KMAN PUBLISHING INSTITUTE
Journal Website

Article history:
Received 27 February 2026
Revised 10 June 2026
Accepted 17 June 2026
Initial Publication 19 June 2026
Final Publication 23 September 2026

Journal of Technology in Entrepreneurship and Strategic Management

Volume 5, Issue 3, pp 1-21

E-ISSN: 3041-8585

Identifying and Prioritizing Blockchain Technology Applications in Smart City Management

Arezou. Aghamohammadi[1], Seyed Ali. Safavi[2*], Seyed Mahdi. Khatami[3]

[1] PhD Student, Department of Urban Planning, Faculty of Art, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Art, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[3] Associate Professor, Department of Urban Design and Planning, Tarbiat Modares University

*** Corresponding author email address**: Sasafavi@modares.ac.ir

A r t i c l e I n f o

Article type:
Original Research

How to cite this article:
Aghamohammadi, A., Safavi, S. A., & Khatami, S. M. (2026). Identifying and Prioritizing Blockchain Technology Applications in Smart City Management. *Journal of Technology in Entrepreneurship and Strategic Management*, *5*(3), 1-21.

© 2026 the authors. Published by KMAN Publication Inc. (KMANPUB), Ontario, Canada. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

A B S T R A C T

This study aims to identify and prioritize the applications of blockchain technology in smart city management. This applied research follows a descriptive–analytical design within a neo-positivist paradigm. Initially, components and indicators were extracted through a comprehensive literature review. Subsequently, the Delphi technique was employed to refine these indicators based on expert opinions. The Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to assign relative weights to criteria, and Partial Least Squares (PLS) modeling was applied to develop the structural model. The statistical population consisted of experts in urban planning and blockchain technology. The findings revealed that blockchain applications in smart cities can be structured into 2 main factors, 7 components, and 31 indicators. Priority analysis indicated that “integration of Internet of Things (IoT) data” has the highest significance. Structural model results showed statistically significant path coefficients, confirming the strong impact of blockchain technology on various dimensions of smart city management. Blockchain technology, due to its inherent features such as transparency, immutability, and security, plays a critical role in enhancing efficiency and security in smart city infrastructures and serves as an effective solution for data integration and reducing system vulnerabilities.

Keywords: *Blockchain technology, Smart city, Urban management, Internet of Things, Urban governance*

Extended Abstract

Introduction

Rapid urbanization has intensified the need for more transparent, secure, resilient, and data-driven urban management systems. Smart cities have emerged as a strategic response to challenges such as traffic congestion, environmental degradation, inefficient public services, fragmented governance, and increasing demands for citizen-centered urban systems. However, smart city development depends heavily on reliable data infrastructures, secure digital transactions, interoperability among urban systems, and trust between citizens, institutions, and technology providers (Dai et al., 2024; Han & Kim, 2024; Lim et al., 2024). In this context, blockchain technology has gained growing attention as a decentralized, transparent, immutable, and secure digital infrastructure that can support smart city management across several domains. Previous studies have highlighted blockchain applications in smart mobility, Internet of Things data integrity, urban governance, public participation, sustainable energy, waste management, healthcare, real estate, and secure data dissemination (Karger et al., 2024; Mohd Shari & Malip, 2022; Rahman et al., 2022; Ullah et al., 2023). Blockchain can also strengthen privacy-preserving participation, increase trust in urban decision-making, improve supply chain transparency, and enhance the security of connected urban infrastructures (Ietto et al., 2023; Joyce & Javidroozi, 2024; Laatikainen et al., 2023). Despite this expanding literature, the practical applications of blockchain in smart city management remain conceptually dispersed and insufficiently prioritized. Therefore, this study aimed to identify and prioritize the applications of blockchain technology in smart city management.

Methods and Materials

This applied study used a descriptive–analytical and survey-based design within a neo-positivist paradigm. The research was conducted in several sequential phases. First, relevant Persian and English scientific sources, including articles, books, dissertations, and theoretical studies, were reviewed to extract the initial factors, components, and indicators related to blockchain applications in smart city management. Second, the extracted indicators were refined through the Delphi technique using the opinions of experts familiar with blockchain technology, urban planning, and smart city management. The Delphi process continued across several rounds until an acceptable level of expert consensus was achieved. Third, after finalizing the indicators, the Analytical Hierarchy Process was used to determine the relative importance and priority of the identified indicators. Finally, Partial Least Squares structural equation modeling was applied to test the measurement and structural models. The statistical population consisted of two groups: experts who participated in the Delphi process to refine the indicators and urban planning specialists who were familiar with blockchain applications in smart cities. Data collection tools included Delphi-based questionnaires, pairwise comparison questionnaires for AHP, and structured instruments for PLS modeling. The validity and reliability of the final instrument were examined using appropriate statistical criteria, including the Kaiser–Meyer–Olkin index, Bartlett's test of sphericity, convergent validity, composite reliability, Cronbach's alpha, discriminant validity, coefficients of determination, path coefficients, and variance inflation factors.

Findings

The results confirmed the adequacy of the research instrument and the suitability of the data for further analysis. The Kaiser–Meyer–Olkin value was 0.792, and Bartlett's test of sphericity was significant at 0.000, indicating that the correlation matrix was appropriate for subsequent analyses. The Delphi findings showed that blockchain applications in smart city management could be classified into 2

main factors, 7 components, and 31 indicators. The confirmed components included sustainability and resilience, governance, transportation, housing, technology, citizen welfare, and investment. In the sustainability and resilience component, supply chain management achieved the highest final weight of 4.900, followed by resource recovery with 4.850, carbon tax with 4.450, and air quality measurement with 4.050. In the governance component, augmented democracy and citizen participation with privacy preservation obtained the highest weight of 4.800, followed by smart voting with 4.300 and strengthening citizen trust with 4.200. In the transportation component, urban parking management obtained the highest weight of 4.800, followed by solving logistics problems with 4.550, transportation payment and authentication assessment each with 4.250, and solving communication and cooperation problems in vehicles with 4.200. Some overlapping indicators were removed during expert refinement.

In the housing component, smart home received the highest weight of 4.400, followed by green building with 4.000 and smart property management with 3.450. In the technology component, integration of Internet of Things data obtained the highest weight of 4.950, followed by secure data sharing with 4.900 and improving operational speed with 4.850. In the citizen welfare component, security achieved a weight of 4.900, education 4.750, social care and healthcare each 4.600, opportunities 4.250, facility management 4.200, and waste management 4.050. In the investment component, economic stability received the highest weight of 4.500, followed by e-commerce with 4.450, start-ups with 4.300, and tax payment with 4.250. Overall prioritization showed that integration of Internet of Things data was the most important indicator among all studied indicators.

The measurement model results supported the reliability and validity of the constructs. The AVE values were above the acceptable threshold for all constructs: transportation 0.676, governance 0.897, housing 0.744, sustainability 0.777, welfare 0.647, investment 0.693, and technology 0.669. Composite reliability and Cronbach's alpha values were also acceptable across all constructs. Discriminant validity was confirmed using the Fornell–Larcker criterion, as the diagonal values were higher than the inter-construct correlations. The structural model results showed that the R^2 values were 0.471 for sustainability, 0.417 for welfare, 0.364 for technology, 0.338 for transportation, 0.284 for housing, 0.222 for investment, and 0.178 for governance. Path coefficients were significant for all constructs at $p = 0.000$. The strongest path coefficient was observed for sustainability with 0.686, followed by welfare with 0.646, technology with 0.603, transportation with 0.581, housing with 0.533, investment with 0.471, and governance with 0.421. VIF values were generally below the acceptable threshold, indicating that severe multicollinearity was not present.

Discussion and Conclusion

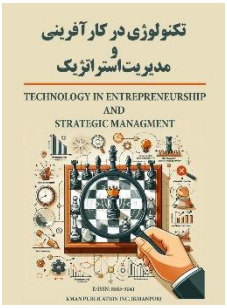
The findings indicate that blockchain technology should be understood as a multidimensional infrastructure for smart city management rather than as a limited financial or transactional technology. The priority of Internet of Things data integration shows that the most fundamental role of blockchain in smart cities is to secure, integrate, and validate the large volumes of data generated by sensors, connected devices, urban platforms, and digital services. This is especially important because smart city systems depend on trustworthy data for decision-making, service delivery, monitoring, prediction, and citizen interaction. Without secure and integrated data, other smart city applications such as intelligent transportation, smart governance, healthcare, waste management, housing, and environmental monitoring

E-ISSN: 3041-8585

cannot function effectively. The strong role of technology-related indicators also shows that blockchain can enhance operational speed, data sharing, and cybersecurity in urban systems.

The significant results for sustainability, welfare, technology, and transportation suggest that blockchain has the greatest managerial value in domains where transparency, traceability, coordination, and trust are essential. In sustainability and resilience, blockchain can support supply chain transparency, resource management, environmental monitoring, and carbon-related mechanisms. In transportation, it can improve parking management, authentication, payments, logistics, and vehicle-to-vehicle or system-to-vehicle cooperation. In governance, blockchain can strengthen participation, privacy-preserving democracy, trust, and accountability, although the lower R^2 value for governance suggests that institutional, legal, and cultural factors may also strongly influence this domain. In citizen welfare, blockchain can support secure healthcare data, education-related services, public safety, social care, and waste management. The results also show that blockchain has practical implications for housing and investment by improving transparency in property management, enabling smart home systems, supporting economic stability, and facilitating digital transactions.

Overall, the study concludes that blockchain technology has substantial potential to improve smart city management by strengthening data integrity, transparency, security, and coordination across urban systems. The most important strategic implication is that cities should prioritize blockchain applications that support Internet of Things data integration, secure data sharing, sustainability, citizen welfare, and transportation management. Successful implementation requires not only technical infrastructure but also institutional readiness, data governance standards, cybersecurity frameworks, legal support, expert training, and inter-organizational cooperation. Therefore, blockchain-based smart city development should be pursued through a phased and context-sensitive strategy that aligns technological capacity with urban priorities, public value, and long-term sustainability.



شاپای الکترونیکی: ۸۵۸۵-۳۰۴۱

تکنولوژی در کارآفرینی و مدیریت استراتژیک

دوره ۵، شماره ۳، صفحه ۲۱-۱

MAN PUBLISHING INSTITUTE

وبسایت مجله

تاریخچه مقاله
دریافت شده در تاریخ ۸ اسفند ۱۴۰۴
اصلاح شده در تاریخ ۲۰ خرداد ۱۴۰۵
پذیرفته شده در تاریخ ۲۷ خرداد ۱۴۰۵
اولین انتشار در تاریخ ۲۹ خرداد ۱۴۰۵
انتشار نهایی در تاریخ ۱ مهر ۱۴۰۵

شناسایی و اولویتبندی کاربردهای فناوری بلاکچین در مدیریت شهر هوشمند

آرزو آقامحمدی [۱]، سیدعلی صفوی [۲*]، سید مهدی خاتمی [۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲. گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳. دانشیار، گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[*]ایمیل نویسنده مسئول: Sasafavi@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله
پژوهشی اصیل

نحوه استناد به این مقاله:
آقامحمدی، آرزو.، صفوی، سیدعلی.، و خاتمی، سید مهدی. (۱۴۰۵). شناسایی و اولویتبندی کاربردهای فناوری بلاکچین در مدیریت شهر هوشمند. *تکنولوژی در کارآفرینی و مدیریت استراتژیک*، ۵(۳)، ۲۱-۱.

© ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله بصورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

چکیده

هدف این پژوهش، شناسایی و اولویتبندی کاربردهای فناوری بلاکچین در مدیریت شهرهای هوشمند است. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی–تحلیلی است و در چارچوب پارادایم نواثباتگرایی انجام شده است. در مرحله نخست، شاخصها و مؤلفهها از طریق مرور مبانی نظری استخراج شدند و سپس با استفاده از تکنیک دلفی و نظر خبرگان پالایش گردیدند. در ادامه، بهمنظور تعیین وزن نسبی معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد و در نهایت برای ارائه مدل ساختاری از روش حداقل مربعات جزئی (PLS) بهره گرفته شد. جامعه آماری شامل خبرگان حوزه شهرسازی و فناوری بلاکچین بود. نتایج نشان داد که ساختار کاربردهای بلاکچین در شهر هوشمند شامل ۲ عامل، ۷ مؤلفه و ۳۱ شاخص است. تحلیلهای اولویتبندی بیانگر آن است که شاخص «یکپارچگی دادههای اینترنت اشیا» دارای بیشترین وزن و اهمیت است. همچنین ضرایب مسیر در مدل ساختاری معنادار بوده و نشاندهنده اثرگذاری قوی فناوری بلاکچین بر ابعاد مختلف مدیریت شهر هوشمند هستند. فناوری بلاکچین با ویژگیهایی نظیر شفافیت، تغییرناپذیری و امنیت، نقش کلیدی در بهبود کارایی و امنیت زیرساختهای شهر هوشمند دارد و میتواند بهعنوان راهکاری مؤثر برای یکپارچهسازی دادهها و کاهش آسیبپذیریهای سیستمهای شهری بهکار گرفته شود.

کلیدواژگان: *فناوری بلاکچین، شهر هوشمند، مدیریت شهری، اینترنت اشیا، حکمرانی شهری*

مقدمه

رشد شتابان شهرنشینی در دههای اخیر، مدیریت شهرها را با مجموعهای پیچیده از مسائل کالبدی، اجتماعی، اقتصادی، زیستمحیطی و فناورانه روبهرو کرده است. افزایش جمعیت شهری، تراکم ترافیک، مصرف فزاینده انرژی، تولید پسماند، نابرابری در دسترسی به خدمات، ضعف شفافیت در حکمرانی شهری و ضرورت ارتقای کیفیت زندگی شهروندان، سبب شده است که الگوی سنتی اداره شهرها دیگر پاسخگوی نیازهای نوظهور نباشد. در چنین زمینهای، مفهوم شهر هوشمند بهعنوان یکی از مهمترین رویکردهای معاصر در برنامهریزی و مدیریت شهری مطرح شده است. شهر هوشمند صرفاً به معنای استفاده از ابزارهای دیجیتال در شهر نیست، بلکه نوعی نظام مدیریتی دادهمحور، مشارکتی، پایدار و انعطافپذیر است که میکوشد با ترکیب زیرساختهای فناورانه، حکمرانی کارآمد و مشارکت شهروندان، کیفیت زیست شهری را بهبود بخشد. مطالعات اخیر نشان میدهند که شهر هوشمند زمانی میتواند به توسعه پایدار منجر شود که میان فناوری، نهادهای شهری، ذینفعان و نیازهای واقعی شهروندان پیوندی منسجم برقرار گردد (Dai et al., 2024). از این منظر، شهر هوشمند نه یک پروژه صرفاً فناورانه، بلکه فرایندی اجتماعی–فنی است که در آن داده، زیرساخت، سیاستگذاری و سرمایه انسانی بهطور همزمان نقشآفرینی میکنند (Han & Kim, 2024). در همین راستا، مطالعات آیندهپژوهانه در زمینه رشد شهری نیز نشان دادهاند که کلانشهرها برای مواجهه با آینده پیچیده شهرنشینی نیازمند رویکردهای هوشمند، منعطف و مبتنی بر سناریوهای فناورانه هستند (Aliabbas Shahir et al., 2022).

در ادبیات شهر هوشمند، ابعاد متعددی برای تبیین این مفهوم مطرح شده است که از جمله آنها میتوان به اقتصاد هوشمند، حملونقل هوشمند، محیطزیست هوشمند، مردم هوشمند، زندگی هوشمند و حکمرانی هوشمند اشاره کرد. این ابعاد نشان میدهند که هوشمندسازی شهرها تنها محدود به توسعه زیرساختهای ارتباطی یا سامانههای نرمافزاری نیست، بلکه باید تمامی عرصههای زندگی شهری را دربرگیرد. برای مثال، شهر هوشمند در حوزه حملونقل به بهینهسازی جابهجایی، کاهش ازدحام، مدیریت پارکینگ و افزایش ایمنی کمک میکند (Pandian et al., 2025). در حوزه حکمرانی، شهر هوشمند میتواند با توسعه دولت الکترونیک، شفافیت، پاسخگویی و اعتماد عمومی را افزایش دهد (Margareta et al., 2025). همچنین در حوزه تابآوری شهری، برنامهریزی هوشمند میتواند ظرفیت شهرها را برای مواجهه با بحرانها، تغییرات اقلیمی، فشارهای جمعیتی و اختلالات زیرساختی تقویت کند (Almulhim, 2025). با وجود این، تحقق این ظرفیتها نیازمند زیرساختی قابل اعتماد برای مدیریت دادهها، صیانت از حریم خصوصی، امنیت اطلاعات و تضمین صحت تراکنشهای شهری است.

یکی از چالشهای بنیادین شهرهای هوشمند، وابستگی شدید آنها به دادهها و شبکههای متصل است. سامانههای حملونقل، انرژی، سلامت، آموزش، پسماند، املاک، محیطزیست و حکمرانی در شهر هوشمند دائماً داده تولید، ذخیره، پردازش و مبادله میکنند. این وضعیت اگرچه فرصتهای گستردهای برای تصمیمگیری هوشمند فراهم میکند، اما همزمان آسیبپذیریهایی نظیر سرقت داده، دستکاری اطلاعات، نقض حریم خصوصی، حملات سایبری، تمرکز قدرت دادهای و ضعف اعتماد میان ذینفعان را نیز افزایش میدهد. پژوهشها نشان دادهاند که توسعه شهر هوشمند بدون توجه به تعارض میان اشتراکگذاری داده و حفاظت از دادهها میتواند پیامدهای حقوقی، نهادی و اجتماعی قابل توجهی ایجاد کند (Joyce & Javidroozi, 2024). همچنین ارزیابی شهرهای هوشمند در سطح جهانی نشان میدهد که پایداری این شهرها وابسته به توانایی آنها در ایجاد توازن میان توسعه دیجیتال، رفاه اجتماعی و حفاظت از منافع عمومی است (Qian et al., 2024). در چنین شرایطی، فناوریهایی که بتوانند امنیت، شفافیت، قابلیت ردیابی و اعتماد را در مبادلات دادهای افزایش دهند، به بخشی ضروری از معماری شهر هوشمند تبدیل میشوند.

فناوری بلاکچین یکی از فناوریهای نوظهوری است که در سالهای اخیر توجه گستردهای را در مطالعات شهر هوشمند به خود جلب کرده است. بلاکچین بهعنوان نوعی دفتر کل توزیعشده، امکان ثبت، اعتبارسنجی و ذخیره تراکنشها را بهصورت غیرمتمرکز، شفاف، تغییرناپذیر و قابل رهگیری فراهم میکند. این ویژگیها موجب شده است که بلاکچین فراتر از کاربردهای مالی و رمزارزی، در حوزههایی مانند حملونقل، انرژی، سلامت، پسماند، املاک، مشارکت شهروندی و مدیریت دادههای شهری مورد توجه قرار گیرد. تحلیل کتابسنجی پژوهشهای بلاکچین در شهرهای هوشمند نیز نشان میدهد که این حوزه در سالهای اخیر بهسرعت گسترش یافته و به یکی از محورهای نوظهور در مطالعات مدیریت شهری تبدیل شده است (Karger et al., 2024). مطالعات مروری نیز تأکید کردهاند که بلاکچین میتواند بهعنوان یکی از فناوریهای کلیدی شهرهای هوشمند پایدار، امکان اعتمادسازی، تمرکززدایی، امنیت داده و هماهنگی میان ذینفعان را فراهم کند (Ullah et al., 2023). از این رو، شناسایی دقیق کاربردهای این فناوری در مدیریت شهر هوشمند میتواند هم از نظر نظری و هم از نظر سیاستگذاری اهمیت داشته باشد.

یکی از مهمترین عرصههای کاربرد بلاکچین در شهر هوشمند، مدیریت دادههای اینترنت اشیا است. شهرهای هوشمند به شبکه گستردهای از حسگرها، تجهیزات متصل، دوربینها، سامانههای پایش و زیرساختهای هوشمند وابستهاند. اینترنت اشیا امکان جمعآوری دادههای لحظهای از محیط شهری را فراهم میکند، اما یکپارچگی و امنیت این دادهها همچنان چالشی جدی است. پژوهشها نشان دادهاند که بلاکچین میتواند از طریق ایجاد ساختار غیرمتمرکز و تغییرناپذیر، صحت و یکپارچگی دادههای اینترنت اشیا را تضمین کند (Rahman et al., 2022). همچنین راهکارهای انتشار داده مبتنی بر بلاکچین در شهرهای هوشمند میتوانند امنیت، محرمانگی و قابلیت اعتماد در تبادل اطلاعات میان بخشهای مختلف شهری را ارتقا دهند (Mohd Shari & Malip, 2022). در همین زمینه، مطالعات دیگری نیز بلاکچین را راهکاری پیشرفته برای انتشار داده در شهرهای هوشمند دانستهاند و بر نقش آن در حملونقل، سلامت، آموزش، انرژی و ساختمان تأکید کردهاند (Shari & Malip, 2022). افزون بر این، ترکیب بلاکچین با کلاندادهها میتواند بسترهای دادهای شهر هوشمند پایدار را تقویت کرده و زمینه تحلیلهای قابل اعتمادتر را فراهم سازد (Rajalakshmi et al., 2023).

