

تحلیل نقش مهندسی سازه در بهبود کیفیت اجرای پروژه‌های عمرانی شهری در شهرداری‌ها

نیما عبدی فرد^۱

۱ - کارشناسی ارشد رشته عمران - سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر. (کارشناس شهرسازی)

چکیده

پروژه‌های عمرانی شهری که توسط شهرداری‌ها برنامه‌ریزی و اجرا می‌شوند، نقش بنیادینی در ارتقای کیفیت زندگی شهروندان، توسعه پایدار شهری و افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌ها دارند. در این میان، مهندسی سازه به‌عنوان یکی از ارکان اصلی پروژه‌های عمرانی، نقشی تعیین‌کننده در تضمین ایمنی، دوام، کیفیت اجرا و کنترل هزینه و زمان ایفا می‌کند. پیچیدگی ذاتی محیط شهری، مجاورت سازه‌ها با تأسیسات حساس، محدودیت فضا و لزوم تداوم خدمات شهری، اهمیت استفاده از دانش مهندسی سازه را در فرآیند طراحی، اجرا و نظارت دوجندان کرده است. هدف اصلی این مقاله، تحلیل نقش مهندسی سازه در بهبود کیفیت اجرای پروژه‌های عمرانی شهری تحت مدیریت شهرداری‌ها و تبیین ابعاد مختلف تأثیر این تخصص بر موفقیت فنی و مدیریتی پروژه‌ها است. روش تحقیق به‌کاررفته در این پژوهش، مروری - تحلیلی بوده و با اتکا بر مطالعات و پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه مدیریت پروژه‌های عمرانی، مشارکت عمومی - خصوصی، مدیریت ریسک، کنترل کیفیت، ایمنی و پایداری شهری صورت گرفته است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که مهندسی سازه نه‌تنها بر کیفیت فنی و اجرایی سازه‌ها، بلکه بر کاهش ریسک‌های اجرایی، بهینه‌سازی مصرف مصالح، کنترل هزینه‌ها، کاهش تأخیرات پروژه و افزایش ایمنی در مراحل ساخت و بهره‌برداری تأثیر مستقیم دارد. همچنین نتایج حاکی از آن است که حضور فعال مهندس سازه در فرآیندهای تصمیم‌گیری شهرداری، به‌ویژه در پروژه‌های بزرگ و مشارکتی، موجب افزایش شفافیت فنی، ارتقای اعتماد سرمایه‌گذاران و کاهش هزینه‌های نگهداری در بلندمدت می‌شود. در نهایت، این مقاله نتیجه‌گیری می‌کند که تقویت جایگاه مهندسی سازه در بدنه فنی و مدیریتی شهرداری‌ها، شرطی اساسی برای دستیابی به اجرای باکیفیت، ایمن و پایدار پروژه‌های عمرانی شهری و تحقق اهداف توسعه پایدار شهری است.

واژگان کلیدی: مهندسی سازه، کیفیت اجرا، پروژه‌های عمرانی شهری، مدیریت ریسک، دوام سازه

مقدمه

گستره پروژه‌های عمرانی شهری تحت مدیریت شهرداری‌ها شامل طیف وسیعی از سازه‌ها از جمله پل‌ها، تونل‌ها، سازه‌های نگهبان برای گودبرداری‌های عمیق، زیرساخت‌های حمل و نقل ریلی شهری و ساختمان‌های خدمات عمومی است که هر یک نیازمند دقت، تخصص و نظارت فنی بالایی در تمامی مراحل طراحی و اجرا هستند. در این میان، مهندسی سازه به عنوان هسته اصلی طراحی این زیرساخت‌ها، نقش محوری در تضمین عملکرد بلندمدت و ایمنی شهروندان ایفا می‌کند؛ چرا که هرگونه ضعف یا نقص در طراحی یا اجرای اجزای سازه‌ای می‌تواند منجر به خسارات مالی هنگفت، توقف خدمات شهری و در بدترین حالت، فاجعه‌های انسانی شود (نادعلی جلوخانی و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، ارتقای سطح دانش و به‌کارگیری فناوری‌های نوین سازه‌ای در بدنه فنی شهرداری‌ها، امری ضروری برای انطباق با استانداردهای روز جهانی و افزایش تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات طبیعی و بهره‌برداری مداوم است.

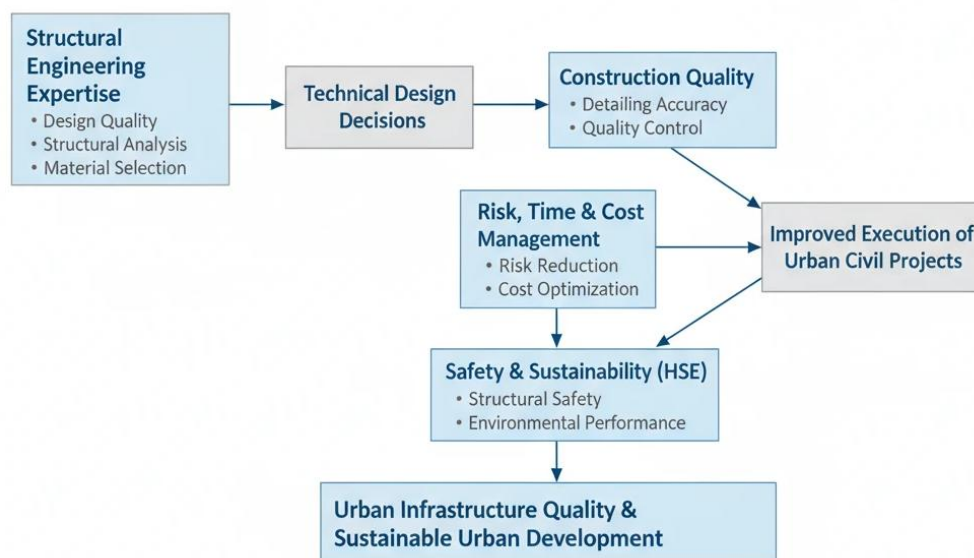
افزایش سرانه ساخت و ساز شهری و همچنین ضرورت نوسازی زیرساخت‌های موجود، چالش‌های جدیدی را فراروی مهندسان سازه قرار داده است؛ از جمله نیاز به طراحی سازه‌هایی با دهانه‌های بلندتر، استفاده از مصالح با مقاومت بالاتر، و همچنین توجه ویژه به اثرات محیطی و اقتصادی در انتخاب روش‌های طراحی و اجرا. مهندسی سازه صرفاً به تحلیل نیروها و تعیین ابعاد اعضا محدود نمی‌شود، بلکه شامل انتخاب بهینه سیستم سازه‌ای، در نظر گرفتن رفتار دینامیکی سازه تحت بارهای لرزه‌ای و بهره‌برداری، و اطمینان از قابلیت اجرا در شرایط خاص سایت شهری است (رهنما و حجازی جوشقانی، ۲۰۱۷). این دیدگاه جامع‌نگر به مهندس سازه این امکان را می‌دهد که از بروز ایرادات اساسی که اغلب در تقاطع طراحی و اجرا رخ می‌دهند، پیشگیری نماید. یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های شهرداری‌ها در اجرای پروژه‌ها، دستیابی به کیفیت مطلوب در اجرا است که این کیفیت مستقیماً با دقت در پیاده‌سازی نقشه‌های سازه‌ای ارتباط دارد. کیفیت اجرا تنها به دقت ابعادی محدود نمی‌شود، بلکه شامل کنترل دقیق اختلاط بتن، اجرای صحیح اتصالات، قالب‌بندی مناسب و رعایت فاصله پوشش بتن است که همگی جزئی از جزئیات اجرایی است که توسط مهندس سازه تعریف و نظارت می‌شود (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). عدم توجه به این جزئیات، به ویژه در سازه‌های بتنی و فولادی، می‌تواند منجر به کاهش مقاومت اسمی طراحی شده، خوردگی زودرس میلگردها و کاهش چشمگیر عمر مفید سازه شود که این امر، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات آتی شهر را به شدت افزایش می‌دهد.

علاوه بر مسائل فنی و کیفی، نقش مهندسی سازه در مدیریت زمان و هزینه پروژه‌ها نیز غیرقابل اغماض است. طراحی‌های غیربهینه یا غیراقتصادی که فاقد ملاحظات اجرایی باشند، اغلب منجر به نیاز به اصلاحات پرهزینه و زمان‌بر در حین ساخت می‌شوند (محمدی و ثاقبی، ۲۰۲۲). یک رویکرد سازه‌ای قوی، با استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و تحلیل‌های دقیق، می‌تواند تداخلات بین رشته‌ای را کاهش داده و امکان پیش‌ساختگی بخش‌هایی از سازه را فراهم آورد که در نهایت موجب تسریع فرآیند اجرا در محیط شهری شلوغ می‌گردد.

بررسی تجارب پروژه‌های بزرگ شهری نشان می‌دهد که بسیاری از تأخیرها و اختلافات قراردادی، ریشه در ابهامات طراحی سازه‌ای، عدم تطابق نقشه‌های سازه با نقشه‌های معماری و تأسیساتی، یا تصمیم‌گیری‌های نادرست در محل کارگاه در خصوص جزئیات بحرانی سازه‌ای دارند (شریفی، ۲۰۲۳). مهندس سازه به عنوان مرجع فنی طراحی، باید بتواند در سریع‌ترین زمان ممکن به این چالش‌ها پاسخ دهد و راه‌حلی ارائه دهد که ضمن حفظ یکپارچگی سازه، کمترین تأثیر منفی را بر زمان‌بندی کلی

پروژه بگذارد. این نقش فعال، نیازمند درک عمیق از فرایندهای اجرایی و مدیریت پروژه است. مهندسی سازه امروزه بیش از هر زمان دیگری با ملاحظات پایداری و محیط زیست گره خورده است. انتخاب سیستم سازه‌ای و مصالح باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر تأمین ایمنی و دوام، اثرات کربنی سازه در طول عمر خود را کاهش دهد (قربانی‌سا و همکاران، ۲۰۲۳). در پروژه‌های شهری، این امر شامل بهینه‌سازی مصرف بتن و فولاد، استفاده از مصالح بازیافتی در صورت امکان، و طراحی سازه‌هایی است که قابلیت انطباق با تغییرات آتی کاربری شهری را داشته باشند، که این امر خود نیازمند تحلیل‌های پیشرفته ظرفیت سازه است.

مقاله حاضر با تکیه بر این مبانی، به دنبال ارائه یک تحلیل جامع از طریق مرور ادبیات تخصصی است تا نشان دهد چگونه دانش عمیق مهندسی سازه، به عنوان یک مزیت رقابتی و فنی در شهرداری‌ها، می‌تواند فرآیند اجرای پروژه‌های عمرانی را متحول ساخته و سطح خدمات زیربنایی ارائه شده به شهروندان را ارتقا دهد (آبروشن، ۲۰۲۳). این مرور به طور خاص بر جنبه‌های عملیاتی مانند کنترل کیفیت در محل، مدیریت تغییرات سازه‌ای و تضمین ایمنی در حین ساخت تمرکز خواهد داشت تا برای کارشناسان شهرداری که درگیر مدیریت این پروژه‌ها هستند، کاربردی باشد. در نهایت، این مقاله سازماندهی شده تا ابتدا مبانی نظری و سپس نقش‌های چندگانه مهندس سازه در بهبود کیفیت فنی، مدیریت ریسک، تعاملات سازمانی و مسائل ایمنی و پایداری را به تفصیل مورد بررسی قرار دهد، و در انتها جمع‌بندی جامعی از اهمیت این تخصص در تحقق اهداف توسعه پایدار شهری ارائه دهد.



شکل ۱. مدل مفهومی نقش مهندسی سازه در بهبود کیفیت اجرای پروژه‌های عمرانی شهری در شهرداری‌ها

مدل مفهومی ارائه‌شده در شکل ۱ نشان می‌دهد که چگونه تخصص مهندسی سازه، از طریق افزایش کیفیت طراحی سازه‌ای شامل دقت تحلیل‌های سازه‌ای، انتخاب بهینه مصالح و ارتقای کیفیت نقشه‌ها، به اتخاذ تصمیمات فنی صحیح منجر می‌شود. این تصمیمات فنی، با تأثیرگذاری مستقیم بر کیفیت اجرا و کنترل کیفی در کارگاه، زمینه‌ساز بهبود عملکرد ساخت، کاهش خطاهای اجرایی و افزایش انطباق اجرا با الزامات طراحی می‌گردد. در ادامه، مدیریت ریسک، زمان و هزینه به‌عنوان پیامد مهم تصمیمات سازه‌ای صحیح، نقش واسطه‌ای در بهبود فرآیند اجرای پروژه‌های عمرانی شهری ایفا کرده و از طریق کاهش ریسک‌های فنی و اقتصادی، به ارتقای سطح ایمنی و پایداری (ایچ‌اس‌ای - Health, Safety & Environment) پروژه‌ها کمک

می‌کند. در نهایت، تعامل یکپارچه این مؤلفه‌ها منجر به بهبود کیفیت زیرساخت‌های شهری و تحقق توسعه پایدار شهری می‌شود، به گونه‌ای که نقش مهندسی سازه نه تنها محدود به بعد فنی، بلکه مؤثر بر ابعاد مدیریتی، ایمنی و زیست‌محیطی پروژه‌های شهری تحت مدیریت شهرداری‌ها تبیین می‌گردد.

مبانی نظری و مفهومی مهندسی سازه در پروژه‌های شهری

اصول نظری مهندسی سازه، سنگ بنای اطمینان از عملکرد مورد انتظار سازه‌های شهری در برابر بارهای وارده و تغییرات محیطی است و هرگونه انحراف از این اصول در مراحل طراحی می‌تواند نتایج مخربی در طول عمر سازه به دنبال داشته باشد. این اصول شامل تحلیل سازه بر اساس تئوری الاستیسیته و پلاستیسیته، درک دقیق رفتار سازه تحت بارهای استاتیکی، دینامیکی، حرارتی و زلزله است (نادعلی جلوخانی و همکاران، ۲۰۱۸). برای پروژه‌های شهری مانند پل‌ها و زیرگذرها که در معرض بارهای ترافیکی سنگین و مداوم قرار دارند، درک رفتار خزش و انقباض بتن و تحلیل خستگی فولاد برای دستیابی به دوام مورد نظر، یک ضرورت نظری است که مستقیماً بر انتخاب جزئیات اجرایی تأثیر می‌گذارد.

تحلیل‌های سازه‌ای مدرن، با کمک نرم‌افزارهای پیشرفته المان محدود (FEA)، امکان مدل‌سازی دقیق رفتار غیرخطی سازه را فراهم می‌آورند که این امر برای سازه‌های شهری پیچیده مانند سازه‌های مهار شده در خاک یا سازه‌هایی با سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای حیاتی است (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). مهندس سازه باید بتواند مدل تحلیلی خود را به گونه‌ای تنظیم کند که پارامترهای ورودی، به ویژه مشخصات مصالح و شرایط مرزی (تکیه‌گاه‌ها)، بازتاب دقیقی از واقعیت اجرایی پروژه در محیط شهری داشته باشند؛ به عنوان مثال، در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه (SSI) در طراحی فونداسیون‌های پل‌ها و دیوارهای حائل اهمیت مضاعفی دارد. یکی از جنبه‌های نظری حیاتی، انتخاب سیستم سازه‌ای مناسب است که علاوه بر برآورده ساختن الزامات عملکردی، باید با محدودیت‌های سایت شهری و الزامات زیبایی‌شناختی سازگار باشد (رهنما و حجازی جوشقانی، ۲۰۱۷). در فضاهای شهری متراکم، اغلب طراح سازه مجبور است سیستم‌هایی را انتخاب کند که کمترین اشغال فضا را در زیر یا اطراف سازه داشته باشند، مانند استفاده از کابلی کردن سازه یا استفاده از سیستم‌های پیش‌تنیده که به دلیل ابعاد کوچکتر اعضا، امکان عبور تأسیسات شهری را تسهیل می‌کند. این انتخاب نظری، تأثیر مستقیمی بر چالش‌های اجرایی و طراحی سایر رشته‌ها دارد.

مبانی طراحی لرزه‌ای در مناطق شهری، با توجه به لزوم حفظ عملکرد در سطح بهره‌برداری پس از زلزله‌های کوچک و جلوگیری از فروریزش در زلزله‌های بزرگ، چارچوب نظری را تعیین می‌کند (محمدی و ثاقبی، ۲۰۲۲). مهندس سازه باید از ظرفیت سازه فراتر از حد الاستیک اطمینان حاصل کند و با استفاده از اصول طراحی مبتنی بر عملکرد (Performance-Based Design)، سطوح مختلف آسیب‌پذیری سازه را در برابر سطوح مختلف خطر لرزه‌ای مورد ارزیابی قرار دهد؛ این امر نیازمند درک عمیق از مکانیزم‌های تغییر شکل پلاستیک و طراحی مفاصل مقاوم است. مبحث مصالح نوین و رفتار آنها در سازه‌های شهری نیز بخشی از مبانی نظری مهندسی سازه را تشکیل می‌دهد که مستقیماً بر کیفیت اجرای طولانی‌مدت تأثیرگذار است. استفاده از بتن‌های با مقاومت بالا (HSC) یا بتن‌های خودتراکم (SCC) نیازمند درک دقیق از رفتارهای خاص این مصالح در محیط‌های محدود قالب‌بندی و همچنین شناخت مکانیسم‌های جذب و رهاسازی تنش در طول زمان است (آبروشن، ۲۰۲۳). این دانش نظری باید به دستورالعمل‌های اجرایی واضح تبدیل شود تا پیمانکاران بتوانند خواص مطلوب مصالح را در کارگاه محقق سازند.

نظریه پایداری سازه و دوام آن، فراتر از مقاومت اولیه، نیازمند در نظر گرفتن عوامل محیطی مانند سیکل‌های ذوب و انجماد، نفوذ یون کلر و کریئاتاسیون است که به ویژه در سازه‌های مجاور دریا یا در معرض نمک‌پاشی زمستانی اهمیت می‌یابند (شریفی، ۲۰۲۳). مهندس سازه باید با استفاده از تحلیل‌های مربوط به نفوذ، عمر مفید باقی‌مانده سازه را تخمین بزند و پوشش بتنی، میزان پوشش میلگرد و کیفیت اجرای پوشش محافظ را بر اساس این تحلیل‌های نظری مشخص نماید تا از خوردگی زودرس جلوگیری شود. همچنین، در پروژه‌های بزرگ شهری مانند سازه‌های نگهبان در نزدیکی خطوط مترو، تحلیل‌های تئوریک باید شامل اثرات دینامیکی ناشی از عبور قطارها و ارتعاشات ناشی از ترافیک مجاور باشد (قربانی‌سا و همکاران، ۲۰۲۳). این تحلیل‌ها اغلب نیازمند استفاده از تئوری‌های مکانیک جامدات پیشرفته و مدل‌سازی اندرکنش سازه با محیط متحرک است تا از ایجاد ترک‌ها یا آسیب‌های خستگی در طولانی‌مدت جلوگیری به عمل آید. در نهایت، مبانی نظری مهندسی سازه پلی است میان تئوری و اجرا؛ این اصول تضمین می‌کنند که آنچه در نرم‌افزار مدل‌سازی شده است، در عمل نیز قابل تحقق باشد و پایداری لازم را برای دهه‌ها در محیط شهری پرفشار فراهم آورد. درک عمیق این مبانی توسط ناظران و مدیران پروژه در شهرداری، اطمینان می‌دهد که تصمیمات فنی در محل کارگاه بر پایه یک شالوده علمی محکم اتخاذ می‌شوند (نادعلی جلوخانی و همکاران، ۲۰۱۸).

نقش مهندسی سازه در بهبود کیفیت فنی و اجرایی پروژه‌های عمرانی شهری

کیفیت فنی پروژه‌های عمرانی شهری ارتباط تنگاتنگی با میزان پایبندی به دیتیل‌های اجرایی سازه‌ای دارد؛ این دیتیل‌ها، که توسط مهندس سازه در نقشه‌های اجرایی مشخص می‌شوند، اغلب تعیین‌کننده مرز میان یک سازه موفق و یک سازه با عمر مفید محدود هستند (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). نقش کلیدی مهندس سازه در این مرحله، تبدیل تحلیل‌های انتزاعی به دستورالعمل‌های واضح و قابل اجرا برای پیمانکاران است؛ این امر شامل نحوه قرارگیری میلگردها در نواحی بحرانی، روش‌های صحیح آرماتوربندی در گوشه‌ها و اتصالات، و همچنین کنترل دقیق ترانس‌های هندسی است که در محیط شهری به دلیل محدودیت‌های فضا، اجرای آنها دشوارتر است.

استفاده از فناوری‌های نوین مدل‌سازی مانند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در حوزه سازه، کیفیت فنی پروژه را به طور چشمگیری ارتقا داده است؛ این ابزار به مهندس سازه اجازه می‌دهد تا تداخلات سازه‌ای با تأسیسات مکانیکی و الکتریکی (MEP) را قبل از شروع عملیات خاکی یا بتن‌ریزی شناسایی کند (محمدی و ثاقبی، ۲۰۲۲). پیشگیری از برخوردها و نیاز به برشکاری یا تغییر ابعاد اعضا در حین اجرا، که موجب کاهش مقاومت سازه می‌شود، یکی از مهم‌ترین دستاوردهای ورود مهندسی سازه به چرخه BIM در شهرداری‌ها است. کنترل کیفیت بتن ریزی و عمل‌آوری در سازه‌های شهری، که اغلب در مقیاس بزرگ و در شرایط آب و هوایی متغیر انجام می‌شود، نیازمند نظارت دقیق مهندس سازه است؛ این نظارت شامل تأیید طرح اختلاط، پایش دمای بتن در هنگام گیرش و اطمینان از تراکم کافی و حذف حفره‌های هوایی است (رهنما و حجازی جوشقانی، ۲۰۱۷). مهندس سازه باید پارامترهای کیفی بتن را به نحوی تعریف کند که علاوه بر رسیدن به مقاومت فشاری مشخص شده در طراحی، در برابر عوامل محیطی نیز مقاوم باشد؛ برای مثال، در دیوارهای حائل شهری، میزان نفوذپذیری بتن اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد.

در پروژه‌هایی مانند تعریض پل‌ها یا تقویت سازه‌های موجود شهری، نقش مهندسی سازه در طراحی روش‌های مقاوم‌سازی و اتصالات موقت حیاتی است؛ این کار مستلزم دانش عمیق در مورد رفتار سازه‌های سازه‌ای تحت بارهای اجرایی موقت و کنترل دقیق تنش‌ها در نقاط اتصال سازه اصلی به اجزای تقویتی است (شریفی، ۲۰۲۳). استفاده از روش‌های غیرمخرب (NDT) برای ارزیابی سازه‌های موجود و تفسیر نتایج این آزمون‌ها توسط مهندس سازه، اساس تصمیم‌گیری برای روش تقویتی است تا کیفیت

سازه پس از بهسازی به سطح مطلوبی برسد. اهمیت مهندسی سازه در تعریف دقیق روش‌های قالب‌بندی و نگهداری بار قالب در سازه‌های پیش‌تنیده شهری غیرقابل انکار است؛ نادرست بودن روش برداشتن قالب‌ها یا اعمال نیروهای پیش‌تندگی، می‌تواند منجر به ایجاد ترک‌های غیرقابل ترمیم یا تغییر شکل‌های دائمی شود که دوام سازه را به خطر می‌اندازد (آبروشن، ۲۰۲۳). مهندس سازه باید اطمینان حاصل کند که نیروهای وارده ناشی از اجرای پیش‌تندگی در محدوده مجاز اولیه و نهایی قرار گرفته و هیچ‌گونه تنش فشاری یا کششی ناخواسته‌ای در بتن ایجاد نشود.

در سازه‌های شهری که اجرای آن‌ها در فضای بسته یا محدود انجام می‌شود (مانند تونل‌ها یا زیرگذرها)، مسئله اجرای صحیح اتصالات پیچیده فولادی یا اتصالات پیش‌ساخته اهمیت دوچندانی می‌یابد؛ این اتصالات باید در شرایط دشوار محیطی با دقت بالا اجرا شوند (قربانی‌سا و همکاران، ۲۰۲۳). مهندس سازه با تعریف روش‌های دقیق جوشکاری، کنترل بازرسی‌های غیرمخرب جوش (RT، UT) و تأیید کیفیت پیچ و مهره‌های با مقاومت بالا، تضمین می‌کند که ظرفیت باربری اتصال به حداکثر مقدار اسمی خود برسد. کیفیت نهایی سازه شهری همچنین به توجه به جزئیات پایان کار سازه‌ای وابسته است، از جمله آب‌بندی مناسب درزهای انبساط پل‌ها و اجرای صحیح درزهای انقطاع که باید به طور کامل اثر حرکت نسبی اجزای سازه‌ای را جذب کنند (نادعلی جلوخانی و همکاران، ۲۰۱۸). نقص در اجرای آب‌بندی، عامل اصلی نفوذ رطوبت و کلر به داخل سازه و آغاز فرآیند خوردگی میلگردها است؛ بنابراین، نظارت مهندس سازه بر کیفیت اجرای این جزئیات حیاتی، مستقیماً بر عمر مفید پروژه تأثیرگذار است. به طور خلاصه، مهندسی سازه از طریق تعریف دقیق متریکال، نظارت بر روش‌های اجرا، استفاده از مدل‌سازی پیشرفته برای پیشگیری از تداخلات، و تضمین صحت اجرای دیتیل‌های اتصال و آب‌بندی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تبدیل نقشه‌های طراحی به سازه‌هایی با کیفیت فنی بالا و دوام تضمین‌شده در بافت شهری ایفا می‌کند (قربانی‌سا و همکاران، ۲۰۲۳).

مهندسی سازه، مدیریت ریسک، زمان و هزینه در پروژه‌های شهرداری

مدیریت ریسک در پروژه‌های عمرانی شهری یک چالش چندوجهی است که بخش عمده‌ای از عدم قطعیت‌های آن به حوزه مهندسی سازه بازمی‌گردد؛ شناسایی و ارزیابی ریسک‌های سازه‌ای مانند عدم قطعیت در پارامترهای خاک، ریسک‌های ناشی از اجرای نادرست یا ریسک‌های ناشی از بارهای غیرقابل پیش‌بینی، اولین قدم در کاهش اثرات منفی آن‌هاست (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). مهندس سازه با استفاده از تحلیل‌های احتمالی و حساسیت، میزان وابستگی پروژه به مفروضات سازه‌ای را مشخص می‌کند و به شهرداری امکان می‌دهد تا استراتژی‌های کاهش ریسک هدفمندتری را اتخاذ نماید. یکی از بزرگترین ریسک‌های مرتبط با زمان در پروژه‌های شهری، تأخیرهای ناشی از کشف شرایط ناشناخته زمین یا سازه‌های زیرزمینی مجاور است که نیازمند تغییرات ناگهانی در طراحی فونداسیون یا سازه نگهبان می‌شود (محمدی و ثاقبی، ۲۰۲۲). مهندس سازه با طراحی سیستم‌های انعطاف‌پذیر و با در نظر گرفتن یک «بافر طراحی» برای تغییرات احتمالی در پارامترهای ژئوتکنیکی، ریسک نیاز به بازنگری‌های اساسی در میانه پروژه را کاهش می‌دهد و از توقف‌های طولانی‌مدت جلوگیری می‌نماید.

از منظر مدیریت هزینه، طراحی اقتصادی سازه که توسط مهندس سازه انجام می‌شود، فراتر از حداقل کردن حجم مصالح است؛ بلکه به معنای انتخاب سیستمی است که کمترین هزینه کل (شامل ساخت، بهره‌برداری و نگهداری) را در طول عمر سازه داشته باشد (رهنما و حجازی جوشقانی، ۲۰۱۷). به عنوان مثال، استفاده از سازه‌های پیش‌ساخته در پروژه‌های تکراری شهری مانند پل‌های عابر پیاده، اگرچه هزینه اولیه قالب‌بندی را افزایش می‌دهد، اما به دلیل تسریع چشمگیر نصب و کاهش هزینه‌های کارگری در سایت شلوع شهری، در مجموع هزینه‌های پروژه را کاهش می‌دهد. نقش مهندس سازه در کاهش ریسک‌های اجرایی از طریق ارائه نقشه‌های دقیق و شفاف، بسیار مهم است؛ نقشه‌های مبهم در مورد نحوه اجرای جزئیات بحرانی (مانند اتصالات

پیچی یا جوشی پیچیده) مستقیماً منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست توسط پیمانکار، نیاز به تخریب و بازسازی، و در نتیجه افزایش هزینه و زمان می‌گردد (شریفی، ۲۰۲۳). استفاده از مدل‌سازی سه‌بعدی سازه برای نمایش واضح این دیتیل‌ها، ریسک تفسیر اشتباه در کارگاه را به حداقل می‌رساند.

مدیریت ریسک‌های مرتبط با ایمنی کارگران و مردم در حین ساخت، که ارتباط نزدیکی با پایداری موقت سازه دارد، مستقیماً تحت کنترل تحلیل‌های مهندسی سازه است (آبروشن، ۲۰۲۳). برای مثال، در مراحل اجرای سازه نگهبان عمیق در مجاورت معابر پرتردد، مهندس سازه باید پایداری دیوارهای حائل را نه تنها تحت شرایط عادی، بلکه در صورت وقوع بارگذاری‌های ناشی از فعالیت‌های ساختمانی سنگین مجاور یا حتی نوسانات سطح آب زیرزمینی، تضمین نماید. تأخیرهای ناشی از بازرسی‌های فنی و رد شدن کیفیت بخشی از کار اجرایی، یکی دیگر از موانع زمان‌بندی است که ریشه در عدم انطباق اجرای سازه با الزامات طراحی دارد (قربانی‌سا و همکاران، ۲۰۲۳). مهندس سازه با تعریف دقیق فرآیندهای کنترل کیفیت در حین اجرا (مانند زمان نمونه‌برداری بتن، روش‌های تست جوش) و همچنین آموزش پیمانکاران در مورد اهمیت اجرای صحیح دیتیل‌ها، ریسک مردود شدن کار و تأخیر ناشی از آن را به طور مؤثری مدیریت می‌کند.

در پروژه‌های شهری که اغلب منابع مالی عمومی درگیر هستند، کنترل هزینه از طریق بهینه‌سازی استفاده از مصالح یک الزام مدیریتی است؛ مهندس سازه با استفاده از روش‌های طراحی بر اساس عملکرد (PBD)، می‌تواند به جای استفاده از رویکردهای محافظه‌کارانه بیش از حد، تنها ظرفیت مورد نیاز را تأمین کند (نادعلی جلودانی و همکاران، ۲۰۱۸). این بهینه‌سازی هوشمندانه در طراحی تیرها و ستون‌ها، می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه در مصرف فولاد و بتن بدون به خطر انداختن ایمنی شود. در نهایت، ادغام مهندسی سازه از مراحل اولیه برنامه‌ریزی پروژه، امکان شناسایی زود هنگام ریسک‌های بزرگ سازه‌ای و پیامدهای مالی آن‌ها را فراهم می‌آورد؛ این رویکرد پیشگیرانه، که برخلاف رویکرد واکنشی عمل می‌کند، موجب می‌شود تا شهرداری‌ها پروژه‌های عمرانی خود را با ثبات بیشتر در مسیر زمان‌بندی و بودجه مصوب به سرانجام برسانند (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰).

جایگاه مهندسی سازه در تعامل با نظام مدیریت شهری، مشارکت عمومی-خصوصی و تأمین مالی پروژه‌ها

در ساختارهای نوین مدیریتی شهرداری‌ها، به ویژه در مدل‌های مشارکت عمومی-خصوصی (PPP) برای پروژه‌های زیرساختی مانند آزادراه‌ها یا خطوط مترو، مهندسی سازه نقش فراتر از تخصص فنی ایفا می‌کند و به یک عامل کلیدی در مذاکرات و تضمین‌های مالی تبدیل می‌شود (محمدی و ثاقبی، ۲۰۲۲). در قراردادهای PPP، طرف خصوصی اغلب متعهد به تأمین مالی و اجرای سازه‌ای است که باید برای یک دوره بهره‌برداری طولانی‌مدت (مثلاً ۲۰ تا ۳۰ سال) دوام بیاورد؛ این دوام از طریق پارامترهای طراحی سازه‌ای که توسط مشاوران شهرداری تأیید می‌شود، تضمین می‌گردد. استانداردهای طراحی سازه، به عنوان بخشی از اسناد مناقصه و قرارداد، مبنای تعیین مسئولیت‌ها و تعهدات فنی بین شهرداری و بخش خصوصی هستند (رهنما و حجازی جوشقانی، ۲۰۱۷). مهندس سازه شهرداری باید اطمینان حاصل کند که الزامات مربوط به ظرفیت باربری، مقاومت لرزه‌ای و دوام سازه به گونه‌ای تعریف شود که هم امکان اجرای اقتصادی توسط بخش خصوصی را فراهم آورد و هم استانداردهای ایمنی عمومی را نقض نکند. این توازن فنی در قرارداد، نقش کلیدی در موفقیت مالی پروژه دارد.

در فرآیند تأمین مالی پروژه‌ها، بانک‌ها و مؤسسات مالی متقاضی تضمین‌های معتبری مبنی بر عدم شکست سازه‌ای هستند؛ اعتبار این تضمین‌ها به طور مستقیم به کیفیت تحلیل‌های سازه‌ای و دقت نظارت مهندسی بر اجرا وابسته است (شریفی، ۲۰۲۳). یک گزارش فنی سازه‌ای جامع که توسط مهندسان متخصص شهرداری ارائه می‌شود و در آن تحلیل‌های حساسیت و سناریوهای شکست احتمالی به تفصیل بررسی شده باشد، اعتماد سرمایه‌گذاران را جلب کرده و دسترسی به منابع مالی را تسهیل می‌نماید. تعامل مهندسی سازه با سایر بخش‌های مدیریتی شهرداری، مانند شهرسازی و ترافیک، برای اطمینان از ادغام سازه در بافت

شهری ضروری است (آبروشن، ۲۰۲۳). به عنوان مثال، طراحی یک پل عابر پیاده باید علاوه بر ملاحظات سازه‌ای، الزامات زیبایی‌شناختی معماری و همچنین ملاحظات ترافیکی در خصوص ابعاد دهانه، ارتفاع آزاد و محل پایه‌ها را برآورده سازد؛ عدم هماهنگی بین این بخش‌ها، منجر به تغییرات پرهزینه در میانه راه می‌شود که مستقیماً بر بودجه تأثیر می‌گذارد.

در مواردی که پروژه‌های شهری با سازه‌های موجود مجاور تداخل دارند (مانند احداث تونل در نزدیکی ساختمان‌های تاریخی یا خطوط لوله شهری)، مهندسی سازه مسئول تعیین حریم ایمنی سازه‌ای است و باید روش‌های اجرایی مانند تزریق یا نیلینگ را به نحوی طراحی کند که سازه‌های همسایه دچار نشست یا آسیب ناشی از ارتعاش نشوند (قربانی‌سا و همکاران، ۲۰۲۳). این مدیریت ریسک تعاملی، نیازمند همکاری تنگاتنگ با سازمان میراث فرهنگی یا شرکت‌های خدمات شهری است. از منظر نظارتی، مهندسی سازه چارچوب فنی لازم برای ارزیابی مطابقت گزارش‌های پیشرفت کار پیمانکاران را فراهم می‌آورد؛ تأیید پرداخت‌ها به پیمانکاران اغلب منوط به تأیید انجام صحیح بخش‌های سازه‌ای کلیدی است، مانند اجرای فونداسیون، نصب قطعات پیش‌ساخته یا اتمام موفقیت‌آمیز مراحل بتن‌ریزی حجیم (نادعلی جلولخانی و همکاران، ۲۰۱۸). اگر مهندس سازه در تعیین معیارهای پذیرش دقیق نباشد، شهرداری در معرض پرداخت‌های نابجا یا پذیرش کیفیت پایین قرار می‌گیرد.

تطبیق طراحی سازه با الزامات پایداری مالی پروژه‌ها در بلندمدت، از طریق تعریف صحیح پارامترهای دوام، از اهمیت بالایی برخوردار است؛ به عنوان مثال، تعیین پوشش مناسب بتن برای محافظت در برابر سولفات‌ها در سازه‌های مجاور فاضلاب شهری، هزینه‌های تعمیرات آبی را که باید توسط شهرداری پرداخت شود، به شدت کاهش می‌دهد (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). این نگاه بلندمدت سازه‌ای، یک سرمایه‌گذاری مالی در آینده شهر محسوب می‌شود. بنابراین، مهندس سازه در ساختار مدیریت شهری، نه فقط یک طراح، بلکه یک مشاور حیاتی در تضمین امنیت سرمایه‌گذاری، مدیریت ریسک‌های فنی و تنظیم روابط قراردادی شفاف با بخش خصوصی در پروژه‌های زیربنایی بزرگ شهری است.

مهندسی سازه، ایمنی، HSE و پایداری در پروژه‌های عمرانی شهری

ایمنی (HSE) در پروژه‌های عمرانی شهری به طور مستقیم با طراحی سازه‌ای و روش اجرای آن گره خورده است؛ در محیط شهری، خطرات ناشی از سقوط مصالح، ریزش گودهای عمیق یا ناپایداری سازه‌های موقت در نزدیکی اماکن عمومی، بسیار بالاست (شریفی، ۲۰۲۳). مهندس سازه مسئول طراحی ایمن داربست‌ها، سیستم‌های موقت نگهداری (مانند شمع‌بندی و استرند)، و همچنین پیش‌بینی بارهای ناشی از جرثقیل‌ها و تجهیزات سنگین در حین ساخت است تا از واژگونی یا فروریزش موقت سازه جلوگیری شود. در سازه‌های بلند و بزرگ شهری، مانند برج‌های بلند یا سازه‌هایی که در معرض بادهای شدید محلی قرار دارند، تحلیل‌های دینامیکی سازه و در نظر گرفتن پاسخ انسانی به ارتعاشات (Human Comfort Criteria) بخشی جدایی‌ناپذیر از تضمین ایمنی بهره‌برداران آینده است (آبروشن، ۲۰۲۳). مهندس سازه باید با استفاده از مدل‌سازی‌های پیشرفته، اطمینان حاصل کند که نوسانات سازه در محدوده قابل قبول برای ساکنین و کاربران باقی بماند، به ویژه در سازه‌هایی که کاربری عمومی دارند.

پایداری پروژه‌های شهری در منظر زیست‌محیطی نیز به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است و مهندسی سازه نقش محوری در تحقق این هدف ایفا می‌کند (قربانی‌سا و همکاران، ۲۰۲۳). این شامل بهینه‌سازی استفاده از منابع و کاهش پسماند است؛ به عنوان مثال، طراحی دقیق اعضای سازه‌ای برای کاهش سازه‌های فولادی یا استفاده از بتن با کمترین میزان سیمان ممکن بدون افت عملکرد، مستقیماً به کاهش مصرف انرژی و تولید دی‌اکسید کربن در چرخه عمر سازه کمک می‌کند. یکی از

چالش‌های بزرگ در پروژه‌های زیرزمینی شهری، نظارت بر رفتار سازه در برابر تغییرات هیدرولوژیکی است؛ تغییر در سطح آب زیرزمینی ناشی از عملیات پمپاژ می‌تواند باعث نشست یا بالا آمدن ناخواسته کف سازه (Uplift) شود (نادعلی جلوخانی و همکاران، ۲۰۱۸). مهندس سازه باید با تحلیل اندرکنش سازه و آب، راهکارهای تخلیه آب کنترل شده یا استفاده از سیستم‌های بالاست ضد شناوری (Ballast) را طراحی کند تا از بروز حوادث ناگهانی ایمنی جلوگیری شود.

استفاده از مصالح پایدار و با دوام بالا در برابر شرایط محیطی شهری (مانند آلودگی هوا و نمک‌ها)، مستقیماً تحت تأثیر تصمیمات مهندسی سازه است (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). انتخاب نوع فولاد، پوشش‌های اپوکسی مناسب برای میلگردها در مناطق خورنده، و اطمینان از کیفیت بالای بتن در برابر حملات شیمیایی، عواملی هستند که توسط مهندس سازه تعیین شده و عمر مفید پروژه را بدون نیاز به تعمیرات پرهزینه افزایش می‌دهند. در زمینه مدیریت ریسک‌های ایمنی حین ساخت، طراحی برای قابلیت برداشت سازه پس از اتمام عمر مفید (Design for Deconstruction) به یک ملاحظه پایداری تبدیل شده است (محمدی و ثاقبی، ۲۰۲۲). اگرچه این رویکرد در ایران نوپاست، اما مهندسان سازه باید سازه‌های شهری را به گونه‌ای طراحی کنند که در آینده بتوانند اجزای اصلی را با کمترین تخریب و انرژی، جداسازی و بازیافت نمایند؛ این نیازمند طراحی مفصل جداپذیر و استفاده از اتصالات مکانیکی به جای جوشکاری کامل است.

همچنین، سازه‌های شهری باید در برابر تهدیدات امنیتی یا تخریب‌های عمدی نیز مقاوم باشند؛ تحلیل مقاومت سازه در برابر بارهای انفجاری کنترل شده یا ضربه وسایل نقلیه (مانند برخورد با پایه‌های پل‌ها) توسط مهندس سازه، تضمین‌کننده ایمنی بلندمدت عمومی است (رهنما و حجازی جوشقانی، ۲۰۱۷). این تحلیل‌ها، که معمولاً بر پایه اصول حفاظت پیشگیرانه طراحی سازه (Progressive Collapse Prevention) استوارند، سطحی از اطمینان را فراهم می‌آورند که فراتر از الزامات استاندارد بهره‌برداری عادی است. در مجموع، مهندسی سازه با تعریف دقیق الزامات عملکردی، پایداری و ایمنی، مستقیماً بر کاهش ریسک‌های HSE و افزایش پایداری محیطی و اقتصادی پروژه‌های عمرانی شهرداری تأثیر می‌گذارد و از تبدیل یک سازه به یک تهدید شهری جلوگیری می‌کند (شریفی، ۲۰۲۳).

ارائه مدل پیشنهادی برای بهبود کیفیت اجرای پروژه‌های عمرانی شهری با تأکید بر مهندسی سازه

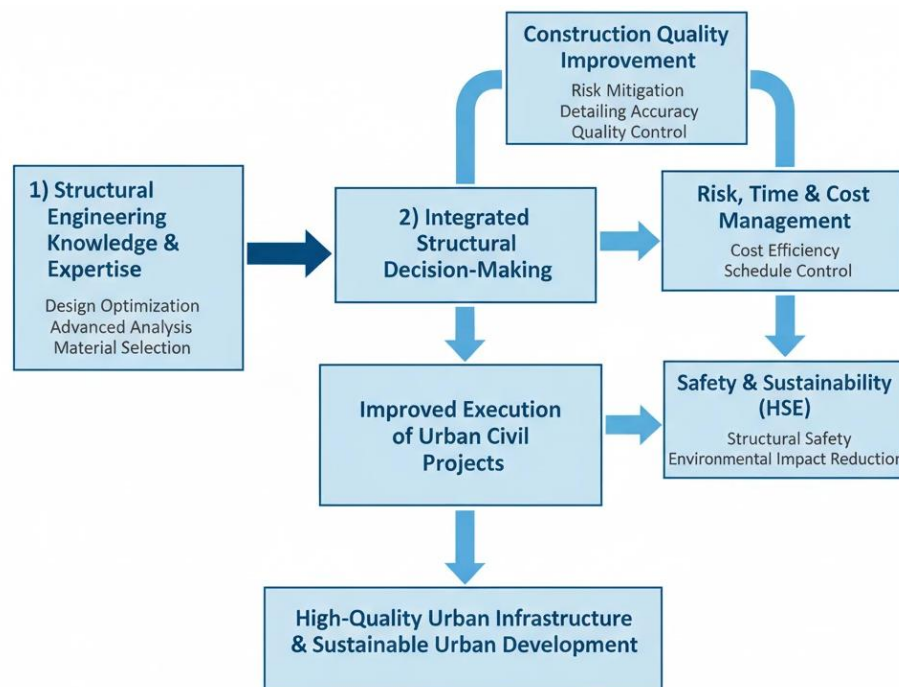
با توجه به یافته‌های حاصل از مرور ادبیات و تحلیل نقش مهندسی سازه در پروژه‌های عمرانی شهری، می‌توان یک مدل کاربردی و مرحله‌به‌مرحله برای استفاده شهرداری‌ها و واحدهای فنی-عمرانی پیشنهاد نمود که هدف آن، تبدیل دانش مهندسی سازه به بهبود ملموس در کیفیت اجرا، کاهش ریسک‌ها، و ارتقای ایمنی و پایداری است. در این مدل، مهندسی سازه به‌عنوان «موتور محرک تصمیم‌گیری فنی» در نظر گرفته می‌شود که از طریق ساختارمند کردن جریان اطلاعات، فرایندهای طراحی و اجرا را یکپارچه می‌کند (نادعلی جلوخانی و همکاران، ۲۰۱۸؛ غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). نقطه شروع مدل پیشنهادی، تقویت دانش و تخصص مهندسی سازه در بدنه شهرداری است؛ به گونه‌ای که تیم‌های سازه‌ای بتوانند با تسلط بر تحلیل‌های پیشرفته، مدیریت ریسک، و فناوری‌های نوین مانند BIM، نقش فعال و راهبردی در پروژه‌ها ایفا نمایند (آبروشن، ۲۰۲۳؛ رهنما و حجازی جوشقانی، ۲۰۱۷).

گام دوم در مدل پیشنهادی، یکپارچه‌سازی تصمیم‌گیری‌های سازه‌ای در قالب «تصمیم‌سازی سازه‌ای یکپارچه» است. در این مرحله، مهندس سازه نه تنها نقشه‌های طراحی را تولید می‌کند، بلکه در تعامل مستمر با واحدهای شهرسازی، ترافیک، تأسیسات و مالی، سناریوهای مختلف طراحی را از منظر هزینه، زمان، ریسک و پایداری ارزیابی می‌نماید (محمدی و ثاقبی، ۲۰۲۲). این

رویکرد، تصمیم‌گیری سازه‌ای را از حالت خطی و صرفاً محاسباتی خارج کرده و آن را به یک فرایند چندمعیاره تبدیل می‌کند که در آن، کیفیت اجرا، قابلیت اجرا در سایت، نیازهای نگهداری آتی و محدودیت‌های مالی شهرداری همزمان لحاظ می‌شوند (شریفی، ۲۰۲۳؛ گرامی، ۲۰۲۱). خروجی این مرحله، انتخاب گزینه‌ای است که بیشترین همخوانی را با اهداف راهبردی مدیریت شهری داشته باشد. در گام سوم، مدل پیشنهادی بر ارتقای کیفیت اجرا و کنترل کیفی در کارگاه تأکید می‌کند. در این چارچوب، تصمیمات سازه‌ای اتخاذ شده در مرحله طراحی باید به مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های اجرایی شفاف، چک‌لیست‌های کنترل کیفیت و نقاط بازرسی کلیدی تبدیل شوند (قربانی‌سا و همکاران، ۲۰۲۳). مهندس سازه، بر مبنای این مدل، مسئول تعریف «نقاط حساس سازه‌ای» مانند اتصالات، نواحی تمرکز تنش، و قطعات پیش‌ساخته است که نیازمند نظارت ویژه و آزمون‌های خاص (بتن، جوش، پیچ‌های پرمقاومت و غیره) هستند (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). به این ترتیب، حلقه اتصال میان طراحی و اجرا تقویت شده و احتمال بروز خطاهای اجرایی که منجر به کاهش مقاومت یا دوام سازه می‌شوند، کاهش می‌یابد.

بعد دیگر مدل پیشنهادی، پیوند سیستماتیک میان مهندسی سازه و مدیریت ریسک، زمان و هزینه در پروژه‌های شهرداری است. در این مدل، نتایج تحلیل‌های سازه‌ای (مانند نتایج تحلیل غیرخطی، بررسی سناریوهای شکست، و حساسیت به تغییرات زمین یا بارگذاری) مستقیماً به ماتریس ریسک پروژه منتقل می‌شود تا ریسک‌های سازه‌ای پر احتمال و پراثر به‌صورت شفاف شناسایی و برای آنها برنامه پاسخ تدوین گردد (نادعلی جلوخانی و همکاران، ۲۰۱۸؛ رهنما و حجازی جوشقانی، ۲۰۱۷). این ریسک‌ها می‌توانند شامل ریسک‌های ناشی از شرایط ژئوتکنیکی نامطمئن، وجود تأسیسات مدفون، سازه‌های مجاور حساس یا محدودیت‌های ترافیکی باشند. در ادامه، مهندس سازه با همکاری واحد برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، تأثیر این ریسک‌ها بر زمان‌بندی و هزینه پروژه را تخمین زده و سناریوهای کاهش یا انتقال ریسک (مانند تغییر روش اجرا یا تقویت موقت) را پیشنهاد می‌کند (غفاری اسماعیل و همکاران، ۲۰۲۰). در گام بعد، مدل پیشنهادی نقش پیشران مهندسی سازه در ارتقای ایمنی و HSE و پایداری شهری را برجسته می‌سازد. بر اساس این مدل، هر تصمیم سازه‌ای باید از سه منظر ارزیابی شود: نخست، ایمنی کارگران و شهروندان در حین ساخت؛ دوم، ایمنی بهره‌برداران در دوره بهره‌برداری در برابر مخاطراتی چون زلزله، فرسودگی و حوادث غیرمترقبه؛ و سوم، اثرات زیست‌محیطی و انرژی نهفته در مصالح و روش اجرا (قربانی‌سا و همکاران، ۲۰۲۳؛ قلی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۱). این رویکرد سه‌بعدی موجب می‌شود انتخاب سیستم سازه‌ای، نوع مصالح و جزئیات اجرایی، هم‌زمان پاسخ‌گوی الزامات HSE و معیارهای توسعه پایدار شهری باشد و در بلندمدت، هزینه‌های نگهداری و نوسازی زیرساخت‌ها کاهش یابد (سرخیلی و همکاران، ۲۰۱۸؛ آیینی و همکاران، ۲۰۱۹).

در نهایت، خروجی مدل پیشنهادی، «بهبود اجرای پروژه‌های عمرانی شهری و ارتقای کیفیت زیرساخت‌های شهری» است که از طریق مجموعه‌ای از روابط علی بین دانش مهندسی سازه، تصمیم‌گیری یکپارچه، بهبود کیفیت اجرا، مدیریت ریسک و تقویت ایمنی و پایداری شکل می‌گیرد. این مدل می‌تواند به‌عنوان یک چارچوب مرجع برای شهرداری‌ها و واحدهای فنی مورد استفاده قرار گیرد تا فرآیندهای تصمیم‌گیری فنی و مدیریتی خود را ساختارمندتر و شفاف‌تر کنند و از مهندسی سازه به‌عنوان یک مزیت رقابتی در مدیریت پروژه‌های شهری بهره ببرند (آبروشن، ۲۰۲۳؛ آشناور و همکاران، ۲۰۲۱). شکل ۲، خلاصه‌ای از این مدل پیشنهادی را به صورت نمودار مفهومی انگلیسی نشان می‌دهد که می‌تواند در اسناد فنی و گزارش‌های مدیریتی نیز مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲. مدل پیشنهادی برای بهبود کیفیت اجرای پروژه‌های عمرانی شهری با تأکید بر مهندسی سازه

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی نهایی

نتایج این مرور تحلیلی به وضوح نشان می‌دهد که مهندسی سازه، فراتر از یک تخصص صرفاً محاسباتی، یک ستون فقرات مدیریتی و تضمین‌کننده کیفیت در کلیه پروژه‌های عمرانی شهری تحت نظارت شهرداری‌ها است؛ کیفیت نهایی سازه و دوام آن، مستقیماً با عمق درک مهندس سازه از تعامل میان تئوری، الزامات اجرایی و محدودیت‌های محیط شهری گره خورده است (آبروشن، ۲۰۲۳). فقدان نگاه سیستمی مهندس سازه به پروژه می‌تواند منجر به طراحی‌های غیرقابل اجرا، افزایش هزینه‌های ناشی از تغییرات حین ساخت و کاهش عمر مفید زیرساخت‌ها شود. یکی از مهم‌ترین یافته‌ها، تأکید بر نقش مهندسی سازه در مدیریت ریسک‌های ذاتی پروژه‌های شهری است؛ از عدم قطعیت‌های ژئوتکنیکی در محل گودبرداری‌ها تا ریسک‌های اجرایی ناشی از تداخل با تأسیسات موجود، دانش سازه‌ای پیشرفته (به ویژه مبتنی بر مدل‌سازی‌های غیرخطی) ابزاری حیاتی برای پیش‌بینی شکست‌ها و اتخاذ تدابیر پیشگیرانه است که هزینه‌های ناگهانی و تأخیرات پروژه را به حداقل می‌رساند (غفاری و همکاران، ۲۰۲۰). این رویکرد پیشگیرانه، برای شهرداری‌ها که با فشار شدید زمانی و بودجه‌ای مواجه‌اند، یک صرفه‌جویی قابل توجه در منابع محسوب می‌شود.

در زمینه بهبود کیفیت فنی، نقش مهندس سازه در تعریف دقیق دیتیل‌های اجرایی، به ویژه در نواحی بحرانی مانند اتصالات سازه‌ای و محل قرارگیری آرماتورها، محوری است؛ اجرای نادرست این دیتیل‌ها، حتی در صورت صحت محاسبات اولیه، می‌تواند مقاومت نهایی سازه را به شدت کاهش دهد (نادعلی جلوخانی و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، ادغام نظارت مهندس سازه در مراحل کنترل کیفیت مصالح و اجرای کار، از بتن‌ریزی تا اجرای پوشش‌های محافظ، برای تضمین دوام طولانی مدت سازه‌های شهری امری اجتناب‌ناپذیر است. همچنین، در چارچوب‌های نوین مدیریتی مانند مشارکت عمومی-خصوصی (PPP)، دانش سازه‌ای مهندسان شهرداری به عنوان یک عامل اعتبارسنجی فنی عمل می‌کند؛ این تخصص فنی تضمین می‌کند که قراردادهای

بلندمدت با بخش خصوصی بر اساس الزامات عملکردی سازه‌ای واقع‌بینانه و قابل دستیابی منعقد شوند که این امر از بروز اختلافات آتی و تحمیل هزینه‌های غیرمنتظره بر بودجه عمومی جلوگیری می‌نماید (محمدی و ثاقبی، ۲۰۲۲).

تأکید بر پایداری و ایمنی (HSE) در طراحی سازه، از دغدغه‌های اساسی پروژه‌های جدید شهری است؛ این شامل طراحی برای مقاومت در برابر بارهای حدی غیرمترعارف (مانند زلزله‌های بزرگ) و همچنین در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی مانند بهینه‌سازی مصرف مصالح و امکان بازیافت در آینده است (قربانی‌سا و همکاران، ۲۰۲۳). مهندس سازه با طراحی سیستم‌های انعطاف‌پذیر و کم‌مصرف، مستقیماً در تحقق اهداف پایداری شهری نقش دارد. برای ارتقای عملکرد آتی، شهرداری‌ها باید سرمایه‌گذاری بیشتری بر روی آموزش مستمر کارشناسان خود در زمینه مدل‌سازی سازه‌ای پیشرفته (مانند BIM و FEA پیشرفته) و همچنین درک عمیق از رفتار مصالح نوین (مانند بتن‌های خودتراکم و FRP) داشته باشند تا بتوانند نقش نظارتی خود را به طور مؤثر ایفا کنند (رهنما و حجازی جوشقانی، ۲۰۱۷). این امر موجب می‌شود که شهرداری‌ها به جای پذیرش منفعلانه طرح‌های ارائه‌شده، بتوانند طرح‌های بهینه و مقایسه‌ای ارائه دهند. در جمع‌بندی نهایی، مهندسی سازه عنصری حیاتی در زنجیره ارزش پروژه‌های عمرانی شهری است که کیفیت اجرا، کنترل ریسک، مدیریت هزینه‌ها و زمان، و تضمین ایمنی عمومی را به طور همزمان تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین، تخصص و دخالت فعال مهندس سازه از مراحل امکان‌سنجی تا تحویل نهایی، شرط لازم برای توسعه زیرساخت‌های شهری تاب‌آور و با دوام خواهد بود (شریفی، ۲۰۲۳).

منابع

- 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.
- غفاری، دانشفرد، کرم اله، معمارزاده طهران. (۲۰۲۰). طراحی مدل مشارکت عمومی-خصوصی در طرح های زیر ساخت عمران شهری (مورد مطالعه: شهرداری تهران). فصلنامه انجمن علوم مدیریت ایران، ۱۵(۶۰)، ۲۷-۵۰.
- گرامی، عابدانور. (۲۰۲۱). بررسی علل تاخیر پروژه‌های عمرانی (مطالعه موردی: پروژه احداث سیستم فاضلاب شهری شهرداری هرات). پژوهشنامه مدیریت و مهندسی صنایع، ۸(۳)، ۴۷-۵۶.
- امیری، معراج. (۲۰۲۵). نقش روابط عمومی در تبیین پروژه های عمرانی و توسعه ای شهرداری بندرعباس. پژوهش های نوین علوم جغرافیایی، معماری و شهرسازی، ۵۱(۶)، ۴۶۶-۴۷۱.
- 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.
- شهنازی، روح‌اله، مرزبان، میرزاخانی. (۲۰۱۷). امکان‌پذیری استفاده از اوراق وقفی در تأمین مالی پروژه‌های عمرانی شهرداری‌ها و بررسی آثار رفاهی آن در مقایسه با اخذ عوارض (مطالعه موردی شهر شیراز). جستارهای اقتصادی با رویکرد اسلامی، ۱۴(۲۷)، ۳۵-۶۲.
- محمد جواد شریفی. (۲۰۲۳). بررسی عوامل موفقیت در اجرای پروژه های عمرانی در شهرداری‌ها. نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری، ۶(۲۳)، ۱۸۳۶-۱۸۴۵.
- رهنما، محمدرحیم، حجازی جوشقانی. (۲۰۱۷). استفاده از دانش مدیریت ریسک پروژه برای تدوین راهبردهای بهبود مشارکت در پروژه‌های عمومی-خصوصی شهری (نمونه موردی: پروژه‌های مشارکتی شهرداری مشهد). فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۸(۲۹)، ۱-۲۲.

- سرخیلی، سالاری، صفوی سهی. (۲۰۱۸). تحلیلی بر نقش تخلفات ساختمانی در ناکامی طرح‌های توسعه شهری کلانشهر تهران. باغ نظر، ۱۴(۵۱)، ۵-۲۰.
- غفاری اسماعیل، دانش فرد کرم اله، معمارزاده طهران غلامرضا. (۲۰۲۰). شناسایی عوامل تاثیرگذار در مشارکت عمومی-خصوصی در طرح‌های زیرساخت عمران شهری و ارائه الگوی مناسب. مورد مطالعه: شهرداری تهران.
- مهرداد محمدی، علیرضا ثاقبی. (۲۰۲۲). شناسایی عوامل افزایش هزینه در پروژه‌های عمرانی با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی (مورد مطالعه: شهرداری تهران). نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری، ۵(۱۷)، ۸۲-۱۰۱.
- حسین آب روشن. (۲۰۲۳). بهینه سازی مسیل های شهری با روشهای مهندسی عمران. نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری، ۵(۱۹)، ۲۰۲۲-۲۰۳۰.
- قلی زاده، حافظ رضا زاده، انوری، محمود رضا. (۲۰۲۱). تحلیل استراتژی‌های مدیریت شهری با تاکید بر معماری سبز (مطالعه موردی: شهر رشت). فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۱۱(۴۵)، ۷۴۲-۷۶۰.
- آشناور، واشقانی فراهانی، ربیعی فرداد. (۲۰۲۱). نقش و جایگاه مدیریت مشارکتی در توسعه و عمران شهری. جغرافیا و روابط انسانی، ۴(۳)، ۱۴۷-۱۶۴.
- آیینی، ذبیحی، سعیده زرآبادی، زهراسادات. (۲۰۱۹). ارائه مدل ارزیابانه از چالش‌های نظام مدیریت شهری شهرهای جدید ایرانی مبتنی بر رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری. باغ نظر، ۱۶(۷۵)، ۳۳-۴۶.
- قربانی سا، هانا سادات، رضایی فر، امید، ربیع زاده، انسیه. (۲۰۲۳). مروری بر حقوق مهندسی و مدیریت پروژه‌های عمرانی براساس معیارهای ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE). | نشریه عمران و پروژه | ماهنامه |، ۵(۶)، ISC|، ۵۸-۶۸.