ISSN: 2538-2594; Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2022;12(2):46-73

Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS) to Develop a Smart City

ARTICLE INFO

Article Type
Analytic Study

Authors

Fatemeh Khaleghi[1]

Shobeir Alizadeh[2]

Mojtaba Azizi[3*]

How to cite this article

Khaleghi F, Alizadeh Sh, Azizi M. Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS) to Develop a Smart City. Naqshejahan-Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2022 Jun 22;12(1):46-73.
https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1401.12.2.4.6

1. Master of Project Management and Construction, Faculty of Arts and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Master of Project Management and Construction, Faculty of Arts and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor of Project Management and Construction, Faculty of Arts and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

**Correspondence*

Address: Department of Arts and Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Email: azizi.pm@modares.ac.ir

Phone: 0912 337 4715

Article History
Received:
Accepted:
ePublished: 22 Jun 2022

ABSTRACT

Aims: To counteract urban population growth, research centers have devised city development strategies as well as the concept of intelligent cities. The present study aims to examine how building information modeling (BIM) and geographical information system (GIS) can be integrated to establish principles that govern intelligent cities and enhance their efficiency. It also delineates the potential advantages of BIM and GIS integration for future developments in various other areas.

Materials & Methods: Taking advantage of a meta-synthesis methodology, this study has researched the concepts of BIM and GIS in Farsi and English databases, identifying knowledge gaps in previous studies, while examining their integration for the purposes of this project.

Findings: Considering the distinct qualities of BIM and GIS, it is essential to integrate the two models in a three-dimensional environment, as their effective synergy must be supported by a viable platform. Our findings confirm that by undertaking CIM models, city managers and the construction sector can significantly enhance intelligent cities. Furthermore, to improve productivity and achieve sustainable management, BIM and GIS data should be used at different levels of semantic models.

Conclusion: Managerial issues concerning vertical construction cannot be resolved by using two-dimensional data available on maps. The integration of BIM and GIS can, however, effectively solve managerial problems in infrastructure development projects – both horizontal and vertical. The integration of these two models provides sustainable support for an intelligent city in that both models have distinctive capabilities for data unification, quantitative analysis, technology applications, and city management.

Keywords: Intelligent City, Building Information Modeling (BIM), Geographical Information System (GIS), Sustainability, New Technologies

CITATIONLINKS

[1] Planning utility infrastructure requirements for smart cities using the integration … [2] Integrated application of BIM and GIS: an overview. [3] Improving Performance and Creativity of Students Focusing on BIM; Case Study Building Technical Design Course. [4] Building Information Modeling (BIM); a model for improving the design process. [5] Building Information Modeling Adoption Model in Iran. [6] Data mining and content analysis of the jury citations of the Pritzker … [7] Past and Future Trends on the Effects of Occupant Behaviour on Building Energy … [8] Integration of Architecture & Structure in Optimizing Supports' Location Using Genetic Algorithm Method; Case Study: Cladding based on Iranian Girih. [9] Window geometry impact on a room's wind comfort. [10] Data Mining of the Spatial Structure of Qajar Native Housing; Case Study: Jangjouyan … [11] Generating Synthetic Space Allocation Probability Layouts Based on Trained Conditional-GANs. [12] Architectural layout design through deep learning and agent-based … [13] A dynamic vertical shading optimisation … [14] Explaining the Role and Place of Industrial … [15] Design expertise amongst student designers. [16] Designerly ways of knowing. [17] Designerly ways of knowing: Design discipline … [18] Educating the designerly thinker. [19] Explaining and analyzing how to make smart cities … [20] Improving of Climatic Technology According … [21] Integrated Project Delivery Using Building Information … [22] Investigating the Precision of Quantity … [23] What is a smart city project? An urban model or a corporate business plan? [24] How to strategize smart cities: Revealing the SMART model. [25] Developing smart cities: An integrated framework. [26] Towards the creation of a searchable 3D smart city model. [27] The role of universities in the knowledge … [28] Enhancing sustainable development through web based 3D smart city model using GIS and BIM. Case study: Sheikh hamad city. [29] BIM for infrastructure: An overall review and … [30] Sensing information modelling for smart city. [31] BIM-based decision-support method for master planning of sustainable large-scale developments. [32] Trends and opportunities of BIM-GIS integration … [33] Evaluating the effects of GIS technology: Review of methods. [34] CIM in the context of smart cities: how the interoperability between BIM and SIG can assist the development of smart cities. [35] BIM methodology approach to infrastructure design … [36] Mapping between BIM and 3D GIS in different … [37] A study on software architecture for effective … [38] IFC-CityGML LOD mapping automation using … [39] Automatic conversion of IFC datasets to geometrically and semantically … [40] Towards Effective BIM/GIS Data Integration … [41] Towards the Automatic Ontology Generation …

Copyright© 2021, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

ارزیابی کاربرد تلفیق مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌منظور توسعه شهر هوشمند

فاطمه خالقی[1]، شبیرعلیزاده[2]، مجتبی عزیزی*[3]

1- کارشناسی ارشد مدیریت پروژه و ساخت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
2- کارشناسی ارشد مدیریت پروژه و ساخت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
3- استادیار، گروه مدیریت پروژه و ساخت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)

چکیده

اهداف: هدف این پژوهش بررسی به کارگیری قابلیت های تلفیق بیم و جی.آی.اِس. برای پیاده سازی اصول شهر هوشمند است که مزیت های بالقوه استفاده از آن ها را بیان می کند و با طبقه بندی آن ها بهره گیری از بیم و جی.آی.اس برای ارتقای شهر هوشمند را تشریح می نماید.

ابزار و روش ها: روش تحقیق فراترکیب (و فراتحلیل) با استفاده از پایگاه داده های فارسی و لاتین، مفاهیم بیم و جی.آی.اِس. مورد جست‌وجو قرارگرفته و شکاف دانشی آن و ادغام دو مقوله اصلی مورد پژوهش، در راستای اهداف پژوهش مورد بررسی قرارگرفته است.

یافته ها: برای هوشمندسازی شهرها، با توجه به ویژگی هایی که بیم و جی.آی.اِس. به طور مجزا دارند، ضرورت ادغام آن‌ها در یک محیط سه بعدی روشن است. برای درک موارد استفاده بر اساس بیم و جی.آی.اِس.، قابلیت همکاری مؤثر بین آن ها باید توسط یک پلتفرم مناسب پشتیبانی شود. پذیرش مفاهیم CIM توسط مدیران شهری در بخش ساختمان، گام مهمی در توسعه شهرهای هوشمند است. برای بهبود بهره وری و دست یابی به مدیریت پایدار، باید داده های بیم و جی.آی.اِس. در سطوح مختلف استفاده شود.

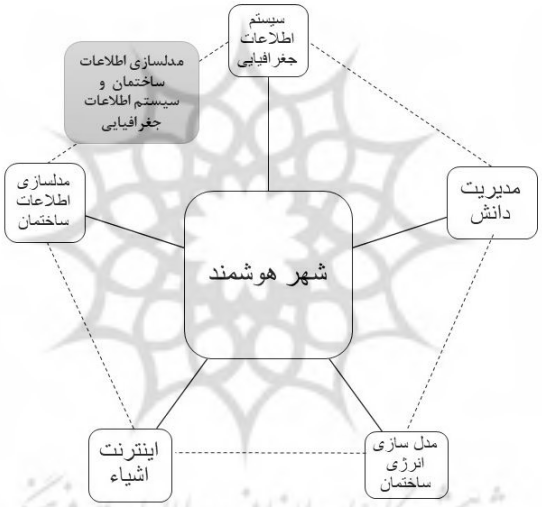
نتیجه‌گیری: مشکلات مدیریت مربوط به ساخت عمودی را نمی توان با استفاده از داده های دوبعدی موجود در نقشه ها حل کرد. ترکیب بیم و جی.آی.اِس. می‌تواند مشکلات مدیریتی انواع زیرساخت‌های افقی و عمودی را برطرف کند. ادغام این دو، قابلیت های آن ها در یکپارچه سازی داده ها، تجزیه و تحلیل کمی، کاربرد فناوری های مدیریت شهری، پشتیبانی قوی از شهر پایدار هوشمند را افزایش می دهد.

کلمات کلیدی: شهر هوشمند، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایداری، فناوری های نوین

مقدمه

طبق برآوردهای سازمان ملل، جمعیت جهان بین سال‌های 2017 تا 2050 تا 29 درصد و جمعیت مناطق شهری 60 درصد افزایش می یابد. با روی آوردن کل جهان به شهرنشینی، چندین چالش با مدیریت موفقیت‌آمیز این رشد شهری در دو شیوه پایدار و هوشمند مواجه است، به‌ویژه در کشورهای کم‌درآمد و با درآمد متوسط که میزان شهرنشینی بیشتری تا سال 2050 پیش‌بینی می‌شود. مسائل مربوط به بهداشت، ترافیک، آلودگی، مدیریت ضعیف منابع و زوال زیرساخت‌ها به دلیل شهرنشینی سریع به وجود می‌آید و اگر چنین مشکلاتی به دو صورت هوشمند و پایدار حل نشوند، می‌توانند مانع رشد شهرها شوند. طبق مطالعات صورت گرفته با گسترش علوم و فناوری‌های مرتبط با شهر هوشمند، شهر هوشمند چشم‌اندازی برای ادغام چندین منابع از فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) به شیوه‌ای امن برای مدیریت دارایی‌های یک شهر است [1]. فناوری‌های مختلف ازجمله آی‌اوتی، بی‌ای‌ام، بیم،جی.آی.اِس. نقش‌های متفاوتی در هوشمند سازی شهرها دارند. ازجمله فناوری‌های مرتبط با شهر هوشمند، مدلسازی اطلاعات ساختمان (بیم) و سیستم‌های اطلاعات مکانی (جی.آی.اِس.) است که برای مدیریت اطلاعات شهری حیاتی هستند و معمولاً به‌صورت مجزا استفاده می‌شوند. تلفیق این دو فناوری مسیر جدیدی است که هنوز در اول راه است و برای مدیریت و حل مسائل شهری راهکارهایی برای ارائه دارد؛ ازاین‌رو شناخت و تحلیل این دو فناوری در حوزه تلفیق ضروری است. با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و سایر سامانه‌های مدیریتی، مانند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، کارایی سیستم‌ها به نحو مطلوبی افزایش می‌یابد. فناوری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی دررسیدن به یک پایگاه اطلاعات جغرافیایی که زیرساخت‌ها و سازه‌ها در آن قابل‌نمایش است به ما کمک می‌کند و فناوری مدلسازی اطلاعات ساختمان برای مدیریت

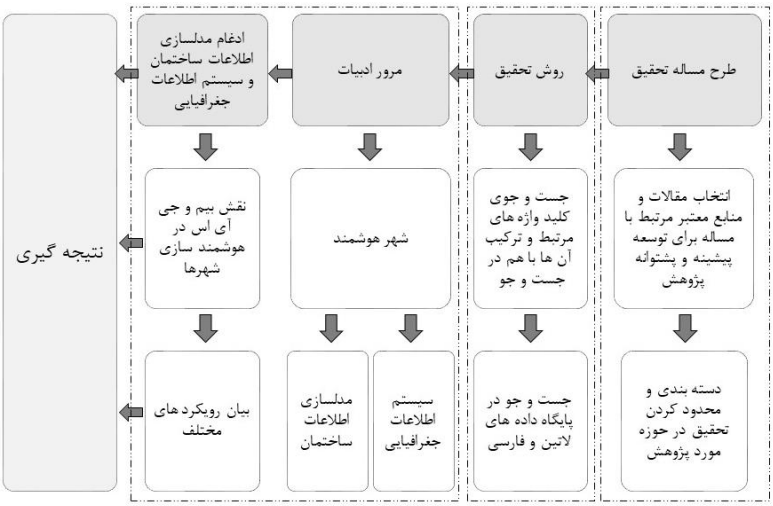
بهتر ساخت‌وساز و کاهش هزینه و زمان و افزایش کیفیت ساخت نقش اساسی دارد، حال با ادغام این دو فناوری ما می‌توانیم به یک پایگاه اطلاعاتی در شهر که تمام اجزای آن مدل‌سازی شده‌اند دست پیدا کنیم که گام بزرگی دررسیدن به شهر هوشمند است. از انجایی که هدف یک شهر هوشمند نمایش مجازی اطلاعات مکانی یکپارچه شدهاست و آن را به عنوان یک دوقلو دیجیتال نشان می دهد. جمع‌آوری و نمایش داده‌های استاندارد باز با استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (جی.آی.اِس.) و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (بیم) ظهور این حوزه تحقیقاتی را تسریع کرده است [2] با این حال، دستیابی به یکپارچگی بین دو حوزه متمایز (بیم) و (جی.آی.اِس.) بسیار چالش برانگیز است و بر اهمیت این امر می‌افزاید روش‌های سنتی برای دستیابی به یکپارچگی (بیم) و (جی.آی.اِس.) موضوعاتی مانند از دست دادن اطلاعات، ناسازگاری نرم‌افزار و داده‌ها و محدودیت‌های خاص مورد استفاده را برجسته کرده‌اند) در مقابل، روش‌های یکپارچه‌سازی انجام شده بر اساس فناوری وب معنایی سهم امیدوارکننده‌ای را در دستیابی به قابلیت همکاری (بیم) و (جی.آی.اِس.) نشان داده‌اند. این پژوهش بر ارتباط میان به‌کارگیری قابلیت‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی در شهر هوشمند می‌پردازد.



شکل 1: چارچوب و محدوده کلی پژوهش، منبع: نگارندگان

مواد و روش ها

در این مقاله مقالات مرتبط با مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی در شهر هوشمند در پایگاه‌های Science Direct و Springer بین سال‌های 2015 تا 2021 پرداخته‌شده است. در ابتدا کلیدواژه‌های شهر هوشمند، بیم، جی.آی.اِس.، اینترنت اشیاء به‌صورت مجزا جست‌وجو شده است (جدول 1) و سپس با محدود کردت جستجو به‌وسیله ترکیب عبارت‌های بیم و جی.آی.اِس. و شهر هوشمند در عنوان و کلیدواژه‌ها، مقالات مرتبط استخراج‌شده و موردبررسی قرارگرفته‌اند. نتیجه بررسی‌ها مقالاتی انتخاب و موردبررسی قرارگرفته شده است که نزدیک موضوع بوده و بامطالعه مختصر از بین مقالات انتخاب‌شده است.



شکل2: مراحل انجام پژوهش

جدول 1: کلید واژه‌های جستجو شده در پایگاه‌های علمی مورد نظر پژوهش

پایگاه جستجو	کلیدواژه	تعداد مقالات
Science direct	شهر هوشمند	66786
	جی.آی.اِس.	95011
	بیم	23458
	اینترنت اشیاء	36606
	بیم ،جی.آی.اِس.	836
	بیم، جی.آی.اِس.، شهر هوشمند	113
Springer	شهر هوشمند	112421
	جی.آی.اِس.	116697
	بیم	19578
	اینترنت اشیاء	67747
	بیم ،جی.آی.اِس.	1055
	بیم، جی.آی.اِس.، شهر هوشمند	502

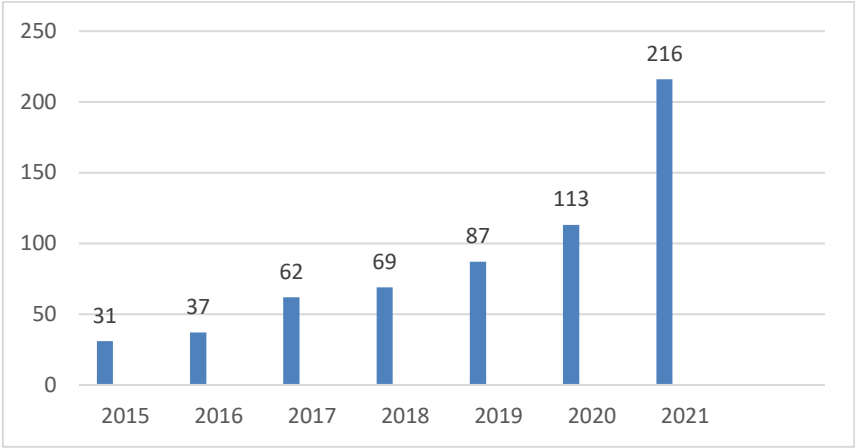
از نظر مبانی روش شناختی موضوع، کاربرد بیم در صنعت ساختمان ابعاد گسترده ای یافته است [3–5]. با نگاهی به فراتحلیل هایی که بر روی جریان های معماری و شهرسازی معاصر ایران و جهان [6] و کاربرد صنعتی سازی در ساختمان [7] صورت گرفته، می توان اظهار داشت که یکی از مهمترین موضوعاتی که از نظر روش شناسانه، با مفهوم هوشمندسازی

در تعامل قرار می گیرد، استفاده از روش های عددی در فرآیند طراحی و اجرای ساختمان است [8 -14]. از نظر رویکرد، روش شناسی به الگوهای طراحی معماری پایبند است و از فناوری های بیم و هوشمندسازی به نفع صنعت ساختمان و با نگاه طراحانه [15-18] استفاده می کند. توسعه هوشمندسازی در معماری و شهرسازی [19-22] به عنوان یک روش تحلیلی، از پایه های روش شناختی موضوع محسوب می‌شود.

درمجموع با توجه به مقالات یافت شده در پایگاه داده‌های خارجی که تعدادی موردبررسی قرارگرفته است و با توجه به نمودار، روند مطالعات انجام‌شده بر روی این موضوع افزایش‌یافته است. با توجه به تعداد مقالات و روند رو به رشد این موضوع این نتیجه یافت می‌شود که این موضوع همچنان جای کار کردن دارد و موضوعی تازه است ازنظر موضوع، بیشتر تحقیقات در مورد کاربرد یکپارچه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی بر روی ساختمان‌ها متمرکز است و دو مورد دیگر در ارتباط با زیرساخت‌ها و مناطق شهری است. ازنظر مرحله کاربرد، بیش از نیمی از برنامه‌های یکپارچه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی در عملیات و نگهداری (Operation and Maintenance) (O&M) اتفاق افتاده است؛ و موارد دیگر شامل برنامه ریزی و طراحی (Planning and Design) (P&D) و ساختمان است. بیشتر برنامه‌های یکپارچه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی در عملیات و نگهداری و برنامه ریزی و طراحی اتفاق افتاد. برای مناطق شهری، همتای عملیات و نگهداری (5 مورد) است. فقدان اقلام در برنامه ریزی و طراحی و تخریب زیرساخت‌ها و در ساخت و تخریب مناطق شهری وجود دارد. با توجه به مزیت سیستم اطلاعات جغرافیایی در بازنمایی و تجزیه‌وتحلیل جغرافیایی در مقیاس بزرگ، هنوز می‌توان در مورد کاربرد یکپارچه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی در زیرساخت‌ها و مناطق شهری، به‌ویژه در مرحله برنامه ریزی و طراحی، پتانسیل زیادی یافت.

جدول 2: تعداد و زمان انتشار منابع اطلاعاتی لاتین مرتبط با محدوده مطالعاتی پژوهش

کلیدواژه	سال	تعداد	کلیدواژه	سال	تعداد	مجموع
بیم.جی.آی.اِس. شهر هوشمند Science direct	2015	3	بیم.جی.آی.اِس. شهر هوشمند springer	2015	28	31
	2016	6		2016	31	37
	2017	10		2017	52	62
	2018	12		2018	57	69
	2019	23		2019	64	87
	2020	22		2020	91	113
	2021	37		2021	179	216

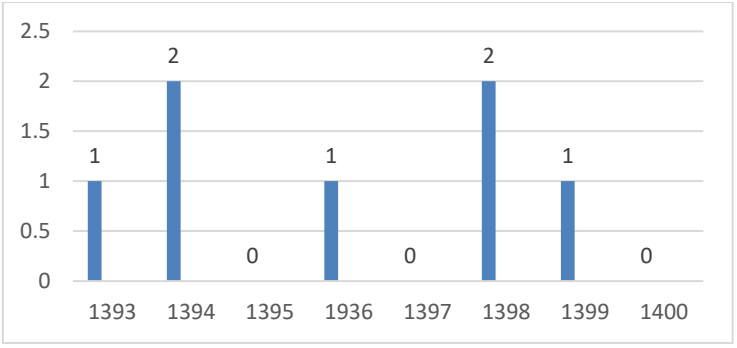


نمودار 1: فراوانی و زمان انتشار مقالات مرتبط با محدوده مطالعاتی پژوهش در پایگاه های لاتین

در پایگاه‌های فارسی نور مگز و سیویلیکا هم همانند پایگاه‌های انگلیسی نحوه جست‌وجو انجام‌شده و جست‌وجو محدود شده است. تعداد 7 مقاله مرتبط یافت شد که با مطالعه متن کامل مقالات 5 مقاله بررسی شده است (جدول3)؛ و این موضوع همان‌طور که در نمودار مشخص است در کشور ما موضوعی جدید است که از سال 1393 موردبررسی قرارگرفته است و در مقایسه با پژوهش‌های جهانی پژوهش‌های اندکی صورت گرفته است و به همین دلیل شکاف دانشی زیادی مشاهده می‌شود.

جدول 3: تعداد منابع اطلاعاتی فارسی مرتبط با کلیدواژه‌ها و محدوده مطالعاتی پژوهش

پایگاه جستجو	کلیدواژه	تعداد مقاله
نور مگز	شهر هوشمند	707
	جی.آی.اِس.	6802
	بیم	86
	اینترنت اشیاء	87
	بیم و جی.آی.اِس.	1
سیویلیکا	شهر هوشمند	1000
	جی.آی.اِس.	5257
	بیم	273
	اینترنت اشیاء	213
	بیم و جی.آی.اِس.	6



نمودار 2: فراوانی و زمان انتشار مقالات مرتبط با محدوده مطالعاتی پژوهش در پایگاه های فارسی

یافته های مبتنی بر تحلیل ادبیات

با حرکت جهان به سمت شهرنشینی سریع تر، شهرها باید هوشمند تر شوند و این موضوع، افزایش جمعیت، مصرف بالای انرژی، مدیریت منابع و موارد بسیاری را شامل می شود که نیازمند رسیدگی و تلاش است. در نتیجه دولت ها برنامه هایی را برای هوشمند و پایدار تر کردن شهر ها طراحی کردند. مدیریت رشد شهری از طریق درک نیازهای جمعیت در بازه‌های طولانی‌مدت می‌تواند راه را برای حداکثر کردن مزایای این گستردگی شهری هموار کند و باعث استفاده از فناوری برای رویارویی با چنین چالش‌هایی و مقابله با آن‌ها به شیوه‌ای هوشمندتر و پایدارتر شد. ازاین‌رو مفاهیم شهرهای پایدار و هوشمند مطرح‌شده است. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان یکی از فناوری‌هایی با پتانسیل بالا برای استفاده به‌عنوان بخشی از توسعه‌های هوشمند و پایدار است. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در دو دهه گذشته در مرکز توسعه صنعت ساختمان بوده است. باوجوداین واقعیت، شکاف قابل‌توجهی در استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان برای مدیریت توسعه شهری وجود دارد. محدودیت‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در مورد توسعه افقی باعث شد تا با سیستم اطلاعات جغرافیایی، غلبه بر این محدودیت‌ها و استفاده از مزایای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در مورد فرایندهای توسعه شهر، ادغام شود.

بخش‌های زیر به ارائه برخی از مرور ادبیات در مورد شهرهای هوشمند و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی اختصاص داده‌شده است. بخش فرعی اول در مورد پیدایش و توسعه مفهوم شهرهای هوشمند و استدلال‌ها و بحث‌ها پیرامون تعاریف مختلف آن بحث می‌کند. بخش فرعی دوم توضیحاتی در مورداستفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در بسیاری از جنبه کاربردی در شهر هوشمند می‌پردازد و در بخش فرعی سوم در مورداستفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و کاربرد آن در شهر هوشمند پرداخته‌شده است درمجموع شکاف‌های تحقیق در ادبیات که این تحقیق سعی در رفع آن‌ها دارد نیز در بخش‌های مربوطه ارائه‌شده است.

تحلیل شهرهای هوشمند

شهر الکترونیک، شهری 24 ساعته است که امور شهری در تمام شبانه‌روز در آن جریان دارد. شهروندان می‌توانند از طریق اینترنت، در هر زمان و هر مکان به اطلاعات و خدمات آموزشی، تفریحی، تجاری، اداری، آموزشی، بانکداری الکترونیک، کارت‌های هوشمند خدمات بهداشتی و ... موردنیاز خود دسترسی پیدا کنند. «دولت الکترونیک»، «تجارت الکترونیک»، «سلامت الکترونیک» و ... واژه‌هایی هستند که هرروزه به گوش شهروندان می‌رسند، اما تمام این‌ها وقتی در شهری واحد کنار هم جمع می‌شوند شهر هوشمند را به وجود می‌آورند.

در طول قرن گذشته، بسیاری از مفاهیم و ابتکارات برای رسیدگی به موضوع شهرهای آینده در حال تکامل هستند. مجموعه‌ای از ایده‌ها برای توصیف بهتر تعداد زیادی از مفاهیم پیشنهادی شروع به جمع‌آوری‌شده‌اند. [23] استدلال کردند که حتی اگر مشکلی در مورداستفاده از صفت هوشمند وجود دارد، بحث باید بیشتر در مورد تعریف مفهوم و معیارهای آن باشد تا تغییر عنوان. انتقاد آن‌ها بر این است که بسیاری از شهرهای اروپا از این واژه به‌عنوان مرجع خود استفاده می‌کنند نه به‌عنوان نقشه راه توسعه آن‌ها. تعریف واضحی از این مفهوم می‌تواند در دستیابی به آن بیشتر ازآنچه به نظر می‌رسد کمک کند. برخی از نویسندگان معتقدند که تحقیقات شهر هوشمند هنوز در مرحله اولیه است. برخی دیگر استدلال می‌کنند که مفهوم شهرهای هوشمند تکامل عادی ابتکارات قبلی مانند شهر دیجیتال، شهر اطلاعات، شهر پایدار و بسیاری دیگر است. همه این اصطلاحات به طور جامع با هدف استقرار سیستم های اطلاعاتی مختلف با یکدیگر برای کمک به اداره کارآمد شهر است. برعکس، دیگران بر این باورند که مفهوم شهر هوشمند یک رویکرد جامع‌تر از هر ابتکار دیگری است. «هوشمندی» در تعریف شهر هوشمند برای هر نوع توسعه‌ای مناسب است که نه‌تنها متناسب با شهر یا اداره آن، بلکه شهروندان آن نیز باشد که نقش مهمی در تدوین و موفقیت هر راه‌حل شهر هوشمند ایفا می‌کنند. درحالی‌که مدیریت سنتی شهر فقط بر برنامه‌ریزی شهری متمرکز است، مدیریت شهر هوشمند مستلزم هماهنگی بین ذینفعان مختلف با چندین زیرسیستم (آموزش، بهداشت، ترافیک، محیط‌زیست و غیره) تحت یک سیستم کلان هوشمند است که از فناوری با توجه به ویژگی‌ها، نیازها و منابع شهر استفاده می‌کند.

طبق یک مطالعه کیفی [24] برای ارائه یک چارچوب روش‌شناختی جدید برای پیاده‌سازی شهرهای هوشمند از شش شاخص شهرهای هوشمند گزارش رتبه بندی شهرهای متوسط اروپایی برای اهداف خود استفاده کرد. این شاخص‌ها عبارت‌اند از اقتصاد هوشمند، افراد باهوش، حکمرانی هوشمند، تحرک هوشمند، محیط هوشمند و زندگی هوشمند. چارچوب دیگری برای شهرهای هوشمند [25] به‌منظور کسب بینش بهتر در مورد مفهوم جامع شهر هوشمند، ارائه شد. آن‌ها شش ستون اصلی را شناسایی می‌کنند که هر شهر هوشمند باید بر اساس آن ساخته شود که عبارتند از: اجتماعی، مدیریتی، اقتصادی، حقوقی، فناوری و پایداری (SMELTS). این چارچوب را می‌توان به دو سطح داخلی و خارجی تقسیم کرد. سطح درونی شامل عواملی است نظیر موارد (حقوقی، اقتصادی و فناوری) که به نظر می‌رسد تأثیر بیشتری بر توسعه ابتکار شهرهای هوشمند دارند. از سوی دیگر، سطح بیرونی شامل عواملی (اجتماعی، مدیریت و پایداری) است که می‌تواند تحت تأثیر عوامل سطح داخلی قبل از تأثیرگذاری بر ابتکار شهر هوشمند قرار گیرد. از طرفی طبق مطالعاتی [26] که در مورد شهر هوشمند انجام داده‌اند سیستم‌های شهری را در چهار دسته طبقه‌بندی کرد، یعنی جمعیت، مقامات دولتی/شهرداری، قلمرو زیرساخت‌ها و بیان می‌کند که شهر هوشمند یک ابتکار سیاسی مبتنی بر استراتژی توسعه پایدار است و هدف آن بهبود کیفیت زندگی شهروندان است. شهرهای مختلف هوشمند در سراسر جهان برای ارزیابی پیشرفت‌های هوشمند خود به توسعه فناوری و سیستم‌های کنترل وابسته هستند و بیان می‌کند که سیستم‌های شهر را می‌توان از طریق دیجیتالی شدن و ادغام فناوری‌های جدید در حوزه‌های مختلف مدیریتی به هم متصل کرد. پشتوانه این پایگاه داده بزرگ جستجو در کل شهر است.

شکل3: مدیریت سیستم‌های کنونی و پیشنهاد برای اتصال(6)

در سال 2010 نورت استریم شهر هوشمند را به‌عنوان شهری معرفی می‌کند که در آن خدمات عمومی با استفاده از فناوری‌های فراگیر به‌طور یکپارچه به یکدیگر متصل می‌شوند تا کیفیت زندگی شهری را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهند. ازنظر هال (2000)، یک شهر هوشمند «شهری است که شرایط همه زیرساخت‌های مهم خود، ازجمله جاده‌ها، پل‌ها، تونل‌ها، راه‌آهن، مترو، فرودگاه‌ها، بنادر دریایی، ارتباطات، آب، برق و ساختمان‌ها را زیر نظر دارد و ادغام می‌کند. منابع خود را بهینه می‌کند؛ عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه خود را برنامه‌ریزی می‌کند و بر اجزای امنیتی نظارت می‌کند، درحالی‌که خدمات خود را به حداکثر می‌رساند. » سیستم اطلاعات فناوری استراتژیک انرژی (SETIS)، یک شهر هوشمند را شهری می‌داند که «می‌تواند فناوری‌های متنوعی مانند بازیافت آب، شبکه‌های برق پیشرفته و ارتباطات سیار را برای کاهش تأثیرات زیست‌محیطی و ارائه کیفیت بهتر زندگی به شهروندان خود ترکیب کند [26]. برای اطمینان از توسعه هوشمند در حال انجام، یک رویکرد جامع‌تر در تدوین یک طرح جامع بلندمدت موردنیاز است. فناوری‌های موردنیاز برای توسعه شهرهای هوشمند درزمینه‌های مختلف گسترده شده و باید در یک سیستم کلان واحد ادغام شوند تا مؤثر واقع شوند؛ و علیرغم تلاش‌های پراکنده در اجرای توسعه شهرهای هوشمند، تمرینات دنیای واقعی هنوز بر ادبیات گسترده و نظریه‌های مربوط به این موضوع غلبه می‌کند. هدف اکثر مطالعات موجود این بوده است که تنها یک‌طرف شهر هوشمند را که سمت عملیات است در نظر بگیریم تا توسعه شهر در طول زمان. هدف اصلی یک شهر هوشمند ایجاد ارزش پایدار برای شهروندان، کارفرمایان و ذینفعان مختلف است. با این درک، این تلاش تحقیقاتی چارچوب خود را برای توسعه شهرهای هوشمند پیشنهاد می‌کند.

بااین‌حال، آخرین دیدگاه در مورد توسعه شهر هوشمند بیان می‌کند که سطح پذیرش فناوری در مناطق شهری بیشتر نمی‌تواند منعکس‌کننده هوشمند بودن شهرها باشد امروزه با ظهور اقتصاد دانش، دانش بیشتر از فعالیت‌های کارآمد در شهر اهمیت دارد [27]. در شهر هوشمند پایگاه داده ساخته‌شده باید به‌طور خودکار به‌روز شود و می‌تواند برای تسهیل اسناد، شفافیت و کمک در فرایند تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گیرد [28]، بااین‌حال طبق مطالعات صورت

گرفته پیرامون شهرهای هوشمند مهم‌ترین اهداف و مزایای مدل‌های شهر سه‌بعدی عبارت‌اند از:

- نقش مهمی در کنترل کیفیت، تداوم، مدیریت و ارائه خدمات دارد.
- از طریق سناریوی سه‌بعدی وضعیت کنونی، می‌توان سناریوهای پایدار و ابتکاری را بر اساس داده‌های فعلی شهر، برنامه‌های جاری توسعه داد.
- با ترکیب مدل‌های خروجی استاندارد با پایگاه داده سیستم اطلاعات جغرافیایی سه‌بعدی، به نقشه‌برداری از اثرات زیست‌محیطی و تحرک انرژی می‌پردازد.
- ایجاد یک پورتال تعاملی سه‌بعدی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مشارکت شهروندان و یک پنل پشتیبانی تصمیم در دولت‌شهر را تسهیل می‌کند تا برنامه ریزان و تصمیم‌گیرندگان در شهر دارای ابزارهایی باشند که امکان ارائه روشنی از پروژه‌ها و سناریوهای جدید برای توسعه شهری و به شهروندان نیز اجازه می‌دهد تا مشارکت کنند.

الزامات اساسی برای تبدیل هر شهر به شهر هوشمند سه‌بعدی باید شامل موارد زیر باشد:

- در دسترس بودن داده‌ها ازنظر دسترسی، کیفیت و دقت،
- در دسترس بودن کادر فنی واجد شرایط که می‌تواند داده‌ها را در اشکال مختلف به مدل‌های سه‌بعدی تبدیل کند
- در دسترس بودن سخت‌افزار و نرم‌افزار که برای ذخیره، پردازش، مدیریت و خروجی داده‌ها بسیار ضروری است،
- در دسترس بودن تمایل دولت برای پیاده‌سازی چنین مدل‌های سه‌بعدی [28]

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (بیم)

در دو دهه گذشته، کاربرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (بیم) به‌طور قابل‌ملاحظه گسترش‌یافته است و طی مراحل طراحی، برنامه‌ریزی و ساخت ساختمان‌های جدید برای مواجهه با این مسائل به پشتیبانی جنبه‌های مختلف در صنعت ساختمان منتقل‌شده است. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان ابزاری است به عنوان یک مدل آموزنده غنی و ازلحاظ معنایی یک پروژه را توسعه می‌دهد و می‌تواند در کل چرخه عمر پروژه مورداستفاده قرار گیرد. باوجود تمام مزایا و قابلیت‌های آشکار سیستم، هنوز یک شکاف تحقیقاتی قابل‌توجه در استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (بیم) درزمینه توسعه شهرهای هوشمند یا در همکاری با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (جی.آی.اِس.) وجود دارد. هر دو زمینه فاقد تلاش‌های تحقیقاتی فشرده برای برجسته کردن اهمیت استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان هستند. هیچ‌یک از تلاش‌های تحقیقاتی موردبررسی، استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را در توسعه شهرهای هوشمند یا توسعه افقی در مقیاس بزرگ ذکر نکرده‌اند [29]. همچنین یک بررسی کلی در مورداستفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان برای پروژه‌های زیرساختی انجام‌شده است که آن‌ها درمجموع 22 مقاله را از تعداد 259 مقاله موردبررسی قراردادند که به ترکیب مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای پروژه‌های زیرساختی می‌پردازد. آن‌ها تأکید کردند که تفاوت در ساختار شکست پروژه بین پروژه‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی منجر به چالش‌های عمده‌ای در ارتباط و همکاری بین دو سیستم می‌شود. یکی از اولین تلاش‌های تحقیقاتی، برای در نظر گرفتن اجرای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان برای اهداف شهرهای هوشمند بود [30]. این تحقیق مدل شهرهای هوشمند خود را بر اساس پیاده‌سازی مدل‌سازی اطلاعات حسگر (Information Modeling Sensing) در شبکه‌های زیربنایی مختلف و ساختمان‌های سراسر شهر ایجاد کرد. وی همکاری بین فناوری سنجش و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان از طریق اینترنت اشیا را پیشنهاد کرد و

بیان کرد که از طریق پیوند داده‌های حاصل از حسگرهای مختلف در سراسر شهر به مدل‌های نسبی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان آن‌ها، می‌توان سوابق الگوهای داده را تفسیر کرد و بینش جدیدی در مورد عملکرد شهر به دست آورد. تلاش‌های تحقیقاتی همچنین زبان نشانه‌گذاری جغرافیای شهر (CityGML) و زبان نشانه گذاری جغرافیای داخلی (IndoorGML) را به‌عنوان جایگزین احتمالی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در این فرآیند در نظر گرفت. مزایا و معایب هر سیستم مطرح شد و درنهایت یک چارچوب چندمنظوره پیشنهاد شد [31]. استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی از تصمیمات برای توسعه پایدار در مقیاس بزرگ در نظر گرفتند. دو ابزار برای کمک به این هدف ابداع‌شده است که شامل روش شناسی تدوین و ارزیابی استراتژی توسعه (DSFEM) و استراتژی شبیه سازی سیستم توزیع (DSS) است. هدف هر دو ابزار اجرای سناریوهای مختلف توسعه با استفاده از مدل‌های 4 بعدی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و پیش‌بینی تأثیر سناریوهای مختلف بر معیارهای مختلف بود. این ابزارها تأثیر برنامه ساخت‌وساز تأسیسات بر معیارهای توسعه بزرگ را برجسته می‌کند؛ و همچنین در آن ارزیابی جامع عملکرد انرژی شهری برای برنامه‌ریزی شهرهای هوشمند از طریق ادغام مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی پیش‌بینی‌شده است و داده‌های سطح ساختمان مربوط به عملکرد انرژی توسط مدل‌سازی اطلاعات ساختمان ارائه می‌شود، درحالی‌که داده‌های سطح زیرساخت توسط سیستم ازاطلاعات جغرافیایی به‌منظور غلبه بر محدودیت‌های توسعه افقی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان ارائه می‌شود. استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به‌طور گسترده درزمینه‌های دیگر مانند برنامه‌ریزی شهری، بهداشت عمومی و علوم اجتماعی از منظر صنعت معماری، مهندسی و ساختمان، به‌ویژه جمع‌آوری داده‌های عظیم، مدل‌سازی دقیق ریاضی برای تجزیه‌وتحلیل و ارزیابی هر مرحله از صنعت معماری، مهندسی و ساختمان (AEC)، کیفیت، هزینه، پیشرفت، ایمنی، مدیریت قرارداد و اطلاعات و هماهنگی بخش‌های مختلف موردنیاز است. [32] علاوه بر این، فرآیند برنامه‌ریزی اصلی توسعه شهری نیاز به همکاری ذینفعان مختلف شهر با زمینه‌های مختلف تخصص دارد. درنتیجه، توسعه یک مدل مدل‌سازی اطلاعات ساختمان یکپارچه برای تجسم و ارزیابی معیارهای متعدد می‌تواند درک آن‌ها را از اطلاعات پیچیده افزایش دهد و به ذینفعان اجازه دهد تا از توافقات سناریوهای مختلف استفاده کنند. بااین‌حال، همان‌طور که از ادبیات نشان داده‌شده می‌توان نتیجه گرفت، یک شکاف تحقیق واضح در استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای توسعه شهرهای هوشمند وجود دارد. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌تواند مزایایی را برای سیستم‌های مختلف شهری، ازجمله پروژه ساخت‌وساز و مدیریت دارایی به ارمغان آورد. اکنون چند برنامه کاربردی را بررسی می‌کنیم:

مدیریت راه‌های ترافیک شهر را می‌توان با استفاده از یک مدل اطلاعات ترافیک شهری توسط مدلسازی اطلاعات ساختمان، به‌طور مشترک با (سیستم اطلاعات جغرافیایی) مدیریت کرد تا به ترافیک کمک کند. داشتن یک مدل سه‌بعدی از جاده چندین مزیت دارد، ازجمله، برای مثال، شبیه‌سازی زهکشی در مرحله طراحی. این مدل همچنین تعیین می‌کند که آیا محدودیت‌های سرعت باید تنظیم شود تا جریان تردد هموار شود و آیا می‌توان سطح ازدحام را کنترل و تحلیل کرد. علاوه بر این، از طریق سیگنال‌های هشداردهنده، می‌توان به کاربران جاده در مورد خطرات موجود در جاده و ترافیک هشدار داد.

مدیریت آب شهرها دارای اجسام آبی (رودخانه‌ها، دریاها و غیره) هستند و چرخه آب شهری به‌طور فزاینده‌ای در برابر تغییرات آب‌وهوایی آسیب‌پذیر می‌شود. همچنین، آن‌ها دارای سیستم مدیریت فاضلاب و سیستم تأمین آب آشامیدنی

هستند. با توجه به اهمیت آبدر زندگ شهروندان بسیار مهم است که بتوان از مدل‌سازی در طراحی و ارزیابی رفتار زیرساخت‌های زهکشی، هم در تحولات جدید و هم در احیای زیرساخت‌های موجود آن ها استفاده کرد. سنگاپور، یکی از پیشگامان جهانی در مدل سازی اطلاعات ساختمان، اغلب خدمات طراحی و ساخت را برای پاسخگویی به تقاضای روزافزون خود و بهره‌مندی از مؤثرترین روش‌ها و ابزارهای موجود وارد کرده است.

با توجه به اولویت رشد اقتصادی در سنگاپور، شرکت های مستقر در سنگاپور با استفاده از دستورالعمل مدل سازی اطلاعات ساختمان و رویکرد آن که معکوس کردن واردات است، می توانند با همتایان بین‌المللی خود رقابت کنند. بنابراین، بسیار مهم است که مقامات دولتی/شهری به تصویب مدل سازی اطلاعات ساختمان در سرزمین‌های مربوطه خود نیاز داشته باشند؛ بنابراین مدل سه‌بعدی شهری قابل جستجوی آینده از نقاط قوت مدل‌های زیرساخت مدل سازی اطلاعات ساختمان موجود استفاده خواهد کرد. قابلیت همکاری مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی مدیریت یک منبع داده واحد، یعنی مدل شهر سه‌بعدی را ممکن می‌سازد. [26]

سیستم اطلاعات جغرافیایی (جی.آی.اِس.)

سیستم اطلاعات جغرافیای (جی.آی.اِس.) از سال 1960 توسعه یافت و در اواخر دهه 1980 به‌سرعت پیشرفت کرد. برنامه ریزان از فنّاوری سیستم اطلاعات جغرافیای در برنامه‌های مختلف استفاده می‌کنند مانند: کاربری زمین، محیط‌زیست، حمل‌ونقل و یا برنامه‌ریزی توسعه اقتصاد. [33] سیستم اطلاعات جغرافیایی (جی.آی.اِس.) سیستمی است که برای ذخیره، دست‌کاری، تجزیه‌وتحلیل، مدیریت و ارائه انواع داده‌های مکانی یا جغرافیایی طراحی‌شده است. این به کاربران امکان می‌دهد داده‌ها را تجسم، تجزیه‌وتحلیل و تفسیر کنند، روابط، الگوها و روندها را درک کنند. همچنین، در سال‌های اخیر، سیستم اطلاعات جغرافیای تقریباً در همه صنایع از سازمان‌های مختلف در اندازه‌های مختلف سود برده است. سیستم اطلاعات جغرافیای می‌تواند به‌عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری عمل کند زیرا شامل تمام ویژگی‌های موردنیاز برای یک سیستم اطلاعاتی است. از طرفی برای طراحی و برنامه‌ریزی یک اکوسیستم شهر هوشمند با تصمیم‌گیری هوشمندانه مورداستفاده قرار گیرد برای ارتباط افراد با اطلاعات و فناوری از تجزیه‌وتحلیل‌های مبتنی بر مکان استفاده می‌شود و به آن‌ها در بهبود کیفیت زندگی و انتخاب بهتر کمک می‌کند.

جی.آی.اِس. یک فناوری جدید نیست، اما در طول سال ها در حال تغییر و توسعه بوده است و امروزه برای برنامه ریزی شهری و منطقه ای ضروری است. این سیستم از یک پایگاه داده دیجیتالی تشکیل شده است که می تواند برای اهداف متعددی مورد استفاده قرار گیرد، که در آن مختصات مکانی نقطه مرجع مشترک هستند.

نکته مهم دیگر ادغام جی.آی.اِس. با فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) است که امکان تولید تحلیل های کمی و کیفی مناطق وسیع را فراهم می کند. این مفاهیم جنبه های مهمی را نشان می دهد، با توجه به اینکه یادآوری این نکته ضروری است که تمرکز بر برنامه ریزی و مدیریت قلمرو یکی از ارکان یک شهر هوشمند است. بنابراین، مهم است که رابط‌های مختلف جی.آی.اِس. را به فرآیندهای ایجاد یک شهر هوشمند مرتبط کنیم. [34]

مشکلات اصلی مربوط به ادغام بیم-جی.آی.اِس.

در حال حاضر، بزرگترین چالش برای استفاده از قابلیت همکاری بین بیم و جی.آی.اِس. همگرایی اطلاعات است. از آنجایی که آنها طبق استانداردهای مختلف ایجاد می شوند، خطر از دست دادن و خرابی هنگام ورود و خروج داده ها وجود دارد. زبان استاندارد مورد استفاده توسط سیستم های جی.آی.اِس. ، زبان نشانه گذاری جغرافیایی (جی‌آم‌ال) است که توسط ISO 19136:2007 استاندارد شده است. همانطور که توسط [35] گزارش شده است، (جی‌آم‌ال) یک کدگذاری در ایکس‌ام‌ال برای انتقال و ذخیره اطلاعات

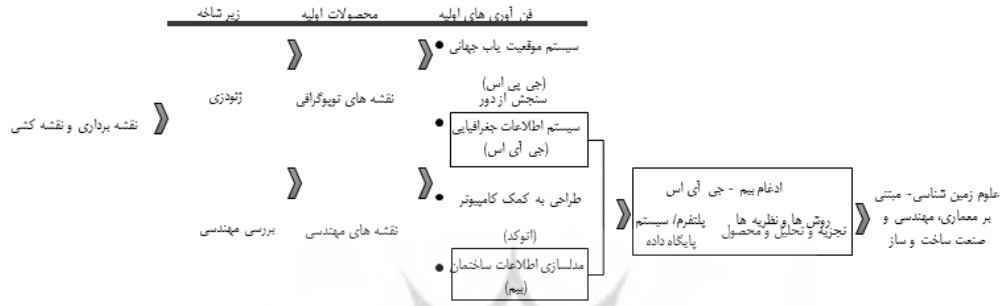
جغرافیایی، از جمله ویژگی‌های مکانی و غیر مکانی ویژگی‌های جغرافیایی است. درInfraGML جی‌اِم‌اِل و سیتی‌جی‌اِم‌اِل هستند که به مدل‌سازی زیرساخت‌ها و پل‌ها مربوط می‌شوند. زبان مورد استفاده در نرم‌افزارهای بیم، کلاس‌های بنیاد صنعتی (آی‌اِف‌سی) است که به‌عنوان «مدل داده‌ای که به دنبال نمایش تمام اجزا یا اشیاء مرتبط با محیط ساخته‌شده» تعریف شده است. این امکان انتقال مدل ها را بین نرم افزارهای مختلف بیم موجود در بازار فراهم می کند. به گفته نویسندگان، این زبان «شامل 766 موجودیت است که از خصوصیات مکانی که باید انجام شود تا عناصری که نمایانگر دیوارها و پنجره‌های یک ساختمان هستند را شامل می‌شود. هر دو سیستم می توانند در پیشنهادات خود کارآمد و پیچیده باشند، اگرچه تفاوت هایی وجود دارد که ارتباط بین آنها را سخت تر می کند. [34] علیرغم این چالش، برخی از مطالعات در مورد این موضوع در رابطه با تبدیل زبان آی‌اِف‌سی سیستم های اطلاعاتی ساختمان به یک مدل سطحی جی.آی.اِس.از طریق انتقال اطلاعات هندسی سطح بالا و اطلاعات معنایی به دست آمده از بیم برای یک محیط جغرافیایی بسیار امیدوارکننده بود.

همان نویسندگان نشان می‌دهند که توسعه‌دهندگان مختلف در حال حاضر روی یک مدل ساخت‌وساز واحد کار می‌کنند که سیتی‌جی‌اِم‌اِل و آی‌اِف‌سی را در خود جای داده است. از این نظر، نکته دیگری که مفید خواهد بود، «ایجاد یک مفهوم سازی مشترک از سی‌آی‌اِم است که به تحقیقات و پلتفرم های متعدد در حال توسعه اجازه می دهد تا با پایگاه های مشترک ارتباط برقرار کنند، بنابراین شرایط اضطراری می تواند به شیوه ای سیستمی رسیدگی شود». [34]

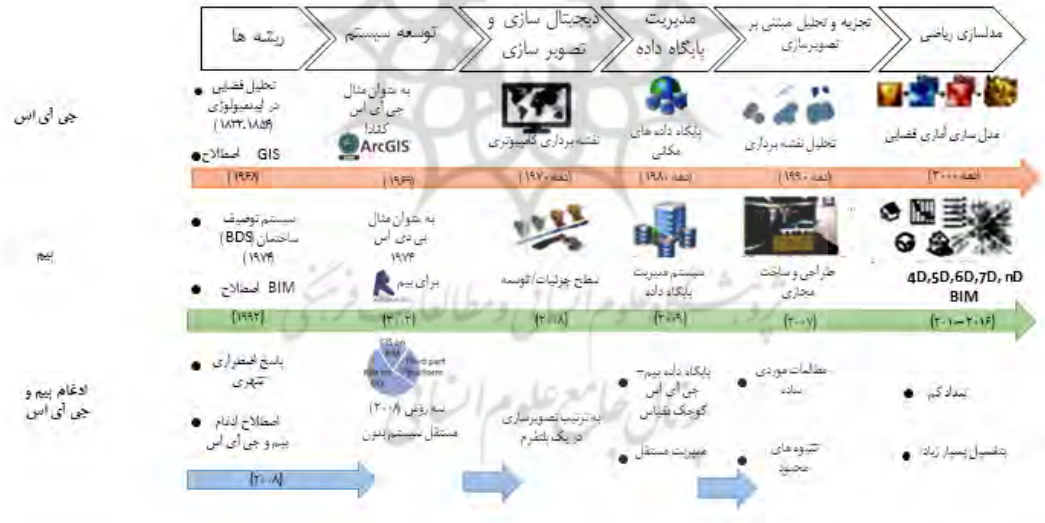
مزایای ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی

ادغام مدل سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل قابلیت‌های آن در یکپارچه‌سازی داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل کمی، کاربرد فناوری‌ها و مدیریت شهری، پشتیبانی قوی از شهر هوشمند است. طی ده سال گذشته، ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات مکانی در موارد متعددی مانند تجسم مدیریت زنجیره تأمین ساختمان، واکنش اضطراری، ارزیابی و مدیریت انرژی شهری، حفاظت از میراث، سازگاری آب‌وهوا و ارزیابی زیست‌محیطی اعمال شده است. [32] ادغام سیستم اطلاعات جغرافیایی با سیستم اطلاعات ساختمان، امکان ارزیابی یک پروژه ساختمانی در بافت شهری آن را فراهم می‌آورد و به بسیاری از برنامه‌های مدیریت شهری هوشمند اجازه می‌دهد. این بدان معناست که داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سازی اطلاعات ساختمان در شهرهای هوشمند و پایدار در همه مراحل نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای دارند. مدل‌های سه‌بعدی شهر بخشی جدایی‌ناپذیر از تلاش‌ها برای تبدیل شهر سنتی به شهر هوشمند از طریق فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات است. [28] (شکل 4) تاریخچه ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات مکانی را از دیدگاه نقشه‌برداری نشان می‌دهد. سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سازی اطلاعات ساختمان محصول دیجیتالی شدن زیرشاخه نقشه‌برداری، زمین‌شناسی و بررسی مهندسی هستند. عملکرد مرکزی سیستم اطلاعات جغرافیایی تجزیه‌وتحلیل الگوها و کشف روابط داده‌های فضایی است که عمدتاً با روش‌های ژئودزی جمع‌آوری می‌شوند. یکی از محصولات اولیه کار زمین‌شناسی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های بزرگ فضایی است که مشخصات زمین، زیرساخت‌ها، ساختمان‌ها و پوشش زمین را نشان می‌دهد. پس از دیجیتالی شدن نقشه‌های توپوگرافی، داده‌های فضایی که ویژگی‌های طبیعی را نشان می‌دهند به لایه‌های داده سیستم اطلاعات جغرافیایی تبدیل می‌شوند بعلاوه، به دلیل قابلیت تجزیه‌وتحلیل فضایی، سیستم اطلاعات جغرافیایی به علم و سیستمی برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های فضایی و درک عمیق و جامع از فرایند طبیعی تبدیل می‌شود.

در مقایسه با سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل سازی اطلاعات ساختمان هنوز نسبتاً جوان است و در درجه اول به‌عنوان یک پلت فرم مشارکتی عمل می‌کند و برای درک عمیق و به‌کارگیری مدلسازی اطلاعات ساختمان در صنعت مهندسی معماری و ساختمان (AEC) نیاز به تلاش بیشتری است. مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی یکپارچه در مرحله اولیه است و در سه سال گذشته به‌سرعت درحال‌توسعه است. به‌طورکلی، سیستم اطلاعات مکانی و (مدلسازی اطلاعات ساختمان) شش مرحله تکامل اولیه را تجربه کرده‌اند: منشأ، توسعه سیستم، دیجیتالی سازی و تجسم، مدیریت پایگاه داده، تجزیه‌وتحلیل مبتنی بر تجسم و مدل‌سازی ریاضی



شکل4: تاریخچه ادغام بیم-جی.آی.اِس. از دیدگاه نقشه‌برداری [32]



شکل5: مقایسه پیشرفت‌های تکاملی (جی.آی.اِس.)، (بیم) و بیم-جی.آی.اِس. یکپارچه [32]

مدل سازی اطلاعات ساختمان از نهادهای معماری و محیط‌زیست بر بازنمایی ساختمان‌ها در سطح خرد تمرکز دارد و سیستم اطلاعات جغرافیایی نمایندگی سطح کلان را فراهم می‌کند. علاوه بر این ترکیب آن‌ها می‌تواند یک دید کلی از یک محیط ساخته‌شده بر اساس داده‌های یکپارچه که بر پایه توسعه و انتقال صنایع معماری و مهندسی ساخت‌وساز در دوران دیجیتال قرار دارد ایجاد کنند. [35] ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات مکانی به دلیل توانایی در کاربرد فناوری‌ها، ادغام داده‌ها، مدیریت شهری و توان تجزیه‌وتحلیل، بستری حیاتی در توسعه پایدار یک شهر هوشمند است. (مدلسازی اطلاعات ساختمان) و سیستم اطلاعات مکانی برای اهداف مختلف بر روی بسترهای

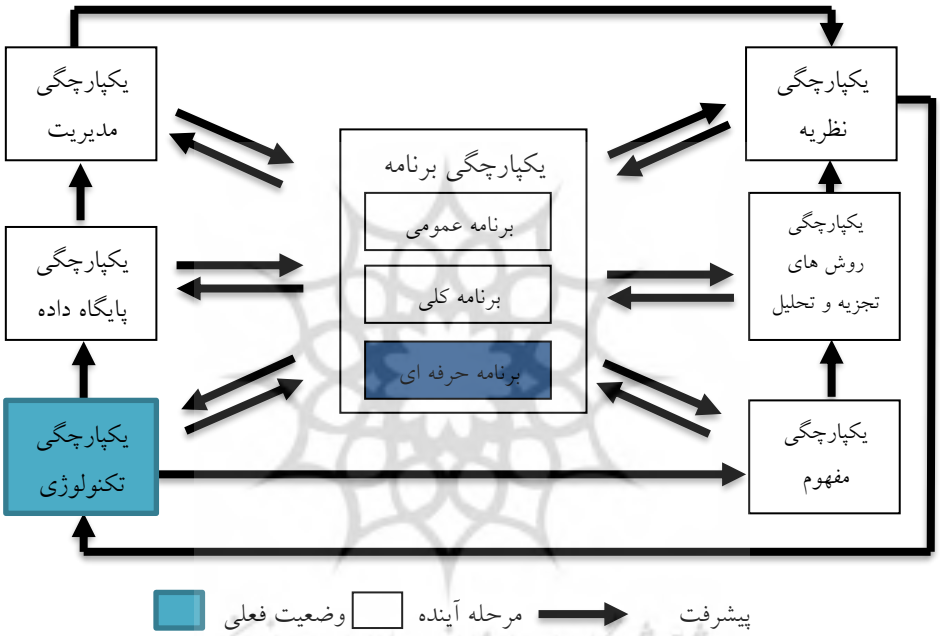
مختلف طراحی‌شده‌اند که باهم از طریق تبادل اطلاعات تکمیل‌شده‌اند. در همین حال، تعداد کمی از مطالعات درباره مسائل مربوط به مدیریت پایگاه داده مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی بحث می‌کنند و مجموعه داده‌های مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات مکانی به‌طور مستقل مدیریت می‌شوند. بااین‌حال، هنوز تعداد محدودی از موارد موردی عملی وجود دارد که از این ادغام پشتیبانی شده باشد. یک مشکل اساسی در ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی این است که تجزیه‌وتحلیل و تصمیم‌گیری یکپارچه مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی هنوز در مرحله اولیه است.

شکل6: موارد انتخاب‌شده از گردش کار جی.آی.اِس. در چرخه عمر زیرساخت

بنابراین، تحقیقات مختلف و تلاش‌های تجاری برای ادغام برجسته‌ترین مدل‌های معنایی در مدل سازی اطلاعات ساختمان و کاربردهای زمین فضایی آغازشده است. یک الزام اساسی برای گردش کار مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی ادغام مدل‌های بیم در سیستم‌های جی.آی.اِس. است. طبق مطالعات ادغام بیم و جی.آی.اِس. فرآیند آمیختن مدل سازی اطلاعات ساختمان به لایه‌هایی از زمینه مکانی است؛ بنابراین، طراحان می‌توانند از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای به دست آوردن دقیق‌ترین اطلاعات در مورد برخی مناطق که در آن ساخت‌وساز انجام می‌شود، استفاده کنند. برای مثال اگر منطقه مستعد سیل باشد، طراحان در مورد آن اطلاعات کسب می‌کنند و بر مصالح ساختمانی، جهت‌گیری، موقعیت مکانی و غیره تأثیر می‌گذارند. روش‌های مختلف ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای حل مشکلات مختلف پیشنهادشده است برای الگوی ادغام، بیش از نیمی از محققان ترجیح می‌دهند داده‌ها را از مدل سازی اطلاعات ساختمان به سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج کنند و دیگران داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی را با مدل سازی اطلاعات ساختمان ادغام می‌کنند یا داده‌های مدل سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی را در یک پلت فرم شخص ثالث ادغام می‌کنند.

شکل7: گردش کار بیم و جی.آی.اِس. شهرهای هوشمند

علاوه بر فقدان تجزیه و تحلیل عمیق و مدل‌سازی ریاضی، هنوز جای خالی زیادی برای ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی آینده وجود دارد (شکل 7). در درجه اول هفت مرحله از ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی شامل فناوری، پایگاه داده، مدیریت، مفهوم، روش‌های تجزیه‌وتحلیل، ادغام نظریه و ادغام کاربرد فناوری برای این امر است که چگونه می‌توان هر دو سیستم را از جنبه‌های تکنولوژیکی مانند استفاده از مدل‌های طبقه بندی بنیاد صنعت (آی‌اِف‌سی) و زبان نشانه‌گذاری جغرافیای شهر (سیتی‌جی‌اِمِل) ادغام کرد. این مدل‌های معنایی به ترتیب رده‌های بنیاد صنعت (آی‌اِف‌سی) و زبان نشانه‌گذاری جغرافیای شهر (سیتی‌جی‌اِمِل) هستند. اشتراک‌گذاری و تبادل اطلاعات فضایی در رشته‌های مختلف نیروی محرکه اصلی توسعه فناوری و کاربردهای فضایی در دهه گذشته بوده است. برنامه‌های مدل‌سازی سه‌بعدی شهر یکی از مهم‌ترین محصولات این توسعه است. بااین‌حال، از دیدگاه فنی، ساخت برنامه‌های شهری سه‌بعدی مستلزم استانداردهای ارتباطی مشترک بین مدل‌های طراحی با تمرکز بر کاربردهای صنعت ساختمان و برآوردن الزامات صنعت معماری، مهندسی و ساختمان (AEC) و مدل‌های دنیای واقعی (به‌عنوان اطلاعات زمین فضایی) است. از طرفی ادغام پایگاه داده پیوسته، تعامل و ادغام داده‌ها از مدل سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. ادغام مدیریت، عبارت است از مدیریت مشارکتی آثار، داده‌ها و اطلاعات و سیستم‌ها، ادغام مفهومی این است که اصطلاحات، تعاریف و ایده‌های حرفه‌ای را از هر دو زمینه پیوند دهد. ادغام روش‌های تجزیه‌وتحلیل امکان استفاده از روش‌های متقابل و روش‌های جدید درزمینه صنعت معماری، مهندسی و ساختمان (AEC) را فراهم می‌آورد و ادغام نظریه توسط اهداف علمی شامل فناوری‌ها، داده‌ها و اطلاعات، مفاهیم، روش‌ها و مدیریت هدایت می‌شود. در شش مرحله ادغام فوق، ادغام فناوری سیستم‌ها می‌تواند توسعه ادغام مفهوم و پایگاه داده را ارتقا دهد. توسعه یکپارچه‌سازی پایگاه داده ادغام مدیریت را بهبود می‌بخشد. در همین حال، ادغام مفهومی ادغام روش‌های تجزیه‌وتحلیل را ترویج می‌کند. ادغام هر دو روش مدیریت و تجزیه‌وتحلیل می‌تواند به توسعه ادغام نظریه کمک کند که به‌نوبه خود می‌تواند ادغام فناوری سیستم‌ها را بهبود بخشد. علاوه بر این، ادغام برنامه‌ها برای اعمال نتایج فوق در برنامه‌ها، ازجمله برنامه‌های حرفه‌ای متخصصان و برنامه‌های عمومی محققان صنعت معماری، مهندسی و ساختمان (AEC) و برنامه‌های همگانی شرکت‌کنندگان عمومی است به‌طورکلی سه فرضیه را برای روندها و فرصت‌های آینده ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی در صنعت معماری، مهندسی و ساختمان (AEC) ارائه‌شده، شامل فرضیه فناوری (یکپارچگی نرم)، فرضیه علم (ادغام محکم) و فرضیه منبع داده است. [32]



شکل8: روابط بین مراحل تکامل فعلی و آینده ادغام بیم-جی.آی.اِس. [32]

رده‌های بنیاد صنعت (آی‌اِف‌سی) سپس به‌عنوان استاندارد مدل مرجع برای صنعت ساختمان توسعه‌یافته است. استاندارد رده‌های بنیاد صنعت (آی‌اِف‌سی) فقط نشان‌دهنده و مدل سازنده اجزای ساختمان نیست. این برنامه فرایندهای پیشرفته و تجزیه‌وتحلیل‌های مختلف را بر اساس روابط فضایی بین این اجزا پشتیبانی می‌کندزبان نشانه‌گذاری جغرافیای شهر با پیاده‌سازی آن به‌عنوان یک طرح کاربردی برای زبان نشانه‌گذاری جغرافیا 3 (جی‌اِم‌اِل 3)، برای مدل‌سازی فضای باز در سطوح مختلف جزئیات مناسب‌تر است. با توجه به توانایی آن‌ها در مدل‌سازی اجسام فضایی با توجه به موجودیت‌ها ویژگی‌های هندسی و غیر فضایی، امروزه رده‌های بنیاد صنعت (آی‌اِف‌سی) و زبان نشانه‌گذاری جغرافیای شهر (سیتی‌جی‌اِم‌اِل) به‌عنوان دو مدل برجسته معنایی برای نمایش طراحی و اجسام شهرهای جهان واقعی شناخته می‌شوند. نویسندگان یک تصویر جامع‌تر از چرخه عمر زیرساخت (شکل) نشان می‌دهند که چه تعداد از

فعالیت‌های مرتبط با مدلسازی اطلاعات ساختمان به داده‌های فضایی برای راه‌حل بیشتر (منطقه بیرونی) نیاز دارند. این ارتباط به همه رشته‌های مربوط به انجام فعالیت‌ها در 5 مرحله برنامه و طراحی، اجرا، مدیریت (بهره‌برداری و نگهداری) و بازسازی مربوط می‌شود.

برخی از مزایای سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سازی اطلاعات ساختمان ادغام‌شده است:

- حذف افزونگی داده‌ها
- انتقال داده‌ها به‌طور یکپارچه بین مراحل طراحی و مراحل ساخت
- افزودن زمینه مکانی مؤثرتر به فرآیند مدل سازی اطلاعات ساختمان
- کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در هزینه
- طرح‌های بهتر و بهتر
- ذخیره در سیستم ابری برای بهبود مدیریت داده در هر محیطی
- استفاده مجدد از آن‌ها در صورت لزوم
- حذف نیاز به تبدیل داده‌ها برای استفاده در زمینه‌های دیگر
- استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی با یک هدف ساده افزایش کارایی کل فرآیند طراحی و ساخت یک عنصر فضایی کاملاً جدید را به این فرآیند ساخت‌وساز صنعتی هوشمند و ابتکاری وارد می‌کند. تلفیق مدل سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند برای مدیریت شهری هوشمند و مدیریت بهینه پروژه‌های شهری مفید واقع شود.

جدول 4: حوزه های اقدام در ادغام بیم_جی.آی.اِس. [34]

حوزه اقدام	کاربرد
یکپارچه سازی داده ها	ادغام بیم- جی.آی.اِس. امکان یکسان سازی کلان داده ها را در فرآیندهای برنامه ریزی و نظارت فراهم می کند، بنابراین راه حل ها را برای مشکلات احتمالی و موقعیت های پیش بینی نشده ای که ممکن است در طول و بعد از ساخت و ساز رخ دهد، بهینه می کند.
حکمرانی شهری	نمایش اطلاعات در مدل‌های سه‌بعدی ساخت‌وسازها و قلمروی که در آن رخ می‌دهند، تجزیه و تحلیل بلایای طبیعی احتمالی را پیش از موعد قابل اجرا می‌کند، مانند سیل که می‌تواند به ساختمان‌ها آسیب برساند و خطری برای جمعیت باشد.
چرخه عمر پروژه های AEC (معماری، مهندسی و ساخت و ساز)	ادغام بیم – جی.آی.اِس. در طول چرخه عمر یک پروژه AEC اعمال می شود که در آن برنامه ریزی و مدیریت دامنه به طور کامل انجام می شود و کنترل دستور کار مالی فیزیکی، بررسی کامل مواد و موارد را پوشش می دهد. شبیه سازی کل فرآیند ساخت و ساز، اجتناب از موقعیت های احتمالی دوباره کاری.
بهره وری انرژی	در مرحله برنامه‌ریزی شرکت، روش‌های قابل اعتماد مختلفی شبیه‌سازی شده و در رابطه با کارایی انرژی آن‌ها تأیید می‌شود. استفاده از(چارچوب توصیف منابع) می تواند به طور موثر داده های انرژی خاص ساخت و ساز را تعیین کند

نحوه تلفیق بیم و جی.آی.اِس.

مطالعه‌ای بر روی روش‌های یکپارچه‌سازی جی.آی.اِس. و بیم با انتخاب پارامترهای ، توسعه‌پذیری، اثربخشی و انعطاف‌پذیری بیان می‌کند که وب معنایی راه‌حل بسیار امیدوارکننده‌تری برای ادغام آنها در مقایسه با روش‌های دیگر است. بیم می تواند منبع امیدوار کننده ای از مدل های ساختمانی سه بعدی برای جی.آی.اِس. باشد. با این حال، مشکل تبدیل داده از مدل های بیم در جی.آی.اِس. به یک

نقطه حساس (نقطه عطف) تبدیل شده است اگر بتوان مشکل تبدیل داده ها را به خوبی حل کرد، مطالعات در مورد شهر هوشمند و دوقلو دیجیتال می تواند تسهیل شود. تکنیک های گرافیک کامپیوتری در رفع این مشکل امیدوار کننده هستند. گرافیک کامپیوتری با نمایش گرافیک بر روی صفحه کامپیوتر، تنها با استفاده از نقاط، لبه‌ها و چهره‌های صریح سروکار دارد. با توجه به این واقعیت که مدل های آی‌اِف‌سی حاوی هندسه های ضمنی، می توانند در نهایت نمایش داده شوند، منطقی است که فرض کنیم این هندسه های ضمنی به نوعی توسط تکنیک های گرافیک کامپیوتری به هندسه های صریح تبدیل شده اند. اگر بتوان این نقاط، لبه ها و چهره های تولید شده توسط تکنیک های گرافیک کامپیوتری را بازیابی و تفسیر کرد، می توان آنها را در یک قالب حفظ کرد و در جی.آی.اِس. استفاده کرد.

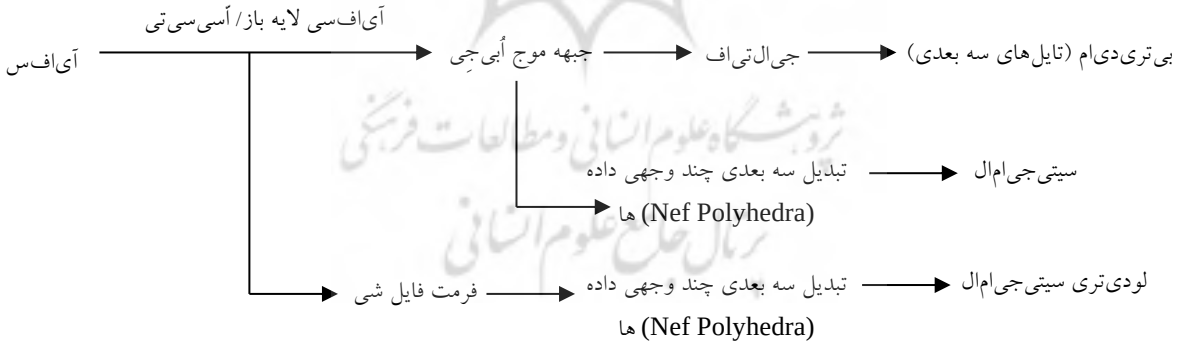
تبدیل داده های بیم به جی.آی.اِس.: مدل های بیم از اطلاعات هندسی و اطلاعات معنایی تشکیل شده است و هندسه اطلاعاتی را در مورد شکل، اندازه و مکان اشیاء ارائه می دهد، در حالی که معناشناسی اطلاعاتی را در مورد ویژگی های اشیاء، مانند نوع کلاس، ماده و توابع ارائه می دهد. این دو نوع اطلاعات برای یکپارچگی مدل های بیم ضروری هستند. بر این اساس، تبدیل داده‌ها از بیم به جی.آی.اِس. معمولاً شامل دو جنبه است، یعنی تبدیل هندسه و انتقال معنایی. به طور کلی، وظایف زیر را می توان در تبدیل داده ها درگیر کرد: تبدیل نمایش و تبدیل مختصات. تفاوت در الگوی مدل سازی بین بیم و جی.آی.اِس. ،تبدیل مختصات عناصر ساختمان از سیستم مختصات محلی آن به سیستم مختصات جهانی پروژه آی‌اف‌سی اشاره دارد. این به دلیل استفاده از قرارگیری نسبی در آی‌اف‌سی ضروری است. ارجاع جغرافیایی نوع دیگری از تبدیل مختصات است که مختصات را از سیستم مختصات جهانی پروژه آی‌اف‌سی به یک سیستم مرجع مختصات مرتبط با زمین فیزیکی تبدیل می کند. مرجع جغرافیایی مدل های بیم را می توان با سایر مجموعه داده های فضایی در جی.آی.اِس. ادغام کرد. اطلاعات معنایی نوع دیگری از اطلاعات مهم در بیم است که باید به درستی به جی.آی.اِس. منتقل شود. سیتی‌جی‌اِمِال و Shapefile به طرق مختلف با این کار مقابله می کنند. سیتی‌جی‌اِمِال یک مدل داده معنایی است، به این معنی که کلاس هایی را برای ساخت اجزا و رابطه بین آنها تعریف می کند. این کلاس ها باید با کلاس های آی‌اف‌سی نگاشت شوند تا اطلاعات معنایی به درستی منتقل شود. در مقابل، Shapefile یک استاندارد/فرمت داده ابتدایی‌تر است که در آن نیازی به نگاشت کلاس نیست. در عوض، معنای آی‌اف‌سی را می توان مستقیماً به ارث برده و به عنوان جداول ویژگی در Shapefile ذخیره کرد.

تبدیل آی‌اِف‌سی به سیتی‌جی‌اِمِال: تبدیل آی‌اِف‌سی به سیتی‌جی‌اِمِال باید با وظایف تبدیل بیشتری سر و کار داشته باشد و برخی از آنها هم در تبدیل هندسه و هم در انتقال معنایی بسیار چالش برانگیز هستند. تبدیل هندسه برای مسیر آی‌اِف‌سی به سیتی‌جی‌اِمِال دشوارتر از مسیر آی‌اِف‌سی به Shapefile است،زیرا شامل تغییر الگوی مدل‌سازی (از مدل‌سازی جامد به مدل‌سازی سطح) و تبدیل سطح جزئیات (LoD) است. . بسیاری از مطالعات تلاش کرده اند تا به مسئله تبدیل هندسه بپردازند. به عنوان مثال، در مطالعه دنگ و همکاران(16) ، روش‌هایی برای تولید سطوح از پارامترهای آی‌اِف‌سی برای مدل‌های LoD_1 تاLoD_4 توسعه داده شد. کانگ و همکاران(17, 18) از تکنیک چند پردازشی مبتنی بر اسکن بافر صفحه (SB-MP) برای تولید مدل‌های LoD_1 به LoD_4 سیتی‌جی‌اِمِال استفاده کردند، و دانکرز و همکاران. [39] یک رویکرد خودکار برای تولید مدل های LoD_3 سیتی‌جی‌اِمِال از مدل های آی‌اِف‌سی با استفاده از یک سری عملیات هندسی، مانند اتساع و فرسایش، توسعه داده است.

تبدیل آی‌اِف‌سی به Shapefile: در مقابل، مسیر آی‌اِف‌سی بهShapefile به چهار دلیل برای تبدیل داده های بیم به

جی.آی.اِس. کارآمدتر است. اولاً، وظایف تبدیل کمتر و آسان‌تری در تبدیل آی‌اِف‌سی به شکل فایل وجود دارد. برای مثال، تبدیل چالش برانگیز جامد به سطح و نگاشت کلاس، که برای تبدیل آی‌اِف‌سی به سیتی‌جی‌اِمال اجباری است، توسط تبدیل آی‌اِف‌سی به Shapefile مورد نیاز نیست. از این نظر، تبدیل داده ها از بیم به جی.آی.اِس. را می توان به روشی ساده تر تکمیل کرد. دوم، پشت ShapeFile، سیستم‌های جی.آی.اِس. بالغ، مانند آرک جی.آی.اِس. رایج، قرار دارند. این سیستم ها دارای ظرفیت مدیریت داده و تجزیه و تحلیل قوی هستند که شکل فایل را برای استفاده عملی آماده می کند، در حالی که مدل های سیتی‌جی‌اِمال ابتدا باید قبل از استفاده در Arcجی.آی.اِس. تبدیل شوند. سوم، از نظر خود ShapeFile، ShapeFile هم از مدل‌های جامد و هم از مدل‌های سطحی پشتیبانی می‌کند، که باعث می‌شود شکل فایل بتواند هندسه 3 بعدی آی‌اِف‌سی را تطبیق دهد، و تکنیک پایگاه داده رابطه‌ای در پشت ShapeFile آن را قادر می‌سازد تا اطلاعات معنایی آی‌اِف‌سی را ذخیره، گسترش دهد و پرس و جو کند.

تکنیک گرافیک کامپیوتری در یکپارچه سازی داده های بیم به جی.آی.اِس.: مفاهیم انواع نمایش مانند B-Rep و CSG که توسط آی‌اِف‌سی استفاده می شود، در اصل از حوزه هایی مانند کَد ، هندسه محاسباتی و گرافیک کامپیوتری است. این حوزه ها با ایجاد و تجسم مدل های سه بعدی با استفاده از رایانه سروکار دارند. از منظر گرافیک کامپیوتری، هندسه‌های صریح برای تجسم مورد نیاز است، که مستلزم آن است که هندسه‌های ضمنی در آی‌اِف‌سی ، مانند Swept Solid و CSG، به نقاط، لبه‌ها و چهره‌های صریح تبدیل شوند. این فرآیند به عنوان تسلاسیون، مثلث سازی یا ارزیابی مدل نامیده می شود. ابزارهایی مانند فناوری Open CASCADE، (OCCT) برای این منظور توسعه یافته است. OCCT که یک کیت توسعه نرم افزار منبع باز است که در زمینه (CAD) ، ساخت به کمک کامپیوتر (CAM) و مهندسی به کمک کامپیوتر (CAE) استفاده می شود. [40]



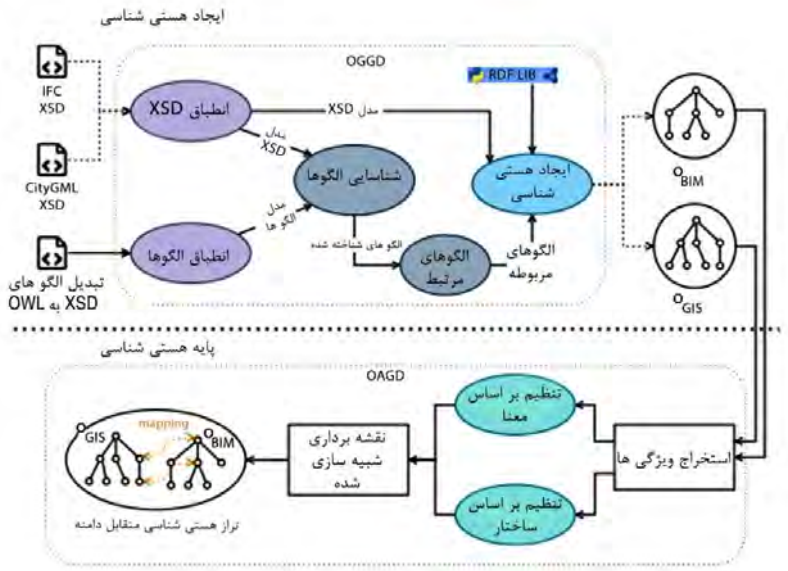
شکل 9: OCCT/IFC OpenShell در تبدیل داده های بیم به جی.آی.اِس. توسط مطالعات پیشین [40]

مطالعات صورت گرفته [41] یک چارچوب مفهومی جامع برای تولید هستی‌شناسی خودکار به دنبال هم‌ترازی هستی‌شناسی استانداردهای باز برای قالب‌های داده بیم و جی.آی.اِس. پیشنهاد می‌کند. این یک رویکرد مبتنی بر الگوهای تبدیل برای تولید خودکار مدل‌های هستی‌شناسی، و تکنیک‌های تراز مبتنی بر معنایی و ساختاری برای تشکیل هستی‌شناسی متقابل دامنه ارائه می‌کند. چارچوب دو فازی پیشنهادی، تولید مدل هستی‌شناسی را برای طرح‌واره‌های XML ورودی (یعنی فرمت‌های آی‌اِف‌سی و سیتی‌جی‌اِمال) فراهم می‌کند، و تکنیک هم‌ترازی را برای توسعه بالقوه یک

هستی‌شناسی متقابل دامنه نشان می‌دهد. این مطالعه نتیجه می‌گیرد که نتایج پیش‌بینی‌شده هستی‌شناسی متقابل دامنه می‌تواند دیدگاه‌های آینده را در کاربردهای کشف دانش و تبادل اطلاعات یکپارچه برای بیم و جی.آی.اِس. فراهم کند.

وضعیت هنر: تولید و تراز هستی شناسی: فرآیند توسعه هستی شناسی پیچیده است، با رویکردهای عمدتا دستی، بیان معنای صحیح داده ها در یک بازنمایی هستی شناختی خود مستلزم دانش این حوزه است. با توجه به تولید هستی شناسی برای ادغام فرمت های بیم و جی.آی.اِس.، چارچوب ها به طور گسترده در دسترس نیستند. عمدتاً از رویکرد دستی یا نیمه خودکار برای تولید مدل‌های هستی‌شناسی پیروی می‌کنندو در برخی موارد، یک هستی‌شناسی مرجع برای یکپارچه‌سازی بیم و جی.آی.اِس. ایجاد می‌شود . علاوه بر این، برای به هم پیوستن موجودیت‌ها (مفاهیم) بین هستی‌شناسی‌ها، مدل‌های هستی‌شناسی قالب‌های داده ناهمگن به تکنیک‌های نگاشت برای به دست آوردن هستی‌شناسی یکپارچه بین دامنه‌ای برای تحلیل اطلاعات و کاربردهای نمودار دانش نیاز دارند. تراز هستی شناسی، که به آن نگاشت هستی شناسی نیز گفته می شود، کلید دستیابی به قابلیت همکاری در هستی شناسی های متقابل دامنه است فرمت های داده XML بیم و جی.آی.اِس.، IFCXML و سیتی‌جی‌اِم‌اِل به ترتیب، بازنمایی ناهمگنی دارند، از این رو، هستی شناسی آنها توزیع شده است. بنابراین، لازم است قبل از پردازش اطلاعات در این حوزه ها، همسویی بین آنها پیدا شود. تراز هستی شناسی برای چندین سال با مطالعات تخصصی مورد بررسی قرار گرفته است تا به ادغام رسمی هستی شناسی ها یا پایگاه های دانش در حوزه های مختلف کمک کند. این رویکردها عموماً به مطالعات مبتنی بر پیکره محدود می‌شوند، که مستلزم بررسی بیشتر دانش هم‌ترازی برای موجودیت‌های خاص ساختمان و حوزه جغرافیایی است، زیرا اکثر رویکردهای اقتباس‌شده برای هم‌ترازی هستی‌شناسی جغرافیایی یا دستی هستند یا در نقشه‌برداری از موجودیت‌ها وجود ندارند.

از طرفی یک چارچوب مفهومی (شکل 10) به عنوان ترکیبی از فرآیندها و الگوریتم‌های متعدد برای دستیابی به اهداف معاصر ترسیم شده است – که در دو مرحله تعریف شده است: تولید هستی‌شناسی و هم‌ترازی هستی‌شناسی فرمت‌های داده بیم و جی.آی.اِس.. برای مرحله اول، این مطالعه از کارهای قبلی به دنبال تولید هستی شناسی برای داده های مکانی (OGGD) برای تولید مدل های هستی شناسی در قالب زبان هستی شناسی وب (OWL) از سند طرحواره XML (XSD) استفاده می کند. [41] در مرحله دوم، یک رویکرد نوآورانه تراز هستی شناسی برای داده های مکانی (OAGD) معرفی می شود که شامل تکنیک تراز معنایی و ساختاری با استفاده از هستی شناسی های بیم و جی.آی.اِس. تولید شده در فاز قبلی است.



شکل 10: چارچوبی برای تولید و تراز هستی شناسی [41]

نقش مدل سازی اطلاعات ساختمان (بیم) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (جی.آی.اِس.) در شهر هوشمند: سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند انواع مختلفی از اطلاعات را در مورد یک ساختمان مانند طرح‌های مربوط به اجزای ساختمان، اطلاعات المان‌های بکار رفته، نوع منطق سایت سازه، شرایط جغرافیایی و توپوگرافی منطقه، طرح تفضیلی منطقه و غیره را نگهداری کرده و با سایر سامانه‌های اطلاعاتی و پایگاه‌های داده تلفیق شود. در فرایند مدیریت اطلاعات ساختمان، اطلاعات مربوط به فاکتورهای زیادی می‌بایست در نظر گرفت شوند. این فاکتورها تنها محدود به فاکتورهای اقتصادی نمی‌شوند بلکه فاکتورهای اجتماعی و زیست‌محیطی را نیز در برمی‌گیرند. مدل‌سازی چنین سامانه‌های پیچیده‌ای نیاز به شبیه‌سازی، بودجه‌بندی، تجزیه‌وتحلیل اثرات زیست‌محیطی و استفاده از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری دارد. این مسئله ضرورت ادغام مدل سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی را در یک محیط سه‌بعدی کامل روشن می‌سازد. در ساخت یک ساختمان با توجه به نیاز ساختمان به مصالح و تأمین‌کنندگان باید میزان این نیاز و هزینه‌های آن اندازه‌گیری شود که مدل سازی اطلاعات ساختمان قادر به انجام آن نیست، به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند مدیریت زنجیره‌ی تأمین را با نشان دادن مکان تأمین‌کنندگان و میزان فاصله‌ی آن‌ها و اطلاعاتی از این قبیل، تسهیل کند. در ساخت یک ساختمان با توجه به نیاز ساختمان به مصالح و تأمین‌کنندگان باید میزان این نیاز و هزینه‌های آن اندازه‌گیری شود که مدل سازی اطلاعات ساختمان قادر به انجام آن نیست،

برای درک موارد استفاده بر اساس مدل سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی، قابلیت همکاری مؤثر بین سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سازی اطلاعات ساختمان باید توسط یک پلت فرم مناسب پشتیبانی شود.

1- **در رویکردهای مبتنی بر طرح:** در اینجا هدف از یکپارچگی داده‌ها، ادغام مدل‌های طرح ناهمگن است و تبادل اطلاعات بین آن‌ها را تسهیل می‌کند. رویکردهای مبتنی بر طرح، ساختارهای طرح‌واره، ساختن یک طرح مشترک، یا تعریف قوانین نقشه‌برداری برای یک مدل طرح را گسترش می‌دهند.

2- **رویکردهای مبتنی بر سرویس:** رویکردهای مبتنی بر سرویس، خدماتی را ارائه می‌دهند که می‌توانند از هر مدل ناهمگن اطلاعاتی را برای

ادغام و تبدیل داده‌های ناهمگن درخواست و استخراج کنند.

3- **رویکردهای مبتنی بر هستی‌شناسی:** روشی مبتنی بر هستی‌شناسی، اطلاعات را از مدل‌های ناهمگن استخراج می‌کند و یک مدل الگوی هستی شناختی را با استفاده از یک الگوی هسته شناسی کلی مانند چارچوب توصیف منابع تولید می‌کند. آن‌ها همچنین قوانین نقشه‌برداری داده‌ها بین دو مدل ناهمگن را با استفاده از اپراتورهای هستی‌شناسی اعمال می‌کنند

4- **رویکردهای مبتنی بر فرایند:** این طبقه رویکردها، دستورالعمل‌های مدل‌سازی یا مشخصات را برای ادغام داده‌های ناهمگن به یک مدل استاندارد مانند رده‌های بنیاد صنعت (آی‌اِف‌سی) ارائه می‌دهد. این در عملیات مدل‌سازی کمک می‌کند و یک روش برای تائید نتایج مدل‌سازی فراهم می‌کند. بااین‌حال، مدل‌سازی برای ادغام داده‌ها عمدتاً به‌صورت دستی انجام می‌شود

5- **رویکردهای مبتنی بر سیستم:** این رویکردها رویکردهای فوق را در نظر می‌گیرند و یک معماری سیستماتیک برای ادغام داده‌های ناهمگن پیشنهاد می‌کنند. چنین رویکردهایی، استفاده کامل از کتابخانه‌ها، اجزای سازنده و ابزارهای نرم‌افزار تجاری را کامل می‌کند و معماری یکپارچه‌سازی داده‌ها را اجرا می‌کند. [37]

مدل‌های دوبعدی در ثبت و نمایش اطلاعات زمین و بنا دارای کاربرد محدودی است و نیازمندی به روش واضح و کارآمد تر برای مدیریت و تجزیه و تحلیل اطلاعات برای تصمیم‌گیری با مکان (ویژگی‌های سه‌بعدی) وجود دارد که برای دستیابی به نتایج برنامه‌ریزی پایدار و مدیریت مداوم شهرهای هوشمند ضروری است.

بحث و نتیجه گیری

مفهوم شهر هوشمند فرصت های خوبی برای بهبود کارایی و کیفیت زندگی در شهرها ارائه می دهد. این بر اساس جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده های مربوط به توسعه شهری (ساختمان ها و زیرساخت ها) و همچنین محیط طبیعی و خدمات شهری است. از آنجایی که ساختمان ها و زیرساخت های شهری نقش مهمی در کار شهر و خدمت به مردم دارند، هر پروژه شهر هوشمند باید آنها را در استراتژی خود ادغام کند. این یکپارچه سازی مستلزم ساخت مدل سازی چند مقیاسی شهر با مدل های دیجیتالی برای شهر، زیرساخت های شهری و ساختمان ها است. رشد جهانی شهرها با شهرنشینی سریع و تغییرات آب‌وهوایی جهانی دو مسئله مهم در جهان کنونی هستند. شهر پایدار هوشمند شهری نوآورانه است که از اواسط دهه 2010 گسترش زیادی یافته است و هدف آن بهبود کیفیت زندگی نسل‌های کنونی و آینده در شرایط شهرنشینی و تغییرات آب‌وهوایی جهانی است از طرفی طبق مطالعات با استفاده گسترده از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات (ICT) و اینترنت اشیا (IoT)، خدمات شهری کارآمدتر و شهرها ازنظر شرایط اجتماعی، اقتصادی، محیطی و فرهنگی رقابت‌پذیرتر خواهند بود؛ بنابراین، شهر پایدار هوشمند با فناوری پرکاربرد و بهبود پایدار زندگی شهری مشخص می‌شود که برای استفاده از فناوری‌ها و مدیریت نیاز به داده‌های عظیم و چندمنظوره دارد. امروزه ابزارهای مدل‌سازی مختلفی برای مدل‌سازی سیستم شهری در دسترس هستند، مانند سیتی‌جی‌اِمِال برای مدل مجازی سه‌بعدی شهر، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان برای مدیریت ساختمان‌ها در طول چرخه عمر آن‌ها و سیستم اطلاعات جغرافیایی

(جی.آی.اِس.) برای مدیریت زیرساخت‌ها. این سیستم ها ابزارهای قدرتمندی را برای اجرای پروژه شهر هوشمند به عنوان بخشی از رویکردها و مدل های تجاری جامع چند بعدی و چند دامنه ای ارائه می دهند. امروز تلاش های مهمی در حال انجام است تا:

1. افزایش قابلیت های بیم از داخل به بیرون (زیرساخت و محیط طبیعی).
2. افزایش قابلیت های جی.آی.اِس. برای داخل (ساختمان).
3. تعامل بین ابزارهای مورد استفاده در مدل سازی محیط های داخلی و خارجی برای ساخت یک مدل شهری یکپارچه

از طرفی واضح است که جی.آی.اِس. می تواند راه حلی برای محدودیت های کاربرد بیم باشد و بالعکس. در مجموع، فناوری‌ها می‌توانند گام بزرگی برای ایجاد یک شهر هوشمند باشند، جایی که جمع‌آوری، مدیریت و تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی در سطوح مختلف (زیرساخت‌های شهری و ساختمان‌های عمودی) امکان‌پذیر است. در حال حاضر، ISO (سازمان بین‌المللی استاندارد) 19166 (B2GM) وجود دارد که ادغام بیم و جی.آی.اِس. را بررسی می‌کند، به موضوعاتی مانند توسعه نقشه‌برداری و دستورالعمل‌هایی برای جریان اطلاعات بین لهس و زبان آی‌اِف‌سی که روی بیم استفاده می‌شود، می‌پردازد. با این استانداردسازی، انتظار می رود که ارتباط بین نرم افزارهای هر دو سیستم ساده شده و به راحتی قابل دسترسی باشد. این امکان را برای توسعه پروژه های زیرساختی با سطح بالایی از جزئیات و پیچیدگی، ادغام شده با فناوری اطلاعات (ICT) و سیستم های کلان داده، فرآیندهایی که برای شهرهای هوشمند ضروری هستند، فراهم می کند. ادغام بیم-جی.آی.اِس. و کاربردهای آن یک موضوع تحقیقاتی فعال برای توسعه آینده جامعه، به ویژه در زمینه محیط زیست ساخته شده پایدار است. تعداد فزاینده ای از مطالعات نشان داده اند که یکپارچه سازی بیم-جی.آی.اِس. چشم اندازهای امیدوارکننده ای در کاربردهای متعدد دارد. با توجه به مطالعات صورت گرفته کاربردهای یکپارچه سازی بیم-جی.آی.اِس. از چهار دیدگاه مورد بحث قرار گرفته است: پیشرفت های فنی در یکپارچه سازی داده ها، کاربرد در چرخه عمر پروژه های AEC، تحقیقات مرتبط با انرژی، و راه حل های اجتماعی برای مشکلات عملی در شهرها. و جهت‌های آتی برای بهبود و روندهای احتمالی توسعه به شرح زیر پیشنهاد می‌شود. برای بهبود دقت یکپارچه‌سازی داده‌های بیم-جی.آی.اِس. و افزایش قابلیت همکاری داده‌ها بین آی‌اِف‌سی و سیتی‌جی‌اِمِل ، دو نوع مدل نیاز به ارتقا دارند و دقت نقشه‌برداری داده‌ها در یکپارچه‌سازی داده‌ها با استفاده از یک پلت فرم شخص ثالث مورد نیاز است. برای مقابله با این مشکل که مدل‌های بیم تنها به ساختمان‌های منفرد در کاربرد پروژه‌های AEC توجه می‌کنند، داده‌های جی.آی.اِس. باید به طور کامل در بستر مدل بیم ادغام شوند تا کاربرد در چرخه عمر پروژه‌های AEC در یک منطقه بزرگ‌تر تسهیل شود. برای بهبود بهره وری انرژی و دستیابی به مدیریت انرژی پایدار، تجسم داده های یکپارچه بیم-جی.آی.اِس. و مزایای مدل های معنایی از نظر طبقه بندی در سطوح مختلف باید به طور کامل برای تسهیل مدیریت صرفه جویی در مصرف انرژی در سطح ساختمان و سطح شهر استفاده شود. برای گسترش و تعمیق کاربرد در حکمرانی شهری، استانداردهای مدل‌سازی سه بعدی ساختمان‌های شهری و سیاست‌هایی که از داده‌های بیم و جی.آی.اِس. پشتیبانی می‌کنند تا به طور مؤثر بین شرکت‌کنندگان ساخت‌وساز به اشتراک گذاشته شوند، باید تدوین شوند. در یک کلام، تجسم بسیار یکپارچه، جریان‌های داده‌های تعاملی دو طرفه، استانداردها و مشخصات باز، سفارشی‌سازی و تجربیات کاربرپسند مسائل داغی هستند که در یکپارچه‌سازی

بیمجی.آی.اِس. آینده مورد توجه قرار خواهند گرفت. این بررسی می‌تواند با استفاده از تحلیل و تجسم داده‌ها، به‌کارگیری فناوری‌های جدید در زمینه‌های سنتی ساخت‌وساز و مهندسی محیط‌زیست، ابداع روش‌های کارآمدتر توسعه و تسهیل توسعه پایدار شهری، نقشه راهی برای بهبود مدیریت یکپارچه اطلاعات مکانی در اختیار محققان قرار دهد.

تشکر و قدردانی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تأییدیه‌های اخلاقی: تمام اصول اخلاقی در زمینه چاپ و نشر این مقاله رعایت شده است.

تعارض نافع: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: سهم فاطمه خالقی (35٪) با مشارکت در گردآوری داده‌ها، مطالعه و ترجمه مطالب و انجام اصلاحات ساختاری بوده است. شبیر علیزاده (35٪) از طریق با مشارکت در گردآوری داده‌ها، مطالعه و ترجمه مطالب و تدوین نسخه اولیه مقاله و مجتبی عزیزی (30٪) با تدوین چکیده و مطالعه و بازنگری مقاله، نتایج مقاله، اصلاحات محتوایی مورد نظر داوران و تحلیل مطالب بوده است.

منابع

1. Marzouk M, Othman A. Planning utility infrastructure requirements for smart cities using the integration between BIM and GIS. *Sustainable Cities and Society*. 2020 Jun 1;57:102120. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102120

2. Ma Z, Ren Y. Integrated application of BIM and GIS: an overview. *Procedia Engineering*. 2017 Jan 1;196:1072-9. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.064

3. Maarefi A, TaghiZadeh K, Bayzidi Q, Hossainpour S. Improving Performance and Creativity of Students Focusing on BIM; Case Study Building Technical Design Course. *Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2021 Nov 10;11(3):93-108. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1400.11.3.3.0

4. Zandieh M, Mahmoodzadeh Kani I, Hessari P. Building Information Modeling (BIM); a model for improving the design process. *Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2017 Jul 10;7(2):71-78. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1396.7.2.7.4

5. Bastan, M., Zarei, M., Ahmadvand, A. Building Information Modeling Adoption Model in Iran. *Journal of Industrial Management Perspective*, 2020; 10(Issue 1, Spring 2020): 9-39.

Generating Synthetic Space Allocation Probability Layouts Based on Trained Conditional-GANs. *Applied Artificial Intelligence*. 2019 Jul 3;33(8):689-705. https://doi.org/10.1080/08839514.2019.1592919

12. Rahbar M, Mahdavinejad M, Markazi A.H.D., Bemanian M. Architectural layout design through deep learning and agent-based modeling: A hybrid approach. *Journal of Building Engineering*. 2022 April15; 47, 103822. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103822

13. Valitabar M. Mohammadjavad M. Henry S. Peiman P. A dynamic vertical shading optimisation to improve view, visual comfort and operational energy. *Open House International*. 2021 Jul 9;46(3):401-415. https://doi.org/10.1108/OHI-02-2021-0031

14. Shahhosseini G, Moulaii M. Explaining the Role and Place of Industrial Heritage in Improving the Quality Characteristics of the Hierarchy of the City Entrances (Case study: Brick Furnaces in the Entrance of Hamedan). *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2019 Mar 10;9(1):13-22. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1398.9.1.3.2

15. Cross N, Christiaans H, Dorst K. Design expertise amongst student designers. *Journal of Art & Design Education*, 1994; 13(1): 39-56. https://doi.org/10.1111/j.1476-8070.1994.tb00356.x

16. Cross N. Designerly ways of knowing. *Design studies*, 1982; 3(4): 221-7. https://doi.org/10.1016/0142-694X(82)90040-0

17. Cross N. Designerly ways of knowing: Design discipline versus design science. doi: https://dx.doi.org/10.52547/jimp.10.1.9

6. Mahdavinejad M, Hosseini SA. Data mining and content analysis of the jury citations of the Pritzker Architecture prize (1977–2017). *Journal of Architecture and Urbanism.* 2019 Feb 1;43(1):71-90. https://doi.org/10.3846/jau.2019.5209

7. Torabi M, Mahdavinejad M. Past and Future Trends on the Effects of Occupant Behaviour on Building Energy Consumption. *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.* 2021 Oct 27;29(2) 83-101. https://doi.org/10.5755/j01.sace.29.2.28576

8. Mardomi K, Soheilifard M, Aghaazizi M. Integration of Architecture & Structure in Optimizing Supports' Location Using Genetic Algorithm Method; Case Study: Cladding based on Iranian Girih. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning.* 2015 Jun 10;5(2):65-75. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1394.5.2.3.6

9. Fallahtafti R, Mahdavinejad M. Window geometry impact on a room's wind comfort. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2021 Mar 24;28(9):2381-2410. https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2020-0075

10. Latifi M, Diba D. Data Mining of the Spatial Structure of Qajar Native Housing; Case Study: Jangjouyan House of Isfahan. *Naqshejahan - Basic Studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2020 Oct 10;10(3):163-71. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1399.10.3.7.7

11. Rahbar M, Mahdavinejad M, Bemanian M, Davaie Markazi AH, Hovestadt L.

Design issues. 2001 Jul 1;17(3):49-55. https://www.jstor.org/stable/1511801

18. Oxman R. Educating the designerly thinker. *Design studies*. 1999 Mar 1;20(2):105-22. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(98)00029-5

19. Moulaii M, Shahhoseini G, Dabaghchi S. Explaining and analyzing how to make smart cities in the context of the influencing components and key factors. *Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2016 Nov 10;6(3):75-93. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1396.7.3.3.2

20. Mahmoudi M, Nivi S. Improving of Climatic Technology According to Sustainable Development. *Naqshejahan - Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*. 2011 Oct 10;1(1):35-52. [Persian] https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224991.1390.1.1.7.0

21. Shahhosseini, V., Sebt, M., Hajarolasvadi, H. Integrated Project Delivery Using Building Information Modeling. *Sharif Journal of Civil Engineering*. 2017 May 22; 33.2(1.1): 129-135. doi: 10.24200/j30.2017.2454

22. Shafaghat, E., Taghaddos, H., Sherafat, B. INVESTIGATING THE PRECISION OF QUANTITY TAKE-OFF IN BIM APPLICATIONS. *Sharif Journal of Civil Engineering*, 2019; 34.2(4.1): 145-152. doi: 10.24200/j30.2019.1437

23. Rosati U, Conti S. What is a smart city project? An urban model or a corporate business plan?. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2016 Jun 10;223:968-73. Rosati U, Conti S. What is a smart city project? An urban model or a corporate business plan?. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2016 Jun 10;223:968-73.

24. Letaifa SB. How to strategize smart cities: Revealing the SMART model. Journal of business research. 2015 Jul 1;68(7):1414-9. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.01.024

25. Joshi S, Saxena S, Godbole T. Developing smart cities: An integrated framework. *Procedia Computer Science*. 2016 Jan 1;93:902-9. https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.258

26. Lafioune N, St-Jacques M. Towards the creation of a searchable 3D smart city model. *Innovation & Management Review*. 2020 May 14. https://doi.org/10.1108/INMR-03-2019-0033

27. Ardito L, Ferraris A, Petruzzelli AM, Bresciani S, Del Giudice M. The role of universities in the knowledge management of smart city projects. *Technological Forecasting and Social Change*. 2019 May 1;142:312-21. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.030

28. El-Hallaq MA. Enhancing sustainable development through web based 3D smart city model using GIS and BIM. Case study: Sheikh hamad city. *Journal of Geographic Information System*. 2019;11(03):321. https://doi.org/10.4236/cus.2019.71006

29. Bradley A, Li H, Lark R, Dunn S. BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction*. 2016 Nov 1;71:139-52. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.019

30. Wang H, editor. Sensing information modelling for smart city. *2015 IEEE International Conference on Smart*

Construction. 2016;67:1-21. . https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.006

37. Kang TW, Hong CH. A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration. *Automation in construction*. 2015;54:25-38. . https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.019
38. Kang TW, Hong CH. IFC-CityGML LOD mapping automation using multiprocessing-based screen-buffer scanning including mapping rule. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2018;22(2):373-83. https://doi.org/10.1007/s12205-017-0595-9
39. Donkers S, Ledoux H, Zhao J, Stoter J. Automatic conversion of IFC datasets to geometrically and semantically correct CityGML LOD3 buildings. *Transactions in GIS*. 2016;20(4):547-69. https://doi.org/10.1111/tgis.12162
40. Zhu J, Wu P. Towards Effective BIM/GIS Data Integration for Smart City by Integrating Computer Graphics Technique. *Remote Sensing*. 2021;13(10):1889. https://doi.org/10.3390/rs13101889
41. Usmani A, Jadidi M, Sohn G. Towards the Automatic Ontology Generation and Alignment of Bim and GIS Data Formats. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2021;8:183-8.. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-183-2021

City/SocialCom/SustainCom (SmartCity); 2015: IEEE. https://doi.org/10.1109/SmartCity.2015.44

31. Kim JI, Kim J, Fischer M, Orr R. BIM-based decision-support method for master planning of sustainable large-scale developments. *Automation in Construction*. 2015;58:95-108. . https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.003
32. Song Y, Wang X, Tan Y, Wu P, Sutrisna M, Cheng JC, et al. Trends and opportunities of BIM-GIS integration in the architecture, engineering and construction industry: a review from a spatio-temporal statistical perspective. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2017;6(12):397. . https://doi.org/10.3390/ijgi6120397
33. Nedovic-Budic Z. Evaluating the effects of GIS technology: Review of methods. *Journal of planning literature*. 1999;13(3):284-95. https://doi.org/10.1177/08854129922092405
34. Dias ÁJ, de Oliveira JPL. CIM in the context of smart cities: how the interoperability between BIM and SIG can assist the development of smart cities. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*. 2021;9(70). https://doi.org/10.17271/23188472970202128 11
35. Osello A, Rapetti N, Semeraro F, editors. BIM methodology approach to infrastructure design: Case study of Paniga tunnel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017: IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/6/062052
36. Deng Y, Cheng JC, Anumba C. Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. *Automation in*