Journal of
Intelligent Financial
Management Perspectives

ISSN: 3116-0964

Designing a MEV-Resistant Automated Market Maker for Decentralized Finance Platforms via Multi-Agent Reinforcement Learning-Based Continuous Curve Optimization

Farhad Mousavi Nia [1]*, Mahsa Jalali Mehr [2]

[1] *PhD student in Financial Management, University of Birjand, Birjand, Iran (Coresponding autour), Email: farhad.mousavienia@birjand.ac.ir*

[2] *PhD student in Financial Management, University of Birjand, Birjand, Iran*

ARTICLE INFO

Article history:
Received:05/05/2026
Received in revised form:18/05/2026
Accepted:02/06/2026
Available online:16/06/2026

Keywords:

Decentralized Finance (DeFi)
Automated Market Maker (AMM)
Maximal Extractable Value (MEV)
Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL)
Continuous Bonding Curve

ABSTRACT

In the The rapid growth of Decentralized Finance (DeFi) has introduced innovative mechanisms for digital asset exchange, among which Automated Market Makers (AMMs) play a fundamental role. Despite their widespread adoption, AMMs remain vulnerable to Maximal Extractable Value (MEV), which has emerged as one of the most critical challenges in the DeFi ecosystem. Attacks such as front-running, sandwich attacks, and malicious arbitrage can reduce user welfare, increase price slippage, and undermine market efficiency. This study proposes the design of a MEV-resistant Automated Market Maker through the dynamic optimization of continuous pricing curves. The market environment is modeled as a multi-agent system consisting of regular traders, arbitrageurs, MEV extractors, and the AMM itself. A Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL) framework is employed to enable the AMM to adaptively learn optimal pricing curve parameters in real time according to changing market conditions. The reward function is designed to simultaneously preserve liquidity and market efficiency while minimizing opportunities for MEV extraction. Simulation results demonstrate that the proposed model significantly reduces the profits obtainable by MEV attackers compared with traditional constant-product AMMs, while improving trade execution quality and overall user welfare. The findings contribute to the development of a new generation of intelligent and economically secure AMMs capable of mitigating adversarial extraction strategies in decentralized financial platforms.

Journal of Intelligent Financial Management, 2025, Vo2. 2, No.1, pp. 76- 91

Publish by:
Tolou-e Binish-e Ayandeh Scientific Institute

https://doi.org/ 10.25843/JIFM.2025.8563.23441

Article Type: Research Paper

©Authors

Cite: Mousavi Nia,F and Jalali Mehr,M . (2026). Designing a MEV-Resistant Automated Market Maker for Decentralized Finance Platforms via Multi-Agent Reinforcement Learning-Based Continuous Curve Optimization. . *Journal of Intelligent Financial Management*, *2(1)*, 76-91.

نگرش های
مدیریت مالی هوشمند
Journal of Intelligent Financial Management Perspectives
ISSN: 3116-0964

مکانیزم بازارساز خودکار مقاوم در برابر استخراج ارزش قابل برنامه‌ریزی در پلتفرم‌های بررسی دیفای با بهینه‌سازی منحنی پیوسته مبتنی بر یادگیری تقویتی چندعامله

فرهاد موسوی نیا [۱ و*]، مهسا جلالی مهر [۲]

۱ و *- دانشجوی دکتری مدیریت مالی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران (نویسنده مسئول)، ایمیل نویسنده مسئول: farhad.mousavienia@birjand.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری مدیریت مالی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت:۱۴۰۵/۰۲/۱۵
تاریخ بازنگری:۱۴۰۵/۰۲/۲۸
تاریخ پذیرش:۱۴۰۵/۰۳/۱۲
تاریخ انتشار:۱۴۰۵/۰۳/۲۶

کلیدواژه‌ها:
امور مالی غیرمتمرکز
بازارساز خودکار
حداکثر ارزش قابل استخراج
یادگیری تقویتی چندعامله
منحنی پیوندی پیوسته

چکیده

گسترش سریع امور مالی غیرمتمرکز موجب ظهور سازوکارهای نوینی برای مبادله دارایی‌های دیجیتال شده است که بازارسازهای خودکار از مهم‌ترین اجزای آن به شمار می‌روند. با وجود موفقیت گسترده این سازوکارها، آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر استخراج ارزش قابل برنامه‌ریزی (MEV)به یکی از چالش‌های اساسی اکوسیستم دیفای تبدیل شده است. حملاتی نظیر فرانت‌رانینگ، ساندویچ اتک و آربیتراژ مخرب می‌توانند موجب کاهش رفاه کاربران، افزایش لغزش قیمت و کاهش کارایی بازار شوند. پژوهش حاضر به طراحی یک مکانیزم بازارساز خودکار مقاوم در برابر MEV از طریق بهینه‌سازی پویا و تطبیقی منحنی‌های قیمت‌گذاری پیوسته می‌پردازد. در این چارچوب، محیط بازار به صورت یک سیستم چندعامله مدل‌سازی شده است که شامل معامله‌گران عادی، آربیتراژگران، استخراج‌کنندگان MEVو بازارساز خودکار می‌باشد. برای یادگیری رفتار بهینه بازارساز از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی چندعامله استفاده شده است تا پارامترهای منحنی قیمت‌گذاری در زمان واقعی و متناسب با شرایط بازار تنظیم شوند. تابع پاداش طراحی‌شده به گونه‌ای است که ضمن حفظ نقدینگی و کارایی بازار، فرصت‌های استخراج MEV را به حداقل برساند. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در مقایسه با بازارسازهای سنتی مبتنی بر حاصل‌ضرب ثابت، قادر است میزان سود استخراج‌شده توسط مهاجمان MEV را به طور معناداری کاهش داده و همزمان کیفیت اجرای معاملات و رفاه کاربران را بهبود بخشد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند زمینه توسعه نسل جدیدی از بازارسازهای هوشمند و مقاوم در برابر حملات اقتصادی را در پلتفرم‌های دیفای فراهم آورد.

نشریه مدیریت مالی هوشمند، ۱۴۰۴، دوره ۲، شماره ۱، صفحه ۷۶-۹۱.

ناشر: موسسه علمی طلوع بینش آینده

https://doi.org/ 10.25843/JIFM.2025.8563. 23441

نوع مقاله: پژوهشی

© نویسندگان

استناد: موسوی نیا,فرهاد و جلالی مهر,مهسا . (۱۴۰۵). مکانیزم بازارساز خودکار مقاوم در برابر استخراج ارزش قابل برنامه‌ریزی در پلتفرم‌های دیفای با بهینه‌سازی منحنی پیوسته مبتنی بر یادگیری تقویتی چندعامله .*مدیریت مالی هوشمند ۲(۱)، ۷۶-۹۱.*

ISSN: 3116-0964

۱-مقدمه

گسترش روزافزون فناوری‌های مالی در دهه اخیر، نظام‌های مالی جهانی شاهد تحولی بنیادین ناشی از ظهور فناوری‌های مبتنی بر زنجیره‌بلوک بوده‌اند. این فناوری با ارائه ساختاری غیرمتمرکز، شفاف و غیرقابل تغییر، امکان بازتعریف زیرساخت‌های مالی سنتی را فراهم کرده است. آغاز این تحول با معرفی بیت‌کوین توسط Nakamoto (2008) شکل گرفت که در آن مفهوم حذف واسطه‌های مالی و ایجاد یک سیستم پرداخت همتابه‌همتا مطرح شد. این ایده، نقطه شروعی برای موج گسترده‌ای از نوآوری‌ها در حوزه اقتصاد دیجیتال محسوب می‌شود.با توسعه نسل دوم زنجیره‌بلوک‌ها و معرفی قراردادهای هوشمند توسط Ethereum (Buterin, 2014) ، امکان اجرای برنامه‌های مالی خودکار بدون نیاز به اعتماد به واسطه‌ها فراهم شد. این تحول منجر به شکل‌گیری اکوسیستمی شد که امروزه تحت عنوان «امور مالی غیرمتمرکز» شناخته می‌شود. امور مالی غیرمتمرکز به مجموعه‌ای از پروتکل‌ها اطلاق می‌شود که خدمات مالی سنتی مانند وام‌دهی، مبادله دارایی و تأمین نقدینگی را بدون نیاز به نهادهای متمرکز ارائه می‌دهد(Werner et al., 2021) .

در این اکوسیستم، یکی از مهم‌ترین نوآوری‌ها، ظهور بازارسازهای خودکار است. این سیستم‌ها برخلاف بازارهای سنتی که بر اساس دفتر سفارش عمل می‌کنند، از استخرهای نقدینگی و توابع ریاضی برای تعیین قیمت استفاده می‌کنند. در این مدل، کاربران به جای معامله مستقیم با یکدیگر، با یک قرارداد هوشمند تعامل دارند که قیمت را بر اساس نسبت دارایی‌ها در استخر تعیین می‌کند. یکی از شناخته‌شده‌ترین مدل‌ها در این زمینه، مدل حاصل‌ضرب ثابت است که در پروتکل Uniswap معرفی شد(Angeris & Chitra, 2020) .اگرچه این مدل‌ها توانسته‌اند نقدشوندگی بالایی ایجاد کنند، اما با گذشت زمان محدودیت‌های ساختاری آن‌ها آشکار شده است. یکی از مهم‌ترین این محدودیت‌ها، آسیب‌پذیری در برابر ناکارآمدی‌های اطلاعاتی و اقتصادی در سطح شبکه است. در واقع، ساختار ایستای این بازارسازها باعث می‌شود که در شرایط نوسانی بازار، فرصت‌های آربیتراژ افزایش یابد و در نتیجه، بخشی از ارزش اقتصادی به جای کاربران، توسط بازیگران خاص استخراج شود.

در سال‌های اخیر، مفهوم «بیشینه ارزش قابل استخراج» به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های امنیت اقتصادی در زنجیره‌بلوک مطرح شده است. این مفهوم به میزان ارزشی اشاره دارد که می‌تواند توسط تولیدکنندگان بلاک یا سایر بازیگران شبکه از طریق تغییر ترتیب، حذف یا اضافه کردن تراکنش‌ها استخراج شود (Daian et al., 2020) .این پدیده نه‌تنها یک مسئله فنی، بلکه یک مسئله اقتصادی و رفتاری نیز محسوب می‌شود.

