



Providing a conceptual framework for urban metaverse development in smart cities: Analyzing the role of technological drivers

■ **Mehran Saeidi Aghdam**^{*,*} 

*Entrepreneurship Department, Qazvin Branch,
Islamic Azad University, Qazvin, Iran*

■ **Seyyed Kamil Salehi Kamamardekhi** 

*Assistant Professor, Department of Public
Administration and Urban Management, Allameh
Tabatabaei University, Tehran, Iran*

■ **Massoud Haj Nasrallahi** 

*Department of Business Administration, Qazvin
Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran*

■ **Seyed Ali Mahioun** 

*Department of Financial Management, Zanjan
Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran*

Receive date: 05 June 2025, Revise date: 30 August 2025, & Accept date: 30 August 2025

 [10.22034/jtd.2025.2062824.2008](https://doi.org/10.22034/jtd.2025.2062824.2008)



Abstract

The emergence of the metaverse, a combination of virtual and augmented realities, provides extensive possibilities for social interaction, economic transactions, and digital innovation. In fact, the metaverse promises an inclusive and unrestricted environment and has broad development and application prospects. The present study aims to provide a conceptual framework for the development of the urban metaverse in the context of smart cities. Given the technological developments and the emergence of immersive virtual environments, the metaverse has been proposed as one of the new perspectives in the future of urban management and life. This study attempts to identify and analyze the factors affecting the development of the urban metaverse by focusing on three key dimensions, including technological drivers such as artificial intelligence, virtual reality, blockchain, the Internet of Things, and 5G networks, organizational and governance dimensions (such as transparent policymaking, digital leadership, and data governance), and the environmental and socio-cultural dimension (including cultural acceptance, digital literacy, and digital justice).

The research method of this study is applied in terms of purpose and survey in terms of implementation. The results of testing the hypotheses showed that all three technological, organizational, and environmental dimensions have a significant effect on the development of urban metaverse. In particular, the technological dimension with a high impact coefficient plays the role of the main driver. Finally, the proposed conceptual model had a good fit and is capable of explaining the structures affecting the development of urban metaverse.

Keywords:

Urban metaverse, smart city, technological drivers, digital governance, digital literacy and justice.

* Corresponding Author

+ Email: Mehransaedi@gmail.com

۹۵	شماره شصت و چهار، تابستان ۱۴۰۵	فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی
----	--------------------------------	------------------------------

<https://jtd.iranjournals.ir/>

How to cite: Saidi Aghdam, M., Salehi Kamamardekhi, S. K., Haj Nasrallahi, M., Mahioun, S. A. (2026), Providing a conceptual framework for urban metaverse development in smart cities: Analyzing the role of technological drivers,

Quarterly journal of Industrial Technology Development, 24(64), 95-106.



ارائه یک چارچوب مفهومی برای توسعه متاورس شهری در شهرهای هوشمند: تحلیل نقش پیشران‌های فناورانه



- مهران سعیدی اقدم* ^{ID}
گروه کارآفرینی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی،
قزوین، ایران
- سید کمیل صالحی کامردخی¹ ^{ID}
استادیار گروه مدیریت دولتی و مدیریت شهری دانشگاه
علامه طباطبائی، تهران، ایران
- مسعود حاج نصراله یی² ^{ID}
گروه مدیریت بازرگانی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی،
قزوین، ایران
- سید علی مهدیون³ ^{ID}
گروه مدیریت مالی، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی،
زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۱۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۶/۸ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۸

صفحات: ۹۵-۱۰۶

[doi:10.22034/jtd.2025.2062824.2008](https://doi.org/10.22034/jtd.2025.2062824.2008)

چکیده

ظهور متاورس، ترکیبی از واقعیت‌های مجازی و افزوده، امکانات گسترده‌ای را برای تعامل اجتماعی، تراکنش‌های اقتصادی و نوآوری دیجیتال فراهم می‌کند. در واقع متاورس نوید یک محیط فراگیر و بدون محدودیت را می‌دهد و چشم‌اندازهای توسعه و کاربرد گسترده‌ای دارد. در پژوهش حاضر با هدف ارائه یک چارچوب مفهومی برای توسعه متاورس شهری در بستر شهرهای هوشمند انجام شده است. با توجه به تحولات فناورانه و ظهور محیط‌های مجازی غوطه‌ور، متاورس به عنوان یکی از چشم‌اندازهای نوین در آینده مدیریت و زیست شهری مطرح شده است. این پژوهش تلاش دارد تا با تمرکز بر سه بُعد کلیدی شامل پیشران‌های فناورانه مانند هوش مصنوعی، واقعیت مجازی، بلاک چین، اینترنت اشیا و شبکه‌های ۵G، ابعاد سازمانی و حکمرانی (نظیر سیاست‌گذاری شفاف، رهبری دیجیتال و حاکمیت داده) و نیز بُعد محیطی و فرهنگی-اجتماعی (از جمله پذیرش فرهنگی، سواد دیجیتال و عدالت دیجیتال) عوامل مؤثر بر توسعه متاورس شهری را شناسایی و تحلیل نماید. روش تحقیق این مطالعه از نظر هدف، کاربردی و از نظر نحوه اجرا، پیمایشی است. نتایج حاصل از آزمون فرضیه‌ها نشان داد که هر سه بُعد فناورانه، سازمانی و محیطی اثر معناداری بر توسعه متاورس شهری دارند. به‌ویژه بُعد فناورانه با ضریب اثر بالا، نقش پیشران اصلی را ایفا می‌کند. در نهایت، مدل مفهومی پیشنهادی از برازش مناسبی برخوردار بود و قابلیت تبیین ساختارهای اثرگذار در مسیر توسعه متاورس شهری را داراست.

واژگان کلیدی: متاورس شهری، شهر هوشمند، پیشران‌های فناورانه، حکمرانی دیجیتال، سواد و عدالت دیجیتال

* عهده دار مکاتبات

+ پست الکترونیکی: Mehrensaedi@gmail.com

۱ پست الکترونیکی: salehi60@atu.ac.ir

۲ پست الکترونیکی: nasrollahym@yahoo.com

۳ پست الکترونیکی: alimahdioun2344@gmail.com

<https://jtd.iranjournals.ir/>

فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی | شماره شصت و چهار، تابستان ۱۴۰۵ | ۹۵

نحوه استناددهی به این مقاله: سعیدی اقدم، مهران، صالحی کامردخی، سید کمیل، حاج نصراله یی، مسعود، مهدیون، سید علی. (۱۴۰۵). ارائه یک چارچوب مفهومی برای



توسعه متاورس شهری در شهرهای هوشمند: تحلیل نقش پیشران‌های فناورانه، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، (۶۴)، ۲۴-۹۵.

ناشر: پژوهشکده توسعه تکنولوژی

۱- مقدمه

زیرساخت‌های داده‌ای، روندهای اقتصادی و الگوهای حکمرانی پلتفرم‌های دیجیتال، به‌طور روزافزونی در بخش‌های مختلف شهری و جنبه‌های گوناگون زندگی شهری نفوذ یافته‌اند. این روند تحت عنوان «پلتفرم‌محوری» شناخته می‌شود که خود زمینه‌ساز شکل‌گیری مفهومی به‌نام «جامعه پلتفرمی» شده است؛ جامعه‌ای که در آن، پلتفرم‌ها به بخش جدایی‌ناپذیری از ساختارهای شهری بدل شده‌اند. یکی از نمودهای نوظهور این روند، پدیده متاورس است؛ پروژه‌ای جهانی که توسط شرکت متا (پیش‌تر فیس‌بوک) به‌عنوان یک پلتفرم بین‌المللی راه‌اندازی شده است. متاورس به‌مثابه تجسمی از یک «جهان مجازی موازی» تلقی می‌شود که در آن شیوه‌های زیست و کار در فضاهای دیجیتال به‌عنوان جایگزینی برای شهرهای هوشمند آینده به تصویر کشیده می‌شوند. با ظهور فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند هوش مصنوعی، کلان‌داده، اینترنت اشیا و دوقلوهای دیجیتال، که امکان تحلیل دقیق‌تر رفتار انسانی و پردازش داده‌های پیچیده را فراهم می‌سازند، متاورس ظرفیت آن را دارد که فرآیند طراحی شهری و ارائه خدمات را دگرگون کرده و در جهت ارتقاء بهره‌وری، پاسخگویی و کیفیت عملکرد شهری بازتعریف نماید. با این حال، دغدغه‌هایی در حوزه‌های اخلاقی، اجتماعی، فرهنگی و انسانی درباره تأثیر متاورس بر کیفیت تعاملات انسانی و آینده آن در بازآفرینی کیفیت زندگی شهری همچنان مطرح است (عالم و همکاران، ۲۰۲۲).

