

Analysis of the impact of emerging technologies on smart city development

Ali Davari*¹ , Golnaz Haji Moradi² , Taraneh Farrokh Manesh*³ , Amin Farahani⁴

1- Associate professor, Faculty of entrepreneurship, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: ali_davari@ut.ac.ir

2- (*Corresponding author) Instructor, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. Email: golnaz19hm@gmail.com

3- Assistant professor, Faculty of family sciences University of Tehran, Tehran, Iran. Email: tfarrokh@ut.ac.ir

4- Ph.D. Student in entrepreneurship, Faculty of entrepreneurship, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: aminthafarahani@gmail.com

Article Info

Date of receive:

2025/05/19

Date of last review:

2025/12/07

Date of accept:

2025/12/10

Date of online publication:

2025/12/10

Keywords:

Smart City,
Artificial Intelligence,
Internet of Things,
Big Data,
5G Network,
Fuzzy Delphi Method

Extended Abstract

Introduction

Smart cities have emerged as an innovative solution for optimal resource management and improving the quality of life. They leverage technologies such as artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), big data, and 5G networks to optimize urban services, enhance efficiency, and ensure more equitable resource distribution, thereby reducing spatial inequalities.

The main objective of this study was to identify and prioritize the most significant emerging technologies affecting smart city development and to analyze the level of expert consensus regarding their importance and adoption feasibility in urban management.

Materials and Methods

This research is applied in nature and follows a descriptive-analytical approach. A two-round fuzzy Delphi method was implemented: initially, questionnaires were distributed to 30 experts in urban technologies, and the collected data were analyzed. Subsequently, the coefficient of variation and fuzzy techniques were used to assess and consolidate the level of expert agreement.

Findings and Discussion

The findings indicate that AI and big data achieved the highest consensus and positive impact on improving urban decision-making, optimizing energy consumption, and enhancing service quality. ... ► Page 140

How to Cite:

Davari, A. Haji Moradi, G. Farrokh Manesh, T. Farahani, A. (2026). Analysis of the impact of emerging technologies on smart city development. Scientific -Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 34(136), 139-156.

Although IoT has high potential, it faces challenges due to the lack of unified technical standards and insufficient security infrastructure, which placed some IoT-related indicators at the threshold of acceptance. Meanwhile, 5G, as a key communication infrastructure, plays a crucial role in crisis management, intelligent transportation, and remote healthcare services.

Conclusion

These results highlight that realizing smart cities requires the standardization of IoT, the development of 5G infrastructure, and strategic investment in emerging technologies. Future research is recommended to adopt a systematic and comparative approach, focusing on technology localization, tailored policy frameworks, and exploring the social and cultural dimensions of technology implementation in diverse urban contexts.



صفحات ۱۵۶ - ۱۳۹

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۴، شماره ۱۳۶، زمستان ۱۴۰۴



مقاله پژوهشی

doi <https://doi.org/10.22131/sepehr.2025.2057964.3135>

تحلیل تأثیر فناوری‌های نوین بر توسعه شهرهای هوشمند

علی داوری^۱، گلناز حاجی مرادی*^۲، ترانه فرخ‌منش^۳، امین فراهانی^۴

۱- دانشیار دانشکده کارآفرینی، دانشگاه تهران، تهران، ایران ali_davari@ut.ac.ir۲- (*نویسنده مسئول) مربی، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، تهران، ایران golnaz19hm@gmail.com۳- استادیار دانشکده علوم خانواده، دانشگاه تهران، تهران، ایران tfarrokh@ut.ac.ir۴- دانشجوی دکتری کارآفرینی، دانشکده کارآفرینی، دانشگاه تهران، تهران، ایران aminthafarahani@gmail.com

چکیده

با گسترش شهرنشینی و افزایش چالش‌های مرتبط با مدیریت شهری، شهرهای هوشمند به‌عنوان رویکردی نوین برای بهینه‌سازی خدمات و ارتقای کیفیت زندگی مطرح شده‌اند. فناوری‌هایی همچون هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، داده‌های کلان و شبکه G5 نقش مهمی در بهبود فرآیندهای شهری، افزایش بهره‌وری و ایجاد توزیع عادلانه‌تر منابع دارند. هدف این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی مهم‌ترین فناوری‌های مؤثر بر توسعه شهرهای هوشمند و بررسی میزان توافق خبرگان درباره اهمیت و قابلیت به‌کارگیری آن‌ها در مدیریت شهری است. پژوهش حاضر از نوع کاربردی و توصیفی - تحلیلی بوده و داده‌ها از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و پرسشنامه گردآوری شده‌اند. برای تحلیل داده‌ها، روش دلفی فازی در دو مرحله متوالی اجرا و پرسشنامه‌ها میان ۳۰ خبره حوزه فناوری‌های شهری توزیع شد. سپس با استفاده از ضریب تغییرات و تکنیک‌های فازی، میزان اجماع نظرات ارزیابی شد. یافته‌ها نشان می‌دهند که هوش مصنوعی و داده‌های کلان بیشترین تأثیر را در بهینه‌سازی مصرف انرژی، ارتقای تصمیم‌گیری‌های شهری و بهبود کیفیت خدمات داشته و بالاترین سطح اجماع را میان خبرگان کسب کرده‌اند. در مقابل، اینترنت اشیا با وجود پتانسیل بالا، به دلیل فقدان استانداردهای فنی یکپارچه و ضعف زیرساخت‌های امنیتی، در برخی شاخص‌ها با چالش مواجه بوده است. همچنین شبکه G5 به‌عنوان زیرساخت ارتباطی کلیدی، نقشی مهم در مدیریت بحران، حمل‌ونقل هوشمند و خدمات سلامت از راه دور ایفا می‌کند. بر اساس نتایج، توسعه زیرساخت‌های امنیتی، استانداردسازی اینترنت اشیا و سرمایه‌گذاری هدفمند در فناوری‌های نوین برای تحقق شهرهای هوشمند ضروری هستند. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده با رویکردی مقایسه‌ای و بومی‌سازی سیاست‌ها، ابعاد اجتماعی و فرهنگی استقرار فناوری‌های شهری را نیز مورد بررسی قرار دهند.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۲/۲۹

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۴/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۹/۱۹

تاریخ انتشار:

۱۴۰۴/۰۹/۱۹

واژه‌های کلیدی:

شهر هوشمند؛

هوش مصنوعی؛

اینترنت اشیا؛

داده‌های کلان؛

شبکه G5؛

روش دلفی فازی

استناد به این مقاله:

داوری، ع؛ حاجی مرادی، گ؛ فرخ‌منش، ت؛ فراهانی، الف (۱۴۰۴) تحلیل تأثیر فناوری‌های نوین بر توسعه شهرهای هوشمند؛ فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۴ (۱۳۶)، ۱۵۶ - ۱۳۹.

۱- مقدمه

با افزایش جمعیت شهری و پیچیدگی‌های ناشی از رشد سریع شهرنشینی، چالش‌هایی نظیر مصرف بیش از حد انرژی، آلودگی محیط‌زیست و فشار بر زیرساخت‌های شهری از جمله مهم‌ترین مسائل مدیریت شهری تبدیل شده‌اند. در این شرایط، مفهوم «شهر هوشمند» به عنوان رویکردی نوین برای مدیریت بهینه منابع، ارتقای کیفیت زندگی شهروندان و تحقق توسعه پایدار مطرح شده است (O'Grady & O'Hare, 2012).

اگرچه شهرهای هوشمند از منظرهای فناوری، اجتماعی، مدیریتی و زیست‌محیطی مورد توجه قرار گرفته‌اند، پژوهش‌ها نشان می‌دهند که توسعه شهری موفق تنها از طریق فناوری محقق نمی‌شود؛ بلکه ابعاد انسانی، حکمرانی هوشمند و مشارکت شهروندان نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارند (Hollands, 2008; Neirotti et al., 2020). در چارچوب نظری متداول، شهرهای هوشمند بر پایه شش بُعد اصلی شامل اقتصاد هوشمند، حکمرانی هوشمند، شهروندان هوشمند، زندگی هوشمند، محیط‌زیست هوشمند و تحرک هوشمند ساخته می‌شوند (Giffinger et al., 2007).

با گسترش فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی^۱، اینترنت اشیا^۲، داده‌های کلان^۳ و شبکه‌های 5G، امکان جمع‌آوری، تحلیل و مدیریت داده‌های شهری به صورت لحظه‌ای فراهم شده است و این فناوری‌ها نقش کلیدی در بهبود عملکرد سیستم‌های شهری و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان ایفا می‌کنند (Hashem et al., 2023). با این حال، پژوهش‌های پیشین بیشتر به توانمندی‌ها و فرصت‌های فناوری‌ها پرداخته‌اند و کمتر به مقایسه نظام‌مند تأثیر و اولویت فناوری‌ها بر ابعاد مختلف شهر هوشمند توجه شده است (Shelton et al., 2015; Liu et al., 2022). این شکاف به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران عمیق‌تر است، زیرا چارچوب‌های تحلیلی بومی برای شناسایی و اولویت‌بندی

فناوری‌های کلیدی شکل نگرفته‌اند.

