



نخستین شماره از دور

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 زمینه 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 دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۳

چکیده

امروزه فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی، یا به اختصار BIM، به بستری مهم و کاربردی به‌منظور تحقق اهداف شهرهای هوشمند تبدیل شده است. با این حال، این فناوری ساختمان‌ها را به تنهایی 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 به اختصار 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 هر یک 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 زمینه 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. به‌طور کلی، تلفیق BIM و GIS موجب مدیریت بهتر اطلاعات مکانی در زمینه 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. مقاله حاضر، ضمن بررسی اجمالی فناوری BIM و استانداردهای تبادل اطلاعات در BIM و GIS، برخی تحقیقات درباره 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.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، کدپستی ۸۸۷۸۶۲۱۳. تلفن: ۰۲۱ ۸۸۸۷۷۰۷۱. شماره: ۸۸۷۸۶۲۱۳

۱- مقدمه

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^۵ 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 به صورت هوشمند به‌روز می‌شود. به‌طور کلی، مدل‌های BIM منبع بسیار غنی اطلاعات هندسی و معنایی ساختمان، به‌خصوص در فضای داخلی آن، شمرده می‌شوند (Song et al., 2017). با این حال 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 دیگر سو، 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^۶ 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،

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)^۱، و سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)^۲ دو فناوری‌ای 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^۳ 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 مبتنی بر 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). به‌طور کلی این سامانه‌ها قادرند اطلاعات مکانی را برای کاربردهای گوناگون جمع‌آوری، ذخیره، مدیریت و تحلیل کنند و نمایش دهند (Longley et al., 2005). با ظهور فناوری‌های نوین نظیر BIM و اینترنت اشیا^۴ سعی بر آن است تا، با تلفیق آنها با GIS، بتوان مسائل را به‌صورت کارآمدتری حل کرد.

مدل‌های اطلاعات ساختمانی و شهری، با عرضهٔ مدل‌های سه‌بعدی، اطلاعاتی دربارهٔ ساختمان‌ها و

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

در دنیای واقعی به کمک یک مدل داده مشخص شود. جامع ترین مدل داده سه بعدی مکانی در کاربردهای شهری CityGML^۱ است که استاندارد در ذخیره سازی، نمایش و تبادل اطلاعات شهری در حوزه مکانی شناخته می شود.

CityGML استاندارد بین المللی معرفی شده از سوی کنسرسیوم باز مکانی^۲ است که، به صورت مدل داده ای باز، برای نمایش و تبادل مدل های سه بعدی شهری استفاده می شود (Gröger et al., 2012). این مدل داده مبتنی بر زبان نشانه گذاری GML^۳ و خود آن نیز بر مبنای زبان نشانه گذاری XML^۴ است. CityGML جنبه های هندسی، توپولوژی، معنایی و بصری مدل های سه بعدی شهری را نمایش می دهد اما تمرکز اصلی آن بر جنبه معنایی مدل است و با ساختاردهی به اطلاعات در مورد کاربردهای شهری، بیشتر به منزله مدل اطلاعاتی معنایی برای نمایش و تبادل عوارض سه بعدی شهری شناخته می شود (Gröger & Plümer, 2012). مدل سازی داده در مدل داده CityGML شامل تعاریف کلاس برای مهم ترین نوع عوارض شهری می شود و عوارض در کلاس های متمایزی همچون ساختمان ها، اشیا و امکانات حمل و نقلی مانند خیابان ها طبقه بندی می شوند؛ به عبارت دیگر، مدل داده CityGML فقط به مدل سازی ساختمان ها محدود نشده است بلکه تمامی عوارضی را پوشش می دهد که در محیط شهری قرار دارند. به همین دلیل، مدل داده CityGML علاوه بر ماژول هسته ای خود، سیزده ماژول افزونه موضوعی نیز شامل نمایش^۴، پل^۵، ساختمان^۶، مبلمان شهری^۷، گروه اشپای شهری^۸، کلیت ها^۹، کاربری^{۱۰}، ترمیم^{۱۱}،

متخصصان معماری و عمران از GIS در قالب ابزاری برای برخی تحلیل های مکانی در کاربردهای مرتبط با صنعت ساخت و ساز، مانند مکان یابی تاورکرین ها در سایت پروژه، استفاده می کنند. در این تحقیقات، BIM نقش اصلی و GIS نقش حمایتی دارد. در برخی دیگر از تحقیقات نیز، BIM و GIS به طور متوازن و تلفیقی در حل مسائل استفاده می شوند.

با وجود این، تحقیقات انجام شده در این باره گسترده است و باید، با دسته بندی آنها، وضعیت کلی تحقیقات در این زمینه مشخص شود. در این نوشتار، مقالاتی مرور می شود که به تازگی درباره برخی تحقیقات در حیطه تلفیق BIM و GIS انجام شده و هدف اصلی آن استخراج زمینه های کاربردی متنوع در این زمینه، به منظور ارائه دیدی جامع به آن به محققان، است. در این مقاله ابتدا و در بخش های ۲ و ۳، ضمن بررسی فناوری BIM، مدل داده های موجود در BIM و GIS معرفی می شود. در بخش ۴، مقدمه ای بر تلفیق BIM و GIS و در بخش ۵، روش های تلفیق آنها مطرح می شود. 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. زمینه های کاربردی تلفیق BIM و GIS در بخش ۷ بررسی شده و در بخش انتهایی نیز، بحث و نتیجه گیری تحقیق آمده است.

۲- سامانه اطلاعات مکانی سه بعدی و مدل CityGML

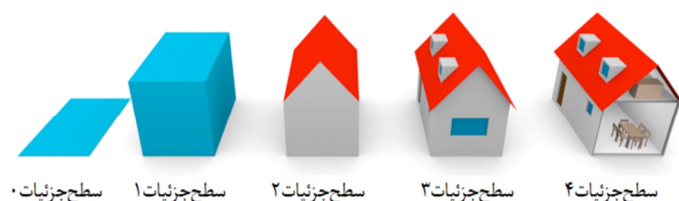
سامانه های اطلاعات مکانی ممکن است در دو یا سه بعد فعالیت داشته باشند. اگرچه در اغلب کاربردها GIS دوبعدی کفایت می کند؛ GIS سه بعدی کاربردی تر و به واقعیت نزدیک تر است. در بسیاری از کاربردهای پیچیده، هم در فضای بیرونی و هم در فضای داخلی، مانند مدل سازی انتشار صوت، نمی توان از GIS دوبعدی استفاده کرد و تحلیل های مربوط فقط با به کارگیری GIS سه بعدی ممکن خواهد بود (Abdul-Rahman & Pilouk, 2007). در این راستا، باید ارتباطات مکانی میان عوارض موجود

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

سطح جزئیات بالا رود، مدل از نظر معنایی غنی‌تر می‌شود. در مدل داده CityGML، عوارضی که در یک سطح جزئیات مشابه قرار دارند، به نسبت عوارض واقع شده در سطوح متفاوت جزئیات، راحت‌تر با یکدیگر تلفیق می‌شوند و قابلیت تعامل‌پذیری بیشتری دارند. هر سطح جزئیات برای یک کلاس کاربردی مناسب است؛ به عبارتی، 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 مدل داده CityGML در مورد عارضه ساختمان و المان‌های آن بیان شده است.

