Journal of Geography and Planning
Online ISSN: 2717-3534 Print ISSN: 2008-8078
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

Integration of G5 Technologies and the Internet of Things for Smart City Development: A Case Study of Tabriz Metropolis

Ali Zarei[1], Reza Valizadeh[2]✉, Ali Panahi[3]

1. PhD Student in Geography and Urban Planning, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. Email: Ali.zarei75@yahoo.com
2. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. Email: Valizadehreza60@yahoo.com
3. Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University, Tabriz, Iran. Email: panahi@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 26 January 2025
Revised: 20 May 2025
Accepted: 26 May 2025
Published online: 29 December 2025

Keywords:
Smart Cities,
G5 Technology,
Internet of Things (IoT),
Quality of Urban Life.

ABSTRACT

Smart cities have emerged as a novel approach to improving urban quality of life, optimizing resource management and public services, and enhancing economic productivity. In this context, the integration of G5 technology and the Internet of Things (IoT) can play a pivotal role in accelerating digital transformation and developing smart infrastructure. This article evaluates and analyzes various criteria related to urban infrastructure and services, focusing on how these technologies can be utilized for the development of a smart city, with a particular emphasis on the city of Tabriz.

To collect data, a variety of methods were employed, including a review of diverse literature, surveys of citizens, field observations, and collaboration with local authorities. For this purpose, multi-criteria decision-making methods such as Shannon Entropy and ELECTRE were utilized. The research findings indicated that Zones 5 and 8 were identified as the best options, with a dominance score of 8, while Zones 1 and 7 showed no dominance and require improvements in infrastructure and services.

Furthermore, the integration of G5 and IoT technologies can contribute to enhancing the quality of urban services, reducing pollution, and increasing citizen satisfaction. The results obtained can serve as a foundation for planning and policymaking aimed at the development of a smart city in Tabriz, assisting decision-makers in identifying the strengths and weaknesses of urban infrastructure.

Cite this article: Zarei, A., Valizadeh, R., & Panahi, A. (2026). "Integration of G5 Technologies and the Internet of Things for Smart City Development: A Case Study of Tabriz Metropolis". *Journal of Geography and Planning*, 29(94), 369-389. http//doi.org/10.22034/gp.2025.65606.3358

© The Author(s).
Publisher: University of Tabriz.
DOI: http//doi.org/10.22034/gp.2025.65606.3358

Introduction

Smart cities, as a paradigm of modern management based on technology, have garnered significant attention in recent years. This concept refers to the utilization of innovative technologies to enhance urban quality of life, reduce resource consumption, and optimize the performance of various urban systems (Harrison et al., 2010). This research investigates the integration of these two technologies in Tabriz and evaluates their impacts on optimizing urban processes, including traffic management, energy consumption, and air pollution monitoring. The primary objective of this study is to explore the feasibility of integrating G5 and Internet of Things (IoT) technologies for the development of a smart city in Tabriz.

Given the increasing demand for improved urban services and resource management in Iranian cities, numerous studies have been conducted on smart cities and the application of modern technologies. However, few studies have examined the integration of G5 and IoT technologies within the context of Iranian cities, particularly Tabriz. This research can be considered the first comprehensive study in this area in Tabriz and aims to provide a practical framework for implementing these technologies in other cities across Iran.

Studies by Al-Fuqaha et al. (2015) and Sarker et al. (2020) have explored various models for implementing IoT in urban systems, demonstrating that these technologies can contribute to reducing traffic congestion, energy consumption, and air pollution in smart cities. Khalili et al. (2021) indicated that Tabriz faces challenges such as air pollution, heavy traffic, and high energy consumption. The implementation of these technologies could serve as an effective solution to improve the current conditions in the city.

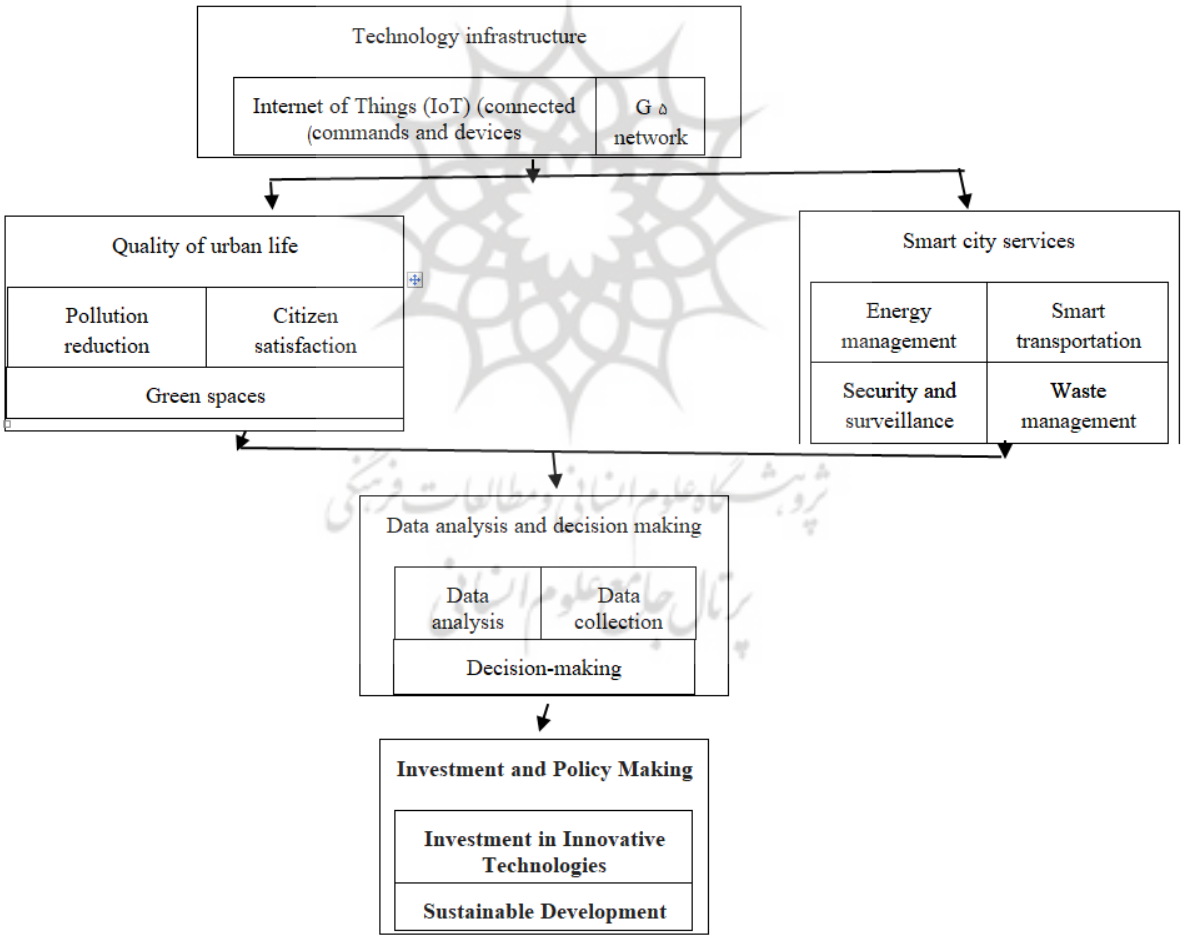


Figure 1. Conceptual research model

Materials and Methods

The methodology of this research includes data collection from various sources, surveys of citizens, field observations, and collaboration with local authorities. Additionally, two multi-criteria decision-making methods, namely Shannon Entropy and ELECTRE, have been employed for data analysis.

Shannon Entropy Method

The Shannon Entropy method is a mathematical technique used to measure uncertainty or the amount of information present in a dataset. This method is particularly applicable in the fields of information theory and multi-criteria decision-making. The main steps of this method are as follows:

1. **Data Collection**: Data related to each criterion is collected from various sources.
2. **Frequency Calculation**: For each criterion, the frequency or probability of occurrence of each state is calculated.
3. **Entropy Calculation**: Using the Shannon Entropy formula, the entropy for each criterion is computed, where $H(X)$ represents entropy, $p(xi)$ is the probability of occurrence of state i, and n is the number of possible states: $H(X)=-\sum i=1np(xi)\log(p(xi))$
4. **Weight Calculation**: The weight of each criterion is calculated using the computed entropy and assigned to the criteria. Criteria that provide more information receive higher weights. This method helps decision-makers evaluate different criteria objectively based on the available information, ultimately aiding in improving the decision-making process.

ELECTRE Method

The ELECTRE method allows for a comprehensive evaluation of different options by considering various criteria and their associated weights. The results obtained can assist decision-makers in selecting the best options and lead to improvements in the quality of services and infrastructure in different areas. Additionally, identifying areas with lower dominance can serve as a starting point for planning and improvement in these regions. The main steps of this method are as follows:

1. **Defining Criteria and Options**: Initially, the evaluation criteria and available options are specified.
2. **Decision Matrix Calculation**: A decision matrix is created, where each row represents an option and each column represents a criterion.
3. **Weight Calculation**: The weight of each criterion is determined based on its importance.
4. **Comparison Matrix Calculation**: For each pair of options, a comparison is made to determine which option is superior based on each criterion.
5. **Agreement and Disagreement Index Calculation**: Using the obtained values, agreement indices (indicating the superiority of one option over another) and disagreement indices (indicating lack of superiority) are calculated.
6. **Ranking Options**: Finally, the options are ranked based on the results obtained.

This methodology provides a structured approach to analyze and evaluate the integration of G۵ and IoT technologies in the context of smart city development in Tabriz.

Keywords: Smart Cities, G5 Technology, Internet of Things (IoT), Quality of Urban Life.

جغرافیا و برنامه ریزی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۸۰۷۸ شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۳۵۳۴
Homepage: https://geoplanning.tabrizu.ac.ir

یکپارچگی فناوری‌های نسل پنجم و اینترنت اشیاء برای توسعه شهر هوشمند (مطالعه موردی؛ کلانشهر تبریز)

علی زارعی[۱]، رضا ولی‌زاده[۲]✉، علی پناهی[۳]

۱. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. رایانامه: Ali.zarei75@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. رایانامه: Valizadehreza60@yahoo.com
۳. استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. رایانامه: panahi@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸

کلیدواژه‌ها:
یکپارچگی فناوری‌های نسل پنجم،
مدل‌سازی،
الکتره،
شهر هوشمند، تبریز.

چکیده

شهرهای هوشمند به عنوان راهکاری نوین برای بهبود کیفیت زندگی شهری، مدیریت بهینه منابع و خدمات عمومی، و ارتقای بهره‌وری اقتصادی مطرح شده‌اند. در این راستا،یکپارچگی فناوری‌های نسل پنجم (G۵) و اینترنت اشیاء (IoT) می‌تواند نقش کلیدی در تسریع تحول دیجیتال و توسعه زیرساخت‌های هوشمند ایفا کند. مقاله حاضر با ارزیابی و تحلیل معیارهای مختلف مرتبط با زیرساخت‌ها و خدمات شهری به بررسی چگونگی استفاده از این فناوری‌ها برای توسعه شهر هوشمند با تمرکز بر شهر تبریز پرداخته است. برای جمع‌آوری داده‌ها، از روش‌های متنوعی استفاده شده است که شامل مطالعه منابع مختلف، نظرسنجی از خبرگان و شهروندان مطلع رشد هوشمند و مدیریت شهری هوشمند که می توانستند اطلاعات با ارزشی را در اختیار پژوهشگر قرار دهند و طراحی و توزیع پرسشنامه‌ای به منظور جمع‌آوری نظرات و تجربیات خبرگان و شهروندان در مورد زیرساخت‌ها و خدمات شهری و همکاری با نهادهای محلی: برقراری ارتباط با نهادهای دولتی و خصوصی مرتبط با مدیریت شهری و جمع‌آوری اطلاعات از آن‌ها (شرکت توزیع برق تبریز، سازمان آب و هوا شناسی،معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تبریز، سازمان مدیریت و مهندسی شبکه حمل و نقل شهرداری تبریز) وب سایت‌ها (aqicniirg,speetest.net,Itproportl, lot iran و سامانه آنلاین ucheck) می‌باشد. برای رتبه‌بندی گزینه‌ها (مناطق شهر تبریز) از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره آنتروپی شانون و الکتره استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد که مناطق ۵ و ۸ با ۸ چیرگی به عنوان بهترین گزینه‌ها شناسایی شدند، در حالی که مناطق ۱ و ۷ هیچ چیرگی نداشتند و نیاز به بهبود زیرساخت‌ها و خدمات دارند. نتایج به دست آمده می‌تواند به عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در راستای توسعه شهر هوشمند تبریز مورد استفاده قرار گیرد و به تصمیم‌گیرندگان در شناسایی نقاط قوت و ضعف زیرساخت‌های شهری یاری رساند.

استناد: زارعی، علی؛ ولی‌زاده، رضا؛ و پناهی، علی (۱۴۰۴). یکپارچگی فناوری های نسل پنجم و اینترنت اشیاء برای توسعه شهر هوشمند (مطالعه موردی؛ کلانشهر تبریز). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۹ (۹۴)، ۳۸۹-۲۶۹.
http//doi.org/10.22034/gp.2025.65606.3358

ناشر: دانشگاه تبریز.
© نویسندگان.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

با شروع قرن بیست و یک، توسعه شهرهای هوشمند به دلیل رشد سریع نرخ شهرنشینی، چالش‌های اقتصادی- اجتماعی، زیست محیطی و حاکمیتی همراه با چالش رهبری خلاقانه جهان در خط مقدم بحث های شهری است (رضائی و همکاران، ۱۴۰۲). یکی از مفاهیم جدید جهت مقابله با چالش‌های کنونی شهرها در عرصه برنامه‌ریزی شهری، توسعه شهر هوشمند است که در طول سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۶).

