سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۰
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.13, No. 3, Autumn 2021

۳۳-۵۸

مقاله پژوهشی

مروری بر تحقیقات اخیر در زمینهٔ تلفیق مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی (BIM) و سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)

حمید حسینی[۱] و محمد طالعی[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. استاد دانشکدهٔ مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲

چکیده

امروزه فنّاوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی، یا به‌اختصار BIM، به بستری مهم و کاربردی به‌منظور تحقق اهداف شهرهای هوشمند تبدیل شده است. بااین‌حال، این فنّاوری ساختمان‌ها را به‌تنهایی و بدون توجه به فضای بیرونی‌شان و دیگر ساختمان‌های شهر در نظر می‌گیرد و نیز فاقد ابزارهای لازم برای تحلیل‌های مکانی گوناگون است. در این زمینه، اشتراک ذاتی میان BIM و سامانه‌های اطلاعات مکانی، یا به‌اختصار GIS، نشان می‌دهد که با تلفیق آنها می‌توان دانش یکپارچه‌ای در کاربردهای گوناگون شهری، هم در فضای داخلی ساختمان و هم در فضای بیرونی آن، ایجاد کرد. اگرچه BIM و GIS هریک به‌منظور دست‌یابی به اهداف جداگانه‌ای ایجاد شده است، هر دو به مدیریت اطلاعات در قالب مدل‌سازی سه‌بعدی می‌پردازند؛ با این تفاوت که BIM اطلاعات ریزدانه را در زمینهٔ ساختمان و فضای داخلی آن، با عنوان اطلاعات ساختمانی، تهیه می‌کند و نمایش می‌دهد و منبع غنی اطلاعات ساختمانی شناخته می‌شود اما، در مقابل، GIS اغلب به تهیه و نمایش اطلاعات درشت‌دانه در فضای بیرونی ساختمان، با عنوان اطلاعات جغرافیایی، می‌پردازد و دارای ابزارهای مکانی مناسب است. به‌طورکلی، تلفیق BIM و GIS موجب مدیریت بهتر اطلاعات مکانی در زمینهٔ کاربردهای گوناگون شهری و در نتیجه، تصمیم‌سازی بهتر در حل مسائل مرتبط می‌شود و تحقیقات متنوعی، در این باره، در سال‌های اخیر انجام شده است. مقالهٔ حاضر، ضمن بررسی اجمالی فنّاوری BIM و استانداردهای تبادل اطلاعات در BIM و GIS، برخی تحقیقات دربارهٔ تلفیق BIM و GIS از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ را مرور می‌کند. در این مقاله، تلاش شده است با استخراج و دسته‌بندی روش‌ها و زمینه‌های کاربردی تلفیق BIM و GIS، وضعیت کلی پژوهش‌ها در این زمینه مشخص و دید جامعی به آنها به محققان ارائه شود.

کلیدواژه‌ها: سامانه‌های اطلاعات مکانی، مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی، مدل‌سازی سه‌بعدی، شهر هوشمند.

* نویسندهٔ مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکدهٔ مهندسی نقشه‌برداری، کدپستی ۱۹۹۶۷-۱۵۴۳۳. تلفن: ۸۸۸۷۷۰۷۱ ۰۲۱، نمابر: ۸۸۷۸۶۲۱۳

Email: taleai@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

از نظر جغرافیایی، دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم سه‌بعدی است؛ بنابراین، به‌منظور مدل‌سازی کامل و دقیق دنیای واقعی نیازمند منابع و ابزارهایی هستیم که آن را به‌صورت سه‌بعدی مدل می‌کنند (Abdul-Rahman & Pilouk, 2007). از طرفی، با تعریف مفهوم شهر هوشمند، مدیریت اطلاعات مکانی به موضوع تحقیقاتی مهم و کاربردی تبدیل شده است (Ma & Ren, 2017)؛ در این زمینه، مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی (BIM)[1]، و سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)[2] دو فنّاوری‌ای هستند که با نمایش دیجیتالی عوارض شهری، اعم از ساختمان‌ها، به‌صورت سه‌بعدی، زمینه را برای مدیریت بهتر اطلاعات مکانی دربارهٔ کاربردهای شهری فراهم می‌کنند (Wang et al., 2019).

BIM فرایندی هوشمند و مدل‌مبنا در صنعت معماری، مهندسی و ساخت[3] است که به مدل‌سازی سه‌بعدی پارامتریک ساختمان‌ها می‌پردازد. هدف اصلی این فرایند ایجاد تعامل‌پذیری میان تمامی ذی‌نفعان پروژه‌ها در صنعت ساخت‌وساز همچون معماری، سازه، نقشه‌برداری و تأسیسات و در نتیجه، کاهش زمان و هزینهٔ پروژه است که این کار اطلاعات کافی به‌منظور تصمیم‌سازی درست می‌طلبد. از سویی، GIS سیستمی حامی تصمیم‌گیری و مبتنی‌بر رایانه است که تمامی المان‌های سامانه‌های اطلاعاتی را دارد؛ تفاوت GIS با دیگر سامانه‌های اطلاعاتی این است که داده‌های موجود در پایگاه دادهٔ مورد نظر مکان‌مبناست و یا به‌صورتی با داده‌های مکان‌مبنا در ارتباط است (Wang et al., 2019). به‌طورکلی این سامانه‌ها قادرند اطلاعات مکانی را برای کاربردهای گوناگون جمع‌آوری، ذخیره، مدیریت و تحلیل کنند و نمایش دهند (Longley et al., 2005). با ظهور فنّاوری‌های نوین نظیر BIM و اینترنت اشیا[4] سعی بر آن است تا، با تلفیق آنها با GIS، بتوان مسائل را به‌صورت کارآمدتری حل کرد.

مدل‌های اطلاعات ساختمانی و شهری، با عرضهٔ مدل‌داده‌های سه‌بعدی، اطلاعاتی دربارهٔ ساختمان‌ها و محیط اطراف آنها در اختیار ما قرار می‌دهند (El-Mekawy et al., 2012). BIM در قالب مدلی سه‌بعدی، که با افزودن اطلاعات دیگر می‌تواند بُعدهای دیگری هم داشته باشد، اطلاعات ساختمان‌ها را در طول چرخهٔ حیات[5] آن ساختمان‌ها مدیریت می‌کند. مدل‌های BIM، در واقع، پایگاه داده‌های یکپارچه‌ای هستند که تمامی ویژگی‌های المان‌های ساختمان در آن ذخیره و با تغییر در بخشی از مدل، بخش‌های دیگر به‌صورت هوشمند به‌روز می‌شود. به‌طورکلی، مدل‌های BIM منبع بسیار غنی اطلاعات هندسی و معنایی ساختمان، به‌خصوص در فضای داخلی آن، شمرده می‌شوند (Song et al., 2017). بااین‌حال هنوز برخی اطلاعات در آنها وجود ندارد و نمی‌توان از آنها در تحلیل‌های مرتبط با فضای بیرونی ساختمان و برخی تحلیل‌های مکانی در فضای داخلی ساختمان بهره برد. از دیگرسو، مدل‌های سه‌بعدی GIS با ارائهٔ اطلاعات جغرافیایی به‌خوبی قابلیت انجام تحلیل‌های گوناگون شهری را دارند اما در فضای داخلی ساختمان، در مقایسه با مدل‌های BIM، اطلاعات کمتری را شامل می‌شوند. در این راستا، تلفیق BIM و GIS به یک زمینهٔ تحقیقاتی کاربردی به‌منظور حل مسائل گوناگون در صنعت ساخت‌وساز، برنامه‌ریزی شهری، مدیریت بحران و دیگر موارد تبدیل شده است. وانگ[6] و همکاران (۲۰۱۹) تحقیقات انجام‌شده در این مورد را در سه دسته جای داده‌اند. در دستهٔ اول، متخصصان علوم مکانی از BIM به‌منزلهٔ منبعی اطلاعاتی در کاربردهای گوناگون مکانی، مانند ناوبری داخلی ساختمان، بهره می‌برند. در این تحقیقات، GIS نقش اصلی و BIM نقش حمایتی دارد. در دستهٔ دوم این تحقیقات،

1. Building Information Modeling
2. Geospatial Information System
3. Architecture, Engineering and Construction (AEC)
4. Internet of Things (IoT)
5. Life Cycle
6. Wang

متخصصان معماری و عمران از GIS در قالب ابزاری برای برخی تحلیل‌های مکانی در کاربردهای مرتبط با صنعت ساخت‌وساز، مانند مکان‌یابی تاورکرین‌ها در سایت پروژه، استفاده می‌کنند. در این تحقیقات، BIM نقش اصلی و GIS نقش حمایتی دارد. در برخی دیگر از تحقیقات نیز، BIM و GIS به‌طور متوازن و تلفیقی در حل مسائل استفاده می‌شوند.

باوجوداین، تحقیقات انجام‌شده در این باره گسترده است و باید، با دسته‌بندی آنها، وضعیت کلی تحقیقات در این زمینه مشخص شود. در این نوشتار، مقالاتی مرور می‌شود که به‌تازگی دربارهٔ برخی تحقیقات در حیطهٔ تلفیق BIM و GIS انجام شده و هدف اصلی آن استخراج زمینه‌های کاربردی متنوع در این زمینه، به‌منظور ارائهٔ دیدی جامع به آن به محققان، است. در این مقاله ابتدا و در بخش‌های ۲ و ۳، ضمن بررسی فنّاوری BIM، مدل‌داده‌های موجود در BIM و GIS معرفی می‌شود. در بخش ۴، مقدمه‌ای بر تلفیق BIM و GIS و در بخش ۵، روش‌های تلفیق آنها مطرح می‌شود. در بخش ۶، مقالات مرتبط از نظر تعداد انتشار در هر سال و همچنین ارتباط کلمات کلیدی و نویسندگان آنها با هم بررسی شده است. زمینه‌های کاربردی تلفیق BIM و GIS در بخش ۷ بررسی شده و در بخش انتهایی نیز، بحث و نتیجه‌گیری تحقیق آمده است.

۲- سامانهٔ اطلاعات مکانی سه‌بعدی و مدل CityGML

سامانه‌های اطلاعات مکانی ممکن است در دو یا سه بُعد فعالیت داشته باشند. اگرچه در اغلب کاربردها GIS دوبعدی کفایت می‌کند؛ GIS سه‌بعدی کاربردی‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر است. در بسیاری از کاربردهای پیچیده، هم در فضای بیرونی و هم در فضای داخلی، مانند مدل‌سازی انتشار صوت، نمی‌توان از GIS دوبعدی استفاده کرد و تحلیل‌های مربوط فقط با به‌کارگیری GIS سه‌بعدی ممکن خواهد بود (Abdul-Rahman & Pilouk, 2007). در این راستا، باید ارتباطات مکانی میان عوارض موجود در دنیای واقعی به‌کمک یک مدل‌داده مشخص شود. جامع‌ترین مدل‌دادهٔ سه‌بعدی مکانی در کاربردهای شهری CityGML[1] است که استانداردی در ذخیره‌سازی، نمایش و تبادل اطلاعات شهری در حوزهٔ مکانی شناخته می‌شود.

CityGML استاندارد بین‌المللی معرفی‌شده از سوی کنسرسیوم باز مکانی[2] است که، به‌صورت مدل‌داده‌ای باز، برای نمایش و تبادل مدل‌های سه‌بعدی شهری استفاده می‌شود (Gröger et al., 2012). این مدل‌داده مبتنی‌بر زبان نشانه‌گذاری GML3 و خود آن نیز برمبنای زبان نشانه‌گذاری XML[3] است. CityGML جنبه‌های هندسی، توپولوژی، معنایی و بصری مدل‌های سه‌بعدی شهری را نمایش می‌دهد اما تمرکز اصلی آن بر جنبهٔ معنایی مدل است و با ساختاردهی به اطلاعات درمورد کاربردهای شهری، بیشتر به‌منزلهٔ مدل اطلاعاتی معنایی برای نمایش و تبادل عوارض سه‌بعدی شهری شناخته می‌شود (Gröger & Plümer, 2012). مدل‌سازی داده در مدل‌دادهٔ CityGML شامل تعاریف کلاس برای مهم‌ترین نوع عوارض شهری می‌شود و عوارض در کلاس‌های متمایزی همچون ساختمان‌ها، اشیا و امکانات حمل‌ونقلی مانند خیابان‌ها طبقه‌بندی می‌شوند؛ به‌عبارت دیگر، مدل‌دادهٔ CityGML فقط به مدل‌سازی ساختمان‌ها محدود نشده است بلکه تمامی عوارضی را پوشش می‌دهد که در محیط شهری قرار دارند. به همین دلیل، مدل‌دادهٔ CityGML علاوه‌بر ماژول هسته‌ای خود، سیزده ماژول افزونهٔ موضوعی نیز شامل نمایش[4]، پل[5]، ساختمان[6]، مبلمان شهری[7]، گروه اشیای شهری[8]، کلیت‌ها[9]، کاربری[10]، ترمیم[11]،

1. City Geographical Markup Language
2. Open Geospatial Consortium (OGC)
3. EXtensible Markup Language
4. Appearance
5. Bridge
6. Building
7. City Furniture
8. City Object Group
9. Generics
10. Land Use
11. Relief

حمل‌ونقل[1]، تونل[2]، گیاه[3]، آب[4] و بافت سطح[5] را معرفی می‌کند (Gröger & Plümer, 2012). برای نمایش هندسی عوارض، از نمایش مرزی[6] استفاده می‌شود. در این نمایش، از روابط توپولوژی مانند تماس، اشتراک، شمول و پوشش بین سطوح با هدف جلوگیری از افزونگی داده استفاده می‌شود. مختصات مرز بیرونی هر عارضه و همچنین مرز داخلی آن باید در یک صفحه قرار گیرند. عوارضی نظیر سقف مساجد، که ساختاری غیرخطی دارند، با استفاده از این صفحات تقریب زده می‌شوند. عوارض حجم‌دار مانند ساختمان‌ها با استفاده از مکعب‌ها، که به‌کمک صفحات مرزی مشخص شده‌اند، نمایش داده می‌شوند. این صفحات مرزی نباید با یکدیگر اشتراک داشته باشند و باید حجمی بسته را تشکیل دهند. مدل‌سازی در مدل‌دادهٔ CityGML به‌صورت چندمقیاسی است و عوارض در سطوح متفاوت جزئیات[7] نمایش داده می‌شود. عوارض در این مدل‌داده در پنج سطح جزئیات نمایش می‌یابد. عوارضی که از محل دید ناظر دور است با جزئیات کمتر و عوارضی که به محل دید ناظر نزدیک است با جزئیات بیشتری نمایش داده می‌شود. مفهوم سطح جزئیات در مدل‌دادهٔ CityGML فقط مختص جنبهٔ هندسی آن نیست بلکه جنبهٔ معنایی مدل را نیز دربر می‌گیرد و هر اندازه سطح جزئیات بالا رود، مدل از نظر معنایی غنی‌تر می‌شود. در مدل‌دادهٔ CityGML، عوارضی که در یک سطح جزئیات مشابه قرار دارند، به‌نسبت عوارض واقع‌شده در سطوح متفاوت جزئیات، راحت‌تر با یکدیگر تلفیق می‌شوند و قابلیت تعامل‌پذیری بیشتری دارند. هر سطح جزئیات برای یک کلاس کاربردی مناسب است؛ به‌عبارتی، هر عارضه ممکن است در سطوح جزئیات گوناگونی نمایش یابد اما، با توجه به کاربرد و متناسب با نوع تحلیل و روش بصری‌سازی، باید مناسب‌ترین سطح جزئیات برای نمایش عارضه انتخاب شود. در شکل ۱، مفهوم سطح جزئیات در مدل‌دادهٔ CityGML درمورد عارضهٔ ساختمان و المان‌های آن بیان شده است.

