www.cpjournals.com ISSN:۲۶۷۶-۵۱۱X نشریه عمران و پروژه (Civil & Project Journal(CPJ))
سال سوم، دوره ۳، شماره ۱، فروردین ۱۴۰۰،شماره پیاپی ۲۳،صفحه ۷۳تا صفحه ۸۴

Review of the Use of Fog Seal Protection Asphalt in Pavement

Hasan Divandari[۱], Reza Akbarigheibi [۲]*

۱- *Department of Civil Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran.*

h.divandari@gmail.com

۲*- *University instructor, Engineering Faculty, University of Applied Sciences, Zanjan Branch, Zanjan, Iran*

Akari.reza ۱۳٦٦@yahoo.com

ABSTRACT

The use of new asphalts with the aim of increasing the life of the pavement and reducing the maintenance costs of the pavement is of great importance. Continuous investigation and evaluation of the causes of failure is a necessary thing that failure to pay attention to it will intensify the failure and transfer it to the underlying layers, which will lead to complete failure of the pavement and impose very high costs. Timely use of protective asphalt can improve the service level of pavement and increase its life, also increase wear and improve existing asphalt and concrete procedures and be used to make the road surface impermeable. Protective asphalt is usually used as a temporary coating in the road construction industry and is not one of the main components of the road body. This layer is mostly used to make the asphalt impermeable and to prevent erosion of the main layer. Using it can strengthen the main layer of asphalt which is on the road. Due to the types of protective asphalts, each of which has its own application and characteristics, they are spread on the road surface. These asphalts include chip seal, fog seal, seal coat, slur seal and micro-surfacing. Studies on fog seal protective asphalt have been collected and reviewed in recent years. The results show that the use of sand seal grout with epoxy emulsion shows resistance to skid and frustration, which its use for sealing and prevention at the pavement surface increases the resistance to skid. Fog seal can be effective in minimizing water absorption and air permeability, and such findings suggest that sealants using biomaterials can be a viable alternative to asphalt pavements. Adding oil (environmental-oil) reduces the need for asphalt adhesion and leads to energy savings. In general, the use of fog seal protects the pavement against cracking and erosion of asphalt, increasing the length of the pavement, delaying major repairs, reducing permeability due to sealing and damage due to moisture.

Keywords: *Surface treatment, Fog seal, Pavement repair, Asphalt emulsion*

All rights reserved to Civil & Project Journal.

نشریه عمران و پروژه (Civil & Project Journal(CPJ)) ISSN:۲۶۷۶-۵۱۱X www.cpjournals.com
سال سوم، دوره ۳، شماره ۱، فروردین ۱۴۰۰،شماره پیاپی ۲۳،صفحه ۷۳تا صفحه ۸۴

مروری بر کاربرد آسفالت حفاظتی فوگ سیل در روسازی

حسن دیواندری[۱]، رضا اکبری غیبی* [۲]

۱. گروه مهندسی عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران
h.divandari@gmail.com

۲. مدرس دانشگاه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علمی کاربردی، واحد زنجان، زنجان، ایران*
Akbari.reza۱۳۶۶@yahoo.com

چکیده

بکارگیری آسفالت های جدید با هدف افزایش عمر روسازی و کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری روسازی از اهمیت بالایی برخوردار است.

بررسی و ارزیابی مدوام در خصوص علل خرابی امری ضروری می باشد که عدم توجه به آن باعث تشدید خرابی و انتقال آن به لایه های زیرین که منجرب به خرابی کامل روسازی و تحمیل هزینه های بسیار بالایی خواهد شد. استفاده به موقع از آسفالت های حفاظتی می تواند باعث بهبود سطح خدمت روسازی و افزایش عمر آن شود، همچنین باعث افزایش سایش و برای بهسازی رویه‌های موجود آسفالتی و بتنی و برای غیر قابل نفوذ کردن سطح راه مورد استفاده قرار بگیرد. آسفالت حفاظتی معمولا به صورت یک پوشش موقت در صنعت راه سازی مورد استفاده قرار می گیرد و از اجزای اصلی بدنه راه محسوب نمی شود. این لایه در اکثر موارد برای غیر قابل نفوذ کردن آسفالت و پیشگیری از فرسایش لایه اصلی مورد استفاده قرار می گیرد. استفاده از آن باعث تقویت لایه اصلی آسفالت شود. با توجه به انواع آسفالت های حفاظتی که هر یک از آنها دارای کاربرد و ویژگی های خاص خود هستند در سطح راه پخش می شوند. از جمله این آسفالتها می توان به چیپ سیل، فگ سیل، سیل کت، اسلاری سیل و میکروسرفیسینگ اشاره کرد. مطالعات مربوط به آسفالت حفاظتی فگ سیل درسالهای اخیر جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان می دهد که استفاده از فگ سیل ماسه ای با امولسیون اپوکسی، مقاومت در برابر سایش و سرخوردگی را نشان می دهد که استفاده از آن جهت آبندی و پیشگیری در سطح روسازی باعث افزایش مقاومت در برابر سرخوردگی می شود. همچنین آن می تواند در کمترین میزان جذب آب و نفوذ پذیری هوا تاثیرگذار باشد و چنین یافته هایی نشان می دهد که درزگیری هایی که از مواد زیستی در آنها استفاده می شود، می تواند یک جایگزین پایدار برای روسازی آسفالت باشد. افزودن روغن (زیست محیطی – نفتی) نیاز چسبندگی آسفالت را کاهش داده و منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی می شود. در حالت کلی استفاده از فگ سیل باعث حفاظت روسازی در برابر ترک خوردگی و فرسایش آسفالت، افزایش طول روسازی، به تعویق انداختن ترمیم عمده، کاهش نفوذپذیری ناشی از آب بندی و آسیب ناشی از رطوبت می شود.

کلید واژه ها: آسفالت حفاظتی، فگ سیل، ترمیم روسازی، امولسیون قیر

۱- مقدمه

آسفالت های حفاظتی یا سطحی، یکی از انواع مختلف کاربردهای قیر و مصالح سنگی است که ضخامت آنها کمتر از بیست و پنج میلیمتر می باشد و به همین دلیل جزء لایه باربر روسازی راه محسوب نمی‌شود و تنها نقش حفاظتی دارند. این نوع آسفالت ها برای همه رویه های جاده ای قابل استفاده است به این آسفالت ها اغلب پوشش آب بند نیز گفته می شود. آسفالت های حفاظتی انواع مختلفی را شامل می گردد که کمترین و ساده ترین آن از قیر پاشی ساده و معمولی(فگ سیل) تا پخش چند لایه مصالح و قیر راشامل میگردد. هر کدام از این روش های کیفیت مختلفی را دارا میباشند و از عملکرد مختلفی برخوردار هستند. همه روش های آسفالت های حفاظتی باعث افزایش عمر رویه جاده شده که هر کدام کار مشخصی را انجام می دهند. در ابتدای شروع خرابیها و یا حتی قبل از وقوع خرابیها می توان از روشهایی برای پیشگیری از تشدید فرسودگی و تخریب سطح راهها اقدامات اصولی و اقتصادی انجام داد که این این اقدام برای نگهداری در جهت افزایش عمر مفید و خدمت دهی بیشتر یک جاده بسیار موثر می باشد. اینگونه اقدامات شامل پخش قیر، پخش قیر و مصالح سنگی، پخش مخلوط ماسه و قیر و نظایر آن می باشد که در ضخامتهای نازک روی سطح راهها اجرا می شوند هریک از این اقدامات تحت عناوین مشخص نام گذاری شده و مورد کاربرد موسسات متولی اداره راهها قرار می گیرند. در میان این اقدامات، اقدامات عمومی در مدیریت روسازی از آن جهت اهمیت دارند که با صرف هزینه اندک در زمانی مناسب، از وقوع خرابیها جلوگیری کرده، یا آنها را به تاخیر بیاندازد(Gransberg and James, ۲۰۰۵ & Haas and et al., ۱۹۹٤). انتخاب روش نگهداری شبکه جاده ای در یک منطقه یا به طور کلی قلمرو یک کشور بسیار پیچیده و حائز اهمیت است. بخشی از انتخاب استراتژی این روش شامل دانش اقدامات نگهداری و فن آوری های موجود روسازی است. اما، باید رویکرد به عنوان انتخاب جاده مورد نظر، یک رویکرد چند رشته ای باشد. استراتژی تعمیر و نگهداری به انتخاب بهترین اقدام تعمیر و نگهداری کاهش نمی یابد، بلکه انتخاب مجموعه ای بهینه از فعالیتها در یک دوره زمانی معین با هدف دستیابی به سطح قابل قبولی از خدمات ارائه شده به کاربران، اما با کمترین میزان ممکن سرمایه گذاری توسط دولت است(Nedevska and et al., ۲۰۱۷). آسفالت های حافظتی نقش باربری سازه ای را ندارند و برای تعیین میزان باربری سازه از آن صرفه نظر می شود. گر چه آسفالت حفاظتی را نمی توان ازنقطه نظر سازه ای به عنوان سازه باربر در نظر گرفت لیکن در برابر سایش ناشی از آمد وشد وسایل نقلیه مقاومت می کند و پوشش نفوذناپذیری را برای لایه های زیرین فراهم می آورد. در نتیجه آسفالت سطحی مقاومت باربری را اندکی افزایش میدهد، اما این افزایش مقاومت معمولاً در محاسبه باربری در نظر گرفته نمی شود، با این وجود آسفالت حفاظتی اگر بجا و صحیح مورد استفاده قرار گیرد، میتواند سطحی باکیفیت قابل قبول برای راه تأمین نماید. داشتن درک درست و صحیح از مزایا و محدودیت های روش های استفاده از آسفالت های سطحی اهمیت دارد، شرایط آب و هوایی، جنس و اندازه مصالح توان باربری و وضعیت روسازی باید در انتخاب طراحی و نوع عملیات در نظر گرفته شود. این اقدام برای نگهداری در جهت افزایش عمر مفید و خدمت دهی بیشتر یک جاده می باشد.

استفاده از اقدامات تعمیر و نگهداری صحیح و به موقع میتواند هزینه ها برای نگه داشتن شاخص وضعیت روسازی در سطحی بالا را بسیار کاهش دهد. آسفالتهای حفاظتی که به طور مناسب ساخته شده اند ازنظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و با دوام می باشند. برخی از عوامل موثر بر کاربرد نوع خاصی از پیشگیری ها و در نتیجه انتخاب روش نگهداری می تواند شامل مواری همانند تعمیر و نگهداری لایه های موجود، طبقه بندی جاده ها بار ترافیکی و روشهای مربوط به استفاده از آنها و تأثیر شرایط محیطی. با توجه به تاثیرگذاری هر یک از عوامل بروی روسازی راه را می توان در یک دوره طراحی که برای آن پیش بینی شده است، سازمان دهی کرد(Nedevska and et al., ۲۰۱۷). یکی از انواع آسفالت های حفاظتی فوگ سیل می باشد. فگ سیل نوعی روش عمل آوری است که با استفاده از امولسیون آسفالت رقیق شده سطح آسفالت موجود را از انواع خرابی ها، آب بندی و محافظت می کند. فگ سیل در بالای سطح روسازی آسفالت اجرا می شود تا از ترک

خوردگی و فرسایش بیشتر آسفالت محافظت کند(Kebede, ۲۰۱۶). فگ سیل که باعث افزایش طول روسازی و به تعویق انداختن ترمیم عمده می شود، همچنین باعث کاهش نفوذپذیری ناشی از آب بندی و آسیب ناشی از رطوبت می شود(Islam and et al., ۲۰۱۷).

اقدامات ترمیم روسازی و شرح مختصری از روشها در جدول شماره ۱ آورده شده است. این جدول نمایشی کلی از دسته ها و انواع تعمیر و نگهداری ارجاع داده شده به هر گروه را ارائه می دهد. البته روش های نگهداری دیگری نیز وجود دارد، اما این روش ها متداول ترین و پذیرفته ترین روش ها در جهان هستند(Nedevska and et al., ۲۰۱۷).

