الگوهای نوین و بهینه نظارت ساختمان با بهره‌گیری از BIM، اینترنت اشیا و فناوری‌های هوشمند

حلیمه نامداری
کارشناسی ارشد عمران-ژئوتکنیک، دانشگاه صنعتی شاهرود،
ناظر سازه، عضو سازمان نظام مهندسی ساختمان استان هرمزگان
halimeh996@gmail.com

نظارت بر پروژه‌های ساختمانی نقشی اساسی در ارتقاء کیفیت، ایمنی و بهره‌وری دارد.

۱- چکیده

نظارت بر پروژه‌های ساختمانی نقشی اساسی در ارتقاء کیفیت، ایمنی و بهره‌وری دارد. ورود فناوری‌های نوین همچون BIM[۱]، IoT[۲]، AR[۳]، پهپادها و سنسورها، چشم‌انداز جدیدی برای پایش و مدیریت پروژه‌ها ترسیم کرده است. این ابزارها امکان پایش لحظه‌ای، افزایش شفافیت و کاهش خطاهای انسانی را فراهم می‌سازند. مرور پژوهش‌ها نشان می‌دهد که موضوعاتی مانند اتوماسیون نظارت، یادگیری ماشین، بینایی ماشین وDigital Twin[۴] از مهم‌ترین بخش‌های این زمینه هستند. با وجود این، چالش‌هایی نظیر استانداردسازی داده‌ها، تعامل میان سامانه‌ها و هزینه‌های پیاده‌سازی همچنان باقی مانده است. BIMبه‌عنوان هسته اصلی این تحول، قابلیت‌هایی از جمله تشخیص تداخلات، شبیه‌سازی چهاربعدی، مدیریت مدارک و تسهیل نگهداری تأسیسات را فراهم می‌کند. ترکیب آن با IoT، هوش مصنوعی و فناوری‌های نوظهور، بستری برای مدیریت یکپارچه چرخه عمر ساختمان به‌وجود می‌آورد. علاوه‌بر ابزارهای فناورانه، آموزش و توانمندسازی ناظران نقش حیاتی در کاهش خطاها و ارتقاء کیفیت اجرا دارد. آینده صنعت ساخت‌وساز در گروی همگرایی فناوری‌های هوشمند و توسعه سرمایه انسانی است. این همگرایی می‌تواند موجب افزایش شفافیت، کاهش هزینه و زمان، بهبود ایمنی و حرکت به‌سوی صنعتی دانش‌بنیان و نوآور شود. یافته‌های تحقیق بر ضرورت بومی‌سازی استانداردها و تدوین چهارچوب‌های قانونی برای تحقق نظارت هوشمند در پروژه‌های ساختمانی تأکید دارد.

۲- مقدمه

نظارت بر پروژه‌های ساختمانی یکی از عوامل کلیدی در بهبود کیفیت، ایمنی و بهره‌وری پروژه‌ها است. برنامه‌های AR برای نظارت بر ساخت‌وساز، به ردیابی محیطی در زمان واقعی و نمایش عناصر معماری متکی هستند. با این حال، سایت‌های ساخت‌وساز چالش‌هایی مانند سطوح بدون ویژگی، تغییرات پویا و drift[۵] ایجاد می‌کنند که باعث عدم هم‌ترازی بین مدل‌های دیجیتال و محیط واقعی می‌شود. برای حل این مشکل، روش‌هایی مبتنی بر BIM برای تصحیح drift ارائه شده است، که صفحات as-built[۶] محیط واقعی را با صفحات as-planned[۷] در BIM هم‌تراز می‌کنند و خطای drift را به حداقل می‌رسانند[۱].

روش‌های سنتی AR معمولاً به هم‌ترازی دستی اولیه متکی هستند و باعث افزایش تدریجی خطا می‌شوند. سیستم‌های مبتنی بر LiDAR[۸] برای بهبود موقعیت‌یابی مؤثر هستند اما محاسباتی سنگین دارند و برای برنامه‌های موبایل مناسب نیستند. دوربین‌های color depth[۹] به‌دلیل سبک بودن و قیمت مناسب، امکان هم‌ترازی مبتنی بر عمق در زمان واقعی را فراهم می‌کنند و برای دستگاه‌های قابل حمل ایده‌آل هستند[۱].

