UST

Urban Strategic Thought

eISSN: 2981-1791 https://ut.journals.ikiu.ac.ir/

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Publisher: Imam Khomeini International University

City Information Modeling (CIM) as a Decision-Support Framework in Urban Planning and Management

Farshad Shariatpour[(1)], **Zahra Alsadat Ardestani**[(2)*]

1. Ph.D. Candidate in Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor of Urban Planning, Faculty of Art and Architecture, University of Kharazmi, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 01/10/2025
Accepted: 03/11/2025
PP. 152-173

Keywords:

City Information Modeling, Decision-Support, Urban Planning, Urban Management, Digital Transformation.

Number of references: 56

Number of figures: 4

Number of tables: 2

Abstract

Introduction: Urban decision-making increasingly relies on rich, fast-arriving spatial and non-spatial data, yet current practices remain fragmented, with geographic information systems (GIS), building information modeling (BIM), and dashboards operating in parallel rather than as a coherent whole. This paper advances City Information Modeling (CIM) as a holistic decision-support framework that integrates heterogeneous datasets, links models and indicators across multiple scales (parcel–district–city) and sectors (land use, mobility, energy, public health), and operationalizes participatory, evidence-based planning. CIM is not merely a 3D representation nor a city-scale extension of BIM; it is a socio-technical information infrastructure coupling semantics, geometry, and time with governance mechanisms, institutional workflows, and citizen engagement.

The Purpose of the Research: Our analytical lens foregrounds decision support: Which functions are enabled at strategic, tactical, and operational levels (scenario building, cross-agency coordination, real-time monitoring)? What benefits and barriers recur? Which enabling conditions move efforts from visualization to institutionalized decision-making? The paper makes three contributions.

Methodology: Methodologically, the study combines a conceptual literature review with a comparative analysis of three prominent implementations—Virtual Singapore, Zurich's city-scale digital twin, and Boston's 3D GIS model. The review clarifies CIM's relationship to GIS, BIM, and urban digital twins, and the cases illustrate how governance models, data standards, funding arrangements, and platform choices shape what CIM can achieve in practice.

Findings and Discussion: First, it delineates CIM's theoretical underpinnings vis-à-vis GIS, BIM, and digital twins. GIS contributes coverage and spatial analytics at urban and regional scales; BIM adds parametric depth at the asset scale; digital twins provide synchronization with live data and operational control. CIM orchestrates these capabilities through shared ontologies and open standards (e.g., CityGML, IFC), creating a common semantic backbone enabling indicators and models to interoperate across tools, agencies, and time horizons. Second, it specifies decision functions by level. At the strategic level, CIM supports long-range scenario exploration, policy trade-off analysis, and cross-sector alignment. At the tactical level, it enables program design and interdepartmental coordination for area-based redevelopment. At the operational level, it underpins near-real-time monitoring, asset management, and crisis response, especially where architectures are coupled to live sensor streams. Third, it surfaces recurrent benefits and barriers. Benefits include a coherent information infrastructure, enhanced transparency and public communication (through interactive 3D/VR/AR and web dashboards), improved predictiveness via what-if simulations and multi-criteria decision analysis (MCDA), and reduced duplication across agencies. Barriers include data silos and legacy formats, limited interoperability, vendor lock-in risks, uneven organizational capacity, and ethics and privacy concerns surrounding sensitive spatial data. Building on these insights, the paper proposes actionable policy and practice recommendations. Cities should adopt and enforce common data and metadata

ARTICLE INFO

Abstract

standards; implement open yet safeguarded data governance with role-based access and auditable provenance; invest in cross-agency capacity-building (data stewardship, 3D modeling, simulation, engagement); and sequence deployment through domain-specific pilots explicitly linking analytics to implementation. A staged approach—prioritizing foundational layers, establishing semantic alignment, and progressively integrating live data—can deliver early value while managing risk and cost. Procurement should minimize lock-in, favor interoperability, and require documentation of APIs, schemas, and governance processes alongside deliverables.

Conclusion: The paper's originality lies in reframing CIM as connective tissue between models, data, institutions, and publics—a socio-technical platform that augments rather than replaces expert judgment. By tying semantic modeling to decision functions and governance safeguards, we move beyond technology-first narratives to show how CIM enables more coordinated, transparent, and democratically legitimate urban decisions. The framework clarifies how multi-scale (parcel–district–city) and multi-sector (land use, mobility, energy, public health) integration can be operationalized through shared ontologies and interface layers supporting both expert analysis and lay participation. Finally, we chart a research agenda prioritizing evaluation metrics focused on decision quality and implementation outcomes (not only visualization fidelity); advancing participatory modeling at scale through accessible web/VR interfaces and place-based feedback; and integrating responsible AI for city analytics, with attention to bias, explainability, and data minimization in sensitive contexts. Comparative studies across resource-rich and resource-constrained settings are needed to understand scalability and adaptation pathways, including low-cost, standards-led approaches that broaden access and reduce dependency on proprietary stacks. Centering decision support, governance, and ethics positions CIM as foundational infrastructure for the next generation of urban planning and management—fostering inclusive, transparent, equitable, resilient, and adaptive governance.

Use your device to scan and read the article online

Funding: There is no funding support.

Authors' Contribution: The conceptualization, research design, and drafting of the initial version of the article were carried out by Farshad Shariatpour. Zahra Alsadat Ardestani contributed to the scientific review, final editing, and content validation of the article. Both authors read and approved the final version of the manuscript.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments: We are grateful to all the persons for scientific consulting in this paper.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Highlight

- Frames CIM as a socio-technical decision-support framework; integrates heterogeneous data and links models across parcel–district–city scales.
- Specifies strategic, tactical, and operational functions—scenario building, cross-agency coordination, real-time monitoring—alongside recurring benefits and barriers.
- Delivers actionable recommendations on shared data/metadata standards, open-with-protection data governance, cross-agency capacity-building, staged pilots, and an agenda for evaluation and responsible AI.

This paper is an open access and licenced under the Creative Commons CC BY-NC 4.0 licence.

©2024 ,UST.All rights reserved.

Cite this article: Shariatpour, F., & Ardestani, Z. A. (2025). City Information Modeling (CIM) as a Decision-Support Framework in Urban Planning and Management. *Urban Strategic Thought*, 3(2(6)), 152-173.

https://doi.org/10.30479/ust.2025.22776.1223

https://ut.journals.ikiu.ac.ir/article_3916.html

*. Corresponding Author (Email: ardestani@khu.ac.ir)/ (Phone: 09122194121)

اندیشه راهبردی شهرسازی
شاپای الکترونیکی: ۱۷۹۱-۲۹۸۱
UST
مقاله علمی-پژوهشی
ناشر: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

مدل‌سازی اطلاعات شهر به‌عنوان چارچوب پشتیبان تصمیم در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری

فرشاد شریعت‌پور[۱]، زهرا السادات اردستانی[۲]*

۱- دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران.
۲- استادیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۹
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۲
صص: ۱۵۲-۱۷۳

واژگان کلیدی:
مدل‌سازی اطلاعات شهر، پشتیبانی از تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی شهری، مدیریت شهری، تحول دیجیتال.

تعداد منابع: ۵۶
تعداد اشکال: ۴
تعداد جداول: ۲

چکیده

مقدمه: تصمیم‌گیری شهری به‌طور فزاینده‌ای به داده‌های فضایی و غیرفضایی غنی و با سرعت بالا وابسته است؛ با این حال، رویه‌های جاری همچنان در قالب سامانه‌های مجزا مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و داشبوردهای اختصاصی عمل می‌کنند.

هدف پژوهش: این مقاله، مدل‌سازی اطلاعات شهر را به‌مثابه یک چارچوب جامع پشتیبان تصمیم معرفی می‌کند که داده‌های ناهمگن را یکپارچه می‌سازد، مدل‌ها و شاخص‌ها را در مقیاس‌های مختلف (قطعه، محله و شهر) و در بخش‌های گوناگون (کاربری زمین و حمل‌ونقل) پیوند می‌دهد و برنامه‌ریزی مشارکتی و مبتنی بر شواهد را عملیاتی می‌سازد.

روش‌شناسی: پژوهش حاضر با تکیه بر مرور ادبیات مفهومی و تحلیل تطبیقی تجربه‌های جهانی (سنگاپور، زوریخ، بوستون)، نخست بنیان‌های نظری سی‌آی‌ام را در قیاس با جی‌آی‌اس، بی‌آی‌ام و دوقلوهای دیجیتال تبیین می‌کند؛ سپس کارکردهای تصمیم‌گیری در سطوح راهبردی، تاکتیکی و عملیاتی (سناریوسازی، هماهنگی بین‌نهادی، پایش درلحظه) را مشخص می‌سازد؛ و در ادامه، مزایا (زیرساخت اطلاعاتی منسجم، شفافیت، قابلیت پیش‌بینی، بهبود مشارکت) و موانع (جزیره‌ای‌بودن داده‌ها، هم‌کنش‌پذیری، حکمرانی، ظرفیت‌سازی، ملاحظات اخلاقی و حریم خصوصی) را آشکار می‌کند.

یافته‌ها و بحث: چارچوب مفهومی پژوهش ارائه می‌دهد که اجزای کلیدی سی‌آی‌ام از ورودی‌های داده و استانداردهای باز تا حکمرانی داده، موتور تحلیل/شبیه‌سازی و رابط‌های مشارکتی را در پیوند با حوزه‌های کارکردی شهری و سطوح تصمیم‌گیری نشان می‌دهد. بر پایه این چارچوب، مجموعه‌ای از توصیه‌های سیاستی و اجرایی پیشنهاد می‌شود: پذیرش استانداردهای مشترک داده/فراداده، حکمرانی داده باز همراه با حفاظت، توسعه ظرفیت سازمانی و اجرای پایلوت‌های مرحله‌ای که تحلیل‌ها را به اجرا پیوند می‌زنند. نوآوری مقاله در بازتعریف سی‌آی‌ام به‌عنوان «بافت پیونددهنده» میان مدل‌ها، داده‌ها، نهادها و شهروندان است؛ رویکردی اجتماعی-فنی که به جایگزینی قضاوت انسانی نمی‌اندیشد، بلکه کیفیت تصمیم‌ها را با تلفیق شواهد و مشارکت ارتقا می‌دهد.

نتیجه‌گیری: دستورکار پژوهشی آینده شامل سنجه‌های ارزیابی اثربخشی، مدل‌سازی مشارکتی در مقیاس وسیع و به‌کارگیری هوش مصنوعی مسئولانه برای تحلیل‌های شهری ترسیم می‌شود.

نکات برجسته:

- سی‌آی‌ام را به‌عنوان چارچوب پشتیبان تصمیم اجتماعی-فنی تبیین می‌کند؛ یکپارچه‌سازی داده‌های ناهمگون و پیوند مدل‌ها در مقیاس‌های قطعه، محله و شهر.
- کارکردهای راهبردی، تاکتیکی و عملیاتی را مشخص می‌سازد: سناریوسازی، هماهنگی بین نهادی، و پایش در لحظه؛ به‌همراه مزایا و موانع کلیدی.
- توصیه‌های اجرایی استانداردهای داده/فراداده، حکمرانی داده باز همراه با حفاظت، ظرفیت‌سازی بین‌سازمانی و پایلوت‌های مرحله‌ای؛ به‌علاوه دستورکار ارزیابی و هوش مصنوعی مسئولانه.

ارجاع به این مقاله: شریعت‌پور، فرشاد و اردستانی، زهرا السادات. (۱۴۰۴).عنوان مدل‌سازی اطلاعات شهر به‌عنوان چارچوب پشتیبان تصمیم در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری. *اندیشه راهبردی شهرسازی*، ۳(۲)(۶)، ۱۵۲-۱۷۳.

https://ut.journals.ikiu.ac.ir/article_3916.html

این مقاله به صورت دسترسی باز و با مجوز Creative Commons CC BY-NC 4.0 قابل استفاده است.
©2024 ,UST.All rights reserved.

*. نویسنده مسئول (رایانامه: ardestani@khu.ac.ir)/ (تلفن: ۰۹۱۲۲۱۹۴۱۲۱)

۱- مقدمه و بیان مسئله

شهرها به‌مثابه سامانه‌های پیچیده‌ی اجتماعی-فنی عمل می‌کنند که در آن‌ها زیرساخت‌ها، کاربری زمین، جابه‌جایی، اقتصاد و حیات اجتماعی در مقیاس‌های فضایی و زمانی متقاطع می‌شوند (Batty, 2018). شتاب فزاینده شهرنشینی و جهانی‌شدن، تقاضا برای مسکن، حمل‌ونقل، انرژی و خدمات را افزایش داده و هم‌زمان مشکلاتی همچون تراکم ترافیک، آلودگی، خطرات اقلیمی، نابرابری و آسیب‌پذیری‌های بهداشتی را تشدید می‌کند. در پاسخ به این وضعیت، رویکردهای داده‌محور[۱] و ابزارهای دیجیتال به ابزاری اساسی برای تشخیص مسائل، پیش‌بینی پیامدها و هماهنگ‌سازی مداخلات بدل شده‌اند؛ روندی که با ابتکارات «شهر هوشمند» و دسترسی گسترده‌تر به داده‌های شهری از طریق ماهواره‌ها، حسگرها و شبکه‌های اجتماعی تقویت شده است (Allam & Dhunny, 2019). با این‌حال، ابزارهای موجود همچنان پراکنده‌اند: سیستم اطلاعات جغرافیایی (جی‌آی‌اس)[۲] الگوهای در مقیاس کلان شهری را ثبت می‌کند اما فاقد جزئیات در سطح پروژه است؛ مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (بی‌آی‌ام)[۳] داده‌های دقیق ساختمان را ارائه می‌دهد ولی به‌ندرت با بسترهای وسیع‌تر پیوند می‌خورد (Liu et al., 2017). «دوقلوهای دیجیتال[۴]» گرچه پویایی‌های لحظه‌ای را می‌افزایند، اما اغلب در حوزه‌های مجزا و ناسازگار باقی می‌مانند (Kutzner et al., 2020).

مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام)[۵] این شکاف‌ها را با ادغام مجموعه‌های داده فضایی و غیرفضایی[۶] در قالب مدل‌های معنایی غنی در مقیاس شهری پر می‌کند (Kutzner et al., 2020). مشابه با بی‌آی‌ام اما در مقیاس شهری، سی‌آی‌ام دارایی‌ها، شبکه‌ها، خدمات و فعالیت‌ها را در یک پلتفرم مشترک برای برنامه‌ریزی و مدیریت به هم پیوند می‌دهد. فراتر از مصورسازی، این مقاله سی‌آی‌ام را به‌مثابه یک «زیرساخت اطلاعاتی» مفهوم‌پردازی می‌کند که از تصمیم‌گیری چندسطحی (راهبردی، تاکتیکی و عملیاتی) پشتیبانی کرده و هم‌زمان قابلیت‌های میان‌عملیاتی، معناسازی مشترک و سازوکارهای حکمرانی مکمل دوقلوهای دیجیتال و تحلیل‌های پیشرفته را فراهم می‌سازد (Dembski et al., 2020).

