Journal of
Intelligent Financial
Management Perspectives

ISSN: 3116-0964

A Framework for Assessing Systemic Risks Arising from Decentralized Finance (DeFi) and Cryptocurrencies Using Quantum Monte Carlo Simulation Models and Artificial Intelligence

Mehdi Ahmadinia[1]*, Elaheh Gholami[2], Ahmadreza Bahrami[3]

[1]* *Ph.D. Candidate in Financial Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding Author).*

[2] *M.Sc. in Financial Management, University of Isfahan, Isfahan, Iran*

[3] *M.Sc. in Financial Management, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

ARTICLE INFO

Article history:
Received:06/10/2025
Received in revised form:17/10/2025
Accepted:11/11/2025
Available online:01/12/2025

Keywords:

Systemic Risk
Decentralized Finance (DeFi)
Cryptocurrencies
Quantum Monte Carlo
Risk Management

ABSTRACT

The rapid expansion of the Decentralized Finance (DeFi) ecosystem and the cryptocurrency market has fundamentally challenged the traditional structure of the financial system. Features such as decentralization, smart contracts, algorithmic liquidity, hidden leverage, and complex interconnections among protocols have led to the emergence of new forms of systemic risks that conventional risk management tools are often unable to adequately identify and predict. The objective of this study is to propose an integrated framework for assessing systemic risks arising from DeFi and cryptocurrencies by leveraging Quantum Monte Carlo simulation models and Artificial Intelligence (AI) algorithms.Within the proposed framework, the decentralized financial ecosystem is modeled as a complex adaptive system, where nonlinear dependencies among protocols, decentralized exchanges (DEXs), stablecoins, and market participants are extracted using deep neural networks and graph learning models. Subsequently, Quantum Monte Carlo algorithms are employed to simulate a wide range of scenarios involving market shocks, liquidity collapses, and risk contagion, enabling the estimation of the probability of systemic crises.The theoretical findings suggest that combining the predictive capabilities of Artificial Intelligence with the superior convergence speed of quantum algorithms can significantly improve the accuracy of systemic risk assessment compared to traditional classical approaches. Furthermore, the proposed framework provides a scalable and forward-looking methodology for monitoring financial stability within rapidly evolving digital asset ecosystems.

Article Type: Research Paper

©Authors

Journal of Intelligent Financial Management, 2025, Vol. 1, No.3, pp. 76- 94

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

https://doi.org/ 10.25843/JIFM.2025.8563.25583

Cite: Ahmadinia,M , Gholami,E and Bahrami,A . (2025). A Framework for Assessing Systemic Risks Arising from Decentralized Finance (DeFi) and Cryptocurrencies Using Quantum Monte Carlo Simulation Models and Artificial Intelligence. *Journal of Intelligent Financial Management*, 1(3), 76–94.

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

چارچوب ارزیابی ریسک‌های سیستمیک ناشی از امور مالی غیرمتمرکز (DeFi) و ارزهای دیجیتال با رویکرد مدل‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو کوانتومی و هوش مصنوعی

مهدی احمدی نیا [۱و*] ، الهه غلامی [۲] ، احمدرضا بهرامی [۳]

۱ و *- دانشجوی دکتری مدیریت مالی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران (نویسنده مسئول)، ایمیل نویسنده مسئول:*mehdi.ahmadinia@gmail.com*

۲- کارشناسی ارشد مدیریت مالی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۳- کارشناسی ارشد مدیریت مالی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت:۱۴۰۴/۰۷/۱۴

تاریخ بازنگری:۱۴۰۴/۰۷/۲۵

تاریخ پذیرش:۱۴۰۴/۰۸/۲۰

تاریخ انتشار:۱۴۰۴/۰۹/۱۰

کلیدواژه‌ها:

ریسک سیستمیک

امور مالی غیرمتمرکز

ارزهای دیجیتال

مونت‌کارلو کوانتومی

مدیریت ریسک

چکیده

گسترش سریع اکوسیستم امور مالی غیرمتمرکز (DeFi) و بازار دارایی‌های رمزنگاری‌شده، ساختار سنتی نظام مالی را با چالش‌های بنیادین مواجه کرده است. ویژگی‌هایی نظیر عدم تمرکز، قراردادهای هوشمند، نقدینگی الگوریتمی، اهرم مالی پنهان و ارتباطات پیچیده میان پروتکل‌ها، موجب ظهور انواع جدیدی از ریسک‌های سیستمیک شده‌اند که ابزارهای متعارف مدیریت ریسک توانایی کافی برای شناسایی و پیش‌بینی آن‌ها را ندارند. هدف این پژوهش ارائه یک چارچوب یکپارچه برای ارزیابی ریسک‌های سیستمیک ناشی از DeFi و ارزهای دیجیتال با بهره‌گیری از مدل‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو کوانتومی و الگوریتم‌های هوش مصنوعی است. در این چارچوب، شبکه مالی غیرمتمرکز به‌عنوان یک سیستم پیچیده تطبیقی مدل‌سازی شده و وابستگی‌های غیرخطی میان پروتکل‌ها، صرافی‌های غیرمتمرکز، استیبل‌کوین‌ها و بازیگران بازار از طریق شبکه‌های عصبی عمیق و مدل‌های یادگیری گرافی استخراج می‌شود. سپس با استفاده از الگوریتم‌های مونت‌کارلو کوانتومی، سناریوهای گسترده‌ای از شوک‌های بازار، فروپاشی نقدینگی و سرایت ریسک شبیه‌سازی شده و احتمال وقوع بحران‌های سیستمیک برآورد می‌شود. نتایج نظری نشان می‌دهد که ترکیب قابلیت‌های پیش‌بینی هوش مصنوعی با سرعت همگرایی بالاتر الگوریتم‌های کوانتومی می‌تواند دقت ارزیابی ریسک‌های سیستمیک را نسبت به مدل‌های کلاسیک به‌طور معناداری افزایش دهد.

نشریه مدیریت مالی هوشمند، ۱۴۰۴، دوره ۱، شماره ۳، صفحه ۷۶-۹۴.

ناشر: موسسه علمی طلوع بینش آینده

https://doi.org/ 10.25843/JIFM.2025.8563.25583

نوع مقاله: پژوهشی

© نویسندگان

استناد: احمدی نیا,مهدی , غلامی,الهه و بهرامی,احمدرضا . (۱۴۰۴). چارچوب ارزیابی ریسک‌های سیستمیک ناشی از امور مالی غیرمتمرکز (DeFi) و ارزهای دیجیتال با رویکرد مدل‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو کوانتومی و هوش مصنوعی. *مدیریت مالی هوشمند*، ۱(۳)، ۷۶-۹۴.

ISSN: 3116-0964

۱-مقدمه

تحولات فناورانه دهه اخیر، به‌ویژه در حوزه فناوری بلاکچین، موجب شکل‌گیری نسل جدیدی از خدمات و زیرساخت‌های مالی شده است که تحت عنوان «امور مالی غیرمتمرکز» شناخته می‌شوند. امور مالی غیرمتمرکز یا دیفای مجموعه‌ای از پروتکل‌ها، برنامه‌های کاربردی و خدمات مالی مبتنی بر فناوری دفترکل توزیع‌شده است که بدون نیاز به نهادهای واسطه سنتی نظیر بانک‌ها، شرکت‌های سرمایه‌گذاری و مؤسسات مالی فعالیت می‌کنند. این اکوسیستم با استفاده از قراردادهای هوشمند، امکان انجام فعالیت‌هایی نظیر وام‌دهی، وام‌گیری، مبادله دارایی‌ها، مدیریت سرمایه، بیمه و معاملات مشتقه را در بستری غیرمتمرکز فراهم ساخته است. در سال‌های اخیر رشد چشمگیر ارزش کل دارایی‌های قفل‌شده در پروتکل‌های دیفای و افزایش پذیرش ارزهای دیجیتال در سطح جهانی، توجه پژوهشگران، سیاست‌گذاران و نهادهای نظارتی را به ظرفیت‌ها و مخاطرات این حوزه جلب کرده است (احمدی و همکاران، ۱۴۰۲).فناوری بلاکچین با فراهم کردن بستری شفاف، تغییرناپذیر و غیرمتمرکز، زمینه حذف واسطه‌های مالی را فراهم کرده است. در نظام مالی سنتی، بانک‌ها و سایر نهادهای مالی نقش واسطه را میان عرضه‌کنندگان و متقاضیان سرمایه ایفا می‌کنند و بخش قابل‌توجهی از هزینه‌های مالی ناشی از همین واسطه‌گری است. در مقابل، دیفای با تکیه بر قراردادهای هوشمند و الگوریتم‌های رمزنگاری، امکان انجام تراکنش‌ها را به‌صورت مستقیم و همتابه‌همتا فراهم می‌آورد. این ویژگی موجب افزایش سرعت انجام معاملات، کاهش هزینه‌های عملیاتی و گسترش دسترسی به خدمات مالی در سطح بین‌المللی شده است (محمدی و رضایی، ۱۴۰۳).

با وجود مزایای متعدد، توسعه سریع اکوسیستم دیفای و بازار ارزهای دیجیتال چالش‌های جدیدی را نیز برای ثبات مالی به همراه داشته است. برخلاف بازارهای مالی سنتی که تحت نظارت نهادهای قانون‌گذار فعالیت می‌کنند، بسیاری از پروتکل‌های دیفای فاقد چارچوب‌های نظارتی مشخص هستند. همچنین وابستگی متقابل میان پروتکل‌های مختلف، استفاده گسترده از استیبل‌کوین‌ها، اهرم‌های مالی پنهان، نقدینگی الگوریتمی و تعاملات پیچیده میان بازیگران بازار، زمینه بروز انواع جدیدی از ریسک‌های سیستمیک را فراهم کرده است. این ریسک‌ها می‌توانند از طریق سازوکارهای سرایت مالی به سرعت در کل شبکه منتشر شده و آثار قابل‌توجهی بر ثبات اکوسیستم مالی دیجیتال برجای بگذارند (کاظمی و همکاران، ۱۴۰۲).

ریسک سیستمیک به وضعیتی اشاره دارد که در آن اختلال یا شکست یک جزء از سیستم مالی منجر به انتقال بحران به سایر اجزای شبکه شده و عملکرد کل سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در بازارهای سنتی، این نوع ریسک معمولاً از طریق ارتباطات میان بانک‌ها، مؤسسات مالی و بازارهای سرمایه ایجاد می‌شود. اما در اکوسیستم دیفای، ماهیت ریسک سیستمیک متفاوت و پیچیده‌تر است. وابستگی متقابل قراردادهای هوشمند، استخرهای نقدینگی مشترک، پروتکل‌های وام‌دهی و صرافی‌های غیرمتمرکز موجب شده است که یک شوک محدود بتواند به سرعت به سایر بخش‌های اکوسیستم منتقل شود. از این رو، شناسایی و اندازه‌گیری ریسک‌های سیستمیک در این فضا به یکی از مهم‌ترین موضوعات پژوهشی در حوزه مالی دیجیتال تبدیل شده است (حسینی و نادری، ۱۴۰۳).یکی از مهم‌ترین نمونه‌های بروز ریسک سیستمیک در بازار دارایی‌های دیجیتال، فروپاشی اکوسیستم ترا–لونا (Terra-Luna) در سال ۲۰۲۲ بود. این رویداد نشان داد که شکست یک استیبل‌کوین الگوریتمی می‌تواند به کاهش شدید اعتماد سرمایه‌گذاران، خروج گسترده سرمایه، کاهش نقدینگی بازار و سقوط قیمت سایر دارایی‌های دیجیتال منجر شود. در مدت کوتاهی پس از این رویداد، بسیاری از شرکت‌های فعال در حوزه وام‌دهی رمزارزی با بحران نقدینگی مواجه شدند و برخی از آن‌ها ورشکست شدند. این مسئله بیانگر آن است که شبکه‌های مالی مبتنی بر بلاکچین نیز همانند نظام مالی سنتی در معرض خطر سرایت بحران قرار دارند و حتی به دلیل ماهیت به‌هم‌پیوسته و سرعت بالای انتقال اطلاعات، شدت سرایت در آن‌ها می‌تواند بیشتر باشد (صادقی و همکاران، ۱۴۰۲).

علاوه بر بحران ترا لونا، رخدادهای دیگری نظیر سقوط صرافی‌های بزرگ ارز دیجیتال، حملات سایبری به قراردادهای هوشمند، دستکاری اوراکل‌های قیمتی و نوسانات شدید بازار رمزارزها نیز بر اهمیت مطالعه ریسک‌های سیستمیک افزوده‌اند. در بسیاری از موارد مشاهده شده است که آسیب‌پذیری یک قرارداد هوشمند یا بروز یک حمله سایبری به خروج گسترده سرمایه از چندین پروتکل منجر شده و آثار آن به سایر بخش‌های اکوسیستم نیز منتقل شده است. این موضوع نشان می‌دهد که عوامل فناورانه در کنار عوامل مالی نقش مهمی در شکل‌گیری ریسک‌های سیستمیک در محیط دیفای ایفا می‌کنند (قنبری و همکاران، ۱۴۰۳).

