج‌کنندگان بیشتری وارد بازار شده‌اند. اگر قیمت بیت کوین نتواند با افزایش هزینه‌های استخراج همگام شود، ممکن است باعث کاهش قیمت شود.

رابطه مثبت لگاریتم ذخیره بیت کوین با قیمت بیت کوین: افزایش ذخیره بیت کوین به معنای تقاضای بیشتر برای نگهداری بیت کوین است که می‌تواند به افزایش قیمت منجر شود. همچنین، اگر مردم بیشتر به نگهداری بیت کوین تمایل داشته باشند، تقاضا افزایش می‌یابد.

رابطه منفی لگاریتم حجم معاملات با قیمت بیت کوین: کاهش حجم معاملات ممکن است نشان‌دهنده عدم علاقه سرمایه‌گذاران به خرید و فروش باشد، که می‌تواند منجر به کاهش قیمت شود. همچنین، حجم پایین معاملات ممکن است به نوسانات بالاتر و ریسک‌های بیشتر منجر شود.

رابطه مثبت لگاریتم قیمت جهانی نفت با قیمت بیت کوین: قیمت نفت و بیت کوین ممکن است به دلیل ارتباطات اقتصادی و تأثیرات جهانی بر بازارها، رابطه مثبتی داشته باشند. افزایش قیمت نفت می‌تواند به افزایش هزینه‌ها و در نتیجه، به افزایش تقاضا برای دارایی‌های دیجیتال مانند بیت کوین منجر شود.

رابطه مثبت لگاریتم قیمت جهانی طلا با قیمت بیت کوین: طلا به‌عنوان یک دارایی امن شناخته می‌شود و در زمان‌های عدم اطمینان اقتصادی، سرمایه‌گذاران ممکن است به سمت بیت کوین نیز روی آورند. بنابراین، افزایش قیمت طلا می‌تواند نشان‌دهنده افزایش تقاضا برای دارایی‌های امن باشد که شامل بیت کوین نیز می‌شود.

رابطه مثبت لگاریتم شاخص استاندارد اند پورز با قیمت بیت کوین: شاخص SP 500 نمایانگر سلامت کلی بازار سهام است. اگر این شاخص در حال رشد باشد، ممکن است سرمایه‌گذاران احساس امنیت بیشتری کنند و به سمت سرمایه‌گذاری در دارایی‌های دیجیتال مانند بیت کوین روی آورند.

رابطه مثبت لگاریتم شاخص داو جونز با قیمت بیت کوین: مشابه رابطه با SP 500، رشد شاخص داو جونز می‌تواند نشان‌دهنده سلامت اقتصادی باشد و ممکن است سرمایه‌گذاران را به سمت بازارهای جدید مانند بیت کوین سوق دهد.

رابطه منفی لگاریتم نرخ ارز با قیمت بیت کوین: اگر نرخ ارز یک کشور کاهش یابد، ممکن است افراد بیشتری به دنبال دارایی‌های امن مانند بیت کوین باشند؛ اما در عین حال، کاهش نرخ ارز می‌تواند نشانه‌ای از مشکلات اقتصادی باشد که بر قیمت بیت کوین تأثیر منفی دارد.

رابطه منفی لگاریتم نرخ بهره آمریکا با قیمت بیت کوین: افزایش نرخ بهره معمولاً به معنای هزینه بالاتر برای وام‌ها و کاهش تمایل سرمایه‌گذاران برای سرمایه‌گذاری در دارایی‌های پرریسک مانند بیت کوین است.

رابطه منفی لگاریتم فارکس با قیمت بیت کوین: نوسانات در بازار فارکس می‌تواند تأثیر مستقیمی بر بازارهای کریپتو داشته باشد. اگر بازار فارکس بی‌ثبات باشد، ممکن است سرمایه‌گذاران از بازارهای پرریسک دوری کنند.

رابطه مثبت لگاریتم هشتگ بیت کوین با قیمت بیت کوین: افزایش استفاده از هشتگ‌ها در شبکه‌های اجتماعی می‌تواند نشان‌دهنده افزایش توجه عمومی و تقاضا برای بیت کوین باشد که به نوبه خود می‌تواند باعث افزایش قیمت شود.

رابطه مثبت لگاریتم سرچ بیت کوین در گوگل با قیمت بیت کوین: افزایش جستجوها نشان‌دهنده علاقه بیشتر افراد به بیت کوین است که می‌تواند منجر به افزایش تقاضا و در نتیجه، افزایش قیمت شود.

رابطه مثبت شاخص ناآرامی سیاسی با قیمت بیت کوین: در زمان‌های ناامنی سیاسی، مردم ممکن است به دنبال دارایی‌های امن‌تر مانند بیت کوین باشند که باعث افزایش تقاضا و قیمت آن می‌شود.

رابطه مثبت اتورگرسیو با وقفه ۱ با قیمت بیت کوین: این رابطه، معمولاً نشان‌دهنده وجود الگوهای تکراری در داده‌ها است که می‌تواند به پیش‌بینی تغییرات قیمت کمک کند.

رابطه منفی میانگین متحرک با وقفه ۱ با قیمت بیت کوین: اگر میانگین متحرک به سمت پایین حرکت کند، می‌تواند نشانه‌ای از روند نزولی باشد که ممکن است بر قیمت تأثیر منفی بگذارد.

۳-۵. پیش‌بینی قیمت با سری‌های زمانی

انتخاب دقیق‌ترین مدل برای پیش‌بینی قیمت بیت کوین و مقایسه بین مدل‌های خطی و غیرخطی کاری دشوار است؛ زیرا مدل‌های خطی از جمله مدل‌های سری زمانی و حتی مدل غیرخطی شبکه عصبی مصنوعی نیز براساس مدلی با کمترین مربع خطا انتخاب می‌شوند و برخی مدل‌های غیرخطی از قبیل مدل چرخشی مارکف براساس حداکثر درست‌نمایی^۲ برآورد و انتخاب می‌گردند.

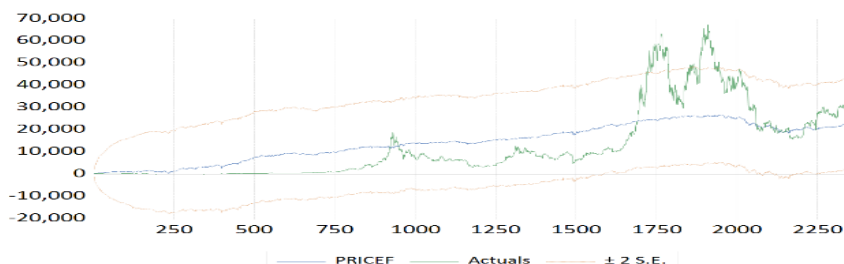
در مطالعه حاضر، با محاسبه حداقل مربعات خطا قابلیت مقایسه بین دو مدل ایجاد می‌شود. لذا در این مطالعه، براساس معیارهای برازش مدل و نیکویی برازش مدل شبکه عصبی دارای کمترین خطا در برازش می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که هیستوگرام باقیمانده‌ها دارای توزیع نرمال و بیانگر نیکویی برازش مدل می‌باشد. با استفاده از معیارهای ارزیابی معرفی شده، به مقایسه روش‌های اقتصادسنجی و شبکه‌های عصبی پرداخته می‌شود. جدول ۷ مقایسه معیارهای مختلف خطا در تخمین و پیش‌بینی سری زمانی قیمت بیت کوین را نشان می‌دهد.