در ادبیات فارسی، این پدیده به‌عنوان نوعی «مالیات پنهان در شبکه‌های زنجیره‌بلوک» تعریف شده است که موجب انتقال غیرمنصفانه ارزش از کاربران به اعتبارسنج‌ها یا ربات‌های معاملاتی می‌شود (محمدی، ۱۴۰۱). این مسئله به‌ویژه در بازارهای غیرمتمرکز که شفافیت بالایی در نمایش تراکنش‌های در انتظار وجود دارد، شدت بیشتری پیدا می‌کند.انواع مختلفی از این پدیده در ادبیات پژوهشی گزارش شده است. یکی از رایج‌ترین آن‌ها «پیش‌دستی در معامله» است که در آن یک بازیگر با مشاهده تراکنش در صف انتظار، تراکنش خود را با کارمزد بالاتر در ابتدا قرار می‌دهد تا از تغییر قیمت سود ببرد. نوع دیگر، «حمله ساندویچی» است که در آن تراکنش کاربر بین دو تراکنش مهاجم قرار گرفته و باعث زیان مستقیم کاربر می‌شود. همچنین «آربیتراژ مبتنی بر ترتیب تراکنش‌ها» نیز از دیگر اشکال این پدیده است (رضایی و کریمی، ۱۴۰۲).

این رفتارها باعث ایجاد نوعی ناکارآمدی ساختاری در بازارهای غیرمتمرکز می‌شوند. از دیدگاه اقتصادی، این وضعیت را می‌توان به‌عنوان شکست بازار ناشی از عدم تقارن اطلاعاتی و قابلیت دستکاری ترتیب تراکنش‌ها تحلیل کرد. در چنین شرایطی، بخشی از ارزش تولید شده در سیستم به جای توزیع عادلانه، توسط بازیگران دارای دسترسی بهتر به اطلاعات استخراج می‌شود(Zhang et al., 2022) .در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی در حوزه امنیت زنجیره‌بلوک در ایران انجام شده است. برای مثال، برخی مطالعات به بررسی آسیب‌پذیری قراردادهای هوشمند و تحلیل ریسک در بازار رمزارزها پرداخته‌اند (حسینی، ۱۴۰۰). همچنین پژوهش‌هایی در زمینه تحلیل رفتار بازار و نوسانات دارایی‌های دیجیتال ارائه شده است (رضایی، ۱۴۰۲). با این حال، بررسی نشان می‌دهد که موضوع استخراج ارزش قابل برنامه‌ریزی و طراحی مکانیزم‌های مقاوم در برابر آن هنوز به‌طور گسترده مورد توجه قرار نگرفته است.

از سوی دیگر، ساختار فعلی بسیاری از بازارسازهای خودکار به‌صورت ایستا طراحی شده است. این بدان معناست که پارامترهای آن‌ها در طول زمان تغییر نمی‌کند و با شرایط متغیر بازار سازگار نمی‌شود. این ویژگی باعث می‌شود که در شرایط نوسانی، اختلاف قیمت میان بازارها افزایش یابد و فرصت‌های آربیتراژ برای بازیگران حرفه‌ای ایجاد شود. این مسئله نه‌تنها کارایی بازار را کاهش می‌دهد، بلکه زمینه را برای استخراج ارزش بیشتر فراهم می‌کند.

در نتیجه، نیاز به طراحی سیستم‌هایی وجود دارد که بتوانند به‌صورت پویا و هوشمند با شرایط بازار سازگار شوند. در این میان، استفاده از روش‌های یادگیری ماشین به‌ویژه یادگیری تقویتی به‌عنوان یک رویکرد قدرتمند مطرح شده است. یادگیری تقویتی به سیستم‌ها این امکان را می‌دهد که از طریق تعامل با محیط و دریافت بازخورد، سیاست‌های بهینه را یاد بگیرند(Sutton & Barto, 2018) .

توسعه این روش به محیط‌های چندعامله امکان مدل‌سازی تعاملات پیچیده میان بازیگران مختلف را فراهم کرده است. در یک محیط چندعامله، هر عامل دارای هدف مستقل است و تصمیمات آن بر رفتار سایر عوامل تأثیر می‌گذارد. این ویژگی به‌خوبی با ساختار بازارهای غیرمتمرکز سازگار است، زیرا در این بازارها نیز بازیگران مختلف با اهداف متضاد در تعامل هستند.در چارچوب بازارهای غیرمتمرکز، می‌توان معامله‌گران، آربیتراژگران، استخراج‌کنندگان ارزش و خود بازارساز را به‌عنوان عامل‌های مستقل در نظر گرفت. هر یک از این عوامل دارای استراتژی‌های خاص خود هستند و تلاش می‌کنند سود خود را به حداکثر برسانند. تعامل میان این عوامل منجر به شکل‌گیری یک سیستم پیچیده و پویا می‌شود.

در چنین شرایطی، استفاده از مدل‌های یادگیری تقویتی چندعامله می‌تواند امکان طراحی بازارسازهایی را فراهم کند که قادر به سازگاری با رفتار سایر بازیگران باشند. این بازارسازها می‌توانند به‌صورت پویا پارامترهای خود را تنظیم کرده و در برابر رفتارهای مخرب مقاومت نشان دهند.

یکی از مهم‌ترین مفاهیم در طراحی بازارسازهای نسل جدید، استفاده از منحنی‌های پیوسته قیمت‌گذاری است. این منحنی‌ها امکان تعریف رابطه بین عرضه و قیمت را به‌صورت یک تابع پیوسته فراهم می‌کنند. برخلاف مدل‌های سنتی که ساختار ثابتی دارند، این منحنی‌ها قابلیت تنظیم‌پذیری بیشتری دارند و می‌توانند با شرایط بازار سازگار شوند.با این حال، طراحی بهینه این منحنی‌ها همچنان یک مسئله باز در تحقیقات مالی غیرمتمرکز محسوب می‌شود. چالش اصلی در این زمینه، ایجاد تعادل میان سه هدف اصلی است: حفظ نقدینگی، افزایش کارایی بازار و کاهش فرصت‌های استخراج ارزش.

در این پژوهش، تلاش شده است یک چارچوب نوین برای طراحی بازارساز خودکار ارائه شود که بتواند با استفاده از یادگیری تقویتی چندعامله، به‌صورت پویا با شرایط بازار سازگار شود. در این مدل، بازارساز نه‌تنها یک نهاد محاسباتی ساده، بلکه یک عامل هوشمند در نظر گرفته می‌شود که قادر است از تجربه‌های گذشته خود برای بهبود تصمیمات آینده استفاده کند.نوآوری اصلی این پژوهش در این است که استخراج‌کنندگان ارزش به‌عنوان یک عامل خارجی ثابت در نظر گرفته نمی‌شوند، بلکه به‌عنوان عامل‌هایی پویا و یادگیرنده مدل‌سازی می‌شوند. این رویکرد امکان تحلیل دقیق‌تر تعاملات اقتصادی در شبکه‌های غیرمتمرکز را فراهم می‌کند.

از منظر نظری، این پژوهش در تقاطع سه حوزه اصلی قرار دارد: امور مالی غیرمتمرکز، یادگیری ماشین و اقتصاد محاسباتی. ترکیب این سه حوزه امکان طراحی سیستم‌هایی را فراهم می‌کند که علاوه بر کارایی اقتصادی، دارای ویژگی‌های امنیتی و پایداری بالا نیز باشند.

در نهایت، هدف این پژوهش ارائه نسل جدیدی از بازارسازهای خودکار است که بتوانند در برابر حملات اقتصادی مقاوم بوده و عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های سنتی ارائه دهند. انتظار می‌رود نتایج این تحقیق بتواند مسیر جدیدی برای توسعه سیستم‌های مالی غیرمتمرکز هوشمند و مقاوم در برابر سوءاستفاده‌های اقتصادی ایجاد کند (حسینی، ۱۴۰۰؛ رضایی و کریمی، ۱۴۰۲).

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱فناوری زنجیره‌بلوک و زیرساخت اعتمادزدایی‌شده

فناوری زنجیره‌بلوک به‌عنوان یک دفترکل توزیع‌شده، یک زیرساخت نوین برای ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها در محیط‌های بدون اعتماد مرکزی محسوب می‌شود. در این ساختار، داده‌ها در قالب بلوک‌هایی از تراکنش‌ها سازمان‌دهی شده و به‌صورت زنجیره‌ای به یکدیگر متصل می‌شوند؛ به‌گونه‌ای که هر بلوک شامل یک شناسه رمزنگاری‌شده از بلوک قبلی است. این ویژگی موجب می‌شود که هرگونه تغییر در اطلاعات گذشته، نیازمند تغییر تمامی بلوک‌های بعدی باشد که عملاً از نظر محاسباتی و اقتصادی غیرممکن است. بنابراین، زنجیره‌بلوک امکان ثبت تراکنش‌ها به‌صورت غیرقابل تغییر، قابل ردیابی و شفاف را فراهم می‌کند.

یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های این فناوری، حذف نیاز به نهادهای واسطه در فرآیند اعتمادسازی است. در سیستم‌های مالی سنتی، اعتماد به نهادهای مرکزی مانند بانک‌ها، کارگزاران و مؤسسات مالی نقش اساسی در تأیید و تسویه تراکنش‌ها دارد. اما در معماری زنجیره‌بلوک، این نقش به مجموعه‌ای از قواعد رمزنگاری، الگوریتم‌های اجماع و شبکه‌ای از گره‌های توزیع‌شده واگذار شده است. در نتیجه، مفهوم «اعتماد نهادی» جای

خود را به «اعتماد محاسباتی» داده است؛ به این معنا که صحت سیستم نه بر اساس اعتبار یک نهاد مرکزی، بلکه بر اساس درستی اجرای الگوریتم‌ها و توافق جمعی شبکه تضمین می‌شود(Nakamoto, 2008) .

با ظهور نسل دوم زنجیره‌بلوک‌ها، به‌ویژه با معرفیEthereum ، قابلیت اجرای «قراردادهای هوشمند» به این اکوسیستم افزوده شد. قراردادهای هوشمند در واقع برنامه‌های خوداجرا هستند که شرایط و منطق توافقات در قالب کد برنامه‌نویسی تعریف شده و بر روی شبکه اجرا می‌شوند. این قراردادها به‌محض تحقق شرایط از پیش تعیین‌شده، به‌صورت خودکار اجرا می‌شوند، بدون آنکه نیاز به دخالت انسانی یا نهاد واسطه وجود داشته باشد (Buterin, 2014) .این ویژگی موجب شد تا طیف گسترده‌ای از کاربردهای مالی، از جمله وام‌دهی، مبادله دارایی‌ها، بیمه و مدیریت سرمایه، به‌صورت غیرمتمرکز قابل پیاده‌سازی شوند.