از سوی دیگر، گسترش کاربرد هوش مصنوعی و فناوری‌های محاسباتی پیشرفته فرصت‌های جدیدی برای مدیریت ریسک در بازارهای مالی ایجاد کرده است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق قادرند الگوهای پنهان موجود در داده‌های حجیم مالی را شناسایی کرده و وقوع رویدادهای بحرانی را پیش‌بینی کنند. در اکوسیستم دیفای که حجم عظیمی از داده‌های برون‌زنجیره‌ای و درون‌زنجیره‌ای تولید می‌شود، استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی می‌تواند به درک بهتر روابط پیچیده میان اجزای شبکه و پیش‌بینی رفتار بازار کمک کند. پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که شبکه‌های عصبی عمیق، مدل‌های یادگیری گراف و الگوریتم‌های یادگیری تقویتی در تحلیل ریسک بازارهای رمزارزی عملکرد قابل قبولی داشته‌اند (مرادی و همکاران، ۱۴۰۳).همزمان با پیشرفت هوش مصنوعی، فناوری محاسبات کوانتومی نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روندهای نوظهور در علوم محاسباتی مطرح شده است. رایانش کوانتومی با بهره‌گیری از ویژگی‌هایی نظیر برهم‌نهی و درهم‌تنیدگی کوانتومی، توانایی حل برخی مسائل پیچیده را با سرعتی بسیار بیشتر از رایانه‌های کلاسیک فراهم می‌سازد. در حوزه مالی، یکی از کاربردهای مهم محاسبات کوانتومی استفاده از الگوریتم‌های مونت‌کارلو کوانتومی برای شبیه‌سازی سناریوهای پیچیده و ارزیابی ریسک است. این الگوریتم‌ها نسبت به روش‌های مونت‌کارلوی کلاسیک از سرعت همگرایی بیشتری برخوردار بوده و می‌توانند تعداد بسیار زیادی از سناریوهای احتمالی را در زمان کوتاه‌تری مورد بررسی قرار دهند (جعفری و همکاران، ۱۴۰۲).

در محیط پیچیده دیفای، که تعداد بسیار زیادی از متغیرهای مالی و فناورانه بر رفتار سیستم تأثیر می‌گذارند، استفاده از روش‌های سنتی مدیریت ریسک با محدودیت‌های قابل‌توجهی مواجه است. مدل‌های متعارف معمولاً بر فرضیات ساده‌کننده‌ای مانند توزیع نرمال بازده‌ها یا استقلال متغیرها استوار هستند؛ در حالی که بازار ارزهای دیجیتال دارای رفتارهای غیرخطی، نوسانات شدید و وابستگی‌های پویا میان اجزای مختلف است. به همین دلیل بسیاری از پژوهشگران معتقدند که ارزیابی دقیق ریسک‌های سیستمیک در این حوزه مستلزم بهره‌گیری از رویکردهای نوین مبتنی بر هوش مصنوعی و شبیه‌سازی‌های پیشرفته است (رستمی و همکاران، ۱۴۰۳).بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارائه چارچوبی جامع برای ارزیابی ریسک‌های سیستمیک ناشی از امور مالی غیرمتمرکز و ارزهای دیجیتال انجام شده است. در این چارچوب، اکوسیستم دیفای به‌عنوان یک شبکه مالی پیچیده و تطبیقی در نظر گرفته می‌شود که در آن روابط میان پروتکل‌ها، استیبل‌کوین‌ها، صرافی‌های غیرمتمرکز و سرمایه‌گذاران از طریق مدل‌های هوش مصنوعی استخراج می‌شود. سپس با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو کوانتومی، سناریوهای مختلف بحران، شوک‌های نقدینگی و رویدادهای سرایت ریسک مورد بررسی قرار می‌گیرند. انتظار می‌رود نتایج این پژوهش بتواند به توسعه ابزارهای نوین مدیریت ریسک، ارتقای ثبات مالی و بهبود فرآیندهای نظارتی در اکوسیستم دارایی‌های دیجیتال کمک کند.

در مجموع، با توجه به رشد روزافزون بازارهای مبتنی بر بلاکچین و افزایش نقش آن‌ها در نظام مالی جهانی، مطالعه ریسک‌های سیستمیک این حوزه اهمیت ویژه‌ای یافته است. ترکیب ظرفیت‌های هوش مصنوعی با قابلیت‌های محاسبات کوانتومی می‌تواند نسل جدیدی از مدل‌های ارزیابی ریسک را ایجاد کند که توانایی بیشتری در تحلیل شبکه‌های پیچیده مالی و پیش‌بینی بحران‌های احتمالی داشته باشند. از این منظر، پژوهش حاضر تلاشی در جهت توسعه ادبیات علمی مدیریت ریسک مالی دیجیتال و ارائه راهکاری نوآورانه برای مواجهه با چالش‌های ناشی از گسترش امور مالی غیرمتمرکز محسوب می‌شود.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱ مفهوم ریسک سیستمیک

ریسک سیستمیک یکی از مهم‌ترین مفاهیم در ادبیات ثبات مالی و مدیریت ریسک محسوب می‌شود که در دهه‌های اخیر به دلیل افزایش پیچیدگی شبکه‌های مالی، جهانی‌شدن بازارهای سرمایه و گسترش ارتباطات میان نهادهای اقتصادی، توجه گسترده‌ای را به خود جلب کرده است. این نوع ریسک به احتمال وقوع اختلال گسترده در عملکرد کل نظام مالی اشاره دارد؛ به‌گونه‌ای که بروز بحران یا شکست در یک یا چند بخش از سیستم بتواند به سایر اجزا منتقل شده و در نهایت عملکرد کلی نظام مالی را با تهدید جدی مواجه سازد. برخلاف ریسک‌های سنتی که عمدتاً محدود به یک نهاد یا بازار خاص هستند، ریسک سیستمیک دارای ماهیتی فراگیر بوده و آثار آن می‌تواند تمامی بخش‌های اقتصادی را تحت تأثیر قرار دهد (احمدی و همکاران، ۱۴۰۳).در ادبیات مالی، ریسک سیستمیک معمولاً به عنوان ریسک ناشی از وابستگی‌ها و ارتباطات متقابل میان اجزای یک شبکه مالی تعریف می‌شود. در چنین شرایطی، شکست یک نهاد صرفاً یک رویداد مستقل تلقی نمی‌شود، بلکه می‌تواند آغازگر زنجیره‌ای از واکنش‌ها و بحران‌های متوالی در سایر بخش‌های شبکه باشد. بحران مالی جهانی سال ۲۰۰۸ نمونه بارزی از تحقق ریسک

سیستمیک بود که در آن مشکلات ایجادشده در بخش وام‌های رهنی ایالات متحده به سرعت به بانک‌ها، مؤسسات مالی، بازارهای سرمایه و اقتصاد جهانی سرایت کرد و پیامدهای گسترده‌ای را در سطح بین‌المللی به همراه داشت (حسینی و رضایی، ۱۴۰۲).

با ظهور فناوری زنجیره بلوکی و توسعه اکوسیستم مالی غیرمتمرکز، مفهوم ریسک سیستمیک وارد مرحله جدیدی شده است. اگرچه در ساختارهای مالی غیرمتمرکز، وابستگی به نهادهای واسطه کاهش یافته است، اما این امر به معنای حذف کامل ریسک سیستمیک نیست. در واقع، ساختار به‌هم‌پیوسته پروتکل‌ها، قراردادهای خوداجرا، استخرهای نقدینگی و دارایی‌های دیجیتال موجب شکل‌گیری گونه‌های جدیدی از وابستگی‌های مالی شده است که می‌توانند زمینه انتقال سریع بحران را فراهم آورند. بسیاری از پژوهشگران معتقدند که ماهیت غیرمتمرکز این اکوسیستم، اگرچه برخی ریسک‌های متمرکز را کاهش داده است، اما همزمان انواع جدیدی از آسیب‌پذیری‌های شبکه‌ای را ایجاد کرده است (کاظمی و همکاران، ۱۴۰۳).در محیط مالی غیرمتمرکز، ریسک سیستمیک عمدتاً ناشی از روابط پیچیده میان پروتکل‌های مختلف است. بسیاری از خدمات مالی موجود در این اکوسیستم به صورت لایه‌ای طراحی شده‌اند؛ به این معنا که یک پروتکل برای ارائه خدمات خود به چندین پروتکل دیگر وابسته است. این وابستگی‌های متقابل موجب می‌شود که اختلال در عملکرد یک بخش بتواند آثار خود را به سرعت به سایر اجزای شبکه منتقل کند. در چنین شرایطی، شکست یک پروتکل وام‌دهی یا بروز مشکل در یک استخر نقدینگی می‌تواند پیامدهایی فراتر از محدوده همان سامانه ایجاد کند و کل اکوسیستم را تحت تأثیر قرار دهد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۲).

یکی از مهم‌ترین منابع ریسک سیستمیک در این محیط، وابستگی متقابل میان پروتکل‌ها است. در بسیاری از موارد، دارایی‌های تولیدشده در یک سامانه به عنوان وثیقه یا ابزار تأمین نقدینگی در سامانه‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این وابستگی زنجیره‌ای سبب می‌شود که کاهش ارزش یا اختلال در یک دارایی خاص، پیامدهای گسترده‌ای در کل شبکه ایجاد کند. هرچه میزان پیوندها و وابستگی‌های متقابل میان سامانه‌ها بیشتر باشد، احتمال وقوع سرایت مالی نیز افزایش خواهد یافت. به همین دلیل تحلیل ساختار شبکه‌ای این روابط به یکی از محورهای اصلی مطالعات ریسک سیستمیک تبدیل شده است (صادقی و همکاران، ۱۴۰۳).

عامل مهم دیگر، تمرکز نقدینگی در تعداد محدودی از دارایی‌های باثبات دیجیتال است. اگرچه این دارایی‌ها با هدف کاهش نوسانات بازار طراحی شده‌اند، اما وابستگی گسترده اکوسیستم مالی غیرمتمرکز به آن‌ها می‌تواند به یک منبع بالقوه ریسک سیستمیک تبدیل شود. زمانی که بخش عمده‌ای از معاملات، وام‌ها و فعالیت‌های مالی بر پایه تعداد محدودی از این دارایی‌ها انجام می‌شود، هرگونه اختلال در عملکرد یا کاهش اعتماد نسبت به آن‌ها می‌تواند بحران گسترده‌ای در کل شبکه ایجاد کند. تجربه فروپاشی برخی دارایی‌های باثبات الگوریتمی نشان داد که از بین رفتن اعتماد سرمایه‌گذاران نسبت به یک دارایی می‌تواند به خروج گسترده سرمایه و کاهش شدید نقدینگی در بازار منجر شود (مرادی و همکاران، ۱۴۰۳).از دیگر عوامل مؤثر بر ریسک سیستمیک می‌توان به آسیب‌پذیری قراردادهای هوشمند اشاره کرد. قراردادهای هوشمند هسته اصلی فعالیت‌های مالی غیرمتمرکز را تشکیل می‌دهند و اجرای خودکار بسیاری از فرایندهای مالی بر عهده آن‌ها است. هرگونه نقص در طراحی، خطای برنامه‌نویسی یا وجود آسیب‌پذیری امنیتی در این قراردادها می‌تواند زمینه سوءاستفاده مهاجمان را فراهم کند. در سال‌های اخیر، وقوع حملات متعدد به قراردادهای هوشمند موجب از دست رفتن میلیاردها دلار دارایی دیجیتال شده است. اهمیت این موضوع زمانی بیشتر می‌شود که یک قرارداد آسیب‌پذیر به عنوان زیرساخت مشترک چندین سامانه مورد استفاده قرار گیرد؛ در چنین شرایطی، آثار ناشی از حمله می‌تواند به صورت زنجیره‌ای در سراسر اکوسیستم منتشر شود (جعفری و همکاران، ۱۴۰۲).

حملات سایبری نیز یکی دیگر از منابع مهم ریسک سیستمیک در محیط‌های مالی مبتنی بر زنجیره بلوکی محسوب می‌شوند. برخلاف نظام مالی سنتی که بخش عمده‌ای از تهدیدات در سطح سازمانی مدیریت می‌شود، در اکوسیستم‌های غیرمتمرکز بسیاری از عملیات مالی از طریق کدهای نرم‌افزاری و زیرساخت‌های دیجیتال انجام می‌شود. این موضوع موجب شده است که مهاجمان سایبری تمرکز ویژه‌ای بر بهره‌برداری از نقاط ضعف فنی داشته باشند. نفوذ به سامانه‌های انتقال دارایی، دستکاری داده‌های قیمتی و سوءاستفاده از ضعف‌های امنیتی می‌تواند خسارات گسترده‌ای به همراه داشته باشد و اعتماد عمومی نسبت به کل بازار را کاهش دهد (رستمی و همکاران، ۱۴۰۳).یکی از مؤلفه‌های مهم در این زمینه، سامانه‌های تأمین داده‌های بیرونی هستند که وظیفه انتقال اطلاعات موردنیاز قراردادهای هوشمند را بر عهده دارند. این سامانه‌ها پل ارتباطی میان دنیای واقعی و شبکه‌های غیرمتمرکز محسوب می‌شوند. در صورتی که داده‌های ارائه‌شده توسط این سامانه‌ها دچار خطا، دستکاری یا تأخیر شوند، تصمیمات اتخاذشده توسط قراردادهای هوشمند نیز دچار انحراف خواهد شد. از آنجا که بسیاری از فعالیت‌های مالی از جمله قیمت‌گذاری دارایی‌ها، تسویه قراردادها و مدیریت وثیقه‌ها بر پایه این داده‌ها انجام می‌شود، اختلال در این بخش می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای

برای کل اکوسیستم داشته باشد (قنبری و همکاران، ۱۴۰۳).عامل مهم دیگری که در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده، وجود اهرم مالی پنهان در ساختارهای مالی غیرمتمرکز است. اهرم مالی به استفاده از منابع قرضی برای افزایش بازده سرمایه‌گذاری اشاره دارد. در بسیاری از سامانه‌های غیرمتمرکز، کاربران می‌توانند با وثیقه‌گذاری یک دارایی، دارایی دیگری را دریافت کرده و مجدداً از آن به عنوان وثیقه استفاده کنند. این فرایند به شکل زنجیره‌ای ادامه یافته و سطح واقعی بدهی و ریسک را افزایش می‌دهد. در شرایط عادی بازار، چنین سازوکاری ممکن است موجب افزایش سودآوری شود؛ اما در زمان وقوع شوک‌های قیمتی، کاهش ارزش وثیقه‌ها می‌تواند موجی از تسویه‌های اجباری را ایجاد کرده و به بحران نقدینگی منجر شود (بهرامی و همکاران، ۱۴۰۲).

