فصلنامه نوآوری در مهندسی و تکنولوژی شماره ۲- دوره ۲- صفحات۹۴-۸۱
Journal of Innovation in Engineering and Technology
ISSN 3060-6098

ارزیابی و بهینه‌سازی مدیریت نگهداری و پایش روسازی معابر شهری با استفاده از سیستم‌های نوین مدیریت دارایی (PMS) در شهرداری‌ها

علیرضا اهرمی [*۱]

۱- کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشگاه لیان بوشهر. (پست سازمانی: کارشناس عمران).

چکیده:

مدیریت نگهداری و بهسازی روسازی معابر شهری یکی از مهم‌ترین وظایف شهرداری‌ها در راستای حفظ کیفیت زیرساخت‌های حمل‌ونقل، افزایش ایمنی ترافیک و بهبود سطح خدمات شهری محسوب می‌شود. رشد سریع شهرنشینی، افزایش حجم ترافیک و محدودیت منابع مالی مدیریت شهری موجب شده است که استفاده از روش‌های سنتی نگهداری معابر دیگر پاسخگوی نیازهای شهرهای امروزی نباشد. در این میان، سیستم‌های مدیریت روسازی (Pavement Management System: PMS) به عنوان یکی از رویکردهای نوین مدیریت دارایی‌های زیرساختی مطرح شده‌اند که با بهره‌گیری از داده‌های فنی، مدل‌های تحلیلی و فناوری‌های نوین اطلاعاتی، امکان پایش مستمر وضعیت روسازی و برنامه‌ریزی بهینه برای نگهداری و بهسازی معابر شهری را فراهم می‌کنند. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی و تبیین نقش سیستم‌های نوین مدیریت دارایی در بهینه‌سازی مدیریت نگهداری و پایش روسازی معابر شهری در شهرداری‌ها است. در این راستا تلاش شده است با بررسی مبانی نظری مدیریت دارایی‌های زیرساختی، تحلیل نقش سیستم‌های مدیریت روسازی و بررسی کاربرد فناوری‌های نوین در مدیریت زیرساخت‌های شهری، چارچوبی تحلیلی برای ارتقای کارایی مدیریت روسازی معابر ارائه شود. روش تحقیق در این پژوهش به صورت مروری ـ تحلیلی بوده و با مطالعه و بررسی منابع علمی مرتبط با حوزه مدیریت روسازی، مدیریت دارایی‌های زیرساختی، تحلیل هزینه چرخه عمر و فناوری‌های نوین مورد استفاده در مدیریت شهری انجام شده است. همچنین در این پژوهش تلاش شده است با تحلیل نتایج مطالعات پیشین، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر بهبود مدیریت نگهداری روسازی معابر شهری شناسایی و مورد بررسی قرار گیرد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از سیستم‌های مدیریت روسازی مبتنی بر داده می‌تواند نقش مؤثری در بهبود فرآیند تصمیم‌گیری مدیریتی، اولویت‌بندی پروژه‌های تعمیر و نگهداری و تخصیص بهینه منابع مالی در شهرداری‌ها ایفا کند. همچنین تلفیق این سیستم‌ها با فناوری‌هایی نظیر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و اینترنت اشیا می‌تواند دقت پایش وضعیت روسازی و کارایی مدیریت زیرساخت‌های شهری را به طور قابل توجهی افزایش دهد.

واژگان کلیدی: مدیریت روسازی معابر شهری، سیستم مدیریت روسازی (PMS)، مدیریت دارایی‌های زیرساختی، تحلیل هزینه چرخه عمر، فناوری‌های نوین شهری

۱. مقدمه

مدیریت زیرساخت‌های شهری یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیریت شهری در دهه‌های اخیر محسوب می‌شود. رشد سریع شهرنشینی، افزایش جمعیت شهری و گسترش شبکه‌های حمل‌ونقل موجب شده است که معابر شهری به عنوان یکی از مهم‌ترین دارایی‌های عمومی شهرها اهمیت ویژه‌ای پیدا کنند. روسازی معابر شهری علاوه بر نقش اساسی در تسهیل حمل‌ونقل و جابه‌جایی شهروندان، تأثیر قابل توجهی بر ایمنی ترافیک، کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و بهبود کیفیت محیط شهری دارد. از این رو مدیریت نگهداری و پایش وضعیت روسازی معابر به یکی از وظایف اساسی شهرداری‌ها تبدیل شده است. با این حال، بسیاری از شهرها هنوز از روش‌های سنتی و غیرسیستماتیک برای نگهداری معابر استفاده می‌کنند که این موضوع موجب افزایش هزینه‌ها و کاهش کارایی مدیریت زیرساخت‌ها می‌شود (خلیل گلصنملو، علی‌نژاد، و شهری، ۱۳۹۶).

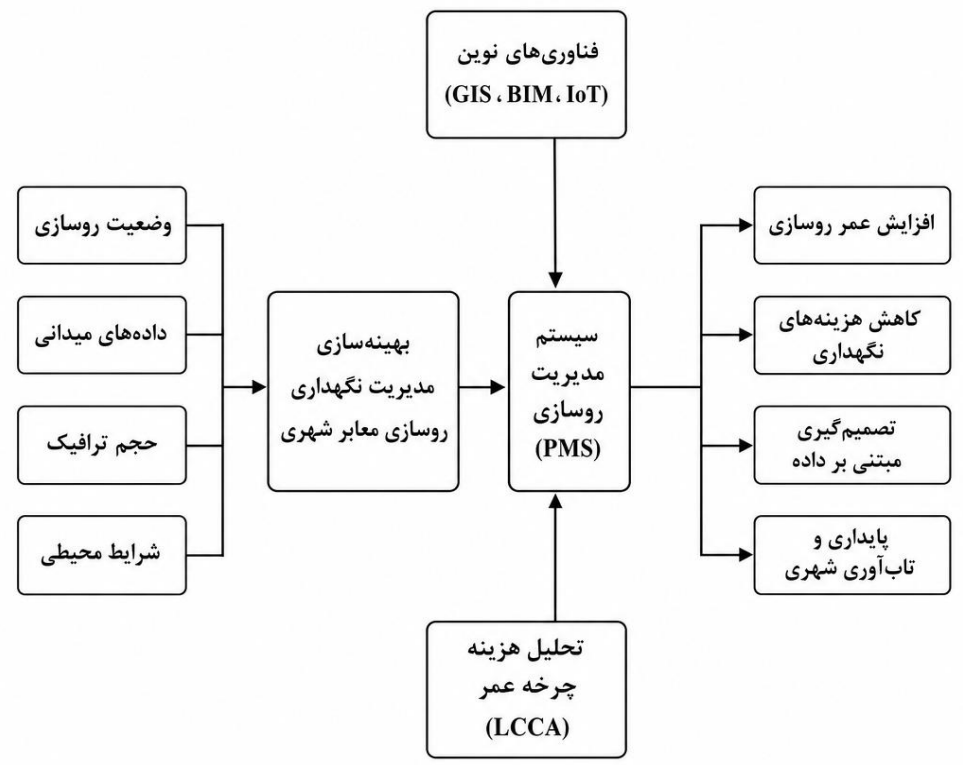
در سال‌های اخیر مفهوم مدیریت دارایی‌های زیرساختی به عنوان یک رویکرد نوین در مدیریت شهری مطرح شده است. این رویکرد بر پایه شناسایی، ارزیابی و مدیریت بهینه دارایی‌های شهری در طول چرخه عمر آن‌ها شکل گرفته است. در این چارچوب، سیستم‌های مدیریت روسازی به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی برای برنامه‌ریزی نگهداری و بهسازی معابر شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سیستم‌ها با استفاده از داده‌های میدانی، مدل‌های تحلیلی و الگوریتم‌های تصمیم‌گیری، امکان ارزیابی وضعیت روسازی و تعیین اولویت‌های تعمیر و نگهداری را فراهم می‌کنند (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از سیستم‌های مدیریت روسازی، امکان برنامه‌ریزی بلندمدت برای نگهداری شبکه معابر شهری است. در روش‌های سنتی، اقدامات نگهداری معمولاً به صورت واکنشی و پس از بروز خرابی‌های شدید انجام می‌شود، در حالی که سیستم‌های مدیریت روسازی با بهره‌گیری از مدل‌های پیش‌بینی خرابی، امکان انجام اقدامات پیشگیرانه و برنامه‌ریزی‌شده را فراهم می‌کنند. این امر موجب افزایش طول عمر روسازی و کاهش هزینه‌های نگهداری در بلندمدت می‌شود (خلیل گلصنملو، علی‌نژاد، و شهری، ۱۳۹۶).

از سوی دیگر، توسعه فناوری‌های نوین اطلاعاتی نقش مهمی در ارتقای کارایی سیستم‌های مدیریت روسازی ایفا کرده است. فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان امکان جمع‌آوری، تحلیل و مدیریت حجم عظیمی از داده‌های زیرساختی را فراهم کرده‌اند. این فناوری‌ها به مدیران شهری کمک می‌کنند تا تصمیمات مبتنی بر داده اتخاذ کرده و مدیریت بهینه‌تری بر دارایی‌های زیرساختی داشته باشند (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).همچنین در سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به پایداری و تاب‌آوری زیرساخت‌های شهری در برابر مخاطرات طبیعی و تغییرات اقلیمی شده است. روسازی معابر شهری به عنوان یکی از عناصر کلیدی زیرساخت‌های حمل‌ونقل باید به گونه‌ای طراحی و نگهداری شود که در برابر شرایط مختلف محیطی و بحران‌های طبیعی مقاوم باشد. در این زمینه استفاده از رویکردهای نوین مدیریت دارایی می‌تواند نقش مهمی در افزایش تاب‌آوری شبکه معابر شهری ایفا کند (میرزاجانی ننه‌کران، ۱۴۰۵).

از منظر اقتصادی نیز نگهداری مناسب روسازی معابر شهری اهمیت زیادی دارد. هزینه‌های تعمیر و نگهداری معابر بخش قابل توجهی از بودجه شهرداری‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. در صورتی که این هزینه‌ها به صورت بهینه مدیریت نشوند، ممکن است فشار مالی زیادی بر مدیریت شهری وارد شود. به همین دلیل استفاده از روش‌هایی مانند تحلیل هزینه چرخه عمر برای انتخاب بهترین راهکارهای نگهداری روسازی ضروری است (خلیل گلصنملو، علی‌نژاد، و شهری،

۱۳۹۶).علاوه بر این، پیشرفت‌های فناوری در حوزه مصالح و تکنولوژی‌های ساخت نیز فرصت‌های جدیدی برای بهبود عملکرد روسازی معابر شهری فراهم کرده است. استفاده از مصالح نوین و فناوری‌های پایدار می‌تواند موجب افزایش دوام روسازی و کاهش اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های عمرانی شود. این موضوع به ویژه در شهرهای بزرگ که با مشکلات زیست‌محیطی مواجه هستند اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (یاراحمدی، ۱۴۰۴).

با توجه به اهمیت موضوع، هدف این مقاله بررسی نقش سیستم‌های مدیریت روسازی در بهینه‌سازی فرآیند نگهداری و پایش معابر شهری در شهرداری‌ها است. در این پژوهش تلاش شده است با بررسی مطالعات و تجربیات موجود، چارچوبی تحلیلی برای بهبود مدیریت نگهداری روسازی در شهرها ارائه شود و نقش فناوری‌های نوین در ارتقای کارایی این سیستم‌ها مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱: مدل مفهومی یکپارچه‌سازی سیستم مدیریت روسازی (PMS) با فناوری‌های نوین و تحلیل‌های اقتصادی

شکل فوق، چارچوب عملیاتی و جریان داده‌ای تحقیق حاضر را برای بهینه‌سازی مدیریت نگهداری معابر شهری نشان می‌دهد. این مدل از چهار ستون اصلی تشکیل شده است که فرآیند تبدیل داده‌های خام به نتایج استراتژیک را به تصویر می‌کشد:

۱. ورودی‌های سیستم (داده‌های پایه): در بخش نخست، عوامل کلیدی شامل «وضعیت فعلی روسازی»، «داده‌های میدانی»، «حجم ترافیک» و «شرایط محیطی» به عنوان متغیرهای تأثیرگذار شناسایی می‌شوند. این داده‌ها زیربنای لازم برای هرگونه برنامه‌ریزی در سیستم‌های مدیریت دارایی را فراهم می‌کنند (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).

۲. فرآیند بهینه‌سازی: این ورودی‌ها در راستای «بهینه‌سازی مدیریت نگهداری روسازی معابر شهری» پردازش می‌شوند تا رویکرد مدیریتی از حالت سنتی و واکنشی به حالت پیشگیرانه و علمی تغییر یابد.

۳. هسته مرکزی (PMS) و ابزارهای پشتیبان: سیستم مدیریت روسازی (PMS) در مرکز این مدل قرار دارد. کارایی این سیستم از دو سو تقویت می‌شود:

- فناوری‌های نوین: تلفیق با GIS برای مکان‌محور کردن داده‌ها، BIM برای مدیریت اطلاعات ساخت و IoT جهت پایش برخط (خالقی و همکاران، ۱۴۰۱؛ اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).
- تحلیل هزینه چرخه عمر (LCCA): استفاده از ابزارهای اقتصادی برای اطمینان از اینکه گزینه‌های انتخابی در بلندمدت مقرون‌به‌صرفه هستند (خلیل گلصنملو، علی‌نژاد، و شهری، ۱۳۹۶).

۴. خروجی‌ها و اهداف استراتژیک: در نتیجه، پیاده‌سازی این مدل منجر به چهار دستاورد کلیدی برای شهرداری‌ها می‌شود: «افزایش عمر مفید روسازی»، «کاهش هزینه‌های نگهداری»، «تحقق تصمیم‌گیری مبتنی بر داده» و در سطح کلان، ارتقای «پایداری و تاب‌آوری شهری» در برابر چالش‌های زیرساختی و محیطی (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳؛ رجب‌پور و همکاران، ۲۰۱۷).

۲. مبانی نظری مدیریت دارایی‌های زیرساختی در شهرها

مدیریت دارایی‌های زیرساختی یکی از مفاهیم نوین در حوزه مدیریت شهری و مهندسی عمران است که در دهه‌های اخیر مورد توجه گسترده قرار گرفته است. این رویکرد بر پایه مدیریت سیستماتیک دارایی‌های فیزیکی مانند راه‌ها، پل‌ها، شبکه‌های آب و فاضلاب و سایر زیرساخت‌های شهری شکل گرفته و هدف اصلی آن افزایش کارایی بهره‌برداری از این دارایی‌ها در طول چرخه عمر آن‌ها است. در این چارچوب، روسازی معابر شهری به عنوان یکی از مهم‌ترین دارایی‌های زیرساختی شهرها نیازمند برنامه‌ریزی دقیق برای نگهداری و بهسازی است (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).در رویکرد مدیریت دارایی، تصمیم‌گیری در مورد نگهداری زیرساخت‌ها بر اساس تحلیل داده‌ها، ارزیابی وضعیت دارایی‌ها و پیش‌بینی عملکرد آینده آن‌ها انجام می‌شود. این رویکرد با استفاده از مدل‌های تحلیلی و ابزارهای مدیریتی تلاش می‌کند تا تعادل مناسبی میان هزینه‌ها، عملکرد زیرساخت‌ها و سطح خدمات ارائه شده به شهروندان برقرار کند. چنین رویکردی می‌تواند به طور قابل توجهی کارایی مدیریت زیرساخت‌های شهری را افزایش دهد (طاهری، جنانی، و همت‌فر، ۱۴۰۴).

یکی از عناصر کلیدی در مدیریت دارایی‌های زیرساختی، تحلیل چرخه عمر دارایی‌ها است. این تحلیل شامل بررسی هزینه‌های مرتبط با طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری و در نتیجه بازسازی یا جایگزینی زیرساخت‌ها می‌شود. در حوزه روسازی معابر، استفاده از تحلیل هزینه چرخه عمر می‌تواند به انتخاب بهترین راهکارهای نگهداری و تعمیر کمک کند و از تحمیل هزینه‌های اضافی در آینده جلوگیری نماید (خلیل گلصنملو، علی‌نژاد، و شهری، ۱۳۹۶).در بسیاری از

شهرهای پیشرفته، سیستم‌های مدیریت دارایی به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی در برنامه‌ریزی زیرساختی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سیستم‌ها با استفاده از پایگاه‌های داده گسترده و مدل‌های تحلیلی، اطلاعات دقیقی در مورد وضعیت زیرساخت‌ها در اختیار مدیران شهری قرار می‌دهند. چنین اطلاعاتی امکان تصمیم‌گیری آگاهانه و برنامه‌ریزی بلندمدت برای نگهداری زیرساخت‌ها را فراهم می‌کند (فخیمی‌حسین‌زاد و همکاران، ۱۴۰۳).یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت دارایی‌های شهری، محدودیت منابع مالی شهرداری‌ها است. در بسیاری از شهرها بودجه اختصاص یافته برای نگهداری زیرساخت‌ها کمتر از میزان مورد نیاز است. در چنین شرایطی استفاده از سیستم‌های مدیریت دارایی می‌تواند به اولویت‌بندی پروژه‌های نگهداری و تخصیص بهینه منابع کمک کند و از اتلاف منابع جلوگیری نماید (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).

علاوه بر مسائل اقتصادی، موضوع پایداری زیست‌محیطی نیز در مدیریت دارایی‌های شهری اهمیت زیادی دارد. زیرساخت‌های شهری باید به گونه‌ای طراحی و مدیریت شوند که کمترین آسیب را به محیط زیست وارد کنند. در این زمینه استفاده از فناوری‌های نوین و مصالح پایدار می‌تواند نقش مهمی در کاهش اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های عمرانی داشته باشد (مهمانی و نعمتی عموقین، ۱۴۰۴).همچنین توسعه فناوری‌های دیجیتال در سال‌های اخیر امکان مدیریت هوشمند زیرساخت‌های شهری را فراهم کرده است. ترکیب فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، کلان‌داده و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به جمع‌آوری و تحلیل داده‌های دقیق در مورد وضعیت زیرساخت‌ها کمک کند. این اطلاعات پایه‌ای برای تصمیم‌گیری مؤثر در حوزه مدیریت دارایی‌های شهری محسوب می‌شوند (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).در مجموع، مدیریت دارایی‌های زیرساختی به عنوان یک رویکرد جامع و سیستماتیک می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد زیرساخت‌های شهری ایفا کند. به کارگیری این رویکرد در حوزه مدیریت روسازی معابر شهری می‌تواند موجب افزایش طول عمر روسازی‌ها، کاهش هزینه‌های نگهداری و بهبود کیفیت خدمات شهری شود.

۳. سیستم‌های مدیریت روسازی (PMS) و نقش آن در مدیریت معابر شهری

سیستم‌های مدیریت روسازی به عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریتی در حوزه زیرساخت‌های حمل‌ونقل شهری شناخته می‌شوند. این سیستم‌ها مجموعه‌ای از روش‌ها، مدل‌ها و ابزارهای تحلیلی هستند که با هدف ارزیابی وضعیت روسازی، پیش‌بینی روند خرابی و برنامه‌ریزی اقدامات نگهداری و بهسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع PMS یک چارچوب تصمیم‌گیری مبتنی بر داده است که مدیران شهری را در انتخاب بهترین راهکارهای نگهداری روسازی یاری می‌دهد. استفاده از چنین سیستم‌هایی به ویژه در شهرهای بزرگ که دارای شبکه گسترده‌ای از معابر هستند اهمیت ویژه‌ای دارد (خلیل گلصنملو، علی‌نژاد، و شهری، ۱۳۹۶).

یکی از مهم‌ترین اهداف سیستم مدیریت روسازی، ایجاد یک پایگاه داده جامع از وضعیت فنی معابر شهری است. این پایگاه داده شامل اطلاعاتی مانند نوع روسازی، سن روسازی، میزان خرابی‌ها، شرایط ترافیکی و عوامل محیطی مؤثر بر عملکرد روسازی می‌شود. جمع‌آوری و تحلیل این داده‌ها امکان ارزیابی دقیق وضعیت شبکه معابر را فراهم کرده و به مدیران شهری کمک می‌کند تا برنامه‌های نگهداری را به شکل علمی و هدفمند طراحی کنند (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).در بسیاری از شهرهای پیشرفته، سیستم‌های PMS به صورت یک سامانه هوشمند مدیریت زیرساخت عمل

می‌کنند که با استفاده از داده‌های میدانی و مدل‌های پیش‌بینی عملکرد روسازی، سناریوهای مختلف نگهداری را تحلیل می‌کنند. این سیستم‌ها قادرند تأثیر هر گزینه تعمیراتی بر عملکرد روسازی و هزینه‌های آینده را شبیه‌سازی کرده و بهترین گزینه را پیشنهاد دهند. چنین رویکردی باعث می‌شود که تصمیم‌گیری در حوزه نگهداری معابر بر اساس تحلیل‌های دقیق مهندسی انجام شود (طاهری، جنانی، و همت‌فر، ۱۴۰۴).از سوی دیگر، یکی از ویژگی‌های مهم سیستم‌های مدیریت روسازی امکان اولویت‌بندی پروژه‌های نگهداری است. در شرایطی که منابع مالی شهرداری‌ها محدود است، انتخاب معابری که نیاز فوری‌تری به تعمیر دارند اهمیت زیادی پیدا می‌کند. سیستم PMS با استفاده از شاخص‌هایی مانند شاخص وضعیت روسازی و میزان ترافیک عبوری، معابر را رتبه‌بندی کرده و به مدیران شهری کمک می‌کند تا منابع موجود را به شکل بهینه تخصیص دهند (خلیل گلصنملو، علی‌نژاد، و شهری، ۱۳۹۶).علاوه بر این، سیستم‌های مدیریت روسازی می‌توانند در افزایش شفافیت و پاسخگویی مدیریت شهری نیز نقش مهمی ایفا کنند. با استفاده از داده‌های ثبت شده در این سیستم‌ها، امکان ارزیابی عملکرد برنامه‌های نگهداری و مقایسه آن‌ها در طول زمان فراهم می‌شود. این موضوع می‌تواند به بهبود فرآیند تصمیم‌گیری و افزایش اعتماد عمومی نسبت به عملکرد شهرداری‌ها کمک کند (فخیمی‌حسین‌زاد و همکاران، ۱۴۰۳).

یکی دیگر از مزایای مهم PMS، امکان برنامه‌ریزی بلندمدت برای نگهداری شبکه معابر است. در این سیستم‌ها با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی خرابی، می‌توان روند کاهش کیفیت روسازی را در سال‌های آینده تخمین زد و اقدامات پیشگیرانه را قبل از بروز خرابی‌های شدید انجام داد. این امر موجب کاهش هزینه‌های تعمیرات اساسی و افزایش عمر مفید روسازی می‌شود (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).از دیدگاه مدیریت شهری، استفاده از سیستم‌های مدیریت روسازی می‌تواند به ارتقای کارایی عملیات نگهداری معابر نیز منجر شود. با استفاده از اطلاعات دقیق در مورد وضعیت روسازی، برنامه‌ریزی عملیات تعمیر و نگهداری به شکل دقیق‌تر انجام شده و از انجام اقدامات غیرضروری جلوگیری می‌شود. این موضوع موجب کاهش اتلاف منابع مالی و انسانی در پروژه‌های عمرانی شهری خواهد شد (یاراحمدی، ۱۴۰۴).در مجموع می‌توان گفت که سیستم‌های مدیریت روسازی به عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت دارایی‌های شهری، نقش اساسی در بهبود فرآیند نگهداری معابر ایفا می‌کنند. استفاده از این سیستم‌ها می‌تواند موجب افزایش کارایی مدیریت شهری، کاهش هزینه‌های نگهداری و بهبود کیفیت خدمات حمل‌ونقل در شهرها شود.

۴. نقش فناوری‌های نوین در پایش و مدیریت روسازی شهری

در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیر فناوری اطلاعات و ارتباطات موجب تحول اساسی در شیوه مدیریت زیرساخت‌های شهری شده است. فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا، کلان‌داده، سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی امکان جمع‌آوری و تحلیل داده‌های گسترده در مورد وضعیت زیرساخت‌های شهری را فراهم کرده‌اند. این فناوری‌ها در حوزه مدیریت روسازی معابر نیز کاربردهای گسترده‌ای پیدا کرده و نقش مهمی در بهبود فرآیند پایش و نگهداری معابر شهری ایفا می‌کنند (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).یکی از مهم‌ترین فناوری‌های مورد استفاده در مدیریت روسازی، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است. این سیستم‌ها امکان ذخیره، تحلیل و نمایش داده‌های مکانی مربوط به شبکه معابر شهری را فراهم می‌کنند. با استفاده از GIS می‌توان اطلاعات مختلفی مانند وضعیت روسازی، حجم ترافیک

و موقعیت خرابی‌ها را در یک محیط یکپارچه تحلیل کرد. چنین قابلیتی به مدیران شهری کمک می‌کند تا تصمیمات دقیق‌تری در مورد برنامه‌های نگهداری معابر اتخاذ کنند (خالقی و همکاران، ۱۴۰۱).

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان یا BIM نیز یکی دیگر از فناوری‌های نوین است که در سال‌های اخیر در حوزه مدیریت زیرساخت‌های شهری مورد توجه قرار گرفته است. این فناوری امکان ایجاد مدل‌های دیجیتال دقیق از زیرساخت‌ها را فراهم کرده و اطلاعات فنی مربوط به آن‌ها را در طول چرخه عمر پروژه مدیریت می‌کند. استفاده از BIM در پروژه‌های عمرانی شهری می‌تواند موجب بهبود برنامه‌ریزی و مدیریت نگهداری زیرساخت‌ها شود (علمشاهی و همکاران، ۱۴۰۱).ترکیب فناوری BIM با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی نیز یکی از رویکردهای نوین در مدیریت شهری محسوب می‌شود. این ترکیب امکان ایجاد یک سیستم مدیریت یکپارچه برای زیرساخت‌های شهری را فراهم می‌کند که در آن اطلاعات مکانی و فنی زیرساخت‌ها به صورت همزمان در دسترس قرار می‌گیرد. چنین رویکردی می‌تواند در مدیریت شبکه معابر شهری و برنامه‌ریزی اقدامات نگهداری بسیار مؤثر باشد (خالقی و همکاران، ۱۴۰۱).علاوه بر این، فناوری اینترنت اشیا نیز نقش مهمی در توسعه سیستم‌های پایش هوشمند زیرساخت‌ها ایفا می‌کند. با استفاده از حسگرهای هوشمند نصب شده در سطح معابر، می‌توان اطلاعاتی مانند ارتعاشات، دما و فشارهای وارد بر روسازی را به صورت لحظه‌ای ثبت و تحلیل کرد. این اطلاعات می‌تواند برای شناسایی سریع خرابی‌ها و برنامه‌ریزی اقدامات تعمیراتی مورد استفاده قرار گیرد (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).از سوی دیگر استفاده از فناوری‌های نوین در مدیریت زیرساخت‌های شهری می‌تواند به کاهش هزینه‌های پروژه‌های عمرانی نیز کمک کند. با استفاده از مدل‌های دیجیتال و سیستم‌های هوشمند پایش، امکان شناسایی مشکلات در مراحل اولیه فراهم شده و از بروز خسارات گسترده در آینده جلوگیری می‌شود. این موضوع به ویژه در پروژه‌های بزرگ شهری اهمیت زیادی دارد (یاراحمدی، ۱۴۰۴).

در کنار مزایای فنی، استفاده از فناوری‌های نوین در مدیریت روسازی معابر می‌تواند به ارتقای پایداری محیطی شهرها نیز کمک کند. به عنوان مثال استفاده از مصالح نوین و فناوری‌های پایدار در ساخت روسازی می‌تواند موجب کاهش مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های عمرانی شود (مهمانی و نعمتی عموقین، ۱۴۰۴).در مجموع، فناوری‌های نوین به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تحول در مدیریت زیرساخت‌های شهری شناخته می‌شوند. به کارگیری این فناوری‌ها در سیستم‌های مدیریت روسازی می‌تواند موجب افزایش دقت پایش، بهبود برنامه‌ریزی نگهداری و ارتقای کارایی مدیریت شهری شود.

۵. تحلیل هزینه چرخه عمر در مدیریت نگهداری روسازی

تحلیل هزینه چرخه عمر یکی از مهم‌ترین ابزارهای اقتصادی در مدیریت زیرساخت‌های حمل‌ونقل محسوب می‌شود. این روش به مدیران شهری کمک می‌کند تا هزینه‌های مرتبط با طراحی، ساخت، نگهداری و بازسازی زیرساخت‌ها را در طول عمر مفید آن‌ها مورد بررسی قرار دهند. در حوزه مدیریت روسازی معابر شهری، استفاده از تحلیل هزینه چرخه عمر می‌تواند نقش مهمی در انتخاب بهترین راهکارهای نگهداری و تعمیر ایفا کند (خلیل گلصنملو، علی‌نژاد، و شهری، ۱۳۹۶).در روش تحلیل هزینه چرخه عمر، تمامی هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم مرتبط با یک زیرساخت در طول دوره بهره‌برداری آن محاسبه می‌شود. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های اولیه ساخت، هزینه‌های نگهداری دوره‌ای، هزینه‌های تعمیرات اساسی و حتی هزینه‌های اجتماعی ناشی از اختلال در ترافیک می‌شود. بررسی این عوامل به مدیران کمک می‌کند تا تصمیمات اقتصادی بهتری در مورد نگهداری روسازی اتخاذ کنند (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).

یکی از مزایای اصلی تحلیل هزینه چرخه عمر، امکان مقایسه گزینه‌های مختلف تعمیر و نگهداری است. در بسیاری از موارد ممکن است یک روش تعمیراتی هزینه اولیه کمتری داشته باشد، اما در بلندمدت هزینه‌های بیشتری را به همراه داشته باشد. تحلیل چرخه عمر این امکان را فراهم می‌کند که تمامی این هزینه‌ها در یک چارچوب جامع مورد ارزیابی قرار گیرند (خلیل گلصنملو، علی‌نژاد، و شهری، ۱۳۹۶).استفاده از این روش در سیستم‌های مدیریت روسازی می‌تواند به بهینه‌سازی تخصیص منابع مالی شهرداری‌ها کمک کند. با توجه به محدودیت بودجه‌های عمرانی، انتخاب راهکارهایی که کمترین هزینه چرخه عمر را دارند اهمیت زیادی پیدا می‌کند. این موضوع به ویژه در شهرهای بزرگ که دارای شبکه گسترده‌ای از معابر هستند اهمیت بیشتری دارد (طاهری، جنانی، و همت‌فر، ۱۴۰۴).از سوی دیگر تحلیل هزینه چرخه عمر می‌تواند در افزایش پایداری زیرساخت‌های شهری نیز نقش مهمی ایفا کند. در این روش علاوه بر هزینه‌های اقتصادی، اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی پروژه‌ها نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. چنین رویکردی می‌تواند به انتخاب راهکارهایی منجر شود که علاوه بر صرفه اقتصادی، کمترین آسیب را به محیط زیست وارد کنند (مهمانی و نعمتی عموقین، ۱۴۰۴).

همچنین استفاده از فناوری‌های نوین اطلاعاتی می‌تواند دقت تحلیل هزینه چرخه عمر را افزایش دهد. با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در سیستم‌های مدیریت روسازی، می‌توان مدل‌های دقیق‌تری برای پیش‌بینی هزینه‌های آینده ایجاد کرد. این موضوع موجب افزایش دقت تصمیم‌گیری در حوزه مدیریت زیرساخت‌ها می‌شود (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).در بسیاری از کشورها، تحلیل هزینه چرخه عمر به عنوان یکی از الزامات اصلی در برنامه‌ریزی پروژه‌های حمل‌ونقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رویکرد به مدیران کمک می‌کند تا از نگاه کوتاه‌مدت فاصله گرفته و تصمیماتی اتخاذ کنند که در بلندمدت به صرفه‌تر باشند (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).در نتیجه می‌توان گفت که تحلیل هزینه چرخه عمر یکی از ابزارهای کلیدی در مدیریت نگهداری روسازی معابر شهری است. استفاده از این روش می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های بلندمدت، افزایش عمر مفید روسازی و بهبود کارایی سیستم‌های مدیریت زیرساخت شود.

۶. چالش‌های اجرایی پیاده‌سازی سیستم مدیریت روسازی در شهرداری‌ها

پیاده‌سازی و استقرار عملیاتی سیستم‌های مدیریت روسازی (PMS) در ساختار پیچیده شهرداری‌ها، علیرغم تمامی مزایای تئوریک، با موانع جدی در لایه‌های مختلف مدیریتی و فنی روبروست. نخستین و بنیادی‌ترین چالش، نبود یک بانک اطلاعاتی جامع، یکپارچه و به‌روز از وضعیت موجود شبکه معابر شهری است. در بسیاری از کلان‌شهرهای ایران، داده‌های مربوط به مشخصات فنی لایه‌های روسازی، تاریخچه دقیق مرمت و نگهداری، و نوع خرابی‌های حادث شده به صورت پراکنده و غیرسیستمی ثبت می‌شوند. این نقص در داده‌های پایه، فرآیند تحلیل و مدل‌سازی در نرم‌افزارهای PMS را با خطای محاسباتی مواجه کرده و عملاً خروجی‌های سیستم را از اعتبار ساقط می‌کند. بر اساس اصول مدیریت دارایی، تا زمانی که تصویری شفاف از دارایی‌های موجود (Inventory) و وضعیت سلامت آن‌ها (Condition) در دست نباشد، هرگونه مدل‌سازی برای آینده محکوم به شکست است (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).در لایه دوم، محدودیت‌های شدید مالی و بودجه‌ای در شهرداری‌ها به عنوان ترمز محرک پروژه‌های نوین مدیریت زیرساخت عمل می‌کند. اگرچه سیستم‌های PMS در بلندمدت موجب صرفه‌جویی کلان می‌شوند، اما هزینه‌های اولیه استقرار شامل خرید تجهیزات پیشرفته پایش (مانند دستگاه‌های اسکن لیزری)، توسعه زیرساخت‌های نرم‌افزاری و جذب مشاوران متخصص، فراتر از توان مالی جاری بسیاری از مناطق شهرداری است. در مدیریت دارایی‌ها، همواره تضادی میان هزینه‌های

عملیاتی جاری و سرمایه‌گذاری‌های استراتژیک برای آینده وجود دارد که در نبود یک رویکرد جامع پویایی‌شناسی سیستم، معمولاً اولویت‌های کوتاه‌مدت بر بهینه‌سازی‌های بلندمدت غلبه می‌کنند و این موضوع مانع از تخصیص بودجه پایدار برای پایش مستمر روسازی می‌گردد (طاهری، جنانی، و همت‌فر، ۱۴۰۴).

چالش سوم که جنبه‌ای انسانی و تخصصی دارد، کمبود بدنه کارشناسی مسلط به دانش نوین مدیریت زیرساخت در شهرداری‌هاست. فرآیند پایش و تحلیل داده‌های روسازی صرفاً یک موضوع اجرایی نیست، بلکه نیازمند دانش عمیق در حوزه‌هایی چون آمار مهندسی، مدل‌های پیش‌بینی زوال (Deterioration Models) و اقتصاد مهندسی است. بسیاری از نیروهای بدنه اجرایی شهرداری با روش‌های سنتی خو گرفته‌اند و در برابر استفاده از مدل‌های ریاضی پیچیده و نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مقاومت می‌کنند. این شکاف دانشی میان تکنولوژی‌های نوین و اپراتورهای انسانی موجب می‌شود که حتی در صورت خریداری گران‌ترین نرم‌افزارها، از ظرفیت واقعی آن‌ها در مدیریت یکپارچه دارایی‌ها استفاده نشود (فخیمی‌حسین‌زاد، علوی متین، و ایرانزاده، ۱۴۰۳).ناهماهنگی میان‌سازمانی و پدیده «مدیریت جزیره‌ای» چالش چهارم و شاید آزاردهنده‌ترین مانع در مسیر حفظ کیفیت روسازی معابر شهری است. معابر شهری بستر اصلی عبور تمامی تاسیسات زیربنایی شامل آب، برق، گاز و مخابرات هستند. عدم وجود یک سیستم یکپارچه برای هماهنگی زمان‌بندی حفاری‌ها باعث می‌شود که بلافاصله پس از اجرای یک لایه روسازی جدید و باکیفیت بر اساس تحلیل‌های PMS، سازمان دیگری اقدام به حفاری و تخریب آن نماید. این نبود مدیریت متمرکز در حوزه فضاهای زیرزمینی و نخاله‌های ساختمانی، عملاً برنامه‌ریزی‌های نگهداری را بی اثر کرده و هزینه‌های تعمیرات را به صورت تصاعدی افزایش می‌دهد (بشارتی‌فر و درخشنده، ۱۳۹۹).

در حوزه فنی و نرم‌افزاری، چالش پنجم مربوط به عدم سازگاری و یکپارچگی (Interoperability) میان پلتفرم‌های مختلف اطلاعاتی در شهرداری است. برای مثال، داده‌های مکانی در سامانه‌های GIS شهرداری، مدل‌های هندسی در پلتفرم‌های BIM و داده‌های مالی در سیستم‌های حسابداری به صورت جداگانه مدیریت می‌شوند. عدم اتصال این پایگاه‌های داده به موتور اصلی سیستم مدیریت روسازی، مانع از تحلیل‌های چندبعدی می‌شود. برای رسیدن به یک شهر هوشمند واقعی، لازم است تمامی این لایه‌ها در قالب یک مدل واحد تلفیق شوند تا بتوان اثر تغییرات در یک بخش را بر کل سیستم ارزیابی کرد، که در حال حاضر فقدان این ساختار یکپارچه یک چالش اساسی است (خالقی و همکاران، ۱۴۰۱).ششمین چالش به متغیرهای محیطی و اقلیمی باز می‌گردد که مدل‌سازی دقیق روسازی را بسیار دشوار می‌کند. معابر شهری تحت تأثیر پدیده‌هایی چون جزایر گرمایشی، تغییرات شدید دمایی و نفوذ روان‌آب‌های سطحی هستند که سرعت زوال مصالح را تشدید می‌کنند. اکثر مدل‌های پیش‌بینی خرابی که در سیستم‌های PMS استفاده می‌شوند، بر اساس شرایط آزمایشگاهی یا اقلیم‌های خاص کالیبره شده‌اند و تعمیم آن‌ها به تمامی مناطق شهری بدون بومی‌سازی دقیق، منجر به نتایج غیرواقعی می‌شود. در نظر نگرفتن فناوری‌های پایدار و مصالح نوین متناسب با شرایط ژئوتکنیکی محلی، باعث می‌شود که برنامه‌های نگهداری نتوانند پایداری زیست‌محیطی مورد انتظار را فراهم کنند (مهمانی و نعمتی عموقین، ۱۴۰۴).

هفتمین موضوع، چالش «تاب‌آوری و مدیریت بحران» در طراحی سیستم‌های نگهداری است. اکثر شهرداری‌ها در مدیریت روسازی صرفاً بر روی بارهای ترافیکی روزمره تمرکز دارند و ظرفیت‌های تاب‌آوری زیرساخت در برابر سوانح طبیعی همچون زلزله را در محاسبات PMS لحاظ نمی‌کنند. این در حالی است که روسازی معابر شریان‌های حیاتی برای

امدادرسانی در زمان بحران هستند. عدم ادغام شاخص‌های تاب‌آوری لرزه‌ای در مدیریت دارایی‌های شهری باعث می‌شود که زیرساخت‌های حمل‌ونقل در برابر تکانه‌های شدید عملکردی ضعیف داشته باشند و فرآیند بازسازی پس از بحران با هزینه‌های گزاف و تاخیرهای طولانی روبرو شود (میرزاجانی ننه کران، ۱۴۰۵؛ رجب‌پور و همکاران، ۲۰۱۷).در نتیجه، چالش هشتم مربوط به «فرهنگ سازمانی و مقاومت در برابر تحول دیجیتال» است. مدیریت سنتی در شهرداری‌ها بر پایه تجربه‌های فردی و تصمیمات سلیقه‌ای شکل گرفته است، در حالی که PMS یک سیستم تصمیم‌یار بر پایه داده‌های شفاف است. شفافیتی که این سیستم‌ها ایجاد می‌کنند ممکن است با برخی ساختارهای غیررسمی سازمانی تضاد داشته باشد. بنابراین، بدون ایجاد یک تحول ساختاری در نگاه مدیران ارشد به مقوله «تعالی نگهداشت» و پذیرش اصول مهندسی قابلیت اطمینان، استقرار سیستم‌های مدیریت دارایی تنها در حد یک پروژه لوکس باقی مانده و هرگز به یک ابزار عملیاتی برای کاهش هزینه‌های بیت‌المال تبدیل نخواهد شد (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).

۷. راهکارهای بهینه‌سازی مدیریت نگهداری روسازی معابر شهری

برای عبور از چالش‌های مذکور و دستیابی به یک سیستم بهینه مدیریت معابر، نخستین راهکار استراتژیک، پیاده‌سازی چارچوب‌های نوین مدیریت دارایی‌های زیرساختی مبتنی بر استانداردهای جهانی (مانند ISO ۵۵۰۰۰) است. شهرداری‌ها باید نگاه خود را از «پروژه‌محوری» به «چرخه عمرمحوری» تغییر دهند. این امر مستلزم استقرار مدل‌هایی همچون چارچوب iREAM[۳] است که بر مهندسی قابلیت اطمینان و تعالی نگهداشت تأکید دارد. در این رویکرد، هر خیابان به عنوان یک دارایی سرمایه‌ای دیده می‌شود که باید در تمام طول عمر خود، با کمترین هزینه، بیشترین سطح خدمت‌رسانی را ارائه دهد. این تغییر نگرش زیربنای تمامی اقدامات فنی و مدیریتی بعدی خواهد بود (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).راهکار دوم، بهره‌گیری از قدرت تلفیقی فناوری‌های BIM، GIS و IoT در پایش وضعیت روسازی است. ایجاد یک «دوقلوی دیجیتال» از شبکه معابر که در آن داده‌های حسگرهای نصب شده در سطح جاده (اینترنت اشیا) به صورت برخط وضعیت تنش و کرنش روسازی را به مدل BIM منتقل کنند، انقلابی در پایش زیرساخت ایجاد می‌کند. این یکپارچگی اجازه می‌دهد تا قبل از وقوع خرابی‌های چشمی، ضعف‌های ساختاری در لایه‌های زیرین شناسایی شده و اقدامات پیشگیرانه با دقت میلی‌متری انجام شود. چنین سیستمی نه تنها هزینه‌های پایش دستی را حذف می‌کند، بلکه خطای انسانی در تشخیص نوع خرابی را به حداقل ممکن می‌رساند (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴؛ خالقی و همکاران، ۱۴۰۱).

راهکار سوم، الزام به استفاده از تحلیل هزینه چرخه عمر (LCCA) در تمامی فرآیندهای انتخاب مصالح و روش‌های تعمیر است. شهرداری‌ها باید از خرید مصالح ارزان‌قیمت با دوام پایین اجتناب کنند، چرا که هزینه‌های تعمیرات بعدی و اثرات ترافیکی ناشی از خرابی آن‌ها، چندین برابر صرفه‌جویی اولیه خواهد بود. با استفاده از ابزارهای LCCA، می‌توان ثابت کرد که استفاده از مصالح باکیفیت‌تر یا روش‌های نوین بهسازی، اگرچه هزینه اولیه بالاتری دارند، اما در یک بازه ۱۰ یا ۲۰ ساله، اقتصادی‌ترین گزینه برای شهر هستند. این تحلیل‌ها باید به عنوان پیوست الزامی تمامی مناقصات عمرانی در شهرداری‌ها گنجانده شوند (خلیل گلصنملو، علی‌نژاد، و شهری، ۱۳۹۶).چهارمین راهکار، تمرکز بر پایداری زیست‌محیطی و کاهش اثرات اقلیمی از طریق استفاده از «روسازی‌های خنک» و مصالح نوین است. با توجه به بحران جزایر گرمایشی در کلان‌شهرها، بهینه‌سازی روسازی نباید تنها به جنبه‌های سازه‌ای محدود شود، بلکه باید جنبه‌های حرارتی و

زیست‌محیطی را نیز در بر بگیرد. استفاده از مصالحی با ضریب بازتاب بالا (Albedo) و رویکردهای طبیعت‌محور (NBS) در حاشیه معابر، می‌تواند دمای سطح شهر را کاهش داده و عمر مفید آسفالت را که به شدت به حرارت حساس است، افزایش دهد. این اقدام ضمن بهینه‌سازی هزینه زیرساخت، به پایداری محیط زیست شهری نیز کمک شایانی می‌کند (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳؛ ایوبی، آهنی، و عظیم‌پور، ۱۴۰۵).

راهکار پنجم، ارتقای تاب‌آوری لرزه‌ای زیرساخت‌های حمل‌ونقل شهری است. در شهرهایی مانند تهران و تبریز که با خطر بالای زلزله روبرو هستند، سیستم مدیریت روسازی باید با نقشه‌های پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای تلفیق شود. راهکار عملی در این بخش، اولویت‌بندی بهسازی معابری است که در زمان وقوع زلزله نقش شریان‌های اصلی امداد و نجات را ایفا می‌کنند. بهسازی زیرساخت‌های آب و فاضلاب زیر معابر نیز بخشی از این راهکار است؛ چرا که شکستگی لوله‌ها در زمان زلزله می‌تواند منجر به فرونشست ناگهانی روسازی و انسداد مسیرهای حیاتی شود (علوی، کریمی، و اسدالله، ۱۳۹۷؛ میرزاجانی ننه کران، ۱۴۰۵).

ششمین راهکار، اصلاح فرآیندهای مدیریتی و ایجاد هماهنگی متمرکز از طریق «مدیریت هوشمند ساخت و ساز» است. شهرداری‌ها باید از پلتفرم‌های مشترک برای هماهنگی با سازمان‌های خدماتی استفاده کنند تا از حفاری‌های تکراری جلوگیری شود. استفاده از فناوری‌های بدون ترانشه (Trenchless technology) برای تعمیرات زیرزمینی و مدیریت علمی نخاله‌های ساختمانی، می‌تواند آسیب‌های وارده به روسازی را به حداقل برساند. همچنین، پیاده‌سازی مدل‌های شبیه‌سازی دینامیکی (Vensim) برای پیش‌بینی رفتارهای بلندمدت سیستم‌های شهری، به مدیران اجازه می‌دهد تا اثر سیاست‌های مختلف را قبل از اجرا در محیطی مجازی تست کنند (بشارتی‌فر و درخشنده، ۱۳۹۹؛ فخیمی‌حسین‌زاد و همکاران، ۱۴۰۳).راهکار هفتم بر محوریت «کاربران راه» و سرمایه‌گذاری بر روی ویژگی‌های فردی و اجتماعی در مدیریت ترافیک استوار است. مدیریت روسازی باید با مدیریت تقاضای سفر و رفتار رانندگان همسو شود. بررسی واکنش رانندگان به وضعیت روسازی نشان می‌دهد که خرابی‌های سطح راه نه تنها بر استهلاک خودرو، بلکه بر سلامت روان و رفتار ترافیکی شهروندان تأثیرگذار است. بنابراین، راهکار بهینه‌سازی باید شامل یک سیستم بازخورد شهروندی (Crowdsourcing) باشد که در آن مردم بتوانند خرابی‌ها را به صورت مستقیم در سامانه PMS گزارش کنند. این مشارکت مردمی، سرعت پاسخگویی شهرداری را افزایش داده و اعتماد عمومی را جلب می‌کند (خیبری و سرفراز، ۱۳۹۹).در نتیجه، راهکار هشتم، هوشمندسازی کامل مدیریت ساخت با استفاده از تلفیق فناوری‌های نوین و آموزش‌های تخصصی است. شهرداری‌ها باید به سمت استفاده از مصالح هوشمند و خودترمیم‌شونده حرکت کنند که با کاهش نیاز به نگهداری دستی، هزینه‌ها را در طولانی‌مدت به شدت کاهش می‌دهند. همچنین، برگزاری دوره‌های تخصصی مداوم برای کارشناسان عمران شهرداری در زمینه نرم‌افزارهای PMS و استانداردهای جدید پایداری، تضمین‌کننده تداوم کیفیت در مدیریت زیرساخت‌ها خواهد بود. تنها با ترکیبی از تکنولوژی پیشرفته، مدیریت علمی چرخه عمر و نیروی انسانی متخصص است که می‌توان به چشم‌انداز یک شهر هوشمند، تاب‌آور و پایدار دست یافت (یاراحمدی، ۱۴۰۴؛ ناصحی و نوحه‌گر، ۱۴۰۳).

۸. نتیجه‌گیری

مدیریت نگهداری روسازی معابر شهری یکی از مهم‌ترین وظایف شهرداری‌ها در راستای حفظ کیفیت زیرساخت‌های حمل‌ونقل و ارتقای سطح خدمات شهری محسوب می‌شود. با توجه به افزایش جمعیت شهری، رشد تقاضا برای حمل‌ونقل و محدودیت منابع مالی، استفاده از روش‌های سنتی نگهداری معابر دیگر پاسخگوی نیازهای شهرهای امروزی نیست. در چنین شرایطی استفاده از سیستم‌های مدیریت روسازی به عنوان یک رویکرد علمی و داده‌محور می‌تواند نقش مهمی در بهبود فرآیند مدیریت زیرساخت‌های شهری ایفا کند.بررسی مبانی نظری و مطالعات پیشین نشان می‌دهد که سیستم‌های مدیریت روسازی امکان ارزیابی دقیق وضعیت شبکه معابر، پیش‌بینی روند خرابی روسازی و برنامه‌ریزی بهینه اقدامات نگهداری را فراهم می‌کنند. این سیستم‌ها با استفاده از مدل‌های تحلیلی و پایگاه‌های داده گسترده می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در اختیار مدیران شهری قرار دهند و به آن‌ها کمک کنند تا تصمیمات مؤثرتری در حوزه مدیریت معابر اتخاذ کنند (برزگر، رمضانی، و برزگر، ۱۴۰۱).

همچنین نتایج مطالعات نشان می‌دهد که ترکیب سیستم‌های مدیریت روسازی با فناوری‌های نوین اطلاعاتی مانند سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و اینترنت اشیا می‌تواند دقت و کارایی فرآیند پایش زیرساخت‌های شهری را افزایش دهد. این فناوری‌ها امکان جمع‌آوری و تحلیل داده‌های گسترده را فراهم کرده و به مدیران شهری کمک می‌کنند تا برنامه‌های نگهداری را بر اساس اطلاعات واقعی طراحی کنند (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).از سوی دیگر تحلیل هزینه چرخه عمر به عنوان یکی از ابزارهای مهم اقتصادی می‌تواند در انتخاب بهترین راهکارهای نگهداری روسازی نقش مهمی ایفا کند. استفاده از این روش به مدیران شهری کمک می‌کند تا گزینه‌های مختلف تعمیر و نگهداری را از نظر اقتصادی مقایسه کرده و راهکارهایی را انتخاب کنند که در بلندمدت بیشترین صرفه اقتصادی را داشته باشند (خلیل گلصنملو، علی‌نژاد، و شهری، ۱۳۹۶).

با وجود مزایای فراوان سیستم‌های مدیریت روسازی، اجرای آن‌ها در شهرداری‌ها با چالش‌هایی مانند کمبود داده‌های دقیق، محدودیت منابع مالی، کمبود نیروی انسانی متخصص و نبود هماهنگی میان سازمان‌های خدماتی مواجه است. شناسایی و مدیریت این چالش‌ها می‌تواند نقش مهمی در موفقیت برنامه‌های مدیریت نگهداری روسازی داشته باشد (طاهری، جنانی، و همت‌فر، ۱۴۰۴).در این راستا استفاده از راهکارهایی مانند توسعه پایگاه‌های داده زیرساختی، استفاده از فناوری‌های نوین پایش، تقویت هماهنگی میان سازمان‌های خدمات‌رسان و آموزش نیروی انسانی می‌تواند به بهبود عملکرد سیستم‌های مدیریت روسازی کمک کند. همچنین استفاده از مصالح نوین و فناوری‌های پایدار در ساخت و نگهداری روسازی می‌تواند موجب افزایش دوام معابر و کاهش هزینه‌های نگهداری شود (یاراحمدی، ۱۴۰۴).در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که استقرار یک سیستم مدیریت روسازی مبتنی بر رویکرد مدیریت دارایی در شهرداری‌ها می‌تواند به افزایش کارایی مدیریت زیرساخت‌های شهری، کاهش هزینه‌های نگهداری و بهبود کیفیت خدمات حمل‌ونقل منجر شود. چنین رویکردی علاوه بر افزایش عمر مفید روسازی‌ها، می‌تواند زمینه‌ساز توسعه پایدار و هوشمند شهرها نیز باشد.به طور کلی آینده مدیریت معابر شهری به سمت استفاده گسترده از سیستم‌های هوشمند و داده‌محور حرکت می‌کند و شهرداری‌هایی که بتوانند از این فناوری‌ها به شکل مؤثر استفاده کنند، در مدیریت بهینه زیرساخت‌های شهری موفق‌تر خواهند بود.

منابع

- طاهری, ستایش, جنانی, همت فر. (۱۴۰۴). ارائه مدل مدیریت دارائی‌ها و بدهی‌های بانک مبتنی بر مدیریت ریسک با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها. دانش سرمایه‌گذاری, ۱۴(۵۴), ۱۲۹-۱۵۹.
- امیر حسین یار احمدی. (۱۴۰۴). کاربست مصالح نوین و فناوری‌های پایدار در پروژه‌های عمرانی شهری. نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری, ۹(۳۴), ۱۶۴-۱۷۴.
- سید مرتضی رضوی. (۱۴۰۴). بهینه‌سازی طراحی سیستم‌های حمل و نقل شهری با استفاده از مدل‌سازی BIM. نشریه علمی رویکردهای پژوهشی نوین مدیریت و حسابداری, ۹(۳۴), ۱۰-۱۷.
- برزگر علی اکبر, رمضانی سعید, برزگر حمید. (۱۴۰۱). ارائه چارچوبی برای مهندسی قابلیت اطمینان و تعالی نگهداشت (iREAM۳)، مبتنی بر اصول مدیریت دارایی.
- مهمانی رقیه, نعمتی عموقین رامین. (۱۴۰۴). کاربرد فناوری های نوین ژئوتکنیکی در بهبود پایداری زیست محیطی پروژه های عمرانی در شهر تهران: رویکردها و چالش های اجرایی.
- فخیمی حسین زاد سمیه, علوی متین یعقوب, ایرانزاده سلیمان. (۱۴۰۰۳). شبیه سازی مدیریت یکپارچه دارایی های سیستم های شبکه های توزیع آب و جمع آوری فاضلاب شهری با استفاده از مدل سازی دینامیکی نرم افزار ونسیم (مطالعه موردی شهر تبریز).
- خلیل گلصنملو ابراهیم, علی نژاد توحید, شهری رضا. (۱۳۹۶). نقش تحلیل هزینه چرخه عمر (LCCA) در مدیریت روسازی معابر در شهرستان خوی.
- عابدینی, آزمون, آذرکیش, کیارش, مشتاقی, سینا. (۱۴۰۳). کاهش اثرات جزایر گرمایشی شهر از طریق مصالح روسازی خنک (نمونه مطالعاتی: منطقه ۸کلان‌شهر تبریز). توسعه پایدار شهری, ۴(۱۳), ۱۰۵-۱۲۸.
- خیبری, سرفراز. (۱۳۹۹). ارزیابی ویژگیهای فردی رانندگان حمل ونقل همگانی بر واکنش نسبت به وضعیت روسازی معابر شهری. مطالعات مدیریت ترافیک, ۵۶(۱۵), ۳۷-۶۴.
- میرزاجانی ننه کران. (۱۴۰۵). ارزیابی تاب‌آوری لرزه‌ای شهری: مطالعه موردی کلان‌شهر تبریز. برنامه ریزی فضایی, ۱۶(۱), ۳۷-۸۰.
- اسگندری, صادقزاده تبریزی, حیدری پارام, بهنام. (۱۴۰۴). هوشمندسازی مدیریت ساخت با تلفیق BIM و IoT برای کاهش هدررفت مصالح و بهینه‌سازی هزینه پروژه‌های عمرانی. پژوهش های معماری نوین, ۵(۳), ۷-۲۲.
- علوی, کریمی, اسدالله. (۱۳۹۷). ارزیابی تاب‌آوری زیرساخت‌های شبکهٔ آب شهری در برابر زلزله (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۲ تهران). پژوهشهای جغرافیای انسانی, ۵۰(۴), ۹۷۷-۹۹۱.
- ناصحی, نوحه گر. (۱۴۰۳). طراحی مدل جامع ارزیابی تاب آوری زیرساخت های سبز با رویکرد چند معیاره فازی و طب سوزنی شهری. جغرافیا و پایداری محیط, ۱۵(۴), ۵۳-۷۹.
- ایوبی, آهنی, عظیم پور. (۱۴۰۵). تاب‌آوری در برابر سوانح طبیعی: ارزیابی کاربست رویکرد طبیعت‌محور (NBS) در زیرساخت‌های شهری (مطالعه موردی: مناطق منتخب تهران). مطالعات ساختار و کارکرد شهری.

- خالقی, علیزاده, شبیر, عزیزی. (۱۴۰۱). 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.
- رجب پور, نگار, نادرپور, فخاریان, پویان. (۲۰۱۷). ارزیابی تاب آوری لرزه ای زیرساخت های شهری. مصالح و سازه های بتنی, ۲(۱), ۷۷-۸۷.
- بهنوا, پورزرگر. (۱۴۰۲). واکاوی نقش فناوری‌های نوین بر ساختار کالبدی ساختمان‌های منتخب معماری معاصر ایران ۱۳۶۰-۱۴۰۰. نقش جهان-مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی, ۱۳(۱), ۳۰-۴۷.
- علوی سیدمحسن, مسعود محمد, کریمی اسداله. (۱۳۹۸). ارزیابی تاب آوری زیرساخت های شبکه ی آب شهری در برابر زلزله (مطالعه ی موردی: منطقه ی ۲ تهران).
- علمشاهی, رامین, فرجی, امید, رستم‌آبادی, سینا, ... امین. (۱۴۰۱). بررسی مزایای مدل‌سازی اطلاعات ساخت (BIM) در پروژه‌های تونلی مطالعه موردی ایستگاه متروی میدان نماز اسلامشهر. مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی, ۱۱(۳), ۲۷۷-۲۹۹.
- بشارتی فر, درخشنده. (۱۳۹۹). سازماندهی و انتخاب مکان بهینه نخاله های ساختمانی مطالعه موردی: شهر یاسوج. جغرافیا و برنامه ریزی منطقه‌ای, ۹(۳۷), ۹۵۸-۹۷۳.