در سطح جزئیات صفر، نمایشی ۰.۵ بعدی از عارضه وجود خواهد داشت که در آن یک مدل منطقه‌ای گسترده تعریف می‌شود. نمایش هندسی به صورت ۰.۵ بعدی، در حقیقت، نمایش یک چندضلعی در فضای سه بعدی است که برای مختصات دوبعدی آن، حداکثر یک مقدار ارتفاعی وجود خواهد داشت. مدل رقومی زمین^۱ نمونه‌ای از نمایشی ۰.۵ بعدی است. در سطح جزئیات صفر، عوارضی نظیر ساختمان‌ها با یک چندضلعی افقی با عنوان ردپای ساختمان^۹ نمایش می‌یابد

حمل و نقل^۱، تونل^۲، گیاه^۳، آب^۴ و بافت سطح^۵ را معرفی می‌کند (Gröger & Plümer, 2012). برای نمایش هندسی عوارض، از نمایش مرزی^۶ 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 به کمک 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 مدل داده CityGML به صورت چندمقیاسی است و عوارض در سطوح متفاوت جزئیات^۷ نمایش داده می‌شود. عوارض در این مدل داده 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 مدل داده CityGML فقط مختص جنبه هندسی آن نیست بلکه جنبه معنایی مدل را نیز دربر می‌گیرد و هر اندازه



شکل ۱. سطوح جزئیات در مدل داده 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 | |

ساختمان‌ها در سطح جزئیات ۱ به کمک ردپا یا سطوح تشکیل‌دهنده 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، به اختصار BIM، فرایند هوشمند مدل‌مبنایی است که اطلاعات ساختمان‌ها را، در مراحل متفاوت چرخه حیات آن ساختمان‌ها، در پایگاه داده‌ای ذخیره و مدیریت می‌کند. این مراحل به ترتیب برنامه‌ریزی^۱، طراحی^۲، ساخت^۳، عملیات^۴ و نگهداری^۵ نامیده می‌شود در مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی دو رویکرد وجود دارد. رویکرد اول در نظر گرفتن BIM به منزله 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 مرحله طراحی تا عملیات و نگهداری، با یکدیگر تعامل و همکاری داشته باشند. در این رویکرد، برنامه زمان‌بندی پروژه و وظایف هر عضو هر تیم مشخص شده تا پروژه با کمترین اشتباه و تعارض انجام شود. رویکرد دیگر BIM در نظر گرفتن آن به منزله مدلی به منظور بازسازی ساختمان پیش از ساخت آن و انجام دادن تحلیل‌های گوناگون همچون تحلیل انرژی، با استفاده از نرم‌افزارهای مورد نظر، روی آن است. این رویکرد نتیجه رویکرد پیشین شناخته می‌شود؛ به عبارت دیگر، مدل BIM^۶ محصول فرایند BIM^۷ است. در این رویکرد، BIM مدلی است که براساس مدل‌سازی پارامتریک ایجاد شده و شامل اشیای هوشمند سه‌بعدی ساختمان می‌شود و آنها را

و عوارض حمل‌ونقلی مانند خیابان‌ها با استفاده از ساختارهای خطی ساده‌سازی می‌شود. در سطح جزئیات ۱، عوارض حجم‌دار همچون ساختمان‌ها به کمک دیوارهای عمودی و سقف‌های افقی نمایش داده می‌شود که، در مجموع، یک بلوک منشورگونه را تشکیل می‌دهد. در این سطح جزئیات، عوارض حمل‌ونقلی به مانند سطوح ۲.۵ بعدی 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 به منزله عوارض شماتیک به مدل افزوده می‌شود. عوارض حمل‌ونقل به مانند صفحات ۲.۵ بعدی، 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 به منظور بررسی کاربردهای داخلی به کار می‌رود. در آخرین نسخه مدل داده CityGML، قابلیت‌های جدیدی در سطح جزئیات ۴ توسعه داده شده است؛ با این حال، مدل داده مورد نظر همچنان فاقد اطلاعات جزئی و کامل در مورد تمامی کاربردهای داخلی است.

تا کنون نسخه‌های گوناگونی از استاندارد CityGML ارائه شده است. آخرین نسخه 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 عارضه مهم شهری، به کمک ماژول‌های جدید نمونه‌ای از ویژگی‌های نسخه ۲.۰.۰ است. در این نسخه، دو ویژگی توصیفی *relativeToWater* و *relativeToTerrain* به ماژول هسته‌ای آن اضافه شده که بیانگر موقعیت عارضه به نسبت سطح زمین و سطح آب است و نیاز به اطلاعات اضافی مانند مدل رقومی زمین را برطرف می‌کند. همچنین، در این نسخه امکان نمایش

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

آنها افزایش یابد؛ باین حال، 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 همه فرمت‌های مربوط به نرم‌افزارهای حوزه‌های دیگر را پشتیبانی کند. در مقایسه با مدل CityGML که مبتنی بر 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 نسخه IFC4، یعنی IFC4، تحقیقاتی با هدف تعامل‌پذیری این استاندارد با سامانه‌های اطلاعات مکانی انجام شده که ایجاد IfcGeographicElementType و IfcGeographicElement، به‌منزله المان‌های جدید، نمونه‌هایی از آن دسته تحقیقات است (Liu et al., 2017). سطح پیشرفت^۵ 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)

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 داده یکپارچه وجود دارد که، در واقع، از تلفیق پایگاه‌های داده 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 افزودگی داده و دوباره‌کاری‌ها جلوگیری می‌کند. فرمت IFC^۱ به‌منزله 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 حوزه 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 حوزه کاری‌شان، مدل مخصوص خود را از مدل BIM استخراج کنند. این مدل‌ها را می‌توان به‌کمک رایانش ابری^۲ 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^۳ و MVD^۴ استفاده می‌شود که، در این میان، IFC جامع‌ترین استاندارد و فرمت تبادل داده است. مدل داده IFC از سوی مؤسسه 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

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 جزئی‌تری از ساختمان‌ها 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 CSG, solid swept^۳ 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؛ در صورتی‌که مدل IFC آن را مکعبی مشترک بین اتاق‌ها می‌پذیرد.

با این حال 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

اطلاعاتی تقریبی درباره تعداد، شکل، سایز، حجم، مکان و جهت‌المان‌های مدل مطرح می‌شود. در سطح پیشرفت ۳۰۰، تمامی اطلاعات درباره تعداد، سایز، حجم، شکل، مکان و جهت‌المان‌ها 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، همه 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 مرحله 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 هر یک 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^۱ درباره ساختمان‌ها و فضای داخلی آنها، با عنوان اطلاعات ساختمانی، می‌پردازد و اغلب منبع غنی اطلاعات ساختمانی، در هر دو جنبه هندسی و معنایی، شناخته می‌شود و فاقد ابزارهای لازم به‌منظور تحلیل‌های مکانی گوناگون است. در مقابل، GIS اغلب به تهیه و نمایش اطلاعات درشت‌دانه^۲ جغرافیایی در فضای بیرونی ساختمان‌ها می‌پردازد و قادر است، براساس روابط مکانی فیزیکی و عملکردی، تحلیل‌های مکانی گوناگونی انجام دهد اما فاقد اطلاعات جزئی

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

مهم‌ترین استانداردهای تبادل داده در GIS و BIM شناخته می‌شوند. ضعف اصلی این روش‌ها زمان‌بر بودن و هزینه زیاد آنهاست.

روش اول، در تلفیق مبتنی بر استانداردها، ایجاد استانداردهای جدید به منظور پوشش اطلاعات مورد نظر هم در BIM و هم در GIS است. در این روش‌ها، استانداردهای جدیدی به منظور تلفیق مدل‌های BIM و GIS تعریف می‌شود. برای نمونه، در سال ۲۰۱۳ استاندارد جدید InfraGML^۴ به منزله جایگزین استاندارد LandXML^۵ پیشنهاد شد (Gröger et al., 2012). این استاندارد، به نسبت استاندارد LandXML، قابلیت تلفیق بهتری با CityGML دارد. IndoorGML^۶ 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 به طور مستقیم از IFC و CityGML با سطح جزئیات ۴ قابل استخراج است (Kim et al., 2014). ضعف اصلی این روش‌ها این است که BIM و GIS فقط در یک جنبه خاص با هم تلفیق می‌شوند. مثلاً استاندارد IndoorGML، BIM و GIS را فقط برای کاربردهای مرتبط با ناوبری داخلی ساختمان تلفیق می‌کند؛ بنابراین، نمی‌توان ادعا کرد که استانداردهای جدید توانایی تلفیق این دو فناوری را در همه جنبه‌ها دارند.