در دهه اخیر، جهان شاهد شتاب چشمگیری در توسعه فناوری‌های نوآورانه‌ای بوده که عمدتاً تحت تأثیر تحولات انقلاب صنعتی چهارم شکل گرفته‌اند. این پیشرفت‌ها، با بحران کووید-۱۹ که سبب تسریع تحول دیجیتال در خانه‌ها و محیط‌های کاری شد، تشدید گردید. در این میان، واقعیت مجازی به‌عنوان یکی از فناوری‌های پیش‌تاز مطرح شده است؛ فناوری‌ای که به‌واسطه هم‌افزایی با دیگر تکنولوژی‌های نوین نظیر هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، ابرهای اشیاء و کلان‌داده‌ها رشد فزاینده‌ای را تجربه کرده است. پذیرش گسترده فناوری‌های دیجیتال در حوزه‌های مختلف نیز تا حد زیادی به استراتژی‌های انعطاف‌پذیر در پاسخ به شرایط ناشی از همه‌گیری کرونا بازمی‌گردد؛ شرایطی که مرزهای تعاملات انسانی را به سمت فضاهای مجازی سوق داد. با این وجود، روند نفوذ فناوری در فضاهای شهری، بسیار پیش‌تر از دوران پاندمی، از طریق سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌های مرتبط با شهر هوشمند آغاز شده بود (شریفی و همکاران، ۲۰۲۱).

علاوه بر این، متاورس در میانه همه‌گیری کووید-۱۹ راه‌اندازی شد؛ بحرانی که از آن به‌عنوان فرصتی عظیم یاد شد که باید برای بازاندیشی و بازتنظیم جهان عمدتاً در نسخه دیجیتالی آن از آن بهره گرفت. این امر دربرگیرنده تثبیت و عادی‌سازی شیوه‌ای از حکمرانی است که به‌طور فزاینده‌ای تحت رهبری شرکت‌های بزرگ، از بالا به پایین، فن‌سالارانه، فناورانه و مبتنی بر الگوریتم‌ها اداره می‌شود و همچنین شامل شکل‌های جدیدی از کنترل سبک‌های زندگی در جوامع شهری می‌گردد.

از زمان اوج دوران کووید-۱۹، جهان خود را برای «عادی‌سازی جدید» آماده کرده است؛ جریانی که در آن استفاده از فناوری‌های دیجیتال به بخش رایج و تثبیت‌شده‌ای از تقریباً همه ابعاد جامعه شهری تبدیل شده است. این «عادی‌سازی جدید» عملاً زمینه را برای بازاندیشی یک‌طرفه و بازتنظیم غیردموکراتیک جهان فراهم کرده و منجر به تحولی دیجیتال در مقیاس گسترده و ناگهانی در جامعه شهری شده است. فرایندی از دیجیتالی‌سازی و داده‌محوری که به‌نوبه خود مسیر را برای ورود به عصر جدیدی از واقعیت مجازی در شهرهای آینده هموار می‌کند (Bibri and Allam, 2022). این چشم‌انداز مستلزم تشدید روندهای داده‌محوری، الگوریتمی‌سازی و پلتفرم‌محوری در تمامی جنبه‌های زندگی مانند اجتماعی‌شدن، تعامل، کار، یادگیری، بازی، سفر، خرید و... است؛ و همچنین شامل بازسازمان‌دهی کامل اجتماعی است که از این کنش‌ها و تعاملات ناشی می‌شود. با این حال، این فرایندهای دیجیتال و محاسباتی چه به‌صورت عمدی و چه غیرعمدی با پیامدهایی بسیار مخرب برای جامعه شهری همراه هستند (Calvo, 2020).

در حال حاضر، اشتیاق زیادی نسبت به امکاناتی که متاورس فراهم می‌کند وجود دارد؛ زیرا احتمال روزافزونی وجود دارد که این پدیده تأثیر قابل‌توجهی بر جامعه شهری در دهه آینده داشته باشد. متاورس که از آن به‌عنوان آینده اینترنت یاد می‌شود، به واسطه پیشرفت سریع فناوری‌های کلیدی امکان‌پذیر شده است؛ فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی، داده‌های عظیم، اینترنت اشیا، رایانش لبه‌ای، بلاک‌چین، دوقلوهای دیجیتال، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده، واقعیت ترکیبی و شبکه‌های پرسرعت 5G. اگرچه این فناوری‌ها از نظر نقش در امکان‌پذیر ساختن متاورس به‌عنوان یک پلتفرم محاسباتی «پیشرفته» اهمیت یکسانی ندارند، اما هم‌گرایی آن‌ها روند اتصال محیط‌های مجازی موجود که در اختیار شرکت‌های مختلف پلتفرمی هستند را به یک شبکه سه‌بعدی از جهان‌های مجازی تسریع کرده است. همچنین، رواج جهانی و پذیرش گسترده پلتفرم‌های رسانه اجتماعی متعلق به

مکان‌ها را حذف یا نادیده بگیرند (Aurigi, 2022). در زمینه شهرهای هوشمند، مسائل مربوط به طرد اجتماعی شامل تحریف «واقعیت یک شهر» و ویژگی‌های خاص مکان‌ها مانند تاریخچه، احساسات، دغدغه‌ها، دانش و مسیرهای جامعه‌های شهری می‌شود (McFarlane and Söderström, 2017).

در مقابل، شهرهای هوشمند باید همان‌گونه که کیچن (۲۰۱۶) مطرح می‌کند، به‌صورت سیستم‌هایی سیال، باز، پیچیده، چندسطحی، وابسته به شرایط و رابطه‌مند که مملو از فرهنگ، سیاست، منافع متضاد و مسائل پیچیده هستند و اغلب به‌صورت غیرقابل پیش‌بینی گسترش می‌یابند، در نظر گرفته شوند. متاورس این پیچیدگی را به مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و پلتفرم‌های دیجیتال قابل مدیریت و محدود تقلیل می‌دهد و سپس نتایج حاصل را برای هدایت و کنترل شهروندان به‌روش‌هایی تقلیل‌گرایانه، خطی و مکانیکی به کار می‌گیرد. این بدان معناست که مانند شهرگرایی هوشمند، تجربه زندگی روزمره نادیده گرفته می‌شود؛ زیرا شیوه‌های زیستن شهری در مرزهای اداری سیستم‌های شهری محصور می‌گردند (Verrest & Pfeffer, 2019). در شهرگرایی هوشمند، «هم شهرها و هم شهروندان به داده‌هایی عملکردی تبدیل می‌شوند که برای مدیریت و کنترل حکمرانی شهری و شیوه‌های زندگی شهری به کار گرفته می‌شوند (Marvin et al, 2016).

پیشرفت‌های علمی و فناوریانه همواره مرزهای اندیشه، کنش و تخیل انسان را دگرگون ساخته‌اند. یکی از جلوه‌های نوین این پیشرفت‌ها که اخیراً توجه فراوانی را برانگیخته، مفهوم متاورس است؛ مفهومی که به‌دلیل ظرفیت‌های بالقوه‌اش برای تأثیرگذاری گسترده بر جامعه آینده، مورد استقبال فزاینده قرار گرفته است. متاورس به‌عنوان چشم‌اندازی جذاب و فریبنده از آینده فنی-اجتماعی معرفی می‌شود؛ فضایی مجازی، دائمی، هم‌زمان، اشتراکی و فراگیر که با فناوری‌های حس‌گر، محاسبات فراگیر و ارتباطات بی‌سیم آمیخته شده و قادر است انسان و نماینده‌های مجازی او را با چندین هویت و شخصیت درک، تحلیل، احساس و واکنش دهد. با این حال، ایده آواتارها همچنان ماهیتی خیالی به متاورس می‌بخشد و آن را از سطح تخیل فنی-اجتماعی به تحقق اجتماعی دور می‌سازد. توسعه متاورس اخیراً به روندی کلیدی در شهرهای هوشمند داده‌محور تبدیل شده است؛ به‌ویژه در طراحی شهرهای مجازی یا افزوده مبتنی بر هوش مصنوعی و داده‌های کلان. این شهرها، به‌عنوان مجموعه‌ای از تخیلات فنی-اجتماعی، در بستر زیرساخت‌ها، خدمات و معنای اجتماعی شکل می‌گیرند. در عین حال، متاورس حامل تصاویری داستانی از آینده است که

شرکت متا و سایر غول‌های فناوری، به‌شکل قابل‌توجهی در ترویج ایده متاورس مؤثر بوده است. شرکت متا متاورس را چنین توصیف می‌کند: «مجموعه‌ای از فضاهای مجازی که در آن می‌توانید با افرادی که در فضای فیزیکی شما حضور ندارند، خلق کنید و به اکتشاف بپردازید. شما قادر خواهید بود با دوستان خود وقت بگذرانید، کار کنید، بازی کنید، یاد بگیرید، خرید کنید، خلق کنید و فعالیت‌های بیشتری انجام دهید» (Bosworth and Clegg, 2021).

