Research Journal on Business Law and Investment

پژوهشنامه حقوق کسب و کار و سرمایه گذاری

The New Structure of the Stock Exchange on the Blockchain Network and its Effects on Transactions

Hadi Zare [1]✉, **Rahim Mokhtari** [2]

1. Department of Law, Shz.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran. (Corresponding Author). E-mail: hadi.zare@iau.ac.ir

2. Department of Law, Shz.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran. E-mail: r_mokhtari@iau.ac.ir

Received: 2025-04-22	**How to cite this article:**
Revised: 2025-06-17	Zare, H., & Mokhtari, R. (2025). The New Structure of the Stock Exchange on the Blockchain Network and its Effects on Transactions. Research Journal on Business Law and Investment, 1(1) (1): 18-35.
Accepted: 2025-07-15	
Available Online: 2025-09-23	

Introduction

The stock market, as one of the fundamental pillars of the global economy, has long been based on a centralized structure reliant on intermediaries. Although this traditional model, by providing a central authority, offers advantages such as guaranteed security and transaction credibility, it faces major challenges like lack of information transparency, high fees, extensive reliance on intermediaries, and vulnerability to cyber-attacks. With the emergence of the revolutionary technology of blockchain, and especially the executive capabilities of smart contracts over the past two decades, the possibility of redefining and designing a new architecture for the stock market system has been provided. This article, accepting the premise that blockchain can be a decentralized alternative to the current stock market structure, examines the dimensions of this potential transformation. The main objective of this research is to analyze the feasibility and explain the effects of implementing blockchain technology in the structure of the stock market. In this regard, the research objectives include: 1) Identifying and precisely examining the traditional and centralized challenges and limitations of the stock exchange. 2) Explaining how blockchain and smart contracts function and their benefits in creating a decentralized stock exchange. 3) Analyzing the advantages and opportunities presented by this transformation, including increased transparency, security, and efficiency, and ultimately, identifying and studying the legal and technical challenges facing this technology in the realm of the stock market.

Method

This research is a qualitative and theoretical study conducted using a descriptive-analytical method, relying on library research. The required data were collected by reviewing valid domestic and international scientific articles, books, and reports related to the fields of blockchain, smart contracts, and financial markets. Subsequently, by analyzing the content of these sources, the theoretical framework of the research was extracted, and arguments related to the research questions were subjected to logical analysis.

Findings

The findings of the research indicate that the traditional stock market mechanism faces three major challenges: "reliance on a centralized database," "extensive intermediary dependency," and "financial and temporal limitations." Blockchain technology, through its decentralized consensus mechanism, distributed ledger, and especially the capability for automatic execution of smart contracts, can provide an efficient response to these challenges.

The most important advantages of implementing a stock exchange on a blockchain platform are:

First, Elimination of Intermediaries: The role of intermediaries such as brokers and banks is minimized, leading to a significant reduction in transaction costs.

Second, Time and Cost Savings: Transactions on this network are completed in a fraction of a second at a negligible cost, eliminating the time limitations of traditional stock exchanges.

Third, Transparency and Security: The immutable and transparent nature of the blockchain's distributed ledger makes any manipulation or fraud extremely difficult. Furthermore, the absence of a central point of failure significantly increases the system's resistance to cyber attacks.

However, this technology faces challenges:

First, Legal Challenges: The lack of a comprehensive and universal legal framework for blockchain and smart contracts, especially in Iran, is a major obstacle. The immutability characteristic of smart contracts can also conflict with legal concepts such as contract termination and rescission.

Second, **Technical Challenges**: The inherent complexity of the technology, high energy consumption in consensus algorithms like Bitcoin's, and limitations in scalability (transactions per second) are among the technical obstacles ahead.

Conclusion

Blockchain technology, by offering a decentralized, secure, and transparent design, has the potential to create a fundamental transformation in the structure of the stock market and address many of the shortcomings of the traditional model. This transformation can significantly enhance the efficiency and effectiveness of the capital market by eliminating intermediaries, reducing transaction costs and time, and increasing security and trust. Although legal and technical challenges make the path of implementing this technology difficult, especially in a context like Iran, with the development of infrastructure, formulation of appropriate regulations, and addressing technical limitations in the future, it can be expected that blockchain will play a role as an efficient and revolutionary solution in the transformation of stock exchanges worldwide.

English Keywords: Stock Exchange, Blockchain, Smart Contract, Centralization, Intermediary-Based Systems.

پژوهشنامه حقوق کسب و کار و سرمایه‌گذاری
Research Journal on Business Law and Investment

ساختار نوین بورس در شبکه بلاک‌چین و آثار آن بر معاملات

هادی زارع[1] ✉، رحیم مختاری[2]

۱. دانشجوی دکتری حقوق خصوصی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. (نویسنده مسئول). رایانامه: hadi.zare@iau.ac.ir

۱. استادیار، گروه حقوق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. رایانامه: R_mokhtari@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

چکیده

بازار بورس اوراق بهادار یکی از مؤلفه‌های کلیدی اقتصاد جهانی است که از آغاز تاکنون بر اساس ساختاری متمرکز و واسطه‌محور فعالیت می‌کند. در حالی که وجود مرجع مرکزی برای تضمین امنیت و اعتبار معاملات مزایایی دارد، این ساختار با چالش‌هایی مانند عدم شفافیت، کارمزدهای بالا، وابستگی به واسطه‌ها و آسیب‌پذیری‌های سایبری مواجه است. با ظهور فناوری بلاک‌چین در دو دهه اخیر و به‌ویژه گسترش قراردادهای هوشمند، امکان بازنگری در مدل سنتی بورس فراهم آمده است. بلاک‌چین به‌واسطه ساختار همتا به همتا و قابلیت اجرای خودکار قراردادها، می‌تواند جایگزینی غیرمتمرکز برای نظام بورس سنتی باشد. این فناوری توان حل چالش‌هایی همچون حضور گسترده واسطه‌ها، اتلاف زمان، هزینه‌های بالا و ضعف‌های امنیتی را دارد. با این حال، بلاک‌چین نیز در مراحل ابتدایی توسعه قرار دارد و چالش‌هایی حقوقی و فنی نظیر فقدان مقررات، پیچیدگی‌های ذاتی، مصرف انرژی بالا و محدودیت در مقیاس‌پذیری را به همراه دارد. با رفع این موانع، استفاده از ساختارهای غیرمتمرکز می‌تواند تحولی بنیادین در معماری بازارهای مالی ایجاد کند.

کلیدواژه‌ها: بورس، بلاک‌چین، قرارداد هوشمند، تمرکزگرایی، واسطه‌محوری.

استناد: زارع، هادی و مختاری، رحیم (۱۴۰۴). ساختار نوین بورس در شبکه بلاک‌چین و آثار آن بر معاملات. *حقوق کسب و کار و سرمایه‌گذاری*، ۱(۱)(پیاپی ۱)، ۳۵-۱۸.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی.

http//doi.org/ 10.82466/jbli.2025.1204129

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

جهان امروز ما بر اساس مدل‌ها و پایگاه‌های داده‌ای متمرکز بناشده است به‌نحوی‌که شما برای انجام هر فعالیت و کنشی در زندگی اجتماعی روزمره خود به یک یا چند نهاد واسطه نیازمندید. (مختاری و زارع، ۱۴۰۲) این مهم را به‌خصوص می‌توان در ساختارهای مالی و اقتصادی مشاهده نمود که روزانه تریلیون‌ها دلار را جابه‌جا می‌نمایند و به میلیاردها نفر در سطح جهانی خدمات مالی ارائه می‌نمایند (ال‌شیبانی، لسلا و عبدالله[1]، ۲۰۲۰: ۱۲۳۱۱). به نحوی که شما برای یک تراکنش مالی ساده مانند انتقال پول از حساب خود به‌حساب شخص دیگر، به یک ساختار متمرکز مانند بانک نیازمندید. یکی از مهم‌ترین ساختارهای مالی جهانی که به‌شدت متمرکزگرا می‌باشد بازارهای بورس اوراق بهادر می‌باشد.

بورس اوراق بهادار نقش بسیار متنوع اما بسیار مهمی را در رشد و پیشرفت اقتصاد هر کشور ایفا می‌کند؛ ارزش سالانه این بازار در جهان در سال ۲۰۲۰ مطابق آمار ۸۹/۵ تریلیون دلار بود (میرز و دونالد[2]، ۲۰۱۸: ۳۹)؛ اما این بازار از زمان پیدایش خود در آمستردام[3] هلند و با وجود گذشت بیش از ۴۰۰ سال همچنان ساختار سنتی و متمرکز خود را حفظ نموده (دژاردن[4]، ۲۰۱۷) رویه‌ای که در بازار بورس ایران نیز مشاهده می‌شود. درواقع بازارهای سنتی بورس در یک بستر متمرکز و واسطه محور اجرا می‌شوند که تمام کنش‌های معاملاتی را به‌صورت متمرکز ذخیره و اجرا می‌نماید؛ این معماری با داشتن یک مرجع مرکزی که صحت، امنیت و اعتبار معاملات را تضمین می‌کند، مزایای بسیاری دارد (راجپوت و همکاران[5]، ۲۰۱۹: ۹۰۹)؛ اما با این وجود این ساختار با مشکلات فراوانی همچون، شفافیت نامعلوم اطلاعات، کارمزدهای بالا، نقش و حضور گسترده واسطه‌ها و ... روبرو می‌باشد.