بر این اساس، مسئله اصلی پژوهش حاضر این است که "کدام فناوری‌های نوین بیشترین تأثیر را بر توسعه شهرهای هوشمند دارند و چگونه می‌توان بر اساس دیدگاه خبرگان، اهمیت و قابلیت پذیرش آن‌ها را در مدیریت شهری اولویت‌بندی کرد؟"

هدف پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌های نوین مؤثر بر ابعاد شش‌گانه شهر هوشمند و تحلیل میزان اجماع خبرگان درباره اهمیت و قابلیت پذیرش آن‌ها است. به منظور دستیابی به این هدف، از روش دلفی فازی در دو مرحله متوالی استفاده شده است تا با ترکیب نظرات خبرگان و منطق فازی، جمع‌بندی معتبر و قابل اتکایی حاصل شود. سؤالات پژوهش به شرح زیر مطرح می‌شوند:

- کدام فناوری‌های نوین بیشترین تأثیر را بر توسعه شهرهای هوشمند دارند؟
- هر یک از فناوری‌ها چه میزان بر ابعاد مختلف شهر هوشمند اثرگذارند؟
- چگونه می‌توان با استفاده از روش دلفی فازی، میزان اهمیت و اولویت فناوری‌ها را تعیین کرد؟

پژوهش حاضر با تأکید بر ارتباط فناوری‌ها با ابعاد شش‌گانه شهر هوشمند، یک چارچوب تحلیلی و عملی ارائه می‌دهد که می‌تواند به مدیران و سیاست‌گذاران شهری در طراحی استراتژی‌های فناورانه، توسعه زیرساخت‌های دیجیتال و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده کمک کند.

۲- مبانی نظری

۲-۱- ابعاد، عوامل کلیدی، حکمرانی و شاخص‌های

ارزیابی شهرهای هوشمند

شهرهای هوشمند از طریق یکپارچه‌سازی سیستم‌های مختلف شهری مانند حمل‌ونقل، انرژی، آموزش، سلامت، زیرساخت‌های فیزیکی، آب و ایمنی عمومی شکل می‌گیرند (Dirks & Keeling, 2009). بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که ایجاد یک شهر هوشمند تنها از طریق توسعه بخش‌های

1- AI

2- IoT

3- Big Data

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳) تحلیل تأثیر فناوری‌های نوین بر توسعه شهرهای هوشمند / ۱۴۳

طبق دیدگاه گفینگر و همکاران (۲۰۰۷)، شهرهای هوشمند بر پایه شش بُعد اصلی معرفی شده، شکل می‌گیرند. ابعاد شش‌گانه به‌طور کلی به ارتقای کیفیت زندگی شهروندان اشاره دارند و کیفیت زندگی به‌عنوان مؤلفه‌ای کلیدی در نظر گرفته می‌شود. با این حال، برخی پژوهشگران معتقدند که کیفیت زندگی نباید به‌عنوان یک بُعد مستقل تلقی شود، بلکه نتیجه‌ی هم‌زمان عملکرد و تعامل سایر ابعاد است (Shapiro, 2006).

برای توصیف هر شهر هوشمند و شش ویژگی آن، لازم است یک ساختار سلسله‌مراتبی شفاف و ساده طراحی شود، به‌طوری که هر سطح توسط نتایج سطح پایین‌تر تعریف شود. بنابراین، هر ویژگی با تعدادی عامل مشخص می‌شود و هر عامل نیز توسط مجموعه‌ای از شاخص‌ها توصیف می‌شود. عوامل در چندین کارگاه تعریف شدند و همواره با هدف کلی توسعه شهر هوشمند در نظر گرفته شده است (Giffinger et al., 2007). در جدول ۱ این ابعاد و مؤلفه‌های هر بُعد تجمیع شده‌اند.

برای ایجاد یک شهر هوشمند، عوامل مختلفی باید در نظر گرفته شوند. بر اساس نظریه‌های نام و پارادو (۲۰۱۱)، یک شهر هوشمند باید از سه عنصر اصلی تشکیل شود: فناوری، مردم و نهادها (جدول ۲). در حقیقت، سرمایه‌گذاری در هر یک از این عوامل به‌طور مجزا و یا به‌طور هم‌زمان می‌تواند موجب رشد پایدار و بهبود کیفیت زندگی در شهرها شود. شهرهای هوشمند برای ارزیابی عملکرد خود می‌توانند از مدل‌ها و شاخص‌های مختلفی استفاده کنند. در جدول ۳ برخی از این مدل‌ها ارائه شده‌اند.

این شاخص‌ها به‌منظور ارزیابی پیشرفت و عملکرد شهرهای هوشمند در زمینه‌های مختلف، از جمله بهبود زیرساخت‌ها، فناوری‌های نوین و مشارکت شهروندان طراحی شده‌اند.

۲-۲- فناوری‌ها در شهر هوشمند

در فرآیند توسعه شهرهای هوشمند، چهار فناوری

مجزا امکان‌پذیر نیست، بلکه باید به‌عنوان یک کل یکپارچه در نظر گرفته شود (Kanter & Litow, 2009).

برخی محققان به‌منظور تعریف دقیق‌تر شهر هوشمند، آن را به ابعاد مختلف تقسیم کرده‌اند. برای مثال، براساس مطالعات کومینوس (Komninos, 2002, 2011)، چهار بُعد اصلی برای شهر هوشمند معرفی شده است:

- به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال برای ایجاد شهرهای سایبری و دانش‌بنیان،
- استفاده از فناوری اطلاعات در تحول زندگی و کار،
- ادغام فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) در زیرساخت‌های شهری،
- ترکیب فناوری اطلاعات با مردم برای تقویت نوآوری و یادگیری.

به‌طور مشابه، گفینگر و همکاران (Giffinger et al., 2007) شش بُعد اصلی را برای شهر هوشمند معرفی کرده‌اند:

- اقتصاد هوشمند^۱،
- مردم هوشمند^۲،
- حکمرانی هوشمند^۳،
- تحرک هوشمند^۴،
- محیط‌زیست هوشمند^۵،
- زندگی هوشمند^۶.

این ابعاد بر اساس نظریه‌های رشد و توسعه شهری و با تأکید بر کیفیت زندگی شهروندان تعریف شده‌اند (Giffinger & Gudrun, 2010). برخی پژوهشگران نیز استدلال کرده‌اند که کیفیت زندگی نباید به‌عنوان یک بُعد مجزا در نظر گرفته شود، زیرا تمامی اقدامات انجام‌شده در سایر حوزه‌ها باید در نهایت منجر به بهبود کیفیت زندگی شهروندان شود (Shapiro, 2006).

- 1- Smart Economy
- 2- Smart People
- 3- Smart Governance
- 4- Smart Mobility
- 5- Smart Environment
- 6- Smart Living

جدول ۱: مؤلفه‌های مرتبط با ابعاد شهر هوشمند (Giffinger et al., 2007)

مؤلفه‌های هر بُعد	بُعد شهر هوشمند
نوآوری، کارآفرینی، برند و نشان‌های تجاری، بهره‌وری، انعطاف‌پذیری بازار کار، ادغام بین‌المللی و توانایی تحول	اقتصاد هوشمند (Smart Economy / Competitiveness)
سطح تحصیلات، گرایش به یادگیری مادام‌العمر، تنوع اجتماعی و قومی، انعطاف‌پذیری، خلاقیت، نگرش باز و مشارکت در زندگی عمومی	مردم هوشمند (Smart People / Social and Human Capital)
مشارکت در تصمیم‌گیری، خدمات عمومی و اجتماعی، شفافیت حکمرانی، سیاست‌ها و استراتژی‌های سیاسی	دولت هوشمند (Smart Governance / Participation)
دسترسی محلی و بین‌المللی، زیرساخت‌های ICT، سیستم‌های حمل‌ونقل پایدار، نوآورانه و ایمن	تحرك هوشمند (Smart Mobility / Transport and ICT)
جاذبیت شرایط طبیعی، آلودگی، حفاظت از محیط زیست، مدیریت پایدار منابع	محیط هوشمند (Smart Environment / Natural Resources)
فرهنگ، سلامت، امنیت فردی، مسکن، آموزش، جاذبه‌های گردشگری، همبستگی اجتماعی	زندگی هوشمند (Smart Living / Quality of Life)

جدول ۲: عناصر اصلی شهر هوشمند و نقش هر یک (Nam, T., & Pardo, T. A., 2011)

عوامل کلیدی	توضیحات
فناوری	استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) به منظور مدیریت بهتر و هوشمندانه منابع شهری.
مردم	خلاقیت، آموزش و مشارکت فعال شهروندان در فرآیندهای مختلف شهری.
نهادهای	حکمرانی هوشمند، به‌ویژه در زمینه تصمیم‌گیری‌های کلان شهری و همکاری بین بخش‌های مختلف.