ظهور فناوری اطلاعات و ارتباط باعث شده تا مفهوم هوشمندی در تمامی فرآیندهای توسعه بشر تأثیری غیر قابل انکار داشته باشد. شهرها از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای تغییر زیرساخت‌های شهری، خدمات عمومی و خصوصی و فعالیت‌های حکومتی استفاده می‌کنند (دامری ریکاردی[1]، ۲۰۱۷). تمامی کشورها در پی استفاده از فرصت‌ها و مزایای فراوان حاصل از آن هستند تا به واسطه آن، رفاه نسبی را برای حال و آینده جوامع خود رقم بزنند. در این میان و در دهه‌های اخیر، فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) به طوری غیرقابل پیش‌بینی جامعه ما را به کلی تغییر داده است (قلی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱).

شهرهای هوشمند به عنوان نمونه‌ای از مدیریت نوین و مبتنی بر فناوری، در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، این مفهوم به معنای استفاده از فناوری‌های نوین برای بهبود کیفیت زندگی شهری، کاهش مصرف منابع و بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های مختلف شهری است (هریسون و همکاران[2]، ۲۰۱۰). یکی از فناوری‌های کلیدی در ایجاد این نوع شهرها، اینترنت اشیاء (IoT)[3] است که به عنوان یک شبکه از دستگاه‌ها و حسگرهای متصل به اینترنت، قابلیت جمع‌آوری و تحلیل داده‌های زمانی و مکانی در سطح شهر را فراهم می‌آورد (گوبی و همکاران[4]، ۲۰۱۳). از سوی دیگر، فناوری G۵[5] با ظرفیت اتصال بالا، تأخیر کم و سرعت انتقال داده‌های بالا، به عنوان یک فناوری حیاتی برای ارتقای ارتباطات و پردازش داده‌های حجیم در شهرهای هوشمند شناخته می‌شود (ژانگ و همکاران[6]، ۲۰۱۸). با ترکیب این دو فناوری، قابلیت‌های بی‌سابقه‌ای برای بهبود کارایی سیستم‌های شهری، از جمله حمل و نقل، مصرف انرژی و خدمات عمومی فراهم می‌شود به ویژه شهر تبریز که به عنوان یکی از کلانشهرهای ایران، با چالش‌های متعددی در زمینه مدیریت منابع، ترافیک و آلودگی مواجه است و نیاز به توسعه زیرساخت‌های هوشمند دارد (اسمعیلی و همکاران،۱۴۰۳)، از سوی دیگر، با توجه به محدودیت منابع و ضرورت بهره‌وری بیشتر، استفاده از فناوری‌های نوین برای بهبود سیستم‌های شهری امری ضروری است. در این راستا فناوری G۵ و اینترنت اشیاء به عنوان فناوری‌های تحول‌آفرین می‌توانند راهکارهای مؤثری برای بهبود کیفیت زندگی،کاهش مصرف انرژی و مدیریت بهتر منابع شهری فراهم آورند. ترکیب این دو فناوری می‌تواند تحولی اساسی در شکل‌دهی به شهرهای هوشمند ایجاد کند، زیرا G۵ ظرفیت بالای انتقال داده‌ها و IoT برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها به‌صورت زمان واقعی را فراهم می‌آورد (لی و کیم[7]، ۲۰۱۹). این تحقیق به بررسی چگونگی یکپارچگی این دو فناوری در شهر تبریز و ارزیابی تأثیرات آن بر بهینه‌سازی فرآیندهای شهری، از جمله مدیریت ترافیک، مصرف انرژی و نظارت بر آلودگی هوا می‌پردازد. هدف اصلی این پژوهش، بررسی و تحلیل امکان‌سنجی یکپارچگی فناوری‌های نسل پنجم (G۵) و اینترنت اشیاء(IoT) برای توسعه یک شهر هوشمند در تبریز است. با توجه به نیاز روزافزون به بهبود کیفیت خدمات شهری و مدیریت منابع در شهرهای ایران، پژوهش‌های متعددی در زمینه شهر هوشمند و استفاده از فناوری‌های نوین انجام شده است. با این حال، مطالعات کمی به بررسی یکپارچگی فناوری‌های G۵ وIoT در بستر شهرهای ایرانی به ویژه تبریز، پرداخته‌اند. این تحقیق می‌تواند به عنوان اولین مطالعه جامع در این زمینه در تبریز مطرح شود و چارچوبی عملی برای پیاده‌سازی این فناوری‌ها در سایر شهرهای ایران فراهم آورد، از سوی دیگر، با توجه به اهمیت روزافزون

1. Dameri Riccardi
2. Harrison et al
3. Internet Of Things
4. Gubbi et al
5. Generation Five
6. Zhang et al
7. Lee &Kim

فناوری۵G و IoT در توسعه شهری در سطح جهانی، این تحقیق می‌تواند به مدیران شهری در ایران کمک کند تا بر اساس مدل‌های موفق جهانی، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری بهتری در جهت پیاده‌سازی این فناوری‌ها داشته باشند.

پیشینه پژوهش

در عصر حاضر حجم کار بالای مدیریت شهری، الزام به کارگیری فناوری اطلاعات و بسترسازی برای اداره الکترونیکی شهرها و استفاده از این دانش برای ساماندهی امور شهری را روشن می‌سازد (شیدایی و حیدری، ۱۴۰۰). پژوهش‌هایی در زمینه شهرهای هوشمند و پیاده‌سازی فناوری‌های IoTو۵G انجام شده است (صادقی و نیکوکار، ۱۳۹۸). یکی از مطالعات مهم توسط گوبی و همکاران[1] (۲۰۱۳) صورت گرفت که در آن به کاربردهای اینترنت اشیاء در شهرهای هوشمند پرداخته شده و تأکید شده است که IoT می‌تواند به عنوان ابزار کلیدی در بهبود سیستم‌های حمل و نقل، مدیریت انرژی و نظارت بر محیط زیست عمل کند. همچنین ژانگ و همکاران[2] (۲۰۱۸) با بررسی استفاده از فناوری G۵ در شهرهای هوشمند، به این نتیجه رسیدند که این فناوری می‌تواند به‌عنوان یک پلتفرم برای اتصال هزاران دستگاه به صورت همزمان و با سرعت‌های بالا در محیط‌های شهری عمل کند. پژوهش‌های دیگری مانند مطالعات فقها و همکاران[3] (۲۰۱۵) و سارکر و همکاران[4] (۲۰۲۰) نیز به مدل‌های مختلف پیاده‌سازی IoT در سیستم‌های شهری پرداخته و نشان داده‌اند که این فناوری‌ها می‌توانند به کاهش ترافیک، مصرف انرژی و آلودگی هوا در شهرهای هوشمند کمک کنند. مطالعاتی که در داخل ایران انجام شده، نشان می‌دهند که G۵ می‌تواند به بهبود مدیریت ترافیک، نظارت بر زیرساخت‌ها و بهینه‌سازی مصرف انرژی در شهرهای بزرگ ایران کمک کند (موسوی و همکاران، ۱۴۰۳).

خلیلی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی نشان دادند که تبریز با چالش‌هایی همچون آلودگی هوا، ترافیک سنگین و مصرف بالای انرژی روبرو است. پیاده‌سازی این فناوری‌ها می‌تواند راه‌حلی کارآمد برای بهبود شرایط موجود در این شهر باشد. پژوهش‌های داخلی ایران در زمینه فناوری‌های G۵ وIoT نشان‌دهنده ظرفیت‌های این فناوری‌ها برای حل مشکلات شهری هستند. مطالعات مختلف به اهمیت این فناوری‌ها در بهینه‌سازی مصرف انرژی، حمل و نقل و بهبود محیط زیست اشاره کرده‌اند. با این حال، چالش‌های زیرساختی، امنیتی و اقتصادی هنوز از موانع عمده پیش روی پیاده‌سازی این فناوری‌ها در شهرهای ایران به‌ویژه کلانشهر تبریز به شمار می‌روند.

مهدی فسنقری و محمد عصاریان (۱۴۰۲) در مقاله ای با تأکید بر نسل پنجم اینترنت و با هدف شناسایی پروژه‌های تولید هوشمند مبتنی بر G5 به اولویت بندی این پروژه‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. نتایج به دست آمده، نشان داد، درآمد که مهمترین معیار اشاره شده توسط خبرگان بود وزن ۳۹/۵ درصدی را داشت و سپس سطح ریسک پروژه و هزینه پروژه دو معیار هم وزن بعدی بوده که وزن ۲۲/۷ درصد را داشتند. دو معیار دیگر وزن بسیار کمی در مقایسه با این سه معیار داشته و عملاً تأثیر بسیار کمی در نتایج و اولویت‌بندی نهایی داشته‌اند. از جنبه عملکرد پروژه‌ها، درآمد بیشترین امتیاز و هزینه کمترین امتیاز را به دست آورده است. این موضوع نشان‌دهنده آن است که این پروژه‌ها در مجموع هزینه زیادی به همراه دارند اما می‌توانند درآمد زیادی هم به همراه داشته باشند.

شیرویه‌پور و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به ارایه مدل عوامل مؤثر بر توسعه آینده شهرهای هوشمند پایدار با تأکید بر مدیریت بهینه انرژی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد، اینترنت پرسرعت (فناوری5G) تأثیرگذارترین عامل بر آینده شهرهای هوشمند پایدار است. به کارگیری فناوری G5 سرعت دسترسی کاربران به حجم زیادی از داده‌ها را افزایش و زمان آن را کاهش می‌دهد. اینترنت اشیاء می‌تواند از فناوری G5 به منظور مدیریت مصرف انرژی در شهر هوشمند پایدار بهره مند شود. بنابراین، فناوری5G قادر است به خوبی پاسخگوی نیازهای شهر هوشمند پایدار در جهت مدیریت مصرف انرژی باشد.

1. Gubbi et al
2. al Zhang et al
3. Al-Fuqaha et al
4. Sarker et al

تحقیق و توسعه دارای رتبه دوم از لحاظ تأثیرگذاری بر آینده شهرهای هوشمند پایدار است.

اسمعیلی و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی به بررسی چالش‌ها و موانع حمل و نقل شهری هوشمند بر بستر اینترنت اشیاء در کلانشهر تبریز پرداختند. یافته‌های تحقیق نشان داد تبریز به عنوان یکی از کلانشهرهای کشور با مشکلات زیادی در زمینه حمل و نقل شهری هوشمند درون شهری مواجه می‌باشد که تحقق آن با چالش‌ها و موانع متعددی از جمله: ضعف برنامه‌ریزی، کمبود منابع مالی، عدم آشنایی با سیستم‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء و غیره رو به رو می‌باشد و هوشمند سازی حمل و نقل شهری در کلانشهر تبریز تابع ارتقا سطح و زیر ساخت‌های اینترنت اشیاء می‌باشد.

نوع آوری این مقاله در چندین جنبه قابل توجه است: ترکیب فناوری‌های نوین: این تحقیق به بررسی یکپارچگی فناوری‌های نسل پنجم (G۵) و اینترنت اشیاء (IoT)می‌پردازد که به عنوان دو فناوری کلیدی در توسعه شهرهای هوشمند شناخته می‌شوند. این ترکیب می‌تواند به بهبود کیفیت خدمات شهری و مدیریت منابع کمک کند. همچنین این تحقیق به طور خاص به شهر تبریز پرداخته و نتایج آن می‌تواند به عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در این شهر مورد استفاده قرار گیرد. این تمرکز بر روی یک شهر خاص، به محققان و تصمیم‌گیرندگان محلی کمک می‌کند تا نیازها و چالش‌های خاص آن منطقه را شناسایی کنند. تأکید بر توسعه پایدار: مقاله به اهمیت سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و بهبود زیرساخت‌ها برای تحقق اهداف توسعه پایدار شهری تأکید می‌کند. این رویکرد می‌تواند به عنوان الگویی برای سایر شهرها نیز مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی، این مقاله با ارائه یک رویکرد جامع و مبتنی بر داده، به بررسی چالش‌ها و فرصت‌های توسعه شهر هوشمند در کلانشهر تبریز می‌پردازد و می‌تواند به عنوان یک منبع ارزشمند برای محققان و تصمیم‌گیرندگان در این حوزه محسوب شود.

مبانی نظری پژوهش

۱. مفهوم شهر هوشمند

«شهر هوشمند» به شهری اطلاق می‌شود که در آن از فناوری‌های نوین و ارتباطات دیجیتال برای بهینه‌سازی عملکردها و فرآیندهای شهری استفاده می‌شود. در این شهرها، داده‌ها به‌طور گسترده جمع‌آوری، پردازش و تحلیل می‌شوند تا خدمات شهری به طور هوشمند و کارآمد ارائه گردند (هالندز[1]، ۲۰۰۸). هدف اصلی این شهرها بهبود کیفیت زندگی شهروندان، بهره‌برداری بهینه از منابع، کاهش هزینه‌ها، و ایجاد شهری پایدار است (گیفینگر و همکاران[2]، ۲۰۰۷).