جدول ۷: مقایسه توابع خطا برای تخمین قیمت بیت کوین

Table.7: Comparison of Error Functions for Bitcoin Price Estimation

معیار خطا / مدل	MAPE	RMSE
ARMA	۰.۸۹	۶۵۴/۴۵۸۵
ANN	۰.۸۷	۵۵/۲۱۱۴

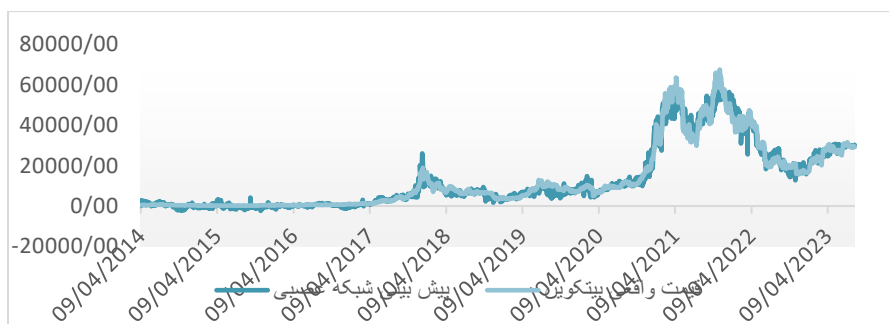
مأخذ: یافته‌های پژوهش



شکل ۶: نتایج پیش‌بینی سری‌های زمانی

Figure 6: Time Series Forecasting Results

مأخذ: یافته‌های پژوهش



شکل ۷: نتایج پیش‌بینی شبکه‌های عصبی

Figure 7: Neural Network Prediction Results

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج مقایسه پیش‌بینی دو مدل، نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی مصنوعی بهتر عمل نموده است. مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای میانگین مربعات خطای کمتر و مدل سری‌های زمانی هم دارای پایین‌ترین قدر مطلق میانگین خطا بوده است. در مطالعاتی نشان داده‌اند که شبکه‌های عصبی غیرخطی در پیش‌بینی بلندمدت قیمت بیت کوین، دقیق‌تر هستند، شامل موارد زیر هستند: **شبکه‌های عصبی مصنوعی**^۱: نقاط قوت: شبکه‌های عصبی، بویژه مدل‌های یادگیری عمیق در شناسایی روابط پیچیده و غیرخطی در داده‌ها بسیار موفق هستند. این مدل‌ها در پیش‌بینی قیمت بیت کوین نسبت به مدل‌های سنتی، عملکرد بهتری نشان داده‌اند (محمدجعفری، ۲۰۲۴؛ دوتا، ۲۰۱۹). **موارد استفاده**: شبکه‌های عصبی به دلیل توانایی یادگیری از مجموعه‌های داده بزرگ و سازگاری با نوسانات قیمت بیت کوین ترجیح داده می‌شوند (آقاشاهی، ۲۰۲۲).

^۱ ANNs

^۲ Mohammadjafari, (2024)

^۳ Dutta, (2019)

^۴ Aghashahi, (2022)

مدل‌های سری زمانی: نقاط قوت: مدل‌های کلاسیک مانند آرما برای داده‌های ایستا مؤثر هستند و می‌توانند پیش‌بینی‌های قابل اعتمادی ارائه دهند، زمانی که الگوهای داده زیرین پایدار باشند (خدمتی^۲، ۲۰۲۰). با این حال، ممکن است در مواجهه با طبیعت غیرایستای قیمت بیت کوین با چالش‌هایی روبرو شوند.

موارد استفاده: مدل‌های سری زمانی به دلیل سادگی و قابلیت تفسیر، بویژه زمانی که داده‌های تاریخی فراوان و پایدار باشند، معمولاً استفاده می‌شوند (کامبوج^۳، ۲۰۲۳).

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه، مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر قیمت بیت کوین به صورت متغیرهای قیمت نفت، ارزش دلار، شاخص کالا و خدمات مصرف‌کننده (که خود نماینده تورم می‌باشد)، تولید ناخالص داخلی بدون قیمت نفت (برای جلوگیری از هم-خطی با قیمت نفت) و قیمت جهانی بیت کوین به‌عنوان متغیرهای توضیحی یا اثرگذار معرفی شد. این متغیرها در شبکه عصبی حکم لایه ورودی برای شبکه را خواهند داشت. متغیر وابسته، قیمت بیت کوین می‌باشد. به دلیل ماهیت غیرمتمرکز بیت کوین، هیچ‌یک از این عوامل به‌تنهایی کنترل کاملی بر قیمت آن ندارند. نوسانات قیمتی بیت کوین معمولاً نتیجه تعامل پیچیده همه این عوامل است.

نتایج حاکی از آن است که شبکه عصبی با خطایی در حدود ۰,۰۰۲ به برآورد روند قیمت بیت کوین می‌پردازد. نتایج مقایسه پیش‌بینی دو مدل نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی مصنوعی بهتر عمل نموده است.

