

ارائه یک فناوری نوین مبتنی بر وصله آسفالت حفاظتی رولی نازک پیش ساخته در مدیریت نگهداری روسازی‌های آسفالتی

مقاله علمی - پژوهشی

آریا نوری، دانشجوی دکتری، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
نادر محمودی نیا، دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

*ندا کامبوزیا (نویسنده مسئول)، دانشیار، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
محمدرضا خاکباز، دانشجوی دکتری، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: nkamboozia@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۵ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۵

صفحه ۳۶۴-۳۶۱

چکیده

روسازی‌های آسفالتی در دوره بهره‌برداری، تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله شرایط محیطی، بارگذاری‌های مکرر ترافیکی و تغییرات ویژگی‌های مصالح قرار گرفته و به تدریج با خرابی‌هایی نظیر ترک خوردگی، شیارشدگی و زوال سطحی مواجه می‌شوند. از آنجا که اجرای روکش‌های جدید و تعمیرات سازه‌ای مستلزم صرف هزینه و زمان قابل توجهی است، استفاده از روش‌های نگهداری پیشگیرانه و راهکارهای ترمیم موضعی به عنوان گزینه‌ای اقتصادی و کارآمد، مورد توجه روزافزون قرار گرفته است. در این پژوهش، یک فناوری نوین تحت عنوان «وصله آسفالت حفاظتی رولی نازک پیش‌ساخته» معرفی و ارزیابی شده است که قابلیت نصب سریع، اجرای سرد و بهره‌برداری فوری بدون نیاز به انسداد ترافیکی را فراهم می‌کند. فرآیند توسعه این محصول بر پایه طراحی و ساخت نمونه‌های مختلف آزمایشی، اصلاح ترکیبات قیری، به کارگیری الیاف پلیمری مسلح‌کننده و بهینه‌سازی ساختار چندلایه آن انجام شد که در نهایت به تولید محصولی با استحکام، انعطاف‌پذیری و دوام مناسب منجر گردید. ضخامت اندک، وزن کم، مقاومت مطلوب در برابر نفوذ آب، چسبندگی مناسب به سطح روسازی و سهولت اجرا از مهم‌ترین ویژگی‌های این محصول به شمار می‌روند. نتایج حاصل از آزمایش‌های عملکردی و همچنین ارزیابی میدانی در آزادراه قزوین-کرج نشان داد که این فناوری در برابر بارگذاری‌های سنگین، تنش‌های حرارتی و شرایط محیطی نامساعد عملکرد رضایت‌بخشی دارد. بر اساس یافته‌های تحقیق، وصله پیشنهادی می‌تواند به عنوان راهکاری مؤثر در عملیات ترمیم موضعی، نگهداری پیشگیرانه و تعمیرات اضطراری روسازی‌های آسفالتی مورد استفاده قرار گیرد. به کارگیری این فناوری، ظرفیت قابل توجهی برای افزایش دوام روسازی‌ها، کاهش هزینه‌های نگهداری و ارتقای بهره‌وری مدیریت زیرساخت‌های حمل‌ونقل فراهم می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: آسفالت حفاظتی، وصله آسفالتی، مدیریت نگهداری روسازی، نوآوری در ترمیم

۱- مقدمه

و قابل اعتماد است که امکان جابه‌جایی سریع و مؤثر افراد و کالاها را فراهم سازد. راه‌ها علاوه بر تسهیل مبادلات اقتصادی و ارتباطات اجتماعی، با ایجاد پیوند میان مراکز شهری و نواحی روستایی، به افزایش فرصت‌های توسعه، بهبود رفاه عمومی و ارتقای کیفیت

شبکه‌های راه‌ها، از مهم‌ترین زیرساخت‌های هر کشوری محسوب می‌شوند و نقش تعیین‌کننده‌ای در توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جوامع ایفا می‌کنند. دستیابی به توسعه متوازن و پایدار در مناطق مختلف، مستلزم وجود سامانه حمل‌ونقلی کارآمد، ایمن

و میکروسرفیسینگ عملکرد مناسبی در بازگرداندن شرایط بهره‌برداری روسازی ارائه دهند، در حالی که هزینه اجرای روکش‌های سازه‌ای آسفالت به‌طور متوسط تا دو برابر بیشتر از آن روش‌ها برآورد شده است. این تفاوت هزینه قابل توجه، همراه با اثربخشی این روش‌ها در شرایط اقلیمی و ترافیکی متنوع، نشان‌دهنده ظرفیت بالای آن‌ها در مدیریت بهینه منابع نگهداری و افزایش بهره‌وری شبکه راه‌ها است. به‌ویژه در مناطقی با محدودیت‌های مالی، استفاده متناوب و به‌موقع از این راهکارهای حفاظتی می‌تواند نقش مؤثری در تأخیر افتادن عملیات بازسازی سنگین، کاهش مصرف منابع و ارتقاء پایداری عملکرد روسازی ایفا کند. بر این اساس، تدوین راهبردهای علمی مبتنی بر تحلیل هزینه چرخه عمر و شرایط واقعی بهره‌برداری، در انتخاب نوع مداخله و بهینه‌سازی برنامه‌های نگهداری و ترمیم روسازی از اهمیت بالایی برخوردار است (Offenbacher & Mehta, 2022; Bolander, 2005; Green et al., 2018; Joslin et al., 2019; Liu, 2014; Broughton et al., 2012).

هدف اصلی این مقاله، معرفی و تبیین یک رویکرد نوین در حوزه ترمیم و نگهداری روسازی‌های آسفالتی با عنوان وصله آسفالت حفاظتی رولی نازک پیش‌ساخته است که به‌عنوان یک فناوری نوآورانه با قابلیت کاربرد در شرایط واقعی بهره‌برداری ارائه می‌شود. این فناوری برای نخستین‌بار در سطح بین‌المللی مطرح شده و مبتنی بر اصول طراحی مهندسی، با هدف ارتقای کارایی عملیات نگهداری پیشگیرانه و کاهش محدودیت‌های اجرایی روش‌های متداول توسعه یافته است. ایده محوری این راهکار، ارائه یک محصول پیش‌ساخته با ضخامت کم و ویژگی‌های عملکردی بهینه شامل سهولت حمل و نصب، دوام مناسب و انطباق با نیازهای عملیاتی شبکه راه‌ها است؛ به‌گونه‌ای که امکان ترمیم سریع و موضعی خرابی‌های سطحی را بدون نیاز به تجهیزات سنگین و با حداقل اختلال در جریان ترافیک فراهم می‌سازد. در این راستا، مقاله حاضر ضمن تشریح مبانی فنی، ساختاری و اجرایی این فناوری، تلاش دارد با ارائه نتایج ارزیابی‌های آزمایشگاهی و میدانی اولیه، میزان کارایی و قابلیت انطباق آن را با الزامات نظام نگهداری روسازی‌ها مورد بررسی قرار داده و زمینه را برای استفاده از آن به‌عنوان یک گزینه مکمل در کنار روش‌های متداول ترمیم سطحی فراهم نماید.