روش دوم، در تلفیق مبتنی بر استانداردها، توسعه استانداردهای IFC و CityGML به منظور 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

خود در شهر قرار گیرند. دایاکیت و زلاتوانا^۱ (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 در نظر گرفتن BIM و GIS به منظور ایجاد دیدی یکپارچه و عمیق، نیاز به تلفیق این دو احساس می‌شود و تا کنون تحقیقات بسیاری در این مورد انجام شده است؛ به طوری که فاصله میان این دو فناوری 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 مبتنی بر سطح هندسی و سطح معنایی و همچنین، طبقه‌بندی مبتنی بر یک‌طرفه یا دوطرفه بودن تلفیق از جمله طبقه‌بندی‌های موجود برای روش‌های تلفیق BIM و GIS شمرده می‌شوند (Liu et al., 2017). ایریزاری^۲ و همکاران (۲۰۱۳) روش‌های تلفیق را در سطح کاربردی و سطح مبنایی طبقه‌بندی می‌کنند. کنگ و هنگ^۳ نیز روش‌های تلفیق را به پنج دسته شامبنا، سرویس مینا، آنتولوژی مینا، فرایند مینا و سیستم مینا طبقه‌بندی می‌کنند. طبقه‌بندی دیگری نیز روش‌های تلفیق را در سه سطح داده، فرایند و کاربرد قرار می‌دهد (Amirebrahimi et al., 2015). در مقاله حاضر، روش‌های تلفیق BIM و GIS در سه دسته قرار می‌گیرند: ۱. روش‌های مبتنی بر استانداردهای مورد نظر؛ ۲. روش‌های مبتنی بر وب سرویس‌ها و فناوری‌های وب معنایی؛ ۳. روش‌های مبتنی بر کاربردهای خاص.

۵-۱- تلفیق مبتنی بر استانداردهای مورد نظر

به منظور تلفیق اساسی BIM و GIS، تلفیق باید در سطح داده و مبتنی بر استانداردهای مورد نظر انجام شود. همان‌طور که گفته شد، CityGML و IFC

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

۵-۲- تلفیق مبتنی بر وب سرویس ها و فناوری های وب معنایی

در روش های مبتنی بر وب سرویس ها، BIM و GIS در بستر اینترنت و به کمک وب سرویس ها با یکدیگر تلفیق می شوند. نمونه آن وب سرویس WFS-T for BIM است که برای ارائه ویژگی های IFC و CityGML به کار رفته است (Gröger et al., 2007). دولتر و هاگدورن^۷ (۲۰۰۷) داده های CAD^۸، BIM و GIS را به کمک وب سرویس ها، برای ساخت یک مدل سه بعدی شهری، به صورت مجازی تلفیق کردند. در تحقیق ژو^۹ و همکاران (۲۰۲۰)، سامانه ای طراحی شده است که در آن مدل BIM به کمک وب سرویس های مکانی نمایش داده می شود. در این سامانه که به منظور مدیریت پل ها طراحی شده است، ابتدا مدل داده IFC مربوط به پل، پس از تبدیل به فرمت SHP^{۱۰}، بارگذاری و به کمک فناوری ArcGIS Online به صورت آنلاین مدیریت می شود. این سامانه در بستر یک وب سرویس توسعه داده شده و این اجازه را به کاربران داده است تا، با اتصال به اینترنت، به آن دسترسی داشته باشند و مدل اطلاعات ساختمانی پل را به صورت آنلاین مشاهده کنند.

روش های دیگر تلفیق BIM و GIS روش های مبتنی بر فناوری های وب معنایی است. وب معنایی قابلیت ذاتی به منظور تلفیق منابع داده ناهمگون دارد. حسن اصلی روش های مبتنی بر فناوری های وب معنایی این است که امکان تلفیق دوطرفه BIM و GIS فراهم می شود. به منظور تلفیق مدل های BIM و GIS به کمک این فناوری ها، ابتدا آنتولوژی مرجعی برای توضیح صریح و صوری مفاهیم موجود در مدل های BIM و GIS

شهری را ندارند، نیازمند توسعه اند تا یکدیگر را تکمیل کنند (Liu et al., 2017). به منظور توسعه 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 زمینه تبدیل معنایی بین آنها انجام شده است زیرا این تبدیل محدودیت هایی به همراه دارد و با تبدیل بین IFC و CityGML از دست رفتن معنی رخ خواهد داد. باین حال، تبدیل هندسی نیز به راحتی انجام نمی شود و اغلب در سطوح پایین جزئیات امکان پذیر است (De Laet & Van Berlo, 2011). در تحقیق دلات و ون برلو^۱ (۲۰۱۱)، GeoBIM به منزله استاندارد توسعه یافته CityGML و برای پشتیبانی از اطلاعات هندسی و معنایی IFC معرفی شده است. اروی اهوری^۲ و همکاران (۲۰۱۸) نیز از GeoBIM در تلفیق BIM و GIS، با تأکید بر انتقال هندسی اطلاعات، استفاده کرده اند. در برخی تحقیقات، از فرایند استخراج، انتقال و بارگذاری^۳ استفاده شده و مدل های BIM و GIS به صورت نیمه اتوماتیک به یکدیگر تبدیل می شوند. فرایند مذکور داده های ناهمگون را از منابع گوناگون استخراج می کند و آنها را به فرمتی مناسب انتقال می دهد. رفیعی^۴ و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهش خود، مراحل تلفیق داده های BIM با اطلاعات مکانی را، به کمک این فرایند، بررسی کرده اند. یکی از بسترهای مناسب در فرایند استخراج و انتقال و بارگذاری، موتور دست کاری عارضه^۵ است که در آن ارتباطی دوطرفه بین IFC و CityGML برقرار می شود (Donkers, 2013) و طی آن، هم اطلاعات هندسی و هم اطلاعات معنایی ثابت می مانند. واکا^۶ و همکاران (۲۰۱۸) به کمک آن ارتباطی دوطرفه میان نرم افزارهای Revit و ArcGIS برقرار کرده اند.

1. De Laet & 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

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 مقاله منتشرشده در بازه 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 شناسه برنمود دیجیتال^۹ مقالات به محیط نرم‌افزار، از رابط برنامه کاربردی Semantic Scholar برای دانلود مقالات در محیط نرم‌افزار استفاده شده است. به‌کمک دو تحلیل هم‌اتفاقی کلمات کلیدی^{۱۰} و نویسندگان همکار، شبکه کلمات کلیدی هم‌اتفاق و شبکه هم‌تألیفی نویسندگان، در قالب نقشه، تولید شد که به‌ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نمایان است. ۳۶ واژه کلیدی و ۲۰ نویسنده پرتکرار در مقالات مرور شده استخراج شده است. در این دو شبکه، واژگان کلیدی و نویسندگان کلاس‌بندی و با رنگ‌بندی از یکدیگر متمایز شده‌اند. برای نمونه، هر کلاس در شبکه نویسندگان هم‌تألیف آن نویسندگانی را نشان می‌دهد که تألیف مشترک دارند. در شبکه کلمات کلیدی هم‌اتفاق، اندازه گره کلماتی که بیشترین تکرار در مقالات منتخب را دارند بیشتر است و هم‌اتفاقی آنها در مقالات نیز به‌کمک یال‌ها تشخیص داده می‌شود.

تعریف می‌شود. سپس مفاهیم در آنتولوژی مرجع نگاشته و کلاس‌بندی انجام می‌شود (Deng et al., 2016b). هوبیچ و روکسین^۱ (۲۰۲۰)، ضمن مشخص کردن آنتولوژی‌های استاندارد موجود در BIM و GIS، به‌کمک نظریه Linked Data، برقراری ارتباط فرامدل‌ها، شمای مفهومی و شمای کاربردی بین GIS و BIM را بررسی کرده‌اند. مینیار و نیکول^۲ (۲۰۱۴) نیز از آنتولوژی‌ها به‌منظور تلفیق BIM و GIS، با هدف کاربرد در مدیریت تسهیلات شهری، استفاده کردند. در تحقیق آنها، افزونه جدید مدل‌سازی اطلاعات شهری^۳ معرفی شده است که مفاهیم مکانی و زمانی را، برای ساخت یک آنتولوژی به‌منظور تلفیق اطلاعات IFC و CityGML، تعیین می‌کند. کارن^۴ و همکاران (۲۰۱۵) و هور^۵ و همکاران (۲۰۱۸) نیز در تحقیقاتشان، به‌کمک فناوری‌های وب‌معنایی به تلفیق BIM و GIS و با تأکید بر استخراج اطلاعات معنایی از مدل داده IFC و نگاشت آن در مدل CityGML پرداخته‌اند.