با توجه به عواملی که ذکر شد و تأثیر آن‌ها بر قیمت بیت کوین، می‌توان چند پیشنهاد سیاستی برای دولت‌ها و سرمایه‌گذاران ارائه داد.

پیشنهادهای دولت‌ها

تنظیم‌گری شفاف: دولت‌ها باید قوانین و مقررات واضحی برای تجارت و استفاده از ارزهای دیجیتال وضع کنند تا به ایجاد یک محیط قانونی و ایمن برای سرمایه‌گذاران و کاربران کمک کنند.

آموزش و آگاهی: برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برای عموم مردم و سرمایه‌گذاران درمورد مزایا و معایب سرمایه‌گذاری در بیت کوین و دیگر ارزهای دیجیتال.

پشتیبانی از نوآوری: تشویق به توسعه فناوری‌های بلاکچین و پروژه‌های نوآورانه در این حوزه، بویژه در زمینه‌های مالی و اقتصادی.

نظارت بر بازار: ایجاد نهادهای نظارتی برای پایش بازار ارزهای دیجیتال و جلوگیری از تقلبات و فعالیت‌های غیرقانونی.

تحلیل داده‌ها: استفاده از داده‌های مربوط به حجم معاملات، سرچ‌های گوگل، و سایر عوامل برای پیش‌بینی نوسانات بازار و اتخاذ تصمیمات مناسب.

پیشنهادهای برای سرمایه‌گذاران

تحلیل بنیادین: سرمایه‌گذاران باید به تحلیل عوامل بنیادی مانند سختی شبکه، نرخ بهره و قیمت جهانی نفت و طلا بپردازند تا تصمیمات آگاهانه‌تری بگیرند.

تنوع سرمایه‌گذاری: ایجاد سبدی متنوع از دارایی‌ها شامل ارزهای دیجیتال، سهام و کالاها برای کاهش ریسک.

استفاده از ابزارهای مالی: استفاده از ابزارهای مالی مانند فیوچرز و آپشن‌ها برای مدیریت ریسک و محافظت از سرمایه در برابر نوسانات شدید بازار.

پیگیری اخبار سیاسی: توجه به شاخص نآرامی سیاسی و تأثیر آن بر بازارهای مالی و تصمیم‌گیری در مورد زمان خرید یا فروش بیت کوین.

تحلیل تکنیکال: استفاده از تحلیل تکنیکال برای شناسایی نقاط ورود و خروج مناسب در بازار بیت کوین.

با اجرای این پیشنهادات، دولت‌ها می‌توانند به ایجاد یک بازار پایدارتر و ایمن‌تر برای ارزهای دیجیتال کمک کنند و سرمایه‌گذاران نیز می‌توانند با اتخاذ استراتژی‌های مناسب، ریسک‌های مرتبط با سرمایه‌گذاری در بیت کوین را کاهش دهند.

سپاسگزاری: از جناب آقای دکتر صمدی در راستای راهنمایی‌های ارزنده‌ی ایشان، صمیمانه سپاسگزارم و مراتب قدرشناسی خود را اعلام می‌دارم.

تأییدیه‌های اخلاقی: موردی وجود ندارد.

تعارض منافع: بین نویسندگان تعارض منافع وجود ندارد.

سهام نویسندگان در مقاله: نویسنده اول (۵۰ درصد)، نویسنده دوم (۲۵ درصد) و نویسنده سوم (۲۵ درصد)

منابع مالی / حمایت‌ها: وجود ندارد.