از نظر معرفتی، تفاوت سی‌آی‌ام با بی‌آی‌ام و دوقلوی دیجیتال صرفاً در دامنه مقیاس نیست، بلکه در فلسفه بازنمایی معنا و تعامل انسان-داده نیز ریشه دارد. سی‌آی‌ام کوششی برای ساختن یک «شبکه معنایی» است که ترکیبی از داده‌های فضایی و غیرفضایی، بایگانی‌های تاریخی، رفتار انسانی و شبیه‌سازی‌های انرژی را در خود پیوند می‌دهد و هر شیء شهری را فراتر از هندسه سه‌بعدی، به ویژگی‌های اجتماعی و عملکردی آن متصل می‌کند (Xue et al., 2021). برخلاف بی‌آی‌ام که اطلاعات دقیق ساختمان‌ها را به‌صورت پروژه‌ای ارائه می‌دهد یا دوقلوی دیجیتال که تمرکز بر همگام‌سازی لحظه‌ای دارایی‌ها و کنترل عملیاتی دارد، سی‌آی‌ام به‌عنوان زیرساختی برای معناسازی مشترک و حکمرانی داده شهری پدید آمده است؛ رویکردی که از ابتدا شهر را به‌عنوان یک سیستم اجتماعی-فنی در نظر می‌گیرد و جریان‌های داده ثابت و درلحظه را برای پشتیبانی از پیش‌بینی، مشارکت و تصمیم‌گیری ترکیب می‌کند (International Electrotechnical Commission, 2021). در نتیجه، سی‌آی‌ام بر تعامل مستمر میان انسان‌ها، الگوریتم‌ها و محیط‌های فضایی تأکید می‌کند و با تکیه‌بر استانداردهای باز و شبکه‌های میان‌رشته‌ای، لایه‌های معنایی و هستی‌شناسی‌های مختلف را به یکدیگر متصل می‌سازد.

هدف ما تثبیت سی‌آی‌ام به‌عنوان یک چارچوب جامع برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری است. در این مسیر، تمایز مفهومی آن را تبیین می‌کنیم، کارکردهای تصمیم‌سازی آن را در مقیاس‌های مختلف شناسایی کرده و موانع و فرصت‌های پذیرش آن به‌ویژه در بسترهای محدود از نظر منابع را ارزیابی می‌نماییم. پرسش‌های کلیدی این پژوهش عبارت‌اند از: ۱) سی‌آی‌ام در چه ابعاد ساختاری (سطوح جزئیات و مدل‌های داده)، کارکردی (قابلیت‌های تحلیلی و مشارکتی) و معنایی (هستی‌شناسی و معناسازی مشترک) از جی‌آی‌اس و بی‌آی‌ام متمایز است؟ ۲) در چارچوب سی‌آی‌ام، چگونه می‌توان مدل‌های تصمیم‌سازی چندمعیاره را برای ارزیابی سناریوهای برنامه‌ریزی و پشتیبانی از تصمیم ذی‌نفعان به کار گرفت؟ ۳) چه عوامل

فناورانه، نهادی و اخلاقی (هم‌کنش‌پذیری، حکمرانی داده و ظرفیت‌سازی) در پذیرش و پیاده‌سازی سی‌آی‌ام، به‌ویژه در شهرهای کم‌منبع و در ایران، نقش دارند و چگونه می‌توان مسیرهای تدریجی و کم‌هزینه را طراحی کرد؟

حکمرانی معاصر شهری در درون «اکوسیستم‌های داده[۷]» عمل می‌کند که ترکیبی از منابع عمومی، خصوصی و اجتماعی را دربر می‌گیرد. جریان‌های داده درلحظه مانند حسگرهای ترافیکی و داده‌های آب‌وهوایی، مکمل اطلاعات طولی درباره جمعیت، زیرساخت و اقتصاد هستند. ادغام این داده‌های متنوع دشوار است، زیرا قالب‌ها، معانی و مأموریت‌های نهادی متفاوت‌اند؛ همچنین مسائل گسترده‌تری مانند حاکمیت داده، حریم خصوصی، کیفیت و عدالت، پیچیدگی‌های بیشتری ایجاد می‌کنند. سی‌آی‌ام که به‌عنوان یک زیرساخت اطلاعات شهری تصور می‌شود، می‌تواند با استانداردسازی معانی، تقویت میان‌عملیاتی و تعبیه سازوکارهای حکمرانی شفاف و ملاحظات اخلاقی، این چالش‌ها را کاهش دهد. از نظر مفهومی، این مقاله سی‌آی‌ام را به‌منزله لایه اتصال میان مدل‌ها، داده‌ها، نهادها و شهروندان جای می‌دهد. از نظر تحلیلی، کارکردهای منحصربه‌فرد آن را شناسایی و درس‌هایی از تجربه‌های جهانی استخراج می‌کند. و از نظر عملی، مسیرهای پذیرش را از رهگذر استانداردها، ظرفیت‌سازی و اجرای پایلوت‌های مرحله‌ای پیشنهاد می‌دهد (Yu et al., 2025). ساختار مقاله به این صورت است: نخست، جایگاه سی‌آی‌ام در نظریه پشتیبانی از تصمیم‌گیری تبیین می‌شود (بخش ۲)؛ سپس رویکرد مفهومی و تحلیلی شرح داده می‌شود (بخش ۳)؛ در ادامه، یافته‌های حاصل از مطالعه نمونه‌های جهانی ارائه می‌گردد (بخش ۴)؛ و نهایتاً پیامدهای آن برای سیاست، عمل و پژوهش‌های آینده از جمله ادغام سی‌آی‌ام با اینترنت اشیا و هوش مصنوعی مولد، جمع‌بندی می‌شود (بخش ۵).

۲- پیشینه پژوهش

توانگ و تیان، مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) را به‌عنوان «ترکیب سازمان‌یافته مدل سه‌بعدی فضایی شهری و اطلاعات شهری» تعریف می‌کنند که با یکپارچه‌سازی بی‌آی‌ام، جی‌آی‌ای و اینترنت اشیا تحقق می‌یابد (Wang & Tian, 2021). گیل و همکارانش توضیح می‌دهند که مدل‌سازی اطلاعات شهرابزاری برای پشتیبانی از طراحی در برنامه‌ریزی و توسعه شهرهاست که دامنه استفاده خود را به جی‌آی‌ای گسترش داده و نرم‌افزارهای طراحی به کمک کامپیوتر (کد) را نیز ادغام می‌کند (Gil et al., 2011). همچنین، مدل‌سازی اطلاعات شهر می‌تواند به‌عنوان یک چارچوب دیجیتال تعریف شود که داده‌های متنوع را از منابع گوناگون به‌کار می‌گیرد (Xia et al., 2022) تا بازنمایی چندبعدی و دقیقی از محیط‌ها و نظام‌های شهری ارائه کند (Okonta et al., 2025a).

با گسترش پژوهش‌ها پیرامون مدل‌سازی اطلاعات شهر، پژوهشگران شروع به مرور وضعیت این حوزه از طریق تحلیل‌های کتاب‌سنجی کردند. اکونتا و همکارانش در یک مرور نظام‌مند، ۴۴۶ سند را بررسی کرده و نتیجه گرفته است که با وجود افزایش حجم انتشارات، پژوهش‌های مربوط به سی‌آی‌ام همچنان پراکنده‌اند و فاقد یک چارچوب نظری منسجم هستند. این مرور نشان داد که اکثر مطالعات بر یکپارچه‌سازی فنی بی‌آی‌ام، جی‌آی‌ای و اینترنت اشیا تمرکز دارند و اغلب بر مطالعات موردی کوچک و داده‌های گذشته تکیه می‌کنند. در مقایسه، توجه کمتری به موضوعاتی مانند حکمرانی، جابه‌جایی، مشارکت‌های عمومی-خصوصی یا عدالت اجتماعی معطوف شده است. برای پیشبرد این حوزه، نویسندگان خواستار پژوهش‌هایی در زمینه ردیابی چرخه عمر دارایی‌های شهری، مدیریت هوشمند پسماند، چارچوب‌های حکمرانی هوشمند برای تصمیم‌گیری داده‌محور، بهبود همکاری‌های عمومی-خصوصی، پیش‌بینی جابه‌جایی درلحظه و حکمرانی داده مبتنی بر بلاکچین شده‌اند. تأکید بر رویکردهای جامع و میان‌رشته‌ای برای عبور از یکپارچه‌سازی صرفاً فنی و حرکت به سوی چارچوب‌هایی که چالش‌های گسترده‌تر شهری را پوشش دهند، ضروری است (Okonta et al., 2025a).

مرور ادبیات نشان داد که علی‌رغم رشد پژوهش‌ها، یک چارچوب مفهومی منسجم برای پشتیبانی تصمیم که فراتر از یکپارچه‌سازی صرف فنی (جی‌آی‌اس/بی‌آی‌ام/آی‌اُتی) باشد، هنوز به‌قدر کافی پرورده نشده

است. خلأهای اصلی عبارت‌اند از: ۱) فقدان صورت‌بندی اجتماعی-فنیِ سی‌آی‌ام که حکمرانی داده، اخلاق، و مشارکت را به‌طور نظام‌مند در کنار لایه فنی جای دهد؛ ۲) کم‌توجهی به چندمقیاسی/میانبخشی معنایی (پیوند ریزدانگی بی‌آی‌ام با گستره‌ی شهری جی‌آی‌اس در قالب هستی‌شناسی‌های مشترک و شاخص‌های تصمیم)؛ ۳) گسست میان ابزارهای تصمیم‌یار و سنجه‌های ارزیابی (از جمله تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره برای سناریوسازی و انتخاب بین‌گزینه‌ای)؛ ۴) ضعف شواهد درباره قابلیت انتقال به بسترهای کم‌منبع و مسیرهای تدریجی کم‌هزینه. مقاله حاضر با بازتعریف سی‌آی‌ام به‌مثابه «بافت پیونددهنده» اجتماعی-فنی، ارائه چارچوب مفهومی چندلایه (ورودی‌های داده/ استانداردهای حکمرانی تحلیل/ شبیه‌سازی رابط‌های مشارکتی سطوح تصمیم)، و درس‌های تطبیقی از سه نمونه متفاوت، در پی پرکردن این شکاف‌ها است و مسیرهای اجرایی-سیاستی را برای پذیرش تدریجی پیشنهاد می‌کند.

۳- مبانی نظری

۳-۱- تعریف مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام)

مدلسازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) یک بازنمایی دیجیتال از مناطق شهری است که هندسه فضایی را با داده‌های غنیِ توصیفی ترکیب می‌کند تا پیچیدگی سامانه‌های شهری را در قالب یک مدل واحد به تصویر کشد. خاستگاه آن در همگرایی «مدل‌سازی شهری» و «فناوری‌های جغرافیایی» قرار دارد. تلاش‌های اولیه عمدتاً بر بصری‌سازی متمرکز بود؛ برای نمونه، پریش و مولر[۸] از مدل‌سازی رویه‌ای[۹] برای تولید خودکار مناظر سه‌بعدی شهری بهره بردند (Parish & Müller, 2001)، که صرفاً برای نمایش مفید بود و هدفی برای برنامه‌ریزی نداشت. در ادامه، رویکردهای قاعده‌محور سه‌بعدی به‌طور مستقیم در پشتیبانی از فرایند بازتوسعه شهری نیز به‌کار گرفته شدند (Agius et al., 2018).

در همین زمان، جی‌آی‌اس نگاشت‌های دوبعدی یا سه‌بعدی پایه‌ای را در اختیار برنامه‌ریزان قرار می‌داد، در حالی که کد[۱۰] و بی‌آی‌ام مدل‌های دقیق در سطح ساختمان را عرضه می‌کردند. سی‌آی‌ام از پیوند این فناوری‌ها پدید آمد و هدف آن انتقال عمق اطلاعاتی بی‌آی‌ام به مقیاس شهری بود که توسط جی‌آی‌اس مدیریت می‌شد (Zhang, 2024). برخلاف مدل‌های سه‌بعدی سنتی شهر، سی‌آی‌ام اطلاعات معنایی مربوط به عناصر شهری همچون ساختمان‌ها، خیابان‌ها، تأسیسات زیربنایی، فضاهای باز و داده‌های جمعیتی را ادغام می‌کند و امکان پیوند آن‌ها با داده‌ها و روابط تفصیلی را فراهم می‌سازد. برای مثال، یک ساختمان در سی‌آی‌ام صرفاً یک حجم هندسی نیست، بلکه شیئی است که به اطلاعاتی درباره مصالح، مصرف انرژی یا اشغال بنا متصل است. شبکه‌های زیرساختی نیز به همین ترتیب با ویژگی‌هایی چون اتصال، ظرفیت و تقاضا نمایش داده می‌شوند. این ادغام چندمنبعی، سی‌آی‌ام را از کاربردهای مجزای جی‌آی‌اس یا بی‌آی‌ام متمایز می‌کند.

از منظر رسمی، سی‌آی‌ام را می‌توان به‌عنوان یک مدل دیجیتال جامع تعریف کرد که منابع داده ناهمگون فضایی و غیرفضایی را یکپارچه می‌سازد تا از تحلیل، شبیه‌سازی و تصمیم‌گیری مشارکتی در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری پشتیبانی کند. سی‌آی‌ام هم یک فناوری است و هم یک فرایند که شامل مدل‌سازی سه‌بعدی شهر، یکپارچه‌سازی با لایه‌های جی‌آی‌اس، ادغام داده‌های سطح ساختمان و بهره‌گیری از استانداردها و جریان‌های کاری لازم برای استفاده‌ی مستمر می‌شود (Kutzner et al., 2020). برخی پژوهشگران آن را بسطی از بی‌آی‌ام در مقیاس شهری می‌دانند، در حالی که گروهی دیگر آن را با مفهوم «دوقلوهای دیجیتال» مرتبط می‌کنند، به‌ویژه زمانی‌که جریان‌های داده‌ی درلحظه به آن افزوده شود (Dembski et al., 2020).

