Winter (2023) 8(4): 111-134

DOI: 10.30473/psp.2024.67927.2673

Received: 06/Jun/2023 Accepted: 15/Feb/2024

Physical Social Planning Open Access

ORIGINAL ARTICLE

nn ayysss of the Abllyyyoo Ineegraee Bulldnng Informaoon Modeling BIM) and Ariiii caal Ineellggence nnArchcccture whhhhe A. proach of SyeeemacccTracking of Scnnniiii c Reoourcen nnhhe Perood of 2015-2021

Mohammad Amanzadegan[1], Yaghowb Peyvastehgar[2], Ali Akbar Heidari[3], Razieh Malekhosseini[4]

1. Ph.D. Student in Architecture, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran.
2. Associate Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Technical and Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran.

Correspondence
Yaghowb Peyvastehgar
Email: Peyvastehgar@gmail.com

How to cite

Amanzadegan, M.; Peyvastehgar, Y.; Heidari, A. A.; Malekhosseini, R. (2023). Analysis of the Ability to Integrate Building Information Modeling (BIM) and Artificial Intelligence in Architecture with the Approach of Systematic Tracking of Scientific Resources in the Period of 2015-2021, Physical Social Planning, 8 (4), 32, 111-134.

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) has revolutionized the construction industry by improving efficiency and simplifying building project methods. Integrating BIM with digital systems such as artificial intelligence (AI) removes barriers and makes the project life cycle more productive and beneficial. The benefits of BIM and AI go beyond 3D modeling and building plans. They manage and control the entire construction project life cycle from start to the end. The aim of the current research is to provide a comprehensive understanding of the process of AI-BIM integration, which has been carried out by various researchers around the world. To achieve this goal, 380 articles published in 2015-2021 have been systematically analyzed through Scopus reference database. This research presents a systematic review of qualitative research to identify the characteristics of BIM, AI, their integration and implementation in construction. It also provides future research trends and insights and emphasizes interoperability in BIM. On the other hand, it reinforces the need for future research to focus on the interoperability of artificial intelligence and other intelligent systems in BIM to foster integrated science based on digitalization and information and communication technology. Finally, it also highlights the extension of the findings during the life cycle of the building construction project. The research results show that the integration of artificial intelligence and BIM has the capacity to change the construction industry. Because it has the ability to significantly reduce errors, to save time and resources (human resources and construction materials), to increase productivity and to adapt the map based on the user's needs through controller modules, database and machine learning according to building regulations. This research also identifies some of the challenges hindering the integration of AI and BIM, such as the lack of interoperability standards, data privacy concerns, and insufficient training for professionals.

KEYWORDS

BIM, Artificial Intelligence, Construction Industry, AI-assisted BIM, Machine Learning.

© 2023, by the author(s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

سال هشتم، شماره چهارم، پیاپی سی و دوم، زمستان ۱۴۰۲ (۱۳۴-۱۱۱)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷

DOI: 10.30473/psp.2024.67927.2673

نشریه علمی

برنامه‌ریزی توسعه کالبدی

«مقاله پژوهشی»

تحلیل قابلیت ادغام مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و هوش مصنوعی در معماری با رویکرد ردیابی نظام‌وار منابع علمی در دوره ۲۰۲۱-۲۰۱۵

محمد امان‌زادگان[۱]، یعقوب پیوسته‌گر[۲]، علی‌اکبر حیدری[۳]، راضیه ملک‌حسینی[۴]

۱. دانشجوی دکتری معماری، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران.
۲. دانشیار گروه معماری و شهرسازی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران.
۳. استادیار معماری، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.
۴. استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران.

نویسنده مسئول: یعقوب پیوسته‌گر
رایانامه: Peyvastehgar@gmail.com

چکیده

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) صنعت ساخت‌وساز را با بهبود کارایی و ساده‌سازی روش‌های پروژه ساختمان متحول ساخته است.ادغام BIM با سیستم‌های دیجیتالی همچون هوش‌مصنوعی (AI) ، موانع را از بین برده و چرخه عمر پروژه را سازنده‌تر و سودمندتر می‌سازد. مزایای BIM و AI فراتر از مدل‌سازی سه بعدی و طرح‌های ساختمانی است. آن‌ها کل چرخه عمر پروژه ساخت‌وساز را از صفر به بعد مدیریت و کنترل می‌کنند. هدف این پژوهش ارائه درک جامع از روند ادغام AI-BIM است که توسط محققان مختلف در سراسر جهان انجام شده است. دستیابی به این هدف از طریق تحلیل نظام وار ۳۸۰ مقاله انتشار یافته در سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۲۱ از طریق پایگاه استنادی اسکوپوس است این پژوهش مروری نظام وار از تحقیقات کیفی را برای تشخیص ویژگی‌های BIM، AI، ادغام و پیاده‌سازی آن‌ها در ساخت‌وساز ارائه می‌کند. همچنین روندها و بینش‌های تحقیقاتی آینده را ارائه داده و بر قابلیت همکاری در BIM تأکید می‌کند. در بخش دیگر، نیاز به تحقیقات آینده را برای تمرکز بر قابلیت همکاری هوش‌مصنوعی و سایر سیستم‌های هوشمند در BIM را برای تقویت علم یکپارچه بر اساس دیجیتالی شدن و فناوری اطلاعات و ارتباطات تقویت می سازد.در نهایت گسترش یافته ها را نیز در طول چرخه عمر پروژه ساخت‌وساز ساختمان برجسته می‌کند. نتایج تحلیل نظام وار دراین تحقیق نشان می‌دهد که ادغام هوش‌مصنوعی و BIM ظرفیت تغییر صنعت ساخت‌وساز را در بر دارد. زیرا توانایی کاهش قابل توجهی از خطاها ،صرفه جویی در زمان و منابع (نیروی انسانی و مصالح ساختمانی) ، افزایش بهره‌وری و متناسب سازی نقشه را بر اساس نیاز کاربر با استفاده از سه ماژول کنترل کننده، پایگاه داده و یادگیری ماشین و با توجه به مقررات ساختمانی را دارد. این پژوهش همچنین برخی از چالش‌هایی مانع از ادغام هوش‌مصنوعی و BIM را همچون فقدان استانداردهای قابلیت همکاری، نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی داده‌ها و آموزش ناکافی برای متخصصان را شناسایی می‌کند.

واژه‌های کلیدی

BIM، هوش‌مصنوعی، صنعت ساخت‌وساز، BIM به کمک هوش‌مصنوعی، یادگیری ماشین.

استناد به این مقاله: مقاله برگرفته از رساله دکتری معماری محمد امان‌زادگان به راهنمایی دکتر یعقوب پیوسته گر، مشاوره دکتر علیاکبر حیدری و دکتر راضیه ملک حسینی

امام‌زادگان، محمد؛ پیوسته‌گر، یعقوب؛ حیدری، علی‌اکبر؛ ملک حسینی، راضیه (۱۴۰۲). تحلیل قابلیت ادغام مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و هوش مصنوعی در معماری با رویکرد ردیابی نظام‌وار منابع علمی در دوره ۲۰۲۱-۲۰۱۵، فصلنامه علمی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، ۸ (۴)، ۳۲، ۱۳۴-۱۱۱.

https://psp.journals.pnu.ac.ir/

مقدمه

توسعه صنعت ساختمان و فناوری و همچنین بخش‌های ساختمانی، جلوه‌های اصلی پیشرفت جوامع بشری، رشد جمعیت و بهبود استانداردهای زندگی است که موجودیت زمین را تهدید می‌کند. مسائلی مانند مصرف بالای انرژی، افزایش هزینه‌های مواد و مصالح، مدیریت پسماند، ریسک بالا، بهره‌وری پایین و مسائل زیست‌محیطی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی چالش‌های بسیار مهمی را برای مهندسی معماری- ساخت‌وساز (AEC)[1] در بسیاری از کشورها ایجاد کرده است. با توجه به توسعه پایدار، موضوع انرژی و مصرف هوشمند باید برای رفع نیازهای نسل‌های آینده و کاهش این چالش‌ها از طریق سیاست‌های ساخت‌وساز مورد توجه قرار گیرد. با توجه به مصرف انرژی ساختمان و سایر چالش‌های ذکر شده، مدیریت تصمیم‌گیری در مرحله طراحی و همچنین بهینه‌سازی، بررسی و نظارت مصرف انرژی ساختمان ضروری به نظر می‌رسد. اگرچه در برخی از کشورها همچون ایالات متحده آمریکا، اتحادیه اروپا، دولت استرالیا برخی از سیاست‌ها و قوانین را برای کاهش مصرف انرژی ساختمان تصویب کردند، اما این قوانین برای رویارویی با چالش‌ها و برآورده سازی الزامات ناکافی بنظر می رسد. زیرا تفاوت‌های زیادی بین برنامه‌ریزی، طراحی و تأیید طرح و عملکرد نهایی ساختمان وجود دارد. بنابراین بشر به ابزارها و بسترهای جامعی برای حل این چالش‌ها نیاز دارد.

به منظور کاهش نگرانی‌ها و چالش‌های ذکر شده، پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان و همچنین تسهیل طراحی ساختمان هوشمند، مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM)[2] به عنوان یک ابزار شبیه‌سازی مطرح شده است. اولین توسعه BIM در معماری، مهندسی و مسکن شامل سیستم‌های اتوماسیون، بهره‌وری، و انرژی‌های تجدیدپذیر و پایدار به سال‌های ۲۰۰۰ بازمی‌گردد (J. Li et al., 2020). از آن زمان به بعد ابزار BIM به عنوان یک شاخص مهم در پیشرفت ساخت‌وساز شناخته شده است. علاوه‌براین، BIM به عنوان "نمایش پیشرفته از کیفیت‌های فیزیکی و مفید یک ساختمان" شناخته می‌شود (Bui et al., 2016) (Al-Ashmori et al., 2020) BIM پلتفرمی است که از ادراک و روش‌های طراحی بسیار متنوع با استفاده از فناوری‌های رایانه‌ای به کار رفته در صنعت ساخت‌وساز استفاده می‌کند. BIM که مدلسازی n-D و نوآوری شبیه‌سازی مجازی (مدل n-D توسعه‌ای از مدل اطلاعات ساختمان است که شامل چند جنبه از اطلاعات طراحی مورد نیاز در هر مرحله از چرخه عمر یک تأسیسات ساختمانی است؛ از جمله برنامه‌ریزی، هزینه‌یابی، دسترسی، پایداری، قابلیت نگهداری، آکوستیک و شبیه‌سازی انرژی) نیز نامیده می‌شود. BIM را می‌توان به عنوان مرحله‌ای جامع برای اندازه‌گیری، تولید، انتقال و تشریح پیشرفت سرمایه‌گذاری‌ها توصیف کرد. علاوه‌براین، از یک مدل داده پیشرفته در طول چرخه عمر بهبود کار استفاده می‌کند (Othman et al., 2020). BIM به عنوان یک نیاز اجتناب ناپذیر پروژه‌های ساختمانی به دلیل کارایی زیاد در کاهش هزینه و زمان، از ابتدا در صنعت ساختمان پذیرفته شده است. در نتیجه، ابزار BIM تلاش می‌کند تا فرآیند ساخت و تحویل پروژه‌ها و مدیریت انرژی و تأسیسات ساختمانی را تغییر دهد (OZTURK & TUNCA, 2020). با این وجود، برای به دست آوردن نتایج دقیق، پلتفرم BIM باید با فناوری‌های جدید واقعیت مجازی (VR)[3] مانند هوش‌مصنوعی (AI)[4]، یادگیری ماشین (ML)[5]، اینترنت اشیا (IOT)[6] و فناوری‌های سه‌بعدی ادغام شود تا نتایج خودکار و سریعتری را ارائه دهد و الزامات ساخت‌وساز را در بهینه‌سازی خودکار ساختمان فراهم کند.

اصطلاح هوش‌مصنوعی (AI) به عنوان شاخه‌ای از علوم کامپیوتر، اولین بار در کنفرانس دارتموث که توسط محققانی که علاقه زیادی به هوش ماشینی داشتند ارائه شد (McCarthy and Hayes, 1968) . هوش‌مصنوعی (AI) به عنوان ستون فقرات برای تغییر روش عملکرد در پروژه‌های ساخت‌وساز عمل می‌کند. هوش‌مصنوعی قصد دارد مانند انسان‌ها، ظرفیت‌های یادگیری و شناخت، استدلال، حل مسئله، برنامه‌ریزی و قابلیت‌های ذخیره‌سازی داده‌ها را بپذیرد و از آن‌ها استفاده کند. هوش‌مصنوعی یک حوزه فناوری کلیدی است که کمک می‌کند زندگی و فعالیت‌های اجتماعی روزمره با پیشرفت فناوری ارتباطات اطلاعات (ICT)[7] و فناوری روباتیک (RT)[8] هدایت مشود (Pan & Zhang, 2021). این فناوری هوش مصنوعی با بهره گیری از عوامل منطقی توانایی درک محیط را دارد تا برای دستیابی به اهداف عمل نماید. زیرا در یک نظم پیش‌بینی‌شده رشد می‌کند و با انجام اقدامات تحلیلی و ادراکی به اهداف خود می‌رسد. تمایل به تحقیقات هوش‌مصنوعی و

1. Architecture- Engineering-Construction
2. Building Information Modeling
3. Virtual Reality
4. artificial intelligence
5. machine learning
6. internet of things
7. information communication technology
8. robotic technology

همچنین سرمایه‌گذاری در هوش‌مصنوعی از اواسط دهه ۲۰ میلادی به سرعت رشد کرده است، چرا که هوش‌مصنوعی فراتر از حوزه مهندسی و علمی، به شیوه‌ای هدفمند، هوشمندانه و انطباقی به ارائه راه‌حل برای موانع می‌پردازد. عملکرد سیستم‌های هوش‌مصنوعی در مراحل یادگیری فراگیر می‌تواند برای طبقه‌بندی پایگاه‌های داده بزرگ و تجسم، توضیح و تفسیر مدل‌های آن‌ها استفاده شود. تجزیه و تحلیل داده‌های علمی احتمالی توسط یادگیری ماشین، علوم شناختی و نظریه داده‌ها، دسترسی به ناحیه توضیح و تفسیر مسئله را فراهم می‌کند و به این ترتیب، برنامه‌نویسی، بهینه‌سازی، فشرده‌سازی اطلاعات و مدل‌سازی ممکن به صورت خودکار اتفاق می‌افتد. یادگیری ماشین در هوش‌مصنوعی به طور انحصاری نقش مهمی در یادگیری داده از منابع متعدد و سپس تصمیم‌گیری هوشمندانه انطباقی با استفاده از بینش داده‌های ساختاریافته و بدون ساختار دارد (Erharter & Marcher, 2021) .

در حالی که سطح قابل‌توجهی از اطلاعات مهندسی به طور غیرمعمول در پروژه‌های ساختمانی رشد می‌کند، استفاده از فناوری‌های هوش‌مصنوعی در مدیریت ساختمان هنوز عملکرد ضعیفی دارد. بنابراین، علاقه گسترده‌ای به استفاده از تکنیک‌های متنوع هوش‌مصنوعی در ساخت‌وساز و حوزه ساختمان وجود دارد تا از فرصت تغییرات دیجیتالی برای رسیدن به بهترین نتیجه استفاده کند. توسعه روش ساخت‌وساز برای کاهش منابع مصرفی ساختمان از طریق برنامه‌ریزی کارآمد و تسهیلات مستقل زمینه‌گرا، در نقشه‌برداری، تحلیل سایت، ارائه نقشه‌های فنی و طراحی نهایی اعمال می‌شود. علاوه‌براین، هوش‌مصنوعی برای کنترل عملکردها، انتخاب بهترین گزینه طراحی، بهینه‌سازی فرآیندها و پیامدها و خودکارسازی سیستم‌ها و تجهیزات استفاده می‌شود (Sacks et al., 2020). صنعت ساخت‌وساز که از طریق BIM بازنگری اساسی را تجربه کرده است، این شانس را داشته است که راه‌حل‌های خلاقانه جدیدی را با استفاده از هوش‌مصنوعی ترکیب کند. ادغام روش‌های هوش‌مصنوعی در پلتفرم BIM می‌تواند برنامه‌ریزی، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری را در صنعت AEC از طریق دیجیتالی‌سازی بهبود بخشد.

هدف اصلی این مقاله تمرکز بر بررسی سیستماتیک ادبیات BIM، کاربرد، فرآیند پیاده‌سازی، ادغام BIM و AI، و روند به‌کارگیری ادغام BIM-AI با استفاده از تحلیل کتاب‌سنجی است. یک بررسی سیستماتیک ادبیات برای شناسایی روندهای تحقیقاتی مربوط به BIM، AI و تکنیک‌های هوشمند در صنعت ساخت‌وساز انجام شد. بنابراین پژوهش حاضر سعی دارد چارچوبی یکپارچه برای نشان دادن ارتباط بین BIM، هوش‌مصنوعی و موتورهای شبیه‌سازی مرتبط ارائه کند و همچنین سعی دارد به پرسش‌های این تحقیق پاسخ دهد:

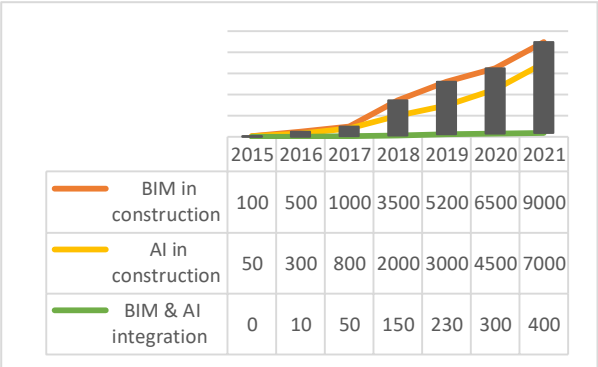
- مفاهیم، ابزارها، پلتفرم‌ها و برنامه‌های BIM و هوش‌مصنوعی چیست؟
- انواع مختلف BIM و AI بر مصرف انرژی چگونه تاثیر می‌گذارند؟
- استانداردها و ابعاد BIM چیست؟
- پارادایم‌ها و فناوری‌های مرتبط با BIM و AI چیست؟
- کاربرد BIM در هوش‌مصنوعی چیست؟
- چگونه می‌توان هوش‌مصنوعی را در BIM پیاده سازی کرد؟

البته در ادامه پیشینه تحقیقاتمرتبط با حوزه BIM و ادغام آن با هوش‌مصنوعی و سایر ابزارها و تکنیک‌های دیجیتال و هوشمند مورد بررسی قرار می‌گیرد تا درک روشنی از هر دو اصطلاح و محتوای آن‌ها فراهم شود.

داده‌ها و روش‌کار

در دهه‌های گذشته، با توجه به رشد چشمگیر کاربردهای BIM در صنعت ساختمان، مطالعات مختلفی در مورد انتشار یافته است. پیشینه تحقیق BIM و ادغام آن از پایگاه‌های داده اصلی آنلاین جمع‌آوری شده است. پایگاه‌های اطلاعاتی دانشگاهی مختلفی مانند Scopus، Web of Science (WOS)، Wiley Online Library و Pubmed برای گردآوری داده‌های مقالات انتخاب شدند. در حالی که پایگاه داده اسکوپوس مجلات و نشریات بیشتری را نسبت به سایر پایگاه‌های داده مانند ScienceDirect، Researchgate، Taylor & Francis Online و همچنین Google Scholar پوشش می‌دهد. برای جستجوی ادبیات،«BIM، AI» و «AND» به عنوان یک عملگر به عنوان کلیدواژگان انتخابی که بر مفاهیم اصلی تمرکز دارند، استفاده شد. در نتیجه، بیش از ۳۸۰ نشریه و مقاله تحقیقاتی انگلیسی در دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ برای یک بررسی معنادار، استخراج شد. نرم افزارهای مختلف دسکتاپ و تحت وب مانند Office (Excel)، VOSviewer و کتابخانه داده Mendeley برای ایجاد و نمایش ورودی مقاله علمی بر اساس کلمه کلیدی، مجله، نشریه، نویسنده و عنوان به کار برده شده است. تعدادی از این مطالعات BIM را در زمینه انرژی ساختمان و کاربرد آن

اعمال کرده‌اند. با این حال، اکثر آنها فقط ارزش BIM را در یک منطقه خاص برجسته می‌کنند و فقط یک چشم‌انداز محدود را به جای یک دید کلی از عملکرد BIM در AEC و AI ارائه می‌دهند. شکل ۱ افزایش تمایل به انتشار و تحقیق در مورد BIM، AI و ادغام آنها را از سال ۲۰۱۵ به بعد نشان می‌دهد.

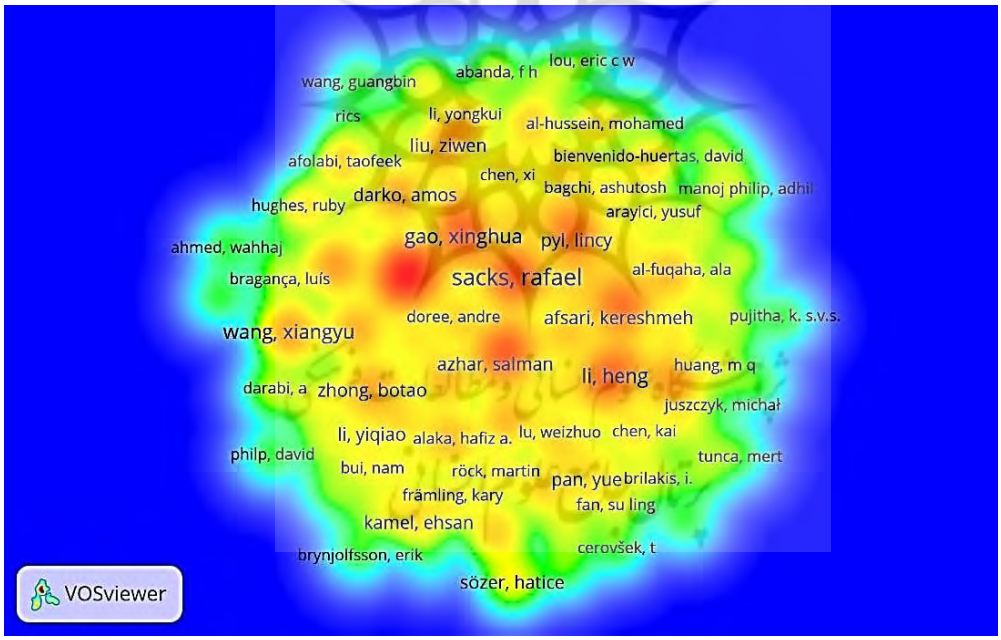


	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
BIM in construction	100	500	1000	3500	5200	6500	9000
AI in construction	50	300	800	2000	3000	4500	7000
BIM & AI integration	0	10	50	150	230	300	400

شکل ۱. تعداد انتشارات BIM و AI در بازه زمانی ۲۰۱۵ – ۲۰۲۱.
منبع: نویسنده، ۱۴۰۲

در این تحقیق از نرم‌افزار VOSviewer برای تجزیه و تحلیل داده‌های Scopus منتشر شده در BIM و AI استفاده شد. تجزیه و تحلیل استناد مبتنی بر نویسنده برای نشان دادن مراجع رایج در موضوعات انجام شد. حداقل تعداد اسناد ۴ و کمترین تعداد استناد نویسنده ۳ بود. آستانه تحلیل ۳۸۰ نویسنده از ۳۸۰ به دست آمد. شکل ۲ تکنیک‌های خوشه‌بندی توسط VOSviewer را نشان می‌دهد:

برای مقابله با محدودیت‌های کنونی بررسی‌ها، این مقاله سعی می‌کند مروری گسترده‌تر، جامع‌تر و سیستماتیک‌تر را ارائه کند تا تغییرات اعمال شده در کاربرد BIM و AI در صنعت ساخت‌وساز و ادغام ابزارهای BIM-AI را شناسایی کند و زمینه‌های رایج در حال ظهور کاربرد و پیش‌بینی مسیرهای تحقیقاتی آینده و غیره را شناسایی کند.



شکل ۲. تکنیک‌های خوشه‌بندی توسط VOSviewer در مقالات و انتشارات BIM و AI ؛ منبع: نویسنده، ۱۴۰۲

بنابراین، جدول یک به طور خلاصه تحقیقات با موضوعیت BIM و AI را بر اساس مرجع تحقیق، روش‌شناسی، نرم‌افزار مورد استفاده، عملکرد و پارامترها/ معیارها یا موارد مهم و خاص/ استانداردهای BIM مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد.

جدول ۱. خلاصه مرور ادبیات و پیشینه تحقیق

مرجع (نویسنده و سال)	روش شناسی	نرم افزار	عملکرد / کارکرد	پارامترهای موثر/ معیارهای خاص/ استانداردهای BIM کلمات کلیدی ادغام با BIM
(Pan & Zhang, 2021)	LS/LR/SR/SA/QA	×	CEM	KRR/IF/CV/NLP/IO/PM/ BIM/AI
(Xu et al., 2021)	LS/LR/SR/ AP	×	IE/ DR/ERQC/ LCC/RTO/MM	BIM & E
(Pan & Zhang, 2020)	LS/CS/FS/DM/DA/ DAP/PE	TF/P/AR	L	HP/ BIM/AI
(Sacks et al., 2020)	LS/DA/LR	×	VR/AR	CT/RDP/BF/FB/BIM/AI
(C. Z. Li et al., 2020)	LS/HA/BM/SA/ KA/ QA	×	LCE-B	LCA/LCEA/LCCA/CE/BE/ BIM/AI
(J. Li et al., 2020)	LS/CS/FS/NA/LR	×	GD	AEC/BIM/AI
(Oraee et al., 2019)	LS/LR/TR/QA/IR	×	CM	BbCNC/ BIM/AI
(Y. Li, 2019)	LS/IRM/SA/EA	NS/SA	C.S/B.S	BIM/AE/AI/DB/DO
(Ansah et al., 2019)	LS/SR/PA/CA	R	LEED/ BREEAM	GBAS
(Tang et al., 2019)	LS/LR/SR/KA/PA/D A	MSAccess/ MySQL/ BIMSL /Esper/ SPARQL	SOA	IoT/ BIM/ SB/SC/SBE
(Kamel & Memari, 2019)	LS/LR/SR/CS/PA	P/R/GBS/OS/IES/ DB	BS	BIM/gbXML/BEM/EP/IFC
(A.Farzaneh et al., 2019)	LS/LR/SR	LOD/MVD/ EndNote X6	CF/	BIM/BEM/DP
(Garwood et al., 2018)	LS/LR/SR/HS	SAT/PLC/EMB/DES/ PSO/R/ EPSE	OF	BIM/MPS Ianufacturing Process Simulation/EU
(Chong et al., 2017)	LS/LR/SR/PR/SE/DE	R	ESE	BIM/S
(Bui et al., 2016)	LS/LR/CS/KA/PRO	×	CBF	BIM/DC/IS
(Gao & Pishdad-Bozorgi, 2019)	LS/CA/LR/KA/	×	×	BIM-O&M
(Tashakkori, et al., 2015)	IRM/LS/SA/EA/ CA	×	PF/EIA	IFC/ IESM
(Chen, 2015)	LS/SA/MAT/TDVRP	×	BIM-converted graph/ PF	MAT/ TDVRP
(Bloch & Sacks, 2018)	LS/SA/SE	BIM	CEM/ RA	AI/ ML/SE
(Bloch et al., 2016)	LS/SA/LR/C/PS	laser scan	EIA	as-built BIM/as-damaged BIM/MACA
(Wang, et al., 2015)	LS/IRM/EA/R	Fire Dynamics Simulator	BIM-based system/ EA/ ERP/ SE/EM	EA/ ERP/ SE/EM
(Wetzel et al., 2016)	LS/LR/I/O/C FM staff/ DMADV/R	Safety	Should be tested by pilot study	FM/ DMADV
(Ferrando et al., 2020)	LS/LR/C/BM/SOA/R	×	×	UBEM

جدا از پیشینه ذکر شده در جدول ۱، در میان سوابق تحقیق، می‌توان به موارد زیر از پایگاه داده اشاره کرد: . Li و همکارانش Li et. al (۲۰۲۰) "مروری برای ارائه آموزش و پژوهش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در چین" ارائه کردند. این مقاله برای بررسی ادبیات و همچنین مطالعات موردی برای بررسی وضعیت BIM در آموزش چین کاربرد دارد. Ansah و همکاران (۲۰۱۹) یک بررسی و چشم‌انداز کامل و سیستماتیک برای کاربرد یکپارچه BIM در ارزیابی ساختمان سبز ارائه کردند. محققانی مانند Oraee و همکاران (۲۰۱۹) به این موضوع اشاره می‌کنند که "ادغام BIM رویکردی نوآورانه" است. هماهنگی فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) در صنعت مسکن به عنوان عامل کلیدی در توسعه BIM ذکر شده است (غفاریان حسینی و همکاران، ۲۰۱۷). Krygiel and Nies (۲۰۰۸) BIM را به عنوان "داده‌های مربوط به کل ساختار و مجموعه‌ای از گزارش‌های پیکربندی در یک پایگاه اطلاعاتی را " توصیف کرده است. BIM توسط Smith and Tardif نیز به عنوان "مؤلفه‌ای برای انتقال اطلاعات به داده برای دریافت اطلاعاتی که به انسان اجازه می‌دهد با زیرکی عمل کند" را توصیف کرده است (Kamel & Memari, 2019a). Tang و همکاران (۲۰۱۹) مروری بر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و ادغام دستگاه‌های اینترنت اشیا (IoT) را ارائه کرده اند. با توجه به مقدمه و پیشینه تحقیقاتی، اگرچه مطالعات زیادی وجود دارد که BIM را در بسیاری از جنبه‌ها مانند مصرف انرژی، ساختمان سبز و غیره بررسی می‌کند. اکثر مطالعات موجود تنها یک بعد از BIM را در نظر گرفته بودند که فاقد ترکیب این اصطلاح با هوش‌مصنوعی و سایر اصطلاحات مرتبط از طریق یک چارچوب یکپارچه است.برای ارائه مؤثر ادغام و تلفیق BIM-AI، فرآیند بررسی سیستماتیک ادبیات، به عنوان ابزاری برای انجام ادبیات بالقوه مرتبط با موضوع تحقیق، استفاده شد. در نهایت، این مطالعه تلاش دارد پنج بخش اساسی را دنبال نماید.

(۱) تعیین محدوده و زمینه‌های تحقیق و شناخت کلیدواژه‌های مورد استفاده برای جمع‌آوری اطلاعات

(۲) گردآوری مقالات مربوط به BIM و

(۳) تجزیه و تحلیل محتوای مربوط به BIM. زمینه‌های پیشرفت و تکامل BIM (در این مرحله موضوعاتی مانند ابزار BIM، کاربرد BIM، موتورهای شبیه‌سازی و دیگر موارد مرتبط)

(۴) تشریح و کاربرد BIM و AI در مدیریت و بهینه‌سازی انرژی ساختمان.

(۵) نتیجه‌گیری و نتایج بحث بر اساس مرور ادبیات و سایر بخش‌ها ودر نهایت، رویکرد ترکیبی و پارادایم برای مطالعه بیشتر

شرح و تفسیر نتایج

- مفاهیم و تعریف BIM

مفهوم زیربنایی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) فراهم کردن یک محیط فراگیر برای کل چرخه عمر پروژه است (Grilo & Jardim-Goncalves, 2010). به این ترتیب، BIM بیشتر یک فرآیند مشارکتی است تا یک نرم افزار. اگرچه فناوری وسیله‌ای برای پیاده سازی BIM فراهم می‌کند، اما اثر حاصل از BIM بر سازمان‌ها بیشتر از منظر جامعه شناختی است. این امر در درجه اول منعکس‌کننده یک عمل مشارکت محور و درگیری اولیه سهامداران است. علاوه بر این، BIM فراتر از استفاده از ابزار طراحی الکترونیکی یا پذیرش فناوری است و نشان‌دهندهٔ فرآیند استفاده از فناوری برای ایجاد، پالایش، شبیه‌سازی، مدیریت و نمایش مجازی (شکل و عملکردها) ساختمان‌ها برای بهینه‌سازی فرآیند ساخت‌وساز است. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، BIM بر اساس سه مفهوم اصلی استوار است؛ شیوه‌های مشارکتی، فناوری مبتنی بر ابزار دیجیتال و داده‌های یکپارچه پروژه (Eastman et al., 2011; Sacks et al, 2010).

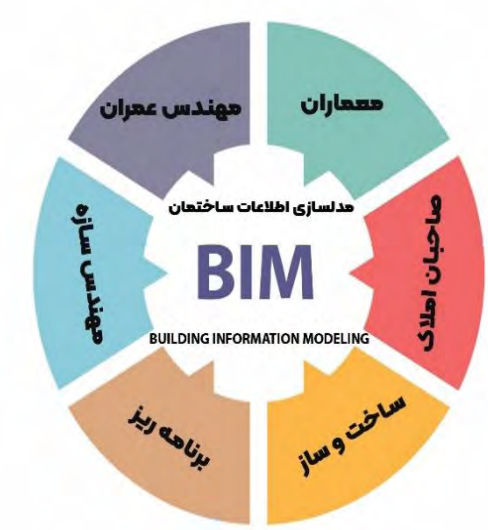
شکل ۳. سه مفهوم اصلی BIM ؛ منبع: نویسنده، ۱۴۰۲

پذیرش روبه رشد BIM، صنعت AEC (Azhar, 2011) را با بهبود سیستم یکپارچه داده مشترک، تجسم مدل‌های n-D، سرعت تحویل و فرآیندهای تصمیم‌گیری

متحول کرده است (Steel et al., 2012). همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، BIM بستر همکاری یکپارچه بین ذینفعان رشته‌های مختلف را فراهم می‌کند. به این ترتیب، دانش BIM از زمینه‌های مختلف جمع‌آوری می‌شود و انتظارات BIM بدون توجه به مرز و زمینه در رشته‌های مختلف تأثیر می‌گذارد (Singh et al., 2011). لازم به ذکر است که AEC مجموعه ای از ابزارها و نرم‌افزارهای BIM و CAD را در اختیار طراحان، مهندسان و پیمانکاران قرار می‌دهد که ازطراحی نقشه پروژه‌ها شروع و به مرحله جانمایی تا ساخت کمک می‌کند.

- ایجاد پلان‌های ساختمانی و فونداسیون درجه یک و با کارایی بالا با ابزارهای طراحی مفهومی و دقیق.
- بهینه‌سازی پروژه‌ها با تجزیه و تحلیل ترکیبی، طرح مولد، و همچنین دستگاه‌های تجسم و شبیه‌سازی.
- بهبود قابلیت پیش بینی در هر زمینه با استفاده از ابزارهایی که قابلیت ساخت و هماهنگی پروژه را به حداکثر می‌رسانند (Darko et al., 2020).

علاوه بر این، Autodesk Revit معروف‌ترین نرم افزار BIM در صنعت AEC است و از سه محصول متناسب و هماهنگ از قبیل Revit Architecture، Revit Structural و Revit MEP تشکیل شده است. استقبال گسترده از Revit در میان تمام صنایع با الهام از الگوی رابط کاربر، دستگاه‌های ایجاد طرح و نقشه شگفت‌انگیز و مجموعه عظیمی از داده‌های تولیدی است. کتابخانه Revit SEEK شامل داده‌هایی از حدود ۸۵۰ سازمان و حدود ۱۳۷۵۰ محصول است (Sacks et al., 2018). Revit همچنین از چند شبیه‌ساز عملکرد ساختمان مانند تجزیه و تحلیل انرژی و اثرات محیطی و برنامه‌ریزی ساخت‌وساز حمایت می‌کند. محدودیت مهم Revit، سیستم مدیریت درون حافظه آن است و زمانی که حافظه از ۳۰۰ مگابایت فراتر رود، عملکرد نرم‌افزار کند می‌شود (Eastman, et al., 2008)



شکل ۴. پلتفرم مشارکتی BIM؛ منبع: نویسنده، ۱۴۰۲

- استانداردهای BIM

توسعه مجموعه‌ای از استانداردهای صنعتی اساس قابلیت همکاری از برنامه‌ریزی اولیه تا مرحله بهره‌برداری است. پرکاربردترین‌استانداردها توسط سازمان بین‌المللی و غیرانتفاعی buildingSMART ایجاد و نگهداری شده است که شامل استانداردهایی چون IFC، IDM، bSDD، BCF است. برخی از استانداردهای بین المللی به طور خلاصه در جدول ۲ آورده شده است (Sabol, 2018).

- پلتفرم‌های مدل سازی اطلاعات ساختمان

پیشرفت‌های اخیر در CAD و ICT در توسعه نرم‌افزارهای مختلف BIM برای چندین هدف به اوج خود رسیده است. این اهداف شامل معماری، سازه، پایداری، MEP، مدیریت تسهیلات، شبیه‌سازی و غیره می‌باشد.

جدول ۲. انواع مختلف استانداردهای BIM

استانداردها	اختصار	نام صنعتی	شرکت	اجزاء	کاربرد در BIM
Industry Foundation Classes	IFC	ISO 16739	buildingSMART	انواع داده ها، سازمان‌ها، ویژگی ها، زیر مجموعه‌ها، زیرگروه‌ها و محدودیت های الگوریتمی	IFC به عنوان مدل داده عمومی برای تبادل اطلاعات ساختمان بین نرم افزارها و شرکت ها عمل می‌کند.
Information Delivery Manual	IDM	ISO 29481-1:2010	buildingSMART		
Model View Definition	MVD		buildingSMART		انواع مختلف تجزیه و تحلیل از جمله تحلیل های محیطی، انرژی، ایمنی، آتش‌سوزی، آکوستیک، قابلیت دسترسی، قابلیت ساخت و تجزیه و تحلیل آب و هوای درون محیط و همچنین محاسبه هزینه و زمان بندی.
BuildingSMART Data Dictionary	bSDD		buildingSMART		
BIM Collaboration Format	BCF		buildingSMART		عملکردهای ورودی و خروجی BCF در اکثر برنامه‌های کاربردی نرم افزار BIM گنجانده شده است.
Construction Operation Building information exchange	COBie	BS 1192-4:2014 & NBIMS-US	buildingSMART	اطلاعات ساختمان: ۱) مرحله توجیهی: اطلاعات به دست آمده از برنامه پروژه، الزامات فضایی و عملکردی، اطلاعات کالبدی- فضایی و سایر مشخصات اسناد. ۲) مرحله طراحی معماری: اطلاعات جدول بندی شده در مورد اتاق ها، درها، پنجره ها، وسایل روشنایی و تجهیزات HVACو الزامات و نیازهای خاص پروژه های دنیای واقعی و سازمان هایFM	تحویل و ارائه اطلاعات مدیریت تسهیلات فناوری‌های هوش‌مصنوعی (AI) می‌توانند به حل مشکل ترجمه و انتقال برخی از اطلاعات مانند برگه‌های اطلاعات محصول، اعلامیه‌های محصول زیست‌محیطی(EPD)، اسناد تضمینی و دستورالعمل‌های نگهداری COBie کمک کنند.

منبع:(*FIU_BIM_Standard_120814.Pdf*, n.d.) &(*POP_CAD_BMI_Stndrds.Pdf*, n.d.)

جدول ۳. انواع مختلف نرم افزار BIM

نرم افزار	توسعه دهنده	فرمت فایل	سیستم عامل	کاربرد اصلی
Revit	Autodesk	.rvt	ویندوز، مک، لینوکس	معماری، طراحی، برق و مکانیک
Micro Station	Bentley	.dng	ویندوز، مک، لینوکس	معماری، طراحی، برق و مکانیک
ArchiCAD	Graphi soft	.pln	ویندوز، مک، لینوکس	معماری، طراحی و مکانیک
Vector works	Nemetschek	.wmx	ویندوز، مک، لینوکس	معماری و طراحی
Digital Projects	Gehry	.CATProduct	ویندوز، مک، لینوکس	معماری، طراحی، برق و مکانیک
All Plan	Nemetschek	.ndw	ویندوز، مک، لینوکس	معماری، طراحی، برق و مکانیک
SketchUp Pro	Trimble Navigation	.skp	ویندوز، مک، لینوکس	معماری، طراحی، برق و مکانیک
IDEA Architecture	4M	.dwg	ویندوز، مک، لینوکس	معماری و طراحی
Tekla Structures	Tekla Corporation	.tsc	ویندوز، مک، لینوکس	معماری، طراحی، برق و مکانیک
Rhino BIM	Robert McNeel	.3dm	ویندوز، مک، لینوکس	معماری، طراحی، برق و مکانیک

منبع: www.autodesk.com & (Different Types of Building Information Modeling [BIM] Used in Construction.Pdf, n.d.)

- عملکردهای BIM

شش ویژگی BIM باید برای مدیریت زباله‌های ساختمانی اتخاذ شود:

۱) ارتباط و ادغام تیمی،

۲) مدل‌سازی و تجسم پارامتریک،

۳) تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی عملکرد ساختمان،

۴) تولید خودکار اسناد،

۵) بهبود مدیریت چرخه عمر ساختمان، و

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است 10 نرم افزار برتر BIM مورد استفاده در صنعت شامل Autodesk Revit، Bentley Architecture، Graphisoft ArchiCAD، Nemetschek Vectorworks، Gehry Technology Digital Projects، Nemetschek AllPlan، Trimble SketchUp، MSA IDEA Architectural۴، Tekla Structure و RhinoBIM3 می‌باشد (NBS, 2016). علاوه بر این، چندین نرم‌افزار تحلیلی برای شبیه‌سازی طیف وسیعی از عملکرد ساختمان در دسترس هستند. نرم افزار تجزیه و تحلیل شامل Ecotect (بازده حرارتی، روشنایی، دید، سایه و نور خورشید)، Green Building Studio (انتشار CO2، مصرف انرژی) و IES (جریان هوا، صدا و کیفیت آکوستیک) است.

۶) قابلیت همکاری نرم افزار با سایر برنامه‌ها.

- ابعاد BIM

یک مدل پایه اطلاعات ساختمان یک مدل سه بعدی شی‌گرا است که کاربردها و موارد استفاده مختلفی در مراحل پروژه دارد. کاربردها می‌تواند یک مدل ۴ بعدی، ۵ بعدی یا n-D باشد که برنامه‌های BIM را در طول چرخه عمر پروژه گسترش می‌دهد. اینها در مبانی نظری ابعاد BIM نامیده می‌شوند و در ذیل به اختصار توضیح داده شده‌اند:

- BIM دو بعدی: مدل BIM سه بعدی است اما می‌توان از آن برای تولید نقشه‌ها و اسناد دو بعدی استفاده کرد.
- BIM سه بعدی: مدل‌های هندسی سه بعدی شی‌گرا با اطلاعات هوشمند، معنایی، عملکردی و اجرایی تعبیه شده که می‌تواند برای تجسم و تصویرسازی، مسیریابی، تشخیص سانحه، کشف طراحی و غیره استفاده شود.
- BIM چهار بعدی: رابطه طرح واره زمان و زمانبندی با هندسه، یک مدل BIM سه بعدی را به یک مدل ۴ بعدی

تبدیل می‌کند که می‌تواند برای شبیه‌سازی مونتاژ تولید و کنترل پیشرفت استفاده شود.

- BIM پنج بعدی: افزودن اطلاعات هزینه و بودجه به مدل ۴ بعدی BIM ، مدل‌سازی ۵ بعدی نامیده می‌شود که یک مدل BIM پنج بعدی برای برآورد خودکار و مدیریت هزینه ایجاد می‌کند.
- BIM شش بعدی: این مدل حاوی اطلاعات خرید، زنجیره تامین و اطلاعات تولید است. به یک مدل ساخته شده یا مدل FM، مدل ۶ بعدی نیز گفته می‌شود.
- BIM ۷ بعدی: ادغام مؤلفه‌های پایداری و اطلاعات مرتبط در یک مدل BIM ، آن را به یک مدل ۷ بعدی تبدیل می‌کند.
- مدل BIM n-D: نوعی مدل تئوریک است و نشان می‌دهد که کاربردهای مدل‌های BIM متنوع است و می‌تواند در زمان آینده هر تعداد ابعاد را به دست آورد (Charef et al., 2018).

- کاربرد BIM

همانطور که محققان به ارزش بالقوه BIM در حوزه‌های مختلف پی برده‌اند، استفاده از BIM در حال افزایش است. در حالی که استفاده از BIM برای تجزیه و تحلیل ساختاری و انرژی به ترتیب با فرکانس ۲۷٪ و ۲۵٪ گزارش شده است، به نظر می‌رسد کاربرد عمده آن همچنان برای توسعه سریعتر مدل‌های هندسی سه بعدی و هماهنگی سه بعدی با فرکانس ۶۰٪ باشد. کاربرد BIM به حوزه مهندسی و ساخت‌وساز محدود نمی‌شود. همچنین انگیزه هایی برای مالکان خانه، مدیران تأسیسات، پیمانکاران و سازندگان برای استفاده از BIM وجود دارد (Ramaji et al., 2016). اکثر عوامل اصلی که کاربرد BIM را در یک طرح و جانمایی هدایت می‌کنند، بر خودکارسازی در جریان مدل‌سازی، بهبود دقت در عملیات ساختمانی، بهبود روابط بین طرفین در فرآیند طراحی و ساخت‌وساز، ایجاد تغییرات اتوماتیک در همه نماها پس از اصلاح یک نما و کاهش مشکلات هماهنگی متمرکز شده‌اند. در حالی که بیشتر موارد کاربرد BIM به طراحی ساختمان اختصاص داده شده است، برخی از زمینه‌های دیگر مانند استفاده از BIM در مدل‌سازی انرژی مانند BBIP، به طور مشابه مورد ارجاع قرار نگرفته است. بررسی ادبیات نسبتاً جامع در مورد BIM و کاربردهای آن نشان می‌دهد که بیشتر منابع عمدتاً بر برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری و مصرف انرژی متمرکز هستند. محققان کشورهای مختلف نیز تمایل مشابهی دارند، به این معنی که با وجود اینکه شرکت‌های ساختمانی از ابزارهای شبیه‌سازی انرژی استفاده می‌کنند، اما شکافی در قابلیت همکاری BIM با سایر ابزارها وجود دارد که می‌تواند از وارد کردن مجدد همه داده‌های موجود در سایر مدل‌های توسعه‌یافته برای پروژه جلوگیری کند (Kamel & Memari, 2019). BIM می‌تواند برای اهداف زیر اعمال شود:

- تجسم: رندرهای سه بعدی را می‌توان با تلاش‌های جزئی اضافی تولید کرد.
- نقشه‌های ساختمانی/کارگاهی: ایجاد نقشه‌های ساختمانی برای کاربردها و سبک‌های متنوع بسیار آسان است. به عنوان مثال، با تکمیل مدل، ورق شبکه‌ای کانال فلزی به راحتی ایجاد می‌شود.
- بررسی مقررات و دستورالعمل‌ها: ادارات مختلفی مانند بخش آتش‌نشانی از این مدل برای بازدید و نظارت طراحی ساختمان استفاده می‌کنند.
- برآورد هزینه: یکی از ویژگی‌های نقشه ازبیلت یا نقشه‌های سازه ساختمان در مدل BIM، ارزیابی هزینه است. همانطور که تغییرات اعمال می‌شود، مقدار مواد و مصالح استخراج شده و به طور خودکار به روز می‌شود.
- ترتیب ساخت‌وساز: یک مدل BIM می‌تواند برای سازماندهی فرآیند سفارش مواد و مصالح، ساخت‌وساز و زمان‌بندی تحویل برای انواع مواد و مصالح تشکیل‌دهنده ساختمان استفاده شود.
- مشاهده مغایرت، تداخل و تضاد: از آنجایی که BIM برای اندازه‌گیری در یک ناحیه سه بعدی ساخته شده است، می‌تواند تمام تداخل‌ها را به طور خودکار بررسی کند. به عنوان مثال، این روش می‌تواند تأیید کند که آیا یک تقاطع در لوله، تیر، مجرا و دیوار وجود دارد یا خیر.
- تجزیه و تحلیل مقررات و دستورالعمل‌ها: یک BIM را می‌توان به سادگی تنظیم کرد تا شکست‌های احتمالی، نشت، برنامه‌های تخلیه و غیره را به صورت گرافیکی نمایش دهد.
- مدیریت تسهیلات و امکانات: بخش‌های مدیریت تسهیلات می‌توانند از BIM برای بازسازی، برنامه‌ریزی فضایی و عملیات تعمیر و نگهداری استفاده کنند (Utkucu & Sözer, 2020)

- BIM فعال و غیرفعال

اکثر ویژگی‌های BIM بر روی عملکرد تجسم و تبادل اطلاعات با سایر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و تحلیلی تمرکز دارند. طراحان

می‌توانند وضعیت بصری طرح را به راحتی با شرایط BIM تشخیص دهند، اما نمی‌توانند به بررسی اولیه یا دقیق در مورد وضعیت پایداری آن طرح دست یابند. علاوه بر این، BIM پس از تجسم و تصویرسازی، به یک فرآیند بررسی اضافی برای ارزیابی و بهینه‌سازی پایداری آن نیاز دارد. BIM غیرفعال نمی‌تواند اطلاعات تحلیلی در مورد پایداری مانند سطح مصرف انرژی و عوامل طراحی که نیاز به بهینه‌سازی دارند را ارائه دهد. البته ثابت شده که نیمی از زمانی که برای شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل یک مدل تحلیل پایداری صرف ترسیم و ساخت مجدد هندسه BIM در یک نرم افزار جدید می‌شود (Shirowzhan et al., 2020).

بنابر BuildingSMART: «در طول دوره طراحی، گزینه‌های مختلف ارزیابی و آزمایش می‌شوند. در پروژه‌ای که از BIM استفاده می‌کند، می‌توان از این مدل برای آزمایش سناریوهای «what if چه می‌شد اگر» استفاده کرد و تعیین کرد که تیم چه کاری انجام خواهد داد. یک BIM فعال می‌تواند پایداری طراحی را با تسهیل تست‌های سناریویی «what if چه می‌شد اگر» که انعکاسی از پارامترهای طراحی است را، تضمین نماید. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که BIM فعال به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای ساختمان سبز با موفقیت انجام شود. البته پارامترهای قابل کنترل در طول مرحله طراحی شامل ویژگی‌های فیزیکی و پوشش‌های ساختمان به اندازه کافی در مدل BIM فعلی مدیریت نشده اند، که منجر به محدودیت‌هایی برای کاربرد فعال BIM برای فرآیندهای مهم مانند شبیه‌سازی انرژی ساختمان می‌شود (Obradovic, 2019).

اگر این انتقادات منجر به طبقه‌بندی BIM فعلی به عنوان یک سیستم غیرفعال شود، سیستم BIM فعال بسترهای تصمیم‌گیری متنوعی را برای ارائه وضعیت بهینه طراحی و ساخت سبز فراهم می‌کند. به عنوان یک قاعده ساده، هرچه BIM هوشمندتر باشد، اطلاعات مفیدتری برای هر یک از مشارکت کنندگان آن در بر خواهد داشت. برای به دست آوردن یک سطح عالی از کارایی، داده‌ها باید هدایت شوند، همگام شوند و با موارد منفرد در BIM متصل شوند. استفاده از تعریف پارامتریک در تجزیه و تحلیل پایداری مبتنی بر BIM و هوش‌مصنوعی (AI)، از طریق استفاده بهینه از فناوری اطلاعات در جلوگیری از تکرار و عملکرد نادرست داده‌ها، می‌تواند داده‌ها را به سطحی بهینه تبدیل کند و کمک مثبتی به ساختمان پایدار کند. BIM ، به دلیل ماهیت پارامتریک خود، یک پلت فرم مناسب برای استفاده از هوش‌مصنوعی در تحولات سیستم خبره بر اساس روش جعبه سیاه برای پیش‌بینی روند فعلی و بهینه‌سازی عملکرد آینده ساختمان‌های سبز است. با این حال، نگرانی کمی در مورد استفاده از هوش‌مصنوعی در BIM برای تبدیل BIM غیرفعال به BIM فعال به ویژه از نظر تحلیل پایداری، صورت گرفته است (Haymaker, 2011).

- هوش‌مصنوعی

فناوری هوش‌مصنوعی ترکیبی از نرم افزار و سخت افزار است که به طور خودکار یک مشکل پیچیده را بدون نیاز به دخالت انسانی دیگر حل می‌کند. به منظور راه اندازی استراتژی‌های دیجیتال واقعی در مهندسی و مدیریت ساخت‌وساز (CEM)، هوش‌مصنوعی (AI) به عنوان ستون فقرات برای تغییر نحوه عملکرد یک پروژه ساخت‌وساز عمل می‌کند. هوش‌مصنوعی که بخشی از علوم کامپیوتر در نظر گرفته می‌شود، کامپیوترها را برای درک و شناخت داده‌های ورودی مانند انسان برای سنجش، بازنمایی یادگیری، شناخت، حل مسئله و برنامه‌ریزی هدایت می‌کند، که می‌تواند با موانع پیچیده و بد تعریف شده به روشی آگاهانه، هوشمندانه و تنظیم‌کننده سروکار داشته باشد.

سرمایه‌گذاری در هوش‌مصنوعی با رشد سریعی روبه‌رو است، یادگیری ماشین در هوش‌مصنوعی بخش اصلی یادگیری اطلاعات قوی از منابع متعدد و سپس عملیات درک و کشف داده‌ها برای تصمیم‌گیری هوشمندانه به شیوه‌ای تطبیقی را به عهده دارد. بر اساس گزارشی از شرکت Accenture، هوش‌مصنوعی در حال حاضر در حال تغییر در هر بخش از زندگی است، که از پتانسیل چشمگیری برای افزایش بهره‌وری نیروی کار تا ۴۰ درصد و دو برابر شدن نرخ رشد اقتصادی سالانه در سال ۲۰۳۵ خبر می‌دهد. برای اینکه هوش‌مصنوعی انتظارات را برآورده کند، شرکت‌های بیشتری به طور فعال در فناوری‌های هوش‌مصنوعی مختلف سرمایه‌گذاری می‌کنند، که هوش‌مصنوعی را در تمرکز دقیق‌تری قرار می‌دهد و دامنه کاربرد آن را گسترش می‌دهد. اگرچه هوش‌مصنوعی به عنوان فناوری تبدیل‌پذیر برای ایجاد تحولات بی‌سابقه در کار و زندگی ما برجسته می‌شود، اما استفاده از آن در CEM با ماهیت اشتراکی و یکپارچگی، عملیات فعال و قوی و وابسته به حرکت، هنوز در مرحله اولیه است. پیش‌بینی می‌شود در آینده نزدیک، صنعت ساختمان تمرکز و تأمین مالی بیشتری را در هوش‌مصنوعی

داشته باشد. علاوه بر این، تنوعی از تکنیک‌های هوش‌مصنوعی برای مدیریت توسعه سریع تولید داده‌ها در CEM از طریق آموزش مدل‌های مناسب اعمال خواهد شد. هوش‌مصنوعی نوعی توانایی ماشین برای یادگیری به روشی مشابه یک انسان، برای تشخیص داده‌های جدید، و به کار بردن آن برای گسترش سیستم بینش خود است. هوش‌مصنوعی یک تکنیک بین رشته‌ای است که بخش‌های متنوعی دارد، با این حال، یادگیری ماشینی شاخه‌ای از هوش‌مصنوعی است که در حال حاضر گسترده‌ترین آن است. اصطلاح «یادگیری ماشینی» به توانایی ماشین برای ایجاد الگوهای درون مبنا و استفاده از آن برای تفکر مستقل و ارائه راه‌حل‌های خاص اشاره دارد. هرچه اطلاعات بیشتری در ماشین قرار گیرد، درک و بینش بهتری خواهد داشت. این امر در ساخت‌وساز ساختمان مهم است که در آن بسیاری از روش‌های اجرا به ظرفیت انسان بستگی دارد. هوش‌مصنوعی به انسان این امکان را می‌دهد که این روش‌ها را ساده کند، هزینه، زمان و ریسک را کاهش دهد و کیفیت تولید را در پروژه‌های ساختمانی بهتر کند (Farzaneh et al., 2021).

- انواع سیستم‌های هوش‌مصنوعی

در صنعت ساخت‌وساز، چندین مدل محاسباتی برای اهداف مختلف مانند برآورد هزینه (Ahn et al., 2020)، پیش‌بینی ریسک شغلی (Tsoukalas & Fragiadakis, 2016)، تخمین زمان (Pujitha & Venkatesh, 2020)، تجزیه و تحلیل ساخت‌پذیری Manoj Philip & Ramesh (Kannan, 2020)، و پیش‌بینی ورشکستگی (Jackson & Wood, 2013)(Alaka et al., 2017) به کار برده شده است. پس از بررسی متون موجود، مشخص شد که روش‌های توسعه مدل هوشمند هوش‌مصنوعی که معمولاً در صنعت ساخت‌وساز استفاده می‌شوند را می‌توان در چهار گروه طبقه‌بندی کرد که عبارتند از:

(الف) تکنیک‌های یادگیری ماشین (machine learning)،

(ب) تکنیک‌های مبتنی بر دانش (knowledge-based)،

ج) تکنیک‌های تکاملی (evolutionary)، و

(د) سیستم‌های ترکیبی (hybrid).

هر یک از این گروه‌ها برای شناسایی نقاط قوت و ضعف آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه‌ای از چهار گروه در جدول ۴ ارائه شده است. تکنیک‌های هوش‌مصنوعی در مطالعات ساخت‌وساز در جدول ۵ ارائه شده است.

بحث و نتیجه گیری

- BIM به کمک هوش‌مصنوعی

شرکت‌های نرم‌افزار BIM در حال حاضر شروع به استفاده از هوش‌مصنوعی برای بهبود کارایی و پتانسیل برنامه‌های خود کرده‌اند. نرم افزار BIM می‌تواند از ML برای یادگیری از داده‌ها و کشف الگوها استفاده کند و از این طریق تصمیمات مستقلی در مورد روش خودکارسازی و بهبود مدل رویه ساخت‌وساز بگیرد. نرم‌افزار BIM تعداد زیادی از داده‌ها را جمع‌آوری می‌کند که هوش‌مصنوعی برای بررسی احتمالات هر یک از ویژگی‌های یک پروژه ساختمانی و تشخیص راه‌حل اصلی سریع‌تر از ذهن انسان استفاده می‌کند. این نه تنها روند را تسریع می‌کند، بلکه خطر خطای انسانی را کاهش می‌دهد که می‌تواند سایت‌ها را ایمن‌تر کند. این امکان وجود دارد که دهه آینده شاهد گسترش صنعت BIM با کمک هوش‌مصنوعی باشد. هوش‌مصنوعی نشان داده است که انسان اکنون این توانایی را دارد که BIM را برای پیشرفت بیشتر در صنعت به سطح بعدی ببرد.

یکی از مسائل اصلی در صنعت ساختمان و ساخت‌وساز، بهره‌وری است و همین ویژگی باعث توسعه کمتر این صنعت می‌شود. به نظر می‌رسد هوش‌مصنوعی می‌تواند راه حلی برای موانعی باشد که صنعت ساخت‌وساز در گذشته با آن روبرو بوده است. در BIM، هوش‌مصنوعی وظیفه مهمی دارد زیرا به شناسایی موانعی که ممکن است در آینده ظاهر شوند کمک می‌کند. از آنجایی که پروژه‌های توسعه زیرساخت در مقیاس بزرگ هستند و اشتباهات ممکن است پرهزینه باشند، هوش‌مصنوعی به ایجاد چشم‌انداز بلندمدت و توانایی نگاه به می‌کند. یک نرم افزار BIM توانایی جمع آوری و کار با داده‌های متنوع را دارد، هوش‌مصنوعی به معنای درک این داده‌ها و کمک به تجزیه و تحلیل این داده‌ها برای پیش بینی و تولید مدل‌هایی برای حرکت رو به جلو است. هوش‌مصنوعی داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط نرم‌افزار BIM را برای ارزیابی فرصت‌ها، کشف پاسخ‌های مؤثر و حتی ایجاد برنامه‌های اجرایی کاهش خطر شکست را به کار می‌برد. با توجه به مبانی نظری، هوش‌مصنوعی اخیراً در BIM برای تقویت تحلیل پارامتریک برای اهداف زیر استفاده شده است:

- بهینه‌سازی برنامه ریزی و زمان بندی ساخت‌وساز مبتنی بر BIM.
- بهینه‌سازی مدل BIM بر اساس متغیرهای مختلف.
- بهینه‌سازی زمان‌بندی برای سیستم مدیریت انرژی ساختمان (BEMS).

جدول ۴. مقایسه تکنیک‌های هوش‌مصنوعی

تکنیک‌های هوش‌مصنوعی	توضیحات	نقاط قوت	محدودیت‌های کلیدی	نمونه
تکنیک‌های یادگیری ماشین	تکنیک‌های یادگیری ماشینی از داده‌ها یاد می‌گیرند	توانایی‌های ذاتی برای رسیدگی به عدم قطعیت و عملکرد موثر با داده‌های ناقص	فقدان توجیه فنی برای نتایج و تصمیمات	Artificial Neural Network (ANN), Fuzzy Logic (FL), Support Vector Machines (SVM), Rule-based Learning (RBL), Association Rule
تکنیک‌های مبتنی بر دانش	سیستم‌های مبتنی بر دانش در یافتن راه‌حل‌هایی برای مشکلات پیچیده از متخصصان حوزه انسانی تقلید می‌کنند.	توانایی شرح و توصیف قوی	یادگیری ضعیف و توانایی‌های کشف دانش	Expert Systems (ES), Rule Based Reasoning (RBS), Case Based Reasoning (CBR), Semantic Networks (SN), Ontologies
تکنیک‌های تکاملی	تکنیک‌های تکاملی تکنیک‌های هوش‌مصنوعی الهام‌گرفته‌شده هستند که از اکتشافات برای یافتن راه‌حل‌هایی برای مشکلات بسیار پیچیده استفاده می‌کنند.	تکنیک‌های تکاملی به اطلاعات کمی برای هر حوزه و دامنه نیاز دارند و پیاده‌سازی آن‌ها آسان است.	تعمیم اکتشافات مورد استفاده در تکنیک‌های تکاملی بسیار دشوار است	Genetic Algorithm (GA), Ant Colony Optimization (ACO), Artificial Bee Colony (ABC), Particle Swarm optimization (PSO), Differential Evolution (DE), Evolutionary Programming (EP)
سیستم‌های ترکیبی	سیستم‌های ترکیبی تکنیک‌های هوش‌مصنوعی متعدد را برای ارائه راه‌حل‌های هم‌افزایی برای یک مشکل خاص یکپارچه می‌کنند	سیستم‌های ترکیبی بر محدودیت‌های خاص تکنیک‌های فردی غلبه می‌کنند و نقاط قوت آنها را ترکیب می‌کنند	طراحی و پیاده سازی سیستم‌های ترکیبی می‌تواند پیچیده باشد.	Neuro-Fuzzy systems (NN+FIS), Genetic Fuzzy Systems (EC+FS), Fuzzy Expert Systems (FISES), Evolutionary Neural Networks (EC+NN)

منبع: (McKinsey Global Institute, 2018)

جدول ۵. تکنیک‌های هوش‌مصنوعی در مطالعات ساختمانی

تکنیک‌های هوش‌مصنوعی	حوزه مطالعاتی و منبع	تکنیک ها
تکنیک‌های یادگیری ماشین	برآورد هزینه (Wilmot and Mei, 2005)	ANN
	برآورد هزینه (An et al., 2007)	SVM
	برآورد هزینه (Petroutsatou et al., 2011)	ANN
	برآورد هزینه (Jafarzadeh, Ingham and Wilkinson, 2014)	ANN
	تخمین زمان و هزینه (Hola and Schabowicz, 2010)	ANN
	پیش بینی عملکرد هزینه (Son, Kim and Kim, 2012)	SVM
	برآورد هزینه در بازه زمانی (Cheng and Hoang, 2014)	SVM
	رزیابی عملکرد انرژی ساختمان (Kabak et al., 2014)	FS
تکنیک‌های مبتنی بر دانش	برآورد هزینه ساخت‌وساز (Ji, Park and Lee, 2011)	CBR
	برآورد هزینه برای برنامه ریزی راه های عمومی (Choi et al., 2013)	CBR
	تصمیم گیری در مناقصه ساخت‌وساز (Chua, Li and Chan, 2001)	CBR
	غلبه بر مشکلات در روسازی ها (Mosa et al., 2013)	ES
	بررسی مدل ها و برنامه ها (Zhang et al., 2013)	DSS
	برآورد هزینه (Kim and Kim, 2010)	CBR
	برآورد هزینه ساختمان (Lee, Kim and Yu, 2014)	Ontology
	برآورد هزینه ساخت‌وساز (Ji, Park and Lee, 2011)	CBR
تکنیک‌های تکاملی	برآورد هزینه (Kim et al., 2013)	CBR
	بهینه‌سازی هزینه (Augusto, Mounir and Melo, 2012)	GA
	بهینه‌سازی زمان و هزینه ساخت (Li and Wang, 2009)	ACO
	بهینه‌سازی سازه های مرکب (Omkar et al., 2011)	ABC
	بهینه‌سازی طراحی حرارتی ساختمان (Wright, Loosemore and Farmani, 2002)	GA
	بهینه‌سازی مکان های خدماتی (Tam, Tong and Chan, 2001)	GA
	بهینه‌سازی زمان، هزینه و منابع (Ghoddousi et al., 2013)	GA
	مدیریت منابع آب (Afshar et al., 2015)	ACO
سیستم‌های ترکیبی	تخمین زباله های ساختمانی (Lee, Kim and Kim, 2016)	ANN+ACO
	بهینه‌سازی مقاوم سازی ساختمان (Asadi et al., 2014)	GA+ANN
	پیش بینی برآورد هزینه (Kim, Seo and Kang, 2005)	ANN+GA
	برآورد هزینه (Yu and Skibniewski, 2009)	ANN+FS
	برآورد هزینه (Cheng, Tsai and Hsieh, 2009)	ANN+GA+FS
	تخمین زمان، هزینه و کیفیت در ساخت‌وساز	FS+PS
	پیش بینی هزینه و برنامه (Zhang and Xing, 2010)	ANN+SVM
	برآورد هزینه ساخت‌وساز (Cheng and Hoang, 2014)	LS+SVM

ماخذ: نویسنده، ۱۴۰۲ برگرفته از (ArtificialIntelligenceEN2018version7.5.Pdf, n.d)

تکنیک ها: ANN – شبکه های عصبی مصنوعی، SVM – ماشین های بردار پشتیبان، FS – سیستم فازی، CBR – استدلال مبتنی بر مورد، ES – سیستم‌های خبره، DSS – سیستم‌های پشتیبانی تصمیم، GA – الگوریتم ژنتیک، ACO – الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه ها، ABC – مصنوعی کلونی زنبور عسل، PS – ازدحام ذرات، LS – حداقل مربع.

- روش ادغام هوش‌مصنوعی برای ساخت پایگاه داده مهندسی بر اساس BIM

روش ادغام هوش‌مصنوعی از سیستم محاسباتی علمی سنتی متمایز است. هوش‌مصنوعی از سیستم کامپیوتری برای شبیه‌سازی افکار انسان برای "استدلال و تحلیل" استفاده می‌کند. بنابراین، هوش‌مصنوعی می‌تواند از مطالعه پایگاه‌های پیچیده مهندسی معماری جلوگیری کند و از این رو مزایای ویژه‌ای دارد. این مقاله به طور کلی تکنیک‌های یکپارچه‌سازی هوش‌مصنوعی در BIM را ارائه می‌دهد. روش ادغام هوش‌مصنوعی مبتنی بر BIM برای ساخت یک پایگاه داده مهندسی شامل یک پایگاه داده، ماشین استدلال و مکانیسم تفسیر است. شایان ذکر است که BIM پیشرو در دیجیتالی کردن صنعت ساختمان است. BIM بسیار فراتر از مدل‌سازی سه بعدی عمل می‌کند و منبع کاملی از داده‌های مربوط به چرخه عمر پروژه را ارائه می‌دهد. در واقع، BIM ادغام شده در هوش‌مصنوعی، ستون فقرات صنعت دیجیتالی‌سازی در نظر گرفته می‌شود. BIM برنامه‌ای را برای جمع‌آوری داده‌های بزرگ در تمام ویژگی‌های طرح ارائه می‌دهد و همچنین داده‌ها را در زمان واقعی برای به دست آوردن ارتباط و همکاری مناسب بین شرکت کنندگان مختلف، تبادل و بررسی می‌کند. تکنیک‌های هوش‌مصنوعی مجموعه‌ای از داده‌ها را از BIM به منظور دیجیتالی کردن و توسعه رویه ساختمان بررسی می‌کنند. ادغام BIM و AI می‌تواند همه کارها را به سمت مدیریت آنلاین هدایت کند، می‌تواند داده‌های پروژه را به روز کند، یک بررسی واقعی ایجاد کند، در زمان پیچیدگی فورا واکنش نشان دهد، هزینه و زمان عملیات را کاهش دهد، ریسک را کاهش دهد و همه کارکنان را مدیریت کند. ادغام هوش‌مصنوعی و BIM می‌تواند خطرات ناشی از اشتباهات انسانی را کاهش دهد. از ضرر و زیان جدی در زندگی و مالی جلوگیری می‌کند زیرا طرح‌های زیرساختی به خودی خود مخاطره‌آمیز هستند. این ادغام اخیرا آغاز شده است و ممکن است در آینده نزدیک بیشتر شود. این ادغام بهره وری ساخت‌وساز را افزایش می‌دهد و همچنین ادغام نیروی انسانی را برای تیم‌های ساخت‌وساز به ارمغان می‌آورد. هنگامی که با مجموعه داده‌ای از "قوانین" تغذیه می شود، می‌تواند مدل‌ها و نقشه‌های طبقه دقیق ایجاد کند. همه برنامه‌ها را می‌توان بدون وقفه یکپارچه کرد. در واقع، این برنامه‌های یکپارچه، به تجزیه و تحلیل مشکلاتی که ممکن است به دلیل پروژه دیگری ایجاد شود، کمک می‌کند.

- پارادایم ها و فناوری های مرتبط با BIM و AI

بررسی کامل، پارادایم‌ها و فناوری‌های مختلف و ارتباط آن‌ها با دستگاه‌های هوشمند و ساخت‌وساز هوشمند را نشان داد. نقطه شروع این تحقیق دستگاه‌های هوشمند در ساخت‌وساز بود. این مفهوم منجر به یافتن پارادایم‌های عمده‌ای شد که شامل دستگاه‌های هوشمند و پیاده سازی آن‌ها در هر صنعتی می‌شود. شکل ۵ مفاهیم موجود در بررسی مبانی نظری (BIM & AI) را نشان می‌دهد. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود، اینترنت اشیا (IOT) پارادایمی است که مفهوم دستگاه‌های هوشمند و نحوه پیوند آن با پارادایم‌های دیگر مانند داده‌های بزرگbig data، هوش‌مصنوعی (AI)، مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، محاسبات ابری Cloud Computing(CC) و رایانش سیار Mobile Computing (MC) را در خود جای داده است.

ادبیات نشان می‌دهد که یک شهر هوشمند از فناوری اطلاعات برای استفاده کارآمدتر از زیرساخت‌های فیزیکی از طریق هوش‌مصنوعی و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای حمایت از توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی قوی و سالم در صنعت ساخت‌وساز استفاده می‌کند. هوش‌مصنوعی و BIM با هم به عنوان ابزاری برای ارزیابی مجموعه داده‌های بسیار بزرگ استفاده می‌شوند. تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ می‌تواند مدیران پروژه را در تصمیم‌گیری موثرتر از طریق افزایش دسترسی به اطلاعات پشتیبانی کند (Hollands,2008). هوش‌مصنوعی سیستم‌های BIM را با موارد زیر کارآمدتر می‌کند:

- **ایمنی و کاهش خطر**

به طور کلی، ساخت‌وساز یک صنعت خطرناک است. اخیراً مدل BIM امنیت سایت را توسعه داده و ابزارهای ایمنی اضافی را قبل از اجرای پروژه قرار داده است. با کمک هوش‌مصنوعی، BIM می‌تواند این وضعیت را به سطح بالاتری برساند و یک حادثه را حتی قبل از وقوع آن پیش‌بینی کند. از طریق یادگیری ماشینی، نرم افزار BIM اکنون این توانایی را دارد که پروژه‌های ساختمانی را تنها از روی یک تصویر تجزیه و تحلیل کند و خطراتی مانند خطرات کارگران در ارتفاع، لغزش و سقوط را شناسایی کند.

- **طراحی ساختمان**

هوش‌مصنوعی به کاربر اجازه می‌دهد معیارهای پروژه یا مجموعه‌ای از "مقررات" را به یک سیستم وارد کند، بنابراین دستگاه می‌تواند پایدارترین بازده را با تکیه بر نیازهای شما

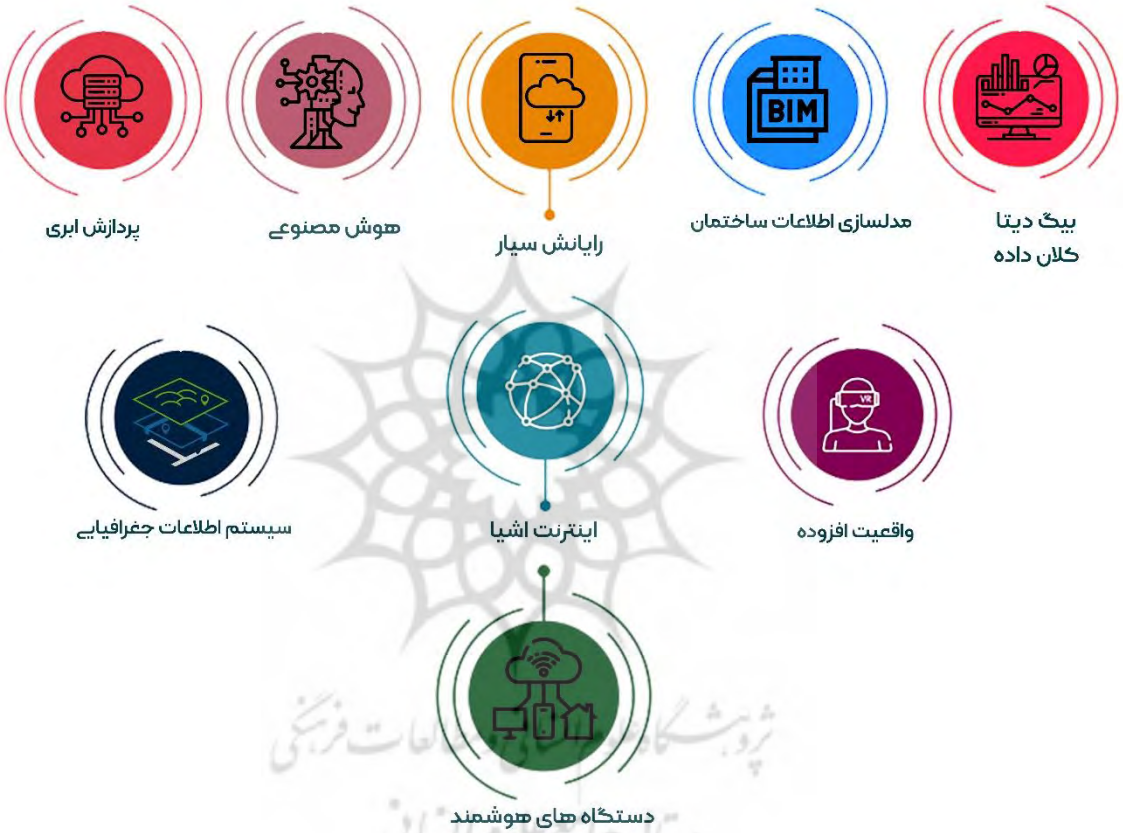
ایجاد کند. این ادغام در تجزیه و تحلیل سایت، ترسیم پلان و موارد دیگر اعمال می‌شود. تمامی این ویژگی‌ها و اجزای ساختمان به هم مرتبط هستند و در صورت تغییر، دستگاه به صورت خودکار تنظیمات لازم را برای دقت بیشتر انجام می‌دهد.

- **به روز رسانی مداوم**

دستگاه‌هایی که از هوش‌مصنوعی استفاده می‌کنند همیشه مبتنی بر دانش تجربی هستند و از پروژه‌های قبلی و در حال اجرا یاد می‌گیرند. این نشان‌دهنده ویژگی‌های به‌روزرسانی ماشین‌های BIM به کمک هوش‌مصنوعی است که داده‌های مفیدی را برای کارگران ساختمان ایجاد می‌کنند.

- **بهبود بهره وری**

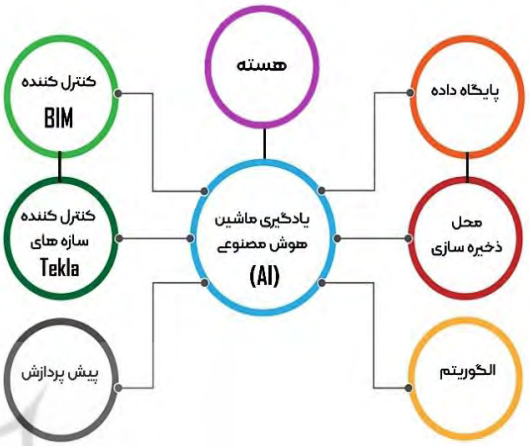
اخیراً، سرمایه‌گذاری بیشتر در صنعت ساخت‌وساز باعث پیشرفت BIM با کمک هوش‌مصنوعی می‌شود که فرآیند ساخت‌وساز کارآمدتری را ارائه می‌دهد. این تکنیک باعث کاهش ناکارآمدی و بهبود سرعت پروژه می‌شود.



شکل ۵. پارادایم ها و فناوری های مرتبط با AI و BIM

طبق تعریف، هوش‌مصنوعی به معنای برنامه‌های رایانه‌ای است که وظایفی را انجام می‌دهند که در صورت انجام توسط انسان، نیازمند هوش هستند. این امر نه تنها به دانش در مورد جهان فیزیکی بلکه با دانش عقل سلیم نیاز دارد. در این مورد، دانش عقل سلیم به عنوان دانش عمومی در مورد جهان شناخته می‌شود. مثلاً اگر بچه‌ای را در آغوش گرفته باشد و معلوم شود که پدر و پسر هستند، معلوم است کدام است. این نوع دانش برای انسان طبیعی است و برای کارهایی مانند پردازش زبان استفاده می‌شود. با این حال، بیشتر در نرم افزار BIM وجود ندارد. هوشمندی در نرم‌افزار BIM موجود معمولاً محدود به مدل‌سازی پارامتری و رفتار هدف طراحی است که یکپارچگی طراحی را حفظ می‌کند. در حالی که مدل‌ها از عناصری تشکیل شده‌اند که ویژگی‌های آن‌ها و روابط آن‌ها با عناصر دیگر است، اما همچنان به کاربران اجازه می‌دهند تا اقداماتی را انجام دهند که به وضوح در زمینه طراحی ساختمان منطقی نیست. این نوع عقلانیت اقدامات و عملیات، هنوز در مدل‌های BIM وجود ندارد. به عنوان یک سیستم شی‌گرا، ابزارهای BIM بیشتر به نمایش اشیاء، از جمله خصوصیات آن‌ها و روابط بین اشیا، تمرکز می‌کنند.

مکانیک پشت رابط کاربر (UI)، که هسته نامیده می‌شود، می‌تواند به سه ماژول تقسیم شود: ماژول کنترل کننده BIM، ماژول پایگاه داده، و ماژول یادگیری ماشین (تکنیک های AI). ساختار ساده شده ماژول‌ها و وظایف اصلی آن‌ها در شکل ۶ قابل‌مشاهده است.



شکل ۶. مجموعه ابزار معماری پیاده سازی هوش‌مصنوعی در BIM؛ منبع: نویسنده، ۱۴۰۲

ماژول کنترل‌کننده BIM وظیفه خواندن و ایجاد اشیاء در مدل‌های BIM را بر عهده دارد. این ابزار تا حد امکان غیرنرم‌افزاری خاص طراحی شده است تا امکان استفاده از جعبه ابزار مشابه با سایر نرم افزارهای مدل سازی را فراهم کند. جعبه ابزار برای کار با استفاده از نرم افزار Tekla Structures ساخته شده است و سایر نرم افزارهای مدل‌سازی از محدوده این مقاله خارج شده‌اند. با این حال، گسترش این جعبه ابزار به سایر نرم‌افزارهای BIM را می‌توان به راحتی با ساخت ماژول فرعی دیگر در ماژول کنترل‌کننده BIM انجام داد. ماژول یادگیری ماشین (تکنیک‌های هوش‌مصنوعی) هر چیزی را که برای اجرای تکنیک‌های یادگیری ماشین نیاز است، از جمله قابلیت‌هایی برای پیش‌پردازش داده‌ها و اجرای الگوریتم‌ها، مدیریت می‌کند. در نهایت، ماژول پایگاه داده برای خواندن و ذخیره اطلاعاتی که دو ماژول دیگر ارائه می‌کنند مورد نیاز است.

- گرایش ها و بینش های تحقیقاتی آینده

پروژه‌های طراحی و ساخت در آینده نزدیک دستخوش دیجیتالی شدن و تغییرات سریع خواهند شد. بدیهی است که تکنیک‌های پیشرفته مختلف با انگیزه ادغام هوش‌مصنوعی و BIM و قابلیت همکاری آن‌ها در کل چرخه حیات، به ویژه در عملیات و مدیریت ساخت و طراحی، اجرا و گسترده خواهد شد. نویسندگان شش حوزه بینش و روندهای آینده را برای مقابله با ریسک و پیچیدگی در صنعت ساخت‌وساز بیان می‌کنند: ۱)روباتیک هوشمند، ۲)کلود VR/AR، ۳)AIoT (اینترنت اشیا مصنوعی)، ۴)دوقلوهای دیجیتال، ۵)چاپ۴بعدی، و ۶) بلاک‌چین.

این مقاله این شش بینش و روند آینده صنعت ساخت‌وساز و معماری را به عنوان تکنیک‌های اصلی نوآوری برای تحقیق و مطالعه بیشتر ارائه می‌دهد.

مهم‌ترین فناوری چند منظوره و چند عملکردی زمان ما، هوش‌مصنوعی است، به ویژه یادگیری ماشین (ML) – یعنی توانایی ماشین برای بهبود عملکرد خود بدون دخالت انسان. در چند سال گذشته، یادگیری ماشینی بسیار کارآمدتر و در دسترس‌تر شده است. انسان می‌تواند سیستم‌هایی ایجاد کند، که یاد بگیرند چگونه وظایف خود را انجام دهند. در حوزه ساخت‌وساز، هوش‌مصنوعی در مقایسه با تکنیک‌های سنتی و چند منظوره، اثری دگرگون‌کننده دارد. اگرچه هزاران شرکت در سراسر جهان در حال حاضر از ادغام AI-BIM استفاده می‌کنند، اما هنوز از آن بهره کامل نبرده‌اند. تأثیرات هوش‌مصنوعی در دهه آینده تشدید خواهد شد، زیرا تولید، خرده‌فروشی، ساخت‌وساز، حمل‌ونقل، امور مالی و اقتصادی، مراقبت‌های بهداشتی، قانون، تبلیغات، بیمه، سرگرمی، آموزش و تقریباً هر صنعت دیگری، به منظور بهره‌مندی از یادگیری ماشین، رویه‌های اصلی و مدل‌های تجاری خود را تغییر می‌دهد.

نقطه عطف در حال حاضر در معماری و ساخت‌وساز ساختمان، مزیت رقابتی، نوآوری، اجرا و تخیل آینده ساختمان است. این امر به منظور داشتن مصرف انرژی، برآورد زمان و هزینه، دید بلندمدت، ادغام داده‌ها با استفاده از BIM و بسیاری ادراک و شناخت دیگر است. در ابتدا، این ایده که هوش‌مصنوعی و یادگیری ماشینی می‌توانند و باید با اهداف نوآوری BIM در برآورد ساخت‌وساز و ساخت‌وساز ادغام شوند، ممکن است تقریباً دور از ذهن به نظر برسد. تا این مرحله، محرک‌های مربوط به BIM و AI و تعاملات متقابل آن‌ها مانند برنامه‌ها، انواع مدل‌ها و کاربردها به‌طور خلاصه به منظور ایجاد پیوند از بالادست به پایین دست پیشینه نظری این تحقیق از طریق مرور ادبیات سیستماتیک مورد بررسی قرار گرفت.

اختصارات

Method: IRM: integration research method, LS: Library Study, CS: Case Study, FS: Field Survey, SA: Simulation Analysis, LM: Laboratory Measurements, DA: Descriptive Analytics, NA: Numerical Analysis; EA: Experimental analysis, HA: Holistic Analysis DM: Data Mining, DAP: Data acquisition and preprocessing; PE: Performance Evaluation, LR: Literature Review, SR: Systematic Review, SA: Scientometric Analysis, QA: Qualitative Analysis, TA: Theoretical Review, IR: Inductive Reasoning, BM: Bibliometrics method, KA: keywords analysis, PA: Parametric Analyses, AP: application analyses, CA: Content analysis, HS: Holistic simulation, PRO: peer-review outlets, SE: Synthesize Evidence, DE: Data Evaluation, MAT: Medial axis transform, TDVRP: time- dependent vehicle routing problem, C: Comparing, PS: Pattern selection, I: identification, O: organization, C: categorize, DMADV: Six Sigma's Define-Measure- Analyze-Design-Verify, SOA: State of art. software: TF: TensorFlow, P: Python, AR: Autodesk Revit, NS: numerical simulation, SA: Statistic App, OS: openstudio, GBS: Green Building Studio, IES: Integrated Environmental Solutions-Virtual Environment, DB: Design Builder, SAT: static analytical tool, PLC: Product life cycle, EMB: Energy management based, DES: Discrete Event Simulation, PSO: Particle Swarm Optimisation (PSO). EPSE: energyPlus Simulation Engine. Function: CEM: construction engineering and management, L: logs, LCE-B: life cycle energy of buildings, GD: geographical distributions, CM: conceptual model, C/S: Clint/Server, B/S: Browser/Server, LEED: Leadership in energy and environmental design, BREEAM: Building research establishment environmental assessment method, SOA: service-oriented architecture, BS: energy simulation, CF: creation of a framework, LOD: Level Of Development, MVD: Model View Definition (MVD), OF: objective function, ESE: energy- simulation tool, CBF: Construction Business Function, IE: information exchange, DR: design review, ERQC: energy-related quality control, LCC: life-cycle commissioning, RTO: real-time operation, MM: maintenance management, PF: Pathfinding, EIA: Emergency information access, RA: residential apartments. EA: evacuation assessment, ERP: escape route planning, SE: safety education, EM: equipment maintenance. Parameters: E: energy, KRR: knowledge representation and reasoning, IF: information fusion, CV: computer vision, NLP: natural language processing, IO: intelligence optimization, PM: process mining, HP: hyper-parameters, CT: Construction Tech, RDP: representing design and planning, BF: BIM- to-field, FB: field-to-BIM, LCA: life cycle assessment, LCEA: life cycle energy analysis, LCCA: life cycle cost analysis, CE: Circular economy, BE: Building energy, BIM: Building information modeling, BbCNC: based construction networks collaboration, BIM: building information modelling, AE: architectural engineering, AI: artificial Intelligence, DB: database, DO: design optimization, GBAS: Green Building Assessment Schemes, IoT: Internet of Things, SB: Smart building, SC: Smart City, SBE: Smart built environment, EP: EnergyPlus, DP: Design process, MPS: Manufacturing Process Simulation, EU: Energy use. S: sustainability, DC: developing countries, IS: implementation strategy. IFC: Industry Foundation Class, O&M: operation & management, IESM: Indoor Emergency Spatial Model, MACA: Modal Assurance Criteria algorithms. FM: Facilities Management, UBEM: Urban Building Energy Modelling.

منابع

Ahn, J., Ji, S. H., Ahn, S. J., Park, M., Lee, H. S., Kwon, N., Lee, E. B., & Kim, Y. (2020). Performance evaluation of normalization-based CBR models for improving construction cost estimation. Automation in Construction, 119, 103329. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103329

Alaka, H. A., Oyedele, L. O., Owolabi, H. A., Oyedele, A. A., Akinade, O. O., Bilal, M., & Ajayi, S. O. (2017). Critical factors for insolvency prediction: towards a theoretical model for the construction industry. *International Journal of Construction Management*, 17(1), 25–49. https://doi.org/10.1080/15623599.2016.1166546

Al-Ashmori, Y. Y., Othman, I., Rahmawati, Y., Amran, Y. H. M., Sabah, S. H. A., Rafindadi, A. D. u., & Mikić, M. (2020). BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia. Ain Shams Engineering Journal. https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.02.002

Ansah, M. K., Chen, X., Yang, H., Lu, L., & Lam, P. T. I. (2019). A review and outlook for integrated BIM application in green building assessment. Sustainable Cities and Society, 48(February), 101576. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101576

Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127

Bloch, T., Sacks, R., & Rabinovitch, O. (2016). Interior models of earthquake damaged buildings for search and rescue. *Advanced Engineering Informatics*, 30(1), 65–76. https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.12.001

Bui, N., Merschbrock, C., & Munkvold, B. E. (2016). A Review of Building Information Modelling for Construction in Developing Countries. *Procedia Engineering*, 164(1877), 487-494. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.649.

Charef, R., Alaka, H., & Emmitt, S. (2018). Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of Building Engineering*, 19, 242–257. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.028

Chen, K., Lu, W., Peng, Y., Rowlinson, S., & Huang, G. Q. (2015). Bridging BIM and building: From a literature review to an integrated conceptual framework. *International Journal of Project Management*, 33(6), 1405– 1416. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.03.006

Chong, H. Y., Lee, C. Y., & Wang, X. (2017). A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4114–4126. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.222

Darko, A., Chan, A. P. C., Yang, Y., & Tetteh, M. O. (2020). Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management – Critical survey and future needs. Computers in Industry, 123, 103327. https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103327

Farzaneh, A., Monfet, D., & Forgues, D. (2019). Review of using Building Information Modeling for building energy modeling during the design process. *Journal of Building Engineering*, 23, 127-135. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.029

Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., & Daka, P. P. (2021). Artificial intelligence

evolution in smart buildings for energy efficiency. Applied Sciences (Switzerland). 11(2). 1–26. https://doi.org/10.3390/app11020763

Ferrando, M., Causone, F., Hong, T., & Chen, Y. (2020). Urban building energy modeling (UBEM) tools: A state- of-the-art review of bottom-up physics-based approaches. Sustainable Cities and Society. 62. 102408. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102408

Gao, X., & Pishdad-Bozorgi, P. (2019). BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review. *Advanced Engineering Informatics*. 39. 227–247. https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.01.005

Garwood, T. L., Hughes, B. R., Oates, M. R., O'Connor, D., & Hughes, R. (2018). A review of energy simulation tools for the manufacturing sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81(1). 895–911. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.063

Gilner, E., Galuszka, A., & Grychowski, T. (2019). Application of Artificial Intelligence Methods in Sustainable Building Design. Computational Science and Its Applications, ICCSA 2019 Lecture Notes in Computer Science. 408-417. DOI: 10.1007/978-3-030-24289-3_30

Grilo, A., & Jardim-Goncalves, R. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. *Automation in Construction*, 19(5). 522–530. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.003

Haymaker, J. R. (2011). Opportunities for AI to improve sustainable building design processes. AAAI Spring Symposium Artificial Intelligence and Sustainable Design - Technical Report: SS-11-02.

Huang, M.Q., Nini´c, J., & Zhang, Q.B. (2021). BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction. Tunnelling and Underground Space Technology. 108. 103443. https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103677

Jackson, R. H. G., & Wood, A. (2013). The performance of insolvency prediction and credit risk models in the UK: A comparative study. *The British Accounting Review*. 45(3), 183–202. https://doi.org/10.1016/j.bar.2013.06.009

Kamel, E., & Memari, A. M. (2019). Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. *Automation in Construction*, 97. 164–180. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008

Li, C. Z., Lai, X., Xiao, B., Tam, V. W. Y., Guo, S., & Zhao, Y. (2020). A holistic review on life cycle energy of buildings: An analysis from 2009 to 2019. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 134(2020), 110372. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110372

Li, J., Afsari, K., Li, N., Peng, J., Wu, Z., & Cui, H. (2020). A review for presenting building information modeling education and research in China. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120885. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120885

Li, Y. (2019). The Application of BIM in Artificial Intelligence Management of Construction Engineering Database Project. Iwmecs, 344–349. DOI: 10.25236/iwmecs.2019.068

Manoj Philip, A., & Ramesh Kannan, M. (2021). Constructability assessment of cast in-situ, precast and modular reinforced concrete structures. Materials Today: Proceedings. 45(7), 6011-6015. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.528.

NBS (National BIM Survey). (2016). National BIM Report. 1–31. https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2016

Obradovic, D. (2019). Active BIM : Review of Accomplishments, Challenges and Potentials. 7th IPMA Research Conference and the 14th International OTMC. https://www.researchgate.net/publication/335685423

Oraee, M., Hosseini, M. R., Edwards, D. J., Li, H., Papadonikolaki, E., & Cao, D. (2019). Collaboration barriers in BIM-based construction networks: A conceptual model. *International Journal of Project Management*, 37(6), 839–854.

Othman, I., Al-Ashmori, Y. Y., Rahmawati, Y., Mugahed Amran, Y. H., & Al-Bared, M. A. M. (2020). The level of Building Information Modelling (BIM) Implementation in Malaysia. Ain Shams Engineering Journal. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.05.004

OZTURK, G. B., & TUNCA, M. (2020). Artificial Intelligence in Building Information Modeling Research: Country and Document-based Citation and Bibliographic Coupling Analysis. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 16(3). 269-279. DOI: 10.18466/cbayarfbe.770565

Pan, Y., & Zhang, L. (2020). BIM log mining: Learning and predicting design commands. Automation in Construction, 112(October 2019).

Pan, Y., & Zhang, L. (2021). Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. Automation in Construction, 122. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103517

Pujitha, K. S. V. S., & Venkatesh, K. (2020). Forecasting the construction cost by using unit-based estimation model. Materials Today: Proceedings, 33(1), 613–619. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.546

Ramaji, I. J., Messner, J. I., & Leicht, R. M. (2016). Leveraging building information models in IFC to perform energy analysis in openstudio®. ASHRAE and IBPSA-USA Building Simulation Conference, 251– 258. https://www.researchgate.net/publication/308260599

Sabol, L. (2013). BIM Technology for FM. In: Teicholz, P. (ed.) BIM for Facility Managers, 1st edn., 17–45. John Wiley & Sons, New Jersey. https://doi.org/10.1002/9781119572633.ch2

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. 3rd Edition. Wiley. 1–688. ISBN: 978-1-119-28755-1

Sacks, R., Girolami, M., & Brilakis, I. (2020). Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech. Developments in the Built Environment, 4. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011

Shirowzhan, S., Sepasgozar, S. M. E., Edwards, D. J., Li, H., & Wang, C. (2020). BIM compatibility and its differentiation with interoperability challenges as an innovation factor. Automation in Construction. 112. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103086

Singh, V., Gu, N., & Wang, X. (2011). A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform. *Automation in Construction*, 20(2), 134–144. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.011.

Steel, J., Drogemuller, R., & Toth, B. (2012). Model interoperability in building information modelling. Software and Systems Modeling, 11(1),

99–109. https://doi.org/10.1007/s10270-010-0178-4

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(66), 127–139. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.01.020

Tashakkori, H., Rajabifard, A., & Kalantari, M. (2015). A new 3D indoor/outdoor spatial model for indoor emergency response facilitation. Building and Environment, 89, 170–182. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.036

Tsoukalas, V. D., & Fragiadakis, N. G. (2016). Prediction of occupational risk in the shipbuilding industry using multivariable linear regression and genetic algorithm analysis. Safety Science, 83, 12-22. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.010

Utkucu, D., & Sözer, H. (2020). Interoperability and data exchange within BIM platform to evaluate building energy performance and indoor comfort. Automation in Construction, 116. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103225

Wang, S.-H., Wang, W.-C., Wang, K.-C., & Shih, S.-Y. (2015). Applying building information modeling to support fire safety management. Automation in Construction, 59, 158–167. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.001

Wetzel, E. M., & Thabet, W. Y. (2016). Utilizing Six Sigma to develop standard attributes for a Safety for Facilities Management (SFFM) framework. Safety Science, 89(4), 355–368. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.07.010

Xu, X., Mumford, T., & Zou, P. X. W. (2021). Life-cycle building information modelling (BIM) engaged framework for improving building energy performance. Energy and Buildings, 231(7). DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110496

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی