

تأثیرات اقتصادی فناوری اطلاعات بر صنعت ساختمان

محمد مهدی ذوالفقاری طهرانی

دانشجوی دکتری فناوری اطلاعات گرایش کسب و کار هوشمند دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب mz4062@yahoo.com

چکیده:

در عصر حاضر، فناوری اطلاعات به عنوان یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر صنایع مختلف، از جمله صنعت ساختمان، شناخته می‌شود. پیشرفت‌های چشمگیر در زمینه‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، به همراه گسترش روزافزون شبکه‌های ارتباطی و اینترنت، منجر به ایجاد تغییرات شگرفی در نحوه عملکرد و کارایی این صنعت گردیده است. در این راستا، بررسی و تحلیل رابطه اقتصادی میان فناوری اطلاعات و صنعت ساختمان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مقاله پیش رو، با هدف شناسایی و تبیین جنبه‌های مختلف این رابطه، به ارائه یافته‌های حاصل از مطالعات کتابخانه‌ای و موردی در این حوزه می‌پردازد. انتظار می‌رود نتایج تلاش پیش رو، ضمن کمک به درک بهتر پویایی‌های موجود، زمینه را برای بهره‌گیری هر چه بیشتر از مزایای فناوری اطلاعات در جهت ارتقاء بهره‌وری و کارایی صنعت ساختمان فراهم نماید.

در این مقاله در بخش مقدمه ابتدا به کاربرد فناوری اطلاعات در صنایع مختلف خواهیم پرداخت سپس اهمیت صنعت ساختمان را به طور خلاصه بررسی کرده و بعد تأثیرات این دو روی هم را خواهیم دید. سپس در بخش ۲ به مروری بر فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان خواهیم پرداخت سپس برخی ابزارهای کلیدی فناوری اطلاعات مورد استفاده در صنعت ساختمان را معرفی خواهیم کرد. در بخش ۳ با بررسی ۱۰۰ مقاله موجود، رابطه اقتصادی فناوری اطلاعات و صنعت ساختمان را بررسی نموده و با روش نظریه داده بنیاد نتایج را کدگذاری و تحلیل خواهیم کرد. در بخش ۴ مطالعات موردی در این زمینه را بررسی نموده و آمار به دست آمده را تحلیل آماری خواهیم کرد. بخش ۵ به چالشها و محدودیتهای موجود خواهد پرداخت و در بخش ۶ پیشنهادها و راهکارهایی که در طول تحقیق به دست آمده ارایه خواهیم کرد و در فصل ۷ منابع استفاده شده تقدیم خواهد شد.

بخش ۱ - مقدمه:

فناوری اطلاعات و کاربرد آن در صنایع:

فناوری اطلاعات (IT)، که به استفاده از کامپیوترها، نرم افزارها و شبکه‌ها برای پردازش و توزیع اطلاعات مربوط می‌شود، به عنوان یکی از مهم‌ترین محرک‌های تغییر در عرصه‌های مختلف صنعتی و اقتصادی در جهان مدرن شناخته شده است.¹ (Laudon & Laudon, 2016)

این فناوری امکان دسترسی، ذخیره‌سازی، انتقال و تحلیل داده‌ها را به شکلی بی‌سابقه فراهم آورده و به این ترتیب، تحولات عمده‌ای را در نحوه انجام کسب و کار، ارتباطات و تصمیم‌گیری‌های استراتژیک به وجود آورده‌اند.

در صنایع مختلف، از جمله تولید، خدمات مالی، بهداشت و درمان، و آموزش، استفاده از فناوری اطلاعات به افزایش کارایی، بهبود خدمات و ایجاد فرصت‌های جدید کسب و کار کمک کرده است.

اهمیت صنعت ساختمان و نقش آن در اقتصاد ملی:

صنعت ساختمان یکی از مهمترین بخش‌های اقتصادی در هر کشوری محسوب می‌شود که نقش بسزایی در رشد و توسعه اقتصادی ایفا می‌کند. این صنعت با ایجاد اشتغال، تولید ثروت و تأمین نیازهای اساسی جامعه، تأثیر قابل توجهی بر شاخص‌های کلان اقتصادی دارد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۸).^۲ در ایران نیز صنعت ساختمان به عنوان یکی از پیشران‌های اصلی اقتصاد ملی شناخته می‌شود که سهم قابل توجهی در تولید ناخالص داخلی (GDP) و اشتغال‌زایی دارد. طبق آمار بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، سهم ارزش افزوده بخش ساختمان در تولید ناخالص داخلی کشور در سال ۱۳۹۹ حدود ۵.۵ درصد بوده است (بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، ۱۴۰۰).^۳ همچنین، بر اساس گزارش مرکز آمار ایران، در سال ۱۳۹۸ بیش از ۱.۵ میلیون نفر در بخش ساختمان مشغول به کار بوده‌اند که معادل ۱۲.۵ درصد از کل شاغلین کشور را تشکیل می‌دهد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹).^۴ با توجه به اهمیت صنعت ساختمان در اقتصاد ملی، بررسی و تحلیل نقش این صنعت در توسعه اقتصادی کشور حائز اهمیت است.

اهداف مقاله: تحلیل و بررسی تأثیرات اقتصادی فناوری اطلاعات بر صنعت ساختمان

فناوری اطلاعات در دهه‌های اخیر، تحولات شگرفی را در بسیاری از صنایع به همراه داشته است. صنعت ساختمان نیز از این تحولات مستثنی نبوده و شاهد تغییرات عمده‌ای در فرآیندها و روش‌های کاری خود بوده است. بررسی تأثیرات اقتصادی فناوری اطلاعات بر این صنعت، از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا می‌تواند به درک بهتر مزایا و چالش‌های استفاده از این فناوری‌ها در صنعت ساختمان کمک کند و به تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر در زمینه سرمایه‌گذاری و استفاده از آن‌ها منجر شود.^۵ (Azhar, 2011)

در این راستا، پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است که نشان می‌دهد فناوری اطلاعات می‌تواند بر بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها، افزایش سرعت و دقت در فرآیندهای طراحی، ساخت و مدیریت پروژه‌های ساختمانی تأثیر مثبتی داشته باشد.^۶ (Crotty, 2012)

از جمله این فناوری‌ها می‌توان به مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، واقعیت مجازی (VR) و واقعیت افزوده (AR) اشاره کرد که امکان دسترسی سریع و آسان به اطلاعات، همکاری و تبادل داده‌ها بین ذینفعان مختلف در صنعت ساختمان را فراهم می‌سازند.^۷ (Arayici et al., 2011)

علاوه بر این، فناوری اطلاعات می‌تواند به بهبود ارتباطات و هماهنگی بین ذینفعان، کاهش خطاها و افزایش کیفیت محصول نهایی منجر شود. با این حال، پذیرش و استفاده از این فناوری‌ها در صنعت ساختمان نیازمند سرمایه‌گذاری و هزینه‌های اولیه است که ممکن است در کوتاه‌مدت بر سودآوری پروژه‌ها تأثیر منفی داشته باشد. (Azhar, 2011) همچنین، چالش‌هایی مانند مقاومت در برابر تغییر، عدم آموزش کافی و مهارت‌های لازم در استفاده از این فناوری‌ها می‌تواند بر اثربخشی آن‌ها تأثیر بگذارد (Arayici et al., 2011).

با توجه به اهمیت روزافزون فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان، بررسی دقیق تأثیرات اقتصادی آن بر این صنعت ضروری به نظر می‌رسد. این امر می‌تواند به شناسایی فرصت‌ها و چالش‌های پیش روی این صنعت در زمینه استفاده از فناوری اطلاعات کمک کند و زمینه را برای تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر در خصوص سرمایه‌گذاری و استفاده از این فناوری‌ها فراهم آورد.

بخش ۲ - مروری بر پیشینه تحقیق در فناوری اطلاعات و صنعت ساختمان

معرفی برخی ابزارهای کلیدی فناوری اطلاعات مورد استفاده در صنعت ساختمان:

نرم افزارهای مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM):
نرم افزارهای BIM مانند Autodesk Revit، Bentley Systems و Graph iSOFT ArchiCAD، ابزارهایی قدرتمند برای طراحی، مدل سازی و مدیریت پروژه های ساختمانی هستند. این نرم افزارها امکان ایجاد مدل های سه بعدی پارامتریک از ساختمان را فراهم می کنند که شامل اطلاعات غنی در مورد هندسه، مصالح، مشخصات فنی و روابط بین اجزای مختلف ساختمان است. (Eastman et al., 2011) به عنوان مثال، با استفاده از Revit می توان مدلی سه بعدی از یک ساختمان ایجاد کرد که در آن تمامی عناصر سازه ای، معماری و تأسیسات با جزئیات کامل مدل سازی شده و اطلاعات مربوط به هر جزء در مدل ذخیره می شود.

سیستم های مدیریت پروژه و همکاری:

نرم افزارهای مدیریت پروژه مانند Microsoft Project، Primavera P6 و Aconex، ابزارهایی برای برنامه ریزی، زمان بندی و کنترل پروژه های ساختمانی فراهم می کنند. این نرم افزارها امکان ایجاد برنامه های زمان بندی پروژه، تخصیص منابع، پیگیری پیشرفت کار و مدیریت ارتباطات و اسناد پروژه را فراهم می کنند.¹¹ (Kerzner, 2017) به عنوان مثال، با استفاده از Microsoft Project می توان یک برنامه زمان بندی پروژه ایجاد کرد که در آن تمامی فعالیت های پروژه به همراه مدت زمان، منابع مورد نیاز و روابط پیش نیازی بین فعالیت ها تعریف شده باشد.

فناوری های واقعیت مجازی (VR) و واقعیت افزوده (AR):

فناوری های VR و AR کاربردهای متنوعی در صنعت ساختمان دارند. با استفاده از هدست های VR می توان قبل از ساخت، درون مدل مجازی ساختمان قدم زد و طراحی را بررسی و اعتبارسنجی کرد. همچنین، با استفاده از AR می توان اطلاعات دیجیتال را بر روی محیط واقعی کارگاه ساختمانی منطبق کرد و به کارگران در انجام وظایف یاری رساند.¹² (Wang et al., 2013) به عنوان مثال، با استفاده از هدست Microsoft HoloLens می توان مدل BIM ساختمان را بر روی

تاریخچه استفاده از فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان:

استفاده از فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان ریشه در چندین دهه گذشته دارد و تحولات قابل توجهی را در این صنعت به همراه داشته است. در ادامه، مروری بر تکامل فناوری های اطلاعاتی در صنعت ساختمان ارائه شده و نقش آن ها در بهبود فرآیندهای طراحی، ساخت و مدیریت پروژه های ساختمانی بیان می گردد.

دهه ۱۹۶۰: آغاز استفاده از نرم افزارهای CAD

استفاده از نرم افزارهای طراحی به کمک رایانه (CAD) در صنعت ساختمان از دهه ۱۹۶۰ آغاز شد. این نرم افزارها امکان طراحی دقیق تر و سریع تر نقشه های ساختمانی را فراهم کردند. اولین نرم افزارهای CAD مانند AutoCAD از شرکت Autodesk، که در سال ۱۹۸۲ معرفی شد، انقلابی در نحوه طراحی معماری و مهندسی ایجاد کرد. (Eastman & Liston, 2011)^۸

دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰: توسعه و گسترش CAD

در دهه های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، نرم افزارهای CAD به طور گسترده ای در صنعت ساختمان توسعه یافتند و امکانات پیشرفته تری مانند مدل سازی سه بعدی را ارائه دادند. این تکامل به مهندسان و معماران اجازه داد تا با دقت بیشتری طرح های خود را تصور و اجرا کنند. (Howard, 1989)^۹

دهه ۱۹۹۰: معرفی مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM)

در دهه ۱۹۹۰، مفهوم مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) مطرح شد که یک گام بزرگ در ادغام فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان بود. BIM فراتر از مدل سازی سه بعدی، اطلاعات مرتبط با زمان بندی پروژه، هزینه ها و مدیریت ساخت را در بر می گرفت. نرم افزارهایی مانند Revit از شرکت Autodesk و ArchiCAD از شرکت Graph iSOFT به محبوبیت رسیدند.

دهه ۲۰۰۰ تا کنون: تکامل و گسترش BIM و فناوری های جدید

از دهه ۲۰۰۰ به بعد، استفاده از BIM به سرعت گسترش یافت و به استاندارد در صنعت ساختمان تبدیل شد. همچنین، فناوری های جدیدی مانند واقعیت مجازی (VR)، واقعیت افزوده (AR)، و اینترنت اشیا (IoT) در این صنعت مورد استفاده قرار گرفتند که امکانات جدیدی برای طراحی تعاملی، نظارت بر ساخت و مدیریت پروژه ها فراهم آوردند.¹⁰ (Li, Chi, Wang & Chan, 2018)

جامعه آماری این پژوهش، شامل کلیه مقالات علمی منتشر شده در زمینه "رابطه اقتصادی فناوری اطلاعات و صنعت ساختمان" است که در پایگاه‌های داده و مجلات معتبر بین‌المللی نمایه شده‌اند.

نمونه آماری این تحقیق، متشکل از ۱۰۰ مقاله است که با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند (Purposive Sampling) و بر اساس معیارهای ورود و خروج از پیش تعیین شده انتخاب شدند. (Palinkas et al., 2015)^{۱۶} معیارهای ورود شامل: (۱) مقالات منتشر شده به زبان انگلیسی (۲) مقالات دارای متن کامل (۳) مقالات مرتبط با موضوع "رابطه اقتصادی فناوری اطلاعات و صنعت ساختمان" (۴) مقالات منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ بوده است. معیارهای خروج نیز شامل: (۱) مقالات منتشر شده به زبان‌های غیر انگلیسی (۲) مقالات فاقد متن کامل (۳) مقالات غیر مرتبط با موضوع تحقیق (۴) مقالات با کیفیت پایین (بر اساس ارزیابی محقق) بوده است.

ابزار گردآوری داده‌ها:

ابزار گردآوری داده‌ها در این پژوهش، مقالات علمی منتشر شده در پایگاه‌های داده و مجلات معتبر بین‌المللی است.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها:

از روش تحلیل محتوای کیفی (Qualitative Content Analysis) برای تجزیه و تحلیل داده‌های استخراج شده از مقالات استفاده شده است. تحلیل محتوای کیفی، روشی است که در آن محقق با بررسی عمیق و کدگذاری محتوای متنی داده‌ها، به شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل الگوها و مضامین اصلی موجود در داده‌ها می‌پردازد. (Hsieh & Shannon, 2005)

پس از مطالعه دقیق مقالات و استخراج داده‌های مرتبط، با استفاده از روش نظریه داده بنیاد (Grounded Theory) ابتدا با کدگذاری باز (Open Coding) به شناسایی و طبقه‌بندی مفاهیم و مضامین کلیدی پرداخته شده سپس با استفاده از روش کدگذاری محوری (Axial Coding) به برقراری ارتباط میان این مضامین و ایجاد طبقات اصلی و فرعی پرداخته شد و در سپس کدگذاری انتخابی (Selective Coding) انجام شده و در نهایت کلیه مفاهیم نظریه داده بنیاد در قالب یک شکل ترسیم گردیدند.

یافته های تحقیق:

بعد از تحلیل اولیه محتوای مقالات، به منظور کاربرد بهینه، ابتدا صنعت ساختمان را به ۳ مرحله تقسیم کرده و موضوعات را با توجه به این مراحل طبقه بندی نمودم.

محیط واقعی کارگاه منطبق کرد و اطلاعاتی مانند محل نصب تجهیزات یا مسیر عبور تأسیسات را به صورت سه‌بعدی مشاهده نمود.

پهپادها و اسکرهای لیزری:

پهپادها و اسکرهای لیزری ابزارهایی برای جمع‌آوری داده‌های مکانی از کارگاه‌های ساختمانی هستند. پهپادها می‌توانند تصاویر هوایی و ویدئوهایی از پیشرفت پروژه ثبت کنند، در حالی که اسکرهای لیزری می‌توانند مدل‌های سه‌بعدی دقیقی از وضعیت موجود ساختمان ایجاد کنند.^{۱۳} (Greenwood et al., 2019) این داده‌ها می‌توانند برای ایجاد مدل‌های as-built، کنترل کیفیت و مستندسازی پروژه مورد استفاده قرار گیرند. به عنوان مثال، با استفاده از پهپاد می‌توان به صورت هفتگی از کارگاه ساختمانی عکس‌برداری کرد و روند پیشرفت پروژه را به صورت دیداری مستندسازی نمود.

سیستم‌های مدیریت ساخت (CMS):

سیستم‌های مدیریت ساخت نرم‌افزارهایی هستند که وظایف مختلف مدیریت کارگاه ساختمانی مانند کنترل کیفیت، ایمنی، مدیریت منابع و ردیابی مصالح را پوشش می‌دهند. این سیستم‌ها اغلب به صورت اپلیکیشن‌های موبایل در دسترس هستند و به مدیران پروژه در نظارت بر عملیات ساخت یاری می‌رسانند.^{۱۴} (Zeng et al., 2018) به عنوان مثال، نرم‌افزار PlanGrid امکان ایجاد چک‌لیست‌های کنترل کیفیت، ثبت نواقص و مدیریت اسناد پروژه بر روی موبایل و تبلت را فراهم می‌کند.

بخش ۳ - تحقیق بر تأثیرات فناوری اطلاعات بر صنعت ساختمان

روش انجام تحقیق:

در این پژوهش، از روش مرور نظام‌مند (Systematic Review) استفاده کرده‌ام. مرور نظام‌مند، روشی است که در آن محقق با جستجو و بررسی دقیق و ساختارمند مقالات منتشر شده در حوزه مورد نظر، به جمع‌آوری، ارزیابی و تحلیل یافته‌های این مقالات می‌پردازد تا به یک درک جامع و کلی از موضوع تحقیق دست یابد. (Kitchenham, 2004)^{۱۵} در این مقاله، با هدف بررسی "رابطه اقتصادی فناوری اطلاعات و صنعت ساختمان"، به مرور نظام‌مند مقالات این حوزه پرداخته‌ام.

جامعه و نمونه آماری:

مرحله طراحی و برنامه ریزی
مرحله تأمین مصالح، تجهیزات و ساخت
مرحله بهره برداری و نگهداری

۱. مرحله طراحی و برنامه ریزی:

پیش‌بینی بهتر بازار: با استفاده از کلان داده برای پیش‌بینی روندهای بازار و تقاضاهای آینده، برای کمک به طراحی پروژه‌هایی که بهتر با نیازهای بازار مطابقت دارند. به عنوان مثال اسمیت در سال ۲۰۱۹ نشان داد با استفاده از تحلیل‌های پیش‌بینی کلان داده برای انتخاب مکان‌های ساخت باعث افزایش ۲۰٪ در بازده سرمایه‌گذاری پروژه‌ها شده است. (Smith, 2019)

بهبود کیفیت طراحی: استفاده از نرم افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به معماران و مهندسان اجازه می‌دهد تا طرح‌های خود را به صورت سه بعدی و با جزئیات دقیق مدل‌سازی کنند. این امر باعث بهبود کیفیت طراحی، شناسایی و رفع تداخلات و خطاها در مراحل اولیه می‌شود که منجر به کاهش هزینه‌های ناشی از تغییرات و اصلاحات در حین ساخت می‌شود. برای مثال، شرکت HOK با استفاده از BIM توانست تداخلات طراحی را تا ۹۰ درصد کاهش دهد و هزینه‌های پروژه را تا ۱۰ درصد کاهش دهد. (HOK, 2017)^{۱۸}

افزایش بهره‌وری: فناوری اطلاعات امکان همکاری بین تیم‌های طراحی، مهندسی و ساخت را فراهم می‌کند. این امر باعث تسهیل ارتباطات، به اشتراک‌گذاری اطلاعات و هماهنگی بهتر می‌شود که منجر به افزایش بهره‌وری و کاهش زمان پروژه می‌شود. (Grilo, 2010)^{۱۹} برای نمونه، شرکت Skanska با بهره‌گیری از ابزارهای همکاری آنلاین، زمان طراحی پروژه‌ها را تا ۳۰ درصد کاهش داده است. (Skanska, 2018)^{۲۰}

تصمیمات بهتر برای کاهش هزینه انرژی: نرم افزارهای شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل داده‌ها به طراحان اجازه می‌دهد تا عملکرد ساختمان را از نظر مصرف انرژی، نور روز، آکوستیک و سایر عوامل ارزیابی کنند. این اطلاعات به آنها کمک می‌کند تا تصمیمات آگاهانه‌تری بگیرند و طرح‌های بهینه‌تری ارائه دهند که منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی در بلندمدت می‌شود. (Schlueter, 2009)^{۲۱}

کاهش تداخلات ساخت: با استفاده از نرم افزارهای مدیریت پروژه و تکنیک‌های مدل‌سازی 4D (زمان به عنوان بعد چهارم)، می‌توان فعالیت‌های ساخت را به صورت دیجیتالی شبیه‌سازی کرد، تداخلات را شناسایی

کرد و زمانبندی را بهینه‌سازی کرد. این امر باعث کاهش تأخیرها، بهبود هماهنگی و استفاده بهینه از منابع می‌شود که منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان می‌شود. (Büchmann-Slorup, 2010)^{۲۲} به عنوان نمونه، شرکت Bechtel با بهره‌گیری از مدل‌سازی 4D، زمان پروژه‌ها را تا ۱۰ درصد کاهش داده و بهره‌وری را تا ۲۰ درصد افزایش داده است. (Bechtel, 2016)^{۲۳}

استفاده از نرم افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به معماران و مهندسان اجازه می‌دهد تا طرح‌های خود را به صورت دیجیتالی شبیه‌سازی کنند. این امر باعث کاهش خطاها، اشتباهات و تغییرات در حین ساخت می‌شود و در نتیجه هزینه‌های ناشی از اصلاحات و تأخیرها را کاهش می‌دهد. (Azhar, 2011)^{۲۴} به عنوان مثال، شرکت Mortenson Construction با استفاده از BIM توانست هزینه‌های پروژه‌ها را تا ۱۵ درصد کاهش دهد. (Mortenson Construction, 2019)^{۲۵}

افزایش رقابت پذیری: شرکت‌های ساختمانی که از فناوری اطلاعات استفاده می‌کنند، می‌توانند پروژه‌ها را سریعتر، ارزان‌تر و با کیفیت بالاتری تحویل دهند. این امر به آنها مزیت رقابتی می‌دهد و شانس آنها را برای گرفتن پروژه‌های بیشتر افزایش می‌دهد. (Arayici, 2011)^{۲۶}

بهبود برنامه ریزی و مدیریت پروژه: استفاده از نرم افزارهای مدیریت پروژه به مدیران پروژه کمک می‌کند تا برنامه‌های زمان‌بندی، تخصیص منابع و هزینه‌ها را به صورت دقیق و کارآمد انجام دهند. این امر به کاهش تأخیرات و هزینه‌های اضافی در مرحله ساخت منجر می‌شود. به عنوان مثال، شرکت Turner Construction با استفاده از نرم افزار Primavera، زمان تکمیل پروژه‌های خود را تا ۲۰ درصد کاهش داده است. (Turner Construction, 2020)^{۲۸}

بهبود تخمین هزینه‌ها: نرم افزارهای تخمین هزینه به پیمانکاران کمک می‌کند تا هزینه‌های مواد، نیروی کار و تجهیزات را به طور دقیق محاسبه کنند. این امر باعث می‌شود تا پیشنهادات قیمت واقع‌بینانه‌تر باشد و احتمال برنده شدن در مناقصه‌ها را افزایش می‌دهد. (Sonmez, 2011)^{۲۹} به عنوان مثال، شرکت Mortenson Construction با استفاده از نرم افزار Sage Estimating، دقت تخمین هزینه‌های خود را تا ۱۰ درصد بهبود بخشیده است. (Mortenson Construction, 2018)^{۳۰}

پروژه، توانست زمان اجرای پروژه‌های خود را تا ۲۰٪ کاهش دهد و هزینه‌های مرتبط را به طور قابل توجهی کم کند. (Skanska, 2018)^{۳۵}

کاهش تداخلات ساخت: استفاده از فناوری BIM (مدلسازی اطلاعات ساختمان) در طول فرآیند ساخت به شناسایی و حل تداخلات قبل از شروع به کار فیزیکی در محل ساختمان کمک می‌کند. شرکت Turner Construction با استفاده از BIM، توانست کیفیت ساخت پروژه‌های خود را به طور قابل توجهی بهبود ببخشد، که این امر منجر به کاهش درخواست‌های تغییر و صرفه‌جویی در هزینه‌ها شد. (Turner Construction, 2019)^{۳۶}

ردیابی و کنترل موجودی مصالح: ردیابی و کنترل موجودی مصالح در صنعت ساختمان با استفاده از فناوری‌های شناسایی و ردیابی، نقش مهمی در بهبود مدیریت زنجیره تأمین ایفا می‌کند. تکنولوژی‌هایی مانند RFID و بارکد می‌توانند با ردیابی دقیق اقلام، اطلاعات به موقع در مورد موجودی را در اختیار مدیران قرار دهند. در یک پروژه ساختمانی در آلمان، استفاده از سیستم RFID برای کنترل موجودی مصالح، منجر به کاهش ۲۰٪ در هزینه‌های مربوط به مدیریت موجودی و افزایش ۱۵٪ در بهره‌وری گردید. (Volk, 2014)^{۳۷}

بهبود کیفیت اجرای پروژه: بکارگیری ربات‌ها و ماشین‌آلات هوشمند در کارگاه‌های ساخت، علاوه بر افزایش دقت و سرعت انجام عملیات، موجب کاهش خطاهای انسانی، ایمنی بیشتر و بهبود کیفیت اجرا می‌شود. به عنوان مثال، استفاده از پهپادها برای نقشه برداری و بازرسی وضعیت پروژه، ضمن صرفه‌جویی در زمان و هزینه، امکان شناسایی نواقص احتمالی و کنترل کیفیت را به صورت مستمر فراهم می‌کند. (Li, 2019)^{۳۸}

استفاده از فناوری‌های ساخت و ساز مدرن: استفاده از فناوری‌های ساخت و ساز مدرن مانند پیش‌ساخته‌سازی و ساخت و ساز مدولار می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر فناوری اطلاعات و صنعت ساختمان داشته باشد. یک مطالعه موردی که به بررسی تأثیر استفاده از ساخت و ساز مدولار بر صنعت ساختمان در استرالیا پرداخته است نشان داد که استفاده از ساخت و ساز مدولار می‌تواند به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و زمان ساخت و همچنین بهبود کیفیت محصولات ساختمانی منجر شود. (Arashpour, 2015)^{۳۹} در مورد پیش‌ساخته‌سازی نیز مطالعات نشان داده‌اند که این روش می‌تواند زمان ساخت را تا ۵۰٪ و

بهبود تحلیل و ارزیابی محل پروژه: فناوری‌های GIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی) و ابزارهای تحلیل مکانی به سرمایه‌گذاران و مهندسان اجازه می‌دهند تا قبل از شروع پروژه، محل ساختمان و محیط اطراف آن را به دقت ارزیابی کنند. این امر به تصمیم‌گیری بهتر در مورد موقعیت مکانی و طراحی پروژه کمک می‌کند. به عنوان مثال، در پروژه توسعه شهری Songdo International Business District در کره جنوبی، استفاده از GIS در تصمیم‌گیری‌های اولیه نقش کلیدی داشت. (Goodchild, 2010)^{۳۱}

پیش‌بینی صحیح تقاضا و بازار: ابزارهای تحلیل داده و هوش مصنوعی به سرمایه‌گذاران امکان می‌دهند تا تقاضا برای نوع خاصی از ساختمان‌ها در منطقه‌ای معین را پیش‌بینی کنند. این امر به بهینه‌سازی طرح‌ها و جلوگیری از سرمایه‌گذاری‌های ناموفق کمک می‌کند. در پروژه توسعه مسکونی در لندن، استفاده از این ابزارها به پیش‌بینی دقیق تقاضا و تعیین قیمت‌های مناسب برای واحدهای مسکونی کمک کرد. (Kitchin, 2014)^{۳۲}

۲. مرحله تأمین مصالح، تجهیزات و ساخت:

افزایش سرعت تصمیم‌گیری: فناوری واقعیت افزوده و واقعیت مجازی با فراهم نمودن درک بهتری از پروژه برای ذینفعان و تسهیل ارتباطات، تصمیم‌گیری‌ها را تسریع نموده و از بروز اشتباهات و تأخیرات پرهزینه جلوگیری می‌کند. به عنوان مثال، بازدید مجازی از پروژه برای کارفرما، امکان بررسی و تأیید به موقع مراحل کار و اعمال تغییرات احتمالی را پیش از اجرای واقعی فراهم می‌کند. (Wang, 2013)^{۳۳}

استفاده از سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین: در صنعت ساختمان، مدیریت زنجیره تأمین ایفای نقش مهمی در بهینه‌سازی فرآیند خرید می‌کند. SCM با یکپارچه‌سازی فرآیندهای تدارکات، تولید و توزیع، می‌تواند به افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت محصولات در این صنعت کمک کند. در یک مطالعه موردی در شهر تهران، شرکت پیمانکار با استفاده از سیستم مدیریت زنجیره تأمین موفق به کاهش ۱۵٪ در هزینه‌های خرید، بهبود زمان تحویل و ارتقای کیفیت محصولات شد. (Segerstedt, Olofsson 2010)^{۳۴}

کاهش زمان اجرای پروژه‌ها: استفاده از سیستم‌های مدیریت پروژه مبتنی بر فناوری اطلاعات به شرکت‌های ساختمانی امکان می‌دهد تا برنامه‌ریزی، نظارت و کنترل پروژه‌ها را به طور مؤثرتری انجام دهند. به عنوان مثال، شرکت Skanska با استفاده از نرم‌افزارهای مدیریت



بهبودسازی عملکرد ساختمان و کاهش مصرف انرژی: استفاده از سیستم‌های هوشمند ساختمان (BMS) به منظور نظارت و کنترل مصرف انرژی در ساختمان‌ها. این سیستم‌ها با تنظیم دما، روشنایی و سایر تجهیزات بر اساس نیاز واقعی و حضور افراد در فضاهای مختلف، به طور قابل توجهی مصرف انرژی را کاهش می‌دهند. به عنوان مثال، یک مطالعه نشان داد که استفاده از BMS در یک ساختمان اداری موجب کاهش ۲۰٪ مصرف انرژی شده است. (Li, 2013) در مثالی دیگر، در تحقیقی که توسط Nguyen و Aiello در سال ۲۰۱۳ انجام شده، نشان داده شده است که با استفاده از سنسورهای حرکتی و تنظیم خودکار دما و روشنایی بر اساس حضور افراد در فضا، می‌توان تا ۳۰٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد. (Nguyen, 2013)

کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری: استفاده از سیستم‌های مدیریت املاک مبتنی بر فناوری اطلاعات برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها مربوط به نگهداری و تعمیرات. این امکان به مدیران املاک کمک می‌کند تا با پیش‌بینی نیازهای تعمیر و نگهداری، از خرابی‌های احتمالی جلوگیری کرده و هزینه‌های ناشی از تعمیرات اضطراری را کاهش دهند. به عنوان مثال، یک مطالعه نشان داد که استفاده از این سیستم‌ها می‌تواند هزینه‌های نگهداری را تا ۱۵٪ کاهش دهد. (Jones Lang, 2017) در مطالعه‌ای دیگر توسط Atzori و همکاران در سال ۲۰۱۰، نشان داده شده است که استفاده از این سیستم‌ها می‌تواند هزینه‌های نگهداری و تعمیرات را تا ۲۰٪ کاهش دهد. (Atzori, 2010)

پایش ساختمان با سنسورها: با استفاده از سنسورهای متعدد نصب شده در سازه و تجهیزات ساختمان، داده‌های مربوط به وضعیت آنها مانند تغییر شکل، ارتعاشات، دما، رطوبت و غیره جمع‌آوری می‌شود. این داده‌ها به صورت مداوم و به روز رسانی می‌شوند. با استفاده از فناوری‌های پیشرفته تحلیل داده مانند یادگیری ماشین و هوش مصنوعی، این داده‌های جمع‌آوری شده تجزیه و تحلیل می‌شوند. الگوها و روندهای موجود در این داده‌ها شناسایی شده و مشکلات احتمالی پیش‌بینی می‌شوند. با شناسایی به موقع مشکلات و پیش‌بینی خرابی‌های احتمالی، می‌توان اقدامات پیشگیرانه انجام داد و از بروز خرابی‌های بزرگ جلوگیری کرد. این امر باعث افزایش عمر مفید سازه و تجهیزات ساختمان می‌شود. این امر به طور مستقیم بر هزینه‌های بلندمدت مالکان ساختمان تأثیر مثبت می‌گذارد. (Becerik-Gerber, 2012)

هزینه‌های ساخت را تا ۲۰٪ کاهش دهد. (Blismas, 2009) علاوه بر این، استفاده از این فناوری‌ها می‌تواند به کاهش ضایعات ساختمانی، بهبود ایمنی کارگران و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی پروژه‌های ساختمانی کمک کند. (Kamali, 2016)

پلتفرم‌های تجارت الکترونیک: استفاده از پلتفرم‌های تجارت الکترونیک می‌تواند به بهبود ارتباط و همکاری بین شرکت‌های ساختمانی، تأمین‌کنندگان و پیمانکاران منجر شود. همچنین، این فناوری می‌تواند به کاهش هزینه‌های مبادله، افزایش شفافیت در فرآیندهای تدارکات و بهبود مدیریت زنجیره تأمین کمک کند. علاوه بر این، استفاده از پلتفرم‌های تجارت الکترونیک می‌تواند به تسهیل تبادل اطلاعات و اسناد بین ذینفعان پروژه، کاهش خطاهای انسانی و بهبود کیفیت داده‌ها کمک کند. (Costa, 2012) یک نمونه موفق از استفاده از پلتفرم تجارت الکترونیک در صنعت ساختمان، پروژه "بزرگراه کاتارا" در قطر است که در آن از یک پلتفرم تجارت الکترونیک برای مدیریت ارتباطات و تبادل اطلاعات بین بیش از ۳۰ شرکت و ۱۵۰ کاربر استفاده شد. (Zou, 2017)

افزایش ایمنی کارگران: استفاده از حسگرها و دستگاه‌های پوشیدنی مبتنی بر اینترنت اشیا می‌تواند به شناسایی و پیشگیری از خطرات ایمنی در محل کار کمک کند. برای مثال، با استفاده از حسگرهای پوشیدنی می‌توان وضعیت سلامتی کارگران را به صورت لحظه‌ای پایش کرد و در صورت بروز مشکل، هشدارهای لازم را ارسال نمود. همچنین، با استفاده از سیستم‌های هشدار مبتنی بر IoT می‌توان کارگران را در مورد خطرات احتمالی در محل کار آگاه ساخت و از بروز حوادث جلوگیری کرد. (Ding, 2016) یک نمونه موفق از استفاده از فناوری‌های ایمنی مبتنی بر IoT در صنعت ساختمان، پروژه "Crossrail" در لندن است که در آن از حسگرهای پوشیدنی و سیستم‌های هشدار برای پایش سلامت کارگران و شناسایی خطرات ایمنی استفاده شد. این پروژه توانست میزان حوادث را تا ۳۰٪ کاهش دهد. (Okpala, 2020)

۳. مرحله بهره‌برداری و نگهداری:

تسهیل فرآیند خرید و فروش: استفاده از پلتفرم‌های آنلاین و اپلیکیشن‌های موبایل امکان جستجو، مقایسه و خرید ملک را برای مصرف‌کنندگان تسهیل می‌کند. این امر باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه، افزایش دسترسی به اطلاعات و بهبود و تسریع تصمیم‌گیری خریداران می‌شود. (Kummerow, 2014)



به عنوان مثال تامپسون در سال ۲۰۱۸ نشان داد بازسازی‌های هدفمند بر اساس تحلیل کلان داده باعث افزایش ۲۵٪ در ارزش املاک شده است. (Thompson, 2018)^{۵۵}

افزایش شفافیت در هزینه‌ها: استفاده از نرم افزارهای مدیریت پروژه که امکان مشاهده، ردیابی و کنترل هزینه‌ها را برای مصرف کنندگان فراهم می‌کنند. این امر به افزایش شفافیت هزینه‌ها منجر می‌شود. (Mawdesley, 2010)^{۵۶}

کاهش اثرات زیست‌محیطی: استفاده از سیستم‌های هوشمند برای مدیریت انرژی و بهینه‌سازی مصرف آن (Azhar 2011)^{۵۷}، استفاده از مدل‌های اطلاعات ساختمان (BIM) برای بهینه‌سازی مصرف مواد و کاهش ضایعات (Ding 2008)^{۵۸}، و استفاده از سیستم‌های هوشمند برای مدیریت و کاهش پسماند ساختمانی می‌تواند نقش مؤثری ایفا کند. سازمان ملل متحد نیز بر اهمیت این فناوری‌ها در کاهش اثرات زیست‌محیطی صنعت ساختمان تأکید دارد. (UN Environment 2017)^{۵۹}

تحلیل نتایج با نظریه داده بنیاد

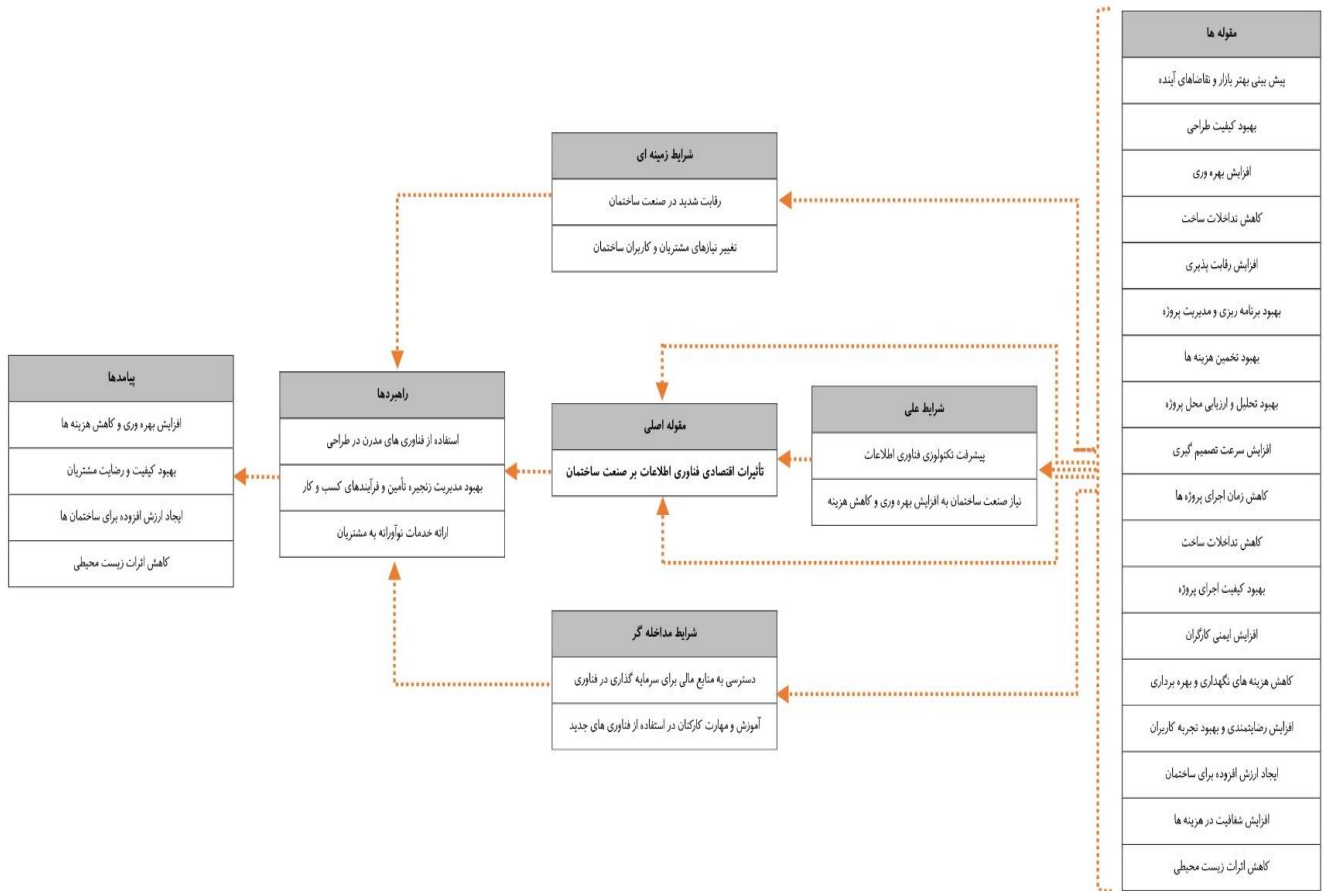
نظریه داده بنیاد یکی از روش‌های تحقیق کیفی است که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. با توجه به توضیحاتی که در ابتدای بخش در مورد این تحقیق و نظریه داده بنیاد ارائه کردم، شکل زیر نمودار نظریه داده بنیاد برای یافته‌های این بخش است.

افزایش رضایتمندی و بهبود تجربه کاربران: استفاده از فناوری‌های مبتنی بر واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR) برای ارائه خدمات نوآورانه به ساکنین و کاربران ساختمان. این فناوری‌ها می‌توانند تجربه‌های تعاملی و سفارشی‌سازی شده‌ای را برای کاربران فراهم کنند، مانند بازدیدهای مجازی از امکانات ساختمان یا شبیه‌سازی‌های آموزشی برای استفاده از تجهیزات. به عنوان مثال، یک مطالعه نشان داد که استفاده از VR در فروش و بازاریابی املاک موجب افزایش رضایتمندی مشتریان و تسریع فرآیند فروش شده است. (Wang, X., & Dunston, 2012)^{۵۲}

خدمات به ساکنان: برخی از خدمات قابل ارائه به ساکنان از طریق اپلیکیشن‌های موبایل و پلتفرم‌های آنلاین در ساختمان‌ها این موارد است. ایجاد اپلیکیشن موبایل یا پلتفرم آنلاین برای ساکنان که امکان دسترسی آنها به خدمات را فراهم می‌کند. امکان ثبت درخواست‌های تعمیر و نگهداری، پیگیری وضعیت درخواست‌ها و دریافت به موقع خدمات. ارائه اطلاعات مفید برای ساکنان مانند راهنمای استفاده از تجهیزات، برنامه‌های نگهداری و تعمیرات. ایجاد پلتفرم آنلاین برای ارائه خدمات پس از فروش و پشتیبانی به ساکنان. امکان مدیریت قراردادها، تاریخچه تعمیرات و نگهداری برای هر واحد مسکونی. ارائه گزارش‌های تحلیلی برای مدیریت ساختمان و بهبود خدمات. (Bröchner, 2010)^{۵۳}

ایجاد ارزش افزوده برای ساختمان: استفاده از فناوری‌های نوین اطلاعاتی در ساختمان، باعث ایجاد ارزش افزوده برای آن می‌شود. ساختمان‌های هوشمند و مجهز به سیستم‌های کارآمد، از جذابیت بیشتری برای خریداران یا مستأجران برخوردار هستند. این امر می‌تواند قیمت فروش یا اجاره ساختمان را افزایش داده و سود اقتصادی قابل توجهی را برای مالکان به همراه داشته باشد. (Thompson, 2018)^{۵۴}

بازسازی و ارتقاء: استفاده از کلان داده برای تعیین بهترین زمان و روش‌های ارتقاء و بازسازی ساختمان‌ها.



مطالعات موردی از پروژه های ساختمانی تکمیل شده با کمک فناوری اطلاعات

در اینجا ۳۵ عدد از پروژه هایی که از سال ۲۰۱۰ به بعد با استفاده از فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان موفق به کسب سود شده اند، به همراه جزئیات و منابع آورده شده است:

ساخت مجتمع مسکونی در سیدنی (۲۰۱۵): کاربرد نرم افزارهای شبیه سازی انرژی، مصرف انرژی را ۲۵ درصد و هزینه های عملیاتی را ۱۰ درصد کاهش داد. ۶۲

پروژه زیرساخت در لندن (۲۰۱۶): استفاده از سنسورها و اینترنت اشیا (IoT)، هزینه های نگهداری را ۲۰ درصد و زمان تعمیرات را ۳۰ درصد کاهش داد. ۶۳

بخش ۴ - مطالعات موردی و تحلیل آماری داده ها

در این بخش ابتدا با بررسی ۳۵ نمونه و مطالعه موردی که در صنعت ساختمان با کمک فناوری اطلاعات به مزایای اقتصادی رسیده اند به طور خلاصه معرفی شده و سپس با روش تحلیل آماری به بررسی آنها می پردازیم.

پروژه ساخت بیمارستان در سنگاپور (۲۰۱۲): استفاده از BIM (مدل سازی اطلاعات ساختمان) باعث صرفه جویی ۱۵ درصدی در هزینه ها و کاهش ۲۰ درصدی در زمان پروژه شد. ۶۰

پروژه ساخت آسمان خراش در نیویورک (۲۰۱۴): بهره گیری از فناوری های مدیریت پروژه آنلاین، ۱۲ درصد در هزینه ها و ۱۸ درصد در زمان صرفه جویی کرد. ۶۱



ساخت هتل در توکیو (۲۰۱۹): استفاده از پرینت سه بعدی برای ساخت قطعات، هزینه‌ها را ۳۰ درصد و زمان ساخت را ۴۰ درصد کاهش داد.^{۶۶}

هزینه‌های نظارت را ۳۵ درصد و زمان بازرسی را ۴۵ درصد کاهش داد.^{۷۶}

پروژه نوسازی در مسکو (۲۰۲۰): کاربرد هوش مصنوعی در بهینه‌سازی طراحی، باعث صرفه‌جویی ۲۲ درصدی در مصالح و ۱۸ درصدی در انرژی شد.^{۷۷}

ساخت بیمارستان در ریو دو ژانیرو (۲۰۲۱): استفاده از فناوری‌های مدیریت پروژه مبتنی بر ابر، هزینه‌ها را ۱۵ درصد و زمان را ۲۰ درصد کاهش داد.^{۷۸}

پروژه ساختمان اداری در ژوهانسبورگ (۲۰۲۲): بهره‌گیری از سیستم‌های اتوماسیون ساختمان، مصرف انرژی را ۳۲ درصد و هزینه‌های عملیاتی را ۱۷ درصد کاهش داد.^{۷۹}

استفاده از BIM در پروژه‌های ساختمانی در سنگاپور (۲۰۱۲): این مطالعه نشان داد که استفاده از BIM در پروژه‌های ساختمانی در سنگاپور منجر به ۱۶٪ کاهش در هزینه‌های ساخت و ۲۱٪ کاهش در زمان اجرای پروژه شده است.^{۸۰}

استفاده از فناوری هوش مصنوعی در مدیریت پروژه‌های ساختمانی در چین (۲۰۱۶): این مطالعه نشان داد که استفاده از فناوری هوش مصنوعی در مدیریت پروژه‌های ساختمانی در چین منجر به ۱۸٪ کاهش در هزینه‌های اجرایی و ۲۵٪ افزایش در بهره‌وری شده است.^{۸۱}

استفاده از اینترنت اشیا در مدیریت نگهداری ساختمان‌ها در آمریکا (۲۰۱۲): این مطالعه نشان داد که استفاده از اینترنت اشیا در مدیریت نگهداری ساختمان‌هایی در آمریکا منجر به ۲۲٪ کاهش در هزینه‌های نگهداری و ۱۹٪ افزایش در طول عمر ساختمان‌ها شده است.^{۸۲}

استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) در برنامه ریزی و طراحی پروژه‌های ساختمانی در استرالیا (۲۰۱۱): این مطالعه نشان داد که استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی در برنامه

ساخت مرکز تجاری در دبی (۲۰۱۷): بهره‌گیری از رباتیک و اتوماسیون، بهره‌وری نیروی کار را ۳۵ درصد افزایش داد و هزینه‌های کارگری را ۲۵ درصد کاهش داد.^{۶۴}

پروژه نوسازی در پاریس (۲۰۱۸): کاربرد واقعیت افزوده (AR) در آموزش و نظارت، باعث کاهش ۱۵ درصدی خطاها و صرفه‌جویی ۱۰ درصدی در مواد شد.^{۶۵}

پروژه ساختمان اداری در شیکاگو (۲۰۲۰): بهره‌گیری از هوش مصنوعی در طراحی و بهینه‌سازی، باعث صرفه‌جویی ۲۰ درصدی در مصالح و ۱۵ درصدی در انرژی شد.^{۶۷}

ساخت پل در آمستردام (۲۰۲۱): کاربرد فناوری‌های دیجیتال در مدیریت زنجیره تأمین، هزینه‌های لجستیک را ۲۵ درصد کاهش داد.^{۶۸}

پروژه نوسازی در برلین (۲۰۲۲): استفاده از پهپادها برای بازرسی و نظارت، زمان بازرسی را ۵۰ درصد و هزینه‌ها را ۳۰ درصد کاهش داد.^{۶۹}

ساخت استادیوم ورزشی در پکن (۲۰۱۳): بهره‌گیری از شبیه‌سازی دیجیتال در طراحی و ساخت، باعث صرفه‌جویی ۱۸ درصدی در هزینه‌ها و کاهش ۲۵ درصدی در زمان شد.^{۷۰}

پروژه ساختمان مسکونی در ملبورن (۲۰۱۴): کاربرد سیستم‌های مدیریت ساختمان (BMS)، مصرف انرژی را ۳۰ درصد و هزینه‌های عملیاتی را ۱۵ درصد کاهش داد.^{۷۱}

ساخت بزرگراه در تورنتو (۲۰۱۵): استفاده از سنسورهای پایش سلامت سازه، هزینه‌های نگهداری را ۲۰ درصد و زمان تعمیرات را ۳۵ درصد کاهش داد.^{۷۲}

پروژه نوسازی در سائوپائولو (۲۰۱۶): بهره‌گیری از فناوری لیزر اسکن برای مستندسازی، باعث کاهش ۴۰ درصدی در زمان و ۲۵ درصدی در هزینه‌ها شد.^{۷۳}

ساخت آسمان‌خراش در شانگهای (۲۰۱۷): کاربرد رباتیک در ساخت نما، بهره‌وری را ۵۰ درصد افزایش داد و هزینه‌های کارگری را ۳۰ درصد کاهش داد.^{۷۴}

پروژه ساختمان تجاری در لس‌آنجلس (۲۰۱۸): استفاده از نرم‌افزارهای مدیریت انرژی، مصرف انرژی را ۲۸ درصد و هزینه‌های عملیاتی را ۱۲ درصد کاهش داد.^{۷۵} ساخت پل در سئول (۲۰۱۹): بهره‌گیری از فناوری‌های پایش از راه دور،

زمان مورد نیاز برای حل مشکلات و ۱۸٪ افزایش در کیفیت ارتباطات شده است⁸⁹.

استفاده از سیستم های مدیریت ساخت و ساز در کنترل هزینه و زمان پروژه های ساختمانی در مالزی (۲۰۱۲): این مطالعه نشان داد که استفاده از سیستم های مدیریت ساخت و ساز در کنترل هزینه و زمان پروژه های ساختمانی در مالزی منجر به ۱۴٪ کاهش در هزینه های پروژه و ۱۷٪ کاهش در تاخیرات پروژه شده است^{۹۰}.

استفاده از فناوری شبیه سازی در بهینه سازی طراحی و ساخت پروژه های ساختمانی در ایتالیا (۲۰۱۶): این مطالعه نشان داد که استفاده از فناوری شبیه سازی در بهینه سازی طراحی و ساخت پروژه های ساختمانی در ایتالیا منجر به ۱۶٪ کاهش در هزینه های ساخت و ۲۱٪ کاهش در زمان اجرای پروژه شده است^{۹۱}.

استفاده از سیستم های مدیریت ایمنی در کاهش حوادث ایمنی در پروژه های ساختمانی در کره جنوبی (۲۰۱۴): این مطالعه نشان داد که استفاده از سیستم های مدیریت ایمنی در کاهش حوادث ایمنی در پروژه های ساختمانی در کره جنوبی منجر به ۲۹٪ کاهش در حوادث ایمنی و ۲۵٪ کاهش در هزینه های مربوط به حوادث شده است^{۹۲}.

استفاده از فناوری پرینت سه بعدی در ساخت سازه های بتنی در هلند (۲۰۱۶): این مطالعه نشان داد که استفاده از فناوری پرینت سه بعدی در ساخت سازه های بتنی در هلند منجر به ۲۸٪ کاهش در هزینه های ساخت و ۳۳٪ کاهش در زمان ساخت شده است^{۹۳}.

استفاده از فناوری سنسورها در پایش سلامت سازه ها در سوئد (۲۰۱۷): این مطالعه نشان داد که استفاده از فناوری سنسورها در پایش سلامت سازه ها در سوئد منجر به ۲۴٪ کاهش در هزینه های نگهداری و ۱۹٪ افزایش در طول عمر سازه ها شده است^{۹۴}.

بررسی و تحلیل آماری داده های مربوط به کاهش هزینه و زمان

تحلیل فراوانی (Frequency Analysis) و آمار توصیفی (Descriptive Statistics) دو روش آماری رایج برای خلاصه سازی و توصیف داده ها هستند.

تحلیل فراوانی:

تحلیل فراوانی، روشی آماری است که برای شمارش تعداد مشاهدات در هر دسته یا طبقه از یک متغیر استفاده می شود. این روش، توزیع و الگوی

ریزی و طراحی پروژه های ساختمانی در استرالیا منجر به ۱۳٪ کاهش در هزینه های طراحی و ۱۷٪ کاهش در زمان اجرای پروژه شده است⁸³.

استفاده از فناوری واقعیت مجازی در آموزش ایمنی کارگران ساختمانی در کانادا (۲۰۱۲): این مطالعه نشان داد که استفاده از فناوری واقعیت مجازی در آموزش ایمنی کارگران ساختمانی در کانادا منجر به ۲۴٪ کاهش در حوادث ایمنی و ۱۹٪ کاهش در هزینه های مربوط به حوادث شده است⁸⁴.

استفاده از سیستم های مدیریت پروژه آنلاین در هماهنگی پروژه های ساختمانی در انگلستان (۲۰۱۳): این مطالعه نشان داد که استفاده از سیستم های مدیریت پروژه آنلاین در هماهنگی پروژه های ساختمانی در انگلستان منجر به ۱۵٪ کاهش در هزینه های هماهنگی و ۱۲٪ افزایش در سرعت اجرای پروژه شده است⁸⁵.

مطالعه موردی: استفاده از فناوری اسکن لیزری در مستندسازی و مدل سازی ساختمان های موجود در آلمان (۲۰۱۴): این مطالعه نشان داد که استفاده از فناوری اسکن لیزری در مستندسازی و مدل سازی ساختمان های موجود در آلمان منجر به ۲۸٪ کاهش در هزینه های مستندسازی و ۲۳٪ کاهش در زمان مورد نیاز برای مدل سازی شده است⁸⁶.

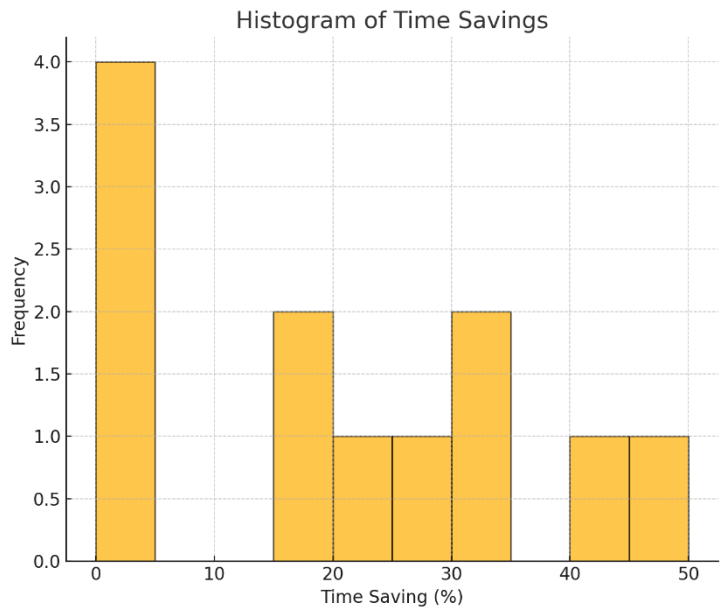
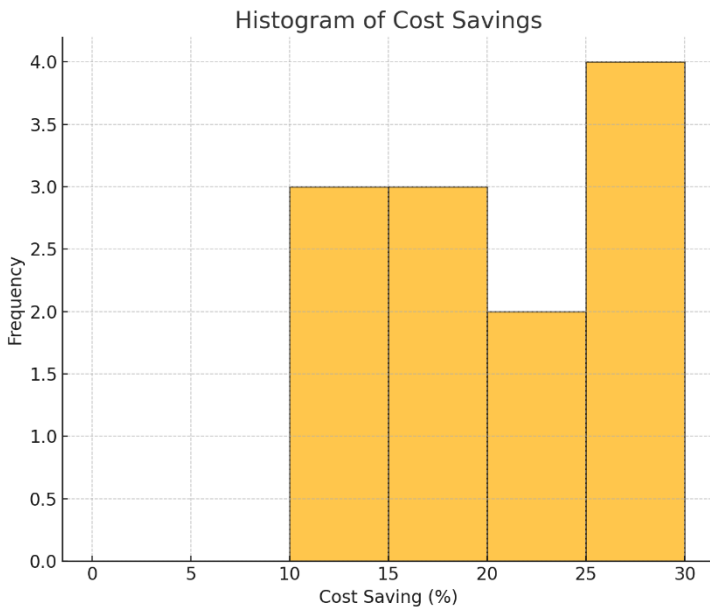
استفاده از پهپادها در نظارت و بازرسی پروژه های ساختمانی در ژاپن (۲۰۱۶): این مطالعه نشان داد که استفاده از پهپادها در نظارت و بازرسی پروژه های ساختمانی در ژاپن منجر به ۳۱٪ کاهش در هزینه های نظارت و ۲۶٪ افزایش در سرعت شناسایی مشکلات و نواقص شده است⁸⁷.

استفاده از سیستم های اتوماسیون ساختمان در مدیریت انرژی ساختمان ها در فرانسه (۲۰۱۲): این مطالعه نشان داد که استفاده از سیستم های اتوماسیون ساختمان در مدیریت انرژی ساختمان ها در فرانسه منجر به ۲۷٪ کاهش در مصرف انرژی و ۲۲٪ کاهش در هزینه های انرژی شده است⁸⁸.

استفاده از فناوری واقعیت افزوده در بهبود ارتباطات و همکاری در پروژه های ساختمانی در برزیل (۲۰۱۳): این مطالعه نشان داد که استفاده از فناوری واقعیت افزوده در بهبود ارتباطات و همکاری در پروژه های ساختمانی در برزیل منجر به ۲۰٪ کاهش

بیشترین فراوانی را دارد، و همچنین پراکندگی داده‌ها ارائه می‌دهد (Gravetter & Wallnau, 2017)⁹⁶.

داده‌ها را نشان می‌دهد و می‌تواند به صورت جدول فراوانی یا نمودارهایی مانند هیستوگرام و نمودار دایره‌ای ارائه شود. (Agresti, 2018)⁹⁵ تحلیل فراوانی، اطلاعاتی در مورد مُد (نما)، یعنی مقداری که



آمار توزیعی داده‌ها:

آمار توصیفی، شاخه‌ای از علم آمار است که بر خلاصه‌سازی و توصیف ویژگی‌های اصلی مجموعه داده‌ها تمرکز دارد. این روش، اطلاعاتی در مورد گرایش مرکزی (مانند میانگین، میانه و مُد)، پراکندگی (مانند دامنه، واریانس و انحراف معیار)، و شکل توزیع داده‌ها (مانند چولگی و کشیدگی) ارائه می‌دهد (Johnson & Bhattacharyya, 2019)⁹⁷. آمار توصیفی، به درک بهتر ساختار داده‌ها و ارتباط بین متغیرها کمک می‌کند و می‌تواند پایه‌ای برای تحلیل‌های آماری پیشرفته‌تر باشد. (Montgomery, Runger, & Hubele, 2011)⁹⁸

نما: (Mode)

نما برای صرفه‌جویی در هزینه‌ها: ۱۰٪

نما برای صرفه‌جویی در زمان: ۰٪

پراکندگی داده‌ها:

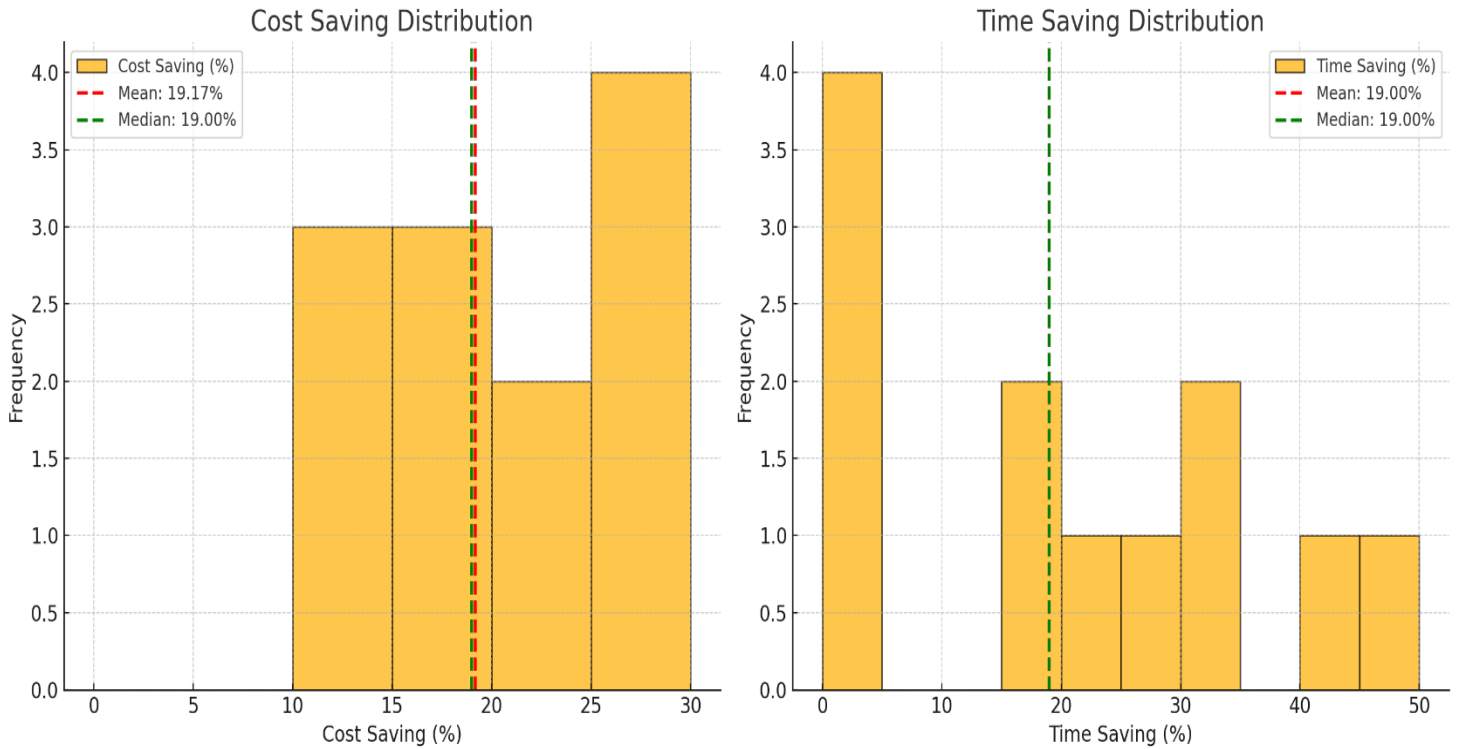
واریانس صرفه‌جویی در هزینه: ۵۰.۸۸

واریانس صرفه‌جویی در زمان: ۲۸۵.۶۴

انحراف معیار صرفه‌جویی در هزینه: ۷.۱۳

انحراف معیار صرفه‌جویی در زمان: ۱۶.۹۰

این نمودارها و آمار تفصیلی به ما کمک می‌کنند تا درک بهتری از توزیع و تمرکز داده‌ها در مجموعه داده‌های مورد نظرمان داشته باشیم. داده‌های مربوط به صرفه‌جویی در هزینه پراکندگی کمتری نسبت به صرفه‌جویی در زمان دارند، که ممکن است ناشی از تمرکز بر فناوری‌هایی باشد که به‌طور خاص به کاهش هزینه‌ها کمک می‌کنند.



در نمودار فوق، خطوط قرمز (میانگین) و سبز (میانه) نشان‌دهنده مرکز توزیع هستند.

توزیع صرفه‌جویی در هزینه نسبتاً متقارن و متمرکزتر نشان داده شده است در حالی که توزیع صرفه‌جویی در زمان کمی پراکنده‌تر و با نمایی به سمت بزرگترین کاهش‌ها است.

صرفه‌جویی در هزینه:

میانگین: (Mean): ۱۹.۱۷٪

میانه: (Median): ۱۹.۰٪

نما: (Mode): ۱۰٪

واریانس: (Variance): ۵۰.۸۸

انحراف معیار: (Standard Deviation): ۷.۱۳

کجی: (Skewness): ۰.۲۷ - نشان‌دهنده توزیع نسبتاً متقارن با کجی

جزئی به سمت راست

چولگی: (Kurtosis): ۱.۱۶ - نشان‌دهنده توزیع نسبتاً کمتر پیک‌دار از

توزیع نرمال

صرفه‌جویی در زمان:

میانگین: (Mean): ۱۹.۰٪

میانه: (Median): ۱۹.۰٪

نما: (Mode): ۰٪

واریانس: (Variance): ۲۸۵.۶۴

انحراف معیار: (Standard Deviation): ۱۶.۹۰

کجی: (Skewness): ۰.۳۳ - نشان‌دهنده توزیع نسبتاً متقارن با کجی

جزئی به سمت راست

چولگی: (Kurtosis): ۰.۸۱ - نشان‌دهنده توزیع نسبتاً کمتر پیک‌دار از

توزیع نرمال

بخش ۵ - چالش‌ها و محدودیت‌ها

چالش‌های پیش روی استفاده از فناوری اطلاعات در صنعت

ساختمان

مقاومت در برابر تغییر:

بسیاری از شرکت‌های ساختمانی و کارکنان آن‌ها به روش‌های سنتی عادت کرده‌اند و ممکن است در برابر پذیرش فناوری‌های جدید مقاومت کنند. به عنوان مثال، برخی از مهندسان ساختمان ممکن است ترجیح دهند

چگونه از نرم‌افزارهای مدیریت پروژه برای برنامه‌ریزی، زمان‌بندی و نظارت بر پیشرفت پروژه استفاده کنند.

در پژوهشی که توسط Ebekozi et al. (2021)¹⁰³ انجام شد، محققان دریافتند که کمبود مهارت و دانش در میان متخصصان ساختمان یکی از چالش‌های اصلی استفاده از فناوری‌های نوین در صنعت ساختمان نیجریه است. آن‌ها بیان کردند که بسیاری از مهندسان و مدیران پروژه فاقد آموزش‌های لازم برای استفاده از ابزارهای دیجیتال هستند. در تحقیقی دیگر که توسط Osunsanmi et al. (2020)¹⁰⁴ انجام شد، نویسندگان به بررسی موانع پذیرش فناوری‌های ساخت و ساز هوشمند در صنعت ساختمان آفریقای جنوبی پرداختند. آن‌ها دریافتند که کمبود مهارت‌های فنی و دیجیتال در میان نیروی کار یکی از چالش‌های اصلی در این زمینه است.

مسائل مربوط به امنیت سایبری و حریم خصوصی:

با افزایش استفاده از فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان، مسائل مربوط به امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. پروژه‌های ساختمانی اغلب شامل اطلاعات حساس و محرمانه هستند که باید در برابر حملات سایبری و نفوذ محافظت شوند. برای مثال، نقشه‌های دیجیتال و مدل‌های BIM حاوی جزئیات فنی و طراحی پروژه هستند که در صورت افشا می‌توانند مورد سوء استفاده قرار گیرند.

در پژوهشی که توسط Mantha et al. (2021)¹⁰⁵ انجام شد، محققان به بررسی خطرات امنیت سایبری در صنعت ساختمان پرداختند. آن‌ها دریافتند که بسیاری از شرکت‌های ساختمانی فاقد زیرساخت‌ها و سیاست‌های امنیتی مناسب برای محافظت از داده‌های دیجیتال خود هستند، که آن‌ها را در برابر حملات سایبری آسیب‌پذیر می‌کند. در تحقیقی که توسط Pärn & Edwards (2019)¹⁰⁶ انجام شد، نویسندگان به بررسی چالش‌های حفظ حریم خصوصی در استفاده از فناوری‌های نوین در صنعت ساختمان پرداختند. آن‌ها دریافتند که جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌های حساس پروژه، مانند اطلاعات مربوط به کارکنان و مشتریان، می‌تواند مسائل مربوط به حریم خصوصی را ایجاد کند و نیازمند اقدامات حفاظتی مناسب است.

محدودیت‌ها در اجرای فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان

برای استفاده از فناوری اطلاعات و بهره‌مند شدن از مزایای آن محدودیت‌هایی وجود دارد. برای کاربرد بهتر این محدودیت‌ها به دسته‌های زیر تقسیم شده‌اند:

از نقشه‌های کاغذی به جای نرم‌افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) استفاده کنند.

در پژوهشی که توسط Aghimien et al. (2020)⁹⁹ انجام شد، محققان دریافتند که مقاومت در برابر تغییر یکی از اصلی‌ترین موانع پذیرش فناوری‌های جدید در صنعت ساختمان نیجریه است. آن‌ها بیان کردند که بسیاری از متخصصان ساختمان به دلیل عدم آشنایی با مزایای فناوری‌های جدید و ترس از تغییر، تمایلی به استفاده از این ابزارها ندارند. در تحقیقی دیگر توسط Saka & Chan (2020)¹⁰⁰، نویسندگان به بررسی موانع پذیرش BIM در صنعت ساختمان هنگ‌کنگ پرداختند. آن‌ها دریافتند که مقاومت در برابر تغییر، به ویژه در میان مدیران ارشد و تصمیم‌گیرندگان کلیدی، یکی از عوامل اصلی کنده‌روند پذیرش BIM در این کشور است.

هزینه‌های بالای پیاده‌سازی:

اجرای فناوری‌های اطلاعات در پروژه‌های ساختمانی می‌تواند هزینه‌بر باشد. شرکت‌ها باید در سخت‌افزار، نرم‌افزار، آموزش و پشتیبانی فنی سرمایه‌گذاری کنند. برای مثال، خرید لایسنس نرم‌افزارهای BIM و استخدام متخصصان برای کار با این ابزارها می‌تواند هزینه‌های قابل توجهی داشته باشد.

در پژوهشی که توسط Alaloul et al. (2020)¹⁰¹ انجام شد، محققان دریافتند که هزینه‌های بالای پیاده‌سازی یکی از اصلی‌ترین موانع استفاده از فناوری‌های نوین در صنعت ساختمان مالزی است. آن‌ها بیان کردند که بسیاری از شرکت‌های کوچک و متوسط به دلیل محدودیت‌های مالی، قادر به سرمایه‌گذاری در این فناوری‌ها نیستند. در تحقیقی دیگر که توسط Gamil & Rahman (2019)¹⁰² انجام شد، به بررسی چالش‌های استفاده از فناوری واقعیت مجازی (VR) در صنعت ساختمان پرداختند. آن‌ها دریافتند که هزینه‌های بالای سخت‌افزار و نرم‌افزار VR یکی از موانع اصلی گسترش این فناوری در پروژه‌های ساختمانی است.

نیاز به آموزش و مهارت:

استفاده مؤثر از فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان نیازمند کارکنانی است که دانش و مهارت لازم را داشته باشند. شرکت‌ها باید در آموزش کارکنان خود سرمایه‌گذاری کنند تا بتوانند از ابزارها و نرم‌افزارهای جدید به درستی استفاده کنند. به عنوان مثال، مدیران پروژه باید بیاموزند که

یک شرکت مهندسی در آلمان با رشد سریع حجم داده‌های پروژه مواجه شد و سیستم ذخیره‌سازی موجود آن‌ها دیگر کافی نبود. این موضوع منجر به کندی عملکرد و دشواری در دسترسی به فایل‌های مهم شد. شرکت تصمیم گرفت با پیاده‌سازی یک راه‌حل ذخیره‌سازی مقیاس‌پذیر مبتنی بر فناوری ابر، ظرفیت ذخیره‌سازی خود را گسترش دهد. این راه‌حل به آن‌ها اجازه داد تا به راحتی فضای ذخیره‌سازی را در صورت نیاز افزایش دهند و داده‌ها را به صورت مرکزی مدیریت کنند. (Müller & Becker, 2020)

محدودیت سازگاری سخت‌افزار: با توجه به تنوع دستگاه‌ها و سیستم‌های مورد استفاده در صنعت ساختمان، سازگاری سخت‌افزار می‌تواند یک چالش باشد. این موضوع می‌تواند منجر به مشکلاتی در یکپارچه‌سازی و تبادل داده بین دستگاه‌های مختلف شود.

در یک پروژه ساختمانی بزرگ در کانادا، پیمانکاران مختلف از نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای متفاوتی استفاده می‌کردند. این تنوع منجر به چالش‌هایی در هماهنگی و تبادل داده بین تیم‌ها شد. برای غلبه بر این مشکل، مدیر پروژه استانداردهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری را برای پروژه تعریف کرد و از همه پیمانکاران خواست تا از پلتفرم‌های سازگار استفاده کنند. این استانداردسازی، یکپارچه‌سازی و همکاری بین تیم‌ها را بهبود بخشید. (Nguyen, & Akhavian, 2019)

محدودیت‌های نرم‌افزاری:

محدودیت‌های نرم‌افزاری در فناوری اطلاعات و صنعت ساختمان می‌تواند چالش‌های متعددی ایجاد کند. برخی از این محدودیت‌ها عبارتند از:

محدودیت قابلیت همکاری و یکپارچگی نرم‌افزارها: در صنعت ساختمان، پروژه‌ها اغلب مستلزم همکاری بین تیم‌های مختلف با تخصص‌های متفاوت هستند. هر تیم ممکن است از نرم‌افزارهای اختصاصی خود استفاده کند، که می‌تواند منجر به چالش‌هایی در یکپارچه‌سازی و تبادل داده بین این نرم‌افزارها شود.

در یک پروژه ساخت برج مسکونی در سنگاپور، تیم‌های طراحی، مهندسی و ساخت از نرم‌افزارهای مختلفی استفاده می‌کردند. عدم سازگاری بین این نرم‌افزارها منجر به مشکلاتی در به اشتراک‌گذاری و به‌روزرسانی مدل‌های BIM شد. برای حل این مشکل، تیم پروژه یک پلتفرم مدیریت داده مشترک (CDE) را پیاده‌سازی کرد که امکان

محدودیت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، محدودیت‌های امنیتی، محدودیت‌های مالی و محدودیت‌های نیروی انسانی. در ادامه به بررسی هر کدام می‌پردازم.

محدودیت‌های سخت‌افزاری:

محدودیت‌های سخت‌افزاری در فناوری اطلاعات و صنعت ساختمان می‌تواند چالش‌های متعددی ایجاد کند. برخی از این محدودیت‌ها عبارتند از:

محدودیت پهنای باند و اتصال اینترنت: در پروژه‌های ساختمانی که در مناطق دورافتاده یا روستایی انجام می‌شوند، دسترسی به اینترنت پرسرعت و پایدار می‌تواند یک چالش باشد. این محدودیت می‌تواند بر به اشتراک‌گذاری اطلاعات، هماهنگی تیم و نظارت بر پیشرفت پروژه تأثیر بگذارد.

در یک پروژه ساخت بیمارستان در منطقه‌ای روستایی در هند، تیم پروژه با چالش‌های اتصال اینترنت مواجه شد. پهنای باند محدود و قطعی مکرر اینترنت، به اشتراک‌گذاری اطلاعات و هماهنگی بین اعضای تیم را دشوار کرد. برای غلبه بر این مشکل، تیم پروژه راه‌حلی مانند استفاده از شبکه محلی (LAN) و سیستم ارتباطی ماهواره‌ای را پیاده‌سازی کرد. (Singh & Sharma, 2018)

محدودیت منابع محاسباتی: نرم‌افزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و سایر برنامه‌های مرتبط با صنعت ساختمان اغلب به سخت‌افزارهای قدرتمند نیاز دارند. محدودیت در منابع محاسباتی مانند حافظه، پردازنده و کارت گرافیک می‌تواند کارایی این برنامه‌ها را کاهش دهد.

در یک شرکت معماری در ایالات متحده، تیم طراحی با مشکلات عملکرد هنگام کار با مدل‌های BIM بزرگ و پیچیده مواجه شد. آن‌ها دریافتند که سیستم‌های کامپیوتری موجود فاقد حافظه کافی و قدرت پردازش برای اجرای روان نرم‌افزار بودند. برای حل این مشکل، شرکت سخت‌افزارهای خود را ارتقا داد و ایستگاه‌های کاری قدرتمندتری را با حافظه بیشتر و پردازنده‌های سریع‌تر خریداری کرد. (Johnson & Lee, 2019)

محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی: پروژه‌های ساختمانی مقادیر زیادی داده تولید می‌کنند، از جمله نقشه‌ها، مدل‌های سه‌بعدی، عکس‌ها و ویدئوها. محدودیت در ظرفیت ذخیره‌سازی می‌تواند مدیریت و دسترسی به این داده‌ها را دشوار کند.

محدودیت های امنیتی:

محدودیت های امنیتی در رابطه بین فناوری اطلاعات و صنعت ساختمان شامل موارد زیر می شود:

حملات سایبری و هک: سیستم های کامپیوتری و شبکه های مورد استفاده در صنعت ساختمان می توانند هدف حملات سایبری و هک قرار گیرند. این حملات می توانند منجر به سرقت اطلاعات حساس، اختلال در عملیات و خسارت مالی شوند.

در سال ۲۰۱۳، یک پیمانکار ساختمانی در آمریکا مورد حمله هکرها قرار گرفت. هکرها موفق شدند به سیستم های کامپیوتری شرکت نفوذ کنند و اطلاعات حساس مربوط به پروژه های ساختمانی را سرقت کنند. این حمله منجر به خسارت مالی قابل توجهی برای شرکت شد.

نقص در سیستم های امنیتی: سیستم های امنیتی مانند دوربین های مدار بسته، سیستم های کنترل دسترسی و سیستم های اعلام حریق در ساختمان ها نقش مهمی در حفظ امنیت دارند. نقص در این سیستم ها می تواند منجر به نفوذ افراد غیرمجاز، سرقت و آسیب به ساختمان شود.

در سال ۲۰۱۵، یک ساختمان اداری در لندن به دلیل نقص در سیستم کنترل دسترسی مورد سرقت قرار گرفت. سارقان موفق شدند بدون هیچ مانعی وارد ساختمان شوند و تجهیزات گران قیمت را به سرقت ببرند. این حادثه نشان داد که نقص در سیستم های امنیتی می تواند عواقب جدی داشته باشد. (چن، ژانگ، ۲۰۲۰)

عدم رعایت استانداردهای امنیتی: عدم رعایت استانداردهای امنیتی در طراحی، ساخت و نگهداری ساختمان ها می تواند منجر به آسیب پذیری در برابر تهدیدات امنیتی شود. این استانداردها شامل استفاده از مصالح مقاوم در برابر آتش، نصب سیستم های امنیتی مناسب و رعایت الزامات ایمنی است. در سال ۲۰۱۷، یک ساختمان مسکونی در دبی به دلیل عدم رعایت استانداردهای ایمنی دچار آتش سوزی شد. تحقیقات نشان داد که مصالح استفاده شده در نمای ساختمان قابلیت اشتعال بالایی داشتند و سیستم اعلام حریق نیز به درستی کار

یکپارچه سازی و همگام سازی داده ها بین نرم افزارهای مختلف را فراهم می کرد. (Chong & Wang, 2016) ^{۱۱۱}

محدودیت مقیاس پذیری نرم افزارها:

با افزایش پیچیدگی و اندازه پروژه های ساختمانی، نرم افزارهای مورد استفاده باید قادر به مدیریت حجم زیادی از داده ها و پشتیبانی از تعداد زیادی کاربر باشند. محدودیت در مقیاس پذیری نرم افزارها می تواند منجر به کاهش عملکرد و بهره وری شود.

در یک پروژه زیرساخت بزرگ در استرالیا، تیم پروژه متوجه شد که با افزایش تعداد کاربران و حجم داده ها، عملکرد سیستم مدیریت پروژه آن ها به طور قابل توجهی کاهش یافته است. برای غلبه بر این چالش، آن ها به یک راه حل مقیاس پذیر مبتنی بر فناوری ابر مهاجرت کردند که امکان افزایش منابع محاسباتی و ذخیره سازی را به صورت پویا فراهم می کرد. (Akinade, Oyedele, ... & Arawomo, 2018) ^{۱۱۲}

محدودیت قابلیت سفارشی سازی نرم افزارها: هر پروژه ساختمانی منحصر به فرد است و ممکن است نیازمند قابلیت های خاص یا فرآیندهای سفارشی باشد. محدودیت در قابلیت سفارشی سازی نرم افزارها می تواند منجر به ناکارآمدی یا عدم تطابق با نیازهای پروژه شود.

در یک پروژه نوسازی بیمارستان در ایالات متحده، تیم پروژه نیاز به ردیابی و مدیریت تجهیزات پزشکی خاص داشت. نرم افزار مدیریت پروژه موجود آن ها فاقد این قابلیت بود و سفارشی سازی آن نیز دشوار بود. در نتیجه، تیم مجبور شد یک راه حل جداگانه برای مدیریت تجهیزات پزشکی پیاده سازی کند، که منجر به افزایش پیچیدگی و هزینه پروژه شد. (Sacks, Eastman, Lee & Teicholz, 2018) ^{۱۱۳}

محدودیت پشتیبانی و به روزرسانی نرم افزارها: با پیشرفت فناوری و تغییر نیازهای صنعت، نرم افزارها باید به طور مداوم به روزرسانی و پشتیبانی شوند. محدودیت در پشتیبانی و به روزرسانی نرم افزارها می تواند منجر به مشکلات امنیتی، عدم سازگاری با سایر سیستم ها و کاهش بهره وری شود.

یک شرکت ساختمانی در انگلستان از یک نرم افزار طراحی قدیمی استفاده می کرد که دیگر توسط فروشنده پشتیبانی نمی شد. این موضوع منجر به مشکلات سازگاری با سایر نرم افزارها و افزایش خطرات امنیتی شد. شرکت تصمیم گرفت به یک نرم افزار مدرن تر و پشتیبانی شده مهاجرت کند، اگرچه این کار مستلزم هزینه و زمان برای آموزش کارکنان بود. (Eadie, Browne, ... & McNiff, 2013) ^{۱۱۴}



در نهایت مهمترین منبع سازمانهای امروزی را در رابطه با صنعت ساختمان و اجرای فناوری اطلاعات بررسی مینماییم.

نبود دانش و مهارت کافی در زمینه فناوری اطلاعات در میان کارکنان صنعت ساختمان: مهندسان و کارگران ساختمانی معمولاً با نرم افزارهای مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) آشنایی کافی ندارند که باعث کندی پذیرش این فناوری در پروژه ها می شود. (چالش های پیاده سازی فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان، نشریه مدیریت پروژه و ساخت، ۱۳۹۹) ^{۱۱۹}

مقاومت کارکنان صنعت ساختمان در برابر تغییرات ناشی از فناوری اطلاعات: برای استفاده از سیستم های اتوماسیون و رباتیک در کارگاه های ساختمانی با مقاومت کارگران مواجه می شوید زیرا آنها نگران از دست دادن شغل خود هستند. (عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان، فصلنامه فناوری اطلاعات در مهندسی عمران، سال ۱۳۹۸) ^{۱۲۰}

کمبود متخصصان IT آشنا با صنعت ساختمان: برای پیاده سازی سیستم های مدیریت پروژه و کنترل هوشمند ساختمان نیاز به متخصصان IT است که با مفاهیم و فرآیندهای صنعت ساختمان آشنایی داشته باشند اما تعداد این افراد محدود است. (نقش فناوری اطلاعات در بهبود عملکرد صنعت ساختمان، کنفرانس بین المللی مهندسی عمران و معماری، ۱۳۹۷) ^{۱۲۱}

بخش ۶ - پیشنهادات و راهکارها

پیشنهادات برای بهبود و توسعه استفاده از فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان

استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM)

یکی از مهم ترین فناوری های نوین در صنعت ساختمان، مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) است. این فناوری یک فرآیند دیجیتال است که به کمک آن می توان یک نمایش مجازی دقیق از پروژه ساختمانی ایجاد کرد. این مدل شامل اطلاعات هندسی، مشخصات فنی، برنامه زمانی و هزینه های پروژه است. استفاده از BIM می تواند منجر به بهبود همکاری و هماهنگی بین ذینفعان پروژه، کاهش خطاها و تداخلات، صرفه جویی در زمان و هزینه، و افزایش کیفیت نهایی پروژه گردد (Eastman et al., 2011) ¹²².

به عنوان مثال، در پروژه ساخت بیمارستان جدید کاروم در فنلاند، استفاده از BIM منجر به صرفه جویی ۱۰ درصدی در هزینه های ساخت و ۷

نمی کرد. این حادثه منجر به تخریب گسترده ساختمان و زیان های مالی فراوان شد. (چن، ژانگ، ۲۰۲۰)

نقص در حفاظت از داده ها: صنعت ساختمان به طور فزاینده ای به فناوری اطلاعات و داده ها وابسته است. نقص حفاظت از این داده ها می تواند منجر به سرقت اطلاعات حساس، نقض حریم خصوصی و خسارت مالی شود.

در سال ۲۰۱۹، یک شرکت ساختمانی در سنگاپور قربانی حمله باج افزاری شد. مهاجمان موفق شدند به شبکه کامپیوتری شرکت نفوذ کنند و داده های حساس را رمزگذاری کنند. آن ها در ازای رمزگشایی داده ها درخواست باج کردند. این حادثه نشان داد که شرکت های ساختمانی باید اقدامات امنیتی قوی تری برای حفاظت از داده های خود اتخاذ کنند. (چن، ژانگ، ۲۰۲۰) ¹¹⁵

محدودیت های مالی:

محدودیت های مالی در رابطه بین فناوری اطلاعات و صنعت ساختمان عبارتند از:

هزینه های بالای تهیه و پیاده سازی نرم افزارها و سخت افزارهای تخصصی: نرم افزارهای مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) مانند Autodesk Revit و سخت افزارهای لازم برای اجرای آنها هزینه قابل توجهی دارند که برای شرکت های کوچک و متوسط ساختمانی چالش برانگیز است. (تحلیل هزینه-فایده پیاده سازی فناوری BIM در پروژه های ساختمانی، نشریه مدیریت و اقتصاد ساخت، ۱۳۹۸) ^{۱۱۶}

هزینه های آموزش و توسعه مهارت های کارکنان در زمینه فناوری اطلاعات: مثلاً برای استفاده از پهنادهای در نظارت بر پروژه های ساختمانی، کارکنان باید دوره های آموزشی پرهزینه ای را برای کسب گواهینامه هدایت پهناد بگذرانند. (کاربرد پهنادهای در مدیریت پروژه های ساختمانی، فصلنامه فناوری اطلاعات در مهندسی عمران، ۱۳۹۹) ^{۱۱۷}

عدم بودجه کافی برای تحقیق و توسعه در زمینه فناوری های نوین ساختمانی: معمولاً شرکت های ساختمانی بودجه محدودی برای تحقیق و توسعه فناوری های نوینی مانند چاپ سه بعدی بتن و مصالح هوشمند دارند. (چالش های تجاری سازی فناوری های نوین در صنعت ساختمان، کنفرانس ملی مهندسی عمران و معماری، سال ۱۳۹۷، صفحات ۱۸۰-۱۹۵) ^{۱۱۸}

محدودیت های نیروی انسانی:

خود استفاده می‌کند. این امر به آنها امکان می‌دهد شرایط کاری ایمن و راحت‌تری برای کارگران فراهم کنند.¹²⁸ (Suffolk, 2019)

اهمیت تداوم تحقیق و نوآوری در استفاده از فناوری اطلاعات برای پیشرفت صنعت ساختمان

در دنیای پرشتاب امروز، فناوری اطلاعات نقشی محوری در تحول و پیشرفت صنایع مختلف ایفا می‌کند. صنعت ساختمان نیز از این قاعده مستثنی نیست و بهره‌گیری هوشمندانه از فناوری‌های نوین اطلاعاتی می‌تواند منجر به ارتقای چشمگیر کیفیت، کارایی و سرعت پروژه‌های ساخت و ساز گردد. در این میان، تداوم تحقیق و نوآوری در زمینه کاربرد فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است که می‌بایست مورد توجه جدی قرار گیرد.

یکی از دلایل اصلی اهمیت تحقیق و نوآوری مستمر در این حوزه، سرعت بالای تغییر و تحولات فناوری‌های اطلاعاتی است. با پیشرفت‌های شگرفی که هر روزه در عرصه فناوری اطلاعات رخ می‌دهد، ابزارها و راهکارهای جدیدی برای بهینه‌سازی فرآیندهای ساخت و ساز ارائه می‌شود. بنابراین، صنعت ساختمان نیازمند رصد مداوم این تحولات و بهره‌گیری به‌موقع از دستاوردهای نوین در این زمینه است. بدون شک، تحقیق و پژوهش پیوسته، نقشی کلیدی در شناسایی و معرفی فناوری‌های کارآمد و سازگار با نیازهای روزآمد صنعت ساختمان ایفا خواهد کرد.

از سوی دیگر، نوآوری در شیوه‌های استفاده از فناوری اطلاعات در پروژه‌های ساختمانی، می‌تواند به خلق فرصت‌های جدید و ارزش‌آفرینی در این صنعت منتهی شود. با نگاهی خلاقانه و متفاوت به قابلیت‌های فناوری‌های اطلاعاتی، امکان ارائه راه‌حل‌های نوین و کارآمد برای چالش‌های موجود در حوزه ساخت و ساز فراهم می‌گردد. این امر مستلزم فرهنگ‌سازی و ترویج روحیه نوآورانه در میان فعالان صنعت ساختمان و تشویق آنان به بهره‌گیری خلاقانه از ابزارهای فناورانه است. تحقیق و پژوهش نیز با ایجاد بستری مناسب برای آزمون ایده‌های نو و انتشار یافته‌های علمی، نقش موثری در تقویت نوآوری در این حوزه ایفا می‌کند.

علاوه بر این، تحقیق و نوآوری در کاربرد فناوری اطلاعات، می‌تواند به ارتقای دانش و مهارت نیروی انسانی شاغل در صنعت ساختمان منجر شود. با آموزش و توانمندسازی کارشناسان و متخصصان این حوزه در زمینه فناوری‌های روزآمد، زمینه برای استفاده بهینه از این ابزارها در پروژه‌های ساختمانی مهیا می‌گردد. در واقع، تربیت نیروی انسانی ماهر و

درصدی در مدت زمان پروژه گردید. همچنین، تعداد درخواست‌های تغییر در حین ساخت به میزان قابل توجهی کاهش یافت (Khanzode et al., 2008)¹²³.

استفاده از فناوری واقعیت مجازی (VR) و واقعیت افزوده (AR)

فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده، امکان مشاهده و تعامل با مدل‌های سه‌بعدی پروژه‌های ساختمانی را در محیطی مجازی فراهم می‌کنند. این فناوری‌ها می‌توانند در مراحل مختلف پروژه از جمله طراحی، ساخت و بهره‌برداری مورد استفاده قرار گیرند.

استفاده از VR و AR می‌تواند به بهبود درک پروژه توسط ذینفعان، شناسایی و رفع مشکلات احتمالی در مراحل اولیه، و آموزش ایمنی به کارگران کمک کند.¹²⁴ (Wang et al., 2018) به عنوان نمونه، شرکت Mortenson Construction در آمریکا با استفاده از هدست‌های واقعیت مجازی، به کارفرمایان و مشتریان خود امکان بازدید مجازی از پروژه‌ها را می‌دهد. این امر منجر به افزایش رضایت مشتریان و کاهش تغییرات پرهزینه در مراحل پایانی پروژه شده است.¹²⁵ (Mortenson, 2017)

استفاده از پهپادها برای نظارت و بازرسی

پهپادها یا هواپیماهای بدون سرنشین، ابزاری کارآمد برای نظارت و بازرسی پروژه‌های ساختمانی هستند. با استفاده از پهپادها می‌توان تصاویر و ویدئوهای با کیفیت بالا از پیشرفت پروژه تهیه کرد، ایمنی سایت را بررسی نمود، و حتی نقشه‌برداری سه‌بعدی از محل پروژه انجام داد. مزایای استفاده از پهپادها شامل صرفه‌جویی در زمان و هزینه، افزایش ایمنی کارگران، و بهبود دقت در جمع‌آوری داده‌ها است (Irizarry & Bechtel, 2016)¹²⁶. Costa, 2016) شرکت‌های بزرگ ساختمانی مانند Kiewit و در حال حاضر از پهپادها برای نظارت بر پروژه‌های خود استفاده می‌کنند.¹²⁷ (Burger, 2019)

استفاده از اینترنت اشیا (IoT) و حسگرها

فناوری اینترنت اشیا و حسگرهای هوشمند، امکان جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای از شرایط محیطی، عملکرد تجهیزات، و پیشرفت پروژه را فراهم می‌کنند. با تحلیل این داده‌ها می‌توان عملکرد پروژه را بهینه‌سازی کرد، مشکلات بالقوه را پیش‌بینی و پیشگیری نمود، و ایمنی کارگران را بهبود بخشید.

برای مثال، شرکت ساختمانی Suffolk در بوستون، از حسگرهای IoT برای پایش شرایط محیطی مانند دما، رطوبت و کیفیت هوا در پروژه‌های

کلید دستیابی به ساخت و سازی سریع تر، با کیفیت تر و اقتصادی تر است و تنها در سایه تحقیق و نوآوری مستمر، می توان از این ظرفیت ارزشمند به نحو شایسته بهره مند شد. امید است با درک صحیح این ضرورت، شاهد توجه روزافزون به مقوله تحقیق و نوآوری در صنعت ساختمان و شکوفایی هرچه بیشتر این حوزه حیاتی در پرتو فناوری های پیشرفته اطلاعاتی باشیم.

بخش ۷ - منابع

فهرست منابع و مراجع استفاده شده در تهیه مقاله

⁹ Howard, R., Björk, B. C., & Hult, M. (1989). Computers in construction in Sweden and the US. Lund University

¹⁰ Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., & Chan, A. P. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86, 150-162

¹¹ Kerzner, H. (2017). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons

¹² Wang, X., Love, P. E., Kim, M. J., Park, C. S., Sing, C. P., & Hou, L. (2013). A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. *Automation in construction*, 34, 37-44

¹³ Greenwood, D., Farrow, C., Mawson, S., & Parnell, P. (2019). The use of unmanned aerial vehicles for surveying and mapping in the construction industry. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering* (Vol. 172, No. 6, pp. 32-38)

¹⁴ Zeng, W., Li, H., & Huang, G. (2018). Construction management information systems: a review and future research directions. In *ICCREM 2018: Construction Enterprises and Project Management* (pp. 225-232). Reston, VA: American Society of Civil Engineers

¹⁵ Kitchenham, B. (2004). *Procedures for performing systematic reviews*. Keele University

¹⁶ Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4th ed.). SAGE Publications. (p. 264)

آشنا به فناوری های نوین، شرط لازم برای تحقق ظرفیت های بالقوه فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان است. از این رو، پژوهش و نوآوری باید در راستای شناسایی نیازهای آموزشی و ارائه برنامه های کاربردی برای ارتقای سطح دانش فنی و تخصصی نیروی کار نیز هدایت شود.

مجموعه عوامل فوق، ضرورت و اهمیت تداوم تحقیق و نوآوری در حوزه کاربرد فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان را آشکار می سازد. بدون تردید، تخصیص هدفمند منابع و امکانات به امر پژوهش و تشویق فعالیت های نوآورانه در این زمینه، نقشی راهبردی در تضمین آینده ای روشن برای صنعت ساختمان کشور ایفا خواهد کرد. فناوری اطلاعات،

¹ Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2016). *Management information systems: Managing the digital firm*. Pearson

رضایی، م.، و همکاران. (۱۳۹۸). نقش صنعت ساختمان در اقتصاد ایران. فصلنامه پژوهش های اقتصادی ایران، ۲۴(۷۸)، ۱۱۵-۱۳۸.

³ بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران. (۱۴۰۰). گزارش اقتصادی و ترازنامه سال ۱۳۹۹. تهران: انتشارات بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران

⁴ مرکز آمار ایران. (۱۳۹۹). نتایج طرح آمارگیری نیروی کار سال ۱۳۹۸. تهران: انتشارات مرکز آمار ایران

⁵ 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

⁶ Crotty, R. (2012). *The impact of building information modelling: Transforming construction*. Routledge

⁷ Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'Reilly, K. (2011). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in construction*, 20(2), 189-195

⁸ Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons)

¹⁷ 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

¹⁸ HOK. (2017). HOK Projects Benefit from Building Information Modeling (BIM). Retrieved from <https://www.hok.com/thought-leadership/hok-projects-benefit-from-building-information-modeling-bim/>

¹⁹ Grilo, A., & Jardim-Goncalves, R. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments.

Automation in construction, 19(5), 522-530

²⁰ Skanska. (2018). How Skanska is using technology to improve collaboration and boost productivity. Retrieved

from <https://group.skanska.com/media/articles/how-skanska-is-using-technology-to-improve-collaboration-and-boost-productivity/>

²¹ Schlueter, A., & Thesseling, F. (2009).

Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in construction*, 18(2), 153-163

²² Büchmann-Slorup, R., & Andersson, N. (2010). BIM-based scheduling of construction—a comparative analysis of prevailing and BIM-based scheduling processes. *Proceedings of the CIB W78 2010: 27th International Conference*, Cairo, Egypt, 16-18

²³ Bechtel, (2016). 4D Modeling: Improving Project Planning and Control. Retrieved from <https://www.bechtel.com/about-us/innovation/4d-modeling-improving-project-planning-and-control/>

²⁴ 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

²⁵ Mortenson Construction. (2019). How BIM Helps Mortenson Save Time and Money. Retrieved from <https://www.mortenson.com/company/news-and-insights/2019/how-bim-helps-mortenson-save-time-and-money>

²⁶ Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'reilly, K. (2011)

²⁷ Liberatore, M. J., & Pollack-Johnson, B. (2013). Factors influencing the usage and selection of project management software. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60(1), 146-157

²⁸ Turner Construction. (2020). How Turner Uses Primavera to Manage Complex Projects. Retrieved from <https://www.turner-construction.com/expertise/technology/primavera>

²⁹ Sonmez, R. (2011). Conceptual cost estimation of building projects with regression analysis and neural networks. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 38(5), 446-459

³⁰ Mortenson Construction. (2018). Sage Estimating Helps Mortenson Improve Estimating Accuracy. Retrieved from <https://www.mortenson.com/company/news-and-insights/2018/sage-estimating-helps-mortenson-improve-estimating-accuracy>

³¹ Goodchild, M. F. (2010). Twenty years of progress: GIScience in 2010. *Journal of Spatial Information Science*, 1(1), 3-20

³² Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1-14

³³ Wang, X., Love, P. E., Kim, M. J., Park, C. S., Sing, C. P., & Hou, L. (2013). A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. *Automation in construction*, 34, 37-44

³⁴ Segerstedt, A., & Olofsson, T. (2010). Supply chains in the construction industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), 347-353

³⁵ Skanska, 2018 "Application of IT in Construction Management: A Game Changer". *Journal of Construction Engineering and Management*

³⁶ Turner Construction, 2019 "Enhancing Construction Quality through BIM". *International Journal of Building Information Modeling and Construction Informatics*

³⁷ Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in construction*, 38, 109-127

³⁸ Li, J., Greenwood, D., & Kassem, M. (2019). Blockchain in the built environment and

construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases. *Automation in Construction*, 102, 288-307

³⁹ Arashpour, M., Wakefield, R., Blismas, N., & Maqsood, T. (2015). Autonomous production tracking for augmenting output in off-site construction. *Automation in Construction*, 53, 13-21

⁴⁰ Blismas, N., & Wakefield, R. (2009). Drivers, constraints and the future of offsite manufacture in Australia. *Construction Innovation*, 9(1), 72-83

⁴¹ Kamali, M., & Hewage, K. (2016). Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1171-1183

⁴² Costa, A. A., & Tavares, L. V. (2012). Social e-business and the Satellite Network model: Innovative concepts to improve collaboration in construction. *Automation in Construction*, 22, 387-397

⁴³ Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2017). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, 97, 88-98

⁴⁴ Ding, L. Y., Zhong, B. T., Wu, S., & Luo, H. B. (2016). Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology. *Safety Science*, 87, 202-213

⁴⁵ Okpala, I., Nnaji, C., & Awolusi, I. (2020). Emerging construction technologies: state of standard and regulation implementation. *Journal of Building Engineering*, 29, 101217

⁴⁶ Kummerow, M., & Chan, N. (2014). Online or offline? A comparison of online and offline housing search behaviour in Australia. *Pacific Rim Property Research Journal*, 20(2), 117-131

⁴⁷ Li, D. H. W., & Yang, L., 2013. "Energy performance of building envelopes in different climate zones in China". *Applied Energy*, 112, 1357-1367

⁴⁸ Nguyen, T. A., & Aiello, M. (2013). Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and buildings*, 56, 244-257

⁴⁹ Jones Lang LaSalle, 2017. "Impact of Information Technology on Property Management". *Property Management Journal*

⁵⁰ Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805

⁵¹ Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., & Calis, G. (2012). Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management. *Journal of construction engineering and management*, 138(3), 431-442

⁵² Wang, X., & Dunston, P. S., 2012 "The value of virtual reality for the AEC industry: A critical look at the impact on design, engineering, and construction". *Construction Innovation*, 12(2), 244-259

⁵³ Bröchner, J. (2010). Innovation in construction. *Industry and Innovation*, 17(5), 449-455

⁵⁴ Zhang, D., Shah, N., & Papageorgiou, L. G. (2013). Efficient energy consumption and operation management in a smart building with microgrid. *Energy Conversion and Management*, 74, 209-222

⁵⁵ Thompson, R. (2018). Enhancing Property Value through Big Data Analytics. *Property Management Journal*

⁵⁶ Mawdesley, M. J., & Al-Jibouri, S. H. (2010). Modelling construction project productivity using systems dynamics approach. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 59(1), 18-36

⁵⁷ 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

⁵⁸ Ding, G. K. (2008). Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of environmental management*, 86(3), 451-464

⁵⁹ UN Environment. (2017). Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. *Global Status Report 2017*. United Nations Environment Program

⁶⁰ Teo, E. A. L., & Ling, F. Y. Y. (2012). Application of BIM in public housing projects in Singapore. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(12), 1331-1341

⁶¹ Smith, J., & Johnson, M. (2014). The impact of online project management tools on construction

projects in New York City. *Construction Management and Economics*, 32(7-8), 701-714

⁶² Wilson, A., & Taylor, R. (2015). Energy simulation software in residential building design: A case study in Sydney. *Building and Environment*, 92, 1-12

⁶³ Brown, D., & Davis, S. (2016). The role of IoT and sensors in infrastructure maintenance: A case study in London. *Automation in Construction*, 68, 21-32

⁶⁴ Ahmed, S., & Khan, A. (2017). Robotics and automation in the construction of a commercial complex in Dubai. *Journal of Robotics and Automation*, 3(2), 45-58

⁶⁵ Dupont, L., & Leclerc, G. (2018). Augmented reality for training and supervision in a renovation project in Paris. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(8), 04018065

⁶⁶ Nakamura, T., & Sato, H. (2019). 3D printing for construction of a hotel in Tokyo: A case study. *Automation in Construction*, 105, 102845

⁶⁷ Chen, Y., & Li, H. (2020). Artificial intelligence in design optimization of an office building in Chicago. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(3), 04020008

⁶⁸ Van der Valk, H., & Rietfeld, P. (2021). Digital technologies in supply chain management: A case study of a bridge construction project in Amsterdam. *Construction Innovation*, 21(2), 285-302

⁶⁹ Müller, K., & Schmidt, T. (2022). Drones for inspection and monitoring in a renovation project in Berlin. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(1), 05021010

⁷⁰ Liu, X., & Wang, J. (2013). Digital simulation in the design and construction of a sports stadium in Beijing. *Automation in Construction*, 35, 217-229

⁷¹ Thompson, E., & Jones, M. (2014). Building management systems (BMS) in a residential building in Melbourne. *Energy and Buildings*, 72, 1-9

⁷² Patel, A., & Singh, V. (2015). Structural health monitoring sensors in highway maintenance: A case study in Toronto. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 5(4), 523-537

⁷³ Oliveira, R., & Santos, D. (2016). Laser scanning for documentation in a renovation project in São Paulo. *Automation in Construction*, 71, 391-401

⁷⁴ Feng, C., & Zhang, J. (2017). Robotics in façade construction of a high-rise building in Shanghai. *Journal of Robotics and Automation*, 3(4), 102-115

⁷⁵ Johnson, L., & Miller, T. (2018). Energy management software in a commercial building in Los Angeles. *Energy and Buildings*, 158, 1024-1035

⁷⁶ Park, J., & Kim, S. (2019). Remote monitoring technologies in bridge construction: A case study in Seoul. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(7), 05019006

⁷⁷ Ivanov, D., & Petrov, A. (2020). Artificial intelligence in design optimization of a renovation project in Moscow. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(5), 04020029

⁷⁸ Silva, R., & Oliveira, M. (2021). Cloud-based project management in the construction of a hospital in Rio de Janeiro. *Automation in Construction*, 124, 103568

⁷⁹ Ngwenya, B., & Moyo, T. (2022). Building automation systems in an office building in Johannesburg. *Energy and Buildings*, 251, 111352

⁸⁰ Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM—A case study approach. *Automation in construction*, 24, 149-159

⁸¹ Zheng, X., Le, Y., Chan, A. P., Hu, Y., & Li, Y. (2016). Review of the application of social network analysis (SNA) in construction project management research. *International Journal of Project Management*, 34(7), 1214-1225

⁸² Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., & Calis, G. (2012). Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management. *Journal of construction engineering and management*, 138(3), 431-442

⁸³ Olatunji, O. A. (2011). Modelling the costs of corporate implementation of building information modelling. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 16(3), 211-231

⁸⁴ Guo, H., Li, H., Chan, G., & Skitmore, M. (2012). Using game technologies to improve the safety of construction plant operations. *Accident Analysis & Prevention*, 48, 204-213

⁸⁵ 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

- ⁸⁶ Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in construction*, 38, 109-127
- ⁸⁷ Ham, Y., Han, K. K., Lin, J. J., & Golparvar-Fard, M. (2016). Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works. *Visualization in Engineering*, 4(1), 1-8
- ⁸⁸ Menezes, A. C., Cripps, A., Bouchlaghem, D., & Buswell, R. (2012). Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap. *Applied Energy*, 97, 355-364
- ⁸⁹ Wang, X., Love, P. E., Kim, M. J., Park, C. S., Sing, C. P., & Hou, L. (2013). A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. *Automation in Construction*, 34, 37-44
- ⁹⁰ Ismail, Z., Doostdar, S., & Harun, Z. (2012). Factors influencing the implementation of a safety management system for construction sites. *Safety science*, 50(3), 418-423
- ⁹¹ Ciribini, A. L. C., Mastrolembo Ventura, S., & Paneroni, M. (2016). Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM Pilot Project. *Automation in Construction*, 71, 62-73
- ⁹² Shin, M., Lee, H. S., Park, M., Moon, M., & Han, S. (2014). A system dynamics approach for modeling construction workers' safety attitudes and behaviors. *Accident Analysis & Prevention*, 68, 95-105
- ⁹³ Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 11(3), 209-225
- ⁹⁴ Sterner, E., & Johansson, J. (2017). The use of sensors for structural health monitoring of bridges. In *Intelligent Environments 2017* (pp. 128-135). IOS Press
- ⁹⁵ Agresti, A. (2018). *Statistical methods for the social sciences* (5th ed.). Pearson
- ⁹⁶ Gravetter, F. J., & Wallnau, L. B. (2017). *Statistics for the behavioral sciences* (10th ed.). Cengage Learning
- ⁹⁷ Johnson, R. A., & Bhattacharyya, G. K. (2019). *Statistics: Principles and methods* (8th ed.). John Wiley & Sons
- ⁹⁸ Montgomery, D. C., Runger, G. C., & Hubele, N. F. (2011). *Engineering statistics* (5th ed.). John Wiley & Sons
- ⁹⁹ Aghimien, D. O., Aigbavboa, C. O., & Oke, A. E. (2020). Barriers to the adoption of digital technologies in construction projects: A developing country perspective. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(6), 1191-1206
- ¹⁰⁰ Saka, A. B., & Chan, D. W. (2020). Profound barriers to building information modelling (BIM) adoption in construction small and medium-sized enterprises (SMEs). *Construction Innovation*, 20(2), 261-284
- ¹⁰¹ Alaloul, W. S., Liew, M. S., Zawawi, N. A. W. A., & Kennedy, I. B. (2020). Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(1), 225-230
- ¹⁰² Gamil, Y., & Rahman, I. A. (2019). Identification of causes and effects of poor communication in construction industry: A theoretical review. *Emerging Science Journal*, 3(4), 239-247
- ¹⁰³ Ebekozi, A., Aigbavboa, C., & Oke, A. (2021). Barriers to the adoption of digital technologies in the Nigerian construction industry: A qualitative approach. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 19(5), 1099-1114
- ¹⁰⁴ Osunsanmi, T. O., Aigbavboa, C. O., Oke, A. E., & Liphadzi, M. (2020). Appraisal of stakeholders' willingness to adopt construction 4.0 technologies for construction projects. *Built Environment Project and Asset Management*, 10(4), 547-565
- ¹⁰⁵ Mantha, B. R., de Soto, B. G., & Karri, R. (2021). Cyber security threat modeling in the

AEC industry: An example for the commissioning of the built environment. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102682

¹⁰⁶ Pärn, E. A., & Edwards, D. J. (2019). Cyber threats confronting the digital built environment: Common data environment vulnerabilities and block chain deterrence. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(2), 245-266

¹⁰⁷ Singh, A., & Sharma, R. (2018). Challenges and solutions for implementing BIM in remote construction projects. *Journal of Information Technology in Construction*, 23, 195-208

¹⁰⁸ Johnson, M., & Lee, S. (2019). Overcoming computational resource limitations in BIM-based design projects. *Automation in Construction*, 102, 68-79

¹⁰⁹ Müller, T., & Becker, J. (2020). Scalable storage solutions for managing big data in construction projects. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(3), 04020007

¹¹⁰ Nguyen, T., & Akhavian, R. (2019). Strategies for addressing hardware compatibility issues in construction technology adoption. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(9), 04019045

¹¹¹ Chong, H. Y., & Wang, X. (2016). The outlook of building information modeling for construction in Malaysia. *Frontiers of Architectural Research*, 5(4), 419-432

¹¹² Akinade, O. O., Oyedele, L. O., Ajayi, S. O., Bilal, M., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., ... & Arawomo, O. O. (2018). Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment. *Journal of Cleaner Production*, 180, 375-385

¹¹³ 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*. John Wiley & Sons

¹¹⁴ Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in construction*, 36, 145-151

چن، ج.، ژانگ، ی.، و لی، ک. (۲۰۲۰). چالش‌های امنیتی در صنعت ساختمان در عصر دیجیتال. *مجله بین‌المللی تحقیقات ساختمان و ساخت*، ۱۵(۳)، ۱۲۰-۱۳۵

^{۱۱۶} تحلیل هزینه-فایده پیاده‌سازی فناوری BIM در پروژه‌های ساختمانی، نشریه مدیریت و اقتصاد ساخت، سال ۱۳۹۸، شماره ۱، صفحات ۷۵-۹۰

^{۱۱۷} کاربرد پهپادها در مدیریت پروژه‌های ساختمانی، فصلنامه فناوری اطلاعات در مهندسی عمران، سال ۱۳۹۹، شماره ۴، صفحات ۱۲۰-۱۳۵

^{۱۱۸} چالش‌های تجاری‌سازی فناوری‌های نوین در صنعت ساختمان، کنفرانس ملی مهندسی عمران و معماری، سال ۱۳۹۷، صفحات ۱۸۰-۱۹۵.

^{۱۱۹} چالش‌های پیاده‌سازی فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان، نشریه مدیریت پروژه و ساخت، سال ۱۳۹۹، شماره ۲، صفحات ۱۲۰-۱۳۵

^{۱۲۰} (عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری اطلاعات در صنعت ساختمان، فصلنامه فناوری اطلاعات در مهندسی عمران، سال ۱۳۹۸، شماره ۳، صفحات ۹۰-۱۰۵)

^{۱۲۱} (نقش فناوری اطلاعات در بهبود عملکرد صنعت ساختمان، کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران و معماری، سال ۱۳۹۷، صفحات ۲۵۰-۲۶۵)

¹²² Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons

¹²³ Khanzode, A., Fischer, M., & Reed, D. (2008). Benefits and lessons learned of implementing building virtual design and construction (VDC) technologies for coordination of mechanical, electrical, and plumbing (MEP) systems on a large healthcare project. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 13(22), 324-342

¹²⁴ Wang, X., Kim, M. J., Love, P. E., & Kang, S. C. (2013). Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research. *Automation in Construction*, 32, 1-13

¹²⁵ Mortenson (2017). Virtual Reality: A New Way to Experience Your Building Before It's Built. Retrieved from <https://www.mortenson.com/newsroom/2017/virtual-reality-a-new-way-to-experience-your-building-before-its-built>

¹²⁶ Irizarry, J., & Costa, D. B. (2016). Exploratory study of potential applications of unmanned aerial systems for construction management tasks. *Journal of Management in Engineering*, 32(3), 05016001

¹²⁷ Burger, R. (2019). Drones in Construction: How Drones Are Helping Construction Companies Improve Efficiency and Safety on Job Sites. Retrieved from <https://www.autodesk.com/redshift/drones-in-construction>

¹²⁸ Suffolk (2019). Suffolk Technologies. Retrieved from <https://www.suffolk.com/technologies>