Financial Research Journal

Print ISSN: 1024-8153

Online ISSN: 2423-5377

Identification and Evaluation of Profitable Technical Trading Rules in the Cryptocurrency Market: A Mixed Method Approach

Milad Abbasi

MSc. Student, Department of Industrial Engineering, Meybod University, Meybod, Iran. E-mail: stu.abasi@meybod.ac.ir

Somayeh Al-Sadat Mousavi *

*Corresponding Author, Assistant Prof., Department of Industrial Engineering, Meybod University, Meybod, Iran. E-mail: mousavi@meybod.ac.ir

Abbasali Jafari-Nodoushan

Assistant Prof., Department of Industrial Engineering, Meybod University, Meybod, Iran. E-mail: a.jafari@meybod.ac.ir

Abstract

Objective

The purpose of this paper is to identify the most effective technical indicators in the cryptocurrency market, as viewed by market experts, optimize their performance using optimization algorithms, and ultimately compare the performance of the selected trading rules against each other and the buy-and-hold strategy.

Methods

In this research, technical trading rules are extracted and optimized for trading two cryptocurrencies, i.e. Bitcoin and Ethereum, using a mixed qualitative-quantitative method. The efficiency of the extracted rules is evaluated and compared with the buy-and-hold strategy. In the qualitative phase, the most important technical indicators are selected and ranked based on the cryptocurrency experts' view using the fuzzy TOPSIS technique. In the quantitative phase, the selected trading rules are implemented for a certain period and the parameters of the indicators are optimized using the grid search and particle swarm optimization (PSO) algorithm. Finally, the performance of the trading strategies selected by the experts and optimized using metaheuristic algorithms is evaluated and compared.

Results

In the qualitative part of this study, 18 technical indicators were selected as candidate indicators in cryptocurrency trading, using the results of related studies. The selected indicators were ranked based on a survey of thirteen cryptocurrency market experts using the snowball sampling method. Finally, four technical indicators were chosen as superior

indicators, showing a significant difference compared to the other technical indicators. The selected indicators were the exponential moving average, relative strength index, Ichimoku, and moving average convergence divergence. In the quantitative part of the research, the expert-based trading rules were implemented for the Bitcoin and Ethereum markets from 2018/06/30 to 2020/06/30. According to our numerical results, most of the expert-based trading strategies are more profitable than the buy-and-hold strategy. Then, the parameters of the expert-based trading rules were optimized using two metaheuristic algorithms, namely grid search and particle swarm optimization. The implementation results showed that the trading strategies optimized by these algorithms outperform both the expert-based and the buy-and-hold strategies.

Conclusion

Based on the experimental results of this research, exponential moving average, relative strength index, Ichimoku, and moving average convergence-divergence trading rules are commonly used and proposed by cryptocurrency market experts. Moreover, the profitability of the well-known technical trading rules could be significantly improved using the grid search and particle swarm optimization algorithms. Also, trading strategies using the combination of several technical indicators always perform better than trading strategies with a single indicator. However, all technical analysis strategies are not necessarily more profitable compared to the buy-and-hold strategy. Using inappropriate technical strategies may not only be better than the buy and hold strategy, but sometimes it causes losses in cryptocurrency trading.

Keywords: Cryptocurrency, Fuzzy TOPSIS, Hybrid qualitative-quantitative method, Particle swarm optimization algorithm, Technical trading rules.

Citation: Abbasi, Milad; Mousavi, Somayeh Al-Sadat & Abbasali Jafari-Nodoushan, Abbasali (2024). Identification and Evaluation of Profitable Technical Trading Rules in the Cryptocurrency Market: A Mixed Method Approach. *Financial Research Journal*, 26(3), 509-530. https://doi.org/10.22059/FRJ.2024.358549.1007462 (*in Persian*)

Financial Research Journal, 2024, Vol. 26, No.3, pp. 509-530
Published by University of Tehran, Faculty of Management
https://doi.org/10.22059/FRJ.2024.358549.1007462
Article Type: Research Paper
© Authors
Received: April 30, 2023
Received in revised form: January 27, 2024
Accepted: February 19, 2024
Published online: October 01, 2024

تحقیقات مالی
شاپا چاپی: ۱۰۲۴-۸۱۵۳
شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۵۳۷۷

شناسایی و ارزیابی قواعد معاملات تکنیکی سودآور در بازار رمزارز با استفاده از روش ترکیبی کیفی ـ کمی

میلاد عباسی
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. رایانامه: stu.abasi@meybod.ac.ir

سمیه السادات موسوی
نویسندهٔ مسئول، استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. رایانامه: mousavi@meybod.ac.ir

عباسعلی جعفری ندوشن
استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه میبد، میبد، ایران. رایانامه: a.jafari@meybod.ac.ir

چکیده

هدف: هدف این پژوهش، انتخاب بهترین شاخص‌های تکنیکال از منظر خبرگان بازار ارزهای دیجیتال، بهینه‌سازی عملکرد این شاخص‌ها توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی و در نهایت مقایسهٔ عملکرد قواعد معاملاتی منتخب با یکدیگر از طریق استراتژی خرید و نگهداری است.

روش: در این پژوهش با استفاده از روش ترکیبی کیفی ـ کمّی، قواعد معاملات تکنیکال برای دو رمزارز بیت‌کوین و اتریوم استخراج و بهینه‌سازی می‌شود و در ادامه، کارایی قواعد مستخرج با استراتژی خرید و نگهداری مقایسه می‌شود. در بخش کیفی، با تکنیک تاپسیس فازی و بر اساس نظر خبرگان بازار ارز دیجیتال، به انتخاب و رتبه‌بندی مهم‌ترین شاخص‌های تکنیکال پرداخته می‌شود. در بخش کمّی، پیاده‌سازی قواعد معاملاتی مبتنی بر شاخص‌های منتخب برای بازه زمانی معین و بهینه‌سازی عملکرد این قواعد با الگوریتم فراابتکاری ازدحام ذرات انجام می‌شود. در نهایت، عملکرد شاخص‌ها در استراتژی‌های منتخب خبرگان و بهینه‌سازی شده با الگوریتم، به‌صورت متمایز و ترکیبی ارزیابی و مقایسه می‌شود.

یافته‌ها: در بخش کیفی، چهار شاخص میانگین متحرک نمایی، قدرت نسبی، ایچیموکو و میانگین متحرک هم‌گرایی ـ واگرایی، به‌عنوان شاخص‌های برتر انتخاب شدند. بر اساس نتایج بخش کمّی، بازده استراتژی‌های معاملاتی خبره‌محور مثبت و عملکرد اکثر آن‌ها نسبت به استراتژی خرید و نگهداری بهتر است. همچنین استراتژی‌های بهینه‌سازی شده با الگوریتم، به مراتب عملکرد بهتری نسبت به دو استراتژی خبره‌محور و خرید و نگهداری دارند.

نتیجه‌گیری: استراتژی تکنیکال مناسب در معاملات با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌تواند میزان سودآوری معاملات رمزارز را به مقدار چشمگیری افزایش دهد. همچنین استراتژی حاصل از ترکیب چند شاخص تکنیکال، نسبت به یک شاخص، عملکرد بهتری دارد.

کلیدواژه‌ها: الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، تاپسیس فازی، رمز ارز، روش ترکیبی کیفی ـ کمّی، قواعد معاملات تکنیکی.

استناد: عباسی، میلاد؛ موسوی، سمیه السادات و جعفری ندوشن، عباسعلی (۱۴۰۳). شناسایی و ارزیابی قواعد معاملات تکنیکی سودآور در بازار رمزارز با استفاده از روش ترکیبی کیفی ـ کمی. *تحقیقات مالی*، ۲۶(۳)، ۵۰۹- ۵۳۰.

تحقیقات مالی، ۱۴۰۳، دوره ۲۶، شماره ۳، صص. ۵۰۹- ۵۳۰
ناشر: دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
نوع مقاله: علمی پژوهشی
© نویسندگان
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰
doi: https://doi.org/10.22059/FRJ.2024.358549.1007462

مقدمه

در دنیای اقتصاد امروز، بازارهای مالی در جذب سرمایه نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای دارند. یکی از کارکردهای اصلی یک بازار مالی ایدئال، تسهیل و تسریع فرایند تبدیل دارایی‌های مالی به نقد و برعکس آن، تبدیل وجه نقد به دارایی مالی است (مرادی، بحری ثالث، جبارزاده کنگلویی و آشتاب، ۱۴۰۱). در این گونه بازارها موفقیت سرمایه‌گذار به کیفیت اطلاعات و سرعت تصمیم‌گیری وی بستگی دارد، بنابراین پیش‌بینی این بازارها بسیار مهم است (محبی، فدایی نژاد، اصولیان و حمیدی‌زاده، ۱۴۰۱). از جدیدترین بازارهای مالی می‌توان به بازار اوراق قرضه، بازارهای پولی، بازارهای مشتقات و همچنین بازار فارکس اشاره کرد. در سال ۲۰۰۸ با پیدایش مقاله‌ای با عنوان بیت‌کوین، یک سیستم پولی الکترونیکی همتابه‌همتا از سمت شخصی به‌نام ساتوشی ناکاموتو[1]، تحولی شگرف در دنیای بازارهای مالی پدید آمد. بدین ترتیب بازار رمزارزها، به‌عنوان محلی مناسب برای سرمایه‌گذاری برای مردم سراسر جهان معرفی و آغاز به کار کرد.

رمزارز نوعی پول مجازی و رمزنگاری شده است که تراکنش‌های آن به صورت غیرمتمرکز و بدون هیچ‌گونه واسطه انجام می‌شود (رستا، پاگنوتونی و دی جولی[2]، ۲۰۲۰). نخستین و معروف‌ترین رمزارز، یعنی بیت‌کوین با هدف مخفی نگه‌داشتن هویت کاربران، برای اولین بار در ژانویه سال ۲۰۰۹ ایجاد شد (جکسون[3]، ۲۰۱۸). بیت‌کوین نوعی از سیستم پرداخت نوین را به کاربران معرفی کرد؛ به‌گونه‌ای که با استفاده از شبکه پرداخت نقطه‌به‌نقطه تمرکززدایی شده و بدون هیچ‌گونه اختیار مرکزی، مبادلات پولی انجام می‌شود (لی، اولکواتام، بلینگ و شرر[4]، ۲۰۱۸). در خصوص مزایای معامله در بازار رمزارز، به‌طور مختصر می‌توان به امنیت زیاد، نقدشوندگی بالا، حذف واسطه‌ها، نرخ کارمزد کم و استفاده از شبکهٔ بلاکچین اشاره کرد. با توجه به اینکه به‌دست‌آوردن این رمزارزها به‌راحتی امکان‌پذیر نیست و عرضهٔ آن محدود است، این ارزها کمیاب و ارزشمند خواهند بود. همچنین تأیید صحت آن، به‌راحتی با استفاده از عملیات رمزنگاری صورت می‌پذیرد؛ بنابراین امکان تقلب در آن اندک است و به‌طور کلی ارزهای دیجیتال پول امن محسوب می‌شوند (کوربت، ارسلان، لوسی و سنسوی[5]، ۲۰۱۹).