کاربرد بلاکچین در حملونقل هوشمند نیز یکی از محورهای مهم مطالعات اخیر است. حملونقل شهری از جمله حوزههایی است که در آن تراکنشهای متعدد، دادههای لحظهای، تعامل میان کاربران و سامانهها، پرداختها، احراز هویت، مدیریت پارکینگ و هماهنگی میان وسایل نقلیه نقش اساسی دارند. بلاکچین میتواند با ایجاد سازوکارهای امن و شفاف، مدیریت دادهها و تراکنشهای حملونقل را تسهیل کند. برای نمونه، پژوهشها نشان دادهاند که چارچوبهای سبک مبتنی بر بلاکچین و رایانش مه میتوانند در سامانههای حملونقل عمومی هوشمند به افزایش کارایی و امنیت کمک کنند (Baker et al., 2022). همچنین همگرایی بلاکچین و هوش مصنوعی در سامانههای حملونقل میتواند زمینه مدیریت هوشمندتر، تصمیمگیری پویا و افزایش اعتماد در شبکههای جابهجایی را فراهم کند (P. Singh et al., 2022). در حوزه پارکینگ هوشمند نیز بلاکچین امکان ایجاد چارچوبهای امن و کممصرف برای مدیریت پارکینگ در محیطهای شهری پایدار را فراهم میسازد (S. Singh et al., 2022). خدمات اشتراک پارکینگ مبتنی بر بلاکچین نیز میتواند بهرهوری استفاده از فضاهای شهری را افزایش دهد و مشکل کمبود پارکینگ در شهرهای متراکم را کاهش دهد (Ibrahim et al., 2022). از این جهت، بلاکچین نهتنها در سطح زیرساخت داده، بلکه در سطح خدمات عملیاتی حملونقل نیز قابل استفاده است.

در حوزه حکمروایی شهری، بلاکچین ظرفیت مهمی برای تقویت مشارکت، شفافیت، پاسخگویی و اعتماد عمومی دارد. حکمرانی هوشمند زمانی محقق میشود که شهروندان بتوانند در فرایندهای تصمیمگیری مشارکت کنند و همزمان اطمینان داشته باشند که دادهها و رأیهای آنان بهصورت امن، شفاف و غیرقابل دستکاری ثبت میشود. در این زمینه، پژوهشها نشان دادهاند که بلاکچین میتواند در مشارکت شهروندان در برنامهریزی شهری نقشآفرینی کند و نمونههایی مانند تجربه شهر برلین نشاندهنده امکان طراحی ارزشمحور برای مشارکت شهری

E-ISSN: 3041-8585

مبتنی بر بلاکچین است (Ietto et al., 2023). از سوی دیگر، حکمرانی بلاکچین خود نیازمند چارچوبهای نهادی، فنی و اجتماعی است و نمیتوان آن را صرفاً یک مسئله تکنولوژیک دانست (Laatikainen et al., 2023). در همین راستا، مطالعات مربوط به انتخاب کاربردهای بلاکچین در شهر هوشمند نشان میدهند که این فناوری باید با توجه به زمینه، هدف، ذینفعان و الزامات مدیریتی هر شهر به کار گرفته شود (Ho Wu et al., 2022). بنابراین، در مدیریت شهری، ارزش بلاکچین تنها در فناوری آن نیست، بلکه در نحوه انطباق آن با نیازهای حکمرانی، اعتماد عمومی و شفافیت نهادی نهفته است.

در حوزه پایداری و محیطزیست شهری نیز بلاکچین میتواند کارکردهای متعددی داشته باشد. شهرهای هوشمند پایدار نیازمند مدیریت کارآمد منابع، انرژی، پسماند، زنجیره تأمین و سنجش شاخصهای زیستمحیطی هستند. پژوهشها نشان دادهاند که بلاکچین سبز میتواند در توسعه شهرهای هوشمند پایدار نقشآفرینی کند و به کاهش اثرات زیستمحیطی و افزایش کارایی سامانههای شهری کمک نماید (Gnanamala & Bagyam, 2023). همچنین رویکردهای دوستدار محیطزیست در بلاکچین میتوانند امکان طراحی خدمات شهری پایدارتر را فراهم کنند (Gnanamalar & Bagyam, 2023). در حوزه انرژی، بلاکچین میتواند به مدیریت انرژی سبز و تبادل شفاف دادههای انرژی در شهرهای هوشمند کمک کند (Ramu et al., 2023). همچنین در حوزه همزیستی صنعتی شهری، بلاکچین ظرفیتهایی برای رهگیری جریان مواد، بهبود هماهنگی میان صنایع و تقویت اقتصاد چرخشی دارد (Godina et al., 2022). در بخش زنجیره تأمین نیز سرمایهگذاری در فناوری بلاکچین میتواند شفافیت، رهگیری و اعتماد را در شبکههای حملونقل و لجستیک افزایش دهد (Xin et al., 2022).

مدیریت پسماند یکی دیگر از حوزههایی است که بلاکچین در آن ظرفیت قابل توجهی دارد. پسماند شهری به دلیل تعدد بازیگران، ضعف شفافیت، دشواری رهگیری، هزینههای بالا و پیامدهای زیستمحیطی، به یکی از چالشهای مهم شهرهای معاصر تبدیل شده است. استفاده از بلاکچین در مدیریت پسماند میتواند امکان رهگیری مسیر تولید، جمعآوری، انتقال، بازیافت و دفع پسماند را فراهم کند. مطالعات نشان دادهاند که فناوری بلاکچین میتواند اعتماد و شفافیت را در دنیای نسبتاً مبهم مدیریت پسماند افزایش دهد (Scott et al., 2023). همچنین بررسی جامع وضعیت پژوهشها در این حوزه نشان میدهد که بلاکچین بهتدریج به ابزاری مهم برای افزایش شفافیت و کارایی در مدیریت پسماند تبدیل شده است (Baralla et al., 2023). کاربردهای بلاکچین در مدیریت پسماند، علاوه بر فرصتهای فناورانه، با چالشهایی مانند هزینه اجرا، استانداردسازی دادهها و هماهنگی نهادی نیز همراه است (Jiang et al., 2023). در بخش پسماند بیمارستانی نیز سامانههای مبتنی بر بلاکچین میتوانند رهگیری، ایمنی و پاسخگویی را افزایش دهند (Bamakan et al., 2022). از این رو، بلاکچین میتواند در مدیریت پسماند شهری و تخصصی، بخشی از راهحل حکمرانی پایدار باشد.

کاربرد بلاکچین در حوزه سلامت شهری نیز بهطور گسترده مورد توجه قرار گرفته است. در شهر هوشمند، سلامت تنها به خدمات درمانی محدود نیست، بلکه بخشی از نظام رفاه شهروندی، تابآوری اجتماعی و کیفیت زندگی محسوب میشود. پژوهشها نشان دادهاند که چارچوبهای مبتنی بر بلاکچین میتوانند توانمندسازی بیمار، کنترل دادههای سلامت، امنیت اطلاعات پزشکی و تعامل میان ارائهدهندگان خدمات سلامت را تقویت کنند (Anik et al., 2023). همچنین مطالعه دیگری در همین حوزه نشان میدهد که بلاکچین میتواند در توسعه فناوریهای سلامت هوشمند و پایدار نقش مهمی داشته باشد (Anik et al., 2023). کاربردهای بلاکچین در مراقبت سلامت پس از بحرانهایی مانند کووید-۱۹ نیز نشان داده است که این فناوری میتواند در مدیریت دادههای سلامت، ردیابی، زنجیره تأمین و اعتمادسازی میان نهادهای درمانی مؤثر باشد (Yan Ng et al., 2021). افزون بر این، ترکیب بلاکچین و هوش مصنوعی میتواند دسترسی داروسازان به دادههای سلامت را در چارچوبی امن و هوشمند تسهیل کند (Roosan et al., 2022). در حوزه اینترنت اشیای پزشکی نیز همافزایی بلاکچین و سامانههای پزشکی متصل میتواند به توسعه جامعههای پایدارتر و خدمات سلامت قابل اعتمادتر منجر شود (Sadeghi & Mahmoudi, 2024). همچنین

مرورهای جدید نشان دادهاند که ترکیب هوش مصنوعی، بلاکچین و اینترنت اشیا، مسیر تازهای برای امکانپذیر ساختن سلامت هوشمند ایجاد کرده است (Salama et al., 2024).

در کنار سلامت، بلاکچین در حوزههای املاک، مسکن، ساختمان و زیرساختهای شهری نیز کاربرد دارد. مدیریت املاک و مستغلات شهری به دلیل پیچیدگی مالکیت، اسناد، تراکنشها، اعتماد و شفافیت، میتواند از قابلیتهای بلاکچین بهرهمند شود. پژوهشها نشان دادهاند که پذیرش بلاکچین در بخش املاک میتواند به بهبود فرایندهای مرتبط با شهرهای هوشمند کمک کند (Sankar et al., 2023). در حوزه تأمین مالی مسکن نیز بلاکچین امکان بازآفرینی مدلهای مالی و افزایش شفافیت را فراهم میسازد (Proskurovska, 2023). همچنین در شهرهای هوشمند، فناوریهای نوینی مانند متاورس، اینترنت اشیا و بلاکچین میتوانند با ایجاد محیطهای دادهمحور و تعاملی، مدیریت فضاهای شهری و خدمات شهری را متحول کنند (Chen et al., 2024). با این حال، این تحولات بدون مدیریت امنیت سایبری میتوانند به تهدیدهای تازه منجر شوند. در همین زمینه، پژوهشها درباره حملات سایبری در شهرهای هوشمند مبتنی بر بلاکچین نشان میدهند که امنیت باید از مرحله طراحی در معماری شهر هوشمند لحاظ شود (Helen, 2023). سامانههای تشخیص تهدید مبتنی بر یادگیری عمیق و بلاکچین نیز میتوانند آگاهی موقعیتی امنیت سایبری و پیشبینی هشدارهای نفوذ را بهبود بخشند (Mohan J. S et al., 2024).

با وجود ظرفیتهای گسترده بلاکچین در شهرهای هوشمند، پژوهشهای موجود نشان میدهند که این حوزه هنوز با نوعی پراکندگی مفهومی، تنوع کاربردی و نبود اولویتبندی روشن مواجه است. برخی مطالعات بر سلامت و توانمندسازی بیمار تمرکز دارند (Balakrishnan et al., 2023; Reshwanth et al., 2023)، برخی بر دارورسانی و مدیریت زنجیره تأمین دارو در پیوند با اینترنت اشیا و شهر هوشمند تأکید میکنند (Malik et al., 2023)، برخی به کاربردهای بلاکچین در شهرهای هوشمند پایدار از منظر نقشهبرداری نظاممند پرداختهاند (Shahnewaz Siddiquee et al., 2022)، و برخی نیز نقش آن را در پلیس سبز و امنیت شهری بررسی کردهاند (Bose, 2023). این تنوع نشان میدهد که بلاکچین فناوریای چندکارکردی است، اما همین چندکارکردی بودن، ضرورت شناسایی، دستهبندی و اولویتبندی کاربردها را افزایش میدهد. برای مدیران شهری، صرف آگاهی از امکان استفاده از بلاکچین کافی نیست؛ آنها باید بدانند کدام کاربردها از نظر خبرگان مهمتر، عملیتر و اثرگذارتر هستند و چگونه میتوان آنها را در چارچوب سیاستها و اهداف شهری جای داد.

بنابراین، مسئله اصلی این پژوهش از شکاف میان ظرفیت نظری بلاکچین و نیاز عملی مدیریت شهر هوشمند به یک چارچوب اولویتبندیشده ناشی میشود. بر همین اساس، هدف پژوهش حاضر شناسایی و اولویتبندی کاربردهای فناوری بلاکچین در مدیریت شهر هوشمند است.

روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف در زمره تحقیقات کاربردی قرار میگیرد و از حیث روش، رویکردی توصیفی–تحلیلی را در چارچوب پارادایم نواثباتگرایی دنبال میکند. ماهیت پژوهش مبتنی بر گردآوری دادهها از طریق نظرات خبرگان و تحلیل نظاممند آنها بوده و به همین دلیل در دسته مطالعات پیمایشی قرار میگیرد. رویکرد کلی تحقیق استقرایی است، به این معنا که ابتدا با اتکا به مبانی نظری و مطالعات پیشین، مجموعهای از عوامل، مؤلفهها و شاخصهای مرتبط با کاربردهای فناوری بلاکچین در شهرهای هوشمند شناسایی شده و سپس این چارچوب اولیه از طریق تعامل با خبرگان تکمیل و پالایش گردیده است. جامعه آماری پژوهش شامل دو گروه اصلی بوده است؛ گروه نخست خبرگان حوزه شهرسازی، فناوری اطلاعات و بلاکچین هستند که نقش اصلی در ارزیابی و پالایش شاخصها از طریق تکنیک دلفی را بر عهده داشتهاند و گروه دوم شامل متخصصان و شهرسازانی است که آگاهی و تجربه عملی در زمینه کاربردهای فناوری بلاکچین در مدیریت شهری دارند.

E-ISSN: 3041-8585

انتخاب مشارکتکنندگان بهصورت هدفمند و مبتنی بر تخصص انجام شده تا اطمینان حاصل شود که دادههای گردآوریشده از اعتبار علمی و تجربی کافی برخوردار هستند.

در این پژوهش، ابزار اصلی گردآوری دادهها پرسشنامههای چندمرحلهای مبتنی بر تکنیک دلفی و سپس پرسشنامه مقایسات زوجی در چارچوب تحلیل سلسله مراتبی بوده است. در گام نخست، با انجام مرور جامع منابع فارسی و لاتین شامل مقالات علمی، کتابها و پایاننامهها، مجموعهای اولیه از عوامل، مؤلفهها و شاخصهای مرتبط استخراج شد. بر اساس این چارچوب اولیه، پرسشنامه دلفی طراحی گردید و در اختیار خبرگان قرار گرفت تا دیدگاههای تخصصی آنان در خصوص اهمیت، ارتباط و جامعیت شاخصها اخذ شود. این فرآیند بهصورت تکرارشونده در چند دور اجرا شد؛ بهگونهای که پس از هر مرحله، نتایج تحلیل شده و اصلاحات لازم در پرسشنامه اعمال گردید تا در نهایت اجماع نظری میان خبرگان حاصل شود. پس از نهایی شدن شاخصها، پرسشنامههای مبتنی بر روش تحلیل سلسله مراتبی طراحی شد تا امکان مقایسه زوجی معیارها و تعیین اهمیت نسبی آنها فراهم گردد. در مرحله نهایی نیز، دادههای لازم برای مدلسازی ساختاری از طریق ابزارهای مناسب جهت تحلیل در نرمافزار حداقل مربعات جزئی گردآوری شد تا روابط میان سازهها بهصورت تجربی مورد بررسی قرار گیرد.

تحلیل دادهها در این پژوهش بهصورت چندمرحلهای و با بهرهگیری از روشهای کمی پیشرفته انجام شده است. در مرحله نخست، دادههای حاصل از تکنیک دلفی با هدف پالایش شاخصها و دستیابی به اجماع خبرگان مورد تحلیل قرار گرفت و شاخصهایی که از توافق کافی برخوردار نبودند حذف یا اصلاح شدند. در مرحله دوم، بهمنظور تعیین وزن نسبی عوامل و اولویتبندی شاخصها، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد که امکان مقایسه نظاممند معیارها و استخراج ضرایب وزنی را فراهم میسازد. در این بخش، سازگاری قضاوتها نیز مورد بررسی قرار گرفت تا از اعتبار نتایج اطمینان حاصل شود. در مرحله نهایی، برای آزمون مدل مفهومی و بررسی روابط میان سازهها، از مدلسازی معادلات ساختاری مبتنی بر روش حداقل مربعات جزئی استفاده گردید. این تحلیل شامل ارزیابی مدل اندازهگیری از طریق شاخصهایی مانند پایایی و روایی همگرا و واگرا، و همچنین بررسی مدل ساختاری از طریق ضرایب مسیر، ضرایب تعیین و معناداری روابط بوده است.

یافتهها

در آغاز تحلیل دادهها، روایی پرسشنامه نهایی بر اساس آزمون کفایت نمونهبرداری کیزر–مایر–الکین و آزمون کرویت بارتلت بررسی شد. نتایج نشان داد مقدار KMO برابر با ۰.۷۹۲ و سطح معناداری آزمون بارتلت برابر با ۰.۰۰۰ است. بنابراین، دادههای گردآوریشده از کفایت لازم برای تحلیلهای بعدی برخوردار بوده و ماتریس همبستگی متغیرها برای ادامه تحلیل مناسب ارزیابی شد.

جدول ۱

بررسی روایی پرسشنامه مورد مطالعه

شاخص	مقدار
آزمون کفایت نمونهبرداری کیزر–مایر–الکین	۰.۷۹۲
سطح معناداری آزمون کرویت بارتلت	۰.۰۰۰

در مرحله نخست، کاربردهای سیاستها و اهداف شهری فناوری بلاکچین در شهرهای هوشمند بر اساس نظر خبرگان بررسی شد. نتایج تکنیک دلفی نشان داد که در مؤلفه پایداری و تابآوری، چهار شاخص مدیریت زنجیره تأمین، سنجش کیفیت هوا، احیای منابع و مالیات کربن تأیید شدند. در دور سوم، مدیریت زنجیره تأمین با ضریب وزنی ۴.۹۰۰ بیشترین اهمیت را داشت. در مؤلفه حکمروایی، شاخصهای تقویت

اعتماد شهروندان و دموکراسی افزوده با حفظ حریم خصوصی شهروندان تأیید شدند و شاخص دموکراسی افزوده با ضریب ۴.۸۰۰ بیشترین اثر را نشان داد. در مؤلفه حملونقل، از میان هفت شاخص اولیه، پنج شاخص مورد تأیید نهایی قرار گرفتند و مدیریت پارکینگ شهری با ضریب ۴.۸۰۰ و حل مشکلات لجستیک با ضریب ۴.۵۵۰ از شاخصهای مهم بودند. همچنین خبرگان اعلام کردند که مجوز تحرک قابل معامله با بیتکوین و اتریوم با پرداخت مربوط به حملونقل همپوشانی دارد و سفر اشتراکی نیز با حل مشکل ارتباط و همکاری در خودروها مرتبط است؛ بنابراین، این شاخصها در فرآیند پالایش حذف شدند.

جدول ۲

خلاصه نتایج نهایی دلفی در مؤلفههای پایداری، حکمروایی و حملونقل

مؤلفه	شاخص نهایی/بررسیشده	ضریب وزنی نهایی	سطح اجماع
پایداری و تابآوری	مدیریت زنجیره تأمین	۴.۹۰۰	خیلی زیاد
پایداری و تابآوری	سنجش کیفیت هوا	۴.۰۵۰	خیلی زیاد
پایداری و تابآوری	احیای منابع	۴.۸۵۰	خیلی زیاد
پایداری و تابآوری	مالیات کربن	۴.۴۵۰	خیلی زیاد
حکمروایی	تقویت اعتماد شهروندان	۴.۲۰۰	خیلی زیاد
حکمروایی	رأیگیری هوشمند	۴.۳۰۰	خیلی زیاد
حکمروایی	دموکراسی افزوده و حضور مردم با حفظ حریم خصوصی	۴.۸۰۰	خیلی زیاد
حملونقل	سفر اشتراکی	۳.۹۵۰	زیاد
حملونقل	پرداخت مربوط به حملونقل	۴.۲۵۰	خیلی زیاد
حملونقل	مجوز تحرک قابل معامله با بیتکوین و اتریوم	۴.۰۵۰	خیلی زیاد
حملونقل	حل مشکل ارتباط و همکاری در خودروها	۴.۲۰۰	خیلی زیاد
حملونقل	ارزیابی احراز هویت	۴.۲۵۰	خیلی زیاد
حملونقل	مدیریت پارکینگ شهری	۴.۸۰۰	خیلی زیاد
حملونقل	حل مشکلات لجستیک	۴.۵۵۰	خیلی زیاد

در ادامه، مؤلفههای مسکن، تکنولوژی، رفاه شهروندی و سرمایهگذاری بررسی شدند. در مؤلفه مسکن، هر سه شاخص مدیریت هوشمند املاک، ساختمان سبز و خانه هوشمند تأیید شدند و خانه هوشمند با ضریب ۴.۴۰۰ بیشترین اهمیت را داشت. در مؤلفه تکنولوژی، هر سه شاخص یکپارچگی دادههای اینترنت اشیا، کمک به سرعت عملیات و اشتراکگذاری امن دادهها تأیید شدند و یکپارچگی دادههای اینترنت اشیا با ضریب ۴.۹۵۰ مهمترین شاخص این بخش بود. در مؤلفه رفاه شهروندی، هفت شاخص مراقبت اجتماعی، مدیریت تسهیلات، فرصتها، امنیت، مراقبتهای بهداشتی، مدیریت پسماند و تحصیلات تأیید شدند و تحصیلات با ضریب ۴.۷۵۰ و امنیت با ضریب ۴.۹۰۰ در سطح بسیار بالا قرار گرفتند. در مؤلفه سرمایهگذاری نیز چهار شاخص ثبات اقتصادی، استارتآپ، تجارت الکترونیکی و پرداخت مالیات تأیید شدند و ثبات اقتصادی با ضریب ۴.۵۰۰ بیشترین تأثیر را داشت.

