A Model of Factors Affecting the Future Development of Sustainable Smart Cities with an Emphasis on Optimal Energy Management

Original Article

Shahriar Shirooyehpour[1*], Seyed Morteza Mortazavi[1], Rohullah Bayat[2]

1- Ph.D. Candidate in Futures Studies, Faculty of Social Sciences, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- Associate Professor of Economics, Faculty of Social Sciences, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 2023-11-05
Revised: 2024-01-23
Accepted: 2024-01-24

Keywords

Fuzzy DEMATEL
Optimal Energy Management
Smart City
Sustainable Smart City

ABSTRACT

Introduction

Due to the complicated and abundant energy needs of cities, as well as the crisis brought on by the usage of fossil fuels in cities and global warming, optimizing energy use is essential. In this sense, creating smart and sustainable cities—which take into account a variety of sustainability-related factors—represents a significant strategy for reducing energy consumption and accelerating the shift to clean energy through digitalization. A smart city is a city whose construction is developed based on information and communication technology (ICT) sustainable urban development is "the process of change in the environment that strengthens economic development while preserving resources and improving the health of the individual, society and ecosystem". A large amount of research indicates that the primary focus of smart cities is the field of technology and how organizational characteristics and capacities influence its application; design considerations have been overlooked in this regard. Sustainable cities, however, consider design concepts and principles and ignore smart aspects. Thus, we can discuss sustainable smart cities by bringing together these two concepts. A sustainable smart city is the application of information and communication technology to meet the needs of its current residents without endangering other people or future generations, which facilitates achieving sustainable urban development and improving the quality of life. However, policymakers and stakeholders related to smart cities lack practical research-based recommendations to support the development of sustainable smart cities. Governments may not be able to offer citizens high-quality services if they fail to take into account several factors while formulating policies about the development of sustainable smart cities. As a result, the main goal of the research is to identify and rank the factors affecting the development of a sustainable smart city, and the research questions considered in this article are: What are the factors affecting the development of a sustainable smart city with a focus on optimal energy management? What are the influencing and affectability factors in the development of a sustainable smart city? To answer the questions raised, this paper proposes a model for how to address them in the sustainable smart city agenda. The results of this research help managers, policymakers, and urban planners have a clear picture of sustainable smart city development.

Materials and Methods

The purpose of this research is to provide a model of factors affecting the development of a sustainable smart city. For this reason, binomial statistical tests and fuzzy DEMATEL methods were applied.

* Corresponding author: s.shirooyehpour@edu.ikiu.ac.ir

Both components are quantitative techniques and use quantitative data for analysis. The binomial test is a non-parametric test for screening factors. By using SPSS software and the binomial test, the significance level is calculated for the factors, and the factors whose significance level is more than 0.05 are removed. DEMATEL is a method that identifies the direction and intensity of direct and indirect relationships between factors in a complex system through matrix calculations and related mathematical theories. The current research is exploratory in terms of its purpose (due to the identification of the effective factors of the research). From the point of view of orientation, it is applied (using the results in the analysis of the important factors of sustainable smart city development) and in terms of methodology, it is mixed. The theoretical research community includes professors, managers, and experts. Also, the sampling method is judgmental and based on expert knowledge and judgment. It should be noted that the sample size in this research is 15 people. The stages of the current research include:

1) Literature review to identify factors influencing the development of a sustainable smart city

2) The initial screening of the research factors using a binomial test

3) Determining the most effective factors through the fuzzy DEMATEL method

Findings

The findings of the research show that initially, 20 effective factors for the development of a sustainable smart city with a focus on optimal energy management were extracted with an analytical review of the research literature. Then, by analyzing the binomial test, 10 factors of education and empowerment of citizens, control of pollution level development of private and public collaborations, traffic management systems, development of innovation and entrepreneurship, attractiveness and urban competitiveness, management of resource consumption, urban planning and public policies, cyber security, and the participation of citizens had a significant level above 5% and were excluded from the calculations. Also, the remaining 10 factors were investigated using the fuzzy DEMATEL technique. DEMATEL's technique evaluates factors from the point of view of Influencing and Affectability. According to the findings of Fuzzy DEMATEL and the net effect index, the factors of high-speed internet (5G technology), research and development, big data, artificial intelligence, and green Internet of things had the highest effect.

Conclusion

The results of this research show that high-speed Internet (5G technology) is the most influential factor in the future of sustainable smart cities. Using 5G technology increases the speed of users' access to a large amount of data and reduces its time. The Internet of Things can benefit from 5G technology to manage energy consumption in a sustainable smart city. Therefore, 5G technology can respond well to the needs of a sustainable smart city to manage energy consumption. Research and development is ranked second in terms of influencing the future of sustainable smart cities. Research and development by attracting investment and innovation in products and services and producing advanced technologies leads to knowledge-based activities and as a result, being a pioneer in the field of sustainable policies. Therefore, it is possible to take a big step in this direction by supporting the collaboration between academia and industry as well as new technology-based firms (NTBFs). Big data is ranked third in terms of influencing the future of sustainable smart cities. Determining useful information is very important in data-driven smart city development projects because identifying information to provide to customers is directly related to the value and attractiveness of a service. Artificial intelligence is ranked fourth in terms of influencing the future of sustainable smart cities. Artificial intelligence helps to manage energy production and consumption in changing environments and markets. The integration of artificial intelligence with 5G networks and sensor networks can create a new field for next-generation smart city services. The Internet of Green Things and its application has the fifth rank in terms of influencing the future of sustainable smart cities. Internet of Things technologies bring many challenges such as increasing energy consumption as well as electronic waste in smart cities. Smart city programs must be compatible with the environment, hence smart cities should move towards green IoT. The analysis of these key factors helps the decisions of managers, policymakers, and urban planners to invest and provide the necessary infrastructure of a smart city for optimal energy management.

COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Shirooyehpour Sh. Mortazavi S.M. Bayat R. A Model of Factors Affecting the Future Development of Sustainable Smart Cities with an Emphasis on Optimal Energy Management. Urban Economics and Planning Vol 4(4):116-130. [In Persian]

DOI: 10.22034/UEP.2024.423160.1424

ارائهٔ مدل عوامل مؤثر بر توسعهٔ آیندهٔ شهرهای هوشمند پایدار با تأکید بر مدیریت بهینهٔ انرژی

مقاله پژوهشی

شهریار شیرویه‌پور[1*]؛ سید مرتضی مرتضوی[1]؛ روح‌الله بیات[2]

۱- دانشجوی دکتری آینده‌پژوهی، دانشکدهٔ علوم اجتماعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران
۲- دانشیار اقتصاد، دانشکدهٔ علوم اجتماعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۴

کلمات کلیدی

دیمتل فازی
شهر هوشمند
شهر هوشمند پایدار
مدیریت بهینهٔ انرژی

چکیده

مقدمه

بهینه‌سازی مصرف انرژی با توجه به نیاز پیچیده و فراوان شهرها به انرژی از یک طرف و بحران ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در شهرها و پدیدهٔ گرمایش زمین از طرف دیگر، امری ضروری است. در این راستا توسعهٔ شهرهای هوشمند و پایدار که عوامل مختلف پایداری را در شهرهای هوشمند در نظر می‌گیرند، نشان‌دهندهٔ رویکردی مهمی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ترویج گذار به سمت انرژی پاک از طریق دیجیتالی شدن است. شهر هوشمند به معنای شهری است که ساخت آن بر اساس فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) توسعه داده شود؛ و توسعهٔ پایدار شهری به عنوان «فرایند تغییر در محیطی است که توسعهٔ اقتصادی را در عین حفظ منابع و ارتقای سلامت فرد، جامعه و اکوسیستم تقویت می‌کند». حجم زیادی از ادبیات بیان می‌کند که حوزهٔ فناوری و چگونگی تأثیر ویژگی‌ها و قابلیت‌های سازمانی بر اجرای آن از جنبهٔ اصلی شهرهای هوشمند است و جنبه‌های طراحی در این زمینه نادیده گرفته شده است. در حالی که شهرهای پایدار مفاهیم و اصول طراحی را در نظر گرفته و جنبه‌های هوشمند را نادیده می‌گیرند. از این‌رو، با ادغام این دو مفهوم می‌توان از شهرهای هوشمند پایدار صحبت کرد. شهر هوشمند پایدار، به‌کارگیری فناوری اطلاعات و ارتباطات برای برآوردن نیازهای ساکنان فعلی خود بدون به خطر انداختن افراد دیگر یا نسل‌های آینده است که دستیابی به توسعهٔ پایدار شهری و بهبود کیفیت زندگی را تسهیل می‌کند. با این‌حال، سیاست‌گذاران و ذی‌نفعان مرتبط با شهر هوشمند فاقد توصیه‌های کاربردی بر مبنای پژوهش برای حمایت از توسعهٔ شهرهای هوشمند پایدار هستند. زمانی که دولت‌ها عوامل مختلفی را در سیاست‌های مرتبط با توسعهٔ شهرهای هوشمند پایدار در نظر نگیرند، ممکن است نتوانند خدمات باکیفیتی را به شهروندان ارائه کنند. در نتیجه هدف اصلی پژوهش، شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار است و سؤال‌های پژوهشی درنظرگرفته‌شده در مقالهٔ حاضر این است: عوامل مؤثر بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار با تمرکز بر مدیریت بهینهٔ انرژی کدام است؟ عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر در توسعهٔ شهر هوشمند پایدار کدام است؟ برای پاسخ به سؤال‌های مطرح‌شده، این مقاله نوعی مدل برای چگونگی راه‌حل‌های مرتبط با آن‌ها در دستور کار شهر هوشمند پایدار پیشنهاد می‌کند. نتایج این پژوهش کمک می‌کند تا مدیران، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری تصویری واضح از بخش توسعهٔ شهر هوشمند پایدار داشته باشند.

مواد و روش‌ها

هدف تحقیق حاضر، ارائهٔ مدل عوامل مؤثر بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار است. به همین دلیل از آزمون آماری دوجمله‌ای و روش دیمتل فازی استفاده شده است. هر دو جزء فنون کمی هستند و از داده‌های کمی برای تحلیل استفاده می‌کنند. آزمون دوجمله‌ای یک آزمون ناپارامتریک برای غربال

* نویسندهٔ مسئول: s.shirooyehpour@edu.ikiu.ac.ir

عوامل است. با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون دوجمله‌ای اقدام به محاسبهٔ سطح معناداری برای عوامل صورت می‌گیرد و عواملی که ضریب معناداری آن‌ها بیشتر از ۰/۰۵ باشد، حذف می‌شوند. دیمتل روشی است که جهت و شدت روابط مستقیم و غیرمستقیم میان عوامل موجود در یک سیستم پیچیده را از طریق محاسبات ماتریسی و نظریات مرتبط ریاضی شناسایی می‌کند. پژوهش حاضر از حیث هدف، اکتشافی (به دلیل شناسایی عوامل مؤثر پژوهش)؛ از منظر جهت‌گیری، کاربردی (کاربرد نتایج در تحلیل عوامل مهم توسعهٔ شهر هوشمند پایدار) و از نظر روش‌شناسی آمیخته است. جامعهٔ نظری پژوهش شامل اساتید، خبرگان و مدیران و کارشناسان است. همچنین روش نمونه‌گیری به صورت قضاوتی و بر اساس دانش و قضاوت تخصصی خبرگان است. درخور یادآوری است که حجم نمونه در این پژوهش ۱۵ نفر است. مراحل پژوهش حاضر عبارت‌اند از:

۱) مرور پیشینه برای شناسایی عوامل اثرگذار بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار
۲) غربال اولیه عوامل پژوهش با استفاده از آزمون بینم (Binominal Test)
۳) تعیین اثرگذارترین عوامل از طریق روش دیمتل فازی

