Journal of Future City, Indigenous Thought, 2 (1), 2026

Journal of Future City, Indigenous Thought

Online ISSN:3115-9435

Journal Homepage: www.future.yazd.ac.ir

Yazd University

Defining the Dimensions and Influential Components of Smart Cities with an Emphasis on Energy Efficiency

Salva Beheshti Asl [1], Javad Imani Shamloo [2]

1. *Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran*
Emeil: sa.beheshtiasl@tabriziau.ac.ir
2. (Corresponding Author) *Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran*
Emeil: j.imani@tabriziau.ac.ir

ARTICLEINFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received:
16 April 2026
Received in revised form:
27 May 2026
Accepted:
9 July 2026
Available online:
13 August 2026

Keywords:
Smart City, Energy Management, Urban Intelligence, Energy Efficiency.

ABSTRACT

The energy issue is one of the most critical challenges and controversial topics of the current century worldwide. Given the current situation, the need for cities to seek smart and sustainable solutions to address these challenges is imperative. Despite the growing body of literature on the role of smart cities in energy management, a conspicuous research gap remains in developing a comprehensive framework that elucidates the dimensions and components affecting energy efficiency. Therefore, aiming to bridge this theoretical gap, the present study identifies the key dimensions and components of energy efficiency and, for the first time, classifies and presents them within a comprehensive conceptual framework across three spatial scales: macro, meso, and micro. To achieve the research objective, a qualitative methodology based on a literature review was employed. Data regarding the dimensions and components of energy efficiency in smart cities were extracted from selected articles; alongside the literature review, domestic and international experiences were also examined. The findings indicate that the effective dimensions of smart cities regarding energy efficiency include: at the macro scale (energy structure, investment bodies, spatial, social, economic, environmental, political, technological, innovation, and physical-spatial); at the meso scale (technical, functional, physical-spatial, mobility, environmental quality, energy, lighting, urban vitality, and urban regeneration); and at the micro scale (modeling, environmental sustainability, energy, lighting, materials, smart environment, and physical form). The final outcome of this research is a conceptual framework of smart city dimensions and components emphasizing energy efficiency.

Citation: Beheshti Asl, S., & Imani Shamloo, J. (2026). Defining the Dimensions and Influential Components of Smart Cities with an Emphasis on Energy Efficiency. *Journal of Future City, Indigenous Thought*, 2 (1), 161-178.
http://doi.org/10.22034/future.2026.24526.1034

© The Author(s)

Publisher: Yazd University

Extended Abstract

Introduction

Given that cities account for a significant portion of global primary energy consumption, optimal energy management and a transition to renewable sources have become vital imperatives for ensuring environmental sustainability and the well-being of future generations. Within this framework, the concept of smart cities has emerged as a key strategy to confront energy challenges and promote sustainable development. By leveraging advanced technologies, smart cities possess the potential to enhance energy efficiency, improve citizens' quality of life, and prevent environmental and social disruptions. Although substantial progress has been made in recent years concerning smart cities and energy efficiency solutions, a significant research gap persists regarding the precise identification and clarification of the dimensions and components that influence achieving energy efficiency in this context. The absence of a comprehensive understanding of these dimensions and components represents a major barrier to designing, developing, and implementing effective strategies for attaining energy-efficient and sustainable smart cities. This study aims to fill this theoretical gap by identifying the key dimensions and components affecting energy efficiency and, for the first time, classifying and presenting them within a comprehensive three-level conceptual framework comprising macro, meso, and micro scales. This three-tiered framework facilitates a deeper understanding and more targeted policy-making to enhance energy efficiency in smart cities.

Methodology

This study employs a qualitative literature review methodology, during which relevant sources were collected from reputable global databases such as Web of Science, Scopus, Elsevier, Google Scholar, as well as domestic databases including MagIran, the Scientific Information Database of Jahad Daneshgahi, IranDoc, and ElmNet. The study population comprises articles published between 2015 and 2025 in English and between 1394 and 1404 (2015–2025 Gregorian calendar) in Persian. These articles were then evaluated based on criteria including topical relevance, publication quality in scientific-research journals, availability of full text, and conformity with the specified time frame.

Results and Discussion

Emphasizing the criteria outlined in the PRISMA standard checklist, a total of 19 selected articles (16 English and 3 Persian) were ultimately included for analysis. Beyond the literature review, to enrich the research and better understand practical applications, relevant national and international field studies and experiences were also evaluated. The integration of these reviews with the analysis of practical experiences of smart cities worldwide resulted in the development of the final conceptual framework for energy efficiency in smart cities, which is hierarchically organized into three levels: macro, meso, and micro. At the macro level, a variety of dimensions including energy structure, institutional and investment dimensions, spatial, social, economic, environmental, political, technological, innovation, and physical-spatial aspects are considered, which play a fundamental role in shaping policies, high-level decision-making, and strategic orientations of smart cities. This level determines the quality of governance, technological capacities, and institutional-investment infrastructures that form the foundation for sustainable development. The meso level encompasses dimensions such as

technical, functional, physical-spatial, transportation, environmental quality, energy, lighting, vitality, and urban regeneration, acting as a bridge between macro policies and micro-level actions. This level often faces challenges related to institutional coordination and urban management and plays a vital role in translating overarching goals into actionable programs. At the micro level, components such as energy consumption modeling, environmental sustainability, energy, lighting, materials, smart environment, and physical form directly influence energy consumption behavior and cover the domains of design, construction, operation, and management of micro-urban equipment and spaces.

Conclusion

The study's findings indicate that enhancing energy efficiency in smart cities requires simultaneous interaction and synergy among technological, social, institutional, and physical dimensions across all three levels, and cannot be limited merely to the deployment of smart technologies. These findings align with previous studies and emphasize the importance of effective governance, active citizen participation, and targeted investments within a coherent policy framework. Moreover, identifying multidimensional components and integrating them into urban planning and management processes will serve as the primary pathway toward significantly improving energy efficiency. Among the main limitations of this study are the lack of comprehensive empirical data and restricted access to some key sources, challenges that have reduced the precision of comparative analyses. Accordingly, future research is recommended to expand the scope of the study and utilize applied modeling and scenario analysis to test and validate the proposed framework, thereby enhancing its practical applicability across different geographical and managerial levels. The significance of the proposed three-level framework lies not only in highlighting the interdisciplinary and multidimensional nature of the energy efficiency issue but also in providing scientifically grounded and practical guidance for researchers, urban managers, and planners to design targeted strategies, interventions, and projects aimed at sustainable urban development. This framework can serve as a solid foundation for future research and policymaking related to energy-oriented smart cities.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

The research design, data collection, analysis of findings, and writing of all parts of this article were carried out by Salvi Beheshti Asl, and Javad Imanishamlou was responsible for scientific guidance and supervision of all stages of the research.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

دو فصلنامه شهر آینده، اندیشه بومی
شاپا الکترونیکی: ۹۴۳۵-۳۱۱۵
Journal Homepage: http://www.future.yazd.ac.ir

تبیین ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر شهرهای هوشمند با تأکید بر کارایی انرژی*

سلوی بهشتی اصل [۱]، جواد ایمانی شاملو [۲]

۱- گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: sa.beheshtiasl@tabriziau.ac.ir
۲- نویسنده مسئول، گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: j.imani@tabriziau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۵/۰۱/۲۷
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۵/۰۳/۰۶
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۵/۰۴/۱۸
تاریخ چاپ:
۱۴۰۵/۰۵/۲۲

واژگان کلیدی:
شهر هوشمند،
مدیریت انرژی،
هوشمند سازی شهری،
کارایی انرژی.

چکیده

مسئله انرژی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و موضوعات بحث‌برانگیز قرن حاضر در سراسر جهان است. با توجه به وضعیت کنونی نیاز شهرها به جست‌وجوی راه‌حل‌های هوشمند و پایدار برای مقابله با این چالش‌ها بسیار ضروری است. علیرغم رشد روزافزون مطالعات پیرامون نقش شهرهای هوشمند در مدیریت انرژی، خلأ پژوهشی مشهودی در تدوین یک چارچوب جامع که ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر بر بهره‌وری انرژی تبیین نماید، به چشم می‌خورد. لذا پژوهش حاضر با هدف رفع این شکاف نظری، ضمن شناسایی ابعاد و مؤلفه‌های کلیدی بهره‌وری انرژی، برای نخستین بار آن‌ها را در قالب یک چارچوب مفهومی جامع در سه سطح کلان، میانی و خرد طبقه‌بندی و ارائه می‌نماید. به منظور دستیابی به هدف پژوهش، از روش‌شناسی کیفی مبتنی بر مرور ادبیات استفاده کرده است. اطلاعات مرتبط با ابعاد و مؤلفه‌های مربوط به کارایی انرژی در شهرهای هوشمند از مقالات منتخب استخراج گردیده است و علاوه بر مرور ادبیات، تجارب خارجی و داخلی نیز موردبررسی واقع‌شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که در مقیاس کلان، ابعاد (ساختار انرژی، نهاد سرمایه‌گذار، فضایی، اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، سیاسی، فناوری، نوآوری و کالبدی – فضایی)؛ در مقیاس میانی ابعاد (فنی، کارکردی، کالبدی – فضایی، حمل‌ونقل، کیفیت محیطی، انرژی، روشنایی، سرزندگی و بازآفرینی شهری) و در مقیاس خرد ابعاد (مدل‌سازی، پایداری محیطی، انرژی، روشنایی، مصالح، محیط هوشمند و فرم کالبدی) از ابعاد مؤثر شهرهای هوشمند در راستای بهره‌وری انرژی هستند. دستاورد نهایی این پژوهش ارائه چارچوب مفهومی از ابعاد و مؤلفه‌های از شهرهای هوشمند با تأکید بر کارایی انرژی است.

استناد: بهشتی اصل، سلوی و ایمانی شاملو، جواد. (۱۴۰۵). تبیین ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر شهرهای هوشمند با تأکید بر کارایی انرژی. *دو فصلنامه شهر آینده، اندیشه بومی*، ۲ (۱)، ۱۷۸-۱۶۱.

http://doi.org/10.22034/future.2026.24526.1034

© نویسندگان
ناشر: دانشگاه یزد

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم سلوی بهشتی اصل در رشته شهرسازی با راهنمایی نویسنده دوم در دانشگاه هنر اسلامی تبریز است.