مطالعات تاریخی نشان می‌دهد که حکومت‌ها و دولت‌ها همواره سعی نموده‌اند انواع فناوری‌ها، سیستم‌ها و نهادها را برای بهبود عملکرد بازارهای بورس اوراق بهادار و حل چالش‌های آن به کار ببرند. یکی از بحث‌برانگیزترین پیشرفت‌های چند دهه اخیر فناوری بلاک‌چین بوده است. صاحبان این فناوری معتقدند که بلاک‌چین می‌تواند جهان را تغییر دهد، چراکه این فناوری به شیوه‌ای متفاوت از سیستم‌های مالی سنتی عمل می‌کند (گِرگ، عِلام و مادان[6]، ۲۰۲۱: ۵۰۴)؛ اما پرسش اساسی ما در این پژوهش آن است که بلاک‌چین چگونه و با چه معماری و ساختاری می‌تواند ما را در حل چالش‌های بازارهای بورس اوراق بهادار یاری نماید؟ و در صورت بهره‌گیری از این فناوری ما با چه چالش‌ها و فرصت‌هایی روبرو خواهیم بود؟ به نظر می‌رسد فناوری بلاک‌چین می‌تواند به پشتوانه ساختار غیرمتمرکز خود یک معماری غیرمتمرکز را جانشین ساختار متمرکز فعلی بازارهای بورس اوراق بهادار فعلی نماید و بر بسیاری از چالش‌های موجود در این بازار همچون شفافیت، امنیت، کارمزدها و... تأثیرگذار باشد.

متأسفانه در ادبیات حقوقی کشور ما تاکنون تحلیلی حقوقی و اقتصادی از کارکردهای بلاک‌چین[7] در بورس ارائه نشده و عمده مطالعات صورت گرفته در ایران در حوزه این فناوری حول محور ارزهای دیجیتال بوده است. هرچند گاهی در تحقیقات صورت گرفته از کارکرد بلاک‌چین در حوزه بورس اشاره شده است؛ ولی به شرح و تفسیر این مهم پرداخته نشده است. از همین رو هدف ما در این پژوهش آن است که با تحلیل و توصیف این فناوری با ساختار و ماهیت بورس، سعی در ایجاد یک معماری نوین عاری از چالش‌های فعلی معماری سنتی بورس نماییم.

روش این پژوهش به شیوه توصیفی – تحلیلی خواهد بود. به این معنی که در وهله نخست، کتاب‌ها، مقالات و دیگر آثار، جمع‌آوری و مطالعه شده و سپس نتایج مطالعات صورت گرفته به بوته نقد، تحلیل و استنتاج درآمده است. بدیهی است که نوین

---

[1] Al-Shaibani, Lasla & Abdallah
[2] Miraz & Donald
[3] Amsterdam
[4] Desjardins
[5] Rajput et al
[6] Garg, Alam & Madan
[7] Blockchain

بودن فناوری‌های بلاک‌چین و قرارداد هوشمند و نیز کمبود منابع علمی به‌خصوص در نظام حقوقی ایران موجب ایجاد محدودیت‌های برای نگارنده در این پژوهش بوده است.

۱. مفهوم شناسی، فناوری بلاک‌چین

زندگی اجتماعی امروز ما عمدتاً بر پایه ساختارها و شبکه‌های متمرکز بنا شده است. برای مثال، اگر شما به‌عنوان شخص «الف» قصد داشته باشید مبلغی پول بابت بدهی خود به شخص «ب» پرداخت کنید، به یک شبکه بانکی نیاز خواهید داشت. در این شبکه، بانک به‌عنوان یک پایگاه داده متمرکز و در نقش واسطه‌ای بین شما و شخص «ب»، امکان انجام تراکنش را فراهم می‌کند. این واسطه‌ها و شبکه‌های متمرکز، اطلاعات و تراکنش‌های شما را در پایگاه‌های داده‌ای خود، مانند رایانه‌ها، ذخیره می‌کنند و این اطمینان را به شما می‌دهند که اطلاعات و تراکنش‌هایتان ثبت شده و در صورت لزوم در دسترس خواهد بود. به‌عنوان‌مثال، شخص «ب» نمی‌تواند در آینده منکر دریافت این تراکنش شود. در واقع، این ساختارهای واسطه‌محور مسئولیت تضمین امنیت مبادلات را بر عهده دارند و در صورت بروز نقص، پاسخگو هستند (پوتال و همکاران[۱]، ۲۰۱۸: ۱۸). واسطه‌گری، راه‌حل غالب امروزی برای تأیید مالکیت دارایی‌ها و پردازش معاملات است (چیریک[۲]، ۲۰۱۷: ۱۸۵).

حتی زمانی که از شبکه‌های اجتماعی برای ارسال و اشتراک‌گذاری پیام، عکس، موسیقی و غیره استفاده می‌کنید، در واقع از یک پایگاه داده متمرکز به‌عنوان واسطه بهره می‌برید. به‌عنوان‌مثال، پلتفرم‌هایی مانند واتس‌اپ[۳]، اینستاگرام[۴]، جی‌میل[۵] و بسیاری بسیاری دیگر، علاوه بر تسهیل ارسال پیام یا فایل، داده‌ها را ذخیره می‌کنند؛ اما این پایگاه‌های داده متمرکز، هرچند گاهی در اختیار همگان قرار می‌گیرند، تحت کنترل و مدیریت یک شخص یا مجموعه خاص هستند. برای نمونه، تمام اطلاعات شبکه‌های اجتماعی واتس‌اپ و اینستاگرام تحت مدیریت شرکت متا[۶] قرار دارد که به همه داده‌ها و اطلاعات کاربران در این شبکه‌ها دسترسی کامل دارد. در چنین ساختارهایی، اگر صاحبان این پایگاه‌ها به هر دلیلی تصمیم به ایجاد تغییر در داده‌ها بگیرند، این کار برای آن‌ها بسیار ساده است. به‌عنوان‌مثال، آن‌ها می‌توانند حساب کاربری شما را مسدود کنند، تغییراتی را به‌گونه‌ای اعمال کنند که کسی متوجه نشود، سرورها را از دسترس خارج کنند یا حتی در معرض حملات سایبری[۷] قرار گیرند که منجر به دست‌کاری یا یا سرقت اطلاعات شود؛ بنابراین، این واسطه‌ها چندان قابل‌اعتماد نیستند.

اما در ۳۱ اکتبر ۲۰۰۸، در جریان بحران مالی آن سال‌ها، فرد یا گروهی ناشناس با نام ساتوشی ناکاموتو[۸] که هویتش تا امروز امروز نامعلوم مانده است (سهانی، سینگ و کومار[۹]، ۲۰۲۰: ۱)، مقاله‌ای پیشگامانه با عنوان «بیت‌کوین: سیستم نقدی الکترونیکی همتابه‌همتا»[۱۰] منتشر کرد که به سپیدنامه بیت‌کوین[۱۱] نیز شهرت دارد (راجپوت و همکاران، ۲۰۱۹: ۹۰۹). ناکاموتو علت بحران مالی آن سال‌ها را دخالت بانک‌ها و دولت‌ها در اقتصاد می‌دانست و ایده شبکه بلاک‌چین را مطرح کرد که در آن، افراد بتوانند بدون نیاز به پایگاه داده متمرکز یا واسطه‌ای مانند بانک، به‌صورت مستقیم با یکدیگر تراکنش مالی انجام دهند. ناکاموتو سرانجام این ایده را در سال ۲۰۰۹ عملی کرد و برای اولین بار در تاریخ، شبکه بلاک‌چین اجرایی شد.

---

[1] Puthal et al
[2] Schiereck
[3] WhatsApp
[4] Instagram
[5] Gmail
[6] Meta
[7] Cyberattack
[8] Satoshi Nakamoto
[9] Sahani, Singh & Kumar
[10] Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System
[11] Bitcoin Whitepaper

بلاک‌چین در مفهومی ساده، یک دفتر کل غیرمتمرکز در یک شبکه همتابه‌همتا[1] است (سِرمه[2]، ۲۰۱۸: ۲۷)؛ که امکان تأیید تأیید و ذخیره تراکنش‌ها را بدون نیاز به واسطه‌ها یا مرجع تهاتر فراهم می‌کند.

برای درک بهتر مفهوم بلاک‌چین، لازم است با ساختار و عملکرد این شبکه آشنا شویم. همان‌طور که اشاره شد، بلاک‌چین یک پایگاه داده است، اما تفاوت اصلی آن با پایگاه‌های داده رایج در جهان امروز، غیرمتمرکز بودن آن است. منظور از غیرمتمرکز بودن این است که بلاک‌چین تحت مدیریت یا کنترل نهاد یا سازمانی مانند بانک‌ها در شبکه‌های مالی نیست و مرکزیت خاصی ندارد. در واقع، اطلاعات در بلاک‌چین روی یک سرور مرکزی ذخیره نمی‌شوند، بلکه در کل شبکه توزیع می‌گردند (سِرمه، ۲۰۱۸: ۲۷) برای فهم مفهوم شبکه در بلاک‌چین، باید گفت که این فناوری از زیرساخت شبکه همتابه‌همتا استفاده می‌کند. این شبکه از رایانه‌هایی تشکیل شده است که افراد در سراسر جهان از طریق اینترنت به بلاک‌چین متصل می‌کنند و در این شبکه به‌عنوان «گره» شناخته می‌شوند. هر گره نسخه‌ای از تمام اطلاعات شبکه بلاک‌چین را ذخیره می‌کند؛ بنابراین، مدیریت و کنترل بلاک‌چین تنها بر عهده این گره‌هاست. ازآنجاکه بلاک‌چین در قالب فایلی باقابلیت توزیع آزاد ارائه می‌شود، هیچ نسخه اصلی وجود ندارد و به‌جای یک مرجع مرکزی مانند بانک، سوابق توسط جامعه بزرگی از گره‌ها نظارت می‌شود و هیچ فردی به‌تنهایی بر آن کنترل ندارد (سلطان، روحی و لاکانی[3]، ۲۰۱۸: ۵۱). در غیاب یک نهاد متمرکز، نقش گره‌ها در مدیریت، تأیید و ذخیره تراکنش‌ها و داده‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. این نقش در شبکه‌های متمرکز، مانند شبکه‌های بانکی که کاربران هیچ‌گونه دخالتی در مدیریت، تأیید یا ذخیره داده‌ها ندارند و این وظایف بر عهده بانک‌هاست، وجود ندارد. در شبکه همتابه‌همتای بلاک‌چین، ارتباطات درون‌شبکه‌ای به‌جای استفاده از یک سرور مرکزی به‌عنوان واسطه، مستقیماً بین شرکت‌کنندگان انجام می‌شود (لاو[4]، ۲۰۱۷: ۱۴). این ویژگی به کاربران امکان می‌دهد بدون نیاز به واسطه، با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و کنش‌ها و مبادلات خود را انجام دهند. برای مثال، در شبکه بلاک‌چین می‌توانید بدون نیاز به شبکه بانکی، از کیف پول دیجیتال خود به کیف پول دیجیتال شخص «ب» ارز منتقل کنید.

آنچه بیش از هر چیز در بلاک‌چین موردتوجه قرار می‌گیرد، رویکرد آن در ذخیره‌سازی اطلاعات است. فناوری بلاک‌چین ممکن است پیچیده به نظر برسد، اما با بررسی جداگانه اجزای آن می‌توان آن را ساده‌تر درک کرد. بلاک‌چین از سه بخش اصلی تشکیل شده است: بلاک، زنجیره و شبکه.

این فناوری در حقیقت شبکه‌ای از زنجیره بلاک‌هاست که به‌صورت منظم شکل‌گرفته و اطلاعات در آن با استفاده از فناوری رمزنگاری داده‌ها به‌صورت سازمان‌یافته ذخیره می‌شود. اطلاعات ذخیره‌شده در این سیستم بین تمام گره‌های شبکه بلاک‌چین به اشتراک گذاشته می‌شود. هر بلاک در بلاک‌چین شامل سه بخش است: ۱) داده‌های ذخیره شده، ۲) هش[5] بلاک، ۳) هش بلاک بلاک قبلی.

در ابتدا، داده‌ها از هر طریقی که به‌دست‌آمده باشند، در یک بلاک جمع‌آوری می‌شوند. هر بلاک دارای یک شناسه منحصربه‌فرد به نام «هش» است. هش با استفاده از الگوریتمی پیچیده ریاضی ایجاد می‌شود که به منزله اثر انگشت هر بلاک

---

[1] Peer-to-Peer
شبکه همتابه‌همتا تعدادی از سیستم‌های کامپیوتری را با هدف اشتراک‌گذاری فایل‌ها، به یکدیگر متصل می‌کند. سیستم‌های کامپیوتری (نود) در شبکه نظیر به نظیر از طریق اینترنت به یکدیگر متصل می‌شوند. در این ساختار شبکه سرور مرکزی وجود ندارد. در واقع هر کامپیوتر در شبکه همتابه‌همتا به‌طور همزمان نقش سرور و کاربر را ایفا می‌کند.

[2] Sarmah
[3] Sultan, Ruhi & Lakhani
[4] Lav
[5] Hash
هش تابعی است که ورودی از حروف و اعداد را به یک خروجی رمزگذاری شده با طولی ثابت تبدیل می‌کند. توابع Hash در سرتاسر اینترنت به‌منظور ذخیره ایمن کلمه عبور، یافتن سوابق تکراری، ذخیره سریع و بازیابی اطلاعات و موارد این چنین به کار برده می‌شوند. هش با استفاده از یک الگوریتم ایجاد می‌شود که برای مدیریت بلاک چین در فضای کریپتوکارنسی‌ها بسیار ضروری است و در واقع پایه و اساس شبکه بلاک چین نیز محسوب می‌شود.

بوده و از هش سایر بلاک‌ها متمایز است (ژِنگ و همکاران[1]، ۲۰۱۸: ۳۶۸). پس از درج هش، تمام اطلاعات بلاک مجدداً رمزگذاری می‌شوند. پس از تکمیل رمزگذاری، گره‌های شبکه باید آن را تأیید کنند که این فرآیند درواقع به معنای تأیید صحت تراکنش‌هاست. این تأیید از طریق مکانیسم‌های اجماع[2] انجام می‌شود که در بلاک‌چین‌های مختلف متفاوت هستند. گره‌هایی که در فرآیند اجماع و اعتبارسنجی شرکت می‌کنند، پاداش دریافت می‌کنند و به آن‌ها «ماینر[3]» یا «استخراج‌کننده» گفته می‌شود. مشارکت در استخراج نیازمند ظرفیت محاسباتی بالای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری است. بلاک تأییدشده پس از اعتبارسنجی به بلاک‌های قبلی متصل می‌شود (میک[4]، ۲۰۱۷: ۵). این اتصال از طریق «هش بلاک قبلی» یا «پیش‌هش» انجام می‌شود که به‌عنوان کدی برای برقراری ارتباط بین بلاک‌های زنجیره عمل می‌کند. اهمیت پیش‌هش زمانی آشکار می‌شود که در صورت حمله سایبری و دست‌کاری اطلاعات یک بلاک، هش آن بلاک تغییر می‌کند. در واقع، بلاک‌ها از طریق هش بلاک قبلی به یکدیگر متصل شده و زنجیره‌ای از بلاک‌ها را تشکیل می‌دهند. اگر بلاک قبلی تغییر کند، هش آن متفاوت خواهد شد و این امر باعث تغییر هش تمام بلاک‌های بعدی می‌شود (یاگا، مِل و رابی[5]، ۲۰۱۸: ۱۸). ازآنجاکه هر بلاک علاوه بر هش خود، هش بلاک قبلی را نیز ذخیره می‌کند، به این ساختار «زنجیره بلاک» گفته می‌شود. این ویژگی امکان شناسایی و حذف بلاک‌های دستکاری شده را به‌سادگی فراهم می‌کند؛ بنابراین، خرابی یا هک بلاک به‌سرعت تشخیص داده شده و بلاک معیوب حذف می‌شود.

در سال‌های ابتدایی پیدایش بلاک‌چین بیت‌کوین، برخی توسعه‌دهندگان معتقد بودند که این بلاک‌چین هنوز به پتانسیل کامل خود نرسیده است. یکی از این توسعه‌دهندگان، ویتالیک بوترین[6]، نابغه کانادایی – روسی علوم رایانه بود. او معتقد بود بیت‌کوین برای ساخت برنامه‌های غیرمتمرکز به یک‌زبان برنامه‌نویسی نیاز دارد؛ اما چون نتوانست موافقت سایر اعضای انجمن بیت‌کوین را جلب کند، تصمیم گرفت پلتفرمی محاسباتی و توزیع‌شده مبتنی بر بلاک‌چین ایجاد کند. این پلتفرم «اتریوم»[7] نام گرفت (گِرگ و همکاران، ۲۰۲۱: ۵۰۳). اتریوم نه‌تنها یک شبکه همتابه‌همتا بود، بلکه قابلیت انجام کارهای متنوعی را نیز داشت. با پیدایش اتریوم، اولین پلتفرم بلاک‌چین برای توسعه قراردادهای هوشمند[8] شکل گرفت (ناهد خان و لوکیل[9]، ۲۰۲۱: ۲۹۰۳). بوترین با فعال‌سازی اتریوم، به افراد امکان داد تا علاوه بر ارزهای دیجیتال، سایر دارایی‌ها و قراردادها را نیز در بلاک‌چین ثبت و منتقل کنند. این ویژگی، قابلیت‌های اتریوم را از یک ارز دیجیتال صرف به یک پلتفرم برای توسعه برنامه‌های غیرمتمرکز گسترش داد.