جدول ۳: مدل‌ها و شاخص‌های ارزیابی شهرهای هوشمند

مدل/شاخص	شرح
مدل دانشگاه وین (Giffinger et al., 2007)	ارزیابی ۷۰ شهر اروپایی بر اساس شش بُعد شهر هوشمند
مدل زیگیاریس (Zygiaris, 2013)	مدل ارزیابی شامل لایه‌های مختلف مانند محیط‌زیست، زیرساخت‌های ارتباطی و نوآوری
شاخص لازاریو و روشیا (Lazaroiu & Roscia, 2012)	مدل‌های ارزیابی مبتنی بر برنامه استراتژیک ۲۰۲۰ برای تخصیص بودجه به شهرهای هوشمند

بلکه با ایجاد یکپارچگی بین زیرسیستم‌های حمل‌ونقل، انرژی، امنیت و خدمات عمومی، به تصمیم‌گیری‌های سریع و دقیق‌تر در مدیریت شهری منجر می‌شوند (Zanella et al., 2014; Allam & Jones, 2020). به‌طور خاص، AI با قابلیت یادگیری از داده‌های گذشته، مسیر بهینه‌سازی منابع را هموار می‌سازد؛ درحالی‌که IoT بستر لازم برای تعامل لحظه‌ای

کلیدی شامل هوش مصنوعی^۱، اینترنت اشیا^۲، داده‌های کلان^۳ و شبکه‌های ارتباطی نسل پنجم^۴، به‌عنوان زیرساخت‌هایی تحول‌آفرین ایفای نقش می‌کنند. این فناوری‌ها نه تنها امکان پردازش و تحلیل بلادرنگ داده‌های شهری را فراهم می‌آورند،

- 1- AI
- 2- IoT
- 3- Big Data
- 4- 5G

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۱۴۵)
تحلیل تأثیر فناوری‌های نوین بر توسعه شهرهای هوشمند / ۱۴۵

اینترنت اشیا^۱، منجر به بروز نگرانی‌هایی در زمینه امنیت اطلاعات و حفظ حریم خصوصی شده است (Singh et al., 2020). افزون بر این، تمرکزگرایی و محدودیت منابع محاسباتی از دیگر موانع پیاده‌سازی گسترده این فناوری در محیط‌های شهری محسوب می‌شوند. در این میان، فناوری بلاک‌چین به‌عنوان یک راهکار مکمل و غیرمتمرکز برای رفع این چالش‌ها پیشنهاد شده است (K. Singh et al., 2020; S. Singh et al., 2020; Łasak & Wyciślak, 2023).

اینترنت اشیا^۱ یکی دیگر از فناوری‌های کلیدی در معماری شهرهای هوشمند به‌شمار می‌رود. این فناوری با اتصال دستگاه‌ها و زیرساخت‌ها از طریق شبکه‌های هوشمند و استانداردهای پروتکل‌ها، امکان مدیریت مؤثر سیستم‌های شهری را فراهم آورده است. از جمله کاربردهای IoT می‌توان به مدیریت هوشمند ترافیک، کنترل مصرف انرژی، نظارت بر محیط‌زیست و جمع‌آوری پسماند اشاره کرد (Zanella et al., 2014; Al-Fuqaha et al., 2015). یکپارچگی داده‌های تولیدشده توسط دستگاه‌های متصل، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی را تسهیل کرده و بهبود چشمگیری در هماهنگی بین بخش‌های مختلف شهری ایجاد کرده است.

از دیگر مزایای IoT، ارتقای مشارکت شهروندان در فرآیندهای مدیریتی است. از طریق دسترسی به داده‌های به‌روز و محیطی، شهروندان می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های شهری نقش فعال‌تری ایفا کنند (Miorandi et al., 2012). همچنین، این فناوری زمینه تعامل دوطرفه بین شهروندان و نهادهای شهری را فراهم کرده و در نتیجه، موجب افزایش شفافیت و اعتماد عمومی می‌شود (Batty et al., 2012).

در ادامه، داده‌های کلان^۲ نیز به‌عنوان ابزار تحلیلی قدرتمند، نقشی کلیدی در بهینه‌سازی خدمات شهری ایفا می‌کنند. این داده‌ها با فراهم آوردن اطلاعات دقیق از الگوهای مصرف، رفت‌وآمد، سلامت عمومی و منابع زیست‌محیطی، به تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر شواهد کمک کرده‌اند (Kitchin,

میان اشیا، انسان و زیرساخت‌ها را فراهم می‌کند. داده‌های کلان، امکان استخراج الگوهای پنهان رفتاری شهروندان را فراهم نموده و شبکه‌های ارتباطی نسل پنجم^۱ نیز با کاهش تأخیر شبکه، زیرساخت ارتباطی لازم برای اجرای هم‌زمان این فناوری‌ها را مهیا می‌کنند. ترکیب این فناوری‌ها نه تنها کیفیت خدمات شهری را ارتقا می‌دهد، بلکه چالش‌هایی چون امنیت، استانداردسازی و تبعیض فناورانه را نیز برجسته می‌سازد، که در پژوهش حاضر به آن‌ها پرداخته شده است.

هوش مصنوعی^۲ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فناوری‌های تحول‌آفرین، در دهه‌های اخیر در مرکز توجه تحولات شهرهای هوشمند قرار گرفته است. این فناوری با فراهم‌نمودن قابلیت پردازش پیشرفته داده‌ها و یادگیری از الگوهای رفتاری شهری، زمینه‌ساز بهینه‌کردن منابع، کاهش هزینه‌ها و ارتقای کارآمدی خدمات شهری شده است (Shi et al., 2020; Ullah et al., 2020). پژوهش‌های Allam و Jones (۲۰۲۰) و Badura (۲۰۱۷) نیز نشان داده‌اند که کاربردهای گسترده هوش مصنوعی در حوزه‌هایی مانند مدیریت ترافیک، خدمات بهداشتی، ایمنی عمومی و نظارت شهری، نقش چشمگیری در بهبود کیفیت خدمات شهری داشته‌اند. به‌عنوان نمونه، سیستم‌های میکروالکترونیکی هوشمند در منسوجات^۳ و سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند^۴ با بهره‌گیری از الگوریتم‌های AI توانسته‌اند پروتکل‌های ایمنی را ارتقا داده و سطح خدمات شهری را بهبود دهند (Shi et al., 2020). افزون بر این، به‌کارگیری استراتژی‌های یادگیری ماشین در بخش سلامت شهری تأثیرات مثبتی همچون بهبود خدمات درمانی و افزایش کارایی در تخصیص منابع داشته است (Ullah et al., 2020). با این حال، گسترش استفاده از هوش مصنوعی با چالش‌هایی نیز همراه است. افزایش حجم داده‌های تولیدشده توسط

1- 5G

2- AI

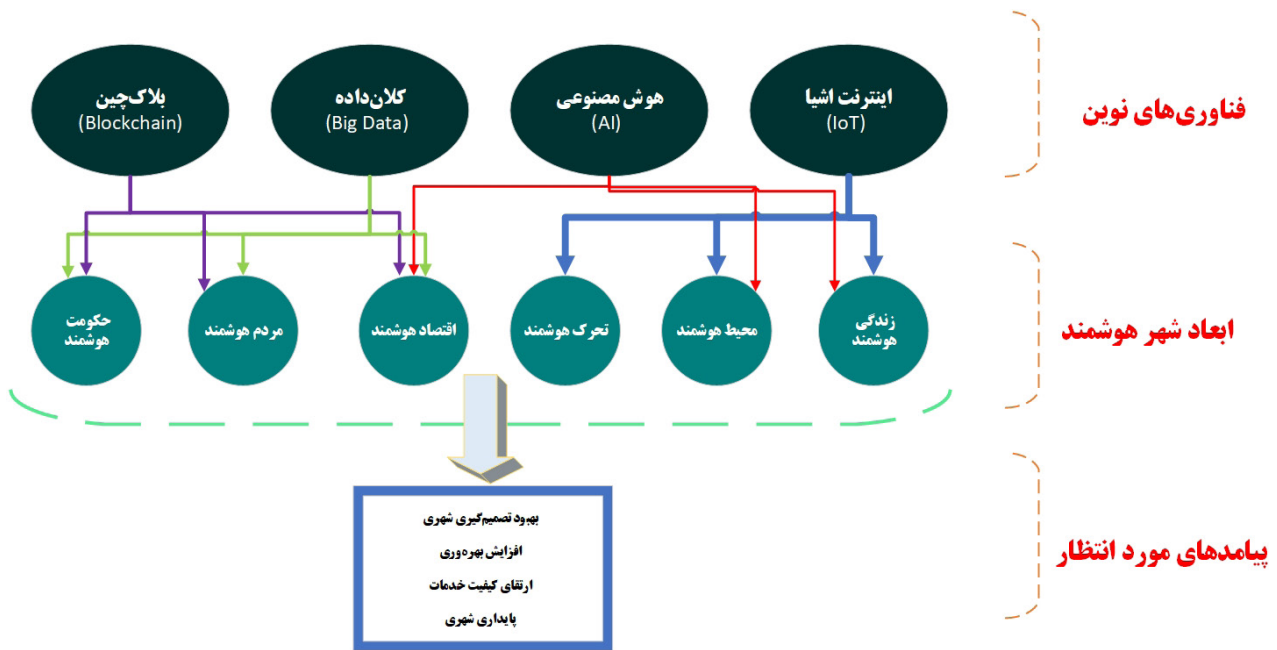
3- STIMES

4- ITSs

5- IoT

6- IoT

7- Big Data



نگاره ۱: چارچوب مفهومی پژوهش

بر زیرساخت‌ها، منجر به افزایش کارایی و ایمنی شهری می‌شود (Li et al., 2019). افزون بر این، در حوزه‌هایی همچون خدمات درمانی از راه دور، آموزش، سرگرمی دیجیتال، و دولت الکترونیک، شبکه‌های 5G تأثیرات مثبتی بر کیفیت زندگی شهروندان داشته‌اند (Hossain et al., 2020). در شرایط بحرانی مانند بلایای طبیعی نیز، این فناوری نقش مهمی در به‌هنگام‌سازی داده‌ها، تصمیم‌گیری سریع و مدیریت بحران ایفا می‌کند (Zhang et al., 2020).