۵-۳- تلفیق مبتنی بر کاربردهای خاص

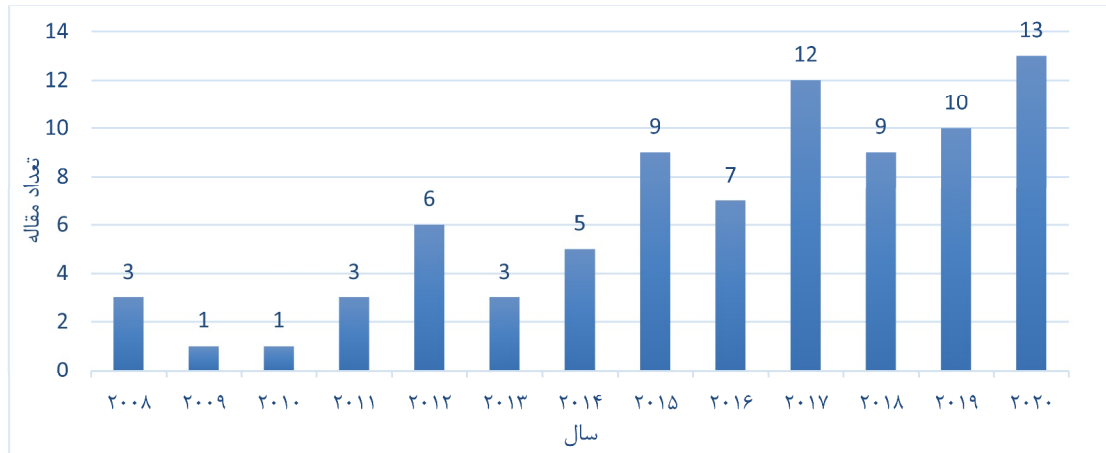
در دسته‌ای از تحقیقات، منابع داده‌ای تغییر نکرده و هیچ‌گونه آنتولوژی و وب‌سروسی توسعه داده نشده است. در روش‌های استفاده‌شده در این تحقیقات، اطلاعات مورد نیاز برای GIS یا BIM با توجه به کاربرد مورد نظر، از طریق افزونه موجود در نرم‌افزارهای مرتبط استخراج و در یک پایگاه داده مرکزی ذخیره می‌شود. در تحقیق چن و انگوین^۶ (۲۰۱۹)، به‌کمک رابط‌های برنامه کاربردی Google Map^۷ و نرم‌افزار Revit و با استفاده از زبان برنامه‌نویسی C#، افزونه‌ای در نرم‌افزار Revit به‌منظور مدیریت زنجیره تأمین توسعه داده شده است. نمونه دیگر در این روش‌ها gbXML^۸ است که BIM و GIS را، با هدف کاهش مصرف انرژی ساختمان، تلفیق می‌کند (Niu et al., 2015).

۶- تحقیقات انجام‌شده در زمینه تلفیق BIM و GIS

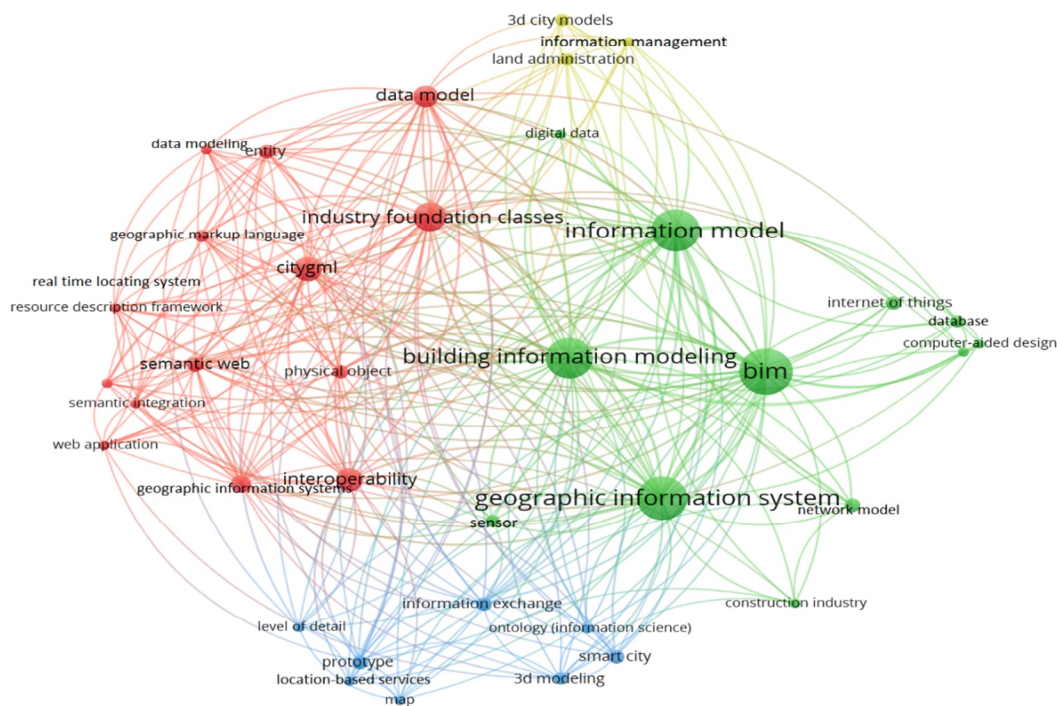
هدف اصلی این مقاله مرور برخی تحقیقات اخیر درباره

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

مروری بر تحقیقات اخیر در زمینه تلفیق مدل سازی ...



شکل ۲. تعداد مقالات منتخب در هر سال



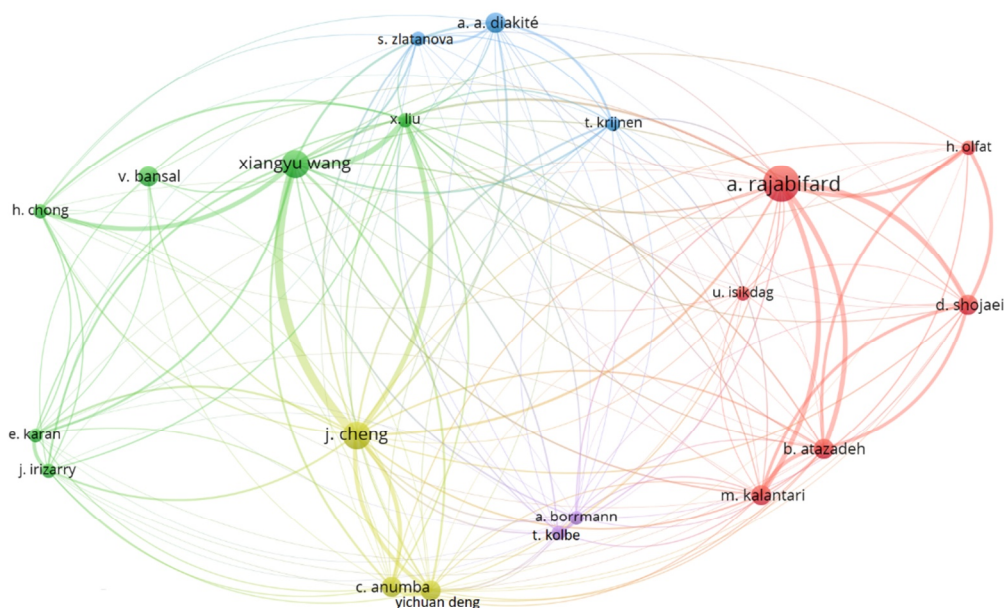
شکل ۳. شبکه کلمات کلیدی هم‌اتفاق در مقالات منتخب

۷-۱- صنعت ساخت‌وساز

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

۷- زمینه‌های کاربردی تلفیق BIM و GIS

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



شکل ۴. شبکه نویسندگان هم‌تألیف در مقالات منتخب

ساخت‌وساز است که بنسل^۱ (۲۰۱۱) به آن پرداخته است. در این پژوهش، از اطلاعات توپوگرافی و برخی تحلیل‌های مکانی به منظور تخصیص مناطق متفاوت سایت پروژه استفاده شده است تا امکان انجام دادن فعالیت‌های پروژه به صورت متناسب مهیا شود.