یافته‌ها

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد ابتدا ۲۰ عامل اثرگذار توسعهٔ شهر هوشمند پایدار با تمرکز بر مدیریت بهینهٔ انرژی با مرور تحلیلی پیشینه استخراج شدند. سپس با تحلیل آزمون دوجمله‌ای، ۱۰ عامل آموزش و توانمندسازی شهروندان، کنترل سطح آلودگی، توسعهٔ مشارکت‌های دولتی و خصوصی، سیستم‌های مدیریت ترافیک، توسعهٔ نوآوری و کارآفرینی، جذابیت و رقابت شهری، مدیریت مصرف منابع، برنامه‌ریزی و سیاست‌های عمومی شهری، امنیت سایبری و مشارکت شهروندان دارای ضریب معناداری بالای ۵ درصد بودند و از محاسبات حذف شدند. همچنین ۱۰ عامل باقی‌مانده با استفاده از تکنیک دیمتل فازی مورد بررسی قرار گرفتند. تکنیک دیمتل، عوامل را از منظر اثرگذاری و اثرپذیری مورد ارزیابی قرار می‌دهد. با توجه به یافته‌های دیمتل فازی و شاخص خالص اثر، عوامل اینترنت پرسرعت (فناوری 5G)، تحقیق و توسعه، کلان‌داده‌ها، هوش مصنوعی و اینترنت اشیای سبز دارای اثرگذاری بیشتری در مقایسه با اثرپذیری بودند. عوامل اقتصاد دورانی، منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و ساختمان‌های سبز هوشمند و سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی، عوامل تأثیرپذیر هستند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد اینترنت پرسرعت (فناوری 5G) تأثیرگذارترین عامل بر آیندهٔ شهرهای هوشمند پایدار است. به‌کارگیری فناوری 5G سرعت دسترسی کاربران به حجم زیادی از داده‌ها را افزایش و زمان آن را کاهش می‌دهد. اینترنت اشیا می‌تواند از فناوری 5G به منظور مدیریت مصرف انرژی در شهر هوشمند پایدار بهره‌مند شود. بنابراین، فناوری 5G قادر است به‌خوبی پاسخ‌گوی نیازهای شهر هوشمند پایدار در جهت مدیریت مصرف انرژی باشد. تحقیق و توسعه دارای رتبهٔ دوم از لحاظ تأثیرگذاری بر آیندهٔ شهرهای هوشمند پایدار است. تحقیق و توسعه با جذب سرمایه‌گذاری و نوآوری در محصولات و خدمات و تولید فناوری‌های پیشرفته به فعالیت‌های دانش‌بنیان و در نتیجه پیشرو بودن در زمینهٔ سیاست‌های پایدار منجر می‌شود. بنابراین می‌توان با حمایت از همکاری میان دانشگاه و صنعت و همچنین، شرکت‌های مبتنی بر فناوری جدید (NTBFs)، گام بزرگی در این مسیر برداشت. کلان‌داده دارای رتبهٔ سوم از لحاظ تأثیرگذاری بر آیندهٔ شهرهای هوشمند پایدار است. تعیین اطلاعات مفید در پروژه‌های توسعهٔ شهر هوشمند مبتنی بر داده بسیار مهم است، زیرا شناسایی اطلاعات برای ارائه به مشتریان به طور مستقیم با ارزش و جذابیت یک سرویس مرتبط است. هوش مصنوعی دارای رتبهٔ چهارم از لحاظ تأثیرگذاری بر آیندهٔ شهرهای هوشمند پایدار است. هوش مصنوعی به مدیریت تولید و مصرف انرژی در محیط‌های متغیر و بازار کمک می‌کند. ادغام هوش مصنوعی با شبکه‌های 5G و شبکه‌های حسگر، می‌تواند زمینهٔ جدیدی را برای خدمات شهرهای هوشمند نسل آینده ایجاد کند. اینترنت اشیای سبز و به‌کارگیری آن دارای رتبهٔ پنجم از لحاظ تأثیرگذاری بر آیندهٔ شهرهای هوشمند پایدار است. فناوری‌های اینترنت اشیا چالش‌های متعددی مانند افزایش مصرف انرژی و همچنین، زباله‌های الکترونیکی در شهرهای هوشمند را به همراه دارند. برنامه‌های شهر هوشمند باید سازگار با محیط زیست باشند، از این‌رو شهرهای هوشمند باید به سمت اینترنت اشیای سبز حرکت کنند. تحلیل این عوامل کلیدی به تصمیمات مدیران، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری برای سرمایه‌گذاری و فراهم کردن زیرساخت‌های لازم شهر هوشمند با توجه به مدیریت بهینهٔ انرژی، کمک می‌کند.

مقدمه

نیاز شهرها به انرژی پیچیده و فراوان است و با توجه به بحران ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در شهرها و پدیدهٔ گرمایش زمین، بهینه‌سازی مصرف انرژی امری ضروری است [۱]. پایداری سیستم‌های انرژی معمولاً از منظر اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تحلیل می‌شود و دسترسی به انرژی پایدار برای بهبود استانداردهای زندگی، توسعهٔ مشترک و رشد اقتصادی ضروری است. در صنعت انرژی به عنوان بزرگ‌ترین بخش صنعتی جهان، مفهوم پایداری به‌وضوح ماهیت پیچیدهٔ بین‌رشته‌ای خود را نشان می‌دهد. در واقع، این یک درک مشترک است که توسعهٔ پایدار بدون دسترسی به انرژی پایدار برای همه امکان‌پذیر نیست و مفهوم توسعهٔ پایدار با مفهوم دسترسی به انرژی پایدار پیوند خورده است [۲]. در این راستا توسعهٔ شهرهای هوشمند و پایدار نشان‌دهندهٔ یک رویکرد مهم و چالش‌برانگیز برای کاهش انرژی هدر رفته و ترویج گذار به سمت انرژی پاک با استفاده از دیجیتالی شدن است [۳]. شهر هوشمند یک مدل مفهومی توسعهٔ شهری است که به معنای ساخت شهر بر اساس فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) است [۴] و توسعهٔ پایدار شهری به عنوان «فرایند تغییر در محیطی است که توسعهٔ اقتصادی را در عین حفظ منابع و ارتقای سلامت فرد، جامعه و اکوسیستم تقویت می‌کند» [۵]. شهرهای «هوشمند» و «پایدار» می‌توانند با استفاده از نوآوری در فناوری به افراد، کسب‌وکارها و دولت‌ها در دستیابی به استانداردهای زندگی بالاتر و در عین حال با تضمین پایداری سیستم‌های اجتماعی و محیطی، به کاهش مشکلات شهری کمک کند.

حجم زیادی از ادبیات تصدیق می‌کند که جنبهٔ اصلی شهرهای هوشمند به حوزهٔ فناوری و چگونگی تأثیر ویژگی‌ها و قابلیت‌های سازمانی بر اجرای فناوری است [۶] و جنبه‌های طراحی را نادیده می‌گیرند. در حالی که شهرهای پایدار بر مفاهیم و اصول طراحی تأکید می‌کنند و راه‌حل‌های هوشمند را نادیده می‌گیرند [۵]. از این‌رو، ادغام اقدامات پایدارمحور، فرایند هوشمندسازی را به ابزاری برای تسهیل «توسعهٔ پایدار شهری» و بهبود «کیفیت زندگی» تبدیل می‌کند [۷]. هنگامی که از فناوری‌های هوشمند برای پایدارتر کردن شهرها استفاده شود، می‌توان از شهرهای هوشمند پایدار صحبت کرد [۸]. شهر هوشمند پایدار پتانسیل غلبه بر مشکلات شهری را دارد. با این‌حال، سیاست‌گذاران و ذی‌نفعان مرتبط با شهر هوشمند فاقد توصیه‌های عملی مبتنی بر تحقیق برای حمایت از برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های توسعهٔ شهر هوشمند پایدار هستند [۹] و موضوعاتی که باید مورد توجه و تمرکز آن‌ها و اولویت‌های تبیین راهبرد در سطح منطقه‌ای قرار گیرد مشخص نیست و زمانی که دولت‌ها عوامل مختلفی را در سیاست‌های هوشمند در نظر نگیرند، ممکن است خدمات با کیفیت به شهروندان ارائه نکنند [۴].

بررسی مطالعات پیشین در حوزهٔ شهر هوشمند پایدار بیانگر آن است که اکثر پژوهش‌های انجام‌شده بر شناسایی عوامل و شاخص‌ها و نتایج شهر هوشمند [۴ و ۱۰ـ ۱۲] و یا شهر هوشمند پایدار، متمرکز بوده‌اند [۱۳ـ ۱۶] این پژوهش‌ها به تدوین مدلی از عوامل موجود به صورت جامع و با توجه به مدیریت بهینهٔ انرژی متمرکز نبوده‌اند، بنابراین یک شکاف مطالعاتی در مورد برهم‌کنش و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار با تمرکز بر مدیریت بهینهٔ انرژی وجود دارد. در حالی که مطالعات پیشین مرتبط و مهم هستند؛ به منظور درک کامل اثرات چنین عواملی بر تصمیمات سیاست‌گذاران و رسیدگی به کمبود ابزار برای حمایت از ذی‌نفعان، برنامه‌ریزی راهبردی و دستور کار شهری در این زمینه، ارائهٔ مدل عوامل مؤثر حائز اهمیت است که برخی از کمبودهای تحقیقاتی موجود را جبران می‌کند. نتایج این پژوهش کمک می‌کند تا مدیران، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری تصویری واضح از بخش توسعهٔ شهر هوشمند پایدار داشته باشند. در نتیجه، هدف اصلی پژوهش شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار است و سؤال‌های پژوهشی درنظرگرفته‌شده در مقالهٔ حاضر این است: عوامل مؤثر بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار با تمرکز بر مدیریت بهینهٔ انرژی کدام است؟ عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر در توسعهٔ شهر هوشمند پایدار کدام است؟ برای پاسخ به سؤال‌های مطرح‌شده، این مقاله یک مدل برای چگونگی راه‌حل‌های مرتبط با آن‌ها در دستور کار شهر هوشمند پایدار پیشنهاد می‌کند.

مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش

شهر هوشمند

اصطلاح شهر هوشمند یک مفهوم چتری است که شامل تعدادی زیر مضمون مانند شهرسازی هوشمند، اقتصاد هوشمند، محیط زیست پایدار و هوشمند، فناوری هوشمند، انرژی هوشمند، تحرک هوشمند، سلامت هوشمند و غیره است [۱۷]. بر اساس چرخ شهر هوشمند اتحادیهٔ اروپا ۶ عنصر شهر هوشمند شامل: اقتصاد هوشمند، افراد هوشمند، حکمرانی هوشمند، تحرک و جابه‌جایی هوشمند، محیط هوشمند و زندگی هوشمند است [۱۸]. هدف یک شهر هوشمند در نهایت باید تبدیل شدن به یک منطقهٔ خلاق، پایدار، ارائهٔ استانداردهای بالای زندگی، محیطی دوستانه و چشم‌اندازهای توسعهٔ اقتصادی گسترده باشد [۱۹]. تعریف خاص شهر هوشمند با توجه به سطح اقتصادی و سیاست شهری کشور متفاوت است، اما می‌توان آن را شهری دانست که از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای بهبود رقابت و کیفیت زندگی شهری استفاده و پایداری شهری را دنبال می‌کند [۴]. یک شهر هوشمند چندین راه‌حل فناورانه را برای مدیریت دارایی‌های شهر ادغام می‌کند. شهرهای هوشمند با برخی از چالش‌های واقعی شهری، از جمله موانع رسیدن به پایداری زیست‌محیطی، نوآوری اجتماعی- اقتصادی، حاکمیت مشارکتی، خدمات عمومی بهتر، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مشارکتی مقابله می‌کند [۲۰].

تعریف‌های بسیاری از شهرهای هوشمند وجود دارد [۲۱]. شهر هوشمند مانند یک شبکهٔ هوشمند یا خودروی هوشمند، فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی مدرن را برای بهبود کیفیت و عملکرد خدمات شهری پیاده‌سازی می‌کند و در عین حال، هزینه‌های شهروندان را نیز کاهش می‌دهد [۲۲]. یکی از تعریف‌های جامع را می‌توان این‌گونه گفت که یک شهر زمانی هوشمند است که سرمایه‌گذاری در سرمایهٔ انسانی و اجتماعی و زیرساخت‌های ارتباطی سنتی (حمل‌ونقل) و مدرن باعث رشد اقتصادی پایدار و کیفیت زندگی بالا، با مدیریت خردمندانهٔ منابع طبیعی، از طریق حکمرانی مشارکتی شود [۱۸]. به این‌ترتیب برخی از تعریف‌های شهر هوشمند مطابق جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. تعاریفی از شهر هوشمند

تعریف شهر هوشمند	منبع
شهری که از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای ایجاد اجزای زیرساختی و خدمات ضروری یک شهر (مدیریت، آموزش، مراقبت‌های بهداشتی، ایمنی عمومی، حمل‌ونقل و تأسیسات) برای هوشمندتر و کارآمدتر کردن استفاده می‌کند.	[۲۳]
شهر هوشمند شهری است که کیفیت زندگی اعم از عوامل زیست‌محیطی، فرهنگی، سیاسی، نهادی، اجتماعی و اقتصادی را بهبود می‌بخشد بدون اینکه باری بر دوش نسل‌های آینده بگذارد.	[۲۴]

تعریف شهر هوشمند	منبع
شهر هوشمند فناوری را به عنوان راه‌حلی برای مشکلات موجود شهری ادغام می‌کند و رویکردی راهبردی به سمت پایداری اتخاذ می‌کند.	[۲۵]
هدف شهرهای هوشمند ارائهٔ مکانی کارآمدتر، پایدار، رقابتی، مولد و شفاف برای زندگی است.	[۲۶]
شهر هوشمند به مکان و منطقه‌ای اطلاق می‌شود که منابع طبیعی به‌درستی برنامه‌ریزی شده و به وسیلهٔ فناوری‌های مختلف و با ارائهٔ سیستم‌های یکپارچه و هوشمندتر قابل استفاده از منابع، اکوسیستمی ایجاد می‌کند.	[۲۷]
شهرهای هوشمند یک ایدهٔ نوآورانه برای مدیریت کلان‌شهرها به منظور بهبود پایداری و استاندارد زندگی شهروندان است.	[۲۸]

بنابراین، با توجه به تعاریف ارائه‌شده می‌توان گفت که شهر هوشمند مطابق این پژوهش، شهری است که با به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند و پیشرفته در بخش‌های مختلف انرژی موجب مدیریت بهینهٔ آن و بهبود کیفیت زندگی می‌شود.

توسعهٔ پایدار شهری

توسعهٔ پایدار (SD) مفهوم اصلی سیاست جهانی محیط زیست است. فرض اصلی آن اطمینان از امکان تعامل جامعه با محیط زیست و در عین حال کاهش خطر آسیب رساندن به منابع برای آینده است [۲۹]. توسعهٔ پایدار شهری را به عنوان دستیابی به تعادل بین توسعهٔ مناطق شهری و حفاظت از محیط زیست با توجه به عدالت در درآمد، اشتغال، سرپناه، خدمات اساسی، زیرساخت‌های اجتماعی و حمل‌ونقل در مناطق شهری توصیف کرده‌اند [۳۰]. توسعهٔ پایدار شهری به زعم بیبری و کروگستی [۵] نیز دستیابی به تعادل بین توسعه و برابری در مناطق شهری و حفاظت از محیط زیست شهری تعریف می‌شود؛ لی و همکاران [۱۳] نیز توسعهٔ پایدار شهری را رشد اقتصادی و بهره‌وری، ساخت‌وسازهای زیست‌محیطی و زیرساختی، حفاظت از محیط زیست و پیشرفت اجتماعی و رفاهی تعریف می‌کنند [۱۳].

شهر هوشمند پایدار و مدیریت بهینهٔ انرژی

شهرنشینی و تراکم جمعیت، کنترل مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی را برای شهرها چالش‌برانگیزتر کرده است [۳۱] و صنعت انرژی جهانی تغییرات مهمی را در ارتباط با تولید، توزیع، ذخیره‌سازی و روش‌های فروش انرژی به عنوان نتیجهٔ چالش برای افزایش انعطاف‌پذیری آن و کاهش هزینه‌ها و فشار واردشده بر محیط زیست (مصرف منابع و کاهش انتشار CO_2) ثبت می‌کند [۳۲]. شهرهای مدرن باید سیستم‌های فعلی را بهبود بخشند و راه‌حل‌های جدید را به شیوه‌ای هماهنگ و با رویکردی بهینه، با بهره‌مندی از هم‌افزایی میان همهٔ این راه‌حل‌های انرژی، پیاده‌سازی کنند [۳۳]. تأمین انرژی قابل اعتماد، کارآمد و کم‌کربن یکی از الزامات کلیدی برای شهرهای هوشمند نسل بعدی است [۳۴]. انرژی مرکز اصلی اهداف توسعهٔ پایدار است، بنابراین نوسازی سیستم‌های انرژی بیش از هر زمان دیگری الزامی است [۳۵]. در این راستا شهر هوشمند پایدار، شهری نوآور است که از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات و ابزارهای دیگر برای بهبود کیفیت زندگی، بهره‌وری عملیات و خدمات شهری و رقابت‌پذیری استفاده می‌کند و در عین حال اطمینان می‌دهد که نیازهای نسل حاضر و آینده را از نظر اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و جنبه‌های فرهنگی برآورده می‌کند [۳۶]. شهر هوشمند پایدار یک پدیدهٔ جدید تکنو شهری است. این مفهوم بر اساس پنج تحول مختلف، یعنی شهرهای پایدار، شهرهای هوشمند، فناوری اطلاعات و ارتباطات شهری، توسعهٔ پایدار شهری، پایداری و مسائل زیست‌محیطی و همچنین، شهرنشینی و رشد شهری پدید آمده است [۵]. شهرهای هوشمند پایدار پیشرفت در کاربرد فناوری دیجیتال و راه‌حل‌های نوآورانه برای رفع نیازهای جمعیت خود و پیگیری توسعهٔ اجتماعی-اقتصادی پایدار را مشخص می‌کند [۹]. بهبود کیفیت زندگی شهروندان؛ تضمین رشد اقتصادی با فرصت‌های شغلی بهتر؛ بهبود رفاه شهروندان از طریق تضمین دسترسی به خدمات عمومی و اجتماعی؛ ایجاد رویکرد سازگار با محیط زیست و پایدار برای توسعه؛ اطمینان از ارائهٔ کارآمد خدمات و زیرساخت‌های اساسی مانند حمل‌ونقل عمومی، تأمین آب و زهکشی، مخابرات و سایر خدمات؛ و ... از اهداف شهر هوشمند پایدار هستند [۱۷].

پیشینهٔ تحقیق

در این بخش با بررسی مهم‌ترین پژوهش‌های داخلی و خارجی انجام‌شده در رابطه با موضوع مشخص شد که تا کنون در پژوهش‌های انجام‌شده در داخل کشور بیشتر مطالعات به بررسی مفاهیم و شاخص‌های شهر هوشمند پرداخته‌اند. مطالعاتی که مدلی را به منظور برنامه‌ریزی در توسعهٔ شهر هوشمند پایدار با تأکید بر مدیریت بهینهٔ انرژی ایجاد کرده‌اند، بسیار محدود هستند؛ که به صورت مختصر به این مطالعات اشاره می‌شود:

جدول ۲. خلاصهٔ تحقیقات انجام‌شده در داخل و خارج از کشور

عنوان تحقیق	نام نویسنده	خلاصهٔ نتایج
تبیین مدل توسعهٔ پایدار در مناطق مرزی با تأکید بر مؤلفه‌های شهر هوشمند مطالعهٔ موردی: شهر مرزی ارومیه	تاجری و همکاران [۳۷]	نتایج تحقیق نشان می‌دهد هر ۶ مؤلفهٔ رشد هوشمند شهری شامل محیط زیست هوشمند، اقتصاد هوشمند، جابه‌جایی هوشمند، شهروند هوشمند، دولت هوشمند و زندگی هوشمند بر تحقق توسعهٔ پایدار شهری تأثیر می‌گذارند. همچنین نتایج دلالت بر اهمیت حکمروایی شایسته و همکاری و تعامل نهادهای مختلف دارد که ضرورت توجه ویژه را می‌طلبد.
شناسایی مؤلفه‌های توسعهٔ پایدار هوشمند در حوزهٔ مدیریت شهری	فدایی و همکاران [۱۵]	نتایج این مطالعه نشان‌دهندهٔ چهار بُعد در قالب ۱۲ مؤلفهٔ تأثیرگذار بر توسعهٔ پایدار هوشمند در حوزهٔ مدیریت شهری است. بُعد اقتصاد هوشمند دارای چهار مؤلفهٔ «اقتصاد کارآفرین»، «اقتصاد رقابتی»، «اقتصاد تولیدکننده» و «اقتصاد کارآمد»، بُعد جامعهٔ هوشمند دارای دو مؤلفهٔ «جامعهٔ مدبر» و «جامعهٔ باهوش»، بُعد محیط زیست هوشمند دارای چهار مؤلفهٔ «پایداری»، «کارآمدی»، «شهرهای سبز» و «زیرساخت کارآمد» و بُعد مدیریت هوشمند نیز دارای مؤلفهٔ «دموکراسی» و «خلاق و نوآور» هستند.

عنوان تحقیق	نام نویسنده	خلاصهٔ نتایج
پایش مؤلفه‌های رشد هوشمند شهری در رویکرد توسعهٔ پایدار شهری با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره	درویشی و موغلی [۱۶]	پژوهش حاضر استدلال می‌کند که هوشمندسازی، با بهره‌گیری از شاخص‌هایی همچون حکمروایی هوشمند، محیط زیست هوشمند، اقتصاد هوشمند، تحرک هوشمند، زندگی هوشمند و مردم هوشمند، رویکرد مؤثری در جهت نیل به پایداری محسوب می‌شود.
هوشمندسازی، رویکردی در تحقق توسعهٔ پایدار شهری (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۶ تهران)	اسماعیل‌زاده و همکاران [۳۸]	نتایج تحقیق نشان می‌دهد هوشمندی و پایداری شهری رابطهٔ مستقیمی با یکدیگر دارند. همچنین سه عامل تحرک هوشمند، مردم هوشمند و زندگی هوشمند از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پایداری به شمار می‌آیند. زندگی هوشمند تأثیرگذارترین و مهم‌ترین عامل تبیین پایداری است و پس از آن به‌ترتیب تحرک هوشمند و مردم هوشمند قرار دارند.
اینترنت اشیا و برنامه‌های کاربردی کلان‌داده‌ها در شهرهای هوشمند پایدار	سعادتی و مهرشاد [۳۹]	نتایج این پژوهش نشان می‌دهد گسترش چشم‌انداز اطلاعاتی شهرهای پیشرفتهٔ هوشمند با استفاده از کلان‌داده‌های مبتنی بر حسگر پتانسیل فراوانی برای پیشبرد پایداری محیطی دارد. بر این اساس، شهرهای هوشمند پایدار آینده باید ویژگی‌های طراحی شهری و برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا را ترکیب کنند تا سهم خود را در توسعهٔ پایدار محیط زیست افزایش دهند. همچنین، ایده‌های شهرهای هوشمند پایدار دربارهٔ استفاده از اینترنت اشیا و تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده‌ها در آن، توسط سایر فناوری‌ها، با ادغام چشم‌انداز اطلاعاتی و فیزیکی شهری به شیوه‌ای است که سهم آن‌ها را در پایداری محیطی حفظ می‌کند.
پیشران‌ها و موانع توسعهٔ پایدار شهرهای هوشمند هند	سینگ [۱۳]	یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد پیشران‌های توسعهٔ پایدار شهرهای هوشمند شامل فناوری، بازیگران، سیاست‌ها، اهداف، چشم‌انداز، حکمرانی، استفادهٔ هوشمندانه از فناوری اطلاعات و ارتباطات، سرمایه فیزیکی، سرمایه طبیعی، سرمایه اجتماعی، سرمایه دیجیتال و حمایت شهرداری‌ها هستند.
بهره‌وری انرژی در برنامه‌ریزی شهری برای شهرهای هوشمند در کشورهای در حال توسعه	الشریف [۴۰]	این پژوهش بیان می‌دارد که کشورهای در حال توسعه باید مسیر توسعهٔ کم‌انرژی، کم‌کربن و به طور کلی از نظر منابع کارآمد را دنبال کنند. با افزایش اثرات مالی و زیست‌محیطی، هزینه‌های واقعی ورودی منابع و تولید زباله باید به طور فزاینده‌ای در نظر گرفته شود. این عوامل بهره‌وری، حفاظت، استفادهٔ مجدد، بازیافت و منابع انرژی تجدیدپذیر را ملاحظات اولیه برای یک اقتصاد سالم می‌دانند.
شهرهای هوشمند پایدار و مدیریت انرژی: چشم‌انداز بازار کار	پیلیچوک [۲]	نتایج این پژوهش نشان می‌دهد عناصر اصلی مفهوم شهر هوشمند پایدار (پایداری و کلان‌داده) بر مدیریت انرژی تأثیر دارند.
بهره‌وری اقتصادی و امنیت انرژی شهرهای هوشمند	استریلکوفسکی و همکاران [۴۱]	یافته‌ها نشان می‌دهد نیاز به مدیریت بهتر برای هدایت سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌های شهر هوشمند و پوشش مناطق وسیع‌تر شهر با پروژه‌ها و طرح‌های اقتصادی پایدار وجود دارد. علاوه بر این، پروژه‌های شهر هوشمند باید به دنبال یافتن راه‌حلی برای سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی محلی متصل هوشمند برای پشتیبانی از منابع انرژی تجدیدپذیر بیشتر در شبکه‌های برق باشند.
توسعهٔ چارچوب شهر هوشمند پایدار برای اقتصادهای در حال توسعه: زمینهٔ هند	یاداو و همکاران [۱۴]	نتایج پژوهش نشان می‌دهد مدیریت منابع پایدار، توسعهٔ ساختمان‌های هوشمند، سیستم تحقیق و توسعهٔ پیشرفته و حمل‌ونقل هوشمند از عوامل کلیدی چارچوب توسعه‌یافته شهر هوشمند پایدار هستند.
بررسی عوامل تعیین‌کننده در توسعهٔ شهر هوشمند: تحلیل فرایند سلسله‌مراتبی تحلیلی	میونگ و همکاران [۴]	نتایج نشان می‌دهد مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در توسعهٔ شهر هوشمند عبارت‌اند از: مشارکت شهروندان، زیرساخت‌ها، ارادهٔ سیاسی، ذی‌نفعان، وجود کانال‌های ارتباطی و جلسات عمومی و ... است.

روش‌شناسی

هدف تحقیق حاضر، ارائهٔ مدل عوامل مؤثر بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار است. به همین دلیل از آزمون آماری دوجمله‌ای و روش دیمتل فازی استفاده شده است. هر دو جزء فنون کمی هستند و از داده‌های کمی برای تحلیل استفاده می‌کنند. پژوهش حاضر از حیث هدف، اکتشافی (به دلیل شناسایی عوامل مؤثر پژوهش)؛ از منظر جهت‌گیری، کاربردی (کاربرد نتایج در تحلیل عوامل مهم توسعهٔ شهر هوشمند پایدار) و از نظر روش‌شناسی آمیخته است. جامعهٔ نظری پژوهش شامل اساتید، خبرگان و مدیران و کارشناسان است. همچنین روش نمونه‌گیری به صورت قضاوتی و بر اساس دانش و قضاوت تخصصی خبرگان است. درخور یادآوری است که حجم نمونه در این پژوهش ۱۵ نفر است. حجم نمونهٔ مناسب در فنون تصمیم‌گیری، عددی بین ۱۰ تا ۲۰ نفر باشد. حجم کمتر از ۱۰، از غنای خروجی‌ها می‌کاهد و حجم بالای ۲۰ نفر، باعث پایایی و سازگاری کم نتایج می‌شود [۴۲]. مطابق جدول ۳، در میان ۱۵ نفر از خبرگان مورد نظر ۷۳/۳ درصد را مرد و ۲۶/۷ درصد را زن تشکیل می‌دهد. در پژوهش حاضر انتخاب افراد نمونه بر اساس میزان تخصص و آشنایی آن‌ها با موضوع پژوهش بود. به این‌ترتیب با توجه به مفاهیم کلیدی ۲۶/۷ درصد دارای وضعیت شغلی مدیران شهری، ۲۰ درصد مدیران فناوری اطلاعات و ارتباطات و ۵۳/۳ درصد هیئت علمی بودند. در این راستا ۲۶/۷ درصد این خبرگان دارای رشتهٔ تحصیلی شهرسازی، ۲۰ درصد مدیریت شهری، ۲۶/۷ درصد مهندسی کامپیوتر (تسلط بر روندهای فناورانهٔ نوظهور) و ۲۶/۷ درصد آینده‌پژوهی بودند. همچنین در پژوهش حاضر حداقل مدرک تحصیلی کارشناسی ارشد برای انتخاب مشارکت‌کنندگان در نظر گرفته شد.

جدول ۳. اطلاعات جمعیت‌شناختی خبرگان

	مرد	زن
جنسیت	۱۱ (۷۳.۳ درصد)	۴ (۲۶.۷ درصد)

رشتهٔ تحصیلی	شهرسازی	مدیریت شهری	مهندسی کامپیوتر	آینده‌پژوهی
	۴ (۲۶.۷ درصد)	۳ (۲۰ درصد)	۴ (۲۶.۷ درصد)	۴ (۲۶.۷ درصد)
مدرک تحصیلی	کارشناسی ارشد		دکتری	
	۶ (۴۰ درصد)		۹ (۶۰ درصد)	
وضعیت اشتغال	مدیران شهری	مدیران فناوری اطلاعات و ارتباطات		هیئت علمی
	۴ (۲۶.۷ درصد)	۳ (۲۰ درصد)		۸ (۵۳.۳ درصد)
سابقهٔ شغلی	کمتر از ۷ سال	۷ سال تا ۱۴ سال		۱۴ تا ۲۱ سال
	۳ (۲۰ درصد)	۷ (۴۶.۷ درصد)		۵ (۳۳.۳ درصد)

مراحل پژوهش حاضر عبارت‌اند از:
– مرور پیشینه برای شناسایی عوامل اثرگذار بر توسعه شهر هوشمند پایدار
– غربال اولیه عوامل پژوهش با استفاده از آزمون بینم (Binominal Test)
– تعیین اثرگذارترین عوامل از طریق روش دیمتل فازی (عواملی که خالص اثر بالاتری داشته باشند به عنوان عوامل اثرگذار انتخاب می‌شوند).
در ادامه روش‌های مورد استفاده در پژوهش شرح داده شده‌اند.
آزمون بینم نوعی آزمون ناپارامتریک برای غربال عوامل است. با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون دوجمله‌ای اقدام به محاسبهٔ سطح معناداری برای عوامل صورت گرفت. عواملی که ضریب معناداری آن‌ها بیشتر از ۰/۰۵ باشد حذف می‌شوند. دیمتل روشی است که جهت و شدت روابط مستقیم و غیرمستقیم میان عوامل موجود در یک سیستم پیچیده را از طریق محاسبات ماتریسی و نظریات مرتبط ریاضی شناسایی می‌کند. این روش که بر اساس نظریهٔ گراف‌ها است، تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد مسائل را به صورت بصری برنامه‌ریزی و حل کند. به این صورت که برای درک بهتر روابط علّی و ترسیم شبکهٔ ارتباطات، معیارها را در گروه‌های علّت و معلول قرار داده و ارتباطات میان آن‌ها را به یک مدل ساختاری بصری تبدیل می‌کند. رویکرد فازی هم مواقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ابهام و عدم قطعیت وجود دارد. با استفاده ا ز روش دیمتل می‌توان درجهٔ تأثیرگذاری و تأثیرپذیری عامل‌ها بر هم را مشخص کرد.
مراحل روش دیمتل فازی از قرار زیر است [۴۳]:
۱) تشکیل ماتریس ارتباط بین اهداف، بر اساس نظرات خبرگان به صورت عدد فازی و تجمیع آن‌ها از طریق میانگین حسابی موزون نظرات. برای تعیین مقادیر ترجیحات می‌توان از جدول‌های تعیین‌شده توسط ادیل استفاده کرد.

جدول ۴. مقدار ترجیحات عددی دیمتل فازی

عبارت کلامی	مقدار فازی
بدون تأثیر	(۱،۱،۱)
تأثیر کم	(۲،۳،۴)
تأثیر متوسط	(۴،۵،۶)
تأثیر زیاد	(۶،۷،۸)
تأثیر خیلی زیاد	(۸،۹،۹)

۲) نرمال کردن ماتریس فازی روابط مستقیم: برای نرمال‌سازی ماتریس میانگین نظرات خبرگان، از روش نرمال‌سازی خطی استفاده می‌شود.
۳) محاسبهٔ ماتریس روابط کل: برای محاسبهٔ ماتریس فازی ارتباط کل (T)، باید از $\lim_{k\to\infty} \tilde{X}^k$ همگرایی اطمینان یافت. از این‌رو خواهیم داشت:

$$\tilde{X}_{ij} = \left(l^{o}_{ij} . m^{o}_{ij} . u^{o}_{ij}\right)$$

سپس همانند حالت قطعی، ماتریس ارتباط کل طی رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\tilde{T} = \lim_{k\to\infty}\left(X + \tilde{X}^2 + \cdots + \tilde{X}^k\right)$$

۴) به دست آوردن ماتریس نرمال رابطهٔ مستقیم فازی: حال که ماتریس ارتباط کل را محاسبه کردیم، محاسبهٔ مؤلفه‌های D+R و D–R امکان‌پذیر خواهد بود. همان‌طور که می‌دانیم D و R به‌ترتیب برابر با مجموع فازی عناصر سطرها (میزان تأثیرگذاری) و ستون‌های (میزان اثرپذیری) ماتریس فازی ارتباط کل هستند.
به منظور تشکیل نمودار علت‌ـ معلولی باید هر یک از مؤلفه‌های یادشده با استفاده از معادلهٔ زیر به حالت قطعی تبدیل می‌شوند.

$$\bar{X}\left(\tilde{A}\right) = \frac{1}{4}\left(l + 2m + u\right).\tilde{A} = (l.m.u)$$

۵) مشخص کردن سلسله‌مراتب یا ساختار ممکن معیارها: بر اساس مقادیر R وD و مجموع فازی عناصر سطرها و ستون‌های ماتریس فازی ارتباط کل می‌توان یک ساختار و رتبه‌بندی و مدل علّی از عوامل به دست آورد. همچنین یک نقشهٔ روابط شبکه بین عوامل قابل رسم است.
۶) تعیین آستانهٔ روابط: آستانهٔ روابط از طریق میانگین ماتریس دیفازی قابل محاسبه است. سپس تنها بعضی از عوامل که تأثیرات آن‌ها در ماتریس دیفازی بیشتر از ارزش آستانه‌ای است باید انتخاب شده و در نقشهٔ روابط نمایش داده شود.

یافته‌های پژوهش

ابتدا ۲۰ عامل اثرگذار توسعهٔ شهر هوشمند پایدار با تمرکز بر مدیریت بهینهٔ انرژی طبق جدول ۵ با مرور تحلیلی پیشینه استخراج شدند.

جدول ۵. عوامل مؤثر بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار با تمرکز مدیریت بهینهٔ انرژی

ردیف	عوامل	منابع
۱	هوش مصنوعی	[۳۲ و ۴۴]
۲	مشارکت شهروندان	[۴۵ و ۴۶]
۳	سیستم‌های حمل‌ونقل سبز و هوشمند	[۴۷ و ۴۸]
۴	اینترنت اشیای سبز	[۴۹ و ۵۰]
۵	تجزیه‌وتحلیل کلان‌داده	[۵۱ و ۲]
۶	تحقیق و توسعه	[۵۲ و ۵۳]
۷	اقتصاد دایره‌ای	[۵۴ و ۵۵]
۸	منابع انرژی تجدیدپذیر	[۵۶ و ۵۷]
۹	امنیت سایبری	[۵۸ و ۵۳]
۱۰	ساختمان‌های سبز هوشمند	[۵۹ و ۱۰]
۱۱	اینترنت پرسرعت (فناوری 5G)	[۶۰ و ۶۱]
۱۲	سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی	[۶۲ و ۵۳]
۱۳	برنامه‌ریزی و سیاست‌های عمومی شهری	[۱۰]
۱۴	مدیریت مصرف منابع	[۶۳]
۱۵	جذابیت و رقابت شهری	[۶۴]
۱۶	توسعهٔ نوآوری و کارآفرینی	[۵۳ و ۱۰]
۱۷	سیستم‌های مدیریت ترافیک	[۶۵ و ۶۶]
۱۸	توسعهٔ مشارکت‌های دولتی و خصوصی	[۵۳]
۱۹	کنترل سطح آلودگی	[۶۳]
۲۰	آموزش و توانمندسازی شهروندان	[۶۳]

در ادامه، ۲۰ عامل استخراج‌شده از پیشینه با استفاده از آزمون آماری بینم غربال شدند. برای هر شاخص، فرضیات H_0 و H_1 با سطح اطمینان ۹۵ درصد تشکیل شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون دوجمله‌ای اقدام به محاسبهٔ سطح معناداری برای عوامل صورت گرفت. عواملی که دارای ضریب معناداری بالای ۵ درصد بودند، کنار گذاشته شدند. در این مرحله ۱۰ عامل آموزش و توانمندسازی شهروندان، کنترل سطح آلودگی، توسعهٔ مشارکت‌های دولتی و خصوصی، سیستم‌های مدیریت ترافیک، توسعهٔ نوآوری و کارآفرینی، جذابیت و رقابت شهری، مدیریت مصرف منابع، برنامه‌ریزی و سیاست‌های عمومی شهری، امنیت سایبری و مشارکت شهروندان به دلیل ضریب معناداری بیش از ۵ درصد از محاسبات حذف شده و ۱۰ عامل باقی‌مانده برای استخراج مدل اثرگذاری عوامل گزینش شدند.

خبرگان با استفاده از استاندارد ادیل از اعداد فازی دیمتل در قالب ماتریس مقایسهٔ زوجی نظرات خود را ابراز کردند. این ماتریس‌ها با استفاده از روش میانگین تجمیع شد. در ادامه داده‌های ماتریس تجمیعی با به‌کارگیری روش خطی، نرمال شد. با ضرب ماتریس نرمال در معکوس اختلاف ماتریس همانی از ماتریس نرمال، ماتریس نرمال روابط کل به دست می‌آید. مقادیر ماتریس روابط کل هم در دو جدول جداگانه نشان داده شده است.

جدول ۶. ماتریس روابط کل (پنج عامل اول)

T	A			B			C			D			E		
A	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۰۴۳	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۵۳	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۱۳۶	۰/۱۸۵	۰/۲۳۶	۰/۱۸۴	۰/۲۵۵	۰/۳۱۵
B	۰/۱۸۲	۰/۲۵	۰/۳۳۱	۰/۰۴۳	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۲۴۹	۰/۳۲	۰/۱۷۶	۰/۲۳۶	۰/۲۸۸	۰/۱۳	۰/۲۰۱	۰/۲۶
C	۰/۱۳۸	۰/۱۹	۰/۲۵۶	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷۱	۰/۰۶۳	۰/۱۰۶۰۷	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۷۴	۰/۲۱۹	۰/۱۲۹	۰/۱۹۱	۰/۲۵۷
D	۰/۱۹۷	۰/۲۶۳	۰/۳۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۹۸	۰/۱۹۲	۰/۲۵۵	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۱	۰/۱	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۳۴۷
E	۰/۰۶۸۹۲	۰/۱۰۰۰۵	۰/۱۳۴۶۲	۰/۰۲۹	۰/۰۳	۰/۰۴۷	۰/۱۳۸	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۰۴۸	۰/۰۶۷	۰/۰۸۶	۰/۰۵۸	۰/۰۸۹	۰/۱۱۷
F	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۱۳۹	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۲	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۲۳۴	۰/۲۹۹	۰/۲۳	۰/۳۲	۰/۳۹۲
G	۰/۲۱	۰/۳۰۴۷۲	۰/۳۷۹۰۸	۰/۱۳۷	۰/۱۷۶	۰/۲۰۴۵	۰/۲۲۵	۰/۳۰	۰/۳۷۳	۰/۱۷۵	۰/۲۴۲	۰/۳۰۴	۰/۲۳۴	۰/۳۲۷	۰/۳۹۷
H	۰/۱۱	۰/۱۵۵	۰/۱۹	۰/۰۲۸	۰/۰۳۸	۰/۰۵۰	۰/۰۶	۰/۰۸۶	۰/۱۱	۰/۰۴۵	۰/۰۶۴	۰/۰۸۸	۰/۱۳۵	۰/۱۷۸	۰/۲۲۳
I	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۰۳۵	۰/۰۵	۰/۰۷۱	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۰۵۳	۰/۰۸۱	۰/۱۱۵	۰/۱۴	۰/۲۰۳	۰/۲۵۴
J	۰/۲۱۰	۰/۲۹۲	۰/۳۶۰	۰/۰۶۷	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۲۳۱	۰/۳۲۱	۰/۳۸۵

ماتریس روابط کل ملاک محاسبهٔ شاخص‌های چهارگانه روش دیمتل فازی است. میزان اثرگذاری و اثرپذیری عوامل پژوهش با توجه به این ماتریس مشخص می‌شود.

جدول ۷. ماتریس روابط کل (پنج عامل دوم)

T	F			G			H			I			J		
A	۰/۰۶۵	۰/۱۱	۰/۱۶۸	۰/۰۹۹	۰/۱۴۸	۰/۲۰۲	۰/۱۹۴	۰/۲۶۸	۰/۳۲۴	۰/۱۵۳	۰/۲۱۶	۰/۲۸	۰/۰۶۹	۰/۱۱۲	۰/۱۶
B	۰/۱۳۵	۰/۱۹	۰/۲۵۳	۰/۱۵۶	۰/۲۱۵	۰/۲۷	۰/۱۴۱	۰/۲۱۵	۰/۲۷۵	۰/۱۷۵	۰/۲۴۷	۰/۳۱۸	۰/۱۵۶	۰/۲۰۸	۰/۲۵۳
C	۰/۰۵۷	۰/۱۰	۰/۱۵۲	۰/۰۶۸	۰/۱۱۲	۰/۱۶۱	۰/۱۵	۰/۲۱۴	۰/۲۷۷	۰/۰۷۶	۰/۱۲۱	۰/۱۷۳	۰/۰۶۲	۰/۱۰۲	۰/۱۴۷
D	۰/۰۸۸	۰/۱۴	۰/۲۰۱	۰/۱۶۵	۰/۲۲	۰/۲۶۴	۰/۲۲۸	۰/۳۱۲	۰/۳۶۷	۰/۱۹۸	۰/۲۶۹	۰/۳۲۶	۰/۱۵۴	۰/۲۰۳	۰/۲۴۱
E	۰/۰۳۹	۰/۰۵۹	۰/۰۸۱	۰/۰۴۱	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۵۷	۰/۲۰۱	۰/۲۲۵	۰/۱۳۸	۰/۱۷۵	۰/۲	۰/۰۳۷	۰/۰۵۲	۰/۰۶۹
F	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۱۸۰	۰/۱۷۱	۰/۲۳۴	۰/۲۹۴	۰/۲۴۳	۰/۳۳۶	۰/۴۰۳	۰/۱۸۱	۰/۲۶۲	۰/۳۴۳	۰/۱۴۷	۰/۲۰۳	۰/۲۶۲
G	۰/۱۶۸	۰/۲۳۲	۰/۲۸۷	۰/۰۸۹	۰/۱۴۵	۰/۱۹۷	۰/۲۴۸	۰/۳۴۶	۰/۴۰۹	۰/۲	۰/۲۸۴	۰/۳۶	۰/۱۵۳	۰/۲۱۲	۰/۲۶۹
H	۰/۰۴۷	۰/۰۷۷	۰/۱۱۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸۴	۰/۰۵۷	۰/۰۹۱	۰/۱۲۳	۰/۰۹۴	۰/۱۳۴	۰/۱۷۷	۰/۰۳۵	۰/۰۵۱	۰/۰۷۲
I	۰/۰۵۳	۰/۰۹۱	۰/۱۳۶	۰/۰۵۷	۰/۰۹۶	۰/۱۴	۰/۱۶۵	۰/۲۲۲	۰/۲۶۴	۰/۰۵۵	۰/۰۹۲	۰/۱۳۴	۰/۰۴۱	۰/۰۶۴	۰/۰۹۳
J	۰/۱۶۱	۰/۲۲۴	۰/۲۷۲	۰/۱۷۶	۰/۲۳۸	۰/۲۸۵	۰/۲۴۶	۰/۳۴	۰/۳۹۶	۰/۲	۰/۲۸	۰/۳۵۲	۰/۰۷۱	۰/۱۱۵	۰/۱۵۷

داده‌های ماتریس روابط کل با کاربست فرمول ارائه‌شده در گام چهارم دیفازی می‌شود. جدول ۸ مقادیر ماتریس دیفازی را نشان می‌دهد.

جدول ۸. ماتریس دیفازی

دیفازی	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	۰/۱۳۵۳۹	۰/۰۶۴۸۹	۰/۲۱۵۵۴	۰/۱۸۵۷	۰/۲۵۲۳	۰/۱۱۴	۰/۱۴۹	۰/۲۶۳۲۴	۰/۲۱۶۴۳	۰/۱۱۳
B	۰/۲۵۶۸۷	۰/۰۶۸۰۳	۰/۲۵۰۱	۰/۲۳۳۶۵	۰/۱۹۹۱	۰/۱۹۳	۰/۲۱۴	۰/۲۱۱۵	۰/۲۴۶۵۴	۰/۲۰۶
C	۰/۱۹۵۶	۰/۰۵۲۵۵	۰/۱۰۷۹۵	۰/۱۷۴۰۳	۰/۱۹۲۱	۰/۱۰۲	۰/۱۱۳	۰/۲۱۳۸۷	۰/۱۲۲۹۶	۰/۱۰۳
D	۰/۲۶۴	۰/۰۷۷۰۵	۰/۲۵۶	۰/۱۲۵	۰/۲۷۳۲	۰/۱۴۴	۰/۲۱۷	۰/۳۰۴۷۶	۰/۲۶۵۴۶	۰/۲
E	۰/۱۰۰۹۱	۰/۰۳۸۲۵	۰/۱۷۱۲۴	۰/۰۶۶۷۵	۰/۰۸۸۱	۰/۰۵۹۷۴	۰/۰۶	۰/۱۹۵۹۸	۰/۱۷۲۲۱	۰/۰۵۲
F	۰/۲۹۷۹۲	۰/۱۷۴۴۶	۰/۲۹۱۳۳	۰/۲۳۴۰۱	۰/۳۱۵۶	۰/۱۲۵۳۶	۰/۲۳۳	۰/۳۲۹۷	۰/۲۶۲۰۴	۰/۲۰۴
G	۰/۳۰۱۸۶	۰/۱۷۳۴	۰/۳۰۲۶۱	۰/۲۴۰۷۵	۰/۳۲۱۵	۰/۲۳۰۲۲	۰/۱۴۴	۰/۳۳۷۴۲	۰/۲۸۲۱۱	۰/۲۱۱
H	۰/۱۵۶۳۷	۰/۰۳۹۳۷	۰/۰۸۸۲۴	۰/۰۶۵۱۸	۰/۱۷۸۲	۰/۰۷۸۵	۰/۰۶۱	۰/۰۹۰۵۳	۰/۱۳۴۵۶	۰/۰۵۲
I	۰/۱۷۳۳۳	۰/۰۵۲۷۴	۰/۱۵۲۹۲	۰/۰۸۲۵۶	۰/۲۰۲۲	۰/۰۹۳۱۱	۰/۰۹۷	۰/۲۱۸۰۶	۰/۰۹۳۲۵	۰/۰۶۵
J	۰/۲۸۸۹	۰/۰۹۶۹۹	۰/۲۹۱۲۳	۰/۲۳۷۰۲	۰/۳۱۴۷	۰/۲۱۹۵۱	۰/۲۳۴	۰/۳۳۰۲۸	۰/۲۷۷۹۱	۰/۱۱۴

از روی ماتریس دیفازی، مقادیر D و R محاسبه می‌شود. میزان تأثیرگذاری از طریق جمع سطری ماتریس دیفازی و میزان تأثیرپذیری از طریق جمع ستونی ماتریس دیفازی به دست می‌آید. شاخص تعامل از جمع اثرگذاری و اثرپذیری عامل و شاخص خالص اثر از اختلاف اثرگذاری و اثرپذیری عامل مورد نظر محاسبه می‌شود. جدول ۹ مقادیر شاخص‌های چهارگانه روش دیمتل فازی (اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل و خالص اثر) را نشان می‌دهد.

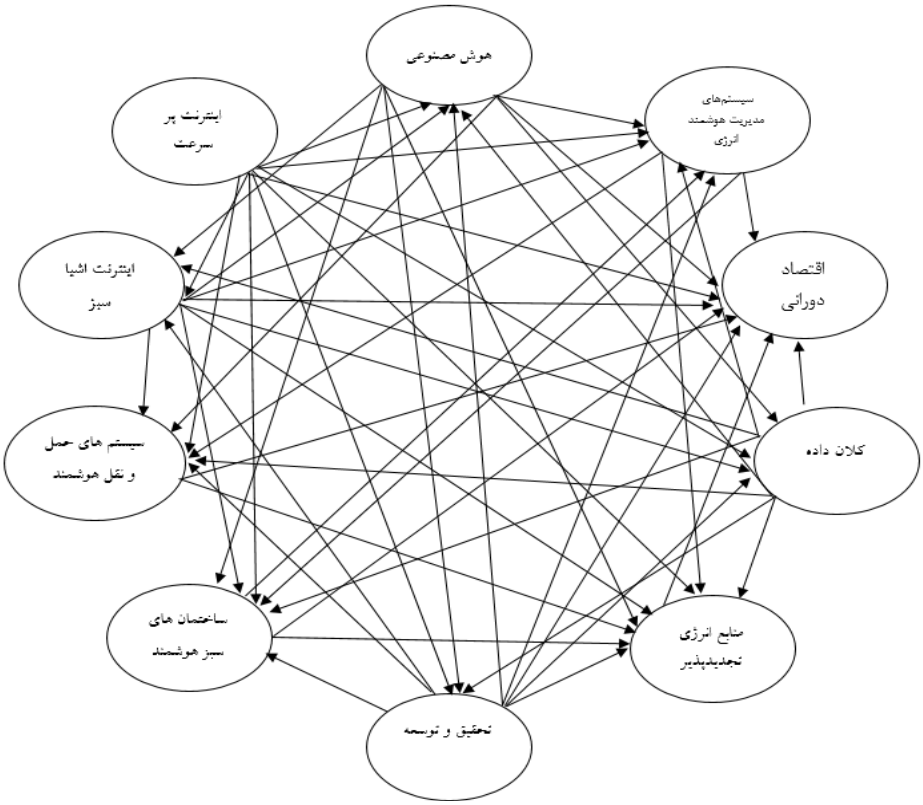
جدول ۹. شاخص‌های ارزیابی تکنیک دیمتل

دیفازی	D	R	D+R	D-R
سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی (A)	۱/۷۱۱	۲/۱۷۱۶۸	۳/۸۸۲۶۳	-۰/۴۶۰۷
ینترنت پرسرعت (B)	۲/۰۷۹	۰/۸۳۷۷۳	۲/۹۱۷۱۷	۱/۲۴۱۷۱
ساختمان‌های سبز هوشمند (C)	۱/۳۷۸	۲/۱۲۷۴۶	۳/۵۰۵۹۱	-۰/۷۴۹
اینترنت اشیای سبز (D)	۲/۱۲۹	۱/۶۴۵۴۴	۳/۷۷۴۳۲	۰/۴۸۳۴۳
منابع انرژی تجدیدپذیر (E)	۱/۰۰۶	۲/۳۳۷	۳/۳۴۲۷	-۱/۳۳۱
تحقیق و توسعه (F)	۲/۴۶۷	۱/۳۶۱۷۵	۳/۸۲۹۱	۱/۱۰۵۵۹
هوش مصنوعی (G)	۲/۵۴۵	۱/۵۲۴	۴/۰۶۸	۱/۰۲۱

دیفازی	D	R	D+R	D-R
اقتصاد دایره‌ای (H)	۰/۹۴۴	۲/۴۹۵۳۵	۳/۴۳۹۶۱	-۱/۵۵۱۰۸
سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (I)	۱/۲۳۱	۲/۰۷۳۴۷	۳/۳۰۴۰۸	-۰/۸۴۲۹
تجزیه‌وتحلیل کلان داده (J)	۲/۴۰۵	۱/۳۲۲	۳/۷۲۸	۱/۰۸۳

با توجه به مقادیر خالص اثر (D-R) عوامل اینترنت پرسرعت (D)، تحقیق و توسعه (F)، کلان‌داده‌ها (J)، هوش مصنوعی (G) و اینترنت اشیای سبز به‌ترتیب دارای بالاترین خالص اثر هستند. عوامل اقتصاد دورانی، منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و ساختمان‌های سبز هوشمند و سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی دارای خالص اثر منفی هستند. عواملی که دارای خالص اثر مثبت باشند، با عنوان عوامل اثرگذار و عواملی که دارای خالص اثر منفی باشند به عنوان عوامل تأثیرپذیر شناخته می‌شوند.

از روی ماتریس روابط کل می‌توان، مدل روابط بین عوامل را استخراج کرد. ابتدا باید ارزش آستانه را به دست آورد. ارزش آستانهٔ میانگین مقادیر ماتریس روابط کل است. در ادامه از طریق مقایسهٔ مقادیر ماتریس روابط کل با ارزش آستانه، ماتریس صفر و یک محاسبه می‌شود. اگر درایهٔ مورد نظر در ماتریس روابط کل بزرگ‌تر و مساوی با ارزش آستانه باشد، مقدار متناظر برابر یک خواهد بود، در غیر این صورت عدد متناظر در ماتریس صفر و یک برابر صفر می‌شود. مدل پژوهش از روی ماتریس صفر و یک استخراج می‌شود. اگر درایهٔ مورد نظر در ماتریس صفر و یک برابر یک باشد، فلشی از سمت عامل واقع در سطر به عامل واقع در ستون کشیده خواهد شد.



شکل ۱. مدل عوامل مؤثر بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف ارائهٔ مدل عوامل مؤثر بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار با تأکید بر انرژی انجام شد. به این‌منظور ابتدا از طریق مرور پیشینه در حوزه‌های شهر هوشمند، شهر هوشمند پایدار و مدیریت بهینهٔ انرژی، ۲۰ عامل استخراج شد. در ادامه این عوامل با به‌کارگیری آزمون دوجمله‌ای بینم غربال شدند. خروجی آزمون بینم نشان داد ۱۰ عامل مشارکت شهروندان، امنیت سایبری، برنامه‌ریزی و سیاست‌های عمومی شهری، مدیریت مصرف منابع، جذابیت و رقابت شهری، توسعهٔ نوآوری و کارآفرینی، سیستم‌های مدیریت ترافیک، توسعهٔ مشارکت‌های دولتی و خصوصی، کنترل سطح آلودگی و آموزش و توانمندسازی شهروندان دارای ضریب معناداری بالای ۵ درصد بودند. عوامل غربال‌شده در گام بعد با استفاده از تکنیک دیمتل فازی مورد بررسی قرار گرفتند. تکنیک دیمتل عوامل را از منظر اثرگذاری و اثرپذیری مورد ارزیابی قرار می‌دهد. با توجه به یافته‌های دیمتل فازی و شاخص خالص اثر عوامل اینترنت پرسرعت (فناوری 5G)، تحقیق و توسعه، کلان‌داده‌ها، هوش مصنوعی و اینترنت اشیای سبز دارای اثرگذاری بیشتری در مقایسه با اثرپذیری بودند. عوامل اقتصاد دورانی، منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و ساختمان‌های سبز هوشمند و سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی، عوامل تأثیرپذیر هستند. همچنین مدل عوامل مؤثر

بر توسعهٔ شهر هوشمند پایدار با تأکید بر مدیریت بهینهٔ انرژی با توجه به حد آستانه و ماتریس صفر و یک به دست آمد.

بر اساس یافته‌های پژوهش، اینترنت پرسرعت (فناوری 5G) تأثیرگذارترین عامل بر آیندهٔ شهرهای هوشمند پایدار است که با یافته‌های پژوهش مظهر و همکاران [۶۰] و حسین و شاه [۶۱] همخوانی دارد. استفادهٔ شبکه‌های 5G می‌توانند سرعت انتقال بسیار زیاد، تأخیر بسیار کم، تجربیات فوق‌العاده قابل اعتماد، تراکم اتصال بسیار زیاد، تراکم ترافیک بسیار زیاد و دسترسی بسیار زیاد را به کاربران ارائه دهند. همچنین بهره‌وری طیفی افزایش‌یافته را برای شبکه‌ها فراهم می‌کند و هزینه‌های مربوط به عملیات شبکه و هزینه‌های تعمیر و نگهداری را کاهش می‌دهد در حالی که به طور همزمان بازده انرژی شبکه را افزایش می‌دهد [۶۱]. به‌کارگیری فناوری 5G به کاربران این قابلیت را می‌دهد تا به حجم قابل‌توجهی از داده در مدت زمان بسیار کوتاه و سریع‌تر از قبل دسترسی داشته باشند. همچنین توانایی استفاده از دستگاه‌های هوشمند پیشرفته‌تر برای مدیریت مصرف انرژی میسر خواهد بود. اینترنت اشیا می‌تواند از فناوری 5G به منظور مدیریت مصرف انرژی در شهر هوشمند پایدار بهره‌مند شود؛ بنابراین فناوری 5G قادر است به‌خوبی پاسخ‌گوی نیازهای شهر هوشمند پایدار در جهت مدیریت مصرف انرژی باشد.

بر اساس یافته‌های پژوهش، تحقیق و توسعه دارای رتبهٔ دوم از لحاظ تأثیرگذاری بر آیندهٔ شهرهای هوشمند پایدار است که با یافته‌های پژوهش آزامبوجا [۵۳] و بیانکاردی و همکاران [۵۲] مطابقت دارد. مدیریت انرژی در شهر هوشمند، نیازمند پیاده‌سازی پروژه‌های مختلف در زمینهٔ زیرساخت‌ها، فناوری‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی، انرژی‌های تجدیدپذیر و خدمات شهری است. این پروژه‌ها با فعالیت‌هایی با خلاقیت و نوآوری بالا همراه هستند و پیاده‌سازی آن‌ها در شهر هوشمند به منظور مدیریت مصرف انرژی در وسعت بالا دشوار است، چراکه هریک از این پروژه‌ها باید با برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و همچنین زیرساخت‌های شهر تطبیق یابد؛ بنابراین تنها ایده برای پاسخ‌دهی به مسائل موجود در این مسیر تحقیق و توسعه است. تحقیق و توسعه با جذب سرمایه‌گذاری و نوآوری در محصولات و خدمات و تولید فناوری‌های پیشرفته به فعالیت‌های دانش‌بنیان و در نتیجه پیشرو بودن در زمینهٔ سیاست‌های پایدار منجر می‌شود؛ بنابراین می‌توان با حمایت از همکاری میان دانشگاه و صنعت و همچنین شرکت‌های مبتنی بر فناوری جدید (NTBFs)، گام بزرگی در این مسیر برداشت.

بر اساس یافته‌های پژوهش استفاده از کلان‌داده دارای رتبهٔ سوم از لحاظ تأثیرگذاری بر آیندهٔ شهرهای هوشمند پایدار است با یافته‌های پژوهش خان و همکاران [۵۱] و پیلیچوک [۲] همخوانی دارد. استفاده از کلان‌داده برای شهرهای هوشمند عمدتاً به ایجاد اطلاعات مفید کمک می‌کند تا شهروندان، دولت‌ها و شرکت‌ها بتوانند وظایف خود را بهتر انجام دهند. در این راستا، اکتشاف و بهره‌برداری از کلان‌داده‌ها برای شهرهای هوشمند باید توسط ذی‌نفعان انجام شود تا فناوری. نکتهٔ حائز اهمیت این است که جنبهٔ اساسی نوآوری‌های شهر هوشمند مبتنی بر داده، فناوری اطلاعات و ارتباطات یا زیرساخت هوشمند نیست، بلکه کاربردهای جدید برای خلق ارزش برای ذی‌نفعان (به عنوان مثال، شهروندان) است. استفاده از کلان‌دادهٔ شهری به ایجاد اطلاعات برای ذی‌نفعان کمک می‌کند تا فرایندهای خود را بهتر انجام دهند و خلق ارزش کنند. به‌کارگیری کلان‌داده در شهرهای هوشمند شامل کاربست غنی از فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرهای هوشمند است، مانند استفاده از حسگرها در سراسر شهر برای جمع‌آوری داده، اینترنت اشیا برای انتقال داده‌ها بدون وقفه به سرور مرکزی؛ هوش مصنوعی و محاسبات ابری برای پردازش داده‌ها، بلاک‌چین برای امنیت داده‌ها و اتصال سازمانی و طراحی سرویس‌های هوشمند برای جمع‌آوری داده‌ها و تحویل اطلاعات است. قابل توجه است که استفاده از کلان‌داده همراه با چالش‌هایی است که در ادامه تعدادی از آن‌ها ذکر می‌شوند. چالش نخست به مدیریت کیفیت داده‌ها مربوط می‌شود. یک پیش‌نیاز برای شناسایی اطلاعات شهر هوشمند قابل اعتماد، کیفیت داده‌های شهری است. کیفیت داده‌های موجود باید در نظر گرفته شود و راه‌های افزایش کیفیت باید در پروژه‌های توسعهٔ شهر هوشمند مبتنی بر داده برای موفقیت پروژه شناسایی شود. چالش دوم به ادغام داده‌ها از منابع مختلف اشاره دارد، چراکه انواع مختلفی از داده‌ها از منابع مختلف در شهرهای مدرن جمع‌آوری می‌شوند و لازم است که انواع مختلف داده‌ها به هم متصل شوند تا دانش و اطلاعات باکیفیتی برای شهروندان و مقامات شهری تولید شود. با این‌حال، اتصال داده‌ها از منابع مختلف دشوار است، زیرا سازمان‌های مختلف از ساختارهای داده متفاوتی استفاده می‌کنند. اشاره کرده‌اند که یکپارچه‌سازی و استانداردسازی داده‌ها از ضروری‌ترین مسائل در استفاده از کلان‌داده‌ها در بخش بهداشت برای اهداف عمومی و همچنین صنعتی است. به دست آوردن داده‌های مفید برای یک شهر هوشمند و برنامه‌ریزی برای یکپارچه‌سازی داده‌ها باید در پروژه‌های توسعهٔ شهر هوشمند مبتنی بر داده انجام شود تا دامنهٔ پروژه و پتانسیل گسترش آن درک شود. چالش دیگر به درک نیازهای شهروندان و کارکنان اشاره دارد. کلان‌داده مورد استفاده برای مقاصد عمومی باید شهروند محور باشد. پیش‌نیاز استفاده از کلان‌داده، شناسایی اطلاعات مناسب برای شهروندان است. ذی‌نفعان کلان‌داده‌ها در شهرهای هوشمند شامل مقامات شهری و کارمندان شرکت‌های محلی هستند. تعیین اطلاعات مفید در پروژه‌های توسعهٔ شهر هوشمند مبتنی بر داده بسیار مهم است، زیرا شناسایی اطلاعات برای ارائه به مشتریان به طور مستقیم با ارزش و جذابیت یک سرویس مرتبط است.

بر اساس یافته‌های پژوهش هوش مصنوعی دارای رتبهٔ چهارم از لحاظ تأثیرگذاری بر آیندهٔ شهرهای هوشمند پایدار است که با یافته‌های پژوهش سربان و لیتراس [۳۲] و چوی و همکاران [۴۴] همخوانی دارد. پایداری انرژی یکی از مسائل کلیدی است که بحث توسعهٔ شهرها را به پیش می‌برد. به موازات آن، هوش مصنوعی و محاسبات شناختی به عنوان پیشرانی در فرایند بهینه‌سازی عرضه و استفاده از خدمات هوشمند در فضای شهری ظاهر شده‌اند. در سال‌های اخیر در سراسر جهان، نیاز استفاده از انرژی تجدیدپذیر به دلیل انتشار آلودگی‌های کم‌کربن و حفاظت از محیط زیست و سلامت انسان رو به افزایش بوده است، به طوری که اتحادیهٔ اروپا نیاز به تأمین منابع تجدیدپذیر را درک کرده است تا بار سنگینی که بر دوش محیط زیست وارد می‌شود برداشته شود. بنابراین، وابستگی واردات کاهش می‌یابد و توسعهٔ بازار ملی شامل استفاده از منابع تجدیدپذیر است که می‌توانند به طور مکرر مورد بهره‌برداری قرار گیرند، بدون اینکه پتانسیل فرسودگی داشته باشند. انرژی‌های تجدیدپذیر یک منبع قدرتمند برای توسعهٔ جهانی آینده در زمینهٔ تغییرات آب‌وهوا و کاهش منابع و همچنین، یک راه حل مؤثر برای اقتصادهای امروز است. بر اثر تقاضا بالا به انرژی‌های تجدیدپذیر دولت‌ها با چالش مواجه می‌شوند و این چالش، یافتن روش‌هایی برای مدیریت پاسخ‌گویی به تقاضای جهانی انرژی پاک و ارزان است. هوش مصنوعی یک فرصت بزرگ برای پاسخ‌گویی به این نیازها و الزامات جوامع امروزی است. هوش مصنوعی نشان‌دهندهٔ عصر جدیدی در جامعه دانش است. هوش مصنوعی به مدیریت تولید و مصرف انرژی در محیط‌های متغیر و بازار کمک می‌کند. ادغام هوش مصنوعی با شبکه‌های 5G و شبکه‌های حسگر، می‌تواند زمینهٔ جدیدی را برای خدمات شهرهای هوشمند نسل آینده ایجاد کند. از طرف دیگر، حوزهٔ هوش مصنوعی، با قابلیت‌های یادگیری ماشینی و محاسبات شناختی پیشرفته، به نظر می‌رسد یک عامل کلیدی برای قابلیت‌های پیش‌بینی‌نشده در زمینهٔ شبکه‌های انرژی هوشمند باشد. از دیگر مزایای آن می‌توان به امکان پیش‌بینی و تعمیم با سرعت بالا و قابلیت تبیین اشاره کرد. هم‌افزایی بین هوش مصنوعی و انرژی‌های تجدیدپذیر، بخش انرژی را تغییر داده و پایداری را در سطح ملی و جهانی بهبود می‌بخشد. استفاده از هوش مصنوعی در بخش انرژی مستلزم سرمایه‌گذاری در فناوری‌های مدرن و حمایت از سوی هر دو بخش دولتی و خصوصی است. ادغام هوش مصنوعی برای اثر بخشی در بخش انرژی در شهرهای هوشمند مستلزم ملاحظات مهمی از جمله:

- توسعهٔ الگوریتم‌های بهینه‌سازی یادگیری ماشینی پیچیده برای تمام کارهای انرژی تجدیدپذیر از تولید تا مصرف

- ادغام هوش مصنوعی برای انرژی تجدیدپذیر در سطح خرد و کلان؛ از کاربست برنامه‌های کاربردی خانه‌های هوشمند گرفته تا پلتفرم‌های یکپارچه برای بهینه‌سازی شبکه‌های هوشمند انرژی
- ادغام الزامات پایداری در طراحی، اجرا و مدیریت سیستم‌های انرژی توزیع‌شدهٔ یکپارچه در سراسر جهان در آخر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و سازمان‌دهی آن با هوش مصنوعی هنوز در روند اجرای گسترده آن با موانع مواجه است. این‌ها تنها به فناوری مورد نیاز مربوط نمی‌شود، بلکه به سیاست‌گذاری نیز مربوط می‌شود.

بر اساس یافته‌های پژوهش اینترنت اشیای سبز و بکارگیری آن دارای رتبهٔ پنجم از لحاظ تأثیرگذاری بر آیندهٔ شهرهای هوشمند پایدار است که با یافته‌های پژوهش سینها و همکاران [۴۹] و المالکی و همکاران [۵۰] مطابقت دارد. توسعهٔ فناوری اینترنت اشیا (IoT) و ادغام آن‌ها در شهرهای هوشمند، شیوهٔ کار و زندگی ما را تغییر داده و جامعه ما را غنی کرده است. با این‌حال، فناوری‌های اینترنت اشیا چالش‌های متعددی مانند افزایش مصرف انرژی و همچنین، زباله‌های الکترونیکی در شهرهای هوشمند را به همراه دارند. الزامات کلان‌داده از اینترنت اشیا، ظرفیت ذخیره‌سازی، محاسبات ابری و پهنای باند وسیع برای انتقال است تا اینترنت اشیا در همه‌جا حاضر شود. این پردازش و انتقال بزرگ داده، انرژی زیادی را در دستگاه‌های اینترنت اشیا مصرف می‌کند. با این‌حال، استفاده از تکنیک‌های کارآمد و هوشمند می‌تواند منجر به کاهش مصرف برق شود و بهبود کیفیت زندگی در شهرهای هوشمند به ایجاد فضای سبزتر و پایدارتر کمک کند. برنامه‌های شهر هوشمند باید سازگار با محیط زیست باشند، از این‌رو شهرهای هوشمند باید به سمت اینترنت اشیای سبز حرکت کنند. بنابراین، پرداختن به تکنیک‌ها و استراتژی‌های کاهش خطرات آلودگی، ضایعات ترافیکی، استفاده از منابع، مصرف انرژی، تأمین امنیت عمومی، کیفیت زندگی و حفظ محیط زیست و مدیریت هزینه ضروری است. اینترنت اشیای سبز، دو پیامد برای طراحی شهرهای هوشمند دارد؛ (۱) برنامه‌ریزی و توسعهٔ دستگاه‌های G-IoT برای بهبود تنظیمات شبکه، رویه‌های ارتباطی و به حداکثر رساندن پهنای باند از طریق حداقل استفاده از انرژی. (۲) نصب این G-IoT و فناوری‌های پیشرفته انتشار گازهای خطرناک را به حداقل می‌رساند و فضای زندگی شهری را بهبود می‌بخشد.

مشارکت نویسندگان

شهریار شیرویه‌پور (۴۵ درصد)، سید مرتضی مرتضوی (۳۵)، روح‌الله بیات (۲۰).

تشکر و قدردانی

از کلیهٔ کسانی که در این پژوهش نویسندگان مقاله را یاری کرده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود. مقاله حامی مادی و معنوی ندارد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع در این مقاله وجود ندارد.

منابع

[1] Ordouei M, Broumandnia A, Banirostam T, Gilani A. Optimization of energy consumption in smart city using reinforcement learning algorithm. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications. 2023 Mar 4. https://doi.org/10.22075/IJNAA.2022.29258.4102

[2] Pilipczuk O. Sustainable smart cities and energy management: The labor market perspective. Energies. 2020 Nov 20;13(22):6084. https://doi.org/10.3390/en13226084

[3] Himeur Y, Elnour M, Fadli F, Meskin N, Petri I, Rezgui Y, Bensaali F, Amira A. Next-generation energy systems for sustainable smart cities: Roles of transfer learning. Sustainable Cities and Society. 2022 Jul 19:104059. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104059

[4] Myeong S, Jung Y, Lee E. A study on determinant factors in smart city development: An analytic hierarchy process analysis. Sustainability. 2018 Jul 25;10(8):2606. https://doi.org/10.3390/su10082606

[5] Bibri SE, Krogstie J. Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. Sustainable cities and society. 2017 May 1;31:183-212. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.016

[6] Mu R, Haershan M, Wu P. What organizational conditions, in combination, drive technology enactment in government-led smart city projects?. Technological Forecasting and Social Change. 2022 Jan 1;174:121220. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121220

[7] D'Auria A, Tregua M, Vallejo-Martos MC. Modern conceptions of cities as smart and sustainable and their commonalities. Sustainability. 2018 Jul 27;10(8):2642. https://doi.org/10.3390/su10082642

[8] Höjer M, Wangel J. Smart sustainable cities: definition and challenges. InICT innovations for sustainability 2015 (pp. 333-349). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7_20

[9] Viale Pereira G, Schuch de Azambuja L. Smart sustainable city roadmap as a tool for addressing sustainability challenges and building governance capacity. Sustainability. 2021 Dec 27;14(1):239. https://doi.org/10.3390/su14010239

[10] Azevedo Guedes AL, Carvalho Alvarenga J, Dos Santos Sgarbi Goulart M, Rodriguez y Rodriguez MV, Pereira Soares CA. Smart cities: The main drivers for increasing the intelligence of cities. Sustainability. 2018 Aug 31;10(9):3121. https://doi.org/10.3390/su10093121

[11] Roostaei, D., Poormohamadi, D., Ghanbari, H. A theorys of Smart Cities and Assessment its Infrastructure Components in Urban Management (Case Study: Tabriz Municipality). Geography and Territorial Spatial Arrangement, 2018; 8(26): 197-216. doi: 10.22111/gaij.2018.3634. [In Persian]

[12] Shokry Ghafarby, E., Soleimani, A., Ezatpanah, B. Smart city planning with emphasis on screenwriting approach (Case study: Urmia city). Geography and Development, 2022; 20(67): 28-52. doi: 10.22111/j10.22111.2022.6924. [In Persian]

[13] Singh, J. Drivers & Barriers for Sustainable Development of Indian Smart Cities. International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology.2022 February 1808- 1811. https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2022.1102054

[14] Yadav G, Mangla SK, Luthra S, Rai DP. Developing a sustainable smart city framework for developing economies: An Indian context. Sustainable Cities and Society. 2019 May 1;47:101462. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101462