۲. ارتباط فناوری‌های نسل پنجم (G۵) و اینترنت اشیاء(IoT) با شهر هوشمند

فناوری‌هایG۵ و اینترنت اشیاء (IoT) به‌عنوان فناوری‌های اصلی در ایجاد و توسعه شهرهای هوشمند شناخته می‌شوند. هر یک از این فناوری‌ها با ویژگی‌های خاص خود می‌توانند به پیشرفت و کارایی این شهرها کمک کنند.

فناوریG۵

با ورود به هزاره سوم میلادی، شهرها در اثر رشد جمعیت و شهرنشینی، با چالش‌های گسترده‌ای ناشی از رشدی فراتر از ظرفیت‌های پاسخگو مواجه شده‌اند که نمود عینی آن را در مسائلی چون فقر شهری، کمبود زیرساخت‌ها، اسکان غیررسمی، رشد آلودگی‌ها، کاهش کیفیت زندگی و در مجموع رشد ناپایداری‌ها می‌توان مشاهده نمود. در چنین وضعیتی، یافتن راهکارهای جدید و کم هزینه در جهت دستیابی به پایداری، بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد (اسماعیل‌زاده، ۱۳۹۶). اینترنت نسل پنجم یا G۵ به نوعی زیرساخت اینترنت اشیا[3] به حساب می‌آید که می‌تواند تاثیر شگرفی در زندگی بشر بگذارد. اینترنت با پهنای باند مناسب در دسترس قرار می‌گیرد، هزینه اتصال کاهش می‌یابد و دستگاه‌های بسیار زیادی به اینترنت وصل خواهند شد. خانه‌های

1. Hollands
2. Giffinger et al
3. Internet Of Thing

هوشمند و شهرهای هوشمند از اهداف این اینترنت هستند. هزینه تکنولوژی نیز پایین خواهد آمد (https://rskala.com). شبکه‌های نسل پنجم ارتباطات (G۵) به‌طور عمده به‌خاطر سرعت بالا، تأخیر کم و ظرفیت بسیار بالا در انتقال داده‌ها شناخته می‌شوند. این ویژگی‌ها امکان می‌دهند تا حجم عظیمی از داده‌ها به‌طور همزمان منتقل شوند. در شهرهای هوشمند، این فناوری می‌تواند نقش حیاتی در فراهم‌سازی ارتباطات سریع و کارآمد بین دستگاه‌های IoT ایفا کند (ژانگ و همکاران[1]، ۲۰۲۰). به‌عنوان مثال، در حوزه حمل و نقل هوشمند، شبکه G۵ قادر است تا داده‌ها را با سرعت بالا انتقال دهد و سیستم‌های حمل و نقل خودران و مدیریت ترافیک را به‌طور مؤثرتر کنترل کند (سنگوپتا و همکاران[2]، ۲۰۱۹)، (جدول ۱). همچنین اینترنت نسل پنجم با امکاناتی که دارد تولید را تسهیل و به بهبود بهره‌وری و کاهش زمان تولید کمک شایانی می‌کند (القحطانی و همکاران[3]، ۲۰۲۳) ولی در عین حال پیاده‌سازی این فناوری با چالش‌هایی نیز مواجه است از جمله اینکه پیاده‌سازی G۵ نیازمند ساخت زیرساخت‌های جدید است. برج‌ها و ایستگاه‌های پایه جدید باید در سطح وسیعی نصب شوند که این فرآیند هزینه‌بر و زمان‌بر خواهد بود. همچنین با توجه به افزایش تعداد دستگاه‌های متصل به شبکه، مسائل امنیتی در فناوری G۵ بیشتر از همیشه به چشم می‌آید. حملات سایبری به شبکه‌های G۵ می‌توانند منجر به تهدیدات جدی در سطح ملی و جهانی شوند. از مشکلات دیگر اینکه در حال حاضر، پوشش G۵ به‌ویژه در مناطق دورافتاده محدود است. توسعه پوشش جهانی به‌طور قابل توجهی نیازمند سرمایه‌گذاری عظیم در زیرساخت‌ها و تکنولوژی‌های جدید است (جدول۱).

تأثیرات اجتماعی و اقتصادی فناوری G5

اثرات اجتماعی فناوری G۵ می‌تواند تأثیرات مثبتی بر کیفیت زندگی افراد داشته باشد. به‌طور مثال، دسترسی به اینترنت پرسرعت در مناطق محروم، ایجاد فرصت‌های جدید آموزشی و بهبود خدمات بهداشتی از جمله این تأثیرات است. اثرات اقتصادی این فناوری می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری در صنایع مختلف از جمله خودروسازی، کشاورزی و بهداشت شود. به‌علاوه، فناوری G۵ فرصت‌های جدیدی برای کسب وکارهای نوپا ایجاد می‌کند (ژانگ و همکاران[4]، ۲۰۲۰). (لی و ژانگ[5]، ۲۰۲۱). جدول (۲) نمای کلی از وضعیت فناوری G۵ در کشورهای مختلف و شرکت‌های فعال در این زمینه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. ویژگی‌ها، مزایا، و چالش‌های فناوری G۵

ویژگی‌ها و مزایا	توضیحات
سرعت بالا	سرعت دانلود و آپلود چند گیگابیت در ثانیهGbps
تاخیر کم	کاهش زمان تاخیر به زیر ۱ میلی‌ثانیه
پوشش وسیع‌تر	پشتیبانی از تعداد بیشتری از دستگاه‌ها به طور همزمان
قابلیت اطمینان بالا	ارتباطات پایدار و قابل اعتماد برای کاربردهای حیاتی
کارایی انرژی	کاهش مصرف انرژی و افزایش عمر باتری دستگاه‌ها
چالش‌ها	**توضیحات**
هزینه‌های بالا	نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان برای راه‌اندازی زیرساخت‌ها
پوشش محدود	پوشش G۵ هنوز در بسیاری از مناطق محدود است
مسائل امنیتی	افزایش نگرانی‌های امنیتی با افزایش تعداد دستگاه‌های متصل

منبع: (gsma.com)

1. Zhang et al
2. Sengupta et al
3. Alqahtani et al
4. Zhang et al
5. Li,&Zhang

جدول ۲. وضعیت فناوری G۵ در کشورهای مختلف و شرکت‌های فعال در این زمینه

کشور	وضعیت G۵	شرکت‌های فعال
آمریکا	راه‌اندازی شبکه‌های G۵ و گسترش پوشش	Verizon, AT&T
چین	پیشگام در توسعه و پیاده‌سازی G۵	Huawei, ZTE
کره جنوبی	اولین کشور با شبکه G۵ تجاری	SK Telecom, KT, LG Uplus
ژاپن	در حال توسعه شبکه G۵	NTT Docomo, SoftBank
آلمان	در حال راه‌اندازی و گسترش شبکه G۵	Deutsche Telekom, Vodafone
فرانسه	برنامه‌های توسعه G۵ در حال اجرا	Orange, SFR
بریتانیا	راه‌اندازی شبکه‌های G۵ و گسترش پوشش	EE, Vodafone, Three
هند	به تازگی راه‌اندازی شبکه G۵	Reliance Jio, Airtel

منبع: (itu.int)

اینترنت اشیاء(IoT)

عبارت اینترنت اشیاء (IOT) اولین بار در سال۱۹۹۱پس از ظهور تکنیک های مبتنی بر اینترنت در دهه۱۹۹۰ گزارش شد. اینترنت اشیاء را می‌توان به عنوان یک زیرساخت جهانی تعریف کرد که خدمات پیشرفته را با بهم پیوستن چیزهای فیزیکی و مجازی و نیز با استفاده از فناوری های اطلاعاتی و ارتباطی (ICT) امکان‌پذیر می‌کند (علوی و همکاران[1]، ۲۰۱۸). تعداد نوظهوری از اشیاء با سرعت ویژه ای به اینترنت وصل شده‌اند که دانش اینترنت اشیاء(IoT) را درک می‌کنند. در سال ۲۰۰۸ CISCO، گزارش کرد که تعداد اشیاء متصل به اینترنت بیشتر از تعداد افرادی است که روی کره زمین زندگی می‌کنند (راتور و همکاران[2]، ۲۰۱۶)، طبق این تعریف، اینترنت اشیاء به افراد و اشیاء اجازه می‌دهد که در هر زمان و مکان با هر چیزی و هرکسی به طور ایدئال، با استفاده از مسیر یا شبکه و هر سرویسی بهم متصل شوند (پریرا و همکاران[3]، ۲۰۱۴).

IoT ممکن است به عنوان اشیاء دارای هویت و شخصیت‌های مجازی در فضاهای هوشمند با استفاده از رابطه ای هوشمند برای اتصال و ارتباط در زمینه اجتماعی، پزشکی، محیطی و کاربران تعریف شود (هی و زیدالی[4]، ۲۰۱۵).

هدف از پیاده‌سازی اینترنت اشیاء ارتباطات مستقل، قوی، ایمن و تبادل داده‌ها میان دستگاه‌ها و برنامه‌های کاربردی جهان واقعی است (هی و همکاران[5]، ۲۰۱۴). اینترنت اشیاء که رهبری فاز چهارم انقلاب صنعتی را بر عهده دارد، به شبکه ای اشاره می‌کند که در آن هر شیء فیزیکی با برچسبی که هویت‌دار شده به همراه سایر اشیاء شبکه ای را تشکیل می‌دهد که ضمن برقراری ارتباط با یکدیگر به تبادل داده می‌پردازد (میر سپاسی، ۱۴۰۰). چراغ‌های راهنمایی هوشمند، حمل و نقل هوشمند، سیستم کارآمد انرژی، مدیریت آب هوشمند، پارکینگ هوشمند، ساختمان‌های هوشمند و سیستم‌های نظارتی نمونه‌های واقعی از کاربرد اینترنت اشیاء در شهر هوشمند است (موسوی داویجانی، ۱۳۹۹).

IoT قابلیت‌های شنیدن، دیدن، گوش کردن و ارتباط اشیاء با یکدیگر را توانمند می‌کند؛ بنابراین IOT با بهره‌گیری از محاسبه‌های فراگیر، وسایل تعبیه شده (عملکرها، تلفن‌های هوشمند، تبلت‌ها و سایر وسایل شبکه‌بندی شده) فناوری‌های ارتباطات، شبکه‌های حسگر، پروتکل‌ها و اپلیکیشن‌های اینترنت، اشیاء را از سنتی به هوشمند تبدیل و بدین طریق در شیوه بشر انقلاب ایجاد می‌کند و بهترین راه را برای هوشمند کردن شهر ارائه می‌دهد (راتور و همکاران[6]، ۲۰۱۶).

IoT به شبکه‌ای از دستگاه‌ها و حسگرهای متصل به اینترنت اطلاق می‌شود که داده‌های مختلف را به‌طور خودکار جمع‌آوری

1. Alavi et al
2. Rathore et al
3. Perera etal
4. He & Zeadally
5. He et al
6. Rathore etal

و ارسال می‌کنند. این دستگاه‌ها در تمامی بخش‌های شهری از جمله حمل‌ونقل، خدمات عمومی، بهداشت، و انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند (آتزوری و همکاران[1]، ۲۰۱۰). در یک شهر هوشمند، IoT باعث می‌شود که زیرساخت‌ها به‌طور مداوم نظارت شوند و تصمیمات به‌صورت خودکار بر اساس داده‌های بلادرنگ اتخاذ شوند. به‌عنوان مثال، حسگرهای IoT می‌توانندکیفیت هوا را در مناطق مختلف سنجیده و بر اساس آن تصمیمات مدیریتی برای بهبود وضعیت اتخاذ کنند (حسنین و همکاران[2]، ۲۰۱۹). در نهایت، باید گفت که اینترنت اشیاء یک الگوی ارتباطی انقلابی است که هدف آن ارایه یک چارچوب جدید برای اتصال تعداد زیادی از دستگاه‌های دیجیتال با اینترنت برای رفع نیازهای هرچه بیشتر و بهتر بشر است.

۳. اثرات بالقوه فناوری‌های G۵ و IoT بر بهبود کیفیت زندگی شهری، زیرساخت‌ها و خدمات عمومی

بهبود کیفیت زندگی شهری

فناوری‌های G۵ وIoT می‌توانند به‌طور چشم‌گیری کیفیت زندگی در شهرهای هوشمند را ارتقا دهند. برای مثال، با استفاده از حسگرهایIoT در سیستم‌های حمل‌ونقل، ترافیک به‌طور هوشمند مدیریت می‌شود و زمان‌های اتلافی کاهش می‌یابد. همچنین، دسترسی سریع به خدمات بهداشتی، اطلاعات محیطی و کنترل مصرف انرژی از دیگر تأثیرات این فناوری‌ها بر بهبود کیفیت زندگی است (شن و همکاران[3]، ۲۰۱۶).

بهینه‌سازی زیرساخت‌ها

یکی از اهداف اصلی فناوری‌های G۵ وIoT بهینه‌سازی و ارتقاء زیرساخت‌های شهری است. از طریق نصب حسگرها و دستگاه‌هایIoT در مکان‌های مختلف شهری، داده‌ها از وضعیت زیرساخت‌ها جمع‌آوری و تحلیل می‌شود. این اطلاعات می‌تواند به مدیران شهری کمک کند تا اقدامات به موقع برای تعمیر و نگهداری زیرساخت‌ها انجام دهند، مانند سیستم‌های هوشمند مدیریت انرژی که مصرف انرژی در سطح شهری را بهینه می‌کند (زانلا و همکاران[4]، ۲۰۱۴).

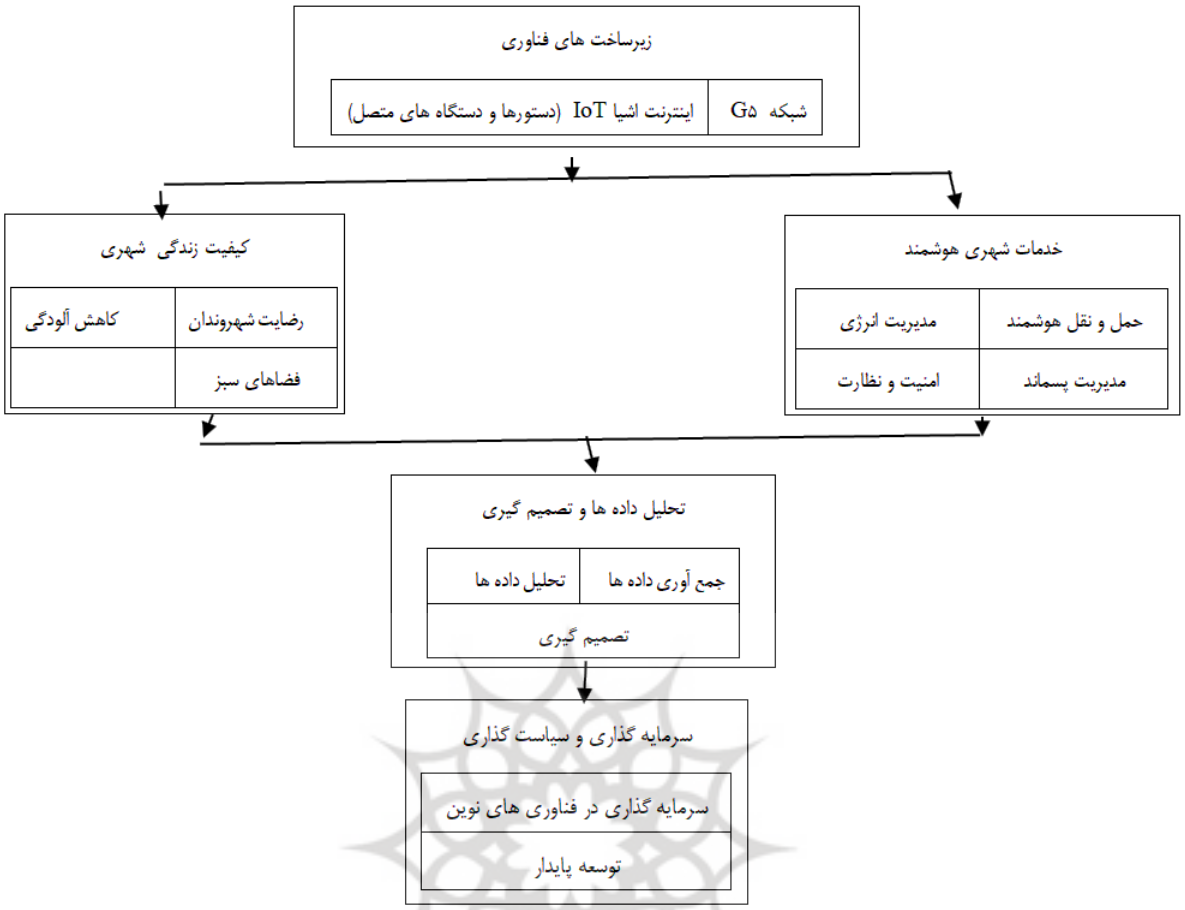
ارتقاء خدمات عمومی

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های شهر هوشمند، ارائه خدمات عمومی به‌طور مؤثرتر و کارآمدتر است. فناوری‌های G۵ و IoT امکان نظارت و کنترل بهتر خدمات شهری، نظیر جمع‌آوری پسماند، تأمین انرژی، و خدمات اضطراری را فراهم می‌آورند. به‌عنوان مثال، استفاده از سیستم‌های هوشمند برای جمع‌آوری پسماند می‌تواند موجب کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت خدمات گردد (کومار و همکاران[5]، ۲۰۲۰)، همچنین داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگرهایIoT می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های سریع و مؤثر در مواقع اضطراری نظیر بلایای طبیعی و بحران‌های بهداشتی مورد استفاده قرار گیرند.

۴. مدل مفهومی تحقیق

چارچوب مفهومی این پژوهش بر اساس چندین مفهوم کلیدی طراحی شده است که هر کدام نقش مهمی در یکپارچگی فناوری‌های نسل پنجم (G۵) و IoT در توسعه شهر هوشمند ایفا می‌کنند (شکل۱).

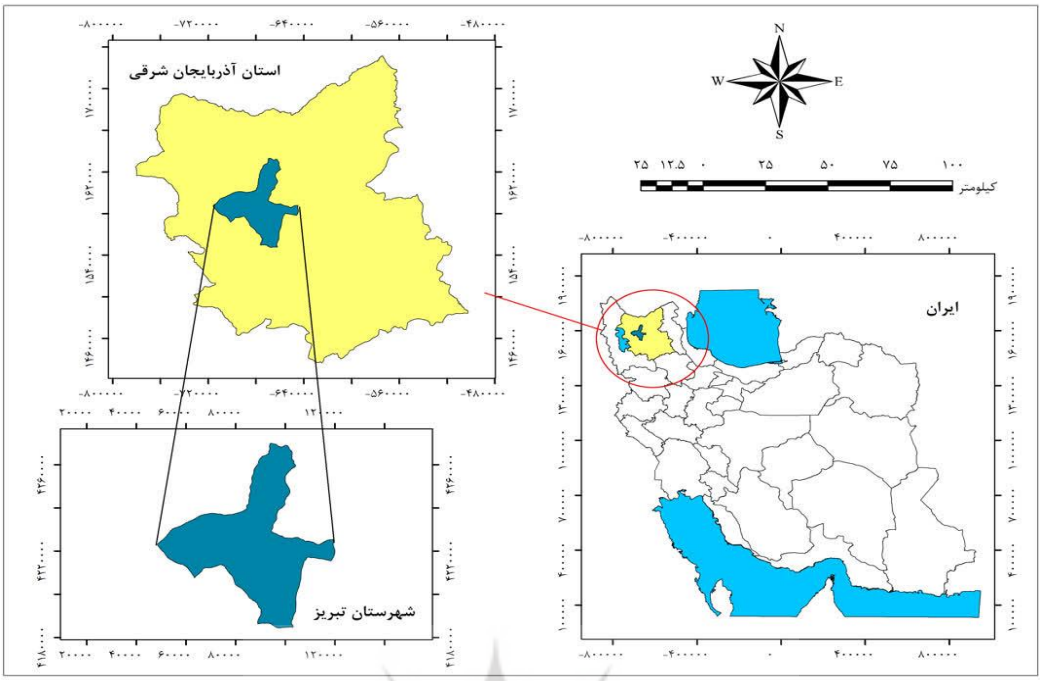
1. Atzori et al
2. Hassanein et al
3. Shen et al
4. Zanella et al.
5. Kumar et al



شکل ۱. مدل مفهومی تحقیق

محدوده مورد مطالعه

کلانشهر تبریز یکی از قدیمی‌ترین و مهمترین شهرهای ایران و مرکز استان آذربایجان شرقی در گوشه شمال شرقی دشتی به وسعت ۳۰۰۰ کیلومتر مربع، به ارتفاع تقریبی۱۳۵۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است (توفیقی سردرودی اصل و همکاران، ۱۴۰۲)، جمعیت این کلانشهر در سال ۱۳۹۵ خورشیدی بالغ بر ۱۵۵۸۶۹۳ نفر بوده است که پنجمین شهر پرجمعیت ایران و دویست و بیست و ششمین شهر پرجمعیت جهان محسوب می شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، شکل (۲). این شهر از جمله شهرهایی است که به دلیل رشد و توسعه سریع در میزان جمعیت و شهرنشینی و تغییرات اجتماعی، اقتصادی و محیطی متناسب با نیازهای جدید و نیز وجود آثار و جاذبه‌های گردشگری پذیرای تعداد فراوانی گردشگر داخلی و خارجی است که باید خدمات ارائه شده شایسته آنها باشد؛ بنابراین ظرفیت‌های بومی برای توسعه این شهر به تنهایی کفایت نمی‌کند و همراهی بخش‌های مختلف به ویژه حوزه‌های ارتباطی و IT ضروری است تا این شهر را بنا به جایگاه و وسعتش ملزم به ارتقا و پیشرفت در زمینه‌های نوین کند. بنابراین می‌توان گفت که مطالعات شهر هوشمند بر مبنای فناوری‌های نسل پنجم و اینترنت اشیاء در شهر تبریز ثمربخش واقع خواهد شد؛ زیرا اینگونه مطالعات در بهبود مدیریت منابع، بهبود کیفیت زندگی، مزایای اقتصادی و نوآوری و کارآفرینی بسیار مؤثر خواهد بود.



شکل ۲. موقعیت کلاشهر تبریز در ایران و استان آذربایجان شرقی

روش پژوهش

پژوهش حاضر از حیث هدف کاربردی- عملی و از حیث ماهیت و روش، توصیفی- تحلیلی می‌باشد. در راستای بررسی ادبیات مرتبط با تحقیق و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از منابع مختلفی همچون وب سایت‌ها، کتاب‌ها، مقالات و غیره استفاده شده است.

در مرحله بعد، با بازدیدهای میدانی از مناطق مختلف شهر تبریز به منظور ارزیابی وضعیت فعلی زیرساخت‌ها و خدمات، نظرسنجی از شهروندان و مصاحبه با کارشناسان و خبرگان مطلع رشد هوشمند و مدیریت شهری هوشمند که می توانستند اطلاعات با ارزشی را در اختیار پژوهشگر قرار دهند و طراحی و توزیع پرسشنامه‌ای به منظور جمع‌آوری نظرات و تجربیات خبرگان و شهروندان در مورد زیرساخت‌ها و خدمات شهری و همکاری با نهادهای محلی : برقراری ارتباط با نهادهای دولتی و خصوصی مرتبط با مدیریت شهری و جمع‌آوری اطلاعات از آن‌ها (شرکت توزیع برق تبریز، سازمان آب و هوا شناسی، معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تبریز، سازمان مدیریت و مهندسی شبکه حمل و نقل شهرداری تبریز) وب سایت‌ها (aqicniirg speetest.net,Itproportl, lot iran و سامانه آنلاین ucheck) در نهایت تعداد ۹ معیار که ارزش و تاثیرگذاری بیشتری در یکپارچگی فناوری‌های G۵ و اینترنت اشیاء (LOT) برای توسعه شهر هوشمند دارند، استخراج گردید، که این معیارها شامل: سرعت اینترنت، رضایت از خدمات حمل و نقل، میزان آلودگی، تعداد دستگاه‌های IOT (ترافیک، بهداشت، محیط زیست، مدیریت شهری)، حجم ترافیک، مصرف انرژی می‌باشد. در ادامه پس از این که داده‌ها و معیارهای مرتبط با موضوع تهیه شد، با استفاده از روش آنتروپی شانون، این معیارها وزن‌دهی شدند. برای این کار پرسشنامه ای در اختیار ۲۵ نفر از خبرگان مربوطه قرار گرفت تا به هریک از معیارها، وزنی با توجه به میزان اهمیت هر یک از آنها تخصیص دهند. با استفاده روش آنتروپی شانون، میزان عدم قطعیت و تنوع اطلاعات هر معیار محاسبه شده و وزن‌های نسبی آن‌ها تعیین گردید. این وزن‌ها به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی نهایی معیارها در نظر گرفته شدند. در ادامه، پس از وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها، به منظور رتبه‌بندی گزینه‌ها (مناطق مختلف شهر تبریز) بر اساس معیارهای تعیین‌شده از روش تصمیم‌گیری الکتره استفاده شده است. در این مرحله، با توجه به وزن‌های به‌دست‌آمده از روش آنتروپی شانون، گزینه‌ها بر اساس عملکردشان در هر معیار ارزیابی و رتبه‌بندی شدند و در نهایت

به تهیه نقشه اولویت‌بندی مناطق در رشد هوشمند شهری، فناوری‌های G۵ وIoT بر اساس شاخص‌های نه‌گانه در محیط GIS پرداخته شد.

آنتروپی شانون

روش آنتروپی شانون یک تکنیک ریاضی است که برای اندازه‌گیری عدم قطعیت یا اطلاعات موجود در یک مجموعه داده به کار می‌رود. این روش به ویژه در زمینه‌های نظریه اطلاعات و تصمیم‌گیری چندمعیاره کاربرد دارد. مراحل اصلی این روش به شرح زیر است:

۱. جمع‌آوری داده‌ها: داده‌های مربوط به هر معیار از منابع مختلف جمع‌آوری می‌شود.

۲. محاسبه فراوانی: برای هر معیار، فراوانی یا احتمال وقوع هر حالت محاسبه می‌شود.