مقدمه

شهرها هرگز ایستا نبوده‌اند و نخواهند بود. بر اساس گزارش‌های پیش‌بینی جهانی، اندازه و جمعیت شهرها روزبه‌روز در حال افزایش است. این رشد مداوم، چالش‌هایی همچون افزایش تقاضا و مصرف انرژی، ترافیک، آلودگی، نابسامانی‌های عمومی و همچنین مشکلات متنوع اجتماعی، اقتصادی و سازمانی را به همراه دارد (Pourezzat et al., 2024). یکی از جدی‌ترین نتایج شهرنشینی سریع، کمبود انرژی ناشی از افزایش جمعیت و تخریب محیطزیست است. طبق تحقیقات موجود، شهرها مسئول حدود دو سوم از مصرف انرژی اولیه جهانی هستند (Mouzourides et al., 2017). بنابراین بی‌تردید، مسئله انرژی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و موضوعات بحث‌برانگیز قرن حاضر در سراسر جهان است (نصراللهی، ۱۴۰۱). ازاین‌رو حفظ منابع انرژی برای نسل‌های آینده، هم‌زمان با تأمین نیازهای نسل حاضر، از طریق بهینه‌سازی مصرف انرژی و جایگزینی آن با منابع انرژی نو، امری ضروری و حائز اهمیت است (ملائی و کامیابی، ۱۳۹۹). شهرهای خلاق و پایدار باید بتوانند نیازهای شهروندان در حوزه‌هایی مانند انرژی، مسکن، حمل‌ونقل و زیرساخت را تأمین کنند. در این راستا، شهر هوشمند به عنوان راهبردی کلیدی برای مقابله با فقر، نابرابری و بیکاری و بهره‌گیری از فناوری برای حل چالش‌های شهری، می‌تواند کیفیت زندگی و محیط اجتماعی را بهبود داده و از پیامدهایی مانند ازدحام جمعیت، تخریب محیطزیست و نابسامانی‌های اجتماعی پیشگیری کند (سلیمی امیری، ۱۴۰۲). با توجه به روند نادرست مصرف انرژی در شهرها، وقوع بحران‌های انرژی و زیست‌محیطی در آینده‌ای نزدیک امری دور از انتظار نخواهد بود (قنبری، واعظی و باکویی، ۱۴۰۰). یک طراحی جامع برای شهر هوشمند که تمامی فرآیندهای مرتبط با انرژی را در بر بگیرد و درعین‌حال، ساختار سیستم را در حد امکان کارآمد و قابل مدیریت نگه دارد، گزینه‌ای مطلوب برای پاسخگویی به نیازهای رو به رشد انرژی در شهرهای درحال‌توسعه است (Wang et al., 2021). شهر انرژی هوشمند، به عنوان هسته مفهوم شهر هوشمند، محیطی قابل زیست، مقرون به‌صرفه، دوستدار محیطزیست و جذاب را برای کاربران خود فراهم می‌آورد که از نیازها و منافع کاربران پشتیبانی می‌کند و بر اساس اقتصاد پایدار است (Mosannenzadeh et al., 2017). این شهرها بر اساس اصول صرفه‌جویی در انرژی، کارایی انرژی و یکپارچه‌سازی منابع انرژی تجدیدپذیر پایه‌ریزی شده‌اند و هدف آن‌ها کاهش تقاضای انرژی، بهبود تأمین انرژی خدماتی و ترویج توسعه شهری پایدار است (Noori et al., 2025). با توجه به شرایط فعلی و روندهای آینده، شهرها ناگزیرند برای مواجهه با چالش‌های پیش‌رو به دنبال راه‌حل‌های هوشمند و پایدار باشند. در این چارچوب، شهرهای هوشمند به عنوان رویکردی نوین، نقشه راه توسعه شهری را بر پایه اصول توسعه پایدار و دانش‌محوری ارائه می‌کنند. همچنین، انرژی، پایداری و شهر هوشمند مفاهیمی به‌هم‌پیوسته‌اند که تحقق اهداف آن‌ها مستلزم اتخاذ رویکردی یکپارچه است تا کیفیت زندگی و پایداری شهری برای جمعیتی که به‌طور فزاینده و متراکم در شهرها زندگی می‌کنند، ارتقا یابد. (Tucunduva Philippi Cortese et al., 2022). رشد شتابان شهرنشینی و افزایش تقاضای انرژی، چالش‌های پیچیده‌ای نظیر کاهش منابع، تخریب محیطزیست و افت کیفیت زندگی شهری را رقم زده است. ازآنجاکه شهرها سهم عمده‌ای در مصرف جهانی انرژی دارند، مدیریت بهینه و گذار به منابع تجدیدپذیر، ضرورتی حیاتی برای تضمین پایداری نسل‌های آتی است. در این میان، استراتژی شهر هوشمند با تکیه‌بر فناوری‌های نوین، راهکاری کلیدی برای ارتقای بهره‌وری انرژی و پیشگیری از نابسامانی‌های شهری تلقی می‌شود. با این وجود، علیرغم پیشرفت‌های فناورانه، شکاف تحقیقاتی قابل‌توجهی در زمینه شناسایی و تبیین ابعاد و مؤلفه‌های چندگانه مؤثر بر تحقق کارایی انرژی در شهرهای هوشمند وجود دارد. این فقدان درک جامع، مانعی جدی در مسیر طراحی و پیاده‌سازی استراتژی‌های کارآمد برای دستیابی به شهرهای هوشمند و پایدار است. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف پر کردن این شکاف ادبیات موضوع، به دنبال پاسخ به پرسش زیر است:

– ابعاد و مؤلفه‌های کلیدی مؤثر بر کارایی انرژی در چارچوب مفهوم شهرهای هوشمند کدام‌اند؟

در ادامه به بررسی پژوهش‌های داخلی و خارجی صورت گرفته در ارتباط با شهرهای هوشمند با تأکید بر کارایی انرژی پرداخته‌شده است که به صورت مختصر به این مطالعات اشاره می‌شود:

بیبری[1] و همکاران (۱۴۰۴) نشان دادند که ادغام دوقلوهای دیجیتال با ساختمان‌های صفر انرژی، علاوه بر افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، از طریق تبادل داده‌های لحظه‌ای، دقت تحلیل و پیش‌بینی در مدیریت هوشمند شهری را ارتقا می‌دهد. نوری و همکاران (۱۴۰۴) بیان کردند که ارتقای شمول‌پذیری در توسعه شهر انرژی هوشمند مستلزم تعریف روشن این مفهوم، مشارکت همه ذی‌نفعان از مراحل ابتدایی و شفافیت در اهداف و منافع آن‌هاست. ژانگ، وانگ و لیو[2](۱۴۰۴) نشان دادند که شهرهای هوشمند به بهینه‌سازی ساختار و بهره‌وری انرژی در مناطق مرزی، به ویژه در استان‌های کمتر توسعه‌یافته و مناطق صنعتی و مبتنی بر منابع طبیعی، کمک می‌کنند و در این میان، سرمایه‌گذاری دولت‌های استانی در نظارت هوشمند و اتصال اطلاعاتی تأثیر بیشتری بر کاهش مصرف انرژی نسبت به سرمایه‌گذاری دولت‌های شهری دارد. رضایی‌راد و اکبریان (۱۴۰۴) دستیابی به شهرهای هوشمند و سالم‌تر را وابسته به یکپارچه‌سازی شبکه‌های هوشمند با انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت انرژی مبتنی بر داده و تقویت مشارکت شهروندان می‌دانند. شپیلکو[3](۱۴۰۳) مشارکت جامعه و کمپین‌های آگاهی‌بخشی را از مؤلفه‌های اصلی ترویج شیوه‌های انرژی پایدار در شهرهای هوشمند و همسو با اهداف توسعه پایدار می‌داند. توندیس و ویسنیفسکی[4](۱۴۰۳) نشان دادند که کشورهای تازه عضو اتحادیه اروپا با بهره‌گیری هوشمندانه از منابع مالی، ظرفیت‌های سازمانی و سیاست‌های توسعه‌ای مشترک توانسته‌اند شهرهایی مدرن، هوشمند و انسان‌دوست ایجاد کنند. کین[5] و همکاران (۱۴۰۳) نشان می‌دهند که اجرای پروژه‌های شهر هوشمند در چین با تقویت نوآوری فناورانه و افزایش بهره‌وری کل عوامل سبز، کارایی انرژی را بهبود می‌بخشد و این اثر در شهرهای وابسته به منابع فسیلی و دارای ساختارهای مالی و مالیاتی پیشرفته‌تر، قوی‌تر است. اسفندی و همکاران (۱۴۰۳) بیان کردند که بیشتر مطالعات گذشته بر جنبه‌های فناورانه شهرهای هوشمند تمرکز داشته و چالش‌های سیاست‌گذاری و مقرراتی کمتر موردتوجه قرارگرفته است. فوطه‌بافان، پورمحمدی و حسین‌زاده دلیر (۱۴۰۳) نشان دادند که در کلان‌شهر تبریز، شاخص‌های کالبدی، رضایت و آسایش شهروندان و مدیریت مصرف انرژی بیشترین تأثیر را بر کاهش مصرف انرژی و تحقق پایداری شهری دارند. شیرویه‌پور، مرتضوی و بیات (۱۴۰۲) عوامل مؤثر بر توسعه شهر هوشمند پایدار را با محوریت مدیریت بهینه انرژی شامل اینترنت پرسرعت، تحقیق و توسعه، کلان داده‌ها، هوش مصنوعی، اینترنت اشیای سبز، اقتصاد دورانی، انرژی‌های تجدیدپذیر، حمل‌ونقل هوشمند، ساختمان‌های سبز و سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی شناسایی کرده‌اند. یاراشینسکایا و پروس[6](۱۴۰۱) نشان می‌دهند که در طرح‌های توسعه شهری لهستان، مفهوم انرژی هوشمند عمدتاً بر انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌وری انرژی، فناوری‌های صرفه‌جویی و امنیت انرژی متمرکز بوده و بیشتر در بخش‌هایی مانند ساختمان، حمل‌ونقل، روشنایی و تولید انرژی موردتوجه قرارگرفته است. دانگ[7] و همکاران (۱۴۰۱) نشان می‌دهند که سیاست شهر هوشمند از طریق تقویت سطح هوشمندی شهر و افزایش نوآوری، به بهبود کارایی انرژی عوامل زیست‌محیطی شهری منجر می‌شود و مشارکت

1Bibri
2Zhang, Wang & Liu
3Szpilko
4Tundys & Wi´sniewski
5Qin
6Yarashynskaya & Prus
7Dong

عمومی و شرایط مناسب بازار این اثر را تقویت می‌کنند. کیم[1]و همکاران (۱۴۰۰) توسعه فناوری‌های پایش، تشخیص و کنترل انرژی، به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند مدیریت انرژی و پیاده‌سازی شبکه‌های انرژی یکپارچه شهری را برای بهبود رفتار مصرف‌کننده و الگوهای مصرف انرژی در شهرهای هوشمند پایدار مؤثر می‌دانند. وانگ[2]و همکاران (۱۴۰۰) نشان می‌دهند که برنامه‌ریزی بهره‌وری انرژی در شهرهای هوشمند با بهره‌گیری از راهبردهای اولیه و ثانویه، امکان انتخاب بهینه‌ترین گزینه‌ها را بر اساس پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی فراهم می‌کند. هاجدوک و ژلونک[3](۱۴۰۰) رایج‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوزه انرژی شهری، شامل TOPSIS، AHP و DEA را شناسایی کردند و نشان دادند که روش TOPSIS برای رتبه‌بندی شهرها مؤثر است، به طوری که پورتو بالاترین و بوئنوس‌آیرس پایین‌ترین رتبه را کسب کرده‌اند. یو و ژانگ[4](۱۳۹۸) نشان دادند که اجرای سیاست شهر هوشمند در چین تأثیر مثبت و معناداری بر بهره‌وری انرژی داشته، هرچند این اثر در میان مناطق مختلف با ناهمگونی همراه بوده است. مرادی (۱۳۹۸) نشان می‌دهد که در پژوهش‌های جهانی حوزه شهر هوشمند، بیشترین توجه به زیرساخت فناوری اطلاعات هوشمند بوده و پس‌ازآن موضوعاتی مانند حکمرانی، محیط و شهرسازی، حمل‌ونقل، انرژی، اقتصاد و شهروند هوشمند بیشترین استناد را داشته‌اند. همچنین، طبق اطلس جغرافیایی، چین بر زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، اسپانیا بر شهروند و انرژی هوشمند و ایتالیا بر حکمرانی، حمل‌ونقل و محیط هوشمند تمرکز بیشتری داشته‌اند. موسننزاده[5]و همکاران (۲۰۱۷) توسعه شهرهای انرژی هوشمند را در قالب چارچوبی عملیاتی تبیین کرده و اهداف، حوزه‌های مداخله، ذی‌نفعان، مقیاس‌های زمانی و مکانی و شیوه‌های اجرای سیاست‌ها و پروژه‌های مرتبط را مشخص کرده‌اند. یامامورا، فن و سوزوکی[6](۱۳۹۶) با معرفی سامانه برنامه‌ریزی انرژی شهری مبتنی بر GIS-BIM نشان دادند که تلفیق تحلیل‌های مکانی، طراحی بهینه سیستم انرژی و مدل‌سازی سه‌بعدی می‌تواند در بازآفرینی زیرساخت‌های شهری و دستیابی به راهکارهای بهینه فنی و سیاستی برای شهرهای هوشمند مؤثر باشد. علیرغم رشد روزافزون مطالعات پیرامون نقش شهرهای هوشمند در مدیریت انرژی، خلأ پژوهشی مشهودی در تدوین یک چارچوب جامع که ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر بر بهره‌وری انرژی تبیین نماید، به چشم می‌خورد. در ادبیات موجود، فقدان دسته‌بندی سلسله‌مراتبی این مؤلفه‌ها در مقیاس‌های کلان، میانی و خرد، مانعی برای اتخاذ استراتژی‌های عملیاتی محسوب می‌شود. لذا پژوهش حاضر با هدف رفع این شکاف نظری، ضمن شناسایی ابعاد و مؤلفه‌های کلیدی بهره‌وری انرژی، برای نخستین بار آن‌ها را در قالب یک چارچوب مفهومی جامع در سه سطح کلان، میانی و خرد طبقه‌بندی و ارائه می‌نماید.

مبانی نظری

شهر انرژی هوشمند

انرژی، به عنوان زیربنای تمامی فعالیت‌های شهری، از تنوع گسترده‌ای برخوردار است؛ به طوری که منابع انرژی به دو دسته تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر تقسیم می‌شوند. در دهه‌های اخیر، در راستای ترویج فرهنگ مصرف بهینه، مفاهیمی چون انرژی سبز با هدف کاهش اثرات زیست‌محیطی و انرژی پایدار با تمرکز بر حفظ منابع برای نسل‌های آتی به ادبیات تخصصی راه‌یافته‌اند. در این میان، مفهوم انرژی هوشمند به دلیل ارائه رویکردی جامع و یکپارچه، از جایگاه متمایزی

1Kim
2Wang
3Hajduk & Jelonek
4Yu & Zhang
5Mosannenzadeh
6Yamamura, Fan and Suzuki

برخوردار است. انرژی هوشمند با هم‌افزایی میان منابع تجدیدپذیر، بهره‌گیری از راهکارهای پایدار و مدیریت سبز، بستری را فراهم می‌آورد تا ضمن تأمین نیازهای انرژی، ضمن به حداقل رساندن مخاطرات زیست‌محیطی، پایداری بلندمدت منابع انرژی تضمین گردد (شیرزاد، ۱۴۰۱). به عبارتی هرگونه انرژی سنتی، انرژی پاک، انرژی سبز، انرژی پایدار و انرژی تجدیدپذیر با کمک فناوری اطلاعات و ارتباطات و بخش‌های اینترنت اشیاء منجر به ایجاد انرژی هوشمند می‌شود که این امر می‌تواند در جهت مدیریت بهتر منابع انرژی بهینه باشد و نیز شبکه هوشمند الکتریکی در شهرهای هوشمند جهانی شامل کنتورها، تجهیزات، منابع انرژی تجدیدپذیر و منابع کارآمد انرژی است (عبادی نژاد، طاهری دمنه و ذاکری، ۱۴۰۰). به عبارتی انرژی هوشمند به عنوان یک سیستم انرژی الکتریکی هوشمند توصیف می‌شود که تمامی خدمات و مصرف‌کنندگان نهایی را از طریق یک زیرساخت هوشمند به هم متصل می‌کند. (RezaeiRad & Akbarian, 2025).

بهره‌وری انرژی در شهرهای هوشمند

شهرهای هوشمند معمولاً مراکز شهری هستند که چندین رویکرد خلاقانه را برای افزایش کارایی زیرساخت‌ها به منظور دستیابی به توسعه شهری پایدار ترکیب می‌کنند (Nathali Silva, Khan, & Han, 2018). ویژگی کلیدی این نوع شهرها به ویژه پذیرش فناوری‌های شهر هوشمند و استفاده از منابع به منظور افزایش کیفیت خدمات و برآوردن نیازهای افراد خاص است (Appio, Lima, & Paroutis, 2019). با این حال، یک شهر هوشمند به محیط‌های شهری موجود وابسته است و منابع موردنیاز برای بهبود زندگی اقتصادی و اجتماعی افراد را طراحی می‌کند (Molinsky & Forsyth, 2018). یک شهر هوشمند مجموعه‌ای از زیرساخت‌هاست که هدف مشترک آن بهبود اهداف مختلف، نظیر برق، حمل‌ونقل و خدمات عمومی است که اساس کارآمدی، تاب‌آوری و ارتباطات یک جامعه را تشکیل می‌دهند (Baskar, 2019). توسعه شهرهای هوشمند و سیستم‌های هوشمند باید با هدف بهبود کیفیت زندگی شهری انجام شود، به ویژه از طریق شناسایی تغییرات ناشی از رشد جمعیت در کلان‌شهرها. مزایای فناوری‌های دیجیتال می‌توانند برای ارتقای سلامت ساکنان مناطق شهری مورداستفاده قرار گیرند. رویکردهای هوشمند تلاش دارند با بهبود ارائه خدمات و تغییر الگوهای رفتاری، بهره‌وری مصرف انرژی را افزایش داده و میزان مصرف را کاهش دهند (Wang et al., 2021). تولید انرژی، ساختمان‌های هوشمند، سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند و خدمات شهری هوشمند همگی به عنوان عوامل کلیدی و اساسی در توسعه شهرهای هوشمند پایدار شناخته می‌شوند(Chen & Chen, 2018) . تقاضا برای منابع در شهرها هم‌زمان پویا و متنوع است. ازاین‌رو، شهرهای هوشمند باید سامانه‌هایی به‌روز طراحی کنند که امکان بهره‌گیری هماهنگ از تکنیک‌های نوآورانه مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر را فراهم آورند (Jegadeesan, et al., 2019).

روش پژوهش

پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تبیین ابعاد و مؤلفه‌های کلیدی مؤثر بر کارایی انرژی در چارچوب مفهوم شهرهای هوشمند، از روش‌شناسی کیفی مبتنی بر مرور ادبیات استفاده کرده است. فرآیند جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر بین‌المللی مانند Web of Science، Scopus، Elsevier، Google Scholar و داخلی مانند مگیران، پایگاه مرکز اطاعات علمی جهاد دانشگاهی، ایرانداک و علم‌نت صورت گرفته است. کلیدواژه‌های شاخص پژوهش شامل "شهر هوشمند، انرژی" می‌باشد. برای کلیدواژه‌های فرعی نیز برای تسهیل فرآیند کلمه "شهر انرژی هوشمند" و در جهت تحلیل بهتر و کم شدن ضریب خطا از کلمات AND و OR استفاده‌شده است. و جامعه آماری شامل مقالات منتشرشده بین سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۴ در زبان فارسی و ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۵ در زبان انگلیسی می‌باشد. در مرحله بعد، مطالعات بازیابی

شده بر اساس مرتبط بودن موضوعی، انتشار در مجلات علمی- پژوهشی، دسترسی به متن کامل و بازه زمانی انتشار ارزیابی و گزینش‌شده‌اند. بنابراین طبق چک‌لیست پریزما[1] ۱۹ مورد مقاله وارد فرآیند تحلیل‌شده که ۱۶ مورد آن‌ها به زبان انگلیسی و ۳ مورد آن‌ها به زبان فارسی می‌باشند. سپس، اطلاعات مرتبط با ابعاد و مؤلفه‌های مربوط به کارایی انرژی در شهرهای هوشمند از مقالات منتخب استخراج گردیده است. علاوه بر مرور ادبیات، جهت غنای بیشتر پژوهش و درک عمیق‌تر از کاربردهای عملی، تجارب خارجی و داخلی موردبررسی واقع‌شده و در نهایت با استفاده از مقالات و تجارب، چارچوب جامعی از ابعاد و مؤلفه‌ها ارائه‌شده است.

یافته‌ها

در این بخش از پژوهش حاضر، در مرحله اول مطالعات پیشین با هدف استخراج و دسته‌بندی ابعاد و مؤلفه‌های به‌کاررفته در هر پژوهش، مورد تحلیل و بررسی قرارگرفته است. سپس جهت ارائه ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر و پرتکرار، پیشینه پژوهش در جدول ۱ جمع‌بندی شده است.

جدول ۱. جمع‌بندی ابعاد و مؤلفه‌های شهرهای هوشمند با تأکید بر کارایی انرژی بر اساس پیشینه پژوهش

مقیاس	ابعاد	مؤلفه‌ها	منابع
کلان (شهر)	ساختار انرژی	سهم انرژی‌های غیر فسیلی	(Zhang, Wang, and Liu., 2025), (Qin et al., 2024), (Hajduk and Jelonek, 2021), (Yu and Zhang, 2019), (Yamamura, Fan, and Suzuki, 2017) (فوطه‌بافان، پورمحمدی و حسین‌زاده دلیر، ۱۴۰۳)، (شیرویه‌پور، مرتضوی، بیات، ۱۴۰۲)، (مرادی، ۱۳۹۸)
	نهاد سرمایه‌گذار	دولت استانی و شهری	(Zhang, Wang, and Liu., 2025), (Qin et al., 2024), (Esfandi et al., 2024)
	فضایی	دسترسی فیزیکی به خدمات، توزیع زیرساختی برابر	(Noori et al., 2025), (Yarashynskaya and Prus., 2022)
	اجتماعی	توانمندسازی اجتماعی	(Noori et al., 2025), (RezaeiRad, Akbarian., 2025), (Tundys and Wi´sniewski, 2024), (Esfandi et al., 2024), (Yarashynskaya and Prus., 2022), (Dong et al., 2022), (Mosannenzadeh et al., 2017) (فوطه‌بافان، پورمحمدی و حسین‌زاده دلیر، ۱۴۰۳)، (مرادی، ۱۳۹۸)
	اقتصادی	استطاعت مالی عدالت در هزینه‌ها مالکیت انرژی	(Noori et al., 2025), (Tundys and Wi´sniewski, 2024), (Esfandi et al., 2024), (Dong et al., 2022), (Wang et al., 2021), (Yu and Zhang, 2019) (شیرویه‌پور، مرتضوی، بیات، ۱۴۰۲)، (مرادی، ۱۳۹۸)
	زیست‌محیطی	مصرف پایدار منابع	(Noori et al., 2025), (Szpilko et al., 2024), (Tundys and Wi´sniewski, 2024), (Qin et al., 2024), (Esfandi et al., 2024), (Yarashynskaya and Prus., 2022), (Kim et al., 2021), (Wang et al., 2021), (Hajduk and Jelonek, 2021), (Mosannenzadeh et al., 2017), (Yamamura, Fan, and Suzuki, 2017) (شیرویه‌پور، مرتضوی، بیات، ۱۴۰۲)، (مرادی، ۱۳۹۸)
	سیاسی	مشارکت در تصمیم‌گیری، شفافیت و اطلاعات	(Noori et al., 2025), (Qin et al., 2024), (Esfandi et al., 2024), (Yu and Zhang, 2019), (Mosannenzadeh et al., 2017) (فوطه‌بافان، پورمحمدی و حسین‌زاده دلیر، ۱۴۰۳)، (مرادی، ۱۳۹۸)
	فناوری اطلاعات و ارتباطات	اینترنت اشیاء داده‌های بزرگ سنسورها و ابزارهای هوشمند	(RezaeiRad, Akbarian., 2025), (Szpilko et al., 2024), (Qin et al., 2024), (Esfandi et al., 2024), (Yu and Zhang, 2019), (Mosannenzadeh et al., 2017), (Yamamura, Fan, and Suzuki, 2017) (فوطه‌بافان، پورمحمدی و حسین‌زاده دلیر، ۱۴۰۳)، (شیرویه‌پور، مرتضوی، بیات، ۱۴۰۲)، (مرادی، ۱۳۹۸)
	نوآوری	ظرفیت نوآوری و تحریک رشد فنّاورانه	(Qin et al., 2024), (Dong et al., 2022), (Mosannenzadeh et al., 2017)

1PRISMA

خرد (ساختمان)	فنی	سیستم‌های سایبر–فیزیکی، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، مدیریت اطلاعات ساختمان، مدل‌سازی پیش‌بینی و شبیه‌سازی دیجیتال	(Elias Bibri et al., 2025), (RezaeiRad, Akbarian., 2025), (Szpilko et al., 2024), (Qin et al., 2024), (Esfandi et al., 2024), (Yarashynskaya and Prus., 2022), (Dong et al., 2022), (Kim et al., 2021), (Mosannenzadeh et al., 2017), (Yu and Zhang, 2019), (Yamamura, Fan, and Suzuki, 2017) (فوطه‌بافان، پورمحمدی و حسین‌زاده دلیر، ۱۴۰۳)، (شیرویه‌پور، مرتضوی، بیات، ۱۴۰۲)، (مرادی، ۱۳۹۸)
	کارکردی	بهره‌وری انرژی	(Elias Bibri et al., 2025)
		راحتی حرارتی و ساکنین	
		خودکفایی انرژی	
	کالبدی– فضایی	طراحی میکروکلیما شهری	(Esfandi et al., 2024)
		توسعه فشرده شهری	
	حمل‌ونقل و جابجایی	سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند، وسایل نقلیه (الکتریکی و خودران، سیستم‌های شارژ هوشمند وV2G ، اشتراک‌گذاری وسایل نقلیه و پارکینگ هوشمند)	(Esfandi et al., 2024), (Szpilko et al., 2024), (Tundys and Wi´sniewski, 2024), (Kim et al., 2021), (Wang et al., 2021), (Yarashynskaya and Prus., 2022), (Yu and Zhang, 2019), (Mosannenzadeh et al., 2017) (شیرویه‌پور، مرتضوی، بیات، ۱۴۰۲)، (مرادی، ۱۳۹۸)
	کیفیت محیطی	رضایت و آسایش شهروندان	(RezaeiRad, Akbarian., 2025), (Noori et al., 2025) (فوطه‌بافان، پورمحمدی و حسین‌زاده دلیر، ۱۴۰۳)، (مرادی، ۱۳۹۸)
	سیستم‌های انرژی هوشمند و مدیریت ساختمان‌ها	ساختمان‌های هوشمند	(RezaeiRad, Akbarian., 2025), (Szpilko et al., 2024), (Esfandi et al., 2024), (Yarashynskaya and Prus., 2022), (Kim et al., 2021), (Mosannenzadeh et al., 2017), (Yamamura, Fan, and Suzuki, 2017) (شیرویه‌پور، مرتضوی، بیات، ۱۴۰۲)، (فوطه‌بافان، پورمحمدی و حسین‌زاده دلیر، ۱۴۰۳)
	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان	مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان‌ها و شبیه‌سازی مصرف انرژی در مقیاس ساختمان	(Yamamura, Fan, and Suzuki, 2017)
		ارائه داده‌های ساختمانی دقیق	
	پایداری محیطی	کاهش انتشار کربن	(Elias Bibri et al., 2025), (RezaeiRad, Akbarian., 2025), (Szpilko et al., 2024), (Tundys and Wi´sniewski, 2024), (Wang et al., 2021), (Hajduk and Jelonek, 2021), (Kim et al., 2021), (Yu and Zhang, 2019), (Mosannenzadeh et al., 2017) (شیرویه‌پور، مرتضوی، بیات، ۱۴۰۲)
		طراحی کم‌مصرف و سازگار با اقلیم	
		استفاده از انرژی‌های پاک	
		ساختمان‌های سبز و هوشمند	

در ادامه جهت اینکه ابعاد و مؤلفه‌های جامع‌تری ارائه شود علاوه بر پیشینه مقالات به بررسی تجارب داخلی و خارجی موفق و ناموفق نیز پرداخته‌شده تا چارچوب مفهومی جامع‌تری از ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر بر کارایی انرژی در شهرهای هوشمند به دست آید علاوه بر آن به صورت خلاصه به سیاست‌های هر شهر در راستای هوشمند سازی با تأکید بر مصرف بهینه انرژی نیز ارائه‌شده است (جدول ۲).

جدول ۲. ابعاد، مؤلفه‌ها و سیاست‌های هر شهر در راستای هوشمند سازی با تأکید بر مصرف بهینه انرژی

شهرها	مقیاس‌ها	ابعاد	مؤلفه‌ها	سیاست‌ها	منابع
مصدر (ابوظبی، امارات متحده عربی)	کلان (شهر)	فضایی– کالبدی	فرم شهر	✓ توسعه ساختار فشرده با بهره‌گیری از باد غالب برای تهویه طبیعی	(Reiche, 2010), (D'Eramo, 2021), (Time Out Abu Dhabi, 2024), (Riva Sanseverino, Riva Sanseverino, Vaccaro, Macaione, &
			طراحی اقلیمی	✓ برج بادی (باز تفسیر مدرنی از بادگیرهای سنتی عربی)	
			شهر فشرده	✓ طراحی شهر بر پایه مطالعات اقلیمی ✓ استفاده از درخت‌کاری برای سایه‌اندازی ✓ حذف خودروهای شخصی در مناطق مرکزی ✓ طراحی یک دیوار محافظ پیرامونی، به منظور کاهش اثرات گرمای شدید ناشی از مجاورت با اقلیم بیابانی و نیز جهت مهار آلودگی صوتی ناشی از نزدیکی به فرودگاه ابوظبی	
		انرژی	تولید و مدیریت	✓ بهره‌برداری از پنل‌های خورشیدی، توربین‌های بادی و فناوری‌های	

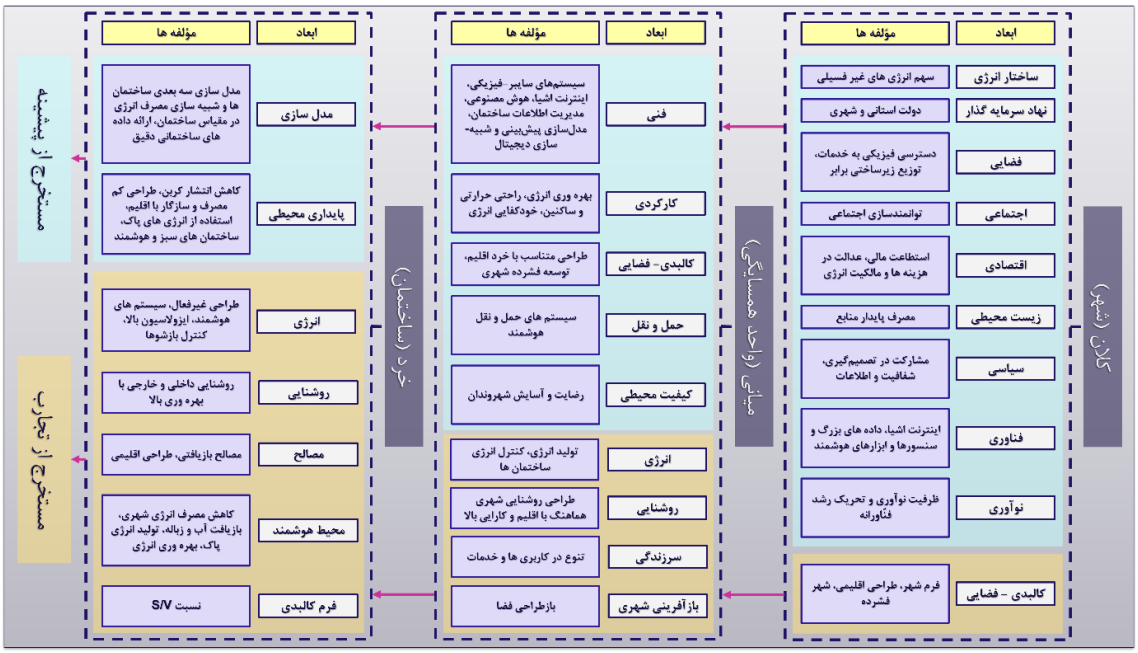
		انرژی تجدیدپذیر ادغام انرژی خورشیدی	نوین بهره‌وری انرژی در فضاهای شهری ✓ سرمایه‌گذاری دولتی و خصوصی در فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر ✓ اولویت توسعه فناوری خورشیدی ✓ سیاست‌گذاری برای استقلال انرژی	Anello, 2017), (Masdar City, Sustainable Design, 2025), (مرادیان، ۱۳۹۵)
		حمل‌ونقل	سیستم حمل‌ونقل هوشمند و بدون آلایندگی کاهش خودروهای شخصی	✓ توسعه ناوگان حمل‌ونقل هوشمند برقی ✓ ممنوعیت عبور خودروهای شخصی در مرکز شهر ✓ اولویت سرمایه‌گذاری بر حمل‌ونقل عمومی بدون آلایندگی ✓ استفاده از حمل‌ونقل عمومی رایگان ✓ استفاده از سوخت پاک برای تمام وسایط نقلیه ✓ وجود واحدهای همسایگی مختلط که شامل کاربری‌هایی جهت تأمین نیازهای روزمره در مجاورت خود می‌باشند.	
		مدیریت شهری	مدیریت با مشارکت تمرکز بر نوآوری و فناوری	✓ تدوین سیاست‌ها بر اساس فناوری‌های نوین ✓ ایجاد مراکز تحقیقاتی برای ارتقای بهره‌وری انرژی ✓ نهادسازی فنّاورانه برای پایش مصرف انرژی ✓ استفاده از زیرساخت‌های سبز در کف معابر برای تصفیه هوا ✓ استفاده از درخت‌های الکترونیکی	
میانی (واحد همسایگی)		فضایی-کالبدی	سازمان‌دهی مبتنی بر واحد محله‌ای فضای عمومی متناسب با اقلیمی	✓ استفاده از فرم حیاط‌محور جهت بهره‌گیری از تهویه طبیعی ✓ طراحی ساختمان‌ها در کنار هم‌جهت کاهش جذب گرمای خورشیدی و راحتی عابرین پیاده ✓ طراحی میدانچه‌ها و فضاهای عمومی با سیستم خنک‌کنندگی طبیعی ✓ تعبیه سازه‌های سایه‌ساز مانند بادگیرها و کلونادها ✓ استفاده از بالکن‌های دارای سطوح و شیشه‌های موج‌دار (عملکردی مشابه صفحات سنتی مشربیه در معماری عربی) ✓ تغییر در زوایای جداره‌های ساختمانی جهت کاهش شدت تابش نور مستقیم	
		انرژی	تولید انرژی کنترل انرژی ساختمان‌ها	✓ طراحی مجتمع‌های مسکونی با سامانه انرژی تجدیدپذیر ✓ یکپارچه‌سازی سامانه‌های تولید انرژی با طراحی کالبدی ✓ استفاده از سامانه‌های مدیریت انرژی	
		روشنایی	طراحی روشنایی شهری هماهنگ با اقلیم و کارایی بالا	✓ بهره‌گیری از نورهای کم‌مصرف ✓ طراحی نورپردازی برای کاهش آلودگی نور و افزایش امنیت ✓ استفاده از سیستم‌های کنترل خودکار بر اساس حضور افراد در فضاهای شهری	
خرد (ساختمان)		انرژی	طراحی غیرفعال سیستم‌های هوشمند ایزولاسیون بالا کنترل بازشو	✓ طراحی معماری منطبق با اقلیم ✓ بهره‌گیری از فناوری‌های کنترل هوشمند مصرف انرژی (سیستم‌های هوشمند گرمایشی و سرمایشی (HVAC) با بازدهی بالا) ✓ عایق‌کاری حرارتی با مصالح نوین ✓ کنترل موقعیت پنجره‌ها و درصد بازشوها و سایه‌بان‌ها برای تنظیم روشنایی و تهویه	
		روشنایی	روشنایی داخلی و خارجی با بهره‌وری بالا نور طبیعی حداکثری	✓ اولویت طراحی روشنایی طبیعی ✓ کنترل نور مصنوعی از طریق سنسورهای حرکتی و نوری ✓ نصب سیستم‌های روشنایی کم‌مصرف در فضاهای داخلی و خارجی	
		مصالح و محیطزیست	مصالح بازیافتی طراحی اقلیمی	✓ اولویت با مصالح سبز (نیمکت‌ها و سایر سازه‌ها) ✓ الزام استفاده از مواد کم کربن در ساخت‌وساز ✓ آلومینیوم به‌کاررفته در ساخت ورق‌ها، قاب پنجره‌ها و درها از منابع بازیافتی ✓ چوب مصرفی از منابع دارای گواهی پایداری ✓ تولید میلگردهای فولادی از ضایعات فلزی ✓ استفاده از سیستم جامع برای بازیافت زباله‌ها	
کلان (شهر)		انرژی	انرژی تجدیدپذیر	✓ استفاده از انرژی بادی، خورشیدی، سوخت زیستی برای کل شهر ✓ استفاده از نور خورشید و گاز جمع‌آوری‌شده از ضایعات فاضلاب جهت استفاده در بلوک‌های مسکونی در گرمایش و برق	(Davies & Frederiksen, 2008), (Arup, 2008), (Head & Lawrence, 2008), (Cheng & Hu,
		اقلیم و محیطزیست	کربن صفر	✓ طراحی بر اساس مدل کربن صفر	

					2010), (Prasad, et al., 2009), (Chang & Sheppard, 2013)
	میانی (واحد همسایگی)	فضایی–کالبدی	فشردگی شهر	✓ استفاده از فرم فشرده شهری با حفظ فضاهای باز	
		کاربری و فعالیت‌ها	تنوع کاربری	✓ تأمین اشتغال ساکنین ✓ کاهش فاصله سفرها	
		حمل‌ونقل	کاهش خودرو	✓ اولویت دوچرخه و حمل‌ونقل عمومی ✓ کنترل آلودگی صوتی و سیستم حمل‌ونقل	
	خرد (ساختمان)	ساختمان سبز	صرفه‌جویی انرژی	✓ طراحی غیرفعال و بهره‌گیری از تهویه طبیعی و انرژی ضایعات ✓ جهت‌گیری مناسب ساختمان‌ها برای بهره‌گیری از انرژی خورشیدی ✓ نصب سلول‌های فتولتائیک بر روی ساختمان‌ها ✓ ایجاد بام سبز	
	کلان (شهر)	زیست‌محیطی	کاهش سیلاب‌های شهری	✓ ایجاد گذرگاه‌های سبز ✓ افزایش فضای سبز ✓ استفاده از مخازن آب برای کنترل سیلاب ✓ استفاده از زیرساخت‌های نوین برای مدیریت رواناب شهری	(Barcelona, 2025), (Veloso, Fonseca, & Ramos, 2024)
			کاهش اثرات تغییرات اقلیمی	✓ شامل تقریباً ۱۸۰۰ حسگر است تا شاخص‌های زیست‌محیطی را در زمان واقعی اندازه‌گیری کند.	
	میانی (واحد همسایگی)	حمل‌ونقل	حمل‌ونقل هوشمند	✓ طراحی شبکه حمل‌ونقل عمومی بر اساس یک الگوی شبکه‌ای متعامد ✓ استفاده از اتوبوس‌های هیبریدی ✓ سرمایه‌گذاری در توسعه و بهبود مسیرهای دوچرخه‌سواری و راه‌اندازی سیستم اشتراک‌گذاری دوچرخه در نزدیکی مراکز حمل‌ونقل عمومی و پارکینگ‌ها ✓ استفاده از اپلیکیشن‌ها برای ارائه اطلاعات لحظه‌ای درباره وضعیت ترافیک و ارائه خدمات اشتراک‌گذاری دوچرخه	
پارسلونا	خرد (ساختمان)	محیط هوشمند	کاهش مصرف انرژی شهری	✓ کاهش ۴۰٪ انتشار کربن ✓ استفاده از داده‌ها برای بهینه‌سازی مصرف ✓ استفاده از کنتورهای هوشمند، شبکه‌های حسگر و سیستم‌های کنترل خودکار ✓ استفاده از منابع انرژی متمرکز حاصل از احتراق زباله‌های شهری برای تأمین گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها	
هلسینکی	کلان (شهر)	اقلیم و محیط‌زیست	کاهش انتشار کربن	✓ اجرای Climate Watch و پروژه Climate Street	(Encyclopædia Britannica, 2025), (Veloso, Fonseca, & Ramos, 2024)
	میانی (واحد همسایگی)	حمل‌ونقل	حمل‌ونقل هوشمند	✓ افزایش استفاده از فناوری‌های نوین حمل‌ونقل جهت کاهش مصرف انرژی ✓ استفاده از ایستگاه‌های شارژ برای خودروهای الکتریکی	
	خرد (ساختمان)	محیط هوشمند	پروژه Kalasatama	✓ خانه‌های هوشمند با انرژی تجدیدپذیر ✓ اتوماسیون خانگی در مدیریت انرژی	
مدلین	کلان (شهر)	انرژی	صرفه‌جویی انرژی	✓ استفاده از تهویه طبیعی، فناوری تبدیل ضایعات به انرژی	(Encyclopædia Britannica, 2025), (Veloso, Fonseca, & Ramos, 2024)
	میانی (واحد همسایگی)	حمل‌ونقل هوشمند	یکپارچه‌سازی سیستم حمل‌ونقل عمومی	✓ اتصال مناطق کم‌درآمد به مرکز با پله‌های برقی و متروکابل ✓ نصب حسگرهای هوشمند در چراغ‌های راهنمایی و سیستم‌های پایش ترافیک	
	خرد (ساختمان)	محیط هوشمند	سیستم SIATA	✓ هشدار سریع برای تغییرات اقلیمی ✓ آموزش در زمینه پایداری و افزایش آگاهی زیست‌محیطی	
سنگاپور	کلان (شهر)	اقلیم و محیط‌زیست	کاهش گازهای گلخانه‌ای	✓ سیاست اقلیمی ملی و برنامه Green Plan ✓ پیشگام در شهرسازی بیوفیلیک ✓ محیط شهری فشرده ✓ استفاده از انرژی خورشیدی ✓ اجرای پروژه‌های مدیریت و کنترل سیلاب	(Encyclopædia Britannica, 2025), (Veloso, Fonseca, & Ramos, 2024)
	میانی (واحد همسایگی)	حمل‌ونقل هوشمند	کاهش مصرف سوخت فسیلی	✓ طرح قیمت‌گذاری الکترونیکی جاده‌ها ✓ نرخ‌های بالای مالیات برای خودروهای جدید ✓ حمل‌ونقل یکپارچه ✓ وجود کارت هوشمند برای انواع مختلف حمل‌ونقل که داده‌های سفر را جمع‌آوری کرده و می‌توان از آن‌ها برای بهبود خدمات حمل‌ونقل عمومی	

				استفاده کرد. ✓ استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌ای همچون دستگاه‌های الکترونیکی که زمان عبور پیاده‌روها را افزایش داده و به رانندگان هشدار دهد تا از حضور پیاده‌ها در شب مطلع شوند تا ایمنی کاربران آسیب‌پذیر افزایش دهند. ✓ اتخاذ رویکردی غیر مداخله‌ای در تنظیم فناوری‌های حمل‌ونقل نوآورانه و اشتراک‌گذاری سفرها تا به کشور امکان بهره‌برداری از این نوآوری‌ها را بدهد.	
	خرد (ساختمان)	محیط هوشمند	بازیافت آب و زباله	✓ شیرین‌سازی آب ✓ بازیافت زباله ✓ سیستم‌های پایش هوشمند ✓ استفاده از سیستم‌های روشنایی کم‌مصرف و مدیریت کارآمد انرژی در منازل	
نیوگیزا	کلان (شهر)	فضایی-کالبدی	فشردگی و تراکم	✓ ساخت در قالب با کاربری مختلط در ۲۶ هکتار ✓ پاسخ به نیازهای ساکنان در درون ناحیه مختلط (در مدت ده دقیقه به‌طور کامل قابل پیاده‌روی است).	(Gensler, 2013), (NewGiza, 2011), (Youssef & Mohamed, 2013), (IDRC & Abdel-Gawad, 2011)
		خدمات شهری	پوشش متنوع خدمات		
	میانی (واحد همسایگی)	طراحی منظر	کیفیت زندگی	✓ حفظ مناظر طبیعی و جذابیت دیداری ✓ درختان در دو طرف خیابان‌ها چیده شده‌اند و فضاهای عمومی با تعداد قابل‌توجهی درخت و سایه‌انداز مصنوعی تجهیز شده‌اند تا دمای محیط را تعدیل کنند.	
		سیستم حمل‌ونقل	پیاده‌مداری	✓ ایجاد سایبان‌هایی برای مسیرهای پیاده‌روی در مسیرهای اصلی به منظور تشویق به پیاده‌روی است. ✓ کاهش وابستگی به خودرو ✓ افزایش رفاه زیستی	
	خرد (ساختمان)	فرم کالبدی	نسبت S/V	✓ با افزایش میانگین ارتفاع ساختمان‌ها، میزان سایه‌اندازی بر مسیرها و بدنه‌های ساختمانی را افزایش داده‌اند. ✓ کاهش میزان تابش مستقیم خورشید به سطوح ساختمان‌ها ✓ کاهش مصرف انرژی برای سرمایش داخلی و افزایش راحتی حرارتی فضای باز ✓ اغلب ساختمان‌ها رنگ‌های روشن دارند که سطوح با ضریب بازتاب نور بالایی را ایجاد می‌کنند.	
خیابان Bird در لندن	کلان (شهر)	هوشمند سازی	پایداری شهری	✓ تلفیق انرژی و عملکرد محیطی در فضاهای عمومی	(Lynch, 2017), (Ridden, 2017)
	میانی (واحد همسایگی)	بازآفرینی شهری	بازطراحی فضا	✓ تبدیل فضای بلااستفاده به فضای عمومی ✓ ایجاد محیط آرام، دل‌پذیر و قابل‌استفاده برای عموم	
		طراحی تجربه	کیفیت استفاده از فضا	✓ خلق فضای شهری دعوت‌کننده و امن	
	خرد (ساختمان)	زیست‌محیطی	تولید انرژی پاک	✓ تبدیل گام‌های عابران پیاده به انرژی الکتریکی ✓ حذف آلاینده‌های هوا بدون مصرف انرژی الکتریکی	
		طراحی خیابان	بهره‌وری انرژی	✓ تأمین برق روشنایی‌ها، تجهیزات الکتریکی نزدیک به محل نصب همچون نیروی فرستنده‌های بلوتوثی و بلندگوهای مخفی که صدای طبیعی پرندگان را پخش می‌کنند.	
آمستردام	کلان (شهر)	زیست‌محیطی	کاهش انتشار کربن	✓ اجرای طرح "اقلیم جدید آمستردام" ✓ پشتیبانی مالی از پروژه‌های کم کربن	(European Investment Bank, 2012), (World Economic Forum, 2020)
		سیاست مالی	تأمین منابع		
	میانی (واحد همسایگی)	زیرساخت انرژی	انرژی پاک	✓ از انرژی گرمایی باقیمانده نیروگاه‌های تولید برق مستقر در داخل و حومه شهر برای تأمین حرارت موردنیاز واحدهای مسکونی استفاده می‌شود. ✓ از سرمای زمستانی نیز به عنوان منبعی جهت خنک‌سازی محیط در فصل‌های گرم سال به کار گرفته می‌شود.	
		حمل‌ونقل پایدار	کاهش وابستگی به خودرو	✓ ایجاد خطوط ویژه دوچرخه در کنار ایستگاه‌های قطار	
	خرد (ساختمان)	مدیریت مصرف	روشنایی و شارژ	✓ استفاده از فناوری سنجش لحظه‌ای مصرف (یک اپلیکیشن موبایل به کاربران این امکان را می‌دهد تا محل کار خود را شخصی سازی کنند، نور و دما را متناسب با نیاز خود تنظیم نمایند و به صورت مداوم سطوح صدا و کیفیت هوا را اندازه‌گیری کنند تا به شرایط مطلوب دست یابند.) ✓ EDGE Olympic به عنوان نخستین ساختمان در هلند موفق به	

				دریافت گواهینامه WELL Core & Shell Platinum شده و دارای برچسب انرژی سطح A می‌باشد. ✓ نوسازی و ساخت دفاتر Vivaldi I و II که منجر به صرفه‌جویی بیش از ۷۰٪ در انرژی موردنیاز جهت روشنایی شد. این پروژه، برنده جایزه "چراغ سبز" گروه اروپا شد. ✓ توسعه Gershwin که فقط شامل خانه‌های کم‌مصرف با ضریب عملکرد انرژی (EPC) حدود ۲۰-۱۰ درصد کمتر از الزام قانونی ۰٫۸ استاندارد خواهد بود.	
هفتگرد (پروژه پایلوت ۲۵ هکتاری شهرهای جوان)	کلان (شهر)	فضایی-کالبدی	فشرده و متراکم	✓ شیرین‌سازی آب ✓ بازیافت زباله	(Köppen, 1900), (Nasrollahi, 2010), (Ziari, 2006), (New Towns Development Corporation of Iran, 1993), (Paykadeh Consultants, 2008), (Seelig, 2011), (Santamouris, 2006), (Fathy, Shearer, & Sultan, 1986), (Seelig, Wehage, & Pahl-Weber, 2011), (Jenks & Jones, 2010)
		طراحی یکپارچه	تنوع در کاربری‌ها و خدمات	✓ سیستم‌های پایش هوشمند ✓ استفاده از سیستم‌های روشنایی کم‌مصرف و مدیریت کارآمد انرژی در منازل	
		طراحی اقلیمی	انتخاب مکان	✓ طراحی سلسله مراتبی واضح از فضاهای عمومی، نیمه‌خصوصی و خصوصی با در نظر گرفتن سیستم‌های دسترسی (مطابق با ویژگی‌های شهر سنتی ایرانی) ✓ فرم شهری حساس به اقلیم مبتنی بر طراحی غیرفعال ✓ برنامه‌ریزی چندمنظوره با خودکفایی محله‌ها ✓ استفاده از حمل‌ونقل پاک و عمومی با در نظر گرفتن محله‌های مختلط با تراکم بالا برای کاهش انرژی حمل‌ونقل ✓ استقرار در ارتفاع ۱۳۵۰ متری، مجاورت با کوه البرز	
	میانی (واحد همسایگی)	برنامه‌ریزی شهری	ساختار محله‌ای	✓ تفکیک محله‌ها با فضاهای سبز و مراکز خدماتی ✓ جذب شهروندان در فرآیند طراحی و اجرا	
		مشارکت اجتماعی	آموزش و آگاهی		
	خرد (ساختمان)	طراحی ساختمان	مصرف انرژی	✓ طراحی خانه‌های حیاط‌دار با ۲ یا ۳ طبقه که دارای عرض بین ۶ تا ۱۵ متر ✓ بیشتر قطعات دارای جهت‌گیری شمالی-جنوبی و عمق آن‌ها بین ۲۰ تا ۳۵ متر است تا پتانسیل‌های انرژی را به حداکثر برسانند. ✓ به منظور افزایش تابش خورشید برای تولید انرژی، حجم‌های ساختمان دارای تراس‌ها و طاقچه‌ها در طبقات بالایی هستند. ✓ سازمان‌دهی عمودی غالب حجم‌های ساختمان برای هر واحد مسکونی نور خورشید فراهم می‌کند. ✓ جهت‌گیری نواحی زندگی در داخل واحدها اطراف حیاط، نیاز به حفظ حریم خصوصی را با مزایای میکروکلیمایی ترکیب می‌کند.	

پس از جمع‌بندی و تحلیل جامع مقالات پیشین، ابعاد و مؤلفه‌های کلیدی مؤثر بر بهره‌وری انرژی در شهرهای هوشمند شناسایی و دسته‌بندی شدند. در گام بعدی، با بررسی دقیق تجارب موفق و ناموفق شهرهای هوشمند در سطح بین‌المللی و با تمرکز بر مؤلفه‌های مرتبط با بهره‌وری انرژی، اطلاعات استخراج‌شده از جداول ۱ و ۲ ادغام گردید. این فرآیند ادغام، منجر به تدوین چارچوب مفهومی نهایی برای شهرهای هوشمند با تأکید ویژه بر ارتقاء بهره‌وری انرژی گردید که در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱. چارچوب مفهومی شهرهای هوشمند با تأکید بر کارایی انرژی

بحث

یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که ارتقای کارایی انرژی در شهرهای هوشمند، محصولِ برهم‌کنش مجموعه‌ای از ابعاد در سه سطح کلان، میانی و خرد است و نمی‌توان آن را صرفاً به استقرار فناوری‌های هوشمند تقلیل داد. در همین راستا، یافته‌های این پژوهش با نتایج بیبری و همکاران (۱۴۰۴) هم‌خوانی دارد؛ آنان نشان دادند که ادغام دوقلوهای دیجیتال و ساختمان‌های صفر انرژی از طریق پایش لحظه‌ای و تحلیل داده، می‌تواند بهره‌وری انرژی و استفاده از منابع تجدیدپذیر را تقویت کند. این هم‌راستایی بیانگر آن است که فناوری‌های داده محور و ابزارهای تحلیلی، ارکان کلیدی ارتقای کارایی انرژی هستند. همچنین، یافته‌ها با نتایج نوری و همکاران (۱۴۰۴) هم‌سو است که تأکید می‌کنند تحقق شهرهای انرژی هوشمند مستلزم تعریف روشن مفهوم شمول‌پذیری، مشارکت فعال ذی‌نفعان و توجه به حقوق شهروندان است. این همگرایی نشان می‌دهد که کارایی انرژی علاوه بر زیرساخت‌های فناورانه، به کیفیت حکمرانی شهری، شفافیت نهادی و مشارکت اجتماعی وابسته است. در بعد سیاستی و اقتصادی، یافته‌های پژوهش با نتایج ژانگ، وانگ و لیو (۱۴۰۴) هم‌خوانی دارد که نشان داده‌اند اجرای سیاست‌های شهر هوشمند در مناطق صنعتی، به ویژه با پشتیبانی سرمایه‌گذاری‌های استانی در اتصال اطلاعاتی، تأثیری معنادار بر بهینه‌سازی مصرف انرژی دارد. این امر بیانگر نقش تعیین‌کننده سطح مداخله سیاستی، ظرفیت نهادی و میزان سرمایه‌گذاری است. در خصوص نقش ابعاد فناورانه و اجتماعی، یافته‌ها با نتایج رضایی‌راد و اکبریان (۱۴۰۴) مبنی بر ضرورت یکپارچه‌سازی شبکه‌های هوشمند، انرژی‌های تجدیدپذیر و مشارکت شهروندان هم‌سو است؛ برداشتی که با یافته‌های شپیلکو (۱۴۰۳) درباره نقش آگاهی‌بخشی در ترویج شیوه‌های انرژی پایدار تقویت می‌شود. از منظر مدیریتی، نتایج با پژوهش‌های توندیس و ویسنیفسکی (۱۴۰۳) درباره اهمیت بهره‌گیری هدفمند از منابع مالی و ظرفیت‌های سازمانی، و مطالعات کین و همکاران (۱۴۰۳) پیرامون تأثیر نوآوری شهری بر بهره‌وری کل عوامل سبز، هم‌راستا است. از سوی دیگر، نتایج این پژوهش با طرح ابعاد سیاسی و حکمرانی در کنار مؤلفه‌های فنی، پاسخی به خلأ مطرح‌شده در ادبیات پژوهش توسط اسفندی و همکاران (۱۴۰۳) است؛ آنان اشاره می‌کنند که بسیاری از مطالعات، بیش از حد بر جنبه‌های فناورانه متمرکز بوده و چالش‌های سیاست‌گذاری را

نادیده گرفته‌اند. در بعد کالبدی، یافته‌ها با نتایج فوطه‌بافان و همکاران (۱۴۰۳) در اهمیت شاخص‌های کالبدی، محیطی و آسایش شهروندی، و همچنین مطالعات شیرویه‌پور، مرتضوی و بیات (۱۴۰۲) پیرامون نقش کلان داده، هوش مصنوعی، انرژی‌های تجدیدپذیر، حمل‌ونقل هوشمند و ساختمان‌های سبز هم‌خوانی دارد. این همگرایی با نتایج یاراشینسکایا و پروس (۱۴۰۱) تأیید می‌شود که بر تمرکز برنامه‌های انرژی هوشمند بر بخش‌های ساختمان و حمل‌ونقل تأکید دارند. در سطح نوآوری، یافته‌ها با نتایج دانگ و همکاران (۱۴۰۱) درباره اثر تقویت هوشمندی شهری بر کارایی انرژی، و مطالعات کیم و همکاران (۱۴۰۰) پیرامون فناوری‌های پایش و مدیریت یکپارچه انرژی هم‌سو است. همچنین، هم‌خوانی با یافته‌های وانگ و همکاران (۱۴۰۰) نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی بهره‌وری انرژی، امکان انتخاب راهبردهای بهینه با لحاظ پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی را فراهم می‌کند. در نهایت، چندبعدی بودن مؤلفه‌ها با نتایج هاجدوک و ژلونک (۱۴۰۰) در استفاده از روش‌های چندمعیاره، یافته‌های یو و ژانگ (۱۳۹۸) درباره تأثیر مثبت سیاست‌های هوشمند، و مطالعات مرادی (۱۳۹۸) درباره نقش محوری زیرساخت‌های دیجیتال هم‌خوانی دارد. این مسیر با رویکرد جامع موسننزاده و همکاران (۲۰۱۷) و سامانه برنامه‌ریزی انرژی یامامورا و همکاران (۱۳۹۶) که تلفیق تحلیل‌های مکانی، طراحی بهینه سیستم انرژی و مدل‌سازی سه‌بعدی را پیشنهاد می‌دهند، تکمیل می‌شود.

در مجموع، همگرایی نتایج پژوهش حاضر با مطالعات پیشین، بر ضرورت رویکردی یکپارچه و چندبعدی تأکید دارد. با این حال، از محدودیت‌های پژوهش می‌توان به دسترسی ناکافی به برخی منابع انگلیسی و داده‌های تجربی شهرهای پیشرو اشاره کرد که بر دقت تحلیل مقایسه‌ای تأثیرگذار بوده است. در پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌شود با گسترش دامنه مطالعات تجربی و وارد کردن داده‌های عملکردی شهرهای هوشمند، چارچوب ارائه‌شده از طریق مدل‌سازی و تحلیل سناریو مورد آزمون قرار گیرد تا قابلیت اجرایی آن در مقیاس‌های مختلف تقویت شود.

نتیجه‌گیری

انرژی همواره یکی از پایه‌های اصلی رشد و تداوم زندگی انسان بوده و با افزایش وابستگی فعالیت‌ها به انرژی، شتاب شهرنشینی و تمرکز مصرف در شهرها، مدیریت پایدار انرژی به اولویت سیاست‌گذاری شهری و ملی تبدیل‌شده است. در این راستا، شهر هوشمند به عنوان رویکردی آینده‌نگر برای ارتقای بهره‌وری انرژی از طریق داده محوری، یکپارچه‌سازی سامانه‌ها و بهینه‌سازی فرایندها مطرح می‌شود؛ با این حال مرور ادبیات نشان می‌دهد پژوهش‌ها درباره ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر بر بهره‌وری انرژی در شهرهای هوشمند عمدتاً پراکنده، تک مقیاسی و فاقد انسجام نظری کافی‌اند. بر همین اساس، پژوهش حاضر با روش پریزما مقالات داخلی و بین‌المللی را به صورت نظام‌مند شناسایی و تحلیل کرده و با تأکید بر رویکردی تلفیقی و چندمقیاسی، در نهایت با ترکیب یافته‌های مرور ادبیات و تجارب عملی شهرهای هوشمند جهان، به تدوین چارچوب مفهومی نهایی بهره‌وری انرژی در شهرهای هوشمند دست‌یافته است. این چارچوب، با ساختاری سلسله‌مراتبی، ابعاد تأثیرگذار را در سه سطح کلان، میانی و خرد تفکیک می‌کند.

اهمیت این دسته‌بندی سه سطحی در آن است که نشان می‌دهد بهره‌وری انرژی تنها یک مسئله فنّاورانه یا کالبدی نیست، بلکه موضوعی میان‌رشته‌ای و چندبعدی است که نیازمند سیاست‌گذاری هوشمند، حکمرانی یکپارچه، طراحی شهری سازگار، و مدیریت مبتنی بر داده است. چارچوب ارائه‌شده می‌تواند راهنمایی معتبر برای محققان، مدیران شهری و برنامه‌ریزان در مسیر طراحی راهبردها، مداخلات و پروژه‌های انرژی‌محور باشد. در مجموع، نتایج پژوهش حاضر تأکید می‌کند که تحقق بهره‌وری انرژی در شهرهای هوشمند، مستلزم ادغام سه حوزه اصلی دانش شهرسازی، فناوری‌های دیجیتال و سیاست‌گذاری انرژی است.

حامی مالی

این اثر حمایت مالی نداشته است.

مشارکت نویسندگان

طراحی پژوهش، گردآوری داده‌ها، تحلیل یافته‌ها و نگارش تمامی بخش‌های این مقاله توسط سلوی بهشتی اصل انجام‌شده است و جواد ایمانی‌شاملو هدایت علمی و نظارت بر کلیه مراحل پژوهش را بر عهده داشته است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همه‌کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که در ارزیابی کیفیت مقاله نقش داشتند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

سلیمی امیری، سهیل. (۱۴۰۲). *تبیین مؤلفه‌های هوشمند سازی با تأکید بر خودکفایی مرکز محله در تأمین انرژی (مطالعه موردی: محله آبان بانو ساری)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد معماری، به راهنمایی سیدعلی سیدیان و مشاوره فریال احمدی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران.

شیرزاد، محمدحسن. (۱۴۰۱). *دهکده شهری هوشمند با رویکرد انرژی مبتنی بر معماری بیوتک و بومی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد طراحی شهری، به راهنمایی محمود گلابچی، گروه طراحی شهری، مؤسسه آموزش عالی معماری و هنر پارس.

شیرویه‌پور، شهریار؛ مرتضوی، سید مرتضی و بیات، روح‌الله. (۱۴۰۲). ارائه مدل عوامل مؤثر بر توسعه آینده شهرهای هوشمند پایدار با تأکید بر مدیریت بهینه انرژی. *اقتصاد و برنامه‌ریزی شهری*، ۴ (۴)، ۱۱۶-۱۳۰. https://doi.org/10.22034/uep.2024.423160.1424

عبادی‌نژاد، مریم؛ طاهری دمنه، محسن و ذاکری، علی. (۱۴۰۰). پس‌نگری برای تحقق شهر هوشمند در افق ۱۴۲۰ (مطالعه موردی: شهر اصفهان). *چشم‌انداز شهرهای آینده*، ۲ (۴)، ۱-۲۳.

فوطه‌بافان، محمدحسین؛ پورمحمدی، محمدرضا و حسین‌زاده دلیر، کریم. (۱۴۰۳). بررسی عوامل مؤثر بر کاهش مصرف انرژی شهری برای پایداری کلان‌شهرهای هوشمند (نمونه موردی: تبریز). *جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱۴ (۵۶)، ۲۴۷-۲۶۲. https://doi.org/10.22034/jgeoq.2023.349317.3760

قنبری، ابوالفضل؛ واعظی، موسی و باکویی، مائده. (۱۴۰۰). ارزیابی تأثیر برنامه‌ریزی کاربری زمین بر مصرف انرژی (مطالعه موردی: شهر تبریز). *فصلنامه علمی فضای جغرافیایی*، ۲۱ (۷۳)، ۵۵-۷۲.

نصراللهی، الهام. (۱۴۰۱). *تبیین مؤلفه‌های طراحی فضای باز عمومی شهری هوشمند مبتنی بر بهره‌وری انرژی (مطالعه موردی: محدوده میدان استقلال و پارک ایران‌زمین، کرج)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد طراحی شهری، به راهنمایی لیلا کوکبی، پردیس بین‌المللی فارابی، دانشگاه هنر تهران.

مرادی، شیما. (۱۳۹۸). بررسی سیر موضوعی مطالعات حوزه شهر هوشمند. *پژوهشنامه علم سنجی*، ۵ (۱)، ۱۳۹-۱۶۰. https://doi.org/10.22070/rsci.2018.759

مرادیان، محدثه. (۱۳۹۵). *راهنمای طراحی شهری انرژی کارا با تأکید بر جداره شهری (نمونه موردی: خیابان ۱۷ شهریور تهران)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد طراحی شهری، به راهنمایی میترا حبیبی و مشاوره ریما فیاض، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه هنر تهران.

ملائی، اعظم و کامیابی، سعید. (۱۳۹۹). ارزیابی کارایی انرژی در مقیاس محله‌ای با استفاده از مدل لید (LEED) در راستای توسعه پایدار (مورد مطالعاتی: محله یوسف‌آباد منطقه شش تهران). *فصلنامه برنامه‌ریزی توسعه شهری و منطقه‌ای*، ۵ (۱۳)، ۳۷-۵۶. https://doi.org/10.22054/urdp.2021.60081.1313

References

Appio, F., Lima, M., & Paroutis, S. (2019). Understanding Smart Cities: Innovation ecosystems, technological advancements, and societal challenges. *Technological Forecasting and Social Change*, *142*, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.12.018

Arup. (2008). *Fact Sheet for Dongtan Eco-city*. Arup Press Office, London, UK. https://ibgeography-atl-meadow.weebly.com/uploads/5/9/8/2/5982078/dongtan.pdf

Barcelona, T. d. (2025, May 7). *Tourism of Barcelona – Official Website*. https://www.barcelonaturisme.com/wv3/en

Baskar, S., Periyanayagi, S., Mohamed Shakeel, P., & Sarma Dhulipala, V. (2019). An energy persistent Range-dependent Regulated Transmission Communication model for vehicular network applications. *Computer Networks*, *152*, 144-153. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.01.027

Bibri, S. E., Huang, J., Omar, O., & Kenawy, I. (2025). Synergistic integration of digital twins and zero energy buildings for climate change mitigation in sustainable smart cities: A systematic review and novel framework. *Energy & Buildings*, *333*, 115484. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115484

Chang, I.-C., & Sheppard, E. (2013). China's Eco-Cities as Variegated Urban Sustainability: Dongtan Eco-city and Chongming Eco-Island. *Journal of Urban Technology*, *20*(1), 57-75. doi:10.1080/10630732.2012.735104

Chen, N. & Chen, Y. (2018). Smart city surveillance at the network edge in the era of IoT: Opportunities and challenges. In *Smart Cities: Development and Governance Frameworks*, 153–176. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76669-0_7

Cheng, H., & Hu, Y. (2010). Planning for sustainability in China's urban development: Status and challenges for Dongtan eco-city project. *Journal of Environmental Monitoring*, *12*, 119-126. doi:10.1039/B911473D

Cortese, T. T. P., Almeida, J. F. S. d., Batista, G. Q., Storopoli, J. E., Liu, A., & Yigitcanlar, T. (2022). Understanding Sustainable Energy in the Context of Smart Cities: A PRISMA Review. *Energies*, *15*(7), 2382. https://doi.org/10.3390/en15072382

D'Eramo, A. (2021). Masdar City: A Study of Energy, Infrastructure, and Technological Hope. *SMU Journal of Undergraduate Research*, *6*(1). https://doi.org/10.25172/jour.6.1.3

Davies, A. & Frederiksen, L. (2008). *Overview of the Dongtan project*. The University of Tokyo – Imperial College London Joint Symposium on Innovation in Energy Systems, Tokyo and London. https://www.imperial.ac.uk/events/114419/the-university-of-tokyo-imperial-college-london-joint-symposium-on-innovation-in-energy-systems/

Dong, F., Li, Y., Li, K., Zhu, J., & Zheng, L. (2022). Can smart city construction improve urban ecological total factor energy efficiency in China? Fresh evidence from generalized synthetic control method. *Energy*, *241*, 122909. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122909

Ebadi Nejad, M., Taheri Damaneh, M., & Zakeri, A. (2021). Retrospective for the realization of smart city in the horizon of 2041 (Case study: Isfahan City). *Future Cities Perspective*, *2*(4), 1-23. [In Persian]

Encyclopædia Britannica. (2025, May 7). *Helsinki*. https://www.britannica.com/place/Helsinki

Encyclopædia Britannica. (2025, May 7). *Medellín*. https://www.britannica.com/place/Medellin-Colombia

Encyclopædia Britannica. (2025, May 7). *Singapore*. https://www.britannica.com/place/Singapore

Esfandi, S., Tayebi, S., Byrne, J., Taminiau, J., Giyahchi, G., & Alavi, S.A. (2024). Smart Cities and Urban Energy Planning: An Advanced Review of Promises and Challenges. *Smart Cities*, *7*(1), 414–444. https://doi.org/10.3390/smartcities7010016

European Investment Bank. (2012). *JESSICA for smart and sustainable cities: Horizontal study, final report*. Luxembourg: European Investment Bank. https://www.eib.org/attachments/documents/jessica_horizontal_study_smart_and_sustainable_cities_en.pdf

Fathy, H., & Shearer, W., & Sultan, A. (1986). *Natural energy and vernacular architecture: Principles and examples with reference to hot arid climates*. Chicago: University of Chicago Press. https://archive.org/details/naturalenergyver0000fath

Futeh Bafan, M. H., Pourmohammadi, M. R., & Hosseinzadeh Dalir, K. (2024). Investigating the factors affecting the reduction of urban energy consumption for the sustainability of smart metropolises (Case study: Tabriz). *Geography and Regional Planning*, *14*(56), 247-262. https://doi.org/10.22034/jgeoq.2023.349317.3760 [In Persian]

Gensler. (2013). *New Giza, Cairo, Egypt*. Retrieved May 24, 2013, from Gensler: http://m.gensler.com/project/new-giza?service=planning-urban-design

Ghanbari, A., Vaezi, M., & Bakouei, M. (2021). Evaluation of the impact of land use planning on energy consumption (Case study: Tabriz City). *Geographical Space Quarterly*, *21*(73), 55-72. [In Persian]

Hajduk, S., & Jelonek, D. (2021). A Decision-Making Approach Based on TOPSIS Method for Ranking Smart Cities in the Context of Urban Energy. *Energies*, *14*(9), 2691. https://doi.org/10.3390/en14092691

Head, P., & Lawrence, J. (2008). *CTBUH 8th World Congress*. Dubai, UAE: Council on Tall Buildings and Urban Habitat. https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1310-urban-development-to-combat-climate-change-dongtan-eco-city-and-risk-management-stratagies.pdf

IDRC, & Abdel-Gawad, S. (2011). *International Development Research Center*. Retrieved July 10, 2013, http://web.idrc.ca/en/ev-127200-201-1-DO_TOPIC.html

Jegadeesan, S., Azees, M., Malarvizhi Kumar, P., Manogaran, G., Chilamkurti, N., Varatharajan, R., & Hsu, C.-H. (2019). An efficient anonymous mutual authentication technique for providing secure communication in mobile cloud computing for smart city applications. *Sustainable Cities and Society*, *49*, 101522. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101522

Jenks, M., & Jones, C. (2010). *Dimensions of the sustainable city* (Future Cities, Vol. 2). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8647-2

Kim, H., Choi, H., Kang, H., An, J., Yeom, S., & Hong, T. (2021). A systematic review of the smart energy conservation system: From smart homes to sustainable smart cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *140*, 110755. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110755

Köppen, W. (1900). Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. *Geographische Zeitschrift*, *6*, 593–611. https://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1900.pdf

Lynch, P. (2017, July 12). World's first "smart street" in London turns footsteps into energy. https://www.archdaily.com/875701/worlds-first-smart-street-in-london-turns-footsteps-into-energy

Masdar City. (2025, May 2). *Media Resources and Press Kit*. https://www.masdarcity.ae/news-and-media/media

Masdar City. (2025, May 2). *Sustainable Design*. https://www.masdarcity.ae/sustainable-urban-development/sustainable-design

Masdar City. (2025, May 2). *Upcoming Projects*. https://www.masdarcity.ae/sustainable-urban-development/projects

Molinsky, J., & Forsyth, A. (2018). *Housing, the built environment, and the good life*. *Hastings Center Report*, *48*(S1), S50–S56. https://doi.org/10.1002/hast.910

Mollaei, A., & Kamyabi, S. (2020). Evaluation of energy efficiency at the neighborhood scale using LEED model in line with sustainable development (Case study: Yousefabad neighborhood, District 6 of Tehran). *Quarterly Journal of Urban and Regional Development Planning*, *5*(13), 37-56. https://doi.org/10.22054/urdp.2021.60081.1313 [In Persian]

Moradi, S. (2019). A review of the thematic course of smart city studies. *Scientometrics Research Journal*, *5*(1), 139-160. https://doi.org/10.22070/rsci.2018.759 [In Persian]

Moradian, M. (2016). *A guide to energy-efficient urban design with emphasis on urban facade (Case study: 17 Shahrivar Street, Tehran)* [Master's thesis in Urban Design]. Supervised by M. Habibi and advised by R. Fayyaz, Faculty of Art and Architecture, University of Art Tehran. [In Persian]

Mosannenzadeh, F., Bisello, A., Vaccaro, R., D'Alonzo, V., Wayne Hunter, G., & Vettorato, D. (2017). Smart energy city development: A story told by urban planners. *Cities*, *64*, 54-65. https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.02.001

Mouzourides, P., Kyprianou, A., Choudhary, R., Ching, J., & Neophytou, M.-A. (2017). How can a Multi-scale Analysis Guide Smart Urban Energy Demand Management? An Example from London City Westminster Borough. *Procedia Engineering*, *180*, 433-442. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.202

Nasrollahi, E. (2022). *Explaining the components of smart urban public open space design based on energy efficiency (Case study: Esteghlal Square and Iranzamin Park area, Karaj)* [Master's thesis in Urban Design]. Supervised by L. Kokabi, Farabi International Campus, University of Art Tehran. [In Persian]

Nasrollahi, F. (2010). *Climatic analysis of Hashtgerd New Town*. Institute of Architecture, TU Berlin, Berlin.

Nathali Silva, B., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, *38*, 697-713. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.053

New Towns Development Corporation of Iran. (1993). *An outlook: The New Town of Hashtgerd*. Tehran: New Town of Hashtgerd.

Noori, N., Hoppe, T., van der Werf, I., & Janssen, M. (2025). A framework to analyze inclusion in smart energy city development: The case of Smart City Amsterdam. *Cities*, *158*, 105710. https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.105710

Paykadeh Consultants. (2008). *Revision of Hashtgerd New Town master plan – Summary*. Tehran: Paykadeh Consultants. [In Persian]

Pourezzat, A., Abbasi, T., Maghsoodi Kenari, S., & Namdar Joybari, M. (2024). Investigating the Role of the basic Components of Smart Governance in Realizing a Smart City with the ISM Method (Case Study: Tehran). *Journal of Public Administration*, *16*(3), 535-561. https://doi.org/10.22059/JIPA.2024.376694.3505

Prasad, N., Ranghieri, F., Shah, F., Trohanis, Z., Kessler, E., & Sinha, R. (2009). *Climate resilient cities: A primer on reducing vulnerabilities to disasters*. Washington, DC: World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2241

Qin, Z., Yang, H., Shi, L., Ying, O., & Liu, W. (2024). Do smart city policies improve energy efficiency? Evidence from China. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, *22*(2), 185-193. https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2024.06.010

Reiche, D. (2010). Renewable Energy Policies in the Gulf countries: A case study of the carbon-neutral ‘‘Masdar City’’ in Abu Dhabi. *Energy Policy*, *38*(1), 378–382. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.028

RezaeiRad, H., & Akbarian, Z. (2025). Explaining the role of reducing energy consumption in strengthening healthy cities in smart cities. *Information System and Smart City*, *5*(1), 2213. https://doi.org/10.59400/issc2213

Ridden, P. (2017, July 3). Shoppers in London can turn footsteps into electricity. https://newatlas.com/bird-street-pavegen-clearair-airlite/50321/

Riva Sanseverino, E., Riva Sanseverino, R., Vaccaro, V., Macaione, I., & Anello, E. (2017). *Smart cities: Case studies*. Dipartimento di Energia, Ingegneria dell’Informazione e Modelli Matematici (DEIM), University of Palermo. https://iris.unipa.it/retrieve/e3ad8910-7b6b-61e2-e053-3705fe0a2b96/Smart Cities Case Studies.pdf

Salimi Amiri, S. (2023). *Explaining the components of smartization with emphasis on the self-sufficiency of the neighborhood center in energy supply (Case study: Aban Bano neighborhood, Sari)* [Master's thesis in Architecture]. Supervised by S. A. Seyedian and advised by F. Ahmadi, Faculty of Art and Architecture, University of Mazandaran. [In Persian]

Santamouris, M. (2006). *Environmental design of urban buildings: An integrated approach*. London: Earthscan. https://doi.org/10.4324/9781849771160

Seelig, S. (2011). A master plan for low carbon and resilient housing: The 35 ha area in Hashtgerd New Town, Iran. *Cities*, *28*(6), 545-556. https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.06.001

Seelig, S., Wehage, P., & Pahl-Weber, E. (2011). Energie und Identität: Stadtgestaltung für eine energiegerechte New Town in Iran. *Stadtbauwelt*, *189*, 64–69. https://www.bauwelt.de/themen/Stadtbauwelt-189-Energie-und-Identitaet-2109305.html

Shirveyh Pour, S., Mortezaei, S. M., & Bayat, R. (2023). Presenting a model of effective factors on the future development of sustainable smart cities with emphasis on optimal energy management. *Urban Economics and Planning*, *4*(4), 116-130. https://doi.org/10.22034/uep.2024.423160.1424 [In Persian]

Shirzad, M. H. (2022). *Smart urban village with energy approach based on biotech and vernacular architecture* [Master's thesis in Urban Design]. Supervised by M. Golabchi, Department of Urban Design, Pars Institute of Higher Education of Architecture and Art. [In Persian]

Szpilko, D.; Fernando, X.; Nica, E.; Budna, K.; Rzepka, A.; Lăzăroiu, G. (2024). Energy in Smart Cities: Technological Trends and Prospects. *Energies*, *17*(24), 6439. https://doi.org/10.3390/en17246439

Time Out Abu Dhabi. (2024, June 5). *Masdar City Guide*. https://www.timeoutabudhabi.com/features-moving-to-dubai/masdar-city-guide

Tundys, B.; Wi´sniewski, T. (2024). Smart City and Sustainable Energy—Evidence from the European Union Capital Cities. *Energies*, *17*(18), 4678. https://doi.org/10.3390/en17184678

Veloso, Á., Fonseca, F., & Ramos, R. (2024). Insights from Smart City Initiatives for Urban Sustainability and Contemporary Urbanism. *Smart Cities*, *7*(6), 3188-3209. https://doi.org/10.3390/smartcities7060124

Wang, C., Gu, J., Sanjuán Martínez, O., & González Crespo, R. (2021). Economic and environmental impacts of energy efficiency over smart cities and regulatory measures using a smart technological solution. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *47*, 101422. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101422

Wang, W., Liu, K., Zhang, M., Shen, Y., Jing, R., & Xu, X. (2021). From simulation to data-driven approach: A framework of integrating urban morphology to low-energy urban design. *Renewable Energy*, *179*, 2016-2035. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.08.024

World Economic Forum. (2020). *Smart at scale: Cities to watch – 25 case studies*. Global Future Council on Cities and Urbanization. Geneva: World Economic Forum. https://www.weforum.org/reports/smart-at-scale-cities-to-watch-25-case-studies/

Yamamura, S.; Fan, L.; Suzuki, Y. (2017). Assessment of Urban Energy Performance through Integration of BIM and GIS for Smart City Planning. *Procedia Engineering*, *180*, 1462-1472. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.309

Yarashynskaya, A., & Prus, P. (2022). Smart Energy for a Smart City: A Review of Polish Urban Development Plans. *Energies*, *15*(22), 8676. https://doi.org/10.3390/en15228676

Youssef, M., & Mohamed, E. (2013). *Energy efficient urban configurations for residential projects in Cairo*. Master's thesis, Ain Shams University, Faculty of Engineering and University of Stuttgart, Faculty of Architecture and Urban Planning, Cairo and Stuttgart.

Yu, W., Lobaccaro, G., Carlucci, S., Ruzhu, W., Li, Y., Finocchiaro, L., Yanjun, D., Eikevik, T. M., & Wyckmans, A. (2017). Sustainable Energy in Cities: Methodology and Results of a Summer Course Providing Smart Solutions for a New District in Shanghai. *Energy Procedia*, *111*, 856-866. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.248

Zhang, H., Wang, Y., & Liu, H. (2025). Smart cities lighting the way: Optimizing energy structure and efficiency in the border areas. *Journal of Cleaner Production*, *486*, 144481. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144481

Ziari, K. (2006). The planning and functioning of new towns in Iran. *Cities*, *23*(6), 412–422. https://doi.org/10.1016/j.cities.2006.08.006