زندگی کمک می‌کنند. با توجه به هزینه‌های قابل توجه صرف‌شده برای احداث و توسعه این زیرساخت‌ها، حفظ و نگهداری مناسب آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بی‌توجهی به برنامه‌های اصولی نگهداری می‌تواند موجب تسریع روند فرسودگی، کاهش عمر بهره‌برداری، افزایش هزینه‌های تعمیر و بازسازی و همچنین کاهش ایمنی کاربران راه شود. از این رو، به‌کارگیری روش‌های نوین، علمی و مبتنی بر فناوری در مدیریت و نگهداری راه‌ها، به‌عنوان راهکاری مؤثر برای افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های چرخه عمر، سرعت انجام عملیات و بهبود سطح خدمات حمل‌ونقل، از الزامات اساسی توسعه پایدار زیرساخت‌های حمل‌ونقل به‌شمار می‌آید (Kuncoro et al., 2024; Borghetti et al., 2024; Ivanova & Masarova, 2013; Skorobogatova & Kuzmina-Merlino, 2017).

در میان اجزای مختلف زیرساخت حمل‌ونقل، روسازی‌های آسفالتی سهم قابل توجهی از راه‌ها و معابر شهری و برون‌شهری را به خود اختصاص داده‌اند و به‌عنوان بستری مناسب برای تردد ایمن و روان وسایل نقلیه شناخته می‌شوند. عملکرد این روسازی‌ها در طول دوره بهره‌برداری تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله بارهای ترافیکی سنگین، تکرار بارگذاری، شرایط اقلیمی و فرسایش محیطی قرار می‌گیرد. تداوم این عوامل به‌تدریج موجب بروز آسیب‌هایی نظیر ترک‌های سطحی، شیارشدگی، جداشدگی مصالح و افت کیفیت رویه می‌شود که پیامد آن کاهش سطح خدمت‌دهی، افت ایمنی و افزایش هزینه‌های نگهداری است. از این رو، طی سال‌های اخیر توجه پژوهشگران و متخصصان حوزه مهندسی راه و ترابری به توسعه روش‌های نوین نگهداری پیشگیرانه و فناوری‌های ترمیم سطحی معطوف شده است؛ راهکارهایی که با هدف افزایش عمر بهره‌برداری، حفظ کیفیت عملکرد و کاهش هزینه‌های چرخه عمر روسازی‌ها ارائه می‌شوند (Adlinge & Gupta, 2013; Sotiriadis, 2016; Llopis-Castelló et al., 2020; Lee et al., 2024; Simões et al., 2017; Offenbacher & Mehta, 2022).

در این زمینه، مطالعات صورت‌گرفته نشان می‌دهند که بهره‌گیری از روش‌های نگهداری پیشگیرانه و ترمیم سطحی، راهکاری مؤثر و کم‌هزینه برای افزایش عمر خدمت روسازی در مقایسه با روکش‌های سازه‌ای آسفالتی به‌شمار می‌رود. روش‌هایی نظیر چپ‌سیل، اسلاری‌سیل، درزگیری ترک‌ها، فاگ سیل، کیپ سیل

۲- مروری بر متداولترین روش ترمیم سطحی

روسازی‌های آسفالتی

در حوزه نگهداری پیشگیرانه و تعمیرات سطحی روسازی‌های آسفالتی، طیف متنوعی از روش‌های حفاظتی توسعه یافته است که هر یک با توجه به نوع خرابی، شرایط بهره‌برداری و سطح عملکرد مورد انتظار انتخاب و اجرا می‌شوند. این روش‌ها از پوشش‌های بسیار نازک و کم‌هزینه تا سیستم‌های پیشرفته‌تر اصلاح سطح را در بر می‌گیرند و انتخاب صحیح میان آن‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش عمر خدمت روسازی و کاهش هزینه‌های چرخه عمر دارد. در میان این راهکارها، فاکسیل به‌عنوان یک لایه بسیار نازک امولسیون‌ی عمده‌تاً برای احیای سطح قیرزده، کاهش گرد و غبار و بهبود پیوستگی سطحی به‌کار می‌رود. در حالی‌که چیپ‌سیل با بهره‌گیری از سنگدانه‌های درشت‌تر و قیر امولسیون‌ی، بیشتر در جهت افزایش مقاومت لغزشی، آب‌بندی سطح و بهبود عملکرد زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سطحی بالاتر، کیپ‌سیل به‌عنوان ترکیبی از چیپ‌سیل و اسلاری‌سیل، امکان بهبود همزمان بافت سطحی و ترمیم آسیب‌های خفیف تا متوسط را در شرایط ترافیکی متوسط تا سنگین فراهم می‌سازد. اسلاری‌سیل نیز با ترکیب مصالح ریزدانه، قیر امولسیون‌ی، فیلر و افزودنی‌های شیمیایی، عمده‌تاً برای اصلاح بافت سطحی، ترمیم ترک‌های ریز و بازگرداندن یکنواختی عملکردی روسازی کاربرد دارد. در میان این فناوری‌ها، میکروسرفیسینگ به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های سطحی، با استفاده از قیر امولسیون‌ی اصلاح‌شده پلیمری و مصالح بسیار ریزدانه، عملکردی قابل توجه در بازسازی بافت، افزایش مقاومت سایشی و بهبود یکپارچگی سطحی ارائه می‌دهد و در بسیاری از مطالعات، به‌عنوان گزینه‌ای با دوام متوسط حدود ۷ سال معرفی شده است. با این حال، اجرای لایه‌های نسبتاً ضخیم‌تر (در حدود ۲۵ تا ۳۸ میلی‌متر در شرایط خاص و به‌صورت چندمرحله‌ای) برای کنترل تغییرشکل‌هایی نظیر شیارشدگی و جلوگیری از خرابی‌های عملکردی توصیه می‌شود. از منظر اقتصادی و ایمنی نیز این دسته از روش‌ها اهمیت قابل توجهی دارند، به‌گونه‌ای که کاهش ریسک جداشدگی مصالح و بهبود بافت سطحی می‌تواند به کاهش نرخ تصادفات و هزینه‌های اجتماعی ناشی از سوانح جاده‌ای منجر شود؛ موضوعی که اهمیت انتخاب صحیح و زمان‌بندی مناسب عملیات نگهداری را بیش از پیش برجسته می‌سازد (Broughton et al., 2012; Fan et al., 2024; Rief et al., 2022; Zhang et al., 2023; Im & Kim, 2015; van Zyl & Jenkins, 2015).

مطالعات عملکردی نشان می‌دهد که کیفیت اجرا و نظام کنترل پروژه نقش تعیین‌کننده‌ای در کارایی نهایی عملیات نگهداری روسازی دارد، به‌گونه‌ای که در پروژه‌هایی که تحت چارچوب‌های اجرایی همراه با ضمانت کیفیت انجام شده‌اند، شاخص ناهمواری سطحی تا حدود ۶۱ درصد بهبود و میزان خرابی‌های کلی روسازی تا حدود ۵۶ درصد کاهش یافته است؛ موضوعی که به‌وضوح اهمیت انضباط اجرایی، نظارت فنی و توانمندی پیمانکاران را در دستیابی به عملکرد مطلوب روسازی برجسته می‌سازد. از منظر زیست‌محیطی نیز روش میکروسرفیسینگ نسبت به فناوری‌های متداول مبتنی بر آسفالت گرم، مزیت قابل توجهی دارد؛ به‌طوری‌که میزان انتشار آلاینده‌های کلیدی نظیر CO_2 ، NO_x و ترکیبات هیدروکربنی در آن به شکل معناداری کاهش یافته و در برخی برآوردها به حدود ۲۵ درصد نسبت به آسفالت گرم معمولی و حدود ۳۳ درصد نسبت به مخلوط‌های اصلاح‌شده تقلیل یافته است. در بعد فنی نیز نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از پلیمرهای اصلاح‌کننده می‌تواند موجب بهبود رفتار مکانیکی، افزایش انعطاف‌پذیری و ارتقای مقاومت در برابر ترک‌خوردگی شود، در حالی‌که به‌کارگیری الیاف تقویتی در بسیاری از موارد تأثیر قابل توجه و پایداری در عملکرد نهایی ایجاد نکرده است. با این وجود، کارایی این روش به شدت وابسته به شرایط اولیه سطح روسازی، کیفیت آماده‌سازی بستر و مهارت اجرایی است؛ به‌گونه‌ای که اجرای آن بر روی سطوح دارای خرابی‌های عمیق سازه‌ای، ترک‌های گسترده، نشست‌های موضعی یا آلودگی‌های سطحی نظیر مواد نفتی و روغنی می‌تواند منجر به کاهش چسبندگی، جداشدگی لایه و افت محسوس عمر خدمت‌دهی شود. در مقابل، این فناوری در روسازی‌های انعطاف‌پذیر و محورهای کم تا متوسط ترافیک، عملکرد پایداری و اثربخش‌تری از خود نشان داده و گزینه‌ای مناسب برای نگهداری پیشگیرانه در این دسته از راه‌ها محسوب می‌شود (Broughton, Lee, & Kim, 2012).

با وجود گستردگی و تنوع روش‌های موجود در حوزه ترمیم سطحی روسازی‌های آسفالتی، همچنان فاصله قابل توجهی میان قابلیت‌های این روش‌ها و نیازهای واقعی پروژه‌های نگهداری پیشگیرانه مشاهده می‌شود. بخش قابل توجهی از این فناوری‌ها برای اجرا نیازمند تجهیزات سنگین، نیروی انسانی متخصص و فرآیندهای اجرایی چندمرحله‌ای هستند که این موضوع، استفاده از آن‌ها را در پروژه‌های کوچک، موضعی و با اولویت زمانی بالا با محدودیت مواجه می‌سازد. از سوی دیگر، در شرایطی که خرابی‌ها به‌صورت پراکنده و محدود رخ می‌دهند، بسیاری از روش‌های متداول از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نبوده و نسبت هزینه به

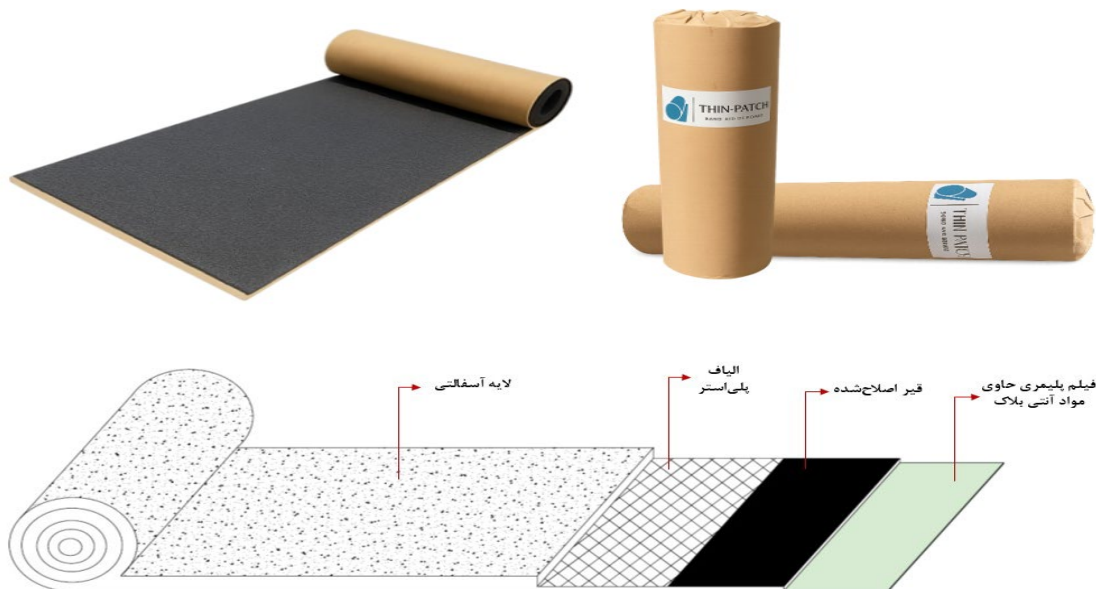
۳- فناوری وصله آسفالت حفاظتی رولی نازک

پیش ساخته

۳-۱- معرفی

در پاسخ به محدودیت‌ها و چالش‌های فنی، اجرایی و اقتصادی روش‌های رایج ترمیم سطحی روسازی‌های آسفالتی که پیش‌تر مورد بحث قرار گرفت، فناوری نوینی با عنوان وصله آسفالت حفاظتی رولی نازک پیش‌ساخته توسعه یافته است. این راهکار که به‌عنوان یک رویکرد پیش‌ساخته و نواری برای نخستین‌بار در مقیاس ملی و بین‌المللی معرفی شده، با هدف ارتقای سرعت عملیات، کاهش هزینه‌ها و ساده‌سازی فرآیند اجرا طراحی گردیده است. ماهیت این محصول به‌گونه‌ای است که امکان ترمیم موضعی خرابی‌های سطحی را بدون نیاز به ماشین‌آلات سنگین، عملیات قیرپاشی یا انسداد کامل مسیر فراهم می‌سازد و از این رو، قابلیت اجرای آن با حداقل نیروی انسانی و در کوتاه‌ترین زمان ممکن مهیا شده است. ساختار چندلایه این فناوری که از ترکیب مصالح سنگی انتخاب‌شده، قیر اصلاح‌شده پلیمری و لایه‌های تخصصی پلیمری تشکیل شده است، زمینه لازم برای بهسازی انواع خرابی‌های سطحی نظیر ترک‌ها، شکستگی‌ها، تخریب‌های موضعی و نواحی دچار افت عملکرد را فراهم کرده و در عین حال با حفظ پیوستگی عملکردی روسازی، از ایجاد اختلال قابل توجه در جریان ترافیک جلوگیری می‌کند.

اثربخشی آن‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این، در بستر محدودیت‌های مالی روزافزون، ضرورت کاهش زمان انسداد مسیرهای ترافیکی و افزایش کیفیت و دوام ترمیم‌ها، چالش‌های موجود در استفاده از فناوری‌هایی نظیر میکروسرفیسینگ، اسلاری سیل و فاگ سیل را بیش از پیش نمایان می‌سازد؛ به‌ویژه آنکه عملکرد این روش‌ها به شدت تحت تأثیر کیفیت آماده‌سازی سطح، شرایط محیطی و دقت اجرا قرار دارد و هرگونه ضعف در این عوامل می‌تواند منجر به افت سریع عملکرد و کاهش عمر بهره‌برداری شود. این مجموعه محدودیت‌ها بیانگر نیاز جدی به توسعه رویکردهای نوین در حوزه نگهداری روسازی است که بتوانند ضمن حفظ کارایی فنی، از سادگی اجرا، سرعت بالا، هزینه پایین و حداقل اختلال در بهره‌برداری شبکه برخوردار باشند. در این چارچوب، فناوری وصله آسفالتی نازک پیش‌ساخته به‌عنوان یک رویکرد نوآورانه و مکمل، قابلیت آن را دارد که بخشی از خلأهای موجود در ترمیم سریع و موضعی روسازی‌ها را پوشش داده و مسیر جدیدی را در جهت بهبود کارایی و هوشمندسازی نظام نگهداری زیرساخت‌های حمل‌ونقل ارائه دهد.



شکل ۱. تصویر وصله آسفالت حفاظتی پیش‌ساخته

جدول ۱. مشخصات فنی وصله آسفالت حفاظتی نازک

ردیف	عنوان مشخصه	واحد	مقدار	توضیحات تکمیلی
۱	ضخامت لایه آسفالتی	میلی متر	۵ تا ۶	متناسب با شرایط پروژه
۲	عرض رول	سانتی متر	۱۰۰ (قابل برش)	قابل تولید در عرض های دلخواه
۳	طول رول	متر	۵ تا ۵ متر (قابل برش)	برای حمل آسان و نصب سریع
۴	وزن هر رول	کیلوگرم	کمتر از ۴۰	به ازای هر رول کامل
۵	محدوده دمای نصب	درجه سانتی گراد	صفر تا ۴۰+	نیاز به سطح خشک
۶	مقاومت در برابر آب	-	کاملاً آب بند	آب بندی کامل درزها و ترک ها
۷	جنس لایه آسفالتی	-	آسفالت پلیمری	مقاومت بالا در برابر تغییر شکل
۸	نوع پوشش پشتی	-	فیلم پلیمری جداشونده	تسهیل در نصب و چسبندگی یکنواخت
۹	عمر مفید	سال	بیش از ۲ سال	در شرایط استاندارد محیطی

۲-۳- فرآیند تحقیق و توسعه

پالایشگاه در لایه زیرین استفاده گردید که اگرچه چسبندگی مناسبی داشت، اما در برابر ترافیک سنگین و دمای بالا، پایداری لازم را نداشت و دچار تغییر شکل و کاهش استحکام کششی شد. خلاصه مشخصات این نمونه در جدول ۲ آمده است.

فرآیند توسعه این فناوری با تولید نمونه آزمایشی اولیه در مقیاس آزمایشگاهی آغاز شد. در نمونه اول، از قیر پسماند برج تقطیر

جدول ۲. خلاصه ویژگی ها و مشخصات نمونه آزمایشی شماره (۱)

شرح / ویژگی	مقدار / ملاحظات
قیر لایه زیرین	قیر پسماند برج تقطیر پالایشگاه، درجه نفوذ ۲۸۵
ضخامت لایه قیری	۲ میلیمتر
قیر رویه آسفالتی	قیر خالص عملکردی گرید ۲۲-۶۴
نوع دانه بندی مصالح سنگی	دانه بندی پیوسته و توپر
اندازه مصالح سنگی	کوچکتر از ۶ میلیمتر
لایه جداشونده زیرین	کاغذ سیلیکونی نچسب

قیرزدگی، چسبندگی بیش از حد لایه نچسب و عدم افزایش کافی استحکام کششی پابرجا بود. جزئیات این نمونه در جدول ۳ ارائه شده است.

در مرحله دوم و به منظور بهبود خواص مکانیکی، قیر پایه با افزودن پلیمر SBS به میزان ۷ درصد اصلاح گردید. این اصلاح باعث افزایش چسبندگی و انعطاف پذیری شد، اما همچنان مشکلاتی مانند

جدول ۳. خلاصه ویژگی‌ها و مشخصات نمونه آزمایشی شماره (۲)

شرح / ویژگی	مقدار / ملاحظات
قیر لایه زیرین	قیر پسماند برج تقطیر پالایشگاه، اصلاح شده با ۷ درصد SBS
ضخامت لایه قیری	۲ میلیمتر
قیر رویه آسفالتی	قیر خالص عملکردی گرید PG64-22
نوع دانه‌بندی مصالح سنگی	دانه‌بندی یک‌اندازه
اندازه مصالح سنگی	۴ تا ۶ میلیمتر
لایه جداشونده زیرین	کاغذ سیلیکونی نجسب

یافت، ولی همچنان چالش‌هایی نظیر فقدان استحکام کششی کافی در زمان اجرا و قیرزدگی تحت بار ترافیک سنگین باقی ماند (مشخصات در جدول ۴).

نمونه سوم با هدف افزایش انعطاف‌پذیری و ارتقاء کیفیت اجرایی، با استفاده از قیر خالص عملکردی و مصالح با دانه‌بندی یکنواخت ساخته شد. عملکرد اجرایی آن نسبت به نمونه‌های پیشین بهبود

جدول ۴. خلاصه ویژگی‌ها و مشخصات نمونه آزمایشی شماره (۳)

شرح / ویژگی	مقدار / ملاحظات
قیر لایه زیرین	قیر خالص عملکردی، اصلاح شده با ۵ درصد SBS
ضخامت لایه قیری	۲ میلیمتر
قیر رویه آسفالتی	قیر خالص عملکردی گرید PG64-22
نوع دانه‌بندی مصالح سنگی	دانه‌بندی یکنواخت
اندازه مصالح سنگی	۲ تا ۶ میلیمتر
لایه جداشونده زیرین	کاغذ سیلیکونی نجسب

یابد. با این حال، کاهش ضخامت منجر به افت استحکام کششی گردید. خلاصه ویژگی‌های این نمونه در جدول ۵ آمده است.

در گام چهارم، با جایگزینی کاغذ سیلیکونی با فیلم پلیمری حاوی مواد آنتی‌بلاک و کاهش ضخامت قیر لایه زیرین به ۱٫۵ میلیمتر، تلاش شد تا انعطاف‌پذیری، استحکام و مقاومت محصول بهبود

جدول ۵. خلاصه ویژگی‌ها و مشخصات نمونه آزمایشی شماره (۴)

شرح / ویژگی	مقدار / ملاحظات
قیر لایه زیرین	قیر خالص عملکردی، اصلاح شده با ۷ درصد SBS
ضخامت لایه قیری	۱٫۵ میلیمتر
قیر رویه آسفالتی	قیر خالص عملکردی گرید PG64-22
نوع دانه‌بندی مصالح سنگی	دانه‌بندی یکنواخت
اندازه مصالح سنگی	۲ تا ۶ میلیمتر
لایه جداشونده زیرین	فیلم پلیمری حاوی مواد آنتی‌بلاک

محصول، افزایش استحکام کششی، رفع کامل قیرزدگی و تأمین انعطاف‌پذیری لازم برای رول شدن محصول گردید. مشخصات کامل این نمونه نهایی در جدول ۶ آمده است.

در نهایت، برای نمونه پنجم که به عنوان نسخه نهایی و موفق معرفی شد، از لایه تقویتی الیاف پلیمری مسلح کننده در بستر قیر اصلاح شده استفاده گردید. این نوآوری منجر به تثبیت ابعاد

جدول ۶. خلاصه ویژگی‌ها و مشخصات نمونه آزمایشی شماره (۵)

شرح / ویژگی	مقدار / ملاحظات
قیر لایه زیرین	قیر خالص عملکردی، اصلاح شده با ۷ درصد SBS و مسلح شده با لایه الیاف پلیمری مسلح کننده
ضخامت لایه قیری	۱/۵ میلیمتر
قیر رویه آسفالتی	قیر خالص عملکردی گرید PG64-22
نوع دانه بندی مصالح سنگی	دانه بندی یکنواخت
اندازه مصالح سنگی	۲ تا ۶ میلیمتر
لایه جداشونده زیرین	فیلم پلیمری حاوی مواد آنتی‌بلاک

آزمایش با قرارگیری درون آن خشک شده و توزین گردید. با کم کردن وزن اولیه نمونه از وزن نمونه پس از سایش، افت وزنی ناشی از سایش نمونه به مقدار ۶۱۵ گرم بر متر مربع محاسبه شد. دستگاه آزمایش سایش مرطوب رویه‌های حفاظتی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. دستگاه آزمایش سایش در شرایط مرطوب

۳-۳-۳- آزمایش‌های وصله آسفالت حفاظتی نازک

پیش ساخته

۳-۳-۱- آزمایش سایش در شرایط مرطوب

آزمایش سایش مرطوب به منظور تعیین مقاومت در برابر شن‌زدگی روی آسفالت‌های حفاظتی نازک از جمله میکروسرفیسینگ و اسلاری‌سیل که به روش سرد و در محل جاده اجرا می‌شوند، طبق دستورالعمل استاندارد ISSA TB100 و استاندارد ملی شماره INSO 15634 انجام می‌شود. به منظور اطمینان از دوام و تأمین عمر مفید مورد انتظار از آسفالت حفاظتی اسلاری‌سیل در پروژه‌های نگهداری و بهسازی روسازی جاده‌ها و معابر، معیار سایش به مقدار حداکثر ۸۰۷ گرم بر مترمربع مشخص شده است. برای انجام آزمایش سایش مرطوب مطابق استانداردهای فوق، نمونه وصله آسفالت حفاظتی رولی به شکل دایروی به قطر ۲۸۰ میلیمتر برش داده شده و پس از توزن دقیق، به مدت ۶ روز درون آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد غرقاب شد. سپس نمونه درون سینی دستگاه آزمایش قرار گرفت و داخل سینی به اندازه‌ای آب ریخته شد تا سطح آن حداقل ۱۰ میلیمتر بالاتر از سطح نمونه باشد. نمونه وصله آسفالت حفاظتی رولی توسط گیره‌ها یا قیدهای جانبی بسته شد و فرآیند سایش نمونه توسط بازوی سایشی لاستیکی به مدت ۳۰۰ ثانیه در شرایط غرقاب اجرا شد. در پایان، نمونه

۳-۲-۳- آزمایش استحکام و پایداری با دستگاه بارگذاری چرخ

آزمایش استحکام و مقاومت در برابر تغییرشکل با دستگاه بارگذاری چرخ به منظور تعیین قابلیت تحمل بار و پایداری آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ، طبق دستورالعمل استاندارد ISSA TB147 و استاندارد ملی شماره INSO 15640 انجام می‌شود. به منظور اطمینان از دوام و تأمین عمر مفید مورد انتظار از آسفالت میکروسرفیسینگ در پروژه‌های نگهداری و بهسازی روسازی‌ها، معیار تغییرشکل عرضی (وارفتگی) به مقدار حداکثر ۵ درصد مشخص شده است.

برای انجام آزمایش چرخ بارگذاری مطابق استانداردهای فوق، نمونه وصله آسفالت حفاظتی رولی به شکل مستطیل به عرض ۵۰ میلیمتر و طول ۳۸۰ برش داده شده و عرض آن در قسمت میانی بطور دقیق اندازه‌گیری شد. سپس نمونه درون دستگاه در زیر چرخ قرار گرفت و توسط چرخ بارگذاری حامل بار ۵۶۷ کیلوگرم به تعداد ۱۰۰۰ سیکل رفت و برگشت بارگذاری شد. دمای محیط آزمایشگاه در زمان آزمایش در محدوده ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتیگراد است. در پایان، عرض نمونه مجدداً در قسمت میانی بطور دقیق اندازه‌گیری شد و مقدار وارفتگی (تغییرشکل عرضی) نمونه آزمایش تحت ۱۰۰۰ رفت و برگشت چرخ بارگذاری به مقدار ۴/۲ درصد نسبت به عرض اولیه قبل از بارگذاری محاسبه شد. دستگاه آزمایش چرخ بارگذاری حامل بار در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. دستگاه آزمایش بارگذاری چرخ حامل بار

۳-۳-۳- آزمایش چسبندگی ماسه و قیرزدگی با دستگاه

بارگذاری چرخ

آزمایش چسبندگی ماسه با دستگاه بارگذاری چرخ به منظور تعیین قابلیت قیرزدگی آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ، طبق دستورالعمل استاندارد ISSA TB109 و استاندارد ملی شماره INSO 15635 انجام می‌شود. به منظور اطمینان از دوام و تأمین عمر مفید مورد انتظار از آسفالت میکروسرفیسینگ در پروژه‌های نگهداری و بهسازی روسازی‌ها، معیار چسبندگی ماسه برای ترافیک سنگین جاده‌ها به مقدار حداکثر ۵۳۸ گرم بر متر مربع مشخص شده است.

برای انجام آزمایش چرخ بارگذاری مطابق استانداردهای فوق، نمونه وصله آسفالت حفاظتی رولی به شکل مستطیل به عرض ۵۰ میلیمتر و طول ۳۸۰ برش داده شد.

نمونه درون دستگاه در زیر چرخ قرار گرفت و توسط چرخ بارگذاری حامل بار ۵۶۷ کیلوگرم به تعداد ۱۰۰۰ رفت و برگشت بارگذاری شد. سپس نمونه از زیر دستگاه خارج شده و دانه‌های سست با دست جدا شده و توزین گردید. در ادامه، نمونه مجدداً درون دستگاه و قالب ماسه هم روی نمونه قرار گرفت و ۲۰۰ گرم ماسه استاندارد با دمای ۸۲ درجه سانتیگراد روی نمونه درون قالب ریخته شد. سپس چرخ بارگذاری روی نمونه قرار گرفته و بارگذاری آن به تعداد ۱۰۰ رفت و برگشت چرخ حامل بار انجام شد.

در مرحله بعد، نمونه از دستگاه خارج شده و با چند ضربه آرام دست، ماسه اضافی از نمونه جدا شد و نمونه مجدداً توزین شد. دمای محیط آزمایشگاه در زمان آزمایش در محدوده ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتیگراد است. در پایان، مقدار ماسه چسبیده به نمونه وصله آسفالت حفاظتی رولی در اثر ۱۰۰ رفت و برگشت چرخ بارگذاری به مقدار ۵۰۵ گرم بر مترمربع محاسبه شد. نمونه‌های آزمایش چسبندگی ماسه شامل ماسه چسبیده در شکل ۵ نشان داده شده است.

کندرو) انجام شد. این مقطع با دارا بودن بالاترین نرخ ترافیک روزانه کشور، خرابی‌های عمیق سازه‌ای و شرایط اقلیمی گرم و خشک، یکی از بحرانی‌ترین نقاط شبکه راهی ایران به شمار می‌رود. انتخاب این نقطه، عامدانه و با هدف بررسی عملکرد محصول در دشوارترین سناریوهای ممکن صورت گرفت. از آن‌جا که امکان انسداد کامل مسیر وجود نداشت، عملیات اجرا به صورت دستی و بدون استفاده از ماشین‌آلات سنگین انجام شد تا سنجش مؤلفه‌هایی مانند سرعت اجرا، کیفیت سطح نهایی و پایداری عملکرد در شرایط واقعی نگهداری راه‌ها، ممکن شود.

مسیر انتخاب‌شده شامل روسازی آسفالتی قدیمی با ضعف سازه‌ای فعال، ترک‌های عرضی و طولی گسترده، و نشست‌های موضعی بود. مساحت اجرای محصول حدود ۵ متر مربع بوده و شرایط اقلیمی در زمان اجرا (اواخر اردیبهشت ۱۴۰۴) گرم و خشک گزارش شد. نوع بارگذاری شامل عبور روزانه وسایل نقلیه سنگین، نیمه‌سنگین و سبک بوده است. در این پروژه، شش گام اجرایی شامل آماده‌سازی اولیه سطح با جارو دستی، باز کردن رول، نصب سرد محصول بدون استفاده از شعله یا قیر گرم، چسباندن مستقیم، تراکم دستی و بازگشایی فوری مسیر دنبال شد. فرآیند نصب بدون نیاز به حرارت، قیرپاشی یا انسداد مسیر انجام شد، به‌گونه‌ای که بلافاصله پس از نصب، جریان ترافیک به حالت عادی بازگشت. ارزیابی عملکرد سازه‌ای محصول طی یک بازه زمانی بیش از چهار ماه پس از اجرا، با استفاده از مشاهدات میدانی، مستندات تصویری و تحلیل‌های کارشناسی انجام گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که محصول اجراشده از نظر سطحی، کاملاً یکپارچه، بدون موج‌زدگی یا اختلاف ارتفاع بوده و هیچ‌گونه پله‌شدگی مشاهده نگردید. چسبندگی محصول به لایه زیرین در طول زمان حفظ شده و هیچ نشانه‌ای از جداشدگی، نفوذ رطوبت یا درز باز در محل وصله‌ها مشاهده نشد. این یکپارچگی ساختاری، نقش مؤثری در جلوگیری از تخریب لایه‌های زیرین روسازی ایفا نموده است.



شکل ۵: نمونه‌های آزمایش چسبندگی ماسه

۳-۳-۴- عریان‌شدگی به روش آب‌جوشان

آزمایش آب جوشان به روش استاندارد ASTM D3625 روی یک قطعه کوچک به ابعاد کمتر از 10×10 سانتی‌متر از محصول وصله آسفالت حفاظتی رولی، انجام شد و مقدار پوشش قیری باقیمانده روی سنگدانه‌های لایه بالا ارزیابی گردید. این آزمایش اغلب به منظور ارزیابی دوام مخلوط‌های آسفالتی در برابر اثرات مخرب آب و پیش‌بینی عملکرد عریان‌شدگی آنها انجام می‌شود. در این آزمایش، پوشش قیری باقیمانده روی سنگدانه‌های محصول وصله آسفالت حفاظتی رولی پس از مدت ۱۰ دقیقه قرارگیری آن درون آب جوشان به مقدار بیش از ۹۵ درصد تخمین زده شد که انتظارات عملکردی را برای مقاومت در برابر زیان‌های ناشی از رطوبت به‌طور کامل برآورده می‌سازد.

۳-۴- ارزیابی عملکرد میدانی محصول

به منظور سنجش عملکرد واقعی و عملیاتی فناوری وصله آسفالت حفاظتی رولی در شرایط میدانی، یک اجرای آزمایشی هدفمند با همکاری سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور در مسیر پرتدد آزادراه قزوین-کرج، محدوده مهرشهر (باند جنوبی، لاین



شکل ۶. وضعیت روسازی قبل از اجرا (شکل سمت راست) و بلافاصله بعد از اجرا (شکل سمت چپ) در آزادراه قزوین-کرج



شکل ۷. عملکرد پایدار محصول پس از شش ماه از اجرای آن در آزادراه قزوین-کرج

قابل انتظار و از منظر ایمنی عبور و مرور، غیرتهدیدآمیز ارزیابی شد. در خصوص نشست‌های موضعی نیز لازم به ذکر است که محصول برای ترمیم سطحی طراحی شده و در این مورد خاص، بر اساس هماهنگی با سازمان راهداری، در ناحیه‌ای با خرابی شدید سازه‌ای اجرا گردید. با وجود این، محصول عملکرد مناسبی ارائه داده و هیچ‌گونه پارگی، ترک انعکاسی یا کنده‌شدگی سطح مشاهده نگردید. ترک‌های موجود، با عرض بیش از ۷ میلی‌متر و عمق بیش از ۱ سانتی‌متر، به دلیل فضای خالی زیاد، عامل نشست بوده‌اند که منبع آن نه عملکرد محصول، بلکه ضعف روسازی زیرین تلقی می‌شود.

از نظر تحمل بارگذاری، محصول در برابر عبور مکرر کامیون‌ها و خودروهای سنگین، پایداری خود را حفظ کرده است. هیچ‌گونه نشانه‌ای از خزش، تغییر شکل، ترک انعکاسی یا نشست کلی در سطح محصول مشاهده نشد. همچنین، محصول توانست پایداری حرارتی خود را در برابر تنش‌های دمایی محیطی حفظ نماید؛ در دمای بالای تابستانی، هیچ‌گونه وارفنگی جانبی، نرمی یا تغییر حالت سطح مشاهده نشد که مؤید استفاده از قیر اصلاح‌شده با عملکرد حرارتی مناسب در ساختار آن است. با این حال، دو مورد از ایرادات مشاهده‌شده در این ارزیابی شامل بروز خفیف پدیده قیرزدگی در برخی نواحی و نیز نشست‌های موضعی زیر برخی ترک‌ها بودند. پدیده قیرزدگی، به دلیل آزمایش در یکی از پرتددترین مسیرهای کشور و شرایط تولید نیمه‌صنعتی محصول،

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، یک فناوری نوین و پیش ساخته تحت عنوان وصله آسفالت حفاظتی رولی نازک به عنوان راهکاری جدید در حوزه نگهداری پیشگیرانه و ترمیم موضعی روسازی‌های آسفالتی معرفی، توسعه و ارزیابی شد. هدف اصلی این فناوری، پاسخ‌گویی به محدودیت‌های روش‌های متداول نگهداری سطحی از جمله وابستگی به تجهیزات سنگین، نیاز به انسداد ترافیک، حساسیت بالا به شرایط اجرایی و عدم کارایی در خرابی‌های موضعی و پراکنده بوده است. نتایج حاصل از فرآیند طراحی، توسعه آزمایشگاهی و ارزیابی میدانی نشان داد که این محصول می‌تواند به عنوان یک گزینه عملیاتی، سریع و کم‌هزینه در مدیریت نگهداری روسازی‌ها مورد استفاده قرار گیرد. بررسی مراحل تحقیق و توسعه نشان داد که استفاده از ساختار چندلایه شامل قیر اصلاح شده با پلیمر SBS و تقویت شده با الیاف پلیمری، نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود رفتار مکانیکی، افزایش استحکام کششی، کنترل قیرزدگی و ایجاد قابلیت رول‌شوندگی محصول داشته است. این ترکیب بهینه، ضمن رفع محدودیت‌های نمونه‌های اولیه، منجر به دستیابی به محصولی با پایداری ابعادی مناسب و عملکرد قابل قبول تحت بارگذاری و شرایط محیطی مختلف شد. از منظر ویژگی‌های اجرایی نیز، ضخامت کم، وزن پایین، امکان حمل آسان، قابلیت نصب در دمای محیط و عدم نیاز به تجهیزات تخصصی، این فناوری را به گزینه‌ای مناسب برای عملیات سریع نگهداری و تعمیرات اضطراری تبدیل کرده است. نتایج آزمایش‌های عملکردی نیز بیانگر عملکرد رضایت‌بخش این محصول در شاخص‌های کلیدی دوام روسازی‌های حفاظتی است. در آزمون سایش مرطوب، میزان افت وزنی کمتر از حد معیارهای پذیرش استاندارد ثبت شد که نشان‌دهنده مقاومت مناسب در برابر سایش و جداشدگی مصالح است. همچنین در آزمون بارگذاری چرخ، میزان تغییرشکل عرضی

در محدوده قابل قبول قرار گرفت و بیانگر پایداری مناسب در برابر تغییرشکل‌های ناشی از بار ترافیکی است. نتایج آزمون چسبندگی ماسه نیز نشان داد که محصول از مقاومت کافی در برابر قیرزدگی و جداشدگی دانه‌ها برخوردار است. علاوه بر این، آزمون آب‌جوشان، با حفظ بیش از ۹۵ درصد پوشش قیری، مقاومت بالای سیستم در برابر اثرات مخرب رطوبت را تأیید کرد.

ارزیابی میدانی انجام شده در آزادراه قزوین-کرج نیز به عنوان یکی از پرتراфик‌ترین و بحرانی‌ترین محورهای کشور، نشان داد که وصله آسفالت حفاظتی رولی نازک قادر است در شرایط بارگذاری سنگین، تغییرات شدید دمایی و محدودیت‌های اجرایی واقعی، عملکرد پایدار و قابل اعتمادی ارائه دهد. عدم مشاهده ترک انعکاسی، جداشدگی یا تخریب سطحی در بازه پایش چندماهه، نشان‌دهنده توانایی مناسب این فناوری در حفظ یکپارچگی سازه‌ای و عملکرد سطحی روسازی است. هرچند در برخی نقاط، پدیده‌های موضعی نظیر قیرزدگی جزئی و نشست‌های محدود مشاهده شد، اما این موارد عمدتاً ناشی از شرایط بسیار نامناسب بستر و خرابی‌های عمیق سازه‌ای روسازی زیرین بوده و به عملکرد ذاتی محصول مرتبط نبوده است. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که وصله آسفالت حفاظتی رولی نازک پیش ساخته می‌تواند به عنوان یک فناوری مکمل در کنار روش‌های متداول نگهداری سطحی، نقش مؤثری در ارتقای بهره‌وری مدیریت روسازی‌ها ایفا کند. این فناوری با فراهم کردن امکان اجرای سریع، کاهش هزینه‌های چرخه عمر، حداقل اختلال در ترافیک و افزایش دوام ترمیم‌های موضعی، ظرفیت قابل توجهی برای بهبود نظام نگهداری پیشگیرانه شبکه راه‌ها دارد. با این حال، برای توسعه کاربرد گسترده آن، انجام مطالعات بیشتر در زمینه بهینه‌سازی فرمولاسیون، ارزیابی بلندمدت عملکرد در شرایط اقلیمی مختلف و تدوین دستورالعمل‌های اجرایی استاندارد ضروری به نظر می‌رسد.

۵-مراجع

- Lee, S. Y., Choi, J. S., & Le, T. H. M. (2024). Unraveling the optimal strategies for asphalt pavement longevity through preventive maintenance: a case study in South Korea. *Case Studies in Construction Materials*, 21, e03464.
- Liu, Z. B. (2014). Asphalt pavement preventive maintenance technology overview. *Applied Mechanics and Materials*, 638, 1135-1138.
- Llopis-Castelló, D., García-Segura, T., Montalbán-Domingo, L., Sanz-Benlloch, A., & Pellicer, E. (2020). Influence of pavement structure, traffic, and weather on urban flexible pavement deterioration. *Sustainability*, 12(22), 9717.
- Offenbacker, D., & Mehta, Y. (2022). Assessing the life-cycle costs of pavement rehabilitation strategies used in long-term pavement performance program. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 148(1), 04022002.
- Rief, M. J., Indihar, M., & DeMenge, C. (2022). Effectiveness of Fog Seal on Chip Sealed Low Volume Roads.
- Simões, D., Almeida-Costa, A., & Benta, A. (2017). Preventive maintenance of road pavement with microsurfacing—an economic and sustainable strategy. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(9), 670-680.
- Skorobogatova, O., & Kuzmina-Merlino, I. (2017). Transport infrastructure development performance. *Procedia Engineering*, 178, 319-329.
- Sotiriadis, G. (2016). Asphalt transport pavements: causes of deterioration, methods of maintenance and suggestions/guidelines for new smart methods.
- Van Zyl, G., & Jenkins, K. (2015, August). Overview of long term seal performance. In *Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA)*, 1-13.
- Zhang, L., Hoff, I., Zhang, X., Liu, J., Yang, C., & Wang, F. (2023). A methodological review on development of crack healing technologies of asphalt pavement. *Sustainability*, 15(12), 9659.
- Adlunge, S. S., & Gupta, A. K. (2013). Pavement deterioration and its causes. *International Journal Of Innovative Research and Development*, 2(4), 437-450.
- Bolander, P. W. (2005). Seal Coat Options. *Roadway Pavement Preservation*, 24.
- Borghetti, F., Beretta, G., Bongiorno, N., & De Padova, M. (2024). Road infrastructure maintenance: Operative method for interventions' ranking. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 25, 101100.
- Broughton, B., Lee, S. J., & Kim, Y. J. (2012). 30 years of microsurfacing: A review. *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), 279643.
- Fan, Z., Wang, C., Li, Y., Feng, L., & Chen, Q. (2024). State of the art review on fog seal for asphalt pavement: Material composition, classification, performance evaluation, and mechanism analysis. *Progress in Organic Coatings*, 194, 108573.
- Green, R., Buss, A., Robbins, M., Sargand, S., & Guirguis, M. (2018). Best Practices for Chip Sealing Low-Volume Roads in Ohio.
- Im, J. H., & Kim, Y. R. (2015). Performance evaluation of fog seals on chip seals and verification of fog seal field tests. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(11), 872-880.
- Ivanova, E., & Masarova, J. (2013). Importance of road infrastructure in the economic development and competitiveness. *Economics and Management*, 18(2), 263-274.
- Joslin, K., Lopez, E., Cheng, D., & Hicks, G. (2019). Literature review on performance, best practices, and training needs for chip seals, slurry surfacing, and cape seals. *San Jose: Mineta Transportation Institute*.
- Kuncoro, E., Wurarah, R. N., & Erari, I. E. (2024). The impact of road infrastructure development on ecosystems and communities. *Social, Ecology, Economy for Sustainable Development Goals Journal*, 1(2).

Introducing an Innovative Prefabricated Thin Rolled Asphalt Preservation Patch Technology for Asphalt Pavement Maintenance Management

*Arya Nouri, Ph.D., Student, Department of Civil Engineering,
Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran.*

*Nader Mohmoudinia, M.Sc., Grad., Civil Engineering Department,
K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.*

Neda Kamboozia, Associate Professor, Department of Civil Engineering,
Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran.

*Mohammad Reza Khakbaz, Ph.D., Student, Department of Civil Engineering,
Iran University of Science and Technology (IUST), Tehran, Iran.*

E-mail: nkamboozia@iust.ac.ir

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

Asphalt pavements are subjected throughout service life to various factors, including environmental conditions, repeated traffic loading, and changes in material properties, which gradually lead to distresses such as cracking, rutting, and surface deterioration. Since the application of new overlays and structural rehabilitation measures requires considerable time and financial resources, preventive maintenance techniques and localized repair solutions have attracted increasing attention as cost-effective and efficient alternatives. In this study, a novel technology referred to as a Thin Prefabricated Rolled Asphalt Preservation Patch is introduced and evaluated. This system enables rapid installation, cold application, and immediate traffic reopening without the need for lane closures. The development process involved the design and fabrication of several experimental prototypes, optimization of bituminous formulations, incorporation of reinforcing polymer fibers, and refinement of a multilayer structural configuration, ultimately resulting in a product with adequate strength, flexibility, and durability. Key characteristics of the developed patch include its low thickness, light weight, excellent resistance to water penetration, strong adhesion to pavement surfaces, and ease of installation. The results of laboratory performance tests and field implementation on the Qazvin–Karaj Expressway demonstrated that the proposed technology performs satisfactorily under heavy traffic loading, thermal stresses, and adverse environmental conditions. The findings suggest that the developed patch can serve as an effective solution for localized pavement rehabilitation, preventive maintenance activities, and emergency repair operations. The adoption of this technology offers significant potential for extending pavement service life, reducing maintenance costs, and improving the efficiency of transportation infrastructure management.

Keywords: Asphalt Preservation, Asphalt Patch, Pavement Maintenance Management, Repair Innovation