سی‌آی‌ام ذاتاً چندبعدی است. فراتر از هندسه سه‌بعدی، داده‌های زمانی را برای ردیابی تغییرات یا شبیه‌سازی سناریوها مانند پیش‌بینی مسیرهای توسعه تا سال ۲۰۳۰ و داده‌های موضوعی در ابعاد محیطی، اجتماعی و اقتصادی ادغام می‌کند (Arnold & Lafre-niere, 2018). این گستره سبب می‌شود که سی‌آی‌ام همزمان نقش «مخزن» و «بستر» را ایفا کند و لایه‌های

فیزیکی، محیطی، اجتماعی و اقتصادی زندگی شهری را دربرگیرد. مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) بر مبنای هستی‌شناسی‌های مشترک و استانداردهای باز عمل می‌کند تا هم‌کنش‌پذیری میان ابزارها و نهادها تضمین شود. در عمل، کلاس‌های مبنای صنعت (آی‌اف‌سی)[11] تبادل داده‌های معناشناختی در سطح ساختمان را از طریق بی‌آی‌ام ممکن می‌سازند، سیتی‌جی‌ام‌ال[12] بازنمایی‌های شهری در مقیاس کلان با سطوح جزئیات مختلف را فراهم می‌آورد (Biljecki et al., 2015; Yao et al., 2018)، و مدل حوزه اداره زمین (ال‌ای‌دی‌ام)[13] حقوق، محدودیت‌ها و مسئولیت‌ها را در سطح قطعه زمین ثبت می‌کند. هم‌ترازی این واژگان همراه با استانداردهای فراداده و دستگاه‌های مرجع مختصات سبب می‌شود، سی‌آی‌ام نه به‌عنوان مجموعه‌ای از مدل‌های منفرد، بلکه به‌مثابه یک زیرساخت منسجم اطلاعات شهری عمل کند (Ledoux et al., 2021). به‌طور خلاصه، سی‌آی‌ام می‌کوشد قابلیت‌های جی‌آی‌اس، بی‌آی‌ام و مدل‌های سه‌بعدی شهر را در یک چارچوب جامع پشتیبان تصمیم‌گیری یکپارچه سازد. با ترکیب گستره فضایی، جزئیات عینی و ادغام پویای داده‌ها، سی‌آی‌ام بنیانی برای برنامه‌ریزی شهری هماهنگ‌تر و آگاهانه‌تر فراهم می‌آورد. بخش‌های بعدی به روشن ساختن تمایزات آن از رویکردهای مشابه و نقش ویژه آن به‌عنوان ابزار پشتیبان تصمیم خواهند پرداخت.

۳-۲- مقایسه سی‌آی‌ام با چارچوب‌های مرتبط: جی‌آی‌اس، بی‌آی‌ام و دوقلوی دیجیتال

دمدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) سه چارچوب کلیدی دیجیتال در زمینه‌های شهری جی‌آی‌اس، بی‌آی‌ام و دوقلوهای دیجیتال را تکمیل و گسترش می‌دهد. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (جی‌آی‌اس) سال‌هاست که در برنامه‌ریزی شهری نقش مرکزی ایفا می‌کنند و امکان ذخیره و تحلیل داده‌های فضایی مانند کاربری زمین، شبکه‌های حمل‌ونقل، توپوگرافی و جمعیت‌شناسی را فراهم ساخته‌اند. نقطه قوت جی‌آی‌اس در نقشه‌سازی، پرس‌وجوهای فضایی و تحلیل‌های زمین‌مرجع برای وظایفی چون تحلیل مکان یا ارزیابی محیطی است. با این حال، جی‌آی‌اس به‌طور سنتی در دو بعد عمل می‌کند و فاقد داده‌های جزئی در سطح ساختمان یا مهندسی است (Liu et al., 2017). سی‌آی‌ام بر پایه جی‌آی‌اس بنا شده و آن را به فضای سه‌بعدی کامل با جزئیات معنایی گسترش می‌دهد؛ بدین ترتیب کاربر می‌تواند ویژگی‌هایی چون ارتفاع، کاربری، حجم ترافیک یا نوع سقف/ روسازی را به ساختمان‌ها یا خیابان‌ها پیوند دهد و تحلیل شهری غنی‌تر و یکپارچه‌تری را امکان‌پذیر سازد.

در مقابل، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (بی‌آی‌ام) از بخش معماری، مهندسی و ساخت‌وساز سرچشمه گرفته و ابزاری برای طراحی دقیق در سطح ساختمان و مدیریت چرخه عمر پروژه‌هاست. بی‌آی‌ام اجزایی همچون دیوارها، سیستم‌های الکتریکی یا مصالح را با دقت مدل‌سازی کرده و قابلیت‌هایی نظیر شناسایی تداخل‌ها یا ردیابی هزینه‌ها را پشتیبانی می‌کند. با این حال، بی‌آی‌ام معمولاً به پروژه‌های منفرد محدود است و به‌سادگی برای نمایش کل شهر یا زمینه‌ی پیرامونی آن مقیاس‌پذیر نیست (Liu et al., 2017). سی‌آی‌ام این مفهوم را به مقیاس شهری تعمیم می‌دهد، مجموعه‌ای از ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها را به هم پیوند می‌زند و مدیریت حجم داده‌ها را از طریق استانداردهایی مانند سیتی‌جی‌ام‌ال که سطوح جزئیات مختلف برای مدل‌های شهری تعریف می‌کند، امکان‌پذیر می‌سازد (Cheng et al., 2020). به بیان دیگر، بی‌آی‌ام عمق اطلاعاتی را در مقیاس خرد فراهم می‌کند، در حالی که سی‌آی‌ام گستره‌ای در مقیاس کلان عرضه می‌دارد بی‌آنکه توانایی ورود به جزئیات را از دست دهد.

دوقلوهای دیجیتال تمرکز متفاوتی دارند: آن‌ها بازنمایی‌های دیجیتال پویا هستند که با داده‌های درلحظه همگام‌سازی می‌شوند و عمدتاً برای پایش و مدیریت عملیاتی به کار می‌روند (Ford & Wolf, 2020). ادبیات همچنین به ارزش‌ها، چالش‌ها و توانمندسازهای دوقلوهای دیجیتال از منظر مدل‌سازی اشاره می‌کند (Ra-sheed et al., 2020). در حوزه شهری، دوقلوهای دیجیتال داده‌های اینترنت اشیا[14]، جریان‌های ترافیکی یا حسگرهای محیطی را ادغام می‌کنند تا مسائلی همچون نشتی یا ازدحام را شناسایی کرده و واکنش‌ها را در شرایط جاری شبیه‌سازی نمایند (Kutzner et al., 2020). سی‌آی‌ام با این مفهوم همپوشانی دارد، اما جهت‌گیری اصلی آن معطوف

به برنامه‌ریزی و تحلیل است. سی‌آی‌ام از آزمون سناریوها، ارزیابی سیاست‌ها و طراحی بلندمدت پشتیبانی می‌کند، در حالی که دوقلوهای دیجیتال بر عملیات درلحظه تمرکز دارند. مرز میان این دو انعطاف‌پذیر است: یک سی‌آی‌ام می‌تواند با اتصال به داده‌های زنده به دوقلوی دیجیتال تکامل یابد، در حالی که بسیاری از دوقلوهای دیجیتال بر پایه‌ی مدل‌های شهری موجود ساخته می‌شوند (Dembski et al., 2020). این همگرایی معمولاً با ادغام بی‌آی‌ام، جی‌آی‌اس و اینترنت اشیا و رویکردهای مبتنی بر هستی‌شناسی پشتیبانی می‌شود (Shi et al., 2023).

در مجموع، سی‌آی‌ام گستره فضایی جی‌آی‌اس، عمق جزئی بی‌آی‌ام و برخی ویژگی‌های پویا از دوقلوهای دیجیتال را در چارچوبی یکپارچه برای برنامه‌ریزی و پشتیبانی تصمیم ادغام می‌کند. ارزش آن در پرکردن شکاف‌ها و پیوند میان داده‌ها، رشته‌ها و چشم‌اندازهای زمانی نهفته است، تا شهرها بتوانند سناریوهای آینده را همان‌قدر مؤثر برنامه‌ریزی کنند که شرایط جاری را مدیریت می‌نمایند. برای خلاصه‌کردن تفاوت‌ها و همپوشانی‌های بین این چارچوب‌ها، جدول ۱ مقایسه‌ای از ویژگی‌های کلیدی جی‌آی‌اس، بی‌آی‌ام و سی‌آی‌ام ارائه می‌دهد.

جدول ۱. مقایسه جی‌آی‌اس، بی‌آی‌ام، دوقلوی دیجیتال و سی‌آی‌ام

جنبه	جی‌آی‌اس (سیستم اطلاعات جغرافیایی)	بی‌آی‌ام (مدل‌سازی اطلاعات ساختمان)	دوقلوی دیجیتال	سی‌آی‌ام (مدل‌سازی اطلاعات شهر)
مقیاس اصلی	مقیاس شهری یا منطقه‌ای (نقشه دوبعدی/ ۲/۵ بعدی)	مقیاس ساختمان یا پروژه (سه‌بعدی دقیق)	از دارایی منفرد → مقیاس ناحیه/منطقه → (گاه) کل شهر	مقیاس شهر در کل (مدل سه‌بعدی کل پهنه شهری)
تمرکز	تحلیل فضایی و نقشه‌برداری ویژگی‌های جغرافیایی	طراحی و ساخت دقیق یک تأسیسات خاص	پایش درلحظه، کنترل و بهینه‌سازی عملیاتی	بازنمایی یکپارچه محیط شهری در بخش‌های مختلف
محتوای داده	لایه‌های مکان‌مرجع (قطعات، راه‌ها، کاربری زمین، ارتفاع و ...) همراه با ویژگی‌ها	اجزای پارامتریک ساختمان (دیوارها، تیرها، سامانه‌های تأسیساتی) همراه با مشخصات	جریان‌های زنده اینترنت اشیا / سامانه‌های اسکادا (SCADA) + مدل‌های شبیه‌سازی + هندسه سه‌بعدی؛ جریان‌های داده دوطرفه	داده‌های چندمنبعی شهری (ساختمان‌ها، شبکه‌های زیرساخت، زمین، جمعیت و...) با جزئیات معناشناختی
بُعد زمانی	عمدتاً ایستا یا مقطعی؛ تحلیل زمانی با مجموعه‌داده‌های جداگانه	داده‌های چرخه‌عمر پروژه (زمان‌بندی ساخت، نگهداری)، نه پویایی‌های شهر در زمان واقعی	هم‌زمان‌سازی پرتکرار / درلحظه	وضعیت جاری شهر؛ قابلیت افزودن داده‌های سری زمانی برای سناریوها یا به‌روزرسانی‌های درلحظه در صورت توسعه به سمت دوقلوی دیجیتال
کاربرد در پشتیبانی تصمیم	برنامه‌ریزی راهبردی و تاکتیکی (مانند مکان‌یابی، آمارهای فضایی)	تاکتیکی و عملیاتی در سطح پروژه (مانند هماهنگی طراحی، مدیریت تأسیسات)	مدیریت عملیاتی و مدیریت بحران؛ می‌تواند در صورت ترکیب با سی‌آی‌ام به تصمیم‌های تاکتیکی و راهبردی نیز کمک کند	برنامه‌ریزی راهبردی، تاکتیکی و بخشی از تصمیم‌های عملیاتی (مانند شبیه‌سازی سناریوهای شهری، هماهنگی میان‌دستگاهی)

۳-۳- مدل‌سازی اطلاعات شهر به‌عنوان چارچوب پشتیبان تصمیم

ارزش اصلی مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) در توانایی آن برای ارتقای تصمیم‌گیری شهری نهفته است. در نظریه برنامه‌ریزی، چنین ابزارهایی اغلب به‌عنوان سیستم‌های پشتیبان برنامه‌ریزی (پی‌اس‌اس)[۱۵] شناخته می‌شوند که هدف آن‌ها جایگزینی قضاوت انسانی نیست، بلکه با فراهم‌کردن امکان تحلیل سناریوهای پیچیده، تجسم پیامدها و انتخاب‌های آگاهانه، به تقویت آن کمک می‌کنند (Klosterman, 1997). سی‌آی‌ام نسل جدیدی از پی‌اس‌اس به شمار می‌رود که از مدل یکپارچه شهری به‌عنوان ستون فقرات داده‌ای مرکزی برای کارکردهای پشتیبانی تصمیم در برنامه‌ریزی و مدیریت استفاده می‌کند.

در ادبیات برنامه‌ریزی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، تصمیم‌سازی چندمعیاره به‌عنوان یکی از عملیات‌های بنیادی شناخته می‌شود. تصمیم‌سازی چندمعیاره می‌تواند داده‌های جغرافیایی و ارزش‌های کارشناسانه را به اطلاعات تصمیم‌گیری تبدیل کند و

با ترجمه لایه‌های مکانی به امتیازهای تناسب، امکان مقایسه و انتخاب بین گزینه‌ها را فراهم آورد (Feiziza-deh & Blaschke, 2014). روش‌هایی مانند فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) که بر مقایسه‌های زوجی و استخراج وزن‌ها بر اساس بردار ویژه استوار است (Schmidt et al., 2015)، و تکنیک تاپسیس (TOPSIS) که گزینه‌ها را بر اساس فاصله از راه‌حل ایده‌آل مرتب می‌کند (Remoum & Bouzenoune, 2025)، بسیار در برنامه‌ریزی شهری برای ارزیابی مکان‌های توسعه یا سیاست‌های حمل‌ونقل به کار رفته‌اند. ادغام این مدل‌های تصمیم‌سازی در چارچوب سی‌آی‌ام امکان می‌دهد که شاخص‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به‌طور هم‌زمان در یک مدل معنایی مشترک وزن‌دهی و ترکیب شوند و نتایج به زبان قابل فهم برای تصمیم‌گیرندگان و شهروندان بازنمایی شود. چنین ترکیبی می‌تواند نقش سی‌آی‌ام را به‌عنوان ابزار تصمیم‌یار در سناریوسازی و ارزیابی سیاست‌ها تقویت کند.