در سطح جزئیات صفر، نمایشی ۲.۵بعدی از عارضه وجود خواهد داشت که در آن یک مدل منطقه‌ای گسترده تعریف می‌شود. نمایش هندسی به‌صورت ۲.۵بعدی، در حقیقت، نمایش یک چندضلعی در فضای سه‌بعدی است که برای مختصات دوبعدی آن، حداکثر یک مقدار ارتفاعی وجود خواهد داشت. مدل رقومی زمین[8] نمونه‌ای از نمایشی ۲.۵بعدی است. در سطح جزئیات صفر، عوارضی نظیر ساختمان‌ها با یک چندضلعی افقی با عنوان ردپای ساختمان[9] نمایش می‌یابد

شکل ۱. سطوح جزئیات در مدل‌دادهٔ CityGML
منبع: Biljecki et al., 2016

1. Transportation
2. Tunnel
3. Vegetation
4. Water Body
5. Texture Surface
6. Boundary Representation (B-Rep)
7. Level of Detail (LoD)
8. Digital Terrain Model (DTM)
9. Building Footprint

و عوارض حمل‌ونقلی مانند خیابان‌ها با استفاده از ساختارهای خطی ساده‌سازی می‌شود. در سطح جزئیات ۱، عوارض حجم‌دار همچون ساختمان‌ها به‌کمک دیوارهای عمودی و سقف‌های افقی نمایش داده می‌شود که، در مجموع، یک بلوک منشورگونه را تشکیل می‌دهد. در این سطح جزئیات، عوارض حمل‌ونقلی به‌مانند سطوح ۲.۵بعدی در سطح جزئیات صفر نمایش داده می‌شود. در سطح جزئیات ۲، شکل سقف و بالکن‌های ساختمان نمایش می‌یابد. سطح جزئیات ۳ و ۴ جزئی‌ترین سطوح برای نمایش عوارض است؛

در سطح جزئیات ۳، پنجره‌ها و ورودی‌های ساختمان، پل و تونل هم به‌منزلهٔ عوارض شماتیک به مدل افزوده می‌شود. عوارض حمل‌ونقل به‌مانند صفحات ۲.۵بعدی، که دارای جزئیات خیلی زیادند، نمایش داده می‌شود. در سطح جزئیات ۴، ساختارهای داخلی ساختمان مانند اتاق‌ها و مبلمان خانگی نیز نمایش داده می‌شود. این سطح از جزئیات اغلب به‌منظور بررسی کاربردهای داخلی به‌کار می‌رود. در آخرین نسخهٔ مدل‌دادهٔ CityGML، قابلیت‌های جدیدی در سطح جزئیات ۴ توسعه داده شده است؛ بااین‌حال، مدل‌دادهٔ مورد نظر همچنان فاقد اطلاعات جزئی و کامل درمورد تمامی کاربردهای داخلی است.

تا کنون نسخه‌های گوناگونی از استاندارد CityGML ارائه شده است. آخرین نسخهٔ کاربردی آن ۲.۰.۰ است که در سال ۲۰۱۱ عرضه شده و تا کنون استفاده شده است. این نسخه در تکمیل نسخه‌های قبلی آمده و دارای ویژگی‌های جدیدی است. قابلیت نمایش تونل و پل، دو عارضهٔ مهم شهری، به‌کمک ماژول‌های جدید نمونه‌ای از ویژگی‌های نسخهٔ ۲.۰.۰ است. در این نسخه، دو ویژگی توصیفی *relativeToTerrain* و *relativeToWater* به ماژول هسته‌ای آن اضافه شده که بیانگر موقعیت عارضه به‌نسبت سطح زمین و سطح آب است و نیاز به اطلاعات اضافی مانند مدل رقومی زمین را برطرف می‌کند. همچنین، در این نسخه امکان نمایش ساختمان‌ها در سطح جزئیات ۱ به‌کمک ردپا یا سطوح تشکیل‌دهندهٔ سقف، که از تصاویر هوایی یا ماهواره‌ای استخراج می‌شوند، وجود دارد (Gröger et al., 2012).

۳- مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی و مدل IFC

مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی، به‌اختصار BIM، فرایند هوشمند مدل‌مبنایی است که اطلاعات ساختمان‌ها را، در مراحل متفاوت چرخهٔ حیات آن ساختمان‌ها، در پایگاه داده‌ای ذخیره و مدیریت می‌کند. این مراحل به‌ترتیب برنامه‌ریزی[1]، طراحی[2]، ساخت[3]، عملیات[4] و نگهداری[5] نامیده می‌شود در مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی دو رویکرد وجود دارد. رویکرد اول درنظرگرفتن BIM به‌منزلهٔ یک فرایند است؛ در این رویکرد، BIM شامل جنبه‌ها، سیستم‌ها و حوزه‌های گوناگونی نظیر معماری، سازه، نقشه‌برداری، تأسیسات می‌شود و به تمامی ذی‌نفعان این امکان را می‌دهد که، در پروژه‌ای ساختمانی، از مرحلهٔ طراحی تا عملیات و نگهداری، با یکدیگر تعامل و همکاری داشته باشند. در این رویکرد، برنامهٔ زمان‌بندی پروژه و وظایف هر عضو هر تیم مشخص شده تا پروژه با کمترین اشتباه و تعارض انجام شود. رویکرد دیگر BIM درنظرگرفتن آن به‌منزلهٔ مدلی به‌منظور بازسازی ساختمان پیش از ساخت آن و انجام‌دادن تحلیل‌های گوناگون همچون تحلیل انرژی، با استفاده از نرم‌افزارهای مورد نظر، روی آن است. این رویکرد نتیجهٔ رویکرد پیشین شناخته می‌شود؛ به‌عبارت دیگر، مدل BIM[6] محصول فرایند BIM[7] است. در این رویکرد، BIM مدلی است که براساس مدل‌سازی پارامتریک ایجاد شده و شامل اشیای هوشمند سه‌بعدی ساختمان می‌شود و آنها را

1. Planning
2. Design
3. Construction
4. Operation
5. Maintenance
6. BIModel
7. BIModeling

نمایش می‌دهد. در این رویکرد، BIM مدلی واحد نیست بلکه مجموعه‌ای از مدل‌هاست که هر مدل به یک حوزه مثل معماری، سازه، نقشه‌برداری و تأسیسات مربوط می‌شود.

در مدل‌های BIM، یک پایگاه دادهٔ یکپارچه وجود دارد که، در واقع، از تلفیق پایگاه‌های دادهٔ حوزه‌های گوناگون مانند معماری، سازه، نقشه‌برداری، تأسیسات به‌وجود آمده است. با اعمال تغییر در مدل BIM هر حوزه، این تغییر در تمامی بخش‌های دیگر، به‌صورت هوشمند، اعمال و پایگاه داده به‌روز می‌شود . این کار از افزونگی داده و دوباره‌کاری‌ها جلوگیری می‌کند. فرمت IFC[1] به‌منزلهٔ یک فرمت باز، مهم‌ترین استاندارد برای تبادل داده در مدل‌های BIM شناخته می‌شود. به‌کمک مدل IFC، کارآیی تبادل اطلاعات میان حوزه‌های گوناگون افزایش می‌یابد؛ تمامی ارتباطات در فضایی ابری یکپارچه می‌شود و اطلاعات هر حوزه، برای تبادل با حوزه‌های دیگر، ابتدا به فرمت IFC و سپس به فرمت حوزهٔ مورد نظر تبدیل می‌گردد. به‌این‌صورت، حجم ارتباطات بسیار کاهش می‌یابد و نیاز به پشتیبانی از تمامی فرمت‌های داده از بین می‌رود؛ به‌عبارت دیگر، تمامی ذی‌نفعان پروژه می‌توانند، با توجه به حوزهٔ کاری‌شان، مدل مخصوص خود را از مدل BIM استخراج کنند. این مدل‌ها را می‌توان به‌کمک رایانش ابری[2] به اشتراک گذاشت و ضمن تلفیقشان با یکدیگر، پایگاه داده‌ای یکپارچه ایجاد کرد.

به‌منظور به‌اشتراک‌گذاری مدل‌های BIM و تلفیقشان با دیگر مدل‌های سه‌بعدی، مانند CityGML، از استانداردهای گوناگونی نظیر IFC، IDM[3] و MVD[4] استفاده می‌شود که، در این میان، IFC جامع‌ترین استاندارد و فرمت تبادل داده است. مدل‌دادهٔ IFC از سوی مؤسسهٔ BuildingSMART معرفی شده است و به‌مانند سایر مدل‌های سه‌بعدی، عوارض به‌خصوص ساختمان‌ها را به‌صورت سه‌بعدی نمایش می‌دهد. این استاندارد کمک می‌کند مدل‌های BIM میان حوزه‌های گوناگون به اشتراک گذاشته شود و تعامل‌پذیری میان آنها افزایش یابد؛ بااین‌حال، تعداد ارتباطات میان حوزه‌های گوناگون درگیر در یک پروژه بسیار کاهش می‌یابد زیرا هر نرم‌افزار مرتبط با یک حوزه، با پشتیبانی از این استاندارد، فقط به تبدیل فرمت داده‌ای خود به فرمت IFC نیاز دارد و ضرورتی ندارد که همهٔ فرمت‌های مربوط به نرم‌افزارهای حوزه‌های دیگر را پشتیبانی کند. در مقایسه با مدل CityGML که مبتنی‌بر زبان نشانه‌گذاری XML است، IFC براساس زبان مدل‌سازی EXPRESS تعریف شده و شمای داده‌ای شیءگرا محسوب می‌شود (Borrmann et al., 2015). در سال‌های اخیر و در آخرین نسخهٔ IFC، یعنی IFC4، تحقیقاتی با هدف تعامل‌پذیری این استاندارد با سامانه‌های اطلاعات مکانی انجام شده که ایجاد IfcGeographicElementType و IfcGeogarphicElement، به‌منزلهٔ المان‌های جدید، نمونه‌هایی از آن دسته تحقیقات است (Liu et al., 2017).

سطح پیشرفت[5] در مدل IFC بیانگر میزان پیشرفت ساخت مدل ساختمانی و میزان قابلیت اطمینان اطلاعات هر المان است. به‌عبارتی، با گذشت از هر فاز ساخت مدل ساختمانی، سطح پیشرفت افزایش می‌یابد (Andrianesi & Dimopoulou, 2020). بنابراین، مفهوم LoD در مدل IFC متفاوت از تعریف آن در مدل CityGML است. سطوح پیشرفت در مدل IFC در شش سطح طبقه‌بندی می‌شود. سطح پیشرفت ۱۰۰، سطح پیشرفت ۲۰۰، سطح پیشرفت ۳۰۰، سطح پیشرفت ۳۵۰، سطح پیشرفت ۴۰۰ و سطح پیشرفت ۵۰۰ سطوح گوناگون پیشرفت در مدل IFC به‌شمار می‌روند. سطح پیشرفت ۱۰۰ اولین سطح است که مدل را به‌صورت نماد نمایش می‌دهد و محل مدل را مشخص می‌کند. در سطح پیشرفت ۲۰۰،

1. Industry Foundation Classes
2. Cloud Computing
3. Information Delivery Manual
4. Model View Definition
5. Level of Development (LoD)

اطلاعاتی تقریبی دربارهٔ تعداد، شکل، سایز، حجم، مکان و جهت المان‌های مدل مطرح می‌شود. در سطح پیشرفت ۳۰۰، تمامی اطلاعات دربارهٔ تعداد، سایز، حجم، شکل، مکان و جهت المان‌ها در مدل به‌صورت جزئی و دقیق بیان می‌شود. در سطح پیشرفت ۳۵۰، علاوه‌بر اطلاعات دقیق هندسی، تمامی اتصالات میان المان‌های ساختمانی مدل می‌شود. در سطح پیشرفت ۴۰۰، همهٔ ویژگی‌های ممکن المان‌ها در نظر گرفته می‌شود و علاوه‌بر اطلاعات درمورد اتصالات، اطلاعات جمع‌آوری و نصب هر المان نیز به مدل اضافه می‌شود. سطح پیشرفت ۵۰۰ نیز بیانگر نقشه‌های as-built است که وضعیت حال حاضر المان را نشان می‌دهد و به‌منظور گزارش‌گیری از کل فرایند ساخت و نصب المان برای اعمال تغییرات لازم در هر مرحلهٔ از فرایند به‌کار می‌رود.

۴- تلفیق مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی و سامانه‌های اطلاعات مکانی

BIM و GIS دو ابزار و منبع اطلاعاتی‌اند که با نمایش دیجیتالی عوارض شهری، اعم از ساختمان‌ها، زمینه را برای مدیریت بهتر اطلاعات مکانی مرتبط با کاربردهای شهری فراهم می‌کنند. اگرچه BIM و GIS هریک به‌منظور اهداف جداگانه‌ای ایجاد شده است، در مقابل یکدیگر عملکرد مشابهی دارند و آن هم مدیریت اطلاعات است؛ با این تفاوت که BIM ساختمان را به‌تنهایی در نظر می‌گیرد اما GIS ساختمان‌های شهر را با هم می‌بیند. BIM به تهیه و نمایش اطلاعات ریزدانه[1] دربارهٔ ساختمان‌ها و فضای داخلی آنها، با عنوان اطلاعات ساختمانی، می‌پردازد و اغلب منبع غنی اطلاعات ساختمانی، در هر دو جنبهٔ هندسی و معنایی، شناخته می‌شود و فاقد ابزارهای لازم به‌منظور تحلیل‌های مکانی گوناگون است. در مقابل، GIS اغلب به تهیه و نمایش اطلاعات درشت‌دانهٔ[2] جغرافیایی در فضای بیرونی ساختمان‌ها می‌پردازد و قادر است، براساس روابط مکانی فیزیکی و عملکردی، تحلیل‌های مکانی گوناگونی انجام دهد اما فاقد اطلاعات جزئی درمورد ساختمان‌ها و فضای داخلی آنهاست (Fosu et al., 2015; Wang et al., 2019).

مدل‌های BIM و GIS هر دو مدل‌های سه‌بعدی‌اند که ساختمان‌ها و دیگر عوارض مناطق شهری را نمایش می‌دهند اما تمرکز GIS بیشتر بر مدل‌سازی دنیای واقعی است؛ درحالی‌که هدف BIM مرتبط با فرایند طراحی و ساخت ساختمان است. مدل‌های GIS صرفاً عوارضی را مدل‌سازی می‌کنند که، در حال حاضر، در دنیای واقعی وجود دارند و اطلاعات جغرافیایی عوارض مانند شکل و مکان آنها را در نظر می‌گیرند و فقط از نمایش مرزی به‌منظور نمایش عوارض استفاده می‌کنند. اما مدل‌های BIM اطلاعات جزئی المان‌های ساختمان و مرتبط با فرایند طراحی و ساخت ساختمان را در نظر می‌گیرند و عوارضی را مدل‌سازی می‌کنند که ممکن است وجود نداشته باشند. از این عوارض با عنوان «ساخت قبل از ساخت» نام می‌برند و علاوه‌بر روش نمایش مرزی، از روش‌های دیگری همچون solid swept، CSG[3] برای نمایش عوارض استفاده می‌کنند (Zhu et al., 2020)؛ برای نمونه، در مدل‌سازی دیوار، مدل CityGML آن را سطحی مجزا برای هر اتاق در نظر می‌گیرد؛ درصورتی‌که مدل IFC آن را مکعبی مشترک بین اتاق‌ها می‌پذیرد.

بااین‌حال و با توجه به اشتراک عملکردی BIM و GIS، چه بسا تلفیق آنها دید جامع‌تر و عمیق‌تری ایجاد کند و اطلاعات یکپارچه‌ای در کاربردهای شهری در اختیار قرار دهد زیرا، در مدل‌های BIM، به برخی اطلاعات مکانی همچون توپوگرافی نیاز است که فقط با استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی حاصل می‌شود. مثلاً در صنعت ساخت‌وساز، ساخت یک ساختمان بدون توجه به محیط اطراف آن صحیح نیست و در تحلیل‌های مربوط، منجر به نتایج ناکاملی خواهد شد (Liu et al., 2017) و ساختمان‌ها باید در مکان درست

1. Micro-Level
2. Macro-Level
3. Constructive Solid Modeling (CSG)

خود در شهر قرار گیرند. دایاکیت و زلاتوانا[1] (۲۰۲۰)، در تحقیق خود، روشی برای زمین‌مرجع‌سازی اتوماتیک مدل‌های BIM پیشنهاد داده‌اند. با وجود تفاوت‌های بسیار میان BIM و GIS، اشتراک بین آنها در حال افزایش است. با توجه به کاربردهای گوناگون شهری در فضای داخلی و بیرونی ساختمان‌ها و لزوم با هم درنظرگرفتن BIM و GIS به‌منظور ایجاد دیدی یکپارچه و عمیق، نیاز به تلفیق این دو احساس می‌شود و تا کنون تحقیقات بسیاری در این مورد انجام شده است؛ به‌طوری‌که فاصلهٔ میان این دو فنّاوری در حال کاهش و تعداد مقالات در این حوزه رو به افزایش است.

۵- روش‌های تلفیق BIM و GIS

طبقه‌بندی‌های گوناگونی برای روش‌های تلفیق BIM و GIS انجام شده است. طبقه‌بندی مبتنی‌بر سطح هندسی و سطح معنایی و همچنین، طبقه‌بندی مبتنی‌بر یک‌طرفه یا دوطرفه‌بودن تلفیق ازجمله طبقه‌بندی‌های موجود برای روش‌های تلفیق BIM و GIS شمرده می‌شوند (Liu et al., 2017). ایریزاری[2] و همکاران (۲۰۱۳) روش‌های تلفیق را در سطح کاربردی و سطح مبنایی طبقه‌بندی می‌کنند. کنگ و هنگ[3] نیز روش‌های تلفیق را به پنج دستهٔ شمامبنا، سرویس‌مبنا، آنتولوژی‌مبنا، فرایندمبنا و سیستم‌مبنا طبقه‌بندی می‌کنند. طبقه‌بندی دیگری نیز روش‌های تلفیق را در سه سطح داده، فرایند و کاربرد قرار می‌دهد (Amirebrahimi et al., 2015). در مقالهٔ حاضر، روش‌های تلفیق BIM و GIS در سه دسته قرار می‌گیرند: ۱. روش‌های مبتنی‌بر استانداردهای مورد نظر؛ ۲. روش‌های مبتنی‌بر وب‌سرویس‌ها و فنّاوری‌های وب‌معنایی؛ ۳. روش‌های مبتنی‌بر کاربردهای خاص.

۵-۱- تلفیق مبتنی‌بر استانداردهای مورد نظر

به‌منظور تلفیق اساسی BIM و GIS، تلفیق باید در سطح داده و مبتنی‌بر استانداردهای مورد نظر انجام شود. همان‌طورکه گفته شد، CityGML و IFC مهم‌ترین استانداردهای تبادل داده در GIS و BIM شناخته می‌شوند. ضعف اصلی این روش‌ها زمان‌بربودن و هزینهٔ زیاد آنهاست.

روش اول، در تلفیق مبتنی‌بر استانداردها، ایجاد استانداردهای جدید به‌منظور پوشش اطلاعات مورد نظر هم در BIM و هم در GIS است. در این روش‌ها، استانداردهای جدیدی به‌منظور تلفیق مدل‌های BIM و GIS تعریف می‌شود. برای نمونه، در سال ۲۰۱۳ استاندارد جدید InfraGML[4] به‌منزلهٔ جایگزین استاندارد LandXML[5] پیشنهاد شد (Gröger et al., 2012). این استاندارد، به‌نسبت استاندارد LandXML، قابلیت تلفیق بهتری با CityGML دارد. IndoorGML[6] استاندارد جدید دیگری است که با زبان نشانه‌گذاری GML3.2 توسعه داده شده است. هدف اصلی IndoorGML استفاده در کاربردهای مرتبط با ناوبری داخلی بوده و استانداردهای CityGML و IFC را تکمیل می‌نماید. برخی از اطلاعات در IndoorGML به‌طور مستقیم از IFC و CityGML با سطح‌جزئیات۴ قابل استخراج است (Kim et al., 2014). ضعف اصلی این روش‌ها این است که BIM و GIS فقط در یک جنبهٔ خاص با هم تلفیق می‌شوند. مثلاً استاندارد IndoorGML، BIM و GIS را فقط برای کاربردهای مرتبط با ناوبری داخل ساختمان تلفیق می‌کند؛ بنابراین، نمی‌توان ادعا کرد که استانداردهای جدید توانایی تلفیق این دو فنّاوری را در همهٔ جنبه‌ها دارند.

روش دوم، در تلفیق مبتنی‌بر استانداردها، توسعهٔ استانداردهای IFC و CityGML به‌منظور پوشش اطلاعات مورد نظر در BIM یا GIS است. با توجه به اینکه استانداردهای CityGML و IFC هنوز قابلیت پشتیبانی از تمامی اطلاعات ساختاری در محیط‌های

1. Diakite & Zlatanova
2. Irizarry
3. Kang & Hong
4. Infra Geographical Markup Language
5. Land eXtensible Markup Language
6. Indoor Geographical Markup Language

شهری را ندارند، نیازمند توسعه‌اند تا یکدیگر را تکمیل کنند (Liu et al., 2017). به‌منظور توسعهٔ استانداردهای موجود، باید توجه داشت که تبدیل اطلاعات از IFC به CityGML و برعکس دارای چه نقاط ضعف و قدرتی است. در تبدیل از IFC به CityGML، بیشتر بر تبدیل هندسی تمرکز می و تحقیقات اندکی در زمینهٔ تبدیل معنایی بین آنها انجام شده است زیرا این تبدیل محدودیت‌هایی به‌همراه دارد و با تبدیل بین IFC و CityGML ازدست‌رفتن معنی رخ خواهد داد. بااین‌حال، تبدیل هندسی نیز به‌راحتی انجام نمی‌شود و اغلب در سطوح پایین جزئیات امکان‌پذیر است (De Laat & Van Berlo, 2011). در تحقیق د لات و ون برلو[1] (۲۰۱۱)، GeoBIM به‌منزلهٔ استاندارد توسعه‌یافتهٔ CityGML و برای پشتیبانی از اطلاعات هندسی و معنایی IFC معرفی شده است. اروی اهوری[2] و همکاران (۲۰۱۸) نیز از GeoBIM در تلفیق BIM و GIS، با تأکید بر انتقال هندسی اطلاعات، استفاده کرده‌اند. در برخی تحقیقات، از فرایند استخراج، انتقال و بارگذاری[3] استفاده شده و مدل‌های BIM و GIS به‌صورت نیمه‌اتوماتیک به یکدیگر تبدیل می‌شوند. فرایند مذکور داده‌های ناهمگون را از منابع گوناگون استخراج می‌کند و آنها را به فرمتی مناسب انتقال می‌دهد. رفیعی[4] و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهش خود، مراحل تلفیق داده‌های BIM با اطلاعات مکانی را، به‌کمک این فرایند، بررسی کرده‌اند. یکی از بسترهای مناسب در فرایند استخراج و انتقال و بارگذاری، موتور دست‌کاری عارضه[5] است که در آن ارتباطی دوطرفه بین IFC و CityGML برقرار می‌شود (Donkers, 2013) و طی آن، هم اطلاعات هندسی و هم اطلاعات معنایی ثابت می‌مانند. واکا[6] و همکاران (۲۰۱۸) به‌کمک آن ارتباطی دوطرفه میان نرم‌افزارهای Revit و ArcGIS برقرار کرده‌اند.

۵-۲- تلفیق مبتنی‌بر وب‌سرویس‌ها و فنّاوری‌های وب‌معنایی

در روش‌های مبتنی‌بر وب‌سرویس‌ها، BIM و GIS در بستر اینترنت و به‌کمک وب‌سرویس‌ها با یکدیگر تلفیق می‌شوند. نمونهٔ آن وب‌سرویس WFS-T for BIM است که برای ارائهٔ ویژگی‌های IFC و CityGML به‌کار رفته است (Gröger et al., 2007). دولنر و هاگدورن[7] (۲۰۰۷) داده‌های CAD[8]، BIM و GIS را به‌کمک وب‌سرویس‌ها، برای ساخت یک مدل سه‌بعدی شهری، به‌صورت مجازی تلفیق کردند. در تحقیق ژو[9] و همکاران (۲۰۲۰)، سامانه‌ای طراحی شده است که در آن مدل BIM به‌کمک وب‌سرویس‌های مکانی نمایش داده می‌شود. در این سامانه که به‌منظور مدیریت پل‌ها طراحی شده است، ابتدا مدل‌دادهٔ IFC مربوط به پل، پس از تبدیل به فرمت SHP[10]، بارگذاری و به‌کمک فنّاوری ArcGIS Online به‌صورت آنلاین مدیریت می‌شود. این سامانه در بستر یک وب‌سرویس توسعه داده شده و این اجازه را به کاربران داده است تا، با اتصال به اینترنت، به آن دسترسی داشته داشته باشند و مدل اطلاعات ساختمانی پل را به‌صورت آنلاین مشاهده کنند.

روش‌های دیگر تلفیق BIM و GIS روش‌های مبتنی‌بر فنّاوری‌های وب‌معنایی است. وب‌معنایی قابلیتی ذاتی به‌منظور تلفیق منابع دادهٔ ناهمگون دارد. حسن اصلی روش‌های مبتنی‌بر فنّاوری‌های وب‌معنایی این است که امکان تلفیق دوطرفهٔ BIM و GIS فراهم می‌شود. به‌منظور تلفیق مدل‌های BIM و GIS به‌کمک این فنّاوری‌ها، ابتدا آنتولوژی مرجعی برای توضیح صریح و صوری مفاهیم موجود در مدل‌های BIM و GIS

1. De Laat & Van Berlo
2. Arroyo Ohori
3. Extract, Transform and Load (ETL)
4. Rafiee
5. Feature Manipulation Engine (FME)
6. Vacca
7. Döllner & Hagedorn
8. Computer-Aided Design
9. Zhu
10. Shapefile

تعریف می‌شود. سپس مفاهیم در آنتولوژی مرجع نگاشته و کلاس‌بندی انجام می‌شود (Deng et al., 2016b). هوبیچ و روکسین[1] (۲۰۲۰)، ضمن مشخص‌کردن آنتولوژی‌های استاندارد موجود در BIM و GIS، به‌کمک نظریهٔ Linked Data، برقراری ارتباط فرامدل‌ها، شماهای مفهومی و شماهای کاربردی بین GIS و BIM را بررسی کرده‌اند. مینیار و نیکول[2] (۲۰۱۴) نیز از آنتولوژی‌ها به‌منظور تلفیق BIM و GIS، با هدف کاربرد در مدیریت تسهیلات شهری، استفاده کردند. در تحقیق آنها، افزونهٔ جدید مدل‌سازی اطلاعات شهری[3] معرفی شده است که مفاهیم مکانی و زمانی را، برای ساخت یک آنتولوژی به‌منظور تلفیق اطلاعات IFC و CityGML، تعیین می‌کند. کارن[4] و همکاران (۲۰۱۵) و هور[5] و همکاران (۲۰۱۸) نیز در تحقیقاتشان، به‌کمک فنّاوری‌های وب‌معنایی به تلفیق BIM و GIS و با تأکید بر استخراج اطلاعات معنایی از مدل‌دادهٔ IFC و نگاشت آن در مدل CityGML پرداخته‌اند.

۵-۳- تلفیق مبتنی‌بر کاربردهای خاص

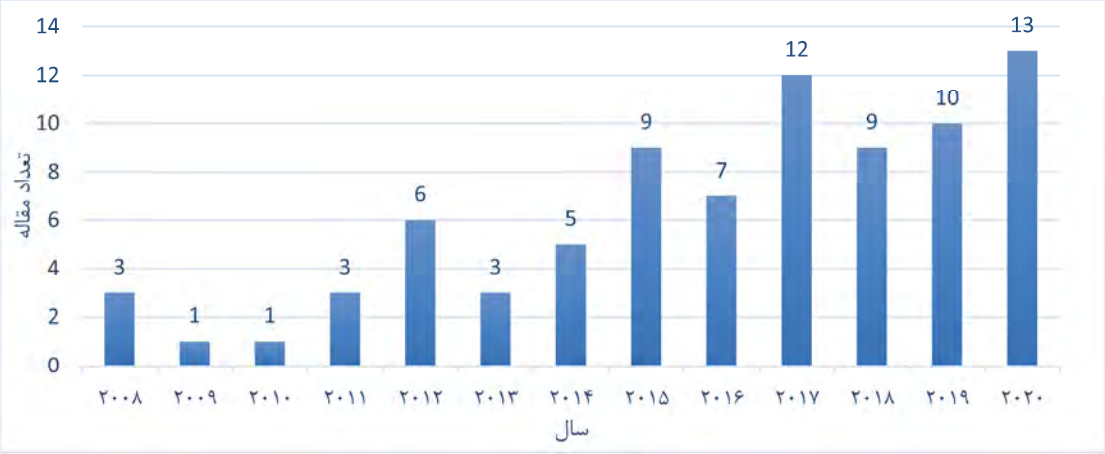
در دسته‌ای از تحقیقات، منابع داده‌ای تغییر نکرده و هیچ‌گونه آنتولوژی و وب‌سرویسی توسعه داده نشده است. در روش‌های استفاده‌شده در این تحقیقات، اطلاعات مورد نیاز برای GIS یا BIM با توجه به کاربرد مورد نظر، ازطریق افزونهٔ موجود در نرم‌افزارهای مرتبط استخراج و در یک پایگاه دادهٔ مرکزی ذخیره می‌شود. در تحقیق چن و انگوین[6] (۲۰۱۹)، به‌کمک رابط‌های برنامهٔ کاربردی[7] Google Map و نرم‌افزار Revit و با استفاده از زبان برنامه‌نویسی #C، افزونه‌ای در نرم‌افزار Revit به‌منظور مدیریت زنجیرهٔ تأمین توسعه داده شده است. نمونهٔ دیگر در این روش‌ها gbXML[8] است که BIM و GIS را، با هدف کاهش مصرف انرژی ساختمان، تلفیق می‌کند (Niu et al., 2015).

۶- تحقیقات انجام‌شده در زمینهٔ تلفیق BIM و GIS

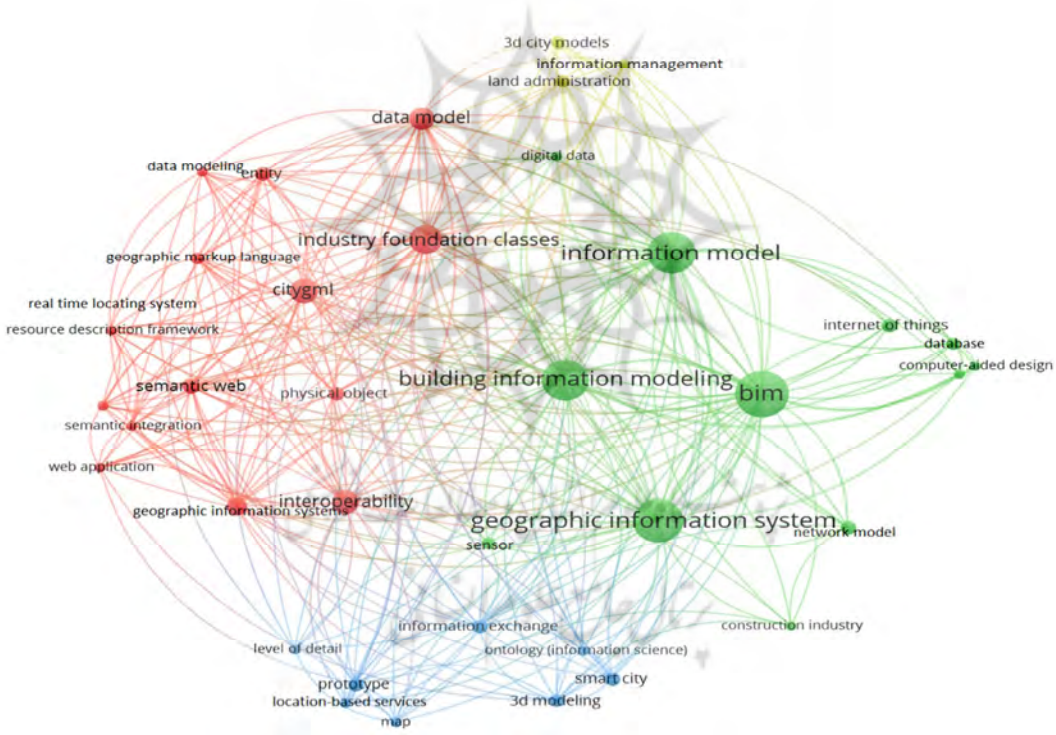
هدف اصلی این مقاله مرور برخی تحقیقات اخیر دربارهٔ تلفیق BIM و GIS و استخراج زمینه‌های کاربردی در این حوزه است. بدین‌منظور، از مقالات گوناگون منتشرشده در کنفرانس‌ها و مجله‌ها استفاده شده است. ۸۲ مقالهٔ منتشرشده در بازهٔ زمانی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ انتخاب و مرور شده است. شکل ۲ نمودار میله‌ای تعداد مقالات منتخب در هر سال را نشان می‌دهد.

به‌منظور بررسی بیشتر مقالات منتخب، از نرم‌افزار VOSviewer 1.6.11.01 استفاده شده که یک نرم‌افزار علم‌سنجی برای خلاصه‌سازی و بصری‌سازی داده‌های پژوهشی است. در این راستا، پس از ورود شناسهٔ برنمود دیجیتالی[9] مقالات به محیط نرم‌افزار، از رابط برنامهٔ کاربردی Semantic Scholar برای دانلود مقالات در محیط نرم‌افزار استفاده شده است. به‌کمک دو تحلیل هم‌اتفاقی کلمات کلیدی[10] و نویسندگان همکار، شبکهٔ کلمات کلیدی هم‌اتفاق و شبکهٔ هم‌تألیفی نویسندگان، در قالب نقشه، تولید شد که به‌ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نمایان است. ۳۶ واژهٔ کلیدی و ۲۰ نویسندهٔ پرتکرار در مقالات مرورشده استخراج شده است. در این دو شبکه، واژگان کلیدی و نویسندگان کلاسه‌بندی و با رنگ‌بندی از یکدیگر متمایز شده‌اند. برای نمونه، هر کلاس در شبکهٔ نویسندگان هم‌تألیف آن نویسندگانی را نشان می‌دهد که تألیف مشترک دارند. در شبکهٔ کلمات کلیدی هم‌اتفاق، اندازهٔ گره کلماتی که بیشترین تکرار در مقالات منتخب را دارند بیشتر است و هم‌اتفاقی آنها در مقالات نیز به‌کمک یال‌ها تشخیص داده می‌شود.

1. Hbeich & Roxin
2. Mignard & Nicolle
3. Urban Information Modeling (UIM)
4. Karan
5. Hor
6. Chen & Nguyen
7. Application Programming Interface (API)
8. Green Building eXtensible Markup Language
9. Digital Object Identification (DOI)
10. Keyword Co-Occurrence



شکل ۲. تعداد مقالات منتخب در هر سال



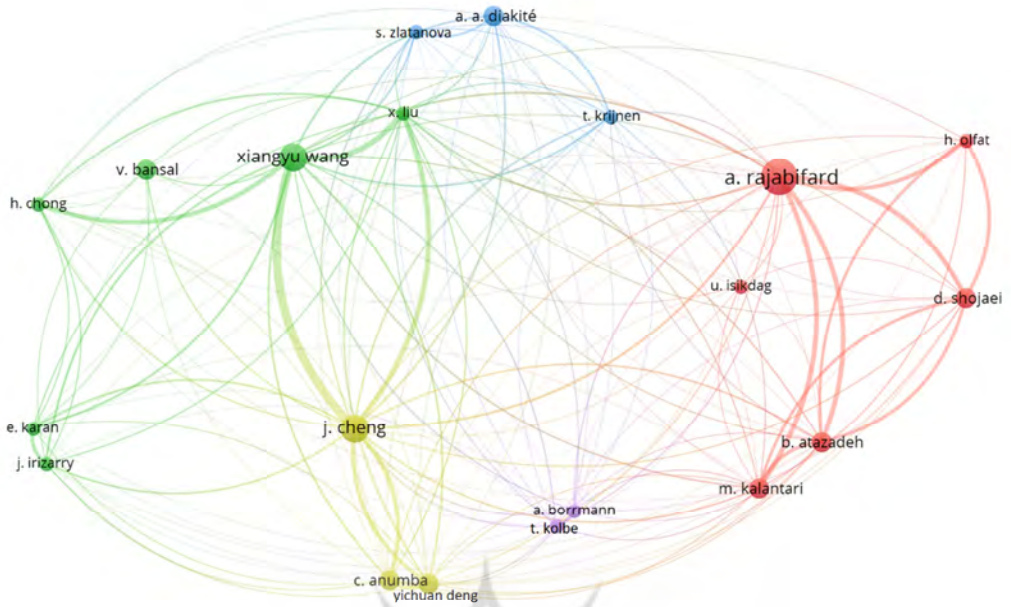
شکل ۳. شبکهٔ کلمات کلیدی هم‌اتفاق در مقالات منتخب

۷- زمینه‌های کاربردی تلفیق BIM و GIS

زمینه‌های کاربردی متنوعی در حوزهٔ تلفیق BIM و GIS وجود دارد که در ادامه، با بررسی و دسته‌بندی مقالات، مهم‌ترین آنها مطرح می‌شود.

۷-۱- صنعت ساخت‌وساز

به‌طورکلی تلفیق BIM و GIS بهره‌وری را در صنعت ساخت‌وساز افزایش می‌دهد و کاربردهای گوناگونی را در طول چرخهٔ حیات ساختمان موجب می‌شود. در پروژه‌های ساختمانی، به تصمیم‌گیری درست و برخی



شکل ۴. شبکهٔ نویسندگان هم‌تألیف در مقالات منتخب

اطلاعات مکانی، مانند توپوگرافی منطقه، نیاز است که GIS، در جایگاه یک سیستم حامی تصمیم‌گیری، می‌تواند نقش مؤثری در این زمینه ایفا کند.

ایریزاری و کارن (۲۰۱۲) در تحقیق خود، با هدف کاهش تداخلات میان مجموعهٔ تاورکرین‌های سایت پروژه، تابعی را به‌منظور بهینه‌سازی تعداد و مکان آنها در سایت پروژه پیشنهاد داده‌اند. در این تحقیق، با بصری‌سازی ساختمان‌ها از قبل به‌کمک BIM، ابتدا به‌منظور تعیین مناطق با پتانسیل بالا برای نصب تاورکرین‌ها و رسیدن به پوشش منطقه‌ای مناسب از GIS استفاده شد و سپس، با ترکیب نتایج آن با مدل‌های BIM و با درنظرگرفتن ویژگی‌های هندسی تاورکرین‌ها، ضمن تعیین سه‌بعدی تداخلات، تعداد تاورکرین‌ها کمینه و در نهایت، مکان آنها بهینه شد.

برنامه‌ریزی فضایی و تعیین مکان‌های دارای پتانسیل بالا برای برخوردهای احتمالی در سایت پروژه نمونهٔ کاربردی دیگر تلفیق BIM و GIS در صنعت ساخت‌وساز است که بنسل[1] (۲۰۱۱) به آن پرداخته است. در این پژوهش، از اطلاعات توپوگرافی و برخی تحلیل‌های مکانی به‌منظور تخصیص مناطق متفاوت سایت پروژه استفاده شده است تا امکان انجام‌دادن فعالیت‌های پروژه به‌صورت متناسب مهیا شود.

در تحقیق دیگری که لیو و ایسا[2] (۲۰۱۲) انجام دادند، تلفیق BIM و GIS در مدیریت تسهیلات به‌کار رفته است. در این تحقیق، خطوط لوله زیرزمینی به‌صورت سه‌بعدی بصری‌سازی شد تا تداخلاتشان با ساختمان مشخص شود. کاهش حجم عملیات خاک‌برداری و خاکریزی نمونهٔ کاربرد دیگر تلفیق BIM و GIS است که کیم[3] و همکاران (۲۰۱۵) به آن اشاره کرده‌اند. ژو و همکاران (۲۰۱۷) و ویلگرشوفر[4] و همکاران (۲۰۱۷) نیز از داده‌های GIS و تلفیق آن با داده‌های BIM، در پروژهٔ ساخت تونل، بهره برده‌اند.

1. Bansal
2. Liu & Issa
3. Kim
4. Vilgertshofer

مهم‌ترین مسئله در صنعت ساخت‌وساز تخمین هزینه است. مدیریت مالی و تخمین هزینه نیازمند فرایندی سیستماتیک است و تلفیق BIM و GIS بستری مناسب ایجاد می‌کند تا تخمین هزینه کارآمدتر انجام شود. در پژوهش پارک[1] و همکاران (۲۰۱۴)، سامانه‌ای مبتنی‌بر BIM و GIS توسعه یافته است که در آن هزینهٔ ساخت، هزینهٔ زمین مورد نیاز برای ساخت و هزینهٔ عملیات و نگهداری ساختمان تخمین زده شده و این کار به تصمیم‌سازی بهتر در برنامه‌ریزی مناسب‌تر کمک می‌کند. این تحقیق به‌صورت امکان‌سنجی به‌کارگیری این سیستم، درمورد یک راه، بررسی شده و از سامانهٔ توسعه‌سافته در تخمین هزینهٔ راه‌های متفاوت و در نهایت، تصمیم‌گیری و انتخاب بهترین مسیر استفاده شده است.

در صنعت ساخت‌وساز، فرایند مدیریت مالی وابستگی بسیاری به مدیریت زنجیرهٔ تأمین دارد. در تحقیق دیگری، ایریزاری و همکاران (۲۰۱۳) سامانه‌ای طراحی کردند که مدلی تلفیقی از BIM و GIS را ارائه می‌دهد و در بصری‌سازی فرایند زنجیرهٔ تأمین ساخت به‌کار می‌رود. در این پژوهش، از BIM برای مشخص‌کردن تمامی المان‌های ساختمان، با حجم و جنس مشخص، و همچنین نمایش سه‌بعدی وضعیت مواد ساختمانی در زمان‌های مشخص استفاده شده است. GIS نیز برای انجام‌دادن تحلیل‌های مکانی در فرایند زنجیرهٔ تأمین، مانند جابه‌جایی مواد در شبکهٔ حمل‌ونقلی و ذخیره‌سازی آنها در انبار با هدف کاهش هزینهٔ حمل‌ونقلیهٔ به‌کار رفته است. وانگ و همکاران (۲۰۱۷) و دنگ[2] و همکاران (۲۰۱۹) نیز پژوهش‌هایی همانند موارد پیشین انجام داده‌اند که در هریک چارچوبی مبتنی‌بر تلفیق BIM و GIS، به‌منظور انتخاب مکان کارپردازان در پروژه، ارائه شده است. در تحقیق وانگ، از GIS به‌منظور تحلیل شبکهٔ حمل‌ونقل مواد ساختمانی استفاده شده که، در تلفیق با داده‌های BIM و به‌کمک روش تحلیل سلسله‌مراتبی، به انتخاب کارپردازان پروژه می‌پردازد.

مسئلهٔ ایمنی پروژه نیز بسیار مهم است. بنسل (۲۰۱۰) از تلفیق BIM و GIS به‌منظور تعیین مکان‌های دارای پتانسیل بالا، برای برخوردهای احتمالی در سایت پروژه، استفاده کرده است. شاهی[3] و همکاران (۲۰۱۳) نیز روشی برای ردیابی فعالیت‌های انجام‌شده در سایت پروژه، با هدف افزایش ایمنی، پیشنهاد کردند.

۷-۲- برنامه‌ریزی شهری

برنامه‌ریزی برای ترافیک شهری نمونهٔ کاربرد تلفیق BIM و GIS در زمینهٔ برنامه‌ریزی شهری است که وانگ و همکاران (۲۰۱۴) به آن پرداخته‌اند. در این تحقیق، با استفاده از مدل BIM ساختمانی اداری و تحلیل مکانی- زمانی ترافیک خیابان‌های اطراف آن، تأثیر ورودی‌ها و خروجی‌های پارکینگ ساختمان و نیز محلِ در نظر گرفته‌شده، از لحاظ توقف کوتاه‌مدت خودروها مقابل ورودی‌ها، در ترافیک اطراف ساختمان بررسی شد. همچنین با درنظرگرفتن برخی معیارهای دیگر، مانند نوع و سرعت خودروها، ترافیک شهری در منطقه شبیه‌سازی شد تا طراحی ساختمان ارزیابی شود و تحلیل‌های شهری ثانویه صورت گیرد.

در تحقیق دیگری به‌کمک تلفیق BIM و GIS، نقشهٔ سه‌بعدی نویز ترافیک شهری تولید شده است که دنگ و همکاران (a۲۰۱۶)، با طرح چارچوبی، به آن دست پیدا کرده‌اند. در این تحقیق، BIM و GIS در سکویی واحد تلفیق شد تا میزان نویز ناشی از ترافیک، هم در فضای داخلی و هم در فضای بیرونی ساختمان، به‌صورت یکپارچه محاسبه شود. اطلاعات محیطی به‌کمک GIS و اطلاعات داخلی مورد نیاز، شامل هندسهٔ داخلی ساختمان و جنس مواد ساختمانی، برای محاسبهٔ شدت سیگنال صوتی به‌کمک مدل BIM استخراج شد و پس از انجام‌دادن محاسبات، نقشهٔ سه‌بعدی نویز، هم در فضای داخلی و هم در فضای بیرونی ساختمان، بصری‌سازی شد.

1. Park
2. Deng
3. Shahi

بنسل و پال[1] (۲۰۰۹)، با تلفیق BIM و GIS، روشی را برای محاسبه و بصری‌سازی جهت تابش نور خورشید بر وجوه متفاوت ساختمان مطرح کردند که هدفشان تعیین مکان و جهت درست آن در مرحلهٔ طراحی بوده است. تحقیق دیگری نیز به تأثیر تراکم شهری و مقدار تابش خورشیدی در ساختمان در میزان مصرف انرژی ساختمان پرداخته است (Strømann-Andersen & Sattrup, 2011). تناسب اقلیمی ساختمان مبتنی‌بر تلفیق BIM و GIS نیز کاربرد دیگری در این زمینه است (Hjelseth & Thiis, 2008). سیراکووا[2] (۲۰۱۸)، با اشاره به مفهوم مدل‌سازی اطلاعات شهری[3]، به نقش تلفیقی BIM و GIS در بررسی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی شهر اشاره کرده است. با استفاده از مدل‌های BIM و انجام‌دادن تحلیل‌های مکانی در GIS، می‌توان قابلیت پیاده‌روی راه‌ها را ارزیابی کرد. کیم و همکاران (۲۰۱۶) قابلیت پیاده‌روی راه‌ها را، با هدف انتخاب راه ایمن و سالم برای رسیدن به مدرسه، برپایهٔ تلفیق BIM و GIS، بررسی کردند. در این تحقیق، برخی اطلاعات زیرساخت‌های شهری از مدل‌دادهٔ IFC استخراج شد و با توسعهٔ یک آنتولوژی، ایمنی و سلامت راه‌ها برای دانش‌آموزان طبقه‌بندی و نمایش داده شد.

مستندسازی و مدیریت اطلاعات ساختمان‌های قدیمی و تاریخی زمینهٔ کاربردی دیگری در حوزهٔ برنامه‌ریزی شهری است که به اطلاعات مکانی و معماری کامل درمورد آن ساختمان‌ها، در قالب مدل‌های سه‌بعدی، نیاز دارد. مدل‌های اطلاعات ساختمانی چنین ساختمان‌هایی را HBIM[4] می‌نامند. در تهیهٔ این مدل‌ها، اغلب اطلاعات هندسی مدل به‌کمک فنّاوری‌های ژئوماتیکی، مانند لیزراسکنرها، تهیه می‌شود و خروجی آن ابری از نقاط است که به نرم‌افزار Revit وارد می‌شود. پس از ساخت مدل، باید مدل زمین‌مرجع شود و اطلاعات جغرافیایی اطراف آن نیز در دسترس باشد. در این زمینه، کلوچی[5] و همکاران (۲۰۲۰) دو روش برای نمایش مدل‌های HBIM در بستر GIS پیشنهاد کرده‌اند. در روش اول، مدل HBIM به‌صورت مستقیم و با فرمت rvt وارد محیط نرم‌افزار ArcGIS Pro می‌شود. در روش دوم، ابتدا خروجی با فرمت IFC از مدل ساختمانی دریافت و سپس، به‌کمک نرم‌افزار FME Reader، به فرمت GML تبدیل می‌شود؛ در نهایت، خروجی دریافتی وارد نرم‌افزارهای ArcGIS Pro و QGIS می‌شود.

در پژوهش‌های دیگری، محققان به نقش تلفیق BIM و GIS در فرایند صدور مجوز ساخت پرداخته‌اند. این فرایند نیازمند به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات میان ذی‌نفعان گوناگون است و در حال حاضر، در بسیاری از کشورها به‌صورت کاغذی انجام می‌شود. ازآن‌جاکه BIM و GIS ماهیتی دیجیتالی دارند و حاوی اطلاعات لازم به‌منظور صدور مجوز ساخت‌اند، تلفیق آنها می‌تواند بستر مناسبی برای انجام‌شدن فرایند مذکور ایجاد کند. براساس قوانین شهرداری‌ها در صدور مجوز ساخت، در اغلب مناطق شهری، ارتفاع بلندترین نقطهٔ ساختمان نباید بیشتر از حد مجاز شود. السون[6] و همکاران (۲۰۱۸) به دیجیتالی‌کردن محاسبهٔ ارتفاع مجاز ساختمان در فرایند صدور اتوماتیک مجوز ساخت، به‌کمک تلفیق BIM و GIS، پرداخته‌اند. در این تحقیق، ابتدا مدل IFC به فرمت CityGML تبدیل می‌شود. در مرحلهٔ بعد، صفحهٔ ۴۵درجه‌ای عبوری از بلندترین بخش سقف با صفحهٔ دیوار بیرونی ساختمان تقاطع می‌یابد و خط اشتراک آنها استخراج می‌شود. سپس فاصلهٔ بین خط و صفحهٔ استخراج‌شده از مدل رقومی ارتفاعی زمین[7] محاسبه می‌شود. درصورتی‌که مقدار فاصله از حد مجاز بیشتر نباشد، ساختمان مذکور از نظر ارتفاع مجاز است و اجازهٔ ساخت دارد. نوآردو[8] و

1. Pal
2. Sirakova
3. City Information Modeling (CIM)
4. Heritage BIM
5. Colucci
6. Olsson
7. Digital Elevation Model (DEM)
8. Noardo

همکـاران (۲۰۲۰) تحقیـق مشـابهی انجـام دادنـد و از استاندارد GeoBIM بهره بردند. در ایـن تحقیـق، ابتـدا قوانین موجود توصیف و سپس فرمول‌بندی می‌شود. در نهایت، معیارهای لازم مانند ارتفاع ساختمانهٔ بـه‌منظـور بررسی مجوز سـاختهٔ تعیـین مـی‌شـود. امـام‌قلیـان[1] و همکاران (۲۰۲۰) نیز تـداخلات قـوانین فراینـد صـدور مجوز ساخت را بررسی و مدل‌سازی کـرده‌انـد. در ایـن تحقیق، تـداخلات احتمـالی اسـتخراج و بـه سـه گـروه تداخلات مکانی، تـداخلات معنـایی و تـداخلات زمـانی دسته‌بندی شده است. وجود مدل BIM بدون اطلاعـات توپوگرافی و موقعیت مکانی و نیز تقاطع مرزهای داخلی و خارجی مـدل نمونـه از تـداخلات مکـانی موجـود در فرایند صدور مجوز ساخت محسوب مـی‌شـوند. تفـاوت میان نوشتار مانند تفاوت میان دو واژهٔ «Apartment» و «Apt» نیز ازجمله تداخلات معنایی موجـود در فراینـد صـدور دیجیتـالی مجـوز سـاخت شـمرده مـی‌شـود. همچنین، درخواست هم‌زمان صدور مجوز ساخت بـرای دو مدل BIM، که در نزدیکی یکـدیگر هسـتند، ممکـن است سبب تداخلات زمانی در فرایند صدور مجوز شود. پس از دسته‌بندی، تـداخلات در سـناریوهای گونـاگون مدل‌سازی می‌شود و در صورت بروز تـداخل، تصـمیمی متناسب با تداخل رخداده گرفته می‌شود.

۷-۳- مدیریت بحران

آتـش‌سـوزی و سـیل نمونـهٔ بحـران‌هـایی هسـتند کـه تحقیقـات گونـاگونی، مبتنـی‌بـر تلفیـق BIM و GIS، به‌منظور مدیریت آنها انجام شـده اسـت. ایسـیکدگ[2] و همکاران (۲۰۰۸) و زِورِوویـچ[3] و همکـاران (۲۰۱۶)، در پژوهش‌هایشان، امکان استفاده از مدل‌دادهٔ IFC را برای کاربردهـای مکـانی، هنگـام شـرایط اضـطراری و وقـوع آتـش‌سـوزی در داخـل سـاختمان، بررسـی کـرده‌انـد. زِورِوویـچ میـزان آسـیب‌پـذیری یـک نقطـه در داخـل ساختمان را، پس از وقوع آتش‌سـوزی، تـابعی از فاصـلهٔ آن نقطه تا محل آتش و تعـداد المـان‌هـای سـاختمانی بین آن دو در نظر می‌گیرد کـه بـا اسـتفادهٔ تلفیقـی از BIM و GIS بـه‌راحتـی محاسـبه مـی‌شـود. تعیـین کوتاه‌ترین و ایمن‌ترین مسیر برای رسـیدن بـه منطقـهٔ امن در داخل ساختمان، هنگام وقـوع آتـش‌سـوزی، در تحقیق اطیابی[4] و همکاران (۲۰۱۹) بررسی شد. در این تحقیق، به‌کمک مدل BIM ساختمانی تجاری و تحلیل شبکه، از الگوریتم کلونی مورچگان برای تعیـین مسـیر بهینهٔ سـناریوهای گونـاگون اسـتفاده شـده اسـت. وو و ژانـگ[5] (۲۰۱۶) BIM و GIS را بـه‌منظـور انجـام‌دادن برخی تحلیل‌های داخلی مانند مسیریابی داخلی، هنگام بحران آتش‌سوزی، تلفیق کردند. در این تحقیـق، مـدل BIM ساخته‌شده در نرم‌افـزار Revit بـه مـدل‌دادهٔ IFC منتقل و سپس وارد نرم‌افزار ArcGIS می‌شود. به‌کمـک مدل ارائه‌شده، در زمان وقوع آتش‌سوزی در نقطـه‌ای از ساختمان، مسیر بهینهٔ تخلیهٔ اضطراری تعیین می‌شود. برای نمایش و درک بهتر نتایج، از نرم‌افـزار Navisworks به‌قصد شبیه‌سازی آتش‌سوزی و بصری‌سازی مسیر بهینهٔ تخلیهٔ اضطراری استفاده می‌شود.

امیرابراهیمـی[6] و همکـاران (۲۰۱۵) نقـش تلفیـق BIM و GIS در مدیریت بحران سیل را بررسی کردنـد. در پژوهش این تیم، مـدل‌داده‌ای بـرای تلفیـق BIM و GIS به‌منظور ارزیابی و بصری‌سازی سـه‌بعـدی مطـرح شد. در این تحقیق، به ضـعف مـدل‌دادهٔ CityGML در تعیـین تمـامی ویژگـی‌هـای معنـایی عـوارض، ماننـد سـاختمان‌هـا و خیابـان‌هـا، و لـزوم توسـعهٔ مـدل‌دادهٔ جدیدی مبتنی‌بر تلفیـق بـا مـدل‌دادهٔ IFC و بـا هـدف کاربرد در مدیریت سیل در مناطق شهری اشـاره شـده است. نتایج شبیه‌سازی سیل وارد نرم‌افزار ArcGIS شد و خروجی مدل BIM ساختمان با فرمت IFC دریافت و وارد پایگاه دادهٔ مکانی شد. مدل‌دادهٔ بیان‌شـده درمـورد

1. Emamgholian
2. Isikdag
3. Zverovich
4. Atyabi
5. Wu & Zhang
6. Amirebrahimi

یک ساختمان اجرا و هزینهٔ خسارات وارد بر ساختمان ارزیابی شد. در تحقیق دیگری، این تیم چارچوبی به‌منظور ارزیابی و بصری‌سازی سه‌بعدی تخریب ناشی از بحران سیل، در مقیاس‌های کوچک، ارائه کرد. در این تحقیق، اشاره شده است که می‌توان با تعیین دو مشخصهٔ اصلی سیل، یعنی عمق و سرعت آن در گام‌های زمانی متفاوت، و نیز استخراج ضریب پایداری هر المان ساختمانی در برابر آب از مدل BIM، آسیب‌پذیری هر المان را ارزیابی کرد و به‌کمک ویژگی‌های هندسی المان‌ها، به‌ویژه دیوارها، رفتار سیل مانند نحوهٔ بالاآمدن سطح آب در بیرون و داخل ساختمان را بصری‌سازی کرد. به‌منظور تلفیق اطلاعات، مدل‌داده‌ای مبتنی‌بر GML توسعه یافته است که اطلاعاتی نظیر سطح زمین، سیل و مواد ساختمانی را شامل می‌شود (Amirebrahimi et al., 2016).

۴-۷- موقعیت‌یابی و ناوبری داخلی

با توسعهٔ ساختمان‌های بلندمرتبه، اطلاعات مکانی در فضای داخلی اهمیت بیشتری پیدا کرده است. در این زمینه، استخراج اطلاعات مکانی در فضای داخلی فرایند مهمی در GIS، برای رسیدن از فضای بیرونی به فضای داخلی، محسوب می‌شود (Pang et al., 2018). هوانگ[1] و همکاران (۲۰۱۲) روشی برای نمایش فضای داخلی ساختمان، مبتنی‌بر مدل‌دادهٔ IndoorGML، پیشنهاد کردند. در این تحقیق، اطلاعات مکانی سه‌بعدی در فضای داخلی براساس BIM تولید می‌شود. در تحقیق دیگری، یک مدل ترکیبی به‌منظور تهیهٔ مدل نقشهٔ سه‌بعدی داخل ساختمان، برای روش‌های موقعیت‌یابی و ناوبری مبتنی‌بر نقشه، ارائه شده است. در این تحقیق، دو مدل گراف‌مبنای استخراج‌شده از GIS و مدل هستنده‌مبنای استخراج‌شده از BIM با یکدیگر تلفیق می‌شوند. در مدل گراف‌مبنا، درها و پنجره‌ها و مراکز اتاق‌ها به‌منزلهٔ گره‌های افقی، پله‌ها و آسانسورها به‌منزلهٔ گره‌های قائم و کریدورها و خطوط ناشی از اتصال گره‌ها به‌منزلهٔ یال‌های مدل شبکهٔ مسیر سه‌بعدی در نظر گرفته می‌شوند. در مدل هستنده‌مبنا نیز، دیوارها، سقف‌ها، درها، پنجره‌ها و ستون‌ها به‌منزلهٔ المان‌های افقی و پله‌ها و آسانسورها به‌منزلهٔ المان‌های قائم مدل محسوب می‌شوند. عملکرد اصلی مدل گراف‌مبنا تهیهٔ شبکهٔ مسیر داخلی، بررسی اتصالات آن، مشخص‌کردن نقاط ابتدا و انتهای مسیر و نیز محاسبهٔ طول مسیر و زمان طی‌شده در رسیدن به نقطهٔ انتهایی شناخته‌شده است؛ عملکرد اصلی مدل هستنده‌مبنا نیز ایجاد بستری به‌منظور بهبود بصری‌سازی شبکهٔ مسیر سه‌بعدی داخل ساختمان در نظر گرفته شده است (Liu et al., 2020). در تحقیق دیگری، سیستم هوشمند ناوبری داخلی مبتنی‌بر تلفیق اطلاعات معنایی موجود در BIM و اطلاعات نمایهٔ کاربران به‌کمک فنّاوری‌های وب‌معنایی توسعه یافته است. ابتدا نقطهٔ مقصد از سوی کاربر مشخص می‌شود؛ سپس اطلاعاتی همچون معلول‌بودن/ نبودن کاربر از نمایهٔ وی استخراج و مسیر پیشنهادی در اختیار کاربر قرار می‌گیرد (Shayeganfar et al., 2008).

تئو و چو[2] (۲۰۱۶) درمورد یکپارچه‌سازی مسیریابی، هم در فضای داخلی و هم در فضای بیرونی ساختمان، تحقیق کرده‌اند. در این پژوهش، یک مدل شبکهٔ داخلی مبتنی‌بر BIM ارائه شد که از اتصال آن به شبکهٔ بیرونی برای مسیریابی در کاربردهای گوناگون استفاده می‌شود. همچنین، مدل‌دادهٔ شبکهٔ هندسی چندهدفه‌ای[3] ارائه شده است که المان‌های ساختمان در مدل‌دادهٔ IFC به آن تبدیل می‌شود تا یک مدل شبکهٔ داخلی غنی ایجاد شود. اطلاعات ورودی‌های ساختمان از مدل‌دادهٔ ارائه‌شده و اطلاعات دربارهٔ شبکهٔ خیابان‌ها از پایگاه OSM[4] استخراج می‌شود. در مرحلهٔ بعد، مرز ساختمان به‌کمک مدل‌دادهٔ CityGML، با سطح جزئیات ۱ استخراج شد تا کوتاه‌ترین خط برای اتصال

1. Hwang
2. Teo & Cho
3. MGNM: Multi-purpose Geometric Network Model
4. Open Street Map

شبکه داخلی به شبکهٔ بیرونی مشخص شود. در نهایت، مدل‌دادهٔ ارائه‌شده به پایگاه دادهٔ مکانی نرم‌افزارهای GIS منتقل شد تا امکان تحلیل مسیریابی به‌صورت یکپارچه، هم برای فضای داخلی و هم برای فضای بیرونی ساختمان، فراهم شود.

۷-۵- کاداستر سه‌بعدی

با توسعهٔ شهرها و ایجاد زیرساخت‌های پیچیده در مناطق شهری، بررسی دوبعدی فضاهای مالکیت در فضای داخلی ساختمان امکان‌پذیر نیست و به روش‌هایی نیاز دارد تا اطلاعات مالکیتی در فضای داخلی ساختمان را به‌صورت سه‌بعدی مدیریت کنند و نمایش دهند (Atazadeh et al., 2016). در این زمینه مدل‌های BIM را، که شامل اطلاعات مکانی و معنایی بسیار جزئی و غنی از فضای داخلی ساختمان‌اند، می‌توان به‌صورت ابزاری برای مدیریت اطلاعات مالکیتی ساختمان در کاداستر سه‌بعدی در نظر گرفت. از سویی، مدل‌های BIM فاقد اطلاعات حقوقی مرتبط با املاک‌اند؛ بنابراین، با تلفیق BIM و GIS می‌توان به توسعهٔ کاداستر سه‌بعدی و مدیریت بهتر املاک پرداخت.

در برخی تحقیقات، مدل‌داده‌های IFC و CityGML با مدل‌دادهٔ LADM[1] به‌عنوان جامع‌ترین مدل‌داده در حوزه اطلاعات حقوقی زمین تلفیق شده است. اولدفیلد[2] و همکاران (Oldfield et al., 2017) با نگاشت مدل‌داده LADM به مدل‌داده‌های IDM و IFC، یک مدل‌داده جدید با عنوان 3DCDM[3] برای ذخیره فضاهای حقوقی ساختمان ارائه داده‌اند. آئین و همکاران (Aien et al., 2015) نیز در تحقیق خود یک مدل‌داده ارائه داده‌اند که در آن اطلاعات فیزیکی و حقوقی موجود در استانداردهای CityGML، IFC و LADM با یکدیگر تلفیق شده تا بتوان اطلاعات فیزیکی و حقوقی را نه تنها برای ساختمان بلکه برای سایر عوارض شهری نظیر تونل‌ها نیز مدیریت نمود.

عطازاده[4] و همکاران (۲۰۱۷a؛ ۲۰۱۷b) در تحقیقات خود به توسعهٔ استاندارد IFC با اطلاعات حقوقی پرداخته‌اند. در این پژوهش‌ها، هسته‌های حقوقی مشخص شده و به‌منزلهٔ زیرکلاس هستهٔ IfcSpace در مدل‌دادهٔ IFC، مناسب‌ترین هسته از مدل‌دادهٔ IFC در بررسی اطلاعات مالکیتی در نظر گرفته شده‌اند. نتیجهٔ این تحقیق یک مدل‌دادهٔ توسعه‌یافته است که می‌توان در آن مرزهای حقوقی ساختمان را تعیین و مدیریت کرد. تکاوک[5] و همکاران (۲۰۲۰) نیز پیشنهاد کرده‌اند فضاهای داخلی به‌منزلهٔ هستهٔ اصلی ساخت مدل‌داده‌های مورد نیاز در مدیریت اطلاعات حقوقی ساختمان‌ها، به‌منظور بهبود تلفیق با مدل‌داده‌های CityGML، IFC و IndoorGML، در نظر گرفته شوند.

علاوه‌بر توسعهٔ استانداردها برای پشتیبانی بهتر از اطلاعات کاداستر، نمایش آنها پس از تلفیق نیز حائز اهمیت است. در پژوهش شجاعی[6] و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از فنّاوری WebGL، شکل اولیه‌ای[7] مبتنی‌بر وب به‌منظور بصری‌سازی سه‌بعدی اطلاعات حقوقی و فیزیکی کاداستر ارائه شده است. جست‌وجوی اطلاعات، شناسایی اطلاعات و اندازه‌گیری هندسی ازجملهٔ مهم‌ترین قابلیت‌های این شکل اولیه‌اند و کاربران به‌راحتی می‌توانند اطلاعات فیزیکی مانند دیوارها و اطلاعات حقوقی همچون حقوق، محدودیت‌ها و مسئولیت‌ها[8] را مدیریت کنند. در تحقیق دیگری که آندریانسی و دیموپولو[9] (۲۰۲۰) انجام داده‌اند، سکویی توسعه یافته است که کاربران می‌توانند، در آن، هر بخش از فضای داخلی ساختمانی از یک بلوک شهری را برگزینند و اطلاعات مالکیتی و فیزیکی آن را مشاهده کنند.

1. Land Administration Domain Model
2. Oldfield
3. 3D Cadastral Data Model
4. Atazadeh
5. Tekavec
6. Shojaei
7. Prototype
8. Rights, Restricts and Responsibilities (RRR)
9. Andrianesi & Dimopoulou

در این تحقیق، از نرم‌افزار Revit در ساخت مدل BIM ساختمان و ورود اطلاعات مالکیتی به هستندهٔ IfcSpace مورد نظر و از نرم‌افزار ArcGIS Pro برای زمین‌مرجع‌کردن مدل در کنار دیگر مدل‌های ساختمانی در یک بلوک شهری استفاده شده است. مدیریت و نمایش آنلاین اطلاعات در این تحقیق، با استفاده از ArcGIS Online و تبدیل اطلاعات از IFC به GDB[1]، به‌کمک نرم‌افزار FME Reader انجام شده است. سان[2] و همکاران (۲۰۱۹) نیز، در تحقیق خود، چارچوبی برپایهٔ استفاده از BIM برای نمایش اطلاعات سه‌بعدی کاداستر و با هدف اشتراک‌گذاری بهتر این اطلاعات میان ذی‌نفعان گوناگون مانند مالکان، شهرداری، مهندسان نقشه‌بردار و معماران مطرح کرده‌اند.

۷-۶- اینترنت اشیا و شهر هوشمند

با تعریف مفهوم شهر هوشمند، مدیریت اطلاعات مکانی کاربردهای شهری به موضوع تحقیقاتی کاربردی و مهمی تبدیل شده است (Ma & Ren, 2017). در این باره، فنّاوری‌های گوناگونی دخیل است که یکی از مهم‌ترین آنها فنّاوری اینترنت اشیا (IoT) محسوب می‌شود. از طرفی، با توجه به حجم فراوان اطلاعات مکانی لازم در تحقق اهداف شهر هوشمند، ابزارهای مناسبی برای ذخیره و نمایش این اطلاعات، هم در فضای داخلی و هم در فضای بیرونی، مورد نیاز تصمیم‌سازان است (Lafioune & St-Jacques, 2020). با توجه به قابلیت‌های BIM و GIS در مدیریت اطلاعات مکانی، تلفیق آنها می‌تواند بستر مناسبی برای مدیریت اطلاعات مکانی مورد نیاز شهرهای هوشمند ایجاد کند. ایسیکدگ (۲۰۱۵) تلفیق BIM و IoT را از دیدگاه مکانی بررسی کرده است. در پژوهش وی، یک معماری با هدف تلفیق BIM، IoT و GIS پیشنهاد شده است که در آن GIS بستری برای تلفیق مدل‌های BIM و اطلاعات به‌دست‌آمده از دستگاه‌های IoT در نظر گرفته می‌شود. داده‌های حاصل از دستگاه‌های IoT، در تلفیق با اطلاعات BIM و GIS، می‌تواند سرعت هوشمندسازی خانه و شهر را در مراحل قبل، حین و پس از ایجاد زیرساخت‌های شهری افزایش دهد (Carneiro et al., 2018; Ugurlu & Sertyesilisik, 2019).

به‌طورکلی، پایش عملیات ساخت، مدیریت ایمنی، مدیریت بحران و همچنین مدیریت انرژی زمینه‌های اصلی تلفیق BIM و IoT شناخته می‌شود (Tang et al., 2019). دِیو[3] و همکاران (۲۰۱۸) چارچوبی به‌منظور تلفیق BIM و IoT برای نمایش آنی اطلاعات مکانی متفاوت، با استفاده از استانداردهای باز، ارائه دادند. یکی از کاربردهای این تحقیق نمایش دمای آنی در بخش‌های گوناگون ساختمان‌های آموزشی است. بدین‌ترتیب، اطلاعات دما ازطریق حسگرهای دما به سرور مورد نظر ارسال می‌شود و با توجه به موقعیت مکانی حسگر، نقشهٔ رنگی دما در هر بخش از مدل BIM نمایش داده می‌شود. در تحقیق دیگری عطازاده و همکاران (۲۰۱۹)، با مدل‌کردن فضاهای زیر پوشش دوربین‌های مدار بسته[4] و همچنین نقاط دسترسی وای‌فای[5] در مدل‌دادهٔ IFC، مالکیت فضاهای زیر پوشش دستگاه‌های IoT را در ساختمان‌های چندمالکیتی تعیین کردند. این فضاها در کلاس IfcSpace مدل شده‌اند. محققان دیگری، با اضافه‌کردن ماژول افزونه‌ای جدیدی با عنوان *sensor* به استاندارد IndoorGML، دو استاندارد IndoorGML و SensorML را تلفیق کردند تا استاندارد IndoorGML پویاسازی شود و دسترسی آنی به اطلاعات فضاهای داخلی ساختمان فراهم شود (Sarmiento & Diakité, 2020).

مدیریت ریسک در بیمارستان نمونهٔ دیگری از کاربرد تلفیق سه فنّاوری BIM، GIS و IoT است که پنگ[6] و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیق خود به آن اشاره کرده‌اند.

---

1. Geodatabase
2. Sun
3. Dave
4. Closed Circuit Television (CCTV)
5. Wi-Fi Access Points
6. Peng

در این پژوهش، سامانه‌ای طراحی شده که معماری آن دارای چهار لایه است. در لایهٔ اول، مجموعه‌ای از حسگرها ازجمله دوربین‌های نصب‌شده در فضای داخلی و بیرونی بیمارستان و حسگرهای دما، فشار، بخارآب و دود آن وجود دارد که، براساس معیارهای ریسک، محیط را پایش می‌کنند. لایهٔ دوم مختص انتقال اطلاعات است که، در آن، به‌کمک شبکه‌های محلی و گسترده[1] اطلاعات گردآمده از راه حسگرهای لایهٔ اول، برای پردازش، به سرور مرکزی فرستاده می‌شود. در لایهٔ سوم، ابتدا اطلاعات جمع‌آوری‌شده از حسگرها، که دارای ناهمگونی‌اند، با یکدیگر تلفیق می‌شوند. سپس از نرم‌افزارهای BIM استفاده می‌شود تا اطلاعات ساختمانی، مانند قابلیت اشتعال هر المان ساختمانی، دریافت شود. همچنین، نرم‌افزارهای GIS به‌کار می‌روند تا شبیه‌سازی و برخی تحلیل‌های مکانی، مانند تحلیل بافر، انجام شود. هدف از این کارها تعیین مکان‌های پرخطر در اطراف محل آتش و تحلیل شبکه به‌منظور تعیین مسیرهای بهینهٔ خروج از ساختمان است. لایهٔ چهارم نیز لایهٔ کاربردی است که وظیفهٔ هشداردهی و نمایش آنی وضعیت ریسک در ساختمان را برعهده دارد. کویی[2] و همکاران (۲۰۱۹) به نقش استفادهٔ تلفیقی از سه فنّاوری BIM، GIS و IoT در هوشمندسازی فرایندها، طی شرایط اضطراری در فضای زیرزمینی شهر، اشاره کرده‌اند.

پایش انرژی در ساختمان و شهر یکی از مهم‌ترین مطالبات برنامه‌ریزان و تصمیم‌سازان در حوزهٔ شهر هوشمند است که تحقیقاتی در این زمینه، در بستر BIM و GIS و IoT، انجام شده است. بوتاچولی[3] و همکاران (۲۰۱۷) زیرساختی نرم‌افزاری را، در بستر رایانش ابری، توسعه دادند که هدف آن شبیه‌سازی مصرف انرژی در داخل ساختمان است. اطلاعات لازم با استفاده از حسگرهای دما و رطوبت داخل ساختمان گرد می‌آید و انرژی مصرفی در مکان‌های گوناگون ساختمان تخمین می‌خورد و در بستر BIM بصری‌سازی می‌شود. به‌منظور استفادهٔ کارشناسان تحلیل انرژی از این سامانه، خروجی مدل ساختمانی با فرمت gbXML گرفته و به اشتراک گذاشته می‌شود. در همین زمینه، یاماموراً[4] و همکاران (۲۰۱۷) مقیاس شبیه‌سازی مصرف انرژی را از ساختمان به شهر گسترش دادند؛ با توجه به متناسب‌بودن مصرف انرژی با کاربری ساختمان، ابتدا ضریب مصرف انرژی هر ساختمان، طبق نوع کاربری آن، از مدل BIM مورد نظر استخراج و مطابق با تعداد هر نوع ساختمان در شهر، مصرف سالیانهٔ انرژی در سطح شهر تخمین زده و به‌صورت نقشهٔ سه‌بعدی نمایش داده می‌شود. الکساندروو[5] و همکاران (۲۰۱۹) نیز، با طرح‌کردن یک معماری چهارلایه، کیفیت هوای داخل ساختمان را پایش کرده‌اند.

در راستای هوشمندسازی شهرها، زمان و هزینه نقش اساسی دارد و مدل‌های BIM، با در اختیار قراردادن بُعدهای چهارم و پنجم خود، امکان محاسبه و تخمین آنها را برای کاربردهای گوناگون ایجاد می‌کنند. یکی از مهم‌ترین موارد در حوزهٔ شهر هوشمند برنامه‌ریزی و طراحی بهینهٔ زیرساخت‌های مصرفی شهر، مانند شبکه‌های توزیع آب و برق، با توجه به نیاز جمعیت در بازه‌های زمانی متفاوت است که مرزوک و عثمان[6] (۲۰۲۰) در تحقیق خود به آن اشاره کرده‌اند. در این پژوهش، چارچوبی برمبنای تلفیق BIM و GIS مطرح شده است که در آن نیازهای مصرفی هر قطعهٔ زمین قابل پیش‌بینی و نمایش‌دادن است. اطلاعاتی مانند کُد قطعهٔ زمین از GIS و اطلاعاتی مانند نوع ساختمان، زمان ساخت آن و همچنین جمعیت تقریبی افراد از 4D-BIM دریافت می‌شود و با درنظرگرفتن ضریبی برای مصرف آب و برق، میزان مصرف در

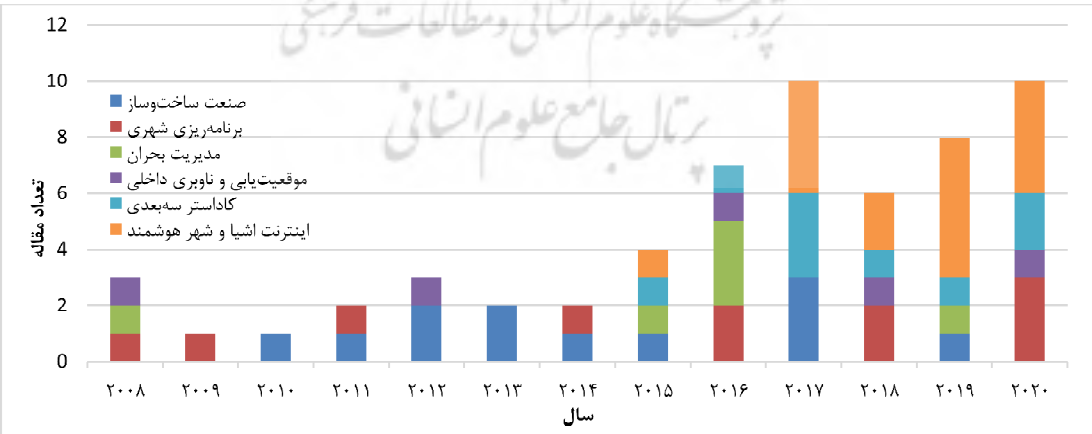
1. Local Area Network, WAN: Wide Area Network (LAN)
2. Cui
3. Bottaccioli
4. Yamamura
5. Aleksandrov
6. Marzouk & Othman

مقیاس‌های گوناگون مکانی و زمانی محاسبه و نمایش داده می‌شود. ارکوری[1] و همکاران (۲۰۲۰) از 5D-BIM و GIS در تخمین‌زدن هزینهٔ بازسازی ساختمان‌های شهر بهره برده‌اند.

۸- بحث و نتیجه‌گیری

اگرچه مفاهیم اولیهٔ BIM در سال ۱۹۹۲ و با هدف حل مشکلات در پروژه‌های صنعت ساخت‌وساز مطرح شد؛ در دهه‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰، بلوغ در این فنّاوری به سطح بالاتری رسید و مدل‌های سه‌بعدی آن، در کنار ظهور فنّاوری‌های جدید دیگر، زمینه‌های کاربردی متنوعی ایجاد کرده است. امروزه BIM حلقهٔ اصلی اتصال تمامی فنّاوری‌های مرتبط با ساختمان شناخته می‌شود. با تلفیق این فنّاوری با GIS، می‌توان مقیاس را از ساختمان به شهر گسترش داد و به‌طورکلی، مسائل را هم در فضای داخلی و هم در فضای بیرونی، به‌صورت کارآمدتری حل کرد. بااین‌حال، چالش اصلی در این حوزه این است که داده‌های BIM و GIS را هنوز نمی‌توان به‌طور کامل به یکدیگر تبدیل کرد تا تمامی کاربردهای شهری را پوشش دهند.

در این مقاله، با درنظرگرفتن BIM از دیدگاه مکانی، برخی تحقیقات در زمینهٔ تلفیق BIM و GIS با هدف استخراج زمینه‌های کاربردی‌شان مرور شد. با بررسی مقالات، می‌توان نتیجه گرفت که تحقیق در این مورد ابعاد گوناگونی داشته و زمینه‌های کاربردی جدیدی ایجاد شده است. با دسته‌بندی مقالات در شش زمینهٔ کاربردی، نمودار تعداد مقاله‌های سالیانهٔ هر مورد تهیه شد (شکل ۵). براساس این نمودار، تحقیق در زمینه‌های صنعت ساخت‌وساز و برنامه‌ریزی شهری، با روند نسبتاً ثابتی، همواره مورد توجه محققان بوده است. با گذشت زمان و از سال ۲۰۱۵ به بعد، تحقیقات در زمینه‌های کاداستر سه‌بعدی و همچنین اینترنت اشیا و شهر هوشمند نمود یافته است؛ به‌طوری‌که زمینهٔ کاربردی حدود نیمی از مقالات سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰، که در پژوهش در دست مرور شد، به اینترنت اشیا و شهر هوشمند بازمی‌گردد و به‌نظر می‌رسد این حوزه به‌تازگی توجه محققان را به خود جلب کرده است. در مجموع، با وجود تحقیقات بسیار در حوزهٔ تلفیق BIM و GIS، نتایج تحقیقات هنوز کاملاً به مرحلهٔ عمل نرسیده است اما انتظار می‌رود این مهم به‌زودی محقق شود.



شکل ۵. تعداد مقالات سالیانهٔ منتخب زمینه‌های کاربردی گوناگون تلفیق BIM و GIS

1. Arcuri

۹- منابع

Abdul-Rahman, A. & Pilouk, M., 2007, **Spatial Data Modelling for 3D GIS**, Springer Science & Business Media.

Aien, A., Rajabifard, A., Kalantari, M. & Shojaei, D., 2015, **Integrating Legal and Physical Dimensions of Urban Environments**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 4(3), PP. 1442-1479.

Aleksandrov, M., Diakité, A., Yan, J., Li, W. & Zlatanova, S., 2019, **Systems Architecture for Management of Bim, 3d Gis and Sensors Data**, ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 4.

Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P. & Ngo, T., 2015, **A Data Model for Integrating GIS and BIM for Assessment and 3D Visualisation of Flood Damage To Building**, Locate, 15(2015), PP. 10-12.

Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P. & Ngo, T., 2016, **A Framework for a Microscale Flood Damage Assessment and Visualization for a Building Using BIM–GIS Integration**, International Journal of Digital Earth, 9(4), PP. 363-386.

Andrianesi, D. & Dimopoulou, E., 2020, **An Integrated Bim-Gis Platform for Representing and Visualizing 3d Cadastral Data**, ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 6.

Arcuri, N., De Ruggiero, M., Salvo, F. & Zinno, R., 2020, **Automated Valuation Methods through the Cost Approach in a BIM and GIS Integration Framework for Smart City Appraisals**, Sustainability, 12(18), P. 7546.

Arroyo Ohori, K., Diakité, A., Krijnen, T., Ledoux, H. & Stoter, J., 2018, **Processing BIM and GIS Models in Practice: Experiences and Recommendations from a GeoBIM Project in the Netherlands**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(8), P. 311.

Atazadeh, B., Kalantari, M., Rajabifard, A., Champion, T. & Ho, S., 2016, **Harnessing BIM for 3D Digital Management of Stratified Ownership Rights in Buildings**, FIG working week 2016.

Atazadeh, B., Kalantari, M., Rajabifard, A. & Ho, S., 2017a, **Modelling Building Ownership Boundaries within BIM Environment: A Case Study in Victoria, Australia**, Computers, Environment and Urban Systems, 61, PP. 24-38.

Atazadeh, B., Rajabifard, A. & Kalantari, M., 2017b, **Assessing Performance of Three BIM-Based Views of Buildings for Communication and Management of Vertically Stratified Legal Interests**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(7), P. 198.

Atazadeh, B., Olfat, H., Rismanchi, B., Shojaei, D. & Rajabifard, A., 2019, **Utilizing a Building Information Modelling Environment to Communicate the Legal Ownership of Internet of Things-Generated Data in Multi-Owned Buildings**, Electronics, 8(11), P. 1258.

Atyabi, S., Kiavarz Moghaddam, M. & Rajabifard, A., 2019, **Optimization of Emergency Evacuation in Fire Building by Integrated Bim and Gis**, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences.

Bansal, V., 2010, **Use of GIS and Topology in the Identification and Resolution of Space Conflicts**, Journal of Computing in Civil Engineering, 25(2), PP. 159-171.

Bansal, V., 2011, **Application of Geographic Information Systems in Construction Safety Planning**, International Journal of Project Management, 29(1), PP. 66-77.

Bansal, V.K. & Pal, M., 2009, **Extended GIS for Construction Engineering by Adding Direct Sunlight Visualisations on**

Buildings, Construction Innovation, 9(4), PP. 406-419.

Biljecki, F., Ledoux, H. & Stoter, J., 2016, **An Improved LOD Specification for 3D Building Models**, Computers, Environment and Urban Systems, 59, PP. 25-37.

Borrmann, A., Kolbe, T.H., Donaubauer, A., Steuer, H., Jubierre, J.R. & Flurl, M., 2015, **Multi-Scale Geometric-Semantic Modeling of Shield Tunnels for GIS and BIM Applications**, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 30(4), PP. 263-281.

Bottaccioli, L., Aliberti, A., Ugliotti, F., Patti, E., Osello, A., Macii, E. & Acquaviva, A., 2017, **Building Energy Modelling and Monitoring by Integration of IoT Devices and Building Information Models**, 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC).

Carneiro, J., Rossetti, R.J., Silva, D.C. & Oliveira, E.C., 2018, **BIM, GIS, IoT, and AR/VR Integration for Smart Maintenance and Management of Road Networks: A Review**, 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2).

Chen, P.-H. & Nguyen, T.C., 2019, **A BIM-WMS Integrated Decision Support Tool for Supply Chain Management in Construction**, Automation in Construction, 98, PP. 289-301.

Colucci, E., De Ruvo, V., Lingua, A., Matrone, F. & Rizzo, G., 2020, **HBIM-GIS Integration: From IFC to CityGML Standard for Damaged Cultural Heritage in a Multiscale 3D GIS**, Applied Sciences, 10(4), P. 1356.

Cui, B., Wen, X. & Zhang, D., 2019, **The Application of Intelligent Emergency Response System for Urban Underground Space Disasters Based on 3D GIS, BIM and Internet of Things**, Proceedings of the 2019 International Conference on Artificial Intelligence and Computer Science.

Dave, B., Buda, A., Nurminen, A. & Främling, K., 2018, **A Framework for Integrating BIM and IoT through Open Standards**, Automation in Construction, 95, PP. 35-45.

De Laat, R. & Van Berlo, L., 2011, **Integration of BIM and GIS: The Development of the CityGML GeoBIM Extension**, In Advances in 3D geo-information sciences (PP. 211-225), Springer.

Deng, Y., Cheng, J.C. & Anumba, C., 2016a, **A Framework for 3D Traffic Noise Mapping Using Data from BIM and GIS Integration**, Structure and Infrastructure Engineering, 12(10), PP. 1267-1280.

Deng, Y., Cheng, J.C. & Anumba, C., 2016b, **Mapping between BIM and 3D GIS in Different Levels of Detail Using Schema Mediation and Instance Comparison**, Automation in Construction, 67, PP. 1-21.

Deng, Y., Gan, V.J., Das, M., Cheng, J.C., & Anumba, C., 2019, **Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management**, Journal of construction engineering and management, 145(4), P. 04019016.

Diakite, A.A. & Zlatanova, S., 2020, **Automatic Geo-Referencing of BIM in GIS Environments Using Building Footprints**, Computers, Environment and Urban Systems, 80, P. 101453.

Döllner, J. & Hagedorn, B., 2007, **Integrating Urban GIS, CAD, and BIM Data by Servicebased Virtual 3D City Models**, R. e. al.(Ed.), Urban and Regional Data Management-Annual, PP. 157-160.

Donkers, S., 2013, **Automatic Generation of CityGML LoD3 Building Models from IFC Models.**

El-Mekawy, M., Östman, A. & Hijazi, I., 2012, **An Evaluation of IFC-CityGML Unidirectional Conversion**, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 3(5), PP. 159-171.

Emamgholian, S., Pouliot, J. & Shojaei, D., 2020, **Modelling Land-Use Regulation Conflicts**

with 3d Components to Support Issuing a Building Permit, ISPRS-International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLIV-4/W1(2020), PP. 41-48.

Fosu, R., Suprabhas, K., Rathore, Z. & Cory, C., 2015, **Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS)–a Literature Review and Future Needs**, Proceedings of the 32nd CIB W78 Conference, Eindhoven, The Netherlands.

Gröger, G., Kolbe, T.H. & Czerwinski, A., 2007, **Candidate OpenGIS CityGML Implementation Specification (City Geography Markup Language)**, Open Geospatial Consortium Inc, OGC.

Gröger, G., Kolbe, T.H., Nagel, C. & Häfele, K.-H., 2012, **OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard**, Open Geospatial Consortium, Wayland, MA.

Gröger, G. & Plümer, L., 2012, **CityGML–Interoperable Semantic 3D City Models**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 71, PP. 12-33.

Hbeich, E. & Roxin, A., 2020, **Linking BIM and GIS Standard Ontologies with Linked Data**, Linked Data in Architecture and Construction, Retrived from: https://www.researchgate.net/publication/342804717_Linking_BIM_and_GIS_Standard_Ontologies_with_Linked_Data.

Hjelseth, E. & Thiis, T., 2008, **Use of BIM and GIS to Enable Climatic Adaptations of Buildings**, Ework and Ebusiness in Architecture, Engineering and Construction, Christodoulou, S., Scherer, R. (Eds.), PP. 409-417.

Hor, A., Gunho, S., Claudio, P., Jadidi, M. & Afnan, A., 2018, **A Semantic Graph Database for Bim-Gis Integrated Information Model for an Intelligent Urban Mobility Web Application**, ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 4(4).

Hwang, J.-R., Kang, H.-Y. & Choi, J.-w., 2012, **Development of an Editor and a Viewer for Indoorgml**, Proceedings of the Fourth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness, November 2012, PP. 37-40.

Irizarry, J. & Karan, E.P., 2012, **Optimizing Location of Tower Cranes on Construction Sites through GIS and BIM Integration**, Journal of information technology in construction (ITcon), 17(23), PP. 351-366.

Irizarry, J., Karan, E.P. & Jalaei, F., 2013, **Integrating BIM and GIS to Improve the Visual Monitoring of Construction Supply Chain Management**, Automation in Construction, 31, PP. 241-254.

Isikdag, U., 2015, **BIM and IoT: A Synopsis from GIS Perspective**, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40, 33.

Isikdag, U., Underwood, J. & Aouad, G., 2008, **An Investigation into the Applicability of Building Information models in Geospatial Environment in Support of Site Selection and Fire Response Management Processes**, Advanced Engineering Informatics, 22(4), PP. 504-519.

Kang, T.W. & Hong, C.H., 2015, **A Study on Software Architecture for Effective BIM/GIS-Based Facility Management Data Integration**, Automation in Construction, 54, 25-38.

Karan, E.P., Irizarry, J. & Haymaker, J., 2015, **BIM and GIS Integration and Interoperability Based on Semantic Web Technology**, Journal of Computing in Civil Engineering, 30(3), P. 04015043.

Kim, J.-S., Yoo, S.-J. & Li, K.-J., 2014, **Integrating IndoorGML and CityGML for Indoor Space**, International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems.

Kim, H., Chen, Z., Cho, C.-S., Moon, H., Ju, K. & Choi, W., 2015, **Integration of BIM and GIS: Highway Cut and Fill Earthwork Balancing**, In Computing in Civil Engineering 2015 (PP. 468-474).

Kim, J.I., Koo, B., Suh, S. & Suh, W., 2016, **Integration of BIM and GIS for Formal Representation of Walkability for Safe Routes to School Programs**, KSCE Journal of Civil Engineering, 20(5), PP. 1669-1675.

Lafioune, N. & St-Jacques, M., 2020, **Towards the Creation of a Searchable 3D Smart City Model**, Innovation & Management Review, 17(3).

Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J., 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), P. 53.

Liu, J., Luo, J., Hou, J., Wen, D., Feng, G. & Zhang, X., 2020, **A BIM Based Hybrid 3D Indoor Map Model for Indoor Positioning and Navigation**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(12), P. 747.

Liu, R. & Issa, R., 2012, **3D Visualization of Sub-Surface Pipelines in Connection with the Building Utilities: Integrating GIS and BIM for Facility Management**, In Computing in Civil Engineering (2012), (PP. 341-348).

Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. & Rhind, D.W., 2005, **Geographic Information Systems and Science**, John Wiley & Sons.

Ma, Z. & Ren, Y., 2017, **Integrated Application of BIM and GIS: An Overview**, Procedia Engineering, 196, PP. 1072-1079.

Marzouk, M. & Othman, A., 2020, **Planning Utility Infrastructure Requirements for Smart Cities Using the Integration between BIM and GIS**, Sustainable Cities and Society, 57, P. 102120.

Mignard, C. & Nicolle, C., 2014, **Merging BIM and GIS Using Ontologies Application to Urban Facility Management in ACTIVe3D**, Computers in Industry, 65(9), PP. 1276-1290.

Niu, S., Pan, W. & Zhao, Y., 2015, **A BIM-GIS Integrated Web-Based Visualization System for Low Energy Building Design**, Procedia engineering, 121, PP. 2184-2192.

Noardo, F., Wu, T., Arroyo Ohori, K., Krijnen, T., Tezerdi, H. & Stoter, J., 2020, **Geobim for Digital Building Permit Process: Learning from a Case Study in Rotterdam**, ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 6.

Oldfield, J., van Oosterom, P., Beetz, J. & Krijnen, T., 2017, **Working with Open BIM Standards to Source Legal Spaces for a 3D Cadastre**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(11), P. 351.

Olsson, P.-O., Axelsson, J., Hooper, M. & Harrie, L., 2018, **Automation of Building Permission by Integration of BIM and Geospatial Data**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(8), P. 307.

Pang, Y., Zhang, C., Zhou, L., Lin, B. & Lv, G., 2018, **Extracting Indoor Space Information in Complex Building Environments**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(8), P. 321.

Park, T., Kang, T., Lee, Y. & Seo, K., 2014, **Project Cost Estimation of National Road in Preliminary Feasibility Stage Using BIM/GIS Platform**, In Computing in Civil and Building Engineering (2014) (PP. 423-430).

Peng, S., Su, G., Chen, J. & Du, P., 2017, **Design of an IoT-BIM-GIS Based Risk Management System for Hospital Basic Operation**, 2017 IEEE Symposium on Service-Oriented System Engineering (SOSE).

Rafiee, A., Dias, E., Fruijtier, S. & Scholten, H., 2014, **From BIM to Geo-Analysis: View Coverage and Shadow Analysis by BIM/GIS Integration**, Procedia Environmental Sciences, 22, PP. 397-402.

Sarmiento, A. & Diakité, A., 2020, **Integration of IoT Sensors to 3D Indoor Models with IndoorGML**, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 44, PP. 135-142.

Shahi, A., West, J.S. & Haas, C.T., 2013, **Onsite 3D Marking for Construction Activity Tracking**, Automation in Construction, 30, PP. 136-143.

Shayeganfar, F., Anjomshoaa, A. & Tjoa, A.M., 2008, **A Smart Indoor Navigation Solution Based on Building Information Model and Google Android**, International Conference on Computers for Handicapped Persons, 5105, PP. 1050-1056.

Shojaei, D., Olfat, H., Rajabifard, A. & Briffa, M., 2018, **Design and Development of a 3D Digital Cadastre Visualization Prototype**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(10), P. 384.

Sirakova, T.A., 2018, **Urban Planning: From GIS and BIM Straight to CIM**, Practical application in an urban area of Porto.

Song, Y., Wang, X., Tan, Y., Wu, P., Sutrisna, M., Cheng, J. & Hampson, K., 2017, **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, 6(12), P. 397.

Strømann-Andersen, J. & Sattrup, P.A., 2011, **The Urban Canyon and Building Energy Use: Urban Density Versus Daylight and Passive Solar Gains**, Energy and Buildings, 43(8).

Sun, J., Mi, S., Olsson, P.-o., Paulsson, J. & Harrie, L., 2019, **Utilizing BIM and GIS for Representation and Visualization of 3D Cadastre**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(11), P. 503.

Tang, S., Shelden, D.R., Eastman, C.M., Pishdad-Bozorgi, P. & Gao, X., 2019, **A Review of Building Information Modeling (BIM) and the Internet of Things (IoT) Devices Integration: Present Status and Future Trends**, Automation in Construction, 101, PP. 127-139.

Tekavec, J., Čeh, M. & Lisec, A., 2020, **Indoor Space as the Basis for Modelling of Buildings in a 3D Cadastre**, Survey Review, PP. 1-12.

Teo, T.-A. & Cho, K.-H., 2016, **BIM-Oriented Indoor Network Model for Indoor and Outdoor Combined Route Planning**, Advanced engineering informatics, 30(3), PP. 268-282.

Ugurlu, D. & Sertyesilisik, B., 2019, **Usage of BIM in Smart Cities**, International Journal of Digital Innovation in the Built Environment (IJDIBE), 8(1), PP. 17-27.

Vacca, G., Quaquero, E., Pili, D. & Brandolini, M., 2018, **Integrating Bim and Gis Data to Support the Management of Large Building Stocks**, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 42(4).

Vilgertshofer, S., Amann, J., Willenborg, B., Borrmann, A. & Kolbe, T.H., 2017, **Linking BIM and GIS Models in Infrastructure by Example of IFC and CityGML**, In Computing in Civil Engineering 2017 (PP. 133-140).

Wang, J., Hou, L., Chong, H.-Y., Liu ,X., Wang, X. & Guo, J., 2014, **A Cooperative System of GIS and BIM for Traffic Planning: A High-Rise Building Case Study**, International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering, 8683, PP. 143-150.

Wang, T.-K., Zhang, Q., Chong, H.-Y. & Wang, X., 2017, **Integrated Supplier Selection Framework in a Resilient Construction Supply Chain: An Approach via Analytic Hierarchy Process (AHP) and Grey Relational Analysis (GRA)**, Sustainability, 9(2), P. 289.

Wang, H., Pan, Y. & Luo, X., 2019, **Integration of BIM and GIS in Sustainable Built Environment: A Review and Bibliometric Analysis**, Automation in Construction, 103, PP. 41-52.

Wu, B. & Zhang, S., 2016, **Integration of GIS and BIM for Indoor Geovisual Analytics**, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Retrived from: https://www.researchgate.net/publication/303869049_INTEGRATION_OF_GIS_AND_BIM_FOR_INDOOR_GEOVISUAL_ANALYTICS.

Yamamura, S., Fan, L. & Suzuki, Y., 2017, **Assessment of Urban Energy Performance through Integration of BIM and GIS for Smart City Planning**, Procedia engineering, 180, PP. 1462-1472.

Zhou, W., Qin, H., Qiu, J., Fan, H., Lai, J., Wang, K. & Wang, L., 2017, **Building Information Modelling Review with Potential Applications in Tunnel Engineering of China**, Royal Society Open Science. 4(8), PP. 170-174.

Zhu, J., Tan, Y., Wang, X. & Wu, P., 2020, **BIM/GIS Integration for Web GIS-Based Bridge Management**, Annals of GIS, PP. 1-11.

Zverovich, V., Mahdjoubi, L., Boguslawski, P., Fadli, F. & Barki, H., 2016, **Emergency Response in Complex Buildings: Automated Selection of Safest and Balanced Routes**, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 31(8), PP. 617-632.

سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۰
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.13, No. 3, Autumn 2021

33-58

A Review of Recent Researches on Integration of Building Information Modeling (BIM) and GIS

Hosseini H.[1] and Taleai M.[2*]

1. MSC. Student of Geographic Information Systems, Faculty of Geomatics, GIS department, K.N. Toosi University of Technology
2. Prof. of Geoinformatics, Faculty of Geomatics, GIS Dep., K.N. Toosi University of Technology

Abstract

Today, building information modeling (BIM) technology has become an important and practical platform for achieving the goals of smart cities. However, this technology considers buildings alone and without regard to their exterior space and other buildings in the city and also lacks the necessary tools to perform various spatial analysis. In this regard, the intrinsic sharing between BIM and GIS shows that integrating them can provide proper knowledge in various urban applications in both indoor and outdoor. Although BIM and GIS are designed to achieve separate goals, they both manage 3D modeling information. BIM providing and displaying micro-level information about building and interior space, as a rich source of building information. GIS often provides and displays macro-level information in the exterior of the building as environmental information and has suitable spatial tools. In general, the integration of BIM and GIS enables better management of spatial information and better decision-making to solve issues related to different urban applications that have been studied extensively in recent years. This paper, while reviewing BIM technology and information exchange standards in BIM and GIS, reviews some research on the integration of BIM and GIS from 2008 to 2020. This paper attempts to provide researchers with a general classification of previous studies in this specific field by classifying the methods and extracting the application areas of BIM and GIS integration.

Keywords: GIS, BIM, Building Information Management, 3-Dimensional Modeling, Smart Cities.

* Correspondence Address: No. 1346, ValiAsr Street, Mirdamad Cross, Faculty of Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Post Code: 15433-19967, Tel: +98 21 88877071-2.
Email: taleai@kntu.ac.ir