این شبکه سه‌بعدی فرضی از جهان‌های مجازی که در یک فضای سایبری مشترک، غوطه‌ور، ماندگار، فراگیر و هم‌زمان ترکیب شده‌اند، راه‌هایی برای زیست در شهرهای مجازی تجسم می‌بخشد؛ شکلی از شهرگرایی که در مفهوم «ویژگی‌های متمایز تجربه زندگی روزمره در شهرها» معنا می‌یابد (Bridge, 2009). این شهرهای مجازی به‌طور قابل‌توجهی نسبت به نوعی شهرگرایی هوشمند مبتنی بر داده، که بر هوش مصنوعی و سیستم‌های تحلیلی متکی است، واکنش‌پذیر هستند.

تحقیق و توسعه در زمینه متاورس اخیراً به یکی از روندهای کلیدی در شهرگرایی هوشمند تبدیل شده است؛ به‌ویژه در طراحی شهرهایی که به‌صورت مجازی قابل سکونت هستند و بر پایه سیستم‌های هوش مصنوعی مبتنی بر داده‌های کلان ساخته می‌شوند (Bibri, 2022). بیشتر فناوری‌هایی که زیربنای اکوسیستم کاربردی متاورس را تشکیل می‌دهند (Lee et al, 2024)، با «پلتفرم اطلاعات افقی» که در شهرهای هوشمند مبتنی بر داده استفاده می‌شود در ارتباط هستند. این پلتفرم به‌منظور پیوند دادن فناوری‌ها و راه‌حل‌های مختلف هوشمند برای هماهنگ‌سازی سیستم‌های شهری و اتصال شهروندان، مکان‌ها و اشیاء طراحی شده است. چشم‌انداز متاورس ویژگی‌های خاص زندگی روزمره در شهرهای هوشمند مبتنی بر داده در آینده را به تصویر می‌کشد. در حالی که رابطه بین مجازی‌بودن و شهری‌بودن به‌تازگی به موضوعی مهم تبدیل شده است. از این منظر که چگونه با یکدیگر تعامل دارند و بر هم تأثیر می‌گذارند. این ویژگی خاص به‌احتمال زیاد بر شیوه‌های زندگی شهری و فرهنگ شهری تأثیر خواهد گذاشت؛ زیرا این‌ها محصول تعاملات ادراکی بین انسان‌ها و فرم‌های فضایی هستند (Bibri & Krogstie, 2020).

چشم‌انداز متاورس به‌سمت شکل‌دهی به «محیط‌های کاملاً جدید و مبتنی بر فناوری دیجیتال» اشاره دارد، محیط‌هایی که ممکن است به‌راحتی باعث محدود شدن چارچوب اجتماعی آن‌ها شوند و برخی گروه‌های اجتماعی، فرهنگ‌ها، شیوه‌های زیست و

باشند. در اوایل دهه ۹۰ میلادی، آینده‌پژوهان این ایده را به‌صورت ابتدایی و مجزا در فضاهای مجازی غیرمتصل پیاده‌سازی کردند و در نتیجه، موفق به ایجاد یک فضای سایبری یکپارچه نشدند. اما امروزه به لطف فرایندهایی مانند آبرائصال‌پذیری، داده‌محور شدن، الگوریتمی‌سازی و پلتفرمی‌سازی جامعه شهری، این مفهوم فرصت رشد پیدا کرده است؛ به‌ویژه با توجه به اشتیاق جوانان نسبت به ارتباطات فراگیر و یکپارچه میان افراد و اشیاء. با این حال، تصور تعامل چهره‌به‌چهره افراد از طریق آواتارها، هنوز متاورس را بیشتر در حد یک داستان تخیلی نگه داشته تا یک چشم‌انداز فناورانه یا تخیل جامعه‌شناختی-فنی (Bibri and Allam, 2022). همانند بسیاری از مفاهیم نوظهور، متاورس نیز تعریف جامع و یکسانی ندارد و توسط محققان مختلف به شیوه‌های گوناگونی تعریف شده است. بیبری (۲۰۲۲) متاورس را شبکه‌ای سه‌بعدی و فرضی از جهان‌های مجازی می‌داند که خالقان آن را به‌عنوان فضای سایبری بی‌وقفه، هم‌زمان، فراگیر، غوطه‌ور و اعلاایی توصیف می‌کنند؛ فضایی که در آن انسان‌ها به‌صورت آواتارهایی با هویت‌ها و شخصیت‌های چندگانه به‌گونه‌ای ملموس با اشیای روزمره و زندگی واقعی خود در ارتباط هستند. استیفنسون مفاهیم نوآورانه‌ای مانند هدست‌های واقعیت مجازی و عینک‌های واقعیت افزوده را مطرح کرده که افراد از طریق آن‌ها می‌توانند وارد جهانی خیالی و مجازی شوند. متاورس اکنون دامنه فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی را به تعاملات اجتماعی، محیط‌های کاری، فروشگاه‌ها، سرگرمی، خلاقیت و فراتر از آن گسترش داده است و بستری چندکاربره برای جوامع مجازی به‌هم‌پیوسته فراهم می‌آورد که از ابزارهایی چون هدست‌های واقعیت افزوده، عینک‌های واقعیت مجازی، لنزهای تماسی، صفحات لمسی و سایر واسطه‌های دیجیتال استفاده می‌کنند. واقعیت ترکیبی نیز به‌عنوان نسخه‌ای پیشرفته‌تر از واقعیت افزوده یا ترکیبی از واقعیت افزوده و واقعیت مجازی شناخته می‌شود و هر سه در قالب اصطلاح کلی واقعیت گسترده طبقه‌بندی می‌شوند. لی و همکاران (۲۰۲۱) مرور جامعی از آخرین وضعیت متاورس با تمرکز بر فناوری‌های هسته‌ای آن ارائه می‌دهند که از اینترنت و واقعیت گسترده تا متاورس را شامل می‌شود و زیربنای یک اکوسیستم بزرگ دیجیتالی را تشکیل می‌دهد. این بررسی به‌طور دقیق به فناوری‌های غوطه‌ورکننده‌ای می‌پردازد که متاورس را ممکن ساخته‌اند.

۲-۲- متاورس شهری

پدیدار شدن متاورس به‌عنوان یک فضای دیجیتال تحول‌آفرین و شکلی مجازی از شهرهای هوشمند، توجه

هم امیدبخش‌اند و هم هشداردهنده. از منظر علوم اجتماعی، این تصاویر بازتاب نقد تخریبی بر آرمان‌شهر فناورانه‌اند و نمادی از سلطه‌گری دولت‌ها یا شرکت‌های بزرگ تکنولوژیک با وجود این، توسعه متاورس اغلب بر پایه فرضیاتی غیرواقع‌گرایانه و کاربردی محدود در دنیای معاصر بنا شده و در مرزهای گمانه‌زنی باقی مانده است. این روند رابطه شهروندان با فضاهای شهری و صورت‌بندی‌های فضایی را بازپیکربندی کرده و نوعی تقلیل‌گرایی فناورانه پدید آورده که زندگی شهری را به مجموعه‌ای از مدل‌های قابل کنترل هوش مصنوعی تبدیل می‌کند و پیچیدگی‌های انسانی، اجتماعی و سیاسی را نادیده می‌گیرد. بنابراین این پژوهش در پی ارائه یک چارچوب مفهومی برای توسعه متاورس شهری در شهرهای هوشمند و تحلیل نقش پیشران‌های فناورانه آرمان‌شهرها است.

نوآوری این پژوهش در آن است که متاورس را نه صرفاً به‌عنوان یک فناوری نوظهور، بلکه به‌مثابه شکل جدیدی از شهرگرایی پلتفرمی تحلیل می‌کند. در حالی که بیشتر مطالعات پیشین تنها به ابعاد فنی یا اجتماعی متاورس پرداخته‌اند، این تحقیق با ترکیب رویکردهای فناورانه (هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء، بلاک‌چین، دوقلوی دیجیتال) و ابعاد اجتماعی-اخلاقی، چارچوبی جامع برای فهم نقش متاورس در آینده شهرهای هوشمند ارائه می‌دهد. این چارچوب هم بر فرصت‌های آن (بهبود برنامه‌ریزی شهری، ارتقای تعاملات اجتماعی و پایداری) و هم بر چالش‌هایش (خطر طرد اجتماعی، نابرابری فضایی، تهدید حریم خصوصی و تقلیل‌گرایی فناورانه) تأکید دارد. به این ترتیب، پژوهش حاضر با ارائه نگاهی انتقادی و چندلایه، فراتر از رویکردهای خوش‌بینانه یا تبلیغاتی شرکت‌های فناوری حرکت کرده و ابعاد پیچیده و کمتر مطالعه‌شده رابطه میان متاورس و حکمرانی شهری را آشکار می‌سازد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱- متاورس

اگرچه ایده متاورس حدود سه دهه است که به‌عنوان یک روایت تخیلی مطرح بوده، اما تنها در سال‌های اخیر و به‌ویژه با تغییر نام فیسبوک به «متا» و ورود سایر ارائه‌دهندگان پلتفرم‌ها، این مفهوم به کانون توجه عمومی و جهانی راه یافت. ریشه این ایده به رمان علمی‌تخیلی سقوط برف نوشته نیل استیفنسون در سال ۱۹۹۲ بازمی‌گردد؛ رمانی که در آن، متاورس به‌عنوان جهانی مجازی توصیف می‌شود که کاربران می‌توانند در آن از طریق آواتارهای دیجیتال همانند دنیای واقعی با یکدیگر تعامل داشته

وابستگی بیش از حد به فضاهای مجازی ممکن است تجربه واقعی زندگی شهری را تضعیف کند. بنابراین، تحول دیجیتال باید مسئولانه، با رویکردی اخلاق محور و عدالت محور انجام شود. طراحی فراگیر و دسترسی برابر از جمله مؤلفه‌های ضروری برای تضمین نقش مثبت متاورس در آینده‌ای پایدار و عادلانه برای شهرهاست (Allam et al., 2022; De Giovanni, 2023; Johri et al., 2024; Monaco & Sacchi, 2023; Pellegrino et al., 2023).

۲-۳- پیامدهای اخلاقی متاورس در جامعه شهری

برای پیش‌بینی مسائل رایج و خطرات بالقوه، ادعا می‌شود که متاورس با کارشناسان دولت، صنعت و دانشگاه همکاری می‌کند تا این مسائل و ریسک‌ها را بررسی کرده و همچنین با نهادهای مدافع حقوق بشر و حقوق مدنی همکاری دارد تا اطمینان حاصل شود که فناوری‌ها به شیوه‌هایی فراگیر و توانمندساز طراحی می‌شوند (Bosworth and Clegg, 2021). در این راستا، چند حوزه کلیدی مطرح شده‌اند:

- حریم خصوصی: چگونگی به حداقل رساندن داده‌های مورد استفاده، استفاده از داده‌ها به شیوه‌های حفاظت‌کننده از حریم خصوصی، و فراهم‌سازی شفافیت و کنترل برای کاربران بر داده‌هایشان؛
- ایمنی و سلامت روانی: چگونگی حفظ امنیت افراد در فضای آنلاین و ارائه ابزارهایی برای اقدام یا درخواست کمک در مواقعی که احساس ناراحتی می‌کنند؛
- عدالت و شمول‌پذیری: چگونگی طراحی فراگیر فناوری‌ها به نحوی که برای همگان قابل دسترسی باشد.

با این حال، این تم‌های تکرارشونده بیشتر ادعاهایی یک‌جانبه‌اند که در اکثر چشم‌اندازهای فناورانه پیشین یا محصولات مصرفی دیجیتال نیز مطرح بوده‌اند. این ادعاها اغلب بر مشارکت تدریجی شهروندان/کاربران، بهبود کیفیت زندگی، امنیت، تعاملات انسانی، و ارائه خدمات کارآمدتر تأکید دارند.

تجربه و پژوهش‌ها نشان داده‌اند که شرکت‌های بزرگ فناوری معمولاً در تحقق چنین ادعاهایی ناکام بوده‌اند؛ این ادعاها بیشتر بخشی از فرآیند ساخت تصویر مطلوب از آینده بوده‌اند تا واقعیت‌هایی اجرایی. از این رو، این سؤال مطرح می‌شود که چرا و چگونه متاورس می‌تواند متفاوت باشد؟ واقعیت این است که متاورس نیز از این قاعده مستثنی نیست. گرچه این نگاه ممکن است تا حدی بدبینانه تلقی شود، اما باید توجه داشت که نوآوری‌های فناورانه متاورسی نیز عمدتاً توسط همان شرکت‌های بزرگ فناوری هدایت می‌شوند؛ شرکت‌هایی که سابقه‌ای طولانی در عرضه محصولات دارند که گاه در تضاد با ملاحظات اخلاقی،

فزاینده‌ای را نسبت به تأثیرات احتمالی آن بر پایداری شهری و میزان هم‌راستایی آن با اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد به خود جلب کرده است (Allam et al., 2022; Rajguru & Brüggenmann, 2024).

بررسی منافع مشترک و تبعات احتمالی متاورس، برای ارزیابی اینکه این فناوری نوظهور چگونه می‌تواند موجب تسریع یا مانع تحقق توسعه پایدار شود، ضروری است. ادبیات پژوهشی اخیر نشان می‌دهد که متاورس می‌تواند در تحقق برخی از اهداف توسعه پایدار نقش آفرینی کند. از جمله این نقش‌ها می‌توان به بهبود برنامه‌ریزی شهری، کاهش مصرف منابع، تسهیل تعاملات اجتماعی، و حفظ میراث فرهنگی اشاره کرد (Allam et al., 2022). از منظر اقتصادی، متاورس فرصت‌هایی برای توسعه بازارهای جدید کالاهای دیجیتال، افزایش آگاهی برندها، و ایجاد مشاغل نوآورانه فراهم می‌آورد (De Giovanni, 2023).

از دیدگاه زیست‌محیطی، متاورس با جایگزینی برخی تجربیات فیزیکی با تجربیات مجازی، می‌تواند به توسعه شهری کم‌کربن و کاهش تولید زباله و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند (Allam et al., 2022; Criollo-C et al., 2023; De Giovanni, 2023; Higginbotham, 2021).

از جنبه اجتماعی نیز، متاورس این پتانسیل را دارد که موجب فراگیری اجتماعی، ارتقای سلامت عمومی، ایجاد فرصت‌های شغلی جدید، و تحول در حوزه‌هایی چون آموزش، سلامت و گردشگری شود (Allam et al., 2022; Criollo-C et al., 2023; Johri et al., 2024).

علاوه بر این، پروژه‌های پایلوت در شهرهایی چون سئول، دبی، اورلاندو، لاس‌وگاس، بوستون، سنگاپور و هلسینکی نشان داده‌اند که فناوری‌های متاورسی می‌توانند در بهبود مدیریت شهری و افزایش مشارکت شهروندان مؤثر باشند. این تجربیات، بینش‌های ارزشمندی در خصوص الزامات فنی، نهادی و زیرساختی لازم برای ادغام نوآوری‌های دیجیتال در حکمرانی شهری ارائه می‌دهند (Allam et al., 2022). با این حال، مطالعات همچنین به چالش‌ها و پیامدهای منفی احتمالی اشاره دارند. برخی پژوهشگران هشدار داده‌اند که متاورس ممکن است به تشدید نابرابری‌های اجتماعی و فضایی، افزایش هزینه‌های زندگی، بروز مسائل مربوط به حریم خصوصی و امنیت داده، بروز مشکلات روانی، و حتی گسست از واقعیت منجر شود (Allam et al., 2022; De Giovanni, 2023).

همچنین، زیرساخت‌های انرژی بر متاورس می‌تواند در تضاد با اهداف زیست‌محیطی قرار گیرد. پژوهشگران تأکید دارند که

ابزار گردآوری داده‌ها، پرسش‌نامه محقق‌ساخته بود که روایی و پایایی آن مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی پایایی از ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی (CR) استفاده شد. نتایج نشان داد مقدار آلفای کرونباخ برای تمام متغیرهای اصلی بیش از ۰/۷ بوده و بیانگر انسجام درونی مطلوب ابزار است. همچنین مقدار پایایی ترکیبی نیز از حد معیار (۰/۷) فراتر بوده و روایی همگرا را تأیید کرده است.

۴- یافته‌ها

با توجه به مطالعات پیشین و مرور نظام‌مند ادبیات نظری مرتبط با توسعه متاورس شهری در بستر شهرهای هوشمند، در مرحله نخست، ۴۸ شاخص اولیه به‌عنوان عوامل تأثیرگذار شناسایی شد. این شاخص‌ها عمدتاً ریشه در سه بُعد کلان محیطی، فناورانه و سازمانی داشتند و ناظر بر موضوعاتی چون زیرساخت‌های دیجیتال، پذیرش اجتماعی، ظرفیت‌های نهادی، و بلوغ فناوری‌های نوظهور بودند. برای عملیاتی‌سازی این شاخص‌ها و بررسی تجربی آن‌ها، پرسش‌نامه‌ای طراحی و تدوین گردید که از لحاظ محتوایی متناسب با متغیرهای کلامی تعریف‌شده و ساختار مفهومی پژوهش تنظیم شده بود. پرسش‌نامه تهیه‌شده در اختیار گروهی از خبرگان شامل متخصصان حوزه‌های فناوری اطلاعات، شهرهای هوشمند، و فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی، واقعیت مجازی و بلاک‌چین قرار گرفت. نظرات این خبرگان از منظر اعتبار و اهمیت شاخص‌ها مورد تحلیل قرار گرفت و در نهایت، بر مبنای نظر غالب و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این مرحله، ۲۶ شاخص نهایی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر توسعه متاورس شهری احصا گردید. پس از پالایش و نهایی‌سازی شاخص‌ها، مدل مفهومی تحقیق با استفاده از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری مورد آزمون قرار گرفت تا ضمن تأیید روایی سازه‌ای، تناسب ساختار عاملی و روابط بین متغیرهای نهفته ارزیابی گردد. نتایج این مرحله مبنای محکمی برای تأیید مدل نظری پژوهش فراهم آورد.