References

- Bolhasni, Mahmadjavad, & Ve Samdi, Said. (1399). Analysis of effective factors in the valuation of crypto assets (Case study: Bitcoin and Ethereum). *Banking Studies Journal*, 13(46), 591-629. [in persian]
- Abraham, R. (2020). The role of investor sentiment in the valuation of bitcoin and bitcoin derivatives. *International Journal of Financial Markets and Derivatives*. <https://doi.org/10.1504/ijfmd.2020.10031383>
- Aggarwal, A. et al. (2019). Deep learning approach to determine the impact of socio economic factors on Bitcoin price prediction. 2019 *Twelfth. International Conference on Contemporary Computing (IC3)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/IC3.2019.8844928>
- Aghashahi, M., & Bamdad, S. (2022). Analysis of different artificial neural networks for Bitcoin price prediction. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 18, 126-133. <https://doi.org/10.1080/17509653.2022.2032442>
- Almansour, B. et al. (2020). The impact of exchange rates on Bitcoin returns: Further evidence from a time series framework. <https://www.semanticscholar.org/paper/ef83b403c0687ff36a7f2665c766b117eef64699>
- Aoyagi, J., & Hattori, T. (2019). The empirical analysis of bitcoin market in the general equilibrium framework. *Banking & Insurance eJournal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3433833>
- Aragon, R. G. M., & Linares, A. A. A. (2023). Political-economic uncertainty and the price of Bitcoin in the forex market between 2010 and 2020. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5626
- Athey, S. et al. (2016). Bitcoin pricing, adoption, and usage: Theory and evidence. *Stanford Graduate School of Business Research Paper Series*. <https://www.semanticscholar.org/paper/8a7c799b5734dfd961606ace218deab192e06ec5>
- Ayaz, Z. et al. (2020). Bitcoin price prediction using ARIMA model. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.12098067>
- Azari, A. (2019). Bitcoin price prediction: An ARIMA approach. [ArXiv,abs/1904.05315](https://arxiv.org/abs/1904.05315). <https://www.semanticscholar.org/paper/4c5bdca2bda17627f00847ea9f79b77c750a24e2>
- Banjade, D. (2020). Forecasting Bitcoin price using artificial neural network. *Capital Markets: Asset Pricing & Valuation eJournal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3515702>
- Barro, R. J. (1979). Money and the price level under the gold standard. *The Economic Journal*, 89(353), 13 -33. DOR: 20.1001.1.26453355.1399.13.46.1.6
- Bartoš, J. (2015). Does Bitcoin follow the hypothesis of efficient market. <https://doi.org/10.20472/ES.2015.4.2.002>
- Chen, J. (2023). Analysis of Bitcoin price prediction using machine learning. *Journal of Risk and Financial Management*. <https://doi.org/10.3390/jrfm16010051>
- Chennupati, A. et al. (2024). Comparative analysis of Bitcoin price prediction models: LSTM, BiLSTM, ARIMA and transformers, 2024. 15th. *International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT61001.2024.10724247>

- Ciaian, P. et al. (2014). The economics of BitCoin price formation. *Applied Economics*, 48, 1799-1815. <https://doi.org/10.1080/00036846.2015.1109038>
- Dai, M. et al. (2022). An assessment of the impact of natural resource price and global economic policy uncertainty on financial asset performance: Evidence from Bitcoin. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.897496>
- Deng, W. (2023). Analysis of the factors affecting the price fluctuation of Bitcoin. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/3/2022832>
- Drozd, S., Minati, L., Oswiecimka, P., Stanuszek, M., & Watorek, M. (2019). Signatures of the crypto-currency market decoupling from the forex. *Future Internet*, 11(7), 154. <https://doi.org/10.3390/fi11070154>
- Dubey, P (2022). Short-run and long-run determinants of bitcoin returns: Transnational evidence. *Review of Behavioral Finance*. <https://doi.org/10.1108/rbf-02-2022-0040>
- Dutta, A. A. et al. (2019). A gated recurrent unit approach to Bitcoin price prediction. *Economics of Innovation eJournal*. <https://doi.org/10.3390/jrfm13020023>
- Enders, W. (2015). *Applied Econometric Time Series*. fourth edition.
- Engle, R., & Granger, C. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation and testing. *Econometrica*, 55, 251-276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
- Erfanian, S. et al. (2022). Predicting Bitcoin (BTC) price in the context of economic theories: A machine learning approach. *Entropy*, 24. <https://doi.org/10.3390/e24101487>
- Fantazzini, D., & Kolodin, N. (2020). Does the hashrate affect the Bitcoin price?. *Information Systems eJournal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3720039>
- García, D., & Schweitzer, F. (2015). Social signals and algorithmic trading of Bitcoin. *Royal Society Open Science*, 2. <https://doi.org/10.1098/rsos.150288>
- Gozbasi, O. et al. (2021). Is Bitcoin a safe haven? A study on the factors that affect Bitcoin prices. *International Journal of Economics and Financial Issues*. <https://doi.org/10.32479/IJEFI.11602>
- Gronwald, M. (2014). The economics of Bitcoins market characteristics and price jumps. ERN: Asset Pricing Models (Topic). <https://doi.org/10.2139/ssrn.2548999>
- Hartono, D. J., & Suyanto, S. (2023). Major determinants of Bitcoin price: Application of a vector error correction model. *Investment Management and Financial Innovations*. [https://doi.org/10.21511/imfi.20\(4\).2023.21](https://doi.org/10.21511/imfi.20(4).2023.21)
- Hassan, M. M. (2024). Bitcoin price prediction using deep bayesian LSTM With uncertainty quantification: A Monte Carlo Dropout-Based approach. *STAT*. <https://doi.org/10.1002/sta4.70001>
- Hoang, L. T., & Baur, D. (2021). Effects of Bitcoin exchange reserves on Bitcoin returns and volatility. *Investments eJournal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3902504>
- Huang, W. et al. (2022). Time Series Analysis and prediction on Bitcoin. *BCP Business & Management*. <https://doi.org/10.54691/bcpbm.v34i.3163>
- Ji, S. et al. (2019). A comparative study of Bitcoin price prediction using deep learning. *Mathematics*. <https://doi.org/10.3390/math7100898>
- Kamboj, D. et al. (2023). A comparative study of Time Series Models for Bitcoin price prediction, 2023. 14th. *International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT56998.2023.10306819>