۲. شیوه عملکرد بورس در شبکه بلاک‌چین

آنچه مشخص است، این است که بورس یک بازار مالی سازمان‌یافته است. بورس اوراق بهادار را می‌توان از دیدگاه‌های مختلف و به روش‌های گوناگون تعریف کرد؛ بااین‌حال، همان‌طور که از نام آن پیداست، بورس اساساً مکانی (فیزیکی یا مجازی) است که در آن اوراق بهادار، مانند سهام، اوراق خزانه، گواهی‌های سپرده و صندوق‌های سرمایه‌گذاری، معامله می‌شوند (میرز و

---

[1] Zheng et al
[2] Consensus
مکانیزم اجماع در بلاک‌چین اهمیت زیادی دارد، زیرا به شبکه‌های بلاک‌چین کمک می‌کند تا بدون نیاز به یک مقام مرکزی، به توافق جمعی درباره‌ی وضعیت داده‌ها برسند. این مکانیزم از صحت و یکپارچگی داده‌ها اطمینان حاصل می‌کند و به جلوگیری از مشکلاتی مانند تقلب و تغییر غیرمجاز در تراکنش‌ها کمک می‌کند.
[3] Miner
[4] Mik
[5] Yaga, Mell & Roby
[6] Vitalik Buterin
[7] Ethereum (ETH)
[8] Smart Contract
قراردادهای هوشمند کدهای برنامه‌نویسی شده بین طرفین قرارداد می‌باشند که در شبکه بلاک‌چین ذخیره شده و بیانگر توافق اطراف قرارداد بر محتوای قرارداد بوده؛ که پس از تحقق شروط مندرج در قرارداد مفاد قرارداد در شبکه بلاک‌چین به اجرا گذاشته می‌شود.
[9] Naheed Khan & Loukil

دونالد، ۲۰۱۸: ۳۵). معماری سنتی بورس ساختاری به‌شدت متمرکز دارد (ال‌شیبانی، ۲۰۲۰: ۱۲۳۷۱۳). حتی بورس‌های پیشرو، مانند بورس اوراق بهادار نیویورک و لندن که به‌عنوان بورس‌های علمی شناخته می‌شوند، در واقع مجموعه‌ای از فناوری‌های صنعتی و فرآیندهای مبتنی بر کاغذ هستند که در قالبی دیجیتال ارائه شده‌اند (تاپ اسکات و تاپ اسکات[1]، ۲۰۱۷: ۳). برای درک درک بهتر این موضوع و ضرورت گذار از معماری سنتی، در ادامه به بررسی مهم‌ترین چالش‌های معماری سنتی بورس‌های کنونی می‌پردازیم. با توجه به اینکه بررسی همه چالش‌ها از حوصله این پژوهش خارج است، در این بخش تنها به سه مورد از مهم‌ترین چالش‌ها که در ساختار بورس ایران نیز مشاهده می‌شوند، پرداخته می‌شود:

الف) اتکا به پایگاه داده متمرکز: همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، معماری سنتی بورس از ابتدا بر پایه ساختار متمرکز بنا شده است. در این معماری، تمام داده‌ها و تراکنش‌های سرمایه‌گذاران و سایر بازیگران بورس در پایگاه داده نهاد بورس ذخیره می‌شوند. این معماری باوجود یک مرجع مرکزی که صحت، امنیت و اعتبار معاملات را تضمین و ذخیره می‌کند، مزایایی دارد (پاپ و همکاران[2]، ۲۰۱۸: ۱). با این حال، اشکالات متعددی نیز به همراه دارد. برای مثال، تنها مرجع مرکزی به اطلاعات دسترسی دارد و می‌تواند به‌راحتی آن‌ها را تغییر یا حذف کند؛ این موضوع نقطه‌ضعف اصلی هر ساختار متمرکزی است. همچنین، این معماری به‌شدت در برابر حملات سایبری آسیب‌پذیر است.

ب) واسطه‌محوری محض: یکی از مهم‌ترین چالش‌های بازارهای مالی، به‌ویژه در حوزه بورس، نقش گسترده واسطه‌ها در این بازار است. برای حدود هزار سال، بازرگانان انواع اوراق بهادار را به‌صورت مستقیم بین خود معامله می‌کردند (میرز و دونالد، ۲۰۱۸: ۳۴). با این حال، از سال ۱۸۰۰ تاکنون، ساختارهای واسطه‌محور بخش فزاینده‌ای از معاملات بورس را در اختیار گرفته و روند معاملات را به‌طور فعال کنترل می‌کنند. در واقع، در معماری سنتی بورس، انجام هرگونه تراکنش یا اقدام تنها از طریق واسطه‌ها ممکن است (پاپ و همکاران، ۲۰۱۸: ۴). واسطه‌هایی مانند کارگزاری‌ها، بانک‌ها، بازارگردان‌ها، صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک، شرکت‌های سبدگردان و حتی دولت‌ها نقش کلیدی دارند. به همین دلیل، می‌توان گفت معماری سنتی بازار سهام به ساختارهای واسطه‌محور وابسته است. برای مثال، به دلیل تنظیم بازار، سرمایه‌گذاران نمی‌توانند مستقیماً سفارشی در سیستم ثبت کنند و باید از طریق واسطه‌ها، یعنی کارگزاران، اقدام کنند. نقش بانک‌ها نیز به‌عنوان واسطه در بورس بسیار برجسته است؛ آن‌ها معاملات سرمایه‌گذاران را به‌صورت الکترونیکی انجام می‌دهند و امکان خریدوفروش اوراق بهادار را فراهم می‌کنند. همچنین، بانک‌ها نقش مهمی در مدیریت صندوق‌های سرمایه‌گذاری دارند و خدمات متنوعی به مشتریان حقیقی و شرکت‌ها ارائه می‌دهند. این چالش را می‌توان یکی از مهم‌ترین عوامل ضعف بازار بورس ایران دانست.

ج) محدودیت‌های مالی و زمانی: در ساختارهای متمرکزی مانند بورس اوراق بهادار، معمول است که تسویه معاملات چندین روز طول بکشد (باندارکار و شیوا[3]، ۲۰۱۹: ۴۶). این تأخیر عمدتاً به دلیل پروتکل‌های تعریف‌شده در نرم‌افزارهای انتقال سهام، بانک‌ها و محدودیت ساعات کاری مؤسسات مالی (پنج روز در هفته در ساعات اداری) است.

از نظر مالی نیز، ساختار واسطه محور معماری سنتی بورس هزینه‌هایی را به سرمایه‌گذاران تحمیل می‌کند. برای مثال، کارگزاران درصدی از دارایی‌های معامله‌شده را به‌عنوان کارمزد دریافت می‌کنند. این رویه در مورد بانک‌ها نیز صدق می‌کند.

برای رفع محدودیت‌ها و کاستی‌های معماری سنتی بورس اوراق بهادار، فناوری بلاک‌چین پیشنهاد می‌شود تا معماری نوینی برای بورس ارائه شود. برای تحقق این معماری، از قراردادهای هوشمند در بستر بلاک‌چین استفاده می‌شود (ال‌شیبانی و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۲۳۷۱۴).

---

[1] Tapscott & Tapscott
[2] Pop et al
[3] Bhandarkar & Shiva

قراردادهای هوشمند، قراردادهای حقوقی در قالب کدهای برنامه‌نویسی هستند (شیخ، عظمت الله و رضوان[1]، ۲۰۱۹: ۳۲۱) که در شبکه بلاک‌چین ذخیره می‌شوند و تمام الزامات یک قرارداد معتبر را دارا هستند (اُشیلدز[2]، ۲۰۱۷: ۱۸۰). این قراردادها می‌توانند به‌صورت خودکار تمام یا بخشی از تعهدات را اجرا کنند (تای[3]، ۲۰۱۸: ۲). پیشنهاد ما این است که به‌جای ساختار متمرکز سازمان بورس، تمام قوانین و مقررات تجاری ضروری بورس در یک قرارداد هوشمند کدنویسی شده و در بستر شبکه بلاک‌چین با حضور بازیگران بورس به اشتراک گذاشته شود (ال‌شیبانی و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۲۳۷۱۲). به بیان ساده، تمام اقداماتی که در معماری سنتی بورس توسط ساختارهای متمرکز و واسطه محور انجام می‌شد، در معماری نوین به‌صورت خودکار توسط قراردادهای هوشمند در شبکه بلاک‌چین اجرا خواهد شد.

به‌کارگیری قراردادهای هوشمند در بستر بلاک‌چین، مانند هر فناوری دیگر، ویژگی‌ها و آثاری به همراه دارد. مهم‌ترین ویژگی این قراردادها، خود اجرایی بودن آن‌هاست. قراردادهای هوشمند از طریق کدنویسی جملات شرطی «اگر... آنگاه...»[4] در بلاک‌چین اجرا می‌شوند. به همین دلیل، هرگاه شرایط قراردادی محقق شود، قرارداد هوشمند مفاد قرارداد را بدون نیاز به واسطه یا اقدام طرفین اجرا می‌کند. برای مثال، فرض کنید قصد خرید سهام یک شرکت را دارید. اگر موجودی کیف پول ارز دیجیتال[5] شما بیشتر از مبلغ موردنیاز باشد و هنوز خرج نشده باشد، درخواست پذیرفته شده، وجه به‌صورت خودکار از کیف پول شما برداشت و به کیف پول شرکت منتقل می‌شود. به دلیل ماهیت همتابه‌همتای بلاک‌چین، نیازی به واسطه‌هایی مانند کارگزار یا بانک نیست. تراکنش با رعایت قوانین بورس که در قرارداد هوشمند کدنویسی شده‌اند، انجام می‌شود و در زمان و هزینه صرفه‌جویی می‌کند.

۳. محاسن بورس در شبکه بلاک‌چین

۳-۱. حذف واسطه‌ها

واسطه‌گری روش غالب امروزی برای تأیید مالکیت دارایی‌ها و پردازش معاملات است (نوفر و همکاران[6]، ۲۰۱۷: ۱۸۳). همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، یکی از مهم‌ترین چالش‌های معماری سنتی بورس، نقش فعال واسطه‌ها در این بازار است.

