فصلنامه نوآوری در مهندسی و تکنولوژی شماره ۲- دوره ۲- صفحات ۱۳۰-۱۱۸
Journal of Innovation in Engineering and Technology
ISSN 3060-6098

ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از مصالح نوین و پایدار در پروژه‌های عمرانی شهری با تأکید بر توسعه پایدار و کاهش هزینه‌های نگهداری

علیرضا اهرمی [*1]

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

چکیده

گسترش سریع شهرنشینی و افزایش تقاضا برای توسعه زیرساخت‌های شهری، ضرورت استفاده از رویکردهای نوین در طراحی و اجرای پروژه‌های عمرانی را بیش از پیش آشکار کرده است. در این میان، انتخاب مصالح ساختمانی مناسب به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در افزایش دوام سازه‌ها، کاهش هزینه‌های نگهداری و ارتقای پایداری محیط‌زیستی شهرها مطرح می‌شود. در سال‌های اخیر استفاده از مصالح نوین و پایدار در پروژه‌های عمرانی شهری مورد توجه پژوهشگران و مدیران شهری قرار گرفته است، زیرا این مصالح با ویژگی‌هایی نظیر دوام بیشتر، کاهش مصرف انرژی، قابلیت بازیافت و سازگاری بهتر با محیط‌زیست می‌توانند نقش مهمی در تحقق اهداف توسعه پایدار ایفا کنند. با این حال، به‌کارگیری این مصالح نیازمند ارزیابی دقیق فنی و اقتصادی است تا امکان تصمیم‌گیری آگاهانه در فرآیند برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های عمرانی فراهم شود. هدف اصلی این پژوهش، بررسی و ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از مصالح نوین و پایدار در پروژه‌های عمرانی شهری با تأکید بر نقش آن‌ها در کاهش هزینه‌های نگهداری و ارتقای توسعه پایدار است. برای دستیابی به این هدف، از روش پژوهش مروری و تحلیل منابع علمی استفاده شده است و مطالعات و پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه مصالح نوین، فناوری‌های ساخت پایدار، مدیریت دارایی‌های زیرساختی و تحلیل هزینه چرخه عمر مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند. در این پژوهش تلاش شده است با ترکیب یافته‌های مطالعات پیشین، چارچوبی جامع برای ارزیابی کارایی فنی و اقتصادی مصالح پایدار در پروژه‌های عمرانی شهری ارائه شود. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از مصالح نوین مانند بتن‌های پیشرفته، روسازی‌های خنک، مصالح بازیافتی و فناوری‌های نوین ژئوتکنیکی می‌تواند موجب افزایش دوام سازه‌ها، کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها در برابر عوامل محیطی و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری در طول چرخه عمر پروژه شود. همچنین بهره‌گیری از فناوری‌هایی مانند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و سیستم‌های مدیریت هوشمند ساخت می‌تواند نقش مهمی در بهینه‌سازی مصرف مصالح و کاهش هدررفت منابع داشته باشد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که اگرچه برخی مصالح نوین ممکن است هزینه اولیه بیشتری داشته باشند، اما در بلندمدت از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه بوده و موجب افزایش بهره‌وری سرمایه‌گذاری‌های عمرانی می‌شوند .

واژگان کلیدی: مصالح نوین، توسعه پایدار شهری، هزینه چرخه عمر، پروژه‌های عمرانی شهری، مدیریت زیرساخت‌ها

مقدمه

گسترش سریع شهرنشینی در دهه‌های اخیر موجب افزایش چشمگیر تقاضا برای زیرساخت‌های شهری، توسعه شبکه‌های حمل‌ونقل، ساختمان‌های عمومی، تأسیسات شهری و سایر پروژه‌های عمرانی شده است. در چنین شرایطی مدیریت پروژه‌های عمرانی شهری تنها به ساخت سازه‌ها محدود نمی‌شود، بلکه موضوعاتی مانند بهره‌وری اقتصادی، پایداری محیط‌زیستی، کاهش هزینه‌های نگهداری و افزایش عمر مفید زیرساخت‌ها نیز به دغدغه‌های اصلی مدیران شهری تبدیل شده است. از این‌رو استفاده از مصالح نوین و پایدار به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای بهبود عملکرد پروژه‌های عمرانی مورد توجه پژوهشگران و مدیران شهری قرار گرفته است. مصالح نوین با ویژگی‌هایی نظیر دوام بالا، کاهش مصرف انرژی، کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش کارایی سازه‌ها می‌توانند نقش مهمی در ارتقای کیفیت زیرساخت‌های شهری ایفا کنند. در واقع تغییر رویکرد از مصالح سنتی به مصالح پایدار می‌تواند علاوه بر بهبود عملکرد فنی پروژه‌ها، در بلندمدت منجر به کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از زیرساخت‌های شهری شود (یاراحمدی، ۱۴۰۴).

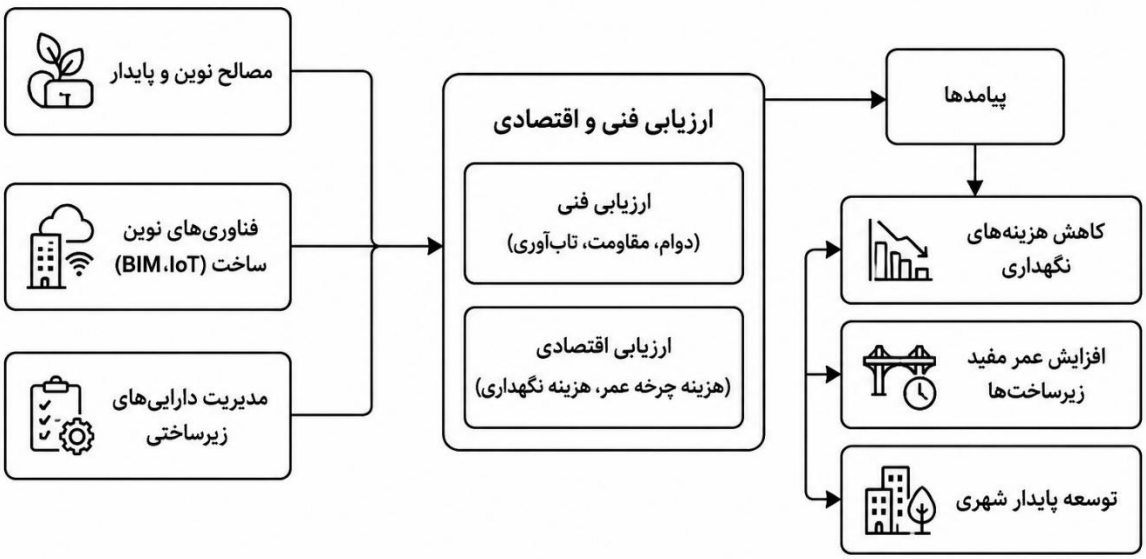
در بسیاری از شهرهای در حال توسعه، بخش قابل توجهی از هزینه‌های مدیریت شهری صرف نگهداری و تعمیر زیرساخت‌های فرسوده می‌شود. این مسئله نشان می‌دهد که انتخاب مصالح در مرحله طراحی و اجرا تأثیر مستقیمی بر هزینه‌های بلندمدت مدیریت شهری دارد. اگرچه مصالح سنتی ممکن است در نگاه اول هزینه اولیه کمتری داشته باشند، اما در طول چرخه عمر پروژه ممکن است هزینه‌های قابل توجهی را به سیستم مدیریت شهری تحمیل کنند. از این‌رو امروزه در مطالعات مهندسی عمران و مدیریت شهری، تحلیل چرخه عمر به‌عنوان ابزاری مهم برای ارزیابی اقتصادی مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رویکرد امکان مقایسه دقیق هزینه‌های اولیه، هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های پایان عمر سازه را فراهم می‌کند و به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا گزینه‌های پایدارتر را انتخاب کنند (خلیل‌گلصنملو و همکاران، ۱۳۹۶).از سوی دیگر، مسئله توسعه پایدار به یکی از مهم‌ترین چارچوب‌های نظری در برنامه‌ریزی شهری و مهندسی عمران تبدیل شده است. توسعه پایدار بر ایجاد تعادل میان سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تأکید دارد و تلاش می‌کند تا نیازهای نسل حاضر بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای تأمین نیازهای خود برآورده شود. در حوزه پروژه‌های عمرانی شهری، این مفهوم به معنای استفاده از فناوری‌ها و مصالحی است که ضمن افزایش کارایی سازه‌ها، کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد کنند. استفاده از مصالح قابل بازیافت، کاهش تولید پسماندهای ساختمانی و کاهش مصرف انرژی در فرآیند تولید مصالح از جمله اهدافی است که در چارچوب توسعه پایدار دنبال می‌شود (بشارتی‌فر و درخشنده، ۱۳۹۹).

در سال‌های اخیر پیشرفت‌های فناوری موجب ظهور طیف گسترده‌ای از مصالح نوین در صنعت ساخت‌وساز شده است. این مصالح شامل بتن‌های توانمند، بتن‌های خودترمیم‌شونده، آسفالت‌های خنک، مصالح بازیافتی، مصالح سبک و انواع فناوری‌های نوین ژئوتکنیکی هستند که می‌توانند عملکرد سازه‌ها را به شکل قابل توجهی بهبود دهند. استفاده از چنین مصالحی در پروژه‌های عمرانی شهری نه‌تنها موجب افزایش دوام سازه‌ها می‌شود بلکه می‌تواند در کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی نیز نقش مهمی ایفا کند. به‌عنوان مثال استفاده از روسازی‌های خنک می‌تواند در کاهش پدیده جزیره گرمایی شهری مؤثر باشد و شرایط زیست‌محیطی شهرها را بهبود دهد (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳).همزمان با پیشرفت مصالح نوین، فناوری‌های مدیریت ساخت نیز توسعه یافته‌اند و ابزارهای جدیدی برای مدیریت بهینه پروژه‌های عمرانی در اختیار مهندسان قرار گرفته است. فناوری‌هایی نظیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و اینترنت اشیا (IoT) امکان مدیریت دقیق‌تر منابع، کاهش هدررفت مصالح و افزایش بهره‌وری پروژه‌های عمرانی را فراهم کرده‌اند. این فناوری‌ها

با فراهم کردن امکان شبیه‌سازی دقیق پروژه‌ها پیش از اجرا، به مهندسان کمک می‌کنند تا گزینه‌های مختلف مصالح را از نظر فنی و اقتصادی ارزیابی کرده و بهترین گزینه را انتخاب کنند (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).

یکی دیگر از چالش‌های مهم در پروژه‌های عمرانی شهری، مسئله تاب‌آوری زیرساخت‌ها در برابر مخاطرات طبیعی به‌ویژه زلزله است. شهرهای بزرگ ایران به دلیل قرارگیری در مناطق لرزه‌خیز نیازمند زیرساخت‌هایی هستند که بتوانند در برابر مخاطرات طبیعی مقاومت کافی داشته باشند. استفاده از مصالح نوین و فناوری‌های ساخت پیشرفته می‌تواند به افزایش تاب‌آوری سازه‌ها کمک کند و خسارات ناشی از حوادث طبیعی را کاهش دهد. در این زمینه مطالعات مختلف نشان داده‌اند که انتخاب مصالح مناسب در کنار طراحی مهندسی دقیق می‌تواند نقش مهمی در افزایش ایمنی زیرساخت‌های شهری ایفا کند (رجب‌پور و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر مسائل فنی، استفاده از مصالح نوین نیازمند رویکردهای مدیریتی مناسب در سطح کلان شهری است. مدیریت دارایی‌های زیرساختی یکی از مفاهیم مهم در مدیریت شهری است که بر برنامه‌ریزی بلندمدت برای نگهداری و توسعه زیرساخت‌ها تأکید دارد. در این رویکرد تلاش می‌شود تا با استفاده از مدل‌های تحلیلی و مدیریتی، هزینه‌های چرخه عمر زیرساخت‌ها به حداقل برسد و بهره‌وری سرمایه‌گذاری‌های عمرانی افزایش یابد. استفاده از چنین رویکردهایی می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر در زمینه انتخاب مصالح و فناوری‌های ساخت کمک کند (برزگر و همکاران، ۱۴۰۱).

با توجه به مطالب مطرح‌شده، ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از مصالح نوین و پایدار در پروژه‌های عمرانی شهری به موضوعی مهم در حوزه مهندسی عمران تبدیل شده است. این پژوهش تلاش می‌کند با بررسی مطالعات انجام‌شده در این حوزه، مزایا، چالش‌ها و فرصت‌های استفاده از مصالح پایدار در پروژه‌های عمرانی شهری را تحلیل کند و نقش آن‌ها را در کاهش هزینه‌های نگهداری و تحقق اهداف توسعه پایدار مورد بررسی قرار دهد. نتایج چنین پژوهش‌هایی می‌تواند به مدیران شهری، مهندسان عمران و سیاست‌گذاران کمک کند تا تصمیمات آگاهانه‌تری در زمینه انتخاب مصالح و فناوری‌های ساخت اتخاذ کنند.



شکل۱. مدل مفهومی ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از مصالح نوین و پایدار در پروژه‌های عمرانی شهری با تأکید بر کاهش هزینه‌های نگهداری و تحقق توسعه پایدار.

شکل ۱ چارچوب مفهومی پژوهش را نشان می‌دهد که در آن افزایش شهرنشینی و رشد تقاضا برای زیرساخت‌های شهری به‌عنوان عامل محرک اصلی در توسعه پروژه‌های عمرانی مطرح شده است. در پاسخ به این نیاز، استفاده از مصالح نوین و پایدار به‌عنوان یکی از راهکارهای اصلی برای بهبود عملکرد زیرساخت‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. در این مدل، مصالح نوین از طریق دو بعد اصلی شامل ارزیابی فنی و ارزیابی اقتصادی مورد بررسی قرار می‌گیرند. ارزیابی فنی به شاخص‌هایی مانند دوام، مقاومت سازه‌ای، سازگاری با شرایط محیطی و افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌ها اشاره دارد، در حالی که ارزیابی اقتصادی بر تحلیل هزینه چرخه عمر، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و افزایش بهره‌وری سرمایه‌گذاری‌های عمرانی تمرکز دارد. تعامل این دو بعد موجب بهبود عملکرد پروژه‌های عمرانی شهری شده و در نتیجه به پیامدهایی نظیر افزایش عمر مفید زیرساخت‌ها، کاهش هزینه‌های بلندمدت مدیریت شهری و حرکت به سوی توسعه پایدار شهری منجر می‌شود. این مدل مفهومی نشان می‌دهد که انتخاب آگاهانه مصالح در مرحله طراحی و اجرای پروژه‌های عمرانی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتقای کارایی فنی و اقتصادی زیرساخت‌های شهری داشته باشد.

۲. مفاهیم نظری مصالح نوین و توسعه پایدار در پروژه‌های عمرانی شهری

تحولات گسترده در حوزه مهندسی عمران طی دهه‌های اخیر موجب شده است که مفهوم مصالح ساختمانی از یک عنصر صرفاً فیزیکی به یک عامل راهبردی در توسعه پایدار شهری تبدیل شود. مصالح ساختمانی نه‌تنها بر عملکرد فنی سازه‌ها تأثیر می‌گذارند بلکه نقش مهمی در مصرف انرژی، تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی و هزینه‌های نگهداری زیرساخت‌ها دارند. به همین دلیل در رویکردهای جدید برنامه‌ریزی شهری، انتخاب مصالح به‌عنوان بخشی از سیاست‌های توسعه پایدار مورد توجه قرار گرفته است. مصالح نوین با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته تولید می‌شوند و در مقایسه با مصالح سنتی دارای ویژگی‌هایی مانند مقاومت بالاتر، وزن کمتر، دوام بیشتر و سازگاری بهتر با محیط‌زیست هستند (یاراحمدی، ۱۴۰۴).

در چارچوب توسعه پایدار، پروژه‌های عمرانی باید به گونه‌ای طراحی و اجرا شوند که ضمن تأمین نیازهای زیرساختی شهرها، کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد کنند. این مسئله به‌ویژه در شهرهای بزرگ که با مشکلاتی نظیر آلودگی هوا، مصرف بالای انرژی و تولید حجم زیاد پسماند ساختمانی مواجه هستند اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. استفاده از مصالح پایدار می‌تواند در کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی پروژه‌های عمرانی نقش مؤثری داشته باشد. مصالح بازیافتی، بتن‌های سبز و روسازی‌های نوین از جمله نمونه‌هایی هستند که در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند (بهنوا و پورزرگر، ۱۴۰۲).یکی از مهم‌ترین مزایای مصالح نوین، افزایش دوام و عمر مفید سازه‌ها است. دوام بالاتر به معنای کاهش نیاز به تعمیرات مکرر و در نتیجه کاهش هزینه‌های نگهداری زیرساخت‌ها خواهد بود. در پروژه‌های عمرانی شهری که معمولاً با سرمایه‌گذاری‌های کلان همراه هستند، کاهش هزینه‌های نگهداری می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر اقتصاد شهری داشته باشد. در این زمینه تحلیل چرخه عمر پروژه‌ها به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر برای ارزیابی اقتصادی مصالح مورد استفاده قرار می‌گیرد (خلیل‌گلصنملو و همکاران، ۱۳۹۶).

در کنار مسائل اقتصادی، مصالح نوین می‌توانند به بهبود شرایط زیست‌محیطی شهرها نیز کمک کنند. به‌عنوان مثال استفاده از روسازی‌های خنک می‌تواند دمای سطح معابر شهری را کاهش داده و اثرات جزیره گرمایی شهری را کنترل کند. این مسئله در شهرهای بزرگ که با افزایش دمای محیط و کاهش کیفیت زندگی شهروندان مواجه هستند اهمیت زیادی دارد. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از چنین مصالحی می‌تواند علاوه بر کاهش دمای محیط، مصرف انرژی در ساختمان‌های مجاور را نیز کاهش دهد (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳).همچنین فناوری‌های نوین ژئوتکنیکی نقش مهمی در افزایش پایداری پروژه‌های عمرانی دارند. این فناوری‌ها با بهبود رفتار خاک و افزایش پایداری سازه‌ها می‌توانند خطرات ناشی از نشست زمین، لغزش خاک و سایر مشکلات ژئوتکنیکی را کاهش دهند. به‌کارگیری این فناوری‌ها به‌ویژه در پروژه‌های شهری که در مناطق متراکم اجرا می‌شوند اهمیت زیادی دارد و می‌تواند از بروز خسارات اقتصادی و زیست‌محیطی جلوگیری کند (مهمانی و نعمتی عموقین، ۱۴۰۴).

در سال‌های اخیر استفاده از فناوری‌های دیجیتال نیز به‌عنوان یکی از عوامل مهم در توسعه پایدار پروژه‌های عمرانی مطرح شده است. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان امکان مدیریت دقیق اطلاعات پروژه در تمام مراحل چرخه عمر را فراهم می‌کند و به مهندسان اجازه می‌دهد تا عملکرد مصالح مختلف را پیش از اجرا مورد ارزیابی قرار دهند. این فناوری می‌تواند نقش مهمی در کاهش هدررفت مصالح و افزایش بهره‌وری پروژه‌ها داشته باشد (علمشاهی و همکاران، ۱۴۰۱).از سوی دیگر، ترکیب فناوری‌های اطلاعاتی با سیستم‌های مدیریت شهری می‌تواند به توسعه شهرهای هوشمند کمک کند. تلفیق سیستم‌های BIM و GIS امکان تحلیل دقیق داده‌های مکانی و ساختمانی را فراهم کرده و زمینه را برای تصمیم‌گیری بهتر در حوزه مدیریت زیرساخت‌های شهری فراهم می‌کند. این رویکرد می‌تواند به شناسایی نقاط ضعف زیرساخت‌ها و برنامه‌ریزی برای بهبود آن‌ها کمک کند (خالقی و همکاران، ۱۴۰۱). در مجموع می‌توان گفت که مصالح نوین و فناوری‌های مرتبط با آن‌ها نقش مهمی در تحقق اهداف توسعه پایدار شهری دارند. این مصالح نه‌تنها موجب افزایش کارایی سازه‌ها می‌شوند بلکه می‌توانند به کاهش هزینه‌های اقتصادی و بهبود شرایط زیست‌محیطی شهرها نیز کمک کنند. از این‌رو بررسی ابعاد فنی و اقتصادی استفاده از این مصالح در پروژه‌های عمرانی شهری اهمیت زیادی دارد.

۳. انواع مصالح نوین مورد استفاده در پروژه‌های عمرانی شهری

مصالح نوین ساختمانی طی سال‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین محورهای تحول در صنعت ساخت‌وساز تبدیل شده‌اند. پیشرفت فناوری‌های تولید مصالح موجب شده است که انواع جدیدی از مصالح با ویژگی‌های فنی برتر و عملکرد زیست‌محیطی بهتر به بازار عرضه شوند. این مصالح می‌توانند در بخش‌های مختلف پروژه‌های عمرانی شهری از جمله ساختمان‌ها، معابر، پل‌ها، شبکه‌های زیرساختی و تأسیسات شهری مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از چنین مصالحی علاوه بر افزایش کیفیت سازه‌ها، می‌تواند به کاهش هزینه‌های نگهداری و افزایش عمر مفید زیرساخت‌ها کمک کند (یاراحمدی، ۱۴۰۴).یکی از مهم‌ترین دسته‌های مصالح نوین، بتن‌های پیشرفته هستند که شامل انواع بتن‌های توانمند، بتن‌های الیافی و بتن‌های خودترمیم‌شونده می‌شوند. این بتن‌ها دارای مقاومت مکانیکی بالاتر، دوام بیشتر و عملکرد بهتر در شرایط محیطی سخت هستند. به‌کارگیری این نوع بتن‌ها در پروژه‌های عمرانی شهری می‌تواند موجب افزایش عمر مفید سازه‌ها و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری شود. از سوی دیگر استفاده از افزودنی‌های معدنی در بتن می‌تواند به کاهش مصرف سیمان و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند (بهنوا و پورزرگر، ۱۴۰۲).

روسازی‌های نوین نیز یکی دیگر از حوزه‌های مهم کاربرد مصالح پایدار در پروژه‌های شهری محسوب می‌شوند. در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در زمینه توسعه روسازی‌های خنک، آسفالت‌های بازیافتی و روسازی‌های با دوام بالا انجام شده است. این نوع روسازی‌ها می‌توانند علاوه بر افزایش عمر مفید معابر شهری، به کاهش دمای سطح خیابان‌ها و بهبود شرایط زیست‌محیطی شهرها کمک کنند. استفاده از چنین فناوری‌هایی به‌ویژه در کلان‌شهرها که با پدیده جزیره گرمایی مواجه هستند اهمیت زیادی دارد (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳).یکی دیگر از حوزه‌های مهم در توسعه مصالح نوین، استفاده از مواد بازیافتی در ساخت‌وساز است. بازیافت نخاله‌های ساختمانی و استفاده مجدد از آن‌ها در پروژه‌های عمرانی می‌تواند به کاهش مصرف منابع طبیعی و کاهش حجم پسماندهای ساختمانی کمک کند. این رویکرد علاوه بر مزایای زیست‌محیطی، از نظر اقتصادی نیز می‌تواند برای مدیریت شهری سودمند باشد زیرا هزینه‌های مربوط به دفع پسماندهای ساختمانی را کاهش می‌دهد (بشارتی‌فر و درخشنده، ۱۳۹۹).

مصالح سبک نیز از جمله مصالحی هستند که در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. این مصالح با کاهش وزن سازه‌ها می‌توانند بارهای وارده بر پی و سازه را کاهش دهند و در نتیجه ایمنی سازه‌ها را در برابر زلزله افزایش دهند. استفاده از مصالح سبک در ساختمان‌ها و سازه‌های شهری می‌تواند نقش مهمی در افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌ها در برابر مخاطرات طبیعی داشته باشد (میرزاجانی ننه‌کران، ۱۴۰۵).علاوه بر این، فناوری‌های نوین ژئوتکنیکی نیز در توسعه مصالح پایدار نقش مهمی ایفا می‌کنند. استفاده از ژئوسنتتیک‌ها، ژئوگریدها و سایر مواد نوین در مهندسی ژئوتکنیک می‌تواند به بهبود پایداری خاک و افزایش ایمنی سازه‌ها کمک کند. این فناوری‌ها در پروژه‌هایی مانند دیوارهای حائل، تثبیت خاک و ساخت راه‌ها کاربرد گسترده‌ای دارند (مهمانی و نعمتی عموقین، ۱۴۰۴).در کنار مصالح فیزیکی، استفاده از فناوری‌های مدیریتی و اطلاعاتی نیز می‌تواند به بهینه‌سازی مصرف مصالح در پروژه‌های عمرانی کمک کند. به‌کارگیری سیستم‌های مدیریت هوشمند ساخت‌وساز باعث می‌شود که میزان هدررفت مصالح در پروژه‌ها کاهش یابد و منابع به شکل کارآمدتری مورد استفاده قرار گیرند. این مسئله می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کاهش هزینه‌های پروژه داشته باشد (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).در نتیجه می‌توان گفت که توسعه و استفاده از مصالح نوین در پروژه‌های عمرانی شهری فرصت‌های قابل توجهی برای بهبود عملکرد فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی زیرساخت‌های شهری فراهم می‌کند. با این حال بهره‌گیری مؤثر از این مصالح نیازمند برنامه‌ریزی دقیق، مدیریت صحیح منابع و استفاده از فناوری‌های نوین در فرآیند طراحی و اجرا است.

۴. ارزیابی فنی مصالح نوین در پروژه‌های عمرانی شهری

ارزیابی فنی مصالح نوین یکی از مهم‌ترین مراحل تصمیم‌گیری در پروژه‌های عمرانی شهری محسوب می‌شود، زیرا انتخاب نوع مصالح تأثیر مستقیمی بر عملکرد سازه، ایمنی، دوام و کارایی بلندمدت زیرساخت‌ها دارد. در بسیاری از پروژه‌های عمرانی سنتی، انتخاب مصالح بیشتر بر اساس تجربه مهندسان و هزینه اولیه انجام می‌شد، اما در رویکردهای جدید مهندسی عمران، ارزیابی فنی مصالح بر پایه شاخص‌های دقیق مهندسی نظیر مقاومت مکانیکی، دوام در برابر شرایط محیطی، عملکرد در برابر بارهای دینامیکی، قابلیت نگهداری و سازگاری با محیط‌زیست انجام می‌شود. این شاخص‌ها به مهندسان کمک می‌کنند تا مصالحی را انتخاب کنند که علاوه بر تأمین نیازهای فنی پروژه، بتوانند در بلندمدت نیز عملکرد مطلوبی داشته باشند. در پروژه‌های شهری که معمولاً با تراکم بالا و پیچیدگی‌های فنی همراه هستند، اهمیت

چنین ارزیابی‌هایی دوچندان می‌شود، زیرا هرگونه ضعف در انتخاب مصالح می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و کاهش عمر مفید زیرساخت‌ها شود (یاراحمدی، ۱۴۰۴).

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی فنی مصالح، میزان دوام آن‌ها در شرایط محیطی مختلف است. زیرساخت‌های شهری در معرض عوامل مخربی مانند تغییرات دما، رطوبت، بارهای ترافیکی، آلودگی‌های محیطی و عوامل شیمیایی قرار دارند و مصالح مورد استفاده باید توانایی مقاومت در برابر این عوامل را داشته باشند. مصالح نوین مانند بتن‌های توانمند و بتن‌های الیافی به دلیل ساختار میکروسکوپی بهینه و استفاده از افزودنی‌های خاص می‌توانند مقاومت بیشتری در برابر ترک‌خوردگی، خوردگی و فرسایش از خود نشان دهند. این ویژگی‌ها موجب افزایش طول عمر سازه‌ها و کاهش نیاز به تعمیرات مکرر می‌شود که در نتیجه به بهبود عملکرد فنی پروژه‌های عمرانی منجر خواهد شد (بهنوا و پورزرگر، ۱۴۰۲).از دیگر شاخص‌های مهم در ارزیابی فنی مصالح، میزان سازگاری آن‌ها با شرایط اقلیمی و محیطی شهرها است. شهرهای مختلف دارای شرایط اقلیمی متفاوتی هستند و مصالح ساختمانی باید متناسب با این شرایط انتخاب شوند. برای مثال در مناطق گرم و خشک استفاده از مصالحی که بتوانند دمای سطح معابر را کاهش دهند اهمیت زیادی دارد. در این زمینه استفاده از روسازی‌های خنک به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوین در پروژه‌های شهری مورد توجه قرار گرفته است. این نوع مصالح با بازتاب بیشتر تابش خورشید و کاهش جذب گرما می‌توانند دمای سطح معابر را کاهش دهند و از شدت پدیده جزیره گرمایی شهری بکاهند (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳).علاوه بر مسائل مربوط به دوام و سازگاری اقلیمی، عملکرد مصالح در برابر بارهای دینامیکی و لرزه‌ای نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بسیاری از شهرهای ایران در مناطق لرزه‌خیز قرار دارند و زیرساخت‌های شهری باید توانایی مقاومت در برابر زلزله را داشته باشند. استفاده از مصالح سبک و مقاوم می‌تواند نقش مهمی در کاهش نیروهای وارد بر سازه‌ها و افزایش ایمنی آن‌ها داشته باشد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از مصالح نوین در کنار طراحی مهندسی مناسب می‌تواند تاب‌آوری سازه‌ها را در برابر زلزله افزایش دهد و خسارات ناشی از حوادث طبیعی را کاهش دهد (رجب‌پور و همکاران، ۲۰۱۷).

یکی دیگر از جنبه‌های مهم ارزیابی فنی مصالح، بررسی عملکرد آن‌ها در سیستم‌های زیرساختی شهری مانند شبکه‌های آب و فاضلاب است. این شبکه‌ها به دلیل تماس مداوم با آب، مواد شیمیایی و فشارهای هیدرولیکی نیازمند مصالحی هستند که مقاومت بالایی در برابر خوردگی و فرسایش داشته باشند. استفاده از مصالح نوین در این حوزه می‌تواند موجب افزایش عمر مفید شبکه‌ها و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری شود. در این زمینه شبیه‌سازی و مدل‌سازی سیستم‌های زیرساختی می‌تواند به مهندسان کمک کند تا عملکرد مصالح مختلف را پیش از اجرا مورد ارزیابی قرار دهند (فخیمی حسین‌زاد و همکاران، ۱۴۰۳).

فناوری‌های نوین اطلاعاتی نیز در فرآیند ارزیابی فنی مصالح نقش مهمی ایفا می‌کنند. استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) این امکان را فراهم می‌کند که عملکرد مصالح مختلف در شرایط واقعی پروژه شبیه‌سازی شود و نقاط ضعف احتمالی پیش از اجرا شناسایی شوند. این فناوری می‌تواند به مهندسان کمک کند تا گزینه‌های مختلف مصالح را از نظر فنی مقایسه کرده و بهترین گزینه را انتخاب کنند. علاوه بر این استفاده از BIM می‌تواند هماهنگی میان بخش‌های مختلف پروژه را افزایش داده و از بروز خطاهای اجرایی جلوگیری کند (علمشاهی و همکاران، ۱۴۰۱).در کنار فناوری BIM، استفاده از سیستم‌های هوشمند مدیریت ساخت نیز می‌تواند به بهبود ارزیابی فنی مصالح کمک کند. ترکیب فناوری‌های BIM و اینترنت اشیا این امکان را فراهم می‌کند که عملکرد واقعی مصالح در طول بهره‌برداری از سازه‌ها

پایش شود و اطلاعات دقیقی درباره میزان دوام و کارایی آن‌ها به دست آید. این اطلاعات می‌تواند در پروژه‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد و به بهبود فرآیند انتخاب مصالح کمک کند (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴). در مجموع می‌توان گفت که ارزیابی فنی مصالح نوین یکی از عوامل کلیدی در موفقیت پروژه‌های عمرانی شهری محسوب می‌شود. این ارزیابی باید بر اساس مجموعه‌ای از شاخص‌های مهندسی، زیست‌محیطی و عملکردی انجام شود تا اطمینان حاصل شود که مصالح انتخاب‌شده قادر به تأمین نیازهای فنی پروژه در طول چرخه عمر آن هستند.

۵. ارزیابی اقتصادی و تحلیل هزینه چرخه عمر مصالح پایدار

ارزیابی اقتصادی یکی از مهم‌ترین عوامل در تصمیم‌گیری درباره استفاده از مصالح نوین در پروژه‌های عمرانی شهری است. در بسیاری از موارد، مصالح نوین ممکن است هزینه اولیه بیشتری نسبت به مصالح سنتی داشته باشند، اما در بلندمدت می‌توانند موجب کاهش قابل توجه هزینه‌های نگهداری، تعمیر و بهره‌برداری شوند. به همین دلیل در سال‌های اخیر استفاده از روش تحلیل هزینه چرخه عمر به‌عنوان یکی از ابزارهای اصلی در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های عمرانی مورد توجه قرار گرفته است. این روش امکان بررسی تمامی هزینه‌های مرتبط با یک پروژه از مرحله طراحی و ساخت تا مرحله بهره‌برداری و حتی پایان عمر سازه را فراهم می‌کند (خلیل‌گلصنملو و همکاران، ۱۳۹۶).تحلیل چرخه عمر نشان می‌دهد که بسیاری از هزینه‌های واقعی پروژه‌های عمرانی در مرحله بهره‌برداری و نگهداری ایجاد می‌شوند، نه در مرحله ساخت. این موضوع به‌ویژه در زیرساخت‌های شهری مانند معابر، پل‌ها و شبکه‌های خدمات شهری اهمیت زیادی دارد، زیرا این زیرساخت‌ها معمولاً برای دوره‌های زمانی طولانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. انتخاب مصالحی که دارای دوام بالاتر و نیاز کمتر به تعمیرات باشند می‌تواند هزینه‌های بلندمدت مدیریت شهری را به شکل قابل توجهی کاهش دهد (یاراحمدی، ۱۴۰۴).

یکی از مهم‌ترین مزایای اقتصادی استفاده از مصالح نوین، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری است. مصالح با دوام بالا معمولاً در برابر عوامل مخرب محیطی مقاومت بیشتری دارند و در نتیجه نیاز به تعمیرات کمتری خواهند داشت. این مسئله می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های مستقیم نگهداری و همچنین کاهش هزینه‌های غیرمستقیم مانند اختلال در ترافیک شهری و کاهش بهره‌وری اقتصادی شود (خیبری و سرفراز، ۱۳۹۹).

در کنار کاهش هزینه‌های نگهداری، استفاده از مصالح پایدار می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری منابع نیز شود. بسیاری از مصالح نوین با استفاده از مواد بازیافتی یا فرآیندهای تولید کم‌مصرف تولید می‌شوند و در نتیجه مصرف منابع طبیعی را کاهش می‌دهند. این مسئله علاوه بر مزایای زیست‌محیطی، می‌تواند از نظر اقتصادی نیز برای شهرها سودمند باشد زیرا وابستگی به منابع محدود طبیعی را کاهش می‌دهد (بشارتی‌فر و درخشنده، ۱۳۹۹).همچنین استفاده از فناوری‌های مدیریتی نوین می‌تواند به کاهش هزینه‌های پروژه‌های عمرانی کمک کند. به‌کارگیری سیستم‌های مدیریت هوشمند ساخت‌وساز امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر پروژه‌ها و کاهش هدررفت مصالح را فراهم می‌کند. این موضوع می‌تواند نقش مهمی در کاهش هزینه‌های کلی پروژه داشته باشد و بهره‌وری سرمایه‌گذاری‌های عمرانی را افزایش دهد (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).از سوی دیگر، مدیریت دارایی‌های زیرساختی یکی از رویکردهای مهم در کاهش هزینه‌های اقتصادی پروژه‌های شهری محسوب می‌شود. در این رویکرد تلاش می‌شود تا با استفاده از مدل‌های مدیریتی و تحلیلی، برنامه‌ریزی

بلندمدتی برای نگهداری و توسعه زیرساخت‌ها انجام شود. این رویکرد می‌تواند به مدیران شهری کمک کند تا سرمایه‌گذاری‌های خود را به شکل بهینه مدیریت کرده و هزینه‌های اضافی را کاهش دهند (برزگر و همکاران، ۱۴۰۱).

یکی دیگر از جنبه‌های مهم در ارزیابی اقتصادی مصالح نوین، تأثیر آن‌ها بر کیفیت زندگی شهروندان است. زیرساخت‌های با کیفیت بالاتر می‌توانند موجب افزایش ایمنی، کاهش آلودگی محیط‌زیست و بهبود شرایط زندگی در شهرها شوند. این عوامل اگرچه ممکن است به‌صورت مستقیم در محاسبات اقتصادی لحاظ نشوند، اما در بلندمدت می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر توسعه اقتصادی و اجتماعی شهرها داشته باشند.در نتیجه می‌توان گفت که ارزیابی اقتصادی استفاده از مصالح نوین باید بر اساس یک دیدگاه بلندمدت و جامع انجام شود. در چنین رویکردی نه‌تنها هزینه‌های اولیه بلکه تمامی هزینه‌ها و منافع مرتبط با چرخه عمر پروژه مورد توجه قرار می‌گیرد و این امر می‌تواند به انتخاب گزینه‌های پایدارتر و اقتصادی‌تر در پروژه‌های عمرانی شهری منجر شود.

۶. نقش فناوری‌های نوین در بهینه‌سازی استفاده از مصالح پایدار

فناوری‌های نوین نقش مهمی در تحول صنعت ساخت‌وساز و بهینه‌سازی استفاده از مصالح در پروژه‌های عمرانی ایفا می‌کنند. در گذشته بسیاری از تصمیمات مربوط به طراحی و انتخاب مصالح بر اساس تجربه مهندسان انجام می‌شد، اما امروزه با توسعه فناوری‌های دیجیتال امکان تحلیل دقیق داده‌ها و شبیه‌سازی شرایط مختلف پروژه فراهم شده است. این فناوری‌ها می‌توانند به مهندسان کمک کنند تا بهترین گزینه‌های مصالح را از نظر فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی انتخاب کنند و از هدررفت منابع جلوگیری نمایند (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).

یکی از مهم‌ترین فناوری‌های مورد استفاده در پروژه‌های عمرانی، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان یا BIM است. این فناوری امکان ایجاد یک مدل دیجیتال جامع از پروژه را فراهم می‌کند که شامل تمامی اطلاعات مربوط به طراحی، مصالح، زمان‌بندی و هزینه‌های پروژه است. با استفاده از BIM می‌توان عملکرد مصالح مختلف را در شرایط واقعی پروژه شبیه‌سازی کرد و تأثیر آن‌ها را بر هزینه‌ها و عملکرد سازه مورد بررسی قرار داد (علمشاهی و همکاران، ۱۴۰۱).ترکیب فناوری BIM با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی نیز می‌تواند به بهبود مدیریت پروژه‌های شهری کمک کند. این ترکیب امکان تحلیل داده‌های مکانی و ساختمانی را به صورت همزمان فراهم می‌کند و به مدیران شهری اجازه می‌دهد تا تصمیمات دقیق‌تری در زمینه توسعه زیرساخت‌ها اتخاذ کنند. چنین رویکردی می‌تواند به شناسایی مناطق نیازمند بهبود زیرساخت‌ها و برنامه‌ریزی بهتر برای استفاده از مصالح پایدار کمک کند (خالقی و همکاران، ۱۴۰۱).

علاوه بر فناوری‌های دیجیتال، رویکردهای طبیعت‌محور نیز به عنوان یکی از ابزارهای مهم در توسعه پایدار زیرساخت‌های شهری مطرح شده‌اند. این رویکردها بر استفاده از فرآیندهای طبیعی و مصالح سازگار با محیط‌زیست تأکید دارند و می‌توانند به کاهش اثرات منفی پروژه‌های عمرانی بر محیط‌زیست کمک کنند. استفاده از چنین رویکردهایی می‌تواند به افزایش تاب‌آوری شهرها در برابر مخاطرات طبیعی نیز کمک کند (ایوبی و همکاران، ۱۴۰۵).فناوری‌های نوین همچنین می‌توانند در مدیریت نگهداری زیرساخت‌ها نقش مهمی ایفا کنند. با استفاده از سیستم‌های پایش هوشمند می‌توان وضعیت سازه‌ها را به‌صورت مستمر بررسی کرد و در صورت بروز مشکلات احتمالی اقدامات لازم را انجام داد. این رویکرد می‌تواند از بروز خرابی‌های گسترده جلوگیری کرده و هزینه‌های نگهداری را کاهش دهد (برزگر و همکاران، ۱۴۰۱).از

سوی دیگر، استفاده از مدل‌های تحلیلی و شبیه‌سازی می‌تواند به بهبود مدیریت دارایی‌های زیرساختی کمک کند. این مدل‌ها امکان پیش‌بینی رفتار سازه‌ها در طول زمان را فراهم می‌کنند و به مدیران شهری کمک می‌کنند تا برنامه‌های نگهداری و تعمیرات را به شکل بهینه طراحی کنند (طاهری و همکاران، ۱۴۰۴).در مجموع می‌توان گفت که فناوری‌های نوین نقش کلیدی در افزایش بهره‌وری پروژه‌های عمرانی و بهینه‌سازی استفاده از مصالح پایدار دارند. این فناوری‌ها با فراهم کردن امکان تحلیل دقیق داده‌ها و شبیه‌سازی شرایط مختلف پروژه می‌توانند به کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی زیرساخت‌های شهری کمک کنند.

۷. چالش‌ها و موانع استفاده از مصالح پایدار در پروژه‌های شهری

با وجود مزایای متعدد مصالح نوین و پایدار، استفاده گسترده از این مصالح در پروژه‌های عمرانی شهری با چالش‌هایی نیز همراه است. یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها هزینه اولیه نسبتاً بالای برخی از مصالح نوین است که ممکن است موجب تردید مدیران شهری در استفاده از آن‌ها شود. در بسیاری از پروژه‌ها تصمیم‌گیری‌ها بر اساس محدودیت‌های بودجه‌ای کوتاه‌مدت انجام می‌شود و این مسئله می‌تواند مانع از استفاده از گزینه‌هایی شود که در بلندمدت از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند (خلیل‌گلصنملو و همکاران، ۱۳۹۶).

چالش دیگر مربوط به کمبود دانش فنی و تجربه اجرایی در استفاده از برخی مصالح نوین است. بسیاری از پیمانکاران و مهندسان با ویژگی‌ها و روش‌های اجرای این مصالح آشنایی کافی ندارند و این مسئله می‌تواند موجب کاهش تمایل به استفاده از آن‌ها شود. در چنین شرایطی برگزاری دوره‌های آموزشی و توسعه دانش فنی در میان متخصصان صنعت ساخت‌وساز می‌تواند نقش مهمی در گسترش استفاده از مصالح پایدار داشته باشد (یاراحمدی، ۱۴۰۴).از سوی دیگر، نبود استانداردهای مشخص برای برخی مصالح نوین نیز می‌تواند یکی از موانع استفاده گسترده از آن‌ها باشد. استانداردهای فنی نقش مهمی در تضمین کیفیت مصالح ساختمانی دارند و نبود چنین استانداردهایی ممکن است موجب نگرانی در مورد عملکرد این مصالح شود. بنابراین توسعه استانداردهای ملی و بین‌المللی برای مصالح نوین می‌تواند به افزایش اعتماد مهندسان و مدیران پروژه کمک کند.

همچنین محدودیت‌های مدیریتی و ساختاری در سازمان‌های شهری نیز می‌تواند مانع از اجرای پروژه‌های نوآورانه شود. بسیاری از سیستم‌های مدیریتی شهری بر اساس روش‌های سنتی اداره می‌شوند و ممکن است انعطاف لازم برای پذیرش فناوری‌ها و مصالح جدید را نداشته باشند. اصلاح ساختارهای مدیریتی و استفاده از رویکردهای نوین مدیریت دارایی می‌تواند به رفع این مشکل کمک کند (برزگر و همکاران، ۱۴۰۱).از دیگر چالش‌های مهم در این زمینه، مسئله مدیریت پسماندهای ساختمانی است. در بسیاری از شهرها سیستم مناسبی برای بازیافت مصالح ساختمانی وجود ندارد و این مسئله می‌تواند مانع از استفاده گسترده از مصالح بازیافتی شود. ایجاد زیرساخت‌های مناسب برای بازیافت و مدیریت پسماندهای ساختمانی می‌تواند نقش مهمی در توسعه ساخت‌وساز پایدار داشته باشد (بشارتی‌فر و درخشنده، ۱۳۹۹).

با این حال پیشرفت‌های فناوری و افزایش آگاهی عمومی درباره مسائل زیست‌محیطی موجب شده است که توجه به مصالح پایدار در سال‌های اخیر افزایش یابد. بسیاری از کشورها سیاست‌های تشویقی مختلفی برای استفاده از مصالح سبز در پروژه‌های عمرانی در نظر گرفته‌اند و این سیاست‌ها می‌توانند به توسعه این رویکرد کمک کنند.در نتیجه می‌توان

گفت که غلبه بر چالش‌های موجود نیازمند همکاری میان دولت، بخش خصوصی، دانشگاه‌ها و نهادهای پژوهشی است. توسعه فناوری، تدوین استانداردها و ارتقای دانش فنی از جمله اقداماتی هستند که می‌توانند به گسترش استفاده از مصالح پایدار در پروژه‌های عمرانی شهری کمک کنند.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که استفاده از مصالح نوین و پایدار در پروژه‌های عمرانی شهری می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد فنی زیرساخت‌ها، کاهش هزینه‌های نگهداری و تحقق اهداف توسعه پایدار ایفا کند. این مصالح با ویژگی‌هایی نظیر دوام بالا، مقاومت بیشتر در برابر شرایط محیطی و سازگاری با محیط‌زیست می‌توانند کیفیت پروژه‌های عمرانی را به شکل قابل توجهی افزایش دهند و در عین حال اثرات منفی زیست‌محیطی ساخت‌وساز را کاهش دهند (یاراحمدی، ۱۴۰۴).

از منظر فنی، استفاده از مصالح نوین می‌تواند موجب افزایش عمر مفید سازه‌ها و کاهش نیاز به تعمیرات مکرر شود. این مسئله به‌ویژه در زیرساخت‌های شهری که در معرض بارهای ترافیکی و شرایط محیطی سخت قرار دارند اهمیت زیادی دارد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که استفاده از فناوری‌های نوین در کنار مصالح پیشرفته می‌تواند تاب‌آوری زیرساخت‌ها را در برابر مخاطرات طبیعی افزایش دهد (میرزاجانی ننه‌کران، ۱۴۰۵).از نظر اقتصادی نیز تحلیل چرخه عمر نشان می‌دهد که استفاده از مصالح پایدار می‌تواند در بلندمدت موجب کاهش هزینه‌های مدیریت شهری شود. اگرچه برخی مصالح نوین ممکن است هزینه اولیه بیشتری داشته باشند، اما کاهش هزینه‌های نگهداری و افزایش عمر مفید سازه‌ها می‌تواند این هزینه‌ها را جبران کند (خلیل‌گلصنملو و همکاران، ۱۳۹۶).

همچنین استفاده از فناوری‌های دیجیتال مانند BIM و سیستم‌های مدیریت هوشمند ساخت می‌تواند نقش مهمی در بهینه‌سازی مصرف مصالح و کاهش هدررفت منابع داشته باشد. این فناوری‌ها امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر پروژه‌ها و مدیریت بهتر منابع را فراهم می‌کنند و در نتیجه موجب افزایش بهره‌وری پروژه‌های عمرانی می‌شوند (اسگندری و همکاران، ۱۴۰۴).با این حال برای توسعه استفاده از مصالح پایدار در پروژه‌های شهری لازم است چالش‌هایی مانند هزینه اولیه بالا، کمبود دانش فنی و نبود استانداردهای مناسب مورد توجه قرار گیرد. توسعه سیاست‌های حمایتی، افزایش آگاهی متخصصان و ارتقای فناوری‌های ساخت می‌تواند به گسترش این رویکرد کمک کند.در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از مصالح نوین و پایدار نه‌تنها یک انتخاب فنی بلکه یک ضرورت برای مدیریت پایدار شهرها در آینده محسوب می‌شود. با توجه به افزایش جمعیت شهری و محدودیت منابع طبیعی، حرکت به سمت ساخت‌وساز پایدار می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت زندگی شهروندان و توسعه پایدار شهرها ایفا کند.

منابع

- 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), ۴۷-۳۰.
- 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.
- 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. (۱۴۰۳). 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), ۲۲-۷.
- 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.