- Kasimati, A. E. et al. (n.d.). AIS electronic. <https://www.semanticscholar.org/paper/98cf2e0427fa75cb7a1ba55a9c909b43d6f6a151>
- Khadija, M. et al. (2024). Prediction of Bitcoin Prices Based on Blockchain Information: A Deep Reinforcement Learning approach. *Adv. Artif. Intell. Mach. Learn.*, 4, 2416-2433. <https://doi.org/10.54364/aaiml.2024.43141>
- Khedmati, M. et al. (2020). Time Series forecasting of Bitcoin price based on Autoregressive Integrated moving average and machine learning approaches. *International Journal of Engineering*. <https://doi.org/10.5829/ije.2020.33.07a.16>
- Kjærland, F. et al. (2018). An analysis of Bitcoin's price dynamics. *Journal of Risk and Financial Management*. <https://doi.org/10.3390/JRFM11040063>
- Koroleva, E. et al. (2024). The impact of socio-economic and technical factors on the price of Bitcoin. *Financial Analytics: Science and Experience*. <https://doi.org/10.24891/fa.17.2.162>
- Kristoufek, L. (2013). Bitcoin meets Google Trends and Wikipedia: Quantifying the relationship between phenomena of the Internet era. *Scientific Reports*, 3, 3415.
- Lamothe-Fernández, P. et al. (2020). Deep Learning methods for modeling Bitcoin price. *Mathematics*. <https://doi.org/10.3390/math8081245>
- Li, X., & Wang, C. (2014). The technology and economic determinants of cryptocurrency exchange rates: The case of Bitcoin. IRPN: *Innovation & Finance* (Topic) <https://doi.org/10.2139/ssm.2515233>
- Lu, T. (2023). US monetary policy uncertainty and changes in cryptocurrency market: Evidence from ARIMA model. *Highlights in Business, Economics and Management*. <https://doi.org/10.54097/hbem.v20i.12331>
- Marthinsen, J., & Gordon, S. (2022). The price and cost of Bitcoin. *The Quarterly Review of Economics and Finance*. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2022.04.003>
- Metaxas, D. N. (2024). Analysis of the effect of exchange rate fluctuations on Bitcoin returns: A Time Series approach in a digital finance perspective. *Join: Journal of Social Science*. <https://doi.org/10.59613/fgc4tj101>
- Mohammadjafari, A. (2024). Comparative study of Bitcoin price prediction. *ArXiv*, abs/2405.08089. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.08089>
- Mungoli, N. (2023). Deciphering the Blockchain: A comprehensive analysis of Bitcoin's evolution, adoption, and future implications. <https://arxiv.org/abs/2304.02655>
- Nasution, M. R. et al. (2023). The effect of technical asset, financial asset and macro-economic on return Bitcoin. *International Journal of Economic, Business, Accounting, Agriculture Management and Sharia Administration (IJEBAAS)* <https://doi.org/10.54443/ijeabas.v3i2.728>
- Nepp, A., & Karpeko, F. (2022). Hype as a factor on the global market: The case of Bitcoin. *Journal of Behavioral Finance*, 25, 1-14. <https://doi.org/10.1080/15427560.2022.2073593>
- Noda, S. et al. (2019). An economic analysis of difficulty adjustment algorithms in proof-of-work blockchain systems. *Proceedings of the 21st. ACM Conference on Economics and Computation*. <https://doi.org/10.2139/ssm.3410460>