علاوه بر عوامل ساختاری و فناورانه، رفتار سرمایه‌گذاران نیز نقش مهمی در شکل‌گیری ریسک‌های سیستمیک ایفا می‌کند. مطالعات اقتصاد رفتاری نشان می‌دهد که تصمیمات سرمایه‌گذاران همواره بر مبنای منطق اقتصادی اتخاذ نمی‌شود و عوامل روان‌شناختی می‌توانند تأثیر قابل‌توجهی بر رفتار بازار داشته باشند. در بازار دارایی‌های دیجیتال، انتشار اخبار، شایعات و اطلاعات غیررسمی می‌تواند به سرعت موجب شکل‌گیری رفتارهای توده‌ای شود. در چنین شرایطی، سرمایه‌گذاران بدون تحلیل مستقل، از رفتار سایر فعالان بازار تقلید می‌کنند که این موضوع می‌تواند نوسانات قیمتی را تشدید کند (کریمی و همکاران، ۱۴۰۳).رفتارهای توده‌ای به‌ویژه در زمان بحران اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. زمانی که بخشی از سرمایه‌گذاران اقدام به فروش دارایی‌های خود می‌کنند، سایر سرمایه‌گذاران نیز به دلیل ترس از زیان بیشتر وارد فرآیند فروش می‌شوند. این واکنش زنجیره‌ای موجب افت شدید قیمت‌ها، کاهش نقدینگی و تشدید بحران می‌شود. از آنجا که بازارهای مالی غیرمتمرکز به صورت شبانه‌روزی و بدون محدودیت جغرافیایی فعالیت می‌کنند، سرعت انتشار چنین رفتارهایی بسیار بیشتر از بازارهای سنتی است و این امر احتمال وقوع بحران‌های فراگیر را افزایش می‌دهد (نادری و همکاران، ۱۴۰۲).

در مجموع، ریسک سیستمیک در اکوسیستم مالی غیرمتمرکز حاصل تعامل پیچیده مجموعه‌ای از عوامل ساختاری، فناورانه، مالی و رفتاری است. وابستگی متقابل میان سامانه‌ها، تمرکز نقدینگی، آسیب‌پذیری قراردادهای هوشمند، حملات سایبری، اهرم‌های مالی پنهان و رفتارهای توده‌ای سرمایه‌گذاران، هر یک به‌تنهایی و یا در تعامل با یکدیگر می‌توانند زمینه وقوع بحران‌های گسترده را فراهم سازند. ازاین‌رو توسعه چارچوب‌های نوین ارزیابی ریسک که قادر به تحلیل همزمان این عوامل باشند، به یکی از ضرورت‌های اساسی در مدیریت ثبات مالی دیجیتال تبدیل شده است. شناخت دقیق ابعاد مختلف ریسک سیستمیک می‌تواند زمینه طراحی ابزارهای پیشگیرانه، ارتقای سازوکارهای نظارتی و افزایش تاب‌آوری اکوسیستم‌های مالی نوین را فراهم آورد و از بروز بحران‌های گسترده در آینده جلوگیری کند (احمدی و همکاران، ۱۴۰۴).

۲-۲ نظریه شبکه‌های مالی پیچیده

در دهه‌های اخیر، نظریه شبکه‌های پیچیده به یکی از مهم‌ترین رویکردهای تحلیلی در علوم مالی، اقتصاد، مدیریت ریسک و مطالعات ثبات مالی تبدیل شده است. افزایش وابستگی‌های متقابل میان نهادهای مالی، بازارهای سرمایه و زیرساخت‌های اقتصادی موجب شده است که رویکردهای سنتی مبتنی بر تحلیل منفرد نهادها توانایی کافی برای تبیین رفتار کل نظام مالی را نداشته باشند. در چنین شرایطی، نظریه شبکه‌های مالی پیچیده چارچوبی مناسب برای تحلیل ساختار ارتباطات، شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و بررسی سازوکارهای انتقال ریسک در سیستم‌های مالی فراهم می‌کند (احمدی و همکاران، ۱۴۰۳).

بر اساس نظریه شبکه‌ها، نظام مالی را می‌توان به‌صورت مجموعه‌ای از عناصر به‌هم‌پیوسته در نظر گرفت که از طریق روابط مالی، معاملاتی و اطلاعاتی با یکدیگر در تعامل هستند. هر یک از این عناصر به‌عنوان یک گره در شبکه تعریف می‌شوند و ارتباط میان آن‌ها به‌صورت یال یا پیوند نمایش داده می‌شود. اهمیت این رویکرد در آن است که عملکرد هر جزء نه تنها به ویژگی‌های داخلی آن، بلکه به جایگاه و ارتباطات آن در کل شبکه وابسته است. بنابراین درک رفتار سیستم مالی مستلزم مطالعه ساختار کلی شبکه و روابط میان اجزای آن است (حسینی و رضایی، ۱۴۰۲).

در اکوسیستم مالی غیرمتمرکز، اهمیت تحلیل شبکه‌ای بیش از نظام‌های مالی سنتی است. دلیل این امر آن است که ساختار مالی غیرمتمرکز بر پایه مجموعه‌ای از سامانه‌های خودکار، استخرهای نقدینگی، دارایی‌های دیجیتال، سامانه‌های وام‌دهی، بازارهای مبادله و کاربران مختلف شکل گرفته است که همگی از طریق قراردادهای هوشمند با یکدیگر ارتباط دارند. این ارتباطات باعث می‌شود که کل اکوسیستم به‌صورت یک شبکه پیچیده و پویا عمل کند؛ شبکه‌ای که در آن تغییر وضعیت یک جزء می‌تواند به سرعت بر سایر اجزا تأثیر بگذارد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۳).

از دیدگاه ریاضی، اکوسیستم مالی غیرمتمرکز را می‌توان به صورت یک گراف شبکه‌ای نمایش داد که شامل مجموعه‌ای از گره‌ها و پیوندها است. در این ساختار، گره‌ها نماینده بازیگران بازار، سامانه‌های مالی، دارایی‌های دیجیتال، استخرهای نقدینگی و سایر اجزای اکوسیستم هستند و

پیوندها بیانگر روابط مالی، انتقال سرمایه، جریان نقدینگی و وابستگی‌های عملیاتی میان این عناصر محسوب می‌شوند. چنین ساختاری امکان تحلیل کمی روابط میان اجزای شبکه را فراهم کرده و به پژوهشگران اجازه می‌دهد الگوهای انتقال ریسک و تمرکز قدرت را شناسایی کنند (صادقی و همکاران، ۱۴۰۳).یکی از ویژگی‌های اساسی شبکه‌های مالی پیچیده، ناهمگنی ساختار ارتباطات است. در این شبکه‌ها تمامی گره‌ها از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند. برخی از گره‌ها دارای ارتباطات گسترده با بخش بزرگی از شبکه هستند، در حالی که برخی دیگر تنها تعداد محدودی ارتباط دارند. این تفاوت موجب می‌شود که نقش گره‌ها در پایداری یا آسیب‌پذیری شبکه متفاوت باشد. به همین دلیل شناسایی گره‌های کلیدی و نقاط بحرانی شبکه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کاظمی و همکاران، ۱۴۰۳).در نظریه شبکه‌های مالی، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مورد استفاده برای شناسایی گره‌های مهم، شاخص مرکزیت درجه است. این شاخص تعداد ارتباطات مستقیم هر گره با سایر گره‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. هرچه تعداد پیوندهای یک گره بیشتر باشد، آن گره از درجه اهمیت بالاتری برخوردار خواهد بود. در اکوسیستم مالی غیرمتمرکز، سامانه‌هایی که بیشترین حجم تعاملات مالی را با سایر بخش‌ها دارند، معمولاً دارای مرکزیت درجه بالاتری هستند. این سامانه‌ها نقش مهمی در توزیع نقدینگی و انتقال اطلاعات ایفا می‌کنند و اختلال در عملکرد آن‌ها می‌تواند بخش وسیعی از شبکه را تحت تأثیر قرار دهد (مرادی و همکاران، ۱۴۰۲).اهمیت مرکزیت درجه تنها به تعداد ارتباطات محدود نمی‌شود، بلکه بیانگر میزان نفوذ یک گره در ساختار کلی شبکه نیز هست. در بسیاری از موارد مشاهده شده است که سامانه‌های دارای ارتباطات گسترده، به دلیل حجم بالای وابستگی‌های متقابل، نقش محوری در حفظ ثبات شبکه دارند. در نتیجه، هرگونه بحران یا نقص عملکرد در این نقاط می‌تواند موجب ایجاد اختلالات زنجیره‌ای در کل اکوسیستم شود (جعفری و همکاران، ۱۴۰۳).

شاخص مهم دیگر در تحلیل شبکه‌های مالی پیچیده، مرکزیت بینابینی است. این شاخص میزان قرارگیری یک گره در مسیرهای ارتباطی میان سایر گره‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. به بیان دیگر، مرکزیت بینابینی نشان می‌دهد که یک گره تا چه اندازه در انتقال جریان اطلاعات، نقدینگی یا دارایی میان سایر بخش‌های شبکه نقش واسطه دارد. گره‌هایی که دارای مرکزیت بینابینی بالا هستند، معمولاً مسیرهای حیاتی انتقال منابع را کنترل می‌کنند و حذف یا اختلال در آن‌ها می‌تواند موجب گسست ساختار شبکه شود (رستمی و همکاران، ۱۴۰۳).

در اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز، بسیاری از سامانه‌های مبادله دارایی یا استخرهای بزرگ نقدینگی دارای مرکزیت بینابینی بالایی هستند. این سامانه‌ها به عنوان پل ارتباطی میان بخش‌های مختلف بازار عمل می‌کنند و نقش مهمی در حفظ جریان نقدینگی دارند. در صورتی که یکی از این بخش‌ها با مشکل مواجه شود، انتقال دارایی‌ها و اجرای معاملات در بخش‌های دیگر نیز دچار اختلال خواهد شد. از این رو، تحلیل مرکزیت بینابینی می‌تواند در شناسایی نقاط حساس شبکه و ارزیابی ریسک‌های سیستمیک نقش مهمی ایفا کند (کریمی و همکاران، ۱۴۰۲).

سومین شاخص مهم در نظریه شبکه‌های مالی پیچیده، مرکزیت بردار ویژه است. برخلاف مرکزیت درجه که صرفاً تعداد ارتباطات را در نظر می‌گیرد، این شاخص کیفیت ارتباطات را نیز مورد توجه قرار می‌دهد. بر اساس این معیار، یک گره زمانی دارای اهمیت بالاست که نه تنها ارتباطات زیادی داشته باشد، بلکه با گره‌های مهم و اثرگذار شبکه نیز در ارتباط باشد. به همین دلیل مرکزیت بردار ویژه یکی از شاخص‌های کلیدی برای شناسایی بازیگران راهبردی در شبکه‌های مالی محسوب می‌شود (قنبری و همکاران، ۱۴۰۳).

در محیط مالی غیرمتمرکز، برخی سامانه‌ها اگرچه تعداد ارتباطات محدودی دارند، اما به دلیل ارتباط با بخش‌های کلیدی شبکه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند. چنین سامانه‌هایی ممکن است در نگاه اول کم‌اهمیت به نظر برسند، اما در عمل نقش مهمی در انتقال شوک‌های مالی ایفا کنند. شاخص مرکزیت بردار ویژه به پژوهشگران کمک می‌کند تا این نوع گره‌های پنهان اما اثرگذار را شناسایی کنند و میزان تأثیر آن‌ها بر ثبات کل اکوسیستم را مورد ارزیابی قرار دهند (نادری و همکاران، ۱۴۰۳).

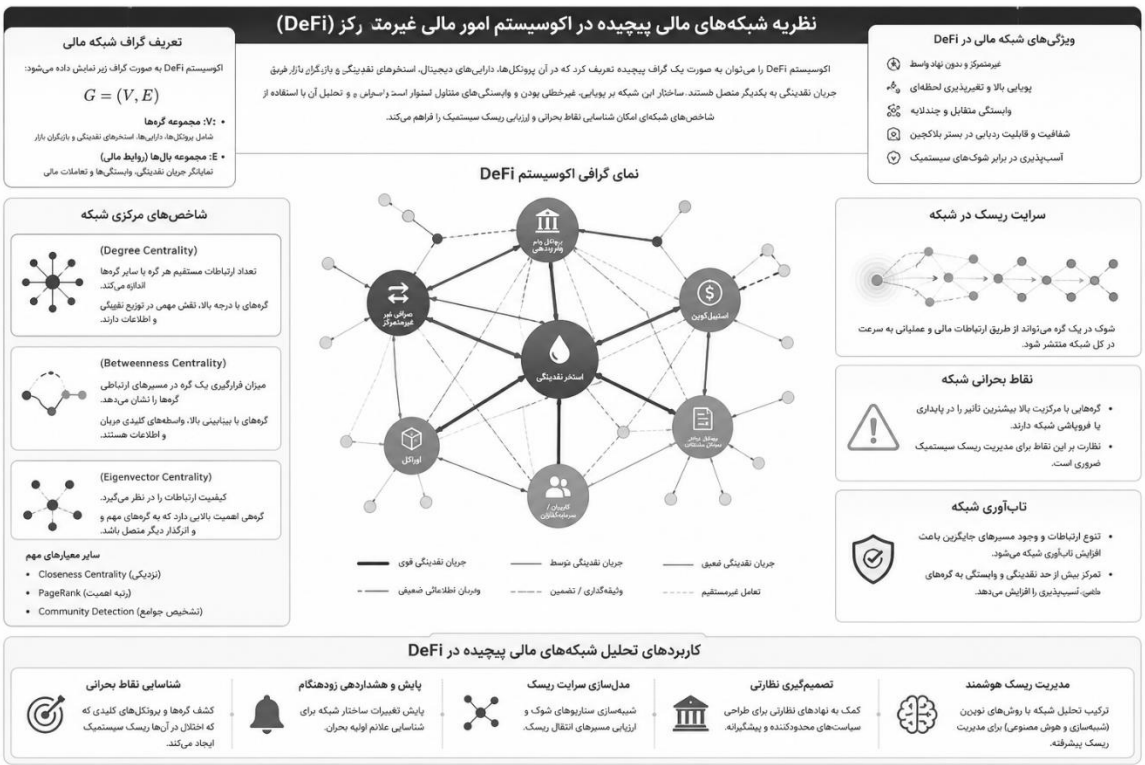
یکی دیگر از ویژگی‌های مهم شبکه‌های مالی پیچیده، پدیده سرایت ریسک است. سرایت ریسک به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن بحران یا اختلال ایجادشده در یک بخش از شبکه به سایر بخش‌ها منتقل می‌شود. شدت سرایت به عواملی نظیر میزان اتصال گره‌ها، تمرکز نقدینگی، ساختار ارتباطات و سطح وابستگی متقابل میان اجزای شبکه بستگی دارد. هرچه شبکه از تراکم بیشتری برخوردار باشد، احتمال انتقال سریع شوک‌ها نیز افزایش می‌یابد (احمدی و همکاران، ۱۴۰۴).

