

Structural analysis of inclusive metaverse spaces for the sustainability of future smart cities (Case study: Tehran Metropolis)

Leily Bakhtiari ¹ 

1- Assistant Professor, Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Article type:

Research Article

Received:

2025/05/09

Accepted:

2025/10/12

pp:

73- 90

Keywords:

Metaverse;
Smart Cities;
Urban Sustainability;
MICMAC;
Tehran.

The Metaverse, as a hypothetical virtual environment utilizing advanced technologies such as Artificial Intelligence and the Internet of Things, has the potential to contribute to the sustainability of future smart cities, enhancing urban efficiency and quality of life. In this regard, the present study aims to analyze the framework of immersive Metaverse spaces for the sustainability of future smart cities in the metropolitan area of Tehran. The research strategy is application-oriented, and the methodology is descriptive-analytical, based on exploratory futures research methods. The theoretical data were collected using a documentary method, and the empirical data were gathered through a survey method based on the Delphi technique. The target population of this study included urban experts, and a purposive sample of 70 individuals was selected. To analyze the data, the Delphi method, structural analysis in the MICMAC environment, and Scenario Wizard software were employed. The findings revealed that indicators such as transparency, demand reduction, urban simulation, and digital education play significant roles in improving smart urban sustainability. Additionally, the study demonstrated that the Metaverse can serve as an effective tool for optimizing resource consumption, increasing citizen participation, and mitigating urban risks. The final results suggest that to fully harness the potential of the Metaverse, it is necessary to strengthen digital infrastructures, enhance technology-related education, and improve cybersecurity. Overall, it is recommended that policymakers in Tehran focus on developing Metaverse technologies and integrating them with urban systems to leverage all the capabilities of this technology.



Citation: Bakhtiari, L. (2026). Structural analysis of inclusive metaverse spaces for the sustainability of future smart cities (Case study: Tehran Metropolis). *Journal of Geography and Regional Future Studies*, 3(4), 73- 90.



© Authors retain the copyright and full publishing rights. **Publisher:** Urmia University.

DOI: <https://doi.org/10.30466/grfs.2025.56183.1118>

DOR: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2981118.1404.3.4.5.9>

¹ **Corresponding author:** Leily Bakhtiari: **Email:** Leily.Bakhtiari@pnu.ac.ir, **Tell:** +989026075964

Extended Abstract

Introduction

With the expansion of emerging technologies in recent decades, cities, long symbols of human civilization and development, have entered a new phase of structural and functional transformations. In this phase, smart cities, by leveraging information technologies, communication systems, and advanced technologies such as the Internet of Things, virtual reality, and augmented reality, aim to improve citizens' quality of life, optimize urban services, and enhance infrastructure efficiency. Among these, the metaverse, as a novel digital space, has opened new horizons in urban development and forward-thinking planning. The metaverse, formed by the integration of various technologies such as artificial intelligence, cloud computing, and augmented reality, provides a platform for citizens to interact, experience, and make decisions in a simulated environment resembling real cities. This space is capable of modeling various urban scenarios, crises, and social changes, serving as an effective tool for emergency response, policy simulation, and resource optimization for urban managers. In this space, smart cities are not only enhanced in technical aspects but also strengthen social participation, cultural development, and economic and environmental sustainability. However, fully harnessing the potential of the metaverse requires addressing technological and managerial challenges and designing comprehensive, interdisciplinary strategies. In this context, this paper analyzes the future role of the metaverse in the sustainability of smart cities, focusing on Tehran, and emphasizes the need for collaboration between governmental institutions, the private sector, and society to achieve this goal.

Methodology

This research is based on a futures research approach, aimed at practical objectives and descriptive-analytical in nature. The data collection method was library-based, documentary, and survey-based, utilizing the Delphi method. The Delphi team was selected using purposive sampling, and the criteria for selecting experts included theoretical expertise, practical experience, willingness and ability to

participate in the study, and accessibility. The statistical population of the research includes experts (urban managers, urban designers, urban software specialists, urban planners, ecologists, economists, sociologists, and architects). Due to the absence of a comprehensive database for professional individuals, snowball sampling was used, and 70 individuals were selected as the sample size. Initially, 14 components were identified, and then these components were presented to specialists for further refinement, leading to the identification of 10 final influential components. In the third stage, based on expert consultations, 40 indicators were selected for analysis. A semi-structured questionnaire was distributed among specialists, and they were asked to rate the variables according to their influence and dependency using a scale of 0 to 3 in the cross-impact matrix. In this rating system, "0" means no impact, "1" means weak impact, "2" means moderate impact, "3" means strong impact, and "P" means potential impact. Cross-impact analysis was performed using the MICMAC software, and final scenarios were developed using the Scenario Wizard, with key indicators influencing the future state of the system extracted.

Results and discussion

The findings of this research indicate that the analysis of the direct and indirect impacts matrix among 40 factors led to a deeper understanding of the relationships between the influential indicators in the analysis of the metaverse spaces for the future sustainability of smart cities in Tehran. The 77.06% fill rate in the matrix suggests that most factors are interrelated and mutually influential, with only 367 zero values and the remainder being values of 1, 2, and 3. In repeated impact-dependency analyses, the indicators initially showed high levels of influence and dependency (95% and 97%), and in the second repetition, they reached full stability (100%), indicating the stabilization of the relational structure and the readiness to extract key driving forces. The direct impact-dependency map categorized the indicators into four groups: independent and driving indicators like demand reduction and digital education, linking indicators such as virtual tourism,

metaverse economy, and economic innovation, dependent indicators like virtual experience and health equity, and finally, independent or neutral indicators like local projects. Moreover, demand reduction, with the highest direct impact (60), and health equity, with the highest dependency (57), play a key role in influencing and reacting. The direct and indirect impact diagrams with 100% coverage illustrate the strength of the relationships between the indicators with various lines. Ultimately, the classification of driving indicators into four regions revealed that indicators in Region 1 are recognized as key drivers and main system catalysts for policymaking and decision-making

Conclusion

The metaverse, by combining tools such as advanced simulation, the Internet of Things, and artificial intelligence, has revolutionized the management of smart cities. In this research, Tehran was selected as a case study to examine the impact of the metaverse on the intelligent sustainability of urban environments. The findings suggest that indicators such as transparency, demand reduction, and health equity can serve as primary drivers of urban sustainability. These results align with previous studies focusing on resource optimization and energy consumption reduction. Furthermore,

urban simulations play a significant role in forecasting and reducing urban risks, emphasizing the importance of enhancing social interactions and reducing digital inequalities. The integration of the metaverse with complementary technologies such as the Internet of Things and digital twins can improve urban infrastructure. This study also addresses challenges such as cybersecurity and the need for developing adequate infrastructure. Ultimately, the research indicates that the metaverse can act as a tool for enhancing governance, transparency, and quality of life in smart cities. The recommendations of this study include strengthening digital infrastructure, improving governance transparency, expanding digital education, integrating technologies, and enhancing cybersecurity, all of which can contribute to achieving sustainability and social equity in Tehran.

Declarations

Funding: There is no funding support.

Authors' Contribution: The author approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest: The author declared no conflict of interest.

Acknowledgments: I am grateful to all the scientific consultants of this paper.



تحلیل ساختاری فضاهای متاورس فراگیر برای پایداری آینده شهرهای هوشمند در کلان‌شهر تهران

لیلی بختیاری^۱ ID

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

دریافت:

۱۴۰۴/۰۲/۱۹

پذیرش:

۱۴۰۴/۰۷/۲۰

صص:

۹۰-۷۳

واژگان کلیدی:

متاورس،

شهرهای هوشمند،

پایداری شهری،

میک مک،

تهران.

چکیده

متاورس به‌عنوان یک محیط مجازی فرضی با استفاده از فناوری‌های نوین هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء، می‌تواند به پایداری آینده شهرهای هوشمند کمک کند و کارایی و کیفیت زندگی شهری را افزایش دهد. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف تحلیل ساختاری فضاهای متاورس فراگیر برای پایداری آینده شهرهای هوشمند در کلان‌شهر تهران انجام شده است. روش تحقیق از لحاظ راهبرد هدف‌گذاری کاربردی و روش آن توصیفی-تحلیلی بر اساس روش‌های آینده‌پژوهی اکتشافی می‌باشد. داده‌های نظری با روش اسنادی و داده‌های تجربی با روش پیمایشی بر اساس روش دلفی تهیه شده است. جامعه آماری این تحقیق شامل خبرگان مسائل شهری بود که به‌صورت نمونه‌گیری هدفمند ۷۰ نفر انتخاب شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های دلفی، تحلیل ساختاری در محیط (MicMac) و نرم‌افزار سناریونویسی (Scenario Wizard) استفاده شده است. یافته‌ها نشان داد که شاخص‌های شفافیت، کاهش تقاضا، شبیه‌سازی شهری و آموزش دیجیتال نقش مهمی در بهبود پایداری شهری هوشمند دارند. همچنین، پژوهش نشان داد که متاورس می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در بهینه‌سازی مصرف منابع، افزایش مشارکت شهروندان و کاهش ریسک‌های شهری عمل کند. نتایج نهایی این پژوهش حاکی از آن است که برای بهره‌برداری بهینه از پتانسیل‌های متاورس، نیاز به تقویت زیرساخت‌های دیجیتال، افزایش آموزش‌های مرتبط با فناوری و بهبود امنیت سایبری است. به‌طور کلی، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاران در کلان‌شهر تهران بر توسعه فناوری‌های متاورس و یکپارچگی آن با سیستم‌های شهری تمرکز کنند تا بتوانند از تمامی قابلیت‌های این فناوری بهره‌برداری کنند.

استناد: بختیاری، لیلی. (۱۴۰۴). تحلیل ساختاری فضاهای متاورس فراگیر برای پایداری آینده شهرهای هوشمند در کلان‌شهر تهران. فصلنامه جغرافیا و آینده‌پژوهی منطقه‌ای، ۳(۴)، ۷۳-۹۰.

ناشر: دانشگاه ارومیه.

© نویسندگان حق چاپ و حقوق کامل نشر را حفظ می‌کنند.



DOI: <https://doi.org/10.30466/grfs.2025.56183.1118>

DOR: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2981118.1404.3.4.5.9>



مقدمه

شهرها از دیرباز به‌عنوان نمادهای توسعه تمدن بشری شناخته شده‌اند و این امر نشان‌دهنده توانایی انسان در بهره‌برداری از منابع و ایجاد جوامع پیشرفته است. هر پیشرفت تکنولوژیکی که در سطح جهانی رخ دهد، تأثیرات عمده‌ای بر ساختار و عملکرد شهرها خواهد گذاشت (Chen et al., 2024). این تحولات به تدریج شهرها را به سمت ساختارهای هوشمند و کارآمدتر سوق می‌دهد که به بهبود کیفیت زندگی و تسهیل فرآیندهای شهری کمک می‌کند (Singh et al., 2022–Mousavi et al, 2025- Hekmatnia et al, 2017). ظهور متاورس، هم‌زمان با رشد سریع فناوری‌های دیجیتال در دهه اخیر، چشم‌اندازهای جدیدی را برای تعامل انسان و محیط شهری ارائه داده و قابلیت‌هایی مانند شبیه‌سازی خدمات شهری، مشارکت شهروندی و بهبود انعطاف‌پذیری زیرساخت‌ها را فراهم ساخته است. متاورس نه تنها بازتعریف فضای فیزیکی و مجازی را ممکن ساخته بلکه بنیان‌گذار روش‌های نوینی در برنامه‌ریزی، حکمرانی و توسعه پایدار شهری نیز به شمار می‌رود (Alam, 2024).

در عصر حاضر، رشد سریع فناوری‌های دیجیتال، نیاز به رویکردهای نوین در توسعه پایدار شهرها را بیش‌ازپیش برجسته کرده است (Zamani & Besharatifar, 2025). یکی از این رویکردهای نوظهور، بهره‌گیری از فضاهای متاورس به‌عنوان بستری برای توسعه هوشمند شهری است. متاورس با ترکیب فناوری‌هایی نظیر هوش مصنوعی، واقعیت افزوده، واقعیت مجازی و اینترنت اشیا، قادر است ساختار شهرهای هوشمند را به‌صورت چشمگیری بازآفرینی کند و فرصت‌های جدیدی برای ارتقاء کیفیت زندگی، تاب‌آوری شهری و پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی فراهم آورد (Qadir and Fatah, 2023). افزون بر این، مدل‌های مبتنی بر دوقلوهای دیجیتال و هوش مصنوعی، پتانسیل بالایی در تجزیه و تحلیل داده‌ها، تصمیم‌گیری شهری و طراحی خدمات ویژه برای شهروندان دارند (Lifelo et al., 2024). در نتیجه، متاورس می‌تواند به‌عنوان ابزاری راهبردی برای تحقق اهداف توسعه پایدار به‌ویژه در مواجهه با چالش‌هایی نظیر تغییرات اقلیمی، ازدحام، کمبود منابع و نابرابری اجتماعی، در کلان‌شهرهایی همچون تهران مورد استفاده قرار گیرد (Yaqoob et al., 2023).

با ظهور نسل جدید فناوری در دهه ۲۰۲۰، مفهوم شهرهای هوشمند به‌طور گسترده‌ای مطرح شد که بر پایه سیستم‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات، بنا شده است (Mohanty et al., 2016). ظهور متاورس در سال‌های اخیر، تحولی در حوزه‌های فناوری، نوآوری و توسعه شهری ایجاد کرده است. این فضا، از طریق آواتارها، امکان تعامل انسان با محیط‌های شهری را فراهم می‌آورد و به افراد اجازه می‌دهد تا فعالیت‌های روزمره خود را انجام دهند، در ارتباطات و تراکشن‌ها مشارکت کنند و به کاوش در چشم‌اندازهای جدید در سطح جهانی بپردازند (Xu et al., 2023). متاورس، یک دنیای دیجیتال مجازی است که با جنبه‌های مختلف دنیای واقعی تعامل دارد (Chen et al., 2022) و شامل ادغام بسیاری از فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی (AI^1)، واقعیت مجازی (VR^2)، واقعیت افزوده (AR^3)، واقعیت توسعه‌یافته (XR^4) و محاسبات ابری^۵ است. با گسترش متاورس، پتانسیل آن برای تغییر شکل چشم‌انداز و زیرساخت‌های شهری، به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه محققان و تصمیم‌گیرندگان قرار گرفته است (Huynh-The et al., 2023).

به‌عنوان یک مفهوم نوظهور، متاورس منعکس‌کننده ادغام چندین سیستم اینترنت اشیا، حسگرها و فناوری‌ها، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و توسعه‌یافته در محیط‌های شهری برای ایجاد شهرهای هوشمند است که راه‌های امیدوارکننده‌ای برای ایجاد شهرهای یکپارچه هوشمند ارائه می‌دهد (Jagatheesaperumal et al., 2023). این ایده، حول محورهایی است که به‌عنوان اشکال مجازی شهرهای هوشمند آینده شناخته شده که در متاورس به‌عنوان داستان تخیلی حدس و گمان^۶ به تصویر کشیده شده است. از این رو، متاورس در شکل‌دهی جایگزین‌هایی برای تصورات اجتماعی و فنی شهرهای هوشمند نقش بسیار مهمی دارد (Bina et al., 2022). از جنبه‌ای دیگر، شهرهای هوشمند از فناوری هوشمند برای بهبود کارکردهای شهری، بهبود کیفیت زندگی ساکنان و کارآمدتر کردن زندگی شهری استفاده می‌کنند؛ بنابراین اینترنت اشیا و سیستم‌های فیزیکی سایبری نقش مهمی در ساخت شهرهای هوشمند دارند (Mohanty et al., 2016).

شهرهای هوشمند مناطق شهری هستند که از فناوری‌های دیجیتال و راه‌حل‌های پیشرفته برای ارائه زیرساخت‌های بهتر، نوسازی خدمات دولتی، بهبود دسترسی، تسهیل رشد اقتصادی و بهبود پایداری استفاده می‌کنند. شهرهای هوشمند که با ادغام فناوری‌های دیجیتال برای ارتقای کیفیت زندگی مردم مشخص می‌شوند، ذی‌نفعان اصلی قابلیت‌های متاورس هستند (Yaqoob et al., 2023). بر این اساس، متاورس می‌تواند کارکردهای شهری و رویدادهای اضطراری را شبیه‌سازی کند و قابلیت‌های واکنش اضطراری و تاب‌آوری شهری را بهبود بخشد. علاوه بر این،

¹ Artificial intelligence² Virtual reality³ Augmented reality⁴ Extended reality⁵ Cloud computing⁶ Speculative fiction

استفاده از متاورس در شهرهای هوشمند می‌تواند دسترسی و انسانیت را برای کاربران بهبود بخشد (Zallio and Clarkson, 2022). همچنین ساکنان شهرهای هوشمند با یک سیستم پولی و فرهنگی پایدار، مشارکت همه‌جانبه کاربر و تعاملات مجازی-واقعی که توسط متاورس تقویت می‌شوند، می‌توانند تغییرات را از قبل کشف کنند، رفع مشکل را شبیه‌سازی کنند و طرح‌های پیش‌گیری عملی را برای دنیای واقعی ارائه دهند (Yaqoob et al., 2023). بنابراین، متاورس با تکنیک‌ها و روش‌ها بهینه می‌تواند به بهینه‌سازی تخصیص منابع، تجزیه و تحلیل تعاملات استراتژیک، استخراج الگوها از داده‌ها و مدل‌سازی ساختارهای شبکه در شهرهای هوشمند مبتنی بر متاورس، کمک کند (Wang and Medvegy, 2022). به طور خاص، متاورس می‌تواند برنامه‌ریزی شهری و ساخت‌وساز، توسعه اقتصادی، زندگی روزمره، آموزش و رویدادهای اضطراری را در شهرهای هوشمند افزایش دهد و نحوه عملکرد، ارتباط و ارائه خدمات شهرها را در بسیاری از بخش‌ها بازتعریف کند (Trivedi et al., 2023). متاورس به عنوان یکی از نوآورانه‌ترین دستاوردهای عصر دیجیتال، ظرفیت بالایی برای بازتعریف الگوهای توسعه شهری و ارتقای عملکرد شهرهای هوشمند دارد. این فضا می‌تواند نقش مهمی در شبیه‌سازی خدمات شهری، افزایش مشارکت شهروندان، بهینه‌سازی مصرف منابع و ایجاد تاب‌آوری در برابر بحران‌ها ایفا کند (Yaqoob et al., 2023). با این حال، تحقق این پتانسیل در شهرهایی مانند تهران که با محدودیت‌های ساختاری، جمعیتی و محیط‌زیستی جدی مواجه‌اند، نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر و اقدامات زیرساختی چندلایه است. کلان‌شهر تهران، با چالش‌هایی مانند تراکم بالای جمعیت، گسترش نامتوازن فضایی، آلودگی هوا، ضعف در مدیریت داده‌محور و کمبود زیرساخت‌های فناوری نوین، نیازمند راهکارهایی فراتر از مدل‌های سنتی شهرسازی است. همچنین نبود چارچوب‌های حقوقی و اخلاقی شفاف در خصوص داده‌ها، حریم خصوصی و عدالت فناوری در استفاده از متاورس، از موانع اصلی در مسیر کاربردی‌سازی این فضا در توسعه شهری تهران است (Dorostkar & Najarsadeghi, 2023). از این رو، این پژوهش با هدف اصلی بررسی پتانسیل فضاهای سایبری متاورس در پایداری آینده شهرهای هوشمند با تمرکز بر کلان‌شهر تهران طراحی شده است. سؤال محوری تحقیق این است: چگونه می‌توان از ظرفیت متاورس برای بهبود پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی شهر هوشمند تهران بهره گرفت؟

پیشینه و مبانی نظری پژوهش

مفهوم متاورس: متاورس اصطلاحی است که نخستین بار توسط نیل استیفنسون در رمان علمی-تخیلی سقوط برف در سال ۱۹۹۲ معرفی شد و به عنوان یک دنیای مجازی مبتنی بر اینترنت توصیف شد که کاربران می‌توانند با آواتارهای دیجیتال در آن تعامل داشته باشند (Zhao et al., 2022). واژه متاورس از ترکیب متا به معنای فراتر و یونیورس (کائنات) گرفته شده و به جهانی فراتر از زمان حال و فضای فیزیکی اشاره دارد (Lee et al., 2021). با توسعه فناوری‌های نوظهور مانند بلاک‌چین، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده، واقعیت ترکیبی و محاسبات ابری، مفهوم کلاسیک متاورس بازتعریف شده و به عنوان بستری فناورانه و چندبعدی مطرح گردیده است که قابلیت ادغام دنیای فیزیکی و دیجیتال را داراست (Mystakidis, 2022). متاورس امروزی نه تنها فضای تعامل مجازی، بلکه چارچوبی اجتماعی، اقتصادی و فناورانه برای خلق تجربه‌های فراگیر، شبیه‌سازی شده و قابل سفارشی‌سازی است که نیازمند زیرساخت‌های قوی، قوانین اخلاقی شفاف و مشارکت چندذی‌نفعی برای رشد و پایداری است. از منظر نظری، متاورس را می‌توان امتداد مفهوم تحول دیجیتال در بستر جامعه پلتفرمی دانست؛ جایی که داده‌ها، الگوریتم‌ها، هویت دیجیتال و دوقلوهای مجازی، بنیان‌های جدیدی از روابط انسانی و حکمرانی فناورانه را شکل می‌دهند (Bibri & Allam, 2022). این فضا علاوه بر تأکید بر نوآوری فناورانه، به عنوان یک زیست‌بوم اجتماعی-فرهنگی در حال شکل‌گیری است که می‌تواند شیوه‌های زندگی، کار، تعاملات اجتماعی و حتی الگوهای اقتصادی را دگرگون سازد. متاورس همچنین بستر گسترده‌ای برای خلاقیت، ایده‌پردازی و توسعه همکاری‌های جمعی فراهم می‌آورد و از این منظر، نه تنها یک محیط دیجیتال، بلکه مدلی نوین برای حیات اجتماعی در عصر اطلاعات محسوب می‌شود (Chen et al., 2024). در نتیجه، توسعه متاورس نیازمند رویکردی میان‌رشته‌ای و تلفیقی از نظریه‌های فناورانه، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی است تا بتواند به عنوان زیربنایی برای آینده شهرهای هوشمند و جوامع پایدار ایفای نقش کند (Huang et al., 2022).

مفهوم شهر هوشمند: با ادغام فناوری دیجیتال در ساختارهای شهری، مفهوم شهرهای هوشمند به عنوان پاسخی حیاتی به چالش‌های ناشی از رشد بی‌رویه شهرنشینی، تغییرات اقلیمی، نابرابری در دسترسی به خدمات و فشار بر منابع طبیعی به وجود آمده است (Zeng et al., 2024). هدف اصلی در شهرهای هوشمند، بهبود پایداری زیست‌محیطی، بهره‌وری عملکردی و کیفیت زندگی شهروندان از طریق ترکیب فناوری، زیرساخت و برنامه‌ریزی شهری داده‌محور است (Mousavi & Hazrati et al., 2023). ریشه مفهومی این اصطلاح به دهه ۱۹۹۰ و انتشار کتابی با عنوان «پدیده تکنوپولیس»^۱ بازمی‌گردد که برای نخستین بار مفهوم شهر هوشمند را به معنای تلفیق فناوری اطلاعات با توسعه شهری

¹ The Technopolis Phenomenon

مطرح کرد (Patrão et al., 2020). این مفهوم ابتدا در ایالات متحده برای توصیف به‌کارگیری فناوری در زیرساخت‌های شهری به کار رفت و سپس با تحول دیجیتال، به دیدگاهی جامع‌تر بدل شد. از منظر نظری، شهر هوشمند به‌عنوان یک «نظام سایبر-فیزیکی»^۱ دیده می‌شود که در آن، داده‌ها، حسگرها، سیستم‌های هوشمند، انسان‌ها و زیرساخت‌ها در یک اکوسیستم شهری به هم متصل‌اند تا تصمیم‌گیری‌ها و خدمات بهینه‌سازی شوند (Zhu et al., 2022). برخی نظریه‌پردازان شهر هوشمند را صرفاً ابزار فناوری برای بهبود مدیریت شهری می‌دانند، درحالی‌که دیدگاه‌های دیگر بر نقش این فضاها به‌عنوان بستری برای توانمندسازی اجتماعی، ایجاد سرمایه اجتماعی و تقویت مشارکت شهروندان تأکید دارند (Vogl et al., 2020). در این راستا، شهر هوشمند در ادبیات علمی به مفاهیمی مانند «شهر دیجیتال»، «شهر پایدار»، «شهر یادگیرنده» و «شهر فراگیر» گره خورده و بر اساس رویکردهای گوناگون، می‌تواند فناوری محور یا انسان محور تعریف شود (Zheng et al., 2020). از دیدگاه سیستمی، شهر هوشمند صرفاً مجموعه‌ای از فناوری‌ها نیست، بلکه بازنمایی از پیوند هوشمندی فناوری با خرد انسانی در بستر شهری است؛ مدلی که به دنبال ارتقای انعطاف‌پذیری، پاسخگویی و تاب‌آوری در برابر چالش‌های پیچیده شهری آینده است؛ بنابراین، بنیان‌های نظری شهر هوشمند بر تلفیق ابزارهای فناوری، برنامه‌ریزی یکپارچه و مشارکت مردمی استوار است (Zhu et al., 2022).