۳. محاسبه آنتروپی: با استفاده از فرمول آنتروپی شانون، آنتروپی هر معیار محاسبه می‌شود که در آن H(X) آنتروپی، p(xi احتمال وقوع حالت i و n تعداد حالات ممکن است.

$$H(X)=-\sum_{i=1}^{n} p(xi)\log(p(xi))$$ رابطه ۱)

۴. محاسبه وزن‌ها: وزن هر معیار با استفاده از آنتروپی محاسبه شده و به معیارها اختصاص داده می‌شود. معیارهایی که اطلاعات بیشتری را ارائه می‌دهند، وزن بیشتری دریافت می‌کنند.این روش به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا معیارهای مختلف را به صورت عینی و بر اساس اطلاعات موجود ارزیابی کنند و در نهایت، به بهبود فرآیند تصمیم‌گیری کمک می‌کند (شانون[1]، ۱۹۴۸؛ ایستمن[2] و همکاران، ۱۹۹۵؛ وانگ[3] و همکاران، ۱۹۲۴–۲۰۰۸).

روش الکتره

روش الکتره به ما این امکان را می‌دهد که با در نظر گرفتن معیارهای مختلف و وزن‌های مربوط به آن‌ها، گزینه‌های مختلف را به‌طور جامع ارزیابی کنیم. نتایج به دست آمده می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در انتخاب بهترین گزینه‌ها کمک کند و به بهبود کیفیت خدمات و زیرساخت‌ها در مناطق مختلف منجر شود. همچنین، شناسایی مناطق با چیرگی کمتر می‌تواند به عنوان یک نقطه شروع برای برنامه‌ریزی و بهبود در این مناطق مورد استفاده قرار گیرد. مراحل اصلی این روش به شرح زیر است:

۱. تعریف معیارها و گزینه‌ها: در ابتدا، معیارهای ارزیابی و گزینه‌های موجود مشخص می‌شوند.

۲. محاسبه ماتریس تصمیم‌گیری: یک ماتریس تصمیم‌گیری ایجاد می‌شود که در آن هر سطر نمایانگر یک گزینه و هر ستون نمایانگر یک معیار است.

۳. محاسبه وزن‌ها: وزن هر معیار بر اساس اهمیت آن تعیین می‌شود.

۴. محاسبه ماتریس مقایسه: برای هر جفت گزینه، مقایسه‌ای انجام می‌شود تا مشخص شود کدام گزینه بر اساس هر معیار بر دیگری برتری دارد.

۵. محاسبه شاخص‌های توافق و عدم توافق: با استفاده از مقادیر به دست آمده، شاخص‌های توافق (که نشان‌دهنده برتری یک گزینه بر گزینه دیگر است) و عدم توافق (که نشان‌دهنده عدم برتری است) محاسبه می‌شود.

۶. رتبه‌بندی گزینه‌ها: در نهایت، گزینه‌ها بر اساس نتایج به دست آمده رتبه‌بندی می‌شوند (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰؛ نادری و همکاران، ۱۴۰۱).

1. Shanon
2. Eastman et al
3. Wang et al

ماتریس تصمیم‌گیری مناطق مختلف شامل شاخص‌ها و وزن‌های مربوطه که جدول (۳) شامل داده‌های مربوط به مناطق مختلف و همچنین وزن‌های مربوط به هر شاخص است.

جدول ۳. شاخص‌های تحقیق و ماتریس داده‌های مناطق به همراه وزن‌های شاخص‌ها

ماتریس	سرعت اینترنت (مگابیت بر ثانیه)	نمره رضایت از خدمات حمل و نقل	میزان آلودگی (PM۲/۵) (MG/M³)	تعداد دستگاه‌های IOT (ترافیک)	تعداد دستگاه‌های IOT (بهداشت)	تعداد دستگاه‌های IOT (محیط زیست)	تعداد دستگاه‌های IOT (مدیریت شهری)	حجم ترافیک (تعداد خودروها)	مصرف انرژی (کیلووات ساعت)
منطقه ۱	۱۰	۳/۵	۲۵	۲۰	۱۰	۵	۳	۲۰۰	۵۰۰۰
منطقه ۲	۲۰	۴	۳۰	۳۰	۱۵	۱۰	۵	۳۰۰	۷۰۰۰
منطقه ۳	۳۰	۲/۵	۴۰	۲۵	۵	۸	۴	۴۰۰	۶۰۰۰
منطقه ۴	۴۰	۳	۳۵	۱۵	۸	۵	۳	۳۵۰	۸۰۰۰
منطقه ۵	۵۰	۴/۵	۲۰	۴۰	۲۰	۱۲	۶	۲۵۰	۵۵۰۰
منطقه ۶	۲۰	۳/۸	۲۸	۳۵	۱۸	۹	۴	۳۰۰	۶۵۰۰
منطقه ۷	۲۰	۲	۵۰	۱۰	۵	۳	۲	۲۰۰	۴۸۰۰
منطقه ۸	۴۰	۴/۲	۲۲	۴۵	۲۵	۱۵	۷	۲۸۰	۷۲۰۰
منطقه ۹	۳۰	۳/۲	۳۳	۲۰	۱۲	۶	۳	۲۳۰	۶۰۰۰
منطقه ۱۰	۱۰	۴	۲۷	۳۰	۱۵	۷	۵	۲۷۰	۵۳۰۰
نوع شاخص	مثبت	مثبت	منفی	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	مثبت	منفی
وزن شاخص	۰/۲۰۴۸۹۵	۰/۰۴۴۹۹۴	۰/۰۶۴۴۸۴۸	۰/۱۴۳۰۵۱	۰/۲۰۳۹۸۳	۰/۱۶۴۰۳۱	۰/۱۰۹۶۹۴	۰/۰۴۱۵۵۳	۰/۰۲۲۹۵

برای نرمال‌سازی مقادیر، از فرمول زیر استفاده شده است:

برای معیارهای مثبت: $xij'=max(xj)xij$ که در آن xij مقدار اصلی در سطر i و ستون j است و max(xj) حداکثر مقدار در ستون j است.

برای معیارهای منفی: $xij'=xijmin(xj)$ که در آن min(xj) حداقل مقدار در ستون j است (جدول ۴).

جدول ٤. نرمال‌سازی یا بی‌مقیاس کردن ماتریس

ماتریس بی مقیاس	سرعت اینترنت (مگابیت بر ثانیه)	نمره رضایت از خدمات حمل و نقل	میزان آلودگی (PM۲/۵) (MG/M³)	تعداد دستگاه‌های IOT(ترافیک)	تعداد دستگاه‌های IOT(بهداشت)	تعداد دستگاه‌های IOT (محیط زیست)	تعداد دستگاه‌های IOT (مدیریت شهری)	حجم ترافیک (تعداد خودروها)	مصرف انرژی (کیلووات ساعت)
منطقه ۱	۰/۱۰۵۹۹۹۷	۰/۳۱۱۷۱۸۲	۰/۲۴۵۹۰۲۹	۰/۲۱۸۲۱۷۸	۰/۲۱۵۳۱۵۳	۰/۱۸۱۶۰۸۱	۰/۲۱۳۲۰۰۷	۰/۲۲۲۳۳۲۰	۰/۲۵۴۶۶۸۲
منطقه ۲	۰/۲۱۱۹۹۹۵	۰/۳۵۶۲۴۹۳	۰/۲۹۵۰۸۳۵	۰/۳۲۷۳۲۶۸	۰/۳۲۲۹۷۲۹	۰/۳۶۳۲۱۶۳	۰/۳۵۵۳۳۴۵	۰/۳۳۳۴۹۸۰	۰/۳۵۶۵۳۵۴
منطقه ۳	۰/۳۱۷۹۹۹۳	۰/۲۲۲۶۵۵۸	۰/۳۹۳۴۴۴۷	۰/۲۷۲۷۷۲۳	۰/۱۰۷۶۵۷۶	۰/۲۹۰۵۷۳۰	۰/۲۸۴۲۶۷۶	۰/۴۴۴۶۶۴۰	۰/۳۰۵۶۰۱۸
منطقه ۴	۰/۴۲۳۹۹۹۱	۰/۲۶۷۱۸۷۰	۰/۳۴۴۲۶۴۱	۰/۱۶۳۶۶۳۴	۰/۱۷۲۲۵۲۲	۰/۱۸۱۶۰۸۱	۰/۲۱۳۲۰۰۷	۰/۳۸۹۰۸۱۰	۰/۴۰۷۴۶۹۱
منطقه ۵	۰/۵۲۹۹۹۸۹	۰/۴۰۰۷۸۰۵	۰/۱۹۶۷۲۲۳	۰/۴۳۶۴۳۵۷	۰/۴۳۰۶۳۰۶	۰/۴۳۵۸۵۹۶	۰/۴۲۶۴۰۱۴	۰/۲۷۷۹۱۵۰	۰/۲۸۰۱۳۵۰
منطقه ۶	۰/۲۱۱۹۹۹۵	۰/۳۳۸۴۳۶۹	۰/۲۷۵۴۱۱۳	۰/۳۸۱۸۸۱۳	۰/۳۸۷۵۶۷۵	۰/۳۲۶۸۹۴۷	۰/۲۸۴۲۶۷۶	۰/۳۳۳۴۹۸۰	۰/۳۳۱۰۶۸۶
منطقه ۷	۰/۲۱۱۹۹۹۵	۰/۱۷۸۱۲۴۶	۰/۴۹۱۸۰۵۹	۰/۱۰۹۱۰۸۹	۰/۱۰۷۶۵۷۶	۰/۱۰۸۹۶۴۹	۰/۱۴۲۱۳۳۸	۰/۲۲۲۳۳۲۰	۰/۲۴۴۴۸۱۴
منطقه ۸	۰/۴۲۳۹۹۹۱	۰/۳۷۴۰۶۱۸	۰/۲۱۶۳۹۴۶	۰/۴۹۰۹۹۰۲	۰/۵۳۸۲۸۸۲	۰/۵۴۴۸۲۴۵	۰/۴۹۷۴۶۸۳	۰/۳۱۱۲۶۴۸	۰/۳۶۶۷۲۲۲
منطقه ۹	۰/۳۱۷۹۹۹۳	۰/۲۸۴۹۹۹۵	۰/۳۲۴۵۹۱۹	۰/۲۱۸۲۱۷۸	۰/۲۵۸۳۷۸۳	۰/۲۱۷۹۲۹۸	۰/۲۱۳۲۰۰۷	۰/۲۵۵۶۸۱۸	۰/۳۰۵۶۰۱۸
منطقه ۱۰	۰/۱۰۵۹۹۹۷	۰/۳۵۶۲۴۹۳	۰/۲۶۵۵۷۵۲	۰/۳۲۷۳۲۶۸	۰/۳۲۲۹۷۲۹	۰/۲۵۴۲۵۱۴	۰/۳۵۵۳۳۴۵	۰/۳۰۰۱۴۸۲	۰/۲۶۹۹۴۸۲

در مرحله بعدی برای وزن دهی به ماتریس نرمال شده از فرمول زیر استفاده شده که در آن vij مقدار نهایی برای گزینه i و معیار j ا ست، xij′ مقدار نرمال‌شده و wj وزن معیار j است (جدول ۵).

