بررسی قابلیت‌های ترکیب مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و واقعیت افزوده در تعمیر و نگهداری

علی صباغ‌زاده[۱]، محمدرضا قاسمی[۲]*، حسام ورعی[۳]، فاطمه السادات سیدیزدی[۴]

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ali.sabbaghzade@pgs.usb.ac.ir

۲. استاد دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، mrghasemi@eng.usb.ac.ir

۳. استادیار، دانشکده عمران، مؤسسه آموزش عالی آل‌طه، تهران، ایران، varaee.hesam@aletaha.ac.ir

۴. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، f.seyyedyazdi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۳۰

چکیده فارسی

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به‌عنوان یک فناوری متحول‌کننده در صنعت ساخت‌وساز ظاهر شـده اسـت که مزایای متعددی مانند بهبود همکاری، افزایش تجسـم پروژه و افزایش کارایی را ارائه می‌کند. ادغام فناوری‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و واقعیت افزوده (AR) در فرایندهای تعمیر و نگهداری پتانسـیل قابل‌توجهی برای افزایش کارایی، دقت و اثربخشـی در مدیریت تسـهیلات ارائه می‌دهد. با ترکیب نمایش مجازی داده‌های طراحی و سـاخت یک سـاختمان از طریق BIM با تجسـم زمان واقعی و اطلاعات متنی ارائه شـده توسـط AR، پرسـنل تعمیر و نگهداری می‌توانند به اطلاعات جامع و به روز در مورد اجزاء، سیستم‌ها و تاریخچه تعمیر و نگهداری ساختمان دسترسی داشته باشند. این ادغام تیم‌های تعمیر و نگهداری را قادر می‌سازد تا با همپوشانی مدل‌های دیجیتال بر روی فضـاهای فیزیکی، وظایف خود را به‌طور کارآمد برنامه‌ریزی و اجرا کنند، و به آن‌ها اجازه می‌دهد مکان‌های تجهیزات را شناسایی کنند، به اسناد مربوطه دسترسی داشته باشند و مسائل احتمالی یا تعمیرات مورد نیاز را تجسـم کنند. برنامه‌های تعمیر و نگهداری مبتنی بر واقعیت افزوده می‌توانند دستورالعمل‌های گام به گام را ارائه دهند، مؤلفه‌ها یا نواحی خاصی را که نیاز به توجه دارند برجسته کنند و در عین حال دسترسی بی‌درنگ را به مشخصات فنی یا دستورالعمل‌های مربوطه ارائه دهند. علاوه بر این، ادغام BIM و AR، همکاری از راه دور بین تیم‌های تعمیر و نگهداری را با امکان برقراری ارتباط بلادرنگ از طریق مدل‌های دیجیتال مشترک تسهیل می‌کند. این قابلیت به متخصصان اجازه می‌دهد تا از راه دور تکنیسـین‌های محل را در طول مراحل تعمیر و نگهداری پیچیده یا فعالیت‌های عیب‌یابی راهنمایی کرده، زمان پاسـخگویی را کاهش داده و زمان خرابی را به حداقل برسـانند. در این پژوهش یک رویکرد برای ترکیب مدل‌سـازی اطلاعات سـاختمان و واقعیت افزوده به منظور تسهیل تعمیر و نگهداری مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی از نرم‌افزار Unity استفاده شده که با استفاده از زبان برنامه‌نویسی سی‌شارپ در بستر نرم‌افزار Visual Studio، اپلیکیشن مورد نظر توسعه داده می شود. خروجی نهایی آن، یک رویکرد نوین برای تعمیر و نگهداری تأسـیسـات مبتنی بر واقعیت افزوده اسـت که با اسـتفاده از یک اپلیکیشـن واقعیت افزوده پیاده‌سازی می‌شود.

واژگان کلیدی

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، واقعیت افزوده، تعمیر و نگهداری، قابلیت‌ها

* استاد دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، mrghasemi@eng.usb.ac.ir، ORCID: 0000-0002-7014-6668

Examining the capabilities of integration of building information modeling and augmented reality in maintenance

Ali sabbaghzade Feriz[a], Mohammad Reza Ghasemi[b*], Hesam Varaee[c], Fatemehsadat Seyyedyazdi[d]

[a] PHD Candidate, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, ali.sabbaghzade@pgs.usb.ac.ir

[b] Professor, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, mrghasemi@eng.usb.ac.ir;

[c] Assistant Professor, Ale Taha Institute of Higher Education, Tehran, Iran, varaee.hesam@aletaha.ac.ir;

[d] PHD Candidate, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, f.seyyedyazdi@gmail.com

Abstract

Building Information Modeling (BIM) has emerged as a transformative technology in the construction industry, offering numerous benefits such as improved collaboration, increased project visualization, and increased efficiency. The integration of Building Information Modeling (BIM) and Augmented Reality (AR) technologies into maintenance processes offers significant potential to increase efficiency, accuracy and effectiveness in facility management. By combining the virtual representation of a building's design and construction data through BIM with real-time visualization and contextual information provided by AR, maintenance personnel can access comprehensive and up-to-date information about the building's components, systems, and maintenance history. This integration enables maintenance teams to efficiently plan and execute tasks by overlaying digital models onto physical spaces, allowing them to identify equipment locations, access relevant documentation, and identify potential issues or visualize the repairs needed. Augmented reality-based maintenance apps can provide step-by-step instructions, highlighting specific components or areas that need attention, while providing real-time access to relevant technical specifications or instructions. In addition, the integration of BIM and AR facilitates remote collaboration between maintenance teams by enabling real-time communication through shared digital models. This capability allows specialists to remotely guide on-site technicians during complex maintenance procedures or troubleshooting activities, reducing response time and minimizing downtime. In this research, an approach to combine building information modeling and augmented reality in order to facilitate maintenance has been investigated. In order to implement the proposed approach, Unity software is used, which is developed using C# programming language in Visual Studio platform. Its final output is a new approach to facility maintenance based on augmented reality, which is implemented using an augmented reality application.

Article history:
Received: 05/01/2024
Revised: 02/02/2024
Accepted: 18/04/2024

Keywords
Building information modeling, augmented reality, maintenance, capabilities

۱. مقدمه

مرحله تعمیر و نگهداری نقش مهمی در تضمین طول عمر و عملکرد بهینه تأسیسات ساخته شده ایفا می‌کند. شیوه‌های تعمیر و نگهداری سنتی اغلب به بازرسی‌های دستی متکی‌اند که زمان‌بر، مستعد خطا و پرهزینه است. این مورد منجر به افزایش علاقه به استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند BIM و AR برای ساده کردن فعالیت‌های تعمیر و نگهداری شده است[۱].

مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) یک مفهوم جدید در صنعت ساخت به شمار می‌رود. این فناوری جدید امروزه منجر شده است که این صنعت به سطح بالایی از تکنولوژی اطلاعات دست یابد. به دلیل داشتن کاربردهای جامع، این فناوری بر فرایندهای تکنولوژیکی و علمی این صنعت، اثرات بسیاری داشته و سبب افزایش سطح پیوستگی ساخت شده است. علاوه بر این، مدل سازی اطلاعات ساخت منجر به مزایای بزرگی در زمینه توسعه صنعت ساخت و کاهش هزینه‌های پروژه‌ها شده است. بر پایه فناوری دیجیتالی سه بعدی، BIM، مدلی یکپارچه از داده‌های مهندسی است که اطلاعات مربوط به پروژه‌های ساخت را دربر می‌گیرد و به صورت جزئی، اطلاعات پروژه‌ها را بیان می‌کند. همچنین، این فناوری یک کاربرد مستقیم از فناوری دیجیتال است که می‌تواند با شرح مسائل پروژه‌های ساخت در نرم‌افزارها، به حل آن‌ها کمک کند و این امکان را به مهندسان و طراحان می‌دهد که پاسخ درستی به اطلاعات متنوع معماری دهند[۲].

۲. تعریف BIM

BIM به‌عنوان یک اصطلاح محبوب، چندان جدید نیست. مفاهیم، رویکردها و روش‌شناسی‌هایی که اکنون پیرامون BIM مطرح هستند، سال‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. یکی از نمونه‌های مستند اولیه از این فناوری، توسط "پدر BIM" چاک ایستمن در سال ۱۹۷۵، به نام سیستم توصیف ساختمان ارائه شده است. از آن زمان، به‌رغم تمرکز اکثر محققان و سازمان‌ها بر مطالعات مربوط به CAD، مطالعات زیادی نیز در زمینه فناوری‌های مرتبط با BIM، به‌ویژه در دهه اخیر، انجام گرفته است[۱].

در نتیجه تنوع در ادراک ساختمان‌های هوشمند و تأکیدات تحقیقاتی، اصطلاحات بسیار جدید مرتبط با BIM ایجاد شد؛ به گونه‌ای که در یک تحقیق توسط بلال سوکار[۱] در سال ۲۰۰۹[۱]، برخی از اصطلاحات پرکاربرد مانند سیستم اطلاعات چرخه عمر دارایی[۲]، مدل‌های محصول ساختمان[۳]، ساختمان هوشمند TM[۴]، سیستم‌های طراحی یکپارچه[۵]، تحویل پروژه یکپارچه[۶]، مدل‌سازی n بعدی[۷]، ساختمان مجازی TM[۸]، طراحی و ساخت مجازی[۹] و مدل‌های چهار بعدی محصول[۱۰]؛ مطرح شدند. حتی اصطلاح BIM که در سال ۲۰۰۲ توسط جری لایسرین[۱۱] رایج شد، هیچ تعریف قابل قبولی ندارد؛ اما برخی از تعاریف مهم که توسط سازمان‌ها و محققین ارائه شده است، در جدول۱ تشریح می‌شود[۱].

---

۱. Bilal Succar
۲. Asset Lifecycle Information System
۳. Building Product Models
۴. Building SMARTTM
۵. Integrated Design Systems
۶. Integrated Project Delivery
۷. ND Modeling
۸. Virtual BuildingTM
۹. Virtual Design and Construction
۱۰. 4D Product Models
۱۱. Jerry Laiserin

جدول ۱. تعاریف مهم BIM ارائه شده توسط سازمان‌ها و محققان

سازمان یا محقق	تعریف
NIBS (۲۰۰۷)	BIM یک نمایش دیجیتالی از ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی یک تأسیسات، که به‌عنوان یک منبع دانش مشترک برای اطلاعات پیرامون آن عمل می‌کند، است. بر این اساس، BIM یک مبنای قابل اعتماد برای تصمیم‌گیری در طول چرخه عمر آن از ابتدا به بعد می‌باشد.
GSA (۲۰۰۷)	BIM یک توسعه و استفاده از یک مدل داده‌ای نرم‌افزاری کامپیوتری چند وجهی است که نه‌تنها طراحی سازه را مستند می‌کند، بلکه ساخت و بهره‌برداری از تأسیسات (facility) سرمایه‌ای جدید یا تأسیسات بازسازی شده (مدرن شده) را شبیه‌سازی می‌کند. مدل به دست آمده یک نمایش دیجیتالی غنی از داده، مبتنی بر شیء هوشمند و پارامتریک از تأسیسات است که با آن می‌توان دیدگاه‌های متناسب با نیازهای کاربران مختلف را استخراج و تجزیه و تحلیل کرد تا بازخورد و بهبود طراحی تسهیلات را ایجاد کند.
ایستمن و همکاران (۲۰۰۸)[۱]	یک فناوری مدل‌سازی و مجموعه‌ای از فرایندهای مرتبط با تولید، برقراری ارتباط و تجزیه و تحلیل مدل‌های ساختمان است.
هارنس (۲۰۰۸)[۱]	BIM یک نمایش دیجیتالی از مشخصات فیزیکی و عملکردی پروژه است. همچنین BIM، یک فرایند و فناوری مورد استفاده برای ایجاد مدل می‌باشد.
Autodesk (۲۰۱۲)	BIM یک فرایند یکپارچه است که درک از پروژه را بسیار بهبود می‌بخشد و نتایج قابل پیش‌بینی را امکان‌پذیر می‌کند. این دید، همه اعضای تیم پروژه را قادر می‌سازد تا هماهنگ بمانند، دقت را بهبود بخشند، ضایعات را کاهش دهند و تصمیمات آگاهانه‌ای را در مراحل اولیه اتخاذ کنند. بدین‌ترتیب، به تضمین موفقیت پروژه کمک می‌شود.
Tekla (۲۰۱۳)	فرایندی است که مدل‌سازی و ارتباط ساختاری یک سازه را به صورت جزئی ایجاد می‌کند تا از کل چرخه عمر یک سازه، سود به دست آید.

۳. مزایای استفاده از BIM

محققان بسیاری مزایای BIM را در صنعت AEC[۱۲]/FM مطالعه کرده‌اند[۱]. به‌عنوان مثال، چاک ایستمن[۱۳] و همکاران[۱] در سال ۲۰۰۸ مزایای BIM را در چهار مرحله از ساخت، (قبل از ساخت، طراحی ساخت و پس از ساخت)، بررسی کردند که برخی از آنها در زمان فعلی امکان‌پذیر نبوده اما با توسعه و پیشرفت BIM در آینده می‌توان به آنها دست یافت. در مطالعه‌ای دیگر، سلمان ازهر[۱۴] و همکاران[۱] در سال ۲۰۱۱، هشت مزیت را برای BIM برمی‌شمارند: نمایش هندسی دقیق، فرایندهای سریع‌تر و مؤثرتر، طراحی بهتر، کنترل هزینه‌های کل عمر و داده‌های محیطی، کیفیت تولید بهتر، مونتاژ خودکار، خدمات بهتر به مشتریان و کنترل داده‌های چرخه عمر. همچنین مطالعات دیگری در جهان صورت گرفته که نشان می‌دهد که در پروژه‌های ساختمانی که از BIM استفاده کرده‌اند، بین ۸ تا ۱۵ درصد صرفه‌جویی در پروژه‌های جدید و تا ۳۵ درصد صرفه‌جویی در پروژه‌های تکراری وجود داشته است. این صرفه‌جویی‌ها به دلیل نتیجه استفاده مجدد از اطلاعات، داشتن اطلاعات تصمیم‌گیری بیشتر و زودتر، و تحلیل بهتر در مراحل اولیه می‌باشد[۱].

۴. واقعیت افزوده

واقعیت افزوده یک فناوری نوظهور است که به اطلاعات دیجیتالی مانند مدل‌های سه‌بعدی، متن، تصاویر و انیمیشن‌ها اجازه می‌دهد تا از طریق صفحه نمایش به محیط واقعی اطراف کاربر اضافه شوند. واقعیت افزوده کاربران را قادر می‌سازد تا به‌طور مؤثر با محیط و اطلاعات دیجیتال اضافه شده به آن از طریق یک رابط کاربری تعامل داشته باشند[۱].

تعاریف متعددی برای واقعیت افزوده وجود دارد. فناوری واقعیت افزوده، اشیاء مجازی و مشاهدات دنیای واقعی را ترکیب می‌کند. اشیاء مجازی نه‌تنها به‌عنوان بخشی از محیط کاربر در معرض دید قرار می‌گیرند، بلکه کاربران همچنین می‌توانند با اشیاء تعامل داشته باشند. به‌عبارت ساده، واقعیت افزوده یک فناوری است که شامل همپوشانی گرافیک کامپیوتری در دنیای واقعی است. همچنین این فناوری می‌تواند شرایط فیزیکی را با اطلاعات بصری تولید شده توسط کامپیوتر ادغام کند. در واقع فناوری واقعیت افزوده به‌طور

۱۲. architecture, engineering, and construction

۱۳. Chuck Eastman

۱۴. Salman Azhar

گسترده‌ای به‌عنوان مکانیزم تقویت‌کننده و تعاملی برای تجربه محیط اطراف کاربر در محیط‌های سایت ساخت‌وساز استفاده شده است. واقعیت افزوده فناوری است که امکان همپوشانی اطلاعات دیجیتالی را بر روی محیط واقعی ــ در زمان واقعی و موقعیت مکانی مناسب ـ برای افزایش یا تقویت محیط واقعی فراهم می‌کند[۱].

۵. ترکیب مدل‌سازی اطلاعات ساخت و واقعیت افزوده

BIM تمام اطلاعات داده‌های ساختمان را یکپارچه می‌کند. فناوری AR می‌تواند این اطلاعات داده را در روشی کاملاً جدید که ارتباط بین طرفین را راحت‌تر، کارآمدتر و واقعی‌تر می‌کند، ارائه کند. فناوری AR همچنین دارای برخی ویژگی‌ها مانند ادغام دنیای مجازی و واقعی، تعامل در زمان واقعی، ردیابی سه‌بعدی و موقعیت‌یابی می‌باشد. با استفاده از ترکیب BIM و AR می‌توان مبنای جامع، کارآمد و علمی برای مدیریت ایمنی ساختمان ارائه کرد. ابتدا با توجه به الزامات طراحی، ویژگی‌های موجودیت مهندسی، خواص مواد و سایر اطلاعات مهندسی، می‌توان یک مدل تصویری از پوشش کامل اطلاعات با ساختمان، سازه، تأسیسات مکانیک و... را ارائه کرد. سپس، باید یک مدل صحنه مجازی ترکیب شده با محیط واقعی را از طریق AR، کامپیوتر، نرم‌افزار پردازش تصویر، حسگرها و سایر فناوری‌ها تکمیل نمود. از طریق دستگاه‌های خاص، می‌توان در محیط مدل غرق شد و دنیای مجازی دیگری شبیه به آن را احساس کرد. در نهایت، پس از ادغام مدل با محیط اطراف، از طریق مدل تلفیق محیط نتایج بازخورد دریافت می‌شود. در نهایت به تجسم، تعامل و پایداری مدیریت پروژه دستیابی می‌شود[۱].

۶. تعمیر و نگهداری

دارایی‌های فیزیکی ممکن است با بروز اثرات همزمان خرابی‌های تدریجی و ناگهانی در طول مدت زمان سرویس‌دهی روبه‌رو شوند[۲] که اغلب تمرکز اصلی اپراتورها در مواجهه و کار با این سیستم‌ها، بر کنترل و جلوگیری از خرابی‌های کارکردی آنها می‌باشد[۳] تا از تطابق عملکرد سیستم‌ها با دستورالعمل‌های ایجاد شده اطمینان حاصل کنند[۴]. در زمان بروز خرابی تجهیزات و دارایی‌ها، مدیران دارایی‌ها با محدودیت در منابع روبه‌رو می‌شوند[۵] که منجر به این امر می‌شود که انجام فعالیت‌ها نیز به تأخیر بیفتد[۶]. برای تخصیص منابع محدود، مدیران دارایی بایستی یک گستره وسیعی از محدوده تصمیم‌گیری شامل برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت، میان‌مدت یا بلندمدت به همراه تأثیرات تصمیماتشان را بر عملکرد دارایی در محدوده زمانی اجرایی را در نظر بگیرند[۳]. شایان ذکر است که تأخیر در فعالیت‌های نگهداری، تعمیر یا نوسازی سبب خرابی فجیع‌تر دارایی‌ها نیز می‌شود[۷].

۶-۱. اطلاعات مورد نیاز تعمیر و نگهداری تأسیسات ساختمان

به منظور استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در تعمیر و نگهداری، نیاز است که اطلاعات مورد نیاز برای تعمیر و نگهداری شناسایی شوند. به همین منظور در ادامه مطالعات انجام شده در این زمینه بررسی می‌شود.

در پژوهشی گاربر و همکاران، معایب و مزایای پیاده‌سازی مدل‌سازی اطلاعات ساخت در مدیریت تأسیسات را بررسی کردند. در این مطالعه، اطلاعات و فرایندهای مورد نیاز برای پیاده‌سازی مدل‌سازی اطلاعات در تعمیر و نگهداری شناسایی شد. همچنین نحوه گردش اطلاعات مورد نیاز بین بخش‌های مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱، اطلاعات مورد نیاز در پیاده‌سازی مدل‌سازی اطلاعات در تعمیر و نگهداری را نشان داده است.