در اکوسیستم مالی غیرمتمرکز، سرایت ریسک می‌تواند از مسیرهای مختلفی رخ دهد. کاهش ارزش یک دارایی دیجیتال، اختلال در یک سامانه وام‌دهی، حمله سایبری به یک قرارداد هوشمند یا بحران نقدینگی در یک استخر مالی، همگی می‌توانند به عنوان نقطه آغاز یک فرآیند سرایت عمل کنند. از آنجا که بسیاری از سامانه‌ها به‌صورت زنجیره‌ای به یکدیگر وابسته هستند، آثار ناشی از این رویدادها می‌تواند به سرعت در سراسر

شبکه منتشر شود (بهرامی و همکاران، ۱۴۰۳).علاوه بر سرایت ریسک، مفهوم تاب‌آوری شبکه نیز در نظریه شبکه‌های مالی پیچیده اهمیت ویژه‌ای دارد. تاب‌آوری به توانایی شبکه در حفظ عملکرد خود در برابر شوک‌ها و اختلالات اشاره دارد. شبکه‌هایی که از تنوع ارتباطات، توزیع متوازن قدرت و مسیرهای جایگزین انتقال منابع برخوردار هستند، معمولاً مقاومت بیشتری در برابر بحران‌ها دارند. در مقابل، شبکه‌هایی که وابستگی زیادی به تعداد محدودی از گره‌های کلیدی دارند، در برابر اختلالات آسیب‌پذیرتر خواهند بود (محمدی و همکاران، ۱۴۰۳).

پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که تحلیل شبکه‌های پیچیده می‌تواند ابزار مؤثری برای پایش ثبات مالی و پیش‌بینی بحران‌های احتمالی باشد. با استفاده از شاخص‌های مرکزیت، تحلیل خوشه‌بندی، ارزیابی تراکم شبکه و مدل‌سازی مسیرهای سرایت، امکان شناسایی نقاط بحرانی پیش از وقوع بحران فراهم می‌شود. این قابلیت به نهادهای نظارتی و مدیران ریسک اجازه می‌دهد تا اقدامات پیشگیرانه لازم را برای کاهش آسیب‌پذیری شبکه اتخاذ کنند (حسینی و همکاران، ۱۴۰۴).

در مجموع، نظریه شبکه‌های مالی پیچیده چارچوبی قدرتمند برای تحلیل ساختار اکوسیستم‌های مالی نوین فراهم می‌آورد. این نظریه نشان می‌دهد که ریسک سیستمیک نه صرفاً حاصل ویژگی‌های منفرد اجزای شبکه، بلکه نتیجه تعاملات و وابستگی‌های میان آن‌ها است. از این منظر، شناسایی گره‌های کلیدی، ارزیابی مسیرهای انتقال ریسک و تحلیل ساختار ارتباطات مالی، نقش اساسی در درک پویایی‌های اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز و طراحی راهکارهای مؤثر مدیریت ریسک ایفا می‌کند. به همین دلیل نظریه شبکه‌های پیچیده به عنوان یکی از مهم‌ترین مبانی نظری پژوهش‌های معاصر در حوزه ثبات مالی، مدیریت ریسک و اقتصاد دیجیتال شناخته می‌شود.



شکل۱- نظریه شبکه های مالی پیچیده در اکوسیستم امورمالی غیرمتمرکز

۲-۳ مدل‌های مونت‌کارلو در ارزیابی ریسک

روش‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو یکی از بنیادی‌ترین و در عین حال کاربردی‌ترین ابزارهای کمی در حوزه مدیریت ریسک مالی، اقتصاد محاسباتی و تحلیل سیستم‌های پیچیده به شمار می‌روند. فلسفه اصلی این روش بر پایه استفاده از تصادفی‌سازی کنترل‌شده برای تقریب توزیع‌های پیچیده آماری استوار است؛ به این معنا که به جای تلاش برای حل تحلیلی مسائل بسیار پیچیده و غیرخطی، مجموعه‌ای بزرگ از سناریوهای تصادفی تولید می‌شود و از طریق میانگین‌گیری بر روی نتایج این سناریوها، رفتار مورد انتظار سیستم تخمین زده می‌شود. این رویکرد به‌ویژه در شرایطی که سیستم دارای ابعاد بالا، وابستگی‌های غیرخطی و عدم قطعیت شدید باشد، اهمیت دوچندان پیدا می‌کند (تهرانی و

همکاران، ۱۴۰۲).در ادبیات مالی، مدل‌های مونت‌کارلو به‌عنوان یکی از استانداردهای اصلی برای محاسبه شاخص‌های ریسک از جمله ارزش در معرض خطر، ارزش در معرض خطر شرطی، قیمت‌گذاری مشتقات پیچیده و تحلیل سناریوهای بحرانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش بر این اصل استوار است که اگر بتوان توزیع احتمالاتی متغیرهای ورودی را به‌درستی مدل‌سازی کرد، آنگاه می‌توان با تولید نمونه‌های تصادفی از این توزیع‌ها، رفتار کلی سیستم را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی نمود. این ویژگی باعث شده است که روش مونت‌کارلو به یکی از ابزارهای کلیدی در تحلیل ریسک بازارهای مالی سنتی و نوین تبدیل شود (موسوی و رضایی، ۱۴۰۳).

از منظر ریاضی، هسته اصلی روش مونت‌کارلو بر تقریب امید ریاضی یک تابع تصادفی استوار است. اگر تابعی به صورت ($f(x)$) تعریف شده باشد که بر روی یک متغیر تصادفی با توزیع مشخص اعمال می‌شود،

اهمیت این روش در آن است که بسیاری از مسائل مالی و اقتصادی، به‌ویژه در حوزه دارایی‌های دیجیتال و سیستم‌های مالی غیرمتمرکز، دارای ساختارهای تحلیلی پیچیده و غیرقابل حل به روش‌های بسته هستند. در چنین شرایطی، روش‌های عددی مبتنی بر شبیه‌سازی، تنها گزینه‌های قابل اتکا برای تحلیل رفتار سیستم محسوب می‌شوند. در بازارهای مالی کلاسیک، مدل‌های مونت‌کارلو معمولاً برای قیمت‌گذاری ابزارهای مشتقه پیچیده، تحلیل پرتفوی و ارزیابی ریسک‌های غیرخطی به کار گرفته می‌شوند؛ اما در اکوسیستم‌های نوین مالی، کاربرد این روش به مراتب گسترده‌تر شده است (کاظمی و همکاران، ۱۴۰۳).

در اکوسیستم مالی غیرمتمرکز، ماهیت سیستم به شدت پویا، غیرخطی و شبکه‌ای است. وجود هزاران قرارداد هوشمند، استخرهای نقدینگی، دارایی‌های دیجیتال و تعاملات لحظه‌ای میان کاربران، موجب شده است که فضای تصمیم‌گیری بسیار پیچیده و چندبعدی باشد. در چنین محیطی، هر تغییر کوچک در یک بخش از شبکه می‌تواند اثرات غیرقابل پیش‌بینی در سایر بخش‌ها ایجاد کند. بنابراین برای تحلیل دقیق این سیستم، استفاده از روش‌هایی که قادر به پوشش طیف وسیعی از سناریوهای ممکن باشند، ضروری است (محمدی و همکاران، ۱۴۰۳).روش مونت‌کارلو در این زمینه نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند، زیرا امکان بررسی تعداد بسیار زیادی از مسیرهای احتمالی تحول سیستم را فراهم می‌سازد. به عنوان مثال، در تحلیل ریسک یک پروتکل وام‌دهی غیرمتمرکز، باید سناریوهای مختلفی از جمله تغییرات قیمت دارایی‌های وثیقه‌گذاری‌شده، رفتار کاربران در شرایط بحران، تغییرات نقدینگی بازار و احتمال وقوع حملات سایبری مورد بررسی قرار گیرد. هر یک از این عوامل دارای عدم قطعیت ذاتی هستند و تنها از طریق شبیه‌سازی تصادفی قابل تحلیل می‌باشند (صادقی و همکاران، ۱۴۰۲).

با این حال، با افزایش پیچیدگی اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز، محدودیت‌های روش مونت‌کارلو کلاسیک نیز آشکار شده است. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در این زمینه، افزایش نمایی تعداد سناریوهای موردنیاز برای دستیابی به دقت قابل قبول است. در سیستم‌های ساده، تعداد محدودی از متغیرهای تصادفی کافی است؛ اما در شبکه‌های پیچیده‌ای که شامل هزاران گره و میلیون‌ها ارتباط هستند، فضای حالت به‌صورت تصاعدی رشد می‌کند و همین موضوع باعث افزایش شدید هزینه‌های محاسباتی می‌شود (رستمی و همکاران، ۱۴۰۳).در واقع، هرچه تعداد متغیرهای تصادفی در مدل افزایش یابد، تعداد سناریوهای لازم برای پوشش کامل فضای عدم قطعیت نیز به صورت نمایی رشد می‌کند. این مسئله که در علوم محاسباتی با عنوان «نفرین ابعاد» شناخته می‌شود، یکی از چالش‌های اساسی در استفاده از روش‌های شبیه‌سازی در سیستم‌های پیچیده است. در اکوسیستم مالی غیرمتمرکز، این مشکل به دلیل وجود وابستگی‌های متقابل میان متغیرها تشدید می‌شود، زیرا فرض استقلال متغیرها در بسیاری از موارد قابل پذیرش نیست (جعفری و همکاران، ۱۴۰۲).

علاوه بر این، ماهیت پویای بازارهای دارایی دیجیتال نیز پیچیدگی تحلیل را افزایش می‌دهد. برخلاف بازارهای سنتی که در آن‌ها تغییرات قیمتی معمولاً در بازه‌های زمانی مشخص و با الگوهای نسبتاً پایدار رخ می‌دهد، بازارهای رمزارزی به‌صورت شبانه‌روزی و با نوسانات شدید فعالیت می‌کنند. این ویژگی باعث می‌شود که توزیع احتمال متغیرهای مالی در این بازارها به‌طور مداوم در حال تغییر باشد و مدل‌سازی آن نیازمند به‌روزرسانی مداوم سناریوها باشد (کریمی و همکاران، ۱۴۰۳).یکی دیگر از چالش‌های مهم در استفاده از روش مونت‌کارلو در این حوزه، مسئله همبستگی‌های پنهان میان متغیرها است. در بسیاری از موارد، ارتباطات میان دارایی‌ها و پروتکل‌ها به‌صورت آشکار قابل مشاهده نیست و تنها در شرایط بحران یا شوک‌های شدید آشکار می‌شود. این نوع همبستگی‌های پنهان می‌تواند منجر به برآوردهای نادرست از ریسک شود، زیرا مدل‌های ساده مونت‌کارلو معمولاً بر فرض استقلال نسبی متغیرها استوار هستند. در نتیجه، توسعه مدل‌های پیشرفته‌تر که قادر به در نظر گرفتن ساختارهای وابستگی پیچیده باشند، ضروری به نظر می‌رسد (قنبری و همکاران، ۱۴۰۳).

از منظر عملیاتی، اجرای مدل‌های مونت‌کارلو در مقیاس بزرگ نیازمند توان محاسباتی بسیار بالایی است. در سیستم‌های مالی سنتی، استفاده از زیرساخت‌های محاسباتی قدرتمند تا حدی این مشکل را کاهش می‌دهد؛ اما در اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز که نیاز به تحلیل لحظه‌ای و بلادرنگ دارند، این محدودیت می‌تواند مانع جدی محسوب شود. به همین دلیل، بسیاری از پژوهشگران به دنبال روش‌هایی برای بهینه‌سازی فرآیند نمونه‌گیری و کاهش تعداد سناریوهای موردنیاز بدون افت دقت هستند (بهرامی و همکاران، ۱۴۰۲).در سال‌های اخیر، ترکیب روش‌های مونت‌کارلو با الگوریتم‌های هوش مصنوعی به‌عنوان یکی از رویکردهای نوین برای غلبه بر این محدودیت‌ها مطرح شده است. در این رویکرد، از مدل‌های یادگیری ماشین برای شناسایی توزیع‌های احتمالاتی دقیق‌تر و تولید سناریوهای هوشمند استفاده می‌شود. این امر موجب می‌شود که نمونه‌های تولیدشده به جای تصادفی بودن کامل، دارای ساختار اطلاعاتی مبتنی بر داده‌های واقعی باشند و در نتیجه کارایی شبیه‌سازی افزایش یابد (نادری و همکاران، ۱۴۰۳).