به طور کلی، چهار فناوری نوین شامل هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، داده‌های کلان و شبکه‌های نسل پنجم (5G)، به دلیل نقش چندلایه در جمع‌آوری، انتقال، تحلیل و به‌کارگیری اطلاعات، به‌عنوان ارکان اساسی تحقق شهرهای هوشمند شناخته می‌شوند. یافته‌های پژوهش حاضر نیز نشان می‌دهد که این فناوری‌ها در کنار یکدیگر، با ایجاد یک اکوسیستم هوشمند و یکپارچه، کارایی زیرساخت‌های شهری را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهند. به‌عنوان مثال، کاربرد هم‌زمان AI و Big Data در تحلیل رفتار شهروندان و تخصیص بهینه منابع، یا تعامل میان IoT و شبکه 5G برای

از جمله کاربردهای مهم داده‌های کلان می‌توان به مدیریت پسماند، بهینه‌سازی مصرف انرژی، ارتقای خدمات حمل‌ونقل عمومی و تسهیل برنامه‌ریزی شهری اشاره کرد (Yigitcanlar et al., 2018; Tian et al., 2020; Zhang et al., 2020). افزون بر این، داده‌های کلان می‌توانند به‌عنوان منبعی ارزشمند در فرآیند نوآوری و توسعه کارآفرینی شهری مورد استفاده قرار گیرند. کسب‌وکارهای نوآور با تحلیل این داده‌ها قادر خواهند بود نیازهای پنهان شهروندان را شناسایی کرده و محصولات و خدمات جدیدی ارائه دهند (Chen et al., 2014).

در نهایت، فناوری نسل پنجم ارتباطات^۱ به‌عنوان بستری زیرساختی برای تحقق عملکردهای پیشرفته شهر هوشمند مطرح است. این فناوری با ویژگی‌هایی نظیر سرعت بالا، تأخیر بسیار کم، و ظرفیت اتصال انبوه، امکان توسعه هم‌زمان فناوری‌هایی مانند IoT، داده‌های کلان و هوش مصنوعی را فراهم کرده است (Zhou et al., 2020; Akbari et al., 2020). به‌کارگیری شبکه 5G در حمل‌ونقل هوشمند، مدیریت ترافیک، خودروهای خودران و نظارت بلادرنگ

غریبالگری اولیه با ارزیابی سوابق پژوهشی و اجرایی انجام گرفت و فقط افرادی با حداقل ۵ سال سابقه مرتبط انتخاب شدند. این رویکرد به ارتقای روایی نظری داده‌ها و کیفیت تحلیل فازی کمک شایانی نمود.

داده‌های پژوهش در طول یک دوره یک‌ساله جمع‌آوری شده‌اند. برای سازماندهی و پردازش داده‌ها از نرم‌افزار اکسل بهره گرفته شد و تحلیل‌ها با رویکرد دلفی فازی به انجام رسید. این روش شامل فازی‌سازی نظرات خبرگان، تجمع فازی، فازی‌زدایی و تعیین آستانه برای غریبالگری شاخص‌ها بود و امکان تحلیل دقیق و شفاف دیدگاه‌های کیفی و کمی در شرایط عدم قطعیت را فراهم کرد. تمرکز مطالعه بر زمینه و شرایط شهری ایران بوده است.

۳-۱- روش دلفی

روش دلفی (که برای اولین بار توسط دالکی و هلمر (۱۹۶۳) در شرکت رند توسعه یافت) یکی از تکنیک‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری گروهی است که برای دستیابی به اجماع در مورد رویدادهای آینده و مسائل خاص در میان کارشناسان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Biloslavo & Dolinšek, 2010).

هدف از روش دلفی جمع‌آوری و ترکیب نظرات از طریق مجموعه‌ای از پرسش‌نامه‌ها یا مصاحبه‌ها است تا زمانی که از طریق نظرات شرکت‌کنندگان به اجماع برسند. علاوه بر این، نظرات مختلف در دامنه‌ای محدودتر همگرا می‌شوند، زیرا این روش از تکرار مداوم پشتیبانی می‌کند (Sartas & Aylen, 2010; Urashima et al., 2012). روش دلفی در تصمیم‌گیری گروهی بسیار مفید است. ویژگی‌های این روش شامل ناشناس بودن شرکت‌کنندگان، فرآیند چندمرحله‌ای تکراری و پی‌درپی، بازخورد کنترل‌شده و تجمیع آماری است (Su et al., 2010; Kloker et al., 2018). پاسخ‌های هر شرکت‌کننده در هر دور تجمیع و ارائه می‌شود. در این مرحله، شاخص‌های آماری مانند میانگین، میانه و انحراف معیار برای تحلیل نتایج استفاده می‌شوند.

نظارت بلادرنگ بر شبکه حمل‌ونقل، نمونه‌هایی از این هم‌افزایی فناورانه هستند (Shi et al., 2020; Ullah et al., 2020). این تعاملات فناورانه، نه تنها بهره‌وری مدیریتی را ارتقا می‌دهند، بلکه به تحقق توسعه پایدار، عدالت اجتماعی و افزایش رفاه عمومی در فضای شهری کمک می‌کنند. با این حال، دستیابی به این مزایا نیازمند غلبه بر چالش‌هایی همچون نبود استانداردهای، الزامات امنیتی و آمادگی نهادی است که در ادامه بحث بررسی خواهد شد. به‌منظور روشن‌تر شدن مسیر اثرگذاری فناوری‌ها بر ابعاد شهر هوشمند چهارچوب مفهومی پژوهش ترسیم شده است (نگاره ۱).

۳- روش تحقیق

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و از نظر ماهیت، توصیفی-تحلیلی است. در راستای پاسخ به پرسش اصلی تحقیق، از روش دلفی فازی به‌عنوان رویکردی مناسب برای کسب اجماع میان متخصصان در شرایط پیچیدگی و عدم قطعیت بهره گرفته شد؛ روشی که در پژوهش‌های سیاست‌گذاری شهری و فناوری‌های نوین به دلیل ماهیت قضاوت‌محور و انعطاف‌پذیر بودن آن مورد توجه قرار دارد. گردآوری داده‌ها با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای برای تدوین چهارچوب مفهومی و سپس از طریق دو مرحله اجرای پرسشنامه فازی انجام شد، تا امکان تحلیل تدریجی دیدگاه‌ها و افزایش اعتبار نتایج فراهم شود.

جامعه آماری این تحقیق شامل ۳۰ نفر از خبرگان حوزه‌های شهرسازی، مدیریت شهری، فناوری اطلاعات و پروژه‌های هوشمندسازی شهری بود. این ترکیب هدفمند، به‌منظور پوشش طیف متنوعی از دانش نظری و تجربی در حوزه فناوری‌های شهری صورت گرفت. اعضای این گروه شامل کارشناسان شهرداری‌ها، مشاوران شرکت‌های مهندسی مشاور، متخصصان IT و اعضای هیئت علمی کشور با تجربه پژوهشی یا اجرایی در زمینه هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، داده‌های کلان و شبکه‌های ارتباطی بودند. برای اطمینان از صلاحیت تخصصی این افراد، فرآیند

اعداد فازی مثلثی تعریف شدند. به این صورت که اعداد فازی مثلثی به نظر هر یک از خبرگان داده شد و مجموعه اعداد فازی مثلثی برای هر خبره با استفاده از رابطه به دست آمد.

• **گام سوم:** در این مرحله میانگین مجموعه‌ها محاسبه شد. در تکنیک دلفی می‌بایست پرسشنامه در چند مرحله میان خبرگان توزیع شود و این کار تا اطمینان از پایداری نظرات خبرگان ادامه خواهد یافت. شاه و کلایان (۲۰۰۹) دریافتند که ضریب تغییرات^۱ قابل‌اعتمادترین روش آماری برای تحلیل داده‌های دلفی در گروه‌های بزرگ شرکت‌کنندگان است. همچنین، انگلیش و کران (۱۹۷۶)، نقل شده در یانگ، (۲۰۰۳) نیز از ضریب تغییرات برای تعیین قاعده توقف در فرایند دلفی استفاده کرده‌اند، که مبنای تصمیم‌گیری در تعیین تعداد تکرارها و پایداری نظرات خبرگان در این پژوهش نیز قرار گرفته است.