رابطه ۲) $vij=xij'\times wj$

جدول ۵. وزن‌دهی به ماتریس نرمال شده

ماتریس وزین	سرعت اینترنت (مگابیت بر ثانیه)	نمره رضایت از خدمات حمل و نقل	میزان آلودگی (PM۲/۵) (MG/M^3)	تعداد دستگاه‌های IOT (ترافیک)	تعداد دستگاه‌های IOT (بهداشت)	تعداد دستگاه‌های IOT (محیط زیست)	تعداد دستگاه‌های IOT (مدیریت شهری)	حجم ترافیک (تعداد خودروها)	مصرف انرژی (کیلووات ساعت)
منطقه ۱	۰/۰۲۱۷۱۹	۰/۰۱۴۰۲۵	۰/۰۱۵۹۴۶	۰/۰۳۱۲۱۶	۰/۰۴۳۹۲۱	۰/۰۲۹۷۸۹	۰/۰۲۳۳۸۷	۰/۰۰۹۲۳۹	۰/۰۰۵۸۴۵
منطقه ۲	۰/۰۴۳۴۳۸	۰/۰۱۶۰۲۹	۰/۰۱۹۱۳۶	۰/۰۴۶۸۲۴	۰/۰۶۵۸۸۱	۰/۰۵۹۵۷۹	۰/۰۳۸۹۷۸	۰/۰۱۳۸۵۸	۰/۰۰۸۱۸۲
منطقه ۳	۰/۰۶۵۱۵۶	۰/۰۱۰۰۱۸	۰/۰۲۵۵۱۴	۰/۰۳۹۰۲	۰/۰۲۱۹۶	۰/۰۴۷۶۶۳	۰/۰۳۱۱۸۲	۰/۰۱۸۴۷۷	۰/۰۰۷۰۱۴
منطقه ۴	۰/۰۸۶۸۷۵	۰/۰۱۲۰۲۲	۰/۰۲۲۳۲۵	۰/۰۲۳۴۱۲	۰/۰۳۵۱۳۷	۰/۰۲۹۷۸۹	۰/۰۲۳۳۸۷	۰/۰۱۶۱۶۷	۰/۰۰۹۳۵۱
منطقه ۵	۰/۱۰۸۵۹۴	۰/۰۱۸۰۳۳	۰/۰۱۲۷۵۷	۰/۰۶۲۴۳۳	۰/۰۸۷۸۴۱	۰/۰۷۱۴۹۴	۰/۰۴۶۷۷۴	۰/۰۱۱۵۴۸	۰/۰۰۶۴۲۹
منطقه ۶	۰/۰۴۳۴۳۸	۰/۰۱۵۲۲۸	۰/۰۱۷۸۶	۰/۰۵۴۶۲۹	۰/۰۷۹۰۵۷	۰/۰۵۳۶۲۱	۰/۰۳۱۱۸۲	۰/۰۱۳۸۵۸	۰/۰۰۷۵۹۸
منطقه ۷	۰/۰۴۳۴۳۸	۰/۰۰۸۰۱۵	۰/۰۳۱۸۹۳	۰/۰۱۵۶۰۸	۰/۰۲۱۹۶	۰/۰۱۷۸۷۴	۰/۰۱۵۵۹۱	۰/۰۰۹۲۳۹	۰/۰۰۵۶۱۱
منطقه ۸	۰/۰۸۶۸۷۵	۰/۰۱۶۸۳۱	۰/۰۱۴۰۳۳	۰/۰۷۰۲۳۷	۰/۱۰۹۸۰۲	۰/۰۸۹۳۶۸	۰/۰۵۴۵۶۹	۰/۰۱۲۹۳۴	۰/۰۰۸۴۱۶
منطقه ۹	۰/۰۶۵۱۵۶	۰/۰۱۲۸۲۳	۰/۰۲۱۰۴۹	۰/۰۳۱۲۱۶	۰/۰۵۲۷۰۵	۰/۰۳۵۷۴۷	۰/۰۲۳۳۸۷	۰/۰۱۰۶۲۴	۰/۰۰۷۰۱۴
منطقه ۱۰	۰/۰۲۱۷۱۹	۰/۰۱۶۰۲۹	۰/۰۱۷۲۲۲	۰/۰۴۶۸۲۴	۰/۰۶۵۸۸۱	۰/۰۴۱۷۰۵	۰/۰۳۸۹۷۸	۰/۰۱۲۴۷۲	۰/۰۰۶۱۹۵

فرمول محاسبه شاخص هماهنگی به صورت زیر است که در آن Cij نشان‌دهنده مقایسه گزینه A و B در معیار j است و m تعداد معیارها است (جدول ۶).

رابطه ۳) $C(A,B)=\sum_{j=1}^{m} Cij$

جدول ٦. تشکیل مجموعه هماهنگی

ماتریس هماهنگی	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ٤	منطقه ٥	منطقه ٦	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰
منطقه ۱	–	۰/۰۸۷۷۹۸	۰/۳۳۶۷۷۵	۰/۷۵۳۵۵۱	۰/۰۲۲۹۵	۰/۰۸۷۷۹۸	۰/۷۷۲۱۵۴	۰/۰۲۲۹۵	۰/۳۸۵۵۳۷	۰/۲۹۲۶۹۳
منطقه ۲	۰/۹۱۲۲۰۱	–	۰/۷۳۰۶۰۱	۰/۷۵۳۵۵۱	۰/۰۴۱۵۵۳	۰/۵۶۵۱۶۷	۰/۹۷۷۰۴۹	۰/۰۶۴۵۰۳	۰/۷۷۲۱۵۴	۰/۹۱۲۲۰۱
منطقه ۳	۰/۶۶۳۲۲۴	۰/۲۶۹۳۹۸	–	۰/۴۸۱۲۷۹	۰/۰۴۱۵۵۳	۰/۳۷۹۰۹۲	۰/۹۷۷۰۴۹	۰/۰۶۴۵۰۳	۰/۶۸۶۱۷۴	۰/۴۱۰۴۷۹
منطقه ۴	۰/۵۲۰۱۷۳	۰/۲۴۶۴۴۸	۰/۵۱۸۷۲	–	۰/۰۴۱۵۵۳	۰/۲۴۶۴۴۸	۰/۹۷۷۰۴۹	۰/۲۴۶۴۴۸	۰/۳۵۶۱۴۲	۰/۲۴۶۴۴۸
منطقه ۵	۰/۹۷۷۰۴۹	۰/۹۵۸۴۴۶	۰/۹۵۸۴۴۶	۰/۹۵۸۴۴۶	–	۰/۹۵۸۴۴۶	۰/۹۷۷۰۴۹	۰/۳۳۷۶۸۷	۰/۹۹۹۹۹۹	۰/۹۳۵۴۹۶
منطقه ۶	۰/۹۱۲۲۰۱	۰/۶۸۱۲۸	۰/۷۳۰۶۰۱	۰/۷۵۳۵۵۱	۰/۰۴۱۵۵۳	–	۰/۹۷۷۰۴۹	۰/۰۶۴۵۰۳	۰/۷۷۲۱۵۴	۰/۷۵۷۵۱۳
منطقه ۷	۰/۲۶۹۳۹۸	۰/۲۲۷۸۴۵	۰/۲۲۶۹۳۳	۰/۰۲۲۹۵	۰/۰۲۲۹۵	۰/۲۲۷۸۴۵	–	۰/۰۲۲۹۵	۰/۰۲۲۹۵	۰/۲۲۷۸۴۵
منطقه ۸	۰/۹۷۷۰۴۹	۰/۹۳۵۴۹۶	۰/۹۳۵۴۹۶	۰/۹۵۸۴۴۶	۰/۶۶۲۳۱۲	۰/۹۳۵۴۹۶	۰/۹۷۷۰۴۹	–	۰/۹۷۷۰۴۹	۰/۹۷۷۰۴۹
منطقه ۹	۰/۸۶۷۲۰۷	۰/۲۲۷۸۴۵	۰/۵۴۱۶۷	۰/۷۵۳۵۵۱	۰	۰/۲۲۷۸۴۵	۰/۹۷۷۰۴۹	۰/۰۲۲۹۵	–	۰/۲۰۴۸۹۵
منطقه ۱۰	۰/۹۱۲۲۰۱	۰/۵۸۹۵۲	۰/۵۸۹۵۲	۰/۷۵۳۵۵۱	۰/۰۶۴۵۰۳	۰/۲۴۲۴۸۶	۰/۷۷۲۱۵۴	۰/۰۲۲۹۵	۰/۷۹۵۱۰۴	–

برای محاسبه شاخص ناهماهنگی نیز از فرمول زیر استفاده شده است که در آن Dij نشان‌دهنده مقایسه گزینه A و B در معیار j است و m تعداد معیارها است (جدول ۷).

رابطه ۴) $D(A,B)=\sum_{j=1}^{m} Dij$

جدول ۷. تشکیل مجموعه ناهماهنگی

ماتریس ناهماهنگی	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ٤	منطقه ٥	منطقه ٦	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰
منطقه ۱	–	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۸۹۰۰	۱	۱	۱
منطقه ۲	۰/۱۰۷۰۶	–	۰/۴۹۴۵۰۱	۱	۱	۱	۰/۰۵۸۵۵	۱	۰/۹۱۱۳۵	۰/۰۹۱۴۹۶
منطقه ۳	۰/۵۰۵۵۶	۱	–	۱	۱	۱	۰/۰۴۷۰۸۸	۱	۱	۱
منطقه ۴	۰/۱۳۴۸۱	۰/۷۰۷۷۸۴	۰/۸۲۲۹۵۵	–	۱	۱	۰/۰۸۶۱۱۳	۱	۰/۸۰۸۸۹۶	۰/۴۷۱۸۵۶
منطقه ۵	/۰۰۶۷۲۸	۰/۰۳۵۴۴۸	۰/۱۰۵۱۷۳	۰/۰۸۷۶۴۴	–	۰/۰۳۵۴۴۸	۰/۰۱۲۴۲	۱	۰	۰/۰۱۰۶۳۴
منطقه ۶	۰/۰۵۴۴۶	۰/۵۹۱۶۴۴	۰/۳۸۰۳۸۶	۰/۹۸۹۰۰۳	۱	–	۰/۰۳۴۸۰۴	۱	۰/۸۲۴۱۶۹	۰/۳۵۸۹۳۳
منطقه ۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	–	۱	۱	۱
منطقه ۸	۰/۰۳۹۰۳	۰/۰۲۱۰۳۵	۰/۰۶۳۱۰۴	۰/۰۴۳۳۰۷	۰/۹۸۹۰۰۳	۰/۰۲۱۲۶۹	۰/۰۳۱۹۳۷	–	۰/۰۲۴۵۶۷	۰/۰۳۴۰۸۷
منطقه ۹	۰/۱۱۷۴۷	۱	۰/۳۸۷۵۷۴	۱	۱	۱	۰/۰۴۵۶۲۵	۱	–	۰/۳۵۹۳۲۳
منطقه ۱۰	۰/۰۵۸۰۹	۱	۰/۹۸۹۰۰۳	۱	۱	۱	۰/۴۹۴۵۰۱	۱	۱	–

در گام بعدی برای محاسبه مقادیر ماتریس، برای هر جفت از گزینه‌ها، بررسی می‌کنیم که آیا گزینه A در مقایسه با گزینه B در تعداد کافی از معیارها برتری دارد. اگر گزینه A در بیش از ۵۰٪ از معیارها نسبت به گزینه B برتری داشته باشد، مقدار ۱ (هماهنگی) و در غیر این صورت مقدار صفر (عدم هماهنگی) را در ماتریس قرار دهیم (جدول۸). به عبارت دیگر، اگرC(A,B)>2m باشد، مقدار MAB=1 و در غیر این صورت MAB=0 خواهد بود.

جدول ۸. تشکیل ماتریس بولینی هماهنگی

ماتریس بولینی هماهنگی	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ٤	منطقه ٥	منطقه ٦	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰
منطقه ۱	–	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰
منطقه ۲	۱	–	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱
منطقه ۳	۱	۰	–	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰
منطقه ۴	۰	۰	۰	–	۰	۰	۱	۰	۰	۰
منطقه ۵	۱	۱	۱	۱	–	۱	۱	۰	۱	۱
منطقه ۶	۱	۱	۱	۱	۰	–	۱	۰	۱	۱
منطقه ۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	–	۰	۰	۰
منطقه ۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	–	۱	۱
منطقه ۹	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	–	۰
منطقه ۱۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	–

برای تشکیل ماتریس بولینی ناهماهنگی، برای هر جفت از گزینه‌ها، بررسی می‌کنیم که آیا گزینه A در مقایسه با گزینه B در تعداد کافی از معیارها بدتر است. اگر گزینه A در بیش از ۵۰٪ از معیارها نسبت به گزینه B بدتر باشد، مقدار ۱ (ناهماهنگی) و در غیر این صورت مقدار صفر (عدم ناهماهنگی) را در ماتریس قرار دهیم.(جدول ۹). به عبارت دیگر، اگر D(A,B)>2m باشد، مقدار MAB=1 و در غیر این صورت MAB=0 خواهد بود.

جدول ۹. تشکیل ماتریس بولینی ناهماهنگی

ماتریس بولینی ناهماهنگی	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ٤	منطقه ٥	منطقه ٦	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰
منطقه ۱	–	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
منطقه ۲	۱	–	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱
منطقه ۳	۱	۰	–	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰

منطقه ۴	۱	۰	۰	–	۰	۰	۱	۰	۰	۱
منطقه ۵	۱	۱	۱	۱	–	۱	۱	۰	۱	۱
منطقه ۶	۱	۱	۱	۰	۰	–	۱	۰	۰	۱
منطقه ۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	–	۰	۰	۰
منطقه ۸	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	–	۱	۱
منطقه ۹	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	–	۱
منطقه ۱۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	–

در گام بعدی،برای محاسبه مقادیر ماتریس چیرگی، برای هر جفت از گزینه‌ها، بررسی می‌کنیم که آیا گزینه A در مقایسه با گزینه B در معیارهای مختلف برتری دارد و آیا ناهماهنگی آن کمتر از یک آستانه مشخص است. فرمول محاسبه به صورت زیر است:

رابطه ۵) $$D(A,B)=C(A,B)-D(A,B)$$

که در آن C(A,B) شاخص هماهنگی و D(A,B) شاخص ناهماهنگی است (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. تشکیل ماتریس چیرگی نهایی

