

بررسی نقش مدیریت و کنترل فنی پروژه‌های عمرانی شهری در افزایش عمر مفید سازه‌ها

احمد صفدری^{۱*}، امید سالمی^۲، حسن عاشوری^۳

۱- کارشناسی عمران - ساختمان سازی، علمی کاربردی شهرداری های استان بوشهر. (کارشناس استعلامات - شهرداری بندر بوشهر).

۲- کارشناسی ارشد رشته عمران و سازه، دانشگاه لیان. (مسئول حفاری - شهرداری بندر بوشهر)

۳- کارشناسی ارشد عمران - سازه، دانشگاه خلیج فارس. (رئیس اداره عمران - شهرداری بوشهر)

چکیده:

پروژه‌های عمرانی شهری به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین ابزارهای تحقق توسعه پایدار و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان، نیازمند سازه‌هایی با دوام، ایمن و دارای عمر مفید بلندمدت هستند. در این میان، مدیریت پروژه و کنترل فنی به‌عنوان دو رکن اساسی در چرخه حیات پروژه‌های عمرانی، نقشی تعیین‌کننده در تضمین عملکرد مناسب سازه‌ها در طول زمان ایفا می‌کنند. با توجه به شرایط خاص شهرهای ایران، از جمله قرارگیری در پهنه‌های با خطر لرزه‌ای بالا، گسترش بافت‌های فرسوده، محدودیت منابع مالی شهرداری‌ها و پیچیدگی تعامل ذی‌نفعان شهری، توجه به کیفیت مدیریتی و فنی پروژه‌ها اهمیتی دوچندان یافته است. غفلت از الزامات مدیریت علمی پروژه و کنترل دقیق فرآیندهای فنی، منجر به کاهش دوام سازه‌ها، افزایش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و در نهایت، کاهش ایمنی و کارایی زیرساخت‌های شهری می‌شود. هدف اصلی این پژوهش، بررسی و تبیین نقش مدیریت پروژه و کنترل فنی در افزایش عمر مفید سازه‌های عمرانی شهری، با تأکید بر پروژه‌های متعلق به شهرداری‌ها است. این مطالعه تلاش دارد با شناسایی سازوکارهای مدیریتی و فنی مؤثر، چارچوبی تحلیلی برای بهبود کیفیت اجرا و دوام بلندمدت سازه‌ها ارائه دهد. روش تحقیق مبتنی بر مرور نظام‌مند منابع علمی و پژوهش‌های داخلی معتبر در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۵ بوده و تحلیل مطالب با استفاده از رویکرد تحلیل مضمون انجام شده است. در این فرآیند، مقالات مرتبط در حوزه مدیریت پروژه، کنترل کیفیت فنی، پدافند غیرعامل، بهسازی بافت فرسوده و فناوری‌های نوین عمرانی مورد بررسی و تطبیق قرار گرفتند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که یکپارچگی مدیریت پروژه با کنترل فنی مستمر و مبتنی بر داده، مهم‌ترین عامل در افزایش دوام و عمر مفید سازه‌های شهری است. برنامه‌ریزی دقیق، مدیریت ریسک فنی، به‌کارگیری فناوری‌های نوین نظیر BIM و سیستم‌های پایش سلامت سازه، کنترل کیفیت مصالح و اجرای صحیح جزئیات اجرایی، همگی از عواملی هستند که به‌طور مستقیم بر عملکرد بلندمدت سازه‌ها تأثیر می‌گذارند. همچنین نتایج حاکی از آن است که نقش شهرداری‌ها در نهادینه‌سازی فرهنگ کیفیت، نظارت فنی و مدیریت دانش، کلید اصلی دستیابی به زیرساخت‌های پایدار و ایمن شهری محسوب می‌شود.

واژگان کلیدی: دوام سازه، مدیریت پروژه، کنترل فنی، پروژه‌های عمرانی شهری، پایداری شهری

مقدمه

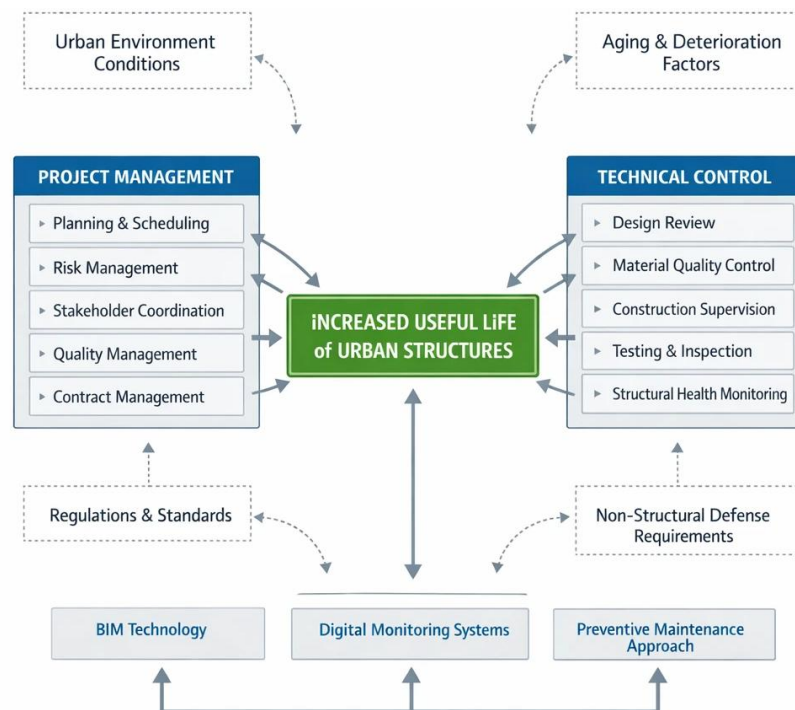
پروژه‌های عمرانی شهری به عنوان محرک‌های اصلی توسعه فضایی و زیرساختی شهرها، تأثیرات چندوجهی بر کیفیت زندگی شهروندان و پایداری محیط زیست شهری دارند. با توجه به گستردگی سرمایه‌گذاری‌های عمومی در این پروژه‌ها، تضمین این موضوع که سازه‌های احداث شده بتوانند برای دوره‌های زمانی مورد انتظار، عملکرد مطلوب خود را حفظ کنند، یک دغدغه محوری برای نهادهای مدیریت شهری است. در این میان، مفهوم "عمر مفید سازه" فراتر از صرفاً زمان طراحی تا تخریب تعریف می‌شود و شامل توانایی سازه برای انجام وظایف عملکردی خود تحت بارهای سرویس‌دهی و در شرایط محیطی مشخص است (عاقربان و همکاران، ۲۰۲۴). نادیده گرفتن نقش محوری مدیریت و کنترل فنی در این فرآیند، اغلب منجر به بروز خرابی‌های زودرس، نیاز به تعمیرات پرهزینه و در نهایت، اتلاف منابع ملی و کاهش سطح ایمنی عمومی می‌گردد. ساختارهای شهری، به ویژه در بافت‌های فرسوده، همواره در معرض تهدیدات متعددی از جمله بارهای لرزه‌ای، فرسایش محیطی و استفاده نامناسب قرار دارند، که مدیریت فنی پیشگیرانه را به یک ضرورت تبدیل می‌سازد.

ماهیت پیچیده پروژه‌های عمرانی مدرن، که با دخالت ذی‌نفعان متعدد، استفاده از فناوری‌های نوین و الزامات قانونی سخت‌گیرانه همراه است، نیازمند یک چارچوب مدیریتی منسجم و کنترل فنی دقیق در تمام مراحل است. مدیریت پروژه در این بافت، دیگر محدود به زمان‌بندی و بودجه نیست، بلکه باید شامل مدیریت کیفیت جامع، مدیریت ریسک فنی و تضمین انطباق با استانداردهای عملکردی بلندمدت باشد (محمدی ده چشمه و پرویزیان، ۲۰۲۴). عدم وجود یک سیستم کنترلی قوی در مراحل حساس طراحی و اجرا، می‌تواند عیوبی را در تار و پود سازه نهادینه کند که تنها پس از سال‌ها فعالیت آشکار شده و هزینه‌های هنگفتی را بر شهرداری‌ها تحمیل می‌نماید. این مسئله به ویژه در پروژه‌های زیرساختی حیاتی مانند پل‌ها، تونل‌ها و ساختمان‌های بلندمرتبه شهری اهمیت مضاعفی پیدا می‌کند، جایی که شکست سازه‌ای می‌تواند عواقب فاجعه‌باری به دنبال داشته باشد.

بررسی ادبیات نشان می‌دهد که یکپارچگی میان فرآیندهای مدیریتی و فعالیت‌های کنترل کیفی، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده در پیش‌بینی و افزایش طول عمر سازه است. برای مثال، کنترل کیفیت بتن ریزی، که شامل بررسی دقیق اسلامپ، نسبت آب به سیمان و عمل‌آوری مناسب است، مستقیماً بر مقاومت نهایی و نفوذپذیری مصالح تأثیر می‌گذارد و بدین ترتیب، مقاومت سازه در برابر خوردگی و عوامل محیطی را تعیین می‌کند (صادقی‌اذر، ۲۰۲۲). مدیریت پروژه باید تضمین کند که منابع کافی، شامل نیروی انسانی متخصص و تجهیزات کالیبره‌شده، به فعالیت‌های کنترل فنی اختصاص یابد و هیچ مرحله‌ای بدون تأیید فنی لازم به مرحله بعدی منتقل نشود. این رویکرد کل‌نگر، تفاوت اساسی میان ساخت و ساز صرف و ایجاد زیرساخت‌های پایدار را رقم می‌زند. علاوه بر جنبه‌های فنی و اجرایی صرف، مدیریت فنی پروژه‌های شهری باید ملاحظات کلان‌تری مانند پدافند غیرعامل و انعطاف‌پذیری سازه در برابر بلایای طبیعی را نیز در بر گیرد. طراحی و اجرای سازه‌هایی که در برابر شوک‌های خارجی (نظیر زلزله یا حملات) مقاوم باشند، نیازمند نظارت فنی بسیار سخت‌گیرانه‌تر در مراحل برش آرماتور، رعایت کاور بتن و اتصالات سازه‌ای است (رستم‌پیشه و همکاران، ۲۰۲۳). در حقیقت، کنترل فنی در اینجا تبدیل به ابزاری برای سنجش میزان انطباق طرح با الزامات ایمنی ملی و شهری می‌شود و تأکید آن از صرفاً انطباق با نقشه‌ها به انطباق با سطوح عملکردی تعریف شده در برابر بحران‌ها تغییر می‌یابد. این بُعد مدیریتی، یکپارچگی الزامات فنی را در اولویت‌های اصلی پروژه قرار می‌دهد.

فناوری‌های نوین، از جمله مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و استفاده از حسگرهای هوشمند، نقش کنترلی را متحول ساخته‌اند. مدیریت پروژه مدرن، با بهره‌گیری از BIM، می‌تواند از مراحل اولیه طراحی، تداخلات احتمالی و ضعف‌های کیفی آتی را شناسایی کرده و آن‌ها را پیش از اجرا اصلاح نماید، که این امر موجب کاهش ضایعات و افزایش دقت اجرا می‌شود (نادری و حسن‌پور، ۲۰۲۲). کنترل فنی نیز با استفاده از ابزارهای پایش بی‌درنگ (Real-time Monitoring) می‌تواند صحت اجرای المان‌ها را به صورت مستمر تأیید کند. این تحول دیجیتال، امکان تصمیم‌گیری به هنگام و مبتنی بر داده را فراهم می‌آورد که در گذشته تنها بر اساس بازرسی‌های ادواری و سنتی میسر بود. این امر به طور مستقیم عمر مفید سازه را از طریق کاهش خطای انسانی و بهبود مستندسازی افزایش می‌دهد. نقش شهرداری‌ها به عنوان متولی اصلی پروژه‌های عمرانی شهری، مستلزم آن است که این سازمان‌ها از یک رویکرد واکنشی (تعمیر پس از خرابی) به یک رویکرد پیشگیرانه (مدیریت کیفیت از مبدأ) حرکت کنند. این تغییر پارادایم نیازمند توانمندسازی مدیریت پروژه در اجرای صحیح روش‌های کنترل کیفیت آماری (SQC) و تضمین کیفیت (QA) است. باستانی و همکاران (۲۰۱۹) بر لزوم ایجاد فرهنگ سازمانی که در آن کنترل فنی نه به عنوان یک مانع بوروکراتیک، بلکه به عنوان عنصری حیاتی برای ارزش‌آفرینی بلندمدت تلقی شود، تأکید کرده‌اند. این فرهنگ، باعث افزایش تعهد پیمانکاران و مشاوران به رعایت دقیق‌تر جزئیات فنی می‌شود.

کنترل فنی در پروژه‌های بهسازی و نوسازی بافت فرسوده شهری نیز دارای اهمیت مضاعفی است. در این پروژه‌ها، مدیریت پروژه باید علاوه بر کنترل کیفیت ساخت و ساز جدید، بر ارزیابی دقیق وضعیت سازه‌های موجود و نحوه اتصال سازه‌های جدید به زیرساخت‌های قدیمی تمرکز کند. عظیمی و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده‌اند که عدم اجرای صحیح اتصالات و ضعف در مهاربندی در سازه‌هایی که در مجاورت بافت قدیمی ساخته می‌شوند، می‌تواند منجر به آسیب‌پذیری کل مجموعه در برابر نیروهای جانبی گردد. مدیریت فنی باید این تعاملات پیچیده بین المان‌های جدید و قدیم را به دقت تحت نظر داشته باشد تا عمر مفید کل پهنه شهری تضمین شود. در نهایت، موفقیت در افزایش عمر مفید سازه‌ها مستلزم درک عمیق از نقش متقابل مدیریت فرآیندها و کنترل عملکرد مصالح و اجزاست. این مقاله با هدف تحلیل عمیق این پیوند و ارائه چارچوبی مبتنی بر یافته‌های مرور نظام‌مند، به دنبال پاسخگویی به این سؤال بنیادین است که چگونه می‌توان با تقویت ابزارهای مدیریتی و سخت‌گیری‌های فنی، دوام و عملکرد سازه‌های شهری را در برابر فشارهای محیطی و بهره‌برداری روزافزون، تضمین کرد. این بررسی، راهنمایی‌های عملی برای متخصصان عمران شاغل در شهرداری‌ها فراهم می‌آورد تا بتوانند رویکردهای خود را به سمت پایداری و کیفیت حداکثری هدایت نمایند.



شکل ۱. مدل مفهومی نقش مدیریت پروژه و کنترل فنی در افزایش عمر مفید سازه‌های عمرانی شهری

مدل مفهومی ارائه شده در این شکل، چارچوبی یکپارچه از تعامل میان دو مؤلفه اصلی مدیریت پروژه و کنترل فنی را در راستای افزایش عمر مفید سازه‌های شهری نمایش می‌دهد. در این مدل، مدیریت پروژه از طریق مؤلفه‌هایی نظیر برنامه‌ریزی و زمان‌بندی، مدیریت ریسک، هماهنگی ذی‌نفعان، مدیریت کیفیت و مدیریت قراردادهای، بستر سازمان‌یافته‌ای برای تحقق اهداف عملکردی بلندمدت سازه فراهم می‌سازد. در مقابل، کنترل فنی با تمرکز بر بازنگری طراحی، کنترل کیفیت مصالح، نظارت اجرایی، آزمایش و بازرسی، و پایش سلامت سازه، تضمین‌کننده انطباق اجرای پروژه با الزامات فنی و عملکردی است. همچنین اثرگذاری عوامل زمینه‌ای شامل شرایط محیط شهری، فرآیندهای فرسودگی و کهنگی، الزامات مقررات و استانداردها و ملاحظات پدافند غیرعامل در قالب یک سیستم پویا لحاظ شده است. نقش فناوری‌های پشتیبان نظیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، سامانه‌های پایش دیجیتال و رویکرد نگهداری پیشگیرانه نیز به‌عنوان ابزارهای تقویت‌کننده ارتباط میان تصمیمات مدیریتی و عملکرد فنی سازه تبیین شده است. این مدل مبنای نظری تحلیل‌های بعدی مقاله را تشکیل داده و نشان می‌دهد که افزایش دوام و عمر مفید سازه‌های شهری، حاصل هم‌افزایی نظام‌مند میان مدیریت کارآمد و کنترل فنی مستمر در طول چرخه عمر پروژه است.

۲. مرور نظام‌مند و روش‌شناسی تحقیق

روش مرور نظام‌مند (Systematic Literature Review - SLR) به عنوان چارچوبی دقیق و قابل تکرار برای سنتز دانش موجود در یک حوزه تخصصی، این امکان را فراهم می‌آورد که شواهد علمی پیرامون نقش مدیریت و کنترل فنی در افزایش عمر مفید سازه‌ها به صورت عینی و بدون سوگیری‌های رایج در مرورهای روایتی، جمع‌آوری و تحلیل شوند. این رویکرد پژوهشی برای مخاطبان سطح دکتری، که نیازمند استناد به قوی‌ترین شواهد موجود هستند، اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش،

چارچوب PRISMA به صورت ضمنی برای شفاف‌سازی فرآیند جستجو و انتخاب مطالعات مورد استفاده قرار گرفت، هرچند تمرکز بر تحلیل مضمون عمیق مقالات منتخب است. دامنه زمانی-موضوعی این مرور، مقالات منتشر شده از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ را پوشش داد تا تأکید بر جدیدترین رویکردها و فناوری‌ها در مدیریت عمرانی شهری حفظ شود.

معیارهای انتخاب مطالعات بر اساس سه رکن اصلی تعریف شدند: اول، تمرکز موضوعی بر یکی از سه حوزه اصلی (مدیریت پروژه، کنترل فنی/کیفیت، یا تحلیل عمر سازه) در زمینه پروژه‌های عمرانی شهری؛ دوم، ارائه نتایج کمی یا کیفی قابل استخراج در رابطه با تأثیر این فعالیت‌ها بر طول عمر یا دوام سازه‌ای؛ و سوم، انتشار در مجلات یا کنفرانس‌های معتبر علمی که امکان استنادپذیری بالایی داشته باشند. معیارهای خروج نیز شامل مقالاتی بود که صرفاً بر جنبه‌های اقتصادی یا اجتماعی محض تمرکز داشتند یا به طور خاص به تعمیرات و نگهداری پس از بهره‌برداری می‌پرداختند و تأثیر مراحل طراحی و اجرا را نادیده می‌گرفتند. این فیلترگذاری سخت‌گیرانه، تضمین می‌کند که تنها مطالعاتی که مستقیماً به نقش پیشگیرانه مدیریت و کنترل فنی می‌پردازند، وارد تحلیل شوند. فرآیند جستجو با استفاده از ترکیبی از کلیدواژه‌های فارسی و انگلیسی (با معادل‌یابی مناسب) در پایگاه‌هایی نظیر Scopus، Web of Science و پایگاه‌های داخلی معتبر انجام شد. ترکیب کلیدواژه‌ها شامل مواردی چون "مدیریت پروژه ساختمانی" AND "عمر مفید"، "کنترل کیفیت اجرا" AND "دوام سازه"، "مدیریت فنی" AND "پایداری شهری" و معادل‌های انگلیسی آن‌ها بود. پس از غربالگری اولیه بر اساس عنوان و چکیده، متن کامل مقالات باقی‌مانده جهت ارزیابی دقیق‌تر و استخراج داده‌های مرتبط مورد مطالعه قرار گرفتند. این رویکرد دو مرحله‌ای، دقت انتخاب را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد.

تحلیل مضمون (Thematic Analysis) به عنوان روش اصلی تحلیل داده‌های کیفی استخراج شده از مطالعات منتخب به کار رفت. پس از استخراج داده‌ها، کدهای اولیه مرتبط با فرآیندهای مدیریتی (مانند برنامه‌ریزی ریسک، مدیریت ذی‌نفعان)، روش‌های کنترلی (مانند آزمایش‌های غیرمخرب، بازرسی‌های مرحله‌ای) و پیامدهای فنی (مانند کاهش نفوذپذیری، افزایش مقاومت فشاری) کدگذاری شدند. سپس، این کدها خوشه‌بندی شده و مضامین اصلی شکل گرفتند که نشان‌دهنده روابط علی و معلولی میان فعالیت‌های مدیریتی و بهبود پارامترهای دوام سازه بودند. این تحلیل مضمون به طور خاص بر یافتن همپوشانی‌ها و تفاوت‌های رویکردهای مختلف در مطالعات متمرکز شد. یکی از محورهای کلیدی در این تحلیل، نقش نهاد مدیریت شهری در تعریف استانداردهای کنترلی بود. نادعلی جلولخانی و همکاران (۲۰۱۸) تأکید دارند که تعریف شاخص‌های عملکردی (KPIs) برای پیمانکاران، که مستقیماً با دوام بلندمدت مرتبط باشد، از وظایف اصلی مدیریت پروژه در پروژه‌های شهری است. یافته‌های مرور نظام‌مند، نقش این شاخص‌ها را در هدایت فعالیت‌های کنترل فنی به سمت اهداف اصلی (افزایش عمر مفید) مشخص ساخت. همچنین، مطالعاتی که بر تلفیق مدیریت ریسک با کنترل فنی تمرکز داشتند، شواهد قوی‌تری مبنی بر کاهش خطاهای پرهزینه در فاز اجرا ارائه کردند.

ارزیابی کیفیت اجرای فنی مستلزم مقایسه نتایج آزمایشگاهی با الزامات طراحی بود. رستمی و نادریگی (۲۰۲۲) به اهمیت نظارت مستمر بر انطباق ابعادی و کیفی المان‌های پیش‌ساخته اشاره کرده‌اند. در تحلیل مضمون، نتایج این مطالعات نشان دادند که هرگونه انحراف در تolerانس‌های ساخت، حتی اگر در کوتاه‌مدت قابل مشاهده نباشد، در طول زمان به دلیل تجمع تنش‌ها و تمرکز بارهای اضافی، به نقطه ضعف سازه تبدیل شده و عمر مفید را کاهش می‌دهد. بنابراین، کنترل فنی باید ابعاد هندسی را به اندازه خواص مکانیکی مواد مورد توجه قرار دهد. باستانی و همکاران (۲۰۱۹) بر اهمیت پایش مستمر وضعیت مصالح در طول پروژه تأکید داشتند. در مرور نظام‌مند مشخص شد که مطالعاتی که سیستم‌های مدیریت اطلاعات مصالح (Material Information Management Systems) را پیاده‌سازی کرده بودند، توانستند دوره‌های بازرسی فنی را به شکل

بهینه‌تری تنظیم کنند. این سیستم‌ها به مدیریت پروژه اجازه داد تا سوابق دقیق کیفیت هر دسته از مصالح را در تمام طول عمر مفید سازه نگهداری کند، که برای ارزیابی‌های آینده و تعیین برنامه نگهداری ضروری است. این جنبه از کنترل فنی، یکپارچگی داده‌ها را در چرخه عمر پروژه تضمین می‌کند.

رویکردهای نوین در مدیریت پروژه، مانند چابکی (Agile) در پروژه‌های شهری، اگرچه جدید هستند، اما در برخی جنبه‌ها توانسته‌اند کنترل فنی را بهبود بخشند. نوذری و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که اجرای پروژه‌های کوچک‌تر و تکراری (مانند تعویض تأسیسات شهری یا بهسازی موضعی) با روش‌های چابک، امکان دریافت بازخورد فنی سریع‌تر و اصلاح فوری فرآیندها را فراهم می‌آورد. این انعطاف‌پذیری در کنترل فرآیند، از تثبیت عیوب در مقیاس بزرگ جلوگیری می‌کند و در نتیجه، بر دوام کلی زیرساخت تأثیر مثبت می‌گذارد. در نهایت، این مرور نظام‌مند تأیید کرد که ادبیات پژوهشی موجود، همگی بر این نکته متمرکز هستند که مدیریت و کنترل فنی باید به صورت یک سیستم یکپارچه عمل کنند؛ مدیریت باید چارچوب را فراهم آورد و کنترل فنی باید صحت اجرای آن چارچوب را تأیید کند. غیائی و همکاران (۲۰۲۳) به طور خاص به لزوم ادغام استانداردسازی در کنترل فنی اشاره کرده‌اند تا اطمینان حاصل شود که هرگونه تغییر در پیمانکاران یا فناوری‌ها، منجر به افت کیفیت اجرا نخواهد شد. این بررسی، پایه‌ای نظری برای بخش‌های بعدی مقاله فراهم آورد تا این ارتباطات را در قالب مباحث مدیریتی و فنی عمیق‌تر تشریح نماید.

۳. مدیریت پروژه و الزامات افزایش عمر مفید سازه

مدیریت پروژه در پروژه‌های عمرانی شهری، به مثابه مغز متفکر پروژه، مسئول تعریف، سازماندهی و هدایت منابع برای دستیابی به اهداف سه‌گانه (زمان، هزینه، کیفیت) است؛ اما برای دستیابی به هدف چهارم یعنی "افزایش عمر مفید سازه"، این مدیریت باید رویکردی بلندمدت و مهندسی محور اتخاذ کند. این امر مستلزم فراتر رفتن از مدیریت عملیاتی صرف و ورود به حوزه‌های مدیریت ریسک فنی و تضمین عملکرد سازه‌ای است. محمدی ده چشمه و پرویزیان (۲۰۲۴) بیان می‌کنند که قصور در فاز برنامه‌ریزی اولیه، به ویژه در تعریف دقیق دامنه و اهداف کیفی، ریسک شکست سازه‌ای در آینده را به شدت افزایش می‌دهد. مدیر پروژه باید از ابتدا، معیارهای دوام و عملکرد مورد انتظار در طول عمر طراحی را به عنوان اهداف اصلی پروژه تعریف کند، نه به عنوان یک نتیجه جانبی. یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریتی در این زمینه، پیاده‌سازی یک سیستم جامع مدیریت ریسک فنی است. در پروژه‌های شهری، ریسک‌ها صرفاً اقتصادی یا زمانی نیستند، بلکه شامل ریسک‌های مرتبط با شرایط ژئوتکنیکی نامناسب، خطاهای محاسباتی در طراحی سازه‌های خاص (مانند پی‌های عمیق در مناطق شهری متراکم) و همچنین ریسک‌های مرتبط با انتخاب و تأمین مصالح است. رستم‌پیشه و همکاران (۲۰۲۳) بر لزوم تحلیل ریسک لرزه‌ای و تعیین سطوح عملکرد مورد نیاز (Performance Based Design) در مدیریت پروژه تأکید کرده‌اند. مدیریت پروژه موفق باید اطمینان حاصل کند که تمام ریسک‌های شناسایی شده، دارای استراتژی کاهش ریسک (Mitigation Plan) مشخص و تأیید شده توسط کمیته فنی باشند، و این برنامه‌ها در طول اجرا به دقت پایش شوند.

هماهنگی میان ذی‌نفعان متعدد یکی دیگر از چالش‌های محوری در پروژه‌های شهری است که مدیریت پروژه باید آن را مدیریت کند. ذی‌نفعان شامل ارگان‌های نظارتی شهرداری، سازمان‌های خدمات‌رسان، مشاوران، پیمانکاران، و از همه مهم‌تر، جامعه محلی هستند. نادری و حسن‌پور (۲۰۲۲) نشان می‌دهند که عدم شفافیت در ارتباطات و ناهماهنگی میان تیم‌های مختلف، به ویژه بین تیم طراحی و تیم اجرا، موجب می‌شود که تصمیمات فنی در لحظه و بدون در نظر گرفتن پیامدهای بلندمدت اتخاذ شوند. مدیریت پروژه باید یک ساختار ارتباطی قوی تعریف کند که در آن، هرگونه تغییر در طراحی یا اجرا

که بر دوام تأثیر می‌گذارد، از طریق کانال‌های رسمی و با تأیید مشاور و ناظر فنی به ثبت رسیده و اجرا شود. استفاده از فناوری‌های نوین مدیریتی، مانند BIM، توانایی مدیران پروژه را در ارتقاء عمر مفید سازه به شکل چشمگیری افزایش داده است. BIM فراتر از مدل‌سازی سه‌بعدی است؛ این فناوری امکان شبیه‌سازی عملکرد سازه تحت بارهای مختلف در طول زمان را فراهم می‌آورد و به مدیر پروژه اجازه می‌دهد تا "مدل اطلاعاتی" را به "مدل عملکردی" تبدیل کند (نادعلی جلوخانی و همکاران، ۲۰۱۸). این امر به مدیران کمک می‌کند تا وابستگی‌های پیچیده میان اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای را بهتر درک کرده و از ایجاد نقاط ضعف سیستمی که عمر مفید را کاهش می‌دهند، جلوگیری نمایند. مدیریت پروژه باید سرمایه‌گذاری لازم برای آموزش و به‌کارگیری مؤثر این ابزارها را در اولویت قرار دهد.

در پروژه‌هایی که شامل بهسازی بافت فرسوده هستند، مدیریت پروژه باید یک رویکرد توسعه پایدار و فرهنگی را دنبال کند. عظیمی و همکاران (۲۰۱۴) بیان می‌دارند که دخالت دادن جامعه محلی در مراحل اولیه و حفظ ارتباط مثبت با آن‌ها، ریسک‌های اجرایی ناشی از مخالفت‌های مردمی را کاهش می‌دهد. اما جنبه فنی این مشارکت، اطمینان از انطباق سازه‌های جدید با مقیاس و ویژگی‌های سازه‌ای موجود است تا یکپارچگی بافت شهری حفظ شود. مدیریت پروژه باید در این حالت، مدیریت تأثیرات محیطی (Environmental Impact Management) را به عنوان یک جزء جدایی‌ناپذیر از کنترل فنی در نظر بگیرد، مثلاً کنترل آلودگی صوتی و گرد و غبار که می‌تواند بر سلامت سازه‌های قدیمی مجاور تأثیر بگذارد. مسئله تخصیص و مدیریت منابع کیفی، به طور مستقیم با توانایی مدیریت پروژه در تضمین کیفیت اجرا مرتبط است. صادقی‌اذر (۲۰۲۲) اشاره می‌کند که یکی از دلایل اصلی افت کیفیت بتن، استفاده از پیمانکاران فرعی فاقد صلاحیت یا کمبود نیروی کار ماهر است. مدیریت پروژه باید یک فرآیند سخت‌گیرانه برای ارزیابی صلاحیت (Qualification) پیمانکاران در تمام سطوح و اطمینان از به‌کارگیری نیروی کار مجرب در فعالیت‌های حیاتی (مانند جوشکاری اتصالات حساس یا اجرای عایق‌های رطوبتی) را پیاده‌سازی کند. این فرآیند باید مبتنی بر مدارک و سوابق اجرایی آن‌ها در پروژه‌های مشابه باشد و نه صرفاً بر اساس کمترین پیشنهاد قیمت.

مدیریت تغییرات (Change Management) یکی دیگر از گلوگاه‌های مدیریتی است که عمر مفید سازه را تهدید می‌کند. در طول اجرای پروژه‌های شهری طولانی‌مدت، تغییرات در نیازهای شهری یا شرایط اجرایی اجتناب‌ناپذیر است. هر تغییر، حتی اگر جزئی به نظر برسد، باید از طریق یک فرآیند مدیریت تغییر ساختاریافته عبور کند که تأثیر آن بر خواص سازه‌ای، دوام و قابلیت تعمیر و نگهداری بلندمدت را ارزیابی کند (بابایی‌فر، ۲۰۲۳). متأسفانه، بسیاری از تغییرات بدون ارزیابی فنی کافی پذیرفته می‌شوند و این امر، سازه را از وضعیت طراحی اصلی خود دور کرده و عمر مفید آن را کاهش می‌دهد. مدیریت صحیح تغییرات، تضمین می‌کند که هرگونه انحراف از طرح اولیه، با توجه فنی قوی همراه باشد. در نهایت، مدیریت پروژه باید رویکردی کل‌نگر در تعریف قراردادها اتخاذ کند که پیمانکاران را به سمت اجرای پایدار سوق دهد. این امر نیازمند بازنگری در قراردادهای سنتی است و باید شامل مکانیسم‌هایی باشد که پاداش‌ها و جریمه‌ها را به عملکرد بلندمدت سازه گره بزنند، نه صرفاً تکمیل زودهنگام پروژه. این تغییر در رویکرد قراردادی، که تحت مدیریت پروژه شکل می‌گیرد، می‌تواند انگیزه‌ای قوی برای پیمانکاران ایجاد کند تا از کیفیت اجرای بالاتر، که مستلزم زمان و هزینه اولیه بیشتری است، حمایت کنند و بدین ترتیب، عمر مفید سازه تضمین شود.

۴. کنترل فنی و تضمین کیفیت مصالح در افزایش دوام سازه

کنترل فنی در پروژه‌های عمرانی شهری، به عنوان بازوی اجرایی تضمین کیفیت، نقش تعیین کننده‌ای در ترجمه موفقیت آمیز نقشه‌های طراحی به واقعیت فیزیکی دارد و رابطه مستقیمی با طول عمر سازه برقرار می‌سازد. از دیدگاه یک مهندس دکتری عمران، کنترل فنی فراتر از بازرسی‌های بصری و تصادفی است و باید یک فرآیند سیستماتیک مبتنی بر استانداردهای ملی و بین‌المللی باشد که بر تمام ورودی‌ها و فرایندهای کلیدی نظارت کند. باستانی و همکاران (۲۰۱۹) بر این باورند که ضعف در کنترل فنی مصالح ورودی، اغلب عامل اصلی شکست‌های زودرس در زیرساخت‌های شهری است، چرا که کیفیت نهایی سازه تابعی از کیفیت پایین‌ترین جزء آن است.

تمرکز اصلی کنترل فنی باید بر روی خواص حیاتی مصالح باشد که مستقیماً با دوام سازه مرتبط هستند، به ویژه بتن و فولاد. در مورد بتن، کنترل کیفی باید شامل آزمایش‌های دقیق بر روی سنگدانه‌ها، سیمان، افزودنی‌ها و آب مصرفی باشد تا از دستیابی به مقاومت فشاری و مقاومت در برابر محیط خورنده اطمینان حاصل شود. صادقی‌اذر (۲۰۲۲) تأکید می‌کند که اجرای دقیق تست‌های مقاومت کششی و خمشی بتن در سنین اولیه و نهایی، و همچنین کنترل نفوذپذیری بتن (به ویژه برای سازه‌های مدفون یا در معرض رطوبت شهری)، از الزامات بنیادین است. هرگونه سهل‌انگاری در نمونه‌برداری یا شرایط عمل‌آوری نمونه‌ها، منجر به پذیرش بتنی با مقاومت اسمی پایین‌تر شده و نفوذ یون‌های کلر و سولفات را تسریع می‌کند. در زمینه کنترل فنی فولاد، بازرسی‌ها نباید تنها به گواهی‌های تأمین‌کننده محدود شوند. شاهپوندی و طالبی‌ورنوسفادرائی (۲۰۲۵) بر اهمیت کنترل کیفیت جوشکاری در اتصالات سازه‌ای، به ویژه در سازه‌هایی که تحت بارهای دینامیکی یا لرزه‌ای قرار دارند، تأکید می‌کنند. کنترل‌های غیرمخرب (NDT) مانند تست‌های اولتراسونیک یا مایعات نافذ (PT) باید به صورت برنامه‌ریزی شده و توسط کارشناسان مجرب بر روی اتصالات حیاتی اعمال شوند. مدیریت کیفیت باید تضمین کند که عدم انطباق‌های جوشکاری به صورت کامل رفع شده و جوش اصلاح شده مجدداً تأیید شود، زیرا ترک‌های ریز ناشی از جوشکاری ضعیف، کانون‌های تمرکز تنش و آغازگر خوردگی پنهان هستند.

کنترل فنی در پروژه‌های نوسازی بافت فرسوده، چالش‌های منحصر به فردی را به همراه دارد، زیرا با سازه‌هایی سر و کار داریم که عمر مفیدشان رو به اتمام است یا دارای آسیب‌های پنهان هستند. عظیمی و همکاران (۲۰۱۴) اشاره می‌کنند که در این پروژه‌ها، کنترل فنی باید شامل ارزیابی دقیق وضعیت موجود مصالح، به‌ویژه میزان کربناتاسیون و نفوذ رطوبت در بتن قدیمی باشد. این ارزیابی باید با استفاده از روش‌های پیشرفته مانند پتانسیل سنجی الکتریکی یا اسکن آرماتورها انجام شود تا مشخص شود آیا لایه‌های محافظتی سازه اصلی در حال تضعیف هستند یا خیر. این داده‌ها برای تصمیم‌گیری در مورد عمق مقاوم‌سازی و روش اتصال سازه جدید حیاتی هستند. تکنولوژی‌های پایش وضعیت (Structural Health Monitoring - SHM) به عنوان ابزارهای نوین کنترل فنی، نقش پیشگیرانه را تقویت کرده‌اند. نادری و حسن‌پور (۲۰۲۲) به استفاده از حسگرهای کرنش و شتاب‌سنج‌ها برای پایش عملکرد سازه در زمان واقعی اشاره می‌کنند. در فاز ساخت، این ابزارها می‌توانند به طور زنده عملکرد سازه را در برابر بارهای موقت (مانند باربری جرثقیل‌ها یا عملیات خاک‌برداری مجاور) پایش کنند. این داده‌ها به کنترل‌کننده‌های فنی اجازه می‌دهند تا هرگونه رفتار غیرمنتظره‌ای که ممکن است دوام بلندمدت را تهدید کند، بلافاصله تشخیص داده و دستورات اصلاحی صادر نمایند؛ این یک گام فراتر از کنترل کیفیت سنتی است.

کنترل فنی باید فراتر از کنترل محصول نهایی، فرآیند اجرای صحیح را نیز تحت پوشش قرار دهد. به عنوان مثال، اجرای صحیح آب‌بندی و زهکشی در سازه‌های زیرزمینی یا فونداسیون‌ها، نقشی محوری در جلوگیری از نفوذ آب و خوردگی آرماتورها در درازمدت دارد. بابایی‌فر (۲۰۲۳) نشان می‌دهد که نادیده گرفتن جزئیات اجرای عایق‌های رطوبتی، یکی از شایع‌ترین دلایل خرابی‌های پیش از موعد در پارکینگ‌ها و زیرزمین‌های شهری است. کنترل‌کننده‌های فنی باید بر اجرای گام به گام این

سیستم‌ها نظارت کرده و مستندات مربوط به تست فشار یا تست نشت آب را پیش از پوشش‌دهی نهایی، به دقت بررسی نمایند. رعایت اصول پدافند غیرعامل در کنترل فنی نیز اجتناب‌ناپذیر است. این امر مستلزم کنترل دقیق نحوه کاشت آرماتورها و جزئیات اتصالات تیر و ستون است تا اطمینان حاصل شود که سازه قادر به حفظ یکپارچگی خود پس از یک رویداد ضربه‌ای است (رستم‌پیشه و همکاران، ۲۰۲۳). کنترل فنی باید تضمین کند که فاصله مشخص شده بین میلگردها و پوشش بتنی (Cover) به صورت کامل رعایت شده است، زیرا این پارامترها مستقیماً بر مقاومت سازه در برابر آتش و انفجار تأثیر می‌گذارند. اجرای این کنترل‌ها نیازمند بازرسی‌های مکرر و مستندسازی دقیق در هر طبقه یا بخش سازه است. در نهایت، کیفیت سیستم کنترل فنی به کارکنانی که این فرآیندها را اجرا می‌کنند، وابسته است. گیائی و همکاران (۲۰۲۳) بر نیاز به آموزش‌های تخصصی مداوم برای بازرسان فنی تأکید دارند تا آن‌ها با جدیدترین روش‌های تست و استانداردهای در حال تحول آشنا شوند. یک سیستم تضمین کیفیت موفق، سیستمی است که نه تنها انطباق با مشخصات فنی را بررسی می‌کند، بلکه علت ریشه‌ای عدم انطباق‌ها را نیز تحلیل کرده و بازخورد مستقیمی به فرآیند مدیریت پروژه برای جلوگیری از تکرار خطا در آینده ارائه می‌دهد، که این حلقه بسته، تضمین‌کننده افزایش مستمر عمر مفید پروژه‌های بعدی است.

۵. تلفیق مدیریت پروژه و کنترل فنی در بهسازی و مقاوم‌سازی

پروژه‌های عمرانی شهری تنها محدود به ساخت سازه‌های جدید نیستند؛ بخش قابل توجهی از فعالیت‌های شهرداری‌ها به بهسازی بافت فرسوده و مقاوم‌سازی سازه‌های موجود اختصاص دارد، حوزه‌ای که در آن، تلفیق مدیریت و کنترل فنی اهمیت مضاعفی پیدا می‌کند. عمر مفید سازه در این پروژه‌ها نه تنها باید حفظ شود، بلکه باید افزایش یابد تا سرمایه‌گذاری‌های انجام شده ارزش خود را از دست ندهند. عظیمی و همکاران (۲۰۱۴) تأکید دارند که پروژه‌های بهسازی، به دلیل تعامل با سازه‌های قدیمی و نامشخص، ریسک‌های فنی بسیار بالاتری نسبت به ساخت و ساز جدید دارند و مدیریت موفق آن‌ها نیازمند یکپارچگی کامل بین تحلیل ریسک مدیریتی و بازرسی‌های فنی دقیق است.

مدیریت پروژه در پروژه‌های بهسازی باید با شناسایی دقیق نقاط ضعف ساختاری موجود آغاز شود. این مرحله نیازمند یک فاز تحقیقاتی گسترده و فنی است که توسط تیم کنترل کیفیت انجام می‌شود. نادعلی جلوخانی و همکاران (۲۰۱۸) معتقدند که استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در زمینه بهسازی، با اسکن لیزری و مدل‌سازی سه‌بعدی وضعیت موجود، به مدیران اجازه می‌دهد تا حجم دقیق تخریب‌ها، میزان خوردگی یا ضعف بتن را برآورد کنند و از این طریق، برآورد دقیق‌تری از منابع لازم برای مقاوم‌سازی ارائه دهند. این امر از هدررفت منابع ناشی از تخریب‌های غیرضروری جلوگیری می‌کند و عمر مفید باقی‌مانده را به صورت بهینه مدیریت می‌نماید. کنترل فنی در فرآیند مقاوم‌سازی، به‌ویژه هنگام تزریق‌های ترمیمی یا اجرای پوشش‌های FRP (پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف)، باید بسیار سخت‌گیرانه باشد. برای مثال، کیفیت سطح زیرین سازه پیش از اعمال چسب‌ها یا رزین‌ها، عاملی حیاتی برای چسبندگی بلندمدت و جلوگیری از جدایش‌های بعدی است. بابایی‌فر (۲۰۲۳) به اهمیت کنترل رطوبت سطح زیرین در فرآیندهای اپوکسی‌کاری اشاره می‌کند؛ اگرچه این یک نکته اجرایی است، اما مدیریت پروژه موظف است با برنامه‌ریزی صحیح و تأمین شرایط محیطی مناسب، امکان اجرای فنی بدون نقص را فراهم آورد. کنترل فنی در این مورد شامل تست‌های Pull-off بر روی نمونه‌های منتخب پس از اجرای پوشش است تا چسبندگی تضمین شود.

در پروژه‌هایی که شامل تقویت سازه‌ای با استفاده از عناصر جدید (مانند دیوار برشی یا افزودن ستون) هستند، مدیریت پروژه باید بر کنترل کیفیت اتصالات بین سازه قدیمی و جدید تمرکز کند. رستم‌پیشه و همکاران (۲۰۲۳) تأکید دارند که شکست

در این اتصالات، عامل اصلی عدم موفقیت مقاومت سازی در برابر زلزله است. کنترل فنی باید شامل بازرسی های دقیق هنگام کاشت میلگردها، کنترل عمق و کیفیت سوراخ کاری و همچنین نظارت بر اجرای گروت ریزی با مصالح با کیفیت تضمین شده باشد. مدیریت پروژه باید منابع کافی را برای نظارت مستمر بر این نقاط حیاتی در تمام مراحل اجرا اختصاص دهد. یکی از جنبه های مهم در افزایش عمر مفید سازه های بهسازی شده، حفاظت در برابر عوامل محیطی و نفوذ آب است. نهری و معتمدمنش (۲۰۲۴) بر اهمیت اجرای دقیق سیستم های عایق بندی و زهکشی در سازه های زیرزمینی تأکید دارند. مدیریت پروژه موظف است که کنترل فنی را به گونه ای تنظیم کند که تست های نهایی آب بندی (مانند پر کردن موضعی یا پاشش آب) پیش از عملیات خاک ریزی نهایی انجام شده و تأییدیه کتبی ناظر فنی اخذ گردد. تأخیر در اجرای این تست ها به دلایل مدیریتی، اغلب منجر به اجرای عجولانه و ضعیف عایق بندی شده و در بلندمدت، به دلیل نفوذ رطوبت، عمر مفید سازه تقویت شده را کاهش می دهد.

تلفیق مدیریت ریسک های عملیاتی در بهسازی نیز حیاتی است؛ زیرا در محیط شهری فعال، اغلب نیاز به مقاومت سازی همزمان با بهره برداری از زیرساخت های مجاور (مانند خطوط مترو یا تأسیسات شهری) وجود دارد. مدیریت پروژه باید با هماهنگی دقیق با ذی نفعان شهری (مانند شرکت های آب و فاضلاب)، محدودیت های زمانی و مکانی اجرا را مدیریت کند تا از هرگونه آسیب به تأسیسات شهری که می تواند منجر به نشست یا آسیب های ثانویه به سازه شود، جلوگیری نماید. کنترل فنی در این حالت شامل پایش لرزش ها و نشست های جانبی حین عملیات گودبرداری و تزریق است (عاقریان و همکاران، ۲۰۲۴). باستانی و همکاران (۲۰۱۹) تأکید کرده اند که در پروژه های بهسازی، مدیریت دانش و مستندسازی فرآیندها اهمیت دوچندانی دارد. تمامی نتایج آزمایش های کیفی مصالح قدیمی، روش های اجرایی ترمیم، و سوابق کنترل فنی باید در یک بانک اطلاعاتی متمرکز ثبت شوند. این مستندسازی دقیق، به عنوان "شناسنامه فنی سازه مقاومت سازی شده"، نقش کلیدی در برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات آتی ایفا کرده و عمر مفید واقعی پروژه را در آینده قابل پیش بینی می سازد. در نهایت، افزایش عمر مفید در پروژه های بهسازی نیازمند تعهد مدیریتی به اجرای کامل طرح های نوسازی است، نه صرفاً تثبیت وضعیت موجود. حسین آبروشن (۲۰۲۳) بیان می کند که بسیاری از پروژه های بهسازی به دلیل محدودیت بودجه، تنها به اصلاحات سطحی اکتفا می کنند. مدیریت پروژه باید از طریق مدیریت صحیح تغییرات و مذاکره با شهرداری، اطمینان حاصل کند که در صورت کشف نواقص ساختاری اساسی تر در حین اجرا، بودجه لازم برای رفع کامل آن ها و رسیدن به سطح عملکردی مطلوب اختصاص یابد؛ در غیر این صورت، عمر مفید افزایش نخواهد یافت.

۶. نقش فناوری های نوین در پایش و تضمین عملکرد بلندمدت

ظهور فناوری های پیشرفته در حوزه مهندسی عمران، ابزارهای بی سابقه ای را در اختیار مدیران و کنترل کنندگان فنی قرار داده است تا نه تنها کیفیت اجرای فعلی را تضمین کنند، بلکه عملکرد سازه را در طول دهه های آینده پیش بینی و مدیریت نمایند و بدین ترتیب عمر مفید را به حداکثر برسانند. نادری و حسن پور (۲۰۲۲) بر این باورند که فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) پارادایم مدیریت کیفیت را از کنترل واکنشی به کنترل پیش بینانه تغییر داده است. این تحول مدیریتی، کلید اصلی در پروژه های پیچیده شهری امروز است. یکی از مهم ترین این فناوری ها، مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) است که در فازهای اولیه مدیریت پروژه تأثیرگذار است. نادعلی جلوخانی و همکاران (۲۰۱۸) نشان می دهند که استفاده از BIM برای شبیه سازی های ۴D (زمان) و ۵D (هزینه)، امکان شناسایی تداخلات اجرایی و طراحی اجزای دارای ریسک بالا برای دوام سازه را پیش از شروع کار فراهم می آورد. برای مثال، اگر یک شاه تیر در مدل نیاز به اجرای دقیق فاصله با تأسیسات مکانیکی داشته

باشد، BIM این عدم انطباق را آشکار می‌سازد و مدیریت پروژه را ملزم به بازطراحی جزئیات اجرای آن ناحیه می‌کند تا از نفوذ آب یا پوشش نامناسب بتن در آینده جلوگیری شود.

در حوزه کنترل فنی اجرایی، استفاده از ابزارهای سنجش از راه دور و حسگرها اهمیت یافته است. سیستم‌های پایش وضعیت سازه (SHM) که امروزه از سنسورهای فیبر نوری و شتاب‌سنج‌های پیشرفته بهره می‌برند، به عنوان یک سیستم کنترل فنی مستمر عمل می‌کنند (رستمی و نادریگی، ۲۰۲۲). این سیستم‌ها به طور پیوسته داده‌هایی در مورد کرنش‌ها، لرزش‌ها و تغییر شکل‌ها جمع‌آوری کرده و آن‌ها را به پلتفرم‌های مدیریتی ارسال می‌کنند. این امر به شهرداری‌ها اجازه می‌دهد تا سازه را در طول عمر خود "ببینند" و در صورت بروز هرگونه انحراف از رفتار مورد انتظار (که می‌تواند نشان‌دهنده آسیب‌های پنهان یا فرسودگی شتاب‌یافته باشد)، واکنش سریع نشان دهند. فناوری‌های نوین در آزمایش غیرمخرب (NDT) نیز کنترل فنی را دگرگون کرده‌اند. استفاده از رادار نفوذ کننده به زمین (GPR) و تست‌های امپدانس الکتریکی برای ارزیابی وضعیت بتن، امکان شناسایی دقیق محل آرماتورها، اندازه‌گیری عمق کربناتاسیون یا تشخیص ترک‌ها را بدون نیاز به تخریب بخش‌های مهم سازه فراهم می‌آورد (غیائی و همکاران، ۲۰۲۳). این دقت در تشخیص، به تیم مدیریت پروژه اجازه می‌دهد که منابع محدود مقاوم‌سازی یا تعمیر را دقیقاً بر روی نقاط ضعف واقعی متمرکز کند، به جای اینکه تمام سازه را با هزینه‌ای گزاف تحت عملیات سنگین قرار دهد، که خود این عملیات می‌تواند بر عمر مفید سازه تأثیر منفی بگذارد.

در پروژه‌های زیرساختی پیچیده مانند تونل‌ها یا تأسیسات شهری، کنترل فنی با استفاده از پهپادها و رباتیک، ایمنی و کارایی را افزایش داده است. نه‌ری و معتمدمنش (۲۰۲۴) به کاربرد پهپادها برای بازرسی ارتفاعات و نقاط دور از دسترس سازه‌ها اشاره می‌کنند که این امر نه تنها ایمنی بازرسان را تضمین می‌کند بلکه امکان نمونه‌برداری دقیق‌تر و مکرر در نقاط بحرانی را فراهم می‌سازد. مدیریت پروژه باید استانداردهای مشخصی برای تفسیر داده‌های جمع‌آوری شده توسط این ابزارها تعریف کند تا نتایج آن‌ها در تصمیم‌گیری‌های فنی لحاظ شوند. تلفیق داده‌های SHM با مدل‌های پیش‌بینی عمر (Remaining Useful Life - RUL) یکی از پیشرفته‌ترین کاربردهای مدیریت فنی است. با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین که بر روی داده‌های تاریخی و داده‌های حسگرهای زنده آموزش دیده‌اند، می‌توان تخمین زد که سازه تا چه زمانی می‌تواند با اطمینان معینی به عملکرد خود ادامه دهد (عاقریان و همکاران، ۲۰۲۴). این پیش‌بینی مبتنی بر شواهد، به برنامه‌ریزی نگهداری پیشگیرانه شهرداری کمک می‌کند و از وقوع خرابی‌های ناگهانی که عمر مفید را به صفر می‌رساند، جلوگیری می‌کند. این تغییر در نگرش، مدیریت شهری را از حالت واکنشی به حالت پیشگیرانه و بهینه‌ساز تبدیل می‌نماید.

با این حال، پیاده‌سازی فناوری‌های نوین نیازمند سرمایه‌گذاری مدیریتی است. امیرکاردوست و همکاران (۲۰۲۴) تأکید دارند که مقاومت در برابر تغییر و کمبود نیروی انسانی متخصص در تفسیر داده‌های پیچیده، بزرگ‌ترین موانع پذیرش این فناوری‌ها در سازمان‌های دولتی هستند. مدیریت پروژه باید بودجه‌ای برای آموزش تیم‌های کنترل فنی در زمینه تحلیل داده‌های بزرگ (Big Data Analytics) و تفسیر خروجی‌های مدل‌های پیش‌بینی تخصیص دهد تا اطمینان حاصل شود که سرمایه‌گذاری در این فناوری‌ها به بهبود واقعی عمر مفید سازه منجر می‌شود. در حوزه مدیریت ایمنی و پدافند غیرعامل، فناوری‌های جدید نقش حیاتی دارند. دوربین‌های حرارتی و سیستم‌های سنجش نفوذ پذیری سریع، می‌توانند نواقص ساختاری ناشی از اجرای ضعیف را که در شرایط عادی قابل مشاهده نیستند، آشکار سازند. شاه‌یوندی و طالبی‌ورنوسفادارانی (۲۰۲۵) بر اهمیت بازرسی‌های منظم با این ابزارها برای اطمینان از عملکرد لایه‌های محافظتی سازه در برابر تهدیدات خارجی تأکید می‌کنند. مدیریت فنی باید این بازرسی‌ها را نه به عنوان یک اقدام اضافی، بلکه به عنوان بخشی از روتین استاندارد کنترل کیفیت لحاظ نماید.

۷. مدیریت ذی‌نفعان شهری و تأثیر آن بر کیفیت اجرا و دوام

مدیریت پروژه‌های عمرانی شهری به دلیل ماهیت عمومی و تأثیرگذاری مستقیم بر زندگی روزمره شهروندان، فراتر از مدیریت فنی صرف، نیازمند یک رویکرد قوی در مدیریت ذی‌نفعان (Stakeholder Management) است. این بخش مدیریتی، به طور غیرمستقیم اما قوی، بر کیفیت اجرا و در نتیجه بر عمر مفید سازه‌ها تأثیر می‌گذارد. هرگونه تعارض یا عدم هماهنگی با گروه‌های کلیدی می‌تواند منجر به توقف‌های پروژه، تغییرات ناخواسته در طراحی یا عجله در اجرا شود که همگی عوامل کاهش دهنده دوام هستند (بابایی فر، ۲۰۲۳). رابطه بین مدیریت ذی‌نفعان و کیفیت اجرا در حوزه پدافند غیرعامل و امنیت زیرساخت‌ها بسیار مشهود است. در پروژه‌هایی که نیاز به محدودیت‌های امنیتی یا دسترسی‌های خاص در طول ساخت دارند (مانند پروژه‌های مرتبط با تأسیسات حیاتی شهری)، مدیریت پروژه باید با ارگان‌های امنیتی و نظامی هماهنگی کامل داشته باشد. نادیده گرفتن پروتکل‌های امنیتی یا تأخیر در کسب مجوزهای لازم، می‌تواند فرآیند کنترل فنی را به تعویق اندازد؛ برای مثال، ممکن است بازرسی جوشکاری‌های حساس در یک منطقه محدود شده به تأخیر بیفتد و پیمانکار مجبور به پیشروی بدون تأیید نهایی شود، که این امر مستقیماً ایمنی سازه را در بلندمدت به خطر می‌اندازد.

در پروژه‌های بهسازی بافت فرسوده، ذی‌نفعان اصلی شامل ساکنین محلی هستند. مشارکت مؤثر ساکنین، نه تنها ریسک‌های اجتماعی را کاهش می‌دهد، بلکه می‌تواند به عنوان یک سیستم کنترل کیفی محیطی عمل کند. حسین آبروشن (۲۰۲۳) اشاره می‌کند که ساکنین محلی اغلب اولین کسانی هستند که متوجه نقص‌های جزئی در اجرای عایق‌ها، ترک‌های اولیه یا نشست‌های کوچک می‌شوند. مدیریت پروژه باید کانال‌های گزارش‌دهی ساده و مؤثری برای دریافت این بازخوردها ایجاد کند و این گزارش‌ها را به عنوان ورودی‌های اولیه برای تیم کنترل فنی در نظر بگیرد. این رویکرد مشارکتی، ابعاد کنترل فنی را از بازرسی‌های رسمی فراتر برده و به نظارت مستمر اجتماعی مجهز می‌سازد. مدیریت ذی‌نفعان همچنین شامل مدیریت انتظارات مرتبط با عمر مفید سازه است. هنگامی که شهرداری پروژه‌ای را به جامعه معرفی می‌کند، باید به طور شفاف درباره طول عمر مورد انتظار و الزامات نگهداری توضیح دهد. نادعلی جلوخانی و همکاران (۲۰۱۸) بیان می‌کنند که اگر انتظارات ذی‌نفعان در مورد دوام سازه فراتر از واقعیت فنی باشد، پس از مدتی، عدم رضایت عمومی می‌تواند بر تخصیص بودجه‌های نگهداری تأثیر منفی بگذارد. مدیریت پروژه باید با ارائه مستندات فنی و نتایج کنترل‌های کیفیت، این انتظارات را واقع‌بینانه سازد.

در مورد تأمین مصالح، ذی‌نفعان شامل تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان مواد نیز می‌شوند. صادقی‌اذر (۲۰۲۲) بر لزوم ایجاد روابط قراردادی بلندمدت و مبتنی بر اعتماد با تأمین‌کنندگان مصالح با کیفیت بالا تأکید می‌کند. مدیریت پروژه باید با همکاری نزدیک با تیم کنترل فنی، فهرستی از تأمین‌کنندگان تأیید شده (Approved Vendor List - AVL) ایجاد کند و تضمین کند که پیمانکاران فقط از این فهرست خرید کنند. این فرآیند مدیریتی، از ورود مصالح نامرغوب به سایت پروژه جلوگیری کرده و از این طریق، یکی از اصلی‌ترین علل کاهش عمر مفید سازه‌ها را حذف می‌نماید. تأثیر فناوری‌های نوین در مدیریت ذی‌نفعان نیز مشاهده می‌شود. استفاده از پلتفرم‌های شفافیت مبتنی بر وب که در آن‌ها پیشرفت پروژه، نتایج کنترل‌های کیفی اصلی، و برنامه‌های آتی به طور منظم منتشر می‌شود، اعتماد عمومی را افزایش می‌دهد (امیرکاردوست و همکاران، ۲۰۲۴). این شفافیت نه تنها پاسخگوی نیاز به اطلاعات است، بلکه پیمانکاران را نیز تحت نظارت دائمی قرار می‌دهد و از هرگونه تخلف فنی پنهانی جلوگیری می‌کند، چرا که انتظار می‌رود داده‌های ارائه شده توسط تیم کنترل فنی صحت داشته باشند.

در پروژه‌های بزرگ زیرساختی شهری، مدیریت روابط با نهادهای نظارتی فرابخشی (مانند سازمان محیط زیست، سازمان میراث فرهنگی یا نهادهای امنیتی) از اهمیت بالایی برخوردار است. هرگونه تعارض بین الزامات مدیریتی این نهادها و الزامات فنی پروژه می‌تواند منجر به توقف‌های طولانی و در نتیجه، نیاز به اجرای سریع و غیراستاندارد در زمان از سرگیری کار شود. بابایی‌فر (۲۰۲۳) معتقد است که یک برنامه مدون مدیریت ذی‌نفعان، پیش‌بینی‌کننده نیازهای قانونی این نهادها بوده و تضمین می‌کند که کنترل‌های فنی در زمان‌بندی مناسب انجام شوند و نیازی به "تأیید پس از اجرا" نباشد. در نهایت، مدیریت کیفیت نیروی انسانی در پروژه‌های شهری، که خود زیرمجموعه‌ای از مدیریت ذی‌نفعان است، مستقیماً بر اجرای فنی تأثیر می‌گذارد. نوذری و همکاران (۲۰۲۲) به اهمیت ارزیابی مستمر عملکرد پیمانکاران اشاره دارند. مدیریت پروژه باید اطمینان حاصل کند که پیمانکاران دارای سوابق مثبت در زمینه رعایت استانداردهای فنی هستند و تیم‌های اجرایی آن‌ها آموزش‌های لازم را دیده‌اند. ارجاع به پیمانکاران کم‌تجربه برای صرفه‌جویی در هزینه اولیه، معمولاً به معنای صرف هزینه‌های سنگین‌تر برای تعمیرات ناشی از عمر کوتاه سازه در آینده است.

۸. پدافند غیرعامل، ایمنی، و کنترل فنی سازه‌های شهری

در محیط شهری ایران، با توجه به ریسک‌های لرزه‌ای و تهدیدات بالقوه، تلفیق اصول پدافند غیرعامل (Passive Defense) با مدیریت و کنترل فنی پروژه‌های عمرانی، برای تضمین عمر مفید بلندمدت سازه‌ها پس از وقوع بحران، امری حیاتی است. این رویکرد مدیریتی، ایمنی را از یک ملاحظه حاشیه‌ای به یک الزام بنیادین در تمام مراحل پروژه تبدیل می‌کند. رستم‌پیشه و همکاران (۲۰۲۳) به طور خاص تأکید دارند که طراحی و اجرای سازه‌هایی که بتوانند پس از یک رویداد مخرب (مانند زلزله یا حمله سایبری به زیرساخت‌های حیاتی) همچنان قابل بهره‌برداری باشند، نیازمند نظارت فنی دقیق بر جزئیاتی است که اغلب نادیده گرفته می‌شوند.

مدیریت پروژه در حوزه پدافند غیرعامل باید از ابتدا، تحلیل آسیب‌پذیری سازه تحت سناریوهای مختلف تهدید را در برنامه ریسک خود بگنجانند. این تحلیل، نیازمند داده‌های دقیقی از خواص مصالح و کیفیت اتصالات است. کنترل فنی باید بر اجرای کامل الزامات آیین‌نامه‌های مرتبط با ایمنی لرزه‌ای و پدافند غیرعامل متمرکز باشد. به عنوان مثال، کنترل دقیق نحوه مهار اجزای غیرسازه‌ای مانند تأسیسات مکانیکی و الکتریکی به قاب اصلی سازه، از ریزش و آسیب‌دیدگی‌های ثانویه پس از وقوع زلزله جلوگیری کرده و امکان بازایی سریع سازه را فراهم می‌سازد. در کنترل فنی، تأکید بر افزایش مقاومت در برابر نفوذ (Penetration Resistance) و همچنین مقاومت در برابر حرارت و انفجار در ساختمان‌های مهم شهری ضروری است. این امر نیازمند کنترل کیفیت بتن با مقاومت فشاری بسیار بالاتر از حد معمول و همچنین استفاده از پوشش‌های مقاوم در برابر حرارت بر روی تیرها و ستون‌های کلیدی است. محمدی ده چشمه و پرویزیان (۲۰۲۴) اشاره می‌کنند که مدیریت پروژه باید اطمینان حاصل کند که تأمین‌کنندگان، پوشش‌های ضدحریق با طول عمر و کارایی تأیید شده را ارائه می‌دهند و کنترل فنی باید بر اجرای صحیح این پوشش‌ها نظارت نماید، چرا که هرگونه شکاف یا ضخامت ناکافی، توانایی سازه برای مقاومت در برابر آتش‌سوزی ناشی از انفجار را کاهش می‌دهد.

پروژه‌های بهسازی بافت فرسوده، فرصتی استثنایی برای ارتقاء سطح ایمنی و پدافند غیرعامل در مقیاس شهری فراهم می‌آورند. عظیمی و همکاران (۲۰۱۴) تأکید می‌کنند که در این پروژه‌ها، می‌توان با تلفیق اصول طراحی نوین در سازه‌های جدید و همچنین مقاوم‌سازی هدفمند سازه‌های قدیمی، یکپارچگی ایمنی کل منطقه را بهبود بخشید. مدیریت پروژه در این حالت باید از ابزارهایی مانند ارزیابی لرزه‌ای دقیق سازه‌های موجود و سپس طراحی مقاوم‌سازی‌هایی استفاده کند که نه تنها

در برابر زلزله عادی، بلکه در برابر بارهای دینامیکی ناشی از انفجار نیز مقاوم باشند. کنترل فنی در این زمینه شامل ارزیابی دقیق اتصالات و رفتار سازه پس از اعمال تقویت است. برای مثال، اگر قرار باشد دیوارهای بتنی جدید برای افزایش سختی سازه اضافه شوند، کنترل فنی باید تضمین کند که اتصالات این دیوارها به تیرها و ستون‌های موجود به درستی اجرا شده‌اند تا نیروهای برشی به صورت یکپارچه منتقل شوند. نادیده گرفتن این اتصالات در کنترل فنی، به معنای ایجاد یک سازه با نقاط ضعف پنهان است که در زمان بحران، منجر به شکست ناگهانی بخش‌هایی از آن خواهد شد.

فناوری‌های نوین، مانند سیستم‌های پایش سلامت سازه (SHM)، به طور مستقیم در حوزه پدافند غیرعامل کاربرد دارند. رستمی و نادریگی (۲۰۲۲) نشان داده‌اند که حسگرهای نصب شده می‌توانند پس از وقوع یک رخداد، بلافاصله تغییر شکل‌های بزرگ و غیرعادی را تشخیص دهند. مدیریت پروژه موظف است که برنامه‌ای از پیش تعریف شده برای استفاده از این داده‌ها در زمان بحران داشته باشد تا بتواند در عرض چند ساعت، وضعیت سازه را ارزیابی کرده و تصمیم‌گیری‌های لازم برای تخلیه یا ادامه بهره‌برداری را انجام دهد. این سرعت عمل، عمر مفید سازه را در شرایط پس از بحران تضمین می‌کند. در زمینه مدیریت کیفیت مصالح برای پدافند غیرعامل، باید دقت ویژه‌ای به کیفیت مصالح مقاوم در برابر انفجار یا مواد خاص مورد استفاده در پوشش‌های ضد نفوذ صورت گیرد. باستانی و همکاران (۲۰۱۹) بر لزوم مستندسازی دقیق منشأ و کیفیت این مواد تأکید می‌کنند، چرا که مواد نامرغوب در این زمینه، اغلب پس از گذشت چند سال، خواص خود را از دست می‌دهند. کنترل فنی باید آزمایش‌های شتاب‌یافته پیری (Accelerated Aging Tests) را بر روی نمونه‌های این مصالح اعمال کند تا از پایداری آن‌ها در طول دوره طراحی اطمینان حاصل شود. در نهایت، مفهوم ایمنی در پروژه‌های شهری نباید محدود به ایمنی سازه در برابر تخریب باشد؛ بلکه باید شامل ایمنی کارکنان در حین ساخت نیز گردد. مدیریت ایمنی کارگاه (HSE Management)، که جزء جدایی‌ناپذیر مدیریت پروژه است، با رعایت دقیق اصول کنترل فنی ایمنی تجهیزات بالابر، داربست‌ها و روش‌های کار در ارتفاع، از حوادثی که می‌توانند منجر به آسیب‌های جبران‌ناپذیر به سازه در حال احداث شوند، جلوگیری کرده و بدین ترتیب، عمر مفید پروژه را از همان ابتدا تضمین می‌کند (غیائی و همکاران، ۲۰۲۳).

۹. مدیریت کیفیت اجرای فنی و تأثیر آن بر عملکرد بلندمدت

کیفیت اجرای فنی در محل پروژه، نقطه تلاقی مستقیم بین برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و الزامات طراحی است و تأثیر آن بر عمر مفید سازه غیرقابل انکار است. هرگونه انحراف از جزئیات فنی، حتی اگر توسط تیم کنترل فنی نادیده گرفته شود، در طول زمان به دلیل تجمعات کوچک خطاها، منجر به کاهش قابل توجه عملکرد سازه می‌شود. صادقی‌اذر (۲۰۲۲) معتقد است که بیشترین اتلاف کیفیت در پروژه‌های ساختمانی از طریق کنترل ضعیف فرآیندهای اجرایی حاصل می‌شود، نه لزوماً به دلیل نقص در مواد اولیه. در زمینه بتن‌ریزی، فراتر از کنترل مقاومت نهایی، فرآیند تراکم و عمل‌آوری بتن، عوامل تعیین‌کننده‌ای هستند که مستقیماً بر دوام سازه تأثیر می‌گذارند. کنترل فنی باید نظارت دقیقی بر زمان‌بندی و بهره‌بردن بتن، رعایت زمان عمل‌آوری اولیه (Curing Time) و حفظ رطوبت لازم در محیط‌های گرم و خشک شهری داشته باشد. نودری و همکاران (۲۰۲۲) اشاره می‌کنند که عدم عمل‌آوری مناسب، باعث افزایش نفوذپذیری و کاهش شدید مقاومت در برابر حملات شیمیایی می‌شود که در محیط شهری مرطوب، به سرعت به خوردگی آرماتورها می‌انجامد و عمر مفید را به نصف کاهش می‌دهد.

یکی دیگر از جنبه‌های حیاتی اجرای فنی، اجرای صحیح جزئیات سازه‌ای مربوط به انتقال نیرو است. این شامل اجرای صحیح اتصالات پیچ و مهره‌ای، جوشکاری‌ها و اجرای آرماتورها در نواحی بحرانی مانند محل اتصال تیر به ستون و تغییر مقطع است.

در این موارد، مدیریت پروژه باید زمان کافی را برای بازرسی‌های فنی مرحله‌ای (Hold Points) اختصاص دهد تا ناظر فنی پیش از بتن‌ریزی، صحت جانمایی و بستن آرماتورها را تأیید کند. رستمی و نادریگی (۲۰۲۲) تأکید دارند که بازرسی بصری در این مراحل بسیار کارآمدتر از انجام تست‌های غیرمخرب پس از بتن‌ریزی است. در پروژه‌های شهری که معمولاً با محدودیت‌های فضای کاری و تداخل با تأسیسات زیرزمینی مواجه هستند، کنترل اجرای تأسیسات زیربنایی که بر دوام سازه تأثیر می‌گذارد، اهمیت می‌یابد. برای مثال، اجرای صحیح کانال‌های تأسیساتی یا درزهای انبساط در عرشه پل‌ها و فونداسیون‌های بزرگ، نه‌ری و معتمدمنش (۲۰۲۴) به اهمیت کنترل دقیق اجرای آب‌بندی‌های خطوط جمع‌آوری فاضلاب شهری اشاره می‌کنند که نشت آن‌ها می‌تواند به طور پنهانی به فونداسیون‌ها آسیب برساند. مدیریت پروژه باید برنامه کنترل فنی جامعی برای تست‌های هیدرو استاتیک این تأسیسات پیش از دفن نهایی تدوین کند.

فناوری‌های نوین در مدیریت کیفیت اجرا، امکان اجرای دقیق‌تری را فراهم می‌آورند. استفاده از اسکنرهای لیزری یا نقشه‌برداری با پهپادها پس از اجرای سازه برای تطبیق با مدل BIM، یک ابزار کنترل کیفی قدرتمند است (امیرکاردوست و همکاران، ۲۰۲۴). این روش می‌تواند انحرافات هندسی بزرگ را که ممکن است منجر به تمرکز تنش‌های غیرمورد انتظار شوند، شناسایی کند. مدیریت پروژه باید این داده‌ها را به عنوان بخشی از "تأییدیه کیفیت اجرا" نهایی لحاظ کند تا اطمینان حاصل شود که شکل فیزیکی سازه، مطابق با مدل طراحی است. در مورد پروژه‌هایی که از سازه‌های پیش‌ساخته استفاده می‌کنند، کنترل فنی بر کیفیت ساخت قطعات در کارخانه و همچنین حمل و نقل و نصب آن‌ها حیاتی است. بابایی‌فر (۲۰۲۳) تأکید می‌کند که هرگونه آسیب ناشی از حمل و نقل قطعات پیش‌ساخته به محل پروژه، اگر بلافاصله توسط کنترل فنی کشف و اصلاح نشود، به صورت یک نقطه ضعف ساختاری پنهان باقی خواهد ماند. مدیریت پروژه باید الزامات سختگیرانه‌ای برای بازرسی قطعات در کارخانه و همچنین حین بلند کردن و نصب نهایی تعریف کند.

مدیریت ریسک‌های مرتبط با شرایط محیطی اجرای کار نیز بخشی از کنترل کیفیت است. برای مثال، اجرای عملیات خاکی یا پی‌سازی در فصول پربارش یا هوای بسیار گرم نیازمند تغییراتی در روش اجرا (مانند استفاده از بتن‌های ویژه یا روش‌های پایدارسازی موقت خاک) است. عظیمی و همکاران (۲۰۱۴) نشان می‌دهند که عدم مدیریت صحیح شرایط محیطی منجر به اجرای ضعیف پی‌ها و در نتیجه، نشست‌های تفاضلی و کاهش عمر مفید کلی سازه می‌شود. تیم کنترل فنی باید اختیارات لازم برای توقف کار در شرایط نامساعد را داشته باشد. در نهایت، فرهنگ سازمانی که توسط مدیریت پروژه ترویج می‌شود، تعیین‌کننده موفقیت کنترل کیفیت است. اگر فرهنگ بر پایه "تکمیل پروژه به هر قیمت" باشد، کنترل فنی تبدیل به یک فرآیند تشریفاتی خواهد شد. در مقابل، اگر هدف اصلی، افزایش دوام سازه باشد، همانطور که غیائی و همکاران (۲۰۲۳) اشاره می‌کنند، تیم کنترل فنی تشویق می‌شود تا با قاطعیت از اجرای هر کاری که دوام را به خطر می‌اندازد، جلوگیری کند، حتی اگر منجر به تأخیرهای کوتاه‌مدت در پروژه شود.

۱۰. نتایج مرور و جمع‌بندی نقش مدیریتی در افزایش عمر مفید

این مرور نظام‌مند نشان داد که افزایش عمر مفید سازه‌های عمرانی شهری تابعی پیچیده از تعامل مدیریت مؤثر پروژه و کنترل فنی دقیق و مستمر است؛ این دو حوزه نمی‌توانند به صورت مجزا عمل کنند و موفقیت در دوام بلندمدت منوط به یکپارچگی استراتژیک آن‌هاست. یافته‌های مطالعات، نقش محوری مدیریت پروژه را در تعیین استانداردهای کیفی اولیه و مدیریت ریسک‌های مرتبط با دوام سازه در طول عمر طراحی تأیید می‌کنند. بابایی‌فر (۲۰۲۳) به خوبی نشان می‌دهد که ضعف در فاز برنامه‌ریزی، که یک وظیفه مدیریتی است، غیرقابل جبران در فاز اجرا خواهد بود و منجر به ساختارهایی می‌شود

که زودتر از موعد به انتهای عمر مفید خود می‌رسند. کنترل فنی، به عنوان ابزار اجرایی تضمین کیفیت، باید فراتر از تأیید انطباق با نقشه‌ها عمل کند و بر خواص عملکردی مصالح در شرایط بهره‌برداری تمرکز نماید. مطالعات متعددی نظیر آنچه توسط صادقی‌اذر (۲۰۲۲) مطرح شد، بر اهمیت نظارت دقیق بر پارامترهای حیاتی مانند نفوذپذیری بتن و کیفیت اتصالات جوشی تأکید دارند، زیرا این عوامل به طور مستقیم با مکانیسم‌های اصلی تخریب مانند خوردگی و خستگی در ارتباط هستند. هرگونه کم‌کاری در کنترل فنی این جزئیات، دوام سازه را در معرض تهدید قرار می‌دهد.

تلفیق فناوری‌های نوین یک تغییر بنیادین در هر دو حوزه ایجاد کرده است. BIM، نه تنها مدیریت پروژه را در پیش‌بینی تداخلات پیچیده شهری یاری می‌کند (نادعلی جلوخانی و همکاران، ۲۰۱۸)، بلکه مستندسازی فنی دقیقی را فراهم می‌سازد که برای نگهداری بلندمدت ضروری است. به همین ترتیب، سیستم‌های پایش وضعیت (SHM) کنترل فنی را از یک فرآیند نمونه‌برداری فصلی به یک فرآیند پایش مستمر و مبتنی بر داده تبدیل کرده‌اند، که این امر به طور خاص در سازه‌های حساس به پدافند غیرعامل و ایمنی (رستم‌پیشه و همکاران، ۲۰۲۳) موجب افزایش اطمینان به حفظ عملکرد می‌شود.

پروژه‌های بهسازی و مقاوم‌سازی بافت فرسوده، نیازمند بالاترین سطح از ادغام مدیریتی و فنی هستند. عظیمی و همکاران (۲۰۱۴) تأکید می‌کنند که در این پروژه‌ها، مدیریت باید ریسک عدم قطعیت‌های موجود در سازه‌های قدیمی را بپذیرد و منابع لازم برای بازرسی‌های فنی عمیق (مانند GPR) را فراهم آورد تا از اجرای نادرست اتصالات سازه‌های جدید به قدیم جلوگیری شود، چرا که این اتصالات نقاط ضعف اصلی در شرایط بحران خواهند بود. همچنین، نقش ذی‌نفعان شهری در کنترل کیفیت غیررسمی و بازخورددهی اولیه نادیده گرفته نمی‌شود. حسین آبروشن (۲۰۲۳) بر لزوم ایجاد کانال‌های مدیریتی برای دریافت شکایات و مشاهدات شهروندان تأکید دارد. این بازخوردها، که توسط تیم‌های فنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، می‌توانند به عنوان زنگ خطر اولیه برای نواقصی عمل کنند که در کنترل‌های رسمی اولیه شناسایی نشده‌اند و مانع از تبدیل شدن نقص‌های کوچک به خرابی‌های بزرگ در طولانی‌مدت شوند.

یکی از نتیجه‌گیری‌های مهم این است که تخصیص منابع و زمان‌بندی پروژه باید به گونه‌ای باشد که اجرای صحیح کنترل‌های کیفی را ممکن سازد. محمدی ده چشمه و پرویزیان (۲۰۲۴) هشدار می‌دهند که فشار زمانی برای تحویل سریع پروژه، اغلب منجر به کوتاه شدن زمان عمل‌آوری بتن یا حذف مراحل تست‌های NDT می‌شود؛ مدیریت پروژه موفق باید در برابر این فشارها مقاومت کرده و اولویت را به کیفیت ماندگار سازه بدهد. در مجموع، افزایش عمر مفید سازه‌های شهری از طریق مدیریت و کنترل فنی، نیازمند تغییر فرهنگی در بدنه شهرداری‌هاست. این تغییر باید مدیریت را متقاعد سازد که سرمایه‌گذاری در بازرسی‌های دقیق، استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته، و آموزش مستمر نیروی انسانی کنترل فنی (غیائی و همکاران، ۲۰۲۳)، هزینه‌های آتی نگهداری و تعمیرات اضطراری را به مراتب کاهش داده و ارزش بلندمدت دارایی‌های شهری را تضمین خواهد کرد. در نهایت، همانطور که در مباحث مربوط به اجرای فنی مشخص شد، موفقیت به اجرای دقیق جزئیات وابسته است. امیرکاردوست و همکاران (۲۰۲۴) و شاهپوندی و طالبی‌ورنوسفادارانی (۲۰۲۵) بر لزوم دقت میلی‌متری در اجرای اتصالات و پوشش‌ها تأکید دارند. مدیریت پروژه باید با تأکید بر سیستم‌های تضمین کیفیت (QA) و نه صرفاً کنترل کیفیت (QC)، این دقت را به عنوان یک ارزش سازمانی نهادینه کند تا سازه‌های شهری بتوانند به دور از نیاز به بهسازی‌های زود هنگام، خدمت‌رسانی مؤثر و ایمن را برای نسل‌های آینده تضمین نمایند.

منابع

- محمدی ده چشمه، پرویزیان. (۲۰۲۴). ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای پهنه بافت فرسوده حصیرآباد اهواز از منظر شاخص‌های فیزیکی. فصلنامه علمی دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۳(۴)، ۴۳۴-۴۴۹.
- صادقی‌اذر. (۲۰۲۲). مدیریت ایمنی و بحران شهری در محلات بافت فرسوده شهرداری ها. مطالعات جغرافیا، عمران و مدیریت شهری، ۲۸(۸)، ۱۴۵-۱۵۶.
- گنجه‌ای، امیدوار، ملک محمدی، نوروزی خطیری. (۲۰۱۳). تحلیل و مدل سازی پارامترهای ایمنی موثر در انتخاب مسیرهای بهینه تخلیه اضطراری پس از زلزله (مطالعه موردی: محله ۱۳ آبان شهر تهران). فصلنامه سلامت در حوادث و بلایا، ۱(۱) رستم پیشه، اربابی سبزواری، آزاده، نویدی مجد. (۲۰۲۳). تبیین سازگاری معماری ساختمان‌های شهری با اصول پدافند غیرعامل (مورد مطالعه: شهر اسلامشهر). فصلنامه علمی دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۳(۲)، ۲۰۴-۲۲۷.
- نادری، سیدمجید، حسن‌پور. (۲۰۲۲). بهسازی بافت فرسوده شهری با رویکرد افزایش ایمنی محیطی فضاهای عمومی (مطالعه موردی: محله بریانک منطقه ۱۰ تهران). مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای، ۹(۳)، ۲۴-۳۳.
- باستانی، مزده، محمدنای قزایی، سعیدی. (۲۰۱۹). برنامه ریزی فضایی مسکن با رویکرد پدافند غیر عامل (نمونه موردی محله نوغان مشهد). پدافند غیرعامل، ۱۰(۱)، ۷۳-۸۵.
- عظیمی، نورالدین، زالی، فاروقی. (۲۰۱۴). بررسی تأثیر وام مسکن روستایی در کیفیت ساخت و سازهای جدید مسکونی مطالعه موردی شهرستان شفت. برنامه ریزی فضایی، ۴(۱)، ۱۲۷-۱۴۲.
- بابایی فر. (۲۰۲۳). نقش پروژه های عمرانی در تحقق سیاست های بازآفرینی بافت‌های ناکارآمد شهری. جغرافیا و روابط انسانی، ۵(۴)، ۶۶۵-۶۸۴.
- نادعلی جلوخانی، آقا داوود، سید رسول، کرباسیان، عبدالباقی. (۲۰۱۸). الگوی سنجش تأثیر ساختار شکست ریسک بر اهداف پروژه‌های عمرانی شهرداری اصفهان با رویکرد معادلات ساختاری. اقتصاد شهری، ۳(۱)، ۹۷-۱۱۶.
- نهري، معتمدمنش. (۲۰۲۴). نگاهی نو به افزایش کیفیت پروژه‌های دولتی در ایران با استفاده از فناوری‌های نوین. نقش جهان-مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی، ۱۴(۲)، ۴۱-۵۶.
- حسین آب روشن. (۲۰۲۳). بررسی روشهای مدیریت پروژه در پروژه های عمرانی شهرداری. نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری، ۵(۱۸)، ۲۴۹-۲۷۲.
- امیرکاردوست، توکلی، امید، صداقت شایگان. (۲۰۲۴). برنامه ریزی و تاثیر آن در موفقیت پروژه های عمرانی. | نشریه عمران و پروژه |، ۵(۱)، ۳۷-۴۶.
- شاهپوندی، طالبی ورنوسفادرانی. (۲۰۲۵). تحلیل عوامل زمینه‌ای مؤثر برگسترش تخلفات ساختمانی با تأکید بر عملکرد و جایگاه ذینفعان اصلی شهری (مطالعه موردی: کلانشهر اصفهان). برنامه ریزی فضایی، ۱۵(۲)، ۱۲۳-۱۵۴.
- رستمی، نادرپیگی. (۲۰۲۲). شناسایی و رتبه بندی معیارهای مؤثر در ارتقای موفقیت پیمانکاران در پروژه‌های عمرانی شهری (مطالعه موردی: پروژه‌های عمرانی شهرداری‌های استان البرز). پژوهش های کاربردی در فنی و مهندسی، ۲۹(۳)، ۱۷۷-۱۹۰.
- نودری، کمال، رفیعیان، رازانی، اسد. (۲۰۲۲). بررسی بافت‌های ناکارآمد شهری از منظر میزان خطرپذیری بحران؛ نمونه موردی شهر تهران. جغرافیای اجتماعی شهری، ۹(۱)، ۱۸۹-۲۱۲.
- غیائی، دل انگیزان، سهراب، کریمی، محمدشریف. (۲۰۲۳). رتبه‌بندی کلان‌شهرهای ایران براساس شاخص هوشمندی شهری. اقتصاد شهری، ۸(۱)، ۴۷-۷۰.
- عاقریان، نباتی نژاد، ذاکری. (۲۰۲۴). ارائه الگویی برای حکمروایی شهری مبتنی بر مشارکت شهروندان. پژوهش های راهبردی مسائل اجتماعی، ۱۳(۲)، ۴۷-۶۸.

