

فناوری‌های نوین و هوشمندسازی در فرایندهای نظارتی و حکمرانی داده‌محور ساخت و ساز



مجتبی فرمند
کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه علم و صنعت، رئیس سازمان نظام مهندسی ساختمان استان یزد و
عضو شورای مرکزی سازمان نظام مهندسی ساختمان
Farahmand.mojtaba@gmail.com





همتای دیجیتال، نسخه‌ای مجازی و زنده از ساختمان است که دائماً با داده‌های دریافتی از حسگرهای اینترنت اشیا به‌روزرسانی می‌شود.

تحت عنوان فناوری‌های ساخت‌وساز وارد ادبیات مهندسی شده‌اند. تحول دیجیتال در فرایندهای نظارتی، دیگر صرفاً یک انتخاب تجملاتی نیست، بلکه ضرورتی حیاتی برای صیانت از سرمایه‌های ملی و ارتقای ایمنی جان شهروندان محسوب می‌شود. الگوی پیش‌رو مستلزم عبور از «داده‌های راکد و بایگانی‌شده» به سمت «حکمرانی هوشمند و داده‌محور» است. در این الگو جدید، داده‌های خام حاصل از بازدیدهای میدانی، حسگرهای کارگاهی و سیستم‌های طراحی، طی یک فرایند هوشمند، پردازش شده و به تصمیمات پیشگیرانه مدیریتی تبدیل می‌گردند.

۳- فناوری‌های کلیدی و نوظهور در نظارت هوشمند

پیاده‌سازی نظارت هوشمند نیازمند به‌کارگیری مجموعه‌ای یکپارچه از فناوری‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است که زنجیره ارزش ساخت‌وساز را از مرحله طراحی تا بهره‌برداری پوشش می‌دهند. مهم‌ترین این فناوری‌ها عبارت هستند از:

۳-۱- مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و نظارت چندبعدی

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان رویکردی شالوده‌ای در تحول دیجیتال است که با ایجاد یک مدل دیجیتال سه‌بعدی غنی از اطلاعات، تمامی مشخصات هندسی، فنی و زمانی پروژه را یکپارچه می‌سازد. در بعد نظارت، این فناوری امکان کشف تداخلات میان دیسپلین‌های معماری، سازه و تأسیسات را پیش از اجرا فراهم می‌آورد. همچنین با الحاق ابعاد چهارم (زمان) و پنجم (هزینه)، ناظران می‌توانند انحرافات پروژه‌ها را از برنامه زمان‌بندی و بودجه به صورت برخط رصد نمایند.

۳-۲- اینترنت اشیا و پایش مستمر با حسگرهای کارگاهی

استفاده از اینترنت اشیا، نظارت را از حالت «مقطعی و دستی» به «پویا و برخط» تبدیل می‌کند. نصب حسگرهای هوشمند در عناصر

از متون گزارش‌های مرحله‌ای مهندسان ناظر، ارسال هشدارهای زودهنگام به مالکان و مجریان، رتبه‌بندی کیفی عوامل ساخت‌وساز، محاسبه شاخص کیفیت ساخت‌وساز و نیازسنجی هدفمند آموزشی به تفصیل تشریح شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی فناوری‌های پایش پویای کارگاهی با پردازش هوشمند متون نظارتی، علاوه بر ارتقای شفافیت زنجیره تأمین مصالح و خدمات، ریسک‌های ساختمانی را به شدت کاهش داده و بستر نهادی لازم برای تحقق حکمرانی داده‌محور در سازمان‌های نظام‌مهندسی کشور را فراهم می‌سازد.

۲- مقدمه

صنعت ساختمان به عنوان یکی از بزرگ‌ترین بخش‌های اقتصادی کشور، سهم عمده‌ای در سرمایه‌گذاری ملی، اشتغال‌زایی و توسعه زیرساخت‌ها دارد. با این حال، تحلیل آسیب‌پذیری ساخت‌وساز شهری نشان می‌دهد که کیفیت کیفی و دوام سازه‌ها همچنان با استانداردهای مطلوب فاصله دارد. الگوی سنتی نظارت بر ساخت‌وساز که متکی بر بازدیدهای میدانی دوره‌ای و مقطعی مهندسان ناظر و ثبت گزارش‌های کاغذی یا متنی متفرق است، در مواجهه با پیچیدگی‌های روزافزون پروژه‌های مدرن لازم را ندارد.

تجربه تلخ سوانح طبیعی متعددی چون زلزله سال ۱۳۹۶ استان کرمانشاه، ابعاد مغفول ماندن نظارت مستند را بیش از پیش نمایان ساخت. بررسی‌های کارشناسی پس از زلزله نشان داد که اصلی‌ترین مانع در تحلیل علل تخریب سازه‌ها و ریشه‌یابی خطاهای اجرایی، فقدان اطلاعات منسجم، شناسنامه‌دار و غیرقابل انکارهای تاریخی از روند ساخت و مصالح مصرفی بوده است. در نظارت‌های سنتی، عدم انطباق‌های فنی غالباً زمانی کشف می‌شوند که کار از کار گذشته و اصلاح آن مستلزم هزینه‌های هنگفت دمونتاژ یا تخریب است.

با ظهور انقلاب صنعتی چهارم، مفاهیم جدیدی

۱- چکیده

صنعت ساخت‌وساز به عنوان یکی از پیشران‌های اصلی اقتصاد ملی، سال‌هاست با چالش‌های ساختاری ناظر بر کیفیت پایین، اتلاف منابع، و نظارت‌های سنتی، مقطعی و غیریکپارچه مواجه است. بروز سوانح طبیعی مانند زلزله ۱۳۹۶ کرمانشاه آشکار ساخت که فقدان اطلاعات مستند، شفاف و ساختاریافته از روند اجرای سازه‌ها، چالش اصلی ارزیابی‌های کارشناسی و پاسخگویی حقوقی است. این مقاله با هدف تبیین الگوهای مدرن نظارت، گذار از «نظارت سنتی و انفعالی» به «حکمرانی داده‌محور و پایش زنده» را بررسی می‌کند. در این راستا، با تلفیق فناوری‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری صنعت ساخت شامل مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، اینترنت اشیا، دوقلو دیجیتال، پهپادها و زنجیره بلوکی، یک بستر جامع تحول دیجیتال پیشنهاد می‌گردد. همچنین با الحاق الگوی نوآورانه «سامانه هوشمند تحلیل داده‌های نظارتی مبتنی بر هوش مصنوعی و پردازش زبان طبیعی»، نحوه استخراج خودکار عدم انطباق‌ها





این مقاله با هدف تبیین الگوهای مدرن نظارت، گذار از «نظارت سنتی و انفعالی» به «حکمرانی داده‌محور و پایش زنده» را بررسی می‌کند.

جدول ۱- معماری چهارلایه‌ای سامانه هوش مصنوعی

لایه سامانه	تکنولوژی و ابزارها	کارکرد و خروجی اصلی
لایه دریافت و جمع‌بندی داده	رابط‌های برنامه‌نویسی یکپارچه، سامانه‌های استانی، کاراکترخوانی نوری متون کاغذی	تغذیه متون گزارش‌ها، مشخصات پروانه، نقشه‌ها و داده‌های حسگرها
لایه پردازش هوشمند	الگوریتم‌های پردازش زبان طبیعی، مدل‌های بازشناسی موجودیت‌های نام‌دار و طبقه‌بندی	شناسایی کلمات کلیدی، استخراج عدم انطباق‌ها و رتبه‌بندی شدت خطر
لایه محاسبات و تحلیل مدیریتی	موتور استنتاج هوش مصنوعی، خط‌کش شاخص کیفیت ساخت و ساز	محاسبه شاخص کیفیت، رتبه‌بندی عوامل، ارزیابی خطرپذیری پروژه
لایه خروجی و هشدارهای زودهنگام	داشبورد مدیریتی، پیامک خودکار، گزارش‌های نظارت عالی	ارسال هشدار تعاریف قانونی به مالک / مجری، ارجاع پروژه‌های پرخطر به بازرسی

تحلیل متون و داده‌های نظارتی مبتنی بر هوش مصنوعی و پردازش زبان طبیعی» به عنوان مغز متفکر تحول دیجیتال، حلقه مفقوده حکمرانی داده‌محور را تکمیل می‌نماید.

۱-۴- بیانیه مسئله و ضرورت هوشمندسازی متون نظارتی

در سیستم‌های فعلی، مهندسان ناظر گزارش‌های خود را در قالب فرم‌های کاغذی یا فیلدهای متنی سامانه‌های استانی ثبت می‌کنند. به دلیل حجم بالای گزارش‌ها، کارشناسان سازمان نظام مهندسی و شهرداری‌ها امکان مطالعه و تحلیل دقیق تمامی متون را ندارند و تنها زمانی به گزارش‌ها مراجعه می‌شود که حادثه‌ای رخ داده یا شاکی خصوصی وجود داشته باشد. این رویکرد انفعالی، موجب مغفول ماندن عدم انطباق‌های بحرانی در حین ساخت می‌شود.

۲-۴- معماری چهارلایه‌ای سامانه هوشمند هوش مصنوعی

سامانه هوشمند پیشنهادی با ساختار چهارلایه‌ای طراحی شده است تا داده‌های خامی متنی و توصیفی ناظران را به دانش عملیاتی و اقدامات پیشگیرانه تبدیل نماید؛ (جدول ۱)

۳-۴- استخراج خودکار عدم انطباق‌ها با پردازش زبان طبیعی

الگوریتم‌های پردازش زبان طبیعی با استفاده

زیستی یا شیمیایی، و نیز به‌کارگیری فیبرهای نوری داخل بتن، امکان تشخیص بروز ترک‌های میکروسکوپی و ترمیم خودکار آن‌ها را فراهم می‌سازد. این امر بار نظارت بر قطعات پنهان سازه را به شدت کاهش می‌دهد.

۵-۳- نقشه‌برداری هوایی با پهپاد و اسکن سه‌بعدی

استفاده از پهپادهای مجهز به دوربین‌های فوتوگرامتری و اسکنرهای لیزری امکان برداشت سریع وضعیت کارگاه، تطبیق ابر نقاط حاصل از اسکن با مدل سه‌بعدی و پایش احجام عملیات خاکبرداری و بتن‌ریزی را با دقتی در حد میلی‌متر و بدون نیاز به حضور در نقاط پرخطر کارگاهی فراهم می‌سازد.

۴- الگوی حکمرانی داده‌محور: سامانه هوشمند تحلیل گزارش‌های نظارت

اگرچه فناوری‌های سخت‌افزاری پایش کارگاهی نقش مهمی در تولید داده دارند، اما بخش اعظم داده‌های نظارتی موجود در سازمان‌های نظام مهندسی ساختمان کشور را «متون و گزارش‌های مرحله‌ای ناظران» تشکیل می‌دهند. سالانه صدها هزار گزارش نظارت ساختمانی شامل متن‌های توصیفی ثبت می‌شوند که به دلیل عدم ساختاریافتگی، به صورت بایگانی‌های راکد باقی می‌مانند. الحاق «سامانه هوشمند

حیاتی سازه امکان پایش لحظه‌ای پارامترهای زیر را فراهم می‌سازد:

- پایش عمل‌آوری بتن: پایش روند هیدراتاسیون، دمای مرکز و سطح بتن، و میزان گیرش در ساعات اولیه بتن‌ریزی جهت جلوگیری از ترک‌های حرارتی
- سنجش رفتار سازه‌ای: اندازه‌گیری میزان تنش، کرنش و جابه‌جایی در مقاطع حساس سازه‌ای و گودبرداری‌های عمیق جهت هشدار خطر ریزش
- کاهش قضاوت سلیقه‌ای: ثبت خطاهای انسانی در کنترل کیفیت مصالح با ارسال داده‌های متقن حسگرها از طریق شبکه‌های ارتباطی پرسرعت

۳-۳- همتای دیجیتال و شبیه‌سازی زنده

تفاوت اساسی همتای دیجیتال با مدل‌های ایستا در «پویایی و جریان دوطرفه داده‌ها» است. همتای دیجیتال، نسخه‌ای مجازی و زنده از ساختمان است که دائماً با داده‌های دریافتی از حسگرهای اینترنت اشیا به‌روزرسانی می‌شود. این بستر به ناظران و مهندسان مشاور اجازه می‌دهد رفتار آتی سازه را در برابر بارگذاری‌های شدید، زلزله یا تغییرات اقلیمی شبیه‌سازی نموده و اقدامات نگهداری پیشگیرانه را به موقع اعمال کنند.

۴-۳- مصالح هوشمند و روش‌های نوآورانه ساخت

به‌کارگیری بتن‌های هوشمند مانند بتن‌های خودترمیم‌شونده حاوی میکرو کپسول‌های



به کارگیری فناوری زنجیره بلوکی ضمانت می‌دهد که گزارش‌های نظارتی، تأییدیه‌های آزمایشگاهی و پایان‌کارها قابلیت تغییر یا دستکاری بعدی را نداشته و به عنوان مستندات قطعی قانونی در مراجع قضایی قابل اتکا باشند.

ساختمان می‌تواند دوره‌های آموزشی ارتقای پایه مهندسان را از حالت تئوری خارج کرده و دقیقاً بر اساس نقاط ضعف واقعی کارگاهی بازطراحی نماید.

۵- تجارب عملی و بسترهای نهادی تحول نظارتی

برای عملیاتی‌سازی نظارت هوشمند، بررسی تجارب موفق کشوری و ایجاد بسترهای یکپارچه نهادی ضروری است:

۵-۱- ارزیابی تطبیقی سامانه‌های ملی (سامانه مازیس و الگوی هوشمند یزد)

تجربه سامانه «مازیس» در استان فارس به عنوان اولین سامانه یکپارچه مدیریت زنجیره تأمین مصالح ساختمانی (به‌ویژه بتن استاندارد) نشان داد که کنترل کیفیت از مبدأ تولید، قابلیت ردیابی مصالح را به شدت افزایش می‌دهد. مصرف‌کننده نهایی با کد پستی یا کد نوسازی می‌تواند شناسنامه فنی بتن مصرفی را دریافت کند.

در تلفیق با این تجربه، الگوی پیاده‌سازی شده در استان یزد مبتنی بر «تحلیل هوشمند داده‌های نظارتی با هوش مصنوعی» نشان داد که چگونه می‌توان بانک‌های داده را کد متنی را به سامانه تصمیم‌یار مدیریتی تبدیل کرد. پیوند سامانه مازیس (کنترل مصالح) با سامانه پردازش متون یزد (کنترل فرایند اجرا) الگویی جامع برای تحول دیجیتال در سطح ملی ارائه می‌دهد.

۵-۲- یکپارچه‌سازی بین‌دستگاه‌های داده‌ها و بستر زنجیره بلوکی

موفقیت کامل تحول دیجیتال نیازمند تبادل خطاناپذیر داده‌ها میان سازمان نظام مهندسی ساختمان، شهرداری‌ها، اداره کل راه و شهرسازی، اداره استاندارد و دادگستری است. به کارگیری فناوری زنجیره بلوکی ضمانت می‌دهد که گزارش‌های نظارتی، تأییدیه‌های آزمایشگاهی و پایان‌کارها قابلیت تغییر یا دستکاری بعدی را نداشته و به عنوان مستندات قطعی قانونی در مراجع قضایی قابل اتکا باشند.

ارسال می‌شود. برای سرپرست کارگاه و ناظر نیز خلاصه‌ای از تأییدیه یا لزوم بازرسی مجدد پیامک می‌گردد. این اقدام، ادعای «عدم اطلاع مالک یا مجری» را در مراجع قضایی کاملاً سلب می‌نماید.

۴-۵- ارزیابی عملکرد و رتبه‌بندی کیفی عوامل ساخت و ساز

یکی از نوآوری‌های اساسی این بستر، ارزیابی عینی و داده‌محور تمامی بازیگران پروژه شامل مهندسان ناظر، مجریان ذی‌صلاح، و سرپرستان کارگاه است. بر خلاف روش‌های سنتی که ارزیابی بر اساس سلیقه انجام می‌شد، سامانه بر اساس سنجش‌های زیرکارنامه عملکردی صادر می‌کند:

- کیفیت گزارش‌نویسی: دقت، دقت زمانی و جامعیت متن گزارش‌های ثبت شده توسط مهندس ناظر.
- نرخ تخلفات اجرایی: تعداد عدم انطباق‌های بحرانی تکرار شده در پروژه‌های تحت مدیریت یک مجری.

- مسئولیت‌پذیری: سرعت واکنش و رفع نقص‌های اعلام شده توسط مالک و مجری.

۴-۶- محاسبه شاخص کیفیت ساخت و ساز و اولویت‌بندی نظارت عالی

سامانه برای هر پروژه ساختمانی شاخصی تحت عنوان «شاخص کیفیت ساخت و ساز» بین ۱۰ تا ۱۰۰ محاسبه می‌کند. این شاخص ترکیبی از داده‌های طراحی، کیفیت مصالح مصرفی، میزان عدم انطباق‌های گزارش شده و سرعت رفع آنها است. پروژه‌هایی که شاخص کیفیت آن‌ها از حد آستانه پایین‌تر برود، به عنوان «پروژه پرخطر» نشان‌دار شده و به صورت خودکار در اولویت بازرسی‌های نظارت عالی سازمان نظام مهندسی ساختمان و اداره کل راه و شهرسازی قرار می‌گیرند.

۴-۷- نیازسنجی هوشمند آموزشی و ارتقای صلاحیت حرفه‌ای

سامانه هوشمند با تحلیل تجمعی کل گزارش‌ها در سطح استان، خطاهای متداول اجرایی (مثلاً ضعف در وصله آماتورها یا عدم اجرای صحیح وال‌پست‌ها) را شناسایی می‌کند. بر اساس این داده‌های واقعی، سازمان نظام مهندسی



از مدل‌های بازشناسی موجودیت‌های نام‌دار و طبقه‌بندی متون، عبارات کیفی مندرج در متن گزارش ناظر را تحلیل می‌کنند. برای مثال، اگر ناظر در متن بنویسد: «در سقف طبقه دوم، فاصله خاموت‌ها رعایت نشده و بتن‌ریزی بدون حضور ناظر انجام شد»، سامانه هوشمند موارد زیر را به صورت خودکار استخراج می‌کند:

- خطای نوع اول (فنی): عدم رعایت فاصله خاموت‌ها (مربوط به مبحث نهم مقررات ملی ساختمان).

- خطای نوع دوم (فرایندی): بتن‌ریزی بدون هماهنگی و حضور ناظر (مفهوم مغایرت اجرایی و حقوقی).

- ارزیابی ریسک: سطح خطر «بسیار بالا» به دلیل اهمیت حیاتی اتصالات آرماتوربندی.

۴-۴- ارسال هوشمند هشدارهای حقوقی و فنی به ذی‌نفعان

به محض تشخیص عدم انطباق توسط هوش مصنوعی، سامانه پیامک‌های هشدار متناسب و ساختاریافته صادر می‌کند. برای مالک و مجری، پیامکی شامل بند دقیق قانونی، تبعات حقوقی در صورت ادامه کار و مهلت رفع نقص



گذار از نظارت سنتی و مقطعی به نظارت هوشمند و حکمرانی داده محور، ضرورتی انکارناپذیر برای ارتقای دوام، ایمنی و کیفیت ساخت و ساز در کشور است.

projects: A structural equation modeling approach. Advanced Engineering Informatics, 37, 18–29.

[7] Xu, J., & Wang, J. (2022). Application of Natural Language Processing (NLP) in construction hazard identification and safety management: A review. Safety Science, 149, 105690.

[8] Davila Delgado, J. M., Oyedele, L., Demian, P., & Beach, T. (2020). A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. Advanced Engineering Informatics, 45, 101112.

[9] Ghimire, S., & Wang, J. (2022). Blockchain technology in construction industry: Trend, implementation barriers, and solutions. Journal of Cleaner Production, 330, 129822.

[10] Zhang, Y., Liu, H., Wang, H., & Yu, Y. (2021). Text mining of construction accident reports using Natural Language Processing and machine learning algorithms. Automation in Construction, 129, 103795.

۳. ایجاد پنجره واحد ساخت و ساز: ایجاد اتصال برخط میان سامانه های مدیریت مصالح (نظیر مازیس)، سامانه های شهرداری، سازمان ثبت اسناد و نظام مهندسی.

۴. مشوق های اقتصادی: اعطای تخفیف های بیمه کیفیت ساختمان و تراکم تشویقی برای پروژه هایی که از فناوری های هوشمندسازی و مدل سازی اطلاعات ساختمان استفاده می کنند.

۵. بازطراحی نظام آموزش مهندسی: تجدیدنظر در سرفصل های دوره های ارتقای پایه مهندسی و گنجاندن مباحث آموزش کار با ابزارهای دیجیتال و فناوری های ساخت و ساز.

۸- مراجع

[1] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. John Wiley & Sons.

[2] Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X. (2019). A review of Building Information Modeling (BIM) and the Internet of Things (IoT) devices integration. Automation in Construction, 101, 127–139.

[3] Lu, Y., Rong, Y., Zhang, X., & Wang, M. (2020). Historical evolution and future trends of smart construction: A bibliometric analysis. Journal of Construction Engineering and Management, 146(9), 04020092.

[4] Opoku, D. G. J., Perera, S., Osei-Kyei, R., & Rashidi, M. (2021). Digital twin in the construction industry: A state-of-the-art review, a conceptual framework, and future research directions. Journal of Building Engineering, 40, 102794.

[5] Zhong, B., Xing, X., Luo, H., Zhou, X., & Huang, Y. (2020). Convolutional neural network-based safety helmet detection for construction site safety. Automation in Construction, 115, 103189.

[6] Alreshidi, E., Merschbrock, M., & Miyatake, Y. (2018). The impact of cloud-based BIM in large-scale infrastructure

۶- چالش های پیاده سازی و موانع پیش رو

تحقق نظارت هوشمند و تحول دیجیتال با چالش های چهارگانه ای مواجه است که نیازمند برنامه ریزی راهبردی است:

■ موانع فنی و زیرساختی: محدودیت های پهنای باند، عدم سازگاری سامانه های نرم افزاری قدیم با ابزارهای هوش مصنوعی و هزینه های پردازش ابری داده های حجم بالا.

■ موانع حقوقی و آئین نامه ای: عدم پیش بینی صریح اعتبار حقوقی گزارش های صادر شده توسط حسگرها یا هشدارهای هوش مصنوعی در آئین نامه ها و قوانین موجود قضایی.

■ موانع مهارتی و فرهنگی: ضعف مهارت های دیجیتال در بدنه مهندسی کشور و مقاومت ذی نفعان سنتی که شفافیت ناشی از هوشمندسازی را منافی منافع خود می دانند.

■ موانع اقتصادی: هزینه های بالای اولیه برای خرید حسگرها، تجهیزات اسکن و استقرار سامانه های هوش مصنوعی، و عدم وجود مشوق های بیمه ای یا مالیاتی.

۷- جمع بندی

گذار از نظارت سنتی و مقطعی به نظارت هوشمند و حکمرانی داده محور، ضرورتی انکارناپذیر برای ارتقای دوام، ایمنی و کیفیت ساخت و ساز در کشور است. تلفیق فناوری های سخت افزاری با سامانه های نرم افزاری پردازش متون نظارتی، بستری مدون ایجاد می کند که در آن عدم انطباق ها پیش از تبدیل شدن به بحران، کشف و اصلاح می گردند.

در راستای عملیاتی سازی این الگو، پیشنهاد های راهبردی زیر ارائه می گردد:

۱. تدوین سند ملی تحول دیجیتال: الزام استقرار سامانه هوشمند تحلیل متون گزارش های ناظران مبتنی بر پردازش زبان طبیعی در تمامی سازمان های نظام مهندسی استان ها.

۲. به روزرسانی چارچوب های حقوقی: اصلاح مبحث دوم مقررات ملی ساختمان و رسمیت بخشیدن به گزارش های الکترونیکی و هشدارهای سامانه های هوشمند در محاکم قضایی.