۴- یافته‌ها

این بخش به ارائه و تحلیل یافته‌های پژوهش اختصاص دارد. داده‌های به دست آمده از دو مرحله اجرای روش دلفی فازی، بر مبنای نظرات ۱۵ نفر از خبرگان حوزه برنامه‌ریزی شهری و فناوری‌های نوین تحلیل شده است. هدف از این تحلیل، شناسایی و ارزیابی میزان تأثیر فناوری‌های کلیدی بر ابعاد مختلف شهر هوشمند بوده است. در ادامه، ابتدا شاخص‌های پایایی نظرات خبرگان و نحوه محاسبه ضریب تغییرات (CV) تشریح شد. در آخر نتایج حاصل از اجرای روش دلفی فازی در چهار گروه فناوری شامل هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، داده‌های کلان و ارتباطات نسل پنجم (5G) ارائه شده است.

۴-۱- تحلیل پایایی نظرات خبرگان با استفاده از شاخص ضریب تغییرات (CV)

برای تحلیل دقیق‌تر نتایج پرسشنامه دلفی و سنجش

در روش دلفی کلاسیک، نظرات خبرگان در قالب اعداد قطعی بیان می‌شود، در حالی که افراد خبره از شایستگی‌های ذهنی خود برای بیان نظر استفاده می‌کنند و این نشان دهنده احتمالی بودن عدم قطعیت حاکم بر این شرایط است. احتمالی بودن عدم قطعیت، با مجموعه‌های فازی سازگاری دارد. بنابراین، بهتر است داده‌ها در قالب زبان طبیعی از خبرگان اخذ و با استفاده از مجموعه‌های فازی مورد تحلیل قرار گیرند (آذر و فرجی، ۱۳۹۰). به این منظور، پیشنهاد ادغام روش دلفی سنتی با تئوری فازی تحت عنوان روش دلفی فازی ارائه شد (Murry et al. 1985).

ایشیکاوا و همکاران (۱۹۹۳) با بکارگیری تئوری فازی در روش دلفی، الگوریتم یکپارچه دلفی فازی را توسعه دادند. مزیت روش دلفی فازی در توجه به هر یک از نظرات و یکپارچه نمودن آن‌ها برای دستیابی توافق گروهی است (Cheng & Kuo, 2008). به منظور فازی‌سازی نظرات خبرگان از اعداد فازی استفاده می‌شود. اعداد فازی، مجموعه‌های فازی هستند که در مواجهه با عدم قطعیت در مورد یک پدیده به همراه داده‌های عددی تعریف می‌شوند. در این مطالعه از عدد فازی مثلثی استفاده شده است. عدد فازی مثلثی با سه عدد حقیقی به صورت (l,m,u) نمایش داده می‌شود. کران بالا (u) بیشینه مقادیر عدد فازی، کران پایین (l) کمینه مقادیر عدد فازی و m محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی است. تابع عضویت یک عدد فازی مثلثی به صورت زیر است:

مراحل اجرای روش دلفی فازی (Cheng & Lin, 2002):

• **گام اول:** گردآوری نظرات خبرگان؛ در مرحله اول دلفی، پرسشنامه‌ای دارای ساختار براساس نتایج مرحله اول پژوهش طراحی و از خبرگان درخواست شد تا با استفاده از متغیرهای کلامی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد میزان اهمیت هر یک از مراحل شناسایی شده را مشخص نمایند.

• **گام دوم:** تبدیل متغیرهای کلامی به اعداد فازی مثلثی؛ در این مرحله متغیرهای کلامی با توجه به جدول به صورت

قابل اطمینان‌ترین روش‌های آماری برای سنجش همگرایی و پایداری نظرات، دقت تحلیل را در مواجهه با داده‌های ذهنی و فازی افزایش می‌دهد.

همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، مجموعه ۲۷ گزاره طراحی شده در این پژوهش طیف متنوعی از عوامل مؤثر بر توسعه شهرهای هوشمند را در چهار محور اصلی شامل هوش مصنوعی (AI)، اینترنت اشیا (IoT)، داده‌های کلان (Big Data) و شبکه‌های ارتباطی نسل پنجم (5G) پوشش می‌دهند. همچنین، مطابق با جدول ۵، مقادیر ضریب تغییرات (CV) در تمامی شاخص‌ها کمتر از ۰/۸ و اختلاف میان دو مرحله کمتر از ۰/۲ بوده است که بیانگر پایداری و اجماع قابل قبول نظرات خبرگان در فرایند دلفی فازی است.

۴-۲- روش دلفی فازی

پس از اقتناع تکرارهای دلفی، حال نوبت به محاسبه میانگین فازی نمرات هر شاخص خواهد رسید. الگوریتم دلفی فازی شامل مراحل زیر است:

- ۱- شناسایی یک طیف مناسب برای فازی سازی عبارات زبانی (در تحقیق ما مقیاس ۹ تایی)
- ۲- تجمیع فازی مقادیر فازی شده
- ۳- فازی‌زدایی^۱
- ۴- انتخاب آستانه و غربالگری معیارها

مرحله اول) جمع‌آوری و فازی‌سازی نظرات خبرگان
در فرآیند اجرای روش دلفی فازی، مرحله نخست شامل فازی‌سازی نظرات زبانی خبرگان است که یکی از گام‌های کلیدی برای تبدیل قضاوت‌های انسانی به داده‌های قابل پردازش محسوب می‌شود. برای این منظور، لازم است طیف مناسبی از اعداد فازی مثلثی انتخاب شوند که بتواند شدت و میزان اهمیت معیارها را به درستی بازنمایی کنند. در این پژوهش، از طیف فازی رایج مبتنی بر مقیاس ۹ نقطه‌ای ساعتی استفاده شده است که به‌طور گسترده در

مطالعات تصمیم‌گیری چندمعیاره^۲ کاربرد دارد (Kahraman et

اهمیت شاخص‌ها، از ضریب تغییرات (CV) برای ارزیابی پایداری نظر خبرگان و از دلفی فازی برای محاسبه امتیازات نهایی هر شاخص استفاده شده است. چنانچه مقدار CV برای یک شاخص بیش از ۰/۸ باشد، بیانگر پراکندگی زیاد و نبود اجماع در نظرات است؛ در این صورت، لازم است گزاره مربوطه اصلاح شده و دور(های) اضافی از پرسشنامه اجرا شود. همچنین برخی محققان اشاره کرده‌اند که در صورتی که تفاوت CV در دو دور متوالی دلفی کمتر از ۰/۲ باشد، می‌توان بر پایداری نظر خبرگان صحنه گذاشت. در بررسی اهمیت یک شاخص، اگر تنها به انحراف از معیار توجه شود، ایراداتی خواهد داشت. در یک پیوستار ۱ تا ۹ امتیازی، فرض کنیم که آستانه مورد تأیید هر شاخص نمره حداقل ۵ است. توجه شاخص انحراف از معیار اطلاعاتی در خصوص پراکندگی نظرات خبرگان ابراز می‌کند و احتمال دارد تمامی خبرگان نمره بالای ۵ را به شاخص داده باشند اما در درجه اهمیت آن اختلاف نظر داشته باشند و نهایتاً منجر به انحراف معیار بزرگ بشود. بنابراین به‌منظور تحلیل دقیق‌تر پرسشنامه دلفی که با هدف بررسی اهمیت شاخص‌ها صورت پذیرفته، از شاخص CV به‌منظور پایداری نتایج و از روش دلفی فازی به‌منظور محاسبه امتیازات نهایی هر شاخص استفاده شده است.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (1)$$

بر این اساس، تحلیل نتایج حاصل از اجرای دو مرحله روش دلفی فازی، نشان داد که در تمامی شاخص‌های مورد بررسی، ضریب تغییرات (CV) کمتر از ۰/۸ بوده است. همچنین اختلاف میان ضریب تغییرات مرحله اول و دوم ($CV_1 - CV_2$) در تمامی شاخص‌ها کمتر از ۰/۲ گزارش شد. با توجه به معیارهای پذیرفته‌شده در ادبیات پژوهش دلفی (English & Kernan, 1976)، این مقادیر بیانگر پایداری قابل قبول در نظرات خبرگان و رسیدن به سطح اجماع مطلوب است، به‌گونه‌ای که اجرای دور سوم پرسشنامه ضرورت نداشته است. استفاده از شاخص CV، به‌عنوان یکی از

1- Defuzzification

2- MCDM

جدول ۴: گزاره‌های بررسی شده توسط خبرگان

محورهای تحقیق	
به‌کارگیری هوش مصنوعی	۱. تأثیر به‌کارگیری هوش مصنوعی در کاهش مصرف انرژی و مدیریت منابع در شهرهای هوشمند
	۲. تأثیر به‌کارگیری هوش مصنوعی در بهینه‌سازی خدمات شهری از نظر اقتصادی (کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری)
	۳. تأثیر به‌کارگیری هوش مصنوعی در بهبود سیستم‌های نظارتی شهری (مدیریت ترافیک، جمع‌آوری پسماند و آب)
	۴. تأثیر به‌کارگیری هوش مصنوعی در کاهش مشکلات زیست‌محیطی شهری (مثل آلودگی هوا و مدیریت پسماند)
	۵. تأثیر به‌کارگیری هوش مصنوعی در تسهیل فرآیندهای حکمرانی و شفاف‌سازی مدیریت شهری
	۶. تأثیر به‌کارگیری هوش مصنوعی در حکمرانی شهری و نقض حقوق شهروندان
	۷. اهمیت به‌کارگیری هوش مصنوعی برای ایجاد فرصت‌های جدید برای کسب‌وکارهای نوپا در شهرهای هوشمند
	۸. تأثیر به‌کارگیری هوش مصنوعی در حل مسائل مربوط به عدالت اجتماعی و رفاه عمومی در شهرهای هوشمند
	۹. اهمیت به‌کارگیری هوش مصنوعی در کمک به شهرهای هوشمند در دستیابی به اهداف توسعه پایدار
	۱۰. تأثیر استانداردسازی دستگاه‌ها و پروتکل‌های اینترنت اشیا در ارتقای کارایی و هماهنگی سیستم‌های مختلف شهری
اینترنت اشیا	۱۱. تأثیر استانداردسازی فناوری‌های اینترنت اشیا در یکپارچگی سیستم‌های شهری هوشمند
	۱۲. تأثیر به‌کارگیری اینترنت اشیا در بهبود مشارکت شهروندان در فرآیندهای مدیریتی شهری
	۱۳. اهمیت اینترنت اشیا در افزایش همکاری میان شهروندان و نهادهای شهری
داده‌های کلان و بزرگ‌دیتا	۱۴. اهمیت استفاده از داده‌های کلان (Big Data) در تسریع روند نوآوری و فعالیت‌های کارآفرینانه شهرهای هوشمند
	۱۵. اهمیت داده‌های کلان در شناسایی فرصت‌های جدید توسعه شهری
	۱۶. تأثیر داده‌های کلان در کاهش ریسک‌ها و افزایش موفقیت‌های مدیریت شهری
	۱۷. تأثیر به‌کارگیری داده‌های کلان در بهبود خدمات شهری
	۱۸. اهمیت استفاده از داده‌های کلان برای پیش‌بینی نیازهای خدمات شهری و مدیریت منابع
	۱۹. اهمیت استفاده از داده‌های کلان در بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری در سطح مدیریت شهری
	۲۰. تأثیر داده‌های کلان در بهینه‌سازی مصرف انرژی و منابع در شهرهای هوشمند
	۲۱. تأثیر داده‌های کلان در بهبود مدیریت پسماند و منابع آب در شهرهای هوشمند
	۲۲. تأثیر استفاده از داده‌های کلان در بهینه‌سازی عملکرد حمل‌ونقل عمومی شهرهای هوشمند
	۲۳. اهمیت شبکه‌های اینترنت G5 در بهبود زیرساخت‌های حمل‌ونقل هوشمند
اینترنت G5	۲۴. تأثیر به‌کارگیری شبکه‌های اینترنت G5 در بهبود خدمات بهداشتی هوشمند (مانند مشاوره از راه دور)
	۲۵. تأثیر به‌کارگیری شبکه‌های اینترنت G5 در بهبود مدیریت بحران و امنیت عمومی شهری
	۲۶. اهمیت فناوری اینترنت G5 در رشد اقتصادی و توسعه کسب‌وکارهای نوآورانه در شهرهای هوشمند
	۲۷. تأثیر به‌کارگیری اینترنت G5 بر بهبود کیفیت زندگی شهروندان

استفاده از این طیف، با تفکیک شدت نظرات به ۹ تبدیل دقیق عبارات کیفی به اعداد فازی را فراهم کرده و دقت سطح مجزا از "بسیار کم‌اهمیت" تا "بسیار پُر اهمیت"، امکان تحلیل را در مراحل بعدی افزایش می‌دهد. جدول ۶ ساختار

(at., 2006) استفاده از این طیف، با تفکیک شدت نظرات به ۹ تبدیل دقیق عبارات کیفی به اعداد فازی را فراهم کرده و دقت

جدول ۵: ضرایب تغییرات در دو مرحله اجرای دلفی

Q_{10}	Q_9	Q_8	Q_7	Q_6	Q_5	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	ضریب تغییرات
0.43	0.39	0.41	0.39	0.43	0.42	0.33	0.45	0.35	0.35	CV_1
0.43	0.33	0.29	0.27	0.29	0.33	0.23	0.34	0.28	0.28	CV_2
0.00	0.06	0.12	0.11	0.14	0.09	0.11	0.11	0.06	0.06	$CV_1 - CV_2$
Q_{20}	Q_{19}	Q_{18}	Q_{17}	Q_{16}	Q_{15}	Q_{14}	Q_{13}	Q_{12}	Q_{11}	ضریب تغییرات
0.44	0.37	0.37	0.33	0.37	0.41	0.37	0.44	0.39	0.46	CV_1
0.42	0.42	0.42	0.39	0.41	0.43	0.40	0.35	0.31	0.43	CV_2
0.02	(0.05)	(0.05)	(0.06)	(0.05)	(0.02)	(0.03)	0.08	0.08	0.03	$CV_1 - CV_2$
			Q_{27}	Q_{26}	Q_{25}	Q_{24}	Q_{23}	Q_{22}	Q_{21}	ضریب تغییرات
			0.43	0.40	0.44	0.40	0.43	0.41	0.42	CV_1
			0.36	0.35	0.31	0.34	0.33	0.41	0.40	CV_2
			0.07	0.05	0.13	0.06	0.10	0.00	0.02	$CV_1 - CV_2$

مرحله سوم) فاز زدایی در روش‌های مختلفی که با رویکرد فازی انجام می‌شوند، پژوهشگر در نهایت مقادیر فازی نهایی را به یک عدد شفاف و قابل فهم تبدیل می‌کند. برای فاز زدایی چندین روش پیچیده وجود دارد. یکی از روش‌های ساده برای فاز زدایی، میانگین اعداد فازی مثلثی است:

$$F = \frac{l+4m+u}{6} \quad \text{رابطه (۳)}$$

مرحله چهارم) انتخاب آستانه و غربالگری معیارها پس از انتخاب روش مناسب و فاز زدایی مقادیر برای غربالگری آیت‌ها، یک آستانه باید محاسبه شود. این آستانه ۰/۵ در نظر گرفته شده است، که بر اساس نظر پژوهشگر در مطالعات مختلف ممکن است متفاوت باشد. اگر مقدار حاصل از فاز زدایی نظرات تجمیع شده کارشناسان بیشتر از آستانه باشد، معیار پذیرفته می‌شود. اگر معیار کمتر از آستانه باشد، حذف می‌شود.

در این بخش امتیازات فازی به دو روش میانگین حسابی و هندسی به تفکیک سه روش دیفازیفیکیشن محاسبه شده‌اند (جدول ۷).

روش دلفی فازی در این پژوهش به منظور ارزیابی تأثیر چهار فناوری کلیدی شامل هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، داده‌های کلان و شبکه‌های ارتباطی نسل پنجم (5G) بر

عددی این طیف را نمایش می‌دهد و نشان می‌دهد که هر سطح زبانی چگونه با یک عدد فازی مثلثی متناظر شده است.

جدول ۶: اعداد فازی مثلثی برای مقیاس نه نقطه‌ای

عبارت‌های زبانی	عدد فازی	عدد قطعی
بسیار مهم	(۸, ۹, ۹)	۹
بین خیلی مهم و بسیار مهم	(۷, ۸, ۹)	۸
خیلی مهم	(۶, ۷, ۸)	۷
بین متوسط و خیلی مهم	(۵, ۶, ۷)	۶
متوسط	(۴, ۵, ۶)	۵
بین خیلی کم‌اهمیت و متوسط	(۳, ۴, ۵)	۴
خیلی کم‌اهمیت	(۲, ۳, ۴)	۳
بین بی‌نهایت کم‌اهمیت و خیلی کم‌اهمیت	(۱, ۲, ۳)	۲
بی‌نهایت کم‌اهمیت	(۱, ۱, ۱)	۱

مرحله دوم) تجمیع فازی نظرات پس از انتخاب طیف فازی مناسب، نظرات خبرگان جمع‌آوری و فاز سازی می‌شوند. برای تجمیع فازی نظرات خبرگان، چندین روش پیشنهاد شده است. اگر نظر هر خبره به صورت اعداد فازی مثلثی (l, m, u) نمایش داده شود، ساده‌ترین روش محاسبه میانگین فازی نظرات خبرگان است که در پژوهش حاضر همین روش مورد استفاده قرار گرفته:

$$F_{AVE} = \frac{\sum l}{n}, \frac{\sum m}{n}, \frac{\sum u}{n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