[15] Fadayi, A., Gorji, M. B., Samiee, R. A. Identifying the components of smart sustainable development in the field of urban management. Journal of Studies in Entrepreneurship and Sustainable Agricultural Development, 2021; 8(3): 19-34. doi: 10.22069/jead.2021.19229.1498.[In Persian]

[16] Darvishi Y., Moghali, M. Monitoring the components of urban smart growth in the sustainable urban development approach using multi-criteria decision making techniques (Case study: Ardabil city). Quarterly of New Attitudes in Human Geography. 2020, 12(4):370-384. [In Persian]

[17] Trindade EP, Hinnig MP, da Costa EM, Marques JS, Bastos RC, Yigitcanlar T. Sustainable development of smart cities: A systematic review of the literature. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2017 Sep 1;3(3):1-4. https://doi.org/10.1186/s40852-017-0063-2

[18] Pira M. A novel taxonomy of smart sustainable city indicators. Humanities and Social Sciences Communications. 2021 Aug 11;8(1):1-0. https://doi.org/10.1057/s41599-021-00879-7

[19] Szpilko D. Foresight as a tool for the planning and implementation of visions for smart city development. Energies. 2020 Apr 7;13(7):1782. https://doi.org/10.3390/en13071782

[20] Honarvar AR, Sami A. Towards sustainable smart city by particulate matter prediction using urban big data, excluding expensive air pollution infrastructures. Big data research. 2019 Sep 1;17:56-65. https://doi.org/10.1016/j.bdr.2018.05.006

[21] Basiri M, Azim AZ, Farrokhi M. Smart city solution for sustainable urban development. European Journal of Sustainable Development. 2017 Jan 31;6(1):71-. https://doi.org/10.14207/ejsd.2017.v6n1p71

[22] Park K. A risk management model for sustainable smart city. Int. J. Adv. Sci. Technol. 2018;110:23-32. http://dx.doi.org/10.14257/ijast.2018.110.03

[23] Bélissent J. Getting clever about smart cities: New opportunities require new business models. Forrester Research. 2010 Nov 2;3:1-31.

[24] Zhao J. Towards sustainable cities in China: analysis and assessment of some Chinese cities in 2008. Springer Science & Business Media; 2011 Jan 19. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8243-8

[25] Tiwari A, Jain K. GIS Steering smart future for smart Indian cities. International Journal of Scientific and Research Publications. 2014 Aug 8;4(8):442-6. Available: www.ijsrp.org.

[26] Li F, Nucciarelli A, Roden S, Graham G. How smart cities transform operations models: A new research agenda for operations management in the digital economy. Production Planning & Control. 2016 Apr 25;27(6):514-28. https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1147096

[27] Liu Y, Yang C, Jiang L, Xie S, Zhang Y. Intelligent edge computing for IoT-based energy management in smart cities. IEEE network. 2019 Mar 27;33(2):111-7. https://doi.org/ 10.1109/MNET.2019.1800254

[28] Oberascher M, Rauch W, Sitzenfrei R. Towards a smart water city: A comprehensive review of applications, data requirements, and communication technologies for integrated management. Sustainable Cities and Society. 2022 Jan 1;76:103442. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103442

[29] Bednarska-Olejniczak D, Olejniczak J, Svobodová L. Towards a smart and sustainable city with the involvement of public participation—The case of Wroclaw. Sustainability. 2019 Jan 10;11(2):332. https://doi.org/10.3390/su11020332

[30] Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I. and Airaksinen, M., 2017. What are the differences between sustainable and smart cities?. Cities, 60, pp.234-245. https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009

[31] Almihat MG, Kahn MT, Aboalez K, Almaktoof AM. Energy and Sustainable Development in Smart Cities: An Overview. Smart Cities. 2022 Oct 19;5(4):1389-408. https://doi.org/10.3390/smartcities5040071

[32] Şerban AC, Lytras MD. Artificial intelligence for smart renewable energy sector in europe—smart energy infrastructures for next generation smart cities. IEEE access. 2020 Apr 23;8:77364-77. https://doi.org/ 10.1109/ACCESS.2020.2990123

[33] Navidi A, Khatami FA. Energy management and planning in smart cities. CIRED-Open Access Proceedings Journal. 2017 Oct 1;2017(1):2723-5. DOI: 10.1049/oap-cired.2017.0136

[34] O'Dwyer E, Pan I, Acha S, Shah N. Smart energy systems for sustainable smart cities: Current developments, trends and future directions. Applied energy. 2019 Mar 1;237:581-97. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.024

[35] Bibri SE, Krogstie J. Environmentally data-driven smart sustainable cities: Applied innovative solutions for energy efficiency, pollution reduction, and urban metabolism. Energy Informatics. 2020 Dec;3:1-59.
https://doi.org/10.1186/s42162-020-00130-8

[36] Huovila A, Bosch P, Airaksinen M. Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when?. Cities. 2019 Jun 1;89:141-53. https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.029

[37] Tajeri R, Beygabye B, Aar A. Explain the Model of Sustainable Development in Border Areas with Emphasis on the Components of the Smart City, Case study: Border City of Urmia. Journal of Border Studies. 2022;34(9):89-104.dor.net/dor/20.1001.1.23454512.1400.9.4.5. [In Persian]

[38] Esmaeilzadeh, H., Fanni, Z., Abdoli, S. F. Making Smart; an Approach for Attaining Sustainable Urban Development (Case Study: District 6 Tehran). Human Geography Research, 2019; 51(1): 145-157. doi: 10.22059/jhgr.2017.236917.1007491. [In Persian]

[39] saadati, Z., mehrshad, B. The Internet of Things and big data Applications in Sustainable Smart Cities. Science and Technology Policy Letters, 2017; 07(3): 17-30. doi: 20.1001.1.24767220.1396.07.3.2.6. [In Persian]

[40] El-Sherif DM. Energy efficiency in urban planning for smart cities in the developing world. InSmart Cities Policies and Financing 2022 Jan 1 (pp. 89-96). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819130-9.00031-0

[41] Strielkowski W, Veinbender T, Tvaronavičienė M, Lace N. Economic efficiency and energy security of smart cities. Economic research-Ekonomska istraživanja. 2020;33(1):788-803. https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1734854

[42] Partovy, E., Jahangirnia, H., Maleki, M. H., Gholami Jamkarani, R., Chavoshi, S. K. A Decision-Support System for Strengthening the

Banking Sector with an Emphasis on Resiliency. Sciences and Techniques of Information Management, 2022; 8(2): 289-316. doi: 10.22091/stim.2021.7138.1616. [In Persian]

[43] Ghodsi, E., Maleki, m., GHanavati, E., Ashtiani, S,. New decision-making techniques in operational research, Yazd University Press, 2022. https://yazd.ac.ir/Page.aspx-?mId=1766&ID=1156&Page=Magazines/SquareshowMagazine&t=Archive. [In Persian]

[44] Chui KT, Lytras MD, Visvizi A. Energy sustainability in smart cities: Artificial intelligence, smart monitoring, and optimization of energy consumption. Energies. 2018 Oct 23;11(11):2869. https://doi.org/10.3390/en11112869

[45] Jasińska-Biliczak A. Smart-City Citizen Engagement: The Answer to Energy Savings in an Economic Crisis?. Energies. 2022 Nov 23;15(23):8828. https://doi.org/10.3390/en15238828

[46] Preston S, Mazhar MU, Bull R. Citizen engagement for co-creating low carbon smart cities: Practical Lessons from Nottingham City Council in the UK. Energies. 2020 Dec 15;13(24):6615. https://doi.org/10.3390/en13246615

[47] Pu S, Zhou J. The Study of the Roles that Intelligent Transportation System Playing in the Development of a Smart City. Highlights in Science, Engineering and Technology. 2023 Mar 18;37:97-103. https://doi.org/10.54097/hset.v37i.6050

[48] Chen Y, Ardila-Gomez A, Frame G. Achieving energy savings by intelligent transportation systems investments in the context of smart cities. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2017 Jul 1;54:381-96. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.008

[49] Sinha M, Chacko E, Makhija P, Pramanik S. Energy-Efficient smart cities with green internet of things. Green Technological Innovation for Sustainable Smart Societies: Post Pandemic Era. 2021:345-61. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73295-0_16

[50] Almalki FA, Alsamhi SH, Sahal R, Hassan J, Hawbani A, Rajput NS, Saif A, Morgan J, Breslin J. Green IoT for eco-friendly and sustainable smart cities: future directions and opportunities. Mobile Networks and Applications. 2023 Feb;28(1):178-202. https://doi.org/10.1007/s11036-021-01790-w

[51] Khan MA, Siddiqui MS, Rahmani MK, Husain S. Investigation of big data analytics for sustainable smart city development: An emerging country. IEEE Access. 2021 Sep 27;10:16028-36. https://doi.org/ 10.1109/ACCESS.2021.3115987

[52] Biancardi M, Di Bari A, Villani G. R&D investment decision on smart cities: Energy sustainability and opportunity. Chaos, Solitons & Fractals. 2021 Dec 1;153:111554. https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111554

[53] Schuch de Azambuja L. Drivers and barriers for the development of smart sustainable cities: a systematic literature review. InProceedings of the 14th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance 2021 Oct 6 (pp. 422-428). https://doi.org/10.1145/3494193.3494250

[54] Dincă G, Milan AA, Andronic ML, Pasztori AM, Dincă D. Does Circular Economy Contribute to Smart Cities' Sustainable Development?. International journal of environmental research and public health. 2022 Jun 22;19(13):7627. https://doi.org/10.3390/ijerph19137627

[55] Formisano V, Iannucci E, Fedele M, Bonab AB. City in the loop: assessing the relationship between circular economy and smart sustainable cities. Sinergie Italian Journal of Management. 2022 Aug 31;40(2):147-68. https://doi.org/ 10.7433/s118.2022.07

[56] Vukovic NA, Nekhorosheva DE. Renewable Energy in Smart Cities: Challenges and Opportunities by the Case Study of Russia. Smart Cities. 2022 Sep 20;5(4):1208-28. https://doi.org/10.3390/smartcities5040061

[57] Hoang, A. T., Pham, V. V., Nguyen, X. P. (2021). Integrating renewable sources into energy system for smart city as a sagacious strategy towards clean and sustainable process. Journal of Cleaner Production. 305(4):127161. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127161

[58] Ma C. Smart city and cyber-security; technologies used, leading challenges and future recommendations. Energy Reports. 2021 Nov 1;7:7999-8012. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.08.124

[59] Ibrahim Khalil MW, Kamel MA. Towards smart sustainable cities vision and challenges. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications. 2023 Mar 29. https://doi.org/ 10.22075/IJNAA.2023.78235.4200

[60] Mazhar T, Malik MA, Haq I, Rozeela I, Ullah I, Khan MA, Adhikari D, Ben Othman MT, Hamam H. The Role of ML, AI and 5G Technology in Smart Energy and Smart Building Management. Electronics. 2022 Nov 29;11(23):3960. https://doi.org/10.3390/electronics11233960

[61] Huseien GF, Shah KW. A review on 5G technology for smart energy management and smart buildings in Singapore. Energy and AI. 2022 Jan 1;7:100116. https://doi.org/10.1016/j.egyai.2021.100116

[62] Gaitan NC, Ungurean I, Corotinschi G, Roman C. An Intelligent Energy Management System Solution for Multiple Renewable Energy Sources. Sustainability. 2023 Jan 31;15(3):2531. https://doi.org/10.3390/su15032531

[63] Oke AE, Aghimien DO, Aigbavboa CO, Akinradewo OI. Appraisal of the drivers of smart city development in South Africa. Construction Economics and Building. 2020 Jan;20(2):109-26. https://doi.org/abs/10.3316/informit.342138636869520

[64] Caragliu A, Del Bo CF. Smart innovative cities: The impact of Smart City policies on urban innovation. Technological Forecasting and Social Change. 2019 May 1;142:373-83. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.022

[65] Rajan, K., Kumar, K.S., Kannapiran, T., Khan, S., Al-Dmour, A. and Sharef, B.T., 2022, June. Intelligent Traffic Management System for Smart Cities Utilizing Reinforcement Learning Algorithm. In 2022 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETSIS) (pp. 170-177). IEEE. https://doi.org/ 10.1109/ICETSIS55481.2022.9888885

[66] Jain S, Kumar A, Priyadharshini M. Smart city: Traffic management system using smart sensor network. InJournal of Physics: Conference Series 2019 Nov 1 (Vol. 1362, No. 1, p. 012129). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1362/1/012129.