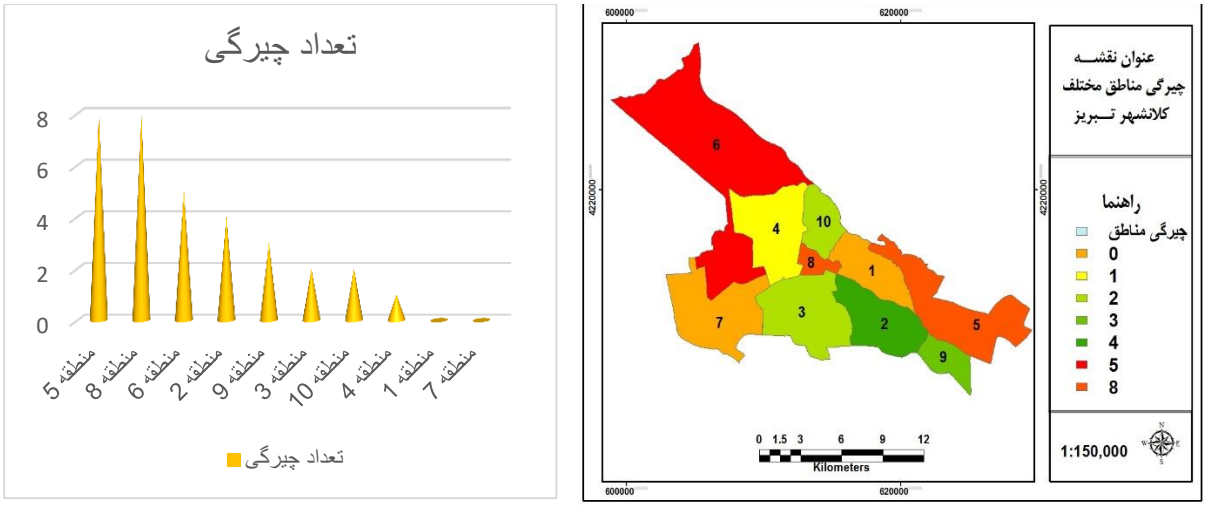
ماتریس چیرگی	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ٤	منطقه ٥	منطقه ٦	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰
منطقه ۱	–	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
منطقه ۲	۱	–	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱
منطقه ۳	۱	۰	–	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰
منطقه ۴	۰	۰	۰	–	۰	۰	۱	۰	۰	۰
منطقه ۵	۱	۱	۱	۱	–	۱	۱	۰	۱	۱
منطقه ۶	۱	۱	۱	۰	۰	–	۱	۰	۰	۱
منطقه ۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	–	۰	۰	۰
منطقه ۸	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	–	۱	۱
منطقه ۹	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	–	۰
منطقه ۱۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	–

محاسبه تعداد چیرگی برای هر گزینه به این صورت است که برای هر گزینه، تعداد گزینه‌هایی که بر آن‌ها چیره است را محاسبه می‌کنیم. این کار با استفاده از ماتریس چیرگی نهایی انجام می‌شود. برای هر گزینه A، تعداد گزینه‌هایی که A بر آن‌ها چیره است را محاسبه می‌کنیم. به عبارت دیگر، برای هر گزینه A: تعداد چیرگی $\sum BMAB=(A)$ که در آن MAB مقدار در ماتریس چیرگی نهایی است که نشان‌دهنده چیرگی گزینه A بر گزینه B است (جدول ۱۱).

جدول ۱۱. محاسبه تعداد چیرگی

نتیجه	تعداد چیرگی
منطقه ۵	۸
منطقه ۸	۸
منطقه ۶	۵
منطقه ۲	۴
منطقه ۹	۳
منطقه ۳	۲
منطقه ۱۰	۲
منطقه ۴	۱
منطقه ۱	۰
منطقه ۷	۰

منبع: (یافته‌های تحقیق)



شکل ۳. نمودار و نقشه چیرگی مناطق مختلف کلانشهرتبریز (منبع: یافته‌های تحقیق)

بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل نتایج چیرگی مناطق شهر تبریز با استفاده از روش الکتره

شهرهای هوشمند به عنوان محیط‌هایی تعریف می‌شوند که از فناوری‌های نوین برای بهبود کیفیت زندگی شهروندان و افزایش کارایی خدمات عمومی استفاده می‌کنند. این شهرها به طور فزاینده‌ای به داده‌های بزرگ و اینترنت اشیاء وابسته هستند تا به چالش‌های شهری پاسخ دهند (ژو و همکاران[1]، ۲۰۲۳). در این پژوهش ابتدا مقالات گذشته در زمینه یکپارچگی فناوری های نسل پنجم (G۵)و اینترنت اشیاء (LOT) برای توسعه شهر هوشمند مورد بررسی قرار گرفت و پس از شناسایی شاخص هایی که می‌توان برای توسعه شهر هوشمند اجرا کرد، با استفاده از روش آنتروپی شانون، این شاخص‌ها وزن دهی شدند. پس از وزن‌دهی و اولویت‌بندی شاخص‌ها، به منظور رتبه‌بندی گزینه‌ها (مناطق مختلف شهر تبریز) بر اساس شاخص‌های تعیین شده از روش تصمیم‌گیری الکتره استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد، تبریز به عنوان یکی از کلانشهرهای ایران، با چالش‌های متعددی از جمله ترافیک و آلودگی هوا روبرو است که با استفاده از فناوری‌های G۵وIoT، می‌توان به بهبود مدیریت ترافیک و زیرساخت‌ها و خدمات شهری کمک کرد. همچنین مناطقی از کلانشهر تبریز که دارای زیرساخت‌های قوی، خدمات بهتر و کیفیت زندگی بالاتری بودند در ارزیابی‌ها نمره بالاتری داشتند،که مطالعات دیگری مانند مطالعات لی و کیم[2] (۲۰۲۳)، سینگ و گوپتا[3] (۲۰۲۳)، پاتل و همکاران[4] (۲۰۲۳) و محمدی و همکاران (۱۴۰۱) به نتایج مشابه دست یافتند. همچنین نتایج پژوهش شیرویه‌پور و همکاران (۱۴۰۲) نشان داد، اینترنت پرسرعت (فناوری G5) تأثیرگذارترین عامل بر آینده شهرهای هوشمند پایدار است و به کارگیری فناوری G5 سرعت دسترسی کاربران به حجم زیادی از داده‌ها را افزایش و زمان آن را کاهش می‌دهد. اینترنت اشیاء می‌تواند از فناوری G5 به منظور مدیریت مصرف انرژی در شهر هوشمند پایدار بهره مند شود. بنابراین، فناوری G5 قادر است به خوبی پاسخگوی نیازهای شهر هوشمند پایدار در جهت مدیریت مصرف انرژی باشد. بر اساس نتایج بدست آمده، مناطق ۵ و ۸ با ۸ چیرگی به عنوان بهترین گزینه‌ها شناخته می‌شوند، این نشان‌دهنده عملکرد بالای این مناطق در معیارهای مورد بررسی است، به احتمال زیاد، این مناطق دارای زیرساخت‌های قوی، خدمات بهتر و کیفیت زندگی بالاتری هستند که باعث شده است در ارزیابی‌ها برتری داشته باشند. منطقه ۶ با ۵ چیرگی، نیز عملکرد قابل قبولی دارد. این منطقه می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مناسب در نظر گرفته شود و ممکن است در برخی از معیارها نسبت به سایر مناطق برتری داشته باشد. منطقه ۲ با ۴ چیرگی، نیز در

1. Zhou et al
2. Lee & Kim
3. Singh & Gupta
4. Patel et al

رده‌های بالای ارزیابی قرار دارد. این منطقه به دلیل وجود خدمات مناسب یا زیر ساخت‌های قوی، توانسته است امتیاز خوبی کسب کند. همچنین مناطق با چیرگی کمتر شامل مناطق ۹ و ۳ با ۳ و ۲ چیرگی به ترتیب، نشان‌دهنده عملکرد متوسطی هستند. این مناطق ممکن است نیاز به بهبود در برخی از معیارها داشته باشند تا بتوانند در ارزیابی‌های آینده بهتر عمل کنند. منطقه۴ با ۱ چیرگی، به وضوح در ارزیابی‌ها عملکرد ضعیفی داشته و نیاز به بررسی و بهبود دارد و مناطق ۱و۷ هیچ چیرگی نداشته و به نظر می‌رسد که در معیارهای مورد بررسی عملکرد بسیار ضعیفی دارند. این موضوع می‌تواند به عدم وجود زیرساخت‌های مناسب، خدمات ناکافی یا مشکلات دیگر مرتبط باشد، لازم به ذکر است که این نتایج نشان‌دهنده اهمیت ارزیابی دقیق و مستمر وضعیت زیرساخت‌ها و خدمات شهری است تا بتوان به بهبود کیفیت زندگی شهروندان کمک کرد.

چالش‌ها و موانع

با وجود پتانسیل‌های بالای فناوری‌های G۵ و IoT، چالش‌هایی نیز در مسیر پیاده‌سازی آن‌ها وجود دارد. یکی از چالش‌های اصلی، نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان در زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات است. همچنین، عدم آگاهی و آموزش کافی در میان شهروندان و مسئولان شهری می‌تواند مانع از بهره‌برداری بهینه از این فناوری‌ها شود. مسائل مربوط به حریم خصوصی و امنیت داده‌ها نیز از جمله نگرانی‌های مهمی هستند که باید در هنگام پیاده‌سازی این فناوری‌ها مورد توجه قرار گیرند.

فرصت‌ها

پیاده‌سازی فناوری‌های G۵ و IoT می‌تواند فرصت‌های زیادی را برای توسعه شهر هوشمند فراهم کند. این فناوری‌ها می‌توانند به بهبود کیفیت خدمات عمومی، کاهش ترافیک، مدیریت بهینه منابع و کاهش آلودگی کمک کنند. به عنوان مثال، با استفاده از دستگاه‌هایIoT، می‌توان داده‌های مربوط به ترافیک و آلودگی را به صورت لحظه‌ای جمع‌آوری و تحلیل کرد و بر اساس آن تصمیمات بهتری اتخاذ نمود. همچنین، فناوری G۵ با ارائه سرعت بالای اینترنت، امکان ارتباطات سریع و پایدار را فراهم می‌آورد که می‌تواند به بهبود عملکرد سیستم‌های شهری کمک کند.

پیشنهادات

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق و تحلیل‌های انجام شده، پیشنهادات زیر برای بهبود یکپارچگی فناوری‌های نسل پنجم (G۵) و اینترنت اشیاء (IoT) در راستای توسعه شهر هوشمند کلانشهر تبریز ارائه می‌شود:

- **سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فناوری:** پیشنهاد می‌شود که مسئولان شهری و نهادهای دولتی به سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات توجه ویژه‌ای داشته باشند. این سرمایه‌گذاری می‌تواند شامل توسعه شبکه‌های G۵، بهبود زیرساخت‌های اینترنتی و ایجاد مراکز داده باشد.
- **آموزش و آگاهی‌بخشی به شهروندان:** برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برای شهروندان و مسئولان شهری در زمینه فناوری‌هایG۵ و IoT می‌تواند به افزایش آگاهی و توانمندی آن‌ها در استفاده از این فناوری‌ها کمک کند. این آموزش‌ها باید شامل مزایا، کاربردها و چالش‌های این فناوری‌ها باشد
- **توسعه سیاست‌های امنیتی و حریم خصوصی:** ایجاد و اجرای سیاست‌های مناسب برای حفاظت از داده‌ها و حریم خصوصی شهروندان از اهمیت بالایی برخوردار است. پیشنهاد می‌شود که نهادهای مربوطه به تدوین قوانین و مقرراتی در این زمینه بپردازند تا اعتماد شهروندان به استفاده از فناوری‌های نوین افزایش یابد.
- **تشویق به همکاری‌های بین‌سازمانی:** ایجاد همکاری‌های مؤثر بین نهادهای دولتی، دانشگاه‌ها و بخش خصوصی می‌تواند به تسریع در پیاده‌سازی فناوری‌های G۵ و IoT کمک کند. این همکاری‌ها می‌توانند شامل پروژه‌های مشترک، تبادل دانش و تجربیات و تأمین مالی مشترک باشند.

- **تحلیل و ارزیابی مستمر:** پیشنهاد می‌شود که یک سیستم ارزیابی و تحلیل مستمر برای نظارت بر عملکرد زیرساخت‌ها و خدمات شهری ایجاد شود. این سیستم می‌تواند به شناسایی نقاط قوت و ضعف و بهبود مستمر خدمات کمک کند.
- **توسعه پروژه‌های پایلوت:** اجرای پروژه‌های پایلوت در مناطق مختلف شهر می‌تواند به شناسایی چالش‌ها و فرصت‌های موجود در پیاده‌سازی فناوری‌های G۵ و IoT کمک کند. این پروژه‌ها می‌توانند به عنوان نمونه‌هایی برای گسترش در سایر مناطق شهر مورد استفاده قرار گیرند.
- **توجه به نیازهای خاص مناطق مختلف:** در برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی فناوری‌های G۵ وIoT، نیازهای خاص هر منطقه باید مورد توجه قرار گیرد. این امر می‌تواند به بهبود کیفیت خدمات و افزایش رضایت شهروندان کمک کند. با اجرای این پیشنهادات، می‌توان به بهبود یکپارچگی فناوری‌های G۵ وIoT در کلانشهر تبریز و در نهایت به توسعه پایدار و هوشمند این شهر کمک کرد.

منابع

اسمعیلی، اکبر؛ قربانی، رسول و محمودزاده، حسن (۱۴۰۳). تحلیلی بر چالش‌ها و موانع حمل و نقل شهری هوشمند در کلانشهر تبریز بر بستر اینترنت اشیاء، *فصلنامه برنامه‌ریزی توسعه شهری و منطقه ای*، ۹(۳۱)، ۱۸۵ –۲۱۹.

اسماعیل‌زاده، حسن (۱۳۹۶). تحلیل ارتباط هوشمندسازی و پایداری در فضای شهری، مطالعه موردی: منطقه ۶ تهران، *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۳(۶۸)، ۱–۲۱.