در نتیجه این تحول، نسل جدیدی از سیستم‌های مالی با عنوان «امور مالی غیرمتمرکز» شکل گرفت که در آن تمامی عملیات مالی بر بستر قراردادهای هوشمند و بدون کنترل مرکزی اجرا می‌شود. در این سیستم‌ها، منطق عملکرد بازار و خدمات مالی به‌جای پیاده‌سازی در سازمان‌های متمرکز، در قالب کدهای شفاف و قابل مشاهده در شبکه تعریف شده است. این ویژگی موجب افزایش شفافیت، کاهش هزینه‌های عملیاتی و دسترسی آزاد کاربران به خدمات مالی شده است.با وجود این مزایا، ساختار غیرمتمرکز زنجیره‌بلوک پیامدهای پیچیده‌ای نیز به همراه داشته است. یکی از مهم‌ترین این پیامدها، نحوه تأمین امنیت و صحت تراکنش‌ها در غیاب نهادهای مرکزی است. در این سیستم‌ها، صحت تراکنش‌ها از طریق مکانیزم‌های اجماع مانند اثبات کار یا اثبات سهام تضمین می‌شود. این مکانیزم‌ها بر اساس مشارکت جمعی گره‌های شبکه طراحی شده‌اند و هدف آن‌ها دستیابی به توافق در مورد وضعیت صحیح دفترکل توزیع‌شده است.

اگرچه این رویکرد توانسته است امنیت بالایی را در سطح فنی فراهم کند، اما در سطح اقتصادی و رفتاری، پیچیدگی‌های جدیدی ایجاد کرده است. از جمله این پیچیدگی‌ها می‌توان به ظهور انگیزه‌های اقتصادی برای دستکاری فرآیند پردازش تراکنش‌ها، رقابت برای کسب کارمزدهای بالاتر، و ایجاد فرصت‌هایی برای استخراج ارزش اشاره کرد. به بیان دیگر، در حالی که مکانیزم‌های اجماع از نظر رمزنگاری امنیت شبکه را تضمین می‌کنند، اما از منظر اقتصاد رفتاری، همچنان امکان سوءاستفاده از ساختار شفاف شبکه وجود دارد.همچنین، شفافیت بالای داده‌ها در زنجیره‌بلوک که یکی از نقاط قوت اصلی آن محسوب می‌شود، می‌تواند به‌عنوان یک شمشیر دو لبه عمل کند. زیرا مشاهده‌پذیری کامل تراکنش‌ها در صف انتظار، امکان تحلیل رفتار کاربران پیش از نهایی شدن تراکنش را برای بازیگران خاص فراهم می‌سازد. این مسئله در ادامه می‌تواند به ایجاد نابرابری اطلاعاتی و شکل‌گیری استراتژی‌های فرصت‌طلبانه منجر شود.

۲-۲ بازارسازهای خودکار و سازوکار قیمت‌گذاری

بازارسازهای خودکار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نوآوری‌ها در حوزه امور مالی غیرمتمرکز، جایگزینی برای سازوکارهای سنتی بازار مبتنی بر دفتر سفارش محسوب می‌شوند. در بازارهای سنتی، فرآیند کشف قیمت از طریق تطبیق سفارش‌های خرید و فروش در یک دفتر سفارش مرکزی یا نیمه‌متمرکز انجام می‌شود. این ساختار اگرچه در بازارهای مالی کلاسیک کارآمد است، اما به زیرساخت‌های متمرکز، تأخیر در پردازش سفارش‌ها و محدودیت‌های نقدینگی وابسته است. در مقابل، بازارسازهای خودکار با حذف نیاز به تطبیق مستقیم سفارش‌ها، فرآیند قیمت‌گذاری را به یک تابع ریاضی وابسته به وضعیت استخر نقدینگی تبدیل کرده‌اند.

در این مدل، کاربران به‌جای معامله مستقیم با یکدیگر، با یک قرارداد هوشمند تعامل دارند که نقش بازارساز را ایفا می‌کند. این قرارداد بر اساس نسبت دارایی‌های موجود در استخر نقدینگی، قیمت لحظه‌ای را تعیین می‌کند. یکی از مهم‌ترین و بنیادی‌ترین این مدل‌ها، تابع «حاصل‌ضرب ثابت» است که در پروتکل یونی‌سواپ معرفی شد. در این مدل، حاصل‌ضرب مقادیر دو دارایی در استخر نقدینگی همواره ثابت فرض می‌شود و هر تغییر در مقدار یکی از دارایی‌ها منجر به تغییر غیرخطی در قیمت دارایی دیگر می‌گردد(Angeris & Chitra, 2020) .

این ساختار موجب شده است که فرآیند تأمین نقدینگی به‌صورت کاملاً باز و بدون نیاز به مجوز انجام شود. در واقع، هر کاربر می‌تواند با واریز دارایی به استخر، به تأمین‌کننده نقدینگی تبدیل شود و در مقابل، سهمی از کارمزدهای معاملات انجام‌شده در آن استخر را دریافت کند. این ویژگی باعث افزایش چشمگیر مشارکت کاربران و رشد نقدینگی در اکوسیستم‌های غیرمتمرکز شده است.با وجود این مزایا، بازارسازهای خودکار دارای محدودیت‌ها و چالش‌های ساختاری مهمی نیز هستند. یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها، پدیده «لغزش قیمت» است که در آن قیمت نهایی معامله با قیمت مورد انتظار کاربر تفاوت پیدا می‌کند. این مسئله به‌ویژه در معاملات با حجم بالا یا در استخرهایی با نقدینگی محدود تشدید می‌شود و می‌تواند منجر به افزایش هزینه واقعی معاملات برای کاربران شود.

علاوه بر این، ساختار غیرخطی تابع قیمت‌گذاری باعث می‌شود که این سیستم‌ها در برابر تغییرات شدید بازار حساس باشند. در شرایط نوسانی، اختلاف قیمت میان بازارهای مختلف افزایش یافته و فرصت‌های آربیتراژ به‌وجود می‌آید. اگرچه آربیتراژ در حالت عادی می‌تواند به همگرایی قیمت‌ها کمک کند، اما در بازارسازهای خودکار، این فرآیند اغلب با هزینه‌های اضافی برای تأمین‌کنندگان نقدینگی همراه است و بخشی از ارزش ایجادشده در سیستم به سمت معامله‌گران آربیتراژ منتقل می‌شود.از منظر اقتصادی، این وضعیت نشان‌دهنده نوعی ناکارآمدی در تخصیص بهینه منابع نقدینگی است. در واقع، طراحی ایستای تابع قیمت‌گذاری موجب می‌شود که سیستم نتواند به‌صورت پویا با شرایط متغیر بازار سازگار شود. این موضوع به‌ویژه در بازارهای رمزارزی که دارای نوسانات شدید و غیرقابل پیش‌بینی هستند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

همچنین، یکی دیگر از مشکلات اساسی بازارسازهای خودکار، وابستگی آن‌ها به رفتار بازیگران بیرونی برای تنظیم قیمت‌ها است. در نبود یک سازوکار داخلی برای تنظیم دقیق قیمت، این سیستم‌ها به فعالیت آربیتراژگران وابسته هستند تا اختلاف قیمت‌ها را اصلاح کنند. این وابستگی باعث می‌شود که بخشی از کارایی سیستم به جای طراحی درونی، به رفتار فرصت‌طلبانه بازیگران خارجی متکی باشد.مطالعات داخلی نیز نشان داده‌اند که بازارسازهای خودکار در شرایط نوسانی بازارهای رمزارزی، می‌توانند موجب ایجاد نوسانات مصنوعی قیمت شوند و رفتار بازار را از حالت تعادل خارج کنند (حسینی، ۱۴۰۰). این مسئله نشان می‌دهد که اگرچه این مدل‌ها در افزایش دسترسی‌پذیری و دموکراتیزه کردن بازار موفق بوده‌اند، اما همچنان از منظر پایداری اقتصادی و کنترل ریسک دارای چالش‌های جدی هستند.

۲-۳استخراج بیشینه ارزش قابل استخراج

یکی از مهم‌ترین مفاهیم در تحلیل اقتصادی و امنیتی زنجیره‌بلوک، مفهوم «بیشینه ارزش قابل استخراج» است. این مفهوم به میزانی از ارزش اشاره دارد که برخی بازیگران شبکه می‌توانند نه از طریق فعالیت‌های معمول معاملاتی، بلکه از طریق کنترل یا دستکاری در ترتیب، انتخاب یا حذف تراکنش‌ها درون یک بلاک به دست آورند (Daian et al., 2020) .در واقع، این پدیده نشان می‌دهد که ساختار اجرای تراکنش‌ها در شبکه‌های غیرمتمرکز تنها یک فرآیند فنی نیست، بلکه دارای پیامدهای عمیق اقتصادی و رفتاری است.

ریشه اصلی این پدیده در نحوه انتشار و مشاهده‌پذیری تراکنش‌ها در شبکه نهفته است. در بسیاری از شبکه‌های زنجیره‌بلوک، تراکنش‌های کاربران پیش از قرار گرفتن در بلاک نهایی، در یک فضای عمومی به نام «صف انتظار تراکنش‌ها» قرار می‌گیرند. این ویژگی اگرچه برای شفافیت و صحت عملکرد شبکه ضروری است، اما هم‌زمان یک سطح اطلاعاتی اضافی در اختیار برخی بازیگران قرار می‌دهد. این بازیگران می‌توانند با مشاهده تراکنش‌های در حال انتظار، رفتار آینده بازار را پیش‌بینی کرده و تصمیمات خود را بر اساس آن تنظیم کنند.

در ادبیات فارسی، این پدیده به‌عنوان نوعی ناکارآمدی ساختاری در اقتصاد شبکه‌های غیرمتمرکز توصیف شده و از آن با عنوان «مالیات پنهان شبکه» یاد می‌شود (محمدی، ۱۴۰۱). منظور از این اصطلاح آن است که بخشی از ارزش ایجادشده در فرآیند معاملات، به‌جای توزیع میان کاربران یا تأمین‌کنندگان نقدینگی، به بازیگرانی منتقل می‌شود که توانایی دسترسی بهتر یا سریع‌تر به اطلاعات تراکنش‌ها را دارند.این انتقال ارزش معمولاً از طریق چند مکانیسم مشخص رخ می‌دهد که مهم‌ترین آن‌ها شامل سه دسته اصلی است. نخست، «پیش‌دستی در انجام معامله» است که در آن یک بازیگر با مشاهده یک تراکنش در حال انتظار، تراکنش خود را با کارمزد بالاتر در اولویت قرار می‌دهد تا از تغییر قیمت ناشی از آن تراکنش سود کسب کند. این رفتار موجب می‌شود که کاربر اصلی معامله با قیمتی نامطلوب‌تر از حالت عادی مواجه شود.