- Orăștean, R. et al. (2024). Exploring the relationship between Google trends and cryptocurrency metrics. *Studies in Business and Economics*, 19, 368-379. <https://doi.org/10.2478/sbe-2024-0020>
- Prates, R., & Fonseca, M. W. D. (2024). Do news reports and Google searches impact Bitcoin prices? An analysis of Granger causality. *Revista de Gestão Social e Ambiental*. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n10-165>
- Samadi, S., & Nazifi Naeini, M. (2013) Analysis the factors affecting gold price fluctuations using a Markov Switching Regression Models and neural networks. *Monetary Economics, Finance*, Vol. 20, Issue 6-Serial No. 6 August 2013, 121-146, <https://doi.org/10.22067/pm.v20i6.36359> [in Persian]
- Serafini, G. et al. (2020). Sentiment-driven price prediction of the Bitcoin based on statistical and Deep Learning approaches, 2020. *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 1-8. <https://doi.org/10.1109/IJCNN48605.2020.9206704>
- Su, C. et al. (2022). Can Bitcoin be a safe haven in fear sentiment?. *Technological and Economic Development of Economy*. <https://doi.org/10.3846/tede.2022.15502>
- Suhwan JiJongmin KimHyeonseung Im. (2019). A comparative study of Bitcoin price prediction using Deep Learning. <https://www.mdpi.com/2227-7390/7/10/898>
- Umeokwobi, R. et al. (2024). Nexus between monetary indicators and Bitcoin in selected Sub-Saharan Africa: A panel ARDL. *Theoretical and Practical Research in Economic Fields*. [https://doi.org/10.14505/tpref.v15.3\(31\).18](https://doi.org/10.14505/tpref.v15.3(31).18)
- Velankar, S. S., Valecha and S. Maji. (2018). Bitcoin price prediction using machine learning. *20th. International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*.
- Wahyuni, M. T. et al. (2024). US macroeconomic determinants of Bitcoin. *Investment Management and Financial Innovations*. [https://doi.org/10.21511/imfi.21\(2\).2024.19](https://doi.org/10.21511/imfi.21(2).2024.19)
- Wang, J. et al. (2016). An analysis of Bitcoin price based on VEC model. <https://doi.org/10.2991/ICEMI-16.2016.36>
- Wang, X. et al. (2020). The relationship between Bitcoin and stock market. *Int. J. Oper. Res. Inf. Syst.*, 11, 22-35. <https://doi.org/10.4018/ijoris.2020040102>
- Wu, R. et al. (2024). Factors affecting the volatility of Bitcoin prices. *The Economics and Finance Letters*. <https://doi.org/10.18488/29.v11i2.3730>
- Zhao, C. (2024). Research on prediction of Bitcoin price based on machine learning methods. *SHS Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202418102006>
- Zhu, M. (2023). Research on the impact mechanism of economic policy uncertainty on Bitcoin prices. *Frontiers in Business, Economics and Management*. <https://doi.org/10.54097/fbem.v10i1.10236>
- Zhu, Y. et al. (2023). Price prediction of Bitcoin based on adaptive feature selection and model optimization. *Mathematics*. <https://doi.org/10.3390/math11061335>
- Zuo, A. (2024). Comparison and analysis of the accuracy of various machine learning algorithms in Bitcoin price prediction. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/70/20231726>