در تحقیق دیگری که لیو و ایسا^۲ (۲۰۱۲) انجام دادند، تلفیق BIM و GIS در مدیریت تسهیلات به کار رفته است. در این تحقیق، خطوط لوله زیرزمینی به صورت سه‌بعدی بصری‌سازی شد تا تداخلاتشان با ساختمان مشخص شود. کاهش حجم عملیات خاک‌برداری و خاکریزی نمونه کاربرد دیگر تلفیق BIM و GIS است که کیم^۳ و همکاران (۲۰۱۵) به آن اشاره کرده‌اند. ژو و همکاران (۲۰۱۷) و ویلگرشوفر^۴ و همکاران (۲۰۱۷) نیز از داده‌های GIS و تلفیق آن با داده‌های BIM، در پروژه ساخت تونل، بهره برده‌اند.

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 مجموعه تاورکرین‌های سایت پروژه، تابعی را به منظور بهینه‌سازی تعداد و مکان آنها در سایت پروژه پیشنهاد داده‌اند. در این تحقیق، با بصری‌سازی ساختمان‌ها از قبل به کمک BIM، ابتدا به منظور 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 در نظر گرفتن 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 نمونه کاربردی دیگر تلفیق BIM و GIS در صنعت

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

مسئله ایمنی پروژه نیز بسیار مهم است. بنسب (۲۰۱۰) از تلفیق BIM و GIS به منظور تعیین مکان های دارای پتانسیل بالا، برای برخوردهای احتمالی در سایت پروژه، استفاده کرده است. شاهی^۳ و همکاران (۲۰۱۳) نیز روشی برای ردیابی فعالیت های انجام شده در سایت پروژه، با هدف افزایش ایمنی، پیشنهاد کردند.

۷-۲- برنامه ریزی شهری

برنامه ریزی برای ترافیک شهری نمونه کاربرد تلفیق BIM و GIS در زمینه برنامه ریزی شهری است که وانگ و همکاران (۲۰۱۴) به آن پرداخته اند. در این تحقیق، با استفاده از مدل BIM ساختمانی اداری و تحلیل مکانی- زمانی ترافیک خیابان های اطراف آن، تأثیر ورودی ها و خروجی های پارکینگ ساختمان و نیز محل در نظر گرفته شده، از لحاظ توقف کوتاه مدت خودروها مقابل ورودی ها، در ترافیک اطراف ساختمان بررسی شد. همچنین با در نظر گرفتن برخی معیارهای دیگر، مانند نوع و سرعت خودروها، ترافیک شهری در منطقه شبیه سازی شد تا طراحی ساختمان ارزیابی شود و تحلیل های شهری ثانویه صورت گیرد.

در تحقیق دیگری به کمک تلفیق BIM و GIS، نقشه سه بعدی نویز ترافیک شهری تولید شده است که دنگ و همکاران (۲۰۱۶a)، با طرح چارچوبی، به آن دست پیدا کرده اند. 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، به صورت یکپارچه محاسبه شود. اطلاعات محیطی به کمک GIS و اطلاعات داخلی مورد نیاز، شامل هندسه داخلی ساختمان و جنس مواد ساختمانی، برای محاسبه شدت سیگنال صوتی به کمک مدل BIM استخراج شد و پس از انجام دادن محاسبات، نقشه سه بعدی نویز، هم در فضای داخلی و هم در فضای بیرونی ساختمان، بصری سازی شد.

مهم ترین مسئله در صنعت ساخت و ساز تخمین هزینه است. مدیریت مالی و تخمین هزینه نیازمند فرایندی سیستماتیک است و تلفیق BIM و GIS بستری مناسب ایجاد می کند تا تخمین هزینه کارآمدتر انجام شود. در پژوهش پارک^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، سامانه ای مبتنی بر BIM و GIS توسعه یافته است که در آن هزینه ساخت، هزینه زمین مورد نیاز برای ساخت و هزینه عملیات و نگهداری ساختمان تخمین زده شده و این کار به تصمیم سازی بهتر در برنامه ریزی مناسب تر کمک می کند. این تحقیق به صورت امکان سنجی به کارگیری این سیستم، در مورد یک راه، بررسی شده و از سامانه توسعه یافته در تخمین هزینه راه های متفاوت و در نهایت، تصمیم گیری و انتخاب بهترین مسیر استفاده شده است.

در صنعت ساخت و ساز، فرایند مدیریت مالی وابستگی بسیاری به مدیریت زنجیره تأمین دارد. در تحقیق دیگری، ایریزاری و همکاران (۲۰۱۳) سامانه ای طراحی کردند که مدلی تلفیقی از BIM و GIS را ارائه می دهد و در بصری سازی فرایند زنجیره تأمین ساخت به کار می رود. در این پژوهش، از BIM برای مشخص کردن تمامی المان های ساختمان، با حجم و جنس مشخص، و همچنین نمایش سه بعدی وضعیت مواد ساختمانی در زمان های مشخص استفاده شده است. GIS نیز برای انجام دادن تحلیل های مکانی در فرایند زنجیره تأمین، مانند جابه جایی مواد در شبکه حمل و نقلی و ذخیره سازی آنها در انبار با هدف کاهش هزینه حمل و نقلیه به کار رفته است. وانگ و همکاران (۲۰۱۷) و دنگ^۲ و همکاران (۲۰۱۹) نیز پژوهش هایی همانند موارد پیشین انجام داده اند که در هر یک چارچوبی مبتنی بر تلفیق BIM و GIS، به منظور انتخاب مکان کارپردازان در پروژه، ارائه شده است. در تحقیق وانگ، از GIS به منظور تحلیل شبکه حمل و نقل مواد ساختمانی استفاده شده که، در تلفیق با داده های BIM و به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی، به انتخاب کارپردازان پروژه می پردازد.

1. Park
2. Deng
3. Shahi

مدل HBIM به صورت مستقیم و با فرمت rvt وارد محیط نرم افزار ArcGIS Pro می شود. در روش دوم، ابتدا خروجی با فرمت IFC از مدل ساختمانی دریافت و سپس، به کمک نرم افزار FME Reader، به فرمت GML تبدیل می شود؛ در نهایت، خروجی دریافتی وارد نرم افزارهای ArcGIS Pro و QGIS می شود.

در پژوهش های دیگری، محققان به نقش تلفیق BIM و GIS در فرایند صدور مجوز ساخت پرداخته اند. این فرایند نیازمند به اشتراک گذاری اطلاعات میان ذی نفعان گوناگون است و در حال حاضر، در بسیاری از کشورها به صورت کاغذی انجام می شود. از آن جاکه BIM و GIS ماهیتی دیجیتالی دارند و حاوی اطلاعات لازم به منظور صدور مجوز ساخت اند، تلفیق آنها می تواند بستر مناسبی برای انجام شدن فرایند مذکور ایجاد کند. براساس قوانین شهرداری ها در صدور مجوز ساخت، در اغلب مناطق شهری، ارتفاع بلندترین نقطه ساختمان نباید بیشتر از حد مجاز شود. السون^۶ و همکاران (۲۰۱۸) به دیجیتالی کردن محاسبه ارتفاع مجاز ساختمان در فرایند صدور اتوماتیک مجوز ساخت، به کمک تلفیق BIM و GIS، پرداخته اند. در این تحقیق، ابتدا مدل IFC به فرمت CityGML تبدیل می شود. در مرحله بعد، صفحه ۴۵ درجه ای عبوری از بلندترین بخش سقف با صفحه دیوار بیرونی ساختمان تقاطع می یابد و خط اشتراک آنها استخراج می شود. سپس فاصله بین خط و صفحه استخراج شده از مدل رقومی ارتفاعی زمین^۷ محاسبه می شود. در صورتی که مقدار فاصله از حد مجاز بیشتر نباشد، ساختمان مذکور از نظر ارتفاع مجاز است و اجازه ساخت دارد. نوآردو^۸ و

بنسل و پال^۱ (۲۰۰۹)، با تلفیق BIM و GIS، روشی را برای محاسبه و بصری سازی جهت تابش نور خورشید بر وجوه متفاوت ساختمان مطرح کردند که هدفشان تعیین مکان و جهت درست آن در مرحله طراحی بوده است. تحقیق دیگری نیز به تأثیر تراکم شهری و مقدار تابش خورشیدی در ساختمان در میزان مصرف انرژی ساختمان پرداخته است (Strømman-Andersen & Sattrup, 2011). تناسب اقلیمی ساختمان مبتنی بر تلفیق BIM و GIS نیز کاربرد دیگری در این زمینه است (Hjelseth & Thiis, 2008). سیراکووا^۲ (۲۰۱۸)، با اشاره به مفهوم مدل سازی اطلاعات شهری^۳، به نقش تلفیقی BIM و GIS در بررسی و پیش بینی تغییرات اقلیمی شهر اشاره کرده است. با استفاده از مدل های BIM و انجام دادن تحلیل های مکانی در GIS، می توان قابلیت پیاده روی راه ها را ارزیابی کرد. کیم و همکاران (۲۰۱۶) قابلیت پیاده روی راه ها را، با هدف انتخاب راه ایمن و سالم برای رسیدن به مدرسه، بر پایه تلفیق BIM و GIS، بررسی کردند. در این تحقیق، برخی اطلاعات زیرساخت های شهری از مدل داده IFC استخراج شد و با توسعه یک آنتولوژی، ایمنی و سلامت راه ها برای دانش آموزان طبقه بندی و نمایش داده شد.

مستندسازی و مدیریت اطلاعات ساختمان های قدیمی و تاریخی زمینه کاربردی دیگری در حوزه برنامه ریزی شهری است که به اطلاعات مکانی و معماری کامل در مورد آن ساختمان ها، در قالب مدل های سه بعدی، نیاز دارد. مدل های اطلاعات ساختمانی چنین ساختمان هایی را HBIM^۴ می نامند. در تهیه این مدل ها، اغلب اطلاعات هندسی مدل به کمک فناوری های ژئوماتیکی، مانند لیزراسکنرها، تهیه می شود و خروجی آن ابری از نقاط است که به نرم افزار Revit وارد می شود. پس از ساخت مدل، باید مدل زمین مرجع شود و اطلاعات جغرافیایی اطراف آن نیز در دسترس باشد. در این زمینه، کلوچی^۵ و همکاران (۲۰۲۰) دو روش برای نمایش مدل های HBIM در بستر GIS پیشنهاد کرده اند. در روش اول،

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

BIM و GIS به راحتی محاسبه می شود. تعیین کوتاه ترین و ایمن ترین مسیر برای رسیدن به منطقه امن در داخل ساختمان، هنگام وقوع آتش سوزی، در تحقیق اطمینانی^۴ و همکاران (۲۰۱۹) بررسی شد. در این تحقیق، به کمک مدل BIM ساختمانی تجاری و تحلیل شبکه، از الگوریتم کلونی مورچگان برای تعیین مسیر بهینه سناریوهای گوناگون استفاده شده است. وو و ژانگ^۵ (۲۰۱۶) BIM و GIS را به منظور انجام دادن برخی تحلیل های داخلی مانند مسیریابی داخلی، هنگام بحران آتش سوزی، تلفیق کردند. در این تحقیق، مدل BIM ساخته شده در نرم افزار Revit به مدل داده IFC منتقل و سپس وارد نرم افزار ArcGIS می شود. به کمک مدل ارائه شده، در زمان وقوع آتش سوزی در نقطه ای از ساختمان، مسیر بهینه تخلیه اضطراری تعیین می شود. برای نمایش و درک بهتر نتایج، از نرم افزار Navisworks به قصد شبیه سازی آتش سوزی و بصری سازی مسیر بهینه تخلیه اضطراری استفاده می شود.

امیرابراهیمی^۶ و همکاران (۲۰۱۵) نقش تلفیق BIM و GIS در مدیریت بحران سیل را بررسی کردند. در پژوهش این تیم، مدل داده ای برای تلفیق BIM و GIS به منظور ارزیابی و بصری سازی سه بعدی مطرح شد. در این تحقیق، به ضعف مدل داده CityGML در تعیین تمامی ویژگی های معنایی عوارض، مانند ساختمان ها و خیابان ها، و لزوم توسعه مدل داده جدیدی مبتنی بر تلفیق با مدل داده IFC و با هدف کاربرد در مدیریت سیل در مناطق شهری اشاره شده است. نتایج شبیه سازی سیل وارد نرم افزار ArcGIS شد و خروجی مدل BIM ساختمان با فرمت IFC دریافت و وارد پایگاه داده مکانی شد. مدل داده بیان شده در مورد

همکاران (۲۰۲۰) تحقیق مشابهی انجام دادند و از استاندارد GeoBIM بهره بردند. در این تحقیق، ابتدا قوانین موجود توصیف و سپس فرمول بندی می شود. در نهایت، معیارهای لازم مانند ارتفاع ساختمانی به منظور بررسی مجوز ساخته تعیین می شود. امامقلیان^۱ و همکاران (۲۰۲۰) نیز تداخلات قوانین فرایند صدور مجوز ساخت را بررسی و مدل سازی کرده اند. در این تحقیق، تداخلات احتمالی استخراج و به سه گروه تداخلات مکانی، تداخلات معنایی و تداخلات زمانی دسته بندی شده است. وجود مدل BIM بدون اطلاعات توپوگرافی و موقعیت مکانی و نیز تقاطع مرزهای داخلی و خارجی مدل نمونه از تداخلات مکانی موجود در فرایند صدور مجوز ساخت محسوب می شوند. تفاوت میان نوشتار مانند تفاوت میان دو واژه «Apartment» و «Apt» نیز از جمله تداخلات معنایی موجود در فرایند صدور دیجیتال مجوز ساخت شمرده می شود. همچنین، درخواست هم زمان صدور مجوز ساخت برای دو مدل BIM، که در نزدیکی یکدیگر هستند، ممکن است سبب تداخلات زمانی در فرایند صدور مجوز شود. پس از دسته بندی، تداخلات در سناریوهای گوناگون مدل سازی می شود و در صورت بروز تداخل، تصمیمی متناسب با تداخل رخ داده گرفته می شود.

۷-۳- مدیریت بحران

آتش سوزی و سیل نمونه بحران هایی هستند که تحقیقات گوناگونی، مبتنی بر تلفیق BIM و GIS، به منظور مدیریت آنها انجام شده است. ایسیکدگ^۲ و همکاران (۲۰۰۸) و زورویچ^۳ و همکاران (۲۰۱۶)، در پژوهش هایشان، امکان استفاده از مدل داده IFC را برای کاربردهای مکانی، هنگام شرایط اضطراری و وقوع آتش سوزی در داخل ساختمان، بررسی کرده اند. زورویچ میزان آسیب پذیری یک نقطه در داخل ساختمان را، پس از وقوع آتش سوزی، تابعی از فاصله آن نقطه تا محل آتش و تعداد المان های ساختمانی بین آن دو در نظر می گیرد که با استفاده تلفیقی از

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

سه‌بعدی در نظر گرفته می‌شوند. در مدل هستنده‌مبنا نیز، دیوارها، سقفها، درها، پنجره‌ها و ستون‌ها به‌منزله‌المان‌های افقی و پله‌ها و آسانسورها به‌منزله‌المان‌های قائم مدل محسوب می‌شوند. عملکرد اصلی مدل گراف‌مبنا تهیه‌ شبکه‌ مسیر داخلی، بررسی اتصالات آن، مشخص کردن نقاط ابتدا و انتهای مسیر و نیز محاسبه‌ طول مسیر و زمان طی‌شده در رسیدن به نقطه‌ انتهایی شناخته‌شده است؛ عملکرد اصلی مدل هستنده‌مبنا نیز ایجاد بستری به‌منظور بهبود بصری‌سازی شبکه‌ مسیر سه‌بعدی داخل ساختمان در نظر گرفته شده است (Liu et al., 2020). در تحقیق دیگری، سیستم هوشمند ناوبری داخلی مبتنی بر تلفیق اطلاعات معنایی موجود در BIM و اطلاعات نمایه‌ کاربران به‌کمک فناوری‌های وب‌معنایی توسعه یافته است. ابتدا نقطه‌ مقصد از سوی کاربر مشخص می‌شود؛ سپس اطلاعاتی همچون معلول‌بودن/ نبودن کاربر از نمایه‌ وی استخراج و مسیر پیشنهادی در اختیار کاربر قرار می‌گیرد (Shayeganfar et al., 2008).