کاربرد متاورس در شهرهای هوشمند آینده: با ادغام متاورس با مفهوم شهرهای هوشمند، پتانسیل فوق‌العاده‌ای برای گسترش و توسعه وجود دارد. متاورس می‌تواند راه‌حلی برای چالش‌های فنی موجود در شهرهای هوشمند، مانند مصرف انرژی بالای حسگرها، تأخیرهای ارتباطی، خطاهای درک الگوریتمی و نگرانی‌های امنیتی اینترنت اشیا ارائه دهد (Allam et al., 2022). ظهور متاورس از مرزهای فضای فیزیکی شهر فراتر می‌رود و امکان تجربه صحنه‌های مجازی در دنیای واقعی را فراهم می‌کند و ادغام قلمروهای مجازی و فیزیکی در اداره شهر را ارتقا می‌دهد. این ادغام سه ویژگی مهم را در هنگام ترکیب مفهوم شهر هوشمند با متاورس (گسترش و درک و تجزیه و تحلیل داده‌ها، تجربه کاربری پیشرفته و حکمرانی پویا و چابک) به ارمغان می‌آورد (Bibri, 2022). در ارتباط با ویژگی اول یعنی گسترش و درک و تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌توان بیان کرد که ترکیب متاورس با شهرهای هوشمند، امکان درک و تحلیل دقیق‌تری از داده‌های دنیای واقعی را فراهم می‌آورد. با ادغام منابع داده مجازی و فیزیکی، شهرهای هوشمند قادر خواهند بود بینش عمیق‌تری از جنبه‌های مختلف زندگی شهری همچون حمل و نقل، مصرف انرژی و رفتار شهروندان به دست آورند (Al Nuaimi et al., 2015). این تجزیه و تحلیل پیشرفته داده‌ها، به تصمیم‌گیری دقیق‌تر، تخصیص منابع کارآمدتر و بهبود مدیریت شهری کمک می‌کند (Chen et al., 2024). در ارتباط با ویژگی دوم یعنی تجربه کاربری پیشرفته، ترکیب متاورس با شهرهای هوشمند، تجربه کاربری پیشرفته‌ای را از طریق محیط‌های مجازی تعاملی فراهم می‌کند. ساکنان می‌توانند در فضاهای مجازی شهرها کاوش کرده، با زیرساخت‌ها تعامل داشته و در فرآیندهای برنامه‌ریزی مشارکت کنند. این تجربه نه تنها تعامل را افزایش می‌دهد بلکه به شهروندان امکان می‌دهد تا در تصمیم‌گیری‌های شهری نقش فعال‌تری داشته باشند (Chen et al., 2022). ویژگی سوم یعنی حکمرانی پویا و چابک نشان می‌دهد که ادغام متاورس با شهرهای هوشمند، حکمرانی پویا و چابکی را تسهیل می‌کند. از طریق شبیه‌سازی‌های مجازی و تجزیه و تحلیل داده‌ها، مدیران شهری می‌توانند به سرعت تصمیم‌گیری کنند و اثرات سیاست‌ها را ارزیابی نمایند. این انعطاف‌پذیری در حکمرانی باعث می‌شود که مدیریت شهری قادر به پاسخگویی سریع به چالش‌ها و استفاده از فرصت‌ها باشد. شهرهای هوشمند در متاورس به‌عنوان پلتفرم‌های یکپارچه مدیریت شهری عمل کرده و رویکردی هوشمندانه‌تر برای توسعه شهر ارائه می‌دهند (Cavalcante et al., 2016). در جدول (۱)، مهم‌ترین شاخص‌های کاربرد متاورس در شهرهای هوشمند آینده ارائه شده است:

جدول ۱- شاخص‌های کاربرد متاورس در شهرهای هوشمند آینده

منبع	شرح	شاخص
Yaqoob et al., 2023	متاورس با بهره‌گیری از داده‌های کلان و فناوری‌های شبیه‌سازی، امکان بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت شهری را فراهم کرده و با تقویت بهره‌وری، رفاه شهروندان و پایداری محیطی نقش اساسی ایفا می‌کند.	مدیریت و بهینه‌سازی شهر هوشمند
Wang et al., 2022	متاورس افق‌های جدیدی برای برنامه‌ریزی شهری باز می‌کند و با استفاده از الگوریتم‌ها و داده‌های آنلاین، شبیه‌سازی‌های دقیقی برای ارزیابی ریسک و تأثیر تغییرات شهری ارائه می‌دهد.	برنامه‌ریزی و شبیه‌سازی شهری هوشمند
Kuru, 2023	متاورس با دیجیتالی کردن خدمات و استفاده از کارت‌های شناسایی و فرم‌های دیجیتال، دسترسی آسان‌تر شهروندان به اطلاعات و مشارکت در فرآیندهای تصمیم‌گیری را فراهم می‌آورد.	خدمات و مشارکت شهروندان هوشمند
Yaqoob et al., 2023	متاورس از طریق پلتفرم‌های دیجیتال و مدل‌های کسب و کار نوآورانه، رشد اقتصادی و اشتغال را افزایش داده و کسب و کارها را به سمت نوآوری سوق می‌دهد.	اقتصاد هوشمند

¹ Cyber-Physical System

منبع	شرح	شاخص
Allam et al., 2022	با استفاده از فناوری واقعیت مجازی، تجربه‌های منحصر به فردی برای گردشگران ایجاد می‌شود. شهرها می‌توانند دامنه دسترسی خود را گسترش داده و تنوع در خدمات گردشگری ارائه دهند.	گردشگری هوشمند
Bibri and Allam., 2022	رویدادها و نمایشگاه‌های مجازی، حس تعلق و پیوند اجتماعی را تقویت کرده و به بهبود کیفیت زندگی و انسجام اجتماعی کمک می‌کنند.	کیفیت زندگی هوشمند
Yaqoob et al., 2023	متاورس از طریق شبیه‌سازی و دوقلوهای دیجیتال، مدیریت انرژی و کاهش هزینه‌ها را تسهیل می‌کند. این فناوری همچنین به پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر کمک می‌کند.	انرژی و شبکه هوشمند
Bibri and Allam., 2022	متاورس با شفافیت و مشارکت عمومی، سیاست‌گذاری و حکمرانی هوشمند را ارتقا داده و امکان پیش‌بینی روندها و توسعه استراتژی‌های پیشگیرانه را فراهم می‌کند.	حکمرانی و سیاست‌گذاری هوشمند
Wang and Medvegy, 2022	با ادغام محیط‌های مجازی و تحلیل‌های پیش‌بینی کننده، بهینه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل و زیرساخت‌ها تسهیل می‌شود.	حمل‌ونقل، زیرساخت‌ها و شبکه‌های هوشمند
Maier and Weinberger, 2024	کلینیک‌های مجازی و پلتفرم‌های پزشکی از راه دور، خدمات سلامت را گسترش داده و همکاری بین متخصصان بهداشتی را تسهیل می‌کنند.	مراقبت‌های بهداشتی هوشمند

در سال‌های اخیر، فناوری‌هایی مانند متاورس با تلفیق اینترنت اشیاء، واقعیت افزوده و دوقلوهای دیجیتال، نقش مهمی در مدیریت هوشمند شهرها ایفا کرده‌اند. این فناوری‌ها با ایجاد فضای مجازی پیوسته با دنیای واقعی، به بهبود کیفیت زندگی شهری کمک می‌کنند، اما هم‌زمان چالش‌هایی فنی، امنیتی و قانونی نیز به همراه دارند که نیازمند بررسی دقیق است. در این راستا، تحقیقات گسترده‌ای به تحلیل این مسائل پرداخته‌اند. یعقوب و همکاران (۲۰۲۳)، فرصت‌ها و چالش‌های ناشی از متاورس را مورد بررسی قرار داده و نقش فناوری‌های ارتباطی مانند اینترنت اشیاء و واقعیت افزوده را در بهبود زیرساخت‌ها و خدمات دولتی برجسته کرده‌اند. در این میان، مینگ^۱ و همکاران (۲۰۲۳)، تأثیر داده‌های مکانی بر بهینه‌سازی محیط‌های شهری در متاورس را تحلیل کرده و چالش‌های فنی آن را مطرح کرده‌اند. همچنین، کورو^۲ (۲۰۲۳)، با ارائه چارچوب MetaOmniCity، به متاورس کردن شهرها از طریق دوقلوهای دیجیتال پرداخته است، درحالی‌که مایر و واینبرگر^۳ (۲۰۲۴)، کاربردهای متاورس در ۴۸ شهر هوشمند را بررسی کرده و چالش‌های ارزیابی سودمندی آن‌ها را تحلیل کرده‌اند.

همچنین، وانگ و مدویگی^۴ (۲۰۲۲)، روندهای متاورس و تلفیق آن با شهرهای هوشمند را تحلیل کرده و به اهمیت آن برای توسعه پایدار شهرها اشاره کرده‌اند. بیری و آلام^۵ (۲۰۲۲)، نیز بر کاربرد متاورس در تحولات شهری پس از پاندمی COVID-19 تأکید کرده‌اند و چالش‌های ایجاد یک شهر هوشمند مبتنی بر این فناوری را بررسی کرده‌اند. در مطالعات بعدی، آلام^۶ و همکاران (۲۰۲۴)، به بررسی ادغام متاورس و اینترنت اشیاء پرداخته و مزایای آن را در بهبود کیفیت زندگی شهری و الزامات قانونی مرتبط مطرح کرده است. آنوبها^۷ و همکاران (۲۰۲۴)، نیز ترکیب فناوری متاورس را برای کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی در صنایع مختلف از جمله حمل‌ونقل شهری بررسی کرده‌اند. در همین راستا، چاتزوپولو^۸ و همکاران (۲۰۲۳)، تأثیرات اقتصادی متاورس بر شهرهای هوشمند را بررسی کرده و بر لزوم پیاده‌سازی اصول اخلاقی و اقتصادی عادلانه تأکید کرده‌اند. ورما^۹ (۲۰۲۴)، به تأثیر هوش مصنوعی و متاورس بر تجربه‌های شهروندی و پایداری شهری پرداخته و مدلی برای کنترل آلودگی هوا ارائه داده است. همچنین، بیری و جاگاتیسپرمال^{۱۰} (۲۰۲۴)، نقش فناوری‌های واقعیت افزوده در بهبود اینترنت اشیاء شهری را مورد بررسی قرار داده‌اند و زینب و باوانای (۲۰۲۳)، هم‌افزایی دوقلوهای دیجیتال و متاورس را در مدیریت شهری تحلیل کرده‌اند.