در حال حاضر بیت‌کوین با مبادلات دنیای واقعی تطابق و سازگاری بیشتری پیدا کرده است؛ به‌گونه‌ای که کسب‌وکارهای زیادی با به‌رسمیت‌شناختن این نوع از پول، به معامله اقدام می‌کنند و در کشورهای زیادی از جمله آمریکا، کانادا، استرالیا و کشورهای حوزهٔ یورو، بسیاری از مبادلات با این پول انجام می‌شود (گریمسن، بوری، رمضانی فر و روبو[6]، ۲۰۲۰) و بعضی از معاملات مهم، مثل خرید خانه یا ماشین نیز با بیت‌کوین و سایر رمزارزها انجام می‌شود (کیم[7]، ۲۰۲۱). بازار رمزارزها می‌تواند محل مناسب برای سرمایه‌گذاری و کسب سود بیشتر باشد. از طرفی سرمایه‌گذاری در هر بازاری نیازمند دانش لازم و اطلاعات کافی در آن حوزه است و در تصمیمات سرمایه‌گذاری، نیاز به شاخص‌ها و قواعدی

1. Satoshi Nakamoto
2. Resta, Pagnottoni & De Giuli
3. Jackson
4. Lee, Ulkuatam, Beling & Scherer
5. Corbet, Eraslan, Lucey & Sensoy
6. Gerritsen, Bouri, Ramezanifar & Roubaud
7. Kim

است که در جهت استخراج و کسب سود بیشتر بتوان از آن بهره برد (آلمداف[1]، ۲۰۱۸). در بازار ارزهای دیجیتال نیز ابزار و روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی قیمت بیت‌کوین و روند بازار وجود دارد. یکی از این ابزارها، استفاده از تحلیل تکنیکال است. تحلیل تکنیکال محدودهٔ وسیعی از روش‌ها و الگوهای مختلفی دارد که مهم‌ترین آن‌ها شاخص‌های تکنیکال است. با استفاده از شاخص‌های تکنیکال، می‌توان از قیمت‌ها و روند حرکت بازار پیش‌بینی دقیق‌تری انجام داد. در این پژوهش با استفاده از روش ترکیبی کیفی ـ کمّی کارایی تحلیل تکنیکال در معاملات رمزارز مورد بررسی و بهبود قرار می‌گیرد.

با بررسی پژوهش‌های صورت گرفته در بازار رمزارز، مطالعه‌ای یافت نشد که به استخراج قواعد معاملات تکنیکال با استفاده از روش ترکیبی کیفی ـ کمّی پرداخته باشد. بنابراین در پژوهش حاضر این موضوع بررسی و در دو بخش انجام شده است. در بخش اول که شامل بررسی کیفی است، انتخاب و رتبه‌بندی مهم‌ترین شاخص‌های تکنیکال در بازار رمزارز با روش پرسش‌نامه و استفاده از نظرهای خبرگان بازار صورت می‌گیرد. در بخش دوم و بررسی کمّی، با پیاده‌سازی شاخص‌های منتخب در بازهٔ زمانی معین و بهینه‌سازی عملکرد شاخص‌ها، به ارزیابی و مقایسهٔ عملکرد شاخص‌ها به‌صورت متمایز و ترکیبی پرداخته می‌شود و میزان سودآوری شاخص‌های تکنیکال منتخب با استراتژی خرید و نگهداری برای دو رمزارز بیت‌کوین و اتریوم مقایسه و بررسی می‌شود. نتایج این پژوهش برای سرمایه‌گذاران بازارهای رمزارز مفید است و می‌تواند در جهت افزایش آگاهی و کسب سود بیشتر در این بازار کمک شایانی کند. در ادامهٔ مقاله، به تشریح مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش پرداخته خواهد شد؛ سپس روش تحقیق و اطلاعات مورد استفاده در این مقاله توصیف می‌شود و یافته‌های حاصل از پیاده‌سازی استراتژی‌ها در بازار دو رمز ارز گزارش می‌شوند. در نهایت نتیجه‌گیری و تحلیل نتایج انجام خواهد شد.

پیشینهٔ نظری پژوهش

سرمایه‌گذاران با هدف پیش‌بینی قیمت در بازارهای مالی، از روش‌های متنوعی از جمله تحلیل تکنیکی، بنیادی و مالی ـ رفتاری استفاده می‌کنند (حیدری و امیری، ۱۴۰۱). تحلیل تکنیکال، برای نخستین بار توسط چارلز داو[2] در اواخر دههٔ ۱۸۰۰ میلادی در نظریه‌ای با عنوان نظریهٔ داو مطرح شد. این نظریه، در ادامه توسط محققانی از جمله ویلیام پی همیلتون[3]، رابرت رئا[4]، ادرسون گولد[5] و جان مگی[6]، شکل کامل‌تری به خود گرفت؛ به‌گونه‌ای که تحلیل تکنیکال امروزه شامل صدها الگو و ابزار تحلیلی است که طی سال‌ها توسعه یافته‌اند. تحلیل تکنیکال با توجه به قیمت گذشتهٔ سهم و حجم معاملات، به‌منظور تعیین حرکت قیمت آینده، پیش‌بینی روند آتی و درک شرایط معامله، به جست‌وجوی الگوها و روندها می‌پردازد (افشاری‌راد، علوی و سینایی، ۱۳۹۷). از نظر تحلیل تکنیکال قیمت یک دارایی، نشان‌دهندهٔ دانش کل

1. Almudhaf
2. Charles Dow
3. William P. Hamilton
4. Robert Rhea
5. Edson Gould
6. John Magee

فعالان حاضر در بازار و دیدگاه‌ها، اقدامات و تحلیل آن‌هاست؛ بنابراین در تلاش است با استفاده از داده‌های تاریخی قیمت و شاخص‌های معاملاتی به پیش‌بینی آینده بازار بپردازد. تحلیل تکنیکال بر پایه سه اصل استوار است؛ همه چیز در قیمت لحاظ شده است، قیمت‌ها دوست دارند به‌جای اینکه تغییر جهت بدهند، روند فعلی خود را حفظ کنند و اصل سوم بر این مبناست که تاریخ تکرار می‌شود (سیف، جمشیدی نوید، قنبری و اسماعیلی‌پور، ۱۴۰۰).

صدها ابزار و الگو برای پشتیبانی از تحلیل تکنیکال وجود دارد. علاوه‌برآن، انواع مختلفی از سیستم‌های معاملاتی برای کمک به پیش‌بینی و معامله در زمان تغییرات قیمت موجود است. برخی از شاخص‌ها در درجهٔ اول بر شناسایی روند فعلی بازار متمرکزند. گروهی دیگر روی قدرت یک روند و احتمال ادامهٔ آن روند متمرکزند. انواع گسترده‌ای از ابزارها، شامل روند قیمت، الگوهای تشکیل شده در نمودار، شاخص‌های حجم معاملات و مومنتوم، اسیلاتورها، میانگین متحرک و سایر شاخص‌ها برای بررسی توسط تحلیلگران وجود دارد. اندیکاتورها با استفاده از یک سری روابط ریاضی مشخص بر روی قیمت ارز، سهم یا حجم معاملات یا ترکیبی از هر دو به پیش‌بینی، هشدار و تأیید تحلیل می‌پردازند. تحلیلگران با استفاده از اندیکاتورها می‌توانند سرعت و دقت تحلیل‌های خود را افزایش دهند. اطلاعات ورودی اندیکاتورها از داده‌های قیمت، حجم معاملات و تغییرات قیمت در روزهای گذشته تشکیل می‌شود. از جهات مختلفی می‌توان به‌دسته‌بندی اندیکاتورها پرداخت، به‌طور معمول به‌لحاظ اهمیت همراهی با قیمت، اندیکاتورها در دو دستهٔ کلی پیشرو (هدایتگر) و پس‌رو (تحکیم کننده) جای می‌گیرند. اندیکاتورهای پیشرو، قبل از وقوع تغییرات در بازار سیگنال می‌دهند؛ در حالی که اندیکاتورهای پس‌رو، پس از شروع شکل‌گیری روند سیگنال خود را می‌دهند. نقطهٔ ضعف اندیکاتورهای پیشرو را می‌توان ارائهٔ سیگنال‌های کاذب زیاد دانست، در صورتی که نقطهٔ ضعف اندیکاتورهای پس‌رو، دیر وارد شدن به معاملات بازار مالی است.

میانگین متحرک نمایی (EMA)[1]: خانوادهٔ میانگین‌های متحرک از نوع اندیکاتور پس‌رو هستند. چند نوع میانگین متحرک وجود دارد، میانگین متحرک ساده و میانگین متحرک نمایی. میانگین متحرک ساده، فقط متوسطی از قیمت سهام در بازه زمانی مدنظر است؛ اما نحوهٔ محاسبهٔ میانگین متحرک نمایی به صورتی است که هرچه قیمت به انتهای بازهٔ زمانی (قیمت فعلی) نزدیک‌تر می‌شود، وزن بیشتری در محاسبهٔ میانگین ایفا می‌کند. به بیانی دیگر، میانگین متحرک نمایی همان میانگین متحرک ساده است که در آن قیمت‌های اخیر، وزن بیشتری در محاسبه دارند.