دومین شکل رایج، «حمله ساندویچی» است. در این نوع حمله، یک بازیگر ابتدا یک تراکنش خرید یا فروش پیش از تراکنش کاربر قرار می‌دهد و سپس یک تراکنش معکوس پس از آن ثبت می‌کند. این ساختار باعث می‌شود که تراکنش کاربر در میان دو تراکنش مهاجم قرار گرفته و عملاً قیمت معامله به ضرر کاربر تغییر کند. این نوع حمله یکی از شناخته‌شده‌ترین اشکال استخراج ارزش در بازارسازهای خودکار محسوب می‌شود.

سومین شکل مهم، «آربیتراژ مبتنی بر ترتیب تراکنش‌ها» است. در این حالت، بازیگر مهاجم با تغییر یا بهره‌برداری از ترتیب اجرای تراکنش‌ها در بلاک، از اختلاف قیمت میان بازارهای مختلف یا استخرهای نقدینگی سود کسب می‌کند. اگرچه آربیتراژ به‌طور کلی می‌تواند باعث همگرایی قیمت‌ها در بازار شود، اما در این حالت خاص، ساختار اجرای تراکنش‌ها به‌گونه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد که سود اضافی برای مهاجم ایجاد شود، بدون آنکه این سود به کارایی کلی بازار منجر شود.این رفتارها نشان می‌دهند که مسئله بیشینه ارزش قابل استخراج تنها یک پدیده فنی در سطح زنجیره‌بلوک نیست، بلکه یک مسئله پیچیده در سطح اقتصاد رفتاری و طراحی سازوکار نیز محسوب می‌شود. در واقع، هرچه سطح شفافیت داده‌ها و قابلیت مشاهده تراکنش‌ها بیشتر باشد، در صورت نبود مکانیزم‌های کنترلی مناسب، امکان سوءاستفاده از این شفافیت نیز افزایش می‌یابد.

مطالعات تجربی نشان داده‌اند که این پدیده می‌تواند اثرات قابل توجهی بر رفاه کاربران داشته باشد. به‌طور خاص، افزایش هزینه‌های معاملاتی، کاهش بازده تأمین‌کنندگان نقدینگی و کاهش اعتماد کاربران به سیستم از جمله پیامدهای مستقیم این رفتارها هستند (رضایی و کریمی، ۱۴۰۲). علاوه بر این، در بلندمدت این پدیده می‌تواند موجب خروج سرمایه از پروتکل‌های آسیب‌پذیر و انتقال آن به سیستم‌هایی شود که مکانیزم‌های مقاوم‌تری در برابر چنین حملاتی دارند.

از منظر نظری، بیشینه ارزش قابل استخراج را می‌توان به‌عنوان نوعی «شکست بازار ناشی از طراحی پروتکل» تحلیل کرد. در این چارچوب، مشکل اصلی نه در رفتار کاربران، بلکه در ساختار اطلاعاتی و نحوه ترتیب‌دهی تراکنش‌ها در شبکه نهفته است. این مسئله باعث ایجاد عدم تقارن اطلاعاتی میان بازیگران شبکه شده و شرایطی را فراهم می‌کند که در آن برخی کاربران به اطلاعات یا فرصت‌های اقتصادی برتری دسترسی دارند.در مجموع، این پدیده یکی از مهم‌ترین چالش‌های اقتصاد غیرمتمرکز محسوب می‌شود و طراحی راهکارهای مقابله با آن نیازمند ترکیب دانش در حوزه‌های اقتصاد، علوم داده و یادگیری ماشین است. در بخش‌های بعدی پژوهش، تلاش خواهد شد تا نشان داده شود چگونه می‌توان از رویکردهای هوشمند برای کاهش اثرات این پدیده و طراحی بازارسازهای مقاوم استفاده کرد.

۲-٤یادگیری تقویتی در سیستم‌های مالی

یادگیری تقویتی یکی از شاخه‌های مهم یادگیری ماشین است که در آن یک عامل هوشمند از طریق تعامل مداوم با محیط، دریافت بازخورد و تحلیل پیامد اقدامات خود، به تدریج سیاست تصمیم‌گیری بهینه را فرا می‌گیرد (Sutton & Barto, 2018). در این چارچوب، هدف عامل بیشینه‌سازی مجموع پاداش‌های دریافتی در طول زمان است و این فرآیند معمولاً در قالب مسئله تصمیم‌گیری مارکوفی مدل‌سازی می‌شود.

در کنار منابع بین‌المللی، در ادبیات داخلی نیز یادگیری تقویتی به‌عنوان یکی از روش‌های نوین هوش مصنوعی مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال، در برخی پژوهش‌ها به کاربرد این روش در مسائل تصمیم‌گیری پویا و سیستم‌های پیچیده اشاره شده و تأکید شده است که این رویکرد می‌تواند در محیط‌های دارای عدم قطعیت بالا عملکرد مناسبی داشته باشد (حسینی، ۱۴۰۰؛ رضایی، ۱۴۰۲).

اهمیت یادگیری تقویتی در توانایی آن برای یادگیری در محیط‌های پویا، غیرقطعی و غیرخطی است. برخلاف روش‌های سنتی بهینه‌سازی که نیازمند مدل دقیق از محیط هستند، این رویکرد تنها بر اساس تعامل مستقیم با سیستم و دریافت پاداش عمل می‌کند. این ویژگی باعث شده است که در مسائلی که مدل‌سازی دقیق آن‌ها دشوار است، کاربرد گسترده‌ای پیدا کند.در سیستم‌های مالی، به‌ویژه بازارهای پیچیده و نوسانی، استفاده از یادگیری تقویتی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. در ادبیات داخلی نیز اشاره شده است که بازارهای مالی به دلیل رفتار غیرخطی و وابسته به زمان، نیازمند روش‌های تطبیقی و داده‌محور هستند (محمدی، ۱۴۰۱). در چنین شرایطی، یادگیری تقویتی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب برای تصمیم‌گیری هوشمند مورد استفاده قرار گیرد.

کاربردهای این روش در حوزه مالی شامل بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری، پیش‌بینی قیمت دارایی‌ها و طراحی استراتژی‌های معاملاتی خودکار است. در هر یک از این موارد، عامل هوشمند تلاش می‌کند با استفاده از داده‌های گذشته و تعامل با محیط، بهترین تصمیم ممکن را اتخاذ کند.

مزیت اصلی این روش، عدم نیاز به مدل‌سازی دقیق دینامیک بازار است. در بسیاری از مدل‌های کلاسیک مالی، فرض بر این است که رفتار بازار قابل توصیف با روابط ریاضی مشخص است؛ در حالی که در عمل، بازارها دارای رفتارهای پیچیده، غیرخطی و متأثر از عوامل روانشناختی و رفتاری هستند. پژوهش‌های داخلی نیز نشان داده‌اند که چنین پیچیدگی‌هایی باعث محدودیت روش‌های سنتی در تحلیل بازارهای رمزارزی شده است (رضایی و کریمی، ۱۴۰۲).از سوی دیگر، یادگیری تقویتی قابلیت سازگاری با شرایط متغیر را دارد. این ویژگی در بازارهایی که توزیع داده‌ها در طول زمان تغییر می‌کند اهمیت ویژه‌ای دارد. در ادبیات داخلی نیز تأکید شده است که یکی از چالش‌های اصلی بازارهای رمزارزی، تغییرپذیری شدید شرایط و نبود الگوهای ثابت در رفتار قیمت است (حسینی، ۱۴۰۰).در مجموع، یادگیری تقویتی به‌عنوان یکی از ابزارهای کلیدی در تحلیل و طراحی سیستم‌های مالی هوشمند مطرح است که می‌تواند با تکیه بر داده‌های تجربی، رفتار بهینه را در محیط‌های پیچیده و غیرقطعی یاد بگیرد. این ویژگی آن را به گزینه‌ای مناسب برای استفاده در مسائل مرتبط با بازارهای غیرمتمرکز و سیستم‌های اقتصادی نوین تبدیل کرده است.

۲-۵یادگیری تقویتی چندعامله

در نسخه توسعه‌یافته یادگیری تقویتی، یعنی «یادگیری تقویتی چندعامله»، محیط شامل چندین عامل هوشمند است که به‌صورت هم‌زمان و در تعامل با یکدیگر تصمیم‌گیری می‌کنند. در این چارچوب، برخلاف حالت تک‌عامله، محیط از دید هر عامل غیرایستا محسوب می‌شود؛ زیرا تغییر

رفتار یک عامل می‌تواند وضعیت محیط را تغییر داده و به‌طور مستقیم بر تصمیمات سایر عامل‌ها اثر بگذارد. بنابراین، مسئله تصمیم‌گیری نه‌تنها وابسته به تعامل عامل با محیط، بلکه وابسته به تعاملات بین‌عاملی نیز هست.

در این ساختار، هر عامل دارای هدف، سیاست و تابع پاداش مستقل است، اما خروجی نهایی سیستم حاصل برهم‌کنش تمامی این سیاست‌ها است. همین ویژگی باعث می‌شود که تحلیل و بهینه‌سازی چنین سیستم‌هایی به مراتب پیچیده‌تر از حالت تک‌عامله باشد. در برخی پژوهش‌های داخلی نیز اشاره شده است که مدل‌های چندعامله به دلیل ماهیت تعاملی خود، توانایی بالاتری در شبیه‌سازی سیستم‌های اقتصادی واقعی دارند که در آن‌ها بازیگران متعدد با اهداف متضاد و گاه همسو حضور دارند (حسینی، ۱۴۰۰؛ محمدی، ۱۴۰۱).

بازارهای مالی غیرمتمرکز یکی از نمونه‌های بارز سیستم‌های چندعامله در دنیای واقعی محسوب می‌شوند. در این بازارها، مجموعه‌ای از عامل‌های اقتصادی با نقش‌ها و اهداف متفاوت در تعامل هستند. از جمله این عامل‌ها می‌توان به معامله‌گران عادی اشاره کرد که هدف آن‌ها خرید و فروش دارایی با بهترین قیمت ممکن است، آربیتراژگران که از اختلاف قیمت بین بازارها یا استخرهای نقدینگی سود کسب می‌کنند، استخراج‌کنندگان ارزش که تلاش می‌کنند از ترتیب تراکنش‌ها بیشترین سود ممکن را به دست آورند، و در نهایت بازارسازهای خودکار که وظیفه تأمین نقدینگی و تعیین قیمت را بر عهده دارند.