پوراحمد، احمد؛ شیخی، عبدالله و شریف‌زاده اقدم، ابراهیم (۱۳۹۶). «ارزیابی میزان فاصله محله‌های بافت فرسوده پیرانشهر از سطح پایداری»، *فصلنامه شهر پایدار، انجمن جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری ایران*، ۲(۴)،۱۳۱–۱۶۲.

توفیقی سردرودی اصل، پریا؛ کرمی، فریبا و قنبری، ابوالفضل (۱۴۰۲). بررسی نقش گوشی هوشمند در شکل‌گیری تصویر مقصد از منظر شهروندان کلانشهر تبریز، *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۷(۸۳)، ۳۹–۴۸.

خلیلی، علی، سروش، علیرضا (۱۴۰۰). «بررسی کاربرد اینترنت اشیاء در بهینه‌سازی مصرف انرژی شهری»، *فصلنامه انرژی و محیط زیست*، ۱۷(۳)، ۴۵–۶۰.

رضائی، ناهیده؛ حق‌پرست، فرزین و محمدزاده، رحمت (۱۴۰۲). «امکان سنجی هوشمند سازی بازار سنتی تبریز»، نشریه *فضای شهری و حیات اجتماعی*، ۲(۶)،۱–۱۸.

شیرویه پور، شهریار؛ مرتضوی، سیدمرتضی و بیات، روح‌الله (۱۴۰۲). «ارایه مدل عوامل مؤثر بر توسعه آینده شهرهای هوشمند پایدار با تأکید بر مدیریت بهینه انرژی»، *اقتصاد و برنامه‌ریزی شهری*، ۴(۴)، ۱۱۶–۱۲۹.

شیدایی، فرهاد و حیدری، عباس (۱۴۰۰). ارائه مدل مکان محور و داده بنیاد در مدیریت و توسعه شهرهای الکترونیکی کشور: مطالعه موردی شهر تبریز، *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۵(۷۸)، ۲۴۴–۲۶۴.

صادقی، محمود و نیکوکار، غلامحسین (۱۳۹۸). «بررسی کاربرد اینترنت اشیاء در مدیریت منابع انرژی شهرهای هوشمند». *پژوهش‌های مدیریت منابع انرژی*، ۱۲(۲)،۸۱–۹۴.

فسنقری، مهدی و عصاریان، محمد (۱۴۰۲)، «شناسایی و اولویت‌بندی کاربردهای نسل پنجم اینترنت $G5$در تولید هوشمند»، *مطالعات مدیریت کسب و کار هوشمند*، ۱۲(۴۵)، ۲۰۳–۲۳۱.

موسوی، سید و همکاران (۱۴۰۳). «نقش فناوری$G5$ در بهبود زیرساخت‌های شهری فناوری اطلاعات و ارتباطات»، ۸(۲)، ۲۳–۳۵.

میرسپاسی، نیلوفر (۱۴۰۰). «تحلیل تأثیر حمل و نقل هوشمند در حوزه اینترنت اشیاء بر بهبود شاخص های ملی توسعه پایدار»، *فصلنامه علمی جاده*، ۳(۱۰۸)، ۱۴۳-۱۶۰.

موسوی داویجانی، مریم (۱۳۹۹). «نقش اینترنت اشیاء در تو سعه شهرهای هو شمند، کاربردهای نوآورانه، فرصت‌ها و چالش‌ها»، *کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در کامپیوتر، برق و فناوری اطلاعات.*

مرکز آمار ایران، (۱۳۹۵).

محمدی، ناصر؛ مجتبی‌زاده خانقاهی، حسین و توکلان، علی (۱۴۰۰). امکان سنجی اجرای الگوهای نوین برنامه‌ریزی شهری با تأکید بر حکمروایی شهری (مطالعهٔ موردی : شهر گرمدره، استان البرز)، *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، ۱۸(۶۹)، ۱۰۳-۱۲۳.

نادری، فتح‌الله؛ ناصری، بهروز؛ خان محمدیان، یاسم؛ سلامت، عماد و کوشا، محمدتقی (۱۴۰۱). *اولویت بندی خطر سیل در حوضه آبخیز گنجوان استان ایلام با استفاده از مدل الکتره*، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۴۳)، ۲۱-۱.

References

Alqahtani, H., Niranjan, L., Parthasarathy, P., & Mubarakali, A. (2023). Modified power line system-based energy efficient routing protocol to improve network life time in G5 networks. Computers and Electrical Engineering. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.

Alavi, A. H., Jiao, P., Buttlar, W. G., & Lajnef, N. (2018). Internet of Things-enabled smart cities: Stateof-the-art and future trends. *Measurement*, 129, 589-606. https://doi.org/10.1016/-j.measurement.

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., & Aledhari, M. (2015). "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications." IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(4), 2347-2376. https://doi.org/10.1109/COMST.2015.92444095

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010

Dameri, Renata Paola , and Camille Rosenthal-Sabroux.(2017). Smart City: How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space. Springer Publishing Company.

Esmaili, Akbar, Ghorbani, Rasoul, Mahmoudzadeh, Hassan (2024). An analysis of the challenges and obstacles of smart urban transportation in Tabriz metropolis based on the Internet of Things, Quarterly Journal of Urban and Regional Development Planning, 9(31), 185-219. https://doi.org/10.22054/urdp.2024.78634.1623 [In Persian]

Esmaeil Zadeh, Hassan (2017). Analysis of the relationship between smartization and sustainability in urban space, case study: District 6 of Tehran, *Scientific Journal of Geography and Planning*, 23(68), 1-21. https://sid.ir/paper/fa/360784. [In Persian]

Eastman, R., Jin, W., Kyem, P. A., Toledano, J., (1995) "Raster procedures for MultiCriteria/ Multi-Objective Decisions", *Journal of Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 61(5), 539-547.

Fasnaghri, Mehdi, Assarian, Mohammad (2023), "Identification and prioritization of applications of the fifth generation of the Internet (G۵) in smart production", Smart Business Management Studies, 12(45), 231-203. https://doi.org/10.22054/ims.2023.68353.2179. [In Persian]

Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., & Pichler-Milanović, N. (2007). *Smart citiesRanking of European medium-sized cities*. Vienna University of Technology.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions." *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660. http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010

He, D., & Zeadally, S. (2015). An analysis of RFID authentication schemes for internet of things in healthcare environment using elliptic curve cryptography. *IEEE internet of things journal*, 2(1), 72-83. https://doi.org/10/1109/JIOT.

He, W., Yan, G., & Da Xu, L. (2014). Developing vehicular data cloud services in the IoT environment. *IEEE transactions on industrial informatics*, 10(2), 1587-1595.

Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., & Hartswick, P. (2010). "Sensing City: From Smart City to Smart Cities." *Journal of Urban Technology*, 18(2), 17-38.

Hassanein, H. S., & Hammad, M. (2019). *The role of IoT in smart cities*. Springer Handbook of Smart Antennas for Wireless Communications, 1109-1133.

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

https://rskala.com.

https//:www.speedcheck.ir.

https://iotiran.com.

https//:ucheck.ir.

https://traffic.tabriz.ir.

https://www.itu.int.

https://aqicn.org

https://toztab.ir.

https://www.gsma.com.

Rathore, M. M., Ahmad, A., Paul, A., & Rho, S. (2016). Urban planning and building smart cities based on the internet of things using big data analytics. *Computer networks*, 101, 63-80. https://doi.org//101610/j.comnet.

Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., & Georgakopoulos, D. (2014). Sensing as a service model for smart cities supported by internet of things. *Transactions on emerging telecommunications technologies*, 25(1), 81-93. https://doi.org/10/1002/ett.2704.

Kumar, N., & Liu, J. (2020). IoT-based smart city solutions: A survey. J*ournal of Network and Computer Applications*, 162, 102617.

Khalili, Ali, Soroush, Alireza (2021). "Investigation of the application of the Internet of Things in optimizing urban energy consumption", Q*uarterly Journal of Energy and Environment*, 17(3), 60-45. [In Persian]

Lee, J., & Kim, S. (2023). The Role of G5 in Smart City Development: Opportunities and Challenges. *Telecommunications Policy*, 47(2), 102-115.

Li, X., & Zhang, S. (2021). The Impact of G۵ on IoT: Opportunities and Challenges. *International Journal of Advanced Wireless Communications*.

Lee, K. C., & Kim, H. K. (2019). "G5 technology for smart cities: Overview, challenges, and opportunities." *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2019, 1-12.

Mohammadi, A., Rahimi, M., & Farahani, R. (2023). Case Study of Smart City Initiatives in Tabriz: Challenges and Opportunities. *Urban Studies*, 60(4), 789-805. [In Persian]

Mousavi, Seyed et al. (2024) "The Role of ۵G Technology in Improving Urban Infrastructures of Information and Communication Technology", 8(2), 35-33. [In Persian]

Mirsapasi, Niloufar (2021). "Analysis of the impact of smart transportation in the field of Internet of

Things on improving national sustainable development indicators", Road Scientific Quarterly, 3(108), 143-160. SID. https://sid.ir/paper1052515/fa.160. [In Persian]

Mousavi Davijani, Maryam (2020). "The role of the Internet of Things in the development of smart cities, innovative applications, opportunities and challenges", *International Conference on Applied Research in Computer*, Electrical and Information Technology. [In Persian]

Mohammadi, Naser, Mojtaba Zadeh Khanghahi, Hossein, Tavaklan, Ali (2021). Feasibility study of implementing new urban planning models with emphasis on urban governance (Case study: Garmdareh city, Alborz province), *Geographical Quarterly of the Land*, 18(69), 123-103. [In Persian]

Naderi, Fathollah, Naseri, Behrouz, Khan Mohammadian, Yasem, Salamat, Emad, Koosha, Mohammad Taghi, (2022). Prioritizing flood risk in the Ganjvan watershed of Ilam province using the Electra model, *Geography and Environmental Hazards*, 11(43), 1-21. https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73531.1131. [In Persian]

Patel, R., Sharma, A., & Desai, K. (2023). Internet of Things in Smart Cities: Applications and Future Directions. *International Journal of Information Management*, 63, 102-110.

Pourahmad, Ahmad; Sheikhi, Abdullah; Sharifzadeh Aghdam, Ebrahim (2017). "Evaluating the distance of the dilapidated neighborhoods of Piranshahr from the level of sustainability", Sustainable City Quarterly, Iranian Society of Geography and Urban Planning, 2(4), 162-131. [In Persian]

Rezaei, Nahideh, Haghparast, Farzin, Mohammadzadeh, Rahmat (2023). "Feasibility study of smartening the traditional market of Tabriz", *Journal of Urban Space and Social Life*, 2(6), 1-18. https://doi.org/10.22034/jprd.2023.57396.1054. [In Persian].

Shiroviyehpour, Shahryar, Mortazavi, Seyed Mortaz, Bayat, Ruhollah (2023). "Presenting a model of factors affecting the future development of sustainable smart cities with an emphasis on optimal energy management", *Economics and Urban Planning*, 4(4), 129-116. https://doi.org/10.22034/-uep.2024.423160.1424 [In Persian]

Shidai, Farhad, Heidari, Abbas (2021). Presenting a location-based and data-based model in the management and development of e-cities in the country: A case study of Tabriz city, Scientific Journal of Geography and Planning, 25(78), 244-264. https://doi.org/10.22034/-gp.2021.44443.2775.

Sadeghi, Mahmoud, Nikokar, Gholamhossein (2019). "Investigation of the application of the Internet of Things in the management of energy resources of smart cities". Energy Resources Management Research, 12(2), 94-81. [In Persian]

Statistical Center of Iran. (2016).

Singh, A., & Gupta, R. (2023). Synergizing G5 and IoT for Smart City Solutions: A Review. *IEEE Access*, 11, 12345-12358.

Sengupta, P., Srirama, S. N., & Ghosal, D. (2019). Smart cities, the Internet of Things, and G5: Future trends and applications. *Springer*, 67-84.

Sarker, M., Beg, M. S., & Khan, M. S. (2020). "Smart Cities: A Survey of Key Technologies and Applications." *Journal of Computer Networks and Communications*, 1-13.

Shannon, C. E., (1948), "A Mathematical Theory of Communication", *Bell System Technical Journal*, 27 (3): 379–423. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x

Tofighi Sardroodi Asl, Paria, Karami, Fariba, Ghanbari, Abolfazl (2023). Investigating the role of smartphones in the formation of destination images from the perspective of Tabriz metropolis citizens, Scientific Journal of Geography and Planning, 27(83), 48-39. https://doi.org/10.22034/gp.2023. 14677. [In Persian]

Wang, X. D., Zhong, X. H., Liu, S. Z., Wang, Z.Y., Li, M. H., (2008), "Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method", *Journal of Arid Environment*. 72 (10), 1929-1939.

Zhang, Y., Zhang, L., & Wang, W. (2018). "G5: A Survey on the Vision, Applications, Challenges, and Enabling Technologies." *IEEE Access*, 6, 47491-47501.

Zhang, S., Wang, S., & Tang, J. (2020). A survey on G۵ technologies for smart cities: Applications, challenges, and future trends. *IEEE Access*, 8, 142224-142239.

Zhang, Y., & Xie, Y. (2020). G5 Technology: Overview and Future Challenges. *Journal of Communications and Networks*.

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, M., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32. https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328.

Zhou, Y., Wang, X., & Zhang, L. (2023). Smart Cities: Integrating G5 and IoT for Sustainable Urban Development. *Journal of Urban Technology*, 30(1), 1-15.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی