فصلنامه پژوهش در مدیریت شماره ۱- دوره ۲- صفحات۶۳۵-۶۲۲
Journal of Research in Management
Issn : 3060-6241

نقش مهندسی عمران و HSE در ارتقای ایمنی شهری با رویکرد برنامه‌ریزی نوین و شهرسازی پایدار

حامد دهامی [1*]، حسین مهران پور [2]
۱ -کارشناسی ارشد مدیریت آموزشی، دانشگاه خلیج فارس. (کارشناس واحد پیشگیری سازمان آتش نشانی)
۲ -کارشناسی مهندسی فناوری عمران - ساختمان سازی، دانشگاه علمی کاربردی همیاری شهرداری‌ها. (محل خدمت - شهرداری منطقه ۲)

چکیده

ایمنی شهری در دهه‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیریت و برنامه‌ریزی شهری تبدیل شده است؛ زیرا رشد شتابان شهرنشینی، افزایش تراکم جمعیت، پیچیدگی زیرساخت‌ها و تشدید مخاطرات طبیعی و انسان‌ساخت، شهرها را بیش از پیش در معرض خطر قرار داده است. در این میان، مهندسی عمران به‌عنوان بنیان فیزیکی شهر و نظام بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)به‌عنوان چارچوب مدیریتی و کنترلی، دو رکن اساسی در تضمین ایمنی، سلامت و پایداری محیط‌های شهری محسوب می‌شوند. تلفیق این دو حوزه می‌تواند زمینه‌ساز کاهش ریسک، افزایش تاب‌آوری و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان شود. هدف این مقاله، تبیین نقش و جایگاه مهندسی عمران و HSE در ارتقای ایمنی شهری با تأکید بر برنامه‌ریزی نوین و شهرسازی پایدار است. در این راستا، تلاش شده است نشان داده شود که چگونه هم‌افزایی میان طراحی و اجرای مهندسی زیرساخت‌ها با رویکردهای مدیریتی HSE می‌تواند از مرحله برنامه‌ریزی تا بهره‌برداری، ایمنی شهری را به‌صورت نظام‌مند تقویت کند. روش تحقیق در این مطالعه از نوع مروری ـ تحلیلی است و با بررسی و تحلیل نظام‌مند ادبیات علمی مرتبط با مهندسی عمران، HSE، برنامه‌ریزی شهری نوین و مفاهیم تاب‌آوری و پایداری انجام شده است. محتوای پژوهش با رویکردی یکپارچه، ابعاد فنی، مدیریتی و فرهنگی ایمنی شهری را مورد توجه قرار داده و نقش فناوری‌های نوین، مدیریت ریسک و آموزش را در این فرآیند تبیین کرده است. یافته‌های مقاله نشان می‌دهد که ارتقای ایمنی شهری صرفاً با طراحی سازه‌های مقاوم محقق نمی‌شود، بلکه نیازمند ادغام اصول HSE در تمامی مراحل چرخه عمر پروژه‌های عمرانی، از تصمیم‌سازی و برنامه‌ریزی تا اجرا و نگهداری است. همچنین، استفاده از ابزارهای نوین برنامه‌ریزی و فناوری‌های هوشمند، در کنار توسعه فرهنگ ایمنی، نقش مؤثری در افزایش تاب‌آوری شهری دارد. در نتیجه، می‌توان بیان کرد که شهرسازی پایدار و ایمن، حاصل تعامل پویا و هدفمند میان مهندسی عمران و HSE است؛ تعاملی که با رویکردی پیشگیرانه و آینده‌نگر، می‌تواند شهرها را در برابر بحران‌ها مقاوم‌تر ساخته و بستر توسعه‌ای ایمن و پایدار برای نسل‌های آینده فراهم آورد.

واژگان کلیدی: ایمنی شهری، مهندسی عمران، HSE، برنامه‌ریزی نوین شهری، شهرسازی پایدار

مقدمه

توسعه سریع شهرنشینی در دهه‌های اخیر، چالش‌های متعددی را در زمینه حفظ و ارتقاء سطح ایمنی ساکنان شهرها به همراه داشته است. زیرساخت‌های پیچیده، تراکم جمعیتی بالا، و مواجهه مستمر با مخاطرات طبیعی و ناشی از فعالیت‌های انسانی، ایجاب می‌کند که رویکردهای سنتی مدیریت شهری بازبینی و با مفاهیم نوین علمی ادغام شوند (زندی‌دولابی، ۲۰۲۲). در این میان، مهندسی عمران به عنوان ستون فقرات فیزیکی شهر، نقشی اساسی در شکل‌دهی به محیط‌های امن ایفا می‌کند. این حوزه علمی مسئول طراحی، ساخت، و نگهداری تمامی سازه‌ها و زیرساخت‌های حیاتی از جمله شبکه‌های حمل و نقل، سامانه‌های آب و فاضلاب، و ساختمان‌های مسکونی و عمومی است (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، هرگونه قصور یا ضعف در طراحی‌های عمرانی می‌تواند پیامدهای فاجعه‌باری برای ایمنی عمومی داشته باشد. این ضعف‌ها نه تنها در زمان وقوع حوادث بزرگ نمود پیدا می‌کنند، بلکه در طولانی مدت از طریق فرسودگی‌های محیطی و عدم انطباق با استانداردهای روز، ایمنی شهری را تضعیف می‌سازند (موسوی و همکاران، ۲۰۲۵).

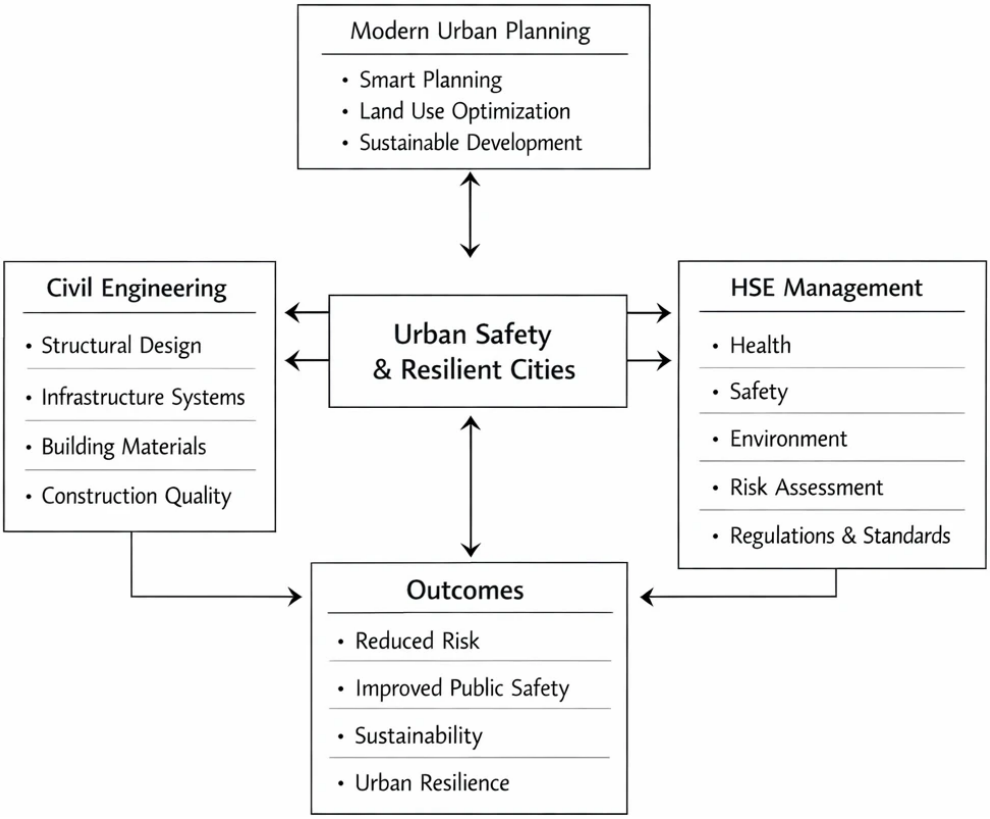
همزمان با تحول در مهندسی عمران، ظهور و تکامل مفاهیم بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE) به عنوان یک چارچوب مدیریتی جامع، انقلابی در نحوه مدیریت ریسک‌ها در پروژه‌های ساختمانی ایجاد کرده است. HSE فراتر از انطباق صرف با قوانین است (چوبینه و همکاران، ۲۰۲۰) ؛ این رویکرد یک فرهنگ پیشگیرانه است که هدف آن حذف یا به حداقل رساندن حوادث، صدمات و آسیب‌های زیست‌محیطی در طول تمام مراحل پروژه، از برنامه‌ریزی اولیه تا بهره‌برداری نهایی است (جونز و براون، ۲۰۱۹). ادغام این دو حوزه، یعنی استفاده از دانش فنی مهندسی عمران برای ایجاد سازه‌های مقاوم و به کارگیری ابزارهای مدیریتی HSE برای تضمین کیفیت اجرا و بهره‌برداری ایمن، امری حیاتی برای دستیابی به شهرسازی پایدار است. این هم‌افزایی تضمین می‌کند که پروژه‌های زیربنایی نه تنها کارآمد و مقرون به صرفه باشند، بلکه بالاترین سطوح ایمنی را نیز برای شهروندان فراهم آورند (زینالی‌عظیم و همکاران، ۲۰۲۴).

برنامه‌ریزی نوین شهری با تأکید بر تاب‌آوری (Resilience) در برابر تغییرات اقلیمی و بلایای غیرمترقبه، نیازمند رویکردی میان‌رشته‌ای است که در آن مهندسی عمران نقشه راه فیزیکی و HSE ابزارهای کنترلی و اجرایی را فراهم می‌کند. شهر تاب‌آور شهری است که می‌تواند پس از مواجهه با شوک‌های بزرگ (مانند زلزله یا سیل)، به سرعت به حالت عادی بازگردد و عملکرد خود را حفظ کند (گزارش جهانی سازمان ملل، ۲۰۲۱). این امر مستلزم طراحی زیرساخت‌هایی است که نه تنها در برابر رویدادهای طراحی شده مقاومت کنند، بلکه سیستم‌هایی برای واکنش سریع و مدیریت ایمن بحران‌ها در زمان وقوع حادثه نیز داشته باشند. این سیستم‌ها نیازمند یکپارچه‌سازی مستمر داده‌های مهندسی با پروتکل‌های عملیاتی HSE هستند (شیرویه‌پور و همکاران، ۲۰۲۴).

یکی از جنبه‌های مهم این هم‌افزایی، مدیریت چرخه عمر دارایی‌های شهری است. سازه‌های عمرانی دارای طول عمری طولانی هستند و ایمنی آن‌ها به شدت به نگهداری و بازرسی‌های دوره‌ای وابسته است. مهندسان عمران دانش فنی لازم برای ارزیابی وضعیت سازه را دارند، اما استانداردهای HSE چارچوب‌های لازم برای انجام این بازرسی‌ها به شکلی ایمن و سیستماتیک را فراهم می‌کنند. این شامل برنامه‌ریزی برای دسترسی ایمن به ارتفاعات، استفاده از تجهیزات حفاظتی مناسب هنگام کار در نزدیکی ترافیک سنگین، و مدیریت مواد خطرناک در فرآیندهای بازسازی است (دیویس و همکاران، ۲۰۱۸). غفلت از این جنبه می‌تواند منجر به حوادث حین نگهداری شود که به نوبه خود ایمنی عمومی را تهدید می‌کند، زیرا یک سازه ضعیف شده یا یک مسیر دسترسی ناایمن به یک پل در حال تعمیر می‌تواند به یک خطر بزرگ شهری تبدیل شود. نقش برنامه‌ریزی نوین در اینجا برجسته می‌شود(غلامی‌نورآباد و همکاران، ۲۰۲۵)؛ این برنامه‌ریزی باید از همان مراحل اولیه، ریسک‌های بالقوه

ناشی از طراحی‌های جدید و همچنین ریسک‌های ناشی از فرسودگی زیرساخت‌های موجود را مدل‌سازی کند. استفاده از مدل‌سازی پیشرفته اطلاعات ساختمان (BIM) همراه با ابزارهای مدیریت ریسک HSE، امکان شبیه‌سازی سناریوهای مختلف خرابی و شناسایی نقاط ضعف پیش از آغاز ساخت را فراهم می‌آورد (لی و چن، ۲۰۲۱). این رویکرد پیشگیرانه، هزینه‌های آتی نگهداری و اصلاحات پرخطر را به شدت کاهش داده و به تضمین پایداری بلندمدت شهر کمک می‌کند. شهرسازی پایدار صرفاً به حفظ محیط زیست محدود نمی‌شود، بلکه شامل تضمین ایمنی ساکنان آن در برابر تهدیدات ساختاری و عملیاتی نیز هست.

بنابراین، این مقاله با درک این ضرورت‌ها، قصد دارد تا با مرور جامع ادبیات تخصصی و تحلیل موارد کاربردی، نشان دهد که چگونه پیوند ناگسستنی بین مهندسی عمران به عنوان سازنده ساختار فیزیکی و HSE به عنوان ضامن اجرای ایمن و نگهداری پایدار، می‌تواند به ارتقاء چشمگیر ایمنی در محیط‌های شهری منجر شود. این بررسی بر ارائه یک چارچوب عملیاتی برای ادغام این دو حوزه در فرآیندهای برنامه‌ریزی و اجرایی شهری متمرکز خواهد بود تا شهری منعطف‌تر، ایمن‌تر و شایسته‌تر برای زندگی نسل‌های آینده شکل گیرد.



شکل ۱. مدل مفهومی نقش مهندسی عمران و مدیریت HSE در ارتقای ایمنی شهری و تحقق شهرهای تاب‌آور با رویکرد برنامه‌ریزی نوین شهری.

در شکل ۱، یک مدل مفهومی یکپارچه برای تبیین ارتباط میان مهندسی عمران، مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE) و برنامه‌ریزی نوین شهری در راستای ارتقای ایمنی شهری ارائه شده است. در این مدل، «ایمنی شهری و شهرهای تاب‌آور» در مرکز قرار گرفته و به‌عنوان خروجی تعامل پویا و دوسویه میان سه مؤلفه اصلی شامل مهندسی عمران، مدیریت HSE و برنامه‌ریزی نوین شهری معرفی می‌شود. مهندسی عمران از طریق طراحی سازه‌ای، توسعه زیرساخت‌ها، انتخاب مصالح

مناسب و کنترل کیفیت ساخت، بستر فیزیکی لازم برای ایمنی شهر را فراهم می‌کند، در حالی که مدیریت HSE با تمرکز بر سلامت، ایمنی، محیط زیست، ارزیابی ریسک و انطباق با مقررات و استانداردها، چارچوب مدیریتی و کنترلی لازم برای کاهش مخاطرات را ایجاد می‌نماید. همچنین، برنامه‌ریزی نوین شهری با تأکید بر برنامه‌ریزی هوشمند، بهینه‌سازی کاربری زمین و توسعه پایدار، نقش راهبردی در هدایت تصمیمات کلان شهری و هم‌راستاسازی آن‌ها با اهداف ایمنی و تاب‌آوری ایفا می‌کند. برآیند این تعاملات، دستیابی به پیامدهایی همچون کاهش ریسک، ارتقای ایمنی عمومی، افزایش پایداری و تقویت تاب‌آوری شهری است. این مدل نشان می‌دهد که ایمنی شهری نه حاصل عملکرد یک بخش منفرد، بلکه نتیجه هم‌افزایی میان رویکردهای فنی، مدیریتی و برنامه‌ریزی در چارچوب شهرسازی پایدار است و می‌تواند به‌عنوان مبنایی نظری برای تحلیل و طراحی سیاست‌های ایمنی‌محور در پروژه‌های عمرانی و شهری مورد استفاده قرار گیرد.

۲. مبانی نظری ادغام مهندسی عمران و HSE در محیط شهری

ادغام مهندسی عمران و اصول HSE در بستر شهری، صرفاً یک الزام قانونی یا اخلاقی نیست، بلکه یک ضرورت فنی و مدیریتی برای مواجهه با پیچیدگی‌های شهرسازی مدرن است. مهندسی عمران به طور سنتی بر پایداری سازه‌ای، دوام مواد، و عملکرد هیدرولیکی و ژئوتکنیکی تمرکز دارد (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۰). این دانش پایه، چارچوب فیزیکی ایمنی شهر را تعریف می‌کند؛ ساختمانی که در برابر بارهای طراحی شده مقاومت کند، یا سیستمی که از سیلاب جلوگیری نماید، مستقیماً به ایمنی شهروندان کمک می‌کند. با این حال، کیفیت نهایی این سازه‌ها به شدت وابسته به نحوه ساخت و نگهداری آن‌ها است، جایی که HSE نقش محوری پیدا می‌کند (برادران‌خانیان و همکاران، ۲۰۲۰).

رویکرد HSE یک سیستم مدیریتی جامع برای شناسایی، ارزیابی، کنترل و کاهش ریسک‌های مرتبط با سلامتی، ایمنی و محیط زیست در طول چرخه عمر پروژه است (جونز و براون، ۲۰۱۹). در زمینه پروژه‌های عمرانی شهری، این به معنای اعمال سخت‌گیرانه‌ترین استانداردها در تمام مراحل است: از انتخاب مکان و طراحی اولیه، تا اجرای عملیات خاکی، نصب سازه‌ها، و بهره‌برداری نهایی. برای مثال، در پروژه‌های حفاری شهری که مستلزم گودبرداری‌های عمیق هستند، مهندسان عمران باید پایداری دیواره‌های گود را محاسبه کنند، اما اجرای عملیات باید تحت نظارت دقیق HSE باشد تا ریسک ریزش دیواره بر تأسیسات مجاور یا عابرین به حداقل برسد. یکی از مفاهیم کلیدی در این ادغام، مفهوم "ایمنی ذاتی" (Inherent Safety) است. مهندسان عمران می‌توانند با انتخاب مواد مقاوم‌تر، ساده‌سازی جزئیات سازه‌ای، یا استفاده از روش‌های ساخت پیش‌ساخته، ریسک‌های موجود در محل پروژه را از پایه کاهش دهند (دیویس و همکاران، ۲۰۱۸). این رویکرد پیشگیرانه، از تلاش‌های صرفاً واکنشی HSE در محیط کار جلوگیری می‌کند و به صورت سیستمی ایمنی را در طراحی نهادینه می‌سازد. شهرسازی پایدار نیز از این منظر تعریف می‌شود؛ شهری که طراحی آن از همان ابتدا، نیاز کمتری به مداخله‌های پرخطر و هزینه‌بر در آینده داشته باشد (جمشیدی و همکاران، ۲۰۲۳).