شاخص قدرت نسبی (RSI)[2]: شاخص قدرت نسبی به‌عنوان یک اندیکاتور پیشرو، قدرت داخلی یک سهم را اندازه‌گیری می‌کند. قدرت نسبی به‌صورت یک خط پیوسته ترسیم می‌شود. خط صعودی نشان می‌دهد که موضوع مدنظر، بهتر از بازار عمل می‌کند و خط نزولی بیانگر آن است که بازار عملکرد بهتری دارد (کنی، ۱۳۸۴). این شاخص دو حد بالا و پایین دارد. گذر شاخص از خط ۳۰ به‌سمت بالا، به‌عنوان نقطهٔ اشباع فروش (زمان خرید) و گذر از خط ۷۰ به‌سمت پایین نقطهٔ اشباع خرید (زمان فروش) تلقی می‌شود. این شاخص میانگین افزایش قیمت‌ها را در یک بازهٔ زمانی

1. Exponential Moving Average (EMA)
2. Relative Strength Index (RSI)

مشخص محاسبه و آن را بر میانگین کاهش قیمت‌ها در همان بازه تقسیم می‌کند؛ سپس حاصل را به‌صورت شاخص ریاضی که بین ۰درصد تا ۱۰۰ درصد قابل نوسان است، ارائه می‌دهد.

میانگین متحرک هم‌گرا/ واگرایی (MACD)[1]**:** اندیکاتور MACD از نوع اندیکاتورهای پس‌رو و شامل سه عامل خط MACD، سیگنال و هیستوگرام است. این اندیکاتور معمولاً بازهٔ زمانی ۱۲ و ۲۶ روزه را بررسی می‌کند و رابطهٔ بین این دو خط را به‌صورت هم‌گرا (هنگامی که خطوط به‌سمت یکدیگر کشیده می‌شوند) یا واگرا (هنگامی که خطوط از هم دور می‌شوند) بیان می‌کند. اندیکاتور MACD با کم کردن دو میانگین متحرک نمایی ۱۲ و ۲۶ روزه خط اصلی MACD را ایجاد می‌کند؛ سپس از این خط برای محاسبهٔ EMA دیگری استفاده می‌شود که به آن خط سیگنال می‌گویند که یک میانگین متحرک نمایی ۹ روزه و صادرکنندهٔ سیگنال‌های خرید و فروش است. هیستوگرام نیز براساس تفاوت دو خط سیگنال و MACD ایجاد می‌شود.

ایچیموکو: ایچیموکو کینکوهایو[2] یا به‌اختصار ایچیموکو یک اندیکاتور تحلیل تکنیکال است که به آن نمودار ابری هم گفته می‌شود. اندیکاتور ایچیکومو یک سیستم معاملاتی قدرتمند و ترکیبی از اندیکاتورهای پیشرو و پس‌رو است که از آن برای شناسایی جهت و قدرت روند، تشخیص نواحی عرضه و تقاضا و زمان تغییر روند استفاده می‌شود. شاخص ایچیموکو در اصل توسط یک روزنامه نگار ژاپنی طراحی شد. او این شاخص را با ترکیب استراتژی‌های فنی مختلف در یک شاخص واحد با اجرا و تفسیر راحت، توسعه داد. در زبان ژاپنی، ایچیموکو به‌معنای سطح تعادل در نگاه اول است؛ به این معنا که معامله‌گران با یک نگاه می‌توانند حمایت و مقاومت را پیش‌بینی کنند. اندیکاتور ایچیموکو شامل پنج جزء به‌نام‌های تنکان سن، کیجون سن، سنکو اسپن الف، سنکو اسپن ب و چیکواسپن است.

پیشینهٔ تجربی پژوهش

ارکوهرت[3] (۲۰۱۶) در پژوهش خود کارایی بازار بیت‌کوین را از زمان ظهور تا اواسط ۲۰۱۶ بررسی کرد و نشان داد بازار بیت‌کوین در بازهٔ مورد بررسی یک بازار ناکاراست؛ اما با گذشت زمان در حال نزدیک شدن به کارایی است. الیحیایی، منسی و یون[4] (۲۰۱۸) به بررسی کارایی بازار بیت‌کوین در مقایسه با بازارهای طلا، سهام و ارز پرداختند. این هدف با استفاده از رویکرد MF-DFA پیگیری شد. نتیجه این مطالعه نشان داد که ویژگی حافظهٔ طولانی و چندفرکی بودن بازار بیت‌کوین قوی‌تر است، در نتیجه، در دورهٔ مشاهده شده از اواسط تا اواخر سال ۲۰۱۷، بیت‌کوین نسبت به بازارهای طلا، سهام و ارز ناکاراتر است و در مقابل بازار سهام در بین این چهار بازار کاراترین بازار است. کریستوفک[5] (۲۰۱۸) در پژوهشی به بررسی کارایی دو بازار بیت‌کوین (با توجه به دلار آمریکا و یوان چین) و تکامل آن در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا

1. Moving Average Convergence Divergence (MACD)
2. ICHIMOKU Kinko Hyo
3. Urquhart
4. Khamis HamedAl-Yahyaee, Mensi & Yoon
5. Kristoufek

۲۰۱۷ پرداخت. کریستوفک از شاخص کارایی کریستوفک و ووسوردا[1] (۲۰۱۳) استفاده کرد که انواع مختلفی از معیارهای کارایی را پوشش می‌دهد. این مطالعه، شواهد قوی مبنی بر تداوم ناکارایی هر دو بازار بیت‌کوین در طول بازه مورد بررسی را نشان داد.

ژانگ، ونگ، لی و شن[2] (۲۰۱۸) با بررسی ۹ شکل از ارزهای دیجیتال، یعنی بیت‌کوین، ریپل، اتریوم، نم، استلار، لایت‌کوین، دش، مونرو و ورج و با استفاده از مجموعه آزمون‌های کارایی، تجزیه‌وتحلیل شاخص‌های فنی به این نتیجه رسیدند که همه این ارزهای دیجیتال بازارهای ناکارآمدی دارند. علاوه‌براین، یک شاخص ترکیبی ارزهای دیجیتال با ارزش (CCI)[3] ایجاد و مشخص شد که CCI و میانگین صنعتی داوجونز به‌طور مداوم هم‌بستگی متقابل دارند.

هوانگ، هوانگ و نی[4] (۲۰۱۹) با هدف بررسی قابلیت پیش‌بینی بازده ارزهای دیجیتال، با تجزیه‌وتحلیل روی بیت‌کوین، محبوب‌ترین ارز دیجیتال، دامنهٔ بازده روزانهٔ این رمزارز را به ۲۱ بازه تقسیم کردند. آن‌ها با استفاده از ۱۲۴ شاخص فنی که فقط بر اساس قیمت‌های تاریخی بیت‌کوین بودند، یک پیش‌بینی بازده/مدل ایجاد کردند؛ سپس یک تحلیل عملکرد خارج از نمونه یک استراتژی معاملاتی بر اساس مدل و یک استراتژی خرید و نگهداری در دوره ژانویه ۲۰۱۲ دسامبر ۲۰۱۷ را انجام دادند. نتایج نشان داد بازده بیت‌کوین توسط استراتژی معاملاتی به کاربرده‌شده قابل پیش‌بینی است و این استراتژی عملکرد بهتری نسبت به روش خرید و نگهداری دارد.

کوربت و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به بررسی اثربخشی قواعد معاملات تکنیکی در بازار ارز دیجیتال پرداختند. در این پژوهش قواعد مختلف معاملات در قالب استراتژی‌های میانگین متحرک و شکست محدوده معاملاتی تجزیه‌وتحلیل شد تا به‌طور خاص سطوح مقاومت و پشتیبانی و عملکرد معاملاتی آن‌ها با استفاده از بازده بیت‌کوین با فرکانس بالا آزمایش شود. به‌طور کلی، نتایج اثر چشمگیر استفاده از استراتژی‌های میانگین متحرک را ارائه می‌دهد. ادکوک و گرادویچ[5] (۲۰۱۹) در مقاله‌ای برای بررسی بازده بیت‌کوین از چند مدل غیر پارامتریک مبتنی بر تحلیل تکنیکال استفاده کردند. در این راستا از چند شاخص فنی ساده و شبکهٔ عصبی در بازه زمانی آوریل ۲۰۱۱ تا مارس ۲۰۱۸ استفاده شد. نتایج حاصل از این مقاله نشان داد که پیش‌بینی بازده می‌تواند با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و همچنین با استفاده از قواعد معاملاتی ساده صورت گیرد.

گرابیس[6] (۲۰۱۹) در مطالعهٔ خود با استفاده از بازیابی مجموعه‌ای شامل ۱۴۳ ارز دیجیتال در محدودهٔ تاریخی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸، به بررسی کارایی استراتژی مومنتوم در بازار ارزهای دیجیتال پرداختند. نتایج این پژوهش، گویای این موضوع بود که هیچ شواهدی مبنی بر بازده متغیر قابل توجه موجود نیست و بازار ارزهای دیجیتال نسبت به آنچه در نتایج مطالعات قبل به‌دست آمده بود، بسیار کارآمدترند.

1. Kristoufek & Vosvrda
2. Zhang, Wang, Li & Shen
3. Commodity Channel Index
4. Huang, Huang & Ni
5. Adcock & Gradojevic
6. Grobys

میلر، یانگ، سان و ژانگ[1] (۲۰۱۹) در پژوهشی جست‌وجوی خودکار الگوی قیمت برای ارز دیجیتال بیت‌کوین را بر اساس داده‌های قیمتی یک دقیقه‌ای مورد مطالعه قرار دادند و الگوریتم جست‌وجو بر اساس روش رگرسیون ناپارامتریک هموارسازی را بررسی کردند و استراتژی معاملاتی الگوریتمی را برای ارزیابی اثربخشی الگوها ایجاد کردند و دریافتند که روش هموارسازی خطوط برای شناسایی الگوهای تحلیل تکنیکال و استراتژی‌های مبتنی بر الگوهای تحلیل تکنیکال خاص، بازدهی را به همراه دارند که به‌طور چشمگیری از نتایج استراتژی‌های معاملاتی بدون قید و شرط فراتر می‌رود. سنسوی[2] (۲۰۱۹) با استفاده از آنتروپی جایگشت، کارایی شکل ضعیف قیمت بیت‌کوین را بر حسب دلار آمریکا (BTCUSD) و یورو (BTCEUR) در سطح فرکانس بالا مقایسه کرد. بررسی‌ها نشان داد که بازارهای BTCUSD و BTCEUR از ابتدای سال ۲۰۱۶ از نظر اطلاعاتی در سطح روزانه کارآمدتر شده‌اند و بازار BTCUSD در دورهٔ نمونه، کمی کارآمدتر از بازار BTCEUR است. همچنین مشخص شد که در فرکانس بالاتر، کارایی قیمت‌گذاری کمتر است. آتسالاکیس، اتسالکی، پاسیورس و زوپونیدیس[3] (۲۰۱۹) در مطالعه خود یک تکنیک هوش محاسباتی را پیشنهاد دادند که از یک کنترل‌کننده ترکیبی فازی عصبی[4]، به نام PATSOS، برای پیش‌بینی جهت تغییر قیمت روزانه بیت‌کوین استفاده می‌کند. عملکرد روش پیشنهادی از دو مدل عصبی فازی ساده و شبکه‌های عصبی بهتر بود. علاوه‌براین، بازده سرمایه‌گذاری به‌دست‌آمده توسط شبیه‌سازی معاملات بر اساس سیگنال‌های مدل پیشنهادی، ۲۱/۷۱ درصد بیشتر از بازده‌استراتژی خرید و نگهداری به‌دست آمد و به عبارتی عملکرد سیستم PATSOS برای استفاده از سایر ارزهای دیجیتال قوی است.