تسو و چو^۲ (۲۰۱۶) درمورد یکپارچه‌سازی مسیریابی، هم در فضای داخلی و هم در فضای بیرونی ساختمان، تحقیق کرده‌اند. در این پژوهش، یک مدل شبکه‌ داخلی مبتنی بر BIM ارائه شد که از اتصال آن به شبکه‌ بیرونی برای مسیریابی در کاربردهای گوناگون استفاده می‌شود. همچنین، مدل داده‌ شبکه‌ هندسی چندهدفه‌ای^۳ ارائه شده است که المان‌های ساختمان در مدل داده‌ IFC به آن تبدیل می‌شود تا یک مدل شبکه‌ داخلی غنی ایجاد شود. اطلاعات ورودی‌های ساختمان از مدل داده‌ ارائه‌شده و اطلاعات درباره‌ شبکه‌ خیابان‌ها از پایگاه OSM^۴ استخراج می‌شود. در مرحله‌ بعد، مرز ساختمان به‌کمک مدل داده‌ CityGML، با سطح جزئیات ۱ استخراج شد تا کوتاه‌ترین خط برای اتصال

یک ساختمان اجرا و هزینه‌ 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 مشخصه‌ 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 نحوه‌ بالآمدن سطح آب در بیرون و داخل ساختمان را بصری‌سازی کرد. به‌منظور تلفیق اطلاعات، مدل داده‌ای مبتنی بر GML توسعه یافته است که اطلاعاتی نظیر سطح زمین، سیل و مواد ساختمانی را شامل می‌شود (Amirebrahimi et al., 2016).

۷-۴- موقعیت‌یابی و ناوبری داخلی

با توسعه‌ 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^۱ و همکاران (۲۰۱۲) روشی برای نمایش فضای داخلی ساختمان، مبتنی بر مدل داده‌ IndoorGML، پیشنهاد کردند. در این تحقیق، اطلاعات مکانی سه‌بعدی در فضای داخلی براساس BIM تولید می‌شود. در تحقیق دیگری، یک مدل ترکیبی به‌منظور تهیه‌ مدل نقشه‌ سه‌بعدی داخل ساختمان، برای روش‌های موقعیت‌یابی و ناوبری مبتنی بر 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 به‌منزله‌ گره‌های افقی، پله‌ها و آسانسورها به‌منزله‌ گره‌های قائم و کریدورها و خطوط ناشی از اتصال گره‌ها به‌منزله‌ یال‌های مدل شبکه‌ مسیر

1. Hwang

2. Teo & Cho

3. MGNM: Multi-purpose Geometric Network Model

4. Open Street Map

حقوقی پرداخته‌اند. در این پژوهش‌ها، هستنده‌های حقوقی مشخص شده و به‌منزله زیرکلاس هستنده IfcSpace در مدل داده IFC، مناسب‌ترین هستنده از مدل داده IFC در بررسی اطلاعات مالکیتی در نظر گرفته شده‌اند. نتیجه این تحقیق یک مدل داده توسعه‌یافته است که می‌توان در آن مرزهای حقوقی ساختمان را تعیین و مدیریت کرد. تکاوک^۵ و همکاران (۲۰۲۰) نیز پیشنهاد کرده‌اند فضاهای داخلی به‌منزله هسته اصلی ساخت مدل داده‌های مورد نیاز در مدیریت اطلاعات حقوقی ساختمان‌ها، به‌منظور بهبود تلفیق با مدل داده‌های IFC، CityGML و IndoorGML، در نظر گرفته شوند.

علاوه بر توسعه استانداردها برای پشتیبانی بهتر از اطلاعات کاداستر، نمایش آنها پس از تلفیق نیز حائز اهمیت است. در پژوهش شجاعی^۶ و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از فناوری WebGL، شکل اولیه‌ای^۷ مبتنی بر وب به‌منظور بصری‌سازی سه‌بعدی اطلاعات حقوقی و فیزیکی کاداستر ارائه شده است. جست‌وجوی اطلاعات، شناسایی اطلاعات و اندازه‌گیری هندسی از جمله مهم‌ترین قابلیت‌های این شکل اولیه‌اند و کاربران به‌راحتی می‌توانند اطلاعات فیزیکی مانند دیوارها و اطلاعات حقوقی همچون حقوق، محدودیت‌ها و مسئولیت‌ها^۸ را مدیریت کنند. در تحقیق دیگری که آندریانسی و دیموپولو^۹ (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.

شبکه داخلی به شبکه بیرونی مشخص شود. در نهایت، مدل داده ارائه شده به پایگاه داده 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 توسعه 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 توسعه کاداستر سه‌بعدی و مدیریت بهتر املاک پرداخت.

در برخی تحقیقات، مدل داده‌های IFC و CityGML با مدل داده LADM^۱ به‌عنوان جامع‌ترین مدل داده در حوزه اطلاعات حقوقی زمین تلفیق شده است. اولدفیلد^۲ و همکاران (Oldfield et al., 2017) با نگاشت مدل داده LADM به مدل داده‌های IDM و IFC، یک مدل داده جدید با عنوان 3DCDM^۳ برای ذخیره فضاهای حقوقی ساختمان ارائه داده‌اند. آئین و همکاران (Aien et al., 2015) نیز در تحقیق خود یک مدل داده ارائه داده‌اند که در آن اطلاعات فیزیکی و حقوقی موجود در استانداردهای IFC، CityGML 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^۴ و همکاران (۲۰۱۷a؛ ۲۰۱۷b) در تحقیقات خود به توسعه استاندارد IFC با اطلاعات

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

هوشمندسازی خانه و شهر را در مراحل قبل، حین و پس از ایجاد زیرساخت‌های شهری افزایش دهد (Carneiro et al., 2018; Ugurlu & Sertyesilisik, 2019). به‌طور کلی، پایش عملیات ساخت، مدیریت ایمنی، مدیریت بحران و همچنین مدیریت انرژی زمین‌های اصلی تلفیق BIM و IoT شناخته می‌شود (Tang et al., 2019). دیو^۳ 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. بدین ترتیب، اطلاعات دما از طریق حسگرهای دما به سرور مورد نظر ارسال می‌شود و با توجه به موقعیت مکانی حسگر، نقشه رنگی دما در هر بخش از مدل BIM نمایش داده می‌شود. در تحقیق دیگری عطازاده و همکاران (۲۰۱۹)، با مدل کردن فضاهای زیر پوشش دوربین‌های مدار بسته^۴ و همچنین نقاط دسترسی وای‌فای^۵ در مدل داده IFC، مالکیت فضاهای زیر پوشش دستگاه‌های IoT را در ساختمان‌های چندمالکیتی تعیین کردند. این فضاها در کلاس IfcSpace مدل شده‌اند. محققان دیگری، با اضافه کردن ماژول افزونه‌ای جدیدی با عنوان *sensor* به استاندارد IndoorGML و IndoorGML، دو استاندارد 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 نمونه دیگری از کاربرد تلفیق سه فناوری BIM، GIS و IoT است که پنگ^۶ 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 تحقیق، از نرم‌افزار Revit در ساخت مدل BIM ساختمان و ورود اطلاعات مالکیتی به هستنده IfcSpace مورد نظر و از نرم‌افزار ArcGIS Pro برای زمین مرجع کردن 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^۱، به کمک نرم‌افزار FME Reader انجام شده است. سان^۲ و همکاران (۲۰۱۹) نیز، در تحقیق خود، چارچوبی برپایه 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، فناوری‌های گوناگونی دخیل است که یکی از مهم‌ترین آنها فناوری 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

تحلیل انرژی از این سامانه، خروجی مدل ساختمانی با فرمت gbXML گرفته و به اشتراک گذاشته می شود. در همین زمینه، یامامورا^۴ و همکاران (۲۰۱۷) مقیاس شبیه سازی مصرف انرژی را از ساختمان به شهر گسترش دادند؛ با توجه به متناسب بودن 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 سالیانه انرژی در سطح شهر تخمین زده و به صورت نقشه سه بعدی نمایش داده می شود. الکساندروو^۵ و همکاران (۲۰۱۹) نیز، با طرح کردن یک معماری چهارلایه، کیفیت هوای داخل ساختمان را پایش کرده اند.

در راستای هوشمندسازی شهرها، زمان و هزینه نقش اساسی دارد و مدل های BIM، با در اختیار قراردادن بُعدهای چهارم و پنجم خود، امکان محاسبه و تخمین آنها را برای کاربردهای گوناگون ایجاد می کنند. یکی از مهم ترین موارد در حوزه شهر هوشمند برنامه ریزی و طراحی بهینه زیرساخت های مصرفی شهر، مانند شبکه های توزیع آب و برق، با توجه به نیاز جمعیت در بازه های زمانی متفاوت است که مرزوک و عثمان^۶ (۲۰۲۰) در تحقیق خود به آن اشاره کرده اند. در این پژوهش، چارچوبی بر مبنای تلفیق BIM و GIS مطرح شده است که در آن نیازهای مصرفی هر قطعه زمین قابل پیش بینی و نمایش دادن است. اطلاعاتی مانند گد قطعه زمین از GIS و اطلاعاتی مانند نوع ساختمان، زمان ساخت آن و همچنین جمعیت تقریبی افراد از 4D-BIM دریافت می شود و با در نظر گرفتن ضریبی برای مصرف آب و برق، میزان مصرف در

در این پژوهش، سامانه ای طراحی شده که معماری آن دارای چهار لایه است. در لایه اول، مجموعه ای از حسگرها از جمله دوربین های نصب شده در فضای داخلی و بیرونی بیمارستان و حسگرهای دما، فشار، بخار آب و دود آن وجود دارد که، بر اساس معیارهای ریسک، محیط را پایش می کنند. لایه دوم مختص انتقال اطلاعات است که، در آن، به کمک شبکه های محلی و گسترده^۱ اطلاعات گردآمده از راه حسگرهای لایه اول، برای پردازش، به سرور مرکزی فرستاده می شود. در لایه سوم، ابتدا اطلاعات جمع آوری شده از حسگرها، که دارای ناهمگونی اند، با یکدیگر تلفیق می شوند. سپس از نرم افزارهای BIM استفاده می شود تا اطلاعات ساختمانی، مانند قابلیت اشتغال هر المان ساختمانی، دریافت شود. همچنین، نرم افزارهای GIS به کار می روند تا شبیه سازی و برخی تحلیل های مکانی، مانند تحلیل بافر، انجام شود. هدف از این کارها تعیین مکان های پرخطر در اطراف محل آتش و تحلیل شبکه به منظور تعیین مسیرهای بهینه خروج از ساختمان است. لایه چهارم نیز لایه کاربردی است که وظیفه هشداردهی و نمایش آنی وضعیت ریسک در ساختمان را برعهده دارد. کویی^۲ و همکاران (۲۰۱۹) به نقش استفاده تلفیقی از سه فناوری BIM، GIS و IoT در هوشمندسازی فرایندها، طی شرایط اضطراری در فضای زیرزمینی شهر، اشاره کرده اند.

پایش انرژی در ساختمان و شهر یکی از مهم ترین مطالبات برنامه ریزان و تصمیم سازان در حوزه شهر هوشمند است که تحقیقاتی در این زمینه، در بستر BIM و GIS و IoT، انجام شده است. بوتاجولی^۳ و همکاران (۲۰۱۷) زیرساختی نرم افزاری را، در بستر رایانش ابری، توسعه دادند که هدف آن شبیه سازی مصرف انرژی در داخل ساختمان است. اطلاعات لازم با استفاده از حسگرهای دما و رطوبت داخل ساختمان گرد می آید و انرژی مصرفی در مکان های گوناگون ساختمان تخمین می خورد و در بستر BIM بصری سازی می شود. به منظور استفاده کارشناسان

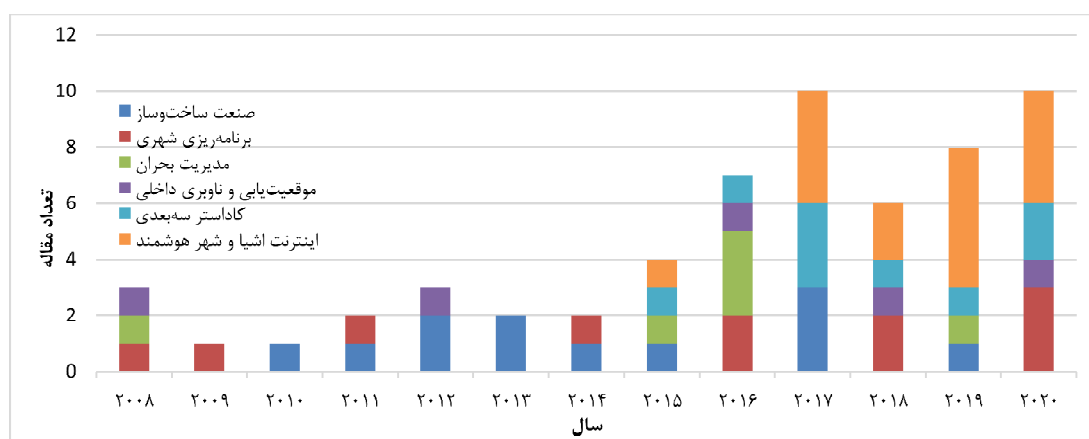
1. Local Area Network, WAN: Wide Area Network (LAN)
2. Cui
3. Bottaccioli
4. Yamamura
5. Aleksandrov
6. Marzouk & Othman

در این مقاله، با در نظر گرفتن BIM از دیدگاه مکانی، برخی تحقیقات در زمینه 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 زمینه کاربردی، نمودار تعداد مقاله‌های سالیانه 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؛ به طوری که زمینه کاربردی حدود نیمی از مقالات سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰، که در پژوهش در دست مرور شد، به اینترنت اشیا و شهر هوشمند بازمی‌گردد و به نظر می‌رسد این حوزه به‌تازگی توجه محققان را به خود جلب کرده است. در مجموع، با وجود تحقیقات بسیار در حوزه تلفیق BIM و GIS، نتایج تحقیقات هنوز کاملاً به مرحله عمل نرسیده است اما انتظار می‌رود این مهم به‌زودی محقق شود.

مقیاس‌های گوناگون مکانی و زمانی محاسبه و نمایش داده می‌شود. ارکوری^۱ و همکاران (۲۰۲۰) از 5D-BIM و GIS در تخمین زدن هزینه بازسازی ساختمان‌های شهر بهره برده‌اند.

۸- بحث و نتیجه‌گیری

اگرچه مفاهیم اولیه BIM در سال ۱۹۹۲ و با هدف حل مشکلات در پروژه‌های صنعت ساخت‌وساز مطرح شد؛ در دهه‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰، بلوغ در این فناوری به سطح بالاتری رسید و مدل‌های سه‌بعدی آن، در کنار ظهور فناوری‌های جدید دیگر، زمینه‌های کاربردی متنوعی ایجاد کرده است. امروزه BIM حلقه اصلی اتصال تمامی فناوری‌های مرتبط با ساختمان شناخته می‌شود. با تلفیق این فناوری با GIS، می‌توان مقیاس را از ساختمان به شهر گسترش داد و به‌طور کلی، مسائل را هم در فضای داخلی و هم در فضای بیرونی، به‌صورت کارآمدتری حل کرد. با این حال، 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.



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

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 Ogori, 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**

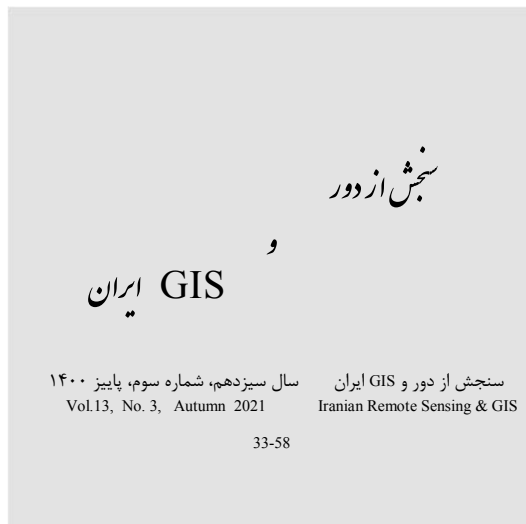
- Buildings**, Construction Innovation, 9(4), PP. 406-419.
- Biljecki, F., Ledoux, H. & Stoter, J., 2016, **An Improved LOD Specification for 3D Building Models**, Computers, Environment and Urban Systems, 59, PP. 25-37.
- Borrmann, A., Kolbe, T.H., Donaubaue, A., Steuer, H., Jubierre, J.R. & Flurl, 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 Ochori, 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.
- Strømman-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.
- Ugurly, 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.



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