



The Geometry of Smartness: A Data-Driven Interpretation of Six Dimensions Shaping Contemporary Smart Cities

Amirmohim Mohimi¹

Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Tehran, Iran.

Mohsen Ilaghi Hosseini

Director of the Research Department, Deputy of Research and Technology, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Kerman, Iran.

Extended Abstract

Introduction

Smart cities have become a central paradigm in contemporary urban research, transforming how cities are measured, compared, and governed. Yet despite the global diffusion of the concept, the internal structure of “smartness” remains uneven, multidimensional, and strongly dependent on local capacities for data production, governance, and innovation. Europe, unlike many other regions of the world, benefits from a rich statistical ecosystem that enables cities to be evaluated across multiple dimensions using reliable, comparable, and annually updated indicators. This study builds upon these datasets to develop a six-dimensional analytical geometry of smartness across European cities. It aims to move beyond simple rankings and construct a deeper structural understanding of how cities behave across economic, people, governance, mobility, environmental, and living dimensions. The broader motivation of the research is twofold. First, it seeks to reveal the spatial and conceptual diversity of European smart cities, showing that “smartness” is not a uniform path but a set of distinct patterns and typologies. Second, it aims to establish a theoretical–analytical device adaptable to other regions, including data-scarce contexts, where smart-city strategies remain fragmented due to the absence of structured statistical systems.

Theoretical Framework

The study is grounded in the six-dimensional model widely adopted in the European smart-city literature (Six Dimensions), originally articulated by Giffinger and subsequently refined by contemporary scholarship. This framework conceptualizes smartness as a balance between technological infrastructure (hard assets) and human–institutional capacity (soft assets). European Parliament reports, Urban Audit methodology, and recent studies emphasize that the most successful smart cities cultivate harmony among these dimensions rather than privileging any single component. Building on this foundation, the research introduces the concept of

1. Corresponding Author: amirmohim.mohimi@iau.ac.ir

Smartness Geometry, which treats each city as a six-coordinate point in a multidimensional space. The geometric shape derived from these coordinates, interpreted through radar profiles, reveals whether a city is balanced, skewed, hard-infrastructure-dominated, soft-capacity-dominated, or structurally weak across multiple fronts. This theoretical lens allows smartness to be operationalized not merely as ranking but as form, pattern, and structural identity.

Methodology

The analysis uses 91 indicators extracted from two major European data repositories: Eurostat's 2025 smart-city datasets and the 2024 Urban Audit. Each indicator corresponds to one of the six smart-city dimensions, forming an extensive database of urban performance covering economy (12 indicators), people (16), governance (12), mobility (10), environment (13), and living (28). To ensure comparability, all data older than 2015 were excluded. After cleaning and standardization, the Shannon entropy method was applied to compute dimension-specific weights, ensuring that indicators with greater variation across cities exert proportionally stronger influence. Using these weighted scores, six composite values were generated for each city, yielding the coordinates of their smartness geometry. To evaluate relative performance, four multi-criteria decision-making (MCDM) methods were applied independently: AHP, SAW, TOPSIS, and VIKOR. These methods were intentionally selected because they differ in compensability, normalization sensitivity, and aggregation logic. AHP reflects hierarchical expert-based reasoning; SAW is fully compensatory and linear; TOPSIS emphasizes distance from ideal and anti-ideal solutions; VIKOR balances individual and group utility through a compromise model. The Friedman test was employed to assess the statistical agreement among the four methods. Finally, consensus clustering and radar-geometry analysis were used to classify the cities into geometric types of smartness.

Results and Discussion

The integrated ranking produced a clear hierarchy among European cities. The geometry of smartness across European cities can be interpreted through four distinct typological forms, each representing a structural pattern of urban performance. Type T1, the Balanced Smartness Core, reflects cities scoring between 0.70 and 0.96, primarily found in Northern and Western Europe. These cities show strong performance in living standards, mobility, governance, and environmental sustainability, resulting in a symmetrical hexagonal radar chart that signifies equilibrium across all dimensions. Type T2, the Industrial–Economic Hardware Smartness, includes cities in Germany, France, and the United Kingdom, typically scoring 0.55-0.70. Their radar charts appear as elongated pentagons pulled toward economic, innovation, employment, and infrastructure dimensions, indicating strong hard capacities but less balanced soft dimensions. Type T3, the Latent Software-Based Smartness, is characteristic of Eastern European cities, with scores ranging from 0.45 to 0.55. These cities perform better on people-oriented indicators such as education, governance, and civic participation, while lagging in the economy and mobility, resulting in an asymmetric quadrilateral with elevated human/governance axes and depressed economic ones. Finally, Type T4, the Negative Consensus Core, includes structurally weak cities of Southern Europe, positioned between 0.00 and 0.40. Their profiles show severe imbalance across all dimensions, forming collapsed or fragmented polygons with sharp recessions that reflect pervasive deficits and the need for significant policy interventions. This typology demonstrates that Europe does not move toward a uniform smart-

city model but toward differentiated regional patterns—each shaped by historical, economic, cultural, and governance trajectories.

Conclusion

The study offers a comprehensive analytical device for understanding smart-city performance through a multi-dimensional, geometric, and consensus-based approach. The Smartness Geometry model reveals that smartness is not simply about technological adoption but about structural harmony across economic, human, institutional, environmental, and infrastructural systems. Europe showcases both excellence and disparity: while northern cities achieve equilibrium, southern and eastern cities face multidimensional fragility. The framework developed here is transferable to other regions, provided that a reliable statistical infrastructure is established. Without consistent, transparent urban data, neither profiling, geometry, nor benchmarking is possible. Strengthening national urban statistics, creating open datasets, and adopting standardized indicators similar to those of the Urban Audit would allow governments to construct their own smartness geometry. Future research should extend this model to comparative regional studies, integrate time-series dynamics, and examine the causal mechanisms behind geometric patterns. The Smartness Geometry framework thus offers a robust, expandable system for measuring, understanding, and improving urban smartness across diverse global contexts.

Keywords: Smart City, Geometry of Smartness, Contemporary European Cities, Multi-Criteria Decision-Making (MCDM), Place, Space.

Citation:

Mohimi, A & Ilaghi Hosseini, M. (2026). The Geometry of Smartness: A Data-Driven Interpretation of Six Dimensions Shaping Contemporary Smart Cities. *Journal of Urban Studies on Space and Place*, 9(37), 119-161 <https://doi.org/10.22034/jspr.2026.2077938.1209>

DOI: <https://doi.org/10.22034/jspr.2026.2077938.1209>

URL: http://jspr.jdisf.ac.ir/article_734120.html?lang=en

Copyrights:

©2023 by the authors. Published by Journal of Urban Studies on Space and Place.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)).





هندسه هوشمندی: خوانشی داده‌محور از شش بُعد تکوینی شهرهای هوشمند معاصر اروپایی

امیر مهیم مهیمی^۱

دکتری شهرسازی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران.

محسن ایلاقی حسینی

مدیر پژوهشی، معاونت پژوهش و فناوری، جهاد دانشگاهی استان کرمان، کرمان، ایران.

چکیده

این پژوهش تلاشی برای بازتعریف منطق ارزیابی هوشمندی شهری از منظر هندسه هوشمندی در شهرهای اروپایی است؛ قاره‌ای که تنوع تاریخی، نهادی و فناورانه آن بستری مناسب برای سنجش الگوهای تحول شهری فراهم می‌کند. مطالعه حاضر با هدف تبیین چهارچوبی تحلیلی برای مقایسه و شناسایی الگوهای تکوینی شهرهای هوشمند در بسترهای متنوع اروپایی، مجموعه‌ای از شاخص‌ها را که ذیل شش بُعد بنیادین شهر هوشمند (اقتصاد، مردم، حکمروایی، جابه‌جایی، محیط‌زیست و زندگی) تعریف شده‌اند، تدوین می‌کند. در این چهارچوب، هندسه هوشمندی، به‌عنوان الگوی ساختاری توزیع و توازن ابعاد شش‌گانه شهر هوشمند در فضای چندبعدی تعریف می‌شود. موردهای مطالعه نیز براساس دسترس‌پذیری داده‌های رسمی پایگاه‌های معتبر اتحادیه اروپا و پوشش شاخص‌های شش‌گانه شهر هوشمند انتخاب شده‌اند. برای سنجش شاخص‌ها، چهار روش تصمیم‌گیری چندمعیاره شامل AHP، SAW، TOPSIS و VIKOR به کار گرفته شده‌اند که هر یک از منظر متفاوتی به وزن‌دهی و رتبه‌بندی می‌پردازند. تفاوت رتبه‌ها با آزمون ناپارامتریک فریدمن ارزیابی شده و با تحلیل جبران‌پذیری، شاخص‌های مسلط و توافق روش‌ها، رتبه‌بندی نهایی و تیپ‌های هندسی هوشمندی استخراج و مختصات شش‌بعدی هر شهر برای تبیین هندسه هوشمندی ارائه شد. یافته‌ها نشان می‌دهند که هندسه هوشمندی شهرهای اروپا الگوی واحدی ندارند، بلکه منظومه‌ای چند ریخت شامل چهار تیپ اصلی هستند: هسته متوازن شمال اروپا، الگوی سخت‌افزار محور غرب اروپا، الگوی نرم‌افزار محور انسانی، و هسته توافق منفی در جنوب شرق. تحلیل نهایی نشان می‌دهد که مسیر هوشمندی اروپا به سوی واگرایی ساختاری و تفاوت‌های پایدار حرکت می‌کند. این مطالعه، با ارائه چهارچوبی تلفیقی برای سنجش چندوجهی شهرهای هوشمند، برای تصمیم‌سازی داده‌محور در مدیریت شهری اروپایی مسیر تازه‌ای می‌گشاید و الگویی قابل‌تعمیم برای سایر مناطق در حال گذار به زیست‌بوم‌های شهری هوشمند عرضه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: شهر هوشمند؛ هندسه هوشمندی؛ شهرهای معاصر اروپایی؛ ارزیابی چندمعیاره (MCDM)؛

تکنولوژی باید با اخلاق زیست شهری هماهنگ باشد؛ بدین معنا که داده، هوش مصنوعی و شبکه‌ها نباید ابزار سلطه باشند، بلکه ابزاری برای فهم و هم‌زیستی باشند. به بیانی دیگر، فناوری تنها به کاهش آلودگی، صرفه‌جویی در منابع و کاستن از ازدحام نمی‌پردازد، بلکه ابزاری برای بازآفرینی رابطه انسان با کره زمین است. شهر هوشمند زمانی واقعاً هوشمند است که تکنولوژی در خدمت زیست انسان و کیفیت حضور او در شهر قرار گیرد که کیفیت زندگی نه در سرعت، بلکه در آگاهی انسان‌ها تعریف می‌شود (Oberti & Pavesi, 2013).

پارلمان اروپا در گزارش تحلیلی خود درباره پدیده شهر هوشمند نه تنها به تنوع مسیرهای آن در میان کشورهای اروپایی اشاره می‌کند، بلکه آن را به عنوان تلاشی تمدنی برای بازتعریف رابطه میان فناوری، انسان و سیاست شهری معرفی می‌کند. در این نگاه، شهر هوشمند صرفاً مجموعه‌ای از ابزارهای مدیریتی نیست، بلکه آزمایشگاهی برای ایجاد شکل‌های تازه زیست جمعی و رفاه انسانی است که کیفیت زندگی نه در داده‌ها، بلکه در نحوه تبدیل داده به معنای هوشمندی و عدالت اجتماعی است (European Parliament, 2014). از نظر هی و همکاران (۲۰۲۳)، هوشمندی زمانی معتبر است که بتواند فناوری را در خدمت تجربه زیسته انسان قرار دهد و پایداری را از سطح کالبد به سطح آگاهی ارتقا دهد. از این رو، سنجش رفاه و بهزیستی در شهر هوشمند تنها با شاخص‌های صرف اقتصادی یا فضایی کافی نیست، بلکه نیازمند خوانشی فرهنگی و پدیدارشناختی از کیفیت زندگی است. بنابراین، مطالعه مدل‌های مختلف در اروپا، نه تنها تمرینی تطبیقی، بلکه تلاشی برای فهم نسبت میان انسان معاصر و شهری است که به وسیله آگاهی فناورانه، به بازآفرینی خود می‌پردازد (Ahvenniemi et al., 2017; European Parliament, 2014; He et al., 2023).

در ادبیات پژوهشی ایران، مفهوم شش بُعد شهر

شهر هوشمند در ادبیات معاصر دیگر صرفاً شبکه‌ای از فناوری‌ها و داده‌ها نیست، بلکه تجلی عقلانیت تازه‌ای در فهم رابطه انسان، فضا و قدرت است. در این چشم‌انداز، هوشمندی شهری نه در حسگرها و الگوریتم‌ها، بلکه در شیوه‌ای است که جامعه به بازتعریف خود در بستر دانش، زیست و تصمیم‌گیری جمعی دست می‌زند. مدل شش‌بعدی هوشمندی که شامل اقتصاد، مردم، حکمروایی، جابه‌جایی، محیط‌زیست و زندگی است (Giffinger et al., 2007)، در واقع نقشه‌ای برای فهم این هم‌زیستی پیچیده میان زیرساخت و معناست. اقتصاد هوشمند، خلاقیت و نوآوری را به جای انباشت مادی ارائه می‌کند؛ مردم هوشمند، دانش و آگاهی را به عنوان سرمایه‌ای زنده معرفی می‌کند؛ حکمروایی هوشمند، به شفافیت و عدالت دیجیتال می‌پردازد؛ جابه‌جایی هوشمند، زمان و فضا را به عنوان تجربه‌ای انسانی از حرکت تعریف می‌کند؛ محیط‌زیست هوشمند، رابطه انسان با کره زمین را بازتعریف می‌کند؛ و زندگی هوشمند، کیفیت حضور انسان را در شهر ارتقا می‌دهد. این ابعاد شش‌گانه هوشمندی مجموعه‌ای ارگانیک محسوب می‌شود که در آن پایداری نه نتیجه فناوری، بلکه حاصل هماهنگی میان فهم، مشارکت و زیست جمعی است. چنین نگرشی، شهر را از کالبد صرف به فرآیند آگاهی انسان‌ها ارتقا می‌دهد که در آن داده‌ها روایتگر مشارکت جمعی هستند، و نه فقط ابزار مدیریت (Ulya et al., 2024; Al Sharif & Pokharel, 2022; Gupta et al., 2019; Ismagilova et al., 2019; Kumar et al., 2020; Allam & Dhunny, 2019; Sandeep et al., 2020; Appio et al., 2019; He et al., 2023).

شهر هوشمند را می‌توان نه فقط به عنوان راهبردی فناورانه، بلکه یک چشم‌اندازی فلسفی در تحول شهر و زیست انسان در نظر گرفت. این مفهوم بیان می‌کند که

آگاهی، میان زیرساخت و زیست انسانی (Giffinger et al., 2007; European Parliament, 2014; He et al., 2023). این هندسه هوشمندی در واقع تلاشی است برای هماهنگ‌سازی فناوری با اخلاق فضایی و پایداری جمعی؛ و همچنین، آگاهی‌ای که در شهرهای اروپایی از فناوری به‌سوی فرهنگ هوشمندی منتقل شده است. اما هنگامی که این الگو به سرزمین‌هایی با تاریخ و بافت متفاوت مانند ایران می‌رسد، باید بازتولید شود، نه تکرار. شهر هوشمند ایرانی تنها در صورتی تحقق می‌یابد که هندسه هوشمندی آن، از زمینه‌های فرهنگی، اجتماعی و اقلیمی خود تدوین شود؛ در این صورت، هوشمندی نه‌تنها تقلیدی از غرب محسوب نمی‌شود، بلکه نشان‌دهنده آگاهی مکان‌مند خواهد بود، یعنی شکلی از آگاهی فضایی که در آن فناوری، رابط میان انسان و شهر می‌شود. از این رو، می‌توان اذعان داشت که شکاف اصلی در ادبیات شهر هوشمند، فقدان یک چهارچوب تحلیلی تلفیقی برای عبور از رتبه‌بندی‌های تک‌بعدی و عددی و حرکت به‌سوی تبیین ساختار فضایی-هندسی هوشمندی شهرها است. این پژوهش با معرفی مفهوم هندسه هوشمندی و ترکیب روش‌های ارزیابی چندمعیاره و آزمون‌های آماری، این خلأ را هدف قرار می‌دهد. به بیانی دیگر، مطالعه حاضر با رویکردی داده‌محور و با هدف تبیین چهارچوبی تحلیلی برای مقایسه و شناسایی الگوهای درونی تکوینی شهرهای هوشمند در بسترهای متنوع اروپایی، مجموعه‌ای از شاخص‌های منتخب را که ذیل شش بُعد بنیادین شهر هوشمند تعریف شده‌اند، تحلیل تطبیقی می‌کند. از این رو، سنجش چندوجهی شهرهای هوشمند، مسیر تازه‌ای برای تصمیم‌سازی داده‌محور در مدیریت شهری اروپایی می‌گشاید و با تدوین چهارچوب هندسه هوشمندی، الگویی قابل تعمیم برای سایر مناطق در حال گذار به زیست‌بوم‌های شهری هوشمند از جمله ایران عرضه می‌کند.

مبانی نظری

هوشمند نخستین بار با اقتباس از مدل گیفینگر و همکاران (۲۰۰۷) وارد مقالات داخلی شد و به تدریج از سطح توصیفی (Behzadfar, 2003) به چهارچوب تحلیلی (Farajpoorfard et al., 2025; Tabacian et al., 2024; Taimazi et al., 2024; Salimi et al., 2024; Tadayon et al., 2023; Rezapourgatabi et al., 2023) ارتقا یافت. در ابتدا بیشتر مطالعات صرفاً به ترجمه و تکرار ابعاد شش‌گانه پرداختند و در قالب رتبه‌بندی شهرها با روش‌های مختلف به کار رفتند (Mahdizadeh et al., 2021)، اما در ادامه، پژوهشگران ایرانی تلاش کردند شاخص‌های بومی و داده‌های ملی را برای هر بُعد تدوین کنند. مثلاً اقتصاد هوشمند با شاخص‌های اشتغال دانش‌بنیان و نوآوری، مردم هوشمند با آموزش و سرمایه اجتماعی، حکمروایی هوشمند با دولت الکترونیک، تحرک هوشمند با حمل‌ونقل پاک و یکپارچه، محیط‌زیست هوشمند با مدیریت پسماند و انرژی، و زندگی هوشمند با کیفیت مسکن و سلامت گره خورد (Jalili, Sadrabad & Pourirahim, 2025; Shami et al., 2021; Tadayon et al., 2023; Tabacian et al., 2024; Farajpoorfard et al., 2025). در سال‌های اخیر، مقالات ایرانی به جای نگاه تقلیدی، به سمت مدل‌های ترکیبی رفته‌اند که شش بُعد را در ارزیابی تاب‌آوری، عدالت فضایی و پایداری شهری ادغام می‌کنند (Farajpoorfard et al., 2025; Jalili, Sadrabad & Pourirahim, 2025)؛ به این ترتیب، این شش‌گانه در ایران از یک چهارچوب نظری وارد عرصه سیاست‌گذاری و سنجش عملکرد شهری شده است.

آن‌گونه که گفته شد، شهر هوشمند نه پروژه‌ای فناورانه، بلکه پدیده‌ای فلسفی محسوب می‌شود که در بستر اروپا شکل گرفت تا رابطه میان انسان، داده و شهر را بازتعریف کند. تجربه اروپایی شش‌بعدی شدن هوشمندی تلاشی بود برای دستیابی به هندسه‌ای از تعادل میان کالبد و

امروزه، با رشد روزافزون فناوری اطلاعات و ارتباطات، شهر هوشمند به‌عنوان ترکیبی از شبکه‌های اطلاعاتی، سیاست‌های انسانی و زیرساخت‌های فضایی-مکانی شناخته می‌شود؛ شش بُعد اقتصاد، مردم، حکمروایی، جابه‌جایی، محیط‌زیست و زندگی دیگر صرفاً بخش‌هایی جداگانه محسوب نمی‌شوند، بلکه ابعاد یک هندسه شهری هستند که در آن ارزش‌گذاری یک بُعد، بدون هماهنگی با دیگر ابعاد، ناقص خواهد بود (Ulya et al., 2024). از این‌رو، ضرورت پرداختن به شش‌گانه شهر هوشمند، نیاز به بازتعریف اساسی زمینه‌های شناخت و کارکرد شهر در عصر داده‌محور را مشخص می‌کند. این شش بُعد، تنها بخش‌هایی از یک مدل مفهومی نیستند، بلکه اجزای به‌هم‌پیوسته یک کل نظام‌مند هستند که هرکدام منطق خاصی از هوشمندی را در نظام شهری در بر می‌گیرد. در نظر نگرفتن هر بُعد، تعادل سیستمی شهر را دچار اختلال می‌کند؛ زیرا شهر هوشمند، برخلاف شهر صنعتی یا مدرن، بر پیوستگی میان سازوکارهای فناورانه و ساختارهای اجتماعی تأکید می‌کند (Ulya et al., 2024; Al Sharif & Pokharel, 2022).

در دهه‌های اخیر، شهر هوشمند از یک واژه فنی به مفهومی فلسفی از آینده زندگی شهری تبدیل شده است؛ رویکردی تازه از شهر که در آن فناوری صرفاً یک ابزار نیست، بلکه ابزاری نوین برای بیان آگاهی جمعی انسان‌هاست. این مفهوم، حاصل هماهنگی میان اقتصاد، سیاست و فرهنگ در بستری داده‌محور است؛ بدین معنا که کالای شهری دیگر فقط ساختمان یا خیابان نیست، بلکه جریان داشتن ارتباط و آگاهی است. در این تعریف، فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICTs) نقشی فراتر از تسهیل‌گری دارد و به نیرویی تبدیل می‌شود که شهر را از یک کالبد صرف به یک مجموعه پویا تبدیل می‌کند که به‌صورت پیوسته خود را ارزیابی می‌کند، آموزش می‌بیند و بازآفرینی می‌کند تا در جهانی رقابتی، تعادل میان هوش مصنوعی و آگاهی

انسانی را برقرار کند (Caragliu et al., 2011). کارالیو و همکاران (۲۰۱۱) با نگاهی که بیش از آنکه آماری باشد، تفسیری است، شهر هوشمند را صرفاً مجموعه‌ای از سنج‌ها معرفی نمی‌کنند، بلکه آن را پدیده‌ای در حال تحول می‌دانند که در آن زیرساخت و انسان در ارتباطی منظم با یکدیگر تعریف می‌شوند. در این دیدگاه، زیرساخت صرفاً سازه‌ای فیزیکی محسوب نمی‌شود، بلکه ابزاری است که شهر با آن تعریف می‌شود و شهروندان، آگاهی‌ای دارند که اگر به‌درستی هدایت شود، به سرمایه‌ای اجتماعی، تولیدکننده و پایدار تبدیل می‌شود. در همین مسیر، نام و پارادو (۲۰۱۱) هوشمندی را نتیجه پیوند میان فناوری، انسان و نهاد می‌دانند؛ یعنی ساختاری که تنها در صورت پویایی اجتماعی و نهادی می‌تواند تداوم پیدا کند. پاسکالوا (۲۰۰۹) اما این پیوند را در تاریخ جست‌وجو می‌کند و شهر هوشمند را ادامه منطقی تکامل دولت الکترونیک می‌بیند که در آن دیجیتال‌سازی خدمات به دیجیتال‌سازی آگاهی شهری منجر می‌شود.

چنورابی و همکاران (۲۰۱۲) شهر هوشمند را محصول هم‌افزایی میان علوم گوناگون می‌دانند؛ آن‌ها با شناسایی هشت عامل بنیادین (از حکمروایی و فناوری گرفته تا محیط طبیعی) در واقع شهر را به‌مانند موجودی زنده توصیف می‌کنند که فقط در تعامل مداوم با اجزای خود زنده می‌ماند. لمباردی و همکاران (۲۰۱۲) این دیدگاه را عمیق‌تر می‌کنند و با عنوان «ماریپچ سه‌گانه» میان دانشگاه، نهادهای عمومی و بخش خصوصی شبکه‌ای می‌سازند که در آن دانش، قدرت و اقتصاد در چرخه‌ای بی‌پایان بازتولید می‌شوند. هال (۲۰۰۰) شهر را بدنی آگاه توصیف می‌کند که باید مراقب خود باشد و از زیرساخت‌هایش که همان استخوان‌بندی و خدماتش که همان خون در گردش است، محافظت کند. برای او، هوشمندی یعنی خودآگاهی شهر از نحوه زندگی در خودش. در مقابل، هالندز (۲۰۰۸) شهر هوشمند را نه از منظر سازوکار، بلکه از زاویه فرهنگ بررسی می‌کند.

او بیان می‌کند که هوشمندی، پیش از آنکه در تراشه‌ها و شبکه‌ها نمایان شود، در کارآفرینی و توان‌نوآوری انسان ظهور می‌کند. باور من و همکاران (۲۰۰۰) نیز با رویکردی زیست‌محیطی، هوشمندی را به «اخلاق زمین» پیوند می‌زنند. از نگاه آنان، شهری هوشمند است که میان توسعه و طبیعت تعادل برقرار کند.

گارئو و همکاران (۲۰۱۶) شهر را موجودی زنده توصیف می‌کنند که جابه‌جایی در رگ‌های آن جریان دارد. آن‌ها در تحلیل خود از شهر کالیاری در ایتالیا، نه فقط به بهینه‌سازی حمل‌ونقل، بلکه به آگاهی پویا در شهر می‌پردازند که در سند حمل‌ونقل ۲۰۰۹ آغاز شده بود و شهر را از حرکتی مکانیکی به جنبشی هوشمند و یادگیرنده ارتقا داد. در مقایسه با هجده شهر جهانی، آن‌ها نشان می‌دهند که هوشمندی، نه نتیجه تقلید، بلکه حاصل گت‌وگویی میان زمینه‌های محلی و تجربه‌های جهانی است؛ به این معنا که نوعی هماهنگی میان توسعه شهر و رشد فناوری ایجاد شود. آلتا و همکاران (۲۰۱۷) در مقیاسی ملی و در شبکه RECI اسپانیا، شش بُعد اصلی هوشمندی را نه تنها دسته‌بندی می‌کنند، بلکه آن را به‌عنوان یک کل منظم از ابعاد در نظر می‌گیرند. از دید آن‌ها، اوج هوشمندی شهری در پیوند میان این ابعاد قرار دارد که در آن شهر از یک «سامانه» به «زیست‌جهان دیجیتال» تبدیل می‌شود. لای و همکاران (۲۰۱۸) داده و زمان را مطرح می‌کنند. آن‌ها داده‌های تلفن همراه را ارزیابی می‌کنند؛ چراکه ردپای زندگی انسان در شهر در برابرین، از میان این الگوها نقشه پویای زندگی شهری را ترسیم می‌کنند که خود را به‌نگام‌سازی می‌کند. در نگاه آن‌ها، برنامه‌ریزی ترافیک دیگر بر پایه پیش‌بینی‌های گذشته قرار ندارد، بلکه به‌صورت به‌نگام و زنده پیاده‌سازی می‌شود.

فیستولا و همکاران (۲۰۱۷) با رویکردی سیستمی و تحلیلی، به بازتعریف مفهوم جابه‌جایی در چهارچوب شهر هوشمند می‌پردازند. آن‌ها شهر معاصر را نه فقط

یک بستر کالبدی، بلکه به‌عنوان سامانه‌ای پیچیده و پویا در نظر می‌گیرند که در آن، واژه هوشمند تنها زمانی معنا دارد که دارای انسجام کارکردی و نهادی باشد. آن‌ها توضیح می‌دهند که الگوهای حرکتی در شهر به‌شدت با نحوه توزیع فضایی و کیفیت فعالیت‌های شهری پیوند دارند و همین تعامل، دلیل شکل‌گیری قطبش عملکردی میان گروه‌های مختلف کاربران شهری، اعم از ساکنان، گردشگران، رهگذران و استفاده‌کنندگان موقت است. آن‌ها بر این باورند که هر ناحیه شهری بر اساس میزان تمرکز و تنوع عملکرد خود، درجه‌ای از قطبش را در بر می‌گیرد که بازتابی از سطح انسجام و درنهایت میزان هوشمندی شهر است. بنابراین، سنجش درجات این قطبش نه فقط یک شاخص فضایی، بلکه ابزاری شناختی برای درک میزان پیوند میان حرکت، فضا و آگاهی جمعی در ساختار شهری به شمار می‌رود.

جلیلی صدرآباد و پوری رحیم (۲۰۲۵)، معتقدند که تاب‌آوری زیرساخت‌های شهر هوشمند از تعادل میان شش بُعد زاده می‌شود: اقتصاد هوشمند منابع را تأمین می‌کند، مردم هوشمند ظرفیت جذب و سازگاری را می‌سازند، حکمروایی هوشمند هماهنگی و پاسخگویی را تضمین می‌کند، جابه‌جایی هوشمند شبکه‌ای امن و قابل اتکا برای عملکرد روزمره و بحران فراهم می‌آورد، محیط‌زیست هوشمند ریسک‌های اکولوژیک را کاهش می‌دهد، و زندگی هوشمند پیامد محسوس این سازوکارها برای شهروندان است. از این رو، برتری بُعد کالبدی به معنای شرط لازم است، نه شرط کافی؛ چراکه بدون حکمرانی و اقتصاد هوشمند، بازده سرمایه‌گذاری کالبدی مستهلک می‌شود.

طبائیان و همکاران (۲۰۲۴) معتقدند که سلامت شهری و هوشمندی شهری دو جریان مکمل اند که تنها در پیوند با یکدیگر می‌توانند کیفیت زیست انسان معاصر را ارتقا دهند. آن‌ها بر این باورند که شهر سالم هوشمند باید در پنج بُعد اقتصادی (رونق محلی، گردشگری، تنوع کسب‌وکار)، اجتماعی (مشارکت،

حرکت شهر را از رشد تصادفی به سمت توسعه پایدار و فضامدار هدایت کند (Mohimi, 2018c; Mohimi, 2019).

شریف و پوخرل (۲۰۲۲) با اتکا به یک مرور نظام‌مند مبتنی بر تحلیل محتوا، منظومه شش بعدی شهر هوشمند را چهارچوب بندی کردند و سپس طیفی از ریسک‌های فنی (وابسته به اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و بلاک چین) و غیرفنی (حکمرانی-حقوقی، راهبردی، اجتماعی-اقتصادی) را به صورت طبقه بندی شده تحلیل کردند؛ نتیجه محوری، ضرورت سنجش یکپارچه ریسک در طراحی و بهره‌برداری شهر هوشمند است تا آسیب پذیری‌ها در سطح سیاست، فناوری و کنش شهروندان به طور همزمان آشکار شود. نویسندگان با اتخاذ رویکردی نظام‌مند، شش بعد بنیادین شهر هوشمند را به عنوان زیربنای نظری مدیریت ریسک در محیط‌های شهری هوشمند بازتعریف می‌کنند.

آن‌ها استدلال می‌کنند که هریک از این ابعاد، حامل گونه‌ای از ریسک ساختاری است که در ترکیب با دیگر ابعاد، سامانه‌ای پیچیده و متداخل را پدید می‌آورد. در اقتصاد هوشمند، تمرکز بر پویایی داده و تاب‌آوری زنجیره ارزش است که وابستگی بیش از حد به فناوری‌های دیجیتال شکنندگی اقتصادی ایجاد می‌کند. حکمروایی هوشمند، تضاد میان شفافیت داده و امنیت اطلاعات معرفی می‌شود، در حالی که زندگی هوشمند به چالش تعادل میان آسایش دیجیتال و سلامت روانی شهروندان می‌پردازد. در جابه‌جایی هوشمند، وابستگی شبکه‌های حمل و نقل به الگوریتم‌های پیش‌بینی و داده‌های لحظه‌ای، نوعی ریسک سیستمی ایجاد می‌کند که می‌تواند در بحران‌ها بازتولید شود. مردم هوشمند، به عنوان بُعد انسانی، مرکز ثقل همه ابعاد دیگر تلقی می‌شود؛ زیرا مشارکت، سواد دیجیتال و اعتماد اجتماعی، تعیین کننده ظرفیت واقعی شهر برای هوشمندی‌اند. در نهایت، محیط زیست هوشمند بازتابی از اخلاق فناورانه شهر است که داده و فناوری باید در

تنوع اجتماعی، دسترسی به امکانات رفاهی، سلامت و اینترنت)، مدیریتی (مدیریت شهری کارآمد، بازیافت، رضایت شهروندی)، کالبدی (دسترسی، ایمنی، امنیت، حمل و نقل هوشمند، طراحی محیطی) و زیست محیطی (کیفیت هوا، آب، آلودگی صوتی و بصری، انرژی‌های تجدیدپذیر) بازتعریف شود و هر بُعد بر شاخص‌های دقیق و قابل سنجش تکیه دارد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بعد زیست محیطی از اهمیت بالاتری برخوردار است و کیفیت هوا و آب، مدیریت منابع و کاهش آلودگی باید در کانون سیاست‌گذاری‌های شهری قرار گیرد. از دید نویسندگان، هوشمندسازی بدون توجه به مؤلفه‌های زیست‌پذیری و عدالت فضایی، معنا ندارد. در نهایت، آن‌ها چهارچوبی مفهومی ارائه می‌دهند که می‌تواند مبنایی برای طراحی شهرهای ایرانی با رویکرد سلامت محور و هوشمند در آینده قرار گیرد.

مهمی و اسماعیلی (۲۰۲۵) معتقدند در حوزه برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، کاربرد فناوری‌های هوشمند به ویژه در مواجهه با پدیده رشد بی‌قاعده و پراکنده روی شهری واجد اهمیتی بنیادین است. این پدیده که به مثابه برون‌داد ناهماهنگی میان الگوهای توسعه فضایی و ظرفیت‌های زیست محیطی شهرها تلقی می‌شود، از چالش‌های ساختاری نظام‌های شهری معاصر به شمار می‌آید (Mohimi and Esmacily, 2024). مهمی و همکاران (۲۰۱۹) نیز تأکید می‌کنند که بهره‌گیری از فناوری‌های نوین چون سنجش از دور (RS) و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) امکان نظارت مستمر، تحلیل دینامیک فضایی، و بازشناسی الگوهای ناپایدار گسترش شهری را فراهم کرده است (Mohimi et al., 2021). این فناوری‌ها نه تنها ابزار پایش کالبدی محسوب می‌شوند، بلکه به عنوان سامانه‌های شناختی در خدمت تصمیم‌سازی شهری عمل می‌کنند؛ به گونه‌ای که مدیریت هوشمند می‌تواند از رهگذر داده‌های مکانی و تصویری، مسیر

خدمت پایداری زیستی قرار گیرند و نه سوءاستفاده از آن. نویسندگان در مجموع، از این شش گانه به عنوان یک اکوسیستم تعاملی نام می‌برند که در آن، هوشمندی نه در انباشت داده، بلکه در هماهنگی میان این ابعاد جانمایی می‌شود.

بنیاد همکاری شهرها و جوامع هوشمند اروپا (EIP-SCC) بخش راهبردی اتحادیه اروپا در حوزه شهرهای هوشمند محسوب می‌شود که مأموریت گردآوری، نظام‌مندسازی و تحلیل پروژه‌های اجرا شده در شهرهای اروپایی را بر عهده دارد. این نهاد با هدف تبیین هندسه عملیاتی هوشمندی شهری، اقدامات و ابتکارات را در شش طبقه کلان قرار داده است: نخست، مدل‌های تجاری، مالی و مناقصات (۳۰ پروژه)؛ دوم، شهروندمحوری و مشارکت اجتماعی (۶۱ پروژه)؛ سوم، زیرساخت‌ها و فرایندهای منسجم و یکپارچه با محوریت داده‌های باز (۱۲۸ پروژه)؛ چهارم، سیاست‌گذاری، مقررات و برنامه‌ریزی هماهنگ (۵۵ پروژه)؛ پنجم، محیط ساخته‌شده و نواحی شهری پایدار (۷۳ پروژه)؛ و ششم، جابه‌جایی هوشمند و نظام حمل‌ونقل پایدار (۸۱ پروژه). تحلیل تجمیعی این داده‌ها به این معناست که شهرهای هوشمند نه از منظر فناوری صرف، بلکه از طریق هم‌افزایی میان زیرساخت، سیاست و کنش اجتماعی ارتقا می‌یابند. دامنه این پروژه‌ها تمام زوایای زندگی شهری، از اقتصاد و حکمرانی تا فرهنگ و اکولوژی را در بر می‌گیرد. بر اساس شواهد تجربی، شهر هوشمند اروپایی حاصل شبکه‌ای پیچیده از مداخلات میان‌رشته‌ای است که در آن هر پروژه نه یک اقدام منفرد، بلکه کنشی در ساختار چندبُعدی و در حال تحول حکمرانی داده‌محور شهری محسوب می‌شود (Dameri, 2017, p69).

همچنین، اتحادیه اروپا با انتشار مجموعه‌ای از گزارش‌های جامع و تحلیلی، به بررسی پدیده شهر

هوشمند در اروپا پرداخته است و در چهارچوب دستورالعمل EU28، تمام ۴۶۸ شهر اروپایی با جمعیتی بیش از یکصد هزار نفر را ارزیابی می‌کند. بر اساس تعریف مصوب اتحادیه اروپا از مفهوم شهر هوشمند، از میان این شهرها ۲۴۰ شهر واجد ویژگی‌های هوشمندی تشخیص داده شده‌اند، رقمی که معادل ۵۱ درصد از کل است و تأکید می‌کند که روند هوشمندسازی، به پدیده‌ای ساختاری و فراگیر در مقیاس قاره‌ای تبدیل شده است. هرچند الگوی تکوینی شهرهای هوشمند در کشورهای عضو از حیث ساختار نهادی و ظرفیت فناورانه تفاوت‌هایی نشان می‌دهد، اما منطبق درونی این حرکت در سطح اتحادیه از هم‌گرایی مفهومی و سیاستی پیروی می‌کند. نتایج گزارش حاکی از آن است که بخش قابل توجهی از شهرهای اروپایی هنوز در مرحله اجرای پروژه‌های منفرد یا ابتکاری قرار دارند و فاقد یک راهبرد کل‌نگر برای تحقق هوشمندی در تمام ابعاد زندگی شهری هستند. باین حال، اتحادیه اروپا از منظر سازوکارهای مالی، حمایتی و سیاست‌گذاری، نقش تسهیل‌گر و هدایت‌گر را ایفا می‌کند؛ حمایتی که صرفاً جنبه بودجه‌ای ندارد، بلکه معطوف به ارتقای آگاهی جمعی و نهادینه‌سازی اصول توسعه هوشمند مبتنی بر سه اصل بنیادین مشارکت شهروندی، رشد اقتصادی پایدار، و حفاظت از محیط‌زیست شهری است که در مجموع، هندسه مفهومی و اخلاقی شهر هوشمند اروپایی را شکل می‌دهند (Dameri, 2018b; Mohimi, 2018a; Mohimi, 2018b).

در مجموع، هندسه شش‌گانه شهر هوشمند در بستر شهرهای اروپایی دربرگیرنده خوانشی نوین از شرایط شهرهای معاصر است؛ این گونه که اقتصاد هوشمند بستر پویایی و نوآوری را فراهم می‌کند، مردم هوشمند نیروی تفکر و سازگاری را در بر دارد، حکمروایی هوشمند مسیر جریان شفاف اطلاعات را آسان می‌کند، جابه‌جایی هوشمند بدنه شهر را در ارتباطی متداوم حفظ می‌کند، محیط‌زیست هوشمند پایداری زیستی

1. The European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities

را به همراه دارد، و زندگی هوشمند، هدف نهایی این مجموعه، یعنی ارتقای کیفیت زندگی انسان در فضای شهری را محقق می‌کند. از این رو، پرداختن به این شش گانه نه تنها انتخابی نظری محسوب نمی‌شود، بلکه ضرورتی است برای فهم شهر به عنوان سامانه‌ای آگاه، سازگار و خودبازتابنده در دوران پیچیدگی‌های فناورانه مدرن.

روش پژوهش

در این پژوهش، با اتکا به مطالعه‌ای عمیق، نظام‌مند و موشکافانه بر مبانی نظری موضوع، و با لحاظ شش بُعد تکوینی شهر هوشمند، مجموعه‌ای مشتمل بر ۹۱ شاخص تأثیرگذار در هر بُعد و زمینه کارکردی استخراج، تدوین و در قالب جدول شماره ۱ دسته‌بندی شد. شایان ذکر است که این شاخص‌ها با رویکردی تحلیلی و بر مبنای در دسترس بودن داده‌های رسمی و مستند منتشرشده در پایگاه داده شهرهای اروپایی (Eurostat, 2025) و همچنین ممیزی شهری اروپا (Eurostat, 2024) انتخاب شده‌اند؛ داده‌هایی که هریک به صورت مستقل و در آدرس‌های اینترنتی مجزا توسط بخش انتشارات رسمی آمار اروپا (Eurostat) وابسته به اتحادیه اروپا منتشر و بارگذاری شده‌اند. شاخص‌های مستخرج که ساختار تحلیلی پژوهش را در قالب شش بُعد اصلی تشکیل می‌دهند، به ترتیب شامل: اقتصاد هوشمند (۱۲ شاخص)، مردم هوشمند (۱۶ شاخص)، حکمروایی هوشمند (۱۲ شاخص)، جابه‌جایی هوشمند (۱۰ شاخص)، محیط‌زیست هوشمند (۱۳ شاخص) و زندگی هوشمند (۲۸ شاخص) هستند. علاوه بر این، به منظور ارزیابی شاخص‌های منتخب و تبیین هندسه هوشمندی، ۹۰ شهر هوشمند از ۲۱ کشور اروپایی به عنوان جامعه آماری پژوهش گزینش شدند (Eurostat, 2025; Eurostat, 2024). نحوه انتخاب این شهرها نیز مبتنی بر معیار دسترسی به داده‌های رسمی و به‌روزرسانی‌شده اتحادیه اروپا بوده است. ترکیب جغرافیایی این شهرها به تفکیک کشورها بدین

شرح است: انگلستان (۱۰ شهر)، جمهوری ایرلند (۱ شهر)، اسپانیا (۱۱ شهر)، ایتالیا (۷ شهر)، پرتغال (۱ شهر)، فرانسه (۱۱ شهر)، آلمان (۱۶ شهر)، هلند (۳ شهر)، بلژیک (۲ شهر)، لهستان (۹ شهر)، یونان (۲ شهر)، بلغارستان (۲ شهر)، رومانی (۲ شهر)، اسلواکی (۱ شهر)، جمهوری چک (۲ شهر)، لیتوانی (۲ شهر)، لتونی (۱ شهر)، استونی (۱ شهر)، فنلاند (۱ شهر)، سوئد (۳ شهر) و دانمارک (۲ شهر). بر اساس این طبقه‌بندی، آلمان با ۱۶ شهر هوشمند بیشترین سهم را در میان کشورهای مورد بررسی داراست؛ در حالی که فرانسه و اسپانیا هریک با ۱۱ شهر هوشمند به صورت مشترک در رتبه دوم و انگلستان با ۱۰ شهر هوشمند در جایگاه سوم قرار گرفته‌اند (مطابق با جدول شماره ۲). در خصوص داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، لازم به تأکید است که از نسخه به‌روزرسانی‌شده کلیه داده‌های استخراجی از هریک از دو پایگاه داده یادشده برای تمام شاخص‌های معرفی‌شده بهره گرفته شده است؛ بدین معنا که تمام داده‌های مربوط به بازه زمانی پیش از سال ۲۰۱۵ میلادی از دامنه تحلیل حذف شده و صرفاً داده‌های معتبر و قابل دسترس پس از این تاریخ برای هریک از شهرهای منتخب وارد فرآیند محاسبات و تحلیل‌های پژوهش شده‌اند. این فرآیند تضمین می‌کند که نتایج حاصل، بازتاب‌دهنده آخرین وضعیت ساختاری و کارکردی شهرهای هوشمند اروپایی در عصر داده‌محور معاصر باشد. به منظور سنجش هندسه هوشمندی شهرهای اروپایی، هم‌زمان از چهار روش ارزیابی چندمعیاره AHP، SAW، TOPSIS و VIKOR بهره گرفته شده است (با کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB)؛ چراکه هر کدام از حیث ماهیت مدل‌سازی، نوع جبران‌پذیری بین شاخص‌ها، و حساسیت به وزن‌دهی و نرمال‌سازی، دید چندبعدی متفاوتی بر همان واقعیت می‌گذارند و ناهمخوانی‌های رتبه‌ای را نمایان می‌کنند (Taherdoost & Madanchian, 2024).

| منبع | شاخص | زمینه | بُعد |
|---|--|---|--|
| (Ulya et al., 2024; Al Sharif & Pokharel, 2022; Achmad et al., 2018; Giffinger & Gudrun, 2010; Bhattacharya et al., 2018; Mupfumira et al., 2024; Bibri, 2018; Kuru & Ansell, 2020; Bakry et al., 2019; Sandeep et al., 2020; Lytras et al., 2021; Ismagilova et al., 2019; Naqvi et al., 2020; Gupta et al., 2019; Yadav et al., 2019; Yigitcanlar et al., 2018; Al-Masri et al., 2019; Kumar et al., 2020; Allam & Dhunny, 2019; Appio et al., 2019; Tadayon et al., 2023; Jalili Sadrabad & Pourirahim, 2025; Rezapourgatabi et al., 2023; Tabacian et al., 2024; Taimazi et al., 2024; Farajpourfard et al., 2025; Mahdizadeh et al., 2021) | <ul style="list-style-type: none"> - حجم مه‌دود در شهر - حجم ریزگردها و ذرات معلق - نرخ بیماری‌های مزمن تنفسی مرگبار به‌ازای هر نفر - میزان صرفه‌جویی در مصرف بهینه آب نسبت به تولید ناخالص داخلی - میزان صرفه‌جویی در مصرف بهینه برق نسبت به تولید ناخالص داخلی - شده توسط شهرداری به‌داده- تعداد سطوح پوشش آوری زباله‌های شهری منظور جمع - ساعات آفتابی در یک روز - سرانه فضای سبز - میزان ذخیره آبی - آوری و- سطح تحت پوشش سیستم‌های جمع تصفیه فاضلاب شهری - میزان مصرف محصولات دوستدار محیط‌زیست - میزان تلاش‌های فردی و داوطلبانه برای حفاظت از محیط‌زیست - میزان نظرات موافق با حفاظت از محیط‌زیست | <ul style="list-style-type: none"> - آلودگی - آگاهی - اکولوژیکی - مدیریت پایدار - منابع - حفاظت - زیست‌محیط - کشاورزی | <ul style="list-style-type: none"> - (بهداشت) |
| (Ulya et al., 2024; Al Sharif & Pokharel, 2022; Achmad et al., 2018; Giffinger & Gudrun, 2010; Bhattacharya et al., 2018; Sharifi, 2019; Ismagilova et al., 2019; Lytras et al., 2021; Mupfumira et al., 2024; Gupta et al., 2019; Yadav et al., 2020; Kesswani & Kumar, 2018; Kumar et al., 2020; Allam & Dhunny, 2019; Appio et al., 2019; Tadayon et al., 2023; Jalili Sadrabad & Pourirahim, 2025; Rezapourgatabi et al., 2023; Tabacian et al., 2024; Taimazi et al., 2024; Farajpourfard et al., 2025; Mahdizadeh et al., 2021; Salimi et al., 2024; Shami et al., 2021) | <ul style="list-style-type: none"> - سرانه حضور در سینماها - سرانه حضور در تئاترها - سرانه بازدید از موزه‌ها - میزان رضایت از تأسیسات ورزشی - امید به زندگی - میزان آلودگی صوتی - تعداد تخت‌های بیمارستان به‌ازای هر نفر - تعداد پزشکان متخصص به‌ازای هر نفر - میزان رضایت از سیستم درمانی - ومیر نوزادان- نرخ مرگ - ومیر کمتر از ۶۵ سال سن- نرخ مرگ - نرخ جرم و جنایت - نرخ سرقت و کیف‌قاپی - ومیر بر اثر قتل- نرخ مرگ - میزان رضایت از امنیت فردی - میزان رضایت از سیمای خیابان‌ها - سهم مسکن با حداقل استانداردها - صرفه‌به- سهم مسکن مقرون - میانگین مقدار سطح مختص زیست خانوار به‌ازای هر نفر - میزان رضایت از وضعیت مسکن شخصی - تعداد دانش‌آموزان به‌ازای هر نفر - میزان رضایت از دسترسی به سیستم آموزشی - میزان رضایت از کیفیت سیستم آموزشی - میزان تنوع زبان‌های خارجی در آموزش عالی - تعداد جاذبه‌های گردشگری - تعداد اقامتگاه‌های شبانه - نرخ فقر - میزان درآمد ساکنان | <ul style="list-style-type: none"> - امکانات فرهنگی - و اوقات فراغت - شرایط بهداشت - و سلامت - امنیت فردی - کیفیت مسکن - امکانات - آموزشی - جاذبه‌های - گردشگری - همبستگی - اجتماعی | <ul style="list-style-type: none"> - (بهداشت) - (بهداشت) |

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) ذاتاً یک چهارچوب قضاوت‌محور زوجی برای استخراج اوزان می‌باشد که مزیت آن قابلیت ادغام قضاوت‌ها و داده‌های کیفی و کمی و تسهیل اجماع است. این روش با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل هدف، معیارها یا مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی هستند و به‌عنوان یکی از شناخته‌شده‌ترین الگوهای تصمیم‌گیری چندمنظوره برای وضعیت‌های پیچیده‌ای که سنجه‌های چندگانه و متضاد دارند، ابزار تصمیم‌گیری نرم‌ش پذیر و در همان حال، توانمند به شمار می‌رود (Zebardast, 2002). درعین حال، ذهنی بودن وزن‌ها و پدیده‌وارونگی رتبه در گونه‌های مختلف این روش از محدودیت‌های کلاسیک آن هستند (Karthikeyan et al., 2016).