جدول ۳

خلاصه نتایج نهایی دلفی در مؤلفههای مسکن، تکنولوژی، رفاه شهروندی و سرمایهگذاری

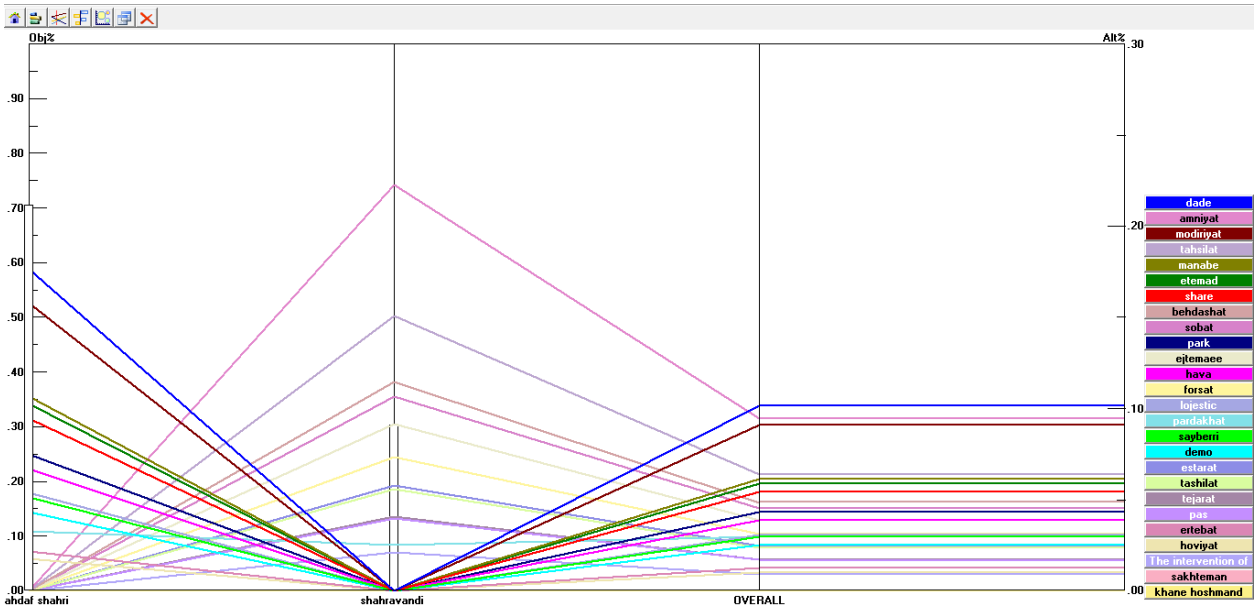
مؤلفه	شاخص	ضریب وزنی نهایی	سطح اجماع
مسکن	مدیریت هوشمند املاک	۳.۴۵۰	خیلی زیاد
مسکن	ساختمان سبز	۴.۰۰۰	خیلی زیاد

E-ISSN: 3041-8585

مسکن	خانه هوشمند	۴.۴۰۰	خیلی زیاد
تکنولوژی	یکپارچگی دادههای اینترنت اشیا	۴.۹۵۰	خیلی زیاد
تکنولوژی	کمک به سرعت عملیات	۴.۸۵۰	خیلی زیاد
تکنولوژی	اشتراکگذاری امن دادهها	۴.۹۰۰	خیلی زیاد
رفاه شهروندی	مراقبت اجتماعی	۴.۶۰۰	خیلی زیاد
رفاه شهروندی	مدیریت تسهیلات	۴.۲۰۰	خیلی زیاد
رفاه شهروندی	فرصتها	۴.۲۵۰	خیلی زیاد
رفاه شهروندی	امنیت	۴.۹۰۰	خیلی زیاد
رفاه شهروندی	مراقبتهای بهداشتی	۴.۶۰۰	خیلی زیاد
رفاه شهروندی	مدیریت پسماند	۴.۰۵۰	خیلی زیاد
رفاه شهروندی	تحصیلات	۴.۷۵۰	خیلی زیاد
سرمایهگذاری	ثبات اقتصادی	۴.۵۰۰	خیلی زیاد
سرمایهگذاری	استارتآپ	۴.۳۰۰	خیلی زیاد
سرمایهگذاری	تجارت الکترونیکی	۴.۴۵۰	خیلی زیاد
سرمایهگذاری	پرداخت مالیات	۴.۲۵۰	خیلی زیاد

شکل ۱

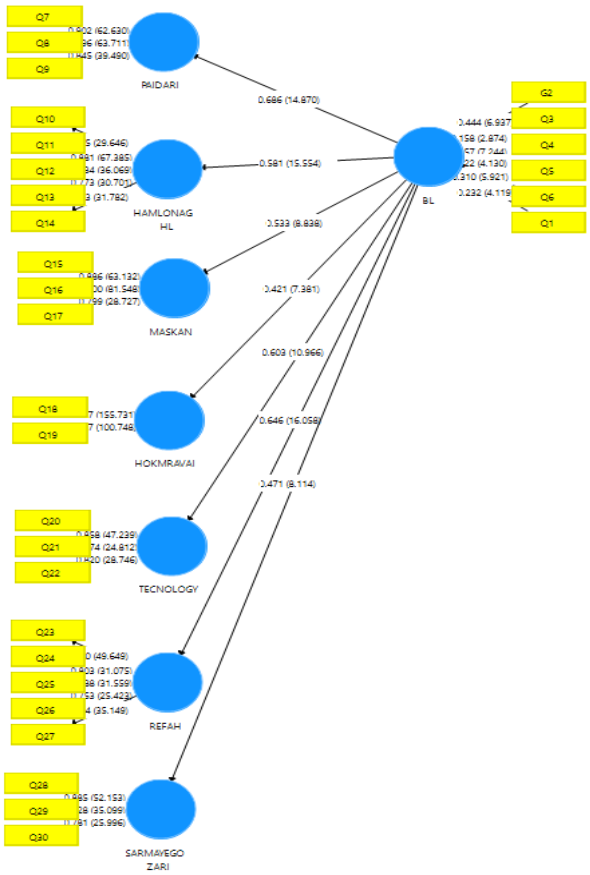
اولویتبندی شاخصهای مورد مطالعه



بر اساس نتایج اولویتبندی شاخصها، شاخص یکپارچگی دادههای اینترنت اشیا بیشترین اهمیت را در میان شاخصهای مورد مطالعه داشت. این نتیجه نشان میدهد که از دیدگاه خبرگان، مهمترین کارکرد فناوری بلاکچین در مدیریت شهر هوشمند، توانایی آن در ایجاد امنیت، انسجام، شفافیت و قابلیت اعتماد در دادههای تولیدشده توسط تجهیزات و سامانههای اینترنت اشیا است.

شکل ۲

مدل ساختاری پژوهش



در بخش مدل اندازهگیری، شاخصهای پایایی و روایی همگرا بررسی شدند. مقدار *AVE* برای همه سازهها بالاتر از ۰.۵۰ بود؛ بنابراین، روایی همگرای سازهها تأیید شد. همچنین مقادیر *CR* و *CRO* برای همه مؤلفهها در سطح قابل قبول قرار داشت و نشان داد ابزار پژوهش از پایایی درونی و پایایی ترکیبی مناسب برخوردار است.

جدول ۴

شاخصهای CR، CRO و AVE

سازه	AVE	CR	CRO
حملونقل	۰.۶۷۶	۰.۸۷۹	۰.۸۸۳
حکمروایی	۰.۸۹۷	۰.۸۸۶	۰.۹۱۰
مسکن	۰.۷۴۴	۰.۸۲۹	۰.۸۴۰
پایداری	۰.۷۷۷	۰.۸۵۶	۰.۸۵۶
رفاه	۰.۶۴۷	۰.۸۶۴	۰.۸۷۰
سرمایهگذاری	۰.۶۹۳	۰.۷۷۸	۰.۷۹۱
تکنولوژی	۰.۶۶۹	۰.۷۵۲	۰.۷۵۹

روایی واگرا نیز با استفاده از معیار فورنل و لارکر بررسی شد. نتایج نشان داد مقدار قطر اصلی ماتریس برای هر سازه از ضرایب همبستگی آن سازه با سایر سازهها بیشتر است. بنابراین، سازههای پژوهش از یکدیگر تمایز مفهومی و آماری کافی داشته و روایی واگرای مدل تأیید شد.

E-ISSN: 3041-8585

جدول ۵

روایی واگرا بر اساس معیار فورنل و لارکر

سازه	BL	حملونقل	حکمروایی	مسکن	پایداری	رفاه	سرمایهگذاری	تکنولوژی
BL	-	-	-	-	-	-	-	-
حملونقل	۰.۵۸۱	۰.۸۲۲	-	-	-	-	-	-
حکمروایی	۰.۴۲۱	۰.۴۴۱	۰.۹۴۷	-	-	-	-	-
مسکن	۰.۵۳۳	۰.۴۱۲	۰.۷۴۴	۰.۸۶۳	-	-	-	-
پایداری	۰.۶۸۶	۰.۴۸۳	۰.۴۵۵	۰.۵۵۱	۰.۸۸۱	-	-	-
رفاه	۰.۶۴۶	۰.۵۶۸	۰.۳۲۲	۰.۴۱۴	۰.۵۶۹	۰.۸۰۵	-	-
سرمایهگذاری	۰.۴۷۱	۰.۳۸۵	۰.۳۲۵	۰.۳۵۴	۰.۴۲۹	۰.۴۶۲	۰.۸۳۳	-
تکنولوژی	۰.۶۰۳	۰.۴۲۳	۰.۱۹۸	۰.۲۲۱	۰.۳۱۹	۰.۴۳۳	۰.۳۳۶	۰.۸۱۸

در بخش مدل ساختاری، ضریب تعیین برای سازههای درونزا محاسبه شد. نتایج نشان داد بیشترین مقدار R^2 مربوط به پایداری با مقدار ۰.۴۷۱ و سپس رفاه با مقدار ۰.۴۱۷ و تکنولوژی با مقدار ۰.۳۶۴ است. همچنین مقدار R^2 برای حملونقل برابر با ۰.۳۳۸، مسکن برابر با ۰.۲۸۴، سرمایهگذاری برابر با ۰.۲۲۲ و حکمروایی برابر با ۰.۱۷۸ بود. بر اساس معیار کوهن، بخش عمده این مقادیر در محدوده ضعیف تا متوسط و نزدیک به متوسط قرار میگیرند.

جدول ۶

شاخص ضریب تعیین R^2

سازه	R^2
حملونقل	۰.۳۳۸
حکمروایی	۰.۱۷۸
مسکن	۰.۲۸۴
پایداری	۰.۴۷۱
رفاه	۰.۴۱۷
سرمایهگذاری	۰.۲۲۲
تکنولوژی	۰.۳۶۴

در ادامه، ضرایب مسیر یا اندازه اثر بررسی شد. نتایج نشان داد تمامی مسیرها در سطح ۰.۰۰۰ معنادار هستند. بیشترین ضریب مسیر مربوط به پایداری با مقدار ۰.۶۸۶ و پس از آن رفاه با مقدار ۰.۶۴۶، تکنولوژی با مقدار ۰.۶۰۳ و حملونقل با مقدار ۰.۵۸۱ بود. این یافتهها نشان میدهد فناوری بلاکچین در همه سازههای مورد مطالعه اثر معنادار دارد و شدت اثر آن در بیشتر سازهها قابل توجه است.

جدول ۷

ضرایب مسیر و معناداری روابط

مسیر	Original	Sample	آمارهt	p-value

حملونقل BL -	۰.۵۸۱	۰.۵۸۷	۱۵.۵۵۴	۰.۰۰۰
حکمروایی BL -	۰.۴۲۱	۰.۴۲۴	۷.۳۸۱	۰.۰۰۰
مسکن BL -	۰.۵۳۳	۰.۰۶۰	۸.۸۳۸	۰.۰۰۰
پایداری BL -	۰.۶۸۶	۰.۰۴۶	۱۴.۸۷۰	۰.۰۰۰
رفاه BL -	۰.۶۴۶	۰.۰۴۰	۱۶.۰۵۸	۰.۰۰۰
سرمایهگذاری BL -	۰.۴۷۱	۰.۰۵۸	۸.۱۱۴	۰.۰۰۰
تکنولوژی BL -	۰.۶۰۳	۰.۰۵۵	۱۰.۹۶۶	۰.۰۰۰

در نهایت، عامل تورم واریانس برای بررسی همخطی میان شاخصها محاسبه شد. مقادیر *VIF* برای شاخصهای مختلف در دامنه قابل قبول قرار داشت. بیشتر مقادیر کمتر از ۳.۳ بودند و تنها مقدار ۳.۵۲۳ برای *Q23* مشاهده شد که همچنان در آستانه قابل پذیرش کمتر از ۴ قرار دارد. بنابراین، همخطی شدید میان شاخصها مشاهده نشد و مدل پژوهش از نظر عامل تورم واریانس تأیید شد.

جدول ۸

عامل تورم واریانس VIF

شاخص	VIF	شاخص	VIF
Q۱	۱.۰۹۵	Q۱۶	۲.۳۷۶
Q۲	۱.۵۵۰	Q۱۷	۱.۶۰۷
Q۳	۱.۴۷۹	Q۱۸	۲.۷۲۳
Q۴	۱.۱۶۰	Q۱۹	۲.۷۲۳
Q۵	۱.۰۶۰	Q۲۰	۱.۶۶۳
Q۶	۱.۱۸۳	Q۲۱	۱.۳۸۰
Q۷	۲.۷۵۲	Q۲۲	۱.۵۸۹
Q۸	۲.۷۰۳	Q۲۳	۳.۵۲۳
Q۹	۱.۷۱۴	Q۲۴	۲.۹۶۱
Q۱۰	۲.۱۹۷	Q۲۵	۲.۱۰۴
Q۱۱	۲.۸۸۱	Q۲۶	۱.۹۲۰
Q۱۲	۲.۳۳۲	Q۲۷	۱.۸۹۰
Q۱۳	۱.۸۷۳	Q۲۸	۱.۹۱۷
Q۱۴	۲.۰۷۵	Q۲۹	۱.۷۶۴
Q۱۵	۲.۱۳۸	Q۳۰	۱.۴۱۷

بحث و نتیجهگیری

یافتههای پژوهش حاضر نشان داد که کاربردهای فناوری بلاکچین در مدیریت شهر هوشمند را میتوان در قالب دو عامل، هفت مؤلفه و سیویک شاخص تبیین کرد. مؤلفههای اصلی شامل پایداری و تابآوری، حکمروایی، حملونقل، مسکن، تکنولوژی، رفاه شهروندی و سرمایهگذاری بودند. نتایج تکنیک دلفی نشان داد که بیشتر شاخصهای استخراجشده از مبانی نظری مورد تأیید خبرگان قرار گرفتند و این امر بیانگر آن است که فناوری بلاکچین نه صرفاً بهعنوان یک ابزار مالی یا رمزارزی، بلکه بهمثابه یک زیرساخت مدیریتی چندبعدی در شهر هوشمند قابل فهم است. این یافته با مطالعاتی همسو است که بلاکچین را یکی از فناوریهای بنیادی برای شهرهای هوشمند پایدار دانستهاند و آن را در حوزههایی مانند مدیریت داده، حکمرانی، حملونقل، سلامت، انرژی، پسماند و زیرساختهای شهری قابل استفاده معرفی کردهاند (Karger et

E-ISSN: 3041-8585

al., 2024; Ullah et al., 2023). همچنین نتایج حاضر با دیدگاه مطالعاتی همخوان است که شهر هوشمند را یک نظام اجتماعی–فنی میداند و تأکید میکند که موفقیت آن وابسته به تعامل میان فناوری، ذینفعان، سیاستگذاری و نیازهای شهری است (Dai et al., 2024; Han & Kim, 2024). بنابراین، یافته اصلی پژوهش تأیید میکند که بلاکچین در مدیریت شهر هوشمند باید در قالب مجموعهای از کاربردهای بههمپیوسته، نه یک فناوری منفرد، تحلیل شود.

مهمترین نتیجه پژوهش آن بود که شاخص «یکپارچگی دادههای اینترنت اشیا» بیشترین اهمیت را در میان شاخصهای مورد مطالعه به دست آورد. این یافته نشان میدهد که از دیدگاه خبرگان، بنیادیترین کارکرد بلاکچین در شهر هوشمند، ایجاد اعتماد، امنیت، شفافیت و انسجام در دادههایی است که از سامانههای متصل، حسگرها، تجهیزات شهری و زیرساختهای اینترنت اشیا تولید میشوند. این نتیجه با پژوهش Rahman و همکاران همسو است که بلاکچین را راهکاری برای تضمین یکپارچگی دادههای اینترنت اشیا در شهر هوشمند معرفی کردهاند (Rahman et al., 2022). همچنین با مطالعات Mohd Shari و Shari هماهنگی دارد که نشان دادند بلاکچین میتواند انتشار داده در شهرهای هوشمند را از نظر امنیت، اعتماد و محرمانگی تقویت کند (Mohd Shari & Malip, 2022; Shari & Malip, 2022). در همین راستا، Rajalakshmi و همکاران نیز بر نقش بلاکچین در پلتفرمهای کلانداده برای شهرهای هوشمند پایدار تأکید کردهاند و این موضوع نشان میدهد که مدیریت داده، نقطه اتصال بسیاری از کاربردهای بلاکچین در شهر هوشمند است (Rajalakshmi et al., 2023). از این منظر، برتری شاخص یکپارچگی دادههای اینترنت اشیا کاملاً قابل تبیین است؛ زیرا بدون دادههای معتبر، ایمن و غیرقابل دستکاری، هیچیک از خدمات هوشمند شهری نمیتوانند بهدرستی عمل کنند.

در مؤلفه تکنولوژی، افزون بر یکپارچگی دادههای اینترنت اشیا، شاخصهای کمک به سرعت عملیات و اشتراکگذاری امن دادهها نیز تأیید شدند. این نتیجه بیانگر آن است که خبرگان، بلاکچین را ابزاری برای افزایش کارایی عملیاتی و تسهیل تبادل امن داده میان بازیگران شهری تلقی کردهاند. این یافته با پژوهش Joyce و Javidroozi همخوان است که مسئله اصلی شهر هوشمند را ایجاد تعادل میان اشتراکگذاری داده و حفاظت از دادهها دانستهاند (Joyce & Javidroozi, 2024). از سوی دیگر، کاربرد بلاکچین در کنار هوش مصنوعی، یادگیری عمیق و اینترنت اشیا، امکان توسعه سامانههای امنیت سایبری و آگاهی موقعیتی در شهرهای هوشمند را فراهم میکند؛ چنانکه Mohan J. S و همکاران نشان دادهاند استفاده از بلاکچین همراه با یادگیری عمیق میتواند پیشبینی هشدارهای نفوذ و تهدیدهای سایبری را بهبود دهد (Mohan J. S et al., 2024). این یافته همچنین با مطالعه Helen همسو است که بر ضرورت توجه به حملات سایبری در شهرهای هوشمند مبتنی بر بلاکچین تأکید دارد (Helen, 2023). بنابراین، نتایج پژوهش حاضر نشان میدهد که مؤلفه تکنولوژی نهتنها یک بعد پشتیبان، بلکه ستون اصلی مدیریت بلاکچینمحور در شهر هوشمند است.

در مؤلفه پایداری و تابآوری، نتایج نشان داد که مدیریت زنجیره تأمین، احیای منابع، مالیات کربن و سنجش کیفیت هوا مورد تأیید خبرگان قرار گرفتند و مدیریت زنجیره تأمین بیشترین اهمیت را در این بخش داشت. این یافته با مطالعاتی همخوان است که بلاکچین را ابزار افزایش شفافیت، رهگیری و اعتماد در زنجیرههای تأمین معرفی کردهاند (Xin et al., 2022). همچنین با پژوهشهای مرتبط با بلاکچین سبز و شهر هوشمند پایدار همسو است؛ زیرا این مطالعات تأکید کردهاند که بلاکچین میتواند در مدیریت منابع، انرژی سبز و کاهش پیامدهای زیستمحیطی نقشآفرین باشد (Gnanamala & Bagyam, 2023; Gnanamalar & Bagyam, 2023; Ramu et al., 2023). از سوی دیگر، Almulhim تابآوری شهری را یکی از محورهای اصلی برنامهریزی شهر هوشمند دانسته است و یافته حاضر نشان میدهد که بلاکچین از طریق رهگیری منابع، شفافیت زنجیره تأمین و نظارت دادهمحور میتواند به تقویت این تابآوری کمک کند (Almulhim, 2025). همچنین، ارزیابی شهرهای هوشمند در دوره پساکرونا نشان داده است که پایداری شهری نیازمند سازوکارهای دقیق سنجش، مدیریت داده و پاسخگویی

نهادی است (Qian et al., 2024). از این رو، تأیید شاخصهای پایداری در پژوهش حاضر نشان میدهد که بلاکچین میتواند بهعنوان زیرساخت حکمرانی زیستمحیطی و تابآوری شهری عمل کند.

در مؤلفه حملونقل، نتایج نشان داد که مدیریت پارکینگ شهری، حل مشکلات لجستیک، پرداخت مربوط به حملونقل، ارزیابی احراز هویت و حل مشکل ارتباط و همکاری در خودروها از شاخصهای مهم بودند. این یافته با پژوهشهای متعدد در حوزه حملونقل هوشمند همخوان است. Baker و همکاران نشان دادند که چارچوبهای سبک مبتنی بر بلاکچین و رایانش مه میتوانند امنیت و کارایی سامانههای حملونقل عمومی هوشمند را افزایش دهند (Baker et al., 2022). Singh و همکاران نیز همگرایی بلاکچین و هوش مصنوعی را برای ارتقای سامانههای حملونقل مهم دانستهاند (P. Singh et al., 2022). در حوزه پارکینگ، یافته پژوهش حاضر با مطالعات Ibrahim و Singh همسو است که بلاکچین را برای خدمات اشتراک پارکینگ و چارچوبهای امن پارکینگ هوشمند مناسب دانستهاند (Ibrahim et al., 2022; S. Singh et al., 2022). همچنین، تأیید شاخص حل مشکلات لجستیک با مطالعات مربوط به کاربرد بلاکچین در زنجیرههای حملونقل و لجستیک هماهنگ است (Xin et al., 2022). با این حال، حذف برخی شاخصهای دارای همپوشانی نشان داد که در طراحی مدل کاربردی، باید از تکرار مفهومی میان شاخصها پرهیز شود و هر شاخص باید جایگاه مستقل و عملیاتی داشته باشد.

در مؤلفه حکمروایی، شاخصهای دموکراسی افزوده، حضور مردم با حفظ حریم خصوصی، تقویت اعتماد شهروندان و رأیگیری هوشمند بررسی شدند و دموکراسی افزوده با حفظ حریم خصوصی بیشترین اثر را نشان داد. این یافته نشان میدهد که بلاکچین میتواند در ایجاد سازوکارهای مشارکت شهری، افزایش اعتماد و شفافیت حکمرانی نقش مهمی داشته باشد. این نتیجه با مطالعه Ietto و همکاران همسو است که کاربرد بلاکچین در مشارکت شهروندان در برنامهریزی شهری را با رویکرد طراحی ارزشمحور بررسی کردهاند (Ietto et al., 2023). همچنین با پژوهش Margareta و همکاران هماهنگ است که دولت الکترونیک و شفافیت خدمات عمومی را در چارچوب شهر هوشمند مهم دانستهاند (Margareta et al., 2025). از سوی دیگر، Laatikainen و همکاران تأکید کردهاند که حکمرانی بلاکچین باید بهصورت سیستمی دیده شود و تنها به بُعد فنی محدود نگردد (Laatikainen et al., 2023). بنابراین، یافته پژوهش حاضر نشان میدهد که ارزش بلاکچین در حکمروایی شهری هنگامی آشکار میشود که این فناوری در خدمت مشارکت، اعتماد، حریم خصوصی و پاسخگویی نهادی قرار گیرد.

در مؤلفه رفاه شهروندی، شاخصهای امنیت، تحصیلات، مراقبت اجتماعی، مراقبتهای بهداشتی، مدیریت تسهیلات، فرصتها و مدیریت پسماند مورد تأیید قرار گرفتند. این نتیجه با ماهیت چندبعدی شهر هوشمند همخوان است؛ زیرا شهر هوشمند تنها بر زیرساختهای فنی تمرکز ندارد، بلکه هدف نهایی آن بهبود کیفیت زندگی شهروندان است (Lim et al., 2024). در حوزه سلامت، یافتههای پژوهش با مطالعاتی همسو است که بلاکچین را برای توانمندسازی بیمار، مدیریت دادههای سلامت، دسترسی ایمن به اطلاعات پزشکی و توسعه سلامت هوشمند مؤثر دانستهاند (Anik et al., 2023; Roosan et al., 2022; Yan Ng et al., 2021). همچنین، پژوهشهای مربوط به اینترنت اشیای پزشکی و ترکیب بلاکچین، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا نشان دادهاند که این فناوریها میتوانند مسیر توسعه خدمات سلامت هوشمند را تقویت کنند (Sadeghi & Mahmoudi, 2024; Salama et al., 2024). در حوزه پسماند نیز نتایج پژوهش حاضر با مطالعات Scott، Baralla، Jiang و Bamakan همخوان است که نقش بلاکچین را در شفافیت، رهگیری و مدیریت کارآمد پسماند شهری و بیمارستانی نشان دادهاند (Bamakan et al., 2022; Baralla et al., 2023; Jiang et al., 2023; Scott et al., 2023). بنابراین، رفاه شهروندی در مدل حاضر نشاندهنده پیوند میان فناوری، خدمات شهری و کیفیت زندگی است.

در مؤلفه مسکن، شاخصهای خانه هوشمند، ساختمان سبز و مدیریت هوشمند املاک تأیید شدند و خانه هوشمند بیشترین اهمیت را داشت. این یافته با مطالعات Sankar و Proskurovska همسو است که نشان دادهاند بلاکچین در بخش املاک، مستغلات و تأمین مالی

E-ISSN: 3041-8585

مسکن میتواند شفافیت، اعتماد و کارایی را افزایش دهد (Proskurovska, 2023; Sankar et al., 2023). همچنین، با توجه به گسترش فناوریهایی مانند متاورس، اینترنت اشیا و محیطهای دادهمحور شهری، مسکن هوشمند میتواند بخشی از اکوسیستم گسترده شهر هوشمند تلقی شود (Chen et al., 2024). در مؤلفه سرمایهگذاری نیز نتایج نشان داد که ثبات اقتصادی، تجارت الکترونیکی، استارتآپ و پرداخت مالیات مورد تأیید قرار گرفتند. این یافته با مطالعاتی همخوان است که بلاکچین را عامل تسهیل نوآوری، اعتماد اقتصادی، شفافیت تراکنشها و توسعه مدلهای جدید کسبوکار در شهرهای هوشمند دانستهاند (Ho Wu et al., 2022; Shahnewaz Siddiquee et al., 2022). همچنین، کاربردهای بلاکچین در حوزههای مختلفی مانند سلامت، انرژی، پسماند و لجستیک نشان میدهد که این فناوری میتواند بستر شکلگیری فرصتهای اقتصادی جدید و اکوسیستمهای نوآورانه شهری باشد (Balakrishnan et al., 2023; Bose, 2023; Godina et al., 2022; Malik et al., 2023; Reshwanth et al., 2023).

نتایج مدل اندازهگیری نشان داد که مقادیر AVE، CR و CRO برای همه سازهها در سطح قابل قبول قرار داشتند و روایی همگرا، پایایی درونی و پایایی ترکیبی ابزار پژوهش تأیید شد. همچنین نتایج روایی واگرا بر اساس معیار فورنل و لارکر نشان داد که سازهها از یکدیگر تمایز مفهومی و آماری کافی دارند. این یافتهها نشان میدهد که مدل پیشنهادی از نظر سنجش سازهها اعتبار مناسبی دارد و مؤلفههای استخراجشده میتوانند ابعاد متمایز کاربرد بلاکچین در مدیریت شهر هوشمند را منعکس کنند. در بخش مدل ساختاری نیز تمامی ضرایب مسیر معنادار بودند و بیشترین اثر مربوط به پایداری، رفاه، تکنولوژی و حملونقل بود. این الگو نشان میدهد که فناوری بلاکچین در مدیریت شهر هوشمند بیش از همه در حوزههایی اثرگذار است که نیازمند داده معتبر، شفافیت فرایندی، هماهنگی میان بازیگران و امنیت اطلاعات هستند. این نتیجه با ادبیات شهر هوشمند همخوان است که اثر توسعه شهر هوشمند را در پیوند میان حکمرانی، خدمات، زیرساخت و کیفیت زندگی تحلیل میکند (Lim et al., 2024). همچنین، نتایج با مطالعاتی سازگار است که بلاکچین را نه یک فناوری منفرد، بلکه زیرساختی میانبخشی برای مدیریت پایدار و هوشمند شهری میدانند (Karger et al., 2024; Pandian et al., 2025; Ullah et al., 2023).

محدودیتهای پژوهش حاضر از چند جهت قابل توجه است. نخست اینکه دادههای پژوهش بر اساس نظر خبرگان و متخصصان گردآوری شده است و اگرچه این رویکرد برای شناسایی و پالایش شاخصها مناسب است، اما ممکن است نتایج تحت تأثیر تجربه، زمینه تخصصی و برداشت ذهنی مشارکتکنندگان قرار گرفته باشد. دوم اینکه پژوهش حاضر بیشتر بر شناسایی و اولویتبندی کاربردهای بلاکچین تمرکز داشته و وارد ارزیابی عملیاتی هزینه، زیرساخت، آمادگی نهادی و موانع اجرایی پیادهسازی هر کاربرد نشده است. سوم اینکه با وجود استفاده از مدلسازی ساختاری، دادهها ماهیتی مقطعی داشتهاند و امکان بررسی تغییرات زمانی، پویایی پذیرش فناوری و اثرات بلندمدت بلاکچین در مدیریت شهری فراهم نبوده است.

پیشنهاد میشود پژوهشهای آینده مدل حاضر را در نمونههای بزرگتر و در شهرهای مختلف با ویژگیهای جمعیتی، اقتصادی، نهادی و فناورانه متفاوت آزمون کنند تا قابلیت تعمیم نتایج افزایش یابد. همچنین انجام مطالعات تطبیقی میان شهرهای مختلف میتواند نشان دهد که اولویتهای کاربرد بلاکچین در شهرهای بزرگ، متوسط و کوچک چگونه تفاوت پیدا میکند. پژوهشهای آینده میتوانند علاوه بر نظر خبرگان، دیدگاه مدیران اجرایی، شهروندان، شرکتهای فناور، نهادهای خدمات شهری و سیاستگذاران را نیز وارد تحلیل کنند. همچنین پیشنهاد میشود مدلهای آینده به بررسی هزینه–فایده، آمادگی زیرساختی، موانع حقوقی، چالشهای امنیتی و الزامات اخلاقی استفاده از بلاکچین در شهر هوشمند بپردازند.

از نظر کاربردی، نتایج پژوهش نشان میدهد که مدیران شهری باید در پیادهسازی بلاکچین، ابتدا بر حوزههایی تمرکز کنند که بیشترین اثر را بر یکپارچگی داده، امنیت اطلاعات و اعتماد میان ذینفعان دارند. بهویژه، یکپارچهسازی دادههای اینترنت اشیا باید در اولویت

برنامههای هوشمندسازی شهری قرار گیرد، زیرا بسیاری از خدمات شهری به دادههای دقیق و قابل اعتماد وابستهاند. همچنین پیشنهاد میشود شهرداریها و نهادهای مدیریت شهری، نقشه راهی مرحلهبندیشده برای استفاده از بلاکچین در حملونقل، پسماند، سلامت، مسکن، حکمرانی و خدمات شهروندی تدوین کنند. اجرای موفق این فناوری نیازمند آموزش نیروی انسانی، تدوین استانداردهای داده، ایجاد چارچوبهای حقوقی، تأمین امنیت سایبری و همکاری میان بخش عمومی، بخش خصوصی و جامعه شهروندی است.

تقدیر و تشکر

از تمامی کسانی که در انجام این مطالعه همراهی نمودند تشکر و قدردانی میگردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچگونه تضاد منافعی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

در پژوهش حاضر تمامی موازین اخلاقی رعایت گردیده است.

شفافیت دادهها

دادهها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

Aliabbas Shahir, N., Hosseinzadeh Dalir, K., & Nazmfar, H. (2022). Futures Studies of Urban Growth in the Metropolis of Tabriz with Emphasis on the Smart City Approach. *Urban Research and Planning*, *13*(49), 33-46.

Almulhim, A. I. (2025). Building Urban Resilience Through Smart City Planning: A Systematic Literature Review. *Smart Cities*, *8*(1), 22. https://doi.org/10.3390/smartcities8010022

Anik, F., Sakib, N., Shahriar, H., Xie, Y., Nahiyan, H., & Iqbal Ahamed, S. (2023). Unraveling a Blockchain-Based Framework Towards Patient Empowerment: A Scoping Review Envisioning Future Smart Health Technologies. *Smart Health*, *29*, 100401. https://doi.org/10.1016/j.smhl.2023.100401

Baker, T., Asim, M., Samwini, H., Shamim, N., Alani, M., & Buyya, R. (2022). A Blockchain-Based Fog-Oriented Lightweight Framework for Smart Public Vehicular Transportation Systems. *Computer Networks*, *203*, 108676. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108676

Balakrishnan, A., Jaglan, P., Selly, S., Kumar, V., & Jabalia, N. (2023). Emerging Trends of Blockchain in Bioinformatics: A Revolution in Health Care. In *Distributed Computing to Blockchain Architecture, Technology, and Applications* (pp. 389-404). https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96146-2.00018-8

E-ISSN: 3041-8585

Bamakan, S., Malekinejad, P., & Ziaeian, M. (2022). Towards Blockchain-Based Hospital Waste Management Systems: Applications and Future Trends. *Journal of Cleaner Production*, *349*, 131440. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131440

Baralla, G., Pinna, A., Tonelli, R., & Marchesi, M. (2023). Waste Management: A Comprehensive State of the Art About the Rise of Blockchain Technology. *Computers in Industry*, *145*, 103812. https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103812

Bose, R. (2023). Blockchain Technology and Green Policing: Evaluating the Efficacy for Sustainable Smart Cities in India. In *Green Blockchain Technology for Sustainable Smart Cities* (pp. 199-215). https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95407-5.00006-2

Chen, Z., Gan, W., Wu, J., Lin, H., & Chen, C. H. (2024). Metaverse for Smart Cities: A Survey. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, *4*, 203-216. https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.12.002

Dai, Y., Hasanefendic, S., & Bossink, B. (2024). A Systematic Literature Review of the Smart City Transformation Process: The Role and Interaction of Stakeholders and Technology. *Sustainable Cities and Society*, *101*, 105112. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105112

Gnanamala, H., & Bagyam, E. (2023). Eco-Friendly Blockchain for Smart Cities. In *Green Blockchain Technology for Sustainable Smart Cities* (pp. 65-96).

Gnanamalar, R., & Bagyam, J. (2023). Eco-Friendly Blockchain for Smart Cities. In *Green Blockchain Technology for Sustainable Smart Cities* (pp. 65-96). https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95407-5.00015-3

Godina, R., Bruel, A., Neves, A., & Matias, J. (2022). The Potential of Blockchain Applications in Urban Industrial Symbiosis. *IFAC-PapersOnLine*, *55*(10), 3310-3315. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.122

Han, M., & Kim, M. (2024). A Systematic Review of Smart City Research from an Urban Context Perspective. *Cities*, *150*, 105027. https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105027

Helen, D. (2023). Exploring Cyber Attacks in Blockchain Technology Enabled Green Smart City. In *Green Blockchain Technology for Sustainable Smart Cities* (pp. 343-359). https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95407-5.00005-0

Ho Wu, C. H., To Sum Ho, G., Xhafa, F., Ip, A. W. H., & van Hille, R. (2022). Blockchain in a Smart City: Its Applications and a Selection Framework. In *Collective Intelligence for Smart Cities: Intelligent Data Centric Systems* (pp. 173-209). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820139-8.00006-1

Ibrahim, M., Lee, Y., Kahng, H., Kim, S., & Kim, D. (2022). Blockchain-Based Parking Sharing Service for Smart City Development. *Computers and Electrical Engineering*, *103*, 108267. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108267

Ietto, B., Rabe, J., Muth, R., & Pascucci, F. (2023). Blockchain for Citizens' Participation in Urban Planning: The Case of the City of Berlin. A Value Sensitive Design Approach. *Cities*, *140*, 104382. https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104382

Jiang, P., Zhang, L., You, S., Van Fan, Y., Tan, R. R., Klemes, J., & You, Y. (2023). Blockchain Technology Applications in Waste Management: Overview, Challenges and Opportunities. *Journal of Cleaner Production*, *421*, 138466. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138466

Joyce, A., & Javidroozi, V. (2024). Smart City Development: Data Sharing vs. Data Protection Legislations. *Cities*, *148*, 104859. https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.104859

Karger, E., Bree, T., Ziolkowski, R., Jagals, M., & Ahlemann, F. (2024). Blockchain in Smart Cities: A Bibliometric Analysis and Overview. *International Journal of Innovation and Technology Management*. https://doi.org/10.1142/S0219877024500251

Laatikainen, G., Li, M., & Abrahamsson, P. (2023). A System-Based View of Blockchain Governance. *Information and Software Technology*, *157*, 107149. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2023.107149

Lim, Y., Edelenbos, J., & Gianoli, A. (2024). What Is the Impact of Smart City Development? Empirical Evidence from a Smart City Impact Index. *Urban Governance*, *4*(1), 47-55. https://doi.org/10.1016/j.ugj.2023.11.003

Malik, H., Anees, T., Faheem, M., Chaudhry, M., Ali, A., & Asghar, M. N. (2023). Blockchain and Internet of Things in Smart Cities and Drug Supply Management: Open Issues, Opportunities, and Future Directions. *Internet of Things*, *23*, 100860. https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100860

Margareta, Putri, A. V., Maskut, D. N., Kwuta, R. M., & Sipayung, B. (2025). Tarakan Smart City: Meningkatkan Transparansi Dan Akuntabilitas Layanan Publik Melalui E-Government. *Tumoutou Social Science Journal*, *2*(1), 61-73. https://doi.org/10.61476/89n39p90

Mohan J. S, S., Thirunavukkarasu, M., Kumaran, N., & Thamaraiselvi, D. (2024). Deep Learning with Blockchain Based Cyber Security Threat Intelligence and Situational Awareness System for Intrusion Alert Prediction. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, *42*, 100955. https://doi.org/10.1016/j.suscom.2023.100955

Mohd Shari, N., & Malip, A. (2022). State-of-the-Art Solutions of Blockchain Technology for Data Dissemination in Smart Cities: A Comprehensive Review. *Computer Communications*, *189*, 120-147. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.03.013

Pandian, P., Chavadi, C. A., Ravindran, K., & Sirothiya, M. (2025). Smart Cities, Smart Mobility. 275-304. https://doi.org/10.4018/979-8-3693-6422-2.ch013

Proskurovska, A. (2023). Re-Inventing Housing Finance with Blockchain: The Case of Sweden. *Geoforum*, *147*, 103884. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2023.103884

Qian, X., Chen, M., Zhao, F., & Ling, H. (2024). An Assessment Framework of Global Smart Cities for Sustainable Development in a Post-Pandemic Era. *Cities*, *150*, 104990. https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.104990

Rahman, M., Chamikara, M., & Khalil, I. (2022). Blockchain-of-Blockchains: An Interoperable Blockchain Platform for Ensuring IoT Data Integrity in Smart City. *Journal of Industrial Information Integration*, *30*, 100408. https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100408

Rajalakshmi, N., Mariappan, L., Saravanan, K., & Nayak, B. (2023). Blockchain-Based Big Data Platforms for Sustainable Smart Cities. In *Green Blockchain Technology for Sustainable Smart Cities* (pp. 263-276). https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95407-5.00001-3

Ramu, S., Saravanan, S., Surya, S., Krishnan, S., Sofiya, L., & Geetha, L. (2023). Blockchain-Based Green Energy for Smart Cities. In *Green Blockchain Technology for Sustainable Smart Cities* (pp. 145-166).

Reshwanth, K., Rajyalakshmi, G., Siva Prasanth, Y., Hanish, C. H., Aravind Raj, S., & Jayakrishna, K. (2023). Blockchain Technology Approach for Drug Delivery in Health Care: A Review. In *Blockchain in a Volatile-Uncertain-Complex-Ambiguous World* (pp. 89-99). https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89963-5.00004-6

Roosan, D., Wu, Y., Tatla, V., Li, Y., Kugler, A., Chok, J., & Roosan, M. (2022). Framework to Enable Pharmacist Access to Health Care Data Using Blockchain Technology and Artificial Intelligence. *Journal of the American Pharmacists Association*, *62*(4), 1124-1132. https://doi.org/10.1016/j.japh.2022.02.018

Sadeghi, M., & Mahmoudi, A. (2024). Synergy Between Blockchain Technology and Internet of Medical Things in Healthcare: A Way to Sustainable Society. *Information Sciences*, *660*, 120049. https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.120049

Salama, R., Altorgoman, A., & Al-Turjman, F. (2024). An Overview of How AI, Blockchain, and IoT Are Making Smart Healthcare Possible. In *Computational Intelligence and Blockchain in Complex Systems: System Security and Interdisciplinary Applications* (pp. 255-267). https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13268-1.00016-9

Sankar, M., Pachiyappan, S., Paramasivan, S., & Srivastava, A. (2023). Adoption of Blockchain Technology in the Real Estate Sector Toward the Improvement of Smart Cities. In *Green Blockchain Technology for Sustainable Smart Cities* (pp. 187-198).

Scott, I., de Castro Neto, M., & Pinheiro, F. (2023). Bringing Trust and Transparency to the Opaque World of Waste Management with Blockchain: A Polkadot Parathread Application. *Computers and Industrial Engineering*, *182*, 109347. https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109347

Shahnewaz Siddiquee, S., Mosaraf Hossain Khan, M., Saleh Al-Ismailc, F., Ullah, A., Shafiul Alam, M., & Ahmed, H. (2022). *Blockchain Applications in Smart Sustainable City Context: Systematic Mapping Study* The 5th International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering (REEE 2022), Brest, France.

Shari, N., & Malip, A. (2022). State-of-the-Art Solutions of Blockchain Technology for Data Dissemination in Smart Cities: A Comprehensive Review. *Computer Communications*, *189*, 120-147. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.03.013

Singh, P., Elmi, Z., Lau, Y., Borowska-Stefanska, M., Wisniewski, S., & Dulebenets, M. A. (2022). Blockchain and AI Technology Convergence: Applications in Transportation Systems. *Vehicular Communications*, *38*, 100521. https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2022.100521

Singh, S., Pan, Y., & Park, J. (2022). Blockchain-Enabled Secure Framework for Energy-Efficient Smart Parking in Sustainable City Environment. *Sustainable Cities and Society*, *76*, 103364. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103364

Ullah, Z., Naeem, M., Coronato, A., Ribino, P., & De Pietro, G. (2023). Blockchain Applications in Sustainable Smart Cities. *Sustainable Cities and Society*, 104697. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104697

Xin, X., Liu, M., Wang, X., Chen, H., & Chen, K. (2022). Investment Strategy for Blockchain Technology in a Shipping Supply Chain. *Ocean and Coastal Management*, *226*, 106263. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106263

Yan Ng, W., Tan, T., Movva, P., Hao Sen Fang, A., Yeo, K., Dean Ho, P., San Foo, F., Xiao, Z., Sun, K., Wong, T., Tiong-Heng Sia, A., & Shu Wei Ting, D. (2021). Blockchain Applications in Health Care for COVID-19 and Beyond: A Systematic Review. *The Lancet Digital Health*, *3*(12), e819-e829. https://doi.org/10.1016/S2589-7500(21)00210-7

E-ISSN: 3041-8585