پژوهش‌ها همچنین به چالش‌ها و فرصت‌های متاورس در توسعه پایدار شهرها پرداخته‌اند. فلاحیان و همکاران (۱۴۰۳)، شاخص‌های حکمرانی در شهرهای هوشمند متاورسی با تأکید بر نقش فناوری‌های ارتباطی بررسی شده‌اند. سجادیان (۱۴۰۲)، تحولات مفهومی شهرهای هوشمند تحت تأثیر متاورس و کریپتو بررسی و راهبردهایی برای آینده‌نگاری ارائه شده است. فاراگ^۹ (۲۰۲۴) و چن و همکاران (۲۰۲۴)، نیز به پتانسیل متاورس در بهبود حمل‌ونقل شهری و مدیریت نوآورانه شهرها پرداخته‌اند، درحالی‌که تریدی و همکاران (۲۰۲۳)، موانع توسعه متاورس در شهرهای هوشمند را، به‌ویژه در زمینه‌های امنیت و حریم خصوصی، بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعات پیشین نشان می‌دهد که متاورس و فناوری‌های مکمل آن

^۱ Meng

^۲ Kuru

^۳ Maier and Weinberger

^۴ Wang and Medvegy

^۵ Alam

^۶ Anubha

^۷ Chatzopoulou

^۸ Bibri and Jagatheesaperumal

^۹ Farag

همچون اینترنت اشیا، دوقلوهای دیجیتال و واقعیت افزوده، ظرفیت بالایی برای ارتقای کیفیت زندگی، بهینه‌سازی خدمات شهری و توسعه پایدار در شهرهای هوشمند دارند؛ با این حال، این پژوهش‌ها با محدودیت‌هایی مواجه‌اند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تمرکز غالب بر تحلیل‌های نظری، فقدان مطالعات زمینه‌مند و بومی‌شده و کم‌توجهی به مسائل عملیاتی‌سازی در بسترهای پیچیده شهری اشاره کرد. بسیاری از این مطالعات در چارچوب شهرهای توسعه‌یافته شکل گرفته‌اند و به اقتضائات خاص کلان‌شهرهایی مانند تهران که با چالش‌هایی نظیر فرسودگی زیرساخت، تراکم جمعیتی، نابرابری فضایی و ضعف در حکمرانی داده‌محور مواجه‌اند، توجه کافی نداشته‌اند. همچنین، در اغلب پژوهش‌ها، تعامل میان فناوری‌های پیش‌گفته در یک چارچوب یکپارچه و قابل پیاده‌سازی در فضای واقعی شهری به‌درستی تحلیل نشده است. در این راستا، پژوهش حاضر با تمرکز بر تحلیل ساختاری فضاهای متاورس در کلان‌شهر تهران و با بهره‌گیری از رویکردی آینده‌نگر می‌کوشد الگویی نوین برای ارتقای پایداری و کارآمدی مدیریت شهری ارائه دهد. جنبه نوآورانه این تحقیق در رویکرد تلفیقی آن به فناوری، حکمرانی و زمینه‌های اجتماعی-فرهنگی در بستری بومی و پیچیده همچون تهران است؛ موضوعی که در ادبیات علمی پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته و می‌تواند گامی مؤثر در جهت توسعه مفهومی و کاربردی شهرهای هوشمند مبتنی بر متاورس باشد.

مواد و روش پژوهش

این پژوهش مبتنی بر رویکرد آینده‌پژوهی است و از لحاظ هدف کاربردی و به لحاظ نوع توصیفی-تحلیلی می‌باشد. مبنای گردآوری اطلاعات روش کتابخانه‌ای، اسنادی و پیمایشی و بر اساس روش دلفی (نوع ترکیبی، چندمرحله‌ای، نیمه‌ساختاریافته) بوده است. مراحل روش دلفی شامل شناسایی اولیه مؤلفه‌ها توسط خبرگان و پالایش آن‌ها برای انتخاب مؤلفه‌های نهایی است، سپس با توزیع پرسشنامه نیمه‌ساختاریافته، امتیازدهی تأثیرگذاری و تأثیرپذیری شاخص‌ها انجام شده و تحلیل‌های کمی صورت گرفته است. در نهایت، نتایج برای تدوین سناریوهای آینده و مدل‌سازی عوامل کلیدی به کار گرفته شده‌اند. در انتخاب تیم دلفی، از روش نمونه‌گیری هدفمند (نمونه‌گیری گلوله برفی)^۱ استفاده شده و معیارهای انتخاب خبرگان شامل تسلط نظری، تجربه عملی، تمایل و توانایی مشارکت در پژوهش و امکان دسترسی بوده است. جامعه آماری این پژوهش خبرگان (جغرافیدانان، برنامه‌ریزان شهری، مدیران شهری، طراحان شهری، متخصصان نرم‌افزار در حوزه شهری، اکولوژیست‌ها، اقتصاددانان و جامعه شناسان) می‌باشد که با توجه به عدم وجود یک پایگاه داده جامع برای لیست افراد حرفه‌ای ۷۰ نفر به‌عنوان حجم نمونه به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. در بخش روایی و پایایی، ابتدا ۱۴ مؤلفه پژوهش شناسایی شد و سپس برای اطمینان از صحت و قابلیت اعتماد نتایج، این مؤلفه‌ها در اختیار متخصصان و خبرگان قرار گرفت. با انجام بررسی‌ها و اصلاحات لازم توسط این گروه، مؤلفه‌ها مورد ارزیابی دقیق قرار گرفتند تا از تناسب و کفایت آن‌ها اطمینان حاصل شود؛ در نهایت، ۱۰ مؤلفه نهایی به‌عنوان عوامل مؤثر انتخاب شدند. در مرحله سوم، با تمرکز بر نظرخواهی نهایی از خبرگان، تعداد ۴۰ شاخص جهت تجزیه و تحلیل انتخاب گردید. سپس پرسشنامه نیمه ساختاریافته بین کارشناس متخصص و خبره توزیع شد و از آن‌ها خواسته شد تا در چارچوب ماتریس اثرات متقاطع به متغیرها، بر مبنای تأثیرگذاری و تأثیرپذیری با اعدادی در طیف ۰ تا ۳ امتیاز دهند. در این امتیازدهی «صفر» به معنای بدون تأثیر، «یک» به معنای تأثیر ضعیف، «دو» به معنای تأثیر متوسط، «سه» به معنای تأثیر زیاد و «P» به معنای تأثیر بالقوه است. برای تحلیل تأثیرات متقاطع از نرم‌افزار میک مک^۲ و برای تدوین سناریوهای نهایی از سناریو ویزارد^۳ استفاده شد و شاخص‌های کلیدی مؤثر بر وضعیت آینده سیستم استخراج شدند. در ادامه متغیرهای تأثیرگذار شناسایی و برای مدل‌سازی عوامل کلیدی مؤثر بر فضاهای متاورس فراگیر برای پایداری آینده شهرهای هوشمند در کلان‌شهر تهران به کار گرفته شدند.

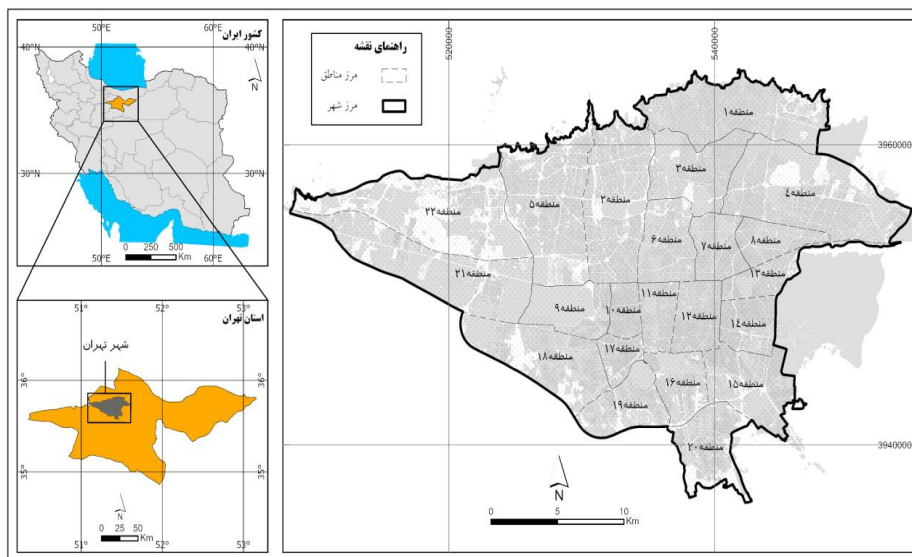
محدوده مورد مطالعه

کلان‌شهر تهران به‌عنوان پایتخت ایران، نمونه‌ای بارز از چالش‌ها و ظرفیت‌های شهرهای در حال گذار به‌سوی هوشمندی و پایداری است. با جمعیتی بالغ بر ۹ میلیون نفر در هسته شهری و بیش از ۱۵ میلیون نفر در منطقه کلان‌شهری، تهران با مشکلاتی همچون آلودگی هوا، ترافیک سنگین و ناپایداری زیست‌محیطی روبروست که لزوم بهره‌گیری از راهکارهای نوین مانند توسعه فضاهای متاورس در آن را ضروری می‌سازد. از این رو، تحقق شهر هوشمند در تهران نیازمند به‌کارگیری ابزارهایی همچون خدمات اجتماعی هوشمند، مدیران متخصص در فناوری اطلاعات و زیرساخت‌های پشتیبان الکترونیک است که نقش کلیدی در تحقق پایداری شهری دارند (Hatami et al., 2023).

¹ Snowball sampling

² MicMac

³ SCENARIO WIZARD



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی کلان‌شهر تهران

(ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴)

بحث و ارائه یافته‌ها

تحلیل مقادیر شاخص‌های ماتریس تأثیرات مستقیم: تحلیل ماتریس تأثیرات مستقیم نشان می‌دهد که از ۴۰ عامل، بیشتر روابط میان عوامل تأثیرات معنادار و قابل توجهی دارند. با درصد پرشدگی ماتریس برابر (۷۷/۰۶) درصد، تعداد صفرها (۳۶۷)، نشان‌دهنده عدم تأثیر میان برخی عوامل است، درحالی‌که مقادیر غیرصفر نظیر تعداد یک (۳۰۱)، دو (۳۰۷) و سه (۳۰۴) برای تأثیرات مستقیم نشان‌دهنده تأثیرات مختلف هستند (جدول ۲).

جدول ۲- تحلیل مقادیر شاخص‌های ماتریس تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم

شاخص	ابعاد ماتریس	تعداد تکرار	تعداد صفر	یک تعداد	دو تعداد	تعداد سه	P تعداد	جمع	پرشدگی درصد
تأثیرات مستقیم	۴۰	۲	۳۶۷	۳۰۱	۳۰۷	۳۰۴	۳۲۱	۱۲۳۳	۷۷/۰۶

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

تحلیل تأثیر-وابستگی در تکرارها: تحلیل ماتریس تأثیر-وابستگی نشان می‌دهد که شاخص‌ها در تکرار اول تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بالایی دارند (۹۵٪ و ۹۷٪) و در تکرار دوم به پایداری کامل (۱۰۰٪) رسیده‌اند. این نشان‌دهنده تثبیت روابط میان شاخص‌ها و آمادگی مدل برای استخراج پیشران‌های کلیدی جهت تحلیل ساختاری فضاهای متاورس فراگیر برای پایداری آینده شهرهای هوشمند در کلان‌شهر تهران است (جدول ۳).

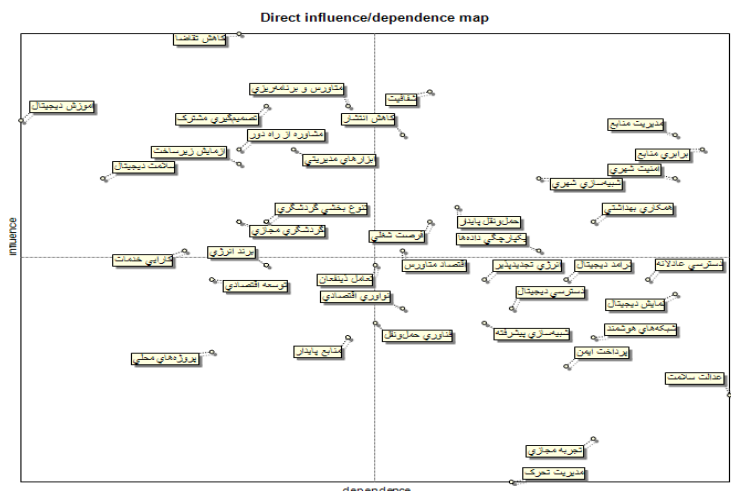
جدول ۳- تحلیل تأثیر-وابستگی در تکرارها

چرخش	تأثیرگذاری (درصد)	تأثیرپذیری (درصد)
۱	۹۵	۹۷
۲	۱۰۰	۱۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

تحلیل نمودار تأثیر-وابستگی مستقیم: نقشه تأثیر-وابستگی مستقیم شاخص‌ها را در چهار بخش طبقه‌بندی کرده است. عوامل مستقل در سمت چپ بالا (کاهش تقاضا و آموزش دیجیتال) قرار دارند، دارای تأثیرگذاری بالا و وابستگی کم هستند و به‌عنوان عوامل کلیدی یا پیشران شناخته می‌شوند و بر دیگر عوامل اثر زیادی دارند، اما تحت تأثیر عوامل دیگر نیستند. عوامل پیوندی که در مرکز (تنوع‌بخشی گردشگری، گردشگری مجازی، اقتصاد متاورس، فرصت شغلی، تعامل ذی‌نفعان، فناوری حمل‌ونقل، منابع پایدار، شبیه‌سازی پیشرفته و نوآوری اقتصادی) دیده می‌شوند، دارای تأثیرگذاری و وابستگی بالا هستند و در تعامل با سایر متغیرها بسیار حساس هستند و هر تغییری در آن‌ها به‌کل سیستم منتقل می‌شود. عوامل وابسته که در سمت راست پایین (مدیریت تحرک، تجربه مجازی و عدالت سلامت) قرار دارند، تأثیرگذاری کم و وابستگی زیاد

دارند و این عوامل بیشتر از اینکه اثرگذار باشند، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. عوامل مستقل یا خنثی در سمت چپ پایین (پروژه‌های محلی) قرار دارند و تأثیرگذاری و وابستگی کم دارند این عوامل معمولاً تأثیر کمی بر سیستم دارند و نقش مهمی در پویایی کلی ایفا نمی‌کنند (شکل ۲).



شکل ۲- نمودار تأثیر-وابستگی مستقیم

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

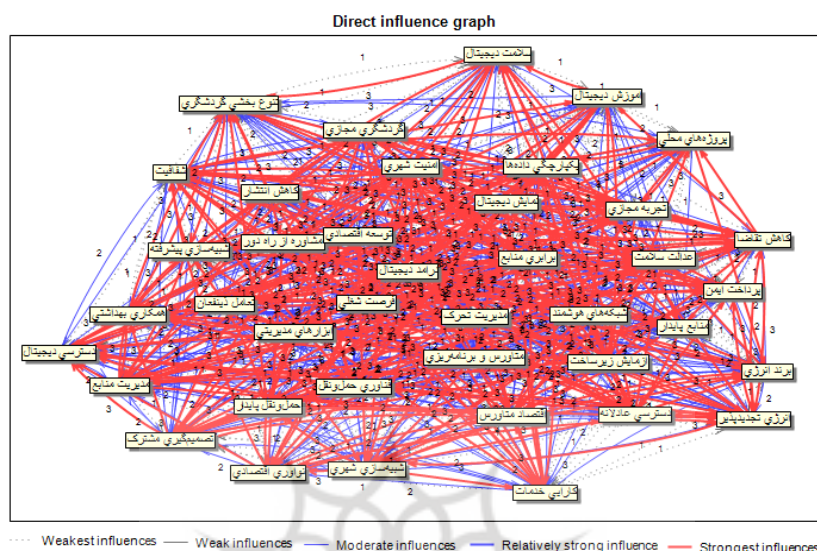
شاخص‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیری به صورت مستقیم و غیرمستقیم: نتایج تأثیرات مستقیم شاخص‌ها به طور واضح نشان‌دهنده تفاوت‌های چشمگیر در میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر یکدیگر است. شاخص کاهش تقاضا با بالاترین میزان تأثیر مستقیم (۶۰) و شاخص شفافیت با مقدار (۵۶)، بیشترین تأثیرگذاری را در میان شاخص‌های دیگر دارند. در مقابل، شاخص‌های مدیریت تحرک (۲۹) و تجربه مجازی (۳۲) کمترین تأثیر مستقیم را دارند. با توجه به مقادیر تأثیرپذیری در تأثیرات مستقیم، بالاترین تأثیرپذیری‌ها مربوط به شاخص‌های عدالت سلامت (۵۷) و برابری منابع (۵۶) هستند که نشان‌دهنده تأثیر زیاد این شاخص‌ها در بخش تأثیرپذیری هستند. در مقابل، پایین‌ترین تأثیرپذیری‌ها به شاخص‌های آموزش دیجیتال (۳۱) و سلامت دیجیتال (۳۴) تعلق دارند که نشان‌دهنده تأثیر کم این شاخص‌ها در تحلیل فضاهای متاورس فراگیر برای پایداری آینده شهرهای هوشمند در کلان‌شهر تهران هستند (جدول ۴).

جدول ۴- میزان تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم شاخص‌ها بر همدیگر

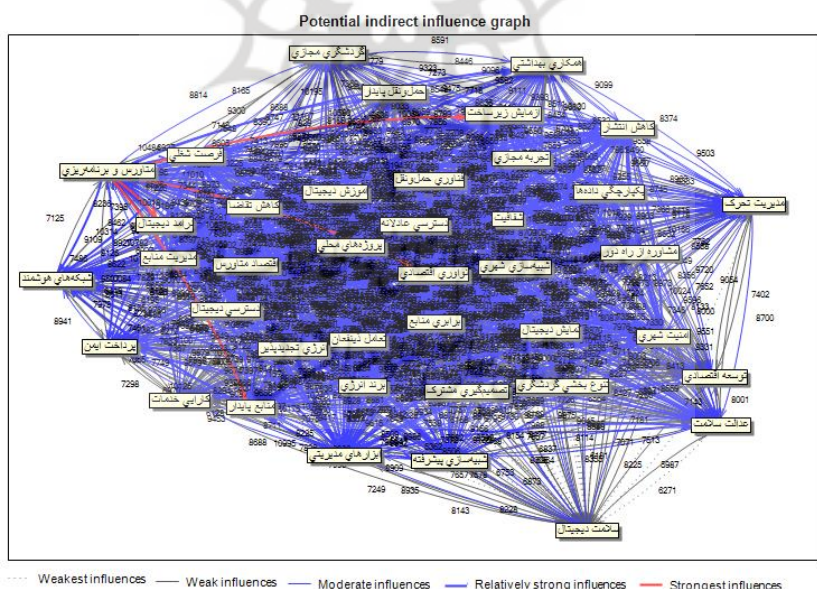
ردیف	شاخص	میزان تأثیرات مستقیم		ردیف	شاخص	میزان تأثیرات غیرمستقیم	
		تأثیر پذیری	تأثیر گذاری			تأثیر پذیری	تأثیر گذاری
۱	مدیریت منابع	۱۱۴۵۶۲	۵۳	۲۱	سلامت دیجیتال	۱۰۶۶۹۵	۷۰۲۵۵
۲	کاهش تقاضا	۸۱۱۶۸	۶۰	۲۲	مشاوره از راه دور	۱۰۴۱۹۳	۷۸۱۵۵
۳	منابع پایدار	۸۷۹۰۶	۳۹	۲۳	همکاری بهداشتی	۹۸۰۱۳	۱۰۶۰۲۹
۴	ابزارهای مدیریتی	۸۵۹۹۳	۵۲	۲۴	عدالت سلامت	۷۵۰۳۲	۱۱۵۵۴۵
۵	کارایی خدمات	۷۸۵۶۸	۴۵	۲۵	متاورس و برنامه‌ریزی	۱۱۶۹۴۶	۹۰۷۶۳
۶	شفافیت	۹۵۷۱۷	۵۶	۲۶	نمایش دیجیتال	۸۸۲۸۰	۱۱۰۱۸۵
۷	برابری منابع	۱۱۳۴۵۴	۵۲	۲۷	دسترسی دیجیتال	۸۶۰۰۰	۹۹۷۵۹
۸	تعامل ذینفعان	۹۱۳۷۷	۴۴	۲۸	شبیه‌سازی شهری	۹۸۷۱۷	۱۰۱۳۲۸
۹	دسترسی عادلانه	۱۱۵۱۲۱	۴۳	۲۹	گردشگری مجازی	۹۴۲۸۵	۸۱۶۳۰
۱۰	فرصت شغلی	۹۳۱۵۷	۴۷	۳۰	تجربه مجازی	۶۶۷۷۲	۱۰۵۵۹۸
۱۱	امنیت شهری	۱۱۱۰۹۸	۵۰	۳۱	تنوع بخشی گردشگری	۹۶۸۳۸	۸۴۵۳۲
۱۲	پروژه‌های محلی	۷۹۲۷۰	۳۸	۳۲	توسعه اقتصادی	۸۴۸۶۴	۷۸۹۷۸
۱۳	انرژی تجدیدپذیر	۹۹۳۱۱	۴۳	۳۳	اقتصاد متاورس	۹۴۱۳۶	۹۳۱۷۵
۱۴	شبیه‌سازی پیشرفته	۸۰۷۶۶	۴۰	۳۴	پرداخت ایمن	۷۷۹۸۱	۱۰۷۶۴۴
۱۵	یکپارچگی داده‌ها	۹۲۵۵۲	۴۵	۳۵	درآمد دیجیتال	۸۵۷۸۲	۱۰۰۳۹
۱۶	تصمیم‌گیری مشترک	۷۸۴۴۱	۵۵	۳۶	نوآوری اقتصادی	۸۵۰۰۳	۹۱۲۰۴
۱۷	مدیریت تحرک	۶۱۳۸۲	۲۹	۳۷	برند انرژی	۹۰۴۴۴	۸۳۵۴۵
۱۸	فناوری حمل‌ونقل	۷۹۶۴۲	۴۰	۳۸	آموزش دیجیتال	۱۱۱۴۹۵	۶۴۷۷۷
۱۹	حمل‌ونقل پایدار	۹۹۸۵۰	۴۸	۳۹	آزمایش زیرساخت	۱۰۵۴۹۶	۷۹۶۸۴
۲۰	شبکه‌های هوشمند	۸۲۹۹۷	۳۹	۴۰	کاهش انتشار	۱۱۱۵۰۳	۹۲۱۵۲

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

با توجه به جدول (۴)، نمودار تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم نشان‌دهنده روابط میان شاخص‌ها بر اساس شدت تأثیرگذاری آن‌ها است که با خطوط مختلف مشخص شده‌اند. خطوط نقطه‌چین نمایانگر کم‌اثرترین تأثیرات، خطوط مشکی نشان‌دهنده تأثیرات ضعیف و خطوط آبی تأثیرات متوسط را نمایش می‌دهند. همچنین، خطوط آبی پررنگ‌تر تأثیرات نسبتاً قوی و خطوط قرمز قوی‌ترین تأثیرات غیرمستقیم را نشان می‌دهند. این نمودار به‌وضوح شاخص‌های کلیدی و مرکزی را که بیشترین تأثیر را بر سایر شاخص‌ها دارند، مشخص می‌کند و به تحلیل روابط پیچیده و اهمیت نسبی شاخص‌ها در تحلیل فضاهای متاورس فراگیر برای پایداری آینده شهرهای هوشمند کمک می‌کند (اشکال ۳ و ۴).



شکل ۳- نمودار تأثیر مستقیم با پوشش ۱۰۰ درصد
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)



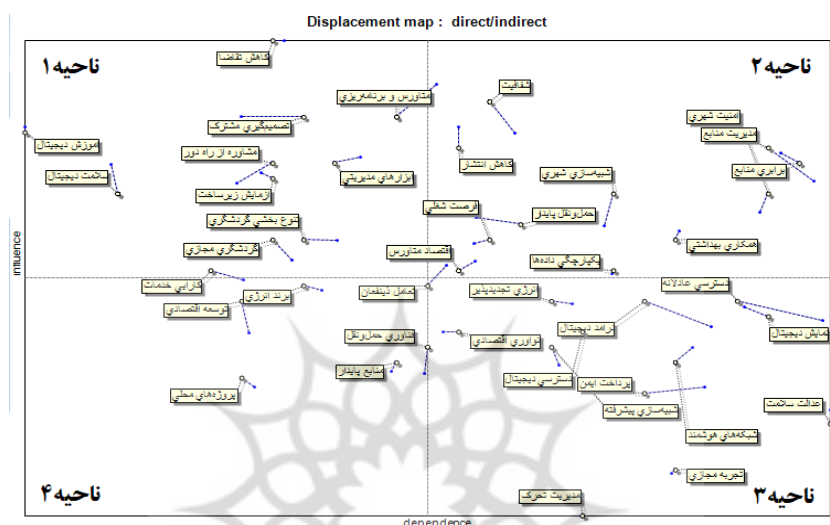
شکل ۴- نمودار تأثیر غیرمستقیم با پوشش ۱۰۰ درصد
(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

طبقه‌بندی شاخص‌های پیشران در تأثیرگذاری و تأثیرپذیری: نتایج حاصل با توجه به جدول (۵) نشان داد که شاخص‌هایی که در ناحیه ۱ قرار دارند، معمولاً نقش کلیدی در سیستم دارند و به‌عنوان محرک اصلی شناخته می‌شوند. این شاخص‌هایی معمولاً برای تصمیم‌گیری و طراحی استراتژی‌ها بسیار مهم هستند. شاخص‌هایی ناحیه ۲، هم تأثیرگذار هستند و هم وابسته (دووجهی). این شاخص‌ها نقش مهمی در پویایی سیستم دارند و باید به‌دقت مدیریت شوند. شاخص‌های ناحیه ۳، بیشتر وابسته‌اند و کمتر بر سیستم تأثیر می‌گذارند. این شاخص‌ها معمولاً نتیجه تغییرات در سیستم هستند. شاخص‌های ناحیه ۴، مستقل هستند و تأثیر زیادی بر سیستم ندارند (شکل ۵).

جدول ۵- طبقه‌بندی نیروهای پيشران

ناحیه	شاخص‌های پيشران
ناحیه ۱ (تأثیرگذار)	کاهش تقاضا، متاورس و برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری مشترک، آموزش دیجیتال، سلامت دیجیتال، مشاوره از راه دور، ابزارهای مدیریتی، آزمایش زیرساخت، گردشگری مجازی، تنوع‌بخشی گردشگری
ناحیه ۲ (دووجهی)	شفافیت، امنیت شهری، کاهش انتشار، برابری منابع، شبیه‌سازی شهری، یکپارچگی داده‌ها، حمل‌ونقل پایدار، همکاری بهداشتی
ناحیه مرکزی (تنظیمی)	اقتصاد متاورس، تعامل ذینفعان، انرژی تجدیدپذیر، فرصت شغلی، نوآوری اقتصادی، فناوری حمل‌ونقل
ناحیه ۳ (تأثیرپذیر)	دسترسی دیجیتال، درآمد دیجیتال، پرداخت ایمن، شبیه‌سازی پیشرفته، نمایش دیجیتال، دسترسی عادلانه، عدالت سلامت، شبکه‌های هوشمند، تجربه مجازی مدیریت تحرک
ناحیه ۴ (مستقل)	منابع پایدار، برند انرژی، توسعه اقتصادی، کارایی خدمات، پروژه‌های محلی

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)



شکل ۵- نمودار پراکنش شاخص‌ها در پلان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری

(منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

رتبه‌بندی شاخص‌های تأثیرگذار مستقیم و غیرمستقیم: در بخش شاخص‌های تأثیرگذار مستقیم، رتبه‌های برتر شامل کاهش تقاضا، شفافیت، تصمیم‌گیری مشترک، متاورس و برنامه‌ریزی و آموزش دیجیتال هستند که نشان‌دهنده اهمیت بالای این مفاهیم در مدیریت و توسعه پایدار است. در مقابل، شاخص‌هایی مانند مدیریت تحرک، تجربه مجازی، عدالت سلامت و پرداخت ایمن در انتهای رتبه‌بندی قرار دارند که تأثیر کمتری نسبت به شاخص‌های اولویت‌دار دارند. در بخش شاخص‌های تأثیرگذار غیرمستقیم نیز، رتبه‌های برتر به کاهش تقاضا، متاورس و برنامه‌ریزی، کاهش انتشار و تصمیم‌گیری مشترک اختصاص دارد، درحالی‌که شاخص‌هایی مانند مدیریت تحرک، تجربه مجازی، عدالت سلامت و پرداخت ایمن در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفته‌اند و اثرگذاری غیرمستقیم کمتری دارند (جدول ۶).

جدول ۶- رتبه‌بندی شاخص‌های تأثیرگذار مستقیم و غیرمستقیم

رتبه	متغیرهای تأثیرگذار مستقیم	متغیرهای تأثیر غیرمستقیم	رتبه	متغیرهای تأثیرگذار مستقیم	متغیرهای تأثیر غیرمستقیم
۱	کاهش تقاضا	کاهش تقاضا	۲۱	یکپارچگی داده‌ها	تعامل ذینفعان
۲	شفافیت	متاورس و برنامه‌ریزی	۲۲	اقتصاد متاورس	یکپارچگی داده‌ها
۳	تصمیم‌گیری مشترک	تصمیم‌گیری مشترک	۲۳	تعامل ذینفعان	کارایی خدمات
۴	متاورس و برنامه‌ریزی	کاهش انتشار	۲۴	برند انرژی	برند انرژی
۵	آموزش دیجیتال	آموزش دیجیتال	۲۵	دسترسی عادلانه	انرژی تجدیدپذیر
۶	مدیریت منابع	شفافیت	۲۶	انرژی تجدیدپذیر	نمایش دیجیتال
۷	کاهش انتشار	برابری منابع	۲۷	توسعه اقتصادی	دسترسی عادلانه
۸	ابزارهای مدیریتی	ابزارهای مدیریتی	۲۸	درآمد دیجیتال	دسترسی دیجیتال
۹	برابری منابع	سلامت دیجیتال	۲۹	نمایش دیجیتال	درآمد دیجیتال
۱۰	مشاوره از راه دور	آزمایش زیرساخت	۳۰	دسترسی دیجیتال	نوآوری اقتصادی
۱۱	آزمایش زیرساخت	مدیریت منابع	۳۱	نوآوری اقتصادی	توسعه اقتصادی

۱۲	امنیت شهری	مشاوره از راه دور	۳۲	شبیه سازی پیشرفته	شبکه های هوشمند
۱۳	سلامت دیجیتال	امنیت شهری	۳۳	فناوری حمل و نقل	شبیه سازی پیشرفته
۱۴	شبیه سازی شهری	حمل و نقل پایدار	۳۴	منابع پایدار	منابع پایدار
۱۵	حمل و نقل پایدار	شبیه سازی شهری	۳۵	شبکه های هوشمند	فناوری حمل و نقل
۱۶	فرصت شغلی	همکاری بهداشتی	۳۶	پروژه های محلی	پروژه های محلی
۱۷	همکاری بهداشتی	تنوع بخشی گردشگری	۳۷	پرداخت ایمن	پرداخت ایمن
۱۸	گردشگری مجازی	فرصت شغلی	۳۸	عدالت سلامت	عدالت سلامت
۱۹	تنوع بخشی گردشگری	گردشگری مجازی	۳۹	تجربه مجازی	تجربه مجازی
۲۰	کارایی خدمات	اقتصاد متاورس	۴۰	مدیریت تحرک	مدیریت تحرک

(منبع: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴)

تدوین سناریوهای احتمالی آینده: سناریوهای تدوین شده در محیط نرم افزار سناریو ویزارد نشان می دهند که نقش شاخص های تأثیرگذار و دوجهی در موفقیت یا شکست متاورس برای پایداری شهرهای هوشمند حیاتی است. در سناریوی خوش بینانه، هماهنگی بین ذینفعان، شفافیت، امنیت و توسعه زیرساخت های متاورسی منجر به بهبود عدالت اجتماعی، کاهش مصرف انرژی و جذب سرمایه گذاری می شود. در مقابل، سناریوی بدبینانه ناشی از ضعف مدیریت، عدم شفافیت و افزایش شکاف دیجیتال، متاورس را به منبعی از نابرابری و چالش های زیست محیطی تبدیل می کند. سناریوی میانه پیشرفت هایی محدود و ناپایدار را نشان می دهد که به دلیل مشکلات زیرساختی و مدیریتی نمی تواند به بهره وری کامل برسد؛ بنابراین، موفقیت متاورس به مدیریت مؤثر نیروهای پیشران و تعامل کارآمد میان ذینفعان وابسته است (جدول ۷).

جدول ۷- سناریوهای احتمالی آینده

سناریو	نیروهای پیشران	متغیرهای دوجهی	متغیرهای تأثیرپذیر	نتیجه نهایی سناریو
خوش بینانه	کاهش تقاضا و متاورس و برنامه ریزی؛ بهینه سازی منابع و کاهش هزینه ها. - گردشگری مجازی و آموزش دیجیتال: تقویت آگاهی و جذابیت متاورس برای کاربران. - تصمیم گیری مشترک و آزمایش زیرساخت: ایجاد هم افزایی میان ذینفعان.	شفافیت و امنیت شهری: افزایش اعتماد عمومی. - حمل و نقل پایدار و کاهش انتشار: تأثیر مثبت بر محیط زیست. - همکاری بهداشتی و یکپارچگی داده ها: بهبود خدمات اجتماعی و سلامت.	دسترسی دیجیتال و عدالت سلامت: افزایش شمول اجتماعی. - پرداخت ایمن و تجربه مجازی: بهره وری بالا در اقتصاد متاورس. - شبکه های هوشمند: پایداری شهری بهبود یافته است	متاورس به بستری امن و پایدار برای پایداری شهرهای هوشمند تبدیل می شود و باعث بهبود کیفیت زندگی و جذب سرمایه گذاری می شود
بدبینانه	کاهش تقاضا و متاورس و برنامه ریزی: اجرا ناقص و ناکارآمد. - گردشگری مجازی و آموزش دیجیتال: عدم مشارکت عمومی و ضعف در اجرا. - تصمیم گیری مشترک و آزمایش زیرساخت: عدم هماهنگی میان ذینفعان	شفافیت و امنیت شهری: از بین رفتن اعتماد عمومی به دلیل حریم خصوصی ناکافی. - حمل و نقل پایدار: شکست در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای. - اقتصاد متاورس و یکپارچگی داده ها: ضعف در تعاملات اقتصادی	- دسترسی دیجیتال و عدالت سلامت: شکاف دیجیتال و نابرابری در دسترسی به خدمات. - پرداخت ایمن و تجربه مجازی: ناکارآمدی در مدیریت اقتصادی. - شبکه های هوشمند: عملکرد ضعیف و ناپایداری شهری	متاورس به منبعی از تضادهای اجتماعی، نابرابری اقتصادی و افزایش مشکلات محیط زیستی تبدیل می شود و اعتماد عمومی به شهرهای هوشمند از بین می رود
میانه	کاهش تقاضا و متاورس و برنامه ریزی: پیشرفت نسبی اما همراه با محدودیت. - گردشگری مجازی و آموزش دیجیتال: توسعه محدود به بخش های خاص. - تصمیم گیری مشترک: هماهنگی های نسبی میان ذینفعان.	و امنیت شهری: بهبود نسبی، اما مشکلات باقی مانده. - حمل و نقل پایدار و کاهش انتشار: تأثیر متوسط بر محیط زیست. - همکاری بهداشتی و یکپارچگی داده ها: خدمات محدود و ناکافی.	- دسترسی دیجیتال و عدالت سلامت: بهبود محدود در برخی مناطق. - پرداخت ایمن و تجربه مجازی: بهره وری متوسط در اقتصاد متاورس - شبکه های هوشمند: عملکرد مناسب اما همراه با مشکلات جزئی	متاورس تأثیر متوسطی بر پایداری شهرهای هوشمند دارد؛ پیشرفت هایی در زمینه عدالت اجتماعی و کاهش انتشار وجود دارد، اما محدودیت های مدیریتی و زیرساختی مانع بهره وری کامل آن هستند.

(منبع: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴)

نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها

تحولات سریع فناوری های دیجیتال و ظهور فضاهای متاورسی، فرصت های بی سابقه ای را برای توسعه شهری و افزایش کیفیت زندگی در کلان شهرها فراهم کرده است، اما هم زمان چالش هایی نظیر پیچیدگی های مدیریتی، نیاز به زیرساخت های نوین و تغییرات فرهنگی را نیز به

همراه داشته است. در این پژوهش تلاش شده است با استفاده از مدل آینده‌پژوهی شاخص‌های کلیدی و مؤثر در توسعه موفق فضاهای متاورسی در تهران شناسایی و دسته‌بندی شوند تا چارچوبی عملیاتی برای سیاست‌گذاران و مدیران شهری فراهم شود.

شاخص «کاهش تقاضا» به‌عنوان متغیری پیشرو و تعیین‌کننده در مدل مطرح گردید که بیانگر اهمیت بنیادین کاهش بار مصرفی و بهینه‌سازی منابع در فرآیند توسعه فضاهای متاورسی است. این یافته، در هماهنگی با نتایج مطالعات هو و همکاران (۲۰۲۱)، قرار دارد که کاهش تقاضا در حوزه انرژی و ترافیک را کلید موفقیت شهرهای هوشمند معرفی کرده‌اند. همچنین پژوهش شائو و همکاران (۲۰۲۳)، نیز اهمیت مدیریت بهینه تقاضا را در تحقق پایداری فناوری‌های دیجیتال تأکید می‌کند؛ اما تمایز مهم این تحقیق در رویکرد جامع‌تر و چندبعدی آن به مقوله کاهش تقاضاست که علاوه بر جنبه‌های تکنولوژیک، ابعاد فرهنگی، اجتماعی و مدیریتی را نیز در نظر گرفته است. در بسیاری از مطالعات پیشین، کاهش تقاضا صرفاً به جنبه‌های فنی محدود شده، درحالی‌که در تهران با توجه به ساختار پیچیده شهری و جمعیتی، این شاخص باید در چارچوبی کلان‌تر و با مشارکت گسترده‌تر ذی‌نفعان پیگیری شود. در نتیجه، کاهش تقاضا در این مطالعه به‌مثابه یک راهبرد چندسطحی تعریف شده که می‌تواند نقش تنظیم‌کننده و تسهیل‌کننده سایر عوامل توسعه متاورس را ایفا کند.

در حوزه آموزش دیجیتال و رهبری نوآورانه، یافته‌های پژوهش نشان داد که توسعه مهارت‌های دیجیتال و تقویت داده‌محوری در مدیریت، از عوامل حیاتی پیش‌برنده توسعه متاورس است. این نتایج با پژوهش‌های چونگ و همکاران (۲۰۲۲) که اهمیت آموزش و ارتقای مهارت‌های نوآورانه را در پروژه‌های نوین تأکید کرده‌اند و همچنین مائو و همکاران (۲۰۲۲) که بر نقش مدیریت داده در تحقق تحول دیجیتال تأکید دارند، هم‌راستا است. علاوه بر این، مطالعات ویلیامز و همکاران (۲۰۲۰) نیز بر نقش رهبری خلاق و نوآور در تسریع فرآیندهای دیجیتالی شدن تأکید دارند، امری که در شرایط خاص تهران به دلیل ساختارهای سازمانی و فرهنگی متفاوت، چالش‌های بیشتری به همراه دارد. به‌طور خاص، پژوهش کورتیس (۲۰۲۱)، نشان داده است که فقدان رهبری نوآور و فقدان برنامه‌های آموزشی منسجم می‌تواند به‌صورت مستقیم مانع اصلی پذیرش فناوری‌های نوین در سازمان‌ها باشد. این مسئله در تهران به دلیل گستردگی و تنوع بخش‌های ذی‌ربط، پیچیدگی بیشتری دارد. در جمع‌بندی این بخش می‌توان گفت که توسعه مستمر آموزش‌های دیجیتال و ایجاد فرهنگ رهبری نوآور، ستون اصلی موفقیت توسعه متاورس است و این دو مؤلفه باید به صورت سیستماتیک و هماهنگ تقویت شوند.

نتایج پژوهش درباره شاخص‌های عدالت سلامت، تجربه مجازی و دسترسی‌پذیری، نشان داد که این عوامل به عنوان متغیرهای وابسته، به شدت تحت تأثیر سایر عوامل ساختاری و نهادی هستند. این یافته‌ها با نتایج مطالعات گیتس و همکاران (۲۰۲۱) و لیو و همکاران (۲۰۲۲) که بر ضرورت توجه به عدالت اجتماعی و تضمین دسترسی فراگیر در فناوری‌های نوین تأکید داشته‌اند، تطابق دارد. البته تفاوت چشمگیر پژوهش حاضر با برخی مطالعات بین‌المللی مانند کلمبوس و همکاران (۲۰۱۹)، در این است که تمرکز بیشتر آن‌ها روی توزیع عادلانه زیرساخت‌ها بود، درحالی‌که در مطالعه حاضر، زیرساخت‌ها به‌تنهایی کافی نیستند و نظام نهادی قوی‌تر و سیاست‌گذاری‌های هوشمند، نقش تعیین‌کننده‌ای در تحقق عدالت دیجیتال در تهران ایفا می‌کنند. این نتیجه به ما یادآوری می‌کند که تحقق عدالت و افزایش دسترسی در حوزه فناوری‌های نوین، فراتر از نصب تجهیزات و ارائه خدمات است و مستلزم ایجاد ظرفیت‌های نهادی، شفافیت در تصمیم‌گیری‌ها و تسهیل در مقررات است؛ بنابراین، تضمین عدالت در فضای متاورسی نیازمند رویکردی جامع و بین‌بخشی است که تنها با بهبود زیرساخت‌ها امکان‌پذیر نیست.

شاخص تصمیم‌گیری مشترک به‌عنوان یک متغیر کلیدی در توسعه متاورس، اهمیت بسیار زیادی یافت که نشان‌دهنده نقش مشارکت اجتماعی و هم‌افزایی ظرفیت‌های جمعی در تسریع پذیرش و توسعه فناوری‌های نوین است. این نتایج در راستای یافته‌های پژوهش شائو و همکاران (۲۰۲۳) و پورت (۲۰۲۰)، است که مشارکت جمعی و فرآیندهای تصمیم‌گیری تعاملی را به‌عنوان عوامل کلیدی موفقیت پروژه‌های دیجیتال معرفی کرده‌اند. با این حال، وجه تمایز پژوهش حاضر، توجه ویژه به فرهنگ مشارکتی و مدل‌های تصمیم‌گیری جمعی در بستر خاص تهران است که در مطالعات پیشین کمتر به آن پرداخته شده است. ساختار اجتماعی و فرهنگی تهران، با تنوع جمعیتی و پیچیدگی‌های سازمانی، نیازمند توسعه ظرفیت‌های مشارکتی و تقویت نهادهای اجتماعی است تا بسترهای مناسب برای تصمیم‌گیری مشترک فراهم شود؛ بنابراین، افزایش توانمندی‌های اجتماعی و ارتقای فرآیندهای تصمیم‌گیری مشارکتی، نه تنها بستر پذیرش فناوری را تسهیل می‌کند، بلکه به ایجاد حس تعلق و مسئولیت‌پذیری در میان ذی‌نفعان کمک شایانی می‌کند.

در نهایت، شاخص‌های حکمرانی هوشمند، شفافیت و تسهیل مقرراتی در جایگاه متغیرهای دوسویه قرار گرفتند که بر نقش سیاست‌گذاری و مدیریت هوشمند در موفقیت توسعه متاورس تأکید دارند. یافته‌های این بخش با پژوهش‌های کیم و همکاران (۲۰۲۳) و براون و همکاران (۲۰۲۱) که به اهمیت چارچوب‌های حکمرانی فناوری و سیاست‌های تسهیل‌گر در شهرهای هوشمند پرداخته‌اند، همخوانی دارد. تفاوت کلیدی این تحقیق در ارائه چارچوبی بومی و منطبق بر واقعیت‌های تهران است که نشان می‌دهد باید توازن دقیق و هماهنگی بین پیشرفت‌های تکنولوژیک، اصلاح

مقررات و ارتقای نظام‌های مدیریتی ایجاد شود تا اثرگذاری بهینه حاصل گردد. این نکته بر اهمیت ایجاد سازوکارهای حکمرانی نوین تأکید دارد که به صورت یکپارچه، فناوری، سیاست و مدیریت را در کنار هم قرار دهد. در جمع‌بندی این بخش می‌توان گفت توسعه حکمرانی هوشمند و تسهیل مقرراتی، به عنوان ستون فقرات موفقیت فضاهای متاورسی، نیازمند توجه مستمر و هماهنگ از سوی تمامی ذی‌نفعان است تا مسیر توسعه پایدار و منسجم را هموار سازد.

در جمع‌بندی نهایی، می‌توان گفت این پژوهش با شناسایی و تحلیل شاخص‌های کلیدی توسعه فضاهای متاورسی در تهران، چارچوبی کاربردی برای سیاست‌گذاران و مدیران شهری فراهم کرده است که می‌تواند به بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی کمک کند. با این حال، محدودیت‌هایی نیز در این مطالعه وجود دارد که می‌تواند در جهت‌گیری‌های آینده مورد توجه قرار گیرد؛ از جمله محدودیت داده‌ها و نمونه‌گیری که ممکن است باعث کاهش تعمیم‌پذیری نتایج به سایر کلان‌شهرها شود و نیز چالش‌های مرتبط با سرعت تغییرات فناوری که نیازمند به‌روزرسانی مداوم شاخص‌ها و مدل‌ها است. همچنین، پژوهش‌های آتی می‌توانند به بررسی عمیق‌تر تعاملات فرهنگی و اجتماعی در پذیرش فناوری‌های متاورسی و تأثیر متقابل آن‌ها با سیاست‌های نهادی بپردازند و روش‌های کمی-کیفی ترکیبی را برای تحلیل پویاتر و دقیق‌تر به کار گیرند. همچنین، مطالعه نقش فناوری‌های نوظهور دیگر مانند هوش مصنوعی مولد و بلاک‌چین در توسعه فضاهای متاورسی و بررسی پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی این فضاها، می‌تواند به غنای بیشتر دانش در این حوزه کمک کند و راهنمای بهتری برای توسعه پایدار در شهرهای آینده ارائه دهد. با توجه به نتایج پژوهش، پیشنهادها کاربردی و اجرایی برای توسعه فضاهای متاورسی در کلان‌شهر تهران به شرح زیر ارائه می‌شود:

- ایجاد نهاد راهبری متاورس شهری زیر نظر شهرداری تهران، با مأموریت تدوین سیاست‌های فرابخشی، تنظیم مقررات و هماهنگی میان سازمان‌های ذی‌ربط در حوزه متاورس؛
- توسعه زیرساخت‌های محلی ذخیره‌سازی و پردازش داده با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، به منظور کاهش مصرف انرژی، وابستگی به سرورهای خارجی و مدیریت بهینه بار دیجیتال؛
- طراحی و اجرای برنامه‌های آموزش عمومی مهارت‌های دیجیتال و آگاهی‌رسانی درباره متاورس در سطح مدارس، دانشگاه‌ها و مراکز محله‌ای به منظور افزایش سواد فناورانه و پذیرش اجتماعی؛
- ایجاد پلتفرم‌های مشارکت جمعی در طراحی و تصمیم‌گیری متاورسی برای تقویت حس تعلق و افزایش شفافیت در پروژه‌های فناورانه، با بهره‌گیری از مدل‌های رأی‌گیری دیجیتال و مشورت عمومی؛
- تضمین دسترسی عادلانه به خدمات متاورسی از طریق یارانه برای گروه‌های آسیب‌پذیر، طراحی خدمات بومی‌سازی شده برای اقشار مختلف و توسعه مقررات شفاف برای حمایت از عدالت دیجیتال در مناطق کم‌برخوردار

References:

- Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Mohamed, N., & Al-Jaroodi, J. (2015). Applications of big data to smart cities. *Journal of Internet Services and Applications*, 6(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s13174-015-0041-5>
- Alam, T. (2024). Metaverse of Things (MoT) applications for revolutionizing urban living in smart cities. *Smart Cities*, 7, 2466-2494. <https://doi.org/10.3390/smartcities7050096>
- Allam, Z., Sharifi, A., Bibri, S. E., Jones, D. S., & Krogstie, J. (2022). The metaverse as a virtual form of smart cities: Opportunities and challenges for environmental, economic, and social sustainability in urban futures. *Smart Cities*, 5(3), 771-801. <https://doi.org/10.3390/smartcities5030040>
- Anubha, A., Srivastava, G.N. and Narang, D. (2024), Metaverse and Internet of Things: A Way to Smart Cities, Krishnan, C., Behl, A., Dash, S. and Yadav, P.D. (Ed.) *The Metaverse Dilemma: Challenges and Opportunities for Business and Society*, Emerald Publishing Limited, Leeds, 69-83. <https://doi.org/10.1108/978-1-83797-524-220241005>
- Bibri, S. E. (2022). Eco-districts and data-driven smart eco-cities: Emerging approaches to strategic planning by design and spatial scaling and evaluation by technology. *Land Use Policy*, 113, 105830. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105830>
- Bibri, S. E., & Allam, Z. (2022). The Metaverse as a virtual form of data-driven smart urbanism: On post-pandemic governance through the prism of the logic of surveillance capitalism. *Smart Cities*, 5(2), 715-727. <https://doi.org/10.3390/smartcities5020037>
- Bibri, S. E., & Jagatheesaperumal, S. K. (2023). Harnessing the potential of the Metaverse and artificial intelligence for the Internet of City Things: Cost-effective XReality and synergistic AIoT technologies. *Smart Cities*, 6(5), 2397-2429. <https://doi.org/10.3390/smartcities6050109>
- Bina, O., Inch, A., & Pereira, L. (2020). Beyond techno-utopia and its discontents: On the role of utopianism and speculative fiction in shaping alternatives to the smart city imaginary. *Futures*, 115, 102475. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.102475>

- Cavalcante, E., Cacho, N., Lopes, F., Batista, T., & Oquendo, F. (2016). Thinking smart cities as systems-of-systems: A perspective study. *SmartCities '16: Proceedings of the 2nd International Workshop on Smart Cities and Urban Analytics*, Article 9, 1–4. <https://doi.org/10.1145/3009912.3009918>
- Chatzopoulou, I., Tsoutsas, P., & Fitsilis, P. (2023). How Metaverse is affecting smart cities economy. In *27th Pan-Hellenic Conference on Progress in Computing and Informatics (PCI 2023)*, November 24–26, 2023, Lamia, Greece. ACM, New York, NY, USA, 9 pages. <https://doi.org/10.1145/3635059.3635099>
- Chen, Z., Gan, W., Wu, J., Lin, H., & Chen, C.-M. (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>
- Chen, Z., Wu, J., Gan, W., & Qi, Z. (2022). Metaverse security and privacy: An overview. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Big Data* (pp. 2950–2959). IEEE. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.14948>
- Dorostkar, E., & Najarsadeghi, M. (2023). Sustainability and urban climate: How Metaverse can influence urban planning? *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(9), 1711–1717. <https://doi.org/10.1177/23998083231181596>
- Fallahian, Farzad, Abtahi, Atallah, and Soleimani, Neda (2014), Metaverse Smart City Governance, *Entrepreneurship Knowledge Journal*, 11, pp. 126-136. <https://sanad.iau.ir/Journal/enkn/Article/791230> [In Persian]
- Farag, A.A. (2024). Metaverse-Driven Mobility: Weaving the Virtual Realm Into the Fabric of Our Cities, Kandpal, V., Santibanez-Gonzalez, E.D., Chatterjee, P. and Nallapaneni, M.K. (Ed.) *Smart Cities and Circular Economy*, Emerald Publishing Limited, Leeds, pp. 261-278. <https://doi.org/10.1108/978-1-83797-957-820241021>
- Hatami, A., Sasanpour, F., Asadzadeh, H., & van Bodegom, P. M. (2023). Scenario analyses to reach smart sustainability in Tehran. *Journal of Urban Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2023.09.002>
- Hekmatnia, H. , Maleki, M. , Mousavi, M. N. and Afshani, A. (2017). Assess the implementation of good urban governance in Iran (Case Study: Ilam city). *Human Geography Research*, 49(3), 607-619. doi: 10.22059/jhgr.2016.57235
- Huang, J., Sun, P., & Zhang, W. (2022). Analysis of the future prospects for the Metaverse. In *Proceedings of the 7th International Conference on Financial Innovation and Economic Development*, 1899–1904. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.220307.312>
- Huynh-The, T., Nguyen, T., Le-Hong, T., Seo, J., Kim, D., & Kim, D. I. (2023). Blockchain for the metaverse: A review. *Future Generation Computer Systems*, 143, 401–419. <https://doi.org/10.1016/j.future.2023.02.008>
- Jagatheesaperumal, S. K., Pham, Q. V., Ruby, R., Yang, Z., Xu, C., & Zhang, Z. (2022). Explainable AI over the Internet of Things (IoT): Overview, state-of-the-art and future directions. *IEEE Open Journal of Communications Society*. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2022.3215676>
- Kuru, K. (2023). MetaOmniCity: Toward immersive urban metaverse cyberspaces using smart city digital twins. *IEEE Access*, 11. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3272890>
- Lee, L. H., Braud, T., Zhou, P., Wang, L., Xu, D., Lin, Z., Kumar, A., Bermejo, C., & Hui, P. (2021). All one needs to know about Metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda. *arXiv preprint arXiv:2110.05352*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.05352>
- Lifelo, Z., Ding, J., Ning, H., Qurat-Ul-Ain, & Dhelim, S. (2024). Artificial Intelligence-enabled Metaverse for sustainable smart cities: Technologies, applications, challenges, and future directions. *Electronics*, 13(24), 4874. <https://doi.org/10.3390/electronics13244874>
- Maier, F., & Weinberger, M. (2024). Metaverse meets smart cities—Applications, benefits, and challenges. *Future Internet*, 16(4), 126. <https://doi.org/10.3390/fi16040126>
- Meng, X., Li, Y., Liu, K., Liu, Y., Yang, B., Song, X., Liao, G., Wang, S., Yu, Z., Chen, L., Pan, X., & Lin, Y. (2023). Spatial data intelligence and city metaverse: A review. *Fundamental Research*. Available online 28 December 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2023.10.014>
- Mohanty, S. P., Choppali, U., & Kougianos, E. (2016). Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of Things is the backbone. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(3), 60–70. <https://doi.org/10.1109/MCE.2016.2556879>
- Mousavi, A., & Hazrati, S. (2023). Ranking the barriers to sustainable smart city growth (Case study: Kerman City). *Regional Geography and Futures Studies Quarterly*, 1(3), 30–44. <https://doi.org/10.30466/grfs.2023.54839.1010> [In Persian]
- Mousavi, M. N., Shirazi, S. A., Nasar-u.-Minallah, M., & Bayramzadeh, N. (2025). Introducing the Mousavi Primate City Index for Iran's Urban System assessment. *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY*, 18(1), 44–53. doi: 10.24057/2071-9388-2025-3218
- Mystakidis, S. (2022). Metaverse. *Encyclopedia*, 2(1), 486–497. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031>
- Patrao, C., Moura, P., Almeida, A. (2020). Review of Smart City Assessment Tools *Smart. Cities* 2020, 3(4), 1117-1132; <https://doi.org/10.3390/smartcities3040055>
- Qadir, A. M. A., & Fatah, A. (2023). Platformization and the Metaverse: Opportunities and challenges for urban sustainability and economic development. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 10(39), e3842. <https://doi.org/10.4108/ew.3842>
- Sajjadian, Mahyar (2013). A study on the dominant types of research and developments in smart city concepts with regard to the crypto and metaverse phenomena in line with the optimal future planning of Iranian cities, *Journal of Geography and Urban Planning*, Zagros Perspective, 56, 7-56. <https://sanad.iau.ir/Journal/zagros/Article/937818/FullText> [In Persian]

- Singh, J., Sajid, M., Gupta, S. K., & Haidri, R. A. (2022). Artificial intelligence and blockchain technologies for smart city. In *Intelligent Green Technologies for Sustainable Smart Cities*, 317–330. <https://doi.org/10.1002/9781119816096.ch15>
- Trivedi, A., Trivedi, V., & Gharib, M. (2023). Analyzing barriers to metaverse application in smart cities: A DEMATEL-based approach. *E3S Web of Conferences*, 455, 03020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345503020>
- Verma, A. (2024). Application of metaverse technologies and artificial intelligence in smart cities. *The Scientific Temper*, 15(2), 2410–2415. <https://doi.org/10.58414/SCIENTIFICTEMPER.2024.15.2.60>
- Vogl, T. M., Seidelin, C., Ganesh, B., Bright, J. (2020). Smart technology and the emergence of algorithmic bureaucracy: Artificial intelligence in UK local authorities. *Public Administration Review*, 80(6), 946–961. <https://doi.org/10.1111/puar.13286>
- Wang, J., & Medvegy, G. (2022). Exploration of the future of the metaverse and smart cities. In *Proceedings of the International Conference on Electronic Business (ICEB) (Vol. 22, pp. 106–115)*. <https://aisel.aisnet.org/iceb2022/12>
- Wang, J., & Medvegy, G. (2022). Exploration of the future of the metaverse and smart cities. In E. Y. Li et al. (Eds.), *Proceedings of The International Conference on Electronic Business, Volume 22 (pp. 106–115)*. ICEB'22, Bangkok, Thailand, October 13-17, 2022.
- Xu, M., Ng, W. C., Lim, W. Y. B., Kang, J., Xiong, Z., Niyato, D., Yang, Q., Shen, X., & Miao, C. (2023). A full dive into realizing the edge-enabled metaverse: Visions, enabling technologies, and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 25(1), 656–700. <https://doi.org/10.1109/COMST.2022.3221119>
- Yaqoob, I., Salah, K., Jayaraman, R., & Omar, M. (2023). Metaverse applications in smart cities: Enabling technologies, opportunities, challenges, and future directions. *Internet of Things*, 23, 100884. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100884>
- Zainab, H. E., & Bawanay, N. Z. (2023). Digital twin, metaverse and smart cities in a race to the future. *Proceedings of the 24th International Arab Conference on Information Technology (ACIT)*, Ajman, United Arab Emirates, 1-8. <https://doi.org/10.1109/ACIT58888.2023.10453803>
- Zallio, M., & Clarkson, P. J. (2022). Designing the metaverse: A study on inclusion, diversity, equity, accessibility, and safety for digital immersive environments. *Telematics and Informatics*, 75, 101909. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2022.101909>
- Zamani, A., & Besharatifar, S. (2025). An analysis of future strategies influencing the development of industrial cities in Iran: Case study of Bandar Mahshahr City. *Journal of Geography and Regional Future Studies*, 3(3), 62–79. <https://doi.org/10.30466/grfs.2025.56271.1132> [In Persian]
- Zeng, H., Yunis, M., Khalil, A., & Mirza, N. (2024). Towards a conceptual framework for AI-driven anomaly detection in smart city IoT networks for enhanced cybersecurity. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9(4), 100601. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100601>
- Zhao, Y., Jiang, J., Chen, Y., & Chen, S. (2022). Metaverse: Perspectives from graphics, interactions, and visualization. *Visual Informatics*, 6(1), 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.visinf.2022.03.002>
- Zheng, C. J., Yuan, J. F., Zhu, L., Zhang, Y. J., Shao, Q. H. (2020). From digital to sustainable: A scientometric review of smart city literature between 1990 and 2019. *Journal of Cleaner Production*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120689>
- Zhu, W., Yan, R., & Song, Y. (2022). Analysing the impact of smart city service quality on citizen engagement in a public emergency. *Cities*, 120, 103439. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103439>



COPYRIGHTS



© Authors retain the copyright and full publishing rights. This is an open access article under the CC BY-NC license:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Publisher: Urmia University.