اگرچه واسطه‌ها درگذشته برای بهبود عملکرد ساختار بورس ایجاد شدند، در دهه‌های اخیر با ظهور فناوری‌های نوین مانند اینترنت و بلاک‌چین، نیاز به حضور آن‌ها کاهش‌یافته است. در واقع، فناوری به راه‌حلی مناسب برای جایگزینی واسطه‌ها تبدیل شده است.

یکی از مهم‌ترین کارکردهای فناوری بلاک‌چین در ساختار نوین و غیرمتمرکز بورس، حذف واسطه‌ها است. برای مثال، در این معماری دیگر نیازی به کارگزاران برای خریدوفروش سهام نخواهد بود (باندارکار و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۶). در این روش، سرمایه‌گذاران می‌توانند به‌صورت مستقیم از طریق قراردادهای هوشمند در بستر بلاک‌چین و با استفاده از ساختار همتابه‌همتا، اقدام به خرید یا فروش سهام شرکت موردنظر خود کنند. حتی برای پرداخت و دریافت وجه نیز نیازی به واسطه‌گری بانک نیست و تمام‌پرداخت‌ها و واریزها به‌صورت مستقیم توسط قراردادهای هوشمند و از طریق آدرس کیف پول دیجیتال سهام‌داران انجام می‌شود. در واقع، تمام فرآیندهای بورسی به‌صورت خودکار در شبکه بلاک‌چین و از طریق این قراردادها اجرا می‌شوند (اسفندیاری بیات و زارع، ۱۴۰۲: ۹۰۲). این امر به پشتوانه ساختار همتابه‌همتای بلاک‌چین محقق می‌شود.

---

[1] Sheikh, Azmathullah & Rizwan
[2] O'Shields
[3] Tai
[4] if/when… then…
[5] Crypto Wallet
[6] Nofer et al

حتی فرآیندهای نظارتی نیز توسط قراردادهای هوشمند انجام می‌شوند. در یک قرارداد هوشمند، از لحظه انعقاد تا اجرا و پایان قرارداد، تمام مراحل توسط هوش مصنوعی قرارداد هوشمند نظارت می‌شود. این مکانیسم نظارتی بر اساس دستورالعمل‌های تعریف‌شده در قرارداد هوشمند عمل کرده و اجرای قرارداد را تضمین می‌کند (صادقی و ناصر، ۱۳۹۷: ۱۴۸). مشخص است که حذف واسطه‌ها در بازارهای بورسی، به‌ویژه در بورس‌های به‌شدت واسطه محور مانند ایران، نقش مهمی در بهبود کارایی بورس خواهد داشت.

۳-۲. صرفه‌جویی در زمان و هزینه

اصولاً فلسفه ایجاد بلاک‌چین بیت‌کوین، انتقال سریع‌تر تراکنش‌ها با هزینه کمتر بود. در واقع، فناوری بلاک‌چین بیت‌کوین با قرارداد هوشمند ابتدایی خود توانست به‌صورت شفاف و امن، جایگزینی کارآمدتر برای صنعت انتقال پول ارائه دهد. برای مثال، می‌توانید به‌راحتی با واردکردن آدرس کیف پول دیجیتال طرف مقابل در هر نقطه از جهان، پول را به کیف پول او منتقل کنید و این فرآیند در چند لحظه انجام می‌شود. این در حالی است که روش‌های کنونی انتقال پول به خدمات اشخاص ثالث و مؤسسات مالی وابسته‌اند. این وابستگی به چندین واسطه، سیستم موجود را ناکارآمد می‌کند؛ زیرا خدمات نه‌تنها پرهزینه هستند، بلکه انتقال پول ممکن است روزها یا حتی هفته‌ها طول بکشد.

ساختار سنتی بورس به دلیل تمرکزگرایی و واسطه‌محوری، همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، سرمایه‌گذاران را با محدودیت‌های مالی و زمانی مواجه می‌کند. برای مثال، بازار بورس ایران از ساعات کاری مشخصی پیروی می‌کند. خارج از این ساعات، امکان خریدوفروش سهام وجود ندارد و سرمایه‌گذاران تنها می‌توانند پرتفوی خود را بررسی کنند. ساعات کاری بورس ایران در حال حاضر از شنبه تا چهارشنبه، از ساعت ۹:۰۰ تا ۱۲:۳۰ تعیین شده است؛ اما معماری نوین بورس مبتنی بر قراردادهای هوشمند در بستر بلاک‌چین، تغییرات شگرفی در رفع محدودیت‌های زمانی و مالی ایجاد می‌کند. فناوری بلاک‌چین به‌صورت ۲۴ ساعته و هفت روز هفته فعال است و تراکنش‌های مبتنی بر آن بسیار سریع‌تر انجام می‌شوند (باندارکار و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۶)؛ بنابراین، در بورس‌های مبتنی بر بلاک‌چین هیچ محدودیت زمانی برای فعالیت بازار وجود ندارد. این ویژگی هم‌اکنون در صرافی‌های فعال در حوزه بلاک‌چین قابل‌مشاهده است.

از سوی دیگر، ازآنجاکه تمام فرآیندهای بورسی سرمایه‌گذاران به‌صورت خودکار توسط قراردادهای هوشمند اجرا می‌شوند، سرعت پردازش و حسابرسی در بورس افزایش می‌یابد. همچنین، به دلیل نبود نیاز به واسطه یا شخص ثالث در تراکنش‌های بلاک‌چین، هزینه‌ها و زمان انجام معاملات کاهش می‌یابد. برای مثال، در این معماری نیازی به کارگزار برای ثبت سفارش نیست و سرمایه‌گذاران می‌توانند مستقیماً با قرارداد هوشمند تعامل کرده و سفارش خود را ثبت کنند. این امر کارمزدهای پرداختی به کارگزاران را حذف می‌کند و هزینه‌های تراکنش در سیستم پیشنهادی مبتنی بر بلاک‌چین به‌طورکلی کمتر از کارمزدهای معماری سنتی بورس اوراق بهادار است (ال‌شیبانی و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۲۳۷۱۷).

۳-۳. شفافیت و امنیت

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، یکی از اشکالات اصلی معماری سنتی بورس‌های کنونی، مالکیت و تنظیم شبکه توسط یک شخص ثالث مرکزی است. در این معماری، بیشتر معاملات به‌صورت الکترونیکی انجام می‌شوند، اطلاعات از راه دور منتقل شده و سوابق به‌صورت دیجیتال ذخیره می‌شوند. به همین دلیل، نگرانی‌های امنیتی در مورد هک و حملات سایبری همواره وجود دارد. ازاین‌رو، نیاز به ارتقای سطح امنیتی بورس‌ها بیش‌ازپیش احساس می‌شود (میرز و دونالد، ۲۰۱۸: ۴۰). بر اساس بررسی فدراسیون جهانی بورس[1] بر ۴۶ بورس بین‌المللی، بیش از نیمی از آن‌ها (۵۳ درصد) دست‌کم یک حمله سایبری شدید را تجربه کرده‌اند.

[1] WFE

همچنین، بورس اوراق بهادار سنتی می‌شود. به همین دلیل، الگوریتم‌ها و اطلاعات اغلب شفافیت کافی ندارند (پاپ و همکاران، ۲۰۱۸: ۵). در محیط پرتلاطم امروزی، بسیاری از سرمایه‌گذاران بر اهمیت شفاف‌سازی اطلاعات تأکید دارند و فقدان اطلاعات یا عدم اطمینان به آن‌ها به مشکلی اساسی در بازارهای مالی تبدیل شده است (فروغی، امیری و میرزایی، ۱۳۹۰: ۱۶). شاید بتوان گفت مهم‌ترین چالش سال‌های اخیر در بازارهای بورس، به‌ویژه بورس ایران، فقدان شفافیت است. اصولاً شفافیت در همه ساختارها و نظام‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا نبود آن پیامدهای منفی متعددی به دنبال دارد.

اما معماری بورس اوراق بهادار مبتنی بر بلاک‌چین، امنیت و شفافیت را تضمین می‌کند. ازآنجاکه بلاک‌چین به دلیل ساختار غیرمتمرکز خود هیچ نقطه شکست مرکزی ندارد، در برابر حملات امنیتی مقاوم است. یک هکر برای نفوذ به بلاک‌چین با چالش‌های فراوانی مواجه است؛ او ابتدا باید مشخص کند کدام بلاک حاوی اطلاعات موردنظرش است. حتی اگر بتواند این بلاک را شناسایی کند، برای هک کردن بلاک‌چین باید به‌طور هم‌زمان به حداقل ۵۱ درصد از گره‌های شبکه حمله کرده و داده‌ها را تغییر دهد. این فرآیند که به «حمله ۵۱ درصدی» معروف است، در شبکه بلاک‌چین بسیار پرهزینه و دشوار است. دشواری کار زمانی بیشتر می‌شود که مهاجم باید این حمله را در بازه زمانی محدود (فاصله بین دو بلاک) انجام دهد. در نتیجه، حمله به این شبکه تقریباً غیرممکن است، زیرا مهاجم تنها در صورتی می‌تواند شبکه را تحت تأثیر قرار دهد که کنترل ۵۱ درصد از گره‌ها را به دست آورد (سِرمه، ۲۰۱۸: ۲۷). همچنین، ازآنجاکه نیازی به مرجع مرکزی نیست، کاربران می‌توانند مطمئن باشند که تراکنش‌ها طبق دستورات برنامه‌نویسی شده در قراردادهای هوشمند اجرا می‌شوند. ازآنجاکه بلاک‌چین یک دفتر کل باز است، هر گره و کاربر می‌تواند به آن دسترسی داشته باشد و تراکنش‌ها را حسابرسی کند (سلطان و همکاران، ۲۰۱۸: ۵۱). این ویژگی شفافیت را ترویج کرده و سیستم را در برابر فساد مقاوم می‌کند (گِرگ و همکاران، ۲۰۲۱: ۵۰۳). اطلاعات در سیستم بلاک‌چین برای هر گره شفاف و قابل‌دسترسی است و به‌روزرسانی داده‌ها نیز به‌صورت شفاف انجام می‌شود. به همین دلیل، بلاک‌چین قابل‌اعتماد است (چانگ، لین و لیائو[1]، ۲۰۱۷: ۶۵۳).

۴. چالش‌های بورس در شبکه بلاک‌چین

بلاک‌چین نیز مانند بسیاری از فناوری‌های نوین، از چالش‌های مخصوص به خود برخوردار است؛ از همین رو ما در این بخش به بررسی مهم‌ترین چالش‌های بلاک‌چین می‌پردازیم:

۴-۱. چالش‌های حقوقی

تاکنون هیچ چارچوب قانونی مدون و جامعی در سطح جهانی برای بلاک‌چین تدوین نشده است (دِکاریا[2]، ۲۰۱۸: ۷۳۳). در حال حاضر، پذیرش بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند از منظر قانونی با چالش‌ها و ابهاماتی مواجه است و تمرکز اصلی دولت‌ها بیشتر بر ارزهای دیجیتال بوده است. بااین‌حال، در برخی کشورها مانند ایالات متحده، در سطح قوانین ایالتی، مقرراتی در این زمینه وضع شده یا در حال تدوین است. ایالت‌های دلاور[3]، ورمونت[4]، نوادا[5] و آریزونا[6] در ایالات متحده همگی به دنبال تصویب قوانینی برای شناسایی و استفاده از بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند هستند. به‌ویژه ایالت آریزونا قانون مفصلی در این زمینه وضع کرده است (همان).

---

[1] Chang, Lin & Liao
[2] De Caria
[3] Delaware
[4] Vermont
[5] Nevada
[6] Arizona

اروپا نیز خیلی زود ظرفیت‌های فناوری بلاک‌چین و منافع آن برای بخش‌های عمومی و خصوصی را درک کرد. برای مثال، استونی[1] از سال ۲۰۱۲ تاکنون از بلاک‌چین در بسیاری از فعالیت‌ها استفاده کرده است. بخش‌های خاصی در اروپا فعالانه در حوزه بلاک‌چین سرمایه‌گذاری می‌کنند که این سرمایه‌گذاری‌ها از تولید تا بانکداری را شامل می‌شود. متأسفانه در ایران تاکنون هیچ چارچوب قانونی در مورد بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند تصویب نشده است و تمرکز دولت و بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران عمدتاً بر ارزهای دیجیتال و رمزارزها بوده است. حتی در حوزه ارزهای دیجیتال نیز وضعیت قانونی مبهمی وجود دارد. بانک مرکزی در سال ۲۰۱۸ اعلام کرد که فعالیت با ارزهای رمزنگاری شده برای تمامی مؤسسات مالی، از جمله بانک‌ها و مؤسسات اعتباری، ممنوع است (شیرانی و طلایش، ۱۳۹۹: ۱۷۷). این در حالی است که پیش از سال ۲۰۱۸، بانک مرکزی تنها به هشدار درباره خطرات احتمالی ارزهای دیجیتال بسنده کرده بود (فتحی‌زاده و عطاآبادی، ۱۳۹۸: ۴۶۰)؛ بنابراین، تاکنون هیچ قانون مدونی در مورد بلاک‌چین، به‌ویژه در زمینه کارکرد آن در بورس، تصویب نشده است. بااین‌وجود، در سال‌های اخیر شاهد اجرای چند پروژه بلاک‌چینی باهدف بهره‌مندی از مزایای این فناوری بوده‌ایم (ملک شعار، امیران و مینویی، ۱۴۰۲: ۱۶۶). نزدک[2] اولین بازار بورسی بود که در سال ۲۰۱۵ از فناوری دفتر کل بلاک‌چین رونمایی کرد. این راه‌حل به شرکت‌های خصوصی امکان می‌دهد مالکیت سهام را به‌صورت دیجیتال و با استفاده از فناوری مبتنی بر بلاک‌چین ثبت کنند (سیستم مالی پایدار[3]، ۲۰۱۸)

به نظر می‌رسد با انطباق اصول و قواعد حقوقی موجود با قراردادهای هوشمند و بلاک‌چین، نیازی به تدوین مجموعه قوانین یا مقررات جدید در این حوزه نباشد (اُشیلدز، ۲۰۱۷: ۱۷۸). بااین‌حال، اصول حقوقی کنونی برای رسیدگی صریح به قراردادهای هوشمند و سایر فناوری‌های نوظهور، بافاصله زمانی قابل‌توجهی بین پذیرش فناوری و تعدیل قوانین (چه از نظر قانونی و چه قضایی) تطبیق داده می‌شوند (گلدن‌فاین و لیتر[4]، ۲۰۱۸: ۱۴۴).

یکی از مهم‌ترین چالش‌های حقوقی قراردادهای هوشمند در شبکه بلاک‌چین، ویژگی تغییرناپذیری آن است. در سیستم‌های متمرکز، اطلاعات را می‌توان تغییر داد یا حذف کرد، زیرا تصمیم‌گیری توسط یک فرد یا نهاد انجام می‌شود. این رویه در بورس‌های کنونی نیز وجود دارد و سازمان بورس ممکن است به دلایل مختلف معاملات یک سهام را ابطال کند؛ اما در سیستم غیرمتمرکز بلاک‌چین، هر تراکنش پس از اتصال به بلاک‌چین در تمام رایانه‌ها یا دستگاه‌های متصل به شبکه کپی می‌شود؛ بنابراین، پس از اجماع روی یک تراکنش، امکان تغییر یا حذف آن وجود ندارد، مگر اینکه فردی بتواند به‌طور هم‌زمان کنترل بیش از ۵۱ درصد گره‌های شبکه را در دست بگیرد (چانگ و همکاران، ۲۰۱۷: ۶۵۵). تغییرناپذیری یکی از اساسی‌ترین ویژگی‌های شبکه بلاک‌چین است. ازآنجاکه قراردادهای هوشمند به‌عنوان کدهایی در شبکه بلاک‌چین ثبت و اجرا می‌شوند، پس از تنظیم، طرفین نمی‌توانند به‌راحتی آن‌ها را تغییر دهند (علام[5]، ۲۰۱۸: ۱۴۲). این ویژگی سبب می‌شود قراردادهای هوشمند با چالش‌های حقوقی مانند فسخ، اقاله و تعدیل قرارداد مواجه شوند.

به نظر می‌رسد سکوت دولت‌ها به‌خصوص در ایران، در قبال قراردادهای هوشمند و بلاک‌چین ناشی از احتیاط و نبود زیرساخت‌های فنی لازم است؛ اما گسترش تعاریف متناقض و برخورد قانونی بالقوه با قراردادهای هوشمند ممکن است موجب عدم قطعیت قانونی و خطاهای نظارتی شود؛ بنابراین قانون‌گذاران باید از نزدیک پیشرفت‌های قراردادهای هوشمند و بلاک‌چین را پیگیری کنند؛ و با تصویب قوانین لازم به رفع عدم اطمینان قانونی و بالا بردن جایگاه این صنعت به سرمایه‌گذاران و مصرف‌کنندگان کمک کند.

---

[1] Estonia
[2] NASDAQ
نزدک به‌عنوان دومین بازار سهام بزرگ در دنیا شناخته می‌شود که سهام شرکت‌های بزرگ در حوزه‌های فناوری را عرضه می‌کند.
[3] Sustainable Financial System
[4] Goldenfein & Leiter
[5] Allam

۴-۲. چالش‌های فنی

بلاک‌چین و ساختارهای مبتنی آن از حیث فنی نیز با چالش‌هایی روبرو هستند که بر عملکرد آن تأثیرگذار است. هرچند باید گفت فناوری بلاک‌چین همچنان در ابتدای مسیر خود قرار دارد و مشهود است که در آینده می‌توان این چالش‌ها را حل نمود. ما در ادامه به بررسی مهم‌ترین چالش‌های فعلی قرارداد هوشمند می‌پردازیم:

۱) پیچیدگی فناوری بلاک‌چین

یکی از معایب بلاک‌چین، پیچیدگی آن برای درک افراد عادی است (سِرمه، ۲۰۱۸: ۲۷). پیچیدگی انعقاد قراردادهای هوشمند در شبکه بلاک‌چین نیز به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی به چشم می‌خورد (ناصر، ۱۳۹۷: ۱۱۷). در واقع، قراردادهای هوشمند به‌جای استفاده از ادبیات حقوقی، از کدنویسی رایانه‌ای با زبان‌های برنامه‌نویسی مانند جاوا[1]، پایتون[2] و سالیدیتی[3] استفاده می‌کنند؛ بنابراین، فردی که قصد ایجاد یک قرارداد هوشمند در بازار بورس را دارد، باید به یکی از این زبان‌های برنامه‌نویسی تسلط داشته باشد.

باید توجه داشت که پس از نوشتن یک قرارداد هوشمند و ثبت آن در شبکه بلاک‌چین، امکان تغییر یا حذف آن وجود ندارد و برنامه به‌صورت خودکار و دائمی در شبکه اجرا می‌شود. ازاین‌رو، لازم است افرادی که تسلط کافی بر زبان‌های برنامه‌نویسی دارند، قراردادهای هوشمند را ایجاد کنند؛ زیرا کدها توسط انسان نوشته می‌شوند و انسان ممکن است اشتباه کند. وقوع چنین خطایی، به‌ویژه در بازار بورس، می‌تواند نتایج زیان‌بار و جبران‌ناپذیری برای سرمایه‌گذاران و شرکت‌ها به دنبال داشته باشد.

۲) مصرف زیاد انرژی

یکی از معایب اصلی بلاک‌چین، مصرف بالای انرژی آن است. نگهداری دفتر کل توزیع‌شده نیازمند مصرف مقدار زیادی برق است. هرگاه گره جدیدی ایجاد شود، ماینرها باید انرژی قابل‌توجهی صرف کنند، زیرا هر تراکنش باید با رمزنگاری امضا شود. این فرآیند به قدرت محاسباتی بالایی نیاز دارد که یکی از دلایل اصلی مصرف بالای انرژی است. تخمین زده می‌شود که ۰/۲۱ درصد از کل برق جهان برای تأمین انرژی مزارع استخراج بیت‌کوین مصرف می‌شود که تقریباً معادل مصرف سالانه برق کشور سوئیس است. همچنین، برآورد شده است که ماینرهای بیت‌کوین بین ۶۰ تا ۸۰ درصد از درآمد حاصل از استخراج را صرف هزینه‌های برق می‌کنند (اشفورد[4]، ۲۰۲۲).

۳) مقیاس‌پذیری محدود شبکه بلاک‌چین

مقیاس‌پذیری به این معناست که بلاک‌چین باید ظرفیت پردازش تعداد تراکنش‌های موردنیاز کاربران را داشته باشد. در واقع، یک بلاک‌چین مناسب باید بتواند به هر تعداد تراکنش پاسخ دهد و از این نظر محدودیت‌های کمتری داشته باشد. برای مثال، شبکه‌های پرداخت سنتی مانند پی‌پال[5] سرعت پردازش بسیار بالایی دارند و قادر به انجام حدود ۲۰,۰۰۰ تراکنش در ثانیه هستند. هستند. در مقابل، در بلاک‌چین بیت‌کوین، اندازه هر بلاک به یک مگابایت محدود است و هر ۱۰ دقیقه یک بلاک استخراج می‌شود (سهانی و همکاران، ۲۰۲۰: ۱). در نتیجه، شبکه بیت‌کوین به نرخ ۷ تراکنش در ثانیه محدود می‌شود و نمی‌تواند با معاملات با فرکانس بالا رقابت کند (جرونی[6]، ۲۰۲۱). بلاک‌چین اتریوم نیز می‌تواند حدود ۲۰ تراکنش در ثانیه را مدیریت کند، اما این میزان تنها برای تعداد محدودی از کاربران کافی به نظر می‌رسد. با افزایش روزافزون حجم تراکنش‌ها، شبکه بلاک‌چین سنگین‌تر می‌شود. ازآنجاکه ظرفیت بلاک‌ها محدود است، بسیاری از تراکنش‌های کوچک ممکن است به تعویق بیفتند، زیرا

---

[1] Java
[2] Python
[3] Solidity
[4] Ashford
[5] Paypal
[6] Geroni

ماینرها تراکنش‌هایی با کارمزد بالاتر را در اولویت قرار می‌دهند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸: ۳۶۷)؛ بنابراین، عوامل مؤثر در چالش مقیاس‌پذیری بلاک‌چین نشان می‌دهند که افزایش تعداد تراکنش‌ها و کاربران برای شبکه‌های بلاک‌چین مشکل‌ساز است، به‌ویژه اگر قرار باشد این فناوری در بازار بورس به کار گرفته شود.

۵. آینده شبکه بلاک‌چین در بورس ایران

در کشورهایی مانند ایران که دولت نقش پررنگی در حاکمیت و تصدی‌گری دارد و بخش خصوصی نسبتاً کوچک است، طبیعی است که بهره‌گیری از فناوری بلاک‌چین با مقاومت‌های شدیدی مواجه شود؛ زیرا بلاک‌چین در ذات خود به دنبال حذف واسطه‌ها، کاهش پیچیدگی‌های ناشی از حضور آن‌ها و ایجاد ارتباط مستقیم بین کسب‌وکارهاست. در سال‌های اخیر، تلاش‌های متعددی برای تدوین سیاست‌های کلان در زمینه فناوری بلاک‌چین در ایران انجام شده است. در همین راستا، هیئت‌مدیره بلاک‌چین و رمزارز ایران زیر نظر اتاق بازرگانی تأسیس شد تا به‌عنوان نهادی از بخش خصوصی، فعالیت در حوزه فناوری بلاک‌چین را تسهیل کند، از کسب‌وکارهای مبتنی بر این فناوری حمایت کند و برای رفع خلأهای قانونی و رسمیت‌بخشی به فعالیت‌های این حوزه تلاش نماید.

در سال‌های اخیر، ایران شاهد شکل‌گیری پروژه‌های متعددی در حوزه بلاک‌چین، به‌ویژه در بخش خدمات مالی، بوده است. یکی از مهم‌ترین آن‌ها «پروژه ققنوس» است که با پشتیبانی بانک‌های ملی، ملت، تجارت، پارسیان و پاسارگاد و همچنین شرکت‌های توسن و ققنوس راه‌اندازی شد. این پروژه با ارائه کیف پول رمزنگاری شده و ایجاد زیرساخت مدیریت ثروت خرد، امکان توکنیزه کردن دارایی‌های ارزشمند فیزیکی مانند طلا، الماس و املاک را در قالب ارزهای دیجیتال فراهم کرده است. بدین ترتیب، افراد می‌توانند با سرمایه‌گذاری در این ارزها، ارزش دارایی‌های خود را حفظ و مدیریت کنند.

باوجود تمام مزیت‌هایی که فناوری بلاک‌چین می‌تواند برای بازار بورس ایران به همراه داشته باشد، به‌کارگیری این فناوری با محدودیت‌های متعددی، به‌ویژه به دلیل فقدان زیرساخت‌های فنی و قانونی، مواجه است.

۶. نتیجه‌گیری

بورس اوراق بهادار به‌عنوان یکی از ارکان اصلی رشد و توسعه اقتصادی هر کشور، نقشی کلیدی و چندوجهی ایفا می‌کند. بااین‌حال، ساختار سنتی و متمرکز بورس که تمام داده‌ها و تراکنش‌های سرمایه‌گذاران در پایگاه‌های داده‌ای مرکزی ذخیره می‌شود، مزایایی مانند تضمین صحت، امنیت و اعتبار معاملات دارد، اما با چالش‌های متعددی نیز مواجه است. مهم‌ترین این چالش‌ها، وابستگی گسترده به واسطه‌ها (مانند کارگزاری‌ها و بانک‌ها) است که سبب تأخیر در تسویه معاملات (گاه چندین روز) و تحمیل هزینه‌های مالی قابل‌توجه به سرمایه‌گذاران می‌شود. برای رفع این محدودیت‌ها، فناوری بلاک‌چین با استفاده از قراردادهای هوشمند به‌عنوان راه‌حلی نوین پیشنهاد شده است. این فناوری امکان ایجاد معماری غیرمتمرکزی را برای بورس فراهم می‌کند که در آن قوانین و مقررات تجاری بورس در قالب قراردادهای هوشمند در شبکه بلاک‌چین تعریف و با بازیگران بازار به اشتراک گذاشته می‌شود. این رویکرد با حذف واسطه‌ها، هزینه‌ها و زمان انجام معاملات را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد و سرمایه‌گذاران را از محدودیت‌های مالی و زمانی سنتی رها می‌سازد. علاوه بر این، بلاک‌چین با ساختار غیرمتمرکز و نبود نقطه شکست مرکزی، امنیت بالایی در برابر حملات سایبری فراهم می‌کند و با شفافیت کامل داده‌ها برای همه کاربران، اعتماد و مبارزه با فساد را تقویت می‌کند. بااین‌حال، این فناوری نیز چالش‌هایی دارد؛ از منظر حقوقی، نبود چارچوب قانونی جامع و جهانی برای بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند، پذیرش آن را با ابهاماتی مواجه کرده است. از منظر فنی نیز، پیچیدگی‌های فنی، محدودیت‌های مقیاس‌پذیری و مصرف بالای انرژی از جمله موانع هستند. با وجود این چالش‌ها، بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند هنوز در مراحل اولیه توسعه قرار دارند و با پیشرفت‌های آتی، انتظار می‌رود این محدودیت‌ها برطرف شده و این فناوری به راه‌حلی کارآمد برای تحول بورس اوراق بهادار تبدیل شود.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این مقاله حامی مالی ندارد.

سپاسگزاری

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

اسفندیاری بیات، حمزه و زارع، هادی (۱۴۰۲). بررسی کارکردها و چالش‌های به‌کارگیری قراردادهای هوشمند در بیمه‌های خسارات. *اولین همایش ملی تأثیر متقابل حقوق بین‌الملل و حقوق داخلی در توسعه قوانین*، گرگان.

اسماعیلی عطاآبادی، عقیل و فتحی زاده، امیرهوشنگ (۱۳۹۸). تعیین استاندارد برای تغییر و انحلال قراردادهای هوشمند. *اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت دانش، بلاک‌چین و اقتصاد*، تهران.

شیروانی، مسعود و طلایش، ملیکا سادات (۱۳۹۹). قانون‌گذاری بلاک‌چین در ایران، چین و انگلستان. *مجله تمدن حقوق*، ۳(۷)، ۱۷۵-۱۸۵.

صادقی، محسن و ناصر، مهدی (۱۳۹۷). ملاحظاتی برای سیاست‌گذاری حقوقی قراردادهای هوشمند. *سیاست‌گذاری عمومی*، ۴(۲)، ۱۴۳-۱۶۷. Doi: 10.22059/PPOLICY.2018.67873

فروغی، داریوش؛ امیری، هادی و میرزایی، منوچهر (۱۳۹۰). تأثیر شفاف نبودن اطلاعات مالی بر ریسک سقوط آتی قیمت سهام در شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران. *فصلنامه پژوهش‌های حسابداری مالی*، ۳(۴)، ۱۵-۴۰. Doi: 20.1001.1.23223405.1390.3.4.3.8

مختاری، رحیم و زارع، هادی (۱۴۰۲). بررسی ساختار خود اجرایی قراردادهای هوشمند در اجرای تعهدات قراردادی. *هفتمین کنفرانس ملی دستاوردهای نوین در حقوق و روانشناسی*، تهران

ملک شعار، محمدرضا؛ امیران، حیدر و مینویی، مهرزاد (۱۴۰۲). ارائه مدل امکان‌سنجی استقرار فناوری بالک چین در معاملات بورس اوراق بهادار تهران. *نشریه علمی دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، ۱۶(۵۹)، ۱۶۰-۱۷۳. Doi: 10.30495/jfksa.2023.23084

ناصر، مهدی (۱۳۹۷). *قراردادهای هوشمند (مطالعه تطبیقی حقوق ایران و امریکا)*. چاپ اول، تهران، انتشارات مجد.

References

Allam, Z. (2018). On smart contracts and organisational performance: A review of smart contracts through the blockchain technology. *Review of Economic and Business Studies (REBS)*, (22), 137-156.

Al-Shaibani, H., Lasla, N., & Abdallah, M. (2020). Consortium blockchain-based decentralized stock exchange platform. *IEEE Access*, 8, 123711-123725.

Ashford, K. (2022). *What is cryptocurrency*?. Source: forbes, [access: 2022-08-28].

Bhandarkar, V. V., Bhandarkar, A. A., & Shiva, A. (2019). Digital stocks using blockchain technology the possible future of stocks?. *International Journal of Management (IJM)*, 10(3).

De Caria, R. (2018). The legal meaning of smart contracts. *European Review of Private Law*, 26(6).

Desjardins, J. (2017). *The Blockchain Could Change the Backbone of the Stock Market*. Source: visualcapitalist, [access: 2024-08-25].

Esfandiari Bayat, H., & Zare, H. (2023). Examining the functions and challenges of using smart contracts in property and casualty insurance. *The first national conference the mutual influence of international law and domestic law in the development of laws*, Gorgan. (In Persian)

Esmaili Attabadi, A., & Fathizadeh, A. H. (2019). Setting the standard for changing and terminating smart contracts. *The First International Conference on Knowledge Management, Blockchain and Economics*, Tehran. (In Persian)

Foroghi, D., Amiri, H., & Mirzae, M. (2012). The Impact of Opacity in Financial Reporting on the Future Stock Price Crash Risk of Listed Companies in Tehran Stock Exchange. *Financial Accounting Research*, 3(4), 15-40. Doi: 20.1001.1.23223405.1390.3.4.3.8 (In Persian)

Garg, V., Alam, T., & Madan, S. (2021). A study on blockchain technology: history, features and applications. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, (pp.501-508).

Geroni, D. (2021). *Blockchain Scalability Problem – Why is it Difficult to Scale Blockchain*? Source: 101blockchains.com, [access: 2022-08-29].

Goldenfein, J., & Leiter, A. (2018). Legal engineering on the blockchain: Smart contracts' as legal conduct. *Law and Critique*, 29, 141-149.

Khan, S. N., Loukil, F., Ghedira-Guegan, C., Benkhelifa, E., & Bani-Hani, A. (2021). Blockchain smart contracts: Applications, challenges, and future trends. *Peer-to-peer Networking and Applications*, 14(5), 2901-2925.

Law, A. (2017). *Smart contracts and their application in supply chain management*. Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.

Lee, L. (2016). New kids on the blockchain: How bitcoin's technology could reinvent the stock market. *Hastings Business Law Journal*, 12(2), 81-132. https://doi.org/ 10.2139/ssrn.2656501

Lin, I. C., & Liao, T. C. (2017). A survey of blockchain security issues and challenges. *Int. J. Netw. Secur*, 19(5), 653-659.

Malekshoar, M. R., Amiran, H., & Minouei, M. (2024). Providing a feasibility model for the establishment and development of block chain technology in Tehran Stock Exchange market transactions. *Financial Knowledge of Securities Analysis*, 16(59), 160-173. Doi:10.30495/jfksa.2023.23084 (In Persian)

Mik, E. (2017). Smart contracts: terminology, technical limitations and real world complexity. *Law, Innovation and Technology*, 9(2), 1-26.

Miraz, M. H., & Donald, D. C. (2018, August). Application of blockchain in booking and registration systems of securities exchanges. *In 2018 International Conference on Computing, Electronics & Communications Engineering (iCCECE)* (pp. 35-40). IEEE.

Mokhtari, R., & Zare, H. (2023). Examining the self-executing structure of smart contracts in the implementation of contractual obligations. The 7th National Conference Of New Achievements In Law And Psychology, Tehran. (In Persian)

Naser. M. (2018). *Smart Contracts: A Comparative Study of Iranian and American Law*. Tehran: Majd. (In Persian)

Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O., & Schiereck, D. (2017). Blockchain. *Business & Information Systems Engineering*, 59(3), 183-187

Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O., & Schiereck, D. (2017). Blockchain. *Business & Information Systems Engineering*, 59(3), 183-187.

O'Shields, R. (2017). Smart contracts: Legal agreements for the blockchain. *NC Banking Inst*, 21, 177.

Pop, C., Pop, C., Marcel, A., Vesa, A., Petrican, T., Cioara, T.,... & Salomie, I. (2020). Decentralizing the Stock Exchange using Blockchain. In *2018 IEEE 14th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*.

Puthal, D., Malik, N., Mohanty, S. P., Kougianos, E., & Yang, C. (2018). The blockchain as a decentralized security framework [future directions]. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 7(2), 18-21.

Rajput, S., Singh, A., Khurana, S., Bansal, T., & Shreshtha, S. (2019, February). Blockchain technology and cryptocurrenices. *In 2019 Amity international conference on artificial intelligence (AICAI)* (pp. 909-912). IEEE.

Sadeghi, M., & Nasser, M. (2018). Consideration for Policy Making of Smart Contracts. *Iranian Journal of Public Policy*, 4(2), 143-167. Doi: 10.22059/ppolicy.2018.67873 (In Persian)

Sahani, A., Singh, P., & Kumar, A. (2020) Introduction to Blockchain. *Journal of Informatics Electrical and Elecrtonics Engineering*, 1(4), 1-9.

Sarmah, S. S. (2018). Understanding blockchain technology. *Computer Science and Engineering*, 8(2), 23-29.

Sheikh, H., Azmathullah, R. M., & Rizwan, F. (2019). Smart contract development, adoption and challenges: the powered blockchain. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 4(2), 321-324.

Shirani, M., & Talakesh, M. S. (2021). Blockchain Legislation in Iran, China and the United Kingdom. *Fares Law Research*, 3(7), 175-185. (In Persian)

Sultan, K., Ruhi, U., & Lakhani, R. (2018). Conceptualizing blockchains: Characteristics & applications. *11th IADIS International Conference on Information SystemsAt*, Lisbon, Portugal.

Sustainable Financial System, (2018). *Applications for blockchain*. Source: Sustainable financial system, [access: 2024-08-25].

Tai, E. T. T. (2018). Force majeure and excuses in smart contracts. *European Review of Private Law*, 26(6), 787-904.

Tapscott, A., & Tapscott, D. (2017). How blockchain is changing finance. *Harvard Business Review*, 1(9), 2-5.

Yaga, D., Mell, P., Roby, N., & Scarfone, K. (2018). Blockchain technology overview. *National Institute of Standards and Technology*, This publication is available free of charge from: DOI:10.48550/arXiv.1906.11078.

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی