فصلنامه پژوهش در مدیریت شماره ۱- دوره ۲- صفحات۷۲۴-۷۱۲
Journal of Research in Management
Issn: 3060-6241

تاب‌آوری سازه‌ها و تأسیسات شهری در برابر بلایای طبیعی با تأکید بر مسئولیت شهرداری‌ها

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

شتاب فزاینده شهرنشینی، تمرکز جمعیت و توسعه فشرده زیرساخت‌های شهری، شهرها را به نظام‌هایی پیچیده و در عین حال آسیب‌پذیر در برابر بلایای طبیعی تبدیل کرده است؛ به‌گونه‌ای که وقوع مخاطراتی همچون زلزله، سیل و طوفان می‌تواند عملکرد سازه‌ها و تأسیسات حیاتی شهری را به‌طور گسترده مختل کرده و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی بلندمدتی به همراه داشته باشد. در این میان، مفهوم تاب‌آوری شهری به‌عنوان رویکردی نوین، بر توانایی شهر در جذب شوک‌های ناگهانی، حفظ حداقل عملکرد، بازیابی سریع و سازگاری با شرایط جدید تأکید دارد و جایگزین نگاه صرفاً مقاوم‌سازی سازه‌ای شده است. هدف اصلی این مقاله، تبیین ابعاد تاب‌آوری سازه‌ها و تأسیسات شهری در برابر بلایای طبیعی با تأکید ویژه بر نقش و مسئولیت شهرداری‌ها به‌عنوان نهاد اجرایی و مدیریتی محلی است. روش تحقیق، مبتنی بر رویکرد مروری ـ تحلیلی و بررسی نظام‌مند ادبیات علمی و پژوهش‌های مرتبط در حوزه مهندسی عمران، برنامه‌ریزی شهری، مدیریت بحران و توسعه پایدار بوده و تلاش شده است با تلفیق دیدگاه‌های فنی و مدیریتی، چارچوبی جامع برای درک تاب‌آوری شهری ارائه شود. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تاب‌آوری صرفاً حاصل افزایش مقاومت سازه‌ها نیست، بلکه نیازمند یکپارچگی میان طراحی مهندسی، برنامه‌ریزی کاربری اراضی، مدیریت ریسک، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و حکمرانی شهری کارآمد است؛ در این میان، شهرداری‌ها نقشی کلیدی در هدایت سیاست‌ها، نظارت بر اجرای مقررات، مدیریت زیرساخت‌ها و هماهنگی میان بازیگران مختلف ایفا می‌کنند. در نهایت، نتایج مقاله تأکید می‌کند که سرمایه‌گذاری هدفمند در تاب‌آوری سازه‌ها و تأسیسات شهری، نه‌تنها موجب کاهش خسارات بلایای طبیعی می‌شود، بلکه به‌عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از توسعه پایدار شهری، زمینه‌ساز ارتقای کیفیت زندگی شهروندان و تضمین تداوم عملکرد شهر در بلندمدت خواهد بود.

واژگان کلیدی: تاب‌آوری شهری، بلایای طبیعی، سازه‌ها و تأسیسات شهری، مدیریت بحران، مسئولیت شهرداری‌ها

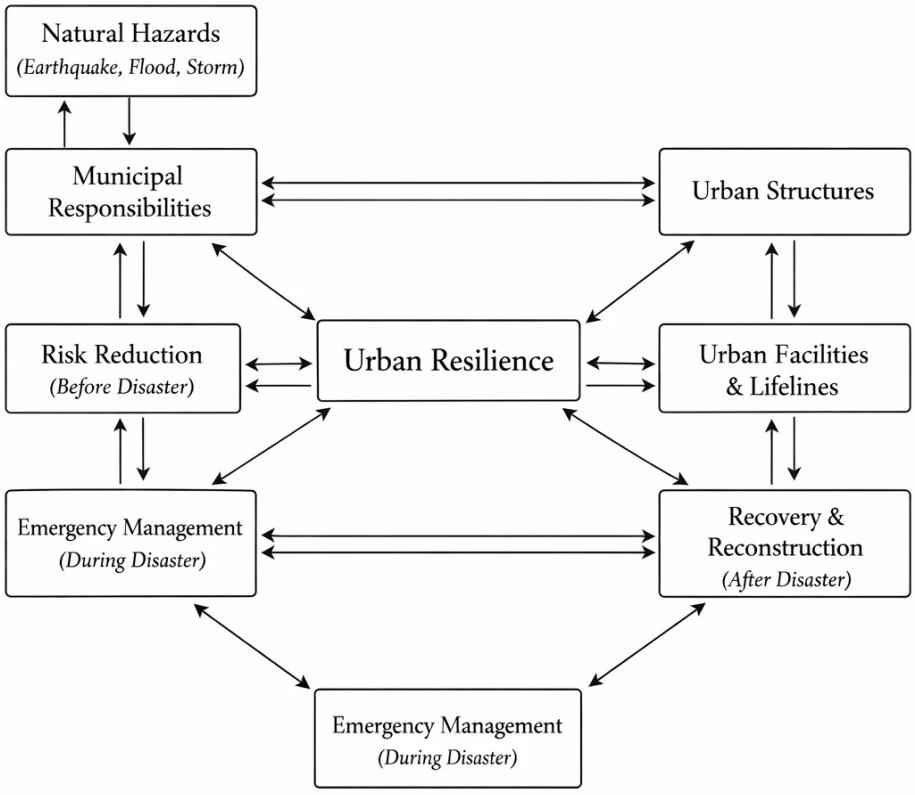
مقدمه

بحران‌های طبیعی به مثابه عاملی بنیادین در بازتعریف چالش‌های توسعه شهری در قرن بیست و یکم مطرح هستند؛ این پدیده‌ها دیگر صرفاً رویدادهای نقطه‌ای با پیامدهای محدود تلقی نمی‌شوند، بلکه به عنوان عوامل مختل‌کننده سیستماتیک عمل کرده و زنجیره‌های حیاتی خدمات شهری را از هم می‌گسلند. پیچیدگی و تراکم جمعیت در کلان‌شهرها، آسیب‌پذیری آن‌ها را در برابر اثرات مخرب این بلایا به شدت افزایش داده است، به طوری که زیان‌های اقتصادی و اجتماعی ناشی از توقف عملکرد زیرساخت‌های حیاتی مانند شبکه‌های آب، برق، حمل و نقل و ارتباطات، می‌تواند ماه‌ها یا حتی سال‌ها توسعه شهری را به عقب براند. این اهمیت ذاتی ایجاب می‌کند که برنامه‌ریزی شهری از رویکرد سنتی صرفاً پیشگیری و واکنش صرف، به سمت چارچوبی جامع‌تر حرکت کند که بتواند میزان تداوم عملکرد پس از شوک‌های بزرگ را تضمین نماید. مفهوم تاب‌آوری شهری (Urban Resilience) پاسخی ساختاریافته به این نیاز مبرم است؛ تاب‌آوری فراتر از مقاومت (Resistance) صرف بناها در برابر نیروهای خارجی تعریف می‌شود و شامل توانایی سیستم شهری برای جذب شوک، بازیابی سریع عملکرد، یادگیری از تجربه و سازگاری با تغییرات محیطی آتی است. این مفهوم چندبعدی است و ابعاد فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی، نهادی و اکولوژیکی را در بر می‌گیرد، جایی که سازه‌ها و تأسیسات به عنوان ستون فقرات عملکردی شهر نقش محوری ایفا می‌کنند. تدوین استراتژی‌های تاب‌آور نیازمند درک عمیقی از وابستگی متقابل (Interdependencies) میان این اجزا است؛ برای مثال، خرابی در یک پست برق می‌تواند منجر به از کار افتادن سیستم‌های تصفیه آب و ایجاد اختلالات گسترده اجتماعی شود، مفهومی که در مطالعات مشگعنبری و همکاران (۲۰۲۵) بر اهمیت تحلیل شبکه‌ای تأکید شده است.

در این میان، شهرداری‌ها به دلیل دامنه وسیع اختیارات و نزدیکی مستقیم به بدنه شهری و زیرساخت‌ها، در کانون توجه استراتژی‌های تاب‌آوری قرار می‌گیرند. شهرداری‌ها نه تنها مسئول صدور مجوزهای ساختمانی و نظارت بر رعایت مقررات فنی هستند، بلکه متولی اصلی مدیریت بحران محلی، برنامه‌ریزی کاربری اراضی و نگهداری از تأسیسات زیربنایی شهری مانند شبکه‌های دفع آب‌های سطحی و معابر اصلی محسوب می‌شوند. این جایگاه منحصر به فرد، بار سنگینی از مسئولیت را بر دوش نهادهای شهرداری برای تبدیل شدن به بازیگران اصلی در تضمین تاب‌آوری فیزیکی شهر می‌گذارد. تحلیل نقش شهرداری‌ها نشان می‌دهد که عملکرد آن‌ها نباید محدود به زمان پس از وقوع بلایا باشد؛ بلکه باید در سه فاز کلیدی، یعنی پیش از وقوع (کاهش خطر)، حین وقوع (مدیریت عملیات) و پس از وقوع (بازیابی و بازسازی)، فعالانه ایفای نقش کنند. در فاز پیشگیری، شهرداری‌ها از طریق تدوین مقررات ساختمانی سخت‌گیرانه‌تر و اجرای طرح‌های جامع ریسک شهری، همانند آنچه در پژوهش دهقان فاروجی و بیت‌اللهی (۲۰۲۰) مورد تأکید قرار گرفته، می‌توانند آسیب‌پذیری را به صورت سیستمی کاهش دهند.

یکی از بزرگترین چالش‌های پیش روی شهرداری‌ها، تداخل وظایف و نیاز به هماهنگی میان دپارتمان‌های مختلف (مانند شهرسازی، ترافیک، عمران و خدمات شهری) است؛ تاب‌آوری نیازمند یکپارچگی سازمانی است تا بتواند عملکرد موازی و هم‌افزا در زمان بحران ایجاد کند. در غیاب این هماهنگی، اتخاذ تصمیمات تاکتیکی در زمان بحران می‌تواند منجر به تشدید پیامدها شود، در حالی که رویکردهای مدرن، نیازمند یکپارچگی داده‌ها و فرآیندها هستند که این امر مستلزم توانمندسازی ساختاری نهاد شهرداری است. اهمیت تمرکز بر تاب‌آوری سازه‌ها و تأسیسات شهری نیز از این منظر قابل بررسی است که این اجزا، شریان‌های حیاتی اقتصاد و زندگی روزمره شهر هستند؛ خرابی یک پل، تونل مترو یا شبکه توزیع برق نه تنها زندگی شهروندان را مختل می‌کند، بلکه توانایی سازمان‌های امدادی برای دسترسی به مناطق آسیب‌دیده را نیز سلب می‌نماید. بنابراین، تقویت فیزیکی این زیرساخت‌ها، شرط لازم برای حفظ کارکرد اصلی شهر در مواجهه با شدت یابنده بلایای مرتبط با تغییرات اقلیمی و ژئوتکتونیک است.

این مقاله تلاش می‌کند تا با مرور ادبیات تخصصی، شکاف‌های موجود در رویکردهای فعلی مدیریت شهری در حوزه تاب‌آوری را شناسایی کرده و بر لزوم تلفیق دانش مهندسی عمران با اصول برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک تأکید ورزد، با این فرض اساسی که شهرداری‌ها به عنوان نهاد اجرایی اصلی، باید در مرکز این تحول استراتژیک قرار گیرند. این رویکرد، در راستای دیدگاه‌های جدیدی که مدیریت شهری را از یک وظیفه اداری صرف به یک وظیفه استراتژیک مهندسی-اجتماعی تغییر می‌دهد، تدوین شده است. در نهایت، هدف این پژوهش این است که چارچوبی تحلیلی برای درک بهتر مسئولیت‌های چندوجهی شهرداری‌ها در تضمین تداوم خدمات‌دهی زیرساخت‌ها پس از بحران ارائه دهد، و بر این نکته اصرار ورزد که سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری، سرمایه‌گذاری در آینده اقتصادی و اجتماعی شهر محسوب می‌شود و نباید به عنوان یک هزینه اضافی تلقی گردد، بلکه باید به عنوان یک جزء جدایی‌ناپذیر از توسعه شهری پایدار پذیرفته شود.



شکل ۱. مدل مفهومی تاب‌آوری سازه‌ها و تأسیسات شهری در برابر بلایای طبیعی با تأکید بر نقش و مسئولیت شهرداری‌ها

در شکل ۱، یک مدل مفهومی یکپارچه برای تبیین تاب‌آوری شهری در مواجهه با بلایای طبیعی ارائه شده است که در آن، «تاب‌آوری شهری» به‌عنوان هسته مرکزی سیستم در نظر گرفته شده و تعامل پویا میان مخاطرات طبیعی، سازه‌ها و تأسیسات شهری، و مسئولیت‌های شهرداری‌ها را نشان می‌دهد. این مدل بیانگر آن است که بلایای طبیعی نظیر زلزله، سیل و طوفان به‌عنوان عوامل برهم‌زننده، به‌طور مستقیم بر عملکرد سازه‌ها و شریان‌های حیاتی شهری اثر می‌گذارند و در عین حال، نحوه آمادگی نهادی و مدیریتی شهر می‌تواند شدت این اثرات را تعدیل یا تشدید کند. قرارگیری عناصر «سازه‌های شهری» و «تأسیسات و زیرساخت‌های حیاتی» در ارتباط دوسویه با تاب‌آوری شهری، بر نقش کلیدی این اجزا در حفظ تداوم عملکرد

شهر تأکید دارد. این مدل همچنین نقش محوری شهرداری‌ها را در سه فاز اصلی مدیریت بحران، شامل کاهش خطر پیش از وقوع، مدیریت اضطراری حین بحران و بازیابی و بازسازی پس از بحران، به‌صورت نظام‌مند نمایش می‌دهد. مسئولیت‌های شهرداری به‌عنوان حلقه اتصال میان سیاست‌گذاری، مدیریت عملیاتی و تقویت فیزیکی زیرساخت‌ها، عاملی تعیین‌کننده در ارتقای تاب‌آوری شهری تلقی می‌شود. روابط دوسویه میان اجزای مدل نشان می‌دهد که تاب‌آوری یک مفهوم ایستا نیست، بلکه نتیجه فرآیندهای یادگیری، هماهنگی سازمانی و تصمیم‌گیری‌های یکپارچه در سطح مدیریت شهری است. بدین ترتیب، شکل ۱ چارچوبی تحلیلی برای درک وابستگی متقابل میان ابعاد فنی، مدیریتی و نهادی تاب‌آوری شهری فراهم می‌آورد و مبنایی مفهومی برای تحلیل‌های بعدی مقاله ایجاد می‌کند.