سی‌آی‌ام در سراسر چرخه تصمیم‌گیری نقش ایفا می‌کند. در مرحله گردآوری داده‌ها، اطلاعات پراکنده در رکوردهای ثبتی، شمارش‌های حمل‌ونقل، شبکه‌های خدماتی و آمارهای اجتماعی-اقتصادی را در یک مدل منسجم ادغام می‌کند. این امر تضمین می‌کند که ذی‌نفعان بر پایه داده‌های سازگار و به‌روز عمل کنند و از پراکندگی داده‌ها کاسته شود؛ برای مثال، شبکه‌های حمل‌ونقل در جی‌آی‌اس می‌تواند در همان پلتفرم با طراحی‌های ساختمانی در بی‌آی‌ام ترکیب شود. در مرحله تولید سناریو، سی‌آی‌ام از شبیه‌سازی‌های «وات‌ایف[16]» پشتیبانی می‌کند که در آن مدل تغییر می‌یابد تا اثرات سیاست‌ها یا پروژه‌ها بررسی شود. افزودن یک بزرگراه، تغییر قوانین کاربری زمین یا معرفی یک ناحیه جدید می‌تواند نه تنها از نظر ترافیک، بلکه از نظر پیامدهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی نیز ارزیابی شود و ماهیت به‌هم‌پیوسته سیستم‌های شهری را منعکس کند (Batty, 2018). سی‌آی‌ام‌های پیشرفته می‌توانند به ابزارهای شبیه‌سازی بیرونی مانند مدل‌های انرژی متصل شوند تا ارزیابی‌ها را بیشتر غنی کنند (Zhang et al., 2020).

برای ارزیابی تصمیم، سی‌آی‌ام امکان تحلیل چندمعیاره را فراهم می‌سازد و شاخص‌هایی همچون سرانه فضای سبز، زمان رفت‌وآمد یا میزان انتشار گازها را در سناریوهای مختلف محاسبه و تجسم می‌کند. این بستر مشترک امکان شناسایی مصالحه‌ها و مکان‌یابی آن‌ها را فراهم می‌کند؛ برای مثال، یک سناریو ممکن است بیشترین رشد اقتصادی را به همراه داشته باشد در حالی که دیگری کیفیت محیطی را ارتقا دهد (Dembski et al., 2020). به‌طور اساسی، سی‌آی‌ام همچنین ارتباطات را تقویت می‌کند. محیط تعاملی و تصویری آن اطلاعات پیچیده را قابل‌فهم‌تر از گزارش‌های فنی یا نقشه‌های ایستا می‌سازد. سیاست‌گذاران و شهروندان می‌توانند به‌صورت مجازی در پروژه‌های پیشنهادی «قدم بزنند»، اثرات سایه‌اندازی ساختمان‌های بلندمرتبه را مشاهده کنند یا داشبوردهای سناریو را به‌صورت لحظه‌ای ببینند و این امر شفافیت و مشارکت را بهبود می‌بخشد (Allam & Dhunny, 2019). با ادغام داده‌ها، فراهم‌سازی امکان آزمون سناریوهای جامع و تقویت ارتباطات، سی‌آی‌ام تفکر سیستمی در برنامه‌ریزی را پرورش می‌دهد و تحلیل‌های جزیره‌ای را به تصمیمات پایدار و میان‌بخشی بدل می‌کند (Batty, 2018). با این حال، پشتیبانی مؤثر از تصمیم‌گیری نیازمند چیزی فراتر از ادغام فنی است. اجرای آن باید دربرگیرنده حکمرانی و اخلاق داده‌ای قوی باشد؛ شامل سرپرستی داده، تضمین کیفیت، حفاظت از حریم خصوصی و نمایندگی عادلانه جوامع به‌حاشیه‌رانده‌شده. سازوکارهای شفاف مانند دسترسی مبتنی بر نقش، مسیرهای حسابرسی و طراحی مشارکتی برای استفاده مشروع و قابل اعتماد ضروری هستند.

۳-۴- ابعاد مدل‌سازی اطلاعات شهر در زمینه‌های برنامه‌ریزی شهری

برنامه‌ریزی و مدیریت شهری ابعاد متعددی را دربرمی‌گیرند -مقیاس‌ها، بخش‌ها و ذی‌نفعان- و یک چارچوب مؤثر برای مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) باید هر سه بُعد را پوشش دهد. نخست، سی‌آی‌ام ذاتاً چندمقیاسی است. تصمیمات از طرح‌های جامع در مقیاس کلان‌شهر گرفته تا طراحی محله و صدور پروانه‌های ساختمانی متغیرند، در حالی‌که ابزارهای سنتی تنها در یک سوی این طیف تخصص دارند: جی‌آی‌اس در سطح کلان و

بی‌آی‌ام در سطح خرد (شکل ۱). سی‌آی‌ام این شکاف‌ها را با مدیریت سطوح مختلف جزئیات پر می‌کند و به برنامه‌ریزان امکان می‌دهد که در یک سیستم، از الگوهای کلان‌شهری تا داده‌های موضعی خاص یک سایت جابه‌جا شوند. این امر از تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی پشتیبانی می‌کند: برنامه‌ریزی راهبردی (مانند شبکه‌های حمل‌ونقل)، پروژه‌های تاکتیکی (مانند بازتوسعه یک ناحیه) و تنظیمات عملیاتی (مانند زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی). چنین یکپارچگی بدون وقفه‌ای حیاتی است، زیرا پویایی‌های شهری مانند مسکن، جابه‌جایی و تاب‌آوری به‌طور هم‌زمان در مقیاس‌های مختلف بروز می‌یابند و تغییرات در یک سطح بر سطوح دیگر تأثیر می‌گذارد (Huang et al., 2022).

شکل ۱. مفهوم مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام)
منبع: (Lu et al., ۲۰۲۰)

دوم، سی‌آی‌ام چندبخشی است. شهرها از حوزه‌های به‌هم‌وابسته‌ای مانند حمل‌ونقل، مسکن، محیط‌زیست، خدمات زیربنایی، سلامت عمومی و ... تشکیل شده‌اند که غالباً به‌طور جداگانه مدل‌سازی می‌شوند. سی‌آی‌ام به‌عنوان یک بستر یکپارچه عمل می‌کند که داده‌های متنوع را در کنار هم قرار می‌دهد و امکان تحلیل میان‌بخشی و همکاری را فراهم می‌سازد (Dembski et al., 2020). برای نمونه، می‌توان نقشه‌های تراکم اشتغال را با مسیرهای حمل‌ونقل عمومی، مناطق سیل‌خیز و شبکه‌های خدمات زیربنایی در یک مدل سه‌بعدی شهری روی‌هم انداخت و هم‌افزایی‌ها یا تعارض‌هایی را آشکار کرد که در غیر این صورت پنهان می‌ماندند. این دیدگاه یکپارچه منافع مشترک و مبادله‌ها را برجسته می‌کند، مانند پروژه‌ای در حوزه زیرساخت سبز که کیفیت محیطی، زیست‌پذیری اجتماعی و ارزش اقتصادی را بهبود می‌بخشد (Su et al., 2023). سی‌آی‌ام با شکستن مرزهای بخشی، رویکردی سیستمی به مدیریت شهری ترویج می‌کند که برای مواجهه با چالش‌هایی چون سازگاری با تغییرات اقلیمی یا تاب‌آوری در برابر بحران‌ها ضروری است.

سوم، سی‌آی‌ام مشارکت و شفافیت را تقویت می‌کند. از آنجا که مدل‌های سه‌بعدی شهودی هستند، پیشنهادهای برنامه‌ریزی را برای غیرمتخصصان قابل‌فهم‌تر می‌سازند. ساکنان می‌توانند تأثیرات پروژه‌های جدید مانند سایه‌اندازی ساختمان‌ها یا تغییرات کاربری زمین را تجسم کنند و بدین ترتیب مشارکت و اعتماد در فرآیند برنامه‌ریزی افزایش می‌یابد (Dembski et al., 2020). پلتفرم‌های مدرن همچنین می‌توانند از طریق وب یا واسطهای واقعیت مجازی[۱۷] به اشتراک گذاشته شوند و به شهروندان امکان دهند که سناریوها را بررسی کرده و بازخورد مکانی ارائه دهند (Lafioune & St-Jacques, 2020). چنین ابزارهای مشارکتی دسترسی به داده‌های شهری را دموکراتیزه می‌کنند (Peters, 2025)، هرچند این امر نیاز به دقت، به‌روزرسانی مداوم و رعایت حریم خصوصی را نیز افزایش می‌دهد. به‌طور خلاصه، ارزش سی‌آی‌ام به‌عنوان یک چارچوب پشتیبان تصمیم در توانایی آن برای پوشش مقیاس‌ها، یکپارچه‌سازی بخش‌ها و تقویت حکمرانی مشارکتی است. این ابعاد یکدیگر را تقویت می‌کنند: یکپارچگی میان‌بخشی در مقیاس‌های مختلف یک پایگاه دانشی غنی‌تر ایجاد می‌کند که با در دسترس قرارگرفتن برای ذی‌نفعان، به تصمیماتی آگاهانه‌تر و موردحمایت گسترده‌تر منجر می‌شود. پس از تشریح این بنیان‌های مفهومی، بخش بعدی به روش‌شناسی می‌پردازد تا بررسی کند سی‌آی‌ام چگونه به کار گرفته می‌شود و چه بینش‌هایی برای برنامه‌ریزی و مدیریت شهری فراهم می‌کند. در راستای جمع‌بندی این مباحث، پژوهش حاضر چارچوبی مفهومی را برای تبیین نقش مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) به‌عنوان یک چارچوب پشتیبان تصمیم ارائه می‌دهد. پیش از ارائه چارچوب مفهومی، لازم است منطق

کلی مدل روشن شود. این چارچوب با ورودی‌های داده‌ای آغاز می‌شود که شامل داده‌های فضایی و غیرفضایی و استانداردهای باز و فراداده است. این ورودی‌ها در لایه فرآیند از طریق یکپارچه‌سازی، حکمرانی داده و تحلیل معناشناختی پردازش، پاک‌سازی و غنی می‌شوند و سپس به موتورهای تحلیل و شبیه‌سازی متصل می‌گردند. نهایتاً، خروجی‌ها در قالب داشبوردهای سناریوسازی، شاخص‌های چندمعیاره و واسطهای مشارکتی در اختیار ذی‌نفعان قرار می‌گیرند تا تصمیم‌های راهبردی، تاکتیکی و عملیاتی بر اساس شواهد اتخاذ شود. این جریان داده فرآیند خروجی بر پیوند میان جنبه‌های فنی و نهادی تأکید دارد و نقش ستون فقرات مطالعه حاضر را ایفا می‌کند. این چارچوب (شکل ۲) اجزای کلیدی شامل ورودی‌های داده، استانداردها و مستندات، فرآیندها و فعالیت‌ها، سطوح تصمیم‌گیری، ذی‌نفعان و مشارکت، ریسک‌ها و مخاطرات، خروجی‌ها و پیامدها، و همچنین مسیرهای آینده را یکپارچه می‌سازد. هدف آن است که نشان دهد سی‌آی‌ام نه صرفاً یک ابزار فنی، بلکه بستری اجتماعی-فنی برای تقویت هماهنگی میان‌بخشی، شفافیت و حکمرانی داده‌محور در برنامه‌ریزی شهری است.

شکل ۲. چارچوب مفهومی پژوهش: مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) به‌مثابه چارچوب پشتیبان تصمیم

۴- روش‌شناسی پژوهش

۴-۱- روش

این مطالعه رویکردی مفهومی و تحلیلی اتخاذ کرده است. هدف، ترکیب دانش موجود درباره سی‌آی‌ام و تحلیل نمونه‌های جهانی به‌منظور استخراج درس‌هایی برای پشتیبانی تصمیم‌گیری شهری است. روش پژوهش شامل مراحل زیر است:

- **مرور ادبیات:** یک مرور یکپارچه از ادبیات انجام شد که بر مقالات داوری‌شده، مقالات کنفرانسی، گزارش‌ها و متون خاکستری متمرکز بود که به موضوعاتی چون سی‌آی‌ام، جی‌آی‌اس، بی‌آی‌ام، دوقلوهای دیجیتال، سامانه‌های پشتیبان برنامه‌ریزی و پشتیبانی تصمیم‌گیری شهری می‌پرداختند. منابع کلیدی شامل: مقاله مدل‌های اطلاعات شهری (Hamilton et al., 2005)، مرور یکپارچه مدل‌سازی اطلاعات شهر در (Yu et al., 2025)، واژه‌نامه دوقلوهای دیجیتال شهری (Weil & Longchamp, 2022)، متاآنالیز تعاریف دوقلوی دیجیتال در (Abdelrahman et al., 2025)، مقاله سامانه‌های پشتیبان برنامه‌ریزی در

(Hooper et al., 2021)، و گزارش‌های موردی (سنگاپور مجازی[۱۸]، دوقلوی دیجیتال زوریخ[۱۹]، مدل جی‌آی‌اس سه‌بعدی بوستون[۲۰]) بودند. این منابع انتخاب شدند زیرا به‌جای نتایج صرفاً فنی یا تجربی، بینش‌های مفهومی ارائه می‌دهند. مرور ادبیات از رویکرد سنتز کیفی پیروی کرد و مضامینی همچون یکپارچه‌سازی، پشتیبانی تصمیم، ابعاد چندمقیاسی و مشارکتی را شناسایی نمود.

• **تحلیل مقایسه‌ای موردی:** سه مطالعه‌موردی جهانی برای نشان‌دادن عملکرد سی‌آی‌ام در عمل تحلیل شدند: سنگاپور مجازی (سنگاپور)، دوقلوی دیجیتال زوریخ (سوئیس) و مدل جی‌آی‌اس سه‌بعدی بوستون (ایالات متحده). برای هر مورد، گزارش‌های رسمی، مقالات علمی، پست‌های وبلاگی و وب‌سایت‌های دولتی مرور شدند تا اهداف سامانه، منابع داده، قابلیت‌ها، ساختارهای حکمرانی و مزایا و چالش‌های گزارش‌شده درک شوند. چارچوبی برای تحلیل مقایسه‌ای توسعه یافت که موارد را بر اساس ابعادی چون مقیاس، پوشش بخشی، مشارکت ذی‌نفعان، کارکردهای پشتیبان تصمیم و یکپارچگی فناورانه ارزیابی می‌کرد. انتخاب نمونه‌های موردی بر اساس سه معیار صورت گرفت:

۱. برخورداری از یک مدل سه‌بعدی جامع شهری یا پلتفرم دوقلوی دیجیتال با کارکرد اثبات‌شده در برنامه‌ریزی/مدیریت؛

۲. یکپارچگی داده‌های چندنوعی/چندبخشی (مانند جی‌آی‌اس، بی‌آی‌ام، اینترنت اشیا، داده‌های اجتماعی-اقتصادی)؛

۳. مستندسازی عمومی یا علمی کافی درباره اهداف، سابقه فناورانه و موارد کاربرد پشتیبانی تصمیم.