دتزل، لیو، استراوس، ژائو و ژو[5] (۲۰۲۱) در مطالعهٔ خود روی پیش‌بینی بازده سرمایه‌گذاری روی بیت‌کوین و سهام صنایع جدید که ارزش‌گذاری روی آن‌ها سخت است، تمرکز کردند. آن‌ها با استفاده از نسبت قیمت به میانگین متحرک، مدلی را تحت عنوان مدل پایدار یا متعادل معرفی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از این مدل شامل نسبت شارپ چشمگیری بود؛ به‌گونه‌ای که باعث ایجاد منافع اقتصادی شد. گرادویچ، کوکولی، ادکاک و جاکوویچ[6] (۲۰۲۳) از داده‌های نمونه‌برداری شده در فرکانس‌های ساعتی و روزانه برای پیش‌بینی بازده بیت‌کوین استفاده کردند. آن‌ها مدل‌های پیشرفته غیرخطی مختلفی را بر اساس تعداد زیادی از شاخص‌های تکنیکال محبوب در نظر گرفتند، شاخص‌های فنی که نشان‌دهندهٔ روند بازار، حرکت، حجم و احساسات هستند. همچنین یک تمرین تجربی قوی را برای مشاهده تأثیر مدل، افق پیش‌بینی، نوع دوره زمانی و انتخاب ورودی‌ها (پیش‌بینی‌کننده‌ها) روی عملکرد پیش‌بینی شده اجرا کردند. نتایج نشان داد که قیمت بیت‌کوین در فرکانس‌های ساعتی کارایی ضعیفی دارد و تحلیل تکنیکال با مدل‌های غیرخطی، نسبت به مدل تصادفی غالب بوده است. همچنین تحلیل مقایسه‌ای نشان داد که مدل جنگل تصادفی، دقیق‌ترین مدل

1. Miller, Yang, Sun & Zhang
2. Sensoy
3. Atsalakis, Atsalaki, Pasiouras & Zopounidis
4. Neuro-Fuzzy
5. Detzel, Liu, Strauss, Zhou & Zhu
6. Gradojevic, Kukolj, Adcock & Djakovic

پیش‌بینی بیت‌کوین هست. دی، هوانگ، چنگ، لین و نی[1] (۲۰۲۲) در پژوهشی به بررسی سودآوری معاملات روزانه قراردادهای آتی رمزارزها با استفاده از کندل‌های صعودی مداوم پرداختند. نتایج نشان داد که اتخاذ این استراتژی، میانگین سود را در هر معامله افزایش خواهد داد.

اورتو، اوراس، کانورسانو، بارتولوچی و دستفانیس[2] (۲۰۲۲) تغییرات قیمت دو رمز ارز اتریوم و بیت‌کوین را با مقایسهٔ چهار الگوریتم یادگیری عمیق MLP، CNN، LSTM، ALSTM در بازهٔ زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ پیش‌بینی کردند. در این راستا، ترکیبی از شاخص‌های فنی و شاخص‌های اجتماعی (احساسات کاربران) برای ورودی در نظر گرفته شد. آن‌ها با مقایسهٔ یک مدل محدود که فقط از شاخص‌های فنی استفاده شده است با یک مدل نامحدود که شامل شاخص‌های فنی و تجاری و رسانه‌های اجتماعی بود به این نتیجه رسیدند که مدل نامحدود عملکرد بهتری نسبت به مدل محدود دارد و دقت پیش‌بینی آن بیشتر است.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف از نوع پژوهش‌های کاربردی است. روش پژوهش از نوع ترکیبی است. در این نوع از روش پژوهش داده‌های کمّی و کیفی با یک برنامهٔ چندمرحله‌ای در یک پژوهش ترکیب می‌شود. با توجه به اینکه در مرحلهٔ نخست این مطالعه، از داده‌های کیفی و در مرحلهٔ دوم از داده‌های کمّی استفاده می‌شود، می‌توان این پژوهش را از نوع روش تحقیق آمیختهٔ اکتشافی دانست. به عبارت دیگر، در مرحلهٔ نخست، از ابزار پرسش‌نامه و در مرحلهٔ دوم، برای ارزیابی نتایج، از روش‌های کمّی استفاده خواهد شد. در واقع در مرحلهٔ نخست پژوهش، ابتدا شناسایی شاخص های تکنیکال بازار رمزارز بررسی می‌شود؛ سپس برای پاسخ‌گویی به کلیه اهداف این پژوهش، در نهایت به پیاده‌سازی محبوب‌ترین شاخص‌های تکنیکال یا ترکیبی از محبوب‌ترین شاخص‌ها که توسط خبرگان بازار ارز دیجیتال از طریق پرسش‌نامه به‌دست می آید، پرداخته خواهد شد. جامعهٔ آماری در بخش کیفی پژوهش، کلیهٔ خبرگان و استادانی بودند که در زمینهٔ معاملات بیت‌کوین و رمزارزها تجربه داشتند و با شاخص‌های تکنیکال به‌طور کامل آشنا بودند. روش انتخاب نمونه گلولهٔ برفی بود و در نهایت ۱۳ نفر از خبرگان به تکمیل پرسش‌نامه اقدام کردند. برای بررسی و شناسایی هر یک از شاخص‌های تکنیکال بازار رمزارز از روش‌های پیمایشی، مطالعهٔ اسناد کتابخانه‌ای، مقاله‌ها و پایان‌نامه‌ها استفاده شد. برای رتبه‌بندی شاخص‌های تکنیکال در پرسش‌نامه، از روش تاپسیس فازی در نرم‌افزار اکسل[3] استفاده شد. در بخش دوم، به‌منظور پیاده‌سازی، مقایسه و ارزیابی عملکرد شاخص‌های منتخب برای دو رمزارز بیت‌کوین و اتریوم به‌صورت کمّی و با استفاده از الگوریتم‌های جست‌وجوی شبکهٔ توری[4] و بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)[5]، از نرم‌افزار برنامه‌نویسی پایتون[6] استفاده شد. بازهٔ تاریخی مدنظر در این پژوهش از ۳۰/۰۶/۲۰۱۸ تا ۳۰/۰۶/۲۰۲۲ است.

1. Day, Huang, Cheng, Lin & Ni
1. Ortu, Uras, Conversano, Bartolucci & Destefanis
2. Excel
4. Grid Search
4. Particle Swarm Optimization
5. Python

روش تاپسیس فازی

این تکنیک در سال ۱۹۸۱ توسط هوآنگ و یون[1] مطرح شد. در این تکنیک، هر مسئله از نوع تصمیم‌گیری چند معیاره[2] با mگزینه را که به‌وسیلهٔ n شاخص آزمایش می‌شود، می‌توان به‌عنوان یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای nبُعدی فرض کرد (آزادی، خادم و صالح اولیا، ۱۴۰۰). اساس روش تاپسیس فازی بر این اصل بنا شده است که گزینهٔ انتخابی در کمترین فاصلهٔ ممکن با راه‌حل ایدئال مثبت (بهترین حالت ممکن) قرار داشته باشد. در خصوص رتبه‌بندی عوامل، نکتهٔ مهم این است که اگر اطلاعات مورد نیاز کمّی باشد، به‌صورت عددی بیان می‌شود؛ اما زمانی که تحقیق در فضای کیفی انجام می‌شود، اطلاعات به‌صورت دقیق ارائه نمی‌شود. ارائهٔ عددی دقیق برای بیان عقیده و نظر توسط مدیران عملیاتی کار سختی است، به همین دلیل، در بیشتر موارد ارزیابی کلامی به‌جای ارزش‌های عددی خاص استفاده می‌شود. تاپسیس فازی کاربرد گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف دارد و کمابیش در تمامی زمینه‌ها استفاده می‌شود. مراحل روش تاپسیس فازی شامل تشکیل ماتریس تصمیم، تعیین ماتریس وزن معیارها، بی‌مقیاس کردن (نرمال کردن) ماتریس تصمیم فازی، تعیین ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار، یافتن راه‌حل ایدئال مثبت فازی و منفی فازی (ضد ایدئال)، محاسبهٔ فاصله از ایدئال مثبت فازی و ایدئال منفی فازی، محاسبهٔ شاخص شباهت و رتبه‌بندی گزینه‌هاست (صادقی مقدم، علی بخشی و خلیلی، ۱۳۹۴). از مهم‌ترین مزایای روش تاپسیس فازی، می‌توان به استفاده از معیارهای کیفی و کمّی به‌صورت هم‌زمان، در نظر گرفتن تعداد چشمگیری از معیارها و گزینه‌ها و سرعت مناسب در عین سادگی اشاره کرد.

الگوریتم جست‌وجوی شبکهٔ توری

الگوریتم جست‌وجوی شبکهٔ توری روشی است که بدون هوشمندی خاصی برای افزایش بهره‌وری، از قدرت محاسباتی محض برای رسیدن به جواب ایدئال استفاده می‌کند. بر اساس بهینه‌یابی، پس از انجام پس‌آزمایی‌های متوالی، آنچه به‌دست می‌آید، مجموعه‌ای بزرگ از داده‌ها خواهد بود و برای دستیابی به آنچه نیاز است، باید الگوریتم‌های بهینه‌ای به‌منظور جست‌وجوی این فضا در اختیار باشد. این الگوریتم‌ها یا به‌شکل ساده‌تر، روش‌های جست‌وجو را الگوریتم‌های کاوشگر می‌نامیم. این الگوریتم‌ها طی زمان با بهره‌گیری از علوم مختلف به جهان بهینه‌یابی وارد شده‌اند و هریک با نقاط قوت و ضعف خود مجموعه‌ای مهم از ابزار متخصص بهینه‌یابی را تشکیل می‌دهند. در الگوریتم گرید سرچ تمامی پس‌آزمایی‌ها اجرا و سپس رتبه‌بندی می‌شوند. این الگوریتم تمامی ترکیب‌های ممکن را بررسی و بهترین ترکیب از داده‌ها را معرفی می‌کند. مزیت واضح استفاده از این الگوریتم نسبت به روش‌های دیگر، آن است که تمامی ترکیب‌های ممکن بررسی می‌شوند، به همین دلیل در موارد خاص، به قدرت محاسباتی و پردازش بالایی نیاز خواهید داشت. نقطهٔ ضعف بزرگ این روش سرعت آن است؛ زیرا به‌دلیل سرعت رشد بالای زمان جست‌وجو نسبت به تعداد پارامتر ها استفاده از این روش در داده‌های عظیم درعمل ناممکن یا بسیار پرهزینه است.

1. Hwang & Yoon
2. Multiple Criteria Decision Making

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، نخستین بار در یک مقاله کنفرانسی، توسط جیمز کنـدی و رسـل ابرهـارت[1]، در سـال ۱۹۹۵ مطرح شد. هدف آن‌ها در ابتدا استفاده از مدل‌های اجتماعی و روابط موجود اجتماعی و سپس، به‌وجودآوردن نوعی از هوش محاسباتی بود که توانایی‌های ویژه نداشته باشد. نتیجهٔ تلاش آن‌ها به ایجاد الگوریتمی قوی برای بهینـه‌سـازی منجر شد که الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات یا PSO نامیده می‌شـود. ایـن روش، از عملکـرد دسـته جمعـی گروهـی حیوانات مانند پرندگان و ماهی‌ها الهام گرفته است. در این روش تعدادی از موجودات به نام ذره، در فضـای جسـت‌وجـو مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است، محاسبه می‌کند. در مرحلـهٔ بعـد بـا اسـتفاده از ترکیـب اطلاعات محل فعلی و بهترین محل قبلی، همچنین اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهتـی را برای حرکت انتخاب می‌شود. پس از انجام حرکت جمعی، یک مرحله از الگوریتم به پایان می‌رسد. این مراحل چندین بار تکرار می‌شوند تا در نهایت جواب ایدئال به‌دست آید.

مراحل الگوریتم PSO عبارت‌اند از: ۱. موقعیت‌دهی اولیه و رقابت؛ ۲. به‌روزرسـانی موقعیـت و سـرعت بـرای همـهٔ اعضا؛ ۳. بررسی شرایط جدید و رقابت؛ ۴. تکرار مراحل (در صورت محقق نشدن شرایط خاتمه)؛ ۵. بازگردانـدن بهتـرین پاسخ یافته‌شده.

مهم‌ترین مزایای الگوریتم PSO نسبت به سایر روش‌های فرا ابتکاری عبارت‌اند از:

۱. الگوریتم PSO یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است. این ویژگی باعث می‌شـود کـه کمتـر در مینـیمم محلـی گرفتار شود.
۲. این الگوریتم مبتنی بر قوانین احتمالی است نه قوانین قطعی. در نتیجه PSO یک الگوریتم بهینه‌سازی تصادفی است که توانایی دارد در نواحی نامشخص و پیچیده جست‌وجو کند. این خاصـیت PSO نسـبت بـه روش‌هـای معمولی، انعطاف و مقاومت بیشتری دارد.
۳. به‌دلیل استفاده PSO از نتیجه اطلاعات شاخص بازدهی یا تابع هدف برای هدایت جست‌وجو در فضای مسئله، الگوریتم PSO با توابع هدف غیردیفرانسیلی سروکار دارد.
۴. کیفیت جواب مسیر پیشنهادی نسبت به جمعیت اولیه وابستگی ندارد. به عبارت دیگر با شروع جست‌وجو از هر نقطه، الگوریتم جواب مسئله را نهایتاً به جواب بهینه هم‌گرا می‌کند.
۵. الگوریتم PSO برای کنترل تعادل بین جست‌وجوی محلـی و کلـی از فضـا انعطـاف‌پـذیری زیـادی دارد. ایـن خاصیت منحصربه‌فرد، ظرفیت جست‌وجو را افزایش می‌دهد و بر مشکل هم‌گرایی بدموقع غلبه می‌کند.

یافته‌های پژوهش

در این بخش، ابتدا نتایج حاصل از بخش کیفی شامل نتایج نهایی پرسش‌نامه و رتبهٔ نهایی هر یک از شاخص‌ها و سپس

1. James Kennedy & Abrahat

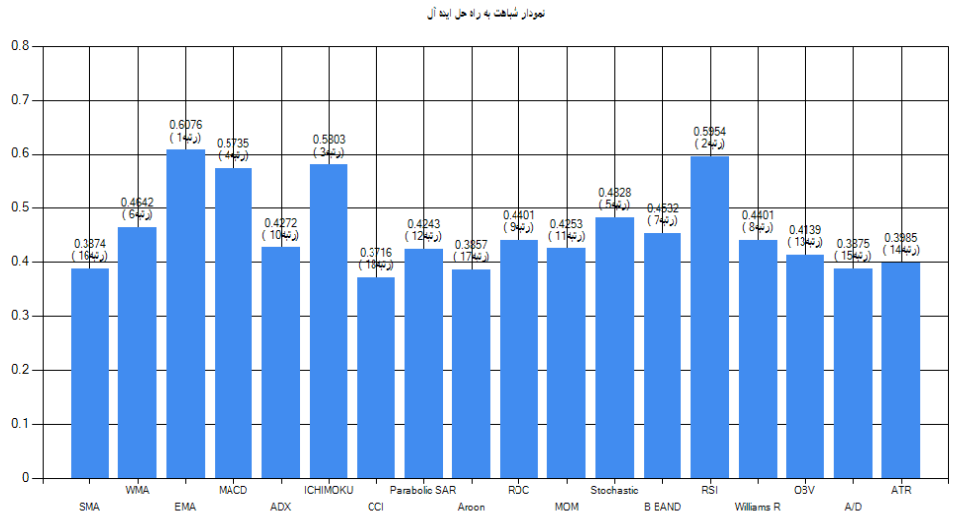
نتایج حاصل از بخش کمّی شامل پیاده‌سازی و ارزیابی عملکرد قواعد معاملاتی مبتنی بر شاخص‌های منتخب و مقایسه سه استراتژی معاملاتی خبره‌محور، الگوریتم‌محور و خرید و نگهداری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بخش کیفی

پس از مطالعه کتب، مقالات و پایان‌نامه‌ها و همچنین اخذ مشاوره از خبرگان بازار رمزارز در نهایت هجده شاخص شامل میانگین متحرک ساده، میانگین متحرک وزن‌دار، میانگین متحرک نمایی، میانگین متحرک هم‌گرایی واگرایی، میانگین متحرک جهت‌دار، ایچیموکو، شاخص کانال کالا، پارابولیک سار، آرون، نرخ تغییر، مومنتوم، استوکاستیک، بولینگرباند، شاخص قدرت نسبی، لری ویلیامز، حجم معاملات، شاخص تراکم ـ توزیع و میانگین محدودهٔ واقعی برای ارزیابی و رتبه‌بندی گزینش شدند. علاوه‌برآن، چهار ویژگی شناسایی محدودهٔ چرخش بازار، قابلیت شخصی‌سازی (کالیبراسیون)، دقت سیگنال‌دهی و هماهنگی با تایم فریم‌های مختلف، جهت رتبه‌بندی شاخص‌های تکنیکال با استفاده از روش تاپسیس فازی به‌عنوان معیارهای مد نظر انتخاب شدند. پس از تکمیل پرسش‌نامه توسط خبرگان، ۱۸ شاخص با استفاده از روش تاپسیس فازی رتبه‌بندی شدند. خروجی تاپسیس و رتبهٔ نهایی شاخص‌ها، به‌ترتیب در شکل ۱ و جدول ۱ آمده است. در نهایت، چهار شاخص میانگین متحرک نمایی (EMA)، شاخص قدرت نسبی (RSI)، ایچیموکو و میانگین متحرک هم‌گرایی واگرایی (MACD)، به‌ترتیب با شاخص شباهت ۰/۶۰۶۷، ۰/۵۹۵۴، ۰/۵۸۰۳ و ۰/۵۷۳۵ با اختلاف محسوسی به‌عنوان شاخص‌های برتر انتخاب شدند.

بخش کمّی

پس از مشخص‌شدن شاخص‌های منتخب، به‌منظور بررسی عملکرد قواعد معاملاتی مبتنی بر این شاخص‌ها، به پیاده‌سازی و مقایسهٔ این قواعد (به‌طور متمایز و ترکیبی) با استراتژی خرید و نگهداری برای دو رمز ارز بیت‌کوین و اتریوم پرداخته شده است.



شکل ۱. نمودار شباهت به راه‌حل ایدئال شاخص‌های تکنیکال بر اساس نظرهای خبرگان

شایان ذکر است که در مرحلهٔ اول، پیاده‌سازی استراتژی‌های منتخب خبرگان ارزیابی می‌شود و در مرحلهٔ بعد که نقطه عطف این پژوهش است، برای تعیین پارامترهای قواعد معاملاتی و بهینه‌سازی عملکرد آن‌ها از روش‌های بهینه‌سازی شامل الگوریتم جست‌وجوی شبکه توری و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، استفاده می‌شود. برای مقایسهٔ عملکرد قواعد معاملاتی منتخب در بازار رمزارز، بازده روزانه، ماهانه و سالانهٔ قواعد در بازه مورد بررسی سنجیده و ارزیابی شده است.

جدول ۱. رتبه نهایی شاخص‌های تکنیکال

ردیف	نام شاخص	معادل فارسی	شاخص شباهت	رتبه
۱	SMA	میانگین متحرک ساده	۰/۳۸۷۴	۱۶
۲	WMA	میانگین متحرک وزن دار	۰/۴۶۴۲	۶
۳	EMA	میانگین متحرک نمایی	۰/۶۰۷۶	۱
۴	MACD	میانگین متحرک هم‌گرایی واگرایی	۰/۵۷۳۵	۴
۵	ADX	میانگین متحرک جهت دار	۰/۴۲۷۲	۱۰
۶	ICHIMOKU	ایچیموکو	۰/۵۸۰۳	۳
۷	CCI	شاخص کانال کالا	۰/۳۷۱۶	۱۸
۸	Parabolic SAR	پارابولیک سار	۰/۴۲۴۳	۱۲
۹	Aroon	آرون	۰/۳۸۵۷	۱۷
۱۰	ROC	نرخ تغییر	۰/۴۴۰۱	۹
۱۱	MOM	مومنتوم	۰/۴۲۵۳	۱۱
۱۲	Stochastic	استوکاستیک	۰/۴۸۲۸	۵
۱۳	B BAND	بولینگر باند	۰/۴۵۳۲	۷
۱۴	RSI	شاخص قدرت نسبی	۰/۵۹۵۴	۲
۱۵	Williams R	ویلیامز R	۰/۴۴۰۱	۸
۱۶	OBV	حجم معاملات	۰/۴۱۳۹	۱۳
۱۷	A/D	تراکم/توزیع	۰/۳۸۷۵	۱۵
۱۸	ATR	میانگین محدوده واقعی	۰/۳۹۸۵	۱۴

پیاده‌سازی شاخص‌ها برای رمز ارز بیت‌کوین

جدول‌های ۲ و ۳ تنظیمات پارامترهای قواعد معاملاتی را مطابق با نظرهای خبرگان و الگوریتم‌های بهینه‌یابی برای چهار شاخص میانگین‌متحرک نمایی، شاخص قدرت نسبی، ایچیموکو و میانگین متحرک هم‌گرا واگرایی در خصوص رمزارز بیت‌کوین نشان می‌دهد.

جدول ۲. تنظیمات خبره‌محور برای رمزارز بیت‌کوین

نام شاخص	تنظیمات خبره محور
EMA	۲۱
RSI	۱۲-۹
MACD	۱۲-۲۶-۹
ICHIMOKU	۹-۲۶-۲۶-۵۲

جدول۳. تنظیمات الگوریتم محور برای رمزارز بیت‌کوین

نام شاخص	تنظیمات الگوریتمی
EMA	۷۵
RSI	۱۳-۱۰
MACD	۲۲-۵۵-۵
ICHIMOKU	۹-۱۹-۱۷-۳۹

جدول ۴ میزان بازده قواعد معاملاتی منتخب و تعداد سیگنال خرید و فروش در بازه مورد بررسی را با استفاده از استراتژی‌های خبره محور، الگوریتم محور و همچنین استراتژی خرید و نگهداری برای رمزارز بیت‌کوین نشان می‌دهد.

پس از مقایسه عملکرد قواعد معاملاتی با استفاده از استراتژی خبره‌محور در بازار بیت‌کوین مشاهده شد، به‌ترتیب استراتژی ترکیبی شاخص‌های EMA-RSI-MACD، شاخص EMA، شاخص RSI، شاخص ICHIMOKU، استراتژی خرید و نگهداری و شاخص MACD بیشترین بازدهی را دارند.

$$EMA - RSI - MACD > EMA > RSI > ICHIMOKU > Buy\ \&\ Hold > MACD$$ رابطهٔ ۱)

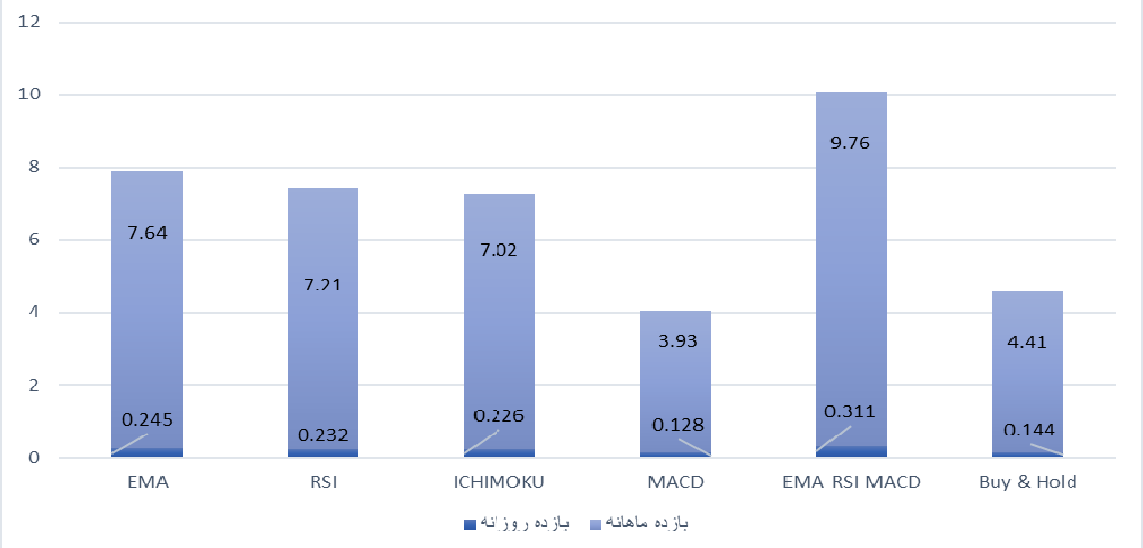
پس از مقایسهٔ عملکرد قواعد معاملاتی با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در بازار بیت‌کوین مشاهده شد، به‌ترتیب استراتژی ترکیبی شاخص‌های EMA-RSI-MACD، شاخص ICHIMOKU، شاخص EMA، شاخص RSI، شاخص MACD و استراتژی خرید و نگهداری بیشترین بازدهی را دارند.

$$EMA - RSI - MACD > ICHIMOKU > EMA > RSI > MACD > Buy\ \&\ Hold$$ رابطهٔ ۲)

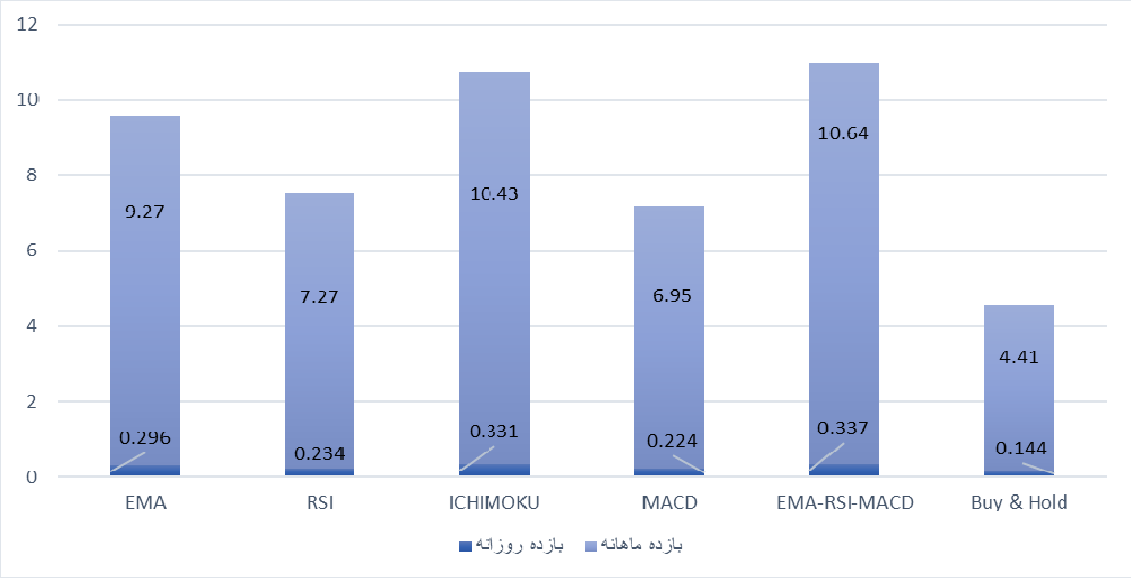
شکل‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب مقایسهٔ میانگین بازده روزانه و ماهانهٔ استراتژی‌های خبره محور و خرید و نگهداری و مقایسه میانگین بازده روزانه و ماهانه استراتژی‌های الگوریتم محور و خرید و نگهداری رمز ارز بیت‌کوین را برای هر یک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ٤. مقایسه بازده قواعد معاملاتی منتخب با ۳ استراتژی خبره محور، الگوریتم محور و خریدونگهداری رمزارز بیت‌کوین

شاخص(های) استراتژی	پارامترهای استراتژی	متوسط بازده روزانه (درصد)	متوسط بازده ماهانه (درصد)	متوسط بازده سالانه (درصد)	بازده کل دوره (درصد)	تعداد سیگنال
EMA	منتخب خبرگان	۰/۲۴۵	۷/۶۴	۱۴۵/۰۴	۳۵۲۳/۲۱	۱۴۸
	بهینه‌سازی شده	۰/۲۹۶	۹/۲۷	۱۹۴/۲۷	۷۴۴۳/۵۴	۵۴
RSI	منتخب خبرگان	۰/۲۳۲	۷/۲۱	۱۳۳/۳۴	۲۸۷۸/۷۷	۳
	بهینه‌سازی شده	۰/۲۳۴	۷/۲۷	۱۳۴/۸۹	۲۹۵۸/۵۰	۳
ICHIMOKU	منتخب خبرگان	۰/۲۲۶	۷/۰۲	۱۲۸/۴۳	۲۶۳۵/۲۵	۵۴
	بهینه‌سازی شده	۰/۳۳۱	۱۰/۴۳	۲۳۴/۶۷	۱۲۵۲۹/۴۸	۷۰
MACD	منتخب خبرگان	۰/۱۲۸	۳/۹۳	۵۹/۸۸	۵۵۵/۱۳	۱۰۰
	بهینه‌سازی شده	۰/۲۲۴	۶/۹۵	۱۲۶/۵۲	۲۵۴۴/۹۵	۸۹
EMA RSI MACD	منتخب خبرگان	۰/۳۱۱	۹/۷۶	۲۱۰/۶۶	۹۲۷۲/۲۰	۱۱۵
	بهینه‌سازی شده	۰/۳۳۷	۱۰/۶۴	۲۴۲/۴۷	۱۳۷۴۹/۵۶	۱۰۳
	خرید و نگهداری	۰/۱۴۴	۴/۴۱	۶۹/۰۹	۷۲۰/۰۱	



شکل ۲. مقایسه میانگین بازده روزانه و ماهانه استراتژی‌های خبره محور و خرید و نگهداری رمزارز بیت‌کوین



شکل ۳. مقایسهٔ میانگین بازده روزانه و ماهانهٔ استراتژی‌های الگوریتم‌محور و خرید و نگهداری رمزارز بیت‌کوین

پیاده‌سازی شاخص‌ها برای رمزارز اتریوم

جدول‌های ۵ و ۶ تنظیمات پارامترهای قواعد معاملاتی را مطابق با نظرهای خبرگان و الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای چهار شاخص میانگین متحرک نمایی، شاخص قدرت نسبی، ایچیموکو و میانگین متحرک هم‌گرا واگرایی در خصوص رمزارزاتریوم نشان می‌دهد.

جدول۵. تنظیمات خبره‌محور برای رمزارز اتریوم

نام شاخص	تنظیمات خبره محور
EMA	۲۱
RSI	۹-۱۴
MACD	۱۲-۲۶-۹
ICHIMOKU	۹-۲۶-۲۶-۵۲

جدول ٦. تنظیمات الگوریتم‌محور برای رمزارز اتریوم

نام شاخص	تنظیمات الگوریتمی
EMA	۲۲
RSI	۹-۱۵
MACD	۸-۵۰-۱۸
ICHIMOKU	۴-۵۲-۱۸-۷۶

جدول ۷ میزان بازده قواعد معاملاتی منتخب و تعداد سیگنال خرید و فروش در بازه مورد بررسی را با استفاده از استراتژی‌های خبره محور، الگوریتم محور و همچنین استراتژی خرید و نگهداری برای رمزارز اتریوم نشان می‌دهد.

جدول ۷. مقایسه بازده قواعد معاملاتی با سه استراتژی خبره محور، الگوریتم‌محور و خریدونگهداری رمز ارز اتریوم

شاخص(های) استراتژی	پارامترهای استراتژی	متوسط بازده روزانه (درصد)	متوسط بازده ماهانه (درصد)	متوسط بازده سالانه (درصد)	بازده کل دوره (درصد)	تعداد سیگنال
EMA	منتخب خبرگان	۰/۳۰۲	۹/۴۸	۲۰۱	۸۱۵۸/۸۳	۱۵۶
	بهینه‌سازی شده	۰/۳۱۳	۹/۸۴	۲۱۳/۳۴	۹۶۰۰/۸۰	۱۴۴
RSI	منتخب خبرگان	۰/۰۶۴	۱/۹۴	۲۶/۳۳	۱۵۵/۰۶	۸
	بهینه‌سازی شده	۰/۰۷	۲/۱۳	۲۹/۳۳	۱۸۰/۱۸	۸
ICHIMOKU	منتخب خبرگان	۰/۲۶۸	۸/۳۵	۱۶۵/۵۹	۴۹۰۲/۸۹	۶۴
	بهینه‌سازی شده	۳۹۱/۰	۱۲/۴۳	۳۱۶/۳۴	۳۰۱۸۳/۲۱	۴۸
MACD	منتخب خبرگان	۰/۱۴۳	۴/۴۳	۶۹/۰۴	۷۱۹/۰۴	۱۱۰
	بهینه‌سازی شده	۰/۲۹۸	۹/۳۶	۱۹۷/۲۴	۷۷۵۳/۲۲	۸۴
EMA RSI MACD	منتخب خبرگان	۰/۳۷۰	۱۱/۷۲	۲۸۵/۴۸	۲۲۱۴۶/۴۸	۱۷۷
	بهینه‌سازی شده	۰/۴۱۲	۱۳/۱۴	۳۴۹/۲۷	۴۰۹۷۹/۴۹	۱۵۳
	خرید و نگهداری	۰/۱۷۲	۵/۳۰	۸۷/۵۸	۱۱۴۲/۵۱	

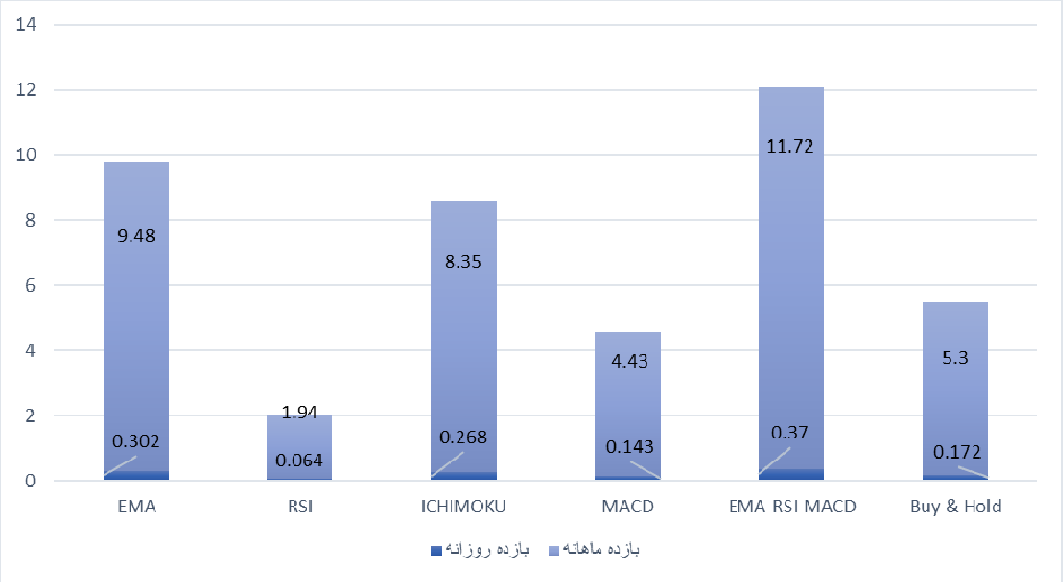
پس از مقایسهٔ عملکرد قواعد معاملاتی در بازار اتریوم با استفاده از استراتژی خبره‌محور، به‌ترتیب استراتژی ترکیبی شاخص‌های EMA-RSI-MACD، شاخص EMA، شاخص ICHIMOKU، استراتژی خرید و نگهداری، شاخص MACD و شاخص RSI رتبه‌های یک تا شش را به‌دست آوردند.

رابطهٔ ۳) $EMA - RSI - MACD > EMA > ICHIMOKU > Buy\ \&\ Hold > MACD > RSI$

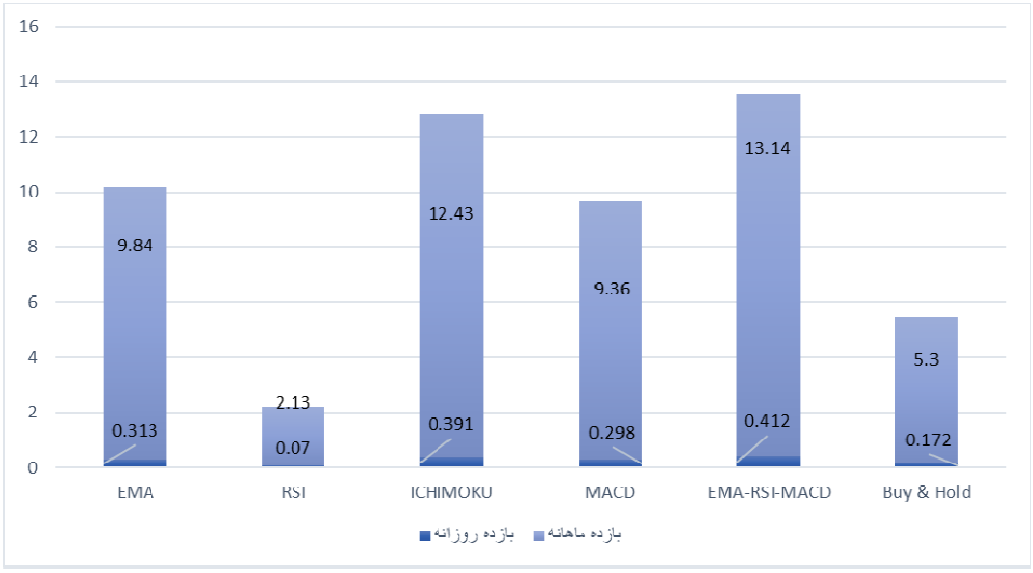
پس از مقایسهٔ عملکرد قواعد بهینه‌سازی شده با الگوریتم‌های بهینه‌سازی، به‌ترتیب استراتژی ترکیبی شاخص‌های EMA-RSI-MACD، شاخصICHIMOKU، شاخص EMA، شاخص MACD، استراتژی خرید و نگهداری و شاخص RSI بیشترین بازدهی را دارند.

رابطهٔ ۴) $EMA - RSI - MACD > ICHIMOKU > EMA > MACD > Buy\ \&\ Hold > RSI$

مقایسهٔ میانگین بازده روزانه و ماهانهٔ استراتژی‌های خبره‌محور و خرید و نگهداری و همچنین، مقایسهٔ میانگین بازده روزانه و ماهانهٔ استراتژی‌های الگوریتم‌محور و خرید و نگهداری برای رمزارز اتریوم، به‌ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ٤. مقایسهٔ میانگین بازده روزانه و ماهانهٔ استراتژی‌های خبره‌محور و خرید و نگهداری رمزارز اتریوم



شکل ۵. مقایسهٔ میانگین بازده روزانه و ماهانهٔ استراتژی‌های الگوریتم‌محور و خرید و نگهداری رمزارز اتریوم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

استفاده از تحلیل تکنیکال و شاخص‌های تکنیکال، به‌عنوان یکی از ابزارهای مهم پیش‌بینی، همواره در کانون توجه معامله‌گران بازار ارز دیجیتال بوده است. این پژوهش با هدف انتخاب و رتبه‌بندی مهم‌ترین شاخص‌های تکنیکال بازار ارزهای دیجیتال توسط خبرگان این بازار، پیاده‌سازی و مقایسه عملکرد قواعد معاملاتی مبتنی بر این شاخص‌ها با استراتژی خرید و نگهداری و با یکدیگر و در نهایت، بهینه‌سازی بازده این شاخص‌ها انجام گرفته است. پس از تکمیل

پرسش‌نامه توسط خبرگان با استفاده از روش تاپسیس فازی، چهار شاخص تکنیکال میانگین متحرک نمایی، شاخص قدرت نسبی، ایچیموکو و میانگین متحرک هم‌گرایی ـ واگرایی، به‌عنوان شاخص‌های تکنیکال منتخب برگزیده شدند. در ادامه، میزان بازدهی روزانه، ماهانه، سالانه و بازده کل این شاخص‌ها با استفاده از استراتژی‌های خبره‌محور، استراتژی مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی و استراتژی خرید و نگهداری مشخص شد. بر اساس نتایج این پژوهش، اتخاذ استراتژی مبتنی بر شاخص‌های تکنیکال منتخب در معامله ارزهای دیجیتال بیت‌کوین و اتریوم سودآوری خوبی را به همراه دارد. همچنین، استفاده از الگوریتم‌های جست‌وجوی شبکهٔ توری و بهینه‌سازی ازدحام ذرات می‌تواند میزان سودآوری قواعد معاملاتی را به مقدار چشمگیری افزایش دهد. علاوه‌براین، استفاده از استراتژی حاصل از ترکیب چند شاخص تکنیکال، همواره نسبت به معامله با یک شاخص مناسب‌تر است. در ادامهٔ این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که روش ترکیبی کیفی ـ کمّی مورد استفاده در پژوهش، در سایر بازارهای مالی پیاده‌سازی و ارزیابی شود. همچنین، می‌توان کارایی دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی را در تعیین پارامترهای قواعد معاملاتی بررسی و نتایج به‌دست آمده را با نتایج این پژوهش مقایسه و تحلیل کرد.

منابع

آزادی، ژاله؛ خادمی، حسن و صالح اولیا، محمد (۱۴۰۰). توسعه مدل تاپسیس برای رتبه‌بندی پویا با رویکرد پنجره زمانی. *مجله مهندسی صنایع و مدیریت شریف*، ۳۷(۱)، ۲۷-۳۵.

افشاری راد، الهام؛ علوی، عنایت‌اله و سینایی، حسنعلی (۱۳۹۷). مدلی هوشمند برای پیش‌بینی سهام با استفاده از روش‌های تحلیل تکنیکال. *تحقیقات مالی*، ۲۰(۲)، ۲۴۹-۲۶۴.

حیدری، مهدی و امیری، حمیدرضا (۱۴۰۱). بررسی قدرت مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در پیش‌بینی روند قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران. *تحقیقات مالی*، ۲۴(۴)، ۶۰۲-۶۲۳.

سیف، سمیرا؛ جمشیدی نوید، بابک؛ قنبری، مهرداد و اسماعیلی‌پور، مسعود (۱۴۰۰). پیش‌بینی روند بورس سهام ایران با استفاده از نوسان نمای موج الیوت و شاخص قدرت نسبی. *تحقیقات مالی*، ۳۳(۱)، ۱۳۴- ۱۵۷.

صادقی مقدم، محمدرضا؛ علی بخشی، رضا و خلیلی، الهام (۱۳۹۴). ارزیابی صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک برگزیده موجود در بازار سرمایه ایران با روشی ترکیبی از روش‌های Topsis، Vikor و تکنیک مشابهت. *تحقیقات مالی*، ۱۷(۲)، ۲۵۹- ۲۸۲.

کنی، امیر عباس (۱۳۸۴). *تحلیل تکنیکی پیشرفته*، انتشارات مرکز تحقیقات و آموزش کارگزاری راهبرد.

محبی، سمیه؛ فدائی نژاد، محمداسماعیل؛ اصولیان، محمد و حمیدی‌زاده، محمدرضا (۱۴۰۱). انتخاب ویژگی‌های مناسب برای مدل پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار تهران بر مبنای تکنیک کاهش ابعاد. *تحقیقات مالی*، ۲۴(۴)، ۵۷۷-۶۰۱.

مرادی، بابک؛ بحری ثالث، جمال؛ جبارزاده کنگلویی، سعید و آشتاب، علی (۱۴۰۱). تبیین و ارائه مدلی برای پیش‌بینی نقدشوندگی سهام در بورس اوراق بهادار تهران. *تحقیقات مالی*، ۲۴(۱)، ۱۳۴- ۱۵۶.

References

Adcokh, R. & Gradojevic, N. (2019). Non-fundamental, non-parametric Bitcoin forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 531, 121-127.

Afsharirad, E., Alavi, E & Sinaei, H (2018). Developing an Intelling Model to Predict Stock Trend Using the Technical Analysis. *Financial Research Journal*, 20(2), 249-264. (*in Persian*)

Almudhaf, F. (2018). Pricing efficiency of Bitcoin trusts. *Applied Economics Letters*, 25(7), 504-508.

Al-Yahyaee, Kh., 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*, 228-234. DOI:10.1016/j.frl.2018.03.017

Atsalakis, G.S., Atsalaki, I.G., Pasiouras, F. & Zopounidis, C. (2019). Bitcoin price forecasting with neuro-fuzzy techniques. *European Journal of Operational Research*, 276(2), 770-780. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.01.040

Azadi, Zh. & Saleh Olia, M. (2021). Development of Topsis model for dynamic ranking with time window approach. *Industrial Management Journal*, 37(1), 27-35. (*in Persian*)

Corbet, S., Eraslan, V., Lucey, B. & Sensoy, A. (2019). The effectiveness of technical trading rules in cryptocurrency markets. *Finance Research Letters*, *31*, 32-37.

Day, M., Huang, P., Cheng, Y., Lin, Y. & Ni, Y. (2022). Profitable day trading Bitcoin futures following continuous bullish (bearish) candlesticks. *Applied Economics Letters*, 29 (10), 947-954.

Detzel, A., Liu, H., Strauss, J., Zhou, G. & Zhu, Y. (2021). Learning and Predictability via Technical Analysis: Evidence from Bitcoin and Stocks with Hard-to-Value Fundamentals. *Financial management*, 50, 107-137.

Gerritsen, D. F., Bouri, E., Ramezanifar, E. & Roubaud, D. (2020). The profitability of technical trading rules in the Bitcoin market. *Finance Research Letters*, 34, 101-263.

Gradojevic, N., Kukolj, D., Adcock, R. & Djakovic, D. (2023). Forecasting Bitcoin with technical analysis: A not-so-random forest. *International Journal of Forecasting*, 39 (1), 1-17.

Grobys, K. & Sapkota N. (2019). Cryptocurrencies and momentum. *Economics Letters*, 180, 6-10.

Heidari, M. & Saleh Olia, M. (2022). Inspecting the Predictive Power of Artificial Intelligence Model in Predicting the Stock Price Trend in Tehran Stock Exchange. *Financial Research Journal*, 24(4), 602-623. (*in Persian*)

Huang, J., Huang, W. & Ni, J. (2019). Predicting bitcoin returns using high-dimensional technical indicators. *The Journal of Finance and Data Science*, 5(3), 140-155.

Jackson, O. (2018). UK eyes AML rules for bitcoin regulation. *International Financial Law Review*, London (Jan 4, 2018).

Kani, A. (2005). *Advanced technical analysis*. Strategic employment research and training center. (*in Persian*)

Kim, S. W. (2021). Technical Trading Rules for Bitcoin Futures. *Journal of Convergence for Information Technology*, 11(5), 94-103.

Kristoufek, L. (2018). On Bitcoin markets (in) efficiency and its evolution. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 503, 257-262.

Kristoufek, L. & Vosvrda, M. (2013). Measuring capital market efficiency: Global and local correlations structure, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392 (1), 184-193.

Lee, K., Ulkuatam, S., Beling, P. & Scherer, W. (2018). Generating synthetic Bitcoin transactions and predicting market price movement via inverse reinforcement learning and agent-based modelling. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(3), 5.

Miller, N., Yang, Y., Sun, B. & Zhang, G. (2019). Identification of technical analysis patterns with smoothing splines for bitcoin prices. *Journal of Applied Statistics*, 46 (12), 2289-2297.

Mohebi, S., Fadaeinejad, M., Osoolian, M. & Hamidzadeh, M. (2022). Feature Selection for the Prediction Model of the Tehran Stock Exchange Index by Dimensionality Reduction Techniques. *Financial Research Journal*, 24(4), 577-601. (*in Persian*)

Moradi, B., Bahri Sales, J., Jabbarzadeh Kangarlooi, S. & Ashtab, A. (2022). Explaining and Proposing a Market Liquidity Prediction Model in Tehran Stock Exchange. *Financial Research Journal*, 24(1), 134-156. (*in Persian*)

Ortu, M., Uras, N., Conversano, C. Bartolucci, S. & Destefanis, G. (2022). On technical trading and social media indicators for cryptocurrency price classification through deep learning. *Expert Systems with Applications*, 198, 116804.

Resta, M., Pagnottoni, P. & De Giuli, M. E. (2020). Technical Analysis on the Bitcoin Market: Trading Opportunities or Investors' Pitfall? *Risks*, 8(2), 44.

Sadeghi Moghadam, M., Alibakhshi, R. & Kalili, E. (2014). An Assessment of Selected Mutual Funds in Iran Stock Market Using a Combined Method of TOPSIS, VIKOR and Similarity-based Approach. *Financial Research Journal*, 17(2), 259-282. (*in Persian*)

Seif, S., Jamshidinavid, B., Ghanbari, M. & Esmaeilpour, M. (2021). Predicting Stock Market Trends of Iran Using Elliott Wave Oscillation and Relative Strength Index. *Financial Research Journal*, 23(1), 134-157. (*in Persian*)

Sensoy, A. (2019). The inefficiency of Bitcoin revisited a high-frequency analysis with alternative currencies. *Finance Research Letters*, 28, 68-73

Urquhart, A. (2016). The inefficiency of Bitcoin. *Economics Letters*, 148, 80-82.

Zhang, W., Wang, P., Li, X. & Shen, D. (2018). The inefficiency of cryptocurrency and its cross-correlation with Dow Jones Industrial Average. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 510, 658-670.