



تحول دیجیتال در فرایندهای نظارت بر ساخت و ساز ساختمان: ارائه مدل هوشمندسازی برای سازمان نظام مهندسی ساختمان

مجتبی قدس
دکترای نقشه برداری - RS/GIS، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان،
عضو هیئت مدیره سازمان نظام مهندسی ساختمان استان سمنان
mohsen.ghods@gmail.com





از این رو، استقرار نظام نظارت هوشمند مبتنی بر فناوری‌های نوین، به عنوان یکی از الزامات تحول دیجیتال در صنعت ساختمان، اهمیت فزاینده‌ای یافته است.

و اعلام مغایرت‌ها، نقش اصلی را در کنترل کیفیت اجرا بر عهده دارند. با وجود توسعه سامانه‌های الکترونیکی، بخش عمده فرایند نظارت همچنان بر بازدیدهای دوره‌ای، گزارش‌های متنی و مستندسازی محدود متکی است. این رویکرد علاوه بر وابستگی به قضاوت فردی، شفافیت، رهگیری اطلاعات و ارزیابی عملکرد ناظران را با محدودیت مواجه می‌کند [۲].

در سطح جهانی، تحول دیجیتال رویکردهای نوینی را برای مدیریت و نظارت بر پروژه‌های ساختمانی فراهم کرده است. فناوری‌هایی مانند BIM، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، پهپاد، رایانش ابری و تحلیل کلان داده امکان جمع‌آوری، یکپارچه‌سازی و تحلیل مستمر اطلاعات پروژه را فراهم می‌کنند. همچنین استاندارد ISO ۱۹۶۵۰ با تأکید بر مدیریت یکپارچه اطلاعات و محیط مشترک داده‌ها، بستر مناسبی برای استقرار نظام نظارت هوشمند ایجاد کرده است. با این حال، بهره‌گیری نظام‌مند از این فناوری‌ها در کشور با چالش‌هایی نظیر نبود زیرساخت اطلاعاتی یکپارچه، عدم اتصال سامانه‌های سازمانی، کمبود استانداردهای اجرایی و نیاز به توسعه مهارت‌های دیجیتال مهندسان روبه‌رو است. بنابراین، تحقق تحول دیجیتال مستلزم بازطراحی کل فرایند نظارت و حرکت از ثبت اطلاعات به سمت تحلیل هوشمند داده‌ها و پشتیبانی از تصمیم‌گیری مدیریتی است [۳، ۴].

بر این اساس، هدف این پژوهش ارائه چارچوبی کاربردی برای هوشمندسازی فرایندهای نظارت بر ساخت و ساز در سازمان نظام مهندسی ساختمان است. چارچوب پیشنهادی با تکیه بر فناوری‌های نوین، افزایش شفافیت، کاهش خطاهای انسانی، بهبود مستندسازی، ارتقای کیفیت نظارت و ایجاد زیرساخت لازم برای استقرار نظام نظارت داده‌محور را دنبال می‌کند.

۳- چالش‌های فرایند فعلی نظارت بر ساختمان

۳-۱- فرایند موجود نظارت بر ساخت و ساز

فرایند نظارت بر اجرای ساختمان در ایران بر اساس قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان، مقررات

هدف این پژوهش، ارائه چارچوبی کاربردی برای هوشمندسازی فرایند نظارت بر ساخت و ساز در سازمان نظام مهندسی ساختمان است. پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی-تحلیلی مبتنی بر مطالعات اسنادی است. در این راستا، چالش‌های نظام نظارت موجود بررسی و ظرفیت فناوری‌هایی مانند BIM، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، پهپاد و اپلیکیشن‌های همراه در بهبود فرایندهای نظارتی تحلیل شد. بر این اساس، چارچوب پیشنهادی SCSFI ارائه گردید. این چارچوب شامل هشت مرحله است: ثبت دیجیتال پروژه، برنامه‌ریزی هوشمند بازدید، بازدید میدانی، ثبت مستندات، تحلیل هوشمند داده‌ها، تولید گزارش، داشبورد مدیریتی و آرشیو دیجیتال. نتایج نشان می‌دهد اجرای این چارچوب می‌تواند با افزایش شفافیت، کاهش خطاهای انسانی، بهبود مستندسازی، ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری، ارزیابی دقیق‌تر عملکرد ناظران و کشف سریع‌تر تخلفات، زمینه استقرار نظام نظارت داده‌محور و تحقق تحول دیجیتال در سازمان نظام مهندسی ساختمان را فراهم کند.

۲- مقدمه

صنعت ساخت و ساز یکی از بخش‌های راهبردی توسعه اقتصادی و شهری است و کیفیت عملکرد آن تأثیر مستقیمی بر ایمنی، بهره‌وری و پایداری محیط ساخته شده دارد. در این میان، نظارت بر اجرای ساختمان نقش اساسی در تضمین انطباق عملیات اجرایی با مقررات ملی ساختمان، نقشه‌های مصوب، مشخصات فنی و الزامات ایمنی ایفا می‌کند. هرگونه ضعف در این فرایند می‌تواند به کاهش کیفیت ساخت، افزایش هزینه‌های نگهداری، بروز حوادث ساختمانی و کاهش اعتماد عمومی منجر شود؛ از این رو نظام نظارتی کارآمد از الزامات توسعه پایدار و ارتقای کیفیت ساخت و ساز محسوب می‌شود [۱].

در ایران، سازمان نظام مهندسی ساختمان مطابق قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان، مسئول ساماندهی خدمات مهندسی و نظارت بر اجرای مقررات ملی ساختمان است. مهندسان ناظر نیز با انجام بازدیدهای میدانی، ثبت گزارش‌های نظارتی

۱- چکیده

نظارت بر اجرای ساختمان، یکی از ارکان اصلی تضمین کیفیت ساخت، رعایت مقررات ملی ساختمان و حفظ ایمنی بهره‌برداران است. با وجود توسعه سامانه‌های الکترونیکی، فرایندهای نظارتی در بسیاری از سازمان‌های نظام مهندسی ساختمان همچنان بر بازدیدهای دوره‌ای، گزارش‌های متنی و مستندسازی غیرساختاریافته متکی هستند که این امر احتمال خطای انسانی، کاهش شفافیت، دشواری رهگیری اطلاعات و محدودیت در ارزیابی عملکرد مهندسان ناظر را به همراه دارد. از این رو، استقرار نظام نظارت هوشمند مبتنی بر فناوری‌های نوین، به عنوان یکی از الزامات تحول دیجیتال در صنعت ساختمان، اهمیت فزاینده‌ای یافته است.



سازمان نظام مهندسی ساختمان مطابق قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان، مسئول ساماندهی خدمات مهندسی و نظارت بر اجرای مقررات ملی ساختمان است.

جدول ۱- چالش‌های فرایند فعلی نظارت بر ساختمان

فرایند	مشکل	پیامد
بازدید کارگاهی	وابستگی به حضور فیزیکی ناظر	کاهش پوشش نظارتی و احتمال عدم مشاهده تخلفات
ثبت گزارش	گزارش‌های متنی و غیرساختاریافته	دشواری تحلیل و مقایسه اطلاعات
مستندسازی	تصاویر محدود و فاقد اطلاعات مکانی و زمانی	کاهش قابلیت استناد و رهگیری تغییرات
کنترل پروژه	نبود داده‌های لحظه‌ای	تأخیر در شناسایی مشکلات و تخلفات
مدیریت اطلاعات	نبود بانک اطلاعاتی یکپارچه	عدم امکان تحلیل داده‌ها و استخراج شاخص‌های مدیریتی
ارزیابی ناظران	فقدان شاخص‌های عملکردی	دشواری ارزیابی کیفیت و بهره‌وری نظارت
تصمیم‌گیری مدیریتی	نبود داشبوردهای تحلیلی	تصمیم‌گیری واکنشی به جای مدیریت پیشگیرانه

یکپارچه‌سازی داده‌ها، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و هوشمندسازی فرایندهای تصمیم‌گیری، زمینه استقرار نظام نظارت دیجیتال و داده‌محور فراهم شود. (جدول ۱)

۴- فناوری‌های نوین قابل استفاده در فرایند نظارت بر ساخت و ساز

چالش‌های نظام نظارت فعلی، از جمله نبود داده‌های قابل اعتماد، مستندسازی غیرساختاریافته، فقدان پایش مستمر و محدودیت در تحلیل اطلاعات، ضرورت بهره‌گیری از فناوری‌های نوین را آشکار می‌سازد. هدف این فناوری‌ها صرفاً جایگزینی ابزارهای سنتی نیست، بلکه ایجاد یک زنجیره هوشمند نظارت است که از ثبت اطلاعات در محل پروژه تا تحلیل داده‌ها و پشتیبانی از تصمیم‌گیری مدیریتی را به صورت یکپارچه پوشش دهد.

۴-۱- اپلیکیشن مهندس ناظر

اپلیکیشن تخصصی مهندس ناظر نقطه آغاز نظارت دیجیتال است و امکان ثبت برخط اطلاعات پروژه را در محل کارگاه فراهم می‌کند. در این سامانه، تمامی اطلاعات شامل موقعیت جغرافیایی، تاریخ و ساعت بازدید، تصاویر و مشاهدات فنی به صورت خودکار در پرونده دیجیتال پروژه ثبت می‌شود. این قابلیت علاوه بر مستندسازی دقیق و رهگیری تغییرات، مبنا تحلیل‌های بعدی توسط سامانه‌های هوشمند خواهد بود [۷].

بازدیدهای مقطعی و گزارش‌های توصیفی است؛ به گونه‌ای که وضعیت واقعی پروژه بین دو بازدید قابل پایش نیست و احتمال بروز تخلفات یا کاهش کیفیت اجرا افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، مستندسازی دیجیتال نیز با ضعف مواجه است؛ زیرا تصاویر و گزارش‌ها معمولاً فاقد اطلاعات مکانی، زمانی و ارتباط ساختاری با اجزای ساختمان بوده و امکان رهگیری تغییرات یا تحلیل روند پیشرفت پروژه را فراهم نمی‌کنند. همچنین اطلاعات در بانک داده یکپارچه ذخیره نشده و قابلیت تحلیل مدیریتی محدودی دارند [۶].

نبود اطلاعات لحظه‌ای نیز یکی دیگر از محدودیت‌های اساسی است. مدیران سازمان نظام مهندسی و شهرداری‌ها تصویر جامعی از وضعیت جاری پروژه‌ها، میزان پیشرفت، تخلفات و عملکرد ناظران در اختیار ندارند؛ در نتیجه، تصمیم‌گیری‌ها بیشتر بر مبنای گزارش‌های گذشته انجام می‌شود تا داده‌های جاری. افزون بر این، ارزیابی عملکرد مهندسان ناظر به دلیل نبود شاخص‌های کمی، داشبوردهای مدیریتی و ابزارهای تحلیل داده، عمدتاً بر تعداد گزارش‌ها یا شکایات استوار است و امکان سنجش دقیق کیفیت نظارت، سرعت پاسخگویی و میزان کشف تخلفات وجود ندارد.

در مجموع، چالش‌های موجود نشان می‌دهد که توسعه سامانه‌های الکترونیکی به تنهایی برای ارتقای نظام نظارت کافی نیست و لازم است با

ملی ساختمان و دستورالعمل‌های سازمان نظام مهندسی ساختمان انجام می‌شود و از آغاز عملیات اجرایی تا صدور پایان کار ادامه دارد. مهندس ناظر در مراحل مختلف پروژه از کارگاه بازدید کرده، انطباق عملیات اجرایی با نقشه‌های مصوب، ضوابط فنی و الزامات ایمنی را بررسی و نتایج را در قالب گزارش‌های نظارتی به مراجع ذیصلاح ارائه می‌کند [۵].

این فرایند را می‌توان در چهار مرحله بازدید، ثبت گزارش، کنترل و تأیید خلاصه کرد. در مرحله بازدید، کیفیت اجرا، پیشرفت پروژه و تخلفات احتمالی ارزیابی می‌شود؛ اما محدودیت زمانی، تعدد پروژه‌ها و وابستگی به حضور فیزیکی ناظر، امکان پایش مستمر را کاهش می‌دهد. در مرحله بعد، مشاهدات در قالب گزارش‌های متنی و تصاویر ثبت می‌شود که غالباً فاقد ساختار استاندارد و قابلیت تحلیل داده هستند. سپس گزارش‌ها توسط سازمان نظام مهندسی و سایر مراجع بررسی شده و در صورت لزوم اقدامات اصلاحی انجام می‌شود. در نهایت، گزارش‌های نهایی مبنا تأیید مراحل اجرا و صدور پایان کار قرار می‌گیرند. اگرچه این فرایند طی سال‌های گذشته نقش مؤثری در کنترل کیفیت ساخت و ساز داشته است، اما پاسخگوی نیازهای نظارت هوشمند و داده‌محور پروژه‌های امروزی نیست.

۳-۲- مهم‌ترین چالش‌های فرایند فعلی

مهم‌ترین چالش نظام نظارت موجود، اتکا به



پهپادها ابزار مؤثری برای نظارت بر پروژه‌های مرتفع یا گسترده هستند و امکان تصویربرداری سریع، ایمن و دقیق را فراهم می‌کنند.

جدول ۲- کاربرد فناوری‌های نوین در فرایند نظارت بر ساخت و ساز

فناوری	کاربرد در فرایند نظارت	مزیت
اپلیکیشن مهندس ناظر	ثبت بازدید، GPS، زمان، عکس، گزارش دیجیتال	مستندسازی دقیق، حذف کاغذ، افزایش سرعت گزارش دهی
هوش مصنوعی	کنترل گزارش، تحلیل تصاویر، کشف تخلف، اولویت بندی ریسک	کاهش خطای انسانی، افزایش دقت و تصمیم‌گیری هوشمند
پهپاد	کنترل ارتفاع، کنترل نما، پایش پیشرفت پروژه، تصویربرداری هوایی	افزایش پوشش نظارتی، کاهش هزینه و ارتقای ایمنی
BIM	کنترل انطباق اجرا با نقشه، مدیریت تغییرات، مستندسازی پروژه	کاهش مغایرت‌ها، هماهنگی اطلاعات و ایجاد پرونده دیجیتال
اینترنت اشیا	پایش بتن، نشست، لرزش، شرایط محیطی	نظارت لحظه‌ای، هشدار پیشگیرانه و کاهش ریسک اجرای پروژه

۴-۴-BIM

BIM مرجع دیجیتال پروژه محسوب می‌شود و امکان مقایسه اجرای واقعی با مدل مصوب را فراهم می‌کند. از طریق این مدل، مغایرت‌های اجرایی به سرعت شناسایی شده و تغییرات نقشه‌ها برای تمامی ذی‌نفعان به صورت یکپارچه قابل دسترس خواهد بود. همچنین اتصال گزارش‌های نظارتی و تصاویر به مدل BIM، پرونده دیجیتال جامعی از ساختمان ایجاد می‌کند که در مراحل بهره‌برداری نیز ارزشمند است [۱۲].

۴-۵-اینترنت اشیا

اینترنت اشیا با استفاده از حسگرهای هوشمند، نظارت را از بازدهی‌های مقطعی به پایش مستمر تبدیل می‌کند. حسگرهای نصب‌شده در بتن می‌توانند اطلاعاتی مانند دما، رطوبت و روند عمل‌آوری را به صورت برخط ارسال کرده و زمان مناسب ادامه عملیات را مشخص کنند. همچنین حسگرهای پایش نشست، جابه‌جایی و ارتعاش سازه، وضعیت پروژه را به طور پیوسته کنترل کرده و در صورت عبور مقادیر از حدود مجاز، هشدارهای لازم را برای مهندس ناظر و مدیران ارسال می‌کنند. این رویکرد، سرعت شناسایی مشکلات را افزایش داده و احتمال بروز خسارات ناشی از تأخیر در تشخیص نواقص را کاهش می‌دهد [۱۳].

(جدول ۲)

۵- مدل پیشنهادی هوشمندسازی نظارت بر ساخت و ساز

بر پایه چالش‌های شناسایی‌شده و ظرفیت فناوری‌های نوین، در این پژوهش چارچوب SCSF

همچنین استفاده از چک‌لیست‌های هوشمند، یادآوری بازدیدهای الزامی و ارتباط مستقیم با سامانه سازمان نظام‌مهندسی ساختمان، موجب کاهش خطاهای انسانی و تسریع تهیه گزارش‌های نظارتی می‌شود.

۴-۲-هوش مصنوعی

هوش مصنوعی می‌تواند فرایند نظارت را از ثبت اطلاعات به یک سیستم تصمیم‌یار هوشمند ارتقا دهد. این فناوری قادر است کامل بودن گزارش‌ها، تناقض‌های احتمالی و انطباق آنها با مقررات را به صورت خودکار بررسی کند [۸]. علاوه بر این، تحلیل تصاویر ثبت‌شده توسط مهندس ناظر یا پهپاد امکان شناسایی نواقصی مانند ترک، ایرادات آرماتوربندی، مشکلات قالب‌بندی یا کمبود تجهیزات ایمنی را فراهم می‌سازد [۹]. همچنین با تحلیل داده‌های پروژه‌های متعدد،



اینترنت اشیا با استفاده از حسگرهای هوشمند، نظارت را از بازدهی‌های مقطعی به پایش مستمر تبدیل می‌کند.

مرحله چهارم: ثبت مستندات دیجیتال. تصاویر، ویدئوها، داده‌های پهباد، اسکن‌های سه‌بعدی و اطلاعات حسگرها همراه با اطلاعات زمانی و مکانی در پرونده پروژه ذخیره و به اجزای متناظر مدل BIM متصل می‌شوند. این فرایند مستندسازی دقیق، رهگیری تغییرات و ثبت تخلفات را تسهیل می‌کند.

مرحله پنجم: تحلیل هوشمند اطلاعات. در این مرحله، سامانه با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، تصاویر و گزارش‌ها را از نظر نواقص اجرایی، مغایرت با مقررات، مشکلات ایمنی و ناسازگاری با سوابق پروژه تحلیل می‌کند. در صورت شناسایی تخلف یا مغایرت، هشدارهای لازم و پیشنهادها برای اصلاحی ارائه می‌شود.

مرحله ششم: تولید گزارش هوشمند. بر اساس نتایج تحلیل، گزارش نظارتی به صورت نیمه خودکار تولید می‌شود و مهندس ناظر پس از تکمیل

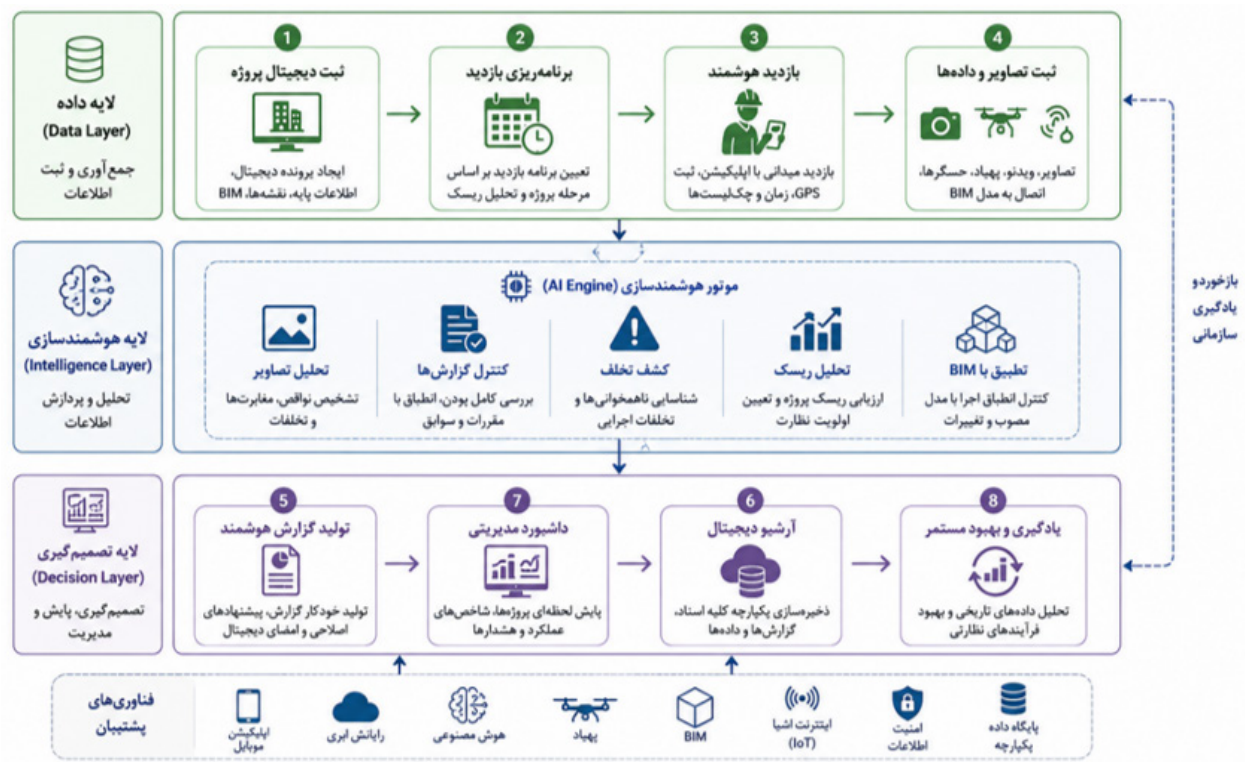
نیز به پرونده متصل می‌شود. اختصاص شناسه یکتا، امکان رهگیری تمامی فعالیت‌های نظارتی را فراهم می‌کند.

مرحله دوم: برنامه‌ریزی هوشمند بازدهی‌ها. سامانه با تحلیل نوع پروژه، مرحله اجرا، میزان پیشرفت، سوابق تخلف و سطح ریسک، زمان و اولویت بازدهی‌ها را تعیین و به مهندس ناظر یادآوری می‌کند. این رویکرد موجب تمرکز منابع نظارتی بر پروژه‌های پرریسک می‌شود.

مرحله سوم: بازدید هوشمند کارگاه. مهندس ناظر از طریق اپلیکیشن تخصصی، اطلاعات بازدید را در محل پروژه ثبت می‌کند. سامانه به طور خودکار موقعیت مکانی، تاریخ و ساعت بازدید را ثبت کرده و چک‌لیست متناسب با مرحله اجرایی را نمایش می‌دهد. همچنین از ثبت گزارش‌های ناقص جلوگیری کرده و تکمیل موارد الزامی را کنترل می‌کند.

برای هوشمندسازی فرایند نظارت بر ساخت‌وساز پیشنهاد می‌شود. این مدل، نظارت سنتی مبتنی بر بازدیدهای مقطعی و گزارش‌های متنی را به یک فرایند یکپارچه، داده‌محور و هوشمند تبدیل می‌کند. تفاوت اصلی این چارچوب با سامانه‌های متداول آن است که داده‌ها پس از ثبت، به صورت خودکار تحلیل شده و نتایج در اختیار مهندسان ناظر، سازمان نظام‌مهندسی ساختمان و سایر مراجع ذی‌ربط قرار می‌گیرد؛ از این رو، نظارت از رویکردی واکنشی به نظامی پیشگیرانه و مبتنی بر تحلیل داده ارتقا می‌یابد.

مرحله اول: ثبت دیجیتال پروژه. فرایند با ایجاد پرونده دیجیتال ساختمان آغاز می‌شود. اطلاعات پایه شامل مشخصات پروژه، پروانه ساختمانی، نقشه‌های مصوب، اطلاعات عوامل پروژه، برنامه زمان‌بندی و سایر مستندات در پایگاه داده متمرکز ثبت شده و در صورت وجود، مدل BIM



شکل ۱- چارچوب مفهومی مدل هوشمندسازی نظارت بر ساخت‌وساز (SCSF)



تجربه کشورهای پیشرو نیز نشان می‌دهد که مهم‌ترین مانع تحول دیجیتال، ضعف در مدیریت تغییر و حکمرانی داده است، نه کمبود فناوری.

جدول ۳- مقایسه روش سنتی و روش هوشمند در فرایند نظارت

شاخص	روش سنتی	روش هوشمند مدل پیشنهادی (SCSF)
تشکیل پرونده پروژه	اسناد پراکنده و کاغذی	پرونده دیجیتال یکپارچه
برنامه ریزی بازدید	بر اساس تجربه فردی	مبتنی بر تحلیل ریسک و داده
ثبت اطلاعات	فرم‌های متنی و تصاویر محدود	اپلیکیشن همراه با GPS، زمان و مستندات دیجیتال
کنترل اجرا	بازدیدهای دوره‌ای	پایش مستمر با داده‌های میدانی و حسگرها
تحلیل اطلاعات	کاملاً انسانی	تحلیل هوشمند با هوش مصنوعی
تهیه گزارش	نگارش دستی	تولید نیمه خودکار و استاندارد
مدیریت پروژه‌ها	گزارش‌های مجزا	داشبورد مدیریتی لحظه‌ای
آرشیو اطلاعات	پرونده‌های فیزیکی یا فایل‌های پراکنده	بانک اطلاعاتی و پرونده دیجیتال ساختمان
تصمیم‌گیری	واکنشی	پیشگیرانه و مبتنی بر تحلیل داده

در سازمان نظام‌مهندسی ساختمان است. موفقیت این تحول به توسعه زیرساخت‌های فناوری، اصلاح قوانین و فرایندها، توانمندسازی نیروی انسانی و تعامل مؤثر با سایر دستگاه‌های اجرایی وابسته است. تجربه کشورهای پیشرو نیز نشان می‌دهد که مهم‌ترین مانع تحول دیجیتال، ضعف در مدیریت تغییر و حکمرانی داده است، نه کمبود فناوری.

توسعه زیرساخت‌های دیجیتال، ایجاد زیرساخت یکپارچه فناوری اطلاعات برای تشکیل پرونده دیجیتال ساختمان، ذخیره‌سازی ایمن اطلاعات، ارتباط برخط با اپلیکیشن مهندسان ناظر، مدیریت مدل‌های BIM و ارائه داشبوردهای مدیریتی ضروری است. بهره‌گیری از رایانش ابری، پایگاه‌های داده متمرکز و CDE مطابق استاندارد ISO ۱۹۶۵۰، تبادل ایمن اطلاعات و یکپارچگی داده‌ها را تضمین می‌کند.

توانمندسازی سرمایه انسانی: تحقق نظارت هوشمند مستلزم آموزش مهندسان، کارشناسان و مدیران در حوزه‌هایی مانند مدیریت داده، مستندسازی دیجیتال، BIM، هوش مصنوعی، امنیت اطلاعات و اخلاق حرفه‌ای است. همچنین طراحی دوره‌ها و گواهینامه‌های تخصصی نظارت

برساخت و ساز را متحول سازد. مهم‌ترین دستاوردهای آن عبارت هستند از: حذف فرایندهای کاغذی و ایجاد پرونده دیجیتال ساختمان، افزایش شفافیت و قابلیت رهگیری اطلاعات، کاهش خطاهای انسانی از طریق چک‌لیست‌ها و تحلیل هوشمند، تبدیل نظارت مقطعی به پایش مستمر، تسریع تهیه و تبادل گزارش‌ها، کشف زود هنگام تخلفات، ارزیابی کمی عملکرد مهندسان ناظر، پشتیبانی از تصمیم‌گیری مدیریتی مبتنی بر داده و فراهم‌سازی زیرساخت توسعه دوقلوی دیجیتال ساختمان. در مجموع، صرفاً یک سامانه نرم‌افزاری نیست، بلکه چارچوبی مدیریتی برای تحقق تحول دیجیتال در نظام نظارت بر ساخت و ساز و مبنایی برای توسعه سامانه‌های نسل جدید در سازمان نظام‌مهندسی ساختمان و شهرداری‌ها به شمار می‌رود. (جدول ۳)

۶- الزامات پیاده‌سازی هوشمندسازی در سازمان نظام‌مهندسی ساختمان

استقرار چارچوب SCSF صرفاً به توسعه نرم‌افزار یا تأمین تجهیزات دیجیتال محدود نیست، بلکه نیازمند ایجاد زیست‌بوم تحول دیجیتال

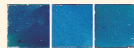
بخش‌های تخصصی، آن را با امضای دیجیتال تأیید می‌کند. استفاده از قالب‌های استاندارد، کیفیت گزارش‌ها را افزایش داده و تبادل هم‌زمان اطلاعات با سازمان نظام‌مهندسی ساختمان، شهرداری و سایر مراجع را امکان‌پذیر می‌سازد.

مرحله هفتم: داشبورد مدیریتی. اطلاعات پروژه‌ها در داشبوردهای مدیریتی تجمیع شده و شاخص‌هایی مانند پیشرفت پروژه، تخلفات، عملکرد مهندسان ناظر، سطح ریسک و پراکندگی پروژه‌ها به صورت لحظه‌ای نمایش داده می‌شود. این داشبوردها از تصمیم‌گیری مبتنی بر داده، اولویت‌بندی بازرسی‌ها و تخصیص بهینه منابع پشتیبانی می‌کنند.

مرحله هشتم: آرشیو دیجیتال و یادگیری سازمانی. تمامی گزارش‌ها، تصاویر، داده‌های حسگرها، هشدارها و سوابق تصمیمات در آرشیو دیجیتال ساختمان ذخیره می‌شود. این بانک اطلاعاتی علاوه بر تشکیل پرونده کامل ساختمان، امکان تحلیل پروژه‌های گذشته، استخراج شاخص‌های عملکرد، آموزش مدل‌های هوش مصنوعی و توسعه دانش سازمانی را فراهم می‌کند. (شکل ۱)

۵- مزایای مدل پیشنهادی

اجرای مدل SCSF می‌تواند نظام نظارت



استفاده از امضای دیجیتال، اصالت گزارش‌ها، جلوگیری از جعل اسناد و تسریع فرایندهای اداری را تضمین می‌کند.



جدول ۴- الزامات کلیدی پیاده‌سازی مدل SCSF

حوزه	اقدامات مورد نیاز	پیامد مورد انتظار
زیرساخت	ایجاد CDE، رایانش ابری، پایگاه داده یکپارچه	مدیریت متمرکز اطلاعات پروژه
منابع انسانی	آموزش مهندسان، مدیران و کارشناسان	افزایش مهارت‌های دیجیتال
قوانین و مقررات	اصلاح آیین‌نامه‌ها، اعتباربخشی اسناد دیجیتال	پشتیبانی حقوقی از نظارت هوشمند
امنیت اطلاعات	رمزنگاری، کنترل دسترسی، ثبت رخدادها	حفاظت از داده‌ها و افزایش اعتماد
امضای دیجیتال	امضای الکترونیکی گزارش‌ها و مکاتبات	حذف اسناد کاغذی و جلوگیری از جعل
یکپارچه‌سازی سامانه‌ها	اتصال به شهرداری، آزمایشگاه‌ها و سایر مراجع	تبادل برخط اطلاعات و کاهش دوباره‌کاری

عملکرد مهندسان ناظر و اولویت‌بندی بازدیدها بر اساس داده‌های موجود اجرا می‌شود. این فاز نقش مهمی در تبدیل نظام نظارت از رویکرد

و داده‌محور تبدیل شود. (جدول ۴)

۱-۶ نقشه راه پیشنهادی استقرار مدل SCSF

به منظور کاهش ریسک‌های ناشی از اجرای تحول دیجیتال و فراهم‌سازی امکان پیاده‌سازی تدریجی مدل SCSF، پیشنهاد می‌شود استقرار این چارچوب در یک نقشه راه چهار مرحله‌ای انجام شود. در فاز نخست، تمرکز بر ایجاد زیرساخت‌های پایه دیجیتال است. در این مرحله، اقداماتی مانند تشکیل پرونده دیجیتال ساختمان، توسعه اپلیکیشن مهندس ناظر، ایجاد پایگاه داده متمرکز، استقرار زیرساخت امضای دیجیتال و تدوین استانداردهای تبادل اطلاعات انجام می‌شود تا بستر لازم برای گردش یکپارچه داده‌ها فراهم گردد.

در فاز دوم هدف هوشمندسازی فرایندهای نظارتی و افزایش ارتباط میان سامانه‌های مرتبط است. در این مرحله، اتصال سامانه سازمان نظام مهندسی ساختمان به شهرداری و آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت، توسعه داشبوردهای مدیریتی و استقرار سامانه مدیریت تصاویر پروژه‌ها در دستور کار قرار می‌گیرد. اجرای این اقدامات موجب کاهش پراکندگی اطلاعات، افزایش شفافیت و بهبود مدیریت فرایندهای نظارتی خواهد شد.

در فاز سوم، قابلیت‌های هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی توسعه می‌یابد. در این مرحله، تحلیل خودکار تصاویر کارگاه، کنترل هوشمند گزارش‌های نظارتی، تحلیل ریسک پروژه‌ها، ارزیابی

دیجیتال می‌تواند به ارتقای شایستگی‌های حرفه‌ای کمک کند.

اصلاح قوانین و فرایندها؛ بازنگری در دستورالعمل‌های اجرایی برای پذیرش اعتبار حقوقی گزارش‌های دیجیتال، داده‌های حسگرها، کاربرد هوش مصنوعی در تصمیم‌سازی و استانداردهای تبادل اطلاعات ضروری است. همسویی با الزامات استاندارد ISO ۱۹۶۵۰ می‌تواند مبنای تدوین مقررات ملی در این حوزه باشد.

امنیت اطلاعات و امضای دیجیتال؛ حفاظت از داده‌های پروژه از طریق احراز هویت چند مرحله‌ای، رمزنگاری، کنترل دسترسی، ثبت سوابق فعالیت کاربران و پشتیبان‌گیری منظم از الزامات اصلی این چارچوب است. همچنین استفاده از امضای دیجیتال، اصالت گزارش‌ها، جلوگیری از جعل اسناد و تسریع فرایندهای اداری را تضمین می‌کند. یکپارچه‌سازی سامانه‌ها؛ اتصال برخط سازمان نظام مهندسی ساختمان با شهرداری، آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت و سایر نهادهای مرتبط، ضمن حذف ورود تکراری اطلاعات و کاهش خطاهای انسانی، امکان ثبت خودکار نتایج آزمایش‌ها و تشکیل پرونده واحد دیجیتال ساختمان را فراهم می‌سازد.

در مجموع، پیاده‌سازی موفق SCSF مستلزم رویکردی جامع در توسعه فناوری، اصلاح مقررات، ارتقای سرمایه انسانی و مدیریت تغییر است تا نظام نظارت سنتی به یک نظام هوشمند، شفاف





آینده نظارت بر ساخت و ساز صرفاً با الکترونیکی کردن فرم‌ها و گزارش‌ها محقق نمی‌شود، بلکه نیازمند یکپارچه‌سازی اطلاعات، تحلیل هوشمند داده‌ها و تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد است.

Mastrolembo Ventura, and A. L. C. Ciribini, "Construction Progress Monitoring through the Integration of 4D BIM and SLAM-Based Mapping Devices," 2023. doi:10.3390/buildings13102488.

[7] N.-H. Pan and N. N. Isnaeni, "Integration of Augmented Reality and Building Information Modeling for Enhanced Construction Inspection—A Case Study," 2024. doi: 10.3390/buildings14030612.

[8] D. Al-Turki et al., "Human-in-the-Loop Learning With LLMs for Efficient RASE Tagging in Building Compliance Regulations," IEEE Access, vol. 12, pp. 185291–185306, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3512434.

[9] X. Wang and N. El-Gohary, "Few-shot object detection and attribute recognition from construction site images for improved field compliance," Autom. Constr., vol. 167, p. 105539, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105539>.

[10] G. Ahmed, S. Ahmad, E.-D. Wael, and N. A. H., "Machine Learning Algorithms for Construction Projects Delay Risk Prediction," J. Constr. Eng. Manag., vol. 146, no. 1, p. 4019085, Jan. 2020, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001736.

[11] T. S. Rachmawati and S. Kim, "Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Integration with Digital Technologies toward Construction 4.0: A Systematic Literature Review," 2022. doi: 10.3390/su14095708.

[12] C. Boje, A. Guerriero, S. Kubicki, and Y. Rezgui, "Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research," Autom. Constr., vol. 114, p. 103179, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>.

[13] M. Mishra, P. B. Lourenço, and G. V. Ramana, "Structural health monitoring of civil engineering structures by using the internet of things: A review," J. Build. Eng., vol. 48, p. 103954, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2021.103954>.



۸- پی‌نوشت

1. Smart Construction Supervision Framework
2. Common Data Environment (CDE)

۹- مراجع

[1] S. Mjakuškina, M. Kavosa, and I. Lapiņa, "Achieving Sustainability in the Construction Supervision Process," J. Open Innov. Technol. Mark. Complex., vol. 5, no. 3, p. 47, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/joitmc5030047>.

[2] H. Moradi, M. H. Sebt, and E. Shakeri, "Toward improving the quality compliance checking of urban private constructions in Iran: An ontological approach," Sustain. Cities Soc., vol. 38, pp. 137–144, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.015>.

[3] M. Bolpagni, R. Gavina, and D. Ribeiro, Industry 4.0 for the Built Environment. Cham: Springer, 2022. doi:10.1007/978-3-030-82430-3.

[4] I. O. for Standardization, "ISO 19650-1:2018," 2018, International Organization for Standardization (ISO), Geneva. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/68078.html>

[۵] دفتر مقررات ملی ساختمان. (۱۳۸۸). مبث دوم مقررات ملی ساختمان: نظامات اداری. وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان.

[6] G. P. M. Vassena, L. Perfetti, S. Comai, S.

واکنشی به رویکرد پیشگیرانه و داده‌محور دارد. در فاز چهارم، هدف توسعه نظام نظارت هوشمند در مقیاس ملی است. در این مرحله، ایجاد بانک ملی داده‌های ساختمان، اتصال به سامانه‌های ملی مدیریت شهری، توسعه دوقلوی دیجیتال ساختمان، تحلیل کلان داده‌ها و سیاست‌گذاری مبتنی بر اطلاعات، زمینه شکل‌گیری یک نظام جامع نظارت هوشمند در سطح کشور را فراهم می‌کند.

۷- جمع‌بندی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که آینده نظارت بر ساخت و ساز صرفاً با الکترونیکی کردن فرم‌ها و گزارش‌ها محقق نمی‌شود، بلکه نیازمند یکپارچه‌سازی اطلاعات، تحلیل هوشمند داده‌ها و تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد است. چارچوب پیشنهادی SCSF با بهره‌گیری هم‌زمان از فناوری‌هایی مانند BIM، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، پهپاد و اپلیکیشن‌های همراه، مسیر گذار از نظارت سنتی به نظامی هوشمند، شفاف و پیشگیرانه را فراهم می‌کند. اجرای این چارچوب می‌تواند ضمن ارتقای کیفیت ساخت و ساز، افزایش بهره‌وری مهندسان ناظر، کاهش تخلفات ساختمانی و بهبود فرایندهای مدیریتی، زیرساخت لازم برای تحقق تحول دیجیتال در صنعت ساختمان ایران را ایجاد کند.