۴-۱- آزمون نرمال بودن متغیرهای تحقیق

نتایج حاصل از اجرای آزمون کولموگروف - اسمیرنوف که در جدول شماره (۱) منعکس شده است. با توجه به سطح عدم معناداری بدست آمده برای متغیرهای وابسته یعنی توسعه متاورس شهری ۰/۴۸ و برای متغیرهای مستقل یعنی بعد فناورانه، بُعد سازمانی و حکمرانی و بُعد محیطی و فرهنگی - اجتماعی به ترتیب برابر ۰/۲۹، ۰/۳۱ و ۰/۴۵ است. بنابراین می‌توان با اطمینان عنوان کرد که متغیرهای وابسته تحقیق دارای

انسانی و اجتماعی قرار دارند. بنابراین، بدون چارچوب‌های نظارتی و پاسخگویی شفاف، متاورس نیز ممکن است همان مسیر نادیده‌گرفتن اصول اخلاقی را طی کند (Bibri and Allam, 2022).

۳- روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف در زمره مطالعات کاربردی قرار دارد و از نظر شیوه اجرا، پیمایشی - توصیفی است. در گام نخست، بر اساس مرور ادبیات پژوهش، اسناد بالادستی شهر هوشمند و مطالعات مرتبط با متاورس شهری، ۴۸ شاخص اولیه استخراج گردید. این شاخص‌ها به‌منظور ارزیابی روایی محتوایی، در اختیار ۱۲ خبره شامل ۵ استاد دانشگاه، ۴ مدیر ارشد شهری و ۳ فعال حوزه صنعت و فناوری قرار گرفت. برای سنجش روایی محتوایی از دو شاخص نسبت روایی محتوا (CVR) براساس روش لاوشه و شاخص روایی محتوا (CVR) استفاده شد. در محاسبه CVR، هر خبره ضرورت هر شاخص را در مقیاس سه‌درجه‌ای (ضروری، مفید اما غیرضروری، غیرضروری) ارزیابی کرد. شاخص‌هایی که مقدار CVR آن‌ها کمتر از مقدار بحرانی جدول لاوشه برای ۱۲ خبره (۰/۵۶) بود، حذف شدند. در محاسبه CVR، وضوح، سادگی و مرتبط بودن هر شاخص در مقیاس چهاردرجه‌ای سنجیده شد و شاخص‌هایی با CVR کمتر از ۰/۷۸ کنار گذاشته شدند. در نتیجه این فرآیند، ۲۲ شاخص به دلیل نمره پایین در یکی یا هر دو معیار حذف شدند و ۲۶ شاخص نهایی با بیشترین اجماع خبرگان باقی ماندند. مطابق با معیارهای رایج در روش مدل‌سازی معادلات ساختاری، حجم نمونه موردنیاز معادل ۵ تا ۱۰ برابر تعداد گویه‌های پرسش‌نامه در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که ابزار پژوهش شامل ۲۶ گویه بوده است، حداقل حجم نمونه ۱۰۰ و حداکثر آن ۲۰۰ نفر برآورد شد. در نهایت، داده‌ها از طریق ۱۳۰ نفر و به روش نمونه‌گیری غیرتصادفی هدفمند گردآوری شد. نمونه‌گیری به‌صورت هدفمند انجام شد تا افرادی انتخاب شوند که آگاهی عمیق و تجربه عملی در حوزه‌های هوش مصنوعی، بلاک‌چین، واقعیت مجازی، مدیریت شهری و سیاست‌گذاری فناوری داشته باشند. این روش اگرچه باعث افزایش دقت و ارتباط مستقیم پاسخ‌ها با موضوع می‌شود، اما از نظر تعمیم‌پذیری نتایج به کل جامعه محدودیت دارد.

جامعه آماری شامل خبرگان حوزه فناوری و مدیریت شهری بود که ترکیب آن به شرح زیر است:

- ۳۸ درصد اساتید و پژوهشگران دانشگاهی
- ۳۲ درصد مدیران و کارشناسان ارشد شهرداری‌ها
- ۳۰ درصد فعالان صنعت فناوری‌های نوظهور

وضعیت بهتری بوده و استفاده از آنها مانعی ندارد.

جدول ۱: نتایج آزمون کولموگروف - اسمیرنوف

نام متغیر	سطح معناداری (sig)
توسعه متاورس شهری	۰/۰۴۸
بعد فناوریانه	۰/۰۲۹
بُعد سازمانی و حکمرانی	۰/۰۳۱
بُعد محیطی و فرهنگی-اجتماعی	۰/۰۴۵

با توجه به نتایج حاصله از آزمون فوق می نتیجه گرفت که جامعه پژوهش غیر نرمال هستند یعنی در سطح اطمینان ۹۵٪ می گفت که فرضیه صفر رد شده و جامعه پژوهش دارای منحنی غیر نرمال هستند (همان طور که می دانیم در این آزمون، اگر سطح معناداری Sig کمتر از ۰/۰۵ باشد، فرضیه صفر رد می شود؛ لذا

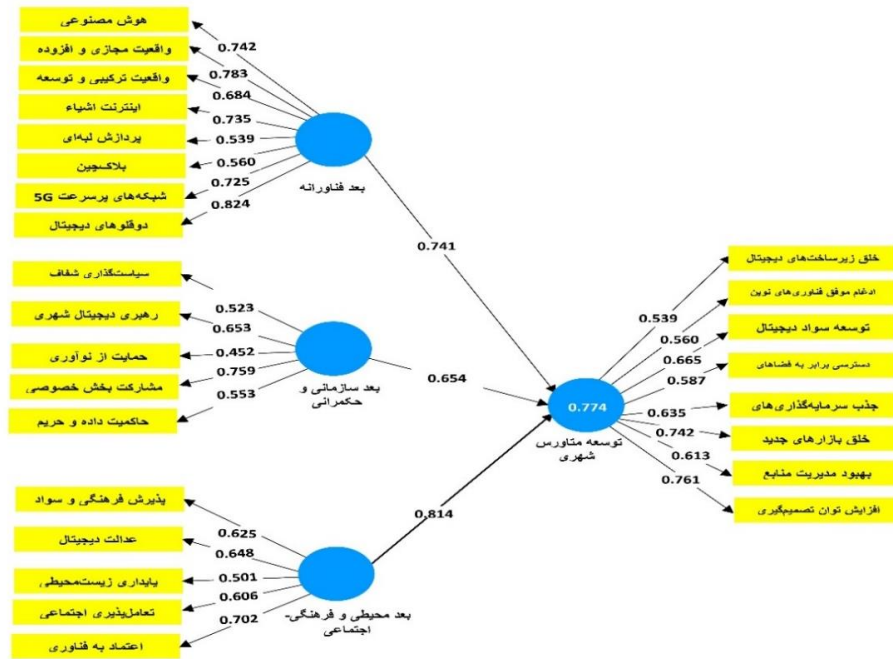
جدول ۲: مقادیر مربوط به مدل اندازه گیری، در مورد زیرسازهای پژوهش (روایی سازه ها)

سازه	زیر سازه	مقدار بار عاملی	T-value
توسعه متاورس شهری	خلق زیرساخت های دیجیتال پایدار و مقیاس پذیر	۰/۵۳۹	۷/۳۶۵
	ادغام موفق فناوری های نوین	۰/۵۶۰	۷/۲۵۴
	توسعه سواد دیجیتال	۰/۶۶۵	۶/۱۵۴
	دسترسی برابر به فضاهای شهری	۰/۵۸۷	۹/۳۶۰
	جذب سرمایه گذاری های فناوریانه	۰/۶۳۵	۷/۲۵۸
	خلق بازارهای جدید	۰/۷۴۲	۷/۶۳۵
	بهبود مدیریت منابع شهری	۰/۶۱۳	۶/۹۴۷
	افزایش توان تصمیم گیری داده محور	۰/۷۶۱	۹/۰۲۵
بعد فناوریانه	هوش مصنوعی	۰/۷۴۲	۱۰/۷۵۳
	واقعیت مجازی و افزوده	۰/۷۸۳	۸/۹۵۱
	واقعیت ترکیبی و توسعه واقعیت گسترده	۰/۶۷۴	۹/۳۵۶
	اینترنت اشیا	۰/۷۳۵	۱۲/۴۷۶
	پردازش لبه ای	۰/۵۳۹	۷/۱۳۶
	بلاک چین	۰/۵۶۰	۸/۳۷۶
	شبکه های پرسرعت 5G	۰/۷۲۵	۶/۱۰۲
	دوقلوهای دیجیتال	۰/۸۲۴	۹/۳۰۸
بُعد سازمانی و حکمرانی	سیاست گذاری شفاف و حمایت گر	۰/۵۲۳	۱۳/۸۷۶
	رهبری دیجیتال شهری	۰/۶۵۳	۱۰/۳۵۵
	حمایت از نوآوری و سرمایه گذاری	۰/۴۵۲	۸/۲۷۴
	مشارکت بخش خصوصی و عمومی	۰/۷۵۹	۷/۳۶۷
	حاکمیت داده و حریم خصوصی	۰/۵۵۳	۸/۹۶۷
بُعد محیطی و فرهنگی-اجتماعی	پذیرش فرهنگی و سواد دیجیتال	۰/۶۲۵	۷/۱۲۸
	عدالت دیجیتال و دسترسی برابر	۰/۶۴۸	۸/۲۲۷
	پایداری زیست محیطی	۰/۵۰۱	۱۰/۳۶۵
	تعامل پذیری اجتماعی	۰/۶۰۶	۹/۲۴۷
	اعتماد به فناوری و امنیت سایبری	۰/۷۰۲	۸/۹۶۴

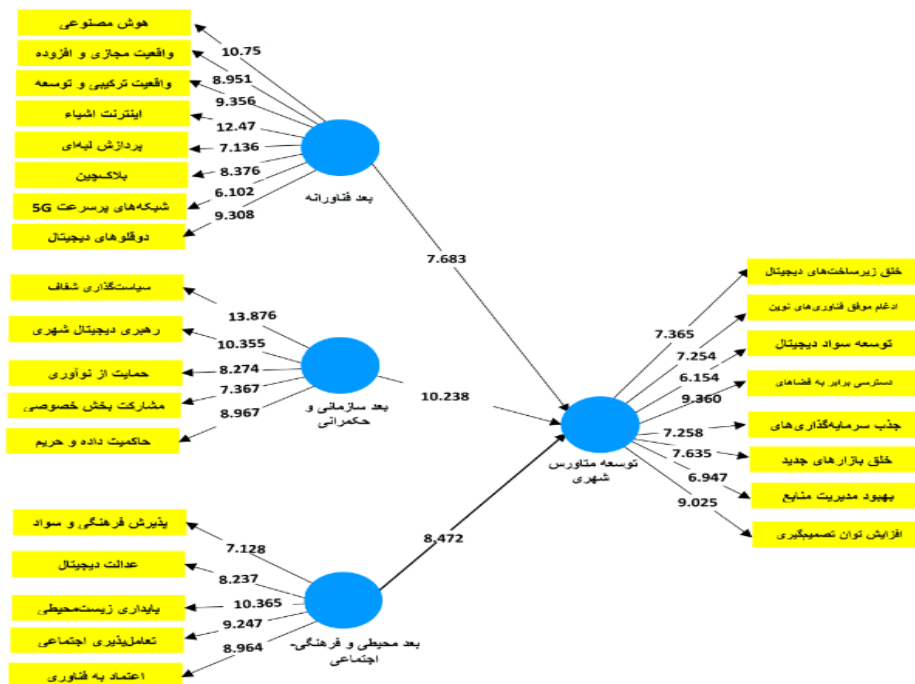
فرضیه صفر یعنی نرمال بودن متغیرهای جامعه آماری رد می کند) لذا از آزمون های ناپارامتریک می توان استفاده نمود.

۲-۴- مدل ساختاری پژوهش

مدل کلی پژوهش با استفاده از نرم افزار Smart PLS طراحی شده است. برای سنجش اعتبار پژوهش، از روایی سازه یا عاملی بهره گرفته شده و نتایج حاصل در جدول شماره ۱ ارائه شده اند. در تحلیل مدل معادلات ساختاری نیز، برای بررسی معناداری پارامترهای موجود در مدل، از آماره t استفاده شده است؛ به طوری که پارامترهایی با مقدار بیشتر از ۱/۹۶ از نظر آماری معنادار تلقی می شوند.



نمودار ۱: مدل اصلی تحقیق در حالت معناداری ضرایب



نمودار ۲: مدل اصلی تحقیق در حالت معناداری ضرایب

جدول ۳: اثرات مستقیم، آماره تی و نتیجه آزمون

مسیر	ارزش مسیر	آماره تی	سطح معناداری
بعد فناورانه → توسعه متاورس شهری	۰/۷۴۱	۷/۶۸۳	معنی دار
بعد سازمانی و حکمرانی → توسعه متاورس شهری	۰/۶۵۴	۱۰/۲۳۸	معنی دار
بعد محیطی و فرهنگی-اجتماعی → توسعه متاورس شهری	۰/۸۱۴	۸/۴۷۲	معنی دار

براساس یافته‌های جدول شماره ۲ و مقادیر تی محاسبه شده برای هر یک از گویه‌ها، معناداری آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحلیل عاملی تأییدی با استناد به آماره تی نشان می‌دهد که کلیه گویه‌ها از نظر آماری معنادار هستند. از این رو، گویه‌ها توانسته‌اند به‌طور مناسب ویژگی‌های پنهان مورد نظر در این تحقیق را اندازه‌گیری کنند و با ساختار عاملی و مبانی نظری پژوهش هم‌راستا و سازگار باشند.

شده (AVE) برای تمامی ابعاد پژوهش بالاتر از ۰/۵ بوده و این امر تأیید می‌کند که شاخص‌ها توانسته‌اند بخش قابل توجهی از واریانس سازه‌های پنهان مربوطه را توضیح دهند و روایی همگرایی سازه‌ها تأمین شده است. علاوه بر این، مقادیر قابلیت اطمینان ترکیبی (CR) و آلفای کرونباخ (α) نیز بالاتر از ۰/۷ قرار دارند که نشان‌دهنده پایایی و اعتبار ابزار اندازه‌گیری می‌باشد. این نتایج بیانگر این است که سازه‌های مدل به‌طور قابل اعتماد ویژگی‌های پنهان توسعه متاورس شهری را اندازه‌گیری می‌کنند و داده‌های جمع‌آوری شده از پاسخ‌دهندگان به‌صورت مناسب انعکاس‌دهنده ساختار نظری پژوهش هستند. از سوی دیگر، ضریب تعیین (R^2) برای ابعاد مدل نشان می‌دهد که متغیرهای مستقل قادرند بخش قابل توجهی از واریانس توسعه متاورس شهری را توضیح دهند، به‌طوری که ضریب تعیین کل مدل ۰/۷۷۴ برآورد شده است. علاوه بر آن، شاخص برازش کلی مدل (GoF) با مقدار ۰/۷۳ نشان‌دهنده برازش عالی مدل است و تأیید می‌کند که ساختار مدل با داده‌های جمع‌آوری شده همخوانی دارد. این یافته‌ها بیانگر این است که مدل توسعه متاورس شهری نه تنها از نظر آماری معتبر است، بلکه قابلیت کاربرد عملی در تحلیل و پیش‌بینی عملکرد پروژه‌های هوشمند شهری را نیز دارد و می‌تواند به‌عنوان چارچوبی جامع برای برنامه‌ریزی، مدیریت و ارزیابی پروژه‌های شهر هوشمند مورد استفاده قرار گیرد.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در سه دهه گذشته، مفهوم متاورس، مشابه شهر هوشمند، عمدتاً در قالب علمی-تخیلی مطرح بود؛ اما با همگرایی فناوری‌های تحول‌آفرین، این ایده به یک واقعیت دیجیتال موازی قابل تحقق بدل شده است. متاورس با فناوری‌های غوطه‌ورکننده مانند واقعیت مجازی و افزوده، ظرفیت خلق تجربه‌های نوآورانه و خلاقانه را دارد، اما همزمان با چالش‌ها و ریسک‌های جدی، از جمله تهدید حریم خصوصی و کنترل دیجیتال، مواجه است و توجه پژوهشگران را به بررسی ابعاد اجتماعی، حکمرانی و اخلاقی آن جلب کرده است.

هدف این پژوهش، طراحی یک چارچوب مفهومی برای توسعه متاورس شهری در بستر شهرهای هوشمند است که با تمرکز بر پیشران‌های فناورانه به‌ویژه هوش مصنوعی، ابعاد حکمرانی دیجیتال، تعاملات شهری، مشارکت بخش خصوصی و عمومی، حاکمیت داده، سواد دیجیتال و الزامات اخلاقی را واکاوی می‌کند. پرسش راهبردی این مطالعه پیرامون شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه متاورس در شهرهای هوشمند است، با توجه به

نمودارهای (۱) و (۲) مدل‌های متفاوت تحقیق را در حالت قدر مطلق معناداری ضرایب نشان می‌دهد. این مدل در واقع تمامی معادلات اندازه‌گیری (بارهای عاملی) و معادلات ساختاری (ضرایب مسیر) را با استفاده از آماره تی، آزمون می‌کند. بر طبق این مدل ضریب مسیر و بار عاملی در سطح اطمینان ۹۵٪ معنادار می‌باشد، اگر مقدار آماره تی بزرگ‌تر از ۱/۹۶ شود و اگر مقدار آماره تی کمتر از این مقدار باشد، در نتیجه بار عاملی یا ضریب مسیر، معنادار نیست. بنابراین خروجی مدل در حالت معناداری بیانگر این است که تمامی مقادیر در این سطح معنادارند. بر اساس بارهای عاملی، شاخصی که بیشترین بار عاملی را داشته باشد، در اندازه‌گیری متغیر مربوطه سهم بیشتری دارد و شاخصی که ضرایب کوچک‌تری داشته باشد سهم کمتری رو در اندازه‌گیری سازه مربوطه ایفا می‌کند. بنابر ضریب تعیین مدل می‌توان گفت که ابعاد فناورانه، سازمانی و حکمرانی و محیطی و فرهنگی-اجتماعی روی هم رفته توانسته‌اند ۰/۷۷۴ از واریانس توسعه متاورس شهری را توضیح دهند.

۴-۳- آزمون برازندگی مدل کلی

معیارها برای ارزیابی برازندگی مدل، میانگین واریانس استخراج شده، قابلیت اطمینان ترکیبی، می‌باشد. این معیار برای اطمینان از ثابت بودن بخش‌های مختلف مدل اندازه‌گیری به کار می‌رود. قابلیت اطمینان ترکیبی باید بیشتر از ۰/۷۰ باشد تا سنجه‌ها قابل اطمینان باشد. همان‌طور که در جدول (۴-۹) نشان داده شده است قابلیت اطمینان همه سنجه‌ها بالاتر از ۰/۷۰ می‌باشند.

جدول ۴: ضرایب پایایی و روایی ابعاد پژوهش

ابعاد	میانگین واریانس استخراج شده	قابلیت اطمینان ترکیبی	ضریب تعیین	آلفای کرونباخ
توسعه متاورس شهری	۰/۶۱	۰/۷۸	۰/۵۸	۰/۷۲
بعد فناورانه	۰/۷۲	۰/۸۱	۰/۶۱	۰/۷۵
بعد سازمانی و حکمرانی	۰/۷۹	۰/۸۶	۰/۵۶	۰/۸۳
بعد محیطی و فرهنگی-اجتماعی	۰/۶۴	۰/۷۴	۰/۶۵	۰/۸۹

با توجه به شاخص‌های برازش مدل نشان می‌دهند که مدل توسعه متاورس شهری از نظر روش‌شناسی و ساختار عاملی دارای روایی و پایایی بالایی است. مقادیر میانگین واریانس استخراج

هوشمند تبدیل می‌کند که همزمان کارآمدی، مشارکت شهروندان و عدالت دیجیتال را ارتقا می‌دهد.

با توجه به یافته‌های پژوهش، مدل پیشنهادی توسعه متاورس شهری می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد مدیریت پروژه‌های شهر هوشمند ایفا کند. این مدل با تأکید بر تصمیم‌گیری داده‌محور و مدیریت بهینه منابع، امکان تحلیل جامع داده‌های شهری از جمله ترافیک، مصرف انرژی، آلودگی و خدمات شهری را فراهم می‌کند و به مدیریت شهری اجازه می‌دهد نیازها و منابع را به‌صورت بهینه پیش‌بینی و تخصیص دهند. علاوه بر این، با فراهم کردن زیرساخت‌های دیجیتال پایدار و ادغام فناوری‌های نوین همچون اینترنت اشیاء، شبکه‌های 5G، هوش مصنوعی و دوقلوهای دیجیتال، مدل چارچوبی عملی برای استقرار و بهره‌برداری از فناوری‌های پیشرفته در محیط شهری ارائه می‌دهد و به توسعه زیرساخت‌های هوشمند کمک می‌کند.

علاوه بر بعد فناوریانه، این مدل قابلیت توانمندسازی شهروندان و افزایش مشارکت آن‌ها را نیز دارد؛ شاخص‌هایی مانند توسعه سواد دیجیتال و پذیرش فرهنگی، شهروندان را قادر می‌سازد از خدمات دیجیتال به نحو مؤثر استفاده کنند و عدالت دیجیتال در دسترسی به منابع و خدمات شهری تحقق یابد. از سوی دیگر، بعد سازمانی و حکمرانی مدل با حمایت از نوآوری، سرمایه‌گذاری و مشارکت بخش خصوصی و عمومی، چارچوب سیاست‌گذاری حمایتی و ایجاد بازارهای جدید را فراهم می‌کند. همچنین با تمرکز بر اعتماد به فناوری و امنیت سایبری و استفاده از ضریب تعیین بالای مدل ($R^2 = 0.774$) برای پایش و ارزیابی مستمر پروژه‌ها، مدیریت شهری می‌تواند شاخص‌های عملکرد پروژه‌های هوشمند را ارزیابی و تصمیمات اصلاحی اتخاذ کنند. در مجموع، مدل پیشنهادی ابزاری جامع برای برنامه‌ریزی، اجرا و ارزیابی پروژه‌های شهر هوشمند ارائه می‌دهد که ابعاد فناوری، اجتماعی و حکمرانی را به‌طور همزمان پوشش می‌دهد.

محدودیت‌های روش‌شناسی این پژوهش عمدتاً شامل چند محور کلیدی است که باید در تفسیر نتایج مد نظر قرار گیرند. نخست، استفاده از نمونه‌گیری غیرتصادفی یکی از محدودیت‌های اصلی است که ممکن است تعمیم‌پذیری نتایج به کل جامعه آماری را کاهش دهد، زیرا شرکت‌کنندگان به‌صورت هدفمند انتخاب شده‌اند و ممکن است ویژگی‌های خاصی داشته باشند که نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. دوم، نبود داده‌های میدانی واقعی از پروژه‌های شهر هوشمند یا پلتفرم متاورس شهری موجب می‌شود سنجش اثرات عملی و واقعی ابعاد مدل محدود شود و فاصله‌ای میان یافته‌های نظری و کاربرد عملی ایجاد گردد. علاوه بر این،

تحولات شتاب‌زده دیجیتال در پی همه‌گیری کووید-۱۹ که زیست‌جهان شهری را دگرگون و زمینه کنترل دیجیتال فناوریانه را فراهم کرده است.

این شرایط پیامدهای اخلاقی قابل‌توجهی، از جمله تهدید امنیت اطلاعات، کاهش سلامت روانی، کالایی‌سازی داده‌های شخصی و محدودیت اختیار شهروندان، به همراه دارد. بنابراین بازطراحی متاورس با رویکرد انسان‌محور ضروری است؛ رویکردی که تجربه کاربران را ارتقا دهد و همزمان حقوق دیجیتال، ارزش‌های اجتماعی و اصول اخلاقی آنان را حفظ کند. چنین چارچوبی، زمینه بهره‌برداری مسئولانه از فناوری‌های تحول‌آفرین و کاهش آثار منفی آن‌ها بر ساختار اجتماعی-فضایی شهرهای آینده را فراهم می‌سازد.

فرضیه اول نشان می‌دهد که زیرساخت‌های فناوریانه، شالوده توسعه متاورس شهری هستند و کیفیت تجربه کاربران، کارآمدی خدمات و تعاملات دیجیتال را شکل می‌دهند. فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء، بلاک‌چین، واقعیت مجازی و افزوده، به همراه شبکه‌های پرسرعت 5G و پردازش لبه‌ای، محیطی هوشمند، امن و تعاملی فراهم می‌کنند که امکان شبیه‌سازی زیرساخت‌های شهری و برنامه‌ریزی مبتنی بر داده را میسر می‌سازد. این بعد فناوریانه، نه تنها تسهیل‌گر، بلکه پیشران توسعه متاورس شهری است و سرمایه‌گذاری در آن برای تحقق پایدار این فضاها ضروری است.

فرضیه دوم بر نقش نهادها، سیاست‌گذاری و ساختارهای حکمرانی در توسعه متاورس شهری تأکید دارد. سیاست‌گذاری شفاف، رهبری دیجیتال، حمایت از نوآوری و سرمایه‌گذاری، و مشارکت بخش خصوصی و عمومی، زیرساخت نهادی لازم را فراهم می‌کنند. همچنین حاکمیت داده و حفاظت از حریم خصوصی، زمینه‌ساز استفاده امن و اثربخش از داده‌های شهری است. این بعد، پیش‌نیاز توسعه متاورس شهری بوده و بدون آن، فناوری‌های پیشرفته به‌طور کامل قابلیت تحقق و بهره‌برداری نخواهند داشت.