شکل ۱. ساختار داده‌های غیرهندسی مورد نیاز تأسیسات[۸]

در مطالعه‌ای به منظور پیاده سازی مدل سازی اطلاعات ساختمان در تعمیر و نگهداری، اطلاعات مورد نیاز برای تعمیر و نگهداری تجهیزات مورد بررسی قرار گرفت و سپس روش‌های پیاده‌سازی و موانع آن مورد بررسی قرار گرفت که عدم آشنایی کارکنان با فناوری‌های نوین از جمله چالش‌های اصلی آن محسوب می‌شد[۹].

۷. همکاری در چارچوب‌های مبتنی بر واقعیت افزوده برای مدیریت دارایی‌های فیزیکی

گردش فعالیت‌های معمول مدیریت نگهداری، معمولاً شامل چندین فعالیت از قبیل بازر سی، سوار کردن قطعات و تعمیرات می‌با شد. پیچیده‌تر شدن روز افزون این فعالیت‌ها، کارکنان مدیریت نگهداری را ملزم به تعامل و همکاری با یکدیگر برای انجام تصمیم گیری‌های مربوطه می‌کند[۱۰]. عدم وجود ارتباط مناسب بین سایت و دفتر در انجام فعالیت‌های تعمیر و نگهداری می‌تواند نتایج زیان‌باری همچون ا شتباه در ورود داده‌ها، شنا سایی ا شتباه تجهیز، درک نادر ست از موقعیت و ناتوانی در انتقال دانش از متخ صص به کارکنان میدانی را به دنبال دا شته با شد[۱۱]. علاوه بر این، به دلیل ضرورت وجود ارتباط دیداری برای انجام فعالیت‌های تعمیر و نگهداری، یک همکاری مؤثر نباید صرفاً به ا شتراک داده‌ها محدود شود[۱۱]. ازاین‌رو، در سال‌های اخیر محققین به دنبال ا ستفاده از پتان سیل‌های واقعیت افزوده برای فائق آمدن بر مشکلات ناشی از ارتباط نادرست در صنعت ساخت و مدیریت نگهداری می‌باشند.

۸. مطالعات انجام شده در زمینه ترکیب مدل‌سازی اطلاعات ساخت و واقعیت افزوده

در مطالعه‌ای تو سط چن و همکاران[۱۲]، بازر سی و نگهداری تجهیزات آتش سوزی در ساختمان با ا ستفاده از ترکیب واقعیت افزوده و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان انجام گرفته است. بررسی تجهیزات مقابله با آتش‌سوزی در ساختمان نیاز به زمان زیادی دارد تا از کارایی آن اطمینان حاصل شود.

مطالعه چونگ و همکاران[۱۳] در راستای دستیابی به یک سیستم کارآمدتر در زمینه مدیریت تأسیسات و تجهیزات و افزایش بدنه دانش به مدیریت خودکار به منظور هوشمندسازی تغییرات انجام شده در فناوری مرتبط با BIM و AR، با هدف ایجاد ارتباط اطلاعات بین سیستم‌های مدیریتی بر اساس AR مورد بررسی قرار گرفته است.

در مطالعه‌ای توسط مورتزیس و همکاران[۱۴]، پژوهشی با هدف بررسی چالش‌های نوظهور با طراحی و توسعه یک چارچوب، برای حمایت از عملیات تعمیر و نگهداری از راه دور بر اساس AR، انجام شده است. این تحقیق با ایجاد کانال‌های ارتباطی مناسب بین تکنیسین‌های طبقه مغازه و مهندسان خبره که از بازخورد بلادرنگ استفاده می‌کنند، انجام می‌شود. از میدان دید اپراتور کاربرد چارچوب توسعه‌یافته در شرایط آزمایشگاهی آزمایش می‌شود و کاربرد آن نیز در یک کارگاه ماشین‌آلات مبتنی بر آزمایشگاه و در یک سناریوی صنعتی واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در مطالعه‌ای توسط کی و همکاران[۱۵]، یک سیستم مبتنی بر واقعیت افزوده برای آموزش افراد کارکنان در نگهداری تجهیزات ارائه شده است. در این مطالعه از تکنیک‌های سه‌بعدی مبتنی بر واقعیت افزوده برای انجام فعالیت‌های نگهداری از راه دور استفاده می‌شود. هدف اصلی این مطالعه بهبود دقت و صحت کارهای نگهداری از راه دور است. در جدول ۱ شامل خلاصه‌ای از تحقیقات مشابه انجام شده در زمینه تحقیق مورد نظر ارائه می‌شود.

جدول ۱. خلاصه‌ای از تحقیقات مشابه انجام شده

نام نویسنده و سال انتشار	عنوان مقاله	شرح نتایج
مورتزیس و همکاران (۲۰۲۰) [۱۴]	پشتیبانی نگهداری از راه دور بلادرنگ مبتنی بر واقعیت افزوده	این کار تحقیقاتی با هدف پرداختن به این چالش نوظهور با طراحی و توسعه یک چارچوب، برای پشتیبانی از عملیات تعمیر و نگهداری از راه دور مبتنی بر AR، با ایجاد راه های ارتباطی مناسب بین کارکنان کارگاه و مهندسان انجام شده است.
چن و همکاران (۲۰۲۰)[۱۲]	بازرسی و نگهداری مبتنی بر واقعیت افزوده و بیم برای تجهیزات ایمنی در مقابل آتش سوزی	خواندن اطلاعات نگهداری و بازرسی می‌تواند یک موضوع بسیار وقت‌گیر باشد زیرا اکثر این فایل‌ها در کاغذ هستند. برای حل مسائل ذکر شده، در این مطالعه از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) برای ساخت عناصر FSE استفاده شد تا بتوان اطلاعات مورد نیاز را به سرعت توسط بازرسان FSE به دست آورد.
بائک و همکاران (۲۰۱۹) [۱۶]	سیستم واقعیت افزوده برای مدیریت تسهیلات با استفاده از موقعیت یابی داخلی مبتنی بر تصویر	این مقاله یک سیستم AR برای مدیریت تسهیلات با استفاده از یک روش محلی‌سازی داخلی مبتنی بر تصویر ارائه می‌کند که موقعیت و جهت‌گیری کاربر در داخل ساختمان را با مقایسه دیدگاه کاربر با مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) بر اساس محاسبات یادگیری عمیق تخمین می‌زند.
الحماری و همکاران (۲۰۱۹) [۱۱]	تعامل اندرکنشی از راه دور در مدیریت تسهیلات با استفاده از واقعیت ترکیبی مبتنی بر بیم	این مقاله توسعه یک رویکرد MR مبتنی بر BIM را برای پشتیبانی از وظایف میدانی تسهیلات مورد بحث قرار می‌دهد.
سلمان و احمد (۲۰۲۳) [۱۷]	پیاده سازی کاربردهای واقعیت افزوده و واقعیت ترکیبی برای مدیریت هوشمند تسهیلات: یک مرور سیستماتیک	هدف از این مطالعه ایجاد دانش زمینه‌ای از کاربرد AR/MR در بهره‌برداری و نگهداری امکانات و ارائه یک چارچوب اجرایی از طریق تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی مقالات منتشر شده بین سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۲ است.
روولتی و همکاران (۲۰۲۳) [۱۸]	استفاده از واقعیت افزوده برای پشتیبانی از نگهداری زیرساخت خط شهری: مطالعه موردی	در این مقاله، یک مطالعه امکان‌سنجی واقعیت افزوده را برای پشتیبانی از تعمیر و نگهداری پروژه نصب منطقه گرمایی به‌عنوان مطالعه موردی پیشنهاد می شود. با استفاده از S.W.O.T. تجزیه و تحلیل، نقاط قوت و ضعف و همچنین فرصت‌ها و تهدیدهای واقعیت افزوده در این زمینه‌ها بررسی شد.

۹. توسعه یک رویکرد مبتنی بر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و واقعیت افزوده برای تعمیر و نگهداری

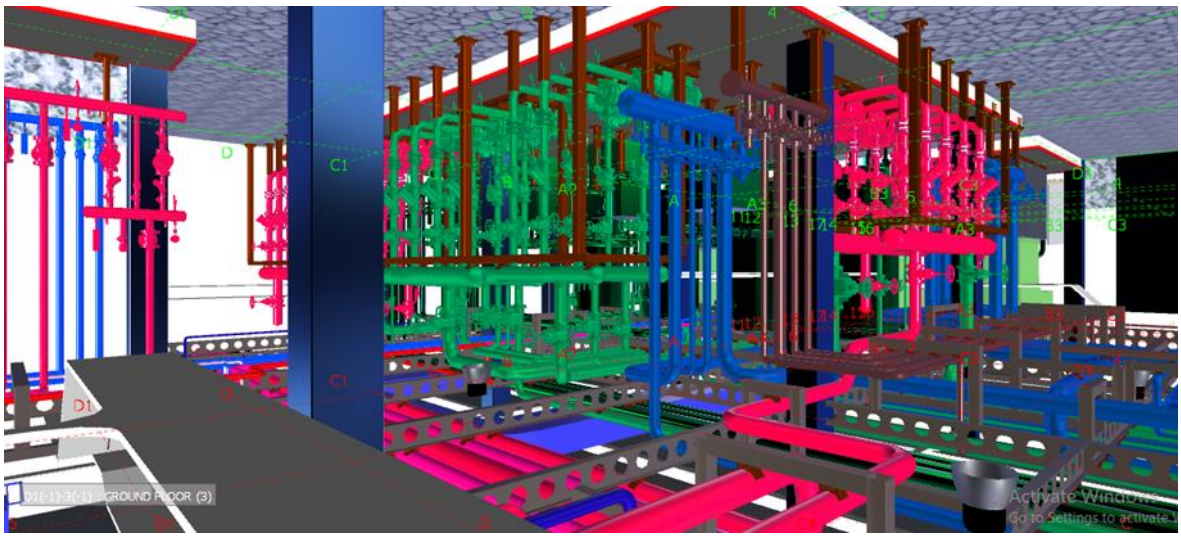
هدف اصـــلی مدیریت دارایی‌های فیزیکی حداکثر کردن ارزش یک دارایی برای ســـازمان یا بهره‌برداری مربوطه در طول چرخه عمر آن دارایی است. یکپارچه‌سازی مدل‌سازی اطلاعات ساخت و واقعیت افزوده، دارای پتانسیل بالایی در افزایش بهره‌وری مدیریت دارایی‌های فیزیکی می‌باشـند. از طرفی طبق مطالعات و بررسـی‌های انجام شـده مشـخص شـد که طراحی و پیاده‌سـازی یک سـیسـتم مبتنی بر مدل‌سازی اطلاعات ساخت و واقعیت افزوده به نحوی که مقرون به صرفه بوده و در پروژه‌های واقعی قابل پیاده‌سازی باشد، به مطالعات بی شتری نیاز دارد. ازاین‌رو در این پژوهش سعی می شود چارچوبی یکپارچه در این زمینه پی شنهاد شود که به کمک آن بتوان انجام فعالیت‌های مربوط به تعمیر و نگهداری را تسهیل کرده و بهره‌وری آنها را افزایش داد.

در این تحقیق رویکردی مبتنی بر اطلاعات ســـاختمان و واقعیت افزوده با هدف افزایش بهره‌وری مدیریت نگهداری تجهیزات ارائه می شود. یک اپلیکی شن واقعیت افزوده برای تلفن همراه با ا ستفاده از موتور بازی یونیتی برای ا ستفاده کارکنان میدانی مرکز، طراحی شده است، که با دسترسی به اطلاعات تجهیزات و دستورالعمل‌های کاری، قادر به انجام وظایف خود هستند.

در این تحقیق پس از بررســی تحقیقات قبلی و شــناســایی پارامترهای مورد نیاز در اپلیکیشــن تعمیر و نگهداری، یک اپلیکیشــن واقعیت افزوده ایجاد می‌شود. با قرار دادن تبلت یا دستگاه تلفن همراه بر روی برچسب‌های قرار گرفته بر روی تأسیسات، مدل سه‌بعدی و ق سمت‌هایی از تأ سی سات که باید طبق برنامه تعمیر و نگهداری شوند، شنا سایی شده و موقعیت آنها در مدل سه‌بعدی ن شان داده می‌شود. به این ترتیب مسئول تعمیر و نگهداری تأسیسات عملیات تعمیر را به موقع انجام می‌دهد و از خسارات مالی جلوگیری می‌شود.

۹-۱. مدل‌های سه‌بعدی

مدل‌های سه‌بعدی دیجیتالی تو سط نرم‌افزارهای موجود تر سیم می شوند. از معروف‌ترین این نرم‌افزارها در صنعت ساخت می‌توان به Revit اشــاره کرد. یکی از فاکتورهای مهم در انتخاب نرم‌افزار مدل‌ســازی ســه‌بعدی، قابلیت همکاری آن اســت. یعنی نرم‌افزار باید به گونه‌ای انتخاب شود که بتواند با سایر نرم‌افزارهای مورد استفاده تیم مدیریت و نگهداری در طول چرخه عمر پروژه، به‌طور مؤثری تبادل اطلاعات دا شته با شد. در این رویکرد پیشنهادی برای مدل سازی سه‌بعدی از نرم‌افزار رؤیت ا ستفاده می شود. فرمت‌های خروجی رؤیت به نحوی ا ست که با سایر نرم‌افزارهای مورد ا ستفاده در این چارچوب، همچون یونیتی، همخوانی بالایی دارد و تبادل اطلاعات بین آنها به راحتی امکان‌پذیر می‌باشد. مدل سه‌بعدی در شکل ۲، نشان داده شده است.



شکل ۲ . مدل سه‌بعدی (BIM)

۹-۲. اطلاعات هندسی تجهیزات

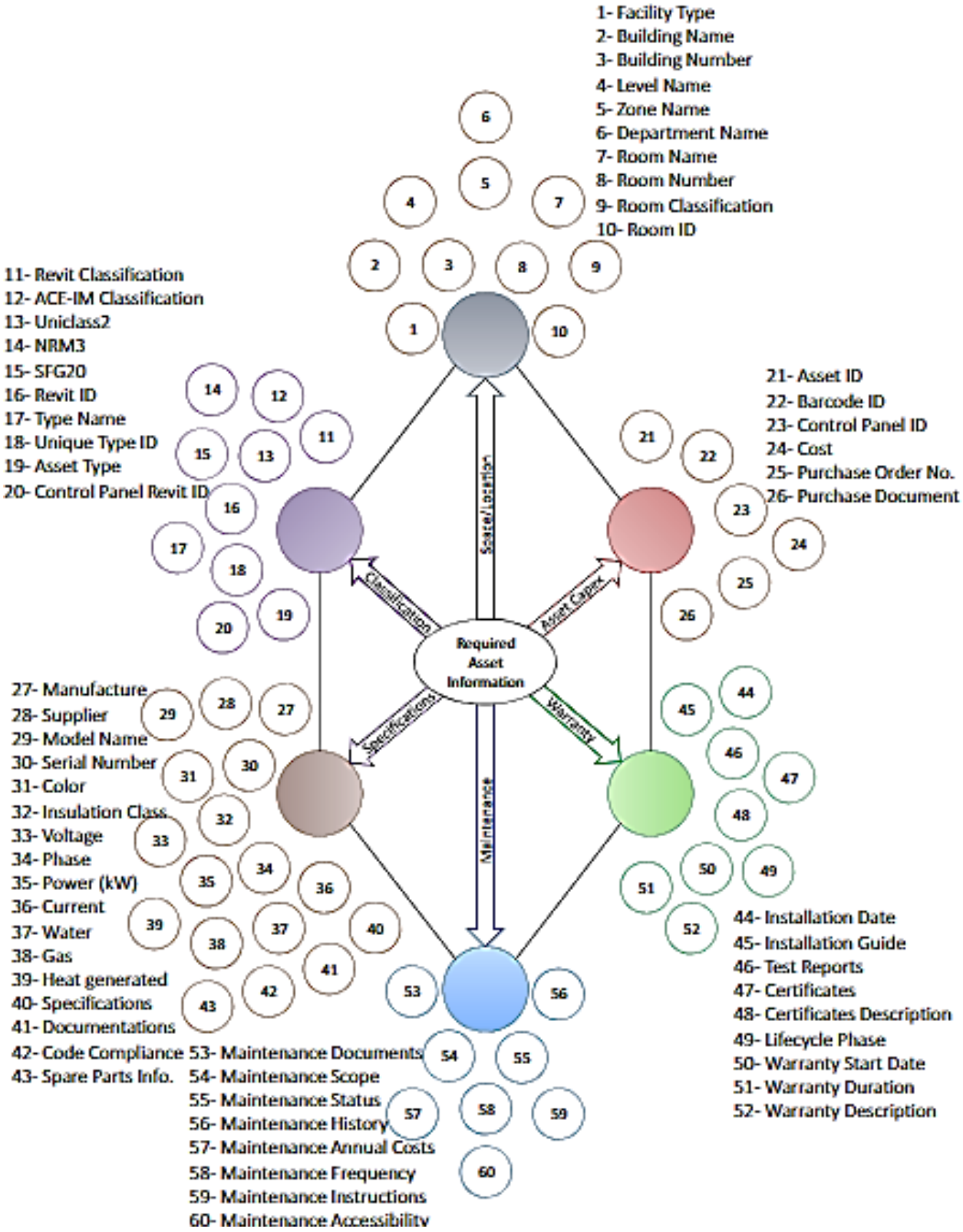
طبق بررسی‌های انجام گرفته، اطلاعات هندسی در کنار اطلاعات فنی، نقش مهمی را در مدیریت دارایی‌های فیزیکی ایفا می‌کنند. ازاین‌رو در چارچوب پیشنهادی این پژوهش قسمتی از پایگاه‌های داده را اطلاعات هندسی تجهیزات تشکیل می‌دهند. این اطلاعات شامل ابعاد و اندازه، مختصات، ساختمان، طبقه، ناحیه و اتاق است. در دسترس داشتن این اطلاعات برای تجهیزات می‌تواند با پشتیبانی از کارکردهایی همچون مسیریابی و نشانگرها، انجام فعالیت‌های نگهداری را تسهیل کند.

معمولاً این اطلاعات را می‌توان از نرم‌افزار ترسیم مدل‌های سه‌بعدی خروجی گرفت و نیاز به اقدامات اضافه‌ای برای جمع‌آوری آنها نمی‌باشد. در واقع با ترسیم هر المان، اطلاعات هندسی آن به‌طور خودکار توسط این نرم‌افزارها تولید می‌شود.

امروزه به دلیل پیچیدگی تجهیزات و دارایی‌ها و دشوارتر شدن مدیریت نگهداری آنها، در دسترس بودن اطلاعات قابل اعتماد و کافی برای انجام فعالیت‌های مربوط به مدیریت نگهداری دارایی‌ها یک امر ضروری است. مدل‌های اطلاعات ساخت در ابتدا حاوی اطلاعات مورد نیاز مدیریت نگهداری نبوده و نیاز است از رویکردهایی برای شناسایی این اطلاعات و غنی کردن مدل‌های اطلاعات ساخت آنها استفاده شود. طبق بررسی‌های صورت گرفته، می‌توان گفت مشخص کردن و نحوه به دست آوردن اطلاعات موجود در مدل‌های اطلاعات ساخت که برای مدیریت دارایی‌های فیزیکی مورد نیاز است، همچنان به‌عنوان یک چالش برای محققین باقی مانده است و راهکار مشخص و ثابتی برای آن وجود ندارد. همین‌طور طبق گفته تایکولز[۱۹] در سال ۲۰۱۸، نیاز اطلاعاتی سازمان‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. ازاین‌رو در اکثر پژوهش‌های پیشین صورت گرفته در این زمینه، به منظور شناسایی این اطلاعات از دانش خبرگان بهره‌گیری شده است. در واقع اطلاعات مورد نیاز از طریق مصاحبه‌ها و پرسشنامه‌هایی که با مدیران و متخصصین تعمیر و نگهداری انجام می‌شود، مشخص می‌شوند.

بر اساس مطالعه انجام شده[۲۰]، اطلاعات مورد نیاز و مهم که بایستی در تعمیر و نگهداری تأسیسات درنظرگرفته شوند، با استفاده از مصاحبه با متخصصان و خبرگان که در این مطالعه انجام شده است و برخی از آنها تعیین شده‌اند، مشخص می‌شوند[۲۰].

در این تحقیق نیز به منظور تعیین اطلاعات مورد نیاز در تعمیر و نگهداری تأسیسات از اطلاعات به دست آمده در پژوهش انجام شده در سال ۲۰۱۸[۲۱]، استفاده شده است. در تلاش برای پوشش شکاف دانش، این مقاله یک طبقه‌بندی دامنه را ارائه می‌دهد که برای تسهیل پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز BIM در مدیریت دارایی ایجاد شده است. تحقیق انجام شده بر اساس بررسی ادبیات، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و متمرکز گروهی می‌باشد. این طبقه‌بندی به منظور مشخص کردن اثرگذارترین پارامتر در همه حوزه‌ها و در عین حال رعایت استانداردها و مدل‌های موجود ترسیم شده است. طبقه‌بندی ایجاد شده شامل ۶۰ پارامتر طبقه‌بندی شده به شش دسته اصلی می‌باشد، که شامل، فضا/موقعیت، طبقه‌بندی، مشخصات شرایط، گارانتی، سرمایه دارایی و نگهداری است. هر دسته شامل پارامترهای مختلفی است که می‌توانند پارامترهای نمونه یا یک گروه مشخص باشد. طبقه‌بندی توسعه‌یافته نشان‌دهنده داده‌های مورد نیاز برای کاربرد مؤثر BIM برای مدیریت دارایی است. طبقه‌بندی که بر اساس داده‌های بین‌المللی است، می‌تواند تحقیقات آکادمیک بیشتر را به منظور کمک به کارهای جاری مرتبط توسط AEC و صنعت O&M تسهیل کند[۲۱]. در شکل زیر تمامی پارامترهای تعیین شده در پژوهش انجام شده[۲۱] که با استفاده از مصاحبه با متخصصین و خبرگان به دست آمده، نشان داده شده است.



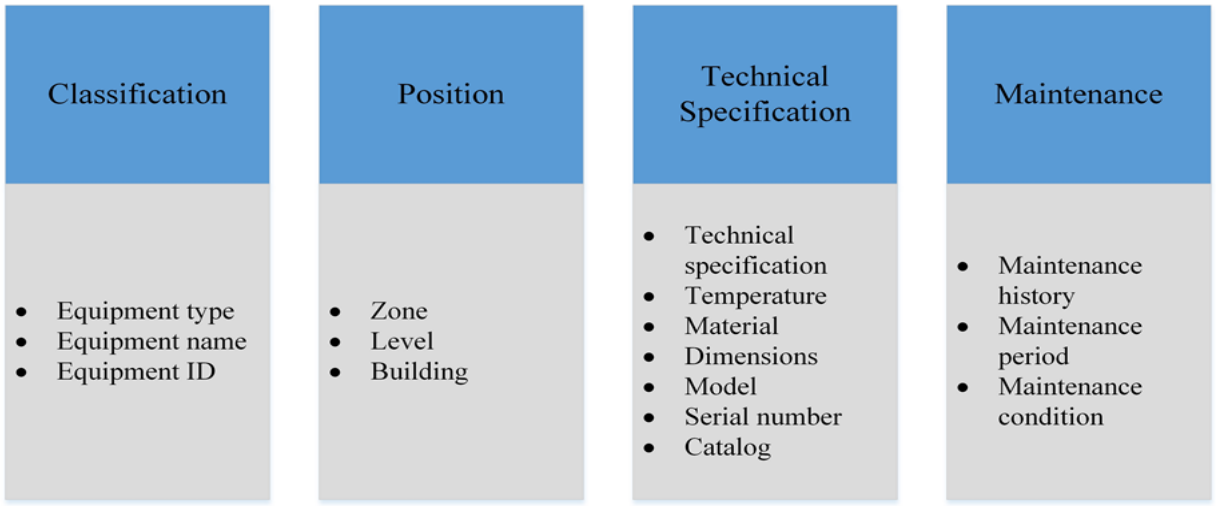
شکل ۳. پارامترهای مشخص شده در مطالعه [۲۱] با استفاده از مصاحبه با متخصصین و خبرگان

رویکرد به‌کار برده شـده در چارچوب پیشـنهادی این پژوهش برای شـناسـایی اطلاعات مورد نیاز، اسـتفاده توأم از طبقه‌بندی‌های انجام شده در مطالعات پیشین و دانش خبرگان برای مدل و تجهیزات مورد استفاده بر اساس نیازهای آن می‌باشد. بدین صورت که بر

اساس مصاحبه‌هایی که با مدیران، متخصصین و کارکنان تعمیر و نگهداری در پژوهش[۲۱] انجام شده و بر اساس اطلاعات مورد نیاز مدل اطلاعات و داده‌های مورد نیاز رویکرد پیشنهادی انتخاب می‌شوند، تعدادی از پارامترها برای انجام فعالیت‌های تعمیر و نگهداری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پارامترها شامل شناسه تجهیز، نام تجهیز، نوع تجهیز، ابعاد، مصالح، دما، توان، مشخصات فنی، کاتالوگ، مدل، شماره سریال، ساختمان، طبقه، ناحیه، قیمت، فرو شنده، تولیدکننده، سال تولید، تاریخ نصب، تاریخ شروع گارانتی، مدت گارانتی، وضعیت نگهداری، تاریخچه نگهداری و تناوب نگهداری است.

این اطلاعات باید برای تمام تجهیزات توسط تیم مهندسی مدل‌سازی اطلاعات ساخت، جمع‌آوری شده و در دسترس باشند تا در فاز تعمیر و نگهداری مورد استفاده قرار گیرند. به گفته بزرگی و همکاران[۲۲] در سال ۲۰۱۸، بهترین زمان برای جمع‌آوری اطلاعات تجهیزات در همان ابتدای پروژه، و در فاز طراحی و ساخت است. بدین‌صورت در زمان تحویل پروژه[۱۵] به تیم مدیریت نگهداری در ابتدای فاز بهره‌برداری و نگهداری، اطلاعات در دسترس هستند و نیازی به صرف زمان و نیروی‌کار برای جمع‌آوری آنها نمی‌باشد.

در این رویکرد نیز اطلاعات تجهیزات در حین ساخت پروژه و بلافاصله پس ایجاد مدل‌های سه‌بعدی پروژه در رؤیت، توسط مهندسین مدل‌سازی اطلاعات ساخت، جمع‌آوری شده و بر روی پایگاه‌های داده آنلاین قرار می‌گیرند. برای جمع‌آوری این اطلاعات از پژوهش[۲۱] که شامل مصاحبه با متخصصین است و کاتالوگ‌های تجیهزات که توسط شرکت سازنده ارائه می‌شود، استفاده می‌گردد. مدل‌های سه‌بعدی و اطلاعات به دست آمده، اولین ورودی‌های سیستم‌اند و در قسمت‌های بعدی توسعه چارچوب مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۴. اطلاعات مورد نیاز برای دارایی‌های فیزیکی

۹-۳. نرم‌افزار واقعیت افزوده

خروجی این رویکرد نرم‌افزار واقعیت افزوده است که یک برنامه مبتنی بر موقعیت مکانی و غنی از اطلاعات می‌باشد. این نرم‌افزار با در نظر گرفتن موقعیت کاربر در محیط و تجهیزات اطراف او و برچسب‌های روی تجهیزات، اطلاعات دیجیتال مورد نیاز را می‌خواند و از طریق صفحه نمایش در اختیار کاربر قرار می‌دهد. کاربران این نرم‌افزار کارکنان میدانی نگهداری‌اند که می‌توانند با استفاده از آن، دستورات کار محول شده به آنان را با سهولت بیشتر و بهره‌وری بالاتری به انجام رسانند.

در این چارچوب، برای توسعه این نرم‌افزار از موتور بازی‌سازی یونیتی استفاده شده است. نرم‌افزار مذکور برای اجرا در گوشی‌های موبایل و تبلت‌های دارای سیستم عامل اندروید طراحی شده است.

مهم‌ترین بخش یک نرم‌افزار واقعیت افزوده که از آن به‌عنوان قلب واقعیت افزوده یاد می شود روش ردیابی و تنظیم موقعیت است. ابتدا کاربر با در نظر گرفتن فاصله و سهولت دسترسی، حرکت در محیط گوشی را بر روی برچسب‌ها قرار می‌دهد. در این مرحله نرم‌افزار به صورت خودکار اقدام به شناسایی تجهیزات کرده و اطلاعات را نمایش می‌دهد.

۱۵. Hand over

۹-۳-۱. توسعه نرم‌افزار واقعیت افزوده

برای توسعه نرم‌افزار واقعیت افزوده از موتور بازی‌سازی یونیتی[۲۳] استفاده شده است. دلایل اصلی انتخاب این موتور عبارتند از:

۱) قابلیت‌های مناسب آن به‌عنوان یک ابزار توسعه بسترهای مجازی همچون واقعیت افزوده و واقعیت مجازی و اتصال آنان به پایگاه‌های داده؛

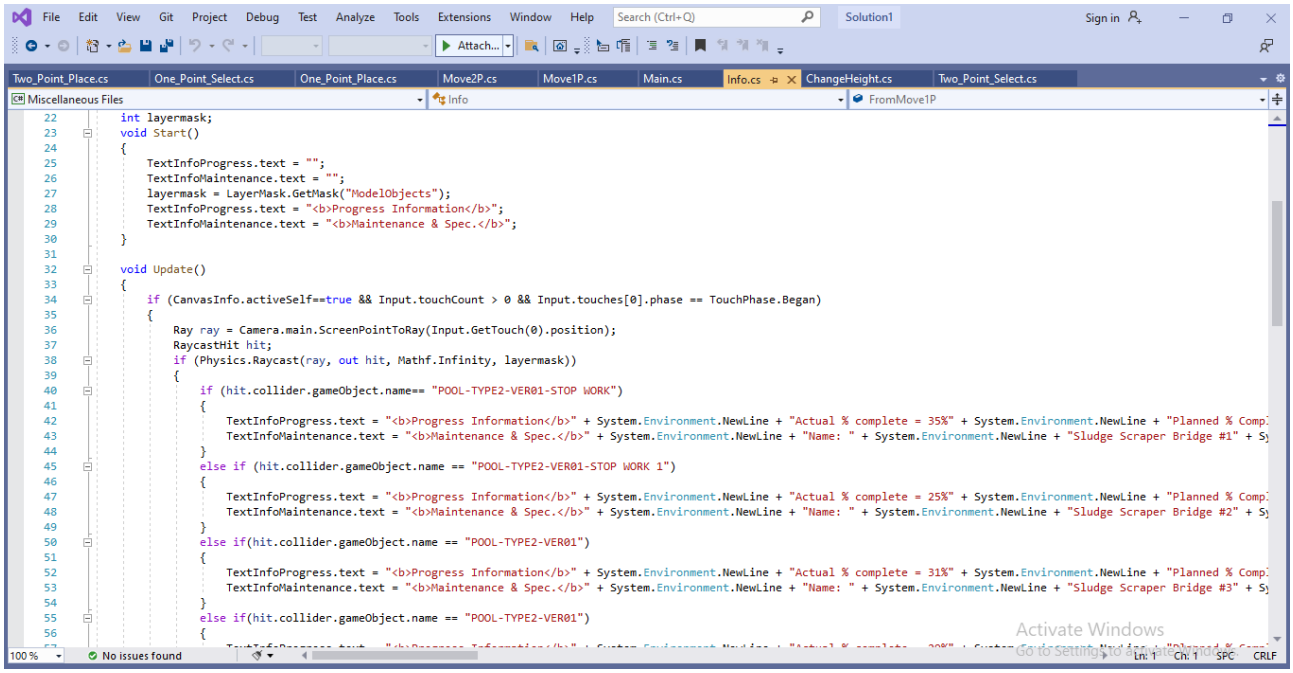
۲) پشتیبانی از طیف وسیعی از پلتفرم‌ها و سیستم‌عامل‌ها؛

۳) قابلیت همکاری بالای آن با نرم‌افزارهای مورد استفاده در این چارچوب همچون رویت، نویس‌ورکس و گوگل فایربیس؛

۴) پشتیبانی از زبان برنامه‌نویسی سی‌شارپ برای ساخت ویژگی‌های مورد نیاز.

به منظور ایجاد کارکردهای مربوط به واقعیت افزوده همچون بصری‌سازی و ردیابی و تنظیم موقعیت از بسته توسعه نرم‌افزار[۱۶] ARCore گوگل[۲۴] برای یونیتی استفاده شده است. ARCore در واقع به کمک سه قابلیت تشخیص حرکت دستگاه، شناسایی محیط اطراف و برآورد نور محیط، امکان نمایش محتویات دیجیتال را در محیط واقعی فراهم می‌کند.

در قدم اول مدل سه‌بعدی تأسیسات ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Revit MEP که یک نرم‌افزار تخصصی مدل سازی سه‌بعدی تأسیسات مکانیکی و برقی است، ایجاد می‌شود. مزیت مدل‌سازی سه‌بعدی نسبت به مدل‌های دوبعدی در این است که امکان تصویرسازی سه‌بعدی و همچنین افزودن اطلاعات متنی به صورت قابل مشاهده در مدل سه‌بعدی وجود دارد. به منظور توسعه اپلیکیشن واقعیت افزوده، بایستی مدل سه‌بعدی ساخته شده در نرم‌افزار Revit در نرم‌افزار Navisworks وارد شود و سپس مدل سه‌بعدی تجهیزات موتورخانه با فرمت fbx.، که فرمتی شناخته‌شده برای یونیتی است، از نرم‌افزار نویس‌ورکس خروجی گرفته می‌شود و در یونیتی وارد می‌شود. در ادامه برنامه‌نویسی‌های مربوطه به منظور ایجاد ویژگی‌های مورد نظر در یونیتی انجام می‌شود. برای توسعه اپلیکیشن مورد نظر بایستی در نرم‌افزار یونیتی، قابلیت‌های مورد نظر، تعریف شود. به منظور انجام قابلیت‌های مورد نظر، رابط کاربری در نرم‌افزار یونیتی ایجاد می‌شود. بدین‌منظور، در بستر برنامه‌نویسی در نرم‌افزار Visual Studio 2017 با زبان برنامه‌نویسی سی‌شارپ قابلیت‌های مختلف برای ایجاد ارتباط با نرم‌افزار یونیتی کدنویسی انجام می شود. در شکل زیر بخشی از کدنویسی‌های انجام شده به زبان سی شارپ در بستر Visual Studio نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده است، برای قابلیت‌های مختلف، Tabهای مختلف برنامه‌نویسی متناسب با قابلیت هر بخش، با زبان سی‌شارپ برنامه‌نویسی شده است.



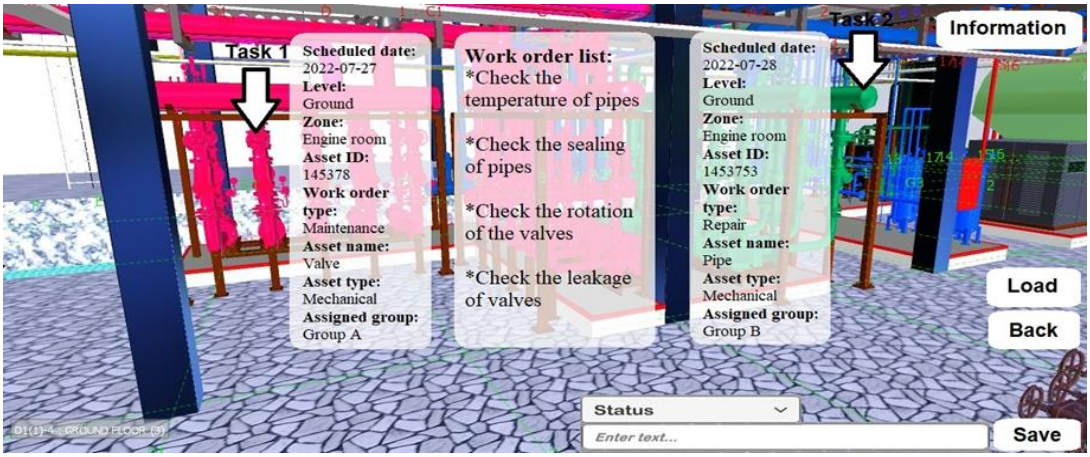
شکل ۵. بخشی از برنامه‌نویسی انجام شده در بستر نرم‌افزاری Visual Studio

۱۶. Software Development Kit (SDK)

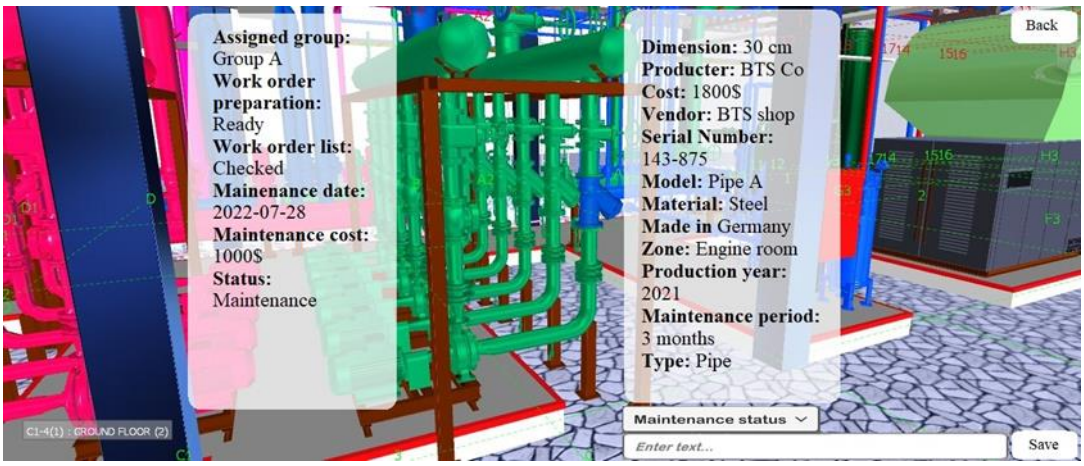
بدین‌ترتیب تنظیم موقعیت انجام شـــده و مدل به نمایش درمی‌آید. با توجه به ســـنگین بودن مدل تجهیزات و محدودیت پردازنده‌های موجود در گوشی‌ها و تبلت‌ها، معمولاً نمایش تمام تجهیزات در صفحه باعث کندی نرم‌افزار شده و نرخ فریم[۱۷] آن را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد و کاربری آن را با مشکل مواجه می‌کند. برای برطرف کردن این مشکل جعبه متنی در صفحه قرار داده شده است که توسط آن کاربر مشخص می‌کند تا چه فاصله‌ای از دوربین، تجهیزات دیجیتال نمایش داده شوند و تجهیزات دورتر از آن فاصله پردازش نشوند. با غیرفعال کردن نمایش تجهیزات دوردست، حجم محاسبات به میزان چشمگیری کاهش یافته و سرعت نرم‌افزار به حد مطلوبی می‌رسد.

با فشردن دکمه "*Tasks*" صفحه بعدی که مربوط به دستورات است باز می‌شود. با فشردن دکمه "*Load*" دستورات کار موجود در پایگاه داده فراخوانی شده و فلش‌های سفید رنگ متحرک محل تجهیزات دارای دستور کار را در موتورخانه نشان می‌دهند. با لمس کردن هر فلش اطلاعات آن دســـتور کار در پنل موجود در ســـمت چپ صـــفحه به نمایش درمی‌آید. همچنین جعبه متنی که در پایین صفحه قرار دارد امکان تغییر برخی از این اطلاعات را در صورت نیاز فراهم می‌کند.

در ادامه با فشردن دکمه "*Information*" صفحه مربوط به اطلاعات تجهیزات باز می‌شود. این صفحه مشابه قسمت قبل با لمس کردن هر تجهیز، اطلاعات آن، از پایگاه داده اطلاعات تجهیزات فراخوانی شده و در پنل سمت چپ نمایش داده می شود. امکان تغییر برخی از این اطلاعات نیز توســط جعبه متن و فشــردن دکمه "*Save*" وجود دارد. در هر صـفحه با فشـردن دکمه "*Back*" می‌توان به مرحله قبلی بازگشت. در شکل ۶ و شکل ۷ به ترتیب صفحات مربوط به دستورات کار و اطلاعات تجهیزات در نرم‌افزار واقعیت افزوده موتورخانه، به نمایش درآمده‌اند.



شکل ۶. دسترسی به دستورکارها در نرم‌افزار واقعیت افزوده موتورخانه

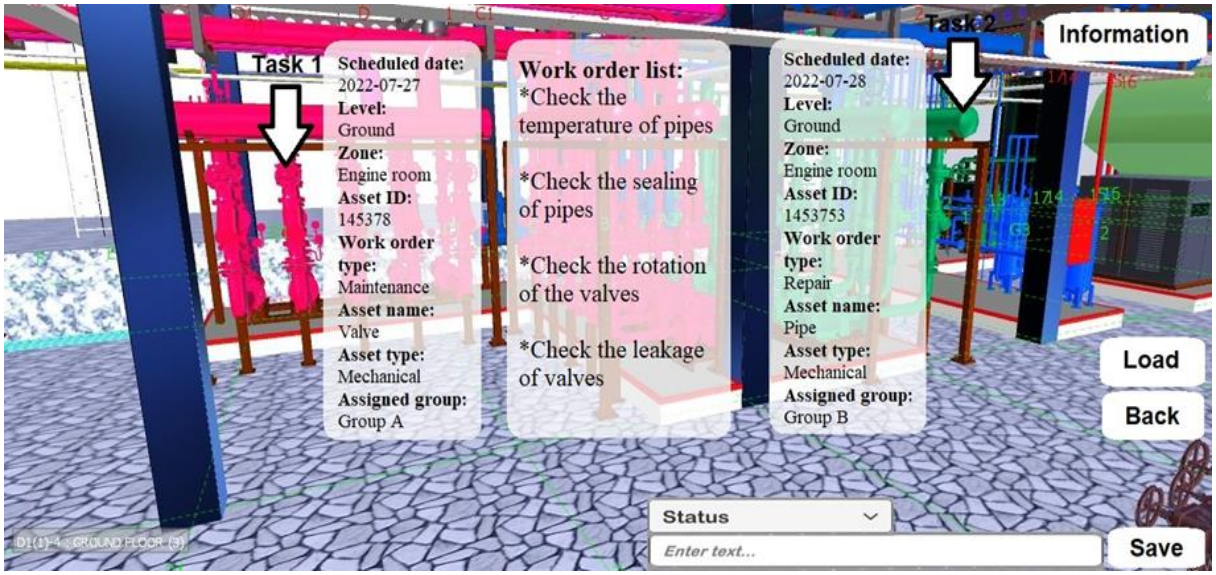


شکل ۷. دسترسی به اطلاعات تجهیزات در موتورخانه در نرم‌افزار واقعیت افزوده موتورخانه

۱۷. Frame Rate

۹-۴. نمایش دستورات کار و دسترسی به اطلاعات

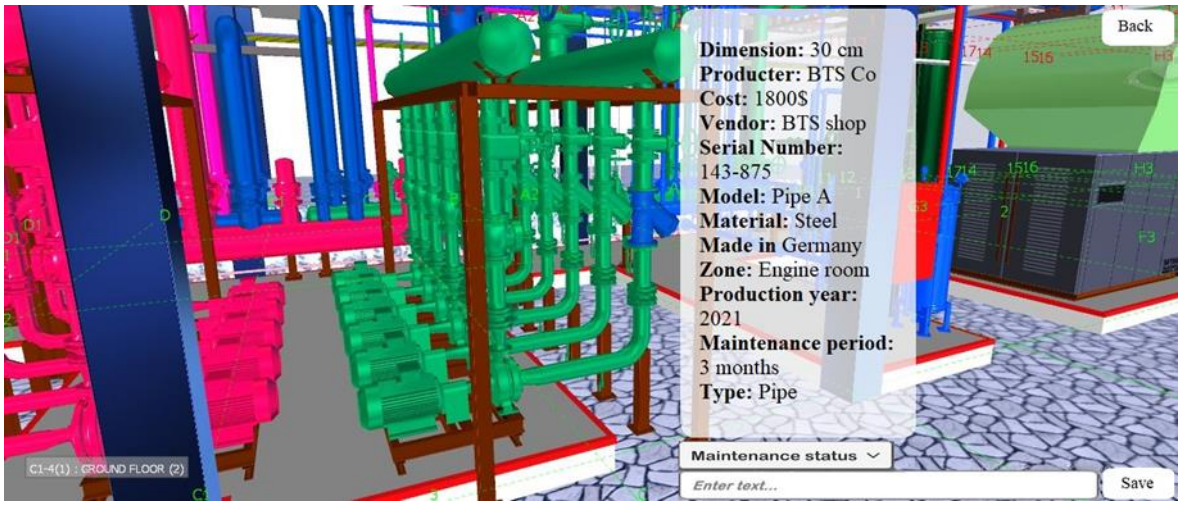
پس از تنظیم موقعیت و بصری‌سازی مدل سه‌بعدی تجهیزات، مرحله بعدی نمایش دستورات کار و اطلاعات مربوط به آنهاست. در این قسمت به منظور تسهیل شناسایی محل دستورات کار تعریف شده و مسیریابی کاربر به سمت آنها، تجهیزاتی که برای آنها دستور کار تعریف شده است مشخص می‌شوند. شکل۸، دستورات کار و اطلاعات آن را در رویکرد ارائه شده نشان می‌دهد.



شکل ۸. نمایش دستورات کار و اطلاعات آن در رویکرد ارائه شده

۹-۵. دسترسی به اطلاعات تجهیزات

طبق بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که امروزه دسترسی آسان به اطلاعات کافی و قابل اعتماد مربوط به تجهیزات جهت انجام فعالیت‌های روزانه تعمیر و نگهداری یک امر ضروری است. ازاین‌رو، در این چارچوب نیز امکان فراخوانی اطلاعات تجهیزات و نمایش آنها به کاربر فراهم شده است. بدین‌ترتیب کارکنان میدانی پس از شناسایی دستورات کار و شروع به انجام آنها، در هر مرحله از کار می‌توانند علاوه بر اطلاعات دستورات کار، اطلاعات تجهیزات را نیز مشاهده کرده و در صورت نیاز آنها را تغییر دهند. به منظور نمایش اطلاعات یک تجهیز، کافی است کاربر آن تجهیز را در صفحه گوشی یا تبلت خود لمس کند. با توجه به شناسه تجهیز لمس شده، تمام اطلاعات مربوط به آن فراخوانی شده و در تصویر صفحه به نمایش درمی‌آید. شکل ۹، صفحه دسترسی به اطلاعات تجهیزات را نشان می‌دهد.



شکل ۹. صفحه دسترسی به اطلاعات تجهیزات

۱۰. بحث و بررسی

یکی از مزایای کلیدی استفاده از AR در تعمیر و نگهداری تأسیسات، توانایی آن در ارائه دسترسی فوری تکنیسین‌ها به اطلاعات مربوطه است. به‌عنوان مثال، زمانی که یک تکنیسین در حال کار بر روی یک قطعه از تجهیزات یا ماشین‌آلات است، AR می‌تواند شماتیک‌های دیجیتال، نمودارها و دستورالعمل‌ها را بر روی میدان دید خود قرار دهد و به آنها اجازه می‌دهد تا به سرعت اجزاء را شناسایی کرده و نحوه کار آنها را درک کنند. این می‌تواند به ویژه برای سیستم‌های پیچیده مفید باشد که در آنها جابه‌جایی کتابچه‌ها یا اسناد سنتی ممکن است دشوار باشند.

علاوه بر این، AR می‌تواند کمک از راه دور به کارشناسان یا همکاران را فعال کند. از طریق عینک‌های هوشمند یا دستگاه‌های تلفن همراه با قابلیت AR، تکنیسین‌ها می‌توانند نمای زنده خود را با کارشناسان خارج از سایت به اشتراک بگذارند تا راهنمایی و پشتیبانی را در زمان واقعی ارائه کنند. این نه‌تنها به عیب‌یابی و حل مشکل کمک می‌کند، بلکه نیاز به بازدید از محل متخصصان را کاهش می‌دهد و در زمان و منابع صرفه‌جویی می‌کند.

به‌علاوه اطلاعات و راهنمایی، AR می‌تواند در آموزش تکنیسین های جدید کمک کند. با قرار دادن دستورالعمل ها یا شبیه سازی‌های گام به گام بر روی تجهیزات دنیای واقعی، AR می‌تواند به کارآموزان کمک کند تا مهارت‌های عملی را در یک محیط امن و کنترل‌شده بیاموزند. این نه‌تنها روند یادگیری را تسریع می‌کند، بلکه خطر خطا در طول آموزش را نیز کاهش می‌دهد.

یکی دیگر از مزایای استفاده از AR در تعمیر و نگهداری تسهیلات، پتانسیل آن برای نگهداری پیش‌بینی شده است. با ادغام حسگرها و دستگاه‌های اینترنت اشیاء با سیستم‌های واقعیت افزوده، تکنیسین‌ها می‌توانند داده‌های بی‌درنگ درباره عملکرد و سلامت تجهیزات را مستقیماً در محدوده دید خود دریافت کنند. این به آنها اجازه می‌دهد تا قبل از اینکه به خرابی‌های پرهزینه تبدیل شوند، به‌طور فعال مشکلات را شناسایی کنند، در نهایت باعث کاهش زمان خرابی و بهبود قابلیت اطمینان کلی تجهیزات می‌شود.

بااین‌حال، به‌رغم مزایای متعدد آن، برخی از چالش‌های مرتبط با پیاده سازی AR در تعمیر و نگهداری تسهیلات وجود دارد. یکی از موانع اصلی، هزینه استفاده از فناوری واقعیت افزوده است، از جمله سخت‌افزاری مانند عینک هوشمند یا دستگاه‌های تلفن همراه و همچنین توسعه و یکپارچه‌سازی نرم‌افزار. علاوه بر این، ممکن است از سوی تکنیسین‌هایی که با فناوری جدید ناآشنا هستند یا نسبت به آن شک دارند، مقاومت وجود داشته باشد.

همچنین هنگام استفاده از سیستم‌های واقعیت افزوده که به تجهیزات یا شبکه‌های حساس متصل هستند، نگرانی‌هایی در مورد امنیت و حفظ حریم خصوصی داده‌ها وجود دارد. اجرای اقدامات امنیتی قوی برای محافظت در برابر تهدیدات سایبری بالقوه برای سازمان‌ها بسیار مهم است.

۱۱. جمع‌بندی

ادغام فناوری‌های BIM و AR در فرایندهای تعمیر و نگهداری فرصتی متحول‌کننده برای مدیریت تسهیلات ارائه می‌کند. با استفاده از نمایش‌های مجازی با قابلیت‌های تجسم در زمان واقعی، این ادغام کارایی برنامه‌ریزی، همکاری از راه دور، جمع‌آوری داده‌ها برای تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده را افزایش می‌دهد، که در نهایت کارایی تعمیر و نگهداری کلی را در صنایع مختلف بهبود می‌بخشد.

بهره‌برداری و نگهداری طولانی‌ترین و پرهزینه‌ترین قسمت چرخه عمر یک پروژه است که مقدار قابل‌توجهی از هزینه‌های مربوط به نگهداری در این دوره به دلیل عدم وجود سیستم‌های مناسب و کارآمد هدر می‌رود. هدف اصلی مدیریت دارایی‌های فیزیکی حداکثر کردن ارزش یک دارایی برای سازمان یا بهره‌برداری مربوطه در طول چرخه عمر آن دارایی است و می‌تواند با بهره‌گیری از روش‌ها و تکنولوژی‌های نوین، بهره‌وری نگهداری را افزایش دهد. در این پژوهش یک رویکرد یکپارچه به منظور مدیریت دارایی‌های فیزیکی با تلفیق مدل‌سازی اطلاعات ساخت و واقعیت افزوده توسعه داده شد. هدف اصلی از طراحی این رویکرد استفاده از تکنولوژی‌های نوین در راستای افزایش بهره‌وری فعالیت‌های مربوط به مدیریت دارایی‌های فیزیکی نسبت به روش‌های سنتی انجام این کار می‌باشد. استفاده از ادغام BIM-AR در تعمیر و نگهداری همچنین جمع‌آوری داده‌ها را برای تجزیه و تحلیل پیش‌بینی افزایش می‌دهد. با گرفتن مداوم داده‌های بلادرنگ از حسگرهای تعبیه شده در سیستم‌ها یا تجهیزات ساختمان در طول فعالیت‌های تعمیر و نگهداری، نظارت بر روند عملکرد، تشخیص ناهنجاری‌ها و پیش‌بینی خرابی‌های احتمالی امکان‌پذیر می‌شود. این رویکرد پیشگیرانه، راهبردهای نگهداری

پیشگیرانه را امکان‌پذیر می‌کند که می‌تواند هزینه‌های مرتبط با تعمیرات واکنشی یا خرابی غیرمنتظره را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. پیشنهاد می‌گردد برای تحقیقات آتی، بر روی توسعه اپلیکیشن های واقعیت افزوده با استفاده از اتصال پایگاه‌های داده تحت وب انجام شود. بدین ترتیب این امکان پدید می آید تا مدیران به صورت آنلاین بتوانند دستورکارهای به روز شده را به کارکنان در محل کارگاه ابلاغ نمایند.

ترکیب مدل سازی اطلاعات ساختمان و واقعیت افزوده در تعمیر و نگهداری تأسیسات، رویکرد نوینی را برای مدیریت تأسیسات ایجاد کرده است. پیشنهادات برای تحقیقات آتی در این زمینه عبارتند از:

تجسم پیشرفته: توسعه برنامه‌های AR که بتوانند داده‌های BIM را مستقیماً در دنیای واقعی قرار دهند. پرسنل تعمیر و نگهداری، با هدستها یا دستگاه‌های واقعیت افزوده، می‌توانند نمای دقیقی از آنچه در پشت دیوارها، سقف‌ها یا کف‌ها وجود دارد، مانند لوله‌های برق، لوله‌کشی و اجزای ساختاری را مشاهده کنند.

کنترل از راه دور: از AR برای کنترل از راه دور بی‌درنگ استفاده شود، به‌گونه‌ای که کارشناسان بتوانند تکنیسین‌های محل را از طریق تعمیرات پیچیده با نمایش اطلاعات دیجیتال در میدان دیدشان راهنمایی کنند و نیاز به حضور فیزیکی اضافی را کاهش دهند.

زمان‌بندی تعمیر و نگهداری: پایگاه‌های اطلاعاتی BIM با دستگاه‌های واقعیت افزوده ترکیب شود تا زمانی که کارگر به یک جزء خاص نگاه می‌کند، وظایف تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده را نمایش دهد، کارایی را افزایش داده و احتمال از دست دادن تعمیر و نگهداری حیاتی را کاهش می‌دهد.

ارزیابی چرخه عمر: ارزیابی چرخه عمر با ادغام داده‌های تاریخی BIM، تجربه AR را تسهیل می‌کند و به مدیران تأسیسات اجازه می‌دهد تا تصمیمات آگاهانه‌ای در مورد تعویض در مقابل تعمیر بگیرند.

برای به فعلیت رساندن این پیشنهادات، صنعت به تلاش هماهنگ در توسعه فناوری، استانداردسازی، آموزش و تغییرات در جریان‌های کاری موجود نیاز دارد. آینده ادغام BIM و AR در تعمیر و نگهداری تسهیلات آماده ارائه راه‌های جدیدی برای نوآوری در مدیریت تسهیلات است.

منابع

[1] Z. Huang, “Application research on BIM+ AR technology in construction safety management,” in *Journal of physics: conference series*, 2020, vol. 1648, no. 4, p. 42019.

[2] D. Y. Yang and D. M. Frangopol, “Bridging the gap between sustainability and resilience of civil infrastructure using lifetime resilience,” *Routledge Handb. Sustain. Resilient Infrastruct.*, pp. 419–442, 2018.

[3] R. Rashedi and T. Hegazy, “Holistic analysis of infrastructure deterioration and rehabilitation using system dynamics,” *J. Infrastruct. Syst.*, vol. 22, no. 1, p. 4015016, 2016.

[4] J. Moubray, *Reliability-centered maintenance*. Industrial Press Inc., 2001.

[5] D. Marchese, A. Jin, C. Fox-Lent, and I. Linkov, “Resilience for smart water systems,” *J. Water Resour. Plan. Manag.*, vol. 146, no. 1, p. 2519002, 2020.

[6] F. Arif, M. E. Bayraktar, and A. G. Chowdhury, “Decision support framework for infrastructure maintenance investment decision making,” *J. Manag. Eng.*, vol. 32, no. 1, p. 4015030, 2016.

[7] A. Izaddoost, N. Naderpajouh, and G. Heravi, “Integrating resilience into asset management of infrastructure systems with a focus on building facilities,” *J. Build. Eng.*, vol. 44, p. 103304, 2021.

[8] B. Becerik-Gerber, F. Jazizadeh, N. Li, and G. Calis, “Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 138, no. 3, pp. 431–442, 2012.

[9] H. B. Cavka, S. Staub-French, and R. Pottinger, “Evaluating the alignment of organizational and project contexts for BIM adoption: a case study of a large owner organization,” *Buildings*, vol. 5, no. 4, pp. 1265–1300, 2015.

[10] J. C. P. Cheng, K. Chen, and W. Chen, “Comparison of marker-based AR and markerless AR: A case study on indoor decoration system,” in *Lean and Computing in Construction Congress (LC3): Proceedings of the Joint Conference on Computing in Construction (JC3)*, 2017, pp. 483–490.

[11] K. El Ammari and A. Hammad, “Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality,” *Autom. Constr.*, vol. 107, p. 102940, 2019.

[12] Y.-J. Chen, Y.-S. Lai, and Y.-H. Lin, “BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment,” *Autom. Constr.*, vol. 110, p. 103041, 2020.

[13] S. Chung, C.-S. Cho, J. Song, K. Lee, S. Lee, and S. Kwon, “Smart facility management system based on open bim and augmented reality technology,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 21, p. 10283, 2021.

[14] D. Mourtzis, V. Siatras, and J. Angelopoulos, “Real-time remote maintenance support based on augmented reality

(AR)," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 5, p. 1855, 2020.
[15] K. Chen, W. Chen, C. T. Li, and J. C. P. Cheng, "A BIM-based location aware AR collaborative framework for facility maintenance management.," *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 24, pp. 360–380, 2019.
[16] F. Baek, I. Ha, and H. Kim, "Augmented reality system for facility management using image-based indoor localization," *Autom. Constr.*, vol. 99, pp. 18–26, 2019.
[17] A. Salman and W. Ahmad, "Implementation of augmented reality and mixed reality applications for smart facilities management: a systematic review," *Smart Sustain. Built Environ.*, 2023.
[18] A. Revolti, P. Dallasega, F. Schulze, and A. Walder, "Augmented Reality to support the maintenance of urban-line infrastructures: A case study," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 217, pp. 746–755, 2023.
[19] P. Teicholz, Ed., *BIM for facility managers*. NJ: John Wiley and Sons, 2018.
[20] P. Teicholz, *BIM for facility managers*. John Wiley & Sons, 2013.
[21] K. Farghaly, F. H. Abanda, C. Vidalakis, and G. Wood, "Taxonomy for BIM and asset management semantic interoperability," *J. Manag. Eng.*, vol. 34, no. 4, p. 4018012, 2018.
[22] P. Pishdad-Bozorgi, X. Gao, C. Eastman, and A. P. Self, "Planning and developing facility management-enabled building information model (FM-enabled BIM)," *Autom. Constr.*, vol. 87, pp. 22–38, 2018.
[23] Unity Technologies, "Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Visualizations," *Unity Technologies*. 2020.
[24] Google, "Build new augmented reality experiences that seamlessly blend the digital and physical worlds," *Google*, 2021.