فصلنامه پژوهش در مدیریت شماره ۱- دوره ۲- صفحات۷۱۱-۶۹۶
Journal of Research in Management
Issn: 3060-6241

کاربرد فناوری‌های نوین مهندسی عمران (BIM و GIS) در مدیریت پروژه‌های عمرانی شهرداری

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، افزایش پیچیدگی زیرساخت‌های شهری و محدودیت منابع مالی و زیست‌محیطی، مدیریت پروژه‌های عمرانی شهرداری‌ها را با چالش‌های جدی مواجه ساخته است. در این میان، روش‌های سنتی برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه که عمدتاً متکی بر اسناد دوبعدی و داده‌های پراکنده هستند، توان پاسخگویی به نیازهای نوین مدیریت شهری را ندارند. فناوری‌های نوین مهندسی عمران، به‌ویژه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی(GIS) ، به عنوان ابزارهایی داده‌محور و هوشمند، ظرفیت ایجاد تحول بنیادین در فرآیندهای برنامه‌ریزی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری پروژه‌های عمرانی شهرداری را فراهم کرده‌اند. هدف اصلی این مقاله، بررسی و تبیین نقش BIMو GIS در بهبود مدیریت پروژه‌های عمرانی شهرداری با تأکید بر افزایش کارایی، شفافیت، پایداری و تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری است. پژوهش حاضر با رویکرد مروری–تحلیلی و بر پایه تحلیل مفهومی مطالعات مرتبط در حوزه مدیریت پروژه، توسعه پایدار شهری، مدیریت ریسک و شهر هوشمند انجام شده و تلاش دارد کاربردهای مستقل و یکپارچه این دو فناوری را در چرخه عمر پروژه‌های عمرانی شهری مورد بررسی قرار دهد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که BIM با فراهم‌سازی مدل‌های سه‌بعدی پارامتریک، نقش مؤثری در بهبود دقت برنامه‌ریزی، کنترل زمان و هزینه، کاهش تداخلات اجرایی و افزایش کیفیت ساخت ایفا می‌کند، در حالی که GIS با قابلیت تحلیل مکانی، مکان‌یابی بهینه پروژه‌ها، مدیریت دارایی‌های شهری و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های کلان، مکملی اساسی برای مدیریت شهری محسوب می‌شود. ادغام BIM و GIS امکان ایجاد یک سیستم مدیریت یکپارچه و مبتنی بر داده را فراهم می‌سازد که منجر به ارتقای تاب‌آوری شهری، بهبود مدیریت بحران و افزایش بهره‌وری سرمایه‌گذاری‌های عمومی می‌گردد. در نتیجه، استفاده هدفمند و تدریجی از فناوری‌های BIM و GIS در شهرداری‌ها می‌تواند به عنوان یک راهبرد کلیدی، زمینه‌ساز گذار از مدیریت سنتی به مدیریت هوشمند پروژه‌های عمرانی و تحقق توسعه پایدار شهری باشد .

واژگان کلیدی: مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدیریت پروژه‌های عمرانی، توسعه پایدار شهری، شهر هوشمند

مقدمه

تحولات سریع شهرنشینی و افزایش انتظارات عمومی از کارایی و شفافیت در خدمات شهری، سازمان‌های شهرداری را در سراسر جهان با چالش‌های بی‌سابقه‌ای در مدیریت پروژه‌های عمرانی مواجه ساخته است؛ از احداث پل‌ها و شبکه‌های تصفیه فاضلاب گرفته تا توسعه سیستم‌های حمل و نقل عمومی، همگی نیازمند دقت بالا، صرفه‌جویی در منابع و انطباق با الزامات پایداری محیطی هستند. در دهه‌های گذشته، فرآیندهای سنتی مدیریت پروژه که عمدتاً بر نقشه‌های دوبعدی و اسناد کاغذی متکی بودند، به دلیل نقص ذاتی در تبادل اطلاعات، تداخلات طراحی و مشکلات ناشی از داده‌های پراکنده، ناکارآمدی‌های قابل توجهی از خود نشان داده‌اند که منجر به تأخیر در تحویل، افزایش هزینه‌ها و کاهش کیفیت نهایی پروژه‌ها شده است (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). ظهور فناوری‌های نوین مهندسی عمران، به‌ویژه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نویدبخش یک پارادایم تحول‌آفرین در نحوه برنامه‌ریزی، اجرا و بهره‌برداری از دارایی‌های شهری است؛ این فناوری‌ها قابلیت ایجاد یکپارچگی داده‌ها را فراهم می‌آورند که فراتر از توانایی‌های روش‌های سنتی مدیریت اطلاعات پروژه است.

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به عنوان یک فرآیند مبتنی بر مدل‌های سه‌بعدی هوشمند، نه تنها هندسه فیزیکی یک سازه را توصیف می‌کند، بلکه شامل داده‌های پارامتریک مربوط به مشخصات فنی، هزینه، زمان‌بندی و عملکرد اجزا در طول چرخه حیات پروژه است؛ این تمرکز بر داده‌های غنی و متصل، BIM را به ابزاری ایده‌آل برای سازماندهی پیچیدگی‌های فنی پروژه‌های زیرساختی تبدیل می‌کند که اغلب شامل تلاقی رشته‌های مهندسی عمران، سازه و تأسیسات هستند (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). به طور مشابه، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان یک بستر قدرتمند برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تحلیل و نمایش داده‌های مکانی، نقشی حیاتی در درک زمینه‌های شهری ایفا می‌کند؛ GIS به شهرداری‌ها اجازه می‌دهد تا دارایی‌های خود را در یک چارچوب مکانی واحد مکان‌یابی کرده و روابط پیچیده بین زیرساخت‌ها، محیط طبیعی و جمعیت‌شناسی شهری را مدل‌سازی نمایند (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). ترکیب این دو فناوری، پتانسیل ایجاد یک محیط مدیریت پروژه و دارایی یکپارچه را فراهم می‌سازد که در آن مدل‌های جزئی پروژه (BIM) به طور طبیعی در بافت مکانی وسیع‌تر شهری (GIS) قرار می‌گیرند.

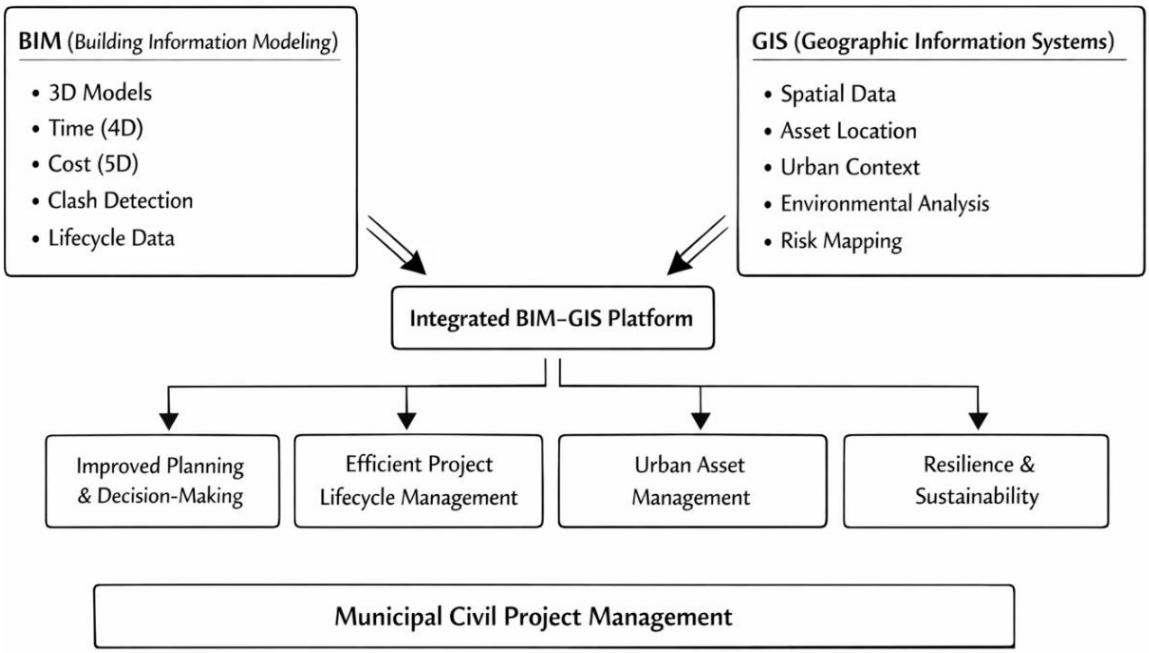
در محیط شهرداری، مدیریت پروژه‌های عمرانی شامل طیف گسترده‌ای از فعالیت‌ها است که از فاز امکان‌سنجی اولیه و مطالعات زیست‌محیطی آغاز شده و تا مرحله ساخت، بهره‌برداری، نگهداری و در نهایت تخریب امتداد می‌یابد؛ در هر یک از این مراحل، فقدان یکپارچگی داده‌ها و عدم امکان به اشتراک‌گذاری صحیح اطلاعات بین تیم‌های مختلف طراحی، اجرا و بهره‌برداری، به عنوان یک گلوگاه عملکردی عمل می‌کند. استفاده از BIM در فاز طراحی و ساخت، امکان شناسایی زودهنگام تداخلات (Clash Detection) و بهینه‌سازی مصرف مواد و انرژی را فراهم می‌آورد، که مستقیماً بر کاهش ضایعات و افزایش پایداری محیطی پروژه‌های شهری تأثیر می‌گذارد (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). این امر در پروژه‌های شهری که اغلب با محدودیت‌های فضایی و ترافیکی سنگین همراه هستند، اهمیتی مضاعف پیدا می‌کند، زیرا هرگونه خطا در برنامه‌ریزی می‌تواند منجر به اختلالات گسترده در خدمات عمومی شود.

بررسی ضرورت ورود این فناوری‌ها به بدنه مدیریتی شهرداری‌ها، نه تنها به دلیل بهبود کارایی در پروژه‌های جدید، بلکه به دلیل نیاز مبرم به دیجیتالی‌سازی سوابق دارایی‌های موجود شهری صورت می‌گیرد؛ بسیاری از زیرساخت‌های شهری، به‌ویژه شبکه‌های تأسیساتی قدیمی، فاقد نقشه‌های دقیق و به‌روز هستند و مستندات آن‌ها به صورت کاغذی و توزیع‌شده باقی مانده

است (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). در این زمینه، GIS به عنوان ابزاری برای مکانیابی و مدیریت این دارایی‌های موجود عمل می‌کند، در حالی که BIM می‌تواند برای بازسازی یا مدل‌سازی دقیق دارایی‌های جدید مورد استفاده قرار گیرد و در نهایت، اطلاعات ساختاریافته و دقیق BIM به لایه‌های مکانی GIS تزریق شود تا یک مدل جامع از شهر ایجاد گردد. این هم‌افزایی در نهایت منجر به اتخاذ تصمیمات استراتژیک مبتنی بر شواهد دقیق و داده‌های به‌روز می‌شود.

هدف اصلی این مقاله مروری تحلیلی بر نقش دوگانه BIM و GIS در بهینه‌سازی مدیریت چرخه حیات پروژه‌های عمرانی شهرداری‌ها است؛ ما به بررسی عمیق مزایای هر فناوری به صورت مجزا و سپس، با تمرکز ویژه بر نقاط هم‌افزایی، نحوه ادغام آن‌ها برای ایجاد یک سیستم مدیریت پروژه و زیرساخت فراگیر را تحلیل خواهیم کرد. این تحلیل بر چهار محور اصلی استوار است: بهبود دقت در برنامه‌ریزی و اجرا، افزایش کارایی در مدیریت دارایی‌های شهری، تقویت تاب‌آوری زیرساخت‌ها در برابر حوادث، و شناسایی موانع سازمانی و فنی در مسیر پیاده‌سازی در شهرداری‌های ایران. این رویکرد جامع، تصویری واقع‌بینانه از پتانسیل‌های فنی و الزامات سازمانی لازم برای موفقیت در این مسیر ارائه می‌دهد.

در زمینه برنامه‌ریزی شهری، مفهوم "شهر هوشمند" (Smart City) دیگر صرفاً یک شعار انتزاعی نیست، بلکه نیازمند زیرساخت‌های داده‌ای قوی است که BIM و GIS دقیقاً آن را فراهم می‌کنند؛ BIM اطلاعات دقیق اجزای سازه‌ای و فنی را در اختیار می‌گذارد، در حالی که GIS این اجزا را در زمینه شهری قرار می‌دهد و امکان تحلیل‌های پیچیده‌ای نظیر تأثیر ترافیکی، دسترسی‌پذیری خدمات و تأثیرات زیست‌محیطی یک پروژه جدید را میسر می‌سازد (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). به عنوان مثال، در طرح‌ریزی توسعه یک خط مترو، BIM مدل‌سازی دقیق ایستگاه‌ها و تونل‌ها را انجام می‌دهد، در حالی که GIS امکان تحلیل مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌ها بر اساس چگالی جمعیت و الگوهای سفر فعلی را فراهم می‌آورد، و پس از اجرا، مدیریت نگهداری تأسیسات زیرزمینی را تسهیل می‌بخشد. یکی از جنبه‌های کلیدی که در مدیریت شهرداری‌ها اهمیت دارد، شفافیت مالی و مدیریت هزینه‌هاست؛ BIM با قابلیت استخراج خودکار فهرست مصالح (Quantity Take-off) و ارتباط مستقیم با زمان‌بندی (4D BIM) و هزینه (D BIM۵)، امکان کنترل دقیق‌تری بر بودجه تخصیص‌یافته به پروژه‌های عمرانی فراهم می‌آورد (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). این قابلیت در پروژه‌هایی که اغلب با تغییرات مکرر در طراحی و الزامات مواجه هستند، به شهرداری کمک می‌کند تا هرگونه انحراف از برنامه اولیه را بلافاصله شناسایی کرده و تصمیمات اصلاحی را اتخاذ نماید، که این امر مستقیماً موجب کاهش اتلاف منابع عمومی می‌شود.



شکل ۱. چارچوب مفهومی یکپارچه BIM–GIS برای مدیریت پروژه‌های عمرانی شهرداری

در شکل ۱، یک چارچوب مفهومی برای تبیین نقش تلفیقی فناوری‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مدیریت پروژه‌های عمرانی شهرداری ارائه شده است. در این مدل، BIM به‌عنوان منبع اصلی داده‌های دقیق فنی و اجرایی پروژه، شامل مدل‌های سه‌بعدی، زمان‌بندی (4D)، مدیریت هزینه (5D)، تشخیص تداخلات و اطلاعات چرخه حیات سازه معرفی می‌شود. در مقابل، GIS با تمرکز بر داده‌های مکانی، بستر تحلیل زمینه شهری، مکان‌یابی دارایی‌ها، تحلیل‌های زیست‌محیطی و نقشه‌برداری ریسک را فراهم می‌سازد. این دو فناوری از طریق یک «پلتفرم یکپارچه BIM–GIS» به یکدیگر متصل شده و امکان تبادل و هم‌افزایی داده‌های محتوایی و مکانی را فراهم می‌کنند. خروجی این یکپارچگی، بهبود فرآیندهای کلیدی مدیریت شهری از جمله ارتقای دقت در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، افزایش کارایی در مدیریت چرخه حیات پروژه‌ها، بهینه‌سازی مدیریت دارایی‌های شهری و تقویت تاب‌آوری و پایداری زیرساخت‌ها است. در نهایت، این دستاوردها به‌طور مستقیم در خدمت مدیریت یکپارچه پروژه‌های عمرانی شهرداری قرار می‌گیرند و زمینه‌ساز گذار از رویکردهای سنتی به مدیریت هوشمند، داده‌محور و پایدار پروژه‌های شهری می‌شوند. این مدل مفهومی نشان می‌دهد که تحقق شهر هوشمند و مدیریت اثربخش پروژه‌های عمرانی، بدون ادغام مؤثر BIM و GIS امکان‌پذیر نخواهد بود.

در نهایت، این مقاله با مروری بر چالش‌های بومی پیاده‌سازی این فناوری‌ها در شهرداری‌های ایران، شامل مقاومت در برابر تغییر، کمبود زیرساخت‌های قانونی و نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه سنگین، سعی دارد تا یک چارچوب تحلیلی برای مدیران شهری ارائه دهد تا بتوانند مسیری واقع‌بینانه و گام به گام برای پذیرش این دگرگونی دیجیتال در مدیریت پروژه‌های عمرانی خود ترسیم کنند (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). این پژوهش بر این فرض استوار است که آینده مدیریت زیرساخت شهری وابسته به توانایی سازمان‌ها در ادغام مؤثر داده‌های مکانی و اطلاعات محتوایی پروژه است.

۲. جایگاه پروژه‌های عمرانی شهرداری در توسعه پایدار شهری

پروژه‌های عمرانی مدیریت‌شده توسط شهرداری‌ها، از جمله ساخت زیرساخت‌های حمل و نقل، تصفیه‌خانه‌ها، پارک‌ها و شبکه‌های توزیع انرژی، ستون فقرات تحقق اهداف توسعه پایدار شهری را تشکیل می‌دهند؛ این پروژه‌ها مستقیماً بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شهر تأثیرگذارند و شکست در مدیریت صحیح آن‌ها می‌تواند پایداری بلندمدت شهر را به خطر اندازد (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). توسعه پایدار در محیط شهری به معنای تأمین نیازهای نسل کنونی بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای تأمین نیازهای خود است و این امر مستلزم استفاده بهینه و مسئولانه از منابع محدود، کاهش تولید آلاینده‌ها و افزایش تاب‌آوری در برابر تغییرات اقلیمی است؛ پروژه‌های عمرانی، به دلیل مصرف بالای مواد اولیه، انرژی و تولید زباله، باید با دقت فراوان و با رویکردی سیستمی مدیریت شوند تا این اهداف محقق گردند. در این میان، فناوری‌هایی نظیر BIM و GIS نه تنها ابزارهایی برای افزایش کارایی، بلکه وسایلی برای تحقق اهداف پایداری هستند؛ BIM از طریق مدل‌سازی دقیق مصرف انرژی ساختمان‌ها، تأثیر بار حرارتی و میزان انتشار کربن در طول عمر مفید سازه را پیش‌بینی می‌کند و به مهندسان اجازه می‌دهد تا از همان فاز طراحی، تصمیماتی برای کاهش ردپای زیست‌محیطی اتخاذ نمایند (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). به عنوان مثال، در طراحی یک ساختمان اداری شهرداری، امکان شبیه‌سازی تابش خورشید و بهره‌گیری از سیستم‌های سرمایش/گرمایش غیرفعال به کمک مدل BIM، مصرف انرژی عملیاتی را به شدت کاهش می‌دهد؛ این رویکرد از "طراحی سبز" فراتر رفته و آن را به یک فرآیند مبتنی بر داده‌های قابل اندازه‌گیری تبدیل می‌کند که با معیارهای پایداری شهری سازگار است.

GIS نیز نقش محوری در تحلیل تأثیرات مکانی و زیست‌محیطی پروژه‌ها ایفا می‌کند؛ شهرداری‌ها می‌توانند با استفاده از GIS، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (EIA) را با دقت بسیار بالاتری نسبت به روش‌های سنتی انجام دهند، به طوری که تأثیر احداث یک بزرگراه یا شبکه لوله‌کشی جدید بر کاربری اراضی، اکوسیستم‌های محلی، یا الگوهای زهکشی طبیعی به صورت مدل‌سازی شده مورد بررسی قرار گیرد (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). این توانایی مکانی به شهرداری اجازه می‌دهد تا با لحاظ کردن معیارهای پایداری اجتماعی، مانند دسترسی عمومی و تأثیر بر جوامع آسیب‌پذیر، مکان‌یابی پروژه‌ها را بهینه‌سازی کند و از شکل‌گیری توسعه‌های ناپایدار که منجر به افزایش ترافیک یا تخریب فضاهای سبز می‌شود، جلوگیری نماید.

یکی از بزرگترین چالش‌های پایداری شهری، مدیریت ناکارآمد زیرساخت‌های موجود و هدر رفت منابع است؛ شبکه‌های آب، گاز و برق اغلب با فرسودگی و نشت‌های مکرر مواجه هستند که تلفات عظیمی را به همراه دارد (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). در اینجاست که یکپارچه‌سازی داده‌های دقیق دارایی‌های زیرزمینی (که می‌توانند با استفاده از BIM برای پروژه‌های جدید و GIS برای زیرساخت‌های قدیمی مدل‌سازی شوند) اهمیت پیدا می‌کند؛ با داشتن یک مدل دیجیتال دقیق از شبکه لوله‌ها، زمان‌بندی تعویض یا تعمیرات می‌تواند بر اساس اولویت‌بندی ریسک و اهمیت حیاتی شبکه صورت پذیرد، نه بر اساس حدس و گمان یا خرابی‌های ناگهانی، که این خود اوج کارایی منابع در راستای پایداری را نشان می‌دهد. علاوه بر این، پایداری اجتماعی مستلزم دسترسی برابر و ایمن به خدمات شهری است؛ پروژه‌های عمرانی شهرداری باید با در نظر گرفتن اصول طراحی فراگیر (Universal Design) انجام شوند تا افراد دارای معلولیت و سالمندان نیز بتوانند به راحتی از زیرساخت‌ها بهره‌مند شوند. در چارچوب BIM، این الزامات می‌تواند به عنوان پارامترهای طراحی وارد مدل شود و در فاز بازبینی، نرم‌افزار قادر خواهد بود انطباق شیب رمپ‌ها، عرض پیاده‌روها و ارتفاع علائم را با استانداردها مورد سنجش قرار دهد (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). GIS نیز با تحلیل دسترسی مکانی به این خدمات، شکاف‌های خدماتی موجود در مناطق مختلف شهر را شناسایی کرده و محل بهینه برای احداث زیرساخت‌های جدید خدماتی (مانند مراکز اورژانس یا مدارس) را تعیین می‌کند تا توزیع خدمات عادلانه‌تر گردد.

مسأله تاب‌آوری شهری (Urban Resilience) که به توانایی شهر برای جذب، بازیابی و سازگاری با شوک‌ها و استرس‌های مداوم (مانند سیل، زلزله یا همه‌گیری‌ها) اشاره دارد، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیریت شهری مدرن است و پروژه‌های عمرانی نقش مستقیمی در این زمینه دارند. مدل‌های BIM/GIS می‌توانند برای شبیه‌سازی سناریوهای بحرانی استفاده شوند؛ برای مثال، مدل سه‌بعدی یک منطقه شهری که با جزئیات توپوگرافی (GIS) و اطلاعات سازه‌ای ساختمان‌ها (BIM) غنی شده است، می‌تواند میزان نفوذ آب در یک سیل شدید را به طور دقیق مدل‌سازی کند و نشان دهد کدام مسیرهای تخلیه اضطراری مسدود خواهند شد یا کدام ساختمان‌ها در معرض خطر فروریختگی هستند (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). این توانایی پیش‌بینی، امکان برنامه‌ریزی زیرساخت‌های مقاوم‌تر و توسعه طرح‌های واکنش سریع را فراهم می‌آورد. در نتیجه، جایگاه پروژه‌های عمرانی شهرداری فراتر از صرفاً ساخت‌وساز فیزیکی است؛ آن‌ها ابزارهای اصلی برای شکل‌دهی به آینده پایدار شهر هستند و موفقیت در این حوزه مستلزم گذار از مدیریت سنتی به مدیریت مبتنی بر داده‌های دقیق، مکانی و یکپارچه است. ادغام BIM و GIS در چرخه عمر پروژه، شهرداری‌ها را قادر می‌سازد تا تصمیم‌گیری‌های خود را از سطح واکنشی به سطح پیشگیرانه و استراتژیک ارتقا دهند، با در نظر گرفتن همزمان ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی که لازمه توسعه پایدار در قرن بیست و یکم است (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). این گذار، مدیریت دارایی‌های شهری را از یک وظیفه نگهداری صرف به یک فرآیند خلق ارزش مستمر تبدیل می‌کند.

در نهایت، مدیریت مؤثر پروژه‌های عمرانی نیازمند یک دیدگاه جامع نسبت به "فضای شهری" است که در آن، هر پروژه تنها یک سازه مجزا نیست، بلکه بخشی از یک سیستم بزرگ‌تر و پیچیده شهری محسوب می‌شود؛ این دیدگاه سیستمی تنها با استفاده از ابزارهایی مانند GIS که قابلیت تجمیع و تحلیل داده‌ها در مقیاس کلان‌شهر را دارد، ممکن می‌گردد و BIM اطمینان می‌دهد که داده‌های فنی هر جزء با بالاترین سطح دقت در این بستر مکانی گنجانده شده است، که این هم‌افزایی سنگ بنای مدیریت هوشمند و پایدار شهری است (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰).

۳. نقش BIM در بهبود برنامه‌ریزی، زمان‌بندی و کنترل پروژه‌های عمرانی شهری

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به عنوان یک رویکرد مشارکتی و مبتنی بر داده، متحول‌کننده اساسی فرآیندهای سنتی مدیریت پروژه (PM) در پروژه‌های شهری است؛ در روش‌های سنتی، اغلب اطلاعات به صورت اسناد مجزا (نقشه‌های D۲، مشخصات فنی در Word، زمان‌بندی در Excel) مدیریت می‌شوند که این امر منجر به عدم سازگاری داده‌ها و تأخیر در ارتباطات می‌شود (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). BIM با ایجاد یک مدل سه‌بعدی پارامتریک مرکزی که تمامی اطلاعات مربوط به هندسه، مواد، هزینه و زمان‌بندی را در خود جای داده است، این مشکلات را از ریشه حل می‌کند؛ این مدل یک "منبع واحد حقیقت" (Single Source of Truth) برای تمام ذی‌نفعان پروژه، از مشاور طراحی گرفته تا پیمانکار اجرا و ناظر شهرداری، فراهم می‌آورد. در فاز برنامه‌ریزی و طراحی، مهم‌ترین مزیت BIM، قابلیت تشخیص زودهنگام تداخلات (Clash Detection) است؛ پروژه‌های عمرانی شهری، به ویژه پروژه‌های زیرزمینی (مانند تونل‌ها، شبکه‌های آب و فاضلاب و کابل‌های برق)، دارای تراکم بالایی از تأسیسات مختلف هستند که تداخل آن‌ها در سایت می‌تواند منجر به توقف‌های پرهزینه و زمان‌بر شود (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). BIM با اجرای خودکار بررسی‌های تداخلی بین مدل‌های مختلف (سازه، معماری، مکانیک و برق) ، امکان رفع این تداخلات را در محیط مجازی، پیش از آغاز عملیات خاکی یا بتن‌ریزی، فراهم می‌آورد؛ این امر مستقیماً زمان اجرای پروژه را کاهش داده و هزینه‌های پیش‌بینی نشده ناشی از اشتباهات طراحی را به حداقل می‌رساند که برای پروژه‌های با بودجه عمومی شهرداری حیاتی است.

افزایش دقت در برآورد هزینه‌ها و زمان‌بندی، که به عنوان 5D و 4D BIM شناخته می‌شوند، یکی دیگر از کاربردهای کلیدی BIM در مدیریت پروژه‌های شهرداری است؛ با داشتن مدل پارامتریک دقیق، فرآیند استخراج فهرست مصالح (Quantity Take-off) کاملاً خودکار و عاری از خطای انسانی می‌شود، که این امر مبنای محکمی برای مناقصات شفاف و مدیریت قرارداد فراهم می‌کند (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). همچنین، با مرتبط ساختن این مدل سه‌بعدی با برنامه زمان‌بندی (۴D BIM)، مدیران پروژه می‌توانند توالی اجرای فعالیت‌ها را به صورت بصری شبیه‌سازی کنند؛ این شبیه‌سازی به شهرداری اجازه می‌دهد تا نه تنها توالی کار را بررسی کند، بلکه تأثیر بستن مسیرهای ترافیکی یا دسترسی‌های محلی را در طول زمان، به طور دقیق بر فضای شهری مشاهده نماید و برنامه‌ریزی‌های ترافیکی را بر اساس آن تنظیم کند. در فاز اجرا و کنترل پروژه، BIM ابزاری قدرتمند برای نظارت بر پیشرفت کار و انطباق آن با طرح‌های مصوب فراهم می‌سازد؛ پیمانکاران می‌توانند با استفاده از مدل BIM به عنوان مرجع، میزان پیشرفت فیزیکی هر جزء را با دقت بسیار بالاتری نسبت به نقشه‌های 2D گزارش دهند و این اطلاعات به طور مستقیم به سیستم مدیریت پروژه تزریق شود (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). این شفافیت گزارش‌دهی، نظارت شهرداری بر عملکرد پیمانکار را تسهیل کرده و امکان اعمال جریمه‌ها یا پاداش‌ها را بر اساس معیارهای عینی و مدل‌محور فراهم می‌آورد؛ همچنین، هرگونه تغییر در محدوده پروژه (Change Order) ابتدا باید در مدل BIM اعمال شود تا تأثیر آن بر زمان و هزینه پیش از تأیید نهایی، مشخص گردد و از بروز سوءاستفاده‌های احتمالی در تغییرات میدانی جلوگیری شود.

برای پروژه‌های زیرساختی شهری که اغلب نیازمند هماهنگی بین تیم‌های مختلف مهندسی هستند، BIM نقش کاتالیزور همکاری را ایفا می‌کند؛ به جای تبادل فایل‌های ایستا، BIM یک محیط مشترک داده (CDE) را ایجاد می‌کند که در آن تمامی مشاوران و پیمانکاران بر روی یک نسخه واحد و به‌روز از اطلاعات کار می‌کنند (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). این امر به‌ویژه در بازسازی یا توسعه زیرساخت‌های موجود شهری که نیاز به تعامل با داده‌های GIS از پیش موجود دارند، حیاتی است؛ به عنوان مثال، هنگام طراحی یک پل جدید، مدل BIM پل باید با مدل GIS مربوط به بستر رودخانه، وضعیت پل‌های مجاور و محدودیت‌های ترافیکی موجود در سطح شهر هماهنگ شود تا از تداخلات میدانی جلوگیری گردد. کنترل کیفیت و انطباق با الزامات ایمنی و استانداردها، با استفاده از BIM به سطح بالاتری ارتقا می‌یابد؛ پارامترهای کیفی و استانداردهای فنی (مانند کدهای ساختمانی محلی) می‌توانند مستقیماً به اجزای مدل تخصیص داده شوند و مدل در هر مرحله از پیشرفت، به طور خودکار با این الزامات اعتبارسنجی شود (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). این قابلیت اعتبارسنجی خودکار، بار کاری بازرسان شهرداری را کاهش داده و اطمینان می‌دهد که اجرای پروژه از ابتدا مطابق با مقررات شهرسازی و فنی مصوب است، امری که در پروژه‌هایی مانند ساخت دیوارهای حائل یا سازه‌های نگهدارنده در مناطق شهری با اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است.

یکی از نوآوری‌های مهم در این زمینه، استفاده از BIM برای مدیریت تغییرات در طول عمر پروژه و آماده‌سازی برای فاز بهره‌برداری است؛ مدل نهایی تحویل داده شده به شهرداری باید یک "مدل As-Built" دقیق باشد که تمامی جزئیات نصب شده، از جمله تجهیزات داخلی و مکان دقیق تأسیسات پنهان، را منعکس کند (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). این مدل BIM غنی از داده، سپس به عنوان ورودی اصلی برای سیستم‌های مدیریت دارایی شهرداری (Asset Management Systems) که مبتنی بر GIS هستند، عمل می‌کند و اطمینان می‌دهد که فرآیندهای نگهداری آتی بر اساس دقیق‌ترین اطلاعات ممکن انجام خواهد شد، نه نقشه‌های قدیمی و حدسی. در مجموع، BIM با فراهم آوردن یک بستر داده‌محور، مشارکتی و سه‌بعدی، نه تنها فرآیندهای برنامه‌ریزی، زمان‌بندی و کنترل را به طور چشمگیری کارآمدتر می‌سازد، بلکه با کاهش ریسک‌های اجرایی و افزایش شفافیت مالی، مستقیماً به بهبود کیفیت خروجی پروژه‌های عمرانی شهرداری کمک می‌کند و زمینه را برای انتقال اطلاعات دقیق به فاز مدیریت دارایی فراهم می‌آورد (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰).

۴. نقش GIS در تحلیل مکانی، تصمیم‌گیری و مدیریت زیرساخت‌های شهری

سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ستون فقرات مدیریت زیرساخت‌های شهری در مقیاس کلان‌شهر است و امکان تحلیل و تصمیم‌گیری مبتنی بر موقعیت مکانی را فراهم می‌سازد که فراتر از توانایی نقشه‌کشی سنتی است (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). در زمینه پروژه‌های عمرانی شهرداری، GIS به عنوان یک بستر اطلاعاتی جامع عمل می‌کند که تمامی دارایی‌های شهری—از خطوط برق، لوله‌های آب و گاز، تا معابر، پل‌ها و املاک—را در یک محیط مکانی استاندارد شده و قابل جستجو سازماندهی می‌کند؛ این سازماندهی داده‌ها اولین گام حیاتی در بهینه‌سازی مدیریت زیرساخت و برنامه‌ریزی پروژه‌های جدید است.

مهم‌ترین نقش GIS در فاز تحلیل مکانی و مکان‌یابی پروژه‌ها نهفته است؛ شهرداری‌ها هنگام تصمیم‌گیری برای احداث یک زیرساخت جدید، مانند یک ایستگاه پمپاژ آب یا یک مرکز دفع زباله، باید عوامل متعددی را در نظر بگیرند که همگی دارای مؤلفه مکانی هستند: نزدیکی به جمعیت هدف، فاصله از مناطق حساس زیست‌محیطی، دسترسی به شبکه‌های موجود، و محدودیت‌های مالکیت اراضی (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). GIS با استفاده از ابزارهای تحلیل شبکه‌ای (Network Analysis) و تحلیل همپوشانی (Overlay Analysis)، به سرعت بهترین مکان‌های ممکن را بر اساس مجموعه این معیارها شناسایی می‌کند و به مهندسان و مدیران این امکان را می‌دهد که سناریوهای مختلف را از نظر مکانی ارزیابی کرده و تأثیرات منطقه‌ای پروژه را مدل‌سازی نمایند. در مدیریت زیرساخت‌های موجود، GIS به شهرداری‌ها اجازه می‌دهد تا فرسودگی و ریسک را به صورت مکانی اولویت‌بندی کنند؛ به جای انجام تعمیرات بر اساس برنامه زمانی ثابت یا خرابی‌های غیرمنتظره، می‌توان با ادغام داده‌های GIS با اطلاعات مربوط به سن، جنس مواد و سوابق نگهداری (که در مدل‌های BIM پروژه‌های جدید لحاظ می‌شود)، یک نقشه ریسک از کل شبکه زیرزمینی ایجاد نمود (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). به عنوان مثال، با شناسایی مناطقی که لوله‌های آب قدیمی‌تر و از جنس چدن هستند و همچنین دارای تراکم جمعیتی بالاتری هستند، می‌توان تعویض این بخش از شبکه را در اولویت برنامه‌ریزی عمرانی قرار داد، که این رویکرد نگهداری پیشگیرانه، هزینه‌های عملیاتی و ریسک‌های شکست سیستمی را به شدت کاهش می‌دهد.

GIS همچنین در مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه‌های حمل و نقل شهری نقشی اساسی دارد؛ تحلیل الگوهای ترافیکی، مسیریابی وسایل نقلیه عمومی، و شناسایی گلوگاه‌های ترافیکی، همگی نیازمند تحلیل داده‌های مکانی پویا هستند (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). هنگامی که یک پروژه عمرانی جدید (مانند ساخت یک پل یا تعریض خیابان) در دست اجراست، GIS امکان برنامه‌ریزی مسیرهای انحرافی ترافیک را فراهم می‌آورد و تأثیر موقت پروژه بر شبکه حمل و نقل شهری را به طور لحظه‌ای یا شبیه‌سازی شده نمایش می‌دهد؛ این امر برای اطلاع‌رسانی به شهروندان و مدیریت تداخلات ناشی از عملیات ساخت‌وساز با جریان عادی شهر ضروری است. فراتر از زیرساخت‌های فیزیکی، GIS ابزاری حیاتی برای مدیریت داده‌های مرتبط با شهروندان و محیط‌های اجتماعی-اقتصادی است که در تصمیم‌گیری‌های عمرانی باید لحاظ شوند؛ شهرداری‌ها می‌توانند داده‌های جمعیتی، سطح درآمد، شکایات خدمات شهری و توزیع فضایی بیماری‌ها را بر روی نقشه GIS تحلیل کنند تا مطمئن شوند پروژه‌های عمرانی به صورت عادلانه توزیع شده و به نیازهای مناطق محروم نیز پاسخ می‌دهند (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). این تحلیل‌ها از ابعاد پایداری اجتماعی پشتیبانی کرده و اطمینان می‌دهند که سرمایه‌گذاری‌های شهری منجر به افزایش نابرابری‌های مکانی نخواهد شد، بلکه در جهت توسعه متوازن حرکت می‌کند.

در مواجهه با حوادث و بلایای طبیعی، GIS به عنوان مرکز فرماندهی مکانی عمل می‌کند؛ در زمان وقوع زلزله یا سیل، GIS با تلفیق داده‌های مکانی مربوط به آسیب‌پذیری سازه‌ها (که از BIM دریافت شده) و اطلاعات لحظه‌ای از وضعیت جاده‌ها و

موقعیت نیروهای امدادی، به مدیریت بحران کمک می‌کند (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). این قابلیت در زمان‌بندی واکنش‌های اضطراری، هدایت تیم‌های امداد به مسیرهای قابل دسترسی و ارزیابی سریع میزان خسارت در مناطق مختلف شهر، تعیین‌کننده سرعت بازیابی زیرساخت‌ها و جان شهروندان است. در حوزه مدیریت دارایی‌های شهری پس از بهره‌برداری، GIS مکانی برای تجمیع اطلاعات دارایی‌ها و نگهداری آن‌ها فراهم می‌آورد؛ هر دارایی (مانند یک چراغ راهنمایی، یک شیر آتش‌نشانی یا یک قطعه از شبکه فاضلاب) با موقعیت دقیق مکانی در GIS ثبت می‌شود و سوابق تعمیر و نگهداری، عمر مفید باقی‌مانده و مشخصات فنی آن از مدل BIM مرتبط استخراج و به آن متصل می‌گردد (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). این سیستم متمرکز، برنامه‌ریزی بودجه‌های سالانه نگهداری را مبتنی بر واقعیت داده‌ها و نیازهای واقعی زیرساخت، و نه صرفاً بر اساس فرسودگی عمومی، ممکن می‌سازد.

به طور خلاصه، GIS بستر اصلی برای درک "کجا" و "چرا"ی زیرساخت‌ها و پروژه‌های عمرانی است؛ این فناوری با فراهم آوردن تحلیل‌های مکانی پیشرفته، امکان تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و عادلانه‌تر را در فازهای امکان‌سنجی و نگهداری فراهم می‌آورد و به مدیران شهری ابزاری قدرتمند برای دیدن تصویر بزرگ و مدیریت پیچیدگی‌های فضایی شهر ارائه می‌دهد (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱).

۵. یکپارچه‌سازی BIM و GIS در مدیریت هوشمند پروژه‌های عمرانی شهرداری

همانطور که BIM در مدیریت جزئیات فنی و چرخه حیات یک دارایی خاص (در سطح ساختمانی یا زیرساختی) بی‌نظیر است و GIS در مدیریت زمینه مکانی و تحلیل زیرساخت‌های کلان‌شهر تخصص دارد، قدرت واقعی در حوزه مدیریت شهری از ادغام این دو فناوری حاصل می‌شود؛ یکپارچه‌سازی BIM و GIS، که اغلب به عنوان BIMGIS شناخته می‌شود، پلی حیاتی بین داده‌های دقیق مدل‌سازی شده در مقیاس پروژه و داده‌های مکانی در مقیاس شهر ایجاد می‌کند (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). این ادغام، امکان ایجاد یک محیط دیجیتال دوقلوی (Digital Twin) عملیاتی از دارایی‌های شهری را فراهم می‌سازد که فراتر از یک مدل سه‌بعدی ساده، یک موجودیت پویا و متصل به داده‌های واقعی است. نقطه کانونی این یکپارچه‌سازی در فاز برنامه‌ریزی پروژه‌های جدید شهری نهفته است؛ هنگامی که شهرداری قصد دارد یک شبکه تأسیساتی جدید (مانند خط لوله جدید آب‌رسانی) را طراحی کند، ابتدا GIS برای تعیین مسیر بهینه بر اساس تحلیل‌های توپوگرافی، تراکم جمعیتی و محدودیت‌های موجود استفاده می‌شود (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). سپس، جزئیات دقیق هندسی و فنی این خط لوله—شامل جنس لوله‌ها، اتصالات، شیرآلات و تجهیزات پمپ—توسط BIM مدل‌سازی می‌شود؛ این مدل BIM غنی از داده، باید در بستر مکانی GIS قرار گیرد تا بتوان تأثیر آن را بر شبکه موجود (که اطلاعات آن در GIS ثبت شده) و همچنین محدودیت‌های فضایی (مانند مسیرهای عبوری از زیر پل‌ها یا مجاورت با خطوط مترو) ارزیابی کرد.

پس از اتمام ساخت و بهره‌برداری، داده‌های As-Built مدل BIM (شامل اطلاعات دقیق مکان‌یابی سنسورها، تاریخ نصب و مشخصات فنی اجزا) به لایه‌های اطلاعاتی GIS مربوط به آن دارایی خاص تزریق می‌شود؛ این فرآیند اطمینان می‌دهد که دارایی‌های جدید، از لحظه آغاز بهره‌برداری، دارای یک مشخصات دیجیتال کامل و مکانی دقیق هستند (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). این مدل یکپارچه، برای مدیریت نگهداری و تعمیرات فوق‌العاده حیاتی است؛ به عنوان مثال، اگر یک سنسور در یک پمپ جدید در سیستم آب شهری هشداری ارسال کند، سیستم GIS مکان دقیق آن پمپ را مشخص می‌کند، و سپس با فراخوانی مستقیم مدل BIM متصل به آن پمپ، تکنسین می‌تواند مشخصات فنی آن قطعه، کاتالوگ‌های تعمیر و سوابق نگهداری گذشته آن را بدون نیاز به جستجو در فایل‌های متعدد مشاهده کند.

یکپارچه‌سازی BIM/GIS همچنین در مدیریت فرآیندهای اجرایی پیچیده شهری بسیار کارآمد است؛ تصور کنید پروژه‌ای شامل احداث یک سازه روی یک زمین شهری که دسترسی محدود و ترافیک سنگین دارد؛ GIS محدودیت‌های مکانی و زمان‌بندی بستن خیابان‌ها را مشخص می‌کند، در حالی که BIM زمان‌بندی دقیق عملیات ساختمانی (D۴) را فراهم می‌آورد (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). مدیران می‌توانند با ترکیب این دو، یک برنامه عملیاتی سه‌بعدی-زمانی-مکانی ایجاد کنند که به پیمانکاران اجازه می‌دهد فعالیت‌های خود را در پنجره‌های زمانی مجاز و بدون ایجاد اختلال غیرضروری در جریان شهری انجام دهند و هرگونه انحراف را سریعاً در چارچوب مکانی و زمانی آن رصد نمایند. تحلیل عملکرد دارایی‌ها در طول زمان (Asset Performance Management) یکی دیگر از مزایای اصلی ادغام این دو فناوری است؛ GIS به عنوان بستر تحلیل کلان‌شهری، داده‌های عملکردی جمع‌آوری‌شده از دارایی‌های مختلف (مانند میزان مصرف انرژی ساختمان‌های شهرداری، یا عملکرد شبکه روشنایی خیابان‌ها) را تجمیع می‌کند (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). BIM در این مرحله، به عنوان منبع جزئیات فنی، به GIS اجازه می‌دهد تا در صورت مشاهده افت عملکرد در یک منطقه خاص، به سرعت به جزئیات طراحی و ساخت آن سازه یا زیرساخت خاص دسترسی پیدا کند تا علت‌یابی دقیق انجام شود. این قابلیت دوطرفه، یک حلقه بازخورد مستمر برای بهبود مستمر در طراحی پروژه‌های آتی فراهم می‌سازد.

در زمینه مدیریت بحران، ادغام BIM و GIS به شدت توانایی پاسخگویی شهرداری را افزایش می‌دهد؛ در صورت وقوع یک حادثه بزرگ (مانند آتش‌سوزی در یک ساختمان یا نشت گاز در یک خط اصلی)، مدل BIM ساختمان آسیب‌دیده جزئیات سازه‌ای، محل قرارگیری مواد خطرناک و مسیرهای تخلیه امن را به GIS ارائه می‌دهد (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). GIS این اطلاعات دقیق را با نقشه وضعیت شهر، مسیرهای دسترسی نیروهای امدادی، و موقعیت منابع کمکی (مانند بیمارستان‌ها یا تجهیزات آتش‌نشانی) ترکیب می‌کند تا فرماندهی عملیات با در اختیار داشتن جامع‌ترین اطلاعات ممکن صورت پذیرد. علی‌رغم مزایای فراوان، یکپارچه‌سازی نیازمند استانداردهای تبادل داده قوی است؛ فرمت‌هایی مانند IFC (Industry Foundation Classes) برای BIM و استانداردها و سرویس‌های وب مکانی (مانند WMS/WFS) برای GIS، باید به گونه‌ای تنظیم شوند که اطلاعات به طور روان و بدون از دست دادن پارامترهای حیاتی بین محیط‌ها منتقل شوند (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). موفقیت شهرداری در پیاده‌سازی این رویکرد، وابسته به تدوین پروتکل‌های تبادل داده داخلی و ایجاد یک زیرساخت داده مکانی سازمانی (Enterprise GIS) است که مدل‌های BIM پروژه‌های جدید را به طور خودکار جذب و مدیریت نماید. در نهایت، یکپارچه‌سازی BIM و GIS هسته اصلی مفهوم شهر هوشمند را تشکیل می‌دهد؛ این ترکیب به شهرداری اجازه می‌دهد که از یک مدیریت پراکنده و واکنشی به سمت یک مدیریت یکپارچه، پیشگیرانه و مبتنی بر داده‌های لحظه‌ای در چرخه کامل عمر دارایی‌ها حرکت کند، که این امر کارایی سرمایه‌گذاری‌های عمومی را در راستای اهداف توسعه پایدار به شدت افزایش می‌دهد (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲).

۶. نقش فناوری‌های نوین در افزایش تاب‌آوری، ایمنی و مدیریت ریسک پروژه‌های شهری

افزایش بلایای طبیعی ناشی از تغییرات اقلیمی و پیچیدگی‌های ذاتی زیرساخت‌های شهری، لزوم تقویت تاب‌آوری، ایمنی و مدیریت ریسک پروژه‌های عمرانی شهرداری را به یک اولویت استراتژیک تبدیل کرده است؛ فناوری‌های نوین مانند BIM و GIS، با ارائه قابلیت‌های شبیه‌سازی و تحلیل پیشرفته، ابزارهای لازم برای تحقق این اهداف را فراهم می‌سازند و به شهرداری‌ها امکان می‌دهند تا از حالت صرفاً واکنشی به حالت پیش‌بینی و پیشگیری منتقل شوند (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). تمرکز اصلی در اینجا بر استفاده از داده‌های غنی برای مدل‌سازی دقیق سناریوهای شکست و طراحی زیرساخت‌هایی است که بتوانند در

برابر شوک‌های محیطی مقاومت کنند. در زمینه افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌ها، BIM به مهندسان اجازه می‌دهد تا رفتار سازه‌ها را تحت بارهای شدید دینامیکی مانند زلزله یا بادهای قوی، به طور دقیق شبیه‌سازی کنند؛ مدل‌های BIM سازه‌ای می‌توانند با افزودن اطلاعات مربوط به ویژگی‌های مصالح و اتصالات، وارد تحلیل‌های دینامیکی شوند و نقاط ضعف بالقوه سازه در برابر ارتعاشات شدید را مشخص سازند (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). این تحلیل‌ها فراتر از محاسبات سنتی مهندسی بوده و به طور خاص بر روی اثرات تجمعی شکست در یک سیستم بزرگتر شهری متمرکز هستند؛ شهرداری می‌تواند با استفاده از این شبیه‌سازی‌ها، هنگام طراحی مجدد پل‌ها یا سازه‌های حیاتی، الزامات مقاومتی را فراتر از حداقل استانداردهای آیین‌نامه‌ای اعمال نماید.

نقش GIS در ارتقاء تاب‌آوری، در سطح مکانی و سیستمی نمود پیدا می‌کند؛ GIS با تجمیع داده‌های مربوط به خطرپذیری زمین‌شناسی، نقشه‌های سیلاب، و همچنین محل قرارگیری دارایی‌های حیاتی (بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های برق)، به شهرداری اجازه می‌دهد تا نقاط ضعف سیستمی در مقیاس شهر را شناسایی کند (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). برای مثال، GIS می‌تواند نشان دهد که اگر یک منطقه خاص دچار سیل شود، کدام خطوط انتقال برق یا لوله‌های اصلی آب در معرض خطر قطع شدن قرار می‌گیرند و کدام مسیرهای امدادرسانی به دلیل قرارگیری در مناطق سیل‌خیز مسدود خواهند شد؛ این بینش مکانی برای تدوین برنامه‌های واکنش سریع ضروری است. هنگامی که BIM و GIS یکپارچه می‌شوند، مدیریت ریسک به سطح بالاتری از دقت می‌رسد؛ مدل BIM یک ساختمان جدید اطلاعات دقیق مربوط به مواد استفاده شده و جزئیات طراحی لرزه‌ای آن را در اختیار دارد، و GIS این ساختمان را در زمینه جغرافیایی خود قرار داده و ریسک زمین‌شناسی آن محل (مانند نزدیکی به گسل فعال) را به آن اضافه می‌کند (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). ترکیب این داده‌ها امکان محاسبه "ریسک نهایی" یک دارایی را فراهم می‌آورد و به شهرداری اجازه می‌دهد تا بودجه‌های نگهداری را به گونه‌ای تخصیص دهد که ریسک‌های بالاتر (تلفیقی از آسیب‌پذیری سازه‌ای و خطر محیطی) در اولویت قرار گیرند.

ایمنی کارگران در سایت‌های ساختمانی شهرداری نیز به شدت تحت تأثیر این فناوری‌ها قرار می‌گیرد؛ BIM با ایجاد یک محیط مجازی از سایت پروژه، به شناسایی خطرات ایمنی مرتبط با ارتفاع، دسترسی به تجهیزات و جریان کار کمک می‌کند (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). با مدل‌سازی فرایندهای ساخت (D BIM۴)، می‌توان زمان‌هایی که کارگران در معرض خطرات بالقوه قرار دارند را مشخص کرده و برنامه‌های ایمنی را به نحوی تنظیم نمود که این زمان‌ها به حداقل برسد، که این امر در پروژه‌های پیچیده شهری با محدودیت فضا بسیار حیاتی است. در مدیریت ریسک‌های مرتبط با ایمنی عمومی در حین اجرای پروژه، همکاری BIM/GIS ضروری است؛ GIS محدودیت‌های دسترسی به سایت و مناطق خطر در اطراف پروژه را به تیم اجرایی منتقل می‌کند، در حالی که BIM ابزارهای ایمنی موقت (مانند داربست‌ها یا حفاظ‌های کارگاهی) را مدل می‌کند و اطمینان می‌دهد که آن‌ها به درستی نصب شده و با زیرساخت‌های مجاور (که در GIS ثبت شده‌اند) تداخل ندارند (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). این تضمین مکانی و ساختاری از رعایت استانداردهای ایمنی، ریسک‌های قانونی و تلفات جانی ناشی از عملیات ساختمانی را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، نقش این فناوری‌ها در افزایش تاب‌آوری در برابر تغییرات بلندمدت، مانند بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی یا تغییرات دمایی، قابل توجه است؛ مدل‌های BIM می‌توانند برای پیش‌بینی تغییرات خواص خاک یا مقاومت بتن در برابر فرسایش ناشی از تغییرات محیطی در طول دهه‌ها مورد استفاده قرار گیرند (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). GIS نیز با نقشه‌برداری از تأثیرات این تغییرات در سطح شهر، به شهرداری کمک می‌کند تا پروژه‌های زیرساختی جدید را با در نظر گرفتن این عوامل بلندمدت طراحی کند و اطمینان حاصل کند که سرمایه‌گذاری‌های کنونی، در آینده دچار شکست زودرس ناشی از عوامل محیطی پیش‌بینی نشده نخواهند شد. در نهایت، استفاده از فناوری‌های نوین، مدیریت ریسک را از یک فعالیت واکنشی مبتنی بر تجربه، به یک فرآیند تحلیلی، مبتنی بر شبیه‌سازی و داده‌های دقیق

تبدیل می‌کند؛ این تغییر پارادایم به شهرداری‌ها امکان می‌دهد تا زیرساخت‌های شهری خود را نه تنها برای شرایط عملیاتی فعلی، بلکه برای تحمل شوک‌های آینده و تضمین تداوم خدمات حیاتی، بهینه‌سازی کنند (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲).

۷. چالش‌ها، موانع و الزامات پیاده‌سازی BIM و GIS در شهرداری‌های ایران

پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز فناوری‌های نوین مانند BIM و GIS در بدنه سازمان‌های دولتی و شهرداری‌ها، به‌ویژه در محیطی مانند ایران، با مجموعه‌ای از چالش‌های ساختاری، فنی و فرهنگی پیچیده مواجه است که فراتر از صرف خرید نرم‌افزار است و نیازمند یک رویکرد جامع مدیریتی می‌باشد (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). اصلی‌ترین مانع، اغلب ماهیت سنتی و مقاوم به تغییر در ساختارهای بوروکراتیک سازمان‌های شهرداری است که دهه‌ها بر اساس گردش کار کاغذی و نقشه‌های دوبعدی عمل کرده‌اند؛ پذیرش BIM مستلزم یک تغییر پارادایم در نحوه درک مهندسان و مدیران از "مدارک پروژه" است، که از اسناد استاتیک به مدل‌های دینامیک و داده‌محور تبدیل می‌شود. یکی از موانع فنی عمده، عدم وجود یکپارچگی و استانداردهای ملی برای تبادل داده است؛ اگرچه نرم‌افزارهای BIM و GIS توانایی ارتباط با یکدیگر را دارند، اما عدم وجود یک استاندارد ملی و الزامات قانونی برای تولید مدل‌های BIM که حاوی اطلاعات مکانی (GIS-ready) باشند و قابلیت تبادل روان داده‌ها بین پلتفرم‌های مختلف را تضمین کنند، اجرای پروژه‌های یکپارچه را دشوار می‌سازد (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). بسیاری از پروژه‌های عمرانی فعلی شهرداری‌ها از پیمانکارانی استفاده می‌کنند که در سطوح مختلف بلوغ دیجیتال قرار دارند، که این عدم هماهنگی در سطح مهارت و نرم‌افزار، یکپارچه‌سازی داده‌ها را در طول چرخه حیات پروژه مختل می‌کند.

مسئله سرمایه‌گذاری اولیه و آموزش نیروی انسانی نیز چالش بزرگی است؛ نرم‌افزارهای BIM و GIS پیشرفته نیازمند سخت‌افزار قدرتمند و لایسنس‌های گران‌قیمت هستند که این امر می‌تواند برای بودجه شهرداری‌ها سنگین باشد، به‌ویژه شهرداری‌های مناطق کوچک‌تر (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). مهم‌تر از آن، نیاز به آموزش تخصصی نیروی انسانی برای استفاده مؤثر از این ابزارها وجود دارد؛ مهندسان و کارشناسان باید آموزش‌های عمیقی در زمینه مدل‌سازی پارامتریک، مدیریت داده‌های سه‌بعدی و تحلیل‌های مکانی ببینند، که این آموزش‌ها باید مستمر بوده و با توجه به سرعت پیشرفت فناوری به‌روز شوند.

در حوزه قانونی و قراردادی، فقدان دستورالعمل‌های مشخص برای الزامات BIM در قراردادهای عمومی شهرداری یکی از موانع اصلی است؛ تا زمانی که شهرداری‌ها به طور الزام‌آور، استفاده از BIM را در تمام یا بخش‌های مهمی از مناقصات عمرانی خود اجباری نکنند، پیمانکاران انگیزه کمی برای سرمایه‌گذاری در این فناوری خواهند داشت (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). همچنین، نیاز به شفاف‌سازی مالکیت داده‌های حاصل از مدل BIM و نحوه استفاده از آن‌ها در فاز بهره‌برداری (که معمولاً تحت مالکیت پیمانکار باقی می‌ماند) باید در قراردادها به طور دقیق مشخص شود تا شهرداری بتواند مدل As-Built غنی از داده را به طور کامل در اختیار گیرد. چالش مدیریتی دیگری که وجود دارد، پراکندگی اطلاعات در ساختارهای شهرداری است؛ واحدهای مختلف (ترافیک، آب، فاضلاب، شهرسازی) اغلب سیستم‌های GIS یا مدیریت دارایی مجزا و غیرمتصل به یکدیگر دارند (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). پیاده‌سازی BIM/GIS نیازمند ایجاد یک زیرساخت داده مکانی سازمانی (Enterprise GIS) متمرکز است که بتواند به عنوان دروازه‌ای برای دریافت و مدیریت تمامی مدل‌های BIM پروژه‌ها عمل کند و اطمینان حاصل کند که داده‌ها در سراسر سازمان به اشتراک گذاشته می‌شوند و یکپارچگی اطلاعات حفظ می‌گردد.

یکی از الزامات کلیدی برای موفقیت، ایجاد یک استراتژی تدریجی و مبتنی بر بلوغ است؛ شهرداری‌ها نباید سعی کنند بلافاصله تمام پروژه‌های خود را با BIM انجام دهند، بلکه باید با پروژه‌های کوچک‌تر یا فازهای خاصی (مانند مدل‌سازی تأسیسات زیرزمینی یا مدیریت نگهداری یک ساختمان کلیدی) شروع کرده و از این تجربیات برای توسعه دستورالعمل‌های داخلی و افزایش بلوغ دیجیتال سازمان استفاده کنند (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). این رویکرد گام به گام، ریسک شکست‌های بزرگ را کاهش داده و فرصت یادگیری عملی را فراهم می‌آورد. علاوه بر الزامات فنی و نرم‌افزاری، نیاز به حمایت مدیریتی در بالاترین سطوح شهرداری احساس می‌شود؛ بدون تعهد روشن از سوی شهردار و معاونین فنی برای سرمایه‌گذاری بلندمدت، تغییرات فرهنگی لازم برای پذیرش BIM و GIS به دلیل مقاومت‌های سازمانی در میان لایه‌های میانی از بین خواهد رفت (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳). این حمایت باید شامل تخصیص بودجه مشخص برای توسعه زیرساخت، تدوین سیاست‌های داخلی برای استفاده از مدل‌های دیجیتال به جای نقشه‌های کاغذی، و ترویج فرهنگ تبادل آزاد و دقیق اطلاعات باشد. در نهایت، برای غلبه بر این موانع در شهرداری‌های ایران، ضروری است که یک برنامه ملی یا شهری برای تدوین "سطح بلوغ BIM" و استانداردهای تبادل داده (مانند استانداردسازی تبادل داده‌های BIM به فرمت‌های مکانی سازگار با GIS) تدوین و اجباری شود؛ این چارچوب قانونی و فنی، تضمین می‌کند که سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در جهت فناوری، به طور مؤثر در مدیریت بهتر پروژه‌های عمرانی و زیرساخت‌های شهری به کار گرفته شوند (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲).

۸. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به تفصیل نشان داد که کاربرد فناوری‌های نوین مهندسی عمران، به‌ویژه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دیگر یک گزینه لوکس برای سازمان‌های مدیریت شهری نیست، بلکه به یک ضرورت استراتژیک برای تضمین کارایی، پایداری و تاب‌آوری پروژه‌های عمرانی در دنیای پیچیده امروزی تبدیل شده است. BIM با ارائه یک مدل سه‌بعدی پارامتریک و متمرکز بر داده، انقلابی در دقت برنامه‌ریزی، زمان‌بندی (D۴) و کنترل هزینه‌ها (D۵) پروژه‌ها ایجاد کرده و قابلیت‌هایی چون تشخیص تداخلات زودهنگام را فراهم می‌آورد که مستقیماً منجر به کاهش اتلاف منابع عمومی در فرآیند ساخت می‌شود (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). در سوی دیگر، GIS چارچوب مکانی لازم برای درک زمینه‌های پیچیده شهری، تحلیل اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی پروژه‌ها و مدیریت کارآمد دارایی‌های زیرساختی موجود در سطح کلان‌شهر را فراهم می‌سازد (رضوی و کریمی، ۲۰۲۳).

اوج این تحول در ادغام این دو فناوری محقق می‌شود؛ یکپارچه‌سازی BIM و GIS امکان ایجاد یک محیط دیجیتال دوقلو از زیرساخت‌های شهری را میسر می‌سازد که در آن اطلاعات دقیق جزئیات فنی (از BIM) به طور طبیعی در بستر مکانی بزرگتر (GIS) قرار می‌گیرند و یک چرخه حیات دیجیتال کامل برای هر دارایی شهری شکل می‌گیرد (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). این مدل یکپارچه، فرآیندهای تصمیم‌گیری را از سطح واکنشی به سطح پیشگیرانه ارتقا می‌دهد؛ از برنامه‌ریزی دقیق مسیرهای تأسیساتی در فاز طراحی گرفته تا اولویت‌بندی نگهداری دارایی‌های فرسوده بر اساس ریسک مکانی-فنی، همگی با دقت بی‌سابقه‌ای مدیریت می‌شوند. همچنین، مشخص شد که این فناوری‌ها مستقیماً در راستای اهداف توسعه پایدار و افزایش تاب‌آوری شهری عمل می‌کنند؛ BIM امکان بهینه‌سازی مصرف انرژی و مواد در طراحی سازه‌ها را فراهم می‌آورد، در حالی که GIS به شهرداری‌ها اجازه می‌دهد تا آسیب‌پذیری‌های مکانی شبکه زیرساختی را شناسایی و در برابر بلایای طبیعی، برنامه‌ریزی واکنشی کارآمدتری داشته باشند (موسوی و همکاران، ۲۰۲۰). این رویکرد یکپارچه، مدیریت ریسک را تقویت

کرده و تضمین می‌کند که سرمایه‌گذاری‌های عمرانی نه تنها زیرساخت‌های کنونی را حفظ می‌کنند، بلکه برای چالش‌های آینده نیز آماده‌سازی می‌شوند.

با این حال، پذیرش این فناوری‌ها در شهرداری‌های ایران با موانع قابل توجهی روبروست؛ مقاومت سازمانی در برابر تغییر، فقدان استانداردهای ملی الزام‌آور برای تبادل داده‌های BIM/GIS، نیاز به سرمایه‌گذاری سنگین اولیه در سخت‌افزار و نرم‌افزار، و مهم‌تر از همه، کمبود نیروی انسانی متخصص که بتواند گردش کار مشارکتی مبتنی بر مدل را درک و اجرا کند، از جمله چالش‌های اصلی هستند (نادری و رنجبردار، ۲۰۲۲). موفقیت در این مسیر مستلزم تدوین سیاست‌های روشن، تغییر در ساختار قراردادهای عمرانی برای الزام پیمانکاران به ارائه مدل‌های BIM غنی از داده، و توسعه زیرساخت‌های داده مکانی سازمانی (Enterprise GIS) متمرکز است. در نهایت، توصیه می‌شود شهرداری‌ها یک استراتژی تدریجی و مبتنی بر بلوغ را در پیش گیرند؛ شروع با پروژه‌های پایلوت در حوزه‌هایی با بیشترین بازگشت سرمایه (مانند مدل‌سازی زیرساخت‌های حیاتی) و تعهد مدیریت ارشد به توسعه مهارت‌های داخلی، سنگ بنای گذار موفقیت‌آمیز به مدیریت پروژه‌های عمرانی هوشمند و پایدار شهری خواهد بود (رحیمی و احمدی، ۲۰۲۱). پذیرش BIM و GIS فراتر از یک ارتقای ابزاری است؛ این یک بازتعریف بنیادین از نحوه تعامل سازمان شهرداری با دارایی‌های فیزیکی شهر است که در آینده، کیفیت زندگی شهروندان را مستقیماً تحت تأثیر قرار خواهد داد.

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.