جدول شماره (۲): شهرهای هوشمند منتخب اروپایی

| | | | |
|---------------|---------------|-------------------|---------------------|
| آلمان: | لهستان: | فرانسه: | اسپانیا: |
| ۱. بیله‌فلد | ۱. بیدگوشچ | ۱. آکس-آن-پرووانس | ۱. آلیکانته |
| ۲. بوخوم | ۲. گدانسک | ۲. بوردو | ۲. بلبانو |
| ۳. بُن | ۳. کاتوویتس | ۳. گرونوبل | ۳. کوردوبا |
| ۴. دورتموند | ۴. کراکوف | ۴. مون‌پلیه | ۴. لاس‌پالماس |
| ۵. برمن | ۵. ووج | ۵. نانت | ۵. مالاگا |
| ۶. درسدن | ۶. لوبلین | ۶. نیس | ۶. مورسیا |
| ۷. دویسبورگ | ۷. پوزنان | ۷. رن | ۷. سویا |
| ۸. دوسلدورف | ۸. شچچین | ۸. سن-اِتین | ۸. والنسیا |
| ۹. اِسِن | ۹. وروتسواف | ۹. استراسبورگ | ۹. ساراگوسا |
| ۱۰. فرانکفورت | دانمارک: | ۱۰. تولون | ۱۰. وایادولید |
| ۱۱. هانوفر | ۱. کپنهاگ | ۱۱. تولوز | ۱۱. پالماده‌مایورکا |
| ۱۲. لایپزیگ | ۲. آرهوس | | |
| ۱۳. مانهایم | | | |
| ۱۴. نورنبرگ | بلژیک: | سوئد: | هلند: |
| ۱۵. اشتوتگارت | ۱. آنتورپ | ۱. استکهلم | ۱. آمستردام |
| ۱۶. ووپرتال | ۲. لیژ | ۲. گوتنبرگ | ۲. روتردام |
| | | ۳. مالمو | ۳. لاهه |
| انگلستان: | ایتالیا: | پرتغال: | لتونی: |
| ۱. برادفورد | ۱. باری | ۱. لیسبون | ۱. ریگا |
| ۲. اِدینبورگ | ۲. بولونیا | ایرلند: | استونی: |
| ۳. کاردیف | ۳. فلورانس | ۱. دوبلین | ۱. تالین |
| ۴. بریستول | ۴. جنوا | اسلواکی: | فنلاند: |
| ۵. گلاسگو | ۵. ناپل | ۱. براتیسلاوا | ۱. هلسینکی |
| ۶. لیدز | ۶. پالمو | جمهوری چک: | یونان: |
| ۷. لستر | ۷. تورین | ۱. پرنو | ۱. آتن |
| ۸. لیورپول | | ۲. استراوا | ۲. سالونیک |
| ۹. منچستر | رومانی: | لیتوانی: | بلغارستان: |
| ۱۰. شفیلد | ۱. تیمیشوارا | ۱. ویلنیوس | ۱. وارنا |
| | ۲. کلوژ-نپوکا | ۲. کاوناس | ۲. پلودویو |

فن رتبه‌بندی ترجیحات بر اساس شباهتشان به راه حل ایدئال (TOPSIS)، یکی از بهترین مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای اولین بار هوانگ و یون (۱۹۸۱) معرفی کردند. این فن، مسئله مورد پژوهش را در قالب یک ماتریس $n \times m$ که دارای m شاخص و n گزینه است، ارزیابی می‌کند. اولویت‌بندی گزینه‌ها در این مدل بر اساس کمترین فاصله با گزینه ایدئال مثبت و بیش‌ترین فاصله با گزینه ایدئال منفی انجام می‌شود. فن TOPSIS جهت تحلیل مسائل

تصمیم‌گیری پیچیده که در آن‌ها ارزیابی گزینه‌ها بر پایه معیارهای متعارض و ناسازگار صورت می‌گیرد، کاربرد دارد. مهم‌ترین نقطه قوت این روش، منطق ریاضی شفاف آن است (Hwang and Yoon, 1981). مزیت این روش شهود هندسی (نزدیکی به بهترین و دوری از بدترین) و کارایی محاسباتی مناسب است و در مقابل، به انتخاب روش نرمال‌سازی و وارونگی رتبه با تغییر مجموعه گزینه‌ها حساس است (Madanchian & Taherdoost, 2023).

روش VIKOR توسط آپروکویچ و تزنگ (۲۰۰۴) برای بهینه‌سازی سیستم‌های چندمعیاره و پیچیده ایجاد شد. این واژه برگرفته از یک عبارت صربی به معنی «بهینه‌سازی چندمعیاره» و «راه‌حل توافقی» است و به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل مسائل گسسته با معیارهای مختلف، و واحدهای اندازه‌گیری متفاوت شناخته می‌شود. این روش اندازه‌گیری چندمعیاره برای رتبه‌بندی توافقی، از یک تابع تجمعی برای برنامه‌ریزی توافقی استفاده می‌کند. این روش یک روش توافق محور است که هم معیار میانگین انحراف (S) و هم بدترین وضعیت (R) را در شاخص ترکیبی Q با پارامتر استراتژیک ν توزین می‌کند و مزیت آن کار با داده‌های متعارض و ناکامل و در ادامه ارائه راه‌حل توافقی است، اما به تغییرات وزن‌ها و پارامتر ν و نرمال‌سازی حساس است (Sari, 2018).

روش SAW (جمع وزنی ساده) یکی از قدیمی‌ترین روش‌های به‌کارگیری شده در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است؛ به طوری که با مفروض بودن بردار W (اوزان اهمیت از شاخص‌ها) برای آن، مناسب‌ترین گزینه به صورت رابطه

$$A^* = \left\{ A_i \mid \text{Max} \frac{\sum_{j=1}^n w_j r_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_j} \right\}$$

محاسبه می‌شود. اما ابتدا باید به تعیین گزینه‌ها (m) و شاخص‌های ارزیابی (n) پرداخته شود، و سپس تشکیل ماتریس اولیه است. ردیف‌های این ماتریس، گزینه‌ها یا آلترناتیوهای مورد نظر هستند و ستون‌ها شامل شاخص‌هاست. این روش، یک روش جبران‌پذیر خطی است و مزیت آن شفافیت، سادگی محاسبات و تفسیرپذیری بالاست؛ اما به مقیاس دهی و نرمال‌سازی حساس است و با داده‌های تک‌بعدی خام و وزن‌های ذهنی، تفکیک‌پذیری ضعیف و سوگیری ایجاد می‌کند (Taherdoost, 2023).

ادبیات مقایسه‌ای نشان می‌دهد که روش‌های ارزیابی چندمعیاره در شرایط مختلف می‌توانند رتبه‌های

ناهمساز تولید کنند؛ البته همین ناهمسویی برای پژوهشگر حکم اطلاعات ارزشمندی را دارد و نه مزاحمت. این اختلاف‌ها، الگوهای پنهان، وابستگی به مقیاس و وزن و همچنین نقش شاخص‌های مسلط را نمایان می‌کنند. به همین دلیل، متخصصان، ترکیب یا مقایسه این چهار روش برای مسائل پیچیده را توصیه می‌کنند (Stanujkic et al., 2013; Pramanik et al., 2021; Waas et al., 2022). پس از به دست آوردن چهار بردار رتبه برای هر یک از اعضای جامعه آماری، آزمون ناپارامتریک فریدمن ابزاری استاندارد برای آزمون معناداری آماری تفاوت رتبه‌ها بین روش‌ها روی یک مجموعه مشترک از داده‌هاست. اگر آزمون فریدمن معنادار باشد ($p < 0.05$)، نشان می‌دهد که روش‌ها به‌طور نظام‌مند رتبه‌های متفاوتی ایجاد می‌کنند، از این رو، می‌توان بهترین و پایدارترین روش یا ترکیب رتبه‌ها را برگزید تا بهترین فرم تحلیل برای تدوین نقشه نهایی انتخاب شود (Sheldon et al., 1996; Montella et al., 2025).

به همین دلیل، برای دستیابی به هندسه هوشمندی، AHP اوزان بومی و سازگار با منطق نهادی نهفته در داده‌های رسمی اتحادیه اروپا را تأمین می‌کند؛ SAW تصویری پایه و شفاف از رتبه‌بندی نشان می‌دهد و به‌عنوان خط مبنا عمل می‌کند؛ TOPSIS بُعد فاصله از ایدئال و ضدایدئال را به هندسه رتبه می‌افزاید؛ VIKOR بُعد توافق استراتژیک میان شاخص‌های متعارض را می‌سنجد. مقایسه این چهار تصویر تحلیلی به‌دست آمده با آزمون فریدمن، اگر تفاوت‌ها معنادار باشند، به پژوهشگر این اجازه را می‌دهد که فرم مسلط تحلیل و روش یا تجمیع وزنی شاخص‌ها را برگزیند و چندوجهی رتبه‌ها را به یک هندسه نهایی قابل دفاع تقلیل دهد؛ هندسه‌ای که هم به منطق نهادی نهفته در داده‌های رسمی اتحادیه اروپا پایبند است (AHP)، هم به ارزش‌گذاری خطی (SAW)، هم به هندسه فاصله (TOPSIS) و هم به منطق توافق (VIKOR). این

رویکرد در مطالعات ارزیابی چندمعیاره و سناریوهای انتخاب و رتبه‌بندی گزینه‌ها در پژوهش‌های بسیاری استفاده و به‌صورت تجربی برای انتخاب روش برتر یا ترکیب بهینه به کار گرفته شده است (Taherdoost & Madanchian, 2024; Zhu & Wang, 2024; Aydin & Gümüş, 2022).

روش‌شناسی پژوهش به این صورت است که ماتریس خام اولیه با استفاده از تعریف جامعه آماری شامل ۹۰ شهر اروپایی از ۲۱ کشور، مطابق داده‌های معتبر از دو پایگاه رسمی اتحادیه اروپا (Eurostat) در قالب ردیف‌های ماتریس تصمیم‌گیری، و تعریف معیارهای ارزیابی پژوهش شامل ۹۱ شاخص در ۶ بُعد شهر هوشمند مستخرج از مبانی نظری پژوهش، در قالب ستون‌های ماتریس تصمیم‌گیری، تشکیل می‌شود. سپس نوع هر شاخص از منظر سود/منفعت (بیشتر=بهرتر) و یا هزینه/ریسک (کمتر=بهرتر) تعیین می‌شود.

برخلاف کاربرد کلاسیک برخی روش‌ها، به‌ویژه AHP، هیچ‌گونه مقایسه زوجی مبتنی بر قضاوت ذهنی خبرگان در این پژوهش به کار نرفته است. در نتیجه، نرخ ناسازگاری که معمولاً در AHP مبتنی بر مقایسه‌های زوجی انسانی مطرح می‌شود، در این پژوهش موضوعیت ندارد؛ زیرا وزن‌دهی و رتبه‌بندی مستقیماً از مقادیر عددی شاخص‌ها استخراج شده و فرآیند محاسبات کاملاً داده‌محور و بدون دخالت خطای انسانی بوده است. از این رو، محاسبات از حیث سازگاری، پایدار و تکرارپذیر هستند.

در مرحله بعد وزن‌دهی شاخص‌ها انجام می‌شود که روش آن بدین‌گونه است که ابتدا با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده برای هر شاخص و با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، وزن هر شاخص بر اساس «وزن‌های انتروپی‌شانون» محاسبه می‌شود. وزن‌دهی به شاخص‌ها با روش انتروپی‌شانون، بر اساس میزان پراکندگی داده‌های هر شاخص محاسبه می‌شود.

هرچه داده‌های یک شاخص پراکندگی بیشتری داشته باشند، آن شاخص از اهمیت و وزن بالاتری برخوردار خواهد بود (Shannon & Weaver, 1949). از این رو، انتخاب وزن‌دهی شانون کاملاً آگاهانه و متناسب با ماهیت پژوهش بوده است؛ زیرا این پژوهش با حجم بالایی شاخص‌ها (۹۱ شاخص) و تعداد زیاد گزینه‌ها (۹۰ شهر) سروکار دارد و داده‌های آن نیز از پایگاه‌های رسمی آماری Eurostat و Urban Audit استخراج شده و دارای پراکندگی آماری معنادار هستند. هدف پژوهش نیز مشخص می‌کند که استخراج وزن‌ها از درون داده‌ها صورت می‌گیرد و نه از تحمیل ترجیحات ذهنی پژوهشگر. همان‌گونه که گفتیم، وزن‌دهی شانون بر اساس میزان پراکندگی اطلاعات هر شاخص عمل می‌کند و شاخص‌هایی که قدرت تمایزدهی بیشتری میان شهرها دارند، وزن بالاتری دریافت می‌کنند. این ویژگی‌ها دقیقاً با منطبق این پژوهش که یک مطالعه کلان‌مقیاس، تطبیقی، داده‌محور و فراملی است، هم‌راستاست. به همین دلیل، روش انتروپی شانون به‌عنوان مناسب‌ترین روش وزن‌دهی برای این چهارچوب انتخاب شد.

در ادامه، پیش‌پردازش و نرمال‌سازی داده‌ها که برای هر چهار روش مشترک است، اعمال می‌شود که شامل حذف داده‌های قبل از سال ۲۰۱۵ و تثبیت آخرین مقادیر معتبر برای هر شهر/شاخص، حذف شهرهای با کمبود داده و یا برآورد مقادیر آن‌ها با روش میانگین گروه، و تبدیل شاخص‌های هزینه/ریسک به شاخص‌های سود/منفعت است. سپس، نرمال‌سازی ماتریس برای هر یک از روش‌های ارزیابی چندمعیاره، هرکدام مطابق فرمول استاندارد خود، شامل نرمال‌سازی خطی، نرمال‌سازی برداری و یا روش انتخابی ثابت انجام می‌شود. در این مرحله، تمام روش‌ها روی یک نسخه هم‌مقیاس و جهت‌دار از داده‌ها کار می‌کنند.

برای هر یک از روش‌های اعمال‌شده روی ماتریس تولیدشده مختص همان روش خاص، شامل وزن‌دهی،

پیش‌پردازش و نرمال‌سازی، محاسبه انجام می‌شود که رتبه‌بندی شهرها را تولید می‌کند. در این رتبه‌بندی، AHP منطق‌نهادی نهفته در داده‌های رسمی اتحادیه اروپا است؛ SAW ساده‌ترین و شفاف‌ترین تصویر از هوشمندی ترکیبی است و به‌مثابه خط مبنا عمل می‌کند؛ TOPSIS با تعیین راه‌حل ایدئال مثبت و منفی، محاسبه فاصله هر شهر از ایدئال‌ها و تعیین ضریب نزدیکی، هندسه فاصله از بهترین/بدترین را وارد روند می‌کند؛ VIKOR با تعیین بهترین و بدترین مقدار برای هر شاخص و محاسبه شاخص توافقی، به‌طور خاص مشخص می‌کند که چه شهرهایی دارای راه‌حل توافقی میان ابعاد متعارض هستند (برای مثال: تعارض میان اقتصاد قوی و محیط‌زیست ضعیف).

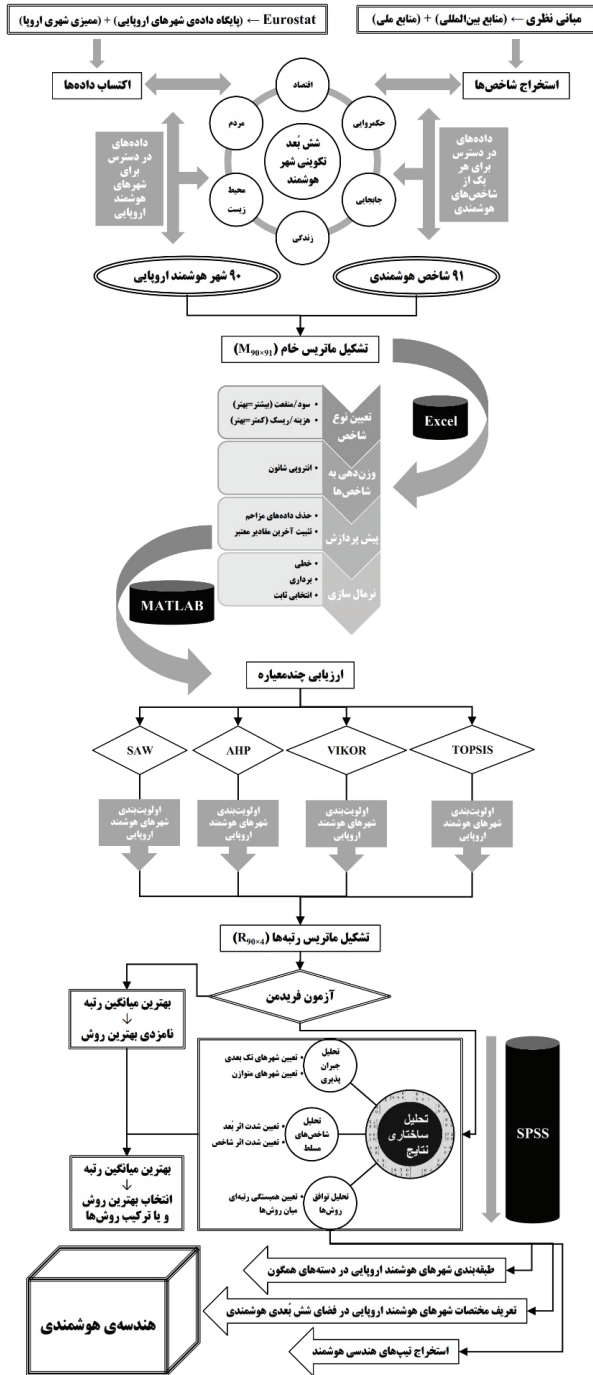
در پایان، به تشکیل ماتریس رتبه‌ها و اجرای آزمون ناپارامتریک فریدمن پرداخته می‌شود. به همین منظور، ۹۰ شهر هوشمند اروپایی سطرهای ماتریس را تعریف می‌کنند و چهار ستون این ماتریس شامل هر یک از چهار روش ارزیابی چندمعیاره، AHP، SAW، TOPSIS و VIKOR است. در اجرای آزمون فریدمن فرض صفر این‌گونه تعریف می‌شود: میان رتبه‌های چهار روش تفاوت معناداری وجود ندارد. در این صورت، اگر $p < 0.05$ باشد، فرض صفر رد می‌شود و نشان‌دهنده این است که روش‌های ارزیابی چندمعیاره، تفاوت رتبه‌ای نظام‌مند دارند. خروجی کلیدی این است که روش یا روش‌هایی که بهترین میانگین رتبه را از آن خود می‌کنند، نامزد فرم برتر تحلیل برای تدوین هندسه هوشمندی هستند.

شایان ذکر است که به منظور تحلیل ساختار نتایج و دستیابی به هندسه هوشمندی، از تحلیل‌های «جبران‌پذیری»، «شاخص‌های مسلط» و «توافق روش‌ها» نیز بهره گرفته می‌شود؛ بدین معنا که در این مرحله، پژوهش از صرف رتبه دادن فراتر می‌رود و وارد تحلیل ساختاری می‌شود. تحلیل جبران‌پذیری نشان می‌دهد که کدام شهرها از لحاظ هوشمندی تک‌بعدی

هستند (مثلاً فقط اقتصادی یا فقط محیط‌زیستی) و کدام یک متوازن‌اند. تحلیل نقش شاخص‌های مسلط به بررسی این که کدام بُعد یا شاخص بیشترین اثر را در تفاوت بین روش‌ها دارند (از طریق آنالیز حساسیت روی وزن‌ها، و مشاهده تغییر رتبه هنگام حذف/کاهش وزن یک بعد). شاخص‌هایی که در تمام روش‌ها خروجی را به‌شدت تغییر می‌دهند، شاخص‌های مسلط هندسه هوشمندی را تشکیل می‌دهند. تحلیل توافق بین روش‌ها برای هر شهر به‌صورت همبستگی رتبه‌ای (Spearman/Kendall) بین روش‌ها برای کل مجموعه انجام می‌پذیرد. شهرهایی که در همه روش‌ها در بالا یا پایین قرار می‌گیرند، هسته وفاق هوشمندی را تشکیل می‌دهند.

پس از آزمون فریدمن و تحلیل توافق‌ها و تفاوت‌ها به تعیین روش برتر یا ترکیب روش‌ها پرداخته می‌شود. اگر یک روش بهترین میانگین رتبه و بیشترین ثبات را داشته باشد، به‌عنوان روش اصلی انتخاب می‌شود؛ و یا با استفاده از رویکرد تلفیقی، میانگین رتبه‌ها یا رتبه وزنی براساس اعتماد به هر روش انجام می‌پذیرد. در نتیجه، تولید رتبه‌بندی نهایی شهرها بر اساس روش منتخب یا ترکیبی انجام می‌شود. با مشخص شدن روش نهایی، و بر اساس نوع خروجی مورد نظر، طبقه‌بندی شهرها نیز در دسته‌های مختلف انجام می‌شود (برای مثال، دسته‌های هوشمند متعادل، اقتصاد قوی/محیط ضعیف، «حکروایی/زندگی قوی و...).

در نهایت، به منظور ساخت چهارچوب تحلیلی و با همان هندسه هوشمندی، این پژوهش از عدد و رتبه عبور می‌کند و به تصویر و ساختار می‌رسد. بدین معنا که برای هر شهر، امتیاز شش بُعد محاسبه می‌شود و شاخص‌های هر بُعد با وزن‌های شانون تجمیع می‌شوند. در واقع، این شش عدد، مختصات شهر در فضای شش‌بعدی هوشمندی‌اند. نمودار راداری برای هر شهر تشکیل می‌شود که شکل هندسی پروفایل هوشمندی را به دست می‌دهد. شش ضلعی منتظم،



شکل شماره (۱): روش انجام پژوهش

جدول شماره (۳): مقادیر به دست آمده از اعمال ۴ روش ارزیابی چندمعیاره برای شهرهای هوشمند اروپا

| ردیف | کشور | شهر | TOPSIS | VIKOR | SAW | AHP |
|------|----------------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| ۱ | آلمان | بیلهفلد | 0.012036 | 0.468097 | 0.028493 | 0.015775 |
| ۲ | | بخوم | 0.012114 | 0.492773 | 0.031249 | 0.03201 |
| ۳ | | بن | 0.013684 | 0.361727 | 0.058108 | 0.028778 |
| ۴ | | برمن | 0.012057 | 0.481044 | 0.028596 | 0.021779 |
| ۵ | | دورتموند | 0.011604 | 0.51425 | 0.017976 | -0.00703 |
| ۶ | | درسدن | 0.013093 | 0.421822 | 0.04962 | 0.039192 |
| ۷ | | دویسبرگ | 0.012006 | 0.520921 | 0.028235 | 0.00701 |
| ۸ | | دوسلدورف | 0.013943 | 0.350465 | 0.060122 | -0.01995 |
| ۹ | | اسن | 0.011748 | 0.466283 | 0.019331 | -0.02421 |
| ۱۰ | | فرانکفورت | 0.015633 | 0.253274 | 0.091124 | -0.11845 |
| ۱۱ | | هانوفر | 0.01319 | 0.38871 | 0.04902 | 0.018561 |
| ۱۲ | | لایپزیگ | 0.012852 | 0.4064 | 0.04308 | 0.014178 |
| ۱۳ | | منهایم | 0.012997 | 0.36969 | 0.043111 | -0.01954 |
| ۱۴ | | نورنبرگ | 0.013029 | 0.385579 | 0.042272 | -0.03419 |
| ۱۵ | | اشتوتگارت | 0.014973 | 0.267307 | 0.077197 | -0.02397 |
| ۱۶ | | ووپرتال | 0.012236 | 0.475664 | 0.033168 | 0.012105 |
| ۱۷ | فرانسه | اکس-آن-پروانس | 0.012499 | 0.434431 | 0.03888 | 0.021852 |
| ۱۸ | | بوردو | 0.01334 | 0.482682 | 0.06362 | 0.092586 |
| ۱۹ | | جرنوبل | 0.012983 | 0.421178 | 0.049485 | 0.039466 |
| ۲۰ | | مون‌پلیه | 0.012172 | 0.534312 | 0.037697 | 0.072825 |
| ۲۱ | | نانت | 0.012096 | 0.537855 | 0.034799 | 0.064227 |
| ۲۲ | | نیس | 0.012791 | 0.454135 | 0.045887 | 0.04049 |
| ۲۳ | | رن | 0.013583 | 0.456269 | 0.066839 | 0.091335 |
| ۲۴ | | سن-اتین | 0.011913 | 0.522706 | 0.03074 | 0.044318 |
| ۲۵ | | استراسبورگ | 0.013249 | 0.47729 | 0.057241 | 0.079544 |
| ۲۶ | | تولون | 0.011955 | 0.518441 | 0.032379 | 0.048229 |
| ۲۷ | | تولوز | 0.012998 | 0.426178 | 0.04852 | 0.043037 |
| ۲۸ | | اسپانیا | آلیکانته | 0.010199 | 0.644106 | -0.00417 |
| ۲۹ | بیلباو | | 0.010551 | 0.589151 | 0.001241 | 0.012178 |
| ۳۰ | کوردوبا | | 0.008793 | 0.699744 | -0.03354 | 0.001553 |
| ۳۱ | لاس پالماس | | 0.00968 | 0.660886 | -0.01492 | 0.012486 |
| ۳۲ | مالاگا | | 0.008917 | 0.688165 | -0.02982 | -0.00683 |
| ۳۳ | مورسیا | | 0.008919 | 0.684675 | -0.03095 | 0.000182 |
| ۳۴ | پالماد مایورکا | | 0.011197 | 0.59675 | 0.01529 | 0.03901 |
| ۳۵ | سویا | | 0.009753 | 0.633593 | -0.01509 | 0.009697 |
| ۳۶ | والنسیا | | 0.010487 | 0.601729 | 0.000259 | 0.025669 |
| ۳۷ | وایادولید | | 0.009625 | 0.708707 | -0.01591 | 0.043771 |
| ۳۸ | زاراگوزا | 0.009617 | 0.672556 | -0.01579 | 0.01972 | |

| ردیف | کشور | شهر | TOPSIS | VIKOR | SAW | AHP |
|------|-----------|------------|----------|----------|----------|----------|
| ۳۹ | انگلستان | بردفورد | 0.011703 | 0.492831 | 0.022617 | 0.007797 |
| ۴۰ | | بريستول | 0.013288 | 0.340321 | 0.048504 | -0.00628 |
| ۴۱ | | کاردیف | 0.014081 | 0.420175 | 0.07551 | 0.094751 |
| ۴۲ | | ادینبور | 0.013942 | 0.337175 | 0.064212 | 0.028175 |
| ۴۳ | | گلاسکو | 0.012331 | 0.452265 | 0.034032 | 0.014957 |
| ۴۴ | | لیدز | 0.01215 | 0.461239 | 0.030355 | 0.01251 |
| ۴۵ | | لستر | 0.012273 | 0.457164 | 0.03346 | 0.012923 |
| ۴۶ | | لیورپول | 0.012004 | 0.479197 | 0.028267 | 0.018134 |
| ۴۷ | | منچستر | 0.012248 | 0.396714 | 0.029405 | -0.01861 |
| ۴۸ | | شفیلد | 0.012589 | 0.469528 | 0.041437 | 0.043329 |
| ۴۹ | لهستان | بیدگوشچ | 0.008679 | 0.760675 | -0.03464 | 0.02326 |
| ۵۰ | | گدانسک | 0.009656 | 0.661607 | -0.01545 | 0.016745 |
| ۵۱ | | کتویس | 0.008979 | 0.717553 | -0.02881 | 0.017265 |
| ۵۲ | | کراکف | 0.00992 | 0.645138 | -0.01206 | 0.022067 |
| ۵۳ | | لودز | 0.008143 | 0.787525 | -0.04762 | 0.020193 |
| ۵۴ | | لوبلین | 0.008636 | 0.74293 | -0.03687 | 0.025274 |
| ۵۵ | | پوزنان | 0.009709 | 0.708262 | -0.01489 | 0.044299 |
| ۵۶ | | شچچین | 0.009068 | 0.747095 | -0.02569 | 0.036492 |
| ۵۷ | | وروکلاو | 0.009842 | 0.659993 | -0.01225 | 0.02536 |
| ۵۸ | ایتالیا | باری | 0.005953 | 0.87045 | -0.09093 | -0.0551 |
| ۵۹ | | بولونیا | 0.010951 | 0.581974 | 0.006491 | 0.014533 |
| ۶۰ | | فلورانس | 0.008618 | 0.685845 | -0.0397 | -0.01915 |
| ۶۱ | | جنوا | 0.007473 | 0.793853 | -0.06068 | -0.0534 |
| ۶۲ | | نابولی | 0.003378 | 0.97263 | -0.13804 | -0.11554 |
| ۶۳ | | پالمو | 0.003271 | 0.979763 | -0.14458 | -0.12582 |
| ۶۴ | | تورین | 0.008827 | 0.779793 | -0.03793 | -0.03043 |
| ۶۵ | | آمستردام | 0.0173 | 0.222351 | 0.127266 | -0.01607 |
| ۶۶ | هلند | روتدام | 0.013464 | 0.407784 | 0.057551 | 0.043047 |
| ۶۷ | | لااهه | 0.014765 | 0.3771 | 0.089552 | 0.098943 |
| ۶۸ | سوئد | گوتنبرگ | 0.016775 | 0.179081 | 0.13376 | 0.092227 |
| ۶۹ | | مالمو | 0.0162 | 0.236437 | 0.118565 | 0.089931 |
| ۷۰ | | استکهلم | 0.01873 | 0 | 0.164002 | 0.07017 |
| ۷۱ | | دانمارک | 0.016259 | 0.249028 | 0.119144 | 0.105511 |
| ۷۲ | بلژیک | کوپنهاگ | 0.017796 | 0.102601 | 0.138844 | 0.036505 |
| ۷۳ | | آنتورپ | 0.012496 | 0.456052 | 0.035835 | -0.00565 |
| ۷۴ | رومانی | لیژ | 0.009607 | 0.627441 | -0.01913 | -0.00878 |
| ۷۵ | | کلوژ-نیوکا | 0.008523 | 0.843399 | -0.03758 | 0.065987 |
| ۷۶ | | تیمیشوارا | 0.006313 | 0.901481 | -0.08134 | 0.004506 |
| ۷۷ | لیتوانی | کاوناس | 0.006443 | 0.852083 | -0.08214 | -0.01919 |
| ۷۸ | | ویلنیوس | 0.007696 | 0.743695 | -0.05721 | -0.02268 |
| ۷۹ | بلغارستان | پلوویدیا | 0.004828 | 0.860409 | -0.10897 | -0.07407 |
| ۸۰ | | وارنا | 0.005432 | 0.836386 | -0.09751 | -0.06728 |
| ۸۱ | جمهوری چک | برنو | 0.010213 | 0.595799 | -0.00699 | -0.00155 |
| ۸۲ | | استراوا | 0.008869 | 0.731519 | -0.03175 | 0.01423 |

| ردیف | کشور | شهر | TOPSIS | VIKOR | SAW | AHP |
|------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|
| ۸۳ | یونان | آتین | 0.004154 | 0.971769 | -0.14346 | -0.19307 |
| ۸۴ | | سالونیک | 0.004288 | 0.963551 | -0.12402 | -0.11918 |
| ۸۵ | پرتغال | لیسبون | 0.009421 | 0.667407 | -0.01981 | 0.014353 |
| ۸۶ | لتونی | ریگا | 0.007462 | 0.795 | -0.06843 | -0.0204 |
| ۸۷ | ایرلند | دوبلین | 0.011521 | 0.462537 | 0.016958 | -0.0126 |
| ۸۸ | استونی | تالین | 0.011665 | 0.589595 | 0.025671 | 0.068077 |
| ۸۹ | اسلوواکی | براتیسلاوا | 0.010148 | 0.606095 | -0.00954 | 0.001486 |
| ۹۰ | فنلاند | هلسینکی | 0.017338 | 0.084973 | 0.123219 | 0.029258 |

روش‌مندی متعادل را به همراه دارد و هندسه با گوشه تندوتیز، هوشمندی ناهمگون، تک بعدی یا دوبعدی را نمایش می‌دهد. از این رو، می‌توان تیپ‌های هندسی مختلف را استخراج کرد. برای مثال، تیپ یک شامل شش ضلعی نسبتاً متقارن (شهرهای نمونه/الگو)، تیپ دو شامل کشیده شده به سمت اقتصاد/حکمرانی، تیپ سه کشیده شده به سمت محیط زیست/زندگی و... چهارچوب نظری-تحلیلی نیز بر همین اساس تدوین می‌شود، یعنی پیوند دادن این تیپ‌های هندسی با سیاست‌ها، ساختار نهادی، موقعیت منطقه‌ای و سطح توسعه. از این رو، هندسه هوشمندی از حالت استعاره به مدلی تشریحی و تحلیلی بدل می‌شود.

روش انجام پژوهش به صورت گام به گام در شکل شماره ۱ نمایش داده شده است.

بحث

تحلیل اولیه نتایج چهار روش نشان می‌دهد که چهار مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره رفتار یکسانی ندارند و هر کدام نگرش تحلیلی متفاوتی بر داده‌ها دارند. روش‌های TOPSIS و SAW الگوهای بسیار مشابهی تولید کرده‌اند. مقادیر هر دو روش (به‌ویژه برای شهرهای آلمان، فرانسه، انگلستان و اسپانیا) دامنه نزدیک و پراکنش محدود دارند. این موضوع یعنی هر دو روش جبران‌پذیر و خطی عمل کرده‌اند، بدین معنا که شهرهایی که در چند شاخص خوب بودند، ضعف در شاخص‌های دیگر را جبران کرده‌اند. روش VIKOR ساختار کاملاً متفاوتی ارائه می‌دهد. خروجی VIKOR دامنه‌ای گسترده‌تر دارد (از ۰ تا حدود ۰.۹۷). این رفتار نشان می‌دهد VIKOR نسبت به بدترین عملکردها حساس است و شهرهایی که در یک یا دو شاخص عملکرد بسیار ضعیف دارند (مثل بخش‌هایی از ایتالیا، یونان، بلغارستان)، در رتبه‌های بسیار پایینی سقوط می‌کنند، حتی اگر در شاخص‌های دیگر وضعیت نسبتاً خوبی داشته باشند. این همان منطق توافقی VIKOR است. روش AHP تقریباً الگوی کاملاً متفاوتی دارد. بسیاری از شهرهایی که در TOPSIS یا SAW عملکرد

پس از تشکیل ماتریس خام داده‌ها، هر یک از روش‌های ارزیابی چندمعیاره TOPSIS، SAW، AHP و VIKOR با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB اعمال شد و خروجی حاصل از هر روش برای ۹۰ شهر هوشمند اروپایی به دست آمد که در جدول شماره ۳ مشاهده می‌شود.

به منظور درک بهتر نتایج اولیه، خروجی‌های ۴ روش ارزیابی چندمعیاره در نرم‌افزار Excel وارد شد و با استفاده از دستور Sorting رتبه‌بندی بر اساس مقدار حاصل شده در هر روش برای هر یک از ۹۰ شهر هوشمند انجام شد. شایان ذکر است که در ۳ روش

جدول شماره (۴): رتبه‌بندی ۱۰ شهر اول و ۱۰ شهر آخر هوشمند اروپایی برای هر یک از ۴ روش ارزیابی چندمعیاره

| رتبه‌بندی ۱۰ شهر اول هوشمند اروپایی برای هر یک از ۴ روش | | | | | | | |
|---|----------|------------|----------|-----------|----------|------------|----------|
| TOPSIS | | VIKOR | | SAW | | AHP | |
| شهر | مقدار | شهر | مقدار | شهر | مقدار | شهر | مقدار |
| استکهلم | 0.01873 | استکهلم | 0 | استکهلم | 0.164002 | آرهوس | 0.105511 |
| کپنهاگ | 0.017796 | هلسینکی | 0.084973 | کپنهاگ | 0.138844 | لاسه | 0.098943 |
| هلسینکی | 0.017338 | کپنهاگ | 0.102601 | گوتنبرگ | 0.13376 | کاردیف | 0.094751 |
| آمستردام | 0.0173 | گوتنبرگ | 0.179081 | آمستردام | 0.127266 | بورده | 0.092586 |
| گوتنبرگ | 0.016775 | آمستردام | 0.222351 | هلسینکی | 0.123219 | گوتنبرگ | 0.092227 |
| آرهوس | 0.016259 | مالمو | 0.236437 | آرهوس | 0.119144 | رن | 0.091335 |
| مالمو | 0.0162 | آرهوس | 0.249028 | مالمو | 0.118565 | مالمو | 0.089931 |
| فرانکفورت | 0.015633 | فرانکفورت | 0.253274 | فرانکفورت | 0.091124 | استراسبورگ | 0.079544 |
| اشتوتگارت | 0.014973 | اشتوتگارت | 0.267307 | لاسه | 0.089552 | مون‌پلیه | 0.072825 |
| لاسه | 0.014765 | ادینبورگ | 0.337175 | اشتوتگارت | 0.077197 | استکهلم | 0.07017 |
| رتبه‌بندی ۱۰ شهر آخر هوشمند اروپایی برای هر یک از ۴ روش | | | | | | | |
| TOPSIS | | VIKOR | | SAW | | AHP | |
| شهر | مقدار | شهر | مقدار | شهر | مقدار | شهر | مقدار |
| پالرمو | 0.003271 | پالرمو | 0.979763 | پالرمو | -0.14458 | آتن | -0.19307 |
| ناپولی | 0.003378 | ناپولی | 0.97263 | آتن | -0.14346 | پالرمو | -0.12582 |
| آتن | 0.004154 | آتن | 0.971769 | ناپولی | -0.13804 | سالونیک | -0.11918 |
| سالونیک | 0.004288 | سالونیک | 0.963551 | سالونیک | -0.12402 | فرانکفورت | -0.11845 |
| پلوودیه | 0.004828 | تیمیشوارا | 0.901481 | پلوودیه | -0.10897 | ناپولی | -0.11554 |
| وارنا | 0.005432 | باری | 0.87045 | وارنا | -0.09751 | پلوودیه | -0.07407 |
| باری | 0.005953 | پلوودیه | 0.860409 | باری | -0.09093 | وارنا | -0.06728 |
| تیمیشوارا | 0.006313 | کاوناس | 0.852083 | کاوناس | -0.08214 | باری | -0.0551 |
| کاوناس | 0.006443 | کلوژ-نپوکا | 0.843399 | تیمیشوارا | -0.08134 | جنوا | -0.0534 |
| ریگا | 0.007462 | وارنا | 0.836386 | ریگا | -0.06843 | نورنبرگ | -0.03419 |

رفتار مستقل دارد. شهرهای شمال اروپا (هلند، سوئد، دانمارک، فنلاند) در هر چهار روش به‌طور پایداری در بالاترین مقادیر قرار دارند، این نتیجه، یک هسته پایدار هوشمندی را نشان می‌دهد که فارغ از روش محاسباتی، این گروه از شهرها همیشه بهترین عملکرد را دارند. در

متوسط داشتند، در AHP نمرات منفی گرفته‌اند. این موضوع طبیعی است؛ چون AHP مبتنی بر قضاوت زوجی ساختاری و وزن‌های سلسله‌مراتبی است، نه فاصله هندسی یا جمع وزنی. بنابراین AHP در این داده‌ها تفکیک‌پذیری شدیدی ایجاد می‌کند و به‌شدت

جدول شماره (۵): نتایج آزمون فریدمن

| Ranks | | | Test Statistics ^a | |
|---------|-----------|---|------------------------------|--------|
| | Mean Rank | | | |
| TOPSIS | 2.48 | ↔ | N | 90 |
| VIKOR | 2.66 | ↔ | Chi-Square | 95.430 |
| SAW | 2.46 | ↔ | df | 4 |
| AHP | 4.40 | ↔ | Asymp. Sig. | .000 |
| Average | 3.01 | | a. Friedman Test | |

ارزیابی چند معیاره، رتبه‌بندی‌های مشابه تولید نمی‌کنند و اختلاف آن‌ها تصادفی نیست، بلکه نظام‌مند و واقعی است. روش AHP با میانگین رتبه ۴/۴۰ ضعیف‌ترین سازگاری را با سه روش دیگر دارد. این امر نشان می‌دهد که روش AHP از نظر رفتاری جدا از سه روش دیگر عمل کرده و با منطق سلسله‌مراتبی خود، ساختار رتبه‌ای متفاوتی ایجاد کرده است. بهترین همخوانی بین روش‌های SAW و TOPSIS مشاهده می‌شود (رتبه‌های ۲/۴۶ و ۲/۴۸). این موضوع تأیید می‌کند که هر دو روش کاملاً جبران‌پذیر و خطی هستند و به نقاط حدی حساسیت پایینی دارند و خروجی‌هایشان از یک منطق مشترک تبعیت می‌کند. روش VIKOR بین این دو گروه قرار می‌گیرد (میانگین رتبه ۲/۶۶). یعنی نه به اندازه روش AHP متفاوت است، و نه به اندازه روش‌های SAW و TOPSIS سازگار؛ که این دقیقاً مربوط به ماهیت توافقی و فاصله‌ای آن است. در این تحلیل اولیه سه سطح رفتاری در روش‌ها مشاهده می‌شود:

- سطح ۱ (بسیار شبیه): SAW + TOPSIS؛
- سطح ۲ (نیمه نزدیک): VIKOR؛
- سطح ۳ (کاملاً مستقل): AHP.

این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که ساختار هوشمندگی شهرهای اروپا چندوجهی است و نوع روش می‌تواند چهره متفاوتی از شهرها ارائه کند. آزمون فریدمن مشخص کرد که این تفاوت‌ها واقعی‌اند؛ بنابراین، در

مقابل، شهرهای جنوب اروپا (ایتالیا، یونان، پرتغال)، اروپای شرقی (بلغارستان، رومانی، لیتوانی)، و بخشی از لهستان، هم در SAW و هم در TOPSIS نمرات پایین دارند و در VIKOR سقوط شدیدتری دارند. این امر نشان می‌دهد که ضعف ساختاری در چند بُعد کلیدی مثل حکمروایی، محیط‌زیست و جابه‌جایی، در تمام روش‌ها، خود را نشان می‌دهد.

در ادامه، به منظور انجام آزمون فریدمن و مشخص کردن بهترین رتبه‌بندی، باید ماتریس نتایج (جدول شماره ۳) بی‌مقیاس شود تا بتوان میانگین هر یک از شهرها را بر حسب امتیازات بی‌مقیاس شده روش‌های چهارگانه محاسبه و در آزمون فریدمن وارد کرد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS و در بخش آزمون‌های ناپارامتریک، آزمون فریدمن بر نتایج اعمال می‌شود. نتایج این آزمون در جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود.

آماره آزمون «Chi-Square» در این جدول به‌مانند واریانس تحت میانگین رتبه‌ها عمل می‌کند و هرچه مقدار این آماره بزرگ‌تر باشد، تفاوت در رتبه‌ها بیشتر است؛ بنابراین نتایج قابل اعتمادتری حاصل شده است که در این جدول نیز این چنین است. مقدار «Asymp. Sig» همان مقدار احتمال است که براساس توزیع مجانبی یا تقریبی حاصل شده است. از آنجایی که این مقدار از احتمال خطای نوع اول ($\alpha=0.05$) کوچک‌تر است، پس نتایج آزمون مورد قبول واقع می‌شود. از این رو، آزمون فریدمن معنادار است، بدین معنا که چهار روش

ادامه باید هندسه هوشمندی را نه با یک روش، بلکه با تحلیل همزمان ۴ روش و استخراج الگوهای توافق / تسلط / جبران پذیری تدوین کرد.

تحلیل جبران پذیری

در این تحلیل بررسی می‌شود که در کجا نقاط قوت یک شهر در بعضی ابعاد، ضعف آن در ابعاد دیگر را می‌پوشاند و کجا این ضعف‌ها جبران‌ناپذیر می‌شوند و در رتبه‌بندی نهایی، خود را نشان می‌دهند. روش‌های SAW و TOPSIS نماینده منطق کاملاً جبران‌پذیر هستند، روش VIKOR منطق توافقی سخت‌تر را وارد می‌کند و روش AHP نماد قضاوت منطق نهادی نهفته در داده‌های رسمی اتحادیه اروپا در باره اهمیت ابعاد شش‌گانه است. بنابراین، این شهرها در دسته‌بندی زیر تعریف و تدوین می‌شوند:

۱. شهرهای متوازن و چندبعدی (جبران‌پذیری پایین، پایداری بالا): شهرهایی مثل استکهلم، گوتنبرگ، مالمو، آرهوس، کپنهاگ، هلسینکی، لاهه، روتردام و تا حدی برنو، رن، استراسبورگ تقریباً در هر چهار روش در بالای جدول قرار دارند. روش‌های TOPSIS و SAW آن‌ها را در بالاترین مقادیر قرار داده‌اند؛ روش VIKOR هم برای این شهرها مقادیر خیلی پایین (نزدیک به صفر) منظور کرده است؛ روش AHP برای اغلب این شهرها امتیاز مثبت و نسبتاً بالا ثبت کرده است. این هم‌گرایی بدین معناست که این شهرها فقط در یک شاخص یا یک بُعد (مثلاً اقتصاد) قوی نیستند، بلکه در ترکیب اقتصاد، جابه‌جایی، مردم، حکمروایی، محیط‌زیست و زندگی در سطح قابل قبول یا خوب قرار می‌گیرند؛ چون اگر یک بُعد خیلی ضعیف می‌بود، روش VIKOR آن‌ها را به شدت برجسته می‌کرد و روش AHP (که وزن‌ها را از منطق ابعاد شش‌گانه گرفته) هم آن را در نمره نهایی منعکس می‌کرد. به زبان ساده، این‌ها شهرهایی هستند که هندسه هوشمندی‌شان شبیه یک شش‌ضلعی نسبتاً متقارن است، نه تیزشده روی یک گوشه مثلاً اقتصادی، و نه روی یک گوشه نمادین.

۲. شهرهای جبران‌شده تک‌بعدی (خوب در روش‌های خطی، مسئله‌دار در قضاوت یا توافق): در گروه دوم شهرهایی قرار دارند که در روش‌های SAW و TOPSIS وضعیتشان خوب یا نسبتاً خوب است، اما یا در روش AHP نمره منفی و پایینی گرفته‌اند و یا در روش VIKOR نمره نسبتاً بد (بزرگ‌تر) دریافت کرده‌اند. این الگو بدین معناست که روش‌های کاملاً جبران‌پذیر (SAW/TOPSIS) نشان می‌دهند که میانگین کلی شهر خوب است، اما روش‌های VIKOR و AHP بیان می‌کنند که ضعف‌های جدی در یک یا چند بُعد وجود دارد که نباید با میانگین‌گیری ساده پنهان شود. برای مثال، شهر فرانکفورت مقادیر TOPSIS بسیار بالایی اختیار کرده است و SAW هم به همین ترتیب، و همچنین، مقدار VIKOR نسبتاً خوب (نزدیک به کشورهای شمالی نیست، ولی بد هم نیست)، اما AHP به شدت منفی شده است. برداشت منطقی این است که شهر فرانکفورت از نظر بُعد اقتصادی و شاخص‌های نوآوری، شبکه‌های حمل‌ونقل و متغیرهای زیرساختی (سخت‌افزاری) بسیار قوی است؛ اما در قضاوت خبرگان (که وزن بالاتری به بُعد حکمروایی، و شاخص‌های کیفیت زندگی، عدالت اجتماعی و بُعد محیط‌زیست داده‌اند)، این هوشمندی سخت‌افزاری نمی‌تواند ضعف در ابعاد نرم‌افزاری را کاملاً جبران کند؛ این یعنی هوشمندی تک‌بعدی اقتصاد/زیرساخت‌محور. در مثالی دیگر، شهرهای اشتوتگارت، آمستردام و برخی شهرهای آلمانی دیگر، در روش‌های SAW و TOPSIS مقادیر نسبتاً بالا اختیار کرده‌اند، مقادیر VIKOR متوسط (نه فاجعه، نه ممتاز) ارزیابی شده است، و مقادیر AHP غالباً منفی یا نزدیک به صفر منظور شده‌اند. این شهرها هم احتمالاً شهرهایی با اقتصاد و جابه‌جایی قوی، اما توازن کمتر در ابعاد محیط‌زیست، حکمروایی و زندگی هستند. روش‌های SAW و TOPSIS اجازه می‌دهند دستاوردهای اقتصادی، زیرساختی و حمل‌ونقل، ضعف سایر ابعاد

منفی، VIKOR خیلی بالا (نزدیک به ۱=بدترین‌ها)، AHP کاملاً منفی مشاهده می‌شود. این الگو بدین معناست که نه روش‌های جبران‌پذیر (SAW و TOPSIS) توانسته‌اند وضعیت را با میانگین‌گیری نجات دهند، نه روش توافقی (VIKOR) نقطه توازن پیدا کرده است، و نه قضاوت منطق نهادی نهفته در داده‌های رسمی اتحادیه اروپا (AHP) نشانه امیدواری جدی می‌دهد. در زبان هوشمندانه شش‌بعدی، این شهرها شهرهایی هستند که تقریباً در چند بُعد اصلی با مسئله روبه‌رو هستند، یعنی دارای اقتصاد شکننده، جابه‌جایی ناکارآمد، مردم منفعل، محیط‌زیست مسئله‌دار، حکمروایی ضعیف و کیفیت پایین زندگی هستند. در این حالت عملاً جبران‌پذیری نزدیک به صفر است و هیچ بُعدی آن‌قدر قوی نیست که بقیه را بالا بکشد.

با توجه به ساختار شاخص‌های تعریف‌شده، جمع‌بندی تحلیلی جبران‌پذیری نسبت به ابعاد شش‌گانه این‌گونه است که در شهرهای هسته شمال اروپا (استکهلم، گوتنبرگ، مالمو، آرهوس، کپنهاگ، هلسینکی، لاهه، روتردام)، اقتصاد هوشمند (نوآوری، اشتغال دانش‌بنیان، پژوهش و توسعه)، جابه‌جایی هوشمند (ترانزیت، حمل‌ونقل پایدار، خودروهای برقی)، محیط‌زیست هوشمند (آلودگی کم، مدیریت منابع، پوشش سبز)، و زندگی هوشمند (سلامت، امنیت، فرهنگ، مسکن) هم‌زمان در سطح بالا عمل می‌کنند؛ برای همین، روش‌های VIKOR و AHP هم‌زمان تأییدشان می‌کنند و از این‌رو، هوشمندی متوازن و چندبعدی پدیدار می‌شود. در بخشی از شهرهای آلمان، هلند، انگلستان (مثل فرانکفورت، اشتوتگارت و بعضی شهرهای صنعتی) شاخص‌های اقتصاد و جابه‌جایی آن‌قدر قوی است که مقادیر SAW و TOPSIS را بالا می‌برد، اما کاستی در شاخص‌های زندگی، محیط‌زیست و حکمروایی باعث می‌شود که روش‌های AHP و تا حدی VIKOR خط قرمزی

را جبران کنند؛ اما منطق روش‌های VIKOR و AHP نشان می‌دهد که این جبران، کامل و قابل قبول نیست. ۳. شهرهای با ظرفیت نرم‌افزاری قوی ولی داده‌های سخت‌افزاری ضعیف (پتانسیل، نه عملکرد): دسته جالب‌توجه دیگر، شهرهایی نظیر کلونپوکا، بیدگوشچ، لوبلین، پوزنان، وایادولید و تالین هستند که در آن‌ها مقادیر SAW منفی یا نزدیک صفر است، در نتیجه، از نظر شاخص‌های عددی اقتصادی، زیرساختی و حمل‌ونقل چندان درخشان نیستند، اما مقادیر AHP برای بعضی از آن‌ها امتیاز مثبت و نسبتاً خوب به دست آمده است. این تضاد معمولاً بدین معناست که در ماتریس داده‌های سخت‌افزاری نظیر تولید ناخالص داخلی، حمل‌ونقل و محیط‌زیست این شهرها هنوز فاصله دارند، اما در قضاوت منطق نهادی نهفته در داده‌های رسمی اتحادیه اروپا یا بر مبنای وزن‌گذاری ابعاد، این شهرها از نظر بُعد مردم (سرمایه انسانی، مشارکت، آموزش)، بُعد حکمروایی (شفافیت، مشارکت سیاسی، خدمات) یا برخی ابعاد دیگر نظیر زندگی، تصویر بهتری دارند. در واقع، این شهرها هوشمندی بالقوه دارند که هنوز به‌طور کامل در شاخص‌های سخت‌افزاری Eurostat خودش را نشان نداده است. به زبان هندسی می‌توان ادعان داشت که شش ضلعی این شهرها در گوشه‌های ابعاد مردم/حکمروایی/زندگی شاید کشیده‌تر است، اما گوشه‌های اقتصاد/جابه‌جایی/محیط‌زیست کوتاه مانده‌اند. روش‌های SAW و TOPSIS، چون کل سطح را نگاه می‌کنند، نمره پایین می‌دهند؛ اما روش AHP، چون وزن روی ابعاد نرم‌افزاری هم دارد، تصویر نرم‌تر و امیدوارکننده‌تری نشان می‌دهد.

۴. شهرهای با کم‌ترین جبران‌پذیری (ضعف چندبعدی): شهرهایی مثل ناپولی، پالمو، آتن، سالونیک، پلوودیف، وارنا، و برخی دیگر از شهرهای ایتالیا و شبه‌جزیره بالکان گروه آخر را تشکیل می‌دهند. در این شهرها، مقادیر TOPSIS پایین، SAW به شدت

جدول شماره (۶): نتایج تحلیل جبران پذیری برای برخی شهرهای منتخب

| شهر | جبران پذیری | ابعاد قوی | ابعاد ضعیف | شاخص های اثرگذار | تفسیر هوشمندی |
|--------------------|--|------------------------------------|---|---|--|
| استکهلم (سوئد) | متوازن و چندبعدی؛ جبران پذیری بالا ولی به دلیل کفایت ابعاد، نیاز کم به جبران | اقتصاد، جابه جایی، زیست، محیط مردم | تقریباً ندارد | پژوهش و توسعه بالا، خودروهای برقی، کیفیت زندگی بسیار بالا، شفافیت حکمرانی | یک شش ضلعی متقارن؛ حکمروایی نمونه کامل هوشمند+زندگی هوشمند |
| هلینسکی (فنلاند) | متوازن؛ همخوانی کامل در چهار روش | جابه جایی، محیط زیست، حکمروایی | اقتصاد (نسبی) | حمل و نقل پایدار، مشارکت مدنی بالا، آگاهی اکولوژیک بالا | هوشمندی نرم افزاری با قدرت زیرساختی قابل قبول؛ توازن پایدار |
| فرانکفورت (آلمان) | تک بعدی؛ جبران پذیری و SAW مصنوعی در TOPSIS، اما عدم جبران TOPSIS در AHP | اقتصاد، جابه جایی | زیست، محیط زندگی، حکمروایی | سرانه تولید ناخالص داخلی، شبکه حمل و نقل قوی، اما رضایت از زندگی و سلامت پایین تر | هوشمندی سخت افزاری که ضعف ابعاد انسانی و محیطی را نمی تواند جبران کند. |
| اشتوتگارت (آلمان) | تک بعدی با جبران پذیری محدود | اقتصاد، جابه جایی | زندگی، زیست محیط | ثبت اختراع بالا اما آلودگی هوا و هزینه مسکن بالا | هندسه نامتقارن؛ مثالی قوی در اقتصاد/ تکنولوژی اما ضعیف در محیط زیست |
| آمستردام (هلند) | متوازن اما با ضعف در زندگی؛ جبران پذیری متوسط | حکمروایی، مردم، اقتصاد | زندگی | تنوع نژادی قوی، مشارکت سیاسی بالا، اما فشار مسکن زیاد | هوشمندی مشارکتی با مشکل در شاخص های زیست پذیری |
| پردو (فرانسه) | و SAW نسبتاً متوازن، TOPSIS خوب، VIKOR متوسط و AHP | زندگی، حکمروایی | جابه جایی | فرهنگ، سلامت، امنیت بالا اما حمل و نقل کندتر | شهر فرهنگی و اجتماعی قوی، اما زیرساخت حمل و نقل محدودتر |
| کلوژنپوکا (رومانی) | پتانسیل محور؛ جبران پذیری بسیار بالا AHP در | مردم، حکمروایی | اقتصاد، زیست محیط | تحصیلات بالا، مشارکت مدنی بالا، اما تولید ناخالص داخلی و حمل و نقل ضعیف | هوشمندی بالقوه؛ قدرت اجتماعی و انسانی به جای زیرساختی |
| تالین (استونی) | هوشمندی دیجیتال، جبران پذیری نرم افزاری | حکمروایی، مردم | اقتصاد، زندگی | دولت دیجیتال، نوآوری اجتماعی اما درآمد سرانه پایین تر | هوشمندی دیجیتال جبران کننده اقتصاد سنتی متوسط |
| سالونیک (یونان) | جبران ناپذیر؛ ضعف چندبعدی | - | اقتصاد، جابه جایی، محیط زیست، حکمروایی، زندگی | بیکاری، حمل و نقل ناکارآمد، فساد اداری، کیفیت زندگی پایین | چندضلعی فروپاشیده؛ هیچ بخشی ضعف دیگران را جبران نمی کند. |
| ناپولی (ایتالیا) | جبران ناپذیر شدید | - | همه ابعاد به جز شاید بخش هایی از زندگی | جرم بالا، آلودگی، ناکارآمدی اداری، کیفیت پایین مسکن | هوشمندی بسیار نامتوازن و ضعیف در همه روش ها |

جدول شماره (۷): نتایج تحلیل شاخص‌های مسلط برای ابعاد شش‌گانه هوشمندی

| اثر عمده بر کدام روش‌ها؟ | منطق سلطه‌گری شاخص | شاخص‌های مسلط | بُعد |
|--------------------------------------|--|---|-----------|
| SAW، TOPSIS، AHP، VIKOR | این شاخص‌ها بیشترین واریانس عددی و قدرت تفکیک بین شهرها را دارند؛ اختلاف شمال اروپا با جنوب و شرق اروپا را به شدت آشکار می‌کنند. | <ul style="list-style-type: none"> - تولید ناخالص داخلی به ازای هر نفر شاغل - هزینه‌های پژوهش و توسعه - تعداد ثبت اختراع - نرخ بیکاری بلندمدت | اقتصاد |
| TOPSIS، VIKOR | شاخص‌های زیرساختی حمل‌ونقل موجب تغییر چشمگیر رتبه‌ها می‌شوند؛ حذف آن‌ها باعث درهم‌ریختگی رده‌بندی TOPSIS و SAW می‌شود. | <ul style="list-style-type: none"> - تعداد خودروهای برقی ثبت شده - میزان رضایت از حمل‌ونقل عمومی - دسترسی خانوارها به اینترنت و گوشی هوشمند | جابه‌جایی |
| اثر قوی بر AHP و اثر متوسط بر SAW | شاخص‌هایی که تصویری از سرمایه انسانی تولید می‌کنند؛ این شاخص‌ها ترکیب AHP را به شدت دگرگون می‌کنند و برای شهرهایی مثل کلوزنپوکا و تالین اثر مثبت بالا دارند. | <ul style="list-style-type: none"> - نرخ تحصیلات عالی - تسلط به زبان‌های خارجی - مشارکت اجتماعی و داوطلبانه | مردم |
| VIKOR، AHP | شاخص‌هایی با ظرفیت بالا برای نتزل یا ارتقای شهرها؛ باعث سقوط شدید شهرهای یونانی و ایتالیایی در VIKOR می‌شوند. | <ul style="list-style-type: none"> - رضایت از شفافیت و پاسخگویی - مبارزه با فساد - اطلاعات و خدمات دیجیتال | حکمرایی |
| اثر انفجاری بر VIKOR و اثر بر TOPSIS | حساس‌ترین شاخص‌ها در VIKOR؛ ضعف در این شاخص‌ها غیرقابل جبران است و رتبه‌ها را به شدت جابه‌جا می‌کنند. | <ul style="list-style-type: none"> - سطح آلودگی هوا - سرانه فضای سبز شهری - بیماری‌های تنفسی ناشی از آلودگی | محیط زیست |
| AHP، SAW | این شاخص‌ها بیشتر نقش تعدیل‌کننده دارند؛ ضعف ابعاد دیگر را تا حدی جبران می‌کنند، اما بُعد مسلط نیستند. | <ul style="list-style-type: none"> - امید به زندگی - تعداد تخت‌های بیمارستان - نرخ جرم و جنایت - کیفیت مسکن | زندگی |

یا فاصله از ایدئال (TOPSIS) کافی نیست و باید بررسی شود که کجا ابعاد قوی، چگونه ضعف‌ها را جبران می‌کنند و کجا دیگر این جبران کار نمی‌کند و دقیقاً همین جاست که VIKOR و AHP، به عنوان فیلترهای کاملاً غیرجبران‌پذیر، چهره واقعی تر توازن و یا عدم توازن شهرهای اروپایی را آشکار می‌کنند و زمینه را برای تعریف تیپ‌های هندسی متفاوت از شهر هوشمند فراهم می‌کنند.

در ادامه تحلیل جبران‌پذیری، جدول شماره ۶ آورده شده است (شهرهای نمونه به صورت انتخابی در این جدول جانمایی شده‌اند) که نشان می‌دهد هر شهر در کدام بُعد شش‌گانه قوی یا ضعیف عمل کرده است و

تعیین کنند با مضمون هوشمندی تک‌بعدی اقتصاد/ زیرساخت با جبران‌پذیری محدود. در برخی شهرهای شرق و مرکز اروپا، جبران‌پذیری برعکس عمل می‌کند، یعنی از دید داده‌های سخت‌افزاری، وضعیت متوسط یا ضعیف است؛ اما منطق نهادی نهفته در داده‌های رسمی اتحادیه اروپا، سرمایه انسانی، مشارکت، یا حکمرانی را با وزن بالا دیده‌اند و آن‌ها را در روش AHP کمی بالا کشیده‌اند؛ در نتیجه، هسته نرم‌افزاری هوشمندی مبنی بر ابعاد مردم-حکمرایی با عملکرد سخت‌افزاری ضعیف‌تر نمایان می‌شود. از منظر هندسه هوشمندی، تحلیل جبران‌پذیری کمک می‌کند که درک شود فقط جمع زدن شاخص‌ها (SAW)

کدام شاخص‌ها نقش کلیدی در جبران یا عدم جبران دارند. در واقع، این جدول ماهیت هندسه هوشمندی را برای چند نمونه از شهرها نشان می‌دهد.

تحلیل شاخص‌های مسلط

شاخص مسلط، شاخصی است که حذف یا کاهش وزنش بیشترین تغییر رتبه را در چهار روش ارزیابی چندمعیاره ایجاد کند. این شاخص‌ها ستون‌های هندسه هوشمندی را تشکیل می‌دهند. تحلیل حساسیت چهار روش (با توجه به ماهیت هر روش) نشان می‌دهد که شش بُعد نقشی یکسان ندارند. برخی ابعاد اثر انفجاری بر رتبه‌ها اعمال می‌کنند، و برخی دیگر اثر مکملی دارند. همچنین، در داخل هر بُعد نیز برخی شاخص‌ها نقشی گلوگاهی ایفا می‌کنند. در ادامه، انواع نقش‌هایی که شاخص‌های پژوهش می‌توانند به خود بگیرند آورده شده است:

۱. اقتصاد هوشمند، بُعد کاملاً مسلط: در روش‌های SAW و TOPSIS، شاخص‌های اقتصادی بیشترین واریانس داده و بیشترین پراکنش‌سازی رتبه را دارند. در روش AHP، در این پژوهش هم به مانند اکثر پژوهش‌ها، وزن اقتصاد توسط منطق نهادی نهفته در داده‌های رسمی اتحادیه اروپا، بالا ارزیابی می‌شود. در روش VIKOR نیز اقتصاد، شهری با عملکرد ضعیف را به شدت نمایان می‌سازد. شاخص‌های اقتصادی که نقش مسلط دارند، شامل شاخص «تولید ناخالص داخلی به‌ازای هر شاغل» است که بیشترین اثر را بر TOPSIS و SAW دارد و حذف آن، شهرهای شمال اروپا را ۳ تا ۷ رتبه جابه‌جا می‌کند، و همچنین در شهرهای ایتالیایی، یونانی و بلغارستانی سقوط شدید تولید می‌کند؛ شاخص «هزینه‌های پژوهش و توسعه» شاخص پرنوسان ستون اصلی نوآوری است که حساس‌ترین شاخص AHP و TOPSIS شمرده می‌شود و شهرهای آلمانی، هلندی و سوئدی را بالا می‌کشد؛ شاخص «ثابت اختراع به‌ازای جمعیت» شاخصی با اثر بسیار شدید بر SAW است که شهرهای

صنعتی را با اقتصاد تک‌بعدی متمایز می‌کند؛ شاخص «نرخ بیکاری بلندمدت» شاخصی با اثر تخریبی در VIKOR محسوب می‌شود که ضعف آن در شهرهای اسپانیایی و یونانی باعث سقوط شدید آن‌ها در همه روش‌ها شده است. در نتیجه، اقتصاد، هسته اصلی تمایز شهرهای شمال اروپا از شهرهای جنوب و شرق اروپا است و مهم‌ترین بُعد مسلط نامیده می‌شود.

۲. جابه‌جایی هوشمند، بُعد دوم مسلط (به‌ویژه در روش‌های TOPSIS و VIKOR): شاخص‌های جابه‌جایی در روش‌های TOPSIS و SAW اثر قدرتمندی دارند؛ زیرا متغیرهای آن‌ها دامنه عددی بزرگی دارند (مثل تعداد خودروهای برقی، طول خطوط حمل‌ونقل). بسیاری از شهرها در این شاخص‌ها تفاوت‌های شدید دارند. شاخص‌های مسلط جابه‌جایی شامل شاخص «تعداد خودروهای برقی ثبت شده» است که شاخص شوک در VIKOR محسوب می‌شود و شهرهای شمال اروپا را در بالاترین رده تثبیت می‌کند؛ شاخص «دسترسی به اینترنت و گوشی هوشمند» اثر بسیار بالا در روش SAW، و اثر متوسط در روش AHP دارد و در شهرهای شرق اروپا اثر افزایشده‌ای از خود نشان می‌دهد؛ شاخص «رضایت از حمل‌ونقل عمومی» شاخص تفکیک‌کننده در TOPSIS به شمار می‌رود و حذف آن، شهرهای فرانسوی و آلمانی را چند رتبه پایین می‌آورد. در نتیجه، جابه‌جایی ستون دوم هندسه هوشمندی (یا ستون فنی هندسه هوشمندی) است که نشان می‌دهد شهرهای متکی بر حمل‌ونقل پایدار همیشه در چهار روش پایدار می‌مانند.

۳. مردم هوشمند، بُعد نرم‌افزاری مسلط در AHP: شاخص‌های این بُعد در روش‌های TOPSIS و SAW اثر متوسط دارند، اما در روش AHP وزن بسیار بالا دارند (تحصیلات، مشارکت، پژوهش، زبان، انعطاف‌پذیری). شاخص‌های مسلط مردم شامل شاخص «نرخ تحصیلات عالی» است که مسلط‌ترین شاخص بُعد مردم نیز محسوب می‌شود و در روش

(ستون شکننده هندسه هوشمندی) نقطه شکست شهرهای جنوب اروپا است و عدم جبران آن، رتبه‌ها را به کلی تغییر می‌دهد.

۶. زندگی هوشمند، بُعد متعادل‌کننده: این بُعد به جای اینکه بُعد مسلط باشد، نقش جبران‌کننده مثبت را ایفا می‌کند. در شهرهایی مثل فرانکفورت که بُعد محیط‌زیست در آن‌ها ضعیف است، زمینه‌های سلامت، فرهنگ و امنیت باعث می‌شود سقوط کامل رخ ندهد. شاخص‌های مسلط زندگی هوشمند شامل شاخص «امید به زندگی» است که اثری بزرگ، اما یکنواخت (تمام اروپا نسبتاً خوب) دارد؛ شاخص‌های «آموزش»، «کیفیت مدارس»، «تعداد تخت‌های بیمارستان» و «نرخ جرم و جنایت» در ادامه قرار دارند و شاخص «رضایت از مسکن» که شاخصی بحرانی برای شهر آمستردام به حساب می‌آید. در نتیجه، بُعد زندگی هوشمند (ستون جبران‌کننده هندسه هوشمندی) نرم‌کننده یا متعادل‌کننده اثر دیگر ابعاد است، اما شاخص مسلط در هندسه نیست.

در ادامه تحلیل شاخص‌های مسلط، جدول شماره ۷ برای ابعاد شش‌گانه هوشمندی تنظیم شده است که نمایان‌گر شاخص‌های مسلط هر بُعد هوشمندی، موازی با روش‌های چهارگانه ارزیابی چندمعیاره است. بدین معنا که برای هر بُعد، شاخص‌هایی که بیشترین اثر را در تغییر رتبه‌ها و اختلاف بین چهار روش دارند مشخص شده است. این جدول در واقع جوهره هندسه هوشمندی را نشان می‌دهد و مشخص می‌کند کدام شاخص‌ها هستند که واقعاً سرنوشت رتبه‌بندی شهرها را تعیین می‌کنند.

تحلیل توافق

این تحلیل، بر اساس رفتار چهار روش ارزیابی چندمعیاره انجام می‌شود، تحلیلی که تمرکز آن بر همبستگی رتبه‌ای روش‌ها و استخراج هسته پایدار هوشمندی شهری است. این تحلیل نشان می‌دهد کدام شهرها در تمام روش‌ها به‌طور هم‌زمان قوی یا

AHP اثر انفجاری دارد، بنابراین، شهرهای انگلستانی، هلندی و حوزه اسکاندیناوی را بالا می‌برد؛ شاخص «سطح زبان خارجی (دو/سه‌زبانه بودن)» در روش SAW اثر ضعیف، اما در روش AHP بسیار قوی عمل می‌کند؛ شاخص «مشارکت داوطلبانه و اجتماعی» به‌شدت در رتبه‌بندی‌های روش AHP مؤثر است. در نتیجه، مردم هوشمند، ستون نرم‌افزاری هندسه هوشمندی است که در شهرهایی مثل کلونپوکا، تالین و پوزنان ضعیف بُعد اقتصاد را جبران می‌کند.

۴. حکمروایی هوشمند، بُعد مسلط در AHP + VIKOR: برخلاف اقتصاد و جابه‌جایی که سخت‌افزاری‌اند، شاخص‌های حکمروایی نرم‌افزاری محسوب می‌شوند و البته مسلط نیز هستند. شاخص‌های مسلط حکمروایی شامل شاخص «رضایت از شفافیت و پاسخگویی» است که اثر شدید در روش AHP دارد؛ شاخص «مبارزه با فساد» اثری انفجاری در VIKOR دارد و همچنین، در شهرهای یونانی، ایتالیایی و بلغارستانی باعث سقوط شدید می‌شود؛ شاخص «دسترسی همگانی به اطلاعات» هم مسلط در روش AHP نشان داده است. در نتیجه، حکمروایی هوشمند (ستون اعتماد هندسه هوشمندی) یکی از بزرگ‌ترین دلایلی است که شهرهای شرق اروپا نسبت به بُعد مردم، نمره خوبی دارند، اما در VIKOR سقوط می‌کنند.

۵. محیط‌زیست هوشمند، بُعد مسلط در VIKOR: این بُعد یکی از محرک‌های اصلی جبران‌ناپذیری است و شاخص‌های مسلط آن شامل شاخص «آلودگی هوا/PM10/ریزگردها» است که در روش VIKOR بالاترین اثر را دارد و اصطلاحاً شهرهای ایتالیایی، بلغارستانی و لهستانی را تنبیه شدید می‌کند؛ شاخص «سرانه فضای سبز شهری» اثر بسیار بالایی در روش‌های SAW و TOPSIS دارد؛ و شاخص «نرخ بیماری‌های تنفسی» نیز اثر شدیدی در روش VIKOR، و اثری متوسط در روش AHP دارد. در نتیجه، محیط‌زیست هوشمند

ضعیف هستند و در نتیجه هندسه هوشمندی توافقی را می‌سازند. در منطق این تحلیل، چهار روش ارزیابی چندمعیاره به لحاظ رفتاری متفاوت‌اند. روش‌های SAW و TOPSIS جبران‌پذیر و خطی هستند، روش VIKOR توافقی و حساس به بدترین عملکرد است، و روش AHP قضاوت‌محور و حساس به ابعاد نرم‌افزاری (مردم/حکمروایی/زندگی) است. برای سنجش توافق، باید بررسی کرد که شهرهایی که در روش‌های SAW و TOPSIS بالا هستند، آیا در VIKOR و AHP هم بالا هستند؟ و یا این چهار گروه از روش‌ها همدیگر را تأیید نمی‌کنند؟ با توجه به نتایج، الگوی کلی توافق به شرح زیر است:

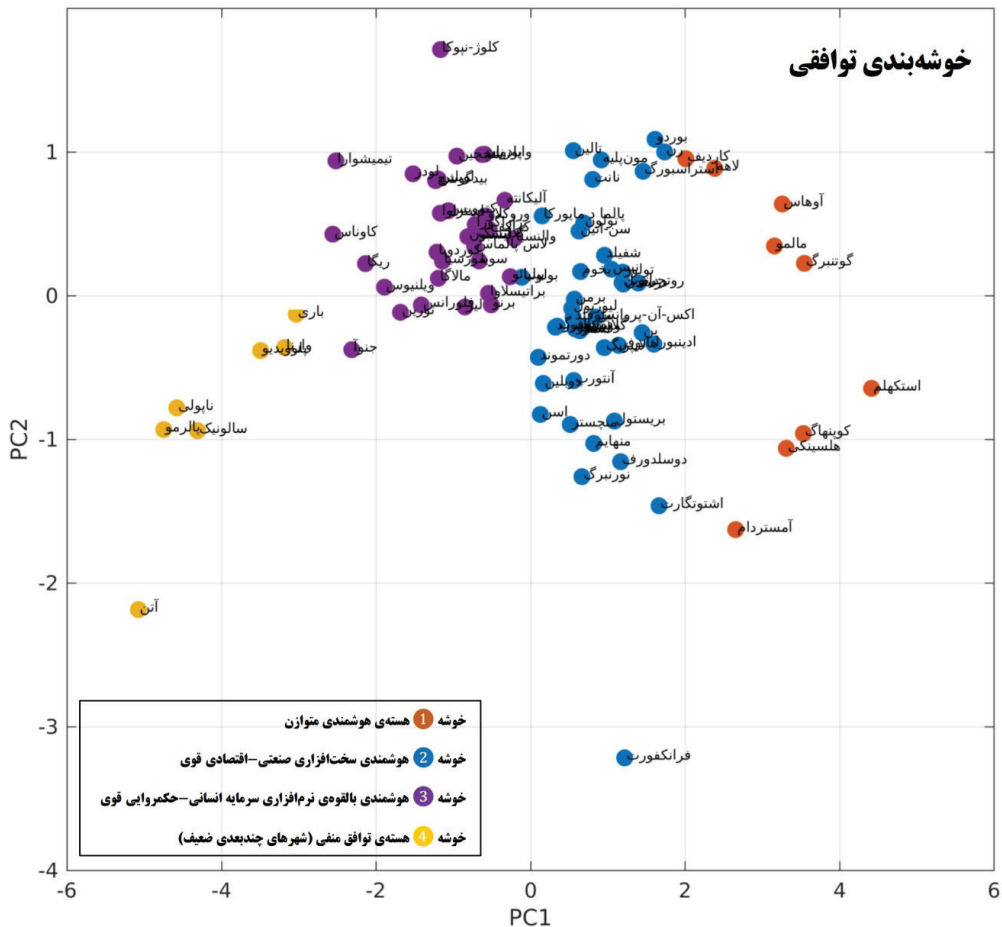
۱. هسته وفاق هوشمندی (توافق بالا): شهرهایی که در تمام روش‌ها، چه سخت‌افزاری (TOPSIS و SAW)، چه توافقی (VIKOR) و چه نرم‌افزاری (AHP)، در بالای لیست قرار دارند، هسته هوشمندی اروپا را می‌سازند. شهرهای این گروه شامل استکهلم، گوتنبرگ، مالمو، هلسینکی، آرهوس، کونپهاگ، لاهه، آمستردام (تا حدی)؛ در روش AHP کمی پایین‌تر اما هنوز مثبت) و روتردام هستند. توافق بالا به این دلیل است که در ابعاد اقتصاد، جابه‌جایی، محیط‌زیست و زندگی نمرات بالا دارند؛ ضعف تک‌بعدی ندارند، یعنی روش VIKOR نمی‌تواند آن‌ها را به اصطلاح تنبیه کند؛ و روش AHP نیز سرمایه‌انسانی، مشارکت و حکمروایی قدرتمند این شهرها را تأیید می‌کند. در نتیجه، این‌ها شهرهایی هستند که هندسه هوشمندی آن‌ها متوازن و پایدار است. یعنی به زبان ساده، هر چهار روش درباره هوشمندی این شهرها اختلافی ندارند؛ پس می‌توان اذعان داشت که این شهرها عیناً الگوی هوشمندی اروپا هستند.

۲. شهرهای با توافق متوسط: شهرهایی هستند که روش‌های SAW و TOPSIS آن‌ها را بالا می‌دانند، اما روش‌های VIKOR و AHP با احتیاط با آن‌ها برخورد می‌کنند. این شهرها عبارت‌اند از فرانکفورت،

اشتوتگارت، دوسلدورف، آمستردام (تا حدی)، لایپزیگ، درسدن و هانوفر. ویژگی توافقی در این گروه برای روش‌های SAW و TOPSIS شهر قوی است، برای روش VIKOR ضعف وجود دارد، و برای روش AHP سرمایه‌انسانی و حکمروایی آن‌قدر قوی نیست که ضعف را بپوشاند. این شهرها، شهرهایی با هوشمندی سخت‌افزاری هستند که با محوریت اقتصادزیرساخت قوی، رتبه‌شان در روش‌های SAW و TOPSIS بالا برآورد می‌شود، اما سرمایه‌انسانی یا محیط‌زیست ضعیف به اختلاف در روش‌های VIKOR و AHP منجر می‌شود. اگرچه این گروه برای هسته هندسه هوشمندی مهم تلقی می‌شوند، اما نمونه کامل نیستند.

۳. شهرهای با توافق منفی: این شهرها، در همه روش‌ها در رتبه پایین قرار دارند. نمونه‌های این گروه شامل ناپولی، پالمو، آتن، سالونیک، پلودیف، وارنا، کاتوویس، لودز و کالیاری است. علت توافق این گروه شهرها در ضعف در این است که اقتصاد شکننده دارند، دارای حمل‌ونقل ناکارآمد هستند، محیط‌زیست را آلوده می‌کنند، حکمروایی ضعیفی ارائه می‌دهند و کیفیت زندگی پایینی دارند. از این رو، در هندسه هوشمندی، این شهرها هسته جبران‌ناپذیر لقب می‌گیرند که همه روش‌ها ضعف چندبعدی آن‌ها را تأیید می‌کنند.

۴. شهرهای با عدم توافق: شهرهایی هستند که اختلاف شدید بین روش‌ها در آن‌ها مشهود است، به‌ویژه بین روش‌های SAW و TOPSIS و روش‌های AHP و VIKOR. این شهرها عبارت‌اند از کلونپوکا، پوزنان، تالین، لودز، بیلانو و والیادولید. دلیل اختلاف در آن‌ها برای روش‌های SAW و TOPSIS در این است که ابعاد سخت‌افزاری مانند اقتصاد و جابه‌جایی را مبنای قرار می‌دهند؛ روش AHP شاخص‌های نرم‌افزاری مردم و حکمروایی را برجسته می‌کند؛ و روش VIKOR ضعف شدید در یک بُعد را آشکار می‌کند. این شهرها هویت دوگانه دارند، بدین معنا که از نظر سرمایه



شکل شماره (۲): خوشه‌بندی توافقی (این نمودار در فضای MATLAB تولید شده است)

نامتوازن دارد که این اختلافات، در واقع، اسکلت اصلی پارادایم هندسه هوشمندی را می‌سازند. در نتیجه، می‌توان اذعان داشت که هسته وفاق هوشمندی (نظیر شهرهای سوئدی، دانمارکی، فنلاندی و هلندی) می‌تواند معیاری برای سنجش هوشمندی سایر شهرها باشد.

در شکل شماره ۲ نمودار خوشه‌بندی بر اساس چهار روش ارزیابی چندمعیاره برای ابعاد شش‌گانه هوشمندی، ۹۱ شاخص هوشمندی و ۹۰ شهر هوشمند

انسانی، آموزش، مشارکت و مدیریت شهری قوی محسوب می‌شوند، ولی از نظر شاخص‌های اقتصادی یا حمل‌ونقل ضعیف عمل می‌کنند. از این رو، این شهرها شهرهایی هستند که جایگاهشان بسته به نوع تغییر می‌کند، یعنی هندسه نامتوازن دارند.

اهمیت این تحلیل برای ساخت هندسه هوشمندی در این است که تحلیل توافق نشان می‌دهد، شهرهای واقعاً هوشمند، در همه روش‌ها هوشمند هستند؛ اما اگر اختلاف روش‌ها زیاد باشد، یعنی آن شهر، هوشمندی

اروپایی نمایش داده شده است. در این نمودار، شهرها در یک فضای چهاربُعدی قرار می‌گیرند که مختصات هر شهر، نمرات چهار روش است. در واقع، خوشه‌بندی توافقی بدین معناست که کدام شهرها در این فضای چهاربُعدی، از نظر الگوی کلی هوشمندی (نه فقط یک روش) به هم نزدیک‌ترند.

هندسه هوشمندی

برای انتخاب روش برتر و یا ترکیبی و تولید رتبه‌بندی نهایی، به نتایج آزمون فریدمن رجوع می‌شود (جدول شماره ۵) که نشان داد تفاوت معناداری میان چهار روش ارزیابی چندمعیاره وجود دارد. همچنین، تحلیل‌های همبستگی رتبه‌ای و خوشه‌بندی توافقی هم نشان دادند که هر روش چه بُعدی از هندسه هوشمندی را بهتر تعریف می‌کند. به همین منظور، استخراج امتیاز اعتماد برای هر روش بر اساس سه فاکتور انجام می‌شود: میانگین رتبه در آزمون فریدمن؛ میزان همبستگی رتبه‌ها با سایر روش‌ها (هر روشی که با بقیه هماهنگ‌تر باشد، کمتر ناپایدار است)؛ و توان تمایزدهندگی هر روش (توانایی جداسازی شهرهای خیلی قوی، متوسط و ضعیف به صورتی که نه پراکندگی ایجاد شود و نه تجمع). از این رو، دو سناریو قابل پیش‌بینی است: ۱. سناریوی اول، انتخاب یک روش به‌عنوان روش اصلی: اگر یکی از روش‌ها بهترین یا نزدیک‌به‌بهترین میانگین رتبه را داشته باشد و در تحلیل توافقی کمترین رفتار نامعمول را داشته باشد، آنگاه همان روش به‌عنوان روش اصلی هندسه هوشمندی انتخاب می‌شود و رتبه‌بندی نهایی شهرها بر اساس خروجی همان روش تنظیم می‌شود.

۲. سناریوی دوم، تعریف رویکرد ترکیبی: اگر تحلیل نشان بدهد که هر روش یک وجه از هندسه هوشمندی را به‌خوبی تعریف می‌کند و حذف کامل هیچ‌کدام منطقی نیست، از رویکرد ترکیبی استفاده می‌شود. در این روش، ابتدا رتبه هر شهر در چهار روش ارزیابی

چندمعیاره به مقیاس مشترک تبدیل می‌شود، سپس یک ترکیب وزنی ساخته می‌شود، بدین معنا که میانگین ساده رتبه‌ها محاسبه می‌شود که یک فرم قابل قبول از رویکرد تلفیقی است.

در تحلیل اولیه آزمون فریدمن، سه سطح رفتاری در روش‌های ارزیابی چندمعیاره مشخص شد:

- سطح ۱ (بسیار شبیه): SAW + TOPSIS؛

- سطح ۲ (نیمه نزدیک): VIKOR؛

- سطح ۳ (کاملاً مستقل): AHP.

روش AHP از نظر رفتار رتبه‌بندی جهت‌گیری متفاوت دارد. میانگین رتبه ۴۰/۴ که بالاترین مقدار در آزمون فریدمن است، یعنی کمترین سازگاری با بقیه روش‌ها. ساختار سلسله‌مراتبی این روش باعث می‌شود الگوی رتبه‌بندی‌اش با سه روش دیگر هم‌پوشانی کمی داشته باشد. این یعنی AHP شخصیت مستقل دارد و نمایی متفاوت از هوشمندی می‌سازد. AHP یک چهره مستقل و متمایز از شهرها ارائه می‌دهد و کمترین همسویی را با منطق جبرانی و فاصله‌ای سه روش دیگر دارد. میانگین رتبه‌های آزمون فریدمن برای روش‌های TOPSIS و SAW به ترتیب برابر ۲/۴۸ و ۲/۴۶ است که نشان می‌دهد این دو روش خروجی‌هایی تقریباً همسان دارند، هر دو روش کاملاً جبران‌پذیر و خطی هستند، و به نقاط حدی حساسیت پایین دارند. هر دو روش هوشمندی شهرها را با منطق خطی، جبران‌پذیر و بدون تأکید بر وضعیت‌های حدی تفسیر می‌کنند؛ بنابراین نمای نرم، یکنواخت و نزدیک به هم از شهرها می‌سازند. میانگین رتبه در روش VIKOR برابر ۲/۶۶ است که دقیقاً بین دو سطح دیگر قرار می‌گیرد. این روش، نه به اندازه روش‌های SAW و TOPSIS جبران‌پذیر و خطی، و نه مانند روش AHP از دیگران مستقل است، بلکه ماهیتش توافقی-فاصله‌ای است. پس روش VIKOR منطق میانه‌ای دارد؛ هم از فاصله نسبی برای رتبه‌بندی استفاده می‌کند و هم از توافق.

جدول شماره (۸): رتبه‌بندی نهایی با استفاده از نتایج روش منتخب ترکیبی (روش AHP با وزن ۳۰ درصد و روش VIKOR با وزن ۷۰ درصد)

| رتبه | شهر | مقادیر روش ترکیبی | رتبه | شهر | مقادیر روش ترکیبی | رتبه | شهر | مقادیر روش ترکیبی |
|------|---------------|-------------------|------|-----------------|-------------------|------|------------|-------------------|
| ۱ | استکهلم | 0.964491 | ۳۱ | مون‌پلیه | 0.585415 | ۶۱ | لیژ | 0.436889 |
| ۲ | هلسینکی | 0.862676 | ۳۲ | نورنبرگ | 0.584153 | ۶۲ | لاس‌پالماس | 0.434359 |
| ۳ | گوتنبرگ | 0.858707 | ۳۳ | لستر | 0.580348 | ۶۳ | زاراگوزا | 0.433289 |
| ۴ | کوپنهاگ | 0.857363 | ۳۴ | لیدن | 0.577021 | ۶۴ | پوزنان | 0.432475 |
| ۵ | آوهاس | 0.82208 | ۳۵ | بیله‌فلد | 0.575403 | ۶۵ | وایادولید | 0.431625 |
| ۶ | مالمو | 0.815422 | ۳۶ | نانت | 0.574245 | ۶۶ | لیسبون | 0.431575 |
| ۷ | لاسه | 0.723978 | ۳۷ | بخوم | 0.574084 | ۶۷ | مورسیا | 0.405 |
| ۸ | آمستردام | 0.718984 | ۳۸ | برمن | 0.572185 | ۶۸ | کتویس | 0.398674 |
| ۹ | کاردیف | 0.688991 | ۳۹ | تولون | 0.572042 | ۶۹ | شچچین | 0.396886 |
| ۱۰ | ادینبورا | 0.6814 | ۴۰ | لیورپول | 0.569842 | ۷۰ | کوردوبا | 0.395611 |
| ۱۱ | اشتوتگارت | 0.678922 | ۴۱ | ووپرتال | 0.566309 | ۷۱ | مالاگا | 0.39546 |
| ۱۲ | بن | 0.664464 | ۴۲ | سن-اتین | 0.565065 | ۷۲ | لوبلین | 0.38859 |
| ۱۳ | رن | 0.659771 | ۴۳ | آنتورپ | 0.56248 | ۷۳ | استراوا | 0.385646 |
| ۱۴ | روتردام | 0.645895 | ۴۴ | دوبلین | 0.550864 | ۷۴ | فلورانس | 0.384738 |
| ۱۵ | بريستول | 0.644535 | ۴۵ | بردفورد | 0.549715 | ۷۵ | بیدگوشچ | 0.373888 |
| ۱۶ | بورده | 0.642157 | ۴۶ | تالین | 0.541148 | ۷۶ | کلوژنپوکا | 0.357715 |
| ۱۷ | هانوفر | 0.634921 | ۴۷ | اسن | 0.536523 | ۷۷ | لودز | 0.351623 |
| ۱۸ | استراسبورگ | 0.632906 | ۴۸ | دویسبرگ | 0.528856 | ۷۸ | ویلنیوس | 0.339865 |
| ۱۹ | تولوز | 0.632743 | ۴۹ | دورتموند | 0.519518 | ۷۹ | تورین | 0.306281 |
| ۲۰ | جرنوبل | 0.632727 | ۵۰ | پالما د مایورکا | 0.506831 | ۸۰ | ریگا | 0.305494 |
| ۲۱ | درسدن | 0.631993 | ۵۱ | بولونیا | 0.492795 | ۸۱ | جنوا | 0.27316 |
| ۲۲ | دوسلدورف | 0.62355 | ۵۲ | والنسیا | 0.489869 | ۸۲ | کاوناس | 0.26593 |
| ۲۳ | لایپزیگ | 0.617878 | ۵۳ | بیلیانو | 0.4853 | ۸۳ | تیمیشوارا | 0.254445 |
| ۲۴ | منهایم | 0.610232 | ۵۴ | آلیکانته | 0.469152 | ۸۴ | وارنا | 0.228829 |
| ۲۵ | نیس | 0.610209 | ۵۵ | برنو | 0.466763 | ۸۵ | باری | 0.216729 |
| ۲۶ | اکس-آن-پروانس | 0.605561 | ۵۶ | براتیسلاوا | 0.462453 | ۸۶ | پلوویدیو | 0.204842 |
| ۲۷ | شفیلد | 0.602065 | ۵۷ | کراکف | 0.455236 | ۸۷ | سالونیک | 0.085824 |
| ۲۸ | فرانکفورت | 0.594019 | ۵۸ | سویا | 0.451056 | ۸۸ | ناپولی | 0.082996 |
| ۲۹ | منچستر | 0.59185 | ۵۹ | وروکلاو | 0.447932 | ۸۹ | پالمو | 0.067576 |
| ۳۰ | گلاسکو | 0.585892 | ۶۰ | گدانسک | 0.438122 | ۹۰ | آتن | 0.005711 |

بنابراین نمایی نیمه‌خطی و نیمه‌فاصله‌ای ارائه می‌دهد؛ یعنی نه کاملاً مشابه و نه کاملاً متفاوت. بنابراین، از سنتر منطقی بر اساس ویژگی‌های واقعی هر روش می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های SAW و TOPSIS (یک جفت هم‌رفتار) یک چهره از شهرها را نشان می‌دهند، پس ترکیب این دو با هم تفسیر جدیدی تولید نمی‌کند. روش AHP (کاملاً متفاوت از سه روش دیگر)، اگر به تنهایی استفاده شود، هندسه‌ای می‌سازد که با ساختار سه روش دیگر ناسازگار است و اگر به‌طور کامل حذف شود، تنوع رفتاری سنجش از بین می‌رود. روش VIKOR (میانی) پلی است بین AHP و SAW/ TOPSIS و تنه‌اروشی است که هم پیوند دارد، هم تمایز؛ پس بهترین گزینه برای ترکیب با هر روش دیگر است. بنابراین، سناریوی ترکیبی انتخاب منطقی‌تری به نظر می‌رسد که عبارت‌اند از ترکیب روش AHP با VIKOR با وزن ترجیحی به روش VIKOR. از این‌رو، بهترین فرمول ترکیب براساس تحلیل رفتار روش‌ها به شرح زیر است:

رابطه (۱)

$$\text{Final Score} = \text{AHP} * (0.3) + (\text{VIKOR} - 1) * (0.7)$$

این یعنی بهترین روش برای ترکیب که هم برخلاف SAW/TOPSIS تفاوت را نگه می‌دارد، هم برخلاف AHP هم‌پوشانی دارد و هم نمایی واقع‌بینانه می‌سازد، اما، به دلیل اینکه روش AHP به تنهایی یا با وزن بالا، هندسه را تحریف می‌کند، پس وزن آن باید کمتر از VIKOR باشد. استفاده از این فرمول نمای فاصله‌ای روش VIKOR را حفظ می‌کند، نمای سلسله‌مراتبی روش AHP را تا حد ۳۰ درصد تزریق می‌کند و در عین حال وجه جبرانی خطی روش‌های SAW و TOPSIS را نادیده می‌گیرد؛ چون ارزش افزوده ندارند. از این‌رو، خروجی نهایی این انتخاب شامل تفکیک قوی شهرهای بسیار پیشرفته و عقب‌مانده (چون VIKOR پایه است)؛ اعمال منطق تصمیم‌سازی انسانی و سلسله‌مراتبی (AHP)؛ حذف نویز و تکرار (SAW) و TOPSIS)؛ و ساخت هندسه معنادار و پایدار برای شش بُعد شهر هوشمند است.

جدول شماره (۹): دسته‌بندی تیپ‌های هندسی هوشمندی

| تیپ هندسی هوشمندی | تعریف | بازه ترکیبی | حوزه جغرافیایی | ابعاد یا شاخص‌های کلیدی | فرم نمودار راداری |
|--|---|--------------|---|--|---|
| T1: هسته هوشمندی متوازن | الگوی اصلی هوشمندی (هندسه هوشمندی متعادل) | ۰/۷۰ تا ۰/۹۶ | شهرهای شمال اروپا و غرب اروپا | زندگی، جابه‌جایی، حکمروایی و محیط‌زیست | شش ضلعی متقارن |
| T2: هوشمندی سخت‌افزاری صنعتی-اقتصادی قوی | ستون فقرات صنعتی اروپا (هندسه هوشمندی صنعت-تکنولوژی) | ۰/۵۵ تا ۰/۷۰ | شهرهای متناسب به آلمان، فرانسه و انگلستان | اقتصاد، نوآوری، اشتغال و زیرساخت | پنج ضلعی شده به سمت کشیده اقتصاد-جابه‌جایی |
| T3: هوشمندی بالقوه نرم‌افزاری | حکمروایی نرم (هندسه هوشمندی انسانی) | ۰/۴۵ تا ۰/۵۵ | شهرهای شرق اروپا | مردم، حکمروایی، آموزش و مشارکت | چهار ضلعی نامتقارن یا سربالا در مردم-حکمروایی و افت در اقتصاد-جابه‌جایی |
| T4: هسته توافق منفی | نیازمند مداخلات سیاستی گسترده (هندسه هوشمندی پاره پاره) | ۰/۰۰ تا ۰/۴۰ | شهرهای جنوب اروپا | عدم توازن شدید بین ابعاد | چند ضلعی فروپاشیده با گوشه‌های تیز و نواحی خالی |

در ادامه، با استفاده از روش منتخب ترکیبی (سناریوی ۲)، برای هر شهر یک امتیاز نهایی و یک رتبه نهایی به دست می‌آید (جدول شماره ۸). این رتبه‌بندی نهایی همان ابزاری است که برای طبقه‌بندی تیپ شهرها و ترسیم هندسه هوشمندی به کار می‌رود. به منظور طبقه‌بندی نهایی شهرها بر اساس هندسه هوشمندی، شهرها نه فقط روی یک محور خوب تا بد، بلکه در قالب تیپ‌های هوشمندی طبقه‌بندی می‌شوند. این طبقه‌بندی باید هم به رتبه نهایی توجه کند و هم به ترکیب ابعاد هوشمندی (اقتصاد، مردم، حکمروایی، جابه‌جایی، محیط‌زیست، زندگی) که در خوشه‌بندی توافقی شکل شماره ۲ نمایش داده شد. از این رو، مطابق جدول شماره ۹ چهار تیپ هندسی هوشمندی (T1، T2، T3 یا T4) تعیین و برای هر تیپ یک بردار شش بعدی عددی تعریف می‌شود. همچنین، هر شهر

هوشمند اروپایی در یکی از این تیپ‌ها قرار خواهند گرفت و برای هر شهر، مختصات شش بعدی در هر تیپ تعیین می‌شود (جدول شماره ۱۰). همان‌گونه که در جدول فوق نشان داده شده است، استکهلم با الگوی شش ضلعی تقریباً کامل در همه ابعاد، مقادیر بالا و مثبت را اختیار کرده است و هیچ بُعدی در آن فرو نریخته. ابعاد حکمروایی (۱/۲۴۸) و محیط‌زیست (۱/۴۹۲) در این جدول می‌درخشند. هندسه راداری این شهر شش ضلعی متقارن بزرگ است که نمونه کلاسیک تیپ T1 را نمایش می‌دهد. هلسنیکی دارای هوشمندی متوازن با محوریت مردم و حکمروایی است. مردم (۱/۲۰۵)، حکمروایی (۰/۷۸۱)، جابه‌جایی (۰/۸۲۸) و محیط‌زیست (۰/۸۰۰) همگی نشان از برتری این ابعاد دارند. مقادیر زندگی (۰/۴۲۴) کمی پایین‌تر از سایر ابعاد

جدول شماره (۱۰): مختصات هوشمندی و تیپ هندسی هر شهر (۸ شهر منتخب)

| تیپ هندسی | ابعاد شش‌گانه هوشمندی | | | | | | شهر |
|--|-----------------------|-----------|-----------|----------|--------|--------|-----------|
| | زندگی | محیط‌زیست | جابه‌جایی | حکمروایی | مردم | اقتصاد | |
| هسته هوشمندی متوازن | 0.985 | 1.492 | 0.656 | 1.248 | 1.052 | 1.203 | استکهلم |
| هسته هوشمندی متوازن کمی متماثل به مردم-حکمروایی | 0.424 | 0.800 | 0.828 | 0.781 | 1.205 | 1.126 | هلسنیکی |
| هسته هوشمندی متوازن با برآمدگی مردم-اقتصاد-جابه‌جایی | 0.324 | 0.644 | 1.120 | 0.979 | 1.495 | 1.276 | کپنهاگ |
| هوشمندی سخت‌افزاری صنعتی-اقتصادی قوی نسبتاً متوازن | 0.506 | 0.297 | 1.268 | 0.630 | 1.029 | 1.624 | آمستردام |
| هوشمندی سخت‌افزاری اقتصاد-جابه‌جایی با ضعف نسبی حکمروایی | 0.430 | 0.372 | 0.794 | 0.021 | 0.471 | 2.035 | فرانکفورت |
| هوشمندی نرم‌افزاری مردم-حکمروایی-زندگی | 0.550 | 0.727 | 0.265 | 0.647 | 0.657 | 0.024 | کاردیف |
| هندسه فروپاشیده چندبعدی ضعیف | -1.144 | -0.452 | -0.968 | -0.898 | -1.133 | -0.674 | ناپولی |
| هسته توافق منفی سقوط شدید در حکمروایی-زندگی | -1.528 | -0.856 | -0.844 | -1.298 | -0.553 | -0.026 | آن |

است، با این وجود، مثبت و قابل قبول است. هندسه راداری آن شش ضلعی نسبتاً متقارن با کمی فرورفتگی در بعد زندگی است که تیپ T2 متوازن را با تمایل مردم-حکمرانی نشان می‌دهد.

کپنهاگ، شش ضلعی متوازن با برجستگی اقتصاد-مردم-جابه‌جایی را نمایش می‌دهد. ابعاد اقتصاد (۱/۲۷۶)، مردم (۱/۴۹۵)، جابه‌جایی (۱/۱۲۰) در اوج قرار دارند و ابعاد محیط‌زیست (۰/۶۴۴) و زندگی (۰/۳۲۴) ضعیف‌تر نشان می‌دهند، ولی هنوز مثبت هستند. هندسه راداری آن شکل ستاره‌مانند با سه رأس بیرون‌زده اقتصاد-مردم-جابه‌جایی است و در تیپ T1 با لبه توسعه-محور قرار می‌گیرد.

آمستردام دارای ابعاد اقتصاد-زیرساخت قوی و محیط‌زیست متوسط است. ابعاد اقتصاد (۱/۶۲۴) و جابه‌جایی (۱/۲۶۸) بسیار قوی هستند، ابعاد مردم و زندگی نیز خوب برآورد می‌شوند، و اما بُعد محیط‌زیست (۰/۲۹۷) در پایین‌تر از بقیه ابعاد قرار می‌گیرد. هندسه راداری این شهر چندضلعی کشیده به سمت اقتصاد-جابه‌جایی است و تیپ T2 را که هم متوازن و هم سخت‌افزاری است، برمی‌گزیند.

فرانکفورت، سخت‌افزار خالص لقب می‌گیرد. بُعد اقتصاد (۲/۰۳۵) در آن بسیار غیرعادی بالاست و ابعاد جابه‌جایی (۰/۷۹۴) و محیط‌زیست (۰/۳۷۲) مقادیر قابل قبولی را اختیار می‌کنند. بُعد حکمروایی (۰/۰۲۱) نیز نزدیک صفر است، بدین معنا که در مقایسه با بُعد اقتصاد، بسیار عقب است. هندسه راداری آن به شکل یک مثلث بزرگ روی بُعد اقتصاد است و بقیه ابعاد کوتاه هستند و تیپ T2 خالص با الگوی شهر بانک‌محور و زیرساختی را نمایش می‌دهد.

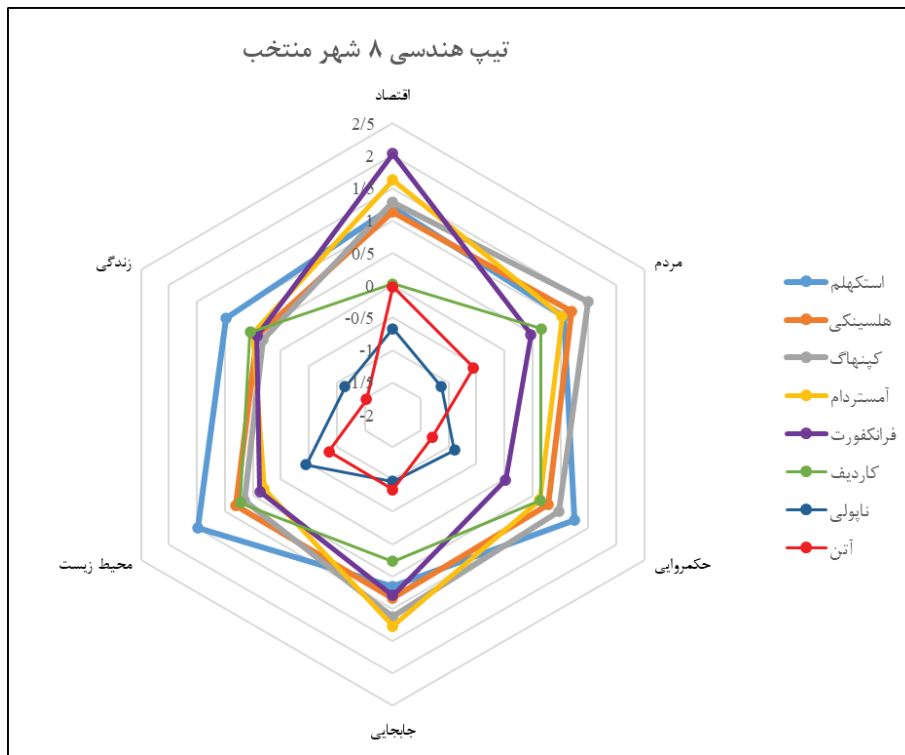
کاردیف، مردم و حکمروایی قوی با اقتصاد ضعیف را روایت می‌کند. ابعاد مردم (۰/۶۵۷)، حکمروایی (۰/۶۴۷)، محیط‌زیست (۰/۷۲۷) و زندگی (۰/۵۵۰) همگی خوب به نظر می‌رسند، اما بُعد اقتصاد (۰/۰۲۴) تقریباً صفر و بُعد جابه‌جایی

(۰/۲۶۵) پایین است. هندسه راداری آن نیمی از شش ضلعی مردم-حکروایی-محیط‌زیست-زندگی بالاست و نیم دیگر اقتصاد-جابه‌جایی فرورفته است و تیپ T3 با نرم‌افزار قوی روی سخت‌افزار متوسط را نمایش می‌دهد.

ناپولی تقریباً فروپاشی هندسی را به نمایش می‌گذارد. همه ابعاد منفی هستند، که این امر در ابعاد مردم، حکمروایی و زندگی به شدت برجسته است. هندسه راداری آن چندضلعی کوچک، فروکش کرده در همه جهات، و بدون هیچ رأس برجسته است و تیپ T4 را در قالب شهر چندبعدی ضعیف به معنای واقعی نمایش می‌دهد.

آن به واقع سقوط حکمروایی و کیفیت زندگی است. ابعاد حکمروایی (۱/۲۹۸-) و زندگی (۱/۵۲۸-) (بدترین نقاط هندسه را تشکیل می‌دهند و بُعد محیط‌زیست هم بسیار ضعیف (۰/۸۵۶-) نشان داده است. بُعد اقتصاد نزدیک به صفر (۰/۰۲۶-) است بدین معنا که نه یک اقتصاد فاجعه، اما قطعاً غیرهوشمند است. هندسه راداری آن به شکل یک چندضلعی است که دو رأس حکمروایی و زندگی تقریباً تا نزدیک مرکز آن کشیده شده‌اند و تیپ T4 را در قالب هسته توافقی منفی با تمرکز ضعف بر حکمروایی-زندگی به نمایش می‌گذارد.

طبق جدول شماره ۹ که شامل چهار تیپ هندسی هوشمندی است و در آن برای هر تیپ یک بردار شش‌بعدی عددی تعریف شده است، و همچنین، در جدول شماره ۱۰ که هر شهر هوشمند اروپایی در یکی از این تیپ‌ها قرار گرفته است و برای هر شهر، مختصات شش‌بعدی در هر تیپ تعیین شده است، به منظور درک بهتر هندسه هوشمندی، به صورت متناظر، در شکل شماره ۳ نمودار راداری هندسه هوشمندی هر یک از ۸ شهر منتخب نمایش داده شده است.



شکل شماره (۳): نمودار راداری هندسه هوشمندی و تیپ هندسی هر شهر (۸ شهر منتخب)

نتیجه‌گیری

(مانند اقتصاد قوی در برابر محیط‌زیست ضعیف) به تعادل نسبی دست یافته‌اند؛ و روش AHP نیز ساختار سلسله‌مراتبی ابعاد هوشمندی را تقویت و به انسجام تحلیلی چهارچوب کمک می‌کند. ترکیب این چهار روش تحلیلی، به‌همراه آزمون فریدمن، امکان شناسایی رفتارهای همگرا و واگرا در رتبه‌بندی‌ها را فراهم کرده و پژوهش را از سطح رتبه‌دهی عددی به سطح تحلیل ساختاری و هندسی ارتقا داده است. بدین ترتیب، هندسه هوشمندی نه بر اساس یک روش منفرد، بلکه بر پایه هم‌پوشانی، اختلاف و توافق روش‌ها شکل گرفته و از استحکام تحلیلی بالاتری برخوردار شده است. همچنین، دستگاه نظری-تحلیلی حاکم بر این پژوهش علاوه بر تدوین مختصات هوشمندی و تیپ‌شناسی شهرهای هوشمند اروپایی به پیوند دادن این تیپ‌های

در خصوص نقش روش‌های ارزیابی چندمعیاره در تولید چهارچوب نهایی پژوهش، باید اذعان داشت که به‌کارگیری هم‌زمان این چهار روش صرفاً به منظور تولید چند رتبه‌بندی موازی نیست، بلکه هر روش نقش تحلیلی متمایزی در شکل‌گیری هندسه نهایی هوشمندی ایفا کرده است. روش SAW به‌عنوان خط مبنای شفاف و کاملاً جبران‌پذیر، تصویر اولیه و ساده‌ای از هوشمندی ترکیبی شهرها ارائه می‌دهد؛ روش TOPSIS منطق فاصله از وضعیت ایدئال و ضدایدئال را وارد تحلیل می‌کند و تمایز فضایی میان شهرهای پیشرو و پس‌مانده را تقویت می‌کند؛ روش VIKOR با تمرکز بر مفهوم راه‌حل توافقی، امکان شناسایی شهرهایی را فراهم می‌سازد که میان ابعاد متعارض

هندسی با سیاست‌ها، ساختارهای نهادی، موقعیت منطقه‌ای و سطح توسعه نیز می‌پردازد و هندسه هوشمندی را به مدلی تشریحی و تحلیلی بدل می‌کند. بر این اساس، هندسه هوشمندی شهرهای اروپا نشان می‌دهد که هوشمندی در این قاره نه یک مسیر یگانه، بلکه یک منظومه چندریخت و چندلایه است. تحلیل مختصات شش‌بعدی، تیپ‌بندی هندسی، و پروفایل‌های راداری ۹۰ شهر به‌روشنی آشکار کرد که اروپا از یک الگوی واحد تبعیت نمی‌کند؛ بلکه سه منطق ساختاری و یک منطق بحرانی در آن هم‌زمان حضور دارند.

نخست، در رأس این طیف، شهرهای شمال اروپا (استکهلم، کپنهاگ، هلسینکی و تا حدی گوتنبرگ و آرهوس) قرار دارند که هندسه‌ای تقریباً شش‌ضلعی کامل ارائه می‌دهند. توازن میان اقتصاد نوآور، سرمایه انسانی یادگیرنده، حکمروایی پاسخ‌گو، جابه‌جایی پاک، محیط‌زیست کارآمد و کیفیت زندگی بالا، یک هندسه پایدار و توسعه‌یافته را پدید آورده است. این شهرها نه تنها زیرساخت و فناوری دارند، بلکه ظرفیت‌های نرم‌افزاری را نیز در بالاترین سطح فعال نگه داشته‌اند. اروپا در این بخش، چهره بلوغ‌یافته شهر هوشمند را ارائه می‌کند.

دوم، شهرهای غرب اروپا و کانون‌های اقتصادی که در سطح بعدی قرار می‌گیرند، دارای هندسه‌ای نیمه‌متعادل ولی سخت‌افزار محور هستند. فرانکفورت، آمستردام، روتردام و اشتوتگارت نمونه‌های بارز این دسته‌اند. شهرهایی که رشد اقتصادی، حمل‌ونقل پیشرفته و مزیت زیرساختی، رأس‌های رادار را به بیرون می‌رانند، اما حکمروایی، زندگی شهری و یا حتی محیط‌زیست با همان سرعت در آن‌ها رشد نکرده است. این هندسه، هندسه تعادل متمایل است. شهر، شهر هوشمند است، اما همگن و هم‌ریشه نیست.

سوم، شهرهایی از ولز، اسکاتلند و بخش‌هایی از فرانسه در این سطح قرار می‌گیرند و الگوی کاملاً متفاوتی

دارند (هوشمندی نرم‌افزار محور). در این شهرها مانند کاردیف، ادینبورو و رن سرمایه انسانی، حکمروایی و محیط‌زیست بسیار قوی‌اند، اما بخش‌های اقتصاد و جابه‌جایی هنوز به بلوغ نرسیده‌اند. هندسه این شهرها شکل ناپیوسته اما امیدبخش دارد؛ گویی نیمی از شش‌ضلعی به‌درستی ساخته شده و نیم دیگر در انتظار تقویت است. این شهرها شهرهایی هستند که آینده رشدشان کیفی است، و نه فیزیکی.

چهارم، بخش قابل توجهی از جنوب و شرق اروپا را تشکیل می‌دهد. هندسه فروریزشی در ناپولی، پالمو، آتن، سالونیک، پلودیف و چندین شهر اروپای شرقی، رادارهایی فرورفته دارند که تقریباً در همه ابعاد به مرکز نزدیک می‌شوند. ضعف در حکمروایی، محیط‌زیست و زندگی شهری با اقتصاد شکننده و جابه‌جایی ناکارآمد هم‌زمان شده است؛ در نتیجه، یک هندسه چندبعدی ضعیف و ناپایدار را تشکیل می‌دهد. این گروه در نقشه هوشمندی اروپا، هسته توافق منفی را تشکیل می‌دهند. بنابراین، هندسه هوشمندی اروپا نه یک سطح پیوسته، بلکه شبکه‌ای از شکل‌های متنوع است؛ از شش‌ضلعی‌های کامل شمال اروپا گرفته، تا چندضلعی‌های تک‌بعدی صنعتی، چندضلعی‌های نرم‌افزاری انسانی، و در نهایت چندضلعی‌های فروپاشیده جنوب و شرق. این هندسه به ما نشان می‌دهد که اروپا در مسیر هوشمندی، به سمت همگرایی نمی‌رود؛ بلکه به سوی تفاوت‌های پایدار حرکت می‌کند. این امر نشان می‌دهد که سیاست‌گذاری هوشمند باید منطقه‌ای، بافت‌محور و حساس به ریشه‌های ساختاری باشد. اروپا نه یک شهر هوشمند واحد، بلکه یک چندجهانی هوشمندی است که در آن هر شهر پروفایل مخصوص خود را می‌سازد، و هندسه این پروفایل، آینه دقیق وضعیت اجتماعی، فضایی و فناورانه آن است.

در پایان باید تأکید کرد که اگرچه هندسه هوشمندی اروپا با دقت و تنوع داده‌ای عظیم ترسیم شد، اما همین دستاورد دقیقاً همان جایی است که ایران با یک گلوگاه

۳. انجام پژوهش‌های مقایسه‌ای ایران-اروپا: برای شناسایی الگوهای توسعه‌یافتنی، شکاف‌های ساختاری و قابلیت‌های بومی‌سازی مدل‌های هوشمندی. اگر ایران بتواند مقدمات داده‌ای را فراهم کند، هندسه هوشمندی نه تنها ابزار ارزیابی، بلکه ابزار تصمیم‌سازی هوشمند برای شهرهای کشور خواهد بود؛ ابزاری که به جای روایت‌های کلی، تصویری دقیق، چندبعدی و شفاف از موقعیت امروز و مسیر فردای شهرهای ایران ترسیم می‌کند.

فهرست منابع

1. Behzadfar, M. (2003). Necessities and obstacles to creating smart cities in Iran. *Honar-Ha-Ye-Ziba*, 15(15), https://jhz.ut.ac.ir/article_10628.html?lang=en [in Persian]
2. Tadayon, B., Safari, Z., & Mansouri, F. (2023). Evaluation of the Sustainability of the Historical Context based on the Smart City approach (Case Study: Sonbolestan neighborhood). *Journal of Urban Studies on Space and Place*, 7(28), 53-72. <https://doi.org/10.22034/jspr.2024.2027363.1063> [in Persian]
3. Jalili Sadrabad, S., & Pourirahim, M. (2025). Investigating the resilience of smart city infrastructure with a passive defense approach; Study sample, district 4 of Tehran. *Safe City*, 8(2), 76-100. <https://doi.org/10.22034/ispdrc.2024.2038047.1126> [in Persian]
4. Dameri, R. P. (2018). *Smart city implementation: Creating economic and public value in innovative urban systems* (A. Mohimi, Trans.). Sari, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Mazandaran Branch. [in Persian]
5. Rezapourgatabi, K., Ezatpanah, B., &

بنیادی روبه‌روست، یعنی فقر آماری ساختاری. نبود پایگاه داده‌های قابل‌اعتماد، ناهمگونی در روش‌های سنجش، و فقدان انتشار عمومی داده‌های شهری، عملاً امکان ترسیم پروفایل شش‌بعدی شهرهای ایران را محدود کرده است. بدون داده منسجم، نه هندسه راداری امکان‌پذیر است، نه رتبه‌بندی، نه مقایسه بین‌شهری، و نه حتی درک تحلیلی از مسیر تحول شهری. تجربه اروپا نشان می‌دهد که هوشمندی قبل از آنکه محصول فناوری باشد، نتیجه شفافیت آماری، نظم داده‌ای و بلوغ نهادی است. ایران باید در قدم نخست، نظامی برای تولید، ذخیره، استانداردسازی و انتشار داده‌های شهری ایجاد کند. هرچه این زیرساخت داده‌ای تقویت شود، امکان ترسیم پروفایل‌های واقعی هوشمندی برای شهرهای ایران افزایش می‌یابد و می‌توان فهمید کدام شهر مسیر درستی می‌رود، کدام شهر دچار عدم تعادل است و کدام شهر در معرض فرسایش شهری قرار دارد. دستگاه نظری-تحلیلی این پژوهش قابلیت انتقال به سایر نواحی از جمله ایران را داراست، به شرطی که ایران از وضعیت شهر بی‌داده عبور کند. اگر داده‌های شهری تولید و در قالب پایگاه‌های رسمی منتشر شوند، همین مدل هندسه هوشمندی می‌تواند برای شهرهای ایران نیز ساختاری بومی، دقیق و آینده‌نگر ارائه دهد. برای مطالعات فراتر، سه مسیر ضروری پیشنهاد می‌شود: ۱. ایجاد پایگاه داده ملی شاخص‌های هوشمندی شهری: مشابه پایگاه‌های داده شهرهای اروپایی و ممیزی شهری منتشرشده توسط Eurostat، با شاخص‌های شش‌بعدی و داده‌های سالانه برای همه کلان‌شهرها و شهرهای میانی. ۲. اجرای پایلوت هندسه هوشمندی در چند شهر ایرانی: با استفاده از داده‌های موجود و تکمیل آن از طریق تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دور، داده‌های برداشت‌شده توسط ارگان‌های متولی نظیر شهرداری و خدمات شهری مانند حمل‌ونقل، مدیریت پسماند و با سلامت شهری.

- of *Urban and Rural Management*, 22(73), 41-55. <http://ijurm.imo.org.ir/article-1-3448-en.html> [in Persian]
11. Farajpoorfard, A., Sholeh, M., Lotfi, S., & Izady, H. (2025). Reimagining urban resilience through smart city components: A case study of Sadra New Town, Fars, Iran. *Geographical planning of space quarterly journal*, 15(1), 179-197. <https://doi.org/10.30488/gps.2025.479848.3785> [in Persian]
12. Mahdizadeh, Z., Joudaki, H., & Ziyari, Y. (2021). Ranking of components and characteristics of a smart city in the 22nd metropolitan area of Tehran, *Geography(Regional Planning)*, 11(44), 505-520. <https://doi.org/10.22034/jgeoq.2021.136739> [in Persian]
13. Achmad, K. A., Nugroho, L. E., Djunaedi, A., & Widyanan. (2018). Smart city for development: Towards a conceptual framework. In Proceedings of the 2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST) (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSTC.2018.8528677>
14. Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, 60, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>
15. Al-Masri, A. N., Ijeh, A., & Nasir, M. (2019). Smart city framework development: Challenges and solutions. In A. Al-Masri & K. Curran (Eds.), *Smart technologies and innovation for a sustainable future* (Advances in Science, Technology & Innovation). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01659-3_38
- Beyghbabaei, B. (2023). Assessing the Feasibility of Smart City Indicators in the Contemporary Context of Iranian Cities the Case study of Babol City. *Geographical planning of space quarterly journal*, 13(2), 71-90. <https://doi.org/10.30488/gps.2023.375355.3602> [in Persian]
6. Zebardast, E. (2002). Application of the Analytical Hierarchy Process in urban and regional planning. *Honar-Ha-Ye-Ziba*, 10(0), https://jhz.ut.ac.ir/article_13624.html [in Persian]
7. Salimi, M., Ziyari, K., & Pourahmad, A. (2024). Investigating Smart City Indicators With a View to Optimal Urban Governance (Case Study of Bandar Abbas City). *Geography(Regional Planning)*, 13(Special Issue 1), 417-432. <https://www.doi.org/10.22034/jgeoq.2024.393403.4034> [in Persian]
8. Shami, M., Bigdelirad, V., & Moeinifar, M. (2021). Explaining the concepts and evaluating the dimensions of a smart city with an emphasis on smart urban life in the metropolis of Tehran. *Geography(Regional Planning)*, 11(45), 137-151. <https://www.doi.org/10.22034/jgeoq.2021.141774> [in Persian]
9. Tabaeian, A., Nouri, S. A., Behzadfar, M., & Khalili, A. (2024). Explaining a conceptual framework of a healthy urban space based on smart city principles. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism*, 15(1), 141-160. <https://doi.org/10.30475/isau.2024.472846.2177> [in Persian]
10. Taimazi, M., Faraji, J., Yaghobi, E., & Aslipour, H. (2024). Identifying and prioritizing the factors that make up the smart city ecosystem in Iran. *International Journal*

- McClellan, B., & Tezuka, T. (2018). Sustainable smart city development framework for developing countries. *Urban Research & Practice*, 13(2), 180–212. <https://doi.org/10.1080/17535069.2018.1537003>
23. Bibri, S. E. (2018). A foundational framework for smart sustainable city development: theoretical, disciplinary, and discursive dimensions and their synergies. *Sustainable Cities and Society*, 38, 758–794. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.032>
24. Bowerman, B., Braverman, J., Taylor, J., Todosow, H., & Von Wimmersperg, U. (2000, September). The vision of a smart city. In *Proceedings of the 2nd International Life Extension Technology Workshop*. Paris, France. <https://www.osti.gov/servlets/purl/773961>
25. Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65–82. <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>
26. Chourabi, H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., ... & Scholl, H. J. (2012, January). Understanding smart cities: An integrative framework. In *2012 45th Hawaii international conference on system sciences* (pp. 2289–2297). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2012.615>
27. Dameri, R. P. (2017). *Smart City Implementation: Creating Economic and Public Value in Innovative Urban Systems*. Springer.
28. European Parliament. (2014). *Mapping smart cities in the EU*. Retrieved May 2025, from <http://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=IPOL-ITRE-ET%282014%29507480>
16. Baucells Aletà, N., Moreno Alonso, C., & Arce Ruiz, R. M. (2017). Smart mobility and smart environment in the Spanish cities. *Transportation Research Procedia*, 24, 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.084>
17. Al Sharif, R., & Pokharel, S. (2022). Smart city dimensions and associated risks: Review of literature. *Sustainable cities and society*, 77, 103542. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103542>
18. Allam, Z., & Dhunny, Z. A. (2019). On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities*, 89, 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.032>
19. Appio, F. P., 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>
20. Aydin, F., & Gümüç, B. (2022). Comparative analysis of multi-criteria decision making methods for the assessment of optimal SVC location. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, 70(2). <https://doi.org/10.24425/bpasts.2022.140555>
21. Bakry, S. H., Al-Saud, B. A., Alfassam, A. N., & Alshehri, K. A. (2019). A framework of essential requirements for the development of smart cities: Riyadh city as an example. In A. Visvizi & M. D. Lytras (Eds.), *Smart cities: Issues and challenges* (pp. 219–239). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816639-0.00013-2>
22. Bhattacharya, T. R., Bhattacharya, A.,

- Systems Frontiers*, 21, 661–685. <https://doi.org/10.1007/s10796-019-09911-3>
36. Hall, P. (2000). Creative cities and economic development. *Urban Studies*, 37(4), 633–649. <https://doi.org/10.1080/00420980050003946>
37. Hollands, R. G. (2008). Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? *City*, 12(3), 303–320. <https://doi.org/10.1080/13604810802479126>
38. He, L. (2023). Assessing the smart city: A review of metrics for performance assessment, risk assessment and construction ability assessment. *Cogent Economics & Finance*, 11(2). <https://doi.org/10.1080/23322039.2023.2273651>
39. Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer.
40. Ismagilova, E., Hughes, L., Dwivedi, Y. K., & Raman, K. R. (2019). Smart cities: Advances in research—An information systems perspective. *International Journal of Information Management*, 47, 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.004>
41. Karthikeyan, R., Venkatesan, K. G. S., & Chandrasekar, A. (2016). A comparison of strengths and weaknesses for analytical hierarchy process. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9(3), 12-15. <https://www.jchps.com/issues/Volume%209Issue%203/CSE%2042.pdf>
42. Kesswani, N., & Kumar, S. (2018). The smart-X model for smart cities. In *Proceedings of the 2018 IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)* (Vol. 1, pp. 755–760). IEEE. <https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2018.00112>
29. Eurostat. (2025). *Eurostat database* (datasets on economy, environment, mobility, governance, education, and quality of life). European Commission. Retrieved May 2025, from <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
30. Eurostat. (2024). *Urban Audit – Statistical units* [Dataset]. GISCO, European Commission. Retrieved May 2025, from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/statistical-units/urban-audit>
31. Fistola, R., Raimondo, M., & La Rocca, R. A. (2017). The Smart City and Mobility: The Functional Polarization of Urban Flow. In *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MTITS 2017)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/MTITS.2017.8005730>
32. Garau, C., Masala, F., & Pinna, F. (2016). Cagliari and Smart Urban Mobility: Analysis and Comparison. *Cities*, 56, 35-46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2016.02.012>
33. Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler Milanović, N., & Meijers, E. (2007). *Smart cities: Ranking of European medium-sized cities*. Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology.
34. Giffinger, R., & Gudrun, H. (2010). Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of the cities? *ACE: architecture, city and environment*, 4(12), 7-26. <http://dx.doi.org/10.5821/ace.v4i12.2483>
35. Gupta, P., Chauhan, S., & Jaiswal, M. P. (2019). Classification of Smart City Research – a Descriptive Literature Review and Future Research Agenda. *Information*

49. Mohimi, A. (2019). Assessment of urban growth and sprawl models via MATLAB (Shannon's entropy model). In *Proceedings of the 3rd International Conference on Architecture, Arts and Application*. Bharath University. https://www.academia.edu/144444953/Assessment_of_Urban_Growth_and_Sprawl_Models_via_MATLAB_Shannon_s_Entropy_Model?source=swp_share
50. Mohimi, A. (2018a). A study on smart city dimensions with the emphasis on smart mobility in urban areas. In *Proceedings of the First International Conference on Modern Approaches in Engineering Sciences (ICMAES 2018)*. https://www.academia.edu/144464004/A_Study_on_Smart_City_Dimensions_with_the_Emphasis_on_Smart_Mobility_in_Urban_Areas?source=swp_share
51. Mohimi, A. (2018b). Assessment of mechanisms of European smart cities. In *Proceedings of the 4th Conference on Architecture, Civil and Urban Development at the Beginning of the Third Millennium*. https://www.academia.edu/144470810/Assessment_of_Mechanisms_of_European_Smart_Cities?source=swp_share
52. Mohimi, A. (2018c). Assessment of urban growth and sprawl models via MATLAB (Holdren model). In *Proceedings of the 4th Conference on Architecture, Civil and Urban Development at the Beginning of the Third Millennium*. https://www.academia.edu/144471392/Assessment_of_Urban_Growth_and_Sprawl_Models_via_MATLAB_Holdren_Model?source=swp_share
43. Kumar, H., Singh, M. K., Gupta, M. P., & Madaan, J. (2020). Moving towards smart cities: Solutions that lead to the smart city transformation framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119281. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.04.024>
44. Kuru, K., & Ansell, D. (2020). TCitySmartF: A comprehensive systematic framework for transforming cities into smart cities. *IEEE Access*, 8, 18615–18644. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2967777>
45. Lai, J., Chen, Y., Wu, Z., Yuan, G., & Li, M. (2018). Application of cellular data in traffic planning. In Z. Shen & M. Li (Eds.), *Big data support of urban planning and management* (Advances in Geographic Information Science). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51929-6_15
46. Lombardi, P., Giordano, S., Farouh, H., & Yousef, W. (2012). Modelling the smart city performance. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 25(2), 137–149. <https://doi.org/10.1080/13511610.2012.660325>
47. Lytras, M. D., Visvizi, A., Chopdar, P. K., Sarirete, A., & Alhalabi, W. (2021). Information management in smart cities: Turning end users' views into multi-item scale development, validation, and policy-making recommendations. *International Journal of Information Management*, 56, 102146. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102146>
48. Madanchian, M., & Taherdoost, H. (2023). A comprehensive guide to the TOPSIS method for multi-criteria decision making. *Sustainable Social Development*, 1(1), 2220. <https://doi.org/10.54517/ssd.v1i1.2220>

- Frontiers in Sustainable Cities*, 6, 1449983. <https://doi.org/10.3389/frsc.2024.1449983>
59. Nam, T., & Pardo, T. A. (2011a). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times (dg.o '11)* (pp. 282–291). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2037556.2037602>
60. Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Smart city as urban innovation: Focusing on management, policy, and context. In *Proceedings of the 5th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance (ICEGOV '11)* (pp. 185–194). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2072069.2072100>
61. Naqvi, N., Rehman, S., & Islam, Z. (2020). A hyperconnected smart city framework: Digital resources using enhanced pedagogical techniques. *Australasian Journal of Information Systems*, 24, 1–42. <https://doi.org/10.3127/ajis.v24i0.2531>
62. Oberti, I., & Pavesi, A. S. (2013). The triumph of the smart city. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (5), 117–122. <https://doi.org/10.13128/Techne-12810>
63. Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
64. Paskaleva, K. (2009). Enabling the smart city: The progress of city e-governance in
53. Mohimi, A., & Esmacily, A. (2025). Examining the Urban Sprawl of Kerman, Iran, in Response to Earthquake-Driven Migration and Relocation from Bam: Utilizing Remote Sensing Satellite Imagery and the Cellular Automata–Markov Model. *Journal of Urban Planning and Development*, 151(4). <https://doi.org/10.1061/jupddm.upeng-5578>
54. Mohimi, A., & Esmacily, A. (2024). Spatiotemporal analysis of urban sprawl using a multi-technique approach and remote sensing satellite imagery from 1990 to 2020: Kerman/Iran. *Environment Development and Sustainability*, 26(7), 18033–18068. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03378-8>
55. Mohimi, A., Fadaei Qotbi, M., Esmacily, A., & Ghazanfarpour, H. (2019). Urban sprawl analysis of the city of Kerman via remote sensing. *Journal of Urban Social Geography*, 6(1), 139–156. <https://doi.org/10.22103/JUSG.2019.1983>
56. Mohimi, A., Fadaei Qotbi, M., Esmacily, A., & Ghazanfarpour, H. (2021). Evaluating the physical–spatial indices in determination of urban sprawl patterns using remote sensing (case study: City of Kerman). *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 10(38), 107–126. <https://doi.org/10.30488/gps.2021.164892.2974>
57. Montella, L., Liu, X., Monaco, R., Murino, T., & Nielsen, P. S. (2025). An integrated multi-criteria decision making framework for industrial excess heat recovery and utilization. *Energy*, 318, 134721. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134721>
58. Mupfumira, P., Mutingi, M., & Sony, M. (2024). Smart city frameworks SWOT analysis: a systematic literature review.

- International*, 1(4), 221-228. <https://doi.org/10.1002/PRI.66>
71. Sourav, A. I., Lynn, N. D., & Santoso, A. J. (2020). Designing a conceptual framework of a smart city for sustainable development in Bangladesh. *Journal of Physics: Conference Series*, 1641, 012112. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1641/1/012112>
72. Stanujkic, D., Djordjevic, B., & Djordjevic, M. (2013). Comparative analysis of some prominent MCDM methods: A case of ranking Serbian banks. *Serbian journal of management*, 8(2), 213-241. <https://doi.org/10.5937/sjm8-3774>
73. Taherdoost, H. (2023). Analysis of Simple Additive Weighting Method (SAW) as a Multi-Attribute Decision Making Technique: A Step-by-Step Guide. *Journal of Management Science & Engineering Research*. 6(1): 21-24. <https://doi.org/10.30564/jmser.v6i1.5400>
74. Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2024). A comprehensive survey and literature review on TOPSIS. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology (IJSSMET)*, 15(1), 1-65. <https://doi.org/10.4018/IJSSMET.347947>
75. Tiwari, N., Jain, P., & Yadav, M. K. (2023). An integrated ATPRIS framework for smart sustainable and green city. In M. S. Uddin & J. C. Bansal (Eds.), *Proceedings of the International Joint Conference on Advances in Computational Intelligence (IJCACI 2022)* (Algorithms for Intelligent Systems). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1435-7_17
76. Ulya, A., Susanto, T. D., Dharmawan, Y. S., & Subriadi, A. P. (2024). Major dimensions of smart city: A systematic literature review. *Europe. International Journal of Innovation and Regional Development*, 1(4), 405-422. <https://doi.org/10.1504/IJIRD.2009.022730>
65. Pramanik, P. K. D., Biswas, S., Pal, S., Marinković, D., & Choudhury, P. (2021). A Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision-Making Methods for Resource Selection in Mobile Crowd Computing. *Symmetry*, 13(9), 1713. <https://doi.org/10.3390/sym13091713>
66. Sandeep, V., Honagond, P. V., Pujari, P. S., Kim, S. C., & Salkuti, S. R. (2020). A comprehensive study on smart cities: Recent developments, challenges and opportunities. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 20(2), 575-582. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v20.i2.pp575-582>
67. Sari, F. (2018). Comparison of TOPSIS and VIKOR multi-criteria decision analysis techniques. *Selçuk University Journal of Engineering, Science and Technology*, 6(Special Issue), 825-831. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2018.172>
68. Shannon, C., & Weaver, W. (1949). Recent contributions to the mathematical theory of communication. *The mathematical theory of communication*, 1, 1-12.
69. Sharifi, A. (2019). A critical review of selected smart city assessment tools and indicator sets. *Journal of cleaner production*, 233, 1269-1283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.172>
70. Sheldon, M. R., Fillyaw, M. J., & Thompson, W. D. (1996). The use and interpretation of the Friedman test in the analysis of ordinal-scale data in repeated measures designs. *Physiotherapy Research*

[org/10.1016/j.scs.2019.101462](https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101462)

79. Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M., Buys, L., Ioppolo, G., Sabatini-Marques, J., da Costa, E. M., & Yun, J. J. (2018). Understanding “smart cities”: Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. *Cities*, 81, 145–160. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.04.003>

80. Zhu, C., & Wang, X. (2024). A novel integrated approach based on best–worst and VIKOR methods for green supplier selection under multi-granularity extended probabilistic linguistic environment. *Complex & Intelligent Systems*, 10(2), 2029-2046. <https://doi.org/10.1007/s40747-023-01251-9>

Procedia Computer Science, 234, 996–1003.

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.089>
77. Waas, D. V., Sudipa, I. G. I., & Udayana, I. P. A. E. D. (2022). Comparison of Final Results Using Combination AHP-VIKOR and AHP-SAW Methods in Performance Assessment (Case Imanuel Lurang Congregation). *IJISTECH (International Journal of Information System and Technology)*, 5(5), 612-623. <https://doi.org/10.30645/ijistech.v5i5.185>

78. Yadav, G., Mangla, S. K., Luthra, S., & Rai, D. P. (2019). Developing a sustainable smart city framework for developing economies: An Indian context. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101462. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101462>

نحوه ارجاع به این مقاله:

مهیمنی، امیر مهیم و ایلافی حسینی، محسن. (۱۴۰۴). هندسة هوشمندی: خوانشی داده‌محور از شش بُعد تکوینی شهرهای هوشمند معاصر اروپایی. پژوهشهای فضا و مکان در شهر، ۳۷(۹)، ۱۱۹-۱۶۱. <https://doi.org/10.22034/jspr.2026.2077938.1209>

DOI: <https://doi.org/10.22034/jspr.2026.2077938.1209>

URL: http://jspr.jdisf.ac.ir/article_734120.html

Copyrights:

©2023 by the authors. Published by Journal of Urban Studies on Space and Place.
This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)).

