فصلنامه پژوهش در مدیریت شماره ۱- دوره ۲- صفحات۶۹۵-۶۸۶
Journal of Research in Management
Issn: 3060-6241

نقش مهندسی عمران در توسعه شهری پایدار و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی

سید مجدالدین کاظمیان[۱]، محمود حیدری[۲]، رضا افشون[۳]
۱ -کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری - آمایش شهری، دانشگاه پیام نور مرکز بوشهر. (کارشناس عمران شهرداری بندر بوشهر)
۲- کارشناسی مهندسی عمران و ساختمان سازی، مرکز آموزش علمی و کاربردی سازمان همیاری شهرداری ها. (کارشناس عمران شهرداری بندر بوشهر)
۳- کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه آزاد واحد بوشهر. (کارشناس عمران شهرداری بوشهر)

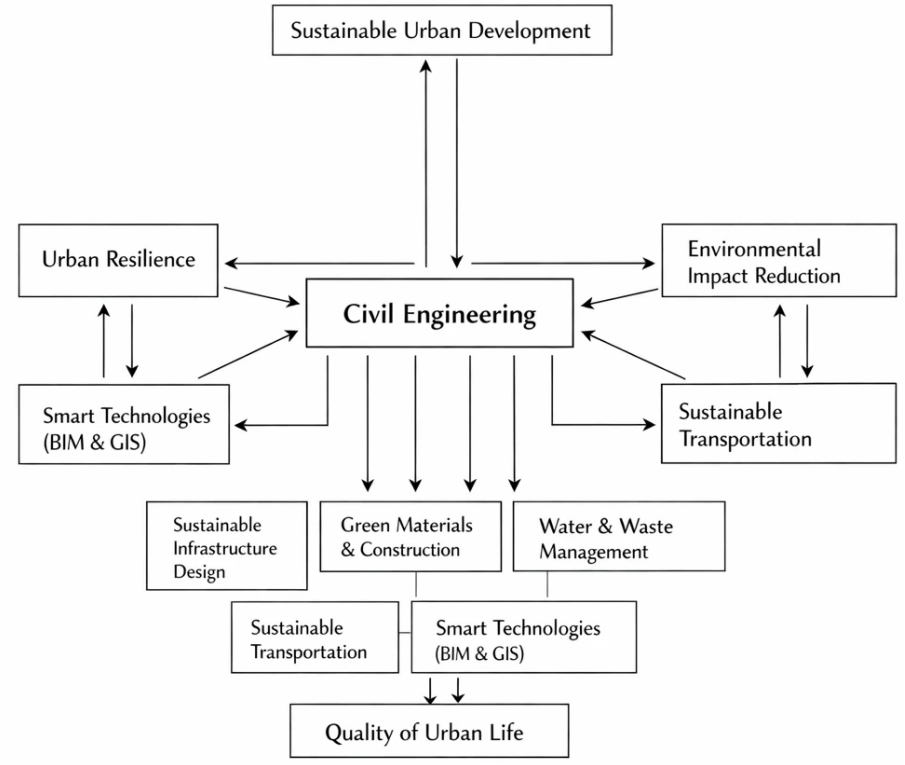
چکیده

رشد شتابان شهرنشینی در دهه‌های اخیر، شهرها را به کانون اصلی فعالیت‌های انسانی، مصرف منابع و تولید آلاینده‌ها تبدیل کرده و در نتیجه، چالش‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و کالبدی متعددی را پیش‌روی مدیران و برنامه‌ریزان شهری قرار داده است. در این میان، مهندسی عمران به عنوان یکی از بنیادی‌ترین رشته‌های مرتبط با شکل‌دهی محیط ساخته‌شده، نقش تعیین‌کننده‌ای در جهت‌دهی به مسیر توسعه شهری ایفا می‌کند. هدف این مقاله مروری، تبیین نقش مهندسی عمران در تحقق توسعه شهری پایدار و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از فرآیندهای شهرسازی و توسعه زیرساخت‌های شهری است. روش تحقیق در این پژوهش، مبتنی بر رویکرد توصیفی–تحلیلی و مرور نظام‌مند منابع علمی و پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه توسعه شهری پایدار، مهندسی عمران، حمل‌ونقل شهری، مدیریت منابع آب، فناوری‌های نوین و تاب‌آوری شهری است. در این راستا، ابعاد مختلف مداخله مهندسی عمران، از طراحی و اجرای زیرساخت‌های حمل‌ونقل پایدار، مدیریت آب‌های سطحی و سیستم‌های زهکشی، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، تا بهره‌گیری از فناوری‌های نوینی همچون BIM و GIS و نقش آن‌ها در بهبود تصمیم‌گیری و مدیریت شهری مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌های مقاله نشان می‌دهد که ادغام اصول پایداری در تمامی مراحل چرخه عمر پروژه‌های عمرانی، می‌تواند به کاهش مصرف انرژی، حفظ منابع طبیعی، کاهش تولید آلاینده‌ها و افزایش تاب‌آوری شهرها در برابر مخاطرات طبیعی منجر شود. همچنین، استفاده از رویکردهای مهندسی سبز و فناوری‌های هوشمند، ظرفیت بالایی برای ارتقای کارایی زیرساخت‌ها و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی فراهم می‌آورد. در نهایت، نتایج این مطالعه حاکی از آن است که تحقق توسعه شهری پایدار بدون بازتعریف نقش مهندسی عمران و حرکت از رویکردهای صرفاً فنی به سوی نگرش‌های جامع، بین‌رشته‌ای و آینده‌نگر امکان‌پذیر نخواهد بود و مهندسان عمران می‌توانند به عنوان بازیگران کلیدی، نقشی مؤثر در ساخت شهرهایی پایدار، تاب‌آور و زیست‌پذیر برای نسل‌های کنونی و آینده ایفا کنند .

واژگان کلیدی: مهندسی عمران، توسعه شهری پایدار، پایداری زیست‌محیطی، زیرساخت‌های شهری، تاب‌آوری شهری

مقدمه

روند شتابان شهرنشینی در قرن بیست و یکم، پدیده‌ای جهانی است که پیامدهای عمیق و چندگانه‌ای را بر ابعاد مختلف زندگی بشری، به‌ویژه در حوزه محیط زیست و پایداری، تحمیل کرده است. افزایش تراکم جمعیت در مناطق شهری، ضمن ایجاد فرصت‌های اقتصادی و اجتماعی، فشارهای بی‌سابقه‌ای را بر منابع طبیعی، اکوسیستم‌ها و زیرساخت‌های موجود وارد می‌آورد. این فشارهای رو به رشد، منجر به بروز چالش‌های زیست‌محیطی بغرنجی شده است که از آلودگی گسترده هوا و آب، تولید روزافزون زباله و پسماند، تخریب تنوع زیستی و زیستگاه‌های طبیعی، تا تشدید اثرات مخرب تغییرات اقلیمی مانند سیلاب‌ها، خشکسالی‌ها و گرمایش جهانی را شامل می‌شود (عارفی، ۲۰۲۳). در چنین شرایطی، مفهوم توسعه شهری پایدار به عنوان یک چارچوب راهبردی برای هدایت فرآیندهای شهرسازی و توسعه شهرها مطرح شده است. توسعه پایدار شهری، برقراری توازن میان نیازهای رشد اقتصادی، عدالت اجتماعی و حفاظت از محیط زیست را هدف قرار می‌دهد، به گونه‌ای که کیفیت زندگی نسل حاضر تأمین شده و توانایی نسل‌های آتی برای تأمین نیازهایشان نیز به مخاطره نیفتد (باباگلی و همکاران، ۲۰۲۴). در بطن این تحولات و چالش‌ها، مهندسی عمران به عنوان یکی از رشته‌های علمی و مهندسی پیشرو، نقشی بنیادین و انکارناپذیر در شکل‌دهی به محیط ساخته شده شهرها ایفا می‌کند. از طراحی و ساخت زیربناهای حیاتی مانند شبکه‌های حمل‌ونقل، سیستم‌های آبرسانی و فاضلاب، ساختمان‌ها و سازه‌ها، تا مدیریت و نگهداری این زیرساخت‌ها در طول عمر مفیدشان، تمامی فعالیت‌های مهندسی عمران تأثیر مستقیم و قابل توجهی بر کیفیت زیست‌محیطی و پایداری شهرها دارند. متأسفانه، در بسیاری از دوران‌های توسعه شهری، رویکردهای مهندسی غالباً بر جنبه‌های فنی و اقتصادی صرف متمرکز بوده‌اند و ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی توسعه، به اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته‌اند. این غفلت، منجر به ایجاد زیرساخت‌هایی شده است که نه تنها قادر به انطباق با چالش‌های زیست‌محیطی نوظهور نیستند، بلکه گاهی خود به عاملی تشدیدکننده این مشکلات تبدیل شده‌اند.



شکل ۱. مدل مفهومی نقش مهندسی عمران در توسعه شهری پایدار

در شکل ۱، یک مدل مفهومی جامع از نقش مهندسی عمران در تحقق توسعه شهری پایدار نمایش داده شده است. در مرکز این مدل، مهندسی عمران به‌عنوان هسته اصلی تصمیم‌سازی و مداخله در فرآیندهای توسعه شهری قرار دارد که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با مؤلفه‌های کلیدی پایداری شهری در ارتباط است. این مؤلفه‌ها شامل کاهش اثرات زیست‌محیطی، حمل‌ونقل پایدار، مدیریت آب و پسماند، استفاده از مصالح و روش‌های ساخت سبز، طراحی زیرساخت‌های پایدار و بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند مانند BIM و GIS هستند. پیکان‌های دوسویه در مدل، بیانگر تعامل پویا و دوسویه میان مهندسی عمران و این ابعاد بوده و نشان می‌دهند که تصمیمات مهندسی نه‌تنها بر این مؤلفه‌ها اثر می‌گذارند، بلکه خود نیز از الزامات پایداری شهری تأثیر می‌پذیرند. در بخش بالایی مدل، توسعه شهری پایدار به‌عنوان هدف نهایی قرار گرفته است که از طریق عملکرد یکپارچه مهندسی عمران و راهبردهای فنی، مدیریتی و فناورانه محقق می‌شود. در عین حال، تاب‌آوری شهری و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی به‌عنوان پیامدهای راهبردی این تعامل معرفی شده‌اند که نقش مهمی در افزایش توان شهرها برای مقابله با مخاطرات طبیعی، تغییرات اقلیمی و فشارهای ناشی از شهرنشینی دارند. در نهایت، خروجی این فرآیندها در پایین مدل، بهبود کیفیت زندگی شهری را نشان می‌دهد که بیانگر تأثیر مستقیم و غیرمستقیم مهندسی عمران پایدار بر رفاه اجتماعی، سلامت محیطی و زیست‌پذیری شهرها است. این مدل مفهومی، چارچوبی تحلیلی برای درک جایگاه مهندسی عمران در مسیر گذار به شهرهای پایدار و تاب‌آور فراهم می‌آورد.

اکنون، ضرورت رویکردی جامع و تحول‌یافته در مهندسی عمران بیش از پیش احساس می‌شود. مهندسان عمران با بهره‌گیری از دانش روز، فناوری‌های نوین و چارچوب‌های مفهومی توسعه پایدار، می‌توانند نقش بسزایی در کاهش ردپای زیست‌محیطی شهرها، افزایش تاب‌آوری آن‌ها در برابر بحران‌ها و ارتقاء کیفیت زندگی ساکنان ایفا نمایند. این امر مستلزم بازنگری در اصول طراحی، انتخاب مصالح، روش‌های ساخت، مدیریت انرژی و منابع، و همچنین در نظر گرفتن اثرات بلندمدت پروژه‌های عمرانی بر محیط زیست و جامعه است. این مقاله مروری، با هدف تبیین جامع و تحلیلی این نقش کلیدی، به بررسی عمیق مؤلفه‌های مختلفی می‌پردازد که مهندسی عمران می‌تواند از طریق آن‌ها به توسعه شهری پایدار و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی کمک کند.

۲. مبانی نظری توسعه شهری پایدار و جایگاه مهندسی عمران

توسعه شهری پایدار، مفهومی است که ریشه در نگرانی‌های فزاینده نسبت به پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی ناشی از رشد بی‌رویه شهرها و الگوهای مصرف ناپایدار دارد. در هسته این مفهوم، تلاش برای ایجاد تعادل پایدار میان سه بعد اساسی توسعه قرار دارد: بعد اقتصادی، بعد اجتماعی و بعد زیست‌محیطی (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). توسعه اقتصادی پایدار بر ایجاد رشد اقتصادی پایدار و عادلانه تمرکز دارد که به نابرابری‌ها دامن نزند و فرصت‌های شغلی پایدار فراهم آورد. بعد اجتماعی پایدار به ارتقاء کیفیت زندگی، تأمین عدالت اجتماعی، دسترسی برابر به خدمات و امکانات، و مشارکت فعال شهروندان در فرآیندهای تصمیم‌گیری اشاره دارد. اما در نهایت، بعد زیست‌محیطی پایدار، حفاظت از منابع طبیعی، کاهش آلودگی‌ها، حفظ تنوع زیستی و اطمینان از اینکه فرآیندهای توسعه، توانایی بازتولید منابع برای نسل‌های آینده را تضعیف نکنند، را شامل می‌شود. در چارچوب توسعه پایدار، شهرها به عنوان کانون‌های اصلی فعالیت‌های انسانی و مصرف منابع، نقشی کلیدی در دستیابی به اهداف جهانی پایداری ایفا می‌کنند.

جایگاه مهندسی عمران در این میان، جایگاهی مرکزی و تعیین‌کننده است. شهرها، در واقع، مجموعه‌ای از سازه‌ها، زیرساخت‌ها و سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که توسط مهندسان عمران طراحی، ساخته و نگهداری می‌شوند. شبکه‌های حمل‌ونقل، سیستم‌های تأمین آب و دفع فاضلاب، تأسیسات شهری، ساختمان‌ها، پل‌ها، تونل‌ها و سدها، همگی عناصر حیاتی یک شهر هستند که در صورت طراحی و اجرای ناپایدار، می‌توانند پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی نامطلوبی داشته باشند. به عنوان مثال، طراحی نامناسب سیستم حمل‌ونقل می‌تواند منجر به افزایش ترافیک، مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها شود، در حالی که سیستم‌های ناکارآمد آبرسانی و فاضلاب می‌توانند باعث هدررفت منابع آب و آلودگی منابع آبی گردند (کاکولوند و ملک‌حسینی، ۲۰۲۲). بنابراین، مهندسی عمران نه تنها در ایجاد زیرساخت‌های مورد نیاز شهرها نقش دارد، بلکه نحوه این مشارکت، مستقیماً بر میزان پایداری یا ناپایداری یک شهر تأثیر می‌گذارد.

در دهه‌های اخیر، درک فزاینده‌ای از ضرورت ادغام اصول پایداری در رشته مهندسی عمران پدید آمده است. دیگر نمی‌توان صرفاً بر جنبه‌های صرفاً فنی و اقتصادی یک پروژه عمرانی تمرکز کرد. مهندسان عمران امروزه با چالش‌هایی روبرو هستند که نیازمند رویکردهایی فراتر از روش‌های سنتی است. این چالش‌ها شامل مدیریت محدودیت‌های منابع، کاهش اثرات تغییرات اقلیمی، سازگاری با سناریوهای آینده، و اطمینان از اینکه زیرساخت‌های شهری نه تنها کارآمد و ایمن هستند، بلکه به محیط زیست نیز آسیب نمی‌رسانند یا حتی به بهبود آن کمک می‌کنند (مجتبی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۲). مفهوم "مهندسی عمران سبز" یا "مهندسی عمران پایدار" به ظهور یافته است که بر استفاده از مصالح پایدار، طراحی سازگار با محیط زیست، افزایش بهره‌وری انرژی، کاهش تولید زباله و حفظ منابع طبیعی در طول چرخه عمر پروژه‌های عمرانی تأکید دارد. این رویکرد، مهندسان عمران را به بازیگرانی کلیدی در تحقق اهداف توسعه شهری پایدار تبدیل می‌کند، چرا که آن‌ها در خط مقدم طراحی و اجرای زیرساخت‌هایی قرار دارند که ستون فقرات حیات شهری را تشکیل می‌دهند.

۳. نقش مهندسی عمران در کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی شهری

آسیب‌های زیست‌محیطی در شهرها، طیف گسترده‌ای از مشکلات را در بر می‌گیرند که مستقیماً با فعالیت‌های انسانی و توسعه کالبدی شهرها مرتبط هستند. آلودگی هوا ناشی از تردد وسایل نقلیه و فعالیت‌های صنعتی، آلودگی آب و خاک به دلیل دفع نامناسب پسماندها و فاضلاب‌ها، تخریب زیستگاه‌های طبیعی در حاشیه شهرها، افزایش مصرف انرژی، تولید گازهای گلخانه‌ای و تشدید اثر جزایر حرارتی شهری، تنها بخشی از این چالش‌ها محسوب می‌شوند (شفقی و همکاران، ۲۰۱۷). مهندسی عمران، به دلیل نقش محوری خود در طراحی، ساخت و مدیریت محیط ساخته شده، می‌تواند تأثیرات عمیقی بر کاهش یا تشدید این آسیب‌ها داشته باشد. بنابراین، یکی از مهم‌ترین مسئولیت‌های مهندسان عمران در عصر حاضر، اتخاذ رویکردهایی است که اولویت را به حفاظت و ارتقاء کیفیت زیست‌محیطی شهرها بدهد.

در زمینه کاهش آلودگی هوا، مهندسان عمران از طریق طراحی سیستم‌های حمل‌ونقل پایدار، از جمله توسعه شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی کارآمد، مسیرهای دوچرخه‌سواری ایمن و پیاده‌روهای دلپذیر، می‌توانند وابستگی به خودروهای شخصی را کاهش داده و در نتیجه انتشار آلاینده‌ها را به حداقل برسانند. همچنین، طراحی و اجرای فضاهای سبز شهری، مانند پارک‌ها، بام‌های سبز و دیوارهای سبز، به تصفیه هوا، جذب دی‌اکسید کربن و کاهش اثر جزایر حرارتی کمک شایانی می‌کند (باباگلی و همکاران، ۲۰۲۴). در حوزه مدیریت آب، مهندسان عمران نقش حیاتی در طراحی سیستم‌های جمع‌آوری، تصفیه و توزیع آب آشامیدنی سالم و همچنین سیستم‌های جمع‌آوری و تصفیه بهداشتی فاضلاب ایفا می‌کنند. استفاده از فناوری‌های نوین در تصفیه فاضلاب و بازچرخانی آب، به حفظ منابع آبی و کاهش آلودگی رودخانه‌ها و دریاها کمک می‌کند (عارفی، ۲۰۲۳).

مدیریت پسماند یکی دیگر از حوزه‌هایی است که مهندسی عمران در آن نقش کلیدی دارد. طراحی و ساخت مراکز دفع بهداشتی زباله، کارخانه‌های بازیافت و تأسیسات تبدیل پسماند به انرژی، از جمله وظایف مهندسان عمران است که می‌تواند اثرات زیست‌محیطی دفع نامناسب زباله را کاهش دهد. استفاده از مصالح ساختمانی پایدار و بازیافتی نیز از دیگر جنبه‌های مهم در کاهش اثرات زیست‌محیطی ساخت‌وساز است. مهندسان عمران با انتخاب مصالحی که انرژی کمتری در تولید آن‌ها مصرف شده، انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری دارند و قابلیت بازیافت بالایی دارند، می‌توانند به کاهش ردپای کربن پروژه‌های عمرانی کمک کنند (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). همچنین، طراحی ساختمان‌های سبز که بهره‌وری انرژی بالایی دارند، از منابع آب بهینه استفاده می‌کنند و تأثیرات زیست‌محیطی کمتری بر محیط اطراف خود دارند، یک رویکرد مهم در جهت کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی شهری است.

۴. حمل‌ونقل شهری پایدار و زیرساخت‌های عمرانی

حمل‌ونقل، شریان حیاتی شهرهای مدرن است و نحوه طراحی، توسعه و مدیریت سیستم‌های حمل‌ونقل تأثیر مستقیمی بر کیفیت زندگی، سلامت عمومی، محیط زیست و پایداری اقتصادی شهرها دارد. در گذشته، تمرکز اصلی بر توسعه زیرساخت‌های جاده‌ای برای تسهیل تردد خودروهای شخصی بوده است که این رویکرد، منجر به پیامدهای ناگواری از جمله افزایش ترافیک، آلودگی هوا و صدا، مصرف بالای سوخت‌های فسیلی، و اشغال فضاهای شهری توسط پارکینگ‌ها شده است (مجتبی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۲). اما در حال حاضر، مفهوم حمل‌ونقل شهری پایدار به عنوان یک راهبرد کلیدی در توسعه پایدار شهری مطرح شده است که هدف آن، ایجاد سیستم‌های حمل‌ونقلی است که کارآمد، ایمن، مقرون‌به‌صرفه، و از نظر زیست‌محیطی پاک باشند. مهندسی عمران، در طراحی و اجرای زیرساخت‌های این سیستم‌های نوین حمل‌ونقل، نقشی اساسی ایفا می‌کند.

یکی از ستون‌های اصلی حمل‌ونقل پایدار، تقویت و گسترش حمل‌ونقل عمومی است. این امر مستلزم طراحی و ساخت خطوط اتوبوسرانی، مترو، تراموا، و سایر سیستم‌های حمل‌ونقل انبوه است که دسترسی آسان و راحتی را برای شهروندان فراهم کنند. مهندسان عمران در طراحی مسیرها، ایستگاه‌ها، پارکینگ‌های انتقالی (Park Ride) و همچنین اطمینان از اتصال مؤثر این سیستم‌ها به یکدیگر، نقشی حیاتی دارند. این زیرساخت‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که بتوانند حجم زیادی از مسافران را با کمترین مصرف انرژی و انتشار آلایندگی جابجا کنند (کاکولوند و ملک‌حسینی، ۲۰۲۲). علاوه بر این، توسعه و بهبود شبکه‌های پیاده‌رو و دوچرخه‌سواری نیز بخش مهمی از حمل‌ونقل پایدار محسوب می‌شود. مهندسان عمران باید مسیرهای پیاده‌روی ایمن، عریض و دلپذیر، و مسیرهای دوچرخه‌سواری مجزا و امن را طراحی کنند که شهروندان را به استفاده از این شیوه‌های حمل‌ونقل غیرموتوری تشویق نماید.

استفاده از فناوری‌های نوین در حمل‌ونقل نیز از دیگر جنبه‌های کلیدی است که مهندسی عمران در آن دخیل است. این فناوری‌ها شامل توسعه زیرساخت‌های لازم برای وسایل نقلیه الکتریکی، مانند ایستگاه‌های شارژ، و همچنین استفاده از سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل (ITS) برای مدیریت بهینه ترافیک، اطلاع‌رسانی به مسافران و ارتقاء ایمنی می‌شود. مهندسان عمران در طراحی و پیاده‌سازی این زیرساخت‌ها و سیستم‌ها مشارکت دارند تا بتوانند حمل‌ونقل را روان‌تر، ایمن‌تر و با مصرف انرژی کمتر انجام دهند (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). همچنین، طراحی پل‌ها، تونل‌ها و سایر سازه‌های عمرانی مرتبط با حمل‌ونقل باید با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی صورت گیرد. به عنوان مثال، طراحی پل‌ها باید به گونه‌ای باشد که کمترین اختلال را در جریان آب رودخانه‌ها ایجاد کرده و به زیستگاه‌های طبیعی اطراف آسیب نرساند. در نهایت، ادغام

برنامه‌ریزی کاربری زمین با سیستم‌های حمل‌ونقل، به منظور ایجاد شهرهای فشرده‌تر و کاهش نیاز به سفرهای طولانی، نیز از وظایف مهندسان عمران در طراحی و توسعه پایدار شهری است.

۵. مدیریت آب‌های سطحی، زهکشی و تاب‌آوری شهری

مدیریت پایدار آب، شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی، یکی از چالش‌های اساسی در توسعه شهری است. شهرها با افزایش مناطق نفوذناپذیر مانند آسفالت و ساختمان‌ها، توانایی جذب طبیعی آب باران را از دست می‌دهند. این امر منجر به افزایش حجم رواناب‌های سطحی، تشدید خطر سیلاب‌های ناگهانی، فرسایش خاک، و همچنین کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. علاوه بر این، رواناب‌های سطحی اغلب حاوی آلاینده‌های مختلفی از جمله روغن، فلزات سنگین، پلاستیک و مواد شیمیایی هستند که پس از ورود به رودخانه‌ها و سایر منابع آبی، کیفیت آب را به شدت کاهش می‌دهند (عارفی، ۲۰۲۳). مهندسی عمران در طراحی و اجرای سیستم‌های مدرن مدیریت آب‌های سطحی و زهکشی، نقش حیاتی در کاهش این آسیب‌ها و افزایش تاب‌آوری شهری در برابر رویدادهای آبی ایفا می‌کند.

یکی از رویکردهای نوین در مدیریت آب‌های سطحی، اتخاذ شیوه‌های "مدیریت یکپارچه آب‌های سطحی" (ISWM) است که بر رویکردهای مهندسی سبز و راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت تأکید دارد. این شیوه‌ها شامل استفاده از بام‌های سبز، باغ‌های بارانی، چاله‌های نفوذپذیر، و سطوح نیمه‌نفوذپذیر در معابر و پارکینگ‌ها می‌شود. این عناصر، علاوه بر کاهش حجم رواناب سطحی و تسهیل نفوذ آب به زمین، به تصفیه طبیعی آب و کاهش آلاینده‌ها نیز کمک می‌کنند. مهندسان عمران با طراحی و اجرای دقیق این سازه‌ها، می‌توانند ظرفیت جذب آب در مناطق شهری را افزایش داده و وابستگی به سیستم‌های زهکشی سنتی و پرهزینه را کاهش دهند (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). سیستم‌های زهکشی سنتی، که عمدتاً بر تخلیه سریع آب از سطح شهر متمرکز هستند، اغلب منجر به تشدید سیلاب در پایین‌دست و از دست رفتن فرصت استفاده مجدد از آب باران می‌شوند.

تاب‌آوری شهری در برابر رویدادهای آبی، مانند سیل و خشکسالی، مستلزم رویکردی جامع است که مهندسی عمران در آن نقش کلیدی دارد. طراحی زیرساخت‌های هیدرولوژیکی پایدار، مانند سدها، کانال‌های هدایت سیلاب، و سیستم‌های انحراف آب، با در نظر گرفتن سناریوهای تغییرات اقلیمی و افزایش شدت رویدادهای حدی، از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین، مهندسان عمران در ارزیابی ریسک سیلاب در مناطق شهری، توسعه سیستم‌های هشدار اولیه، و طراحی سازه‌های دفاعی در برابر سیل، مانند دیوارهای حائل و سیل‌بندها، نقش دارند (کاکولوند و ملک‌حسینی، ۲۰۲۲). مدیریت یکپارچه منابع آب، شامل جمع‌آوری آب باران برای مصارف غیرشرب، بازچرخانی آب در سیستم‌های آبیاری فضای سبز، و استفاده از فاضلاب تصفیه شده، نیز از دیگر حوزه‌هایی است که مهندسان عمران با طراحی و اجرای سیستم‌های مربوطه، به افزایش تاب‌آوری آبی شهرها کمک می‌کنند.

۶. فناوری‌های نوین، BIM و GIS در توسعه شهری پایدار

پیشرفت‌های شگرف در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات، انقلاب بزرگی را در علوم و مهندسی، از جمله مهندسی عمران، به ارمغان آورده است. این فناوری‌ها ابزارهای قدرتمندی را برای بهبود فرآیند طراحی، ساخت، نگهداری و مدیریت زیرساخت‌های شهری فراهم کرده‌اند و نقش بسزایی در دستیابی به توسعه شهری پایدار ایفا می‌کنند. در این میان، دو فناوری کلیدی، یعنی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به عنوان پیشران‌های اصلی تحول در حوزه شهرسازی و مهندسی عمران مطرح شده‌اند. این فناوری‌ها امکان تحلیل دقیق‌تر، تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر و همکاری مؤثرتر را در پروژه‌های پیچیده شهری فراهم می‌آورند (رضوی، ۲۰۲۵).

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، فراتر از یک نرم‌افزار طراحی سه‌بعدی، یک فرآیند جامع برای تولید و مدیریت اطلاعات یک پروژه ساختمانی در طول چرخه عمر آن است. BIM با ایجاد یک مدل دیجیتال غنی از اطلاعات، شامل جزئیات هندسی، اطلاعات مصالح، مشخصات فنی، هزینه‌ها و زمان‌بندی، به مهندسان عمران امکان می‌دهد تا قبل از شروع ساخت، تمام جنبه‌های پروژه را شبیه‌سازی و بهینه کنند. این امر منجر به شناسایی و رفع زودهنگام تداخلات و مشکلات طراحی، کاهش اتلاف مصالح، بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها، و تسهیل فرآیندهای نگهداری و تعمیرات در آینده می‌شود (گودرزی و همکاران، ۲۰۲۳). در زمینه توسعه شهری پایدار، BIM می‌تواند در طراحی ساختمان‌های سبز، تحلیل مصرف انرژی، انتخاب مصالح پایدار، و مدیریت چرخه عمر پروژه‌ها به کار گرفته شود.

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، ابزاری قدرتمند برای تحلیل مکانی داده‌ها و ایجاد نقشه‌ها و مدل‌های اطلاعاتی است. GIS به مهندسان عمران و برنامه‌ریزان شهری اجازه می‌دهد تا داده‌های مختلفی مانند توپوگرافی، کاربری زمین، جمعیت، زیرساخت‌های موجود، و داده‌های زیست‌محیطی را در یک بستر مکانی یکپارچه بررسی کنند. این قابلیت، تحلیل اثرات زیست‌محیطی پروژه‌ها، شناسایی مناطق مستعد برای توسعه پایدار، برنامه‌ریزی بهینه شبکه‌های حمل‌ونقل و زیرساخت‌ها، و مدیریت بحران را تسهیل می‌کند (خالقی و همکاران، ۲۰۲۲). به عنوان مثال، GIS می‌تواند برای شناسایی مناطق با پتانسیل بالا برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، تحلیل ریسک سیلاب، و برنامه‌ریزی فضایی برای کاهش اثرات جزایر حرارتی شهری مورد استفاده قرار گیرد. ادغام BIM و GIS، که به عنوان "BIM-GIS integration" شناخته می‌شود، پتانسیل بسیار زیادی برای تحقق توسعه شهری پایدار دارد. این ادغام، امکان انتقال اطلاعات از مدل‌های BIM به محیط GIS و بالعکس را فراهم می‌آورد و به مهندسان اجازه می‌دهد تا پروژه‌های عمرانی را در مقیاس شهری و با در نظر گرفتن تمام جنبه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مورد تحلیل قرار دهند. این فناوری‌ها، ابزاری حیاتی برای طراحی شهرهای هوشمند، مدیریت بهینه منابع، و ایجاد محیط‌های شهری پایدارتر و تاب‌آورتر هستند (ضرابی و همکاران، ۲۰۱۶).

۷. تاب‌آوری شهری، مدیریت بحران و نقش مهندسی عمران

تاب‌آوری شهری به توانایی یک شهر برای مقاومت در برابر، جذب، انطباق با، و بازیابی سریع از اثرات رویدادهای مخرب (مانند بلایای طبیعی، بحران‌های اقتصادی یا شیوع بیماری‌ها) اشاره دارد. در دنیای امروز که با پدیده‌هایی مانند تغییرات اقلیمی، افزایش رویدادهای حدی آب و هوایی، و تهدیدات فناوری‌محور مواجه است، ارتقاء تاب‌آوری شهری به یک اولویت اساسی تبدیل شده است. مهندسی عمران، به دلیل نقش مستقیم خود در طراحی و ساخت زیرساخت‌های حیاتی شهرها، از جمله سیستم‌های حمل‌ونقل، شبکه‌های تأمین آب و انرژی، ساختمان‌ها و سازه‌ها، ستون فقرات تاب‌آوری شهری را تشکیل می‌دهد (مشگعنبری و همکاران، ۲۰۲۵). یک شهر با زیرساخت‌های ضعیف و ناپایدار، در برابر هرگونه بحران به شدت آسیب‌پذیر است.

نقش مهندسی عمران در مدیریت بحران و ارتقاء تاب‌آوری شهری، چندوجهی است. اولاً، طراحی و ساخت سازه‌ها و زیرساخت‌هایی که قادر به تحمل فشارها و تنش‌های ناشی از بلایای طبیعی مانند زلزله، سیل، طوفان و رانش زمین هستند، از وظایف اصلی مهندسان عمران است. این امر نیازمند استفاده از اصول مهندسی لرزه، هیدرولوژی، مکانیک خاک، و دانش کافی در مورد رفتار مصالح تحت شرایط حدی است. به عنوان مثال، طراحی ساختمان‌ها با رعایت ضوابط و مقررات ملی مربوط به مقاومت در برابر زلزله، یا طراحی سدها و دیوارهای ساحلی با در نظر گرفتن حداکثر دبی سیلاب، نمونه‌هایی از این اقدامات هستند (محمدودی‌سفیدکوهی و همکاران، ۲۰۱۷). ثانیاً، مهندسان عمران در توسعه و نگهداری زیرساخت‌های حیاتی که در زمان بحران عملکرد خود را حفظ می‌کنند، نقش دارند. این شامل شبکه‌های تأمین آب آشامیدنی و اضطراری، سیستم‌های تأمین برق، و شبکه‌های ارتباطی است. اطمینان از عملکرد پایدار این شبکه‌ها در زمان بحران، نیازمند طراحی سیستم‌های پشتیبان، انعطاف‌پذیری در اتصالات، و استفاده از مصالح و روش‌های ساخت مقاوم است. همچنین، برنامه‌ریزی برای بازسازی سریع زیرساخت‌های آسیب‌دیده پس از وقوع بحران، از دیگر مسئولیت‌های مهندسان عمران است که به تسریع فرآیند بازیابی شهر کمک می‌کند (آب‌روشن، ۲۰۲۳).

ثالثاً، مهندسان عمران با استفاده از ابزارهایی مانند GIS و BIM، می‌توانند به ارزیابی ریسک بحران، مدل‌سازی سناریوهای مختلف، و تدوین برنامه‌های اضطراری مؤثر کمک کنند. این فناوری‌ها به شناسایی نقاط ضعف زیرساختی، تعیین اولویت‌های بازسازی، و تخصیص بهینه منابع در زمان بحران یاری می‌رسانند (ضرابی و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین، طراحی و اجرای سیستم‌های هشدار اولیه برای بلایای طبیعی، مانند سیستم‌های هشدار سیل یا زلزله، که نیازمند دانش مهندسی در حوزه سنسورها، مخابرات و تحلیل داده‌ها است، از دیگر حوزه‌هایی است که مهندسی عمران در آن نقش دارد. در نهایت، مهندسان عمران با ترویج فرهنگ ایمنی و آموزش شهروندان در مورد نحوه مواجهه با بلایا، می‌توانند به افزایش مشارکت عمومی در برنامه‌های تاب‌آوری شهری کمک کنند.

۸. نتیجه‌گیری

توسعه شهری پایدار، به عنوان یک چشم‌انداز ضروری برای آینده شهرها، مستلزم بازنگری اساسی در رویکردهای کنونی توسعه و ادغام عمیق اصول حفاظت از محیط زیست، عدالت اجتماعی و رشد اقتصادی متعادل است. در این میان، مهندسی عمران، به عنوان رشته‌ای که مستقیماً در شکل‌دهی به محیط ساخته شده شهرها دخیل است، نقشی حیاتی و تعیین‌کننده در تحقق این چشم‌انداز ایفا می‌کند. آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی در شهرها، از آلودگی هوا و آب گرفته تا تولید انبوه زباله و تخریب منابع طبیعی، تهدیداتی جدی برای سلامت، رفاه و پایداری جوامع شهری محسوب می‌شوند. مهندسی عمران با اتخاذ رویکردهای نوآورانه و پایدار، می‌تواند به طور مؤثری در کاهش این آسیب‌ها مشارکت نماید.

همانطور که در بخش‌های پیشین این مقاله مورد بحث قرار گرفت، مهندسان عمران با طراحی و اجرای سیستم‌های حمل‌ونقل پایدار، که اولویت را به حمل‌ونقل عمومی، پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری می‌دهند، می‌توانند انتشار آلاینده‌ها و مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش دهند. مدیریت یکپارچه آب‌های سطحی و زهکشی، با اتکا بر راهکارهای مهندسی سبز، به کنترل سیلاب، تصفیه طبیعی آب و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی کمک می‌کند. استفاده از فناوری‌های نوین مانند BIM و GIS، امکان طراحی دقیق‌تر، تحلیل جامع‌تر اثرات زیست‌محیطی و مدیریت بهینه پروژه‌های عمرانی را فراهم می‌آورد، که این خود در دستیابی به توسعه شهری پایدار و افزایش کارایی منابع نقش بسزایی دارد. علاوه بر این، مهندسی عمران با

طراحی و ساخت زیرساخت‌های تاب‌آور در برابر بلایای طبیعی و بحران‌ها، ستون فقرات امنیت و پایداری شهرها را تشکیل می‌دهد.

یافته‌های این مقاله مروری نشان می‌دهد که اقدامات مهندسی عمران، از انتخاب مصالح ساختمانی سبز و کم‌مصرف گرفته تا طراحی ساختمان‌های انرژی‌کارآمد و ترویج استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در پروژه‌های شهری، همگی در کاهش ردپای زیست‌محیطی شهرها مؤثرند. ادغام ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی در تمام مراحل چرخه عمر پروژه‌های عمرانی، از مرحله امکان‌سنجی و طراحی تا ساخت، بهره‌برداری و تخریب، امری ضروری است. این رویکرد جامع، نیازمند همکاری نزدیک میان مهندسان عمران، معماران، برنامه‌ریزان شهری، کارشناسان محیط زیست و سایر ذینفعان است. در نهایت، برای دستیابی به توسعه شهری پایدار و کاهش مؤثر آسیب‌های زیست‌محیطی، مهندسی عمران باید از نقش صرفاً فنی و اجرایی خود فراتر رود و به عنوان یک عامل فعال در شکل‌دهی به آینده‌ای سبزتر و عادلانه‌تر برای شهرها عمل کند. این امر مستلزم آموزش مداوم مهندسان در زمینه مفاهیم و فناوری‌های نوین پایداری، بازنگری در قوانین و مقررات مهندسی به منظور الزام رعایت استانداردهای زیست‌محیطی، و تشویق نوآوری و تحقیق در این حوزه است. با این اقدامات، مهندسان عمران می‌توانند به طور مؤثری در ایجاد شهرهایی مشارکت کنند که نه تنها کارآمد و ایمن هستند، بلکه از نظر زیست‌محیطی نیز پاک، تاب‌آور و مطلوب برای زندگی نسل‌های کنونی و آینده باشند.

منابع

- نادری, سیدمجید, رنجبردار. (۲۰۲۲). تبیین معیارهای بازآفرینی شهری در راستای دستیابی به توسعه پایدار (مطالعه موردی: محله بریانک منطقه ۱۰ تهران). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۳(۲), ۲۰۵-۲۲۲.
- عارفی. (۲۰۲۳). سنجش همخوانی معماری سبز و الگوهای معماری پایدار در توسعه شهری با رویکرد اقلیم منطقه (مطالعه موردی یزد). فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای), ۱۳(۵۰), ۴۹-۶۶.
- باباگلی, رضوان, محمدزاده, عموزاده عمرانی. (۲۰۲۴). ارایه مدلی جهت ارزیابی ویژگی های کالبد کاربری ها و شبکه حمل و نقل در ساختار شهری متراکم با تاکید بر توسعه حمل و نقل پایدار (مطالعه موردی شهرآمل). مهندسی عمران فردوسی, ۳۷(۳), ۷۷-۹۲.
- مجتبی زاده, رضوانی, علیزاده. (۲۰۲۲). تبیین و بررسی منابع درآمدی شهرداری‌ها بر اساس توسعه پایدارشهری (مطالعه موردی شهر نظرآباد کرج). مهندسی جغرافیایی سرزمین, ۶(۴), ۸۷۱-۸۸۴.
- 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.
- بغدادی مهدی, کاظمینی محمدجواد, شیرنگی سیداحسان. (۲۰۲۱). الگوی سنجش ریسک پذیری و ریسک گریزی عوامل موثر بر درآمدهای پایدار شهرداری به منظور مدیریت بهینه پروژه های عمرانی (مطالعه موردی: شهرداری کرج).
- کاکولوند, ملک حسینی. (۲۰۲۲). بررسی شرایط اقلیمی در راستای توسعه پایدار شهری بافت های مسکونی شهر خرم آباد. فصلنامه جغرافیایی فضای گردشگری, ۱۱(۴۳), ۹۹-۱۱۶.
- شفقی, وثوقی, بیکدلی, سونا. (۲۰۱۷). ارزیابی توسعه پایدار شهری حوزه شمال شرقی کلانشهر مشهد. جغرافیا و مطالعات محیطی, ۶(۲۳), ۱۰۳-۱۱۸.
- فائزی, سید فرزین, شانیان, امید. (۲۰۲۱). بررسی عوامل مؤثر بر استقرار سیستمهای هوشمند حمل ونقل بار و کالا درون شهری با توجه به معیارهای توسعه پایدار. جغرافیا و برنامه‌ریزی, ۲۴(۷۴), ۱۶۵-۱۷۹.

- سید مرتضی رضوی. (۲۰۲۵). بهینه‌سازی طراحی سیستم‌های حمل و نقل شهری با استفاده از مدل‌سازی BIM. نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری, ۹(۳۴), ۱۰-۱۷.
- نهری, 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.
- خالقی, علیزاده, شبیر, عزیزی. (۲۰۲۲). تلفیق مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور توسعه شهر هوشمند. نقش جهان-مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی, ۱۲(۲), ۴۶-۷۳.
- امین راد, میرحسینی, احسانی فر, ضیغمی, احسان اله. (۲۰۲۳). به کارگیری تئوری راف در روش های تصمیم گیری چندمعیاره برای سنجش کاربردهای مدلسازی اطلاعات ساختمان در پروژه های ساخت ایران. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز.
- کرمی دهکردی, کوهستانی, یادآور, روشندل, رامین. (۲۰۱۹). واکاوی کیفی عوامل بازدارنده استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر با استفاده از تئوری مبنایی (موردمطالعه: روستای کاهکش استان چهارمحال و بختیاری). جغرافیا و برنامه‌ریزی, ۲۲(۶۶), ۲۰۷-۲۲۹.
- ردایی, مهجبین, صالحی. (۲۰۲۵). تحلیل راهبردی الگوی سیستم زهکشی چین باستان با رویکرد تاب آوری در برابر سیلاب شهری. مهندسی و مدیریت آبخیز, ۱۷(۱), ۸۲-۱۰۲.
- عبادالهزاده ملکی, زرآبادی, زهرا سادات سعیده, پیری, فرزادبهتاش. (۲۰۲۱). تحلیل ساختاری تفسیری آستانه تاب‌آوری فضاهای شهری در برابر زلزله با رویکرد اجتماعی-بوم‌شناسی، مطالعه موردی: شهر زنجان. فصلنامه علمی پژوهش های بوم شناسی شهری, ۱۲(شماره ۳ (پیاپی ۲۴)), ۹۷-۱۱۴.
- ضرابی, محمدی, جمال, حسینی خواه. (۲۰۱۶). راهکار مدیریت بحران کاربری‌ها با تأکید بر کاربری‌های حساس شهری (مکان پژوهش: شهر یاسوج). برنامه ریزی فضایی, ۶(۳), ۳۷-۵۸.
- دهقان فاروجی, بیت‌اللهی. (۲۰۲۰). الگوی ارزیابی خطرپذیری شهری در بلایای طبیعی. مهندسی ساختمان و علوم مسکن, ۱۳(۲), ۱-۱۱.
- گودرزی مجید, هاشمی قندعلی فرخنده, سلطانی زهرا. (۲۰۲۳). ارزیابی تاب آوری محیط شهری در برابر مخاطرات طبیعی با تأکید بر زلزله با استفاده از تحلیل های مکانی GIS و روش فازی AHP مطالعهٔ موردی: شهرستان مسجدسلیمان.
- محمودی‌سفیدکوهی, عقیل, رسولی. (۲۰۱۷). سنجش و ارزیابی کاهش خطرات زلزله با تاکید بر تاب آوری شهری. پژوهش های نوین علوم جغرافیایی، معماری و شهرسازی, ۱۰(۱), ۲۲۷-۲۶۴.
- مشگعنبری, حامدی, شرفی قشلاق, محمودزاده. (۲۰۲۵). طراحی مدل بهینه‌سازی مکان‌یابی اسکان اضطراری در شرایط بحرانی (منطقه موردمطالعه: منطقه ۲ کلان شهر تبریز). برنامه ریزی فضایی, ۱۵(۴), ۹۱-۱۲۰.