نظارت خودکار، یک فناوری پیشرفته است که امکان پایش عملکرد پروژه‌ها در زمان واقعی را فراهم می‌کند و مشکلات روش‌های سنتی مانند خطای انسانی و محدودیت زمانی را برطرف می‌سازد[۲]. این فناوری با استفاده از IoT، BIM، هوش مصنوعی و تکنیک‌های پیشرفته سنجش، به ذی‌نفعان امکان تصمیم‌گیری آگاهانه، حل سریع مسائل و بهبود کیفیت پروژه‌ها را می‌دهد[۲].

تحلیل علمی‌سنجی و مرور سیستماتیک مقالات، شکاف‌های پژوهشی، روندهای نوظهور و موضوعات کلیدی در زمینه نظارت خودکار را شناسایی کرده‌اند. حوزه‌های پژوهشی اصلی شامل مدیریت ساخت، APM[۱۰]، یادگیری ماشین، BIM، اتوماسیون، بینایی ماشین و دیجیتال توأم هستند[۲].

توسعه فناوری‌های IoT و یکپارچگی آن با فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان نقش مهمی در بهبود پایداری، هوشمندی و کارایی ساختمان‌ها دارند. این یکپارچگی امکان جمع‌آوری داده‌های آنی، بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری و افزایش دقت نظارت را فراهم می‌کند. با این حال، محدودیت‌هایی مانند استانداردسازی داده‌ها، تعامل ناکافی بین سیستم‌ها و نیاز به روش‌های بهینه‌سازی همچنان باقی است[۳]. با توجه به اهمیت پایداری و دیجیتالی شدن صنعت ساختمان، پژوهش‌های بیشتر در زمینه توسعه روش‌های نوین نظارت و یکپارچگی فناوری‌ها برای افزایش بهره‌وری، کیفیت و ایمنی پروژه‌های ساختمانی ضروری است[۱-۳].

۳- فناوری‌های نوین در نظارت ساختمان

۳-۱- تعریف BIM

BIMبه‌عنوان یک رویکرد فناورانه و داده‌محور، مجموعه‌ای

نظارت خودکار، یک فناوری پیشرفته است که امکان پایش عملکرد پروژه‌ها در زمان واقعی را فراهم می‌کند.

گسترده از مزایا را برای ذی‌نفعان پروژه‌ها فراهم می‌سازد. هماهنگی بین‌رشته‌ای را با شناسایی تداخل‌ها قبل از اجرا بهبود می‌بخشد و با اتصال مدل سه‌بعدی به زمان‌بندی و هزینه، دقت برآوردها را افزایش می‌دهد. این فناوری دوباره‌کاری را کاهش داده، کیفیت طراحی را از طریق ارزیابی پیش از ساخت ارتقا می‌دهد و مدیریت داده‌های چرخه عمر در بهره‌برداری را تسهیل می‌کند. در نظارت، سه نقش اساسی دارد: شفاف‌سازی اطلاعات فنی، پایش پیشرفت و کنترل کیفیت با بعد زمان و داده‌های اجرایی و تسهیل ارتباط و مستندسازی تغییرات و تصمیمات. این قابلیت‌ها کارایی، دقت و شفافیت نظارت را افزایش و هزینه‌ها را کاهش می‌دهند و موفقیت پروژه را بهبود می‌بخشند[۴].

۳-۱-۱- کاربرد BIM در صنعت ساخت‌وساز

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان با بهره‌گیری از مدل‌های سه‌بعدی پارامتریک، پایش لحظه‌ای پیشرفت، کیفیت و انطباق فنی پروژه را ممکن می‌سازد. این فناوری با کاهش خطا، بهبود هماهنگی و تسریع تصمیم‌گیری، شامل تشخیص تداخل‌ها، ثبت دیجیتال تغییرات، گزارش کیفیت و استفاده از (VR/AR)[11] برای بازدید و آموزش است. تحلیل داده‌ها به مدیریت ریسک، هزینه و منابع کمک کرده و باعث افزایش شفافیت، کاهش هزینه‌ها و موفقیت پروژه می‌شود[۴].

۳-۱-۲- کاربرد BIM در مدیریت پروژه‌های ساختمانی

مدس‌سازی اطلاعات ساختمان به‌عنوان ابزار جامع مدیریت پروژه، با تلفیق داده‌ها و شبیه‌سازی فرایندها، هماهنگی تیم‌ها، برنامه‌ریزی پیشرفته و کنترل کیفیت در چرخه عمر پروژه را ممکن می‌سازد. استفاده از نرم‌افزارهای یکپارچه مثل Navisworks وiTWO مدیریت مدارک، شبیه‌سازی چهاربعدی و برآورد هزینه و زمان را تسهیل می‌کند. چهارچوب عملی BIM شامل کدگذاری اجزا، انتخاب نرم‌افزار اصلی، تعیین سطح جزئیات و استانداردسازی مدل‌سازی است. در فاز ساخت، با ابزارهای برنامه‌ریزی ناب و شبیه‌سازی چهاربعدی، تداخلات را کاهش داده، ساخت پیش‌ساخته را ممکن و کیفیت اجرا را بهبود می‌دهد. ترکیب BIM با برنامه‌ریزی خط تولید نیز بازدهی و هماهنگی طراحی و اجرا را افزایش می‌دهد[۴].

▲ پل معلق Millau

۳-۱-۳- کاربرد BIM در فاز بهره‌برداری و مدیریت تأسیسات

فاز بهره‌برداری به‌عنوان طولانی‌ترین مرحله چرخه عمر ساختمان است که با BIM مدیریت می‌شود. این فناوری با ایجاد پایگاه داده هوشمند و اتصال به CMMS[12] و حسگرهای IoT، نگهداری پیشگیرانه، بهینه‌سازی انرژی، کاهش توقف‌ها و افزایش بهره‌وری را ممکن می‌سازد. مدل سه‌بعدی زنده، مدیریت فضا، مسیرهای اضطراری، آموزش کارکنان و کاهش خطاهای انسانی را بهبود می‌دهد و موجب افزایش اطمینان، کیفیت خدمات و تجربه کاربری می‌شود[۴].

۳-۱-۴- استراتژی‌های اجرای BIM

اجرای موفق مدل‌سازی اطلاعات ساختمان نیازمند تغییرات فرهنگی، سازمانی و فناوری است و فراتر از خرید نرم‌افزار است. این فرایند شامل ارزیابی وضعیت، تعیین اهداف، استقرار سیستم‌ها، تدوین استانداردها و ایجاد محیط داده مشترک می‌شود. آموزش تیم‌ها و ترویج همکاری زمینه ساز بهره‌وری است. نظارت هوشمند با اتصال داده‌های واقعی به مدل، کیفیت و کارایی را بهبود می‌بخشد. موانع اصلی شامل مقاومت فرهنگی، هزینه‌ها، کمبود تخصص و چالش‌های فنی است که مدیریت آن‌ها برای موفقیت الزامی است[۵].

۳-۱-۵- آینده ساخت‌وساز با BIM

BIM به‌عنوان فناوری تحول‌آفرین در صنعت ساختمان، با ادغام فناوری‌های نوین دیجیتال مانند داده‌های بزرگ، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و تحلیل پیش‌بینی، تصمیم‌گیری را بهبود می‌بخشد، خطاها را کاهش داده و بهره‌وری را افزایش می‌دهد. کاربرد این فناوری به فاز بهره‌برداری و نگهداری نیز گسترش یافته و با فناوری‌های مکملی مانند پهپادها برای جمع‌آوری داده‌های دقیق، اینترنت اشیا برای افزودن داده‌های زنده و واقعیت افزوده و مجازی برای نمایش و تحلیل مدل‌ها، همکاری، آموزش و تصمیم‌گیری را ارتقا می‌دهد[۴].

۳-۱-۶- نمونه پروژه‌های موفق BIM

پروژه‌های موفقی مانند بیمارستان اوورا، پل معلق Millau[13] و برج One World Trade Center[14] نشان داده‌اند که استفاده

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان با بهره‌گیری از مدل‌های سه‌بعدی پارامتریک، پایش لحظه‌ای پیشرفت، کیفیت و انطباق فنی پروژه را ممکن می‌سازد.

اجرای موفق مدل‌سازی اطلاعات ساختمان نیازمند تغییرات فرهنگی، سازمانی و فناوری است.

از مدل‌های سه‌بعدی دقیق و سیستم‌های BIM کیفیت، زمان و هزینه پروژه را بهبود می‌دهد. این پروژه‌ها با شناسایی سریع تداخلات، کاهش خطاهای ساخت، ارتقاء هماهنگی تیم‌ها و بهره‌گیری از داده‌های مدل در مدیریت و نگهداری پس از ساخت، کارایی کلی را افزایش داده‌اند؛ ویژگی مشترک آن‌ها، ترکیب داده‌های پارامتریک با آموزش نظام‌مند و همکاری مؤثر میان معماران، مهندسان و پیمانکاران است[۴].

۳-۲- پهپادها

سامانه‌های هوایی بدون سرنشین، نقشی نوین در جمع‌آوری داده‌های مکانی و مدیریت پروژه ایفا می‌کنند. این فناوری با استفاده از UAV[۱۵]، سیستم‌های ارتباطی و حسگرهای تخصصی مانند دوربین RGB، حرارتی، Lidar و GPS[۱۶]، داده‌های دقیق و پرسرعت را جمع‌آوری می‌کند که توسط نرم‌افزارهای فتوگرامتری به نقشه‌ها و مدل‌های سه‌بعدی تبدیل می‌شوند. کاربردهای اصلی شامل پایش پیشرفت، بازرسی کیفیت، برداشت سه‌بعدی، ارزیابی ایمنی و مدیریت ترافیک کارگاهی است. استفاده از پهپادها با رعایت مقررات، بهره‌وری را افزایش، هزینه‌ها را کاهش و ایمنی را بهبود می‌بخشد. موفقیت بهره‌برداری وابسته به انتخاب تجهیزات مناسب، آموزش اپراتورها و رعایت مقررات است[۶].

۳-۳- سنسورهای IoT

در اینترنت اشیا، سنسورها و شبکه‌های حسگر داده‌های محیطی و فیزیکی مانند دما، رطوبت، فشار، نور و حرکت را جمع‌آوری و به سامانه‌های پردازش ارسال می‌کنند و پایه عملکرد هوشمند در خانه‌ها و کارخانه‌های هوشمند، حمل‌ونقل، سلامت، لجستیک و مدیریت شهری پایدار هستند. ترکیب آن‌ها با محرک‌ها، برچسب‌های RFID[۱۷] و پروتکل‌های ارتباطی، پیوندی یکپارچه میان محیط فیزیکی و فضای دیجیتال ایجاد می‌کند[۷]. سنسورها در بهبود خدمات شهری مانند مدیریت هوشمند پارکینگ در Santander و Nice و روشنایی هوشمند در Padova نقش مهمی دارند، اما کاربردشان با چالش‌هایی مانند محدودیت انرژی، امنیت، حفظ حریم خصوصی و یکپارچگی داده‌ها مواجه است و نیازمند طراحی شبکه‌های حسگر دقیق و بهینه است[۸].

۴- دیجیتالی‌سازی فرایند نظارت

تحول دیجیتال در صنعت ساخت‌وساز، از طریق فناوری‌هایی مانند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، اینترنت اشیا، دستگاه‌های هوشمند و پلتفرم‌های دیجیتال، موجب افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه و زمان، بهبود دقت و شفافیت پروژه‌ها، ارتقاء هماهنگی بین ذی‌نفعان از طریق اتصال BIM به ERP[۱۸] و PLM[۱۹]، تصمیم‌گیری سریع مبتنی بر داده‌های آنی IoT همراه با امنیت بلاکچین و بهبود لجستیک و پایش کیفیت با ابزارهایی مانند Project Studio و پهپادها می‌شود[۹-۱۱]؛ موفقیت این رویکرد نیازمند آموزش، تغییر فرهنگ سازمانی و تدوین استراتژی دیجیتال جامع است[۱۰].