از سوی دیگر، استفاده از روش‌های کاهش واریانس و تکنیک‌های نمونه‌گیری اهمیت ویژه‌ای در بهبود عملکرد مدل‌های مونت‌کارلو دارد. این تکنیک‌ها با هدف کاهش تعداد نمونه‌های موردنیاز برای رسیدن به دقت مطلوب طراحی شده‌اند و می‌توانند به‌طور قابل توجهی هزینه‌های محاسباتی را کاهش دهند. در اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز، استفاده از این روش‌ها می‌تواند امکان تحلیل بلادرنگ ریسک را فراهم سازد (احمدی و همکاران، ۱۴۰۴).در مجموع، مدل‌های مونت‌کارلو نقش اساسی در تحلیل ریسک‌های مالی و به‌ویژه در اکوسیستم‌های پیچیده و غیرمتمرکز ایفا می‌کنند. با این حال، افزایش پیچیدگی شبکه‌های مالی، محدودیت‌های محاسباتی و وجود وابستگی‌های غیرخطی، ضرورت توسعه نسخه‌های پیشرفته‌تر این روش را آشکار کرده است. در این راستا، ترکیب روش‌های شبیه‌سازی با الگوریتم‌های هوش مصنوعی و در آینده نزدیک محاسبات کوانتومی می‌تواند مسیر جدیدی را برای تحلیل دقیق‌تر و کارآمدتر ریسک‌های سیستمیک فراهم آورد و امکان مدیریت بهتر بحران‌های مالی در اکوسیستم‌های نوین را فراهم سازد.

۲-٤ مونت‌کارلو کوانتومی

مونت‌کارلو کوانتومی (Quantum Monte Carlo) به‌عنوان یکی از رویکردهای نوظهور در مرز میان محاسبات کوانتومی و مدل‌سازی آماری، افق جدیدی را در تحلیل سیستم‌های مالی پیچیده، به‌ویژه اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز(DeFi) ، ایجاد کرده است. این روش در اصل تلاشی برای غلبه بر محدودیت‌های ذاتی شبیه‌سازی‌های کلاسیک مونت‌کارلو است؛ محدودیت‌هایی که عمدتاً ناشی از رشد نمایی فضای حالت، وابستگی‌های غیرخطی میان متغیرها و هزینه بالای محاسباتی در سیستم‌های چندبعدی هستند. در حالی که مونت‌کارلو کلاسیک بر تولید تعداد زیادی نمونه تصادفی و محاسبه میانگین آماری نتایج استوار است، نسخه کوانتومی این رویکرد از اصول بنیادین مکانیک کوانتومی برای بازتعریف مفهوم نمونه‌گیری استفاده می‌کند و بدین ترتیب امکان پردازش همزمان حجم بسیار عظیمی از سناریوهای احتمالی را فراهم می‌سازد.

اساس کارکرد مونت‌کارلو کوانتومی بر سه مفهوم کلیدی استوار است: برهم‌نهی(Superposition) ، موازی‌سازی کوانتومی (Quantum Parallelism)و برآورد دامنه(Amplitude Estimation) .

در حالت برهم‌نهی، یک سیستم کوانتومی می‌تواند به جای قرار گرفتن در یک وضعیت مشخص، همزمان ترکیبی از چندین وضعیت را در خود جای دهد. این ویژگی در مدل‌سازی مالی به این معناست که به جای شبیه‌سازی ترتیبی سناریوهای مختلف بازار، می‌توان تمام حالات ممکن از تغییرات قیمت دارایی‌ها، وضعیت نقدینگی، رفتار سرمایه‌گذاران و حتی وقوع شوک‌های ناگهانی را به صورت همزمان در یک فضای برداری کوانتومی نمایش داد. چنین قابلیتی در اکوسیستم DeFi که ذاتاً دارای فضای حالت بسیار بزرگ و پیچیده‌ای است، اهمیت بنیادین دارد، زیرا تعداد حالات ممکن شبکه با افزایش تعداد پروتکل‌ها و تعاملات به صورت تصاعدی رشد می‌کند.

مفهوم دوم، یعنی موازی‌سازی کوانتومی، به توانایی سیستم‌های کوانتومی در انجام همزمان تعداد زیادی محاسبه اشاره دارد. برخلاف سیستم‌های کلاسیک که پردازش سناریوها را به صورت ترتیبی انجام می‌دهند، یک سیستم کوانتومی می‌تواند مسیرهای محاسباتی متعدد را به طور همزمان طی کند. در زمینه تحلیل ریسک سیستمیک درDeFi ، این ویژگی به معنای امکان بررسی همزمان هزاران یا حتی میلیون‌ها مسیر احتمالی انتشار بحران در شبکه است. برای مثال، اگر یک پروتکل وام‌دهی دچار اختلال شود، این اختلال می‌تواند از طریق استخرهای نقدینگی، استیبل‌کوین‌ها و قراردادهای مشتقه به سایر بخش‌های شبکه سرایت کند. در مدل‌های کلاسیک، شبیه‌سازی چنین زنجیره‌ای از رویدادها نیازمند زمان و منابع محاسباتی بسیار زیادی است، در حالی که در چارچوب کوانتومی، این مسیرها به صورت موازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

مفهوم سوم، یعنی برآورد دامنه یاAmplitude Estimation ، یکی از مهم‌ترین اجزای الگوریتم مونت‌کارلو کوانتومی محسوب می‌شود. این تکنیک امکان تخمین احتمال وقوع یک رویداد خاص را با دقت بسیار بالا و با تعداد نمونه‌های بسیار کمتر نسبت به روش‌های کلاسیک فراهم می‌کند. در روش مونت‌کارلو کلاسیک، کاهش خطای برآورد با افزایش تعداد نمونه‌ها روندی نسبتاً کند دارد و متناسب با ریشه دوم تعداد نمونه‌ها بهبود می‌یابد. در مقابل، الگوریتم‌های کوانتومی قادرند همین خطا را با سرعتی بسیار بیشتر کاهش دهند؛ به‌گونه‌ای که میزان دقت به‌طور مستقیم‌تری از افزایش تعداد نمونه‌ها تأثیر می‌پذیرد. این برتری باعث می‌شود برای دستیابی به یک سطح مشخص از دقت، منابع محاسباتی و تعداد نمونه‌های موردنیاز به‌طور قابل توجهی کاهش یابد. در محیط‌های مالی غیرمتمرکز که با داده‌های حجیم و پویایی بالای بازار سروکار دارند، این ویژگی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در عملیاتی بودن و مقیاس‌پذیری مدل‌های تحلیلی ایفا کند.

در سطح کاربردی، مونت‌کارلو کوانتومی در تحلیل ریسک سیستمیک DeFi نقش یک ابزار شبیه‌سازی پیشرفته را ایفا می‌کند که قادر است رفتار کل شبکه مالی را تحت سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار دهد. اکوسیستم DeFi شامل مجموعه‌ای از پروتکل‌های به‌هم‌پیوسته مانند صرافی‌های غیرمتمرکز، پلتفرم‌های وام‌دهی، استیبل‌کوین‌ها، اوراکل‌های داده و کاربران است. این اجزا در قالب یک شبکه پیچیده تعامل می‌کنند و هر تغییر کوچک در یکی از گره‌ها می‌تواند اثرات گسترده‌ای در کل سیستم ایجاد کند. مونت‌کارلو کوانتومی این امکان را فراهم می‌سازد که چنین شبکه‌ای نه به صورت ایستا، بلکه به عنوان یک سیستم پویا و در حال تحول مورد شبیه‌سازی قرار گیرد.

یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این رویکرد، توانایی آن در مدل‌سازی همبستگی‌های پنهان میان متغیرهای مالی است. در بسیاری از موارد، روابط میان دارایی‌ها و پروتکل‌ها در شرایط عادی بازار به صورت آشکار قابل مشاهده نیست، اما در زمان بحران این روابط به شدت فعال شده و موجب سرایت سریع ریسک می‌شوند. مدل‌های کلاسیک مونت‌کارلو معمولاً بر فرض استقلال نسبی متغیرها استوار هستند، در حالی که در فضای واقعی DeFiچنین فرضی به ندرت برقرار است. مونت‌کارلو کوانتومی با بهره‌گیری از ساختار برداری خود قادر است این نوع وابستگی‌های پیچیده را به شکل طبیعی‌تری در مدل لحاظ کند.

برای درک بهتر تفاوت عملکرد این دو رویکرد، می‌توان به نحوه رشد نیازهای محاسباتی آن‌ها برای دستیابی به دقت بیشتر توجه کرد. در روش کلاسیک، هرچه هدف کاهش خطای تخمین باشد، تعداد نمونه‌های موردنیاز با سرعت زیادی افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که کاهش خطا به نصف، مستلزم استفاده از حدود چهار برابر نمونه بیشتر است. در مقابل، در روش کوانتومی، افزایش تعداد نمونه‌های موردنیاز متناسب‌تر و خطی‌تر با سطح دقت موردنظر صورت می‌گیرد. در نتیجه، با افزایش ابعاد مسئله و نیاز به دقت بالاتر، مزیت محاسباتی روش کوانتومی به‌طور فزاینده‌ای آشکار می‌شود. این تفاوت به‌ویژه در شبکه‌های مالی پیچیده با میلیون‌ها تراکنش و تعامل، می‌تواند به کاهش چشمگیر زمان پردازش و هزینه‌های محاسباتی منجر شود.از منظر طراحی سیستم‌های مدیریت ریسک، این ویژگی به معنای امکان تحلیل بلادرنگ (Real-Time) ریسک‌های سیستمیک است. در شرایطی که بازارهای رمزارزی به صورت ۲۴ ساعته و بدون توقف فعالیت می‌کنند، توانایی پیش‌بینی سریع بحران‌ها اهمیت حیاتی دارد. برای مثال، در صورت کاهش ناگهانی نقدینگی در یک استخر بزرگ یا کاهش ارزش یک استیبل‌کوین، مدل مونت‌کارلو کوانتومی می‌تواند در زمان بسیار کوتاه احتمال سرایت این بحران به سایر بخش‌های شبکه را تخمین بزند و به تصمیم‌گیران امکان واکنش سریع بدهد.

با این حال، استفاده از این فناوری با چالش‌هایی نیز همراه است. مهم‌ترین محدودیت فعلی، عدم بلوغ سخت‌افزارهای کوانتومی است. رایانه‌های کوانتومی موجود هنوز در مرحله موسوم به NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum) قرار دارند و از نویز و خطاهای عملیاتی قابل توجهی رنج می‌برند. این موضوع باعث می‌شود اجرای دقیق الگوریتم‌های مونت‌کارلو کوانتومی در مقیاس‌های بزرگ با محدودیت مواجه شود. علاوه بر این، نگاشت داده‌های مالی پیچیده به فضای کوانتومی خود یک مسئله دشوار است، زیرا نیازمند تبدیل ساختارهای گرافی شبکه‌های مالی به بردارهای کوانتومی قابل پردازش است.

در کنار این محدودیت‌ها، یکی از مسیرهای توسعه‌ای مهم، ترکیب مونت‌کارلو کوانتومی با هوش مصنوعی است. در این رویکرد ترکیبی، مدل‌های یادگیری عمیق برای استخراج الگوهای پنهان از داده‌های تاریخی بازار استفاده می‌شوند و این الگوها به عنوان ورودی به الگوریتم کوانتومی تزریق می‌گردند. نتیجه این ترکیب، تولید سناریوهای هوشمند به جای نمونه‌های کاملاً تصادفی است که دقت شبیه‌سازی را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. در چنین ساختاری، هوش مصنوعی نقش کاهش‌دهنده فضای حالت و کوانتوم نقش شتاب‌دهنده محاسباتی را ایفا می‌کند.

از منظر نظری، این همگرایی میان محاسبات کوانتومی و هوش مصنوعی می‌تواند نسل جدیدی از مدل‌های مدیریت ریسک را ایجاد کند که قادرند رفتار سیستم‌های مالی غیرمتمرکز را با دقت بسیار بالاتری نسبت به مدل‌های کلاسیک پیش‌بینی کنند. در این چارچوب، ریسک

سیستمیک دیگر صرفاً به عنوان یک شاخص آماری پس‌نگرانه دیده نمی‌شود، بلکه به عنوان یک پدیده پویا و قابل پیش‌بینی در زمان واقعی مدل‌سازی می‌شود.

در مجموع، مونت‌کارلو کوانتومی را می‌توان یکی از مهم‌ترین ابزارهای آینده در تحلیل ریسک سیستمیک در اکوسیستم‌های DeFi دانست. این روش با کاهش چشمگیر پیچیدگی محاسباتی، افزایش توان پردازشی از طریق برهم‌نهی و موازی‌سازی کوانتومی، و بهبود دقت از طریق برآورد دامنه، امکان تحلیل شبکه‌های مالی بسیار بزرگ و پیچیده را فراهم می‌سازد. هرچند محدودیت‌های سخت‌افزاری و چالش‌های پیاده‌سازی همچنان وجود دارند، اما روند توسعه فناوری‌های کوانتومی و ترکیب آن‌ها با هوش مصنوعی نشان می‌دهد که در آینده نزدیک این روش می‌تواند به یکی از ابزارهای اصلی در مدیریت ریسک سیستمیک در بازارهای مالی دیجیتال تبدیل شود.در ادامه، بخش ۵ مقاله با رویکردی کاملاً علمی، پیوسته و هم‌سبک با متن شما ارائه می‌شود. این بخش به‌صورت یکپارچه نقش هوش مصنوعی در ارزیابی ریسک سیستمیک در اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز را تشریح می‌کند و سه محور اصلی یادگیری عمیق، یادگیری تقویتی و شبکه‌های عصبی گرافی را در چارچوب پیشنهادی تحلیل می‌نماید.

۲-۵ نقش هوش مصنوعی در ارزیابی ریسک سیستمیک در اکوسیستم‌هایDeFi

در سال‌های اخیر، گسترش سریع بازارهای دارایی دیجیتال و امور مالی غیرمتمرکز (DeFi) موجب افزایش چشمگیر پیچیدگی در ساختارهای مالی شده است. این پیچیدگی نه‌تنها ناشی از تنوع ابزارهای مالی و تعداد بالای مشارکت‌کنندگان است، بلکه به دلیل ماهیت شبکه‌ای، پویایی لحظه‌ای و وابستگی‌های غیرخطی میان اجزای مختلف اکوسیستم نیز تشدید شده است. در چنین شرایطی، روش‌های سنتی آماری و مدل‌های کلاسیک اقتصادسنجی توانایی کافی برای درک کامل رفتار سیستم و پیش‌بینی بحران‌های احتمالی را ندارند.

در مقابل، هوش مصنوعی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری داده‌محور، قابلیت استخراج الگوهای پنهان، مدل‌سازی روابط غیرخطی و پیش‌بینی رفتارهای پیچیده را فراهم می‌سازد. به‌ویژه در اکوسیستم‌های DeFi که داده‌ها به‌صورت پیوسته، حجیم و چندلایه تولید می‌شوند، استفاده از مدل‌های هوشمند می‌تواند نقش کلیدی در ارتقای دقت ارزیابی ریسک سیستمیک ایفا کند. در این بخش، سه رویکرد اصلی هوش مصنوعی شامل یادگیری عمیق، یادگیری تقویتی و شبکه‌های عصبی گرافی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۵-۱یادگیری عمیق در تحلیل ریسک سیستمیک

یادگیری عمیق (Deep Learning) یکی از مهم‌ترین شاخه‌های هوش مصنوعی است که بر پایه شبکه‌های عصبی چندلایه طراحی شده و توانایی بالایی در استخراج ویژگی‌های پیچیده از داده‌های غیرخطی دارد. در اکوسیستم مالی غیرمتمرکز، داده‌های بازار شامل قیمت دارایی‌ها، حجم معاملات، رفتار کاربران، وضعیت نقدینگی و تعاملات میان پروتکل‌ها است که همگی دارای ساختار غیرخطی و وابستگی‌های پنهان هستند. شبکه‌های عصبی عمیق می‌توانند این روابط پیچیده را به‌صورت خودکار یاد گرفته و برای پیش‌بینی وقوع بحران‌های مالی مورد استفاده قرار گیرند. ساختار پایه یک نورون در این شبکه‌ها به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y = f(Wx + b)$$

در این رابطه، (x)بردار ورودی شامل متغیرهای مالی (مانند قیمت، حجم و شاخص‌های شبکه‌ای)، (W)ماتریس وزن‌ها، (b)بایاس و (f) تابع فعال‌سازی غیرخطی است. خروجی (y) می‌تواند احتمال وقوع یک رویداد بحرانی یا سطح ریسک سیستمیک در یک بازه زمانی مشخص باشد.

توانایی اصلی یادگیری عمیق در این است که برخلاف مدل‌های خطی سنتی، نیازی به فرض روابط از پیش تعیین‌شده میان متغیرها ندارد. این ویژگی در بازارهای رمزارزی که رفتار آن‌ها به شدت پویا و غیرقابل پیش‌بینی است، اهمیت ویژه‌ای دارد. به عنوان مثال، تغییرات ناگهانی در قیمت یک استیبل‌کوین ممکن است ناشی از مجموعه‌ای پیچیده از عوامل شامل نقدینگی، اعتماد بازار، فعالیت نهنگ‌ها و حتی اخبار خارجی باشد که مدل‌های ساده قادر به شناسایی آن‌ها نیستند.

از سوی دیگر، شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN) و به‌ویژه معماری LSTM نقش مهمی در تحلیل داده‌های زمانی در بازارهای DeFi دارند. این مدل‌ها قادرند وابستگی‌های زمانی بلندمدت را شناسایی کرده و روندهای پنهان در رفتار بازار را استخراج کنند. در نتیجه، استفاده از یادگیری عمیق می‌تواند به شناسایی زودهنگام نشانه‌های بحران، کاهش نقدینگی یا رفتارهای غیرعادی در شبکه کمک کند.

۲-۵-۲یادگیری تقویتی و بهینه‌سازی تصمیم‌گیری در مدیریت ریسک

یادگیری تقویتی (Reinforcement Learning) یکی دیگر از رویکردهای پیشرفته هوش مصنوعی است که بر پایه تعامل یک عامل هوشمند با محیط طراحی شده است. در این چارچوب، عامل با انجام اقدامات مختلف و دریافت پاداش یا جریمه، به تدریج سیاست بهینه برای تصمیم‌گیری را فرا می‌گیرد.

در زمینه مدیریت ریسک سیستمیک در اکوسیستم‌هایDeFi ، یادگیری تقویتی می‌تواند برای طراحی استراتژی‌های بهینه واکنش به بحران‌ها، تخصیص منابع نقدینگی و مدیریت پرتفوی مورد استفاده قرار گیرد. در این مدل، وضعیت سیستم به صورت (s) و اقدامات ممکن به صورت (a) تعریف می‌شوند. تابع ارزش Q به شکل زیر بیان می‌شود:

$$Q(s, a)$$

این تابع نشان‌دهنده ارزش انجام عمل (a) در وضعیت (s) است و هدف عامل، یادگیری سیاستی است که بیشترین مقدار امید ریاضی بازده یا کمترین سطح ریسک را تولید کند.

در اکوسیستم مالی غیرمتمرکز، وضعیت سیستم می‌تواند شامل متغیرهایی مانند سطح نقدینگی، میزان نوسان بازار، میزان بدهی پروتکل‌ها و سطح اعتماد سرمایه‌گذاران باشد. اقدامات نیز می‌تواند شامل تنظیم نرخ بهره در پروتکل‌های وام‌دهی، تغییر در سیاست‌های وثیقه‌گذاری یا مدیریت ذخایر نقدینگی باشد.

مزیت اصلی یادگیری تقویتی در این است که برخلاف مدل‌های ایستا، قادر است در محیط‌های پویا و در حال تغییر به‌صورت مداوم یاد بگیرد و خود را با شرایط جدید تطبیق دهد. این ویژگی در بازارهای رمزارزی که به صورت ۲۴ ساعته و با نوسانات شدید فعالیت می‌کنند، اهمیت بسیار زیادی دارد.همچنین نسخه‌های پیشرفته‌تر مانند یادگیری تقویتی عمیق (Deep Reinforcement Learning) امکان ترکیب قدرت استخراج ویژگی شبکه‌های عصبی با قابلیت تصمیم‌گیری تطبیقی را فراهم می‌سازند. این ترکیب می‌تواند برای توسعه سیستم‌های مدیریت ریسک خودکار در پروتکل‌های DeFi مورد استفاده قرار گیرد، به‌گونه‌ای که سیستم بتواند به صورت بلادرنگ نسبت به تغییرات بازار واکنش نشان دهد و از گسترش بحران جلوگیری کند.

۲-۵-۳ شبکه‌های عصبی گرافی و مدل‌سازی ساختار شبکه‌ایDeFi

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های اکوسیستم مالی غیرمتمرکز، ساختار شبکه‌ای و به‌هم‌پیوسته آن است. در این ساختار، پروتکل‌ها، کاربران، استخرهای نقدینگی و دارایی‌ها به صورت یک گراف پیچیده به یکدیگر متصل هستند. بنابراین برای تحلیل دقیق ریسک سیستمیک، استفاده از مدل‌هایی که بتوانند ساختار گرافی سیستم را در نظر بگیرند، ضروری است.

شبکه‌های عصبی گرافی (Graph Neural Networks - GNNs) به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین ابزارهای یادگیری ماشین، برای مدل‌سازی چنین ساختارهایی طراحی شده‌اند. در این مدل‌ها، هر گره (node) نماینده یک پروتکل یا بازیگر مالی و هر یال (edge) نشان‌دهنده رابطه مالی یا جریان نقدینگی است.

اهمیت شبکه‌های عصبی گرافی در تحلیل ریسک سیستمیک از آنجا ناشی می‌شود که این مدل‌ها قادرند سرایت ریسک را به‌صورت طبیعی در ساختار شبکه شبیه‌سازی کنند. در اکوسیستمDeFi ، اگر یک پروتکل دچار اختلال شود، این اختلال می‌تواند از طریق مسیرهای مختلف به سایر بخش‌ها منتقل شود.GNN ها با در نظر گرفتن این روابط، امکان پیش‌بینی مسیرهای احتمالی سرایت بحران را فراهم می‌سازند.

از سوی دیگر، این مدل‌ها قادرند گره‌های بحرانی شبکه را شناسایی کنند؛ یعنی نقاطی که نقش کلیدی در انتقال نقدینگی یا اطلاعات دارند. شناسایی این گره‌ها برای طراحی سیاست‌های نظارتی و مدیریت ریسک بسیار مهم است، زیرا کنترل یا تقویت این نقاط می‌تواند از گسترش بحران جلوگیری کند.

در مجموع، ترکیب شبکه‌های عصبی گرافی با مدل‌های یادگیری عمیق و تقویتی می‌تواند یک چارچوب جامع برای تحلیل ساختار و پویایی اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز فراهم کند. این رویکرد امکان تحلیل همزمان ساختار شبکه، رفتار زمانی و تصمیم‌گیری بهینه را فراهم می‌سازد.

جدول ۱- نقش هوش مصنوعی در ارزیابی ریسک سیستمیک

کاربرد درDeFi	رویکرد هوش مصنوعی	کارکرد اصلی	مزیت کلیدی
پیش‌بینی بحران‌های مالی و نوسانات بازار	یادگیری عمیق	استخراج الگوهای غیرخطی	توانایی مدل‌سازی روابط پیچیده
مدیریت نقدینگی و سیاست‌های ریسک	یادگیری تقویتی	تصمیم‌گیری بهینه	سازگاری با محیط پویا
شناسایی سرایت ریسک میان پروتکل‌ها	شبکه‌های عصبی گرافی	تحلیل ساختار شبکه	مدل‌سازی روابط شبکه‌ای

به‌طور کلی، هوش مصنوعی در سه سطح مکمل شامل یادگیری عمیق، یادگیری تقویتی و شبکه‌های عصبی گرافی، نقش بنیادینی در ارتقای دقت و کارایی مدل‌های ارزیابی ریسک سیستمیک ایفا می‌کند. یادگیری عمیق امکان استخراج الگوهای پیچیده از داده‌های بازار را فراهم می‌سازد، یادگیری تقویتی چارچوبی برای تصمیم‌گیری بهینه در شرایط عدم قطعیت ارائه می‌دهد و شبکه‌های عصبی گرافی ساختار شبکه‌ای اکوسیستم را به‌صورت دقیق مدل‌سازی می‌کنند.ترکیب این سه رویکرد، پایه‌ای برای توسعه نسل جدیدی از سیستم‌های هوشمند مدیریت ریسک در اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز فراهم می‌آورد؛ سیستم‌هایی که نه‌تنها قادر به تحلیل وضعیت فعلی بازار هستند، بلکه توانایی پیش‌بینی و حتی پیش‌دستی در برابر بحران‌های سیستمیک را نیز خواهند داشت.

در ادامه، «چارچوب پیشنهادی پژوهش» به‌صورت کاملاً علمی، پیوسته و بدون استفاده از فرمول‌های ریاضی در متن، اما با یک جدول مفهومی ساختاریافته ارائه می‌شود:

۳ -چارچوب پیشنهادی پژوهش

چارچوب پیشنهادی این پژوهش با هدف ارزیابی جامع ریسک‌های سیستمیک در اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز (DeFi) و بازار ارزهای دیجیتال، در قالب یک معماری چندلایه طراحی شده است. این معماری تلاش می‌کند تا از مرحله جمع‌آوری داده‌های خام تا تولید شاخص‌های نهایی ریسک، یک زنجیره تحلیلی یکپارچه و هوشمند ایجاد کند. در این ساختار، هر لایه نقش مشخصی در پردازش، تفسیر و تبدیل داده‌های مالی به شاخص‌های قابل‌استفاده برای تصمیم‌گیری ایفا می‌کند.

در لایه نخست، تمرکز اصلی بر جمع‌آوری داده‌های گسترده و چندمنبعی از اکوسیستم بلاکچین قرار دارد. این داده‌ها شامل تراکنش‌های درون‌زنجیره‌ای، جریان‌های نقدی استیبل‌کوین‌ها، فعالیت صرافی‌های غیرمتمرکز و اطلاعات اوراکل‌ها هستند. هدف این لایه ایجاد یک پایگاه داده جامع و به‌روز از وضعیت واقعی شبکه مالی است تا مبنای تحلیل‌های بعدی قرار گیرد.

در لایه دوم، ساختار تعاملات مالی میان بازیگران مختلف اکوسیستم مدل‌سازی می‌شود. در این مرحله، اکوسیستم DeFi به‌صورت یک شبکه پیچیده از روابط میان پروتکل‌های وام‌دهی، استیبل‌کوین‌ها، صرافی‌های غیرمتمرکز و سرمایه‌گذاران نهادی بازنمایی می‌شود. این مدل شبکه‌ای امکان شناسایی وابستگی‌ها، جریان نقدینگی و مسیرهای بالقوه سرایت ریسک را فراهم می‌سازد.

لایه سوم به تحلیل هوشمند داده‌ها با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته هوش مصنوعی اختصاص دارد. در این بخش، مدل‌هایی مانند شبکه‌های حافظه بلندمدت، معماری‌های مبتنی بر ترنسفورمر و شبکه‌های عصبی گرافی به کار گرفته می‌شوند تا الگوهای پنهان در داده‌ها استخراج شده و نقاط بحرانی سیستم شناسایی شوند. این لایه نقش کلیدی در پیش‌بینی نوسانات و تشخیص رفتارهای غیرعادی در بازار دارد.

در لایه چهارم، از رویکرد شبیه‌سازی پیشرفته برای تولید سناریوهای احتمالی بحران استفاده می‌شود. در این مرحله، میلیون‌ها وضعیت ممکن از آینده بازار شبیه‌سازی می‌گردد که شامل رخدادهایی مانند سقوط استیبل‌کوین‌ها، حملات سایبری به قراردادهای هوشمند، بحران‌های نقدینگی و شوک‌های کلان اقتصادی است. هدف این لایه سنجش تاب‌آوری سیستم در برابر شرایط بحرانی و تحلیل شدت و گستره سرایت ریسک است.

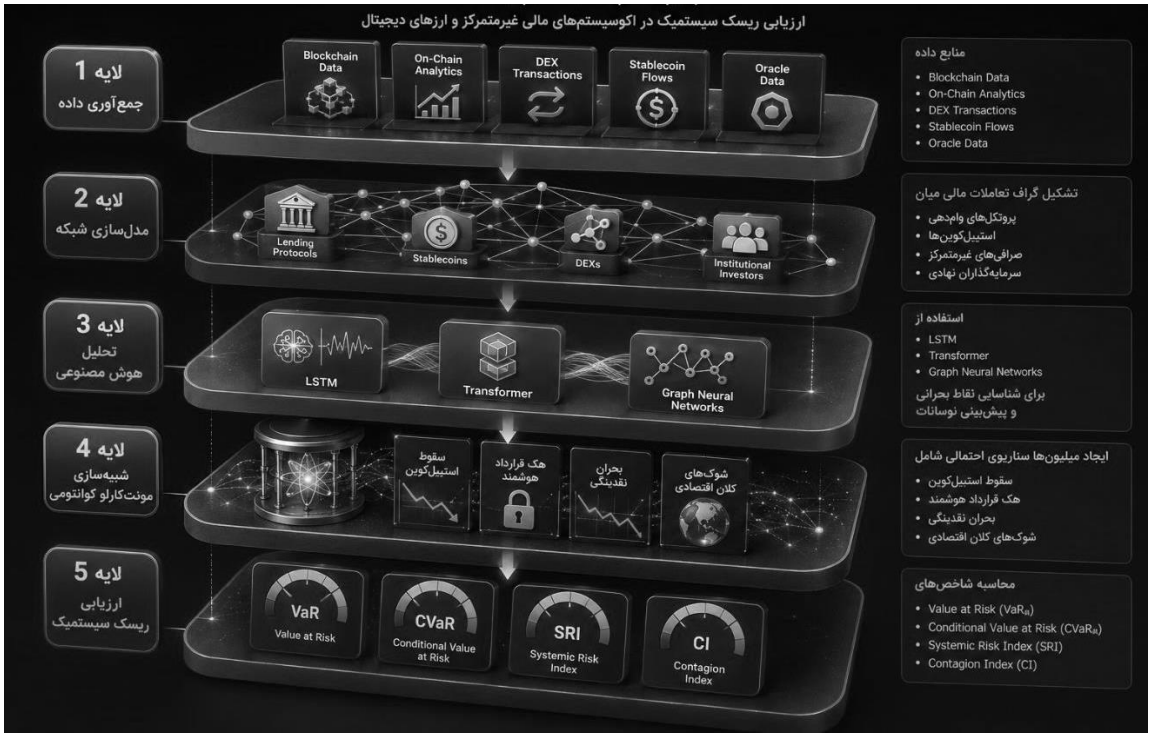
در نهایت، در لایه پنجم، خروجی کل سیستم به شاخص‌های کمی و قابل‌تفسیر ریسک سیستمیک تبدیل می‌شود. این شاخص‌ها امکان ارزیابی وضعیت کلی ثبات مالی در اکوسیستم را فراهم کرده و ابزار مناسبی برای سیاست‌گذاران و مدیران ریسک ایجاد می‌کنند.

جدول ۲- چارچوب پیشنهادی پژوهش برای ارزیابی ریسک سیستمیک درDeFi

لایه	فرآیند اصلی	عنوان لایه	ورودی‌ها	خروجی
لایه اول	استخراج و یکپارچه‌سازی داده‌های خام از منابع مختلف	جمع‌آوری داده	داده‌های بلاکچین، تراکنش‌هایDEX ، جریان استیبل‌کوین، داده‌های اوراکل	پایگاه داده یکپارچه مالی
لایه دوم	ساخت گراف تعاملات میان پروتکل‌ها و بازیگران بازار	مدل‌سازی شبکه	داده‌های تراکنشی و ارتباطی	شبکه مالی غیرمتمرکز ساختاریافته

لایه	فرآیند اصلی	عنوان لایه	ورودی‌ها	خروجی
لایه سوم	تحلیل الگوهای پنهان، شناسایی نقاط بحرانی و پیش‌بینی نوسانات	تحلیل هوش مصنوعی	داده‌های شبکه‌ای و زمانی	پیش‌بینی ریسک و رفتار بازار
لایه چهارم	تولید سناریوهای متعدد از بحران‌های مالی و شوک‌های بازار	شبیه‌سازی سناریو	مدل شبکه + خروجیAI	مجموعه سناریوهای ریسک سیستمیک
لایه پنجم	تجمیع نتایج و محاسبه شاخص‌های ریسک	ارزیابی ریسک سیستمیک	نتایج شبیه‌سازی	شاخص‌های نهایی ریسکVaR) ، CI) ،SRI ،CVaR

چارچوب پیشنهادی نشان می‌دهد که ارزیابی ریسک سیستمیک در اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز نیازمند یک رویکرد چندلایه و یکپارچه است. ترکیب داده‌های زنجیره‌ای، مدل‌سازی شبکه‌ای، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و شبیه‌سازی‌های پیشرفته، امکان تحلیل جامع و دقیق رفتار سیستم را فراهم می‌سازد. این ساختار نه‌تنها قابلیت شناسایی ریسک‌های موجود را دارد، بلکه می‌تواند به‌عنوان یک سیستم پیش‌بینی‌گر برای مدیریت بحران‌های آینده نیز مورد استفاده قرار گیرد.



شکل۲- چارچوب پیشنهادی پژوهش

۳-۱مزایا و نوآوری‌های چارچوب پیشنهادی

چارچوب پیشنهادی این پژوهش در حوزه ارزیابی ریسک سیستمیک در اکوسیستم‌های مالی غیرمتمرکز (DeFi) و بازار دارایی‌های دیجیتال، یکی از رویکردهای چندلایه و میان‌رشته‌ای محسوب می‌شود که تلاش دارد شکاف میان مدل‌های سنتی مدیریت ریسک و پیچیدگی‌های واقعی سیستم‌های مالی نوین را پر کند. در حالی که مدل‌های کلاسیک عمدتاً بر داده‌های خطی، فرضیات ایستا و ساختارهای ساده مبتنی هستند، چارچوب ارائه‌شده در این پژوهش با بهره‌گیری همزمان از هوش مصنوعی، تحلیل شبکه‌ای و محاسبات پیشرفته، قادر است رفتارهای غیرخطی، وابستگی‌های پنهان و پویایی لحظه‌ای بازارهای غیرمتمرکز را به‌صورت یکپارچه مدل‌سازی کند.اهمیت این چارچوب از آنجا ناشی می‌شود که اکوسیستم DeFi برخلاف نظام‌های مالی سنتی، دارای ساختاری به‌شدت پیچیده، توزیع‌شده و به‌هم‌پیوسته است. در چنین محیطی، ریسک‌های مالی نه به‌صورت مستقل، بلکه در قالب یک شبکه از تعاملات چندلایه ظاهر می‌شوند. بنابراین، هرگونه تلاش برای تحلیل ریسک بدون در نظر گرفتن این ساختار شبکه‌ای، منجر به نتایج ناقص یا حتی گمراه‌کننده خواهد شد. چارچوب پیشنهادی با در نظر گرفتن این واقعیت، یک مدل جامع برای تحلیل همزمان ابعاد مختلف ریسک ارائه می‌دهد.

از مهم‌ترین ویژگی‌های این مدل، ترکیب هوش مصنوعی با محاسبات کوانتومی است. این ترکیب باعث می‌شود که هم دقت پیش‌بینی افزایش یابد و هم سرعت پردازش سناریوهای پیچیده به شکل قابل توجهی بهبود پیدا کند. در واقع، هوش مصنوعی وظیفه استخراج الگوهای پنهان از داده‌های عظیم مالی را بر

عهده دارد، در حالی که بخش شبیه‌سازی کوانتومی امکان بررسی حجم گسترده‌ای از سناریوهای بحرانی را در زمان کوتاه فراهم می‌سازد. این هم‌افزایی، یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های این چارچوب محسوب می‌شود.

در ادامه، مهم‌ترین مزایا و نوآوری‌های این چارچوب در قالب یک تحلیل نظام‌مند ارائه می‌شود.

۳-۱-۱ مزایا و نوآوری‌های کلیدی چارچوب پیشنهادی

نوآوری‌های این مدل را می‌توان در چند محور اصلی طبقه‌بندی کرد که هر یک نقش مهمی در ارتقای دقت، سرعت و قابلیت کاربرد مدل در محیط‌های واقعی مالی دارند. در جدول زیر، این نوآوری‌ها به‌صورت ساختاریافته ارائه شده‌اند.

جدول ۳- مزایا و نوآوری‌های چارچوب پیشنهادی

ردیف	شرح عملکرد	دستاورد اصلی	نوآوری کلیدی
1	ترکیب مدل‌های یادگیری ماشین با شبیه‌سازی‌های کوانتومی برای تحلیل سناریوهای پیچیده	افزایش دقت پیش‌بینی و کاهش زمان محاسبات	تلفیق هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی
2	نمایش اکوسیستم مالی به‌صورت گرافی از پروتکل‌ها، کاربران و دارایی‌ها	شناسایی روابط پنهان و مسیرهای سرایت ریسک	مدل‌سازی ساختار شبکه‌ایDeFi
3	بررسی همزمان ریسک بازار، نقدینگی و ریسک‌های فناورانه	ارائه تصویر جامع از وضعیت سیستم مالی	تحلیل همزمان چندبعدی ریسک
4	استفاده از داده‌های تاریخی و سناریوهای شبیه‌سازی برای پیش‌بینی بحران	امکان هشدار زودهنگام پیش از وقوع بحران	پیش‌بینی بحران‌های سیستمیک
5	استفاده از الگوریتم‌های هوشمند برای بهبود دقت مدل‌های آماری	افزایش قابلیت اعتماد در تصمیم‌گیری‌های مالی	کاهش خطای تخمین ریسک
6	طراحی چارچوب قابل استفاده برای بانک‌های مرکزی و رگولاتورها	تقویت نظارت مالی و سیاست‌گذاری پیشگیرانه	قابلیت کاربرد در نهادهای نظارتی

۳-۱-۲ تحلیل تفصیلی نوآوری‌ها

یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های این چارچوب، تلفیق دو حوزه به ظاهر متفاوت یعنی هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی است. در حالی که هوش مصنوعی بر یادگیری از داده‌ها و استخراج الگوهای پنهان تمرکز دارد، محاسبات کوانتومی توانایی پردازش موازی حجم عظیمی از سناریوها را فراهم می‌کند. این ترکیب باعث ایجاد یک سیستم دوگانه می‌شود که هم «هوشمند» و هم «شتاب‌دهنده محاسباتی» است. نتیجه این هم‌افزایی، توانایی تحلیل بلادرنگ ریسک‌های سیستمیک در بازارهای بسیار پیچیده است.

نوآوری دوم، مدل‌سازی ساختار شبکه‌ای اکوسیستم DeFi است. برخلاف رویکردهای سنتی که هر نهاد مالی را به‌صورت مستقل تحلیل می‌کنند، در این چارچوب کل اکوسیستم به‌عنوان یک شبکه به‌هم‌پیوسته در نظر گرفته می‌شود. این دیدگاه شبکه‌ای امکان شناسایی گره‌های بحرانی، مسیرهای انتقال بحران و نقاط آسیب‌پذیر سیستم را فراهم می‌سازد. در نتیجه، تحلیل ریسک از سطح خرد به سطح کلان و سیستم‌محور ارتقا پیدا می‌کند.

تحلیل همزمان چندبعدی ریسک نیز یکی دیگر از ویژگی‌های مهم این چارچوب است. در بسیاری از مدل‌های سنتی، ریسک بازار و ریسک نقدینگی به‌صورت جداگانه بررسی می‌شوند، در حالی که در اکوسیستم‌های DeFi این دو به‌شدت به هم وابسته هستند. علاوه بر این، ریسک‌های فناورانه مانند هک قراردادهای هوشمند یا اختلال در اوراکل‌ها نیز نقش مهمی در ایجاد بحران دارند. چارچوب پیشنهادی با در نظر گرفتن تمامی این ابعاد، تصویری جامع از ریسک سیستمیک ارائه می‌دهد.از منظر پیش‌بینی بحران‌های سیستمیک، این چارچوب توانایی شناسایی نشانه‌های اولیه بحران را پیش از وقوع آن دارد. این قابلیت از طریق ترکیب تحلیل داده‌های تاریخی، یادگیری الگوهای رفتاری و شبیه‌سازی سناریوهای بحرانی حاصل می‌شود. در نتیجه، نهادهای مالی می‌توانند پیش از وقوع بحران، اقدامات پیشگیرانه مناسب را اتخاذ کنند.

یکی دیگر از مزایای مهم این مدل، کاهش خطای تخمین ریسک در مقایسه با مدل‌های سنتی است. مدل‌های کلاسیک معمولاً بر فرضیات ساده‌سازی‌شده مانند توزیع نرمال بازده‌ها یا استقلال متغیرها متکی هستند، در حالی که در این چارچوب، وابستگی‌های پیچیده و غیرخطی میان متغیرها به‌صورت مستقیم مدل‌سازی می‌شوند. این امر باعث افزایش دقت نتایج و کاهش خطای پیش‌بینی می‌شود.در نهایت، قابلیت استفاده این چارچوب توسط بانک‌های مرکزی و نهادهای نظارتی، یکی از مهم‌ترین دستاوردهای کاربردی آن محسوب می‌شود. با توجه به رشد سریع بازارهای دارایی دیجیتال، نهادهای نظارتی نیازمند ابزارهایی هستند که بتوانند به‌صورت بلادرنگ وضعیت سیستم مالی را پایش کرده و ریسک‌های احتمالی را شناسایی کنند. چارچوب پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان یک سیستم هشدار زودهنگام برای سیاست‌گذاران مالی مورد استفاده قرار گیرد.