فرضیه سوم تأکید می‌کند که توسعه متاورس شهری صرفاً فناوریانه نیست و پذیرش فرهنگی، سواد دیجیتال، عدالت و دسترسی برابر به زیرساخت‌ها از عوامل کلیدی موفقیت آن هستند. آموزش شهروندان و ایجاد فرهنگ استفاده آگاهانه، مشارکت فعال و بهره‌برداری پایدار از خدمات متاورسی را تضمین می‌کند و مانع گسترش نابرابری دیجیتال می‌شود. ترکیب این ابعاد فناوریانه، سازمانی و اجتماعی، مدل پیشنهادی را به ابزاری جامع برای برنامه‌ریزی، مدیریت و ارزیابی پروژه‌های شهر

سطح محلی، میانی و اجتماعی باید همزمان نقش آفرینی کنند؛ سطح محلی شامل شهرداری‌ها و نهادهای شهری است که وظیفه تنظیم مقررات و حفاظت از منافع عمومی را بر عهده دارند. سطح میانی به بخش خصوصی، استارت‌آپ‌ها و صنایع خلاق اختصاص دارد که موتور محرک نوآوری فناورانه و ارزش‌افزوده اقتصادی محسوب می‌شوند. سطح اجتماعی نیز شهروندان و نهادهای مدنی را در بر می‌گیرد که از طریق مکانیسم‌های مشارکتی نظیر رأی‌گیری دیجیتال یا سازمان‌های خودگردان غیرمتمرکز در تصمیم‌گیری‌ها مشارکت می‌کنند. استفاده از فناوری‌هایی همچون بلاک‌چین می‌تواند شفافیت تراکنش‌ها را تضمین کرده و از تمرکز قدرت در دست پلتفرم‌های فراملی جلوگیری کند.

در کنار این موارد، ایجاد نواحی نوآوری شهری با رویکرد متاورس نقش حیاتی در آزمون و توسعه سیاست‌ها و فناوری‌های شهری دارد. این نواحی باید در دو لایه مکمل شکل گیرند: لایه فیزیکی که شامل مراکز نوآوری، شتاب‌دهنده‌ها و فضاهای واقعی شهری برای آزمایش فناوری است و لایه مجازی که بازتابی دیجیتال همین مراکز را در محیط متاورسی فراهم می‌کند. در این لایه، استارت‌آپ‌ها، دانشگاه‌ها و پژوهشگران می‌توانند سناریوهای شهری مانند حمل‌ونقل خودران یا انرژی تجدیدپذیر را در فضایی کم‌هزینه و کم‌ریسک شبیه‌سازی و ارزیابی کنند. بهره‌گیری از شبیه‌سازی مبتنی بر عامل و مدل‌سازی سناریویی در این فضاها، امکان سیاست‌گذاری دقیق‌تر و کاهش هزینه‌های خطا در مدیریت شهری را فراهم خواهد ساخت.

ابزار اندازه‌گیری مورد استفاده مبتنی بر سنجش‌های خوداظهاری است که تحت تأثیر ادراک و برداشت شخصی پاسخ‌دهندگان قرار گرفته و احتمال خطای پاسخ را افزایش می‌دهد. همچنین، با توجه به سرعت بالای تحول فناوری و تغییرات محیط شهری، نتایج پژوهش ممکن است با گذر زمان یا در محیط‌های شهری متفاوت تغییر کنند و نیازمند مطالعات تکمیلی و بروزرسانی مداوم باشند. بنابراین، گرچه یافته‌ها دیدگاه ارزشمندی در زمینه توسعه متاورس شهری ارائه می‌دهند، تعمیم آن‌ها به سایر شهرها یا شرایط عملیاتی باید با احتیاط و با انجام پژوهش‌های تکمیلی مبتنی بر داده‌های میدانی واقعی انجام شود.

برای پژوهش‌های آینده، پیشنهاد می‌شود برای تحقق متاورس شهری، نخستین گام کلیدی، طراحی و استقرار زیرساخت‌های داده‌ای یکپارچه و هم‌پیوند است. این زیرساخت باید بر اساس معماری داده‌ای میان‌لایه‌ای عمل کرده و سامانه‌های حمل‌ونقل، انرژی، مدیریت پسماند، سلامت و آموزش را در قالب دوقلوهای دیجیتال به هم متصل سازد. استانداردسازی داده‌ها، پردازش بلادرنگ و قابلیت هم‌پیوندی با پلتفرم‌های گوناگون از الزامات اساسی این فرایند است. در این راستا، ایجاد مراکز داده شهری توسط شهرداری‌ها و فراهم‌سازی دسترسی برای استارت‌آپ‌ها و بخش خصوصی، متاورس را از یک محیط صرفاً نمایشی به بستری برای سیاست‌گذاری مبتنی بر داده و پیش‌بینی‌پذیری شهری تبدیل خواهد کرد.

از سوی دیگر، تحقق متاورس شهری بدون تدوین الگوی حکمرانی پلتفرمی چندسطحی امکان‌پذیر نیست. در این الگو، سه

فهرست منابع

- 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.
- Aurigi Alessandro (2022), Smart cities, metaverses, and the relevance of place IET Smart Cities, <https://doi.org/10.1049/smc2.12030>
- Bibri, S. E. (2022). The social shaping of the metaverse as an alternative to the imaginaries of data-driven smart Cities: A study in science, technology, and society. *Smart Cities*, 5(3), 832-874.
- Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2020b). The emerging data-driven Smart City and its innovative applied solutions for sustainability: the cases of London and Barcelona. *Energy Informatics*, 3(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s42162-020-00108-6>
- Bibri, S. E., & Zaheer, Allam. (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.
- Bosworth, A., & Nick, C. (2022). Building the Metaverse Responsibly <https://about.fb.com/news/2021/09/building-the-metaverse-responsibly>.
- Bosworth, Andrew and Clegg Nick 202, Building the Metaverse Responsibly <https://about.fb.com/news/2021/09/building-the-metaverse-responsibly/> Accessed 23/02/2022
- Bridge, G. (2009). Urbanism. In R. Kitchin & N. Thrift (Eds.), *International Encyclopedia of Human Geography* (pp. 106-111). Elsevier.

- Calvo, P. (2020). The ethics of Smart City (EoSC): Moral implications of hyperconnectivity, algorithmization and the datafication of urban digital society. *Ethics and Information Technology*, 22(2), 141–149. <https://doi.org/10.1007/s10676-019-09523-0>
- Criollo-C, S., Govea, J., J'ativa, W., Pierrottet, J., Guerrero-Arias, A., Jaramillo- Alc'azar, 'A., & Luj'an-Mora, S. (2023). Towards the Integration of Emerging Technologies as Support for the Teaching and Learning Model in Higher Education. *Sustainability (Switzerland)*, 15(7).
- De Giovanni, P. (2023). Sustainability of the Metaverse: A Transition to Industry 5.0. *Sustainability (Switzerland)*, 15(7).
- Higginbotham, G. (2021). Virtual Connections: Improving Global Neurosurgery through Immersive Technologies [Perspective]. *Frontiers in Surgery*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.629963>
- Johri, A., Joshi, P., Kumar, S., & Joshi, G. (2024). Metaverse for Sustainable Development in a bibliometric analysis and systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 435, Article 140610. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140610>
- Kitchin, R. (2016). The ethics of smart cities and urban science. *Philosophical Transactions of the Royal Society a: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2083), 1–15. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0115>
- Lee, L.H., Braud, T., Zhou, P., Wang, L., Xu, D., Lin, Z., Kumar, A., Bermejo, C., Hui, P. (2024). All one needs to know about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda. *arXiv*, 2110.05352.
- Marvin, S., Luque-Ayala, A., & McFarlane, C. (Eds.). (2016). *Smart urbanism: Utopian vision or false dawn?* London: Routledge.
- McFarlane, C., & Soderstrom, O. (2017). On alternative smart cities: from a technology-intensive to a knowledge-intensive smart urbanism. *City*, 21, 312–328. <https://doi.org/10.1080/13604813.2017.1327166>
- Monaco, S., & Sacchi, G. (2023). Travelling the Metaverse: Potential Benefits and Main Challenges for Tourism Sectors and Research Applications. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4).
- Pellegrino, A., Wang, R., & Stasi, A. (2023). Exploring the intersection of sustainable consumption and the Metaverse: A review of current literature and future research directions. *Heliyon*, 9(9), Article e19190. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19190>
- Rajguru, K., & Brüggemann, P. (2024). Sustainability meets metaverse: A conceptual framework of sustainable dimensions of the metaverse. *Journal of Consumer Behaviour*, 23(5), 2720–2729.
- Sharifi, A., Khavarian-Garmsir, A. R., & Kummitha, R. K. R. (2021). Contributions of smart city solutions and technologies to resilience against the COVID-19 pandemic: A literature review. *Sustainability*, 13(14), 8018.
- Stephenson, N. (2003). *Snow Crash: A Novel*. Random House Publishing Group.
- Taylor, S., & Soneji, S. (2022). Bioinformatics and the metaverse: are we ready?. *Frontiers in bioinformatics*, 2, 863676.
- Verrest, H., & Pfeffer, K. (2019). Elaborating the urbanism in smart urbanism: Distilling relevant dimensions for a comprehensive analysis of Smart City approaches. *Information, Communication & Society*, 22(9), 1328–1342. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2018.1424921>