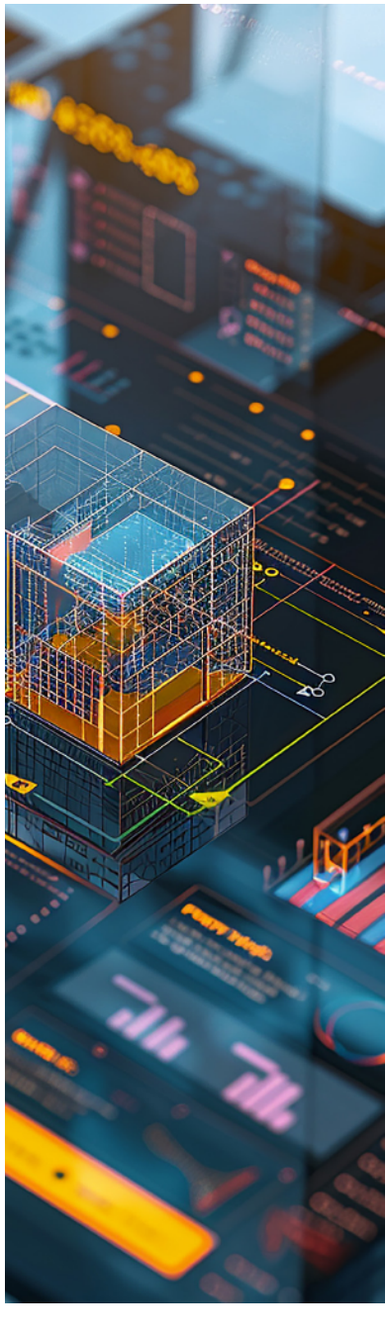
۵- استانداردسازی و بهینه سازی روش کار

استانداردسازی و بهینه‌سازی روش کار در فرایند نظارت ساختمان به‌عنوان یکی از ارکان موفقیت پروژه‌های ساختمانی، با هدف ایجاد رویه‌های یکنواخت، کاهش خطا و ارتقاء کیفیت اجرا، جایگاه ویژه‌ای دارد. BIM با ایجاد پایگاه داده دیجیتال از اجزای پروژه و تسهیل هماهنگی بین تیم‌های طراحی، اجرا و نظارت، ابزار مؤثری در این مسیر است[۴]. استاندارد بین‌المللی ISO ۱۹۶۵۰ چهارچوبی برای سازماندهی و دیجیتالی‌کردن اطلاعات پروژه‌ها و یکپارچه‌سازی مدیریت اطلاعات در سراسر چرخه عمر ساختمان ارائه می‌دهد[۱۲]. ترکیب این چهارچوب‌ها با Lean Construction[۲۰] موجب حذف اتلاف منابع و ساده‌سازی فرایندها می‌شود[۱۳]. شبیه‌سازی‌های چهار بعدی و الگوریتم‌های زمان‌بندی پیشرفته نیز با تضمین کیفیت و انطباق با برنامه زمان‌بندی، روند اجرایی را استاندارد می‌کنند[۱۴]. ادغام فناوری‌های نوین مانند IoT با فرایند نظارت، امکان پایش لحظه‌ای، ثبت داده‌ها و کنترل هوشمند پروژه را فراهم می‌سازد که در کنار زیرساخت داده‌ای BIM، مدل نظارت هوشمند و بهینه را شکل می‌دهد[۱۵]. در ایران، موفقیت این رویکردها وابسته به انطباق با مقررات داخلی نظیر آئین‌نامه کنترل و نظارت ساختمان[۱۶] و راهنمای پیاده‌سازی فناوی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های ساختمانی است[۱۷].

برج One World Trade Center

سامانه‌های هوایی بدون سرنشین، نقشی نوین در جمع‌آوری داده‌های مکانی و مدیریت پروژه ایفا می‌کنند.

در اینترنت اشیا، سنسورها و شبکه‌های حسگر داده‌های محیطی و فیزیکی مانند دما، رطوبت، فشار، نور و حرکت را جمع‌آوری و به سامانه‌های پردازش ارسال می‌کنند.



۶- رویکرد پیشگیرانه در نظارت

مدیریت ایمنی در بسیاری از پروژه‌هـای ساخت‌وساز سنتی، واکنشی و متکی بر اصلاح پس از حادثه است، در حالی‌که سیستم ایمنی مؤثر نیازمند شناسایی و کنترل ریسک‌ها پیش از وقوع است[۱۸]. رویکرد پیشگیرانه با شاخص‌های پیشرو مانند آموزش مستمر، بازرسی‌های منظم، گزارش شرایط ناایمن و تحلیل شبه حادثه‌ها، موجب کاهش حوادث و ارتقاء کیفیت اجرایی می‌شود. ناظر سازه علاوه‌بر نظارت ایمنی، نقش مهمی در توانمندسازی نیروها، الگوسازی رفتار ایمن و اصلاح فرایندها دارد. مدیریت خطـای انسـانی بـاید مبتنی بـر رویـکرد سیستمی و پذیرش خطاپذیری انسان باشد تا تاب‌آوری سازمانی افزایش یابد[۱۹].

مدل «پنیر سوئیسی» نشان می‌دهد حادثه زمانی رخ می‌دهد کـه نقاط ضعف چند لایـه دفاعـی هـم‌زمـان هـم‌راسـتا شوند. اصلاح عوامل پنهان سازمانی، همراه با پذیرش تنوع انسانی، انعطاف‌پذیری و بهبود سیستم، فرهنگ ایمنی پایدار ایجاد کرده و با ترکیب رویکرد پیشگیرانه و توانمندسازی ناظران، ریسک‌ها کاهش می‌یابد و موفقیت پروژه تضمین می‌شود[۱۸].

۷- توانمندسازی و آموزش ناظران

در دنیای امروز که پروژه‌هـای عمرانی با پیچیدگی‌های فنی، محدودیت‌های زمانی و اقتصادی و شرایط محیطی متغیر روبه‌رو هستند، نقش مهندسان ناظر و مجری حیاتی است. آموزش مستمر و کاربردی آن‌ها باعث ارتقاء کیفیت اجرا، کاهش خطاهای فنی، افزایش ایمنی و کاهش هزینه‌ها می‌شود. نظام آموزش دانشگاهی در ایران پایه علمی لازم را فراهم می‌کند، اما مهارت‌های عملی و تجربی کافی برای نظارت و اجرا منتقل نمی‌شود؛ بنابراین آموزش حین خدمت، پروژه‌محور و مستمر ضروری است. تسلط بر نرم‌افزارهای مهندسی، تحلیل عددی، گزارش‌نویسی تخصصی و مهارت‌های مدیریتی فاصله میان طراحی نظری و اجرای عملی را کاهش می‌دهد. تدوین تقویم آموزشی سالانه مبتنی بر نیاز پروژه‌ها، برگزاری دوره‌های حضوری، مجازی و کارگاهی، استفاده از شبیه‌سازی عددی و سناریوهای بحران و ترویج یادگیری سازمانی و تیم‌محور همراه با همکاری دانشگاه‌ها، دستگاه‌های اجرایی و نهادهای حرفه‌ای، کلید تحویل سازه‌های ایمن و باکیفیت به جامعه است[۲۰].

۸- جمع‌بندی

تحول نظارت ساختمانی با اتکا به فناوری‌های نوینی چون BIM، IoT، AR و پهپادها مسیر تازه‌ای برای افزایش کیفیت، ایمنی و بهره‌وری ترسیم کرده است. این ابزارها امکان پایش لحظه‌ای، کاهش خطا و بهبود هماهنگی میان ذی‌نفعان را فراهم می‌کنند.

مرور پژوهـش‌هـا نـشـان مـی‌دهـد کـه یکپارچگی داده‌هـا و دیجیتـالی‌سازی فرایندها نقشی کلیدی در ارتقاء دقت و سرعت تصمیم‌گیری دارد. اما همچنان چالش‌هایی مانند استانداردسازی، تعامل سامانه‌ها و مدیریت داده‌ها پابرجا است.

موفقیت این رویکردها علاوه‌بـر ابزارهای فناورانه، وابسته به عوامل انسانی است. آموزش مستمر ناظران، ارتقاء مهارت‌های تخصصی و تقویت فرهنگ ایمنی پیشگیرانه زمینه‌ساز بهره‌گیری کامل از این ظرفیت‌ها است.

در نهایت، آینده صنعت ساخت‌وساز در گروی ترکیب فناوری‌های هوشمند با توانمندسازی نیروی انسانی است. این همگرایی می‌تواند به پایداری، شفافیت و افزایش اعتماد در اجرای پروژه‌ها منجر شود.

۹- پی‌نوشت

۱- مدل‌سازی اطلاعات ساختمان
۲- اینترنت اشیا
۳- واقعیت افزوده
۴- دیجیتال توأم
۵- انباشت خطا
۶- وضع موجود
۷- برنامه‌ریزی شده
۸- فناوری لیدار (سامانه نقشه‌برداری نوری- راداری)
۹- دوربین‌های رنگی- عمق‌دار
۱۰- نظارت خودکار بر پروژه‌ها
۱۱- واقعیت مجازی و واقعیت افزوده
۱۲- سامانه مدیریت نگهداری و تعمیرات رایانه‌ای
۱۳- پل معلق میلو، فرانسه
۱۴- برج وان ورلد ترید، نیویورک
۱۵- وسیله هوایی بدون سرنشین

موفقیت این رویکردها وابسته به انطباق با مقررات داخلی نظیر آئین‌نامه کنترل و نظارت ساختمان و راهنمای پیاده‌سازی فناوی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های ساختمانی است.

موفقیت این رویکردها علاوه بر ابزارهای فناورانه، وابسته به عوامل انسانی است.

۱۶- سامانه موقعیت‌یابی جهانی

۱۷- شناساگر فرکانس رادیویی

۱۸- برنامه‌ریزی منابع سازمانی

۱۹- مدیریت چرخه عمر محصول

۲۰- رویکرد ساخت ناب برای کاهش اتلاف منابع و بهینه‌سازی فرایندهای ساخت

۱۰- مراجع

[۱] Bikandi, A., Shaheer, M., Bavle, H., Jevanesan, J., Voos, H., & Sanchez-Lopez, J. L. (2025). BIM-Constrained Optimization for Accurate Localization and Deviation Correction in Construction Monitoring. arXiv preprint arXiv:2504.17693.

[۲] Dalir, A. H., Pezeshki, Z., Ravanshadnia, M., Krinitsky, E., & Sultanguzin, I. A. (2025). Automatic monitoring in construction projects: Scientometric analysis and visualization of research activities. Human-Centric Intelligent Systems, 5(1), 21-43.

[۳] Chen , Y., Wang, X., Liu, Z., Cui, J., Osmani, M., & Demian, P. (2023). Exploring Building Information Modeling (BIM) and Internet of Things (IoT) Integration for Sustainable Building. Buildings, 13(2), 288. https://doi.org/10.3390/buildings13020288

[۴] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling. Wiley.

[۵] Minarčík, P., Procházka, H., & Gulan, M. (2021). Advanced Supervision of Smart Buildings Using a Novel Open-Source Control Platform. Sensors, 21(1), 160. https://doi.org/10.3390/s21010160

[۶] Irizarry, J., & Costa, D. B. (2016). Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Remote Sensing in Construction Project Management. Procedia Engineering, 123, 471-479

[۷] Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. Computer networks, 54(15), 2787-2805.

[۸] Zeng, F., Pang, C., & Tang, H. (2024). Sensors on Internet of Things systems for the sustainable development of smart cities: A systematic literature review. Sensors, 24(7), 2074. https://doi.org/10.3390/s24072074

[۹] Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The Project Benefits of Building Information Modelling (BIM). International Journal of Project Management, 31(7), 971-980

[۱۰] Koscheyev, V., Rapgof, V., & Vinogradova, V. (2019, March). Digital transformation of construction organizations. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 497(1), 012010.

[۱۱] MuhammadAliWesamSalahAlaloul, Muhammad Altaf, Digital Transformation of the Construction Industry: A Review

[۱۲] ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 1: Concepts and principles. International Organization for Standardization.

[۱۳] Tzortzopoulos, P., & Formoso, C. T. (2020). Lean Construction: Core Concepts and New Frontiers. Routledge

[۱۴] Kymmell, W. (2008). Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations. McGraw-Hill.

[۱۵] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645-1660.

[۱۶] آئین‌نامه کنترل و نظارت ساختمان. معاونت امور فنی. سازمان برنامه و بودجه کشور. ۱۳۹۴.

[۱۷] راهنمای پیاده‌سازی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در پروژه‌های ساختمانی ایران. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. ۱۴۰۰.

[۱۸] Hinze, J. (1997). Construction safety. Prentice Hall.

[۱۹] Reason, J. (2000). Human error: Models and management. BMJ, 320(7237), 768-7

[۲۰] https://civilica.com/note/13686