در مجموع، چارچوب پیشنهادی این پژوهش نه‌تنها یک مدل تحلیلی برای ارزیابی ریسک سیستمیک در اکوسیستم‌های DeFi ارائه می‌دهد، بلکه یک رویکرد نوآورانه و میان‌رشته‌ای برای درک رفتار سیستم‌های مالی پیچیده محسوب می‌شود. ترکیب هوش مصنوعی، تحلیل شبکه‌ای و محاسبات کوانتومی، این امکان را فراهم می‌سازد که ریسک‌های مالی با دقت بالاتر، سرعت بیشتر و عمق تحلیلی گسترده‌تری مورد بررسی قرار گیرند.

این ویژگی‌ها نشان می‌دهد که چارچوب پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار پیشرفته برای مدیریت ریسک در نسل جدید سیستم‌های مالی دیجیتال مورد استفاده قرار گیرد و نقش مهمی در ارتقای ثبات مالی جهانی ایفا کند.

٤. نتیجه‌گیری

گسترش سریع و مداوم اکوسیستم امور مالی غیرمتمرکز (DeFi) در سال‌های اخیر، ساختار سنتی نظام مالی جهانی را با تحولات بنیادین مواجه کرده است. ظهور دارایی‌های رمزنگاری‌شده، قراردادهای هوشمند و پروتکل‌های مالی بدون واسطه، اگرچه مزایایی همچون افزایش شفافیت، کاهش هزینه‌های تراکنش و دسترسی فراگیر به خدمات مالی را به همراه داشته، اما در عین حال پیچیدگی‌های جدیدی را در حوزه مدیریت ریسک و ثبات مالی ایجاد کرده است. یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها، شکل‌گیری شبکه‌های مالی به‌شدت درهم‌تنیده و غیرخطی است که در آن، تغییرات کوچک در یک بخش از شبکه می‌تواند به‌صورت تصاعدی در سایر بخش‌ها گسترش یافته و ریسک‌های سیستمیک گسترده‌ای را به وجود آورد.

در چنین شرایطی، رویکردهای سنتی ارزیابی ریسک که عمدتاً مبتنی بر مدل‌های خطی، فرضیات ایستای آماری و داده‌های محدود تاریخی هستند، دیگر توانایی کافی برای تحلیل رفتار پیچیده و پویای بازارهای DeFi را ندارند. این محدودیت‌ها ضرورت توسعه چارچوب‌های نوین، هوشمند و چندلایه را برجسته می‌سازد؛ چارچوب‌هایی که بتوانند همزمان ابعاد ساختاری، رفتاری و احتمالاتی ریسک را در یک نظام یکپارچه مورد تحلیل قرار دهند.

پژوهش حاضر در پاسخ به این نیاز، چارچوبی ترکیبی و پیشرفته مبتنی بر سه ستون اصلی شامل شبکه‌های مالی پیچیده، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو کوانتومی ارائه می‌دهد. این چارچوب تلاش می‌کند تا با مدل‌سازی دقیق روابط بین دارایی‌ها، پروتکل‌ها و بازیگران مختلف در اکوسیستمDeFi ، تصویری جامع و پویا از ساختار ریسک ارائه دهد. در این رویکرد، شبکه‌های مالی پیچیده به‌عنوان بستر اصلی تحلیل عمل کرده و امکان شناسایی گره‌های بحرانی، مسیرهای انتقال ریسک و نقاط آسیب‌پذیر سیستم را فراهم می‌سازند.

از سوی دیگر، بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری عمیق در این چارچوب، امکان استخراج الگوهای پنهان از حجم عظیم داده‌های تراکنشی و رفتاری را فراهم می‌کند. این الگوریتم‌ها قادرند روابط غیرخطی میان متغیرهای مالی را شناسایی کرده و پیش‌بینی‌هایی با دقت بالاتر نسبت به مدل‌های کلاسیک ارائه دهند. به‌ویژه در بازارهای DeFi که رفتار کاربران و پروتکل‌ها به‌شدت وابسته به شرایط لحظه‌ای بازار و عوامل بیرونی است، استفاده از هوش مصنوعی نقش کلیدی در افزایش دقت تحلیل‌ها ایفا می‌کند.

لایه سوم این چارچوب، یعنی شبیه‌سازی مونت‌کارلو کوانتومی، نقطه تمایز اصلی این پژوهش با رویکردهای سنتی محسوب می‌شود. استفاده از ظرفیت‌های محاسبات کوانتومی این امکان را فراهم می‌سازد که میلیون‌ها سناریوی احتمالی در بازه زمانی کوتاه شبیه‌سازی و تحلیل شوند. این ویژگی به‌طور قابل توجهی توانایی سیستم را در پیش‌بینی رویدادهای نادر اما پرریسک، مانند فروپاشی‌های زنجیره‌ای یا بحران‌های نقدینگی، افزایش می‌دهد. در واقع، ترکیب روش مونت‌کارلو با محاسبات کوانتومی، یک جهش محاسباتی در حوزه تحلیل ریسک ایجاد کرده و مرزهای محدودیت پردازش کلاسیک را پشت سر گذاشته است.

ادغام این سه رویکرد—شبکه‌های پیچیده، هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی—منجر به شکل‌گیری یک چارچوب جامع و چندبعدی برای ارزیابی ریسک سیستمیک در DeFi شده است. این چارچوب نه‌تنها قادر به شناسایی ریسک‌های موجود است، بلکه توانایی پیش‌بینی رفتارهای آینده شبکه تحت شرایط مختلف بحرانی را نیز داراست. چنین قابلیتی برای نهادهای مالی، به‌ویژه در شرایطی که بازارهای دیجیتال به‌سرعت در حال تغییر هستند، از اهمیت استراتژیک بالایی برخوردار است.از منظر کاربردی، این چارچوب می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری نهادهای نظارتی، بانک‌های مرکزی و مؤسسات مالی ایفا کند. بانک‌های مرکزی می‌توانند از این مدل برای پایش ثبات مالی در بازارهای رمزنگاری‌شده استفاده کرده و سیاست‌های پیشگیرانه مناسب‌تری تدوین نمایند. همچنین شرکت‌های فین‌تک می‌توانند با بهره‌گیری از این رویکرد، سیستم‌های مدیریت ریسک پیشرفته‌تری طراحی کنند که قادر به واکنش سریع در برابر نوسانات شدید بازار باشد.

علاوه بر این، استفاده از چنین چارچوبی می‌تواند به ارتقای شفافیت و اعتماد در اکوسیستم DeFi نیز کمک کند. یکی از چالش‌های اصلی در این حوزه، نبود دید جامع نسبت به جریان ریسک در شبکه‌های پیچیده مالی است. مدل پیشنهادی با فراهم‌سازی یک نمای کل‌نگر از تعاملات مالی، این امکان را فراهم می‌سازد که نقاط آسیب‌پذیر پیش از وقوع بحران شناسایی شوند و اقدامات اصلاحی به‌موقع صورت گیرد.

با این حال، باید توجه داشت که پیاده‌سازی عملی این چارچوب با چالش‌هایی نیز همراه است. از جمله این چالش‌ها می‌توان به نیاز به زیرساخت‌های محاسباتی پیشرفته، دسترسی به داده‌های باکیفیت و یکپارچه، و همچنین پیچیدگی‌های مرتبط با توسعه الگوریتم‌های کوانتومی اشاره کرد. علاوه بر این، هنوز در بسیاری

از کشورها، چارچوب‌های قانونی و نظارتی مشخصی برای استفاده از فناوری‌های کوانتومی در حوزه مالی وجود ندارد که این موضوع می‌تواند روند پذیرش و کاربرد این مدل را با کندی مواجه سازد.

با وجود این محدودیت‌ها، روندهای فناورانه موجود نشان می‌دهد که حرکت به سمت استفاده از مدل‌های ترکیبی و هوشمند در مدیریت ریسک، اجتناب‌ناپذیر است. رشد سریع داده‌های مالی، افزایش پیچیدگی شبکه‌های تراکنشی و ظهور فناوری‌های نوینی مانند بلاک‌چین و محاسبات کوانتومی، همگی نشان‌دهنده نیاز به تحول بنیادین در روش‌های تحلیل ریسک هستند.در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که چارچوب پیشنهادی در این پژوهش، گامی مهم در جهت توسعه نسل جدید سیستم‌های ارزیابی ریسک در بازارهای مالی دیجیتال محسوب می‌شود. این چارچوب با ترکیب سه فناوری پیشرفته، امکان تحلیل عمیق‌تر، سریع‌تر و دقیق‌تر ریسک‌های سیستمیک را فراهم کرده و می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای تحقیقات آینده در حوزه فین‌تک و اقتصاد دیجیتال مورد استفاده قرار گیرد. انتظار می‌رود در سال‌های آینده، با پیشرفت بیشتر در حوزه محاسبات کوانتومی و یادگیری ماشین، این نوع مدل‌ها به استانداردی رایج در تحلیل ریسک‌های مالی تبدیل شوند و نقش محوری در حفظ ثبات سیستم مالی جهانی ایفا کنند.

منابع

منابع فارسی

مقالات

ابراهیمی، م.، و شریفی، ع. (۱۳۹۸). کاربرد داده‌کاوی در کشف تقلب بانکی. فصلنامه علوم اقتصادی و مدیریت، ۱۲ (۲)، ۴۵–۶۸.

احمدی، ر.، و رضایی، م. (۱۴۰۰). تحلیل ریسک عملیاتی در نظام بانکی ایران. نشریه پژوهش‌های مالی، ۱۸ (۳)، ۱۰۱–۱۲۴.

بهرامی، ف.، و کریمی، ن. (۱۳۹۹). یادگیری ماشین در پیش‌بینی رفتارهای مالی مشکوک. فصلنامه مدیریت مالی، ۱۴ (۱)، ۷۷–۹۸.

حسینی، س.، و موسوی، ع. (۱۳۹۷). کشف تقلب در بانکداری الکترونیک. نشریه حسابداری و حسابرسی، ۲۵ (۴)، ۵۵–۸۰.

مرادی، ک.، و نیکوکار، ا. (۱۳۹۶). کاربرد شبکه‌های عصبی در تحلیل داده‌های مالی. فصلنامه علوم داده، ۹ (۱)، ۳۳–۵۲.

یوسفی، م.، و قاسمی، ح. (۱۳۹۸). بررسی روش‌های هوشمند کشف تقلب مالی. مجله پژوهش‌های مدیریت، ۱۱ (۲)، ۹۰–۱۱۲.

کاظمی، س.، و رستگار، ن. (۱۴۰۱). تحلیل ریسک سیستمیک در بازارهای مالی دیجیتال. فصلنامه نوآوری‌های مالی، ۱۵ (۳)، ۶۵–۸۹.

محمدی، ا.، و صادقی، پ. (۱۴۰۰). نقش بلاک‌چین در کاهش تقلب‌های مالی. مجله فناوری‌های نوین مالی، ۱۰ (۲)، ۴۱–۶۳.

نجفی، ع.، و کریمیان، م. (۱۳۹۹). کاربرد هوش مصنوعی در نظارت بانکی. نشریه اقتصاد دیجیتال، ۸ (۱)، ۲۲–۴۷.

رفیعی، ح.، و موسوی، ف. (۱۳۹۸). مدل‌سازی ریسک اعتباری در بانکداری نوین. فصلنامه مدیریت ریسک، ۱۳ (۴)، ۷۵–۹۶.

کتاب‌ها

آذر، ع.، و مؤمنی، م. (۱۳۹۲). آمار و کاربرد آن در مدیریت. تهران: سمت.

رازانی، ح. (۱۳۹۶). مدیریت ریسک در مؤسسات مالی و بانکی. تهران: نشر نی.

سعیدی، م. (۱۳۹۴). مدیریت مالی پیشرفته. تهران: سمت.

نیکوکار، ا. (۱۳۹۵). بانکداری الکترونیک و نظام‌های پرداخت. تهران: دانشگاه تهران.

منابع انگلیسی

Articles

Akerlof, G. A. (1970). The market for “lemons”: Quality uncertainty and the market mechanism. Quarterly Journal of Economics, 84(3), 488–500.

Albrecht, W. S., Albrecht, C. C., & Albrecht, C. O. (2008). Current trends in fraud and its detection. Information Security Journal, 17(1), 2–12.

Bahnsen, A. C., Aouada, D., Stojanovic, A., & Ottersten, B. (2016). Feature engineering strategies for credit card fraud detection. Expert Systems with Applications, 51, 134–142.

Bhattacharyya, S., Jha, S., Tharakunnel, K., & Westland, J. C. (2011). Data mining for credit card fraud: A comparative study. Decision Support Systems, 50(3), 602–613.

Bolton, R. J., & Hand, D. J. (2002). Statistical fraud detection: A review. Statistical Science, 17(3), 235–255.

Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45(1), 5–32.

Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. ACM Computing Surveys, 41(3), 1–58.

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. Neural Computation, 9(8), 1735–1780.

Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. Journal of Financial Economics, 3(4), 305–360.

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., et al. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems, 30, 5998–6008.

Kirkos, E., Spathis, C., & Manolopoulos, Y. (2007). Data mining techniques for the detection of fraudulent financial statements. Expert Systems with Applications, 32(4), 995–1005.

Ngai, E. W. T., Hu, Y., Wong, Y. H., Chen, Y., & Sun, X. (2011). The application of data mining techniques in financial fraud detection. Decision Support Systems, 50(3), 559–569.

Phua, C., Lee, V., Smith, K., & Gayler, R. (2010). A comprehensive survey of data mining-based fraud detection research. Artificial Intelligence Review, 34(1), 1–14.

Pozzolo, A. D., Boracchi, G., Caelen, O., Alippi, C., & Bontempi, G. (2015). Credit card fraud detection and concept-drift adaptation with delayed supervised information. International Joint Conference on Neural Networks, 1–8.

Reurink, A. (2018). Financial fraud: A literature review. Journal of Economic Surveys, 32(5), 1–20.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press.