این سه نمونه موردی، نماینده طیفی از الگوهای حکمرانی و کاربردهای سی‌آی‌ام/دوقلوهای دیجیتال‌اند که برای مطالعه‌ی تطبیقیِ کارکرد «چارچوب پشتیبان تصمیم» مناسب‌اند:

الف) سنگاپور مجازی نمونه‌ای از مقیاس ملی/ فراشهری با رهبری متمرکز دولتی، یکپارچه‌سازی داده‌های غنی (جی‌آی‌اس/ بی‌آی‌ام/ آی‌اُتی) و کاربری‌های سناریوسازی چندبخشی است (Government Technology Agency, 2018; Geospatial World, 2020).

ب) زوریخ نمونه سطح شهری با سیاست داده‌باز، تکیه بر استانداردهای باز (سیتی‌جی‌ال‌ام/مدیریت فراداده) و کاربردهای تحلیلی–هنجاری نظیر دیدبانی منظر، اقلیم شهری و انرژی است (Schrotter & Hürzeler, 2020).

ج) بوستون نشان‌دهنده بهره‌گیری از مدل سه‌بعدی شهری برای مشارکت عمومی و مذاکره طراحی (تحلیل سایه، باد و سیلاب) در فرایندهای برنامه‌ریزی است (Boston Planning & Development Agency, 2019; Patrick, 2018).

بدین ترتیب، سه‌گانه فوق تنوع حکمرانی (متمرکز-داده‌باز)، مقیاس (ملی-شهری)، و کارکرد (راهبردی-تاکتیکی-مشارکتی) را پوشش می‌دهد و برای سنجش ظرفیت‌های سی‌آی‌ام در «پشتیبانی تصمیم» مناسب است. تصریح می‌کنیم که این‌ها تنها نمونه‌های جهانی نیستند؛ انتخاب آن‌ها مبتنی بر دسترس‌پذیری مستندات رسمی/علمی، بلوغ فنی، و تنوع نهادی بوده است. موارد دیگر (نظیر وین، هلسینکی، روتردام) نیز ارزش مطالعه دارند و می‌توانند در پژوهش‌های مکمل بررسی شوند.

وجوهی از این سه تجربه با چالش‌های متعارف ایرانی (جزیره‌ای‌بودن داده‌ها، استانداردسازی، ظرفیت نهادی و محدودیت بودجه) هم‌پوشانی دارد. از حیث قابلیت انتقال، مسیر تدریجی کم‌هزینه قابل توصیه است: ۱) شروع از سطح جزئیات پایین/ میانی با سیتی‌جی‌ال‌ام و مخازن متن‌باز نظیر پایگاه داده سه‌بعدی برای پوشش پایه سه‌بعدی؛ ۲) تمرکز بر کاربردهای اثرگذار سریع (مثل تحلیل سایه، سیلاب شهری، هم‌مکانی کاربری حمل‌ونقل) برای توجیه سرمایه‌گذاری؛ ۳) منشور حکمرانی داده بین‌سازمانی (دسترسی مبتنی بر نقش، فراداده مشترک، مسیرهای حسابرسی)؛ ۴) اتصال تدریجی به مدل‌های انرژی/ترافیک و ابزارهای تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره در پروژه‌های پایلوت ناحیه‌ای؛ ۵) مستندسازی فرآیندها برای مقیاس‌پذیری در کلان‌شهرهایی مانند تهران، مشهد و اصفهان. این راهبرد با تأکید مقاله بر استانداردهای باز و پایلوت‌های مرحله‌ای سازگار است.

• **کدگذاری تحلیلی:** یافته‌های حاصل از مرور ادبیات

و مطالعات موردی به‌طور موضوعی با استفاده از فنون تحلیل کیفی کدگذاری شدند. کدها شامل مقوله‌هایی همچون یکپارچه‌سازی داده‌ها، مدل‌سازی معناشناختی، چرخه تصمیم‌گیری، مشارکت و حکمرانی بودند. الگوها و تفاوت‌ها میان موارد شناسایی شد تا درس‌ها و گزاره‌های کلی درباره نقش سی‌آی‌ام در پشتیبانی تصمیم استخراج شود. این فرایند کدگذاری، امکان مقایسه نظام‌مند را فراهم کرد و هم‌زمان اجازه ظهور مضامین جدید را نیز داد.

تحلیل تطبیقی سه نمونه موردی بر پایه مجموعه‌ای از معیارهای هم‌ساز با هدف پژوهش انجام شد: ۱) مقیاس فضایی و سطح جزئیات (ناحیه/شهر/ملی؛ سطح جزئیات پایه تا میانی/بالا)، ۲) پوشش بخشی (حمل‌ونقل، کاربری زمین/مسکن، محیط/اقلیم، زیرساخت، انرژی، سلامت)، ۳) منابع/استانداردهای داده (جی‌آی‌اس/بی‌آی‌ام/آی‌اُتی؛ سیتی‌جی‌ال‌ام/آی‌اف‌سی/فراداده)، ۴) حکمرانی و سیاست داده (مالکیت/نقش‌ها/دسترسی مبتنی بر نقش/داده‌باز)، ۵) مشارکت ذی‌نفعان (بین‌دستگاهی، مشارکت عمومی، ابزارهای وب/واقعیت مجازی)، ۶) کارکردهای پشتیبان تصمیم (راهبردی-تاکتیکی-عملیاتی، سناریوسازی/تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره)، ۷) چالش‌ها و ریسک‌ها (تعامل‌پذیری، به‌روزرسانی، منابع، حریم خصوصی). هر شاخص به‌صورت کیفی در سه سطح کم/میانه/زیاد کُدگذاری شد و در جدول ۲ بازتاب یافته است. معیارها از مضامین برآمده در مرور ادبیات و کُدهای بخش «کدگذاری تحلیلی» استخراج شدند و با توافق پژوهشگران تثبیت شدند تا قابلیت مقایسه با بستر ایران (از نظر استانداردها، ظرفیت نهادی و محدودیت‌های منابع) حفظ شود.

• **بازاندیشی انتقادی:** در طول فرایند پژوهش، نویسندگان به بازاندیشی انتقادی درباره مفروضات نهفته در سی‌آی‌ام پرداختند و مسائلی چون قدرت، برابری و پایداری را مدنظر قرار دادند. این رویکرد بازاندیشانه تصدیق می‌کند که چارچوب‌های مدل‌سازی بی‌طرف نیستند بلکه ارزش‌ها و جهان‌بینی‌ها را در خود جای می‌دهند. با پرسش از اینکه کدام دانش‌ها در مدل‌ها لحاظ می‌شوند و منافع چه گروه‌هایی توسط زیرساخت‌های داده‌ای تأمین می‌گردد، این مطالعه در پی ترویج رویکردهایی اخلاقی‌تر و فراگیرتر به سی‌آی‌ام است.

• **سنتز مفهومی:** بینش‌های حاصل از مرور ادبیات و تحلیل موردی در قالب یک چارچوب تحلیلی سنتز شدند که سی‌آی‌ام را به‌عنوان سامانه پشتیبان تصمیم جای‌گذاری می‌کند. این چارچوب اجزای کلیدی (یکپارچه‌سازی داده‌ها، مدل‌سازی معناشناختی، تحلیل سناریو، رابط‌های مشارکتی)، سطوح تصمیم‌گیری (راهبردی، تاکتیکی، عملیاتی) و عوامل زمینه‌ای (حکمرانی، ظرفیت، اخلاق) را برجسته می‌سازد.

در مرحله تحلیل داده، از تحلیل مضمون برای دسته‌بندی و استخراج مضامین اصلی از منابع علمی و گزارش‌های موردی استفاده شد. تحلیل مضمون به‌عنوان روشی کیفی، متن‌ها را بر اساس شباهت‌ها، تفاوت‌ها و الگوهای معنایی در دسته‌های مرتبط طبقه‌بندی می‌کند و از تلفیق داده‌ها و ارزش‌های زمینه‌ای برای شناسایی ارتباطات و الگوها بهره می‌گیرد (Kleinheksel et al., 2020). به‌منظور سنتز مفهومی، از رویکرد هشت‌مرحله‌ای واکر و آوانت استفاده شد که شامل انتخاب مفهوم، تعیین اهداف، شناسایی کاربردها، تعیین ویژگی‌های تعیین‌کننده، ارائه نمونه‌های مدل و غیرمدل، بررسی پیش‌درآمدها و پیامدها و سرانجام تعیین شاخص‌های تجربی است (Walker & Avant, 2005). این رویکرد امکان داد تا ویژگی‌های هویتی سی‌آی‌ام از دل ادبیات و شواهد استخراج شود.

برای تقویت ارتباط روش با هدف، جدول مقایسه‌ای (جدول ۲) ویژگی‌های اصلی سه مطالعه موردی را بر اساس مقیاس فضایی، پوشش بخشی، منابع و استانداردهای داده، میزان مشارکت ذی‌نفعان، کارکردهای پشتیبان تصمیم و چالش‌ها خلاصه می‌کند. این جدول و کدگذاری آن ابزار تحلیلی ما بوده و به طراحی چارچوب مفهومی و پاسخ به پرسش‌های پژوهش یاری رسانده است. افزون بر این، در رویکرد بازاندیشی، مفروضات و ارزش‌های زیربنایی سی‌آی‌ام نقد و مسائل مرتبط با قدرت، عدالت و پایداری بررسی شد تا رویکردی فراگیرتر و اخلاقی‌تر حاصل گردد. ترکیب مرور ادبیات، تحلیل تطبیقی، تحلیل

مضمون، سنتز مفهومی و بازاندیشی به‌صورت عمدی با اهداف پژوهش هماهنگ شد و اطمینان یافتیم که مسیر روش‌شناسی، دستیابی به تمایز مفهومی سی‌آی‌ام، تعیین کارکردهای پشتیبان تصمیم و شناسایی موانع و فرصت‌ها را ممکن می‌سازد.

۲-۴- دامنه و محدودیت‌ها

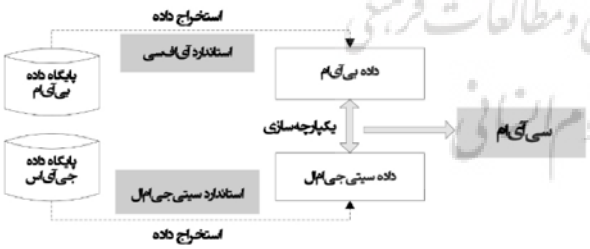
این مطالعه بر شفافیت مفهومی و تحلیل نظری متمرکز است و نه بر گردآوری داده‌های اولیه. از این رو، اتکای آن بر منابع ثانویه است و ممکن است بازتاب‌دهنده سوگیری‌های موجود در ادبیات منتشرشده باشد. مطالعات موردی انتخاب‌شده نیز عمدتاً از بسترهای شهری پیشرفته (سنگاپور، زوریخ و بوستون) هستند که در آن‌ها زیرساخت‌های دیجیتال، منابع مالی و ظرفیت نهادی در سطح بالایی قرار دارند. بنابراین، درس‌های آموخته‌شده از این موارد ممکن است بدون انطباق و تعدیل به‌طور مستقیم در شهرهای کشورهای درحال‌توسعه قابل‌کاربست نباشند. افزون بر این، تحلیل حاضر شامل ارزیابی‌های کمی از عملکرد سامانه یا میزان رضایت کاربران نمی‌شود. پژوهش‌های تجربی آینده باید با آزمودن پیاده‌سازی‌های سی‌آی‌ام در زمینه‌های متنوع، این مطالعه مفهومی را تکمیل کنند.

موارد انتخاب‌شده به این دلیل برگزیده شدند که الگوهای حکمرانی، بسترهای جغرافیایی و سطوح بلوغ متفاوتی از پیاده‌سازی سی‌آی‌ام را نمایندگی می‌کنند. سنگاپور مجازی نمونه‌ای از یک پروژه ملی با تأمین مالی متمرکز و رهبری قوی دولت است؛ دوقلوی دیجیتال زوریخ بازتاب‌دهنده رویکرد داده‌باز در سطح شهری و در زمینه اروپایی است؛ و مدل جی‌آی‌اس سه‌بعدی بوستون به رهبری یک نهاد برنامه‌ریزی شهری و با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای تجاری توسعه یافته است. در حالی که این نمونه‌ها بینش‌های غنی فراهم می‌کنند، اما گرایش به بسترهای دارای منابع کافی را نیز نشان می‌دهند. پژوهش‌های آینده باید نمونه‌هایی از کشورهای با درآمد پایین و متوسط را در نظر بگیرند تا روشن شود چگونه محدودیت منابع بر پذیرش و بومی‌سازی سی‌آی‌ام تأثیر می‌گذارد.

۵- یافته‌های پژوهش و بحث

۵-۱- مدل‌سازی اطلاعات شهر در عمل: درس‌های جهانی

برای درک چگونگی به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) در عمل، چند ابتکار پیشگام انگیزه‌ها، کاربردها و چالش‌های آن را به‌خوبی نشان می‌دهند. سنگاپور مجازی یکی از پیشرفته‌ترین مدل‌های ملی در مقیاس کلان است که در چارچوب ابتکار ملت هوشمند[۲۱] توسعه یافته و بازنمایی دیجیتالی سه‌بعدی با دقت بالا و غنی از داده‌های معنایی ارائه می‌دهد (Government Technology Agency, 2018). این مدل با یکپارچه‌سازی بی‌آی‌ام، جی‌آی‌اس (شکل ۳) و ورودی‌های درلحظه مانند داده‌های تلفن همراه، امکان شبیه‌سازی‌هایی چون سایه‌اندازی، توزیع حرارت یا حرکت عابران پیاده را فراهم می‌کند. این بستر میان نهادهای دولتی و پژوهشگران به اشتراک گذاشته شده و ظرفیت مشارکتی سی‌آی‌ام را نشان می‌دهد. با این حال، چالش‌هایی همچون هزینه‌های بالا، پیچیدگی فنی و ضرورت به‌روزرسانی مداوم همزمان با تحول شهر را نیز برجسته می‌کند (Eriksson & Harrie, 2021).



شکل ۳. جمع‌آوری داده‌های مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام)، منبع: (Xu et al., ۲۰۱۴)

دوقلوی دیجیتال زوریخ نمونه‌ای است از چگونگی استفاده یک شهر متوسط از اصول سی‌آی‌ام. مدل سه‌بعدی جامع زوریخ از برنامه‌ریزی برای حفاظت از کریدورهای دید به آلپ گرفته تا شبیه‌سازی انتشار صدا یا مدل‌سازی تقاضای انرژی در سطح ناحیه را پشتیبانی می‌کند (Schrotter & Hürzeler, 2020). حمایت نهادی

قوی و بهره‌گیری از استانداردهای تعاملی همچون سیتی‌جی‌ام‌ال امکان ادغام داده‌های بی‌آی‌ام و جی‌آی‌اس را فراهم ساخت. تجربه زوریخ ارزش شروع با کاربردهای هدفمند مانند مدیریت میراث یا آلودگی صوتی را نشان می‌دهد که سپس می‌تواند سرمایه‌گذاری و توسعه بیشتر را توجیه کند. مدل سه‌بعدی بوستون نقش سی‌آی‌ام در مشارکت عمومی را برجسته می‌سازد. این مدل که در ابتدا بر پایه اسکن‌های لیدار و فوتوگرامتری[۲۲] ساخته شده بود، با داده‌های معماری برای سایت‌های کلیدی گسترش یافت و در دسترس عموم قرار گرفت (Boston Planning & Development Agency, 2019). در عمل برای ارزیابی سایه‌اندازی، اثرات باد و خطوط دید استفاده می‌شود و شهروندان در مشاوره‌های عمومی می‌توانند پروژه‌های پیشنهادی را تجسم کنند. یکی از نوآوری‌ها، پیوند دستورالعمل‌های طراحی مستقیم با مدل است که امکان بررسی ضوابط کاربری زمین از طریق مطالعات حجمی را برای برنامه‌ریزان فراهم می‌سازد. رویکرد بوستون مزایای داده‌باز و شفافیت را نشان می‌دهد، هرچند با چالش رایج به‌روز نگه‌داشتن مدل نیز مواجه است.

دیگر تلاش‌های قابل‌توجه شامل برنامه ملی چین برای توسعه پلتفرم‌های سی‌آی‌ام در شهرهایی مانند شنژن و شانگهای است که به‌عنوان زیرساخت دیجیتال برای برنامه‌ریزی و مدیریت بحران به کار می‌روند (Huang et al., 2021). همچنین در مقیاس پردیس، مدل سه‌بعدی مجازی برای کاربردهای شهر هوشمند در دانشگاه نووی‌ساد[۲۳] توسعه یافت که ظرفیت‌های عملیاتی/تحلیلی سی‌آی‌ام را در مقیاسی کوچک نشان می‌دهد (Jovanović et al., 2020). در وین نیز پروژه دوقلوی دیجیتال وین با نقشِ مرکز داده‌های مکانی، زیرساختی برای مقیاس‌پذیری کاربردهای برنامه‌ریزی و مدیریت شهری فراهم کرده است (Lehner & Dorffner, 2020). در اروپا، شهرهایی مانند هلسینکی و روتردام بر دسترسی باز تأکید دارند و از این طریق امکان توسعه کاربردهای شخص ثالث و شفافیت بیشتر را فراهم می‌سازند. حتی شهرداری‌های کوچک‌تر نیز سامانه‌های مشابه سی‌آی‌ام را در حوزه‌های تخصصی چون مدیریت شبکه‌های آب یا شبیه‌سازی تخلیه در مناطق بحران‌خیز به کار گرفته‌اند (Dembski et al., 2020).

جدول ۲ ویژگی‌های کلیدی سنگاپور مجازی، دوقلوی دیجیتال زوریخ و مدل جی‌آی‌اس سه‌بعدی بوستون را خلاصه می‌کند. این مقایسه نشان می‌دهد که اگرچه هر پروژه با هدف ادغام داده‌ها و پشتیبانی از تصمیم‌گیری انجام می‌شود، اما در تأکید بر نظارت درلحظه در مقابل برنامه‌ریزی بلندمدت، وسعت پوشش بخشی و میزان مشارکت عمومی متفاوت هستند. درک این تفاوت‌ها به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا درس‌های قابل انتقال و عوامل زمینه‌ای را هنگام بررسی پذیرش سی‌آی‌ام شناسایی کنند

جدول ۲. مقایسه پیاده‌سازی‌های سی‌آی‌ام در سنگاپور، زوریخ و بوستون

مطالعه موردی	منابع و فناوری‌های داده	مقیاس فضایی	پوشش بخشی	ویژگی‌های مشارکتی	کارکردهای پشتیبانی از تصمیم	چالش‌های کلیدی
سنگاپور مجازی (سنگاپور)	نقشه‌برداری سه‌بعدی با وضوح بالا (هوایی، لیدار، موبایلی)، لایه‌های جی‌آی‌اس، داده‌های حسگر؛ یکپارچه‌سازی از طریق پلتفرم تری‌دی‌اکسپرین‌سیتی شرکت داسو Geospatial World, (2020)	ملی (کل شهر-کشور) با امکان زوم در سطح ناحیه	امنیت، توسعه شهری، سازگاری با تغییر اقلیم، خدمات عمومی (Geospatial World, 2020)	طراحی‌شده برای سازمان‌های دولتی، کسب‌وکارها، پژوهشگران و شهروندان؛ هنوز در مراحل اولیه پذیرش مردمی Geospatial World, (2020)	آزمون سناریو، سازگاری با تغییر اقلیم، برنامه‌ریزی زیرساخت، هماهنگی بین‌نهادی	هزینه‌های بالا؛ هم‌کنش‌پذیری داده‌ها؛ نیاز به آموزش؛ حکمرانی داده

مطالعه موردی	منابع و فناوری‌های داده	مقیاس فضایی	پوشش بخشی	ویژگی‌های مشارکتی	کارکردهای پشتیبانی از تصمیم	چالش‌های کلیدی
دوقلوی دیجیتال زوریخ (سوئیس)	داده‌های سه‌بعدی ساختمان‌ها، پل‌ها و پوشش گیاهی؛ داده‌های باز دولتی؛ مدیریت فراداده (Schrotter & Hür-zeler, 2020)	سطح شهری با قابلیت پوشش در مقیاس کل شهر	شبیه‌سازی اقلیم شهری، نمونه‌سازی بصری، بحث‌های سیاستی (Schrotter & Hürzeler, 2020)	دسترسی عمومی از طریق داده‌باز؛ تشویق به توسعه اپلیکیشن‌ها و گفت‌وگوهای مشارکتی (Schrotter & Hür-zeler, 2020)	تجسم سناریوها، شبیه‌سازی اقلیمی، گفت‌وگوی بین‌بخشی	به‌روز نگه‌داشتن داده‌های سه‌بعدی؛ مدیریت چرخه عمر و استانداردها؛ نگرانی‌های حریم خصوصی
مدل سه‌بعدی جی‌آی‌اس بوستون (ایالات متحده)	جی‌آی‌اس سه‌بعدی ساخته‌شده با نرم‌افزارهای تجاری؛ یکپارچه‌سازی کاربری زمین، قطعات، نشانه‌های تاریخی و داده‌های محیطی (Patrick, 2018)	مرکز شهر و نواحی خاص (مثلاً اطراف پارک مرکزی بوستون)	ارزیابی توسعه شهری، تحلیل سایه، مدل‌سازی سیلاب، پیش‌بینی بالا آمدن سطح دریا (Patrick, 2018)	استفاده در جلسات عمومی و مذاکرات؛ تجسم اثرات توسعه و پشتیبانی از گفت‌وگو (Patrick, 2018)	ارزیابی طرح‌های توسعه، اندازه‌گیری سایه، ارزیابی ریسک سیلاب، مذاکره در تغییرات طراحی	نیاز به تخصص فنی برای یکپارچه‌سازی داده‌باز؛ لزوم استانداردسازی فرآیندها؛ ظرفیت‌سازی (Pat-rick, 2018)

برای جمع‌بندی مباحث، شکل ۴ مدل تحلیلی سی‌آی‌ام به‌مثابه چارچوب پشتیبان تصمیم را نشان می‌دهد. این مدل، جریان درونی سیستم را از ورودی‌های داده و استانداردها به یکپارچه‌سازی و حکمرانی داده، سپس به موتور تحلیل و شبیه‌سازی، و در نهایت به رابط‌های مشارکتی و تصمیم‌گیری ترسیم می‌کند. پیکان‌های میان اجزا بیانگر وابستگی و تعامل متقابل این لایه‌ها هستند و تأکید دارند که حکمرانی داده و مشارکت ذی‌نفعان اجزایی جدایی‌ناپذیر از فرآیند فنی و تحلیلی سی‌آی‌ام محسوب می‌شوند. این مدل مکمل «مدل مفهومی پژوهش» (شکل ۲) است، با این تفاوت که به‌جای تبیین روابط نظری، سازوکار درونی جریان داده تا تصمیم را در چارچوب سی‌آی‌ام آشکار می‌سازد. در مجموع، مدل نشان می‌دهد که تصمیم‌های شهری حاصل تعامل چندلایه‌ی داده، فناوری، نهادها و شهروندان است.

شکل ۴. مدل تحلیلی سی‌آی‌ام به‌مثابه چارچوب پشتیبان تصمیم

درس‌های آموخته‌شده از این نمونه‌ها چند عامل موفقیت را روشن می‌سازد: پشتیبانی قوی دولتی و اهداف روشن چه چشم‌انداز ملی در سنگاپور و چه نیازهای برنامه‌ریزی در زوریخ برای حفظ سرمایه‌گذاری، حیاتی‌اند. کاربردهای اولیه و ملموس مانند بهبود ارائه عمومی یا تحلیل سناریوها می‌توانند هزینه‌ها را توجیه کنند. همچنین، پذیرش سی‌آی‌ام مستلزم استانداردهای فنی، جمع‌آوری داده و هماهنگی نهادی برای غلبه بر جزیره‌ای بودن اطلاعات است. با این حال، چالش‌هایی پایدار همچون حفظ دقت داده، تضمین تعامل‌پذیری میان بی‌آی‌ام، جی‌آی‌اس و داده‌های درلحظه، و آموزش برنامه‌ریزان برای ادغام سی‌آی‌ام در جریان‌های کاری وجود دارند (Schrotter & Hürzeler, 2020). با وجود این موانع، مسیر روشن است: شهرهای جهان به‌طور فزاینده‌ای به

سوی مدل‌های دیجیتال یکپارچه حرکت می‌کنند که به‌عنوان زیرساخت اطلاعاتی برای برنامه‌ریزی، مدیریت و مشارکت عمومی عمل می‌کنند. این موارد تأیید می‌کنند که سی‌آی‌ام هم از نظر فنی امکان‌پذیر و هم از نظر نهادی ارزشمند است، هرچند موفقیت آن به سرمایه‌گذاری پایدار، همکاری و حکمرانی تطبیقی بستگی دارد.

۵-۲- مزایای مدل‌سازی اطلاعات شهر به‌عنوان چارچوب پشتیبان تصمیم

ادبیات پژوهشی و مطالعات موردی چندین مزیت کلیدی در به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) به‌عنوان یک چارچوب پشتیبان تصمیم را برجسته می‌کنند. یکی از مهم‌ترین مزایا تقویت هماهنگی میان‌نهادی است. زمانی که داده‌های چندین اداره و نهاد در یک مدل یکپارچه تلفیق می‌شوند، برنامه‌ریزان، مهندسان، مدیران خدمات زیربنایی و سیاست‌گذاران می‌توانند بر پایه یک بستر اطلاعاتی مشترک فعالیت کنند، اهداف خود را همسو سازند و تعارض‌ها را زودهنگام شناسایی نمایند (Liu et al., 2017; Soltanifard et al., 2024). برای نمونه، یک خط حمل‌ونقل عمومی پیشنهادی می‌تواند در کنار تغییرات کاربری زمین و سیاست‌های مسکن ارزیابی شود تا انسجام میان بخش‌های مختلف تضمین گردد. سی‌آی‌ام با تقویت اشتراک‌گذاری داده‌ها و تحلیل مشترک، همکاری را بهبود می‌بخشد و انسجام مداخلات شهری را افزایش می‌دهد.

سی‌آی‌ام همچنین ظرفیت پیش‌بینی را از طریق تحلیل سناریو و شبیه‌سازی‌ها گسترش می‌دهد. به دلیل ادغام داده‌های چندبخشی، شهرها می‌توانند پرسش‌های «وات‌ایف» را بررسی کنند. برای مثال، آزمایش کنند که چگونه مسیرهای جدید حمل‌ونقل، تغییرات مقررات کاربری زمین یا اقدامات سازگاری اقلیمی می‌توانند بر ترافیک، انتشار آلاینده‌ها یا الگوهای توسعه اثر بگذارند. این امکان به سیاست‌گذاران اجازه می‌دهد پیامدهای ناخواسته را پیش‌بینی کرده و پیش از اجرا پیشنهادها را اصلاح کنند، در نتیجه توانایی برنامه‌ریزی راهبردی تقویت می‌شود (Batty, 2018). مزیت مهم دیگر تسهیل مشارکت عمومی و شفافیت است. مدل‌ها و تجسم‌های سه‌بعدی تعاملی[۲۴]، پیشنهادها را برای غیرمتخصصان ملموس‌تر می‌سازند و در جلسات مشورتی عمومی بحث‌های آگاهانه‌تری را برمی‌انگیزند (Boston Planning & Development Agency, 2019). ابتکارهای داده‌باز نیز با فراهم‌آوردن امکان دسترسی شهروندان، پژوهشگران و توسعه‌دهندگان به داده‌های سی‌آی‌ام، اعتماد عمومی را تقویت کرده و نوآوری را تشویق می‌کنند (Singla & Padia, 2020). این گشودگی نه‌تنها به دموکراتیک شدن اطلاعات کمک می‌کند، بلکه فراگیری در حکمرانی شهری را نیز ارتقا می‌دهد.

سی‌آی‌ام همچنین پلی میان تحلیل کمّی و ملاحظات کیفی طراحی ایجاد می‌کند. برخلاف ابزارهای سنتی که عمدتاً بر شاخص‌های عددی تمرکز دارند، سی‌آی‌ام معیارهایی مانند تراکم یا زمان رفت‌وآمد را با بازنمایی‌های بصری فرم شهری ترکیب می‌کند. این یکپارچگی به برنامه‌ریزان امکان می‌دهد هم نتایج تجربی و هم کیفیت‌های زیباشناختی و اجتماعی را مانند حفظ هویت محله یا ارتقای کیفیت زندگی ارزیابی کنند (Dembski et al., 2020). بدین ترتیب، سی‌آی‌ام از تصمیم‌هایی جامع‌تر و حساس به بستر پشتیبانی می‌کند. در نهایت، سی‌آی‌ام کارآمدی و انسجام فرآیندهای برنامه‌ریزی را افزایش می‌دهد. چون داده‌ها را متمرکز و به‌طور مستمر به‌روزرسانی می‌کند، نیاز به جمع‌آوری، قالب‌بندی یا تطبیق تکراری اطلاعات را کاهش می‌دهد. تغییراتی که در مدل اعمال می‌شوند مانند اصلاح مرزهای کاربری زمین یا شبکه زیرساخت به‌طور خودکار در همه تحلیل‌های مرتبط بازتاب می‌یابند و زمان‌بندی پروژه‌ها را کوتاه کرده و هزینه‌ها را کاهش می‌دهند. در مجموع، این مزایا نشان می‌دهند چرا سی‌آی‌ام سرمایه‌گذاری جذابی برای شهرهای آینده‌نگر است. با هم‌راستاکردن تصمیم‌های راهبردی، تاکتیکی و عملیاتی در یک محیط یکپارچه، سی‌آی‌ام فرآیندهای برنامه‌ریزی را تقویت می‌کند، ارتباطات را بهبود می‌بخشد و نتایجی پایدارتر، منسجم‌تر و از نظر دموکراتیک مشروع‌تر به همراه دارد.

۵-۳- چالش‌ها و موانع پیاده‌سازی

با وجود ظرفیت‌های قابل‌توجه، پیاده‌سازی مدل‌سازی اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) با موانع جدی روبه‌رو است. تکه‌تکه بودن داده‌ها و چالش تعامل‌پذیری همچنان از موانع اصلی است. داده‌های شهری معمولاً در بخش‌های مختلف پراکنده و در قالب‌های ناسازگار ذخیره می‌شوند، از شِیپ‌فایل‌های جی‌آی‌اس گرفته تا فایل‌های بی‌آی‌ام/آی‌اف‌سی، نقشه‌های کد و اکسل و یکپارچه‌سازی آن‌ها در یک سی‌آی‌ام هم از نظر فنی پیچیده و هم از نظر منابع زمان‌بر است. بسیاری از داده‌های قدیمی ناقص یا به‌روز نشده‌اند و تبدیل آن‌ها به استانداردهایی مانند سیتی‌جی‌ام‌ال یا آی‌اف‌سی نیازمند پاک‌سازی و همسان‌سازی دشوار است. افزوده‌شدن جریان‌های داده درلحظه، مانند حسگرهای اینترنت اشیا، نیز به زیرساخت فناوری اطلاعات پیشرفته و پروتکل‌های توافق‌شده نیاز دارد (Kutzner et al., 2020). بدون مخازن مرکزی و استانداردهای روشن، مدل‌ها خطر پوشش ناقص و گمراه‌کننده را به همراه دارند. از سوی دیگر، بازسازی و تجسم کارآمدِ مدل‌های ناهمگون برای حفظ کارایی عملکردیِ سامانه حیاتی است (Buyuk-demircioglu & Kocaman, 2020).

موانع نهادی و سازمانی به همان اندازه چالش‌برانگیز هستند. بسیاری از سازمان‌ها به‌دلیل نگرانی از سوءبرداشت، از دست دادن کنترل داده یا بی‌تحرکی اداری در برابر اشتراک‌گذاری داده مقاومت می‌کنند (Allam & Dhunny, 2019). ابهام در مورد مالکیت و مسئولیت نگهداری می‌تواند پروژه‌های سی‌آی‌ام را بدون رهبری مشخص رها کند. پذیرش این رویکرد همچنین مستلزم آموزش کارکنان و بازطراحی جریان‌های کاری است. برای مثال، الزام به ارائه مدل‌های بی‌آی‌ام برای پروژه‌های جدید تغییراتی که ممکن است با مخالفت روبه‌رو شوند. بدون حکمرانی قوی و تغییر فرهنگی به‌سوی همکاری، ابتکارات سی‌آی‌ام ممکن است متوقف یا بلااستفاده بمانند (Omrany et al., 2023). محدودیت‌های منابع و ظرفیت‌ها نیز مانعی دیگر است. سی‌آی‌ام‌های جامع نیازمند سرمایه‌گذاری گسترده در بسترهای نرم‌افزاری، رایانش قدرتمند[۲۵] و نیروهای متخصص مانند تحلیلگران جغرافیایی و دانشمندان داده[۲۶] است. شهرهای ثروتمندی چون سنگاپور یا زوریخ به‌دلیل دسترسی به بودجه و تخصص پیشرفته، رشد قابل‌توجهی داشته‌اند، اما شهرهای کوچک‌تر یا کم‌برخوردار معمولاً فاقد زیرساخت لازم برای چنین تحولی هستند. حتی زمانی که پروژه‌های آزمایشی از تأمین مالی خارجی بهره‌مند می‌شوند، تداوم آن‌ها دشوار است اگر بودجه‌های محلی نتوانند هزینه‌های جاری به‌روزرسانی و نیروی انسانی را پوشش دهند. راه‌حل‌های نرم‌افزاری اختصاصی نیز خطر وابستگی به فروشنده‌های نرم‌افزار را افزایش می‌دهند. نتیجه این شرایط شکاف دیجیتال در حال رشدی است: شهرهای پیشرفته به سمت سی‌آی‌ام و دوقلوهای دیجیتال حرکت می‌کنند، در حالی‌که شهرهای پررشد اما کم‌منبع در معرض عقب‌ماندگی قرار دارند.

ملاحظات اخلاقی، حریم خصوصی و حکمرانی نیز پیچیدگی بیشتری ایجاد می‌کنند. ادغام داده‌های متنوع پرسش‌هایی درباره نظارت و امنیت به‌وجود می‌آورد. داده‌های مکانی درلحظه یا مدل‌های دقیق زیرساختی در صورت سوءاستفاده حساسیت‌برانگیز خواهند بود. منازعات مالکیت داده زمانی پیش می‌آید که شرکت‌های خصوصی در پلتفرم‌های سی‌آی‌ام مشارکت دارند و شبیه‌سازی‌های الگوریتمی[۲۷] در معرض بازتولید سوگیری‌ها هستند، مگر آن‌که به‌دقت موردبررسی قرار گیرند (Kitchin, 2016; La-wal & Nawari, 2023). مواجهه با این مسائل نیازمند چارچوب‌های حکمرانی قوی است: دسترسی مبتنی بر نقش[۲۸]، سیاست‌های حفاظت از داده، کمیته‌های اخلاقی و ارتباطات شفاف درباره نحوه استفاده از داده‌ها. بدون اعتماد و نظارت، شهروندان ممکن است سی‌آی‌ام را به‌جای مشارکتی، مداخله‌گرایانه تلقی کنند.

این موانع نشان می‌دهند که سی‌آی‌ام تنها یک سامانه فنی نیست بلکه یک ترکیب اجتماعی-فنی است. موفقیت آن به حکمرانی روشن بستگی دارد: نهادی پیش‌برنده برای هماهنگی استانداردها و به‌روزرسانی‌ها، چارچوب‌های قانونی برای حریم خصوصی، مسئولیت و مالکیت فکری، و سازوکارهایی برای ایجاد تعادل میان هماهنگی مرکزی و نوآوری غیرمتمرکز. مفروضات و عدم‌قطعیت‌ها باید به‌طور شفاف مستند شوند و مدیریت تطبیقی به‌کار گرفته

شود تا از اتکای بیش‌ازحد به سناریوی «بهترین» اجتناب گردد. در بسترهای کم‌منبع، راهبردهای تدریجی حیاتی هستند: آغاز با لایه‌های اصلی مانند مدیریت اراضی و زیرساخت‌ها، پذیرش استانداردهای باز (سیتی‌جی‌ام‌ال، آی‌اف‌سی، ال‌ای‌دی‌ام) و اجرای پایلوت در مقیاس ناحیه‌ای برای نشان دادن ارزش پیش از تعمیم به کل شهر. با ترکیب یکپارچه‌سازی فنی، اصلاح نهادی و تدابیر اخلاقی، شهرها می‌توانند به‌تدریج بر موانع غلبه کنند و ظرفیت سی‌آی‌ام را به‌عنوان یک چارچوب فراگیر پشتیبانِ تصمیم آزاد سازند.

۶- نتیجه‌گیری

این مقاله، مدل اطلاعات شهر (سی‌آی‌ام) را به‌عنوان یک چارچوب پشتیبان تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری معرفی و تبیین کرد. بر اساس مرور ادبیات و بررسی نمونه‌های جهانی از جمله سنگاپور، زوریخ و بوستون، روشن شد که سی‌آی‌ام در عین شباهت به ابزارهایی چون جی‌آی‌اس، بی‌آی‌ام و دوقلوی دیجیتال، رویکردی متمایز و فراگیر دارد. سی‌آی‌ام نه صرفاً یک مدل سه‌بعدی یا گسترشی از بی‌آی‌ام، بلکه بستری یکپارچه برای گردآوری و هم‌نشانی داده‌های مکانی، معنایی و زمانی است که می‌تواند فرآیندهای تحلیلی، شبیه‌سازی و مشارکت ذی‌نفعان را پشتیبانی کند. یافته‌ها نشان دادند که سی‌آی‌ام مزایای متعددی برای شهرها به همراه دارد؛ از جمله بهبود هماهنگی بین‌بخشی، افزایش ظرفیت پیش‌بینی و تحلیل سناریوهای سیاستی، تسهیل مشارکت عمومی و شفافیت، و ایجاد پیوند میان تحلیل‌های کمّی و ملاحظات کیفی در طراحی شهری. در عین حال، موانع و چالش‌هایی همچون پراکندگی و ناسازگاری داده‌ها، مقاومت نهادی، محدودیت منابع مالی و انسانی، و نگرانی‌های اخلاقی و حریم خصوصی نیز شناسایی شدند. این موارد نشان می‌دهند که موفقیت در پیاده‌سازی سی‌آی‌ام نیازمند توجه همزمان به جنبه‌های فنی و نهادی، ظرفیت‌سازی و ایجاد سازوکارهای حکمرانی داده[۲۹] است.

پیامدهای عملی این پژوهش برای سیاست‌گذاران و مدیران شهری آن است که سی‌آی‌ام باید به‌عنوان یک نوآوری سازمانی دیده شود، نه صرفاً یک خرید فناوری. تدوین استانداردهای داده، ایجاد چارچوب‌های قانونی برای اشتراک‌گذاری و حفاظت از داده‌ها، و فراهم‌سازی سازوکارهای همکاری بین‌بخشی از ضرورت‌هاست. برای مجریان و متخصصان، استفاده از سی‌آی‌ام مستلزم ارتقای مهارت‌ها در مدیریت داده، مدل‌سازی سه‌بعدی، شبیه‌سازی و تعامل با ذی‌نفعان است. برای دانشگاهیان نیز فرصت‌های پژوهشی گسترده‌ای وجود دارد؛ از تعمیق مبانی نظری و اخلاقی گرفته تا ارزیابی تجربی کارایی سی‌آی‌ام در پروژه‌های واقعی. چشم‌انداز پژوهش‌های آینده (Okonta et al., 2025b) نیز بر ضرورت ارزیابی‌های تجربی و تطبیقی در زمینه اثربخشی سی‌آی‌ام، تلفیق آن با فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی و داده‌های درلحظه، طراحی چارچوب‌های جامع حکمرانی و اخلاق، و همچنین توسعه مسیرهای تدریجی و کم‌هزینه برای کشورهای در حال توسعه تأکید دارد. به‌ویژه، استفاده از رویکردهای مشارکتی و داده‌های بومی می‌تواند تضمین کند که سی‌آی‌ام نه‌تنها ابزاری فناورانه، بلکه بستری برای ارتقای عدالت اجتماعی و تاب‌آوری شهری باشد.

در نهایت، سی‌آی‌ام را می‌توان به‌عنوان سنگ‌بنای حکمرانی هوشمند شهری در آینده دانست؛ ابزاری که با یکپارچه‌سازی داده‌ها، حمایت از تصمیم‌گیری چندمقیاسی و جلب مشارکت شهروندان، ظرفیت آن را دارد که فرایندهای برنامه‌ریزی را شفاف‌تر و فراگیرتر کند. با وجود موانع، تجربه‌های جهانی نشان می‌دهند که مسیر به سوی شهرهای دیجیتال یکپارچه آغاز شده و سی‌آی‌ام می‌تواند نقش کلیدی در شکل‌دهی به شهرهای پایدارتر در قرن بیست‌ویکم ایفا کند.

محدودیت‌های پژوهش شامل موارد زیر است:

- مطالعه حاضر مفهومی/تحلیلی است؛ ارزیابی کمّی اثربخشی انجام نشده است.
- نمونه‌های موردی عمدتاً از بسترهای بالا-ظرفیت انتخاب شده‌اند و ممکن است برای شهرهای کم‌منبع به تعدیل نیاز داشته باشند.
- پیوند عملی با ابزارهای تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (تحلیل سلسله مراتبی/تاپسیس و ...)، در

حد پیشنهاد باقی مانده و در مقیاس واقعی ارزیابی نشده است.

• برآورد هزینه-فایده و تحلیل ریسک‌های حریم خصوصی/اخلاق در سطح پیاده‌سازی شهری خارج از دامنه این مقاله بوده است.

پیشنهادها برای پژوهش و عمل آینده به شرح زیر است:

۱) اجرای پایلوت‌های ناحیه‌ای در کلان‌شهرهای ایران با استانداردهای باز (سیتی‌جی‌ال‌ام/آی‌اف‌سی) و مخازن متن‌باز (پایگاه داده سه‌بعدی)

۲) تعریف شاخص‌های عملکردی پایش‌پذیر برای پروژه‌های سی‌آی‌ام (پوشش سطح جزئیات، تأخیر به‌روزرسانی، نرخ استفاده بین‌دستگاهی، و میزان مشارکت عمومی)

۳) ادغام و ارزیابی میدانی تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره در سناریوسازی (وزن‌دهی شاخص‌ها، تحلیل حساسیت)، و سنجش کیفیت تصمیم

۴) تدوین و آزمون چارچوب حکمرانی/اخلاق (دسترسی مبتنی بر نقش، مسیرهای حسابرسی، کمینه‌سازی داده، ارزیابی تبعیض الگوریتمی)

۵) انجام تحلیل هزینه-فایده و مدل‌های تأمین مالی (به‌ویژه در بسترهای کم‌منبع)

۶) توسعه جعبه‌ابزار مهاجرت داده (جی‌آی‌اس↔بی‌آی ام↔سیتی‌جی‌ال‌ام) و دستورالعمل‌های استانداردسازی فراداده برای تسهیل مقیاس‌پذیری

۷- حامیان مالی

مقاله حامی مالی و معنوی نداشته است.

۸- مشارکت نویسندگان

«ایده‌پردازی، طراحی پژوهش و نگارش نسخه اولیه مقاله توسط فرشاد شریعت‌پور انجام شده است. زهراالسادات اردستانی در بازنگری علمی، ویرایش نهایی و تأیید محتوای مقاله نقش داشته است. هر دو نویسنده نسخه نهایی مقاله را مطالعه و تأیید کرده‌اند».

۹- عدم تعارض منافع

«نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی برای ایشان وجود نداشته است.»

۱۰- قدردانی

ما از همه افراد برای مشاوره علمی در این مقاله سپاس‌گزاریم.

۱۱- پی‌نوشت‌ها

1- Data-Driven Approaches
2- Geographic Information Systems (GIS)
3- Building Information Modeling (BIM)
4- Digital Twins
5- City Information Modeling (CIM)
6- Spatial and Non-Spatial Data
7- Data Ecosystems
8- Parish and Müller
9- Procedural Modeling
10- CAD
11- Industry Foundation Classes (IFC)
12- CityGML
13- Land Administration Domain Model (LADM)
14- IoT Data
15- Planning Support Systems (PSS)
16- What if
17- Web or Virtual Reality Interfaces
18- Virtual Singapore
19- Zurich’s Digital Twin
20- Boston’s 3D GIS
21- Smart Nation
22- Lidar and Photogrammetry Scanners
23- University of Novi Sad
24- Interactive 3D Models and Visualizations
25- High-Performance Computing
26- Data Scientists

27- Algorithmic Simulations
28- Role-Based Access
29- Data Governance

۱۲- منابع

References

1- Abdelrahman, M., Macatulad, E., Lei, B., Quintana, M., Miller, C., & Biljecki, F. (2025). What is a Digital Twin Anyway? Deriving the Definition for the Built Environment from Over 15,000 Scientific Publications. *Building and Environment*, 274, 112748. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112748

2- Agius, T., Sabri, S., & Kalantari, M. (2018). Three-dimensional Rule-based City Modelling to Support Urban Redevelopment Process. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 413. https://doi.org/10.3390/ijgi7100413

3- 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

4- Arnold, J. D. M., & Lafreniere, D. (2018). Creating a Longitudinal, Data-driven 3D Model of Change Over Time in a Postindustrial Landscape Using GIS and CityEngine. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 8(4), 434–447. https://doi.org/10.1108/JCHMSD-08-2017-0055

5- Batty, M. (2018). Inventing Future Cities. MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/11923.001.0001

6- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842-2889. https://doi.org/10.3390/ijgi4042842

7- Boston Planning & Development Agency (BPDA). (2019). *BPDA Launches New 3D Map of Boston for Urban Planning* [News article]. Retrieved July 12, 2024, from https://www.bostonplans.org/3d-data-maps/3d-smart-model/citywide-3d-model

8- Buyukdemircioglu, M., & Kocaman, S. (2020). Reconstruction and Efficient Visualization of Heterogeneous 3D City Models. *Remote Sensing*, 12(13), 2128. https://doi.org/10.3390/rs12132128

9- Cheng, P. G., He, A. L., Nie, Y. J., Wu, J., Li, X. L., & Li, Z. R. (2020). Research and Implementation of 3D City Batch Rapid Modelling Method. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 1107-1112. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W10-1107-2020

10- Dembski, F., Wössner, U., Letzgus, M., Ruddat, M., & Yamu, C. (2020). Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany. *Sustainability*, 12(6), 2307. https://doi.org/10.3390/su12062307

11- Eriksson, H., & Harrie, L. (2021). Versioning of 3D City Models for Municipality Applications: Needs, Obstacles and Recommendations. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 55. https://doi.org/10.3390/ijgi10020055

12- Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2014). An Uncertainty and Sensitivity Analysis Approach for GIS-based Multicriteria Landslide Susceptibility Mapping. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(3), 610-638. https://doi.org/10.1080/13658816.2013.869821

13- Ford, D. N., & Wolf, C. M. (2020). Smart Cities with Digital Twin Systems for Disaster Management. *Journal of Management in Engineering*, 36(4), 04020027. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000779

14- Geospatial World. (2020). *Virtual Singapore – Building a 3D-empowered Smart Nation* [Web article]. Retrieved July 19, 2024, from https://geospatialworld.net/prime/case-study/national-mapping/virtual-singapore-building-a-3d-empowered-smart-nation/

15- Gil, J., Almeida, J., & Duarte, J. P. (2011). The Backbone of a City Information Model (CIM). *Respecting*

fragile places: Education in computer aided architectural design in Europe, 143-151. https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2011.143

16- Government Technology Agency (GovTech). (2018). *Virtual Singapore: 3D Digital Platform for Smart Nation* [Web article]. Retrieved July 26, 2024, from https://www.tech.gov.sg/technews/5-things-to-know-about-virtual-singapore/

17- Hamilton, A., Wang, H., Tanyer, A. M., Arayici, Y., Zhang, X., & Song, Y. (2005). Urban Information Model for City Planning. *Journal of Information Technology in Construction (ITCon)*, 10(6), 55-67. http://www.itcon.org/2005/06/

18- Hooper, P., Boulange, C., Arciniegas, G., Foster, S., Bolleter, J., & Pettit, C. (2021). Exploring the Potential for Planning Support Systems to Bridge the Research-translation Gap Between Public Health and Urban Planning. *International Journal of Health Geographics*, 20(1), 36. https://doi.org/10.1186/s12942-021-00291-z

19- Huang, Y. S., Shih, S. G., & Yen, K. H. (2021). An Integrated GIS, BIM and Facilities Infrastructure Information Platform Designed for City Management. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 44(4), 293-304. https://doi.org/10.1080/02533839.2021.1897481

20- Huang, Y., Peng, H., Sofi, M., Zhou, Z., Xing, T., Ma, G., & Zhong, A. (2022). The City Management Based on Smart Information System Using Digital Technologies in China. *IET Smart Cities*, 4(3), 160-174. https://doi.org/10.1049/smc2.12035

21- International Electrotechnical Commission. (2021). *City Information Modelling and Urban Digital Twins* [Technical report]. Retrieved August 10, 2024, from https://storage-iecwebsite-prd-iec-ch.s3.eu-west-1.amazonaws.com/2022-08/IEC_TEC_CIM_UDT_En.pdf

22- Jovanović, D., Milovanov, S., Ruskovski, I., Govedarica, M., Sladić, D., Radulović, A., & Pajić, V. (2020). Building Virtual 3D City Model for Smart Cities Applications: A Case Study on Campus Area of the University of Novi Sad. *ISPRS International Journal of Geo-Information,* 9(8), 476. https://doi.org/10.3390/ijgi9080476

23- Kitchin, R. (2016). The Ethics of Smart Cities and Urban Science. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences,* 374(2083), 20160115. https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0115

24- Kleinheksel, A. J., Rockich-Winston, N., Tawfik, H., & Wyatt, T. R. (2020). Demystifying *Content Analysis. American Journal of Pharmaceutical Education*, 84(1), 7113. https://doi.org/10.5688/ajpe7113

25- Klosterman, R. E. (1997). Planning Support Systems: A New Perspective on Computer-Aided Planning. *Journal of Planning Education and Research*, 17(1), 45-54. https://doi.org/10.1177/0739456X9701700105

26- Kutzner, T., Chaturvedi, K., & Kolbe, T. H. (2020). CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications. PFG–Journal of Photogrammetry, *Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(1), 43-61. https://doi.org/10.1007/s41064-020-00095-z

27- Lafioune, N., & St-Jacques, M. (2020). Towards the Creation of a Searchable 3D Smart City Model. *Innovation & Management Review*, 17(3), 285–305. https://doi.org/10.1108/INMR-03-2019-0033

28- Lawal, O., & Nawari, N. O. (2023). Blockchain and City Information Modeling (CIM): A New Approach of Transparency and Efficiency. *Journal of Information Technology in Construction*, 28, 711–734. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.037

29- Ledoux, H., Biljecki, F., Dukai, B., Kumar, K., Peters, R., Stoter, J., & Commandeur, T. (2021). 3dfier: Automatic Reconstruction of 3D City Models. *Journal of Open-Source Software*, 6(57), 2866. https://doi.org/10.21105/joss.02866

30- Lehner, H., & Dorffner, L. (2020). Digital geoTwin Vienna: Towards a Digital Twin City as Geodata Hub.

PFG – Journal of Photogrammetry, *Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88, 63–75. https://doi.org/10.1007/s12524-020-01191-8

31- Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J. C., Li, X., & Liu, R. (2017). A State-of-the-art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS International journal of geo-information*, 6(2), 53. https://doi.org/10.3390/ijgi6020053

32- Lu, X., Gu, D., Xu, Z., Xiong, C., & Tian, Y. (2020). CIM-powered Multi-hazard Simulation Framework Covering both Individual Buildings and Urban Areas. *Sustainability*, 12(12), 5059. https://doi.org/10.3390/su12125059

33- Okonta, E. D., Israel, G. C., & Okeke, F. O. (2025a). Scientometric Review and Visualisation of City Information Modeling (CIM) Trends and Future Directions. *Discover Cities*, 2(1), 28. https://doi.org/10.1007/s44327-025-00072-4

34- Okonta, E. D., Rahimian, F., Sheikhkhoshkar, M., & Rodriguez Trejo, S. (2025b). Future Directions and Research Gaps in City Information Modelling (CIM). *Smart and Sustainable Built Environment*. Advance online publication. https://doi.org/10.1108/sasbe-08-2024-0315

35- Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., & Clements-Croome, D. J. (2023). The Uptake of City Information Modelling (CIM): A Comprehensive Review of Current Implementations, Challenges and Future Outlook. *Smart and Sustainable Built Environment*, 12(5), 1090-1116. https://doi.org/10.1108/sasbe-06-2022-0116

36- Parish, Y. I., & Müller, P. (2001). Procedural Modeling of Cities. In *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, New York. https://doi.org/10.1145/383259.383292

37- Patrick, B. (2018). *3D GIS Helped Boston Create a Digital Twin* [Blog post]. Esri. Retrieved October 2, 2024, from https://www.esri.com/about/newsroom/blog/3d-gis-boston-digital-twin

38- Peters, C. (2025). City Information Modeling (CIM) and Gamification–Can Computational Urban Design be Understood as a City Builder? *In Proceedings of the 2nd Geogames Symposium: Connecting Communities Through Games and Play*, Ireland. https://www.researchgate.net/profile/Matias-Ruz-2/publication/394787614_Geo-AR_Exploring_Socio-Natural_Disasters_through_Augmented_Reality_for_Education_and_Risk_Management/links/68a64b43ca495d76982ec6a0/GeoAR-Exploring-Socio-Natural-Disasters-through-Augmented-Reality-for-Education-and-Risk-Management.pdf#page=125

39- Rasheed, A., San, O., & Kvamsdal, T. (2020). Digital Twin: Values, Challenges and Enablers from a Modeling Perspective. *IEEE Access*, 8, 21980-22012. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970143

40- Remoum, K., & Bouzenoune, A. (2025). GIS Based Multi Criteria Decision Analysis Techniques for Urban Development Site Selection: The Case of Jijel Area, NE Algeria. Engineering, Technology & Applied Science Research, 15(4), 25757-25765. https://doi.org/10.48084/etasr.11798

41- Schmidt, K., Aumann, I., Hollander, I., Damm, K., & von der Schulenburg, J. M. G. (2015). Applying the Analytic Hierarchy Process in Healthcare Research: A Systematic Literature Review and Evaluation of Reporting. *BMC medical informatics and decision making*, 15(1), 112. https://doi.org/10.1186/s12911-015-0234-7

42- Schrotter, G., & Hürzeler, C. (2020). The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning. *PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(1), 99–112. https://doi.org/10.1007/s41064-020-00092-2

43- Shi, J., Pan, Z., Jiang, L., & Zhai, X. (2023). An Ontology-based Methodology to Establish City Information Model of Digital Twin City by Merging BIM, GIS and

IoT. *Advanced Engineering Informatics*, 57, 102114. https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102114

44- Singla, J. G., & Padia, K. (2020). A Novel Approach for Generation and Visualization of Virtual 3D City Model Using Open Source Libraries. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(1), 223–228. https://doi.org/10.1007/s12524-020-01191-8

45- Soltanifard, H., Farhadi, R., & Mansourian, H. (2024). City Information Modelling and Sustainable Development: The Role of CIM in Achieving Sustainable Urbanization. *Springer Nature Singapore*. https://doi.org/10.1007/978-981-99-9014-6_2

46- Su, S., Ju, J., Guo, Q., Li, X., & Zhu, Y. (2023). A Temporally Dynamic Model for Regional Carbon Impact Assessment Based on City Information Modeling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173, 113076. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113076

47- Walker, L. O., & Avant, K. C. (2005). *Strategies for Theory Construction in Nursing*. Pearson/Prentice Hall.

48- Wang, B., & Tian, Y. (2021). Research on Key Technologies of City Information Modeling. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/693/1/012129

49- Weil, C., & Longchamp, R. (2022). *Urban Digital Twins & City Data Platforms: A Simple Glossary of Key Concepts* [PDF document]. Retrieved October 14, 2024, from https://www.geoinformation.ch/dam/de/sd-web/wE1q3-U93vpG/UDT_%20Definitions_221122.pdf

50- Xia, H., Liu, Z., Efremochkina, M., Liu, X., & Lin, C. (2022). Study on City Digital Twin Technologies for Sustainable Smart City Design: A Review and Bibliometric Analysis of Geographic Information System and Building Information Modeling Integration. *Sustainable Cities and Society*, 84, 104009. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104009

51- Xu, X., Ding, L., Luo, H., & Ma, L. (2014). From Building Information Modeling to City Information Modeling. *Journal of information technology in construction (ITcon)*, 19, 292-307. https://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/32840/

52- Xue, F., Wu, L., & Lu, W. (2021). Semantic Enrichment of Building and City Information Models: A Ten-year Review. *Advanced Engineering Informatics*, 47, 101245. https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101245

53- Yao, Z., Nagel, C., Kunde, F., Hudra, G., Willkomm, P., Donaubauer, A., ... & Kolbe, T. H. (2018). 3DCityDB-A 3D Geodatabase Solution for the Management, Analysis, and Visualization of Semantic 3D City Models Based on CityGML. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3(1), 1-26. https://doi.org/10.1186/s40965-018-0046-7

54- Yu, W., Zhou, X., Wang, D., & Dong, J. (2025). The Development and2 Construction of City Information Modeling (CIM): A Survey from Data Perspective. *Applied Sciences*, 15(9), 4696. https://doi.org/10.3390/app15094696

55- Zhang, X. (2024). *City Information Modeling and Its Applications: A Review*. Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-9014-6_4

56- Zhang, X., Shehata, A., Benes, B., & Aliaga, D. (2020). Automatic Deep Inference of Procedural Cities from Global-scale Spatial Data. *ACM Transactions on Spatial Algorithms and Systems*, 7(2), 1-28. https://doi.org/10.1145/3423422