تفاوت در اهداف این عامل‌ها موجب ایجاد یک محیط رقابتی–همکارانه پیچیده می‌شود. به این معنا که برخی تعامل‌ها مانند آربیتراژ می‌توانند به همگرایی قیمت‌ها و افزایش کارایی بازار کمک کنند، در حالی که برخی دیگر مانند استخراج ارزش ممکن است منجر به کاهش رفاه کاربران و ایجاد ناکارآمدی در سیستم شوند. این تضاد رفتاری یکی از ویژگی‌های اصلی سیستم‌های اقتصادی غیرمتمرکز است.

در ادبیات نظری یادگیری تقویتی نیز تأکید شده است که در محیط‌های چندعامله، مفهوم ایستایی محیط از بین می‌رود و هر عامل باید نه‌تنها با محیط، بلکه با سایر عامل‌های یادگیرنده نیز سازگار شود (Sutton & Barto, 2018) .این ویژگی باعث می‌شود که مسئله یادگیری به یک مسئله دینامیکی با بازخوردهای متقابل تبدیل شود.

در نتیجه، بازارهای مالی غیرمتمرکز را می‌توان به‌صورت یک سیستم پیچیده چندعامله مدل‌سازی کرد که در آن رفتار جمعی عامل‌ها منجر به شکل‌گیری پویایی‌های کلان بازار می‌شود. این دیدگاه امکان تحلیل دقیق‌تر سازوکارهای اقتصادی و طراحی الگوریتم‌های هوشمند برای کنترل یا بهینه‌سازی این سیستم‌ها را فراهم می‌کند.

۲-٦منحنی‌های پیوسته قیمت‌گذاری

منحنی‌های پیوسته قیمت‌گذاری یکی از مفاهیم بنیادی در طراحی بازارسازهای نسل جدید در اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز محسوب می‌شوند. در این چارچوب، قیمت دارایی‌ها به‌جای آنکه از طریق تطبیق سفارش‌های خرید و فروش یا ساختارهای گسسته تعیین شود، به‌صورت یک تابع پیوسته و وابسته به وضعیت درونی استخر نقدینگی تعریف می‌گردد. این تابع معمولاً بر اساس نسبت دارایی‌های موجود در استخر، رفتار عرضه و تقاضای لحظه‌ای و پارامترهای از پیش تعریف‌شده قرارداد هوشمند شکل می‌گیرد.

ایده اصلی در این مدل آن است که بازار به‌جای اتکا به یک فرآیند تطبیق مرکزی یا نیمه‌متمرکز، از طریق یک رابطه ریاضی خودتنظیم عمل کند. در نتیجه، هر تغییر در ترکیب دارایی‌های استخر نقدینگی به‌صورت آنی در قیمت منعکس می‌شود و سیستم به‌طور خودکار به یک حالت تعادلی جدید حرکت می‌کند. این ویژگی باعث می‌شود که فرآیند کشف قیمت به‌صورت پیوسته و بدون وقفه انجام شود.

در مقایسه با مدل‌های سنتی مبتنی بر دفتر سفارش که دارای ساختار گسسته و وابسته به ثبت سفارش‌های مستقل هستند، منحنی‌های پیوسته قیمت‌گذاری از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردارند. در مدل‌های سنتی، تغییرات قیمت معمولاً در اثر تطبیق سفارش‌ها در نقاط خاص زمانی رخ می‌دهد، در حالی که در این مدل‌ها، قیمت به‌صورت مداوم و هموار با تغییرات نقدینگی به‌روزرسانی می‌شود. این ویژگی باعث کاهش اصطکاک معاملاتی و افزایش دسترسی‌پذیری بازار برای کاربران خرد می‌شود.یکی از پیامدهای مهم این ساختار، افزایش قابلیت پیش‌بینی‌پذیری نسبی رفتار قیمت در سطح محلی است. از آنجا که رابطه بین نقدینگی و قیمت توسط یک تابع مشخص تعریف می‌شود، می‌توان رفتار سیستم را در بازه‌های زمانی کوتاه با دقت بیشتری تحلیل کرد. با این حال، این شفافیت ریاضی هم‌زمان می‌تواند زمینه‌ساز سوءاستفاده توسط بازیگران فرصت‌طلب نیز باشد، زیرا امکان مدل‌سازی رفتار قیمت برای آن‌ها ساده‌تر می‌شود.

از منظر طراحی سیستم، منحنی‌های پیوسته قیمت‌گذاری امکان اعمال سیاست‌های کنترلی متنوع را نیز فراهم می‌کنند. به‌عنوان مثال، می‌توان با تغییر شکل تابع قیمت‌گذاری، حساسیت سیستم نسبت به تغییرات نقدینگی را افزایش یا کاهش داد. این قابلیت به طراحان پروتکل اجازه می‌دهد تا بین اهدافی مانند پایداری قیمت، عمق نقدینگی و کارایی بازار تعادل ایجاد کنند.

در ادبیات پژوهشی، Angeris & Chitra (2020)نشان داده‌اند که استفاده از این نوع منحنی‌ها می‌تواند نقش مهمی در بهبود کارایی بازارسازهای خودکار ایفا کند، زیرا وابستگی سیستم به سازوکارهای بیرونی برای تعیین قیمت را کاهش می‌دهد و فرآیند کشف قیمت را به درون پروتکل منتقل می‌کند. همچنین در برخی پژوهش‌های داخلی اشاره شده است که استفاده از مدل‌های پیوسته در بازارهای رمزارزی می‌تواند موجب کاهش نوسانات ناگهانی و بهبود پایداری نسبی قیمت‌ها شود (حسینی، ۱۴۰۰؛ رضایی و کریمی، ۱۴۰۲).

با این وجود، طراحی بهینه این منحنی‌ها همچنان یک مسئله باز و چالش‌برانگیز در حوزه امور مالی غیرمتمرکز محسوب می‌شود. زیرا انتخاب شکل تابع قیمت‌گذاری نه‌تنها بر کارایی بازار، بلکه بر رفتار بازیگران اقتصادی، میزان آربیتراژ و حتی سطح آسیب‌پذیری سیستم در برابر حملات اقتصادی تأثیر مستقیم دارد.در نتیجه، منحنی‌های پیوسته قیمت‌گذاری را می‌توان به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی در طراحی بازارسازهای نسل جدید در نظر گرفت که نقش مهمی در تعیین تعادل میان کارایی، پایداری و امنیت اقتصادی سیستم‌های مالی غیرمتمرکز ایفا می‌کنند.

۲-۷ پیشینه پژوهش

پژوهش‌های بین‌المللی

در حوزه بازارسازهای خودکار، Angeris & Chitra (2020)از نخستین پژوهشگرانی هستند که تحلیل ریاضی دقیق و ساختاری از پروتکل یونی‌سواپ ارائه دادند. این مطالعه نشان داد که مدل مبتنی بر حاصل‌ضرب ثابت، اگرچه از نظر سادگی و کارایی در تأمین نقدینگی بسیار مؤثر است، اما دارای ویژگی‌های غیرخطی در تابع قیمت‌گذاری است که آن را در برابر آربیتراژ آسیب‌پذیر می‌کند. همچنین این پژوهش تأکید می‌کند که تعامل میان نقدینگی و قیمت در این مدل‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده که همگرایی قیمت‌ها عمدتاً از طریق فعالیت آربیتراژگران خارجی حاصل می‌شود.در ادامه، Daian et al. (2020)مفهوم «بیشینه ارزش قابل استخراج» را معرفی کردند و نشان دادند که چگونه ترتیب‌دهی تراکنش‌ها در شبکه می‌تواند به یک منبع درآمد اضافی برای برخی بازیگران تبدیل شود. این مقاله به‌عنوان یکی از آثار پایه در حوزه امنیت اقتصادی زنجیره‌بلوک شناخته می‌شود و مسیر بسیاری از پژوهش‌های بعدی در زمینه حملات مبتنی بر ترتیب تراکنش‌ها، از جمله حملات پیش‌دستی و ساندویچی را هموار کرده است.از سوی دیگر، Zhang et al. (2022)با استفاده از رویکردهای یادگیری ماشین نشان دادند که می‌توان ناکارآمدی‌های موجود در بازارسازهای خودکار را کاهش داد. نتایج این پژوهش بیان می‌کند که مدل‌های داده‌محور قادرند الگوهای پیچیده بازار را شناسایی کرده و در بهینه‌سازی عملکرد پروتکل‌های مالی غیرمتمرکز نقش مؤثری ایفا کنند. این مطالعه را می‌توان یکی از گام‌های مهم در جهت ورود روش‌های هوشمند به طراحی زیرساخت‌های مالی دانست.

همچنین Werner et al. (2021) به بررسی جامع اکوسیستم امور مالی غیرمتمرکز پرداختند و نشان دادند که این ساختارها در حال تبدیل شدن به جایگزینی بالقوه برای نظام‌های مالی سنتی هستند. این پژوهش تأکید می‌کند که ترکیب قراردادهای هوشمند، بازارسازهای خودکار و پروتکل‌های وام‌دهی غیرمتمرکز، یک زیرساخت مالی جدید با ویژگی‌هایی مانند شفافیت بالا، دسترسی آزاد و حذف واسطه‌ها ایجاد کرده است.

پژوهش‌های داخلی

در ادبیات پژوهشی داخلی، تمرکز اصلی بر بررسی کاربردها، چالش‌ها و امنیت فناوری زنجیره‌بلوک بوده است. در این میان، حسینی (۱۴۰۰) به بررسی آسیب‌پذیری‌های قراردادهای هوشمند پرداخته و نشان داده است که خطاهای برنامه‌نویسی و طراحی می‌توانند منجر به خسارات مالی قابل توجه در شبکه‌های غیرمتمرکز شوند. این مطالعه بر اهمیت امنیت کدنویسی و ممیزی قراردادهای هوشمند تأکید دارد.همچنین رضایی (۱۴۰۲) در پژوهشی به تحلیل رفتار بازار رمزارزها پرداخته و نشان داده است که این بازارها دارای ساختار غیرخطی، ناپایدار و بسیار حساس به اخبار و جریان‌های اطلاعاتی هستند. نتایج این پژوهش بیان می‌کند که مدل‌های کلاسیک مالی برای تحلیل این بازارها کافی نیستند و نیاز به روش‌های تطبیقی و هوشمند وجود دارد.

از سوی دیگر، محمدی (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای به بررسی ابعاد اقتصادی استخراج ارزش در شبکه‌های زنجیره‌بلوک پرداخته و این پدیده را به‌عنوان نوعی ناکارآمدی ساختاری و «مالیات پنهان در شبکه‌های غیرمتمرکز» معرفی کرده است. این پژوهش نشان می‌دهد که عدم تقارن اطلاعاتی و

شفافیت بیش از حد تراکنش‌ها می‌تواند زمینه‌ساز انتقال غیرمنصفانه ارزش میان کاربران شود.با این حال، مرور ادبیات داخلی نشان می‌دهد که علی‌رغم رشد مطالعات در حوزه زنجیره‌بلوک و رمزارزها، پژوهش‌های مرتبط با طراحی بازارسازهای خودکار مقاوم در برابر استخراج ارزش و همچنین استفاده از یادگیری تقویتی چندعامله در بهینه‌سازی این سیستم‌ها همچنان بسیار محدود است. این خلأ پژوهشی نشان‌دهنده نیاز به توسعه مدل‌های نوین ترکیبی در مرز میان اقتصاد محاسباتی، یادگیری ماشین و طراحی پروتکل‌های مالی غیرمتمرکز است.

۳- روش‌شناسی پژوهش

۳-۱رویکرد کلی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف در دسته تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای قرار می‌گیرد، زیرا تمرکز آن بر طراحی و ارائه یک مدل جدید برای بهبود عملکرد بازارسازهای خودکار در بستر امور مالی غیرمتمرکز است. از نظر روش اجرا، پژوهش مبتنی بر مدل‌سازی مفهومی، شبیه‌سازی محاسباتی و استفاده از یادگیری ماشین است و تلاش می‌کند یک چارچوب هوشمند برای مدیریت رفتار بازار در شرایط پیچیده و غیرایستا ارائه دهد.

در این مطالعه، بازار به‌عنوان یک سیستم پویا و چندعامله در نظر گرفته شده است؛ سیستمی که در آن بازیگران مختلف با اهداف متفاوت به‌طور هم‌زمان در حال تصمیم‌گیری هستند و رفتار هر یک می‌تواند بر کل ساختار بازار اثر بگذارد. به همین دلیل، تحلیل این سیستم نیازمند رویکردی است که بتواند تعاملات پیچیده و غیرخطی میان بازیگران را در نظر بگیرد.

۳-۲ مدل‌سازی بازار به‌عنوان سیستم چندعامله

در این پژوهش، بازار غیرمتمرکز به‌صورت یک محیط چندعامله مدل‌سازی شده است. در این محیط، چند گروه اصلی از بازیگران شامل معامله‌گران، آربیتراژگران، تأمین‌کنندگان نقدینگی و استخراج‌کنندگان ارزش وجود دارند. هر یک از این گروه‌ها رفتار و هدف خاص خود را دنبال می‌کنند و همین تفاوت اهداف باعث شکل‌گیری یک محیط رقابتی و در عین حال وابسته به همکاری می‌شود.

بازارساز خودکار نیز به‌عنوان یک عامل هوشمند در نظر گرفته شده است که وظیفه آن مدیریت قیمت‌گذاری و تأمین نقدینگی بهینه است. در این ساختار، هیچ عامل واحدی کنترل کامل بازار را در اختیار ندارد و وضعیت بازار نتیجه تعامل مداوم میان همه بازیگران است.

۳-۳فضای تصمیم‌گیری و تعاملات سیستم

در این مدل، وضعیت بازار در هر لحظه بر اساس مجموعه‌ای از متغیرهای اقتصادی و رفتاری تعریف می‌شود. این متغیرها شامل میزان نقدینگی موجود در بازار، تغییرات قیمت، حجم معاملات، میزان فعالیت آربیتراژ و شدت رفتارهای استخراج ارزش هستند.

بازارساز در هر مرحله از زمان با مشاهده وضعیت بازار، تصمیم‌هایی اتخاذ می‌کند که بر نحوه قیمت‌گذاری و شرایط انجام معاملات تأثیر می‌گذارد. این تصمیم‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که سیستم بتواند در برابر تغییرات ناگهانی بازار واکنش مناسب نشان دهد و در عین حال از بروز ناکارآمدی‌های اقتصادی جلوگیری کند.

۳-٤ طراحی بازارساز تطبیقی

در این پژوهش، بازارساز به‌صورت یک سیستم تطبیقی طراحی شده است که رفتار آن ثابت و از پیش تعیین‌شده نیست، بلکه در طول زمان و بر اساس شرایط بازار تغییر می‌کند. برخلاف مدل‌های سنتی که از ساختارهای ثابت برای قیمت‌گذاری استفاده می‌کنند، در این مدل سازوکار قیمت‌گذاری قابلیت تنظیم پویا دارد.

این ویژگی باعث می‌شود بازارساز بتواند در شرایط مختلف مانند نوسانات شدید، کاهش نقدینگی یا افزایش رفتارهای مخرب، عملکرد خود را تنظیم کند. هدف اصلی این طراحی، افزایش پایداری بازار و کاهش فرصت‌های سوءاستفاده اقتصادی است.

۳-۵ یادگیری و بهینه‌سازی رفتار بازارساز

در این پژوهش، بازارساز به‌عنوان یک عامل یادگیرنده در نظر گرفته شده است که از طریق تعامل مداوم با محیط، رفتار خود را بهبود می‌دهد. این یادگیری بر اساس تجربه‌های گذشته و پیامد تصمیمات قبلی انجام می‌شود.

بازارساز تلاش می‌کند به‌تدریج سیاست‌هایی را اتخاذ کند که منجر به افزایش کارایی بازار، کاهش نوسانات غیرضروری و محدود کردن رفتارهای مخرب مانند استخراج ارزش شود. این فرآیند یادگیری به سیستم اجازه می‌دهد بدون نیاز به مدل‌سازی دقیق رفتار بازار، به‌صورت تطبیقی با شرایط جدید سازگار شود.

۳-۶طراحی محیط شبیه‌سازی

برای ارزیابی دقیق مدل پیشنهادی، یک محیط شبیه‌سازی مبتنی بر ساختار بازارهای مالی غیرمتمرکز طراحی شده است که تلاش می‌کند ویژگی‌های کلیدی اکوسیستم‌های دیفای را بازتولید کند. هدف از طراحی این محیط، ایجاد بستری کنترل‌شده اما نزدیک به واقعیت است تا بتوان رفتار بازارساز در شرایط مختلف اقتصادی و رفتاری را مورد بررسی قرار داد.

در این محیط، چندین نوع عامل با اهداف و استراتژی‌های متفاوت حضور دارند. این عامل‌ها شامل معامله‌گران عادی، آربیتراژگران، تأمین‌کنندگان نقدینگی و عامل‌های مخرب (مانند استخراج‌کنندگان ارزش) هستند. هر یک از این عامل‌ها بر اساس سیاست تصمیم‌گیری مستقل عمل کرده و در تعامل مداوم با بازار قرار دارند. این تعاملات باعث ایجاد یک سیستم پیچیده و غیرخطی می‌شود که رفتار آن به‌صورت جمعی و emergentشکل می‌گیرد.بازار شبیه‌سازی‌شده بر پایه یک بازارساز خودکار مدل‌سازی شده است که قیمت‌گذاری در آن از طریق تابع وابسته به نقدینگی انجام می‌شود. در این ساختار، هر معامله باعث تغییر در وضعیت استخر نقدینگی شده و به‌صورت مستقیم بر قیمت اثر می‌گذارد. این ویژگی موجب می‌شود که بازار ذاتاً غیرایستا باشد و شرایط تعادل لحظه‌ای دائماً در حال تغییر باشد.

برای افزایش واقع‌گرایی، عوامل تصادفی مانند شوک‌های قیمتی، تغییرات ناگهانی در تقاضا و رفتارهای غیرمنطقی کاربران نیز در محیط لحاظ شده است. همچنین، امکان مشاهده تراکنش‌های در انتظار نیز در مدل شبیه‌سازی شده تا شرایط لازم برای تحلیل حملات مبتنی بر ترتیب تراکنش‌ها فراهم شود. این ویژگی نقش مهمی در بررسی پدیده‌هایی مانند MEV و حملات ساندویچی دارد.

۳-۷ سناریوهای ارزیابی

برای ارزیابی جامع عملکرد مدل پیشنهادی، مجموعه‌ای از سناریوهای آزمایشی طراحی شده است که هر یک شرایط خاصی از بازارهای غیرمتمرکز را شبیه‌سازی می‌کند. هدف از طراحی این سناریوها، بررسی پایداری، کارایی و مقاومت مدل در برابر شرایط مختلف اقتصادی و رفتاری است.

در سناریوی اول، بازار در شرایط پایدار و بدون وجود رفتارهای مخرب مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این حالت، هدف اصلی ارزیابی عملکرد پایه بازارساز از نظر حفظ نقدینگی، دقت قیمت‌گذاری و کاهش اصطکاک معاملاتی است. این سناریو به‌عنوان وضعیت مرجع در نظر گرفته می‌شود.

در سناریوی دوم، بازار تحت تأثیر نوسانات شدید قیمتی قرار می‌گیرد. این نوسانات می‌توانند ناشی از تغییرات ناگهانی در عرضه و تقاضا یا شوک‌های خارجی باشند. در این شرایط، توانایی مدل در سازگاری سریع با تغییرات و حفظ ثبات نسبی قیمت‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

سناریوی سوم به بررسی عملکرد سیستم در حضور حملات استخراج ارزش اختصاص دارد. در این حالت، عامل‌های مخرب تلاش می‌کنند از طریق دستکاری ترتیب تراکنش‌ها یا اجرای استراتژی‌های پیش‌دستی، بیشترین سود ممکن را کسب کنند. هدف این سناریو، ارزیابی میزان مقاومت بازارساز در برابر رفتارهای فرصت‌طلبانه و کاهش اثرات منفی آن‌ها بر رفاه کاربران است.

در سناریوی چهارم، رقابت شدید میان آربیتراژگران مدل‌سازی می‌شود. در این شرایط، اختلاف قیمت میان بازارها به‌عنوان فرصت سودآوری در نظر گرفته شده و چندین عامل به‌صورت هم‌زمان برای بهره‌برداری از این اختلاف‌ها فعالیت می‌کنند. این سناریو به بررسی اثرات آربیتراژ بر همگرایی قیمت‌ها و پایداری سیستم کمک می‌کند.

ترکیب این سناریوها امکان ارزیابی چندبعدی مدل را فراهم کرده و نشان می‌دهد که عملکرد بازارساز پیشنهادی تنها در شرایط ایده‌آل سنجیده نمی‌شود، بلکه در محیط‌های رقابتی و پرریسک نیز مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

۳-۸معیارهای ارزیابی عملکرد

برای ارزیابی کمی و کیفی عملکرد مدل پیشنهادی، مجموعه‌ای از معیارهای اقتصادی، سیستمی و رفتاری تعریف شده است. این معیارها به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند که بتوانند جنبه‌های مختلف کارایی بازار در محیط‌های غیرمتمرکز را پوشش دهند.

یکی از مهم‌ترین معیارها، کارایی بازار است که میزان نزدیکی قیمت‌های بازار به قیمت تعادلی واقعی را نشان می‌دهد. هرچه کارایی بازار بالاتر باشد، نشان‌دهنده عملکرد بهتر بازارساز در کشف قیمت و کاهش انحرافات است.

معیار دوم، سطح نقدینگی است که توانایی بازار در اجرای معاملات بزرگ بدون ایجاد تغییرات شدید قیمتی را اندازه‌گیری می‌کند. نقدینگی بالاتر معمولاً نشان‌دهنده ثبات بیشتر بازار و کاهش هزینه‌های معاملاتی است.

نوسانات قیمت نیز یکی دیگر از شاخص‌های کلیدی است که میزان تغییرات قیمت در بازه‌های زمانی مختلف را بررسی می‌کند. کاهش نوسانات معمولاً نشان‌دهنده عملکرد بهتر سیستم در ایجاد ثبات اقتصادی است.

هزینه معاملات به‌عنوان معیار مهم دیگری در نظر گرفته می‌شود که اختلاف بین قیمت مورد انتظار و قیمت واقعی اجرای معامله را اندازه‌گیری می‌کند. کاهش این هزینه‌ها نشان‌دهنده کارایی بالاتر بازارساز است.

علاوه بر این، شدت استخراج ارزش نیز به‌عنوان یک معیار امنیت اقتصادی تعریف شده است. این شاخص میزان ارزشی را که توسط بازیگران مخرب از طریق دستکاری ترتیب تراکنش‌ها استخراج می‌شود، اندازه‌گیری می‌کند. کاهش این مقدار نشان‌دهنده مقاومت بهتر سیستم در برابر حملات اقتصادی است.

در آخر، پایداری سیستم در شرایط بحرانی نیز به‌عنوان یک معیار ترکیبی در نظر گرفته می‌شود که رفتار مدل را در شرایط نوسانی شدید، حملات هم‌زمان و رقابت بالا ارزیابی می‌کند. این شاخص نشان می‌دهد که آیا سیستم می‌تواند در شرایط غیرعادی نیز عملکرد قابل قبول خود را حفظ کند یا خیر.

ترکیب این معیارها امکان تحلیل جامع عملکرد مدل را فراهم کرده و ارزیابی آن را از سطح صرفاً اقتصادی به سطح سیستمی و رفتاری ارتقا می‌دهد.

۳-۹جمع‌بندی روش‌شناسی

روش‌شناسی ارائه‌شده در این پژوهش یک چارچوب کلی برای مدل‌سازی بازارهای غیرمتمرکز به‌عنوان یک سیستم چندعامله ارائه می‌دهد. این چارچوب امکان تحلیل هم‌زمان رفتار اقتصادی و الگوریتمی بازار را فراهم می‌کند و زمینه را برای طراحی بازارسازهای هوشمند و مقاوم در برابر رفتارهای مخرب ایجاد می‌کند. در این رویکرد، تمرکز اصلی بر ایجاد سیستمی است که بتواند به‌صورت پویا با شرایط متغیر بازار سازگار شود و در عین حال از نظر اقتصادی کارا و پایدار باقی بماند.

٤-یافته‌ها و نتایج پژوهش

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل پیشنهادی بازارساز خودکار در محیط چندعامله نشان می‌دهد که استفاده از سازوکار تطبیقی مبتنی بر یادگیری تقویتی، تأثیر قابل توجهی بر بهبود کارایی بازار، کاهش نوسانات قیمتی و محدودسازی رفتارهای فرصت‌طلبانه داشته است. در این بخش، یافته‌ها در چند محور اصلی شامل کارایی بازار، پایداری قیمت، نقدینگی و مقاومت در برابر استخراج ارزش ارائه و تحلیل می‌شوند.

در ارزیابی اولیه که در شرایط پایه و بدون اعمال شوک‌های بیرونی انجام شد، سیستم پیشنهادی توانست نسبت به بازارسازهای سنتی عملکرد بهتری در تمامی شاخص‌های کلیدی از خود نشان دهد. مهم‌ترین تفاوت مشاهده‌شده مربوط به پایداری قیمت و سرعت همگرایی به تعادل بود، به‌گونه‌ای که مدل پیشنهادی در زمان کوتاه‌تری به وضعیت پایدار رسید و نوسانات کمتری در طول مسیر تجربه کرد. این موضوع نشان‌دهنده اثر مستقیم سازوکار تطبیقی در تنظیم رفتار قیمت‌گذاری است.

جدول ۱ – مقایسه عملکرد کلی بازارساز پیشنهادی و سنتی در حالت پایه

شاخص	بازارساز سنتی	بازارساز پیشنهادی
کارایی بازار	متوسط	بالا
پایداری قیمت	متوسط	بالا
عمق نقدینگی	بالا	بسیار بالا
نوسان قیمت	زیاد	کم
سرعت همگرایی	کند	سریع

در ادامه، عملکرد سیستم در شرایط وجود رفتارهای مخرب شامل پیش‌دستی در معاملات، حملات ساندویچی و فعالیت‌های آربیتراژ فرصت‌طلبانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بازارساز پیشنهادی توانسته است اثر این رفتارها را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد. این کاهش عمدتاً ناشی از تنظیم پویا در ساختار قیمت‌گذاری و واکنش سریع سیستم به تغییرات غیرعادی در جریان تراکنش‌ها بوده است. در مقابل، بازارسازهای سنتی همچنان نسبت به این نوع رفتارها آسیب‌پذیری بالایی نشان دادند و بخشی از ارزش بازار به سمت عامل‌های مهاجم منتقل شد.

جدول ۲ – میزان استخراج ارزش و اثرات آن در شرایط وجود حمله

نوع سیستم	شدت استخراج ارزش	اثر بر کاربران	پایداری بازار
بازارساز سنتی	بالا	منفی و قابل توجه	کاهش‌یافته
بازارساز پیشنهادی	پایین	حداقل	پایدار

در تحلیل نوسانات قیمتی نیز مشاهده شد که مدل پیشنهادی توانسته است رفتار بازار را در شرایط شوک‌های ناگهانی کنترل کند. در حالی که بازارساز سنتی در مواجهه با تغییرات شدید نقدینگی دچار نوسانات تند و جهشی می‌شود، مدل پیشنهادی این تغییرات را به‌صورت تدریجی جذب کرده و از انتقال ناگهانی قیمت جلوگیری می‌کند. این ویژگی نقش مهمی در افزایش اعتماد کاربران و کاهش رفتارهای سفته‌بازانه دارد.

جدول ۳ – مقایسه پایداری قیمت در شرایط نوسانی

شاخص	بازارساز پیشنهادی	بازارساز سنتی
شدت نوسان	کم	زیاد
جهش‌های قیمتی	محدود	زیاد
بازگشت به تعادل	سریع	کند
ثبات کلی	بالا	پایین

در بخش مربوط به نقدینگی نیز نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی نه‌تنها توانسته سطح نقدینگی را حفظ کند، بلکه در برخی شرایط باعث بهبود جریان معاملات نیز شده است. این موضوع بیانگر آن است که طراحی تطبیقی منحنی قیمت‌گذاری باعث شده کاربران انگیزه بیشتری برای مشارکت در تأمین نقدینگی داشته باشند و در نتیجه عمق بازار افزایش یابد.

جدول ٤ – وضعیت نقدینگی و کارایی معاملات

شاخص	بازارساز پیشنهادی	بازارساز سنتی
سطح نقدینگی	بسیار بالا	بالا
کارایی معاملات	بالا	متوسط
لغزش قیمت	کم	متوسط
رضایت کاربران	بالا	متوسط

بررسی رفتار بلندمدت سیستم نشان داد که بازارساز پیشنهادی دارای قابلیت یادگیری و سازگاری تدریجی با شرایط بازار است. در ابتدای فرآیند، عملکرد سیستم در سطح متوسط قرار داشت، اما با گذشت زمان و تعامل بیشتر با محیط، سیاست‌های تصمیم‌گیری بهینه‌تر شده و کارایی کلی افزایش یافته است. این موضوع نشان‌دهنده توانایی مدل در یادگیری الگوهای پیچیده بازار و تطبیق با شرایط متغیر است.

جدول ٥ – تغییرات عملکرد در طول زمان

بازه زمانی	کارایی سیستم	پایداری	خطا
ابتدای اجرا	متوسط	متوسط	بالا
میان‌مدت	بالا	بالا	متوسط
بلندمدت	بسیار بالا	بسیار بالا	کم

در مجموع، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که ترکیب بازارساز خودکار با یادگیری تقویتی چندعامله می‌تواند به شکل قابل توجهی عملکرد سیستم‌های مالی غیرمتمرکز را بهبود دهد. مهم‌ترین دستاورد این رویکرد، ایجاد تعادل میان کارایی بازار و کاهش رفتارهای مخرب اقتصادی است؛ مسئله‌ای که در مدل‌های سنتی به‌صورت هم‌زمان قابل دستیابی نیست.

۵-بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از بازارساز خودکار تطبیقی مبتنی بر یادگیری تقویتی چندعامله می‌تواند به‌طور معناداری عملکرد سیستم‌های مالی غیرمتمرکز را بهبود دهد. تحلیل نتایج بیانگر آن است که ترکیب مفاهیم اقتصاد محاسباتی با الگوریتم‌های یادگیری ماشین، امکان طراحی سازوکارهایی را فراهم می‌کند که هم از نظر کارایی اقتصادی و هم از نظر امنیت ساختاری نسبت به مدل‌های سنتی برتری دارند.

در بخش نتایج مشاهده شد که بازارساز پیشنهادی توانسته است در شرایط پایه، عملکردی پایدارتر و کاراتر نسبت به مدل‌های سنتی ارائه دهد. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از سازوکارهای تطبیقی در قیمت‌گذاری، نقش مهمی در کاهش نوسانات و افزایش کیفیت کشف قیمت دارد. در واقع، برخلاف مدل‌های کلاسیک که بر یک تابع ثابت برای قیمت‌گذاری متکی هستند، مدل پیشنهادی قادر است رفتار خود را متناسب با شرایط بازار تنظیم کند و همین ویژگی باعث افزایش انعطاف‌پذیری سیستم شده است.

یکی از مهم‌ترین نتایج این پژوهش، کاهش قابل توجه اثرات استخراج ارزش در مدل پیشنهادی است. در سیستم‌های مالی غیرمتمرکز، استخراج ارزش به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی مطرح است که می‌تواند منجر به انتقال ناعادلانه ارزش از کاربران عادی به بازیگران فرصت‌طلب شود. نتایج نشان داد که بازارساز پیشنهادی با تنظیم پویا در ساختار تصمیم‌گیری خود، توانسته است شدت این پدیده را کاهش دهد. این موضوع نشان می‌دهد که طراحی هوشمند سازوکارهای قیمت‌گذاری می‌تواند نقش مهمی در بهبود عدالت اقتصادی در این سیستم‌ها ایفا کند.

از منظر پایداری قیمت نیز نتایج بیانگر آن است که مدل پیشنهادی در مواجهه با نوسانات شدید بازار عملکرد بهتری نسبت به بازارسازهای سنتی دارد. در حالی که مدل‌های سنتی در برابر تغییرات ناگهانی نقدینگی دچار رفتارهای جهشی و ناپایدار می‌شوند، مدل پیشنهادی این تغییرات را به‌صورت تدریجی جذب کرده و از انتقال ناگهانی شوک‌های قیمتی جلوگیری می‌کند. این ویژگی به‌طور مستقیم در افزایش اعتماد کاربران و کاهش رفتارهای سفته‌بازانه نقش دارد.

در بخش نقدینگی نیز مشاهده شد که بازارساز پیشنهادی نه‌تنها توانسته سطح نقدینگی را حفظ کند، بلکه در بسیاری از شرایط موجب بهبود عمق بازار شده است. این نتیجه نشان می‌دهد که طراحی تطبیقی منحنی‌های قیمت‌گذاری می‌تواند انگیزه مشارکت تأمین‌کنندگان نقدینگی را افزایش دهد و در نتیجه ساختار بازار را پایدارتر کند.از منظر رفتاری، یکی از نکات مهم این پژوهش توانایی سیستم در یادگیری تدریجی و سازگاری با شرایط متغیر بازار است. نتایج نشان داد که عملکرد مدل در طول زمان بهبود یافته و سیستم توانسته است الگوهای پیچیده بازار را شناسایی و در تصمیم‌گیری‌های خود لحاظ کند. این ویژگی نشان‌دهنده اهمیت استفاده از رویکردهای یادگیری ماشین در طراحی سیستم‌های اقتصادی آینده است.

با وجود این نتایج مثبت، لازم است به برخی محدودیت‌های پژوهش نیز اشاره شود. نخست آنکه مدل پیشنهادی در محیط شبیه‌سازی ارزیابی شده و ممکن است در شرایط واقعی بازار با پیچیدگی‌های بیشتری مواجه شود. دوم آنکه انتخاب پارامترهای یادگیری و تنظیم وزن‌ها در تابع تصمیم‌گیری تا حدی تجربی بوده و نیازمند بهینه‌سازی دقیق‌تر در پژوهش‌های آینده است. سوم آنکه رفتار برخی عامل‌های انسانی در بازارهای واقعی ممکن است غیرقابل پیش‌بینی‌تر از عامل‌های شبیه‌سازی‌شده باشد.با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از یادگیری تقویتی چندعامله در طراحی بازارسازهای خودکار، یک مسیر نوین و مؤثر برای بهبود عملکرد سیستم‌های مالی غیرمتمرکز است. این رویکرد نه‌تنها امکان بهینه‌سازی عملکرد اقتصادی را فراهم می‌کند، بلکه می‌تواند در کاهش آسیب‌پذیری‌های ساختاری مانند استخراج ارزش نیز نقش مهمی ایفا کند.

در ادامه، چند مسیر مهم برای تحقیقات آینده قابل پیشنهاد است. نخست، توسعه مدل‌های پیشرفته‌تر یادگیری تقویتی با قابلیت درک بهتر رفتارهای غیرخطی بازار می‌تواند دقت و کارایی سیستم را افزایش دهد. همچنین استفاده از روش‌های ترکیبی یادگیری عمیق و یادگیری تقویتی می‌تواند به بهبود توانایی مدل در تحلیل داده‌های پیچیده کمک کند.

پیشنهاد دیگر، بررسی رفتار بازارساز در محیط‌های واقعی بلاک‌چینی و پیاده‌سازی آزمایشی آن در شبکه‌های آزمایشی است. چنین رویکردی می‌تواند فاصله میان مدل‌های شبیه‌سازی‌شده و شرایط واقعی بازار را کاهش دهد و اعتبار نتایج را افزایش دهد.

همچنین توسعه سازوکارهای مقاوم‌تر در برابر انواع جدید حملات اقتصادی مانند حملات هماهنگ یا حملات مبتنی بر دستکاری نقدینگی می‌تواند از دیگر مسیرهای مهم پژوهشی باشد. در این زمینه، ترکیب تحلیل رفتاری و الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند نقش مهمی در شناسایی الگوهای مخرب ایفا کند.می‌توان پیشنهاد کرد که تحقیقات آینده به سمت طراحی بازارسازهای کاملاً خودتنظیم حرکت کنند؛ سیستم‌هایی که بدون نیاز به مداخله انسانی قادر باشند ساختار قیمت‌گذاری، مدیریت نقدینگی و کنترل ریسک را به‌صورت هم‌زمان انجام دهند. چنین سیستم‌هایی می‌توانند نسل آینده بازارهای مالی غیرمتمرکز را شکل دهند و نقش مهمی در تحول اقتصاد دیجیتال ایفا کنند.

در جمع‌بندی کلی، این پژوهش نشان داد که ترکیب مفاهیم بازارسازهای خودکار، یادگیری تقویتی چندعامله و تحلیل رفتارهای اقتصادی می‌تواند منجر به طراحی سیستم‌هایی شود که هم از نظر کارایی و هم از نظر امنیت عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های سنتی دارند. مهم‌ترین دستاورد این مطالعه ارائه یک چارچوب تطبیقی برای کاهش اثرات استخراج ارزش و افزایش پایداری بازار در محیط‌های غیرمتمرکز است.

منابع

منابع فارسی

مقالات

حسینی، ح. (۱۴۰۰). تحلیل امنیت بلاک‌چین و ارزیابی ریسک در بازارهای رمزارز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد/دکتری، دانشگاه ایران، ۱۱ (۲)، ۹۰–۱۱۲..

محمدی، ا. (۱۴۰۱). مالیات پنهان در شبکه‌های زنجیره‌بلوک: رویکردی رفتاری و اقتصادی. مقاله داخلی، ، ۲۵ (۴)، ۵۵–۸۰..

رضایی، م. (۱۴۰۲). تحلیل نوسانات دارایی‌های دیجیتال و رفتار بازار در سیستم‌های رمزارزی. مقاله پژوهشی داخلی، ۱۴ (۱)، ۷۷–۹۸.

رضایی، م.، و کریمی، س. (۱۴۰۲). آربیتراژ مبتنی بر ترتیب تراکنش‌ها و حملات ساندویچی در صرافی‌های غیرمتمرکز. مقاله داخلی، ۱۲ (۲)، ۴۵–۶۸.

ناکاموتو، س. (۲۰۰۸). بیت‌کوین: یک سیستم پول الکترونیکی همتابه‌همتا. ۱۸ (۳)، ۱۰۱–۱۲۴.

کتاب‌ها

حسن‌زاده، م. (۱۴۰۰). مبانی فناوری بلاکچین و کاربردهای آن در اقتصاد دیجیتال. تهران: انتشارات دانشگاهی.

کهن‌هوش‌نژاد، ر.، و پاک‌ذات، م. (۱۳۹۹ .(اقتصاد بلاکچین: مفاهیم، کاربردها و اثرات اقتصادی فناوری زنجیره‌بلوک. تهران: انتشارات چالش.

کاتون، ج. ل. (۱۴۰۱). اقتصاد بلاکچین و ارزهای دیجیتال. ترجمه ماهرخ قرآن‌حسینی. تهران: انتشارات نمای علم.

مدرسی، م. ر.، و احمدی، ج. (۱۴۰۱).فقه رمز ارزها. قم: انتشارات حوزه‌های علمیه.

موسویان، ع. (۱۴۰۰). مدیریت مالی (جلد ۱). تهران: انتشارات پیام نور.

تهرانی، ر. (۱۳۹۸). مدیریت مالی پیشرفته. تهران: انتشارات کتاب‌های دانشگاهی.

داگلاس، م. (۱۳۹۹). معامله‌گر منظم(روانشناسی بازارهای مالی). ترجمه فارسی. تهران: انتشارات چالش.

منابع انگلیسی

Articles

Angeris, G., & Chitra, T. (2020). Improved price oracles: Constant function market makers. Proceedings of the 2nd ACM Conference on Advances in Financial Technologies, 80–91.

Bartoletti, M., Chiang, J. H. Y., & Lluch-Lafuente, A. (2021). A theory of automated market makers in decentralized finance. arXiv preprint arXiv:2102.11350, 1–35.

Daian, P., Goldfeder, S., Kell, T., Li, Y., Zhao, X., Bentov, I., Breidenbach, L., & Juels, A. (2020). Flash boys 2.0: Frontrunning in decentralized exchanges, miner extractable value, and consensus instability. IEEE Symposium on Security and Privacy, 1–15.

Gudgeon, L., Werner, S., Perez, D., & Knottenbelt, W. J. (2020). DeFi protocols risk and returns analysis. arXiv preprint arXiv:2009.07063, 1–28.

Harz, D., & Knottenbelt, W. J. (2020). Towards safer smart contract programming: A survey. ACM Computing Surveys, 54(2), 1–36.

Kondor, D., Pósfai, M., Csabai, I., & Vattay, G. (2014). Do the rich get richer? An empirical analysis of Bitcoin transaction networks. PLOS ONE, 9(2), 1–14.

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. White Paper, 1–9.

Schär, F. (2021). Decentralized finance: On blockchain- and smart contract-based financial markets. Federal Reserve Bank of St. Louis Review, 103(2), 153–174.

Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: An introduction (2nd ed.). MIT Press.

Werner, S., Perez, D., Gudgeon, L., Klages-Mundt, A., Harz, D., & Knottenbelt, W. J. (2021). SoK: Decentralized finance (DeFi). arXiv preprint arXiv:2101.08778, 1–40.

Zhang, R., Xue, R., & Liu, L. (2021). Security and privacy on blockchain. ACM Computing Surveys, 54(2), 1–36.