۲. مبانی نظری تاب‌آوری سازه‌ای و شهری در بلایای طبیعی

مفهوم تاب‌آوری شهری ریشه در نظریه سیستم‌های پیچیده و نظریه اکولوژی شهری دارد، جایی که شهر به عنوان یک سیستم زنده و خودتنظیم‌گر در نظر گرفته می‌شود که پیوسته با فشارهای محیطی در تعامل است؛ تاب‌آوری در این چارچوب، توانایی سیستم برای حفظ عملکردهای اصلی خود در برابر اختلالات خارجی تعریف می‌شود. این مفهوم، فراتر از مفهوم سنتی «استحکام» است که صرفاً بر مقاومت ایستا در برابر حداکثر بار طراحی تمرکز داشت؛ تاب‌آوری، عنصر زمان و قابلیت بازیابی (Recovery Potential) را نیز به معادله می‌افزاید، به طوری که دو سازه با سطح مقاومت یکسان، در صورت تفاوت در زمان بازگشت به سرویس، دارای سطوح تاب‌آوری متفاوتی خواهند بود. چارچوب‌های نظری تاب‌آوری اغلب بر چهار بُعد اصلی تأکید دارند: قابلیت جذب (Absorption)، قابلیت سازگاری (Adaptation)، قابلیت بازیابی (Recovery) و قابلیت تحول (Transformation). قابلیت جذب به توانایی سازه‌ها و تأسیسات در تحمل آسیب‌های اولیه اشاره دارد، که مستقیماً به دانش مهندسی سازه، استفاده از مصالح نوین و طراحی‌های مقاوم در برابر رویدادهای شدید مرتبط است، نظیر آنچه عارفی (۲۰۲۳) در بحث ارزیابی آسیب‌پذیری‌های ساختمانی مطرح نموده است. این بعد، پایه‌ای‌ترین سطح برای تأمین ایمنی اولیه شهروندان و جلوگیری از فروپاشی کلی شبکه است.

قابلیت سازگاری، به ظرفیت شهر برای تعدیل عملکرد خود در پاسخ به شرایط بحرانی اشاره دارد؛ این امر مستلزم انعطاف‌پذیری در طراحی تأسیسات و وجود گزینه‌های جایگزین (Redundancy) است. به عنوان مثال، داشتن شبکه‌های توزیع برق حلقوی (Ring Topology) یا قابلیت سوئیچ سریع منابع انرژی، نمونه‌هایی از سازگاری در سطح زیرساخت‌ها هستند که شهرداری‌ها باید در فرآیندهای فنی خود لحاظ کنند. این سازگاری نیازمند درک دقیق از وابستگی‌های عملکردی میان بخش‌های مختلف شهری است. در نقطه مقابل، قابلیت بازیابی، بر سرعت بازگشت شهر به سطح عملیاتی مطلوب تمرکز دارد و ارتباط تنگاتنگی با برنامه‌ریزی مدیریت بحران و لجستیک عملیاتی شهرداری‌ها دارد. این بخش از تاب‌آوری مستلزم وجود ذخایر کافی، برنامه‌های مشخص برای تخصیص منابع و نیروی انسانی آموزش‌دیده است. در صورتی که بازیابی طولانی شود، پیامدهای ثانویه مانند بیماری‌ها، ناامنی غذایی و مهاجرت‌های اضطراری تشدید خواهند شد، که این امر، نقش شهرداری در هماهنگی عملیات بازسازی را حیاتی می‌سازد.

بعد تحول، پیشرفته‌ترین سطح تاب‌آوری تلقی می‌شود و به ظرفیت شهر برای بازسازی خود به شیوه‌ای بهتر و مقاوم‌تر در برابر مخاطرات آینده اشاره دارد؛ این فرآیند اغلب نیازمند بازنگری در کدهای ساختمانی، تغییر کاربری اراضی و اصلاح سیاست‌های توسعه شهری است. به عبارت دیگر، شهر پس از بحران نباید عیناً به حالت قبل بازگردد، بلکه باید از تجربه درس بگیرد و با بهره‌گیری از فناوری‌های جدید، به سطح بالاتری از عملکرد برسد. از منظر مهندسی عمران، مبانی نظری تاب‌آوری

سازه‌ای بر تحلیل‌های غیرخطی سازه‌ها در برابر بارگذاری‌های حدی متمرکز است؛ تمرکز از ضریب اطمینان صرف به سمت ارزیابی احتمال وقوع خرابی (Probability of Failure) و سطح عملکرد مورد انتظار (Performance Level) شیفت پیدا کرده است. این تحول نظری اجازه می‌دهد تا مهندسان بتوانند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از عملکرد اجزای حیاتی شهر، مانند پل‌ها و سازه‌های نگهدارنده تونل‌ها، ارائه دهند و تصمیمات سرمایه‌گذاری را بر اساس تحلیل هزینه-فایده تاب‌آوری توجیه کنند.

برنامه‌ریزی شهری تاب‌آور نیز بر این اصل استوار است که چیدمان فضایی شهر باید ریسک‌ها را کاهش دهد؛ این امر شامل سیاست‌های سخت‌گیرانه در برابر ساخت و ساز در مناطق سیل‌خیز، گسل‌های فعال یا دامنه‌های ناپایدار است. دهقان فاروجی و بیت‌اللهی (۲۰۲۰) بر اهمیت انطباق توسعه شهری با محدودیت‌های محیطی تأکید دارند، که این امر مستلزم اصلاح فرآیندهای سنتی مکان‌یابی طرح‌های عمرانی و در نظر گرفتن مدل‌های دینامیک ریسک منطقه‌ای است. در نهایت، ادبیات نظری بر یکپارچگی میان ابعاد فیزیکی (سازه و تأسیسات) و ابعاد نرم‌افزاری (حکومت‌داری و سیاست‌گذاری) تأکید دارد. بدون وجود چارچوب‌های حکمرانی قوی در سطح شهرداری‌ها که بتوانند سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری فیزیکی را اولویت بخشند و میان بخش‌های مختلف شهر هماهنگی ایجاد کنند، تلاش‌ها برای مقاوم‌سازی مجزا، موفق نخواهد بود. این یکپارچگی نظری، پایه و اساس ورود به بحث نقش عملیاتی شهرداری‌ها در پیاده‌سازی این مفاهیم است.

۳. نقش برنامه‌ریزی و مدیریت شهری در ارتقای تاب‌آوری زیرساخت‌ها

برنامه‌ریزی شهری، سنگ بنای اصلی برای ادغام ملاحظات تاب‌آوری در چرخه عمر توسعه زیرساخت‌ها است؛ این نقش فراتر از ترسیم نقشه‌های کاربری اراضی سنتی بوده و شامل اتخاذ تصمیماتی است که به طور فعال آسیب‌پذیری‌های فیزیکی و سیستمی شهر را کاهش دهند. شهرداری‌ها از طریق فرآیندهای طرح‌های جامع و تفصیلی، باید الزاماتی را برای مقاومت در برابر مخاطرات خاص منطقه تعیین کنند، به گونه‌ای که نه تنها ساختمان‌ها، بلکه شبکه‌های حیاتی نیز در برابر سطح پیش‌بینی‌شده خطر، عملکرد قابل قبولی داشته باشند. یکی از مهم‌ترین ابزارهای برنامه‌ریزی شهری در ارتقای تاب‌آوری، مدیریت ریسک کاربری اراضی است؛ این رویکرد ایجاب می‌کند که مناطقی که به طور طبیعی مستعد آسیب‌پذیری بالا هستند (مانند دشت‌های سیلابی، مناطق نزدیک به گسل‌های فعال یا مناطق مستعد رانش زمین)، از توسعه ساختمان‌های با اهمیت حیاتی منع شوند یا تحت قوانین ساختمانی بسیار سخت‌گیرانه‌ای قرار گیرند. مطالعات عارفی (۲۰۲۳) نشان می‌دهد که نادیده گرفتن محدودیت‌های محیطی در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای، منجر به تمرکز آسیب‌پذیری‌ها در کانون‌های شهری شده و هزینه بازیابی را به صورت تصاعدی افزایش می‌دهد.

نقش شهرداری در زمینه تأسیسات شهری، به ویژه در شبکه‌های توزیع انرژی و آب، حیاتی است؛ طراحی این شبکه‌ها باید از مدل‌های خطی و متمرکز به سمت طراحی‌های ماژولار، توزیع‌شده و مقاوم در برابر شکست‌های آبشاری (Cascading Failures) حرکت کند. به عنوان مثال، در برنامه‌ریزی توسعه شبکه برق شهری، شهرداری باید با همکاری شرکت‌های خدمات‌رسان، الزاماتی را برای زیرزمینی کردن خطوط انتقال در مناطق پرخطر، ایجاد پست‌های برق ثانویه و افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی محلی انرژی اعمال نماید تا قطعی‌های گسترده به حداقل برسد. علاوه بر طراحی‌های فیزیکی، مدیریت شهری نقش محوری در تسهیل «انعطاف‌پذیری عملیاتی» دارد؛ این امر مستلزم تدوین برنامه‌های اضطراری یکپارچه است که در آن، نقش‌ها و مسئولیت‌های تمامی بخش‌های شهرداری، نیروهای امدادی و نهادهای خصوصی ذی‌نفع به وضوح تعریف شده باشد. این برنامه‌ها باید به صورت دوره‌ای مورد بازبینی و تمرین قرار گیرند، زیرا یک برنامه مدون که در عمل آزمایش نشود، تنها یک سند کاغذی خواهد بود و در زمان بحران کارایی نخواهد داشت. نقش شهرداری‌ها در تدوین و به‌روزرسانی کدهای

ساختمانی محلی نیز بسیار تأثیرگذار است؛ این کدها باید فراتر از حداقل الزامات ملی بوده و متناسب با سطح ریسک واقعی منطقه باشند. برای مثال، در مناطقی با خطر زلزله بالا، شهرداری باید الزاماتی برای تقویت لرزه‌ای سازه‌های موجود (Retrofitting) و همچنین استفاده از تکنیک‌های پیشرفته جداسازی پایه (Base Isolation) در سازه‌های جدید حیاتی وضع کند. این اقدام مستلزم دانش فنی عمیق در سطح کارشناسان شهرداری است که توسط گودرزی و همکاران (۲۰۲۳) به عنوان یک چالش مدیریتی مهم مطرح شده است.

مدیریت شهری تاب‌آور همچنین شامل ایجاد زیرساخت‌های سبز و خاکستری ترکیبی است؛ استفاده از راهکارهای مبتنی بر طبیعت (Nature-Based Solutions) مانند احیای تالاب‌ها برای کنترل سیلاب یا ایجاد فضای سبز شهری برای کاهش اثر جزیره گرمایی، مکمل پروژه‌های سنتی مهندسی عمران است. شهرداری باید این راهکارها را نه به عنوان اقدامات تفریحی، بلکه به عنوان اجزای اساسی سیستم دفاعی شهری در برابر مخاطرات طبیعی، در برنامه‌ریزی خود بگنجاند. یکی از چالش‌های ساختاری، تأمین مالی پروژه‌های ارتقاء تاب‌آوری است؛ این پروژه‌ها اغلب نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلان اولیه هستند، در حالی که منافع آن‌ها در جلوگیری از خسارات آتی نمودار می‌شود. شهرداری‌ها باید با توسعه مدل‌های مالی نوین، مانند استفاده از اوراق قرضه تاب‌آوری یا مشارکت‌های عمومی-خصوصی، و همچنین مستندسازی دقیق کاهش ریسک (Risk Reduction Documentation)، منابع لازم برای این سرمایه‌گذاری‌های ضروری را فراهم آورند تا از تأخیر در اجرای طرح‌های ضروری جلوگیری شود. در نهایت، مدیریت شهری مدرن باید بر اصل «حکمرانی مشارکتی» استوار باشد؛ تاب‌آوری سازه‌ها و تأسیسات شهری صرفاً یک مسئله فنی نیست، بلکه یک تلاش اجتماعی است. شهرداری‌ها باید شهروندان، بخش خصوصی و سازمان‌های غیردولتی را در فرآیندهای برنامه‌ریزی ریسک درگیر کنند؛ این مشارکت باعث افزایش آگاهی عمومی، بهبود پذیرش تغییرات آتی در مقررات و تسهیل فرآیندهای بازیابی پس از بحران می‌شود، زیرا اعتماد عمومی به نهادهای محلی در زمان بحران، یک عامل حیاتی در موفقیت عملیات است.

۴. تاب‌آوری سازه‌های ساختمانی و تأسیسات شهری با رویکرد مهندسی عمران

رویکرد مهندسی عمران در ارتقای تاب‌آوری شهری، مستقیماً بر کاهش آسیب‌پذیری فیزیکی اجزای ساختاری و زیرساختی متمرکز است. این رویکرد با تغییر پارادایم از «طراحی برای بقا» به «طراحی برای عملکرد هدفمند» در سطوح مختلف شدت بحران تعریف می‌شود. در حوزه سازه‌های ساختمانی، این امر مستلزم پذیرش مدل‌های پیشرفته تحلیل لرزه‌ای است که بتوانند پاسخ سازه را در ناحیه نامتعادل (Inelastic Region) با دقت بیشتری شبیه‌سازی کنند، در حالی که در گذشته تمرکز بر محدودیت‌های الاستیک بود. یکی از راهبردهای کلیدی، بهینه‌سازی در انتخاب سیستم‌های مقاوم‌سازی و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در طراحی است؛ استفاده از میراگرهای انرژی (Dampers) یا سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای (Base Isolators) در ساختمان‌های مهم و حیاتی شهری، نظیر بیمارستان‌ها، مراکز فرماندهی شهرداری و ایستگاه‌های آتش‌نشانی، تضمین می‌کند که این سازه‌ها حتی پس از زلزله‌های بزرگ نیز قابل استفاده باقی بمانند. باباگلی و همکاران (۲۰۲۴) بر کارایی این تکنیک‌ها در حفظ عملکرد پس از رویدادهای شدید تأکید دارند، که این خود تعریف نهایی تاب‌آوری مهندسی است.

در زمینه تأسیسات شهری، تاب‌آوری نیازمند رویکردی سیستمی به طراحی شبکه‌ها است؛ شبکه‌های آب‌رسانی و فاضلاب در برابر حرکات زمین و روانگرایی بسیار آسیب‌پذیرند. رویکردهای سنتی ممکن است منجر به شکست‌های ناگهانی در اتصالات لوله‌ها شوند، اما مهندسی عمران نوین با استفاده از مواد انعطاف‌پذیرتر (مانند لوله‌های پلی‌اتیلن با مقاومت کششی بالا) و

طراحی اتصالات با قابلیت جابجایی بیشتر، می‌تواند از قطع شدن کامل سرویس جلوگیری کند. مسئله مهم دیگر، پایداری و تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در برابر مخاطرات غیر لرزه‌ای، به ویژه سیل است؛ این امر مستلزم ارزیابی مهندسی دقیق جریان‌های آبی و هیدرولیکی است. طراحی سازه‌های نگهدارنده مانند پل‌ها و دیواره‌های حائل باید با در نظر گرفتن تغییر اقلیم و پیش‌بینی افزایش دبی سیلاب‌ها صورت پذیرد. نادری و رنجبردار (۲۰۲۲) به لزوم بازنگری در دبی‌های طراحی شده برای سازه‌های هیدرولیکی شهری با توجه به داده‌های جدید اقلیمی اشاره می‌کنند تا از آب‌گرفتگی‌های ناگهانی که موجب از کار افتادن تأسیسات زیرزمینی می‌شوند، پیشگیری شود.

مقاوم‌سازی سازه‌های موجود (Existing Buildings Retrofitting) یکی از بزرگترین چالش‌های مهندسی عمران در مدیریت شهری است؛ از آنجا که شهرداری‌ها نمی‌توانند کل بافت شهری را به یکباره تخریب و بازسازی کنند، تمرکز بر ارتقاء لرزه‌ای سازه‌های پرخطر، به ویژه مدارس و مراکز خدمات عمومی، یک اولویت استراتژیک محسوب می‌شود. این فرآیند نیازمند مدل‌سازی دقیق آسیب‌پذیری فعلی سازه و انتخاب اقتصادی‌ترین روش تقویت است که اغلب شامل افزودن مهاربندهای جدید، اجرای ورق‌های کامپوزیت یا نصب میراگرهای کمکی است. در مورد تأسیسات زیرزمینی نظیر تونل‌های مترو و تأسیسات مخابراتی، تحلیل اثر متقابل خاک و سازه (Soil-Structure Interaction) اهمیت مضاعفی پیدا می‌کند. حرکت‌های زمین می‌تواند باعث تغییر شکل تونل‌ها و آسیب به کابل‌ها شود؛ طراحی باید به گونه‌ای باشد که جابجایی‌های نسبی زمین توسط دیواره‌ها جذب شده و از انتقال تنش‌های مخرب به اجزای داخلی جلوگیری شود. این امر نیازمند به‌کارگیری مدل‌سازی‌های عددی پیچیده و استفاده از داده‌های دقیق ژئوتکنیک است.

نگهداری و بازرسی مستمر سازه‌ها و تأسیسات نیز بخشی جدایی‌ناپذیر از تاب‌آوری مهندسی است؛ سازه‌ای که طراحی آن بی‌نقص باشد، در صورت عدم نگهداری مناسب، به سرعت آسیب‌پذیر می‌شود. شهرداری‌ها باید سیستم‌های بازرسی مبتنی بر مانیتورینگ دائمی (Structural Health Monitoring - SHM) را در زیرساخت‌های حیاتی مستقر کنند. این سیستم‌ها با استفاده از حسگرها، تغییرات جزئی در رفتار سازه را ثبت کرده و هشدارهای زودهنگام را به مدیران شهری منتقل می‌کنند، پیش از آنکه خرابی به نقطه بحرانی برسد. در نهایت، مهندسی عمران در مقیاس شهری باید از تفکر جزیره‌ای فاصله بگیرد؛ تاب‌آوری سازه‌ای به معنای مقاوم بودن یک پل نیست، بلکه به معنای تضمین انتقال بار ترافیک از طریق آن پل و اتصال آن به سایر بخش‌های شبکه حمل و نقل شهری است. بنابراین، تحلیل تاب‌آوری باید همیشه بر مبنای تحلیل شبکه و ارزیابی تأثیر خرابی یک جزء بر کل سیستم، مطابق با استانداردهای پیشرفته مهندسی سیستم‌ها انجام پذیرد.

۵. نقش فناوری‌های نوین، BIM، GIS و سیستم‌های هوشمند در افزایش تاب‌آوری

ورود فناوری‌های نوین اطلاعاتی و ارتباطی، انقلاب عظیمی در توانایی شهرداری‌ها برای مدیریت ریسک و افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌ها ایجاد کرده است؛ این فناوری‌ها ابزارهایی قدرتمند برای مدل‌سازی، شبیه‌سازی، پایش و پاسخ سریع فراهم می‌آورند که در گذشته تنها در حد تئوری قابل دسترسی بودند. استفاده ترکیبی از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و حسگرهای هوشمند، زیربنای تحقق شهر تاب‌آور هوشمند را تشکیل می‌دهد. GIS به عنوان یک پلتفرم مکانی قدرتمند، امکان تلفیق و تحلیل داده‌های مکانی مرتبط با زیرساخت‌ها، پهنه‌بندی ریسک و توزیع جمعیت را فراهم می‌آورد. شهرداری‌ها می‌توانند با استفاده از GIS، نقشه‌های دقیقی از آسیب‌پذیری سازه‌ها تهیه کنند، نقاط بحرانی تلاقی زیرساخت‌ها (مانند محل عبور خطوط برق، گاز و فیبر نوری) را شناسایی نموده و سناریوهای مختلف بلایا را بر بستر شبکه شهری شبیه‌سازی کنند. این توانایی، برنامه‌ریزی پیشگیرانه را به شکلی کاملاً مبتنی بر مکان میسر می‌سازد.

BIM، ابزاری است که فراتر از نقشه‌کشی دو بعدی، یک مدل سه‌بعدی دقیق و غنی از اطلاعات فیزیکی و عملکردی هر ساختمان و تأسیسات فراهم می‌آورد؛ این مدل حاوی جزئیات دقیق متریال، اتصالات، سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی است. در راستای ارتقای تاب‌آوری، BIM در فاز طراحی، امکان ارزیابی لرزه‌ای یا حرارتی دقیق‌تر سازه را می‌دهد و در فاز پس از بحران، به تیم‌های بازیابی اجازه می‌دهد تا با آگاهی کامل از وضعیت داخلی سازه تخریب شده، عملیات جستجو و نجات یا تخریب ایمن را انجام دهند، که این امر سرعت بازیابی را به شدت افزایش می‌دهد. ادغام BIM و GIS (BIM-GIS Integration) برای مدیریت زیرساخت‌های شهری یک گام منطقی رو به جلو است؛ این هم‌افزایی به شهرداری‌ها امکان می‌دهد تا اطلاعات دقیق مدل‌های BIM (مانند وضعیت هر شیر یا قطع‌کننده در شبکه آب) را بر بستر نقشه گسترده شهری (GIS) مشاهده کنند. این ترکیب، به ویژه در مدیریت دارایی‌های شهری (Asset Management) و برنامه‌ریزی نگهداری پیشگیرانه، بسیار حیاتی است و به شهرداری‌ها کمک می‌کند تا منابع محدود خود را بر مناطقی متمرکز سازند که بیشترین پتانسیل اختلال سیستمی را دارند.

سیستم‌های هوشمند و حسگرهای اینترنتی اشیاء (IoT) نقش حیاتی در پایش مستمر عملکرد زیرساخت‌ها ایفا می‌کنند؛ نصب حسگرهای لرزه‌نگار، شیب‌سنج، و سنسورهای جریان بر روی پل‌ها، تونل‌ها و سازه‌های نگهدارنده، امکان مانیتورینگ سلامت سازه (SHM) را فراهم می‌آورد. گودرزی و همکاران (۲۰۲۳) بر این نکته تأکید دارند که این داده‌های بلادرنگ، امکان ارزیابی سریع آسیب‌پذیری پس از رویداد (Post-event Damage Assessment) را فراهم می‌کنند و نیاز به اعزام تیم‌های بازرسی انسانی پرخطر را کاهش داده و زمان تصمیم‌گیری را کوتاه می‌سازند. فناوری‌های پیشرفته همچنین در مدیریت هوشمند بحران و واکنش سریع به کار می‌روند؛ استفاده از پهپادها (UAVs) مجهز به دوربین‌های حرارتی و لیزری، پس از بلایا برای نقشه‌برداری سریع از مناطق آسیب‌دیده و شناسایی افراد گرفتار، کارایی عملیات امداد و نجات را متحول ساخته است. شهرداری‌ها با تجهیز تیم‌های واکنش سریع خود به این فناوری‌ها، می‌توانند اطلاعات دقیق لحظه‌ای را به مرکز فرماندهی منتقل کرده و تخصیص منابع را به بهینه‌ترین شکل ممکن انجام دهند.

علاوه بر این، هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین (ML) در حال تبدیل شدن به ابزارهایی برای پیش‌بینی دقیق‌تر رفتار سیستم‌ها تحت شرایط بحرانی هستند؛ این الگوریتم‌ها می‌توانند الگوهای خرابی پیچیده در شبکه‌های چندوجهی (مانند تعامل بین اختلال برق و ارتباطات) را بیاموزند و ریسک‌های پنهان را شناسایی کنند. مشگعنبری و همکاران (۲۰۲۵) در تحلیل‌های خود اشاره کرده‌اند که این مدل‌های پیشرفته، دقت پیش‌بینی در مورد زمان و شدت تأثیرات ثانویه بلایا را به شکل قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌بخشند. در نهایت، چالش اصلی در به‌کارگیری این فناوری‌ها، نه در دسترس بودن آن‌ها، بلکه در توانایی نهاد شهرداری برای جذب، ادغام و نگهداری از این زیرساخت‌های فناوری اطلاعات است؛ این امر مستلزم سرمایه‌گذاری مداوم در آموزش نیروی انسانی متخصص در حوزه‌های داده‌کاوی، مدل‌سازی سه‌بعدی و مدیریت سیستم‌های بلادرنگ است تا اطمینان حاصل شود که این ابزارها به صورت مؤثر در خدمت ارتقاء تاب‌آوری فیزیکی و مدیریتی شهر قرار می‌گیرند.

۶. مدیریت ریسک، بحران و اسکان اضطراری با محوریت شهرداری‌ها

مدیریت ریسک بلایای طبیعی در شهرها یک چرخه مستمر است که شهرداری‌ها محوریت عملیاتی آن را بر عهده دارند؛ این مدیریت فراتر از اقدام پس از وقوع است و شامل ارزیابی سیستماتیک ریسک‌ها، توسعه استراتژی‌های کاهش و آماده‌سازی برای واکنش مؤثر می‌باشد. هسته اصلی این مدیریت، تهیه و اجرای نقشه‌های خطرپذیری و آسیب‌پذیری است که به طور

خاص برای زیرساخت‌های شهری (مانند پل‌ها، تونل‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ) انجام شده و سطوح عملکردی مورد انتظار را در برابر رویدادهای طراحی‌شده تعیین می‌کند. برنامه‌ریزی مدیریت بحران شهرداری‌ها باید به شدت بر حفظ عملکرد تأسیسات حیاتی تمرکز کند؛ شکست در حفظ شبکه آب آشامیدنی یا تأمین برق بیمارستان‌ها، بحران ثانویه ایجاد می‌کند که مدیریت آن دشوارتر از بحران اولیه است. در این راستا، ایجاد «مراکز عملیات اضطراری» (EOC) با قابلیت‌های خودکفایی و ارتباطات پایدار، که بتوانند پس از خرابی زیرساخت‌های معمولی همچنان فعال بمانند، یک اولویت مهندسی-مدیریتی است. این مراکز باید از نظر فیزیکی مقاوم‌سازی شده باشند و از سیستم‌های پشتیبان انرژی و ارتباطی برخوردار باشند.

مسئولیت شهرداری‌ها در حوزه اسکان اضطراری شهروندان پس از بلایای بزرگ، یک بخش کلیدی از تاب‌آوری اجتماعی-فیزیکی است؛ این امر نیازمند شناسایی از پیش تعیین شده مکان‌هایی (مانند پارک‌ها، مدارس مقاوم یا فضاهای باز شهری) است که بتوانند به سرعت به پناهگاه‌های موقت تبدیل شوند. چالش اصلی در این بخش، مدیریت لجستیک توزیع منابع حیاتی مانند آب، غذا و سرپناه است که باید هماهنگی دقیقی بین دپارتمان‌های خدمات شهری، امدادرسانی و سازمان‌های اجتماعی برقرار شود. مدیریت ریسک شامل تدوین راهبردهای کاهش ریسک ساختمانی در بخش خصوصی نیز می‌شود؛ شهرداری‌ها با اتکا به اختیارات قانونی خود، می‌توانند فرآیندهای صدور پروانه را مشروط به ارائه گزارش‌های ارزیابی ریسک زلزله یا سیل برای سازه‌های جدید نمایند. همچنین، شهرداری‌ها می‌توانند با ارائه تسهیلات یا مشوق‌های مالی، مالکان ساختمان‌های قدیمی را به سمت مقاوم‌سازی تشویق کنند، زیرا افزایش تاب‌آوری خصوصی، به طور مستقیم بار مسئولیت شهرداری را در فاز بازیابی کاهش می‌دهد.

نظریه «سیستم‌های خودمختار» در مدیریت بحران مطرح می‌کند که در لحظات اولیه پس از یک رویداد بزرگ، شبکه‌های ارتباطی و فرماندهی مرکزی ممکن است از کار بیفتند؛ بنابراین، آموزش تیم‌های محلی و منطقه‌ای شهرداری برای اتخاذ تصمیمات تاکتیکی مستقل در بخش‌های مختلف شهر، حیاتی است. این رویکرد مشارکتی در مدیریت بحران، به ویژه با تمرکز بر محلات آسیب‌پذیرتر، به افزایش سرعت واکنش اولیه و جلوگیری از سردرگمی مدیریتی کمک می‌کند. در بحث مدیریت مواد زائد ناشی از بلایا (Debris Management)، شهرداری‌ها نقش محوری در جلوگیری از آلودگی‌های ثانویه دارند؛ حجم عظیم نخاله‌های ساختمانی پس از یک زلزله یا طوفان، می‌تواند مسیرهای امدادرسانی را مسدود کرده و فرآیند بازیابی را مختل سازد. برنامه‌ریزی پیشگیرانه برای تخصیص مکان‌های موقت جمع‌آوری و تفکیک مواد، و همچنین تعیین پیمانکاران واجد شرایط برای پاکسازی، باید پیش از وقوع بحران در دستور کار واحد خدمات شهری قرار گیرد.

توسعه فرهنگ ایمنی و آموزش عمومی در چارچوب مدیریت ریسک شهرداری، جنبه‌ای است که اغلب نادیده گرفته می‌شود؛ آموزش شهروندان در مورد اقدامات پیشگیرانه، نحوه استفاده از سیستم‌های هشدار سریع و دانستن مسیرهای تخلیه اضطراری، سطح تاب‌آوری جمعی را به شدت افزایش می‌دهد. شهرداری‌ها باید با اجرای برنامه‌های مستمر، شهروندان را به مشارکت فعال در فرآیند تاب‌آوری ترغیب کنند، نه اینکه تنها آن‌ها را منتظر دستورات در زمان وقوع بحران نگه دارند. در نهایت، فرآیند مدیریت ریسک باید یک حلقه بازخورد پیوسته باشد؛ پس از هر رویداد (هرچند کوچک)، شهرداری موظف است یک تحلیل پس از عمل (After-Action Review) جامع انجام دهد تا نقاط ضعف در برنامه‌ریزی‌ها، عملکرد تأسیسات و پاسخ‌های مدیریتی شناسایی شود. این یافته‌ها باید مستقیماً در بازنگری کدهای ساختمانی، اصلاح طرح‌های اضطراری و تخصیص بودجه برای مقاوم‌سازی‌های آتی مورد استفاده قرار گیرد تا از تکرار خطاها جلوگیری شود.

۷. توسعه پایدار، اقلیم، حمل‌ونقل و زیرساخت‌های تاب‌آور شهری

توسعه پایدار شهری و تاب‌آوری در برابر بلایای طبیعی، دو روی یک سکه هستند؛ دستیابی به اهداف توسعه پایدار (SDGs)، به ویژه در زمینه زیرساخت‌ها و شهرسازی مقاوم، بدون در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی و افزایش فرکانس رویدادهای حدی، غیرممکن است. شهرداری‌ها به عنوان متولیان مستقیم توسعه فضایی، باید اطمینان حاصل کنند که سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی نه تنها نیازهای کنونی را برآورده می‌سازند، بلکه در برابر مخاطرات آینده نیز مقاوم باشند. تغییرات اقلیمی مستلزم بازنگری اساسی در طراحی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری است؛ افزایش دمای هوا، تغییر الگوهای بارش و وقوع طوفان‌های شدید، عملکرد شبکه‌های ریلی، جاده‌ای و فرودگاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای مثال، گرمایش شدید می‌تواند باعث انبساط ریل‌های قطار یا کاهش ظرفیت تحمل بار عرشه پل‌ها شود. نادری و رنجبردار (۲۰۲۲) بر لزوم استفاده از مصالح مقاوم در برابر حرارت بالا و طراحی سیستم‌های زهکشی کارآمدتر در جاده‌ها تأکید می‌کنند تا آب‌گرفتگی‌های ناشی از باران‌های ناگهانی، از اختلال کامل ترافیک جلوگیری کند.

زیرساخت‌های آبی (آب و فاضلاب) در تقاطع توسعه پایدار و تاب‌آوری اقلیمی قرار دارند؛ خشکسالی‌های طولانی مدت (که با تغییر اقلیم تشدید می‌شوند) نیازمند استراتژی‌های نوین مدیریت منابع آب شهری، از جمله تصفیه و بازچرخانی فاضلاب و جمع‌آوری آب‌های سطحی هستند. از سوی دیگر، سیلاب‌های شدیدتر، نیازمند شبکه‌های فاضلاب با ظرفیت بالاتر و همچنین زیرساخت‌های سبز برای نفوذ آب به زمین به جای هدایت سریع آن به شبکه می‌باشند. نقش شهرداری‌ها در این زمینه، رهبری فرآیند «سازگاری با اقلیم» (Climate Adaptation) است؛ این فرآیند شامل شناسایی دقیق نقاط آسیب‌پذیر در برابر اثرات اقلیمی خاص منطقه (مانند فرونشست ناشی از برداشت آب‌های زیرزمینی یا افزایش سطح آب دریا در شهرهای ساحلی) و اجرای پروژه‌های مهندسی برای محافظت از زیرساخت‌های حیاتی است. این اقدامات اغلب نیازمند بازنگری در قوانین منطقه‌بندی شهری و محدود کردن توسعه در مناطق پرخطر است.

در حوزه حمل‌ونقل عمومی، تاب‌آوری به معنای تضمین تداوم جابجایی شهروندان در زمان بحران است؛ سیستم‌های مترو و اتوبوس‌های تندرو (BRT) باید از نظر مقاومت سازه‌ای (در برابر زلزله) و توانایی بازگشت سریع به سرویس پس از اختلالات (مانند سیل در تونل‌ها) ارزیابی شوند. عبادالله‌زاده ملکی و همکاران (۲۰۲۱) تأکید دارند که برنامه‌ریزی شبکه حمل‌ونقل باید قابلیت "مسیریابی مجدد" (Rerouting Capability) را در زمان خرابی یک بخش کلیدی دارا باشد تا از فلج شدن کامل شهر جلوگیری شود. توسعه پایدار نیازمند کاهش وابستگی زیرساخت‌ها به انرژی‌های متمرکز و فسیلی است؛ این امر به معنای ترویج زیرساخت‌های انرژی توزیع‌شده و محلی (Distributed Energy Resources) است. شهرداری‌ها می‌توانند با تشویق نصب پنل‌های خورشیدی بر بام ساختمان‌ها و تسهیل ایجاد ریزشبکه‌های محلی (Microgrids)، تاب‌آوری انرژی شهر را در برابر خرابی شبکه‌های بزرگ برق افزایش دهند. این امر نه تنها اهداف کاهش کربن را پشتیبانی می‌کند، بلکه ریسک‌های فیزیکی را نیز کاهش می‌دهد. پایداری و تاب‌آوری همچنین به مدیریت چرخه عمر زیرساخت‌ها گره خورده است؛ انتخاب مصالح پایدار و محلی در پروژه‌های عمرانی شهرداری، از یک سو ردپای کربنی را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر، زنجیره تأمین را در برابر اختلالات جهانی مقاوم‌تر می‌سازد. این رویکرد، با اولویت دادن به دوام و قابلیت تعمیر آسان سازه‌ها، هزینه بلندمدت نگهداری و بازیابی را کاهش داده و با اهداف توسعه پایدار همسو می‌شود. در مجموع، اگر برنامه‌ریزی شهری تاب‌آور و توسعه پایدار به درستی تلفیق نشوند، سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در مقاوم‌سازی صرف، در درازمدت توسط اثرات تغییر اقلیم و الگوی توسعه شهری ناکارآمد، بلااثر خواهند شد؛ بنابراین، شهرداری‌ها باید دیدگاهی کل‌نگر و بلندمدت را اتخاذ کنند که در آن، توسعه همواره تاب‌آوری را به عنوان پیش‌شرط موفقیت خود در نظر بگیرد.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی نهایی

در فرآیند پیچیده تضمین بقا و تداوم عملکرد شهرهای مدرن در برابر تهدیدات فزاینده بلایای طبیعی، تمرکز بر تاب‌آوری سازه‌ها و تأسیسات شهری دیگر یک گزینه لوکس نیست، بلکه یک الزام استراتژیک مبتنی بر اصول مهندسی و حکمرانی شهری است. این پژوهش نشان داد که موفقیت در این مسیر، وابسته به یکپارچه‌سازی موفقیت‌آمیز دانش تخصصی مهندسی عمران، بهره‌گیری از پتانسیل فناوری‌های نوین و اجرای مؤثر سیاست‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی توسط نهاد شهرداری است. مسئولیت محوری شهرداری‌ها در این اکوسیستم تاب‌آوری غیرقابل انکار است؛ آن‌ها نه تنها مالک و متولی اصلی زیرساخت‌های فیزیکی شهری هستند، بلکه نهادهای اصلی هستند که می‌توانند هماهنگی لازم میان بخش‌های مختلف دولتی، خصوصی و جامعه مدنی را ایجاد کنند. این نقش، مستلزم فراتر رفتن از نقش سنتی صدور مجوز و ورود به حوزه فعال مدیریت ریسک در تمامی فازهای پیش از، حین و پس از بحران است، همانطور که در مبانی نظری تاب‌آوری شهری مورد تأکید قرار گرفته است.

از منظر مهندسی، دستیابی به تاب‌آوری سازه‌ای نیازمند تغییر تمرکز از مقاومت صرف به سمت تضمین سطوح عملکردی مشخص در برابر مخاطرات منطقه‌ای است؛ استفاده از تکنیک‌های پیشرفته مقاوم‌سازی، مانیتورینگ دائمی و طراحی تأسیسات با قابلیت تحمل شکست‌های آبشاری، گام‌های اساسی در این راستا هستند و باید از طریق الزامات قانونی شهرداری‌ها تقویت شوند. داده‌های مطالعاتی نظیر آنچه نادری و رنجبردار (۲۰۲۲) ارائه کرده‌اند، نشان می‌دهد که بازنگری مستمر در استانداردهای طراحی بر اساس داده‌های محیطی جدید، کلید جلوگیری از خرابی‌های فاجعه‌بار خواهد بود. فناوری‌هایی نظیر BIM و GIS، ابزارهای توانمندساز بی‌بدیلی هستند که می‌توانند فرآیند تصمیم‌گیری شهرداری‌ها را از حالت واکنشی به حالت پیشگیرانه تغییر دهند؛ این ابزارها امکان مدل‌سازی دقیق وابستگی‌های سیستمی و بهینه‌سازی محل سرمایه‌گذاری در مقاوم‌سازی را فراهم می‌آورند. ضروری است که شهرداری‌ها در استقرار این سامانه‌های هوشمند و آموزش نیروی انسانی متخصص سرمایه‌گذاری کنند تا بتوانند از ظرفیت کامل آن‌ها در مدیریت چرخه عمر دارایی‌های شهری بهره‌برداری نمایند.

مدیریت ریسک و بحران باید به صورت سیستمی و جامع تعریف شود؛ این شامل تدوین استراتژی‌های اسکان اضطراری دقیق، برنامه‌ریزی لجستیک مواد زائد و به طور خاص، آموزش و توانمندسازی تیم‌های عملیاتی محلی برای تصمیم‌گیری مستقل در شرایط از دست رفتن ارتباطات مرکزی است. این رویکرد مبتنی بر توزیع اختیارات، همان‌طور که مشگعنبری و همکاران (۲۰۲۵) پیشنهاد داده‌اند، می‌تواند سرعت واکنش اولیه را به شکل چشمگیری افزایش دهد. تأکید بر توسعه پایدار نشان می‌دهد که راهکارهای تاب‌آوری نباید محیط زیست و محدودیت‌های اقلیمی را نادیده بگیرند؛ زیرساخت‌های مقاوم آتی باید سازگار با اقلیم آینده طراحی شوند، که این امر نیازمند تلفیق راهکارهای مهندسی سبز با زیرساخت‌های خاکستری سنتی است. این یکپارچگی، تضمین می‌کند که شهرداری‌ها نه تنها از بحران‌ها جان سالم به در می‌برند، بلکه به سمت شهری با کیفیت زندگی بالاتر و پایداری بیشتر حرکت می‌کنند. در جمع‌بندی نهایی، جهت تحقق کامل تاب‌آوری، شهرداری‌ها نیازمند تفویض اختیار و تأمین منابع مالی پایدار برای اجرای پروژه‌های چندساله مقاوم‌سازی هستند؛ همچنین، اصلاحات نهادی برای شکستن سیلوهای سازمانی و ترویج یک فرهنگ سازمانی مبتنی بر پیشگیری از ریسک و یادگیری مستمر، ضروری است. مطالعات موردی متعدد، از جمله آنچه توسط باباگلی و همکاران (۲۰۲۴) و عارفی (۲۰۲۳) بررسی شده، تأیید می‌کنند که شهرهایی که پیشگام در این ادغام‌های چندرشته‌ای بوده‌اند، در مواجهه با رویدادهای بزرگ، عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند. بنابراین، توصیه‌های اصلی پژوهش بر لزوم تدوین یک سند راهبردی ملی تاب‌آوری شهری با محوریت اجرایی شهرداری‌ها، تقویت توانایی‌های فنی دپارتمان‌های مهندسی و شهرسازی شهرداری‌ها در تحلیل‌های پیشرفته ریسک و

سرمایه‌گذاری هوشمندانه در زیرساخت‌های هوشمند و انعطاف‌پذیر، متمرکز است تا شهر در برابر شوک‌های آینده نه تنها مقاومت کند، بلکه از آن‌ها برای تحول و بهبود بهره گیرد.

منابع

- 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.
- 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.