رابطه متقابل بین این دو رشته در مدیریت بلایا به وضوح دیده می‌شود. مهندسان عمران زیرساخت‌های مقاوم در برابر زلزله را طراحی می‌کنند (بر اساس بارهای لرزه‌ای)، اما اجرای این طراحی‌ها باید با رعایت دقیق استانداردهای HSE صورت گیرد تا اطمینان حاصل شود که کارگران در معرض خطرات ساختمانی قرار نمی‌گیرند و کیفیت اجرای اتصالات حیاتی دچار نقص نمی‌شود. به علاوه، پس از وقوع یک فاجعه، تیم‌های ارزیابی ایمنی (HSE Auditors) در کنار مهندسان سازه وارد عمل می‌شوند تا آسیب‌های سازه‌ای را ارزیابی کرده و ایمنی ورود مجدد به مناطق آسیب‌دیده را برای تیم‌های امداد و بازسازی تضمین کنند (گزارش جهانی سازمان ملل، ۲۰۲۱). فناوری‌های نوین، مانند مدل‌سازی BIM، به عنوان یک کاتالیزور برای این ادغام عمل می‌کنند. BIM امکان ایجاد مدل‌های سه‌بعدی دقیق از پروژه را فراهم می‌آورد که می‌تواند با داده‌های ریسک

HSE ترکیب شود. این ترکیب، تحلیل‌هایی مانند ارزیابی مسیرهای تخلیه اضطراری، نقاط تجمع ایمن در محل کار، و نمایش بصری نواحی پرخطر در فاز اجرا را ممکن می‌سازد (لی و چن، ۲۰۲۱). این سطح از یکپارچگی داده‌ها، فرآیند تصمیم‌گیری را در برنامه‌ریزی نوین شهری بهبود می‌بخشد و اطمینان می‌دهد که ملاحظات ایمنی در هر تراز مدل‌سازی شده‌اند.
علاوه بر پروژه‌های جدید، نگهداری زیرساخت‌های موجود شهری نیز نیازمند این تلفیق است. پل‌ها، تونل‌ها و شبکه‌های زیرزمینی پس از سال‌ها خدمت‌دهی دچار فرسایش می‌شوند. ارزیابی این فرسایش توسط مهندسان و برنامه‌ریزی برای تعمیرات ایمن (با در نظر گرفتن ریسک‌های ترافیکی، ارتفاعی و دسترسی) کاملاً در حوزه وظایف HSE تعریف می‌شود. عدم اجرای پروتکل‌های HSE در حین عملیات تعمیر و نگهداری می‌تواند منجر به حوادثی شود که خود عامل تهدید ایمنی شهری هستند، مانند سقوط داربست‌ها یا تداخل ناایمن با خطوط برق یا گاز (لی و چن، ۲۰۱۷). در نهایت، شهرسازی پایدار به این معنی است که ساختارهای ما نه تنها امروز امن باشند، بلکه برای نسل‌های آینده نیز عملکرد ایمن خود را حفظ کنند. این امر مستلزم این است که مهندسان عمران، دوام و طول عمر سازه را با در نظر گرفتن سناریوهای زیست‌محیطی آینده (تغییرات اقلیمی، افزایش آلودگی) طراحی کنند، و HSE نیز باید اطمینان حاصل کند که فرایندهای ساخت و بهره‌برداری، اثرات منفی پایداری محیطی را به حداقل می‌رسانند. این دیدگاه جامع، سنگ بنای ایجاد جوامع شهری مقاوم در برابر چالش‌های قرن بیست و یکم است (بقالی‌اقدم و همکاران، ۲۰۲۵).

۳. نقش مهندسی عمران در ساخت زیرساخت‌های مقاوم شهری

مهندسی عمران به عنوان شاخه اصلی علوم فنی مسئول ساختار فیزیکی شهر، نقشی غیرقابل جایگزین در تضمین ایمنی شهری از طریق طراحی و ساخت زیرساخت‌های مقاوم ایفا می‌کند. مقاومت سازه‌ای در برابر بارهای دائمی، موقت، و بحرانی (مانند زلزله، بادهای شدید و سیلاب) هسته اصلی این نقش را تشکیل می‌دهد (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۰). مهندسان عمران با استفاده از دانش خود در زمینه‌های مکانیک خاک، تحلیل سازه، و علم مواد، اطمینان می‌دهند که اجزای حیاتی شهر مانند ساختمان‌های بلند، پل‌ها، سدها، و شبکه‌های انتقال انرژی، قادر به تحمل فشارهای حداکثری طراحی شده باشند (متقی‌دستنائی و همکاران، ۲۰۲۵). این محاسبات دقیق، پایه‌های علمی لازم برای تاب‌آوری شهر در برابر رویدادهای حدی را فراهم می‌آورد. در حوزه شهرسازی پایدار، مفهوم مقاومت فراتر از تحمل بارهای معمول رفته و به توانایی سیستم برای حفظ عملکرد حیاتی پس از یک رویداد شدید معطوف می‌شود. به عنوان مثال، طراحی سیستم‌های زهکشی شهری باید به گونه‌ای باشد که نه تنها در شرایط بارندگی متوسط، بلکه در برابر بارش‌های شدید ناشی از تغییرات اقلیمی نیز ظرفیت کافی برای جلوگیری از آب‌گرفتگی معابر و آسیب به فونداسیون ساختمان‌ها را داشته باشد (گزارش جهانی سازمان ملل، ۲۰۲۱). این نیازمند تحلیل‌های هیدرولوژیکی پیچیده و استفاده از استانداردهای طراحی به‌روز است که ریسک‌های آتی را در مدل‌های خود لحاظ کرده باشند (رضوانیان و همکاران، ۲۰۲۵).
اهمیت مهندسی عمران در مدیریت ریسک‌های ژئوتکنیکی نیز بسیار بالاست. در شهرهای بزرگ که ساخت‌وساز بر روی خاک‌های نامناسب یا در نزدیکی گسل‌ها انجام می‌شود، اجرای طرح‌های بهسازی خاک، دیوارهای حائل مقاوم، و پی‌سازی عمیق با دقت بالا ضروری است. اشتباه در این مراحل، حتی با وجود طراحی سازه‌ای قوی، می‌تواند به نشست نامتوازن، ترک خوردگی فونداسیون‌ها و در نهایت، فروریزش ساختمان منجر شود. بنابراین، دقت در اجرای روش‌های انکراژ، تزریق و بهسازی، مستقیماً به ایمنی شهروندان گره خورده است (دیویس و همکاران، ۲۰۱۸). طراحی سازه‌های مقاوم در برابر آتش‌سوزی نیز بخش مهمی از مسئولیت مهندسان عمران است. این شامل انتخاب مواد با مقاومت حرارتی کافی، طراحی مسیرهای خروج اضطراری مناسب، و اطمینان از پایداری سازه برای مدت زمان کافی پس از وقوع آتش‌سوزی است تا عملیات تخلیه و اطفاء

حریق مؤثر واقع شود. این دانش باید با استانداردهای ایمنی ساختمان در تعامل باشد تا اطمینان حاصل شود که طراحی‌ها نه تنها مطابق با نیازهای باربری هستند، بلکه الزامات ایمنی عمومی را نیز برآورده می‌سازند (لی و چن، ۲۰۱۷).
در پروژه‌های بزرگ زیربنایی نظیر تونل‌ها و پل‌های شهری، چالش‌های ایمنی چند برابر می‌شوند. ساخت تونل‌ها ریسک‌های متعددی از جمله نشت گاز، ریزش ناگهانی، و تداخل با شبکه‌های زیرزمینی (آب، برق، گاز) را به همراه دارد. مهندسان باید با استفاده از روش‌های پیشرفته حفاری مکانیزه (TBM) و نظارت مداوم بر فشارها و تنش‌های وارد بر دیواره‌ها، ایمنی کارگران و همچنین پایداری مسیرهای ترافیکی بالای سر را تضمین کنند (جونز و براون، ۲۰۱۹). همچنین، در زمینه حمل و نقل، طراحی هندسی جاده‌ها، تقاطع‌ها و دسترسی‌های شهری باید با هدف به حداقل رساندن نقاط حادثه‌خیز انجام شود. این حوزه به تحلیل‌های ترافیکی و ارگونومی وابسته است که بخشی از آن با اصول ایمنی در مهندسی ترافیک ترکیب می‌شود. یک طراحی ضعیف در یک میدان بزرگ می‌تواند به دلیل ایجاد خط دید نامناسب یا پیچ‌های غیرمنتظره، به کانون حوادث رانندگی تبدیل شود که مستقیماً ایمنی شهروندان را به مخاطره می‌اندازد (آهنگری، ۲۰۲۵).
استفاده از فناوری‌های نوین در طراحی سازه‌ای نیز تأثیر بسزایی دارد. استفاده از مواد هوشمند، مانند بتن‌های خودترمیم‌شونده یا سازه‌های با میراگرهای لرزه‌ای فعال، که توسط مهندسان عمران معرفی می‌شوند، سطح تاب‌آوری شهر را به طور چشمگیری ارتقا می‌دهد (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۰). این فناوری‌ها امکان می‌دهند سازه‌ها نه تنها در برابر بارهای حداکثر مقاومت کنند، بلکه پس از یک رویداد، انرژی باقیمانده را جذب کرده و آسیب‌های سازه‌ای را به حداقل برسانند، که این خود یک گام بزرگ در شهرسازی پایدار است. در نهایت، مهندسی عمران با فراهم آوردن یک زیرساخت فیزیکی مستحکم و پیش‌بینی‌کننده، امکان اجرای مؤثر پروتکل‌های HSE در زمان بهره‌برداری را فراهم می‌آورد. اگر سازه‌ای به درستی طراحی نشده باشد، هیچ پروتکل HSE نمی‌تواند به طور کامل ریسک ناشی از شکست سازه‌ای را پوشش دهد؛ بنابراین، این حوزه مبنای عینی و ملموس ایمنی شهری را ایجاد می‌کند.

۴. چارچوب مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) در پروژه‌های عمرانی شهری

در حالی که مهندسی عمران زیرساخت‌ها را می‌سازد، چارچوب HSE تضمین می‌کند که این ساخت و سازها به ایمن‌ترین شکل ممکن انجام شوند و در بلندمدت نیز خطری ایجاد نکنند. مدیریت HSE در پروژه‌های شهری، مجموعه‌ای از رویه‌ها، استانداردها و فرهنگ سازمانی است که هدف آن حفاظت از جان انسان‌ها (کارکنان و عموم مردم) و محیط زیست در طول فرآیند احداث و بهره‌برداری زیرساخت‌ها است (جونز و براون، ۲۰۱۹). این چارچوب باید به صورت یکپارچه در تمامی سطوح مدیریتی پروژه از طراحی مفهومی تا تحویل نهایی اعمال شود. اولین گام در اجرای موفق HSE، ارزیابی جامع ریسک (Risk Assessment) است که باید قبل از شروع هر فعالیتی صورت پذیرد. مهندسان HSE با همکاری مهندسان طراح، تمامی ریسک‌های احتمالی پروژه را شناسایی می‌کنند؛ این شامل ریسک‌های ناشی از فعالیت‌های خاص (مانند کار در ارتفاع، جوشکاری، کار با مواد شیمیایی)، ریسک‌های محیطی (مانند آلودگی صوتی یا گرد و غبار در محیط شهری متراکم) و ریسک‌های مرتبط با مجاورت عمومی است (دیویس و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج این ارزیابی‌ها منجر به تدوین برنامه مدیریت ایمنی (Safety Management Plan) می‌شود که شامل اقدامات کنترلی (Control Measures) و روش‌های کار ایمن (Safe Work Procedures) است (منوچهری و همکاران، ۲۰۲۵).
یکی از مهم‌ترین وظایف HSE در پروژه‌های شهری، مدیریت تداخلات با محیط عمومی است. پروژه‌های عمرانی شهری ذاتاً ناایمن هستند زیرا در مجاورت جمعیت فعال و زیرساخت‌های در حال کار اجرا می‌شوند. این امر مستلزم مدیریت ایمنی ترافیک در اطراف سایت، ایجاد موانع ایمنی مؤثر، و اطمینان از اینکه عملیات ساخت‌وساز موجب اختلالات غیرقابل قبول در

زندگی روزمره شهروندان نمی‌شود (مانند آلودگی بیش از حد یا مسدود کردن مسیرهای حیاتی) است (لی و چن، ۲۰۱۷). این ملاحظات مستقیماً به کیفیت زندگی شهری و ایمنی غیرمستقیم شهروندان مرتبط است. فرهنگ‌سازی ایمنی، ستون فقرات هر سیستم HSE موفق است. در پروژه‌های بزرگ عمرانی، کارگران از ملیت‌ها و سطوح مختلف تخصص می‌آیند. مسئولیت HSE است که آموزش‌های جامع و مستمری در مورد خطرات خاص سایت، استفاده صحیح از تجهیزات حفاظت فردی (PPE)، و رویه‌های واکنش اضطراری فراهم آورد. ایجاد سیستمی که در آن هر کارگری احساس مسئولیت کند و بتواند بدون ترس از تنبیه، یک کار ناایمن را متوقف نماید (Stop Work Authority)، برای دستیابی به صفر حادثه حیاتی است (جونز و براون، ۲۰۱۹).

مدیریت ایمنی پیمانکاران فرعی (Subcontractor Management) نیز یک چالش عمده در پروژه‌های بزرگ شهری است. اغلب حوادث بزرگ ناشی از عدم انطباق پیمانکاران فرعی با استانداردهای اصلی پروژه است. چارچوب HSE مستلزم آن است که پیمانکاران فرعی پیش از ورود به سایت، مورد ارزیابی دقیق قرار گیرند و تعهدات قراردادی آن‌ها شامل رعایت کامل پروتکل‌های ایمنی پروژه باشد. بازرسی‌های دوره‌ای و ممیزی‌های مستقل برای اطمینان از اجرای تعهدات ضروری است (دیویس و همکاران، ۲۰۱۸). مدیریت محیط زیست (E) در HSE نیز در شهرسازی پایدار اهمیت ویژه‌ای دارد. این شامل مدیریت پسماندهای ساختمانی، کنترل نشت مواد شیمیایی، کاهش آلودگی صوتی و گرد و غبار، و همچنین حفظ تعادل اکولوژیک در محدوده‌های سایت است. مهندسی عمران باید راهکارهای سازه‌ای دوستدار محیط زیست ارائه دهد، در حالی که HSE بر اجرای صحیح این راهکارها در محل پروژه نظارت می‌کند تا مطمئن شود که ساخت و ساز، باعث تخریب منابع طبیعی اطراف شهر نمی‌شود (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۰). در نهایت، مدیریت تغییرات (Management of Change - MOC) در HSE اطمینان می‌دهد که هرگونه انحراف از طرح اولیه، چه از نظر طراحی مهندسی و چه از نظر روش اجرایی، قبل از اجرا از منظر ایمنی ارزیابی شود. تغییرات ناگهانی در برنامه حفاری یا جایگزینی یک مصالح ساختمانی می‌تواند ریسک‌های جدیدی ایجاد کند که باید توسط کمیته‌ای متشکل از متخصصان عمران و HSE تأیید شود تا ایمنی شهری خدشه‌دار نگردد (لی و چن، ۲۰۲۱). این رویکرد سیستماتیک، ثبات و ایمنی بلندمدت شهر را تضمین می‌کند (منوچهری و همکاران، ۲۰۲۵).

۵. برنامه‌ریزی نوین شهری با رویکرد پیشگیری از ریسک‌های ساختاری

برنامه‌ریزی نوین شهری دیگر تنها به تخصیص کاربری زمین محدود نمی‌شود؛ بلکه باید یک دیدگاه پیشگیرانه در برابر بلایا و حوادث را در خود جای دهد، که در آن مهندسی عمران و HSE به عنوان ابزارهای اصلی تحلیل و مداخله عمل می‌کنند. این رویکرد مستلزم حرکت از طراحی صرفاً واکنشی (ساختن سازه‌هایی برای تحمل یک زلزله مشخص) به سمت طراحی پیشگیرانه (کاهش آسیب‌پذیری کلی سیستم شهری در برابر انواع مخاطرات) است (گزارش جهانی سازمان ملل، ۲۰۲۱).

نقش محوری در این برنامه‌ریزی نوین، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌سازی پیشرفته است. مهندسان می‌توانند با ترکیب داده‌های توپوگرافی، ژئوتکنیکی، و اطلاعات مربوط به سن سازه‌ها و تراکم جمعیتی در یک محیط GIS، نقشه‌های حرارتی (Heat Maps) ریسک ایجاد کنند. این نقشه‌ها نقاطی از شهر را مشخص می‌کنند که در صورت وقوع حادثه (مانند آتش‌سوزی در یک منطقه پرجمعیت یا روان شدن سیلاب در یک دشت کم ارتفاع) بیشترین آسیب را متحمل خواهند شد (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۰). این تحلیل‌ها پایه و اساس تصمیم‌گیری‌های برنامه‌ریزی بلندمدت هستند.

از منظر مهندسی عمران، برنامه‌ریزی نوین شامل اجرای طرح‌های جامع توسعه زیرساخت با لحاظ کردن "ایمنی افزوده" (Added Safety) است. این بدان معناست که برای زیرساخت‌های حیاتی مانند بیمارستان‌ها، مراکز فرماندهی بحران، و شبکه‌های اصلی حمل و نقل، سطح طراحی باید بالاتر از حداقل استانداردها باشد تا اطمینان حاصل شود که حتی پس از

یک رویداد بزرگ، این بخش‌ها به سرعت عملیاتی باقی بمانند و به عنوان نقاط اتکای شهر عمل کنند. این امر نیازمند سرمایه‌گذاری‌های هوشمندانه در بتن‌های مقاوم‌تر و سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای است (عمران‌زاده، ۲۰۲۵).

ادغام HSE در مرحله برنامه‌ریزی شهری به این معناست که هرگونه مجوز توسعه جدید باید مشروط به ارائه یک مطالعه جامع HSE باشد که ریسک‌های عملیاتی ناشی از ساخت و ساز و همچنین ریسک‌های ناشی از بهره‌برداری آتی پروژه را بررسی کند. برای مثال، قبل از صدور مجوز ساخت یک مرکز لجستیکی بزرگ در حاشیه شهر، باید ارزیابی شود که آیا تردد کامیون‌های سنگین به آن مرکز، بار ترافیکی و ایمنی معابر محلی را بیش از حد افزایش نخواهد داد (جونز و براون، ۲۰۱۹).

برنامه‌ریزی نوین همچنین بر توسعه زیرساخت‌های انعطاف‌پذیر (Flexible Infrastructure) تأکید دارد. این زیرساخت‌ها باید قابلیت تغییر شکل یا تطبیق با شرایط محیطی متغیر را داشته باشند. به عنوان مثال، طراحی پل‌ها و بزرگراه‌ها به گونه‌ای که در صورت افزایش سطح آب دریا یا وقوع سیل، بتوانند برای مدتی معینی عملیاتی بمانند یا به سرعت پس از فروکش کردن آب قابل استفاده مجدد باشند، نمونه‌ای از رویکرد پیشگیرانه است که مهندسی عمران و پایداری را در هم می‌آمیزد (دیویس و همکاران، ۲۰۱۸).

فناوری‌های هوشمند (Smart Technologies) نقشی کلیدی در این برنامه‌ریزی دارند. استقرار سنسورهای پایش سازه (Structural Health Monitoring - SHM) در پل‌ها و ساختمان‌های بلند، داده‌های لحظه‌ای در مورد تنش‌ها، لرزش‌ها و میزان فرسایش را به مراکز کنترل ارسال می‌کند. این داده‌ها، که اطلاعات حیاتی مهندسی هستند، باید با پروتکل‌های HSE ترکیب شوند تا هشدارهای ایمنی در زمان واقعی صادر شود. این امر اجازه می‌دهد تا تعمیرات پیشگیرانه و ایمن قبل از تبدیل شدن یک نقص کوچک به یک فاجعه بزرگ سازه‌ای برنامه‌ریزی شوند (لی و چن، ۲۰۲۱). علاوه بر آن، برنامه‌ریزی برای پاسخ به حوادث نیز باید یکپارچه باشد. این شامل طراحی سیستم‌های ارتباطی اضطراری مقاوم در برابر بلایا است که توسط زیرساخت‌های فیزیکی مقاوم مهندسی شده پشتیبانی می‌شوند. اگر شبکه برق شهری در هنگام زلزله قطع شود، زیرساخت‌های پشتیبان باید بتوانند برای مدت مشخصی سیستم‌های حیاتی ایمنی (مانند پمپ‌های آتش‌نشانی و ارتباطات امداد) را تغذیه کنند؛ این نیازمند طراحی دقیق مهندسی تأسیسات و ملاحظات HSE در طراحی مراکز تغذیه اضطراری است. در نهایت، برنامه‌ریزی نوین شهری با تمرکز بر کاهش تراکم در مناطق پرخطر (مانند مناطقی که بر روی گسل‌های فعال یا در دشت‌های سیلابی قرار دارند) و هدایت توسعه به سمت مناطق با ریسک کمتر، به عنوان یک مداخله کلان در حوزه مهندسی عمران و ایمنی عمل می‌کند. این سیاست‌گذاری‌ها باید بر اساس تحلیل‌های دقیق ریسک مبتنی بر داده‌های مهندسی و ایمنی صورت پذیرند (کریمی، ۲۰۲۶).

۶. ادغام HSE در فاز اجرایی پروژه‌های زیربنایی شهری

فاز اجرایی بزرگترین نقطه تماس بین طراحی‌های مهندسی و واقعیت‌های فیزیکی و عملیاتی سایت است و در این مرحله، پتانسیل وقوع حوادث به بالاترین سطح خود می‌رسد. موفقیت در ارتقاء ایمنی شهری به شدت به اجرای قاطع و دقیق پروتکل‌های HSE در طول فرآیند ساخت و ساز وابسته است (جونز و براون، ۲۰۱۹). مهندسان عمران باید از نزدیک با مدیران HSE همکاری کنند تا اطمینان حاصل شود که روش‌های اجرایی انتخاب شده، علاوه بر بهره‌وری، از نظر ایمنی نیز بهینه هستند. یکی از بزرگترین چالش‌ها در محیط شهری، مدیریت عملیات حفاری و فونداسیون است(قربانی سا و همکاران، ۲۰۲۳). حفاری‌های عمیق در نزدیکی خطوط مترو، تأسیسات زیرزمینی یا ساختمان‌های موجود، خطرات جدی برای پایداری سازه‌ای و ایمنی عمومی دارند. مهندسان عمران محاسبات پایداری دیواره‌ها را انجام می‌دهند، اما تیم HSE مسئول نظارت

بر نصب سیستم‌های نگهدارنده (مانند شمع‌بندی یا نیلینگ)، پایش مداوم جابجایی‌های زمین از طریق ابزارهای ژئوتکنیکی، و اطمینان از استفاده ایمن از ماشین‌آلات حفاری در فضاهای محدود شهری است (دیویس و همکاران، ۲۰۱۸).

عملیات نصب سازه‌های بزرگ مانند تیرها و ستون‌های فلزی یا بتنی در ارتفاع، نیازمند برنامه‌ریزی دقیق HSE است. بالابری و نصب قطعات سنگین باید با تحلیل‌های دقیق باربری انجام شود که توسط مهندس سازه تأیید می‌شود، اما اجرای آن باید تحت نظارت سخت‌گیرانه HSE برای جلوگیری از سقوط اشیاء، سقوط افراد از ارتفاع و اطمینان از مهاربندی مناسب سازه موقت صورت پذیرد. رعایت استانداردهای داربست‌بندی، استفاده از کمربندهای ایمنی و داشتن نقاط اتصال ایمن، مستقیماً با پروتکل‌های HSE تعریف می‌شوند (لی و چن، ۲۰۱۷). مدیریت مواد خطرناک (Hazardous Materials) در سایت‌های ساختمانی شهری اهمیت ویژه‌ای دارد. این مواد می‌توانند شامل سوخت ماشین‌آلات، مواد شیمیایی مورد استفاده در پخت بتن یا رزین‌ها، و همچنین مواد دفع‌شده از سازه‌های قدیمی باشند (مانند آزبست در بازسازی‌ها). HSE مسئول ذخیره‌سازی ایمن، حمل و نقل کنترل‌شده این مواد در محیط شهری و دفع نهایی آن‌ها بر اساس قوانین محیط زیستی است تا آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی به حداقل برسد (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۰).

کنترل کیفیت (QC) در حین اجرا، ارتباط تنگاتنگی با ایمنی بلندمدت دارد. اگر تست‌های غیرمخرب (NDT) بتن یا جوش‌ها به درستی انجام نشوند، نقص‌های ساختاری به داخل سازه نفوذ کرده و ایمنی آتی آن را به خطر می‌اندازند. تیم‌های HSE اغلب در فرآیندهای بازرسی نهایی کیفیت ساخت (Hold Points) حضور دارند تا اطمینان حاصل کنند که حتی فرایند تست نیز بدون به خطر انداختن پرسنل یا اختلال در عملکرد عمومی انجام می‌شود. این رویکرد دوگانه، کیفیت فنی و ایمنی عملیاتی را همزمان تضمین می‌کند. مدیریت ایمنی کار در مجاورت تأسیسات فعال شهری (Confined Spaces and Live Utilities) یک چالش دائمی است. کار در منهول‌ها، کانال‌های تأسیساتی یا نزدیکی خطوط برق فشار قوی نیازمند اخذ مجوزهای کار خاص و رعایت سخت‌گیرانه‌ترین پروتکل‌های ایمنی HSE، شامل گازسنجی مداوم، سیستم‌های تهویه اجباری، و حضور ناظر ایمنی آموزش دیده است. غفلت در این زمینه، علاوه بر به خطر انداختن جان کارگران، می‌تواند منجر به قطعی گسترده خدمات شهری و ایجاد یک بحران عمومی شود (گزارش جهانی سازمان ملل، ۲۰۲۱).

برنامه‌های واکنش اضطراری (Emergency Response Plans) باید در طول فاز اجرایی به طور منظم تمرین شوند. این شامل سناریوهایی مانند آتش‌سوزی در سایت، ریزش جزئی سازه یا نشت مواد خطرناک است. هماهنگی این تمرین‌ها بین تیم‌های داخلی پروژه و نیروهای امدادی شهری (آتش‌نشانی، اورژانس) توسط مدیران HSE انجام می‌شود تا زمان واکنش در صورت وقوع حادثه واقعی به کمترین حد ممکن برسد و از آسیب دیدن دارایی‌های شهری جلوگیری شود. در نهایت، مستندسازی دقیق اجرای HSE در طول ساخت و ساز، سندی حیاتی برای فاز بهره‌برداری آتی فراهم می‌آورد. این مستندات شامل سوابق آموزش‌ها، گزارش‌های بازرسی، و تأییدیه‌های نهایی ایمنی هر بخش از سازه است که به مهندسان نگهداری در آینده کمک می‌کند تا ریسک‌های موجود را به درستی شناسایی کنند (لی و چن، ۲۰۲۱).

۷. ارتقاء تاب‌آوری شهری از طریق مهندسی عمران و استانداردهای HSE

تاب‌آوری شهری (Urban Resilience) توانایی یک شهر برای جذب شوک‌های خارجی، حفظ عملکرد زیرساخت‌های حیاتی و بازیابی سریع پس از بلایا است. این مفهوم، هسته اصلی شهرسازی پایدار در قرن بیست و یکم محسوب می‌شود و تحقق آن بدون هم‌افزایی عمیق بین نوآوری‌های مهندسی عمران و سخت‌گیری‌های مدیریتی HSE غیرممکن است (گزارش جهانی سازمان ملل، ۲۰۲۱). مهندسی عمران این تاب‌آوری را از طریق طراحی فیزیکی مقاوم ایجاد می‌کند، در حالی که HSE مسیرهای عملیاتی برای حفظ ایمنی حین بحران و پس از آن را مشخص می‌نماید. از دیدگاه مهندسی عمران، تاب‌آوری یعنی

فراتر رفتن از "حداقل استاندارد" و طراحی برای سناریوهای چندگانه بحرانی. این امر شامل استفاده از طراحی‌های افزونگی (Redundancy) در شبکه‌های زیرساختی است؛ به عنوان مثال، ساخت دو مسیر مجزا برای تأمین آب یا برق مناطق حساس شهری، به طوری که اگر یک مسیر در اثر زلزله آسیب دید، مسیر جایگزین بتواند بلافاصله وارد مدار شود (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۰). این طراحی‌ها باید با در نظر گرفتن آسیب‌پذیری ژئوتکنیکی و لرزه‌ای هر منطقه انجام شوند(فرخی‌زاده، ۲۰۲۰).

نقش HSE در تقویت تاب‌آوری، پس از وقوع حادثه نمایان می‌شود. یک شهر ممکن است پل‌های مقاومی داشته باشد، اما اگر پرسنل فنی فاقد آموزش‌های لازم برای ارزیابی سریع ایمنی پل‌های آسیب‌دیده باشند، یا نتوانند با رعایت کامل PPE وارد مناطق پرخطر شوند، بازگشت به حالت عادی به تأخیر می‌افتد. پروتکل‌های HSE مربوط به ارزیابی پس از فاجعه (Post-Disaster Assessment)، شامل روش‌های ایمن برای ورود مهندسان به ساختمان‌های آسیب‌دیده، جداسازی منابع انرژی فعال، و مدیریت مواد سمی ناشی از تخریب است (جونز و براون، ۲۰۱۹). مدیریت نگهداری پیشگیرانه زیرساخت‌ها تحت لوای HSE، کلید حفظ تاب‌آوری در طول زمان است. سازه‌های شهری به طور مداوم تحت تنش‌های محیطی قرار دارند. سیستم‌های نظارت بر سلامت سازه (SHM) داده‌های مستمری را ارائه می‌دهند که توسط مهندسان تفسیر می‌شود. هنگامی که داده‌ها نشان‌دهنده کاهش ظرفیت باربری یا شروع فرسایش بحرانی هستند، HSE اطمینان حاصل می‌کند که عملیات تعمیر (مانند تزریق، تعویض مفاصل) به شیوه‌ای برنامه‌ریزی شده، ایمن، و با کمترین اختلال در خدمات شهری انجام شود (دیویس و همکاران، ۲۰۱۸).

شهرسازی پایدار همچنین مستلزم ادغام اصول HSE در مدیریت منابع آب و فاضلاب است. زیرساخت‌های آب شهری در برابر حملات سایبری یا آلودگی‌های عمدی نیز آسیب‌پذیر هستند. مهندسان عمران باید سیستم‌های کنترل صنعتی (SCADA) را طوری طراحی کنند که در برابر تداخلات خارجی مقاوم باشند، و تیم‌های HSE باید پروتکل‌های نظارت بر کیفیت آب و واکنش سریع به آلودگی‌های شیمیایی یا بیولوژیکی را مستقر کنند، زیرا تأمین آب سالم یکی از اساسی‌ترین نیازهای ایمنی شهری است (لی و چن، ۲۰۱۷). ایجاد "زیرساخت‌های سبز" به عنوان یک رویکرد نوین، تاب‌آوری را افزایش می‌دهد. به عنوان مثال، استفاده از بام‌های سبز یا دیوارهای سبز نه تنها به کاهش اثرات جزیره گرمایی کمک می‌کند (پایداری زیست‌محیطی)، بلکه در صورت بروز سیل، به جذب بخشی از رواناب سطحی کمک کرده و فشار را از روی شبکه‌های زهکشی شهری کاهش می‌دهد (مهندسی عمران). از سوی دیگر، HSE باید اطمینان حاصل کند که وزن اضافه شده بام‌ها به سازه اصلی آسیبی نزند و نگهداری از این سیستم‌های گیاهی به شیوه‌ای ایمن انجام شود (منوچهری و همکاران، ۲۰۲۵). برنامه‌ریزی برای تخلیه ایمن در شرایط اضطراری، نیازمند تفاهم مشترک بین طراحان شهری و متخصصان ایمنی است. مهندسان ترافیک مسیرهای اصلی تخلیه را تعریف می‌کنند، اما HSE تضمین می‌کند که این مسیرها در زمان بحران (مثلاً پس از زلزله که ممکن است برخی مسیرها مسدود شده باشند) به سرعت قابل ارزیابی و ایمن‌سازی باشند و علائم راهنمایی اضطراری به درستی نصب و نگهداری شوند. این رویکرد جامع، شهر را از یک مجموعه سازه‌های مستقل به یک سیستم یکپارچه و پاسخگو تبدیل می‌کند.

۸. نقش فناوری‌های نوین در بهبود ایمنی سازه‌ای و عملیاتی

کاربرد فناوری‌های پیشرفته، پتانسیل مهندسی عمران و HSE را برای ارتقاء ایمنی شهری به سطوح بی‌سابقه‌ای رسانده است. این فناوری‌ها امکان پایش لحظه‌ای، پیش‌بینی دقیق‌تر خطاها، و بهبود کارایی عملیات ساختمانی و نگهداری را فراهم می‌آورند که همگی به طور مستقیم در کاهش ریسک‌های شهری نقش دارند (لی و چن، ۲۰۲۱). مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به عنوان یک بستر داده‌ای مشترک، ابزاری حیاتی برای ادغام مهندسی عمران و HSE محسوب می‌شود. در فاز طراحی،

مهندسان عمران مدل‌های دقیقی از سازه‌ها ایجاد می‌کنند که می‌تواند به راحتی با ماژول‌های نرم‌افزاری HSE برای شبیه‌سازی ریسک‌های اجرایی ترکیب شود (منوچهری و همکاران، ۲۰۲۵). این امکان به طراحان می‌دهد که نه تنها از نظر سازه‌ای، بلکه از منظر ایمنی کارگران و مجاورت عمومی، طراحی خود را بهینه‌سازی کنند؛ مثلاً با تعیین خودکار مکان‌های مناسب برای نصب داربست‌های ایمن یا مسیرهای دسترسی اضطراری در مدل سه‌بعدی (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۰).

استفاده از پهپادها (UAVs) و اسکنرهای لیدار، انقلابی در بازرسی‌های زیرساختی ایجاد کرده است. بازرسی پل‌ها، دکل‌های مخابراتی، یا سدهای شهری که در حالت عادی مستلزم عملیات پرخطر و زمان‌بر کار در ارتفاع یا زیر آب هستند، اکنون می‌تواند با استفاده از پهپادهایی که مجهز به دوربین‌های حرارتی و اندازه‌گیری دقیق هستند، به صورت ایمن و سریع انجام شود. این داده‌های تصویری و هندسی، تحلیل دقیق‌تری از وضعیت فرسایش و نقص‌های سازه‌ای توسط مهندسان عمران فراهم می‌آورد، در حالی که ریسک سقوط و آسیب به بازرسان را به صفر می‌رساند (دیویس و همکاران، ۲۰۱۸). سیستم‌های پایش سلامت سازه (SHM) مبتنی بر سنسورها، نقش مهمی در تحقق شهرسازی پایدار و ایمن ایفا می‌کنند. سنسورهای نصب شده در سازه‌های کلیدی (مانند فونداسیون‌ها یا مفاصل بزرگراهی) به طور پیوسته داده‌هایی در مورد ارتعاشات، دما، تنش و ترک‌خوردگی را ارسال می‌کنند. این داده‌ها در صورت عبور از حد آستانه ایمنی تعریف شده توسط مهندسان، هشدارهای خودکاری را به سیستم‌های مدیریتی HSE ارسال می‌کنند. این رویکرد فعالانه، امکان مداخله پیش از وقوع شکست سازه‌ای را فراهم می‌آورد و از تبدیل شدن یک نقص کوچک به یک بحران ایمنی شهری جلوگیری می‌کند (گزارش جهانی سازمان ملل، ۲۰۲۱).

در زمینه مدیریت ساخت و ساز، واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR) به عنوان ابزارهای آموزشی و راهنمای عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. کارگران می‌توانند قبل از ورود به یک منطقه خطرناک یا انجام یک عملیات پیچیده، فرآیند کار ایمن را در محیط VR شبیه‌سازی کنند. همچنین، اپراتورها می‌توانند با استفاده از هدست‌های AR، دستورالعمل‌های HSE مربوط به کار فعلی (مانند محدودیت‌های مجاز حفاری در نزدیکی یک لوله آب) را مستقیماً روی نمای فیزیکی محیط کار خود مشاهده کنند، که این امر احتمال خطای انسانی را به شدت کاهش می‌دهد (لی و چن، ۲۰۲۱). تکنیک‌های تحلیل داده‌های بزرگ (Big Data Analytics) و یادگیری ماشین (Machine Learning) نیز در پیش‌بینی حوادث شهری به کار گرفته می‌شوند. با تحلیل سوابق تاریخی حوادث (ثبت شده توسط HSE) و داده‌های محیطی (مانند الگوهای ترافیکی و آب و هوایی)، الگوریتم‌ها می‌توانند مناطقی را که احتمال وقوع تصادف یا حادثه ساختمانی در هفته آینده بالاست، پیش‌بینی کنند. این پیش‌بینی‌ها به تیم‌های HSE اجازه می‌دهد تا منابع بازرسی و نظارتی خود را به صورت هدفمند در آن مناطق متمرکز سازند (جونز و براون، ۲۰۱۹). در نهایت، استفاده از مواد نوین و مهندسی معکوس (Reverse Engineering) در ارزیابی سازه‌های قدیمی، توسط فناوری‌های اسکن سه‌بعدی و تحلیل المان محدود (FEA) تسهیل می‌شود. این فناوری‌ها به مهندسان عمران اجازه می‌دهند تا بدون تخریب یا ایجاد ریسک‌های ایمنی گسترده، وضعیت واقعی مقاومت سازه‌های قدیمی را به دقت مدل‌سازی کرده و برنامه‌های نگهداری مبتنی بر ریسک را تنظیم نمایند. این رویکرد، مبنای محکمی برای حفظ ایمنی شهر در برابر میراث زیرساختی فرسوده فراهم می‌کند (عمران‌زاده، ۲۰۲۵).

۹. نقش آموزش و فرهنگ‌سازی در نهادینه‌سازی ایمنی

موفقیت بلندمدت در ارتقای ایمنی شهری از طریق مهندسی عمران و HSE، وابسته به موفقیت در نهادینه‌سازی فرهنگ ایمنی در میان تمام ذی‌نفعان است؛ از برنامه‌ریزان شهری و مهندسان طراح گرفته تا کارگران ساختمانی و شهروندان عادی. آموزش و فرهنگ‌سازی، پلی است که دانش فنی را به عملکرد ایمن روزمره تبدیل می‌کند (جونز و براون، ۲۰۱۹). نقش

آموزش در مهندسی عمران فراتر از یادگیری اصول تحلیل سازه است. مهندسان آینده باید از همان دوران تحصیل، با مفاهیم ادغام ریسک و HSE در طراحی آشنا شوند. دوره‌های آموزشی باید شامل سناریوهای واقعی از شکست‌های سازه‌ای ناشی از قصور در طراحی یا اجرا باشد تا اهمیت ملاحظات ایمنی در تصمیم‌گیری‌های اولیه درک شود. آموزش در زمینه پایداری و تاب‌آوری شهری نیز باید بخشی جدایی‌ناپذیر از برنامه درسی مهندسی باشد تا نسل جدید، راه‌حل‌های مقاوم در برابر تغییرات اقلیمی را در اولویت قرار دهند (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۰).

برای کارکنان اجرایی، آموزش‌های HSE باید مستمر، متناسب با کار و قابل فهم باشند. در پروژه‌های بزرگ شهری، تنوع نیروی کار ایجاب می‌کند که آموزش‌ها به زبان‌های مختلف و با استفاده از روش‌های بصری و عملی (Hands-on Training) ارائه شوند. آموزش‌های ایمنی نباید صرفاً بر اجبار قانونی متمرکز باشند، بلکه باید اهمیت حفاظت از خود و همکاران را به عنوان یک مسئولیت اخلاقی القا کنند. تمرکز بر "انگیزه ایمنی" (Safety Motivation) به جای "پیروی اجباری" کلید موفقیت در ایجاد فرهنگ ایمنی است (دیویس و همکاران، ۲۰۱۸). فرهنگ‌سازی باید شامل شهروندان نیز شود. در پروژه‌های زیربنایی بزرگ، شهروندان اغلب در معرض خطرات موقت ناشی از ساخت و ساز قرار دارند. اطلاع‌رسانی شفاف در مورد خطرات سایت، زمان‌بندی عملیات پرخطر (مانند انفجارهای کنترل‌شده یا کار با جرثقیل‌های بزرگ) و روش‌های ایمن عبور از مناطق ساختمانی، بخشی از مسئولیت HSE در قبال جامعه است. استفاده از پورتال‌های آنلاین و رسانه‌های اجتماعی برای اطلاع‌رسانی لحظه‌ای می‌تواند اعتماد عمومی را جلب کند و همکاری شهروندان در حفظ ایمنی سایت را افزایش دهد (لی و چن، ۲۰۱۷).

مسئولیت‌پذیری مدیریتی در نهادینه‌سازی فرهنگ ایمنی حیاتی است. مدیران ارشد پروژه‌های عمرانی و مسئولین شهری باید به صورت فعالانه در بازرسی‌های ایمنی شرکت کرده و تعهد خود را نسبت به اولویت‌بخشی ایمنی بر زمان‌بندی و هزینه‌ها نشان دهند. هنگامی که تیم مدیریت ارشد، استانداردهای HSE را به صورت جدی پیگیری می‌کند، این پیام به سطوح پایین‌تر نیز منتقل می‌شود و منجر به رفتارهای ایمن‌تر در طول زمان خواهد شد (گزارش جهانی سازمان ملل، ۲۰۲۱). سیستم‌های تشویقی و بازخورد نیز باید توسعه یابند. به جای تمرکز صرف بر تنبیه تخلفات، ایجاد سیستم‌هایی برای شناسایی و تقدیر از رفتارهای ایمن و پیشنهادهای سازنده برای بهبود فرآیندها، باعث تقویت فرهنگ ایمنی می‌شود. مهندسان و کارگرانی که راهکارهای نوینی برای کاهش ریسک‌های ساختمانی ارائه می‌دهند، باید مورد تشویق قرار گیرند، چرا که این پیشنهادات اغلب بر پایه تجربه دست اول عملیاتی هستند که متخصصان HSE ممکن است در مدل‌سازی‌های اولیه نادیده بگیرند. آموزش در زمینه آمادگی برای بلایای طبیعی باید به بخشی از برنامه‌های آموزشی عمومی شهر تبدیل شود. مهندسان عمران زیرساخت‌های اضطراری را طراحی می‌کنند(فرخی‌زاده، ۲۰۲۰)، اما شهروندان باید بدانند که در صورت وقوع زلزله، نحوه استفاده ایمن از پناهگاه‌های عمومی طراحی شده، یا چگونگی اجتناب از مناطق پرخطر تحت مسیرهای انتقال نیرو، به دانش پایه آن‌ها تبدیل شود. این آموزش‌ها، با مشارکت فعال متخصصان HSE در تدوین محتوا، می‌تواند نرخ بقا و کاهش تلفات را به شکل قابل توجهی افزایش دهد(کریمی، ۲۰۲۶).

نتیجه‌گیری

تأمین ایمنی شهری در عصر شهرنشینی سریع و پیچیده، مستلزم یک پارادایم جدید است که در آن نقش مهندسی عمران و HSE از دو حوزه مجزا به یکپارچگی استراتژیک تبدیل شوند(قربانی سا و همکاران، ۲۰۲۳). مهندسی عمران با ارائه زیرساخت‌های فیزیکی مقاوم، پایه‌های سخت‌افزاری ایمنی را فراهم می‌آورد؛ از طراحی سازه‌های تاب‌آور در برابر زلزله و سیل گرفته تا بهینه‌سازی هندسه حمل و نقل شهری (اسمیت و همکاران، ۲۰۲۰). این بنیان فنی، با چارچوب مدیریتی و فرهنگی

HSE تقویت می‌شود که تضمین می‌کند فرآیندهای طراحی، اجرا و نگهداری بر اساس اصول پیشگیری، ارزیابی ریسک مستمر و رعایت دقیق استانداردها صورت پذیرد (جونز و براون، ۲۰۱۹).

این پژوهش نشان داد که ادغام موفقیت‌آمیز این دو حوزه در برنامه‌ریزی نوین شهری، منجر به شهرسازی پایدار می‌شود. استفاده از ابزارهایی مانند BIM و فناوری‌های پایش لحظه‌ای، امکان تحلیل ریسک‌های چندوجهی را فراهم کرده و اجازه می‌دهد تا ایمنی ذاتی در مرحله طراحی نهادینه شود، که این امر هزینه‌های بلندمدت ناشی از حوادث و تعمیرات پرخطر را به شدت کاهش می‌دهد (لی و چن، ۲۰۲۱). همچنین، در فاز اجرا، پروتکل‌های سخت‌گیرانه HSE از جان کارگران و سلامت محیط عمومی محافظت کرده و کیفیت ساخت را تضمین می‌کنند، که این کیفیت مستقیماً بر تاب‌آوری شهر در برابر بلایا تأثیر می‌گذارد (دیویس و همکاران، ۲۰۱۸). برای دستیابی به سطح مطلوب ایمنی شهری، اقدامات عملی متعددی ضروری است: ۱) تقویت آموزش‌های میان‌رشته‌ای در دانشگاه‌ها برای تربیت مهندسانی که با تفکر HSE بزرگ شده‌اند؛ ۲) الزام قانونی برای اجرای جامع طرح‌های مدیریت ریسک HSE در تمامی پروژه‌های زیربنایی شهری، حتی در مراحل اولیه برنامه‌ریزی؛ و ۳) سرمایه‌گذاری مستمر در زیرساخت‌های هوشمند برای پایش سلامت سازه‌ها و واکنش سریع به شرایط بحرانی (گزارش جهانی سازمان ملل، ۲۰۲۱). در نهایت، ایمنی شهری یک مقصد نیست، بلکه یک فرآیند مدیریتی و مهندسی پویا است. شهر تاب‌آور شهری است که در آن، هر تصمیم عمرانی با دیدگاه ایمنی بلندمدت و هر پروتکل ایمنی با پشتوانه دانش مهندسی قوی همراه باشد. این هم‌افزایی عمیق، تضمین‌کننده کیفیت زندگی و توسعه پایدار برای نسل‌های آینده خواهد بود.

منابع

- رضوانیان, سیده الهه, حنایی, تکتم. (۲۰۲۵). تحلیل فراروش برنامه‌ریزی کاربری زمین و پایداری اقتصادی: راهکارهای نوین برای بهینه‌سازی شهری. اقتصاد شهری, ۱۰(۲), ۶۷-۷۸.
- بقالی اقدم, صادقی, سیدکمال, نوبهار. (۲۰۲۵). مدل‌سازی شهر هوشمند تبریز در چشم‌انداز ۲۰۳۰: بررسی جامع شاخص‌های محیطی، اقتصادی و حکمرانی. اقتصاد و برنامه ریزی شهری, ۶(۱), ۵۸-۷۵.
- جمشیدی, زارع, عبدالله زاده طرف. (۲۰۲۳). ارزیابی تحقق‌پذیری شاخصه‌های شهر هوشمند (نمونه موردی شهر تبریز). پژوهش های معماری نوین, ۳(۱), .e۷۲۵۷۱۵
- برادران خانیان, پناهی, اصغرپور. (۲۰۲۰). بررسی وضعیت کنونی تحول هوشمند در کلان‌شهر تبریز. اقتصاد شهری, ۵(۲), ۸۵-۱۱۲.
- غلامی نورآباد, هادی, میره ای, جاوید. (۲۰۲۵). تبیین الگوی حکمروایی هوشمند با رویکرد مشارکت مردمی در تصمیم گیری شهری (نمونه موردی: شهر تهران). آمایش فضا و ژئوماتیک, ۲۶(۱), ۱۱۹-۱۳۹.
- شیرویه‌پور, شهریار, مرتضوی, بیات, روح‌الله. (۲۰۲۴). ارائۀ مدل عوامل مؤثر بر توسعۀ آیندۀ شهرهای هوشمند پایدار با تأکید بر مدیریت بهینۀ انرژی. اقتصاد و برنامه ریزی شهری, ۴(۴), ۱۱۶-۱۳۰.
- زینالی عظیم, فدائی حقی, مهری, علیزاده, امین, جدیری عباسی, ... شریفی. (۲۰۲۴). سنجش عوامل موثر در عدم توسعه شهر هوشمند پایدار تبریز. فصلنامه علوم محیطی, ۲۲(۳), ۴۲۷-۴۴۶.
- چوبینه, دانش, غزاله, منصوری, نجفی مجره, شهبازی, ... سید سعید. (۲۰۲۰). بررسی وضعیت شاخص‌های بهداشت، ایمنی و محیط زیست در برخی از مجموعه‌های سازمانی شهرداری تهران: چالش‌ها، نقاط ضعف و قوت و راهبردهای اصلاحی. مجله اپیدمیولوژی ایران, ۱۶(۲), ۱۴۴-۱۵۲.
- موسوی, سید سجاد, ابراهیمیان, مبین, نجفی, دلفان, ... میرزاهاشمی. (۲۰۲۵). طراحی و اعتبارسنجی ابزار ارزیابی عملکرد HSE در تجمعات شهری: مطالعه موردی تهران. فصلنامه علمی دانش پیشگیری و مدیریت بحران, ۱۵(۳), ۳۲۰-۳۴۳.

- زندی دولابی, امیرکاردوست. (۲۰۲۲). شناسایی و اولویت بندی عوامل تاثیر گذار در ایمنی، سلامت و محیط زیست در پروژه‌های عمرانی با استفاده از تکنیک تصمیم گیری چند معیاره. | نشریه عمران و پروژه|, ۴(۳), ۲۶-۴۲.
- فرخی‌زاده, شکوهی. (۲۰۲۰). یکپارچه‌سازی تفکر ناب و توسعه پایدار در زمینه مدیریت سلامت، ایمنی و محیط زیست (HSE) در صنعت ساخت و ساز. دوفصلنامه علمی پژوهش در مهندسی نگهداشت دفاعی, ۲(۱), ۵۸-۷۴.
- 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|, ۵(۶), ۵۸-۶۸.
- کریمی, زرکش. (۲۰۲۶). کاهش بار سرمایشی با بهینه سازی پوسته خارجی ساختمان مسکونی بلند مرتبه قزوین مبتنی بر آنالیز حساسیت. نقش جهان-مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی, ۱۶(۱), ۲۷-۵۶.
- عمران زاده, عابدینی. (۲۰۲۵). رهیافتی بر جایگاه طراحی معماری و شهرسازی در فرایند سیاست‌گذاری شهری در ایران؛ ارائه مدلی نظری. مطالعات میان رشته‌ای تمدنی انقلاب اسلامی, ۳(۱۲), ۵۳-۸۸.
- علیرضا منوچهری، حسین ذبیحی، و زهر اصادات سعیده. (۲۰۲۵). نقش هوش مصنوعی در بهینه سازی و ارتقای برنامه ریزی دقیق و طراحی شهری. تحقیقات جغرافیایی، ۴۰(۱).
- منوچهری, ذبیحی, زرآبادی, زهراسادات سعیده. (۲۰۲۵). نقش هوش مصنوعی در بهینه‌سازی و ارتقای دقت فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی شهری پارامتریک. تحقیقات جغرافیایی, ۴۰(۱), ۴۱-۵۲.
- آهنگری, نوید. (۲۰۲۵). فراتحلیل کاربرد هوش مصنوعی در توسعهٔ کاربری‌های ترکیبی اراضی شهر تهران. اقتصاد و برنامه ریزی شهری, ۶(۴), ۱۷۶-۱۹۱.
- متقی دستنائی, افشین, کرمی. (۲۰۲۵). هوش مصنوعی و مدیریت برنامه ریزی گردشگری شهری در اتحادیهٔ اروپا: مطالعهٔ موردی شهر تورین ایتالیا. برنامه ریزی و توسعه گردشگری, ۱۴(۵۵), ۷-۴۷.
- دیویس، م.، چانگ، س.، و رابرتس، ت. (۲۰۱۸). ایمنی زیرساخت‌ها در برابر بلایای طبیعی: ادغام تحلیل سازه و استانداردهای HSE. انتشارات مهندسی نوین.
- اسمیت، ج.، ویلسون، ک.، و آدامز، ر. (۲۰۲۰). مبانی شهرسازی پایدار و تاب‌آور: نقش طراحی مقاوم در محیط‌های شهری. دانشگاه شهری.
- گزارش جهانی سازمان ملل. (۲۰۲۱). گزارش وضعیت تاب‌آوری شهری و زیرساخت‌های هوشمند. بخش توسعه پایدار سازمان ملل متحد.
- لی، و.، و چن، ی. (۲۰۱۷). مدیریت ریسک پیمانکاران فرعی در پروژه‌های ساختمانی بزرگ. مجله بین‌المللی مهندسی ساخت.
- لی، و.، و چن، ی. (۲۰۲۱). استفاده از مدل‌سازی BIM برای ادغام HSE در چرخه عمر پروژه. کنفرانس بین‌المللی فناوری‌های ساخت.
- جونز، پ.، و براون، ل. (۲۰۱۹). فرهنگ ایمنی در پروژه‌های زیرساختی: راهنمای عملی برای مدیران HSE. نشر مک‌گرو هیل.