جدول ۷: محاسبات امتیاز فازی به دو روش میانگین حسابی و هندسی

نتیجه بر اساس هندسی	میانگین هندسی			میانگین حسابی			ردیف
	$\frac{u+2*m+l}{4}$	$\frac{u+4m+l}{6}$	$\frac{u+m+l}{3}$	$\frac{u+2*m+l}{4}$	$\frac{u+4m+l}{6}$	$\frac{u+m+l}{3}$	
مورد تأیید	6.24	6.25	6.23	6.53	6.54	6.51	۱
مورد تأیید	6.16	6.17	6.15	6.48	6.48	6.47	۲
مورد تأیید	6.02	6.04	6.00	6.62	6.63	6.60	۳
مورد تأیید	6.03	6.03	6.03	6.19	6.19	6.19	۴
مورد تأیید	5.23	5.23	5.22	5.67	5.67	5.67	۵
مورد تأیید	5.59	5.60	5.58	5.88	5.89	5.88	۶
مورد تأیید	6.05	6.06	6.05	6.36	6.36	6.36	۷
مورد تأیید	5.55	5.56	5.55	5.80	5.80	5.80	۸
مورد تأیید	5.55	5.56	5.54	5.98	5.99	5.98	۹
عدم تأیید	4.95	4.96	4.94	5.68	5.68	5.67	۱۰
عدم تأیید	4.94	4.95	4.93	5.74	5.75	5.73	۱۱
مورد تأیید	5.24	5.25	5.23	5.52	5.52	5.51	۱۲
مورد تأیید	5.27	5.28	5.26	5.72	5.72	5.71	۱۳
مورد تأیید	5.55	5.56	5.54	6.38	6.40	6.37	۱۴
مورد تأیید	5.14	5.15	5.13	6.00	6.01	5.99	۱۵
مورد تأیید	4.99	5.00	4.99	5.78	5.79	5.78	۱۶
مورد تأیید	5.46	5.47	5.45	6.27	6.28	6.26	۱۷
مورد تأیید	5.19	5.20	5.18	6.00	6.01	5.99	۱۸
مورد تأیید	5.21	5.22	5.19	6.06	6.07	6.04	۱۹
مورد تأیید	5.15	5.17	5.14	5.89	5.91	5.88	۲۰
مورد تأیید	5.16	5.17	5.15	5.84	5.85	5.83	۲۱
مورد تأیید	5.26	5.27	5.24	5.99	6.01	5.98	۲۲
مورد تأیید	5.74	5.75	5.72	6.13	6.14	6.12	۲۳
مورد تأیید	5.57	5.58	5.56	6.08	6.08	6.07	۲۴
مورد تأیید	5.75	5.76	5.74	6.08	6.09	6.08	۲۵
مورد تأیید	5.52	5.53	5.51	5.93	5.94	5.92	۲۶
مورد تأیید	5.51	5.52	5.49	6.03	6.04	6.01	۲۷

تأیید باقی ماندند.

اگرچه نتایج پژوهش نشان می‌دهد که اغلب شاخص‌های مرتبط با فناوری‌های نوین از سوی خبرگان مورد تأیید قرار گرفته‌اند، اما میزان اجماع و شدت تأثیر آن‌ها یکسان نبوده است. شاخص‌های مربوط به هوش مصنوعی، داده‌های کلان و شبکه‌های نسل پنجم (5G) بالاترین میانگین امتیاز را کسب کرده‌اند؛ امری که نشان‌دهنده پذیرش راهبردی این

توسعه شهرهای هوشمند به‌کار گرفته شد. تمرکز بر این چهار فناوری براساس مرور ادبیات نظری و نقش راهبردی آن‌ها در فرآیند دیجیتال‌سازی خدمات شهری صورت گرفت. داده‌های حاصل از دو مرحله اجرای دلفی شامل میانگین‌های حسابی و هندسی نظرات خبرگان بودند که تحلیل آن‌ها نشان داد از مجموع ۲۷ سؤال مطرح‌شده، ۲۵ مورد به سطح تأیید کامل رسیدند و تنها دو سؤال در مرز

موانع ساختاری، می‌تواند به یکی از پیشران‌های اصلی توسعه شهرهای هوشمند بدل شود.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با پیشرفت مداوم فناوری و گسترش سریع شهرنشینی، شهرهای هوشمند به‌عنوان راهکاری راهبردی برای پاسخ به چالش‌های پیچیده کلان‌شهرها و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان مطرح شده‌اند. پژوهش حاضر با رویکردی یکپارچه، نقش چهار فناوری نوین - هوش مصنوعی (AI)، اینترنت اشیا (IoT)، داده‌های کلان (Big Data) و شبکه نسل پنجم (5G) را در شکل‌دهی شهرهای هوشمند بررسی کرده‌است. استفاده از فناوری‌های نوین در شهرهای هوشمند، علاوه بر ارتقای کیفیت خدمات، الگوهای فضایی استفاده از منابع و دسترسی شهروندان به خدمات شهری را می‌تواند بهبود دهد و نابرابری‌های مکانی را کاهش دهد.

یافته‌ها براساس تحلیل دلفی فازی نشان دادند که این فناوری‌ها، نه تنها به‌صورت مستقل، بلکه در تعامل و هم‌افزایی با یکدیگر، می‌توانند بنیان یک سیستم شهری هوشمند و پایدار را ایجاد کنند. تحلیل دقیق داده‌ها با استفاده از روش‌های کمی و کیفی، شامل بررسی ضریب تغییرات و امتیازهای فازی، اعتبار نتایج را تضمین کرده‌است.

هوش مصنوعی: (AI) با توانایی پردازش داده‌های پیچیده و پیش‌بینی رفتارها، بیشترین میزان اجماع خبرگان را کسب کرده‌است. این فناوری در بهینه‌سازی مصرف انرژی، ارتقای مدیریت منابع، بهبود تصمیم‌گیری در حمل‌ونقل، سلامت و خدمات عمومی نقش کلیدی دارد و از نظر راهبردی، ستون اصلی هوشمندسازی شهری محسوب می‌شود.

داده‌های کلان: (Big Data) با تحلیل حجم وسیعی از داده‌ها و ایجاد بینش جامع نسبت به نیازها و رفتار شهروندان، امکان سیاست‌گذاری پیش‌نگر، داده‌محور و اثربخش را فراهم می‌نماید. شاخص‌های مرتبط با این فناوری مورد تأیید کامل خبرگان قرار گرفته و اهمیت آن در حکمرانی هوشمند شهری برجسته‌است.

فناوری‌ها در بهینه‌سازی تصمیم‌گیری‌های شهری، ارتقای کیفیت خدمات و تسهیل ارتباطات زیرساختی است. در مقابل، برخی شاخص‌های مرتبط با اینترنت اشیا -به‌ویژه دو گزاره مربوط به استانداردسازی دستگاه‌ها و پروتکل‌های ارتباطی (سؤالات ۱۰ و ۱۱) - در مرز تأیید قرار گرفته‌اند.

این وضعیت، تنها به عوامل فنی محدود نمی‌شود، بلکه نشان‌دهنده مجموعه‌ای از نگرانی‌ها و چالش‌های مفهومی و نهادی در زمینه اجرای اینترنت اشیا در بافت شهری کشور است. از یک‌سو، نبود استانداردهای ملی و بومی‌سازی نشده، فقدان نهادهای تنظیم‌گر یکپارچه، و نگرانی‌های امنیتی و حریم خصوصی، سطح اطمینان تصمیم‌گیران را نسبت به عملیاتی‌بودن این فناوری کاهش داده‌است. از سوی دیگر، تجربه‌های پراکنده، نبود زیرساخت‌های پایدار و مقاومت سازمانی در برابر تغییر، مانعی برای ادراک یکپارچگی عملیاتی این فناوری ایجاد کرده‌است. همچنین، فاصله میان ادبیات نظری اینترنت اشیا با تجربیات عینی در برخی پروژه‌های شهری، سبب شده که برخی خبرگان دیدگاه محتاط‌تری نسبت به توان تحقق‌پذیری آن اتخاذ کنند.

در مجموع، این تفاوت در میزان اجماع، نه‌تنها وزن نسبی هر فناوری را از منظر تخصصی مشخص می‌کند، بلکه بازتابی از وضعیت بلوغ اجرایی و آمادگی زیرساختی آن‌ها در فضای واقعی مدیریت شهری کشور نیز به‌حساب می‌آید. بنابراین، این یافته می‌تواند مبنای اولویت‌بندی راهبردی و زمان‌بندی تدریجی برای پیاده‌سازی فناوری‌ها در قالب نقشه راه توسعه شهرهای هوشمند قرار گیرد.

این یافته‌ها نشان‌دهنده آن است که گرچه استانداردسازی اینترنت اشیا به‌عنوان یک الزام مهم شناسایی شده‌است، اما در عمل همچنان محل تردید یا اختلاف نظر میان خبرگان است. دلیل اصلی این وضعیت را می‌توان در پیچیدگی فنی، تنوع پروتکل‌های موجود، و نبود نهادهای ناظر بر تدوین استانداردهای بومی جست‌وجو کرد. در عین حال، قرار گرفتن این دو گزاره در مرز تأیید، نشان می‌دهد که اینترنت اشیا دارای پتانسیل قابل توجهی است که در صورت رفع

محدودیت‌هایی به این شرح وجود دارند: نتایج مبتنی بر اجماع خبرگان است و امکان سوگیری در انتخاب نمونه و محدودیت در تعمیم به سایر شهرها یا بافت‌های متفاوت وجود دارد. همچنین، عدم بررسی داده‌های میدانی واقعی دامنه کاربرد نتایج را محدود می‌کند.

در نهایت، موفقیت پایدار شهرهای هوشمند نیازمند مشارکت فعال شهروندان و ارتقای سواد دیجیتال آنان است. فرهنگ‌سازی فناورانه و آموزش عمومی باید هم‌راستا با توسعه زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری پیش رود.

تشکر و سپاسگزاری

پژوهشگران بر خود لازم می‌دانند که از همکاری و مشارکت خبرگان و حامیان علمی این پژوهش، نقش آنان را در دستیابی به نتایج ارزشمند مقاله حاضر ارج بنهند.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

References

- 1- Akbari, M., et al. (2020). 5G networks and their role in smart city development. *Telecommunications Systems*, 75(1), 123-134.
- 2- Alawadhi, S., et al. (2012). Building understanding of smart city initiatives. *International Conference on Electronic Government*, 40-53.
- 3- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- 4- Badura, M. (2017). Artificial intelligence in smart city applications. *Smart Cities*, 1(1), 47-58.
- 5- Ballas, A. (2013). What is a smart city?. *Urban Studies*, 50(11), 2207-2225.
- 6- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., ... & Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The*

اینترنت اشیا: (IoT) شبکه‌ای گسترده از دستگاه‌ها و حسگرهای متصل ایجاد می‌کند که پایش لحظه‌ای فرآیندهای شهری را ممکن می‌سازد. هرچند برخی مؤلفه‌ها درباره استانداردسازی این فناوری در مرز تأیید قرار دارند، اما اثرات مثبت آن در بهبود تعاملات نهادی و افزایش مشارکت شهروندان تأیید شده است. این مسئله بر لزوم توسعه چارچوب‌های استاندارد و امنیتی بومی تأکید می‌کند. شبکه نسل پنجم: (5G) زیرساخت ارتباطی حیاتی است که با سرعت بالا، کاهش تأخیر و پشتیبانی از اتصال هم‌زمان چندین سامانه، نقش تسهیل‌گر در یکپارچه‌سازی سایر فناوری‌ها را ایفا می‌کند. این فناوری در توسعه خدمات نوآورانه شهری و رشد کسب‌وکارهای فناورمحور اثرگذاری بالایی دارد و تمام شاخص‌های آن مورد تأیید خبرگان قرار گرفته‌است.

مزیت اصلی این پژوهش در مقایسه با مطالعات مشابه، بررسی جامع تعامل میان فناوری‌ها و تحلیل ابعاد اجرایی، اجتماعی و امنیتی آن‌ها است؛ در حالی که پژوهش‌های پیشین عمدتاً به بررسی فناوری‌ها به صورت مجزا و بدون توجه به زمینه بومی و اجرایی پرداخته‌اند. این مطالعه با رویکردی سیستمی، به درک عمیق‌تری از کارکرد تلفیقی فناوری‌ها در بستر واقعی شهرهای ایرانی منجر شده است. پیشنهادها راهبردی برای توسعه شهرهای هوشمند شامل تدوین و اجرای استانداردهای فنی و امنیتی برای IoT به منظور یکپارچه‌سازی داده‌ها و تضمین امنیت سامانه‌ها، سرمایه‌گذاری در الگوریتم‌های بومی هوش مصنوعی و تحلیل کلان‌داده‌ها برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری شهری و ارتقای بهره‌وری خدمات، گسترش زیرساخت‌های 5G به منظور تضمین عملکرد پایدار و هم‌زمان سامانه‌های هوشمند و حمایت از نوآوری دیجیتال، و در نهایت فرهنگ‌سازی و ارتقای سواد دیجیتال شهروندان هم‌راستا با توسعه فناوری‌ها برای افزایش مشارکت و استفاده مؤثر از خدمات هوشمند است. با وجود دقت در طراحی و اجرای پژوهش،

the ISSS, 1-15.

18- Harrison, C., et al. (2010). Foundations for smarter cities. *IBM Journal of Research and Development*, 54(4), 1-16.

19- Hollands, R. G. (2008). Will the real smart city please stand up? *City*, 12(3), 303-320.

20- Hossain, M. S., et al. (2020). 5G-enabled smart healthcare systems. *IEEE Network*, 34(5), 140-147.

21- Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2006). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management*, 19(6), 382-394.

22- Kanter, J., & Litow, S. (2009). Smart cities: Turning data into innovation. IBM Institute for Business Value.

23- Kitchin, R. (2014). The data revolution: Big data, open data, data infrastructures and their consequences. SAGE Publications.

24- Klein, L., & Kaefer, F. (2008). Intelligent systems and smart cities. *International Journal of Urban Technology*, 15(2), 1-13.

25- Kloker, C., Mann, F., & Brunn, M. (2018). An iterative Delphi method for group decision-making under uncertainty. *Decision Support Systems*, 115, 31-41.

26- Komninos, N. (2002). Intelligent cities: Innovation, knowledge systems and digital spaces. Taylor & Francis.

27- Komninos, N. (2011). Intelligent cities: Variable geometries of spatial intelligence. *Intelligent Buildings International*, 3(3), 172-188.

28- Lazaroïu, G. C., & Roscia, M. (2012). Definition methodology for the smart cities model. *Energy*, 47(1), 326-332.

29- Li, S., et al. (2019). 5G for smart transportation systems: Overview and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 57(1), 90-95.

30- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497-1516.

31- Murry, J. W., & Hammons, J. O. (1995). Delphi: A versatile methodology for conducting qualitative research. *The Review of Higher Education*, 18(4), 423-436.

32- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing

European Physical Journal Special Topics, 214(1), 481-518. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>

7- Biloslavo, R., & Dolinšek, S. (2010). Delphi technique as a tool for selecting and prioritizing measures for energy efficiency. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7915-7920.

8- Chen, C., et al. (2014). Big data and smart cities: Innovation and entrepreneurship opportunities. *Journal of Urban Innovation*, 2(1), 25-35.

9- Cheng, C. H., & Kuo, Y. F. (2008). An integrated fuzzy Delphi method and fuzzy analytic hierarchy process for multi-criteria decision making. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 96-107.

10- Cheng, C. H., & Lin, C. C. (2002). Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142(1), 174-186.

11- Dirks, S., & Keeling, M. (2009). A vision of smarter cities: How cities can lead the way into a prosperous and sustainable future. IBM Global Business Services.

12- English, S. H., & Kernan, M. C. (1976). Assessment of agreement among judges. In E. S. Pearson & J. K. Hartley (Eds.), *Biometrika Tables for Statisticians* (Vol. 2, pp. 215-231). Cambridge University Press. (نقل شده در)

Yang, J. B. (2003). Expert choice and the Delphi method: A fuzzy approach to decision making. *European Journal of Operational Research*, 151(3), 623-635.)

13- Ghaffarian Hoseini, A., et al. (2013). Smart buildings and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 169-177.

14- Giffinger, R., & Gudrun, H. (2010). Smart cities ranking: An effective instrument for the positioning of cities? *ACE: Architecture, City and Environment*, 4(12), 7-26.

15- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., & Meijers, E. (2007). Smart cities: Ranking of European medium-sized cities. Centre of Regional Science, Vienna University of Technology.

16- Hancke, G. P., et al. (2013). The role of smart sensors in smart cities. *IEEE Sensors Journal*, 13(10), 3671-3680.

17- Harrison, C., & Donnelly, I. A. (2011). A theory of smart cities. *Proceedings of the 55th Annual Meeting of*

- A., Hayes, N. M., & Nelson, L. E. (2010). Helping CIOs understand "smart city" initiatives. Forrester Research Report.
- 43- Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M., & Foth, M. (2018). Big data analytics for smart cities. *Journal of Urban Technology*, 25(1), 3-19.
- 44- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32.
- 45- Zhang, Y., et al. (2020). Big data analytics for urban sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102322.
- 46- Zhou, Z., et al. (2020). 5G-enabled IoT for smart cities. *IEEE Network*, 34(5), 122-128.
- 47- Zygiaris, S. (2013). Smart city reference model: Assisting planners to conceptualize the building of smart city innovation ecosystems. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2), 217-231.
- smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference*, 282-291.
- 33- O'Grady, M., & O'Hare, G. M. P. (2012). Smart cities through networked intelligence. *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2308-2313.
- 34- Sadati Rezai Zadeh, H., et al. (1398). The impact of digital technologies on urban life. *Journal of Urban Studies*, 8(2), 125-140. [In Persian]
- 35- Saritas, O., & Aylen, J. (2010). Using futures methods to create innovation: Applying the Delphi method for nanotechnology foresight. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(7), 1091-1101.
- 36- Sasanpour, M., & Hatami, M. (1396). The role of ICT in modern society. *Information Technology Journal*, 14(3), 45-60. [In Persian]
- 37- Shi, Y., et al. (2020). Artificial intelligence applications in smart cities. *Sensors*, 20(4), 1231.
- 38- Singh, K., Singh, S., & Łasak, K. (2020). Blockchain and AI for smart city solutions: Challenges and opportunities. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102234.
- 39- Su, C. T., Chou, S. W., & Wang, K. S. (2010). A fuzzy Delphi method for improving quality of service in Internet banking. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 8123-8130.
- 40- Ullah, I., et al. (2020). AI in smart healthcare: Applications and challenges. *Healthcare*, 8(2), 102.
- 41- Urashima, K., Fukushige, S., & Onaga, K. (2012). A Delphi study for identifying the needs of future social systems in Japan. *Foresight*, 14(4), 271-283.
- 42- Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, R.

COPYRIGHTS

©2026 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)