جدول۱ : ارائه کلی از انواع روش های نگهداری و پیشگیری روسازی راه(Nedevska and et al., ۲۰۱۷)

Category	Treatment type	Application method
Routine maintenance	Drainage system	Cleaning of canals, culverts, repair of inlet and outlet heads.
	Crack seal	Bitumen emulsion for temporary repair. Polymer- or gum-modified asphalt materials for long-term protection.
	Edge-break repair	Closed-structure asphalt, cold-procedure mix, emulsion
	Shoulder repair	
	Patching	
Preventive maintenance	Fog Seal	Water-saturated emulsion in the quantity of 0.45 to 0.75 l/m^2
	Rejuvenating Seal	Sprinkling of bitumen or modified bitumen with low viscosity without an aggregate in the quantity of 0.3 to 0.9 l/m^2
	Slurry Seal	Mixture of an aggregate (grain dimension of 3 to 10 mm, filler) bitumen emulsion and water. битуменска емулзија и вода, by adding polymer. This procedure is called micro-overlay)
Thin layers	One-layer surface treatment	Sprinkled bitumen and application of uniform gradation aggregate
	Two-layer surface treatment	Two layers, with a finer aggregate applied on the second one
	Cape Seal	One-layer surface treatment after the application of Slurry Seal
	This asphalt overlays	Closed bitumen mixture 25 to 40mm thick
Overbuilding	Thick asphalt overbuilding	Closed or open bitumen mixtures >40 mm thick
	Modified asphalt	Polymer-modified closed bitumen mixtures
	Modified asphalt	Polymer-modified closed bitumen mixtures
Rehabilitation	Scraping and asphalting in thick layers	Removal of a part of the layer or of one or two layers and their replacement by new ones.
Reconstruction	Reconstruction	Removal of the entire asphalt to the lower bearing base and its replacement with new layers.

اشکال بخشی از خرابی‌ها ترمیم شده قبل و بعد از اجرا با فگ سیل در شکل های ۱ و ۲ قابل مشاهده است. در ادامه این پژوهش، به پیشینه پژوهش های مرتبط با ضرورت بر استفاده از آسفالت حفاظتی فوگ سیل در روسازی راه، سپس به بحث و نتیجه گیری پرداخته خواهد شد.

(a) (b)

شکل۱ : قسمت a قبل از اجرای فوگ سیل و قسمت b بعد از اجرای فوگ سیل

شکل۲: اجرای فوگ سیل در سطح روسازی

۲- پژوهش های انجام گرفته شده مرتبط با آسفالت های حفاظتی فوگ سیل:

۲-۱- عملکرد فگ سیل ماسه ای امولسیون اپوکسی برای آب بندی به عنوان روش پیشگیری از نگهداری روسازی: (از آزمایشگاه تا بررسی میدانی)

برای حفظ روسازی آسفالت موجود و افزایش عمر مفید آن ، روشهای مختلف نگهداری پیشگیرانه ای از قبیل استفاده از چیپ سیل[۱]، اسلاری سیل[۲]، فگ سیل[۱] و میکروسرفیسینگ[۲] موثر هستند. استفاده از فگ سیل یکی از این روشهای نگهداری است که مبتنی بر استفاده از امولسیون قیر و ماسه است. اما، عملکرد آن تا حد زیادی به ویژگی های امولسیون قیر و شن و ماسه بستگی دارد.

۱ Chip seal
۲ Slurry seal

هدف اصلی دراین مطالعه ایجاد یک روش پیشگیرانه جهت آب بندی روسازی با استفاده از فگ سیل ماسه ای امولسیون اپوکسی[۳] است. برای این منظور، دو آزمایش بصورت آزمایشگاهی و آزمایشات میدانی انجام شد. آزمایشات سایش مسیرمرطوب و آزمون آونگ بریتانیا[۴] برای تعیین اندازه مناسب فگ سیل و آزمایش مالش[۵] برای ارزیابی مقاومت سایشی مواد آب بندی انجام شد. نتایج بیانگر آن بودند که که محدوده اندازه بهینه ماسه بین ۰.۴۵-۰.۹ میلی متر است. فگ سیل ماسه ای با امولسیون اپوکسی موجود، مقاومت در برابر سایش و لغزش را نشان می دهد. همچنین، نتایج آزمون میدانی نیز نشان داد، استفاده از فگ سیل ماسه ای امولسیون اپوکسی جهت آبندی و پیشگیری در سطح روسازی باعث افزایش مقاومت در برابر لغزش شد(Hu and et al., ۲۰۲۰).

۲-۲- توسعه و کاربرد مقاومت سرخوردگی فگ سیل در روسازی

در این مطالعه به بررسی عملکرد مقاومت سرخوردگی فگ سیل برای پیشرفت و کارایی در اتصال مقاومت سرخوردگی فگ سیل با عملکرد بالا پرداخته شد. که بر این اساس، فوگ سیل با استحکام کششی، نفوذ پذیری و مقاومت پیرشدگی افزایش می یابد. به منظور افزایش مقاومت سرخوردگی فگ سیل، انواع ذرات مقاومت سرخوردگی و دوز آنها طبق اجزا مقاومت پوششی و سرخوردگی بهینه سازی شد و عملکرد آن تایید گردید. که این عملکرد مورد مطالعه قرار گرفت و مقدار بهینه مقاومت سرخوردگی فگ سیل پیشنهاد شد. نتایج نشان داد که مقاومت سرخوردگی فگ سیل خودساخته دارای استحکام چسبندگی، نفوذ پذیری و مقاومت به پیرشدگی بهتری است. همچنین، مقدار ۰.۶ کیلوگرم بر متر مربع مقاومت سرخوردگی فگ سیل، بهترین مقاومت در برابر سرخوردگی و مقاومت در برابر سایش و عملکرد نفوذ آب را نشان می دهد. در حالی که مقاومت سرخوردگی فگ سیل خودساخته شده توسط فرایند پیش مخلوط شده از بهترین ویژگی های سرخوردگی و مقاومت در برابر سایش برخوردار است(Jiang and et al., ۲۰۲۰).

۲-۳- ارزیابی فوگ سیل موجود در محیط در نگهداری جاده های کم تردد

در حالی که روسازی آسفالتی در ایالات متحده رایج است، اما آن در معرض اکسیداسیون به عنوان اثرات زیست محیطی قرار دارد و در نتیجه باعث خرابی در سطح روسازی می شود. برای حفظ عملکرد سطح جاده و افزایش طول عمر آن، از فوگ سیل های متعارف مانند امولسیون آسفالت برای کاهش ترک خوردگی، جلوگیری از اکسیداسیون و کاهش نفوذ آب استفاده می شود. با توجه به هزینه نسبتاً زیاد و نگرانی های زیست محیطی در خصوص درزگیری ترک ها بر اساس قیرنفتی، استفاده از محصولات زیست محیطی به عنوان فوگ سیل مورد توجه است. برخی از فوگ سیل های جدید مبتنی بر زیست محیطی مشتق شده از روغن زراعتی در بسیاری از ایالات به عنوان فوگ سیل ها استفاده شده است. برای ارزیابی اثربخشی یک ماده درزگیر زیستی به عنوان جایگزینی برای حفظ روسازی های آسفالت، یک بخش آزمایشی به طول ۵.۳ کیلومتری برای استفاده از یک ماده درزگیر فگ سیل بر پایه سوی[۶] با سه کاربرد متفاوت انتخاب شد. تا یک تحقیق دو ساله از بازتابندگی یکپارچه سازی روکش روسازی، اصطکاک سطح، سرعت رشد ترک خوردگی، جذب آب آزمایشگاهی و نفوذ پذیری هوا را انجام دهد. بخش کنترل بدون در نظر گرفتن درزگیر زیستی نیز برای اهداف مقایسه راه اندازی شد. نتایج میدانی نشان داد، پس از استفاده، بعد از گذشت دو هفته و چندین ماه، باعث کاهش کوتاه مدت در بازتابندگی یکپارچه سازی روکش روسازی و مقاومت در برابر سرخوردگی به حالت اولیه برگردانده شد. بخشهای عمل آوری شده نیز کنترل بهتری از سرعت رشد ترک نسبت به بخش کنترل

۱ Fog seal
۲ Microsurfacing
۳ Epoxy Emulsion Sand Fog Seal
٤ British pendulum test
٥ rubbing test
٦ soy-based

دارند. همچنین، نتایج آزمایشگاهی نشان داد که نمونه های عمل آوری شده با درزگیری با استفاده از مواد زیستی که در بالاترین میزان کاربرد به کار رفته اند، کمترین میزان جذب آب و نفوذ پذیری هوا را نشان دادند. چنین یافته هایی نشان می دهد که درزگیری هایی که از مواد زیستی در آنها استفاده می شود، می تواند یک جایگزین پایدار برای روسازی آسفالت باشد(Yang and et al., ۲۰۲۰).

۲-۴- مطالعه بروی کارایی و مقاومت سرخوردگی فگ سیل اصلاح شده نفتی با ماسه

هدف اصلی در این مطالعه، ارزیابی انواع مواد فگ سیلی، از جمله BEST-MBR[۱] ، AMS[۲] و BFSS[۳] با استفاده از انواع مختلف مصالح ماسه ای است. کارایی کلیه مصالح بر اساس تست Fluidity[۴] ، تست عملکرد نفوذ و تست مقاومت سرخوردگی درونی مورد آزمایش قرار گرفت. روش جدیدی برای ارزیابی یکپارچگی بافت سطح فگ سیل با مواد ماسه ای (FSS)[۵] بر اساس سیستم اندازه گیری دانه بندی نوع II انجام شد. نتایج آزمون نشان داد، زمانیکه شاخص ارزیابی جریان نفوذ به عرض ۱.۵ میلی متر تنظیم می شود، مقدار جریان نفوذ نباید کمتر از ۰.۲ باشد، در حالی که وقتی عرض ۲ میلی متر است، مقدار جریان نفوذ نباید کمتر از ۰.۷ باشد. علاوه بر این، ارزیابی بافت سطح نشان می دهد که پس از جامد شدن BFSS و افزایش عمق ساختاری سطح مصالح، باعث ایجاد شیارهای کوچکتر در اطراف ذرات ماسه می شود. مواد BFSS با ۲۰ درصد ماسه از نظر مقاومت در برابر سرخوردگی کمی بهتر از BEST-MBR است، در حالی که هنوز از Master Sealپایین تر است. افزودن روغن (زیست محیطی – نفتی) نیاز چسبندگی آسفالت را کاهش داده و منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی می شود. بنابراین، BFSS یک مادهFSS نسبتاً مطلوب است(Feng and et al., ۲۰۲۰).

۲-۵- ارزیابی فوگ سیل موجود در محیط برای حفظ روسازی آسفالت

کلیه ی جاده های مختلف، از جمله آنهایی که دارای روسازی آسفالتی هستند، به دلیل بارهای مکانیکی (ترافیکی) و آب و هوایی، با گذشت زمان خراب می شوند. نگهداری از روسازی شامل استفاده از یک عمل آوری مناسب در جاده های خراب برای حفظ شرایط خوب و افزایش طول عمر آنها است(Johnson, ۲۰۰٤ & Mamlouk and Zaniewski, ۱۹۹۸). استفاده از فگ سیل سبب کاهش هزینه آسفالت محلول یا امولسیون گرفته شده از قیر نفتی یا ذغال سنگ، کاهش سرعت انتشار ترک های ریز، جلوگیری از اکسیداسیون و آب بندی در برابر نفوذ آب می شود. درزگیرها با فگ سیل معمولی قبل از پاشش روی سطح روکش نیاز به گرمایش دارند و دمای پاشش باید بین ۵۲ درجه سانتیگراد تا ۷۱ درجه سانتیگراد (۱۲۵ درجه فارنهایت و ۱۶۰ درجه فارنهایت) توصیه شده است. از چنین فگ سیل های متعارف بر پایه نفتی از سال ها برای موفقیت در حفظ سطح جاده ها استفاده می شود. آنها نه تنها به زمان عمل آوری طولانی نیاز دارند، که منجر به تاخیر در باز شدن مسیر ترافیک می شود، بلکه آنها می تواند از نظر اجزای شیمیایی مانند هیدروکربن های آروماتیک چند وجهی باعث سلامتی شوند(Ghosh, ۲۰۱٦ and Kim, ۲۰۱۲). علاوه بر این، استفاده از این مواد مبتنی بر سوخت های فسیلی خطرات مرتبط با بحران انرژی و آلودگی های زیست محیطی را افزایش می دهد(Houghton, ۱۹۹٦ and Edenhofer, ۲۰۱۵). در حالت کلی، نتایج نشان داد، استفاده از فگ سیل مبتنی بر پایه متعارف نفتی، برای سالهای زیادی با موفقیت استفاده شده است، در حالی که فگ سیل های غیر

۱ Tianjin BEST -micro-seal bonding reductant
۲ American Master Seal
۳ Bio-oil–modified fog seal with sand
٤ Fluidity test
٥ Fog seal with sand

متعارف که از مواد شیمیایی زراعتی مشتق شده اند و دارای پتانسیل های مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست هستند، هنوز به درستی بررسی نشده است(Yang and et al., ۲۰۱۹).

۲-۶- پلیمر رزین سیلیکونی مورد استفاده در نگهداری پیشگیرانه از مخلوط آسفالتی با فگ سیل

مصالح متداول مورد استفاده در فگ سیل، آسفالت امولسیونی و آسفالت امولسیون اصلاح شده هستند. با این وجود، برخی از مشکلات قابل حل از جمله پیرشدگی در زیر اشعه ماوراء بنفش، نفوذپذیری ضعیف و حساسیت به رطوبت وجود دارد. در این مطالعه از پلیمر رزین سیلیکونی به عنوان مصالح نوین در فوگ سیل استفاده شد. خصوصیات فیزیک وشیمیایی رزین سیلیکون جامد مشخص شد. برای ارزیابی نفوذ پذیری و توزیع پلیمر رزین سیلیکون در یک مخلوط آسفالتی از توموگرافی محاسبه شده توسط اشعه ایکس[۱] و تکنولوژی بازسازی شده سه بعدی [۲]استفاده شد. حساسیت به رطوبت و عملکرد در دمای بالا از مخلوط آسفالتی نگهداری شده توسط پلیمر رزین سیلیکون نیز تشخیص داده شد. نتایج نشان می دهد که ویژگی سطح رزین سیلیکون می تواند به طور موثری رطوبت را جدا کرده و در نتیجه مقاومت رطوبت مخلوط آسفالت را بهبود بخشد. هنگام استفاده از مقدار مصرف ۴۰۰ یا ۶۰۰ میلی لیتر در مترمربع، مشخص شد که رزین سیلیکون به طور مساوی در منافذ نمونه توزیع می شود. میزان پر شدن منافذ با تغییر دوز از ۲۰۰ به ۴۰۰ میلی لیتر در متر مربع ۱۶.۳ درصد افزایش یافت، در حالی که با افزایش مقدار مصرف از ۴۰۰ به ۶۰۰ میلی لیتر در مترمربع ، فقط ۳.۷ درصد افزایش یافت. همچنین، نتایج بیانگر آن بود که مقاومت به رطوبت مخلوط های آسفالت با افزایش دوز سیلیکون افزایش می یابد. با این حال، با افزایش دوز مصرفی از ۴۰۰ به ۶۰۰ میلی لیتر در مترمربع، سرعت رشد در پایداری مارشال [۳](RMS) و نسبت مقاومت در برابر کشش[۴] (TSR) از زمان پر شدن منافذ سیلیکون به حد بالایی کاهش می یابد. مقدار رزین سیلیکون تأثیر کمی بر نتایج آزمایش شیارشدگی دارد در حالی که تأثیر قابل توجهی در آزمون ردیابی چرخ هامبورگ [۵](HWT) دارد. علاوه بر این، مشخص شد که با وجود۴۰۰ میلی لیتر در متر مربع، برای در نظر گرفتن نفوذ پذیری، توزیع، عملکرد مخلوط و هزینه اقتصادی، دوز مناسب سیلیکون برای دوره اصطکاک درجه منفی ۱۳ [۶](OGFC) است است (Cui and et al., ۲۰۱۹).

۲-۷- کمی سازی کاهش در رسانایی هیدرولیکی و مقاومت سرخوردگی بوسیله از فوگ سیل در جاده های کم تردد

فوگ سیل باعث کاهش نفوذپذیری ناشی از آب بندی و آسیب ناشی از رطوبت می شود. اما این مزیت همراه با از دست دادن موقتی اصطکاک در سطح است. با این حال، تعیین کمیت میزان آب بندی مه با اندازه گیری نفوذ پذیری کار دشواری است. اگرچه ممکن است فگ سیل گزینه خوبی از بابت کم هزینه بودن نگهداری جاده های کم تردد باشد، اما سرعت بازیابی اصطکاک به دلیل عمل شیارشدگی کمتر بین سطح فگ سیل و لاستیک ممکن است بسیار کند باشد. در این مطالعه چهار جاده کم تردد در جاده کادوپاریش[۷] در لوئیزیانا[۸]، انتخاب شدند. برای ارزیابی کاهش هدایت هیدرولیکی و ارزیابی خصوصیات اصطکاک با گذشت زمان، از دو امولسیون CSS-۱H و-E Fogبا نرخ عملکرد سه گانه استفاده شد. نتایج نشان داد که می توان انتظار داشت که فگ سیل در عرض ۲.۵ تا ۳.۵ ساعت با نرخ استفاده ۰.۲ تا ۰.۴ (گالن/ یارد مربع) به طور کامل عمل آوری گردد. هسته های میدانی مشابه قبل و بعد از آب بندی مه آزمایش شد تا دقیقاً

۱ X-ray computed tomography
۲ ۳D reconstruction
۳ Residual Marshall Stability
٤ Tensile Strength Ratio
٥ Hamburg Wheel Tracking
٦ Open-Graded Friction Course
۷ Caddo Parish
۸ Louisiana

کاهش هدایت هیدرولیکی را تعیین کند. مشاهده شد که فگ سیل، پتانسیل قابل توجهی در کاهش هدایت هیدرولیکی دارد. با در نظر گرفتن هر چهار جاده و میزان کاربرد ۰.۱ تا ۰.۲۲ گالن در سال، میانگین کاهش هدایت هیدرولیکی ۳۸.۵٪ است. کاهش هدایت هیدرولیکی حساسیت بسیار کمی به میزان کاربرد را نشان می دهد. بدون در نظر گرفتن نوع جاده، امولسیون و میزان کاربرد، فوگ سیل باعث افت ناگهانی پارامتر F اصطکاکی بین المللی F۶۰ با ۲۰٪ تا ۴۰٪ می شود. سطح فوگ سیل پس از سه ماه به اصطکاک اصلی خود باز نخواهد گرد(Islam and et al., ۲۰۱۷).

۲-۸- نگهداری روسازی آسفالتی با استفاده از فوگ سیل

در این مطالعه سه نوع از ترمیم کننده های متداول، در سیزده جاده جنوبی ایالت ایندیانا[۱] در ایالات متحده تجزیه و تحلیل شد که فواید و اثرات هر یک مشخص گردید. همچنین از فوگ سیل مختلف ترمیم کننده در مورد بهبود اصطکاک سطح ، وضعیت کلی روسازی های آسفالتی موجود و خصوصیات رئولوژیکی و شیمیایی چسب مقایسه شد. از سه مواد مختلف ترمیم کننده، اصلاح شده با پلیمر (PMR)[۲] با نام (Rejuvenator A)، ترمیم کننده با قطران زغال سنگ (CTR)[۳] با نام (Rejuvenator B) و ترمیم کننده سوی بیم (SR)[۴] با نام (Rejuvenator C) در فوگ سیل استفاده شدند. برای ارزیابی وضعیت کلی روسازی و برای اندازه گیری ضریب اصطکاک (CF)[۵] به ترتیب از ارزیابی (PASER)[۶] و (DFT)[۷] استفاده شد. خصوصیات رئولوژیکی قیرها با استفاده از (DSR)[۸] و خصوصیات شیمیایی (غلظت کربونیل) ا با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)[۹] اندازه گیری شد. نمونه ها سپس در مخزن فشار پیرشدگی (PAV)[۱۰] (PAV)[۱۰]قرار گرفتند و آزمایشات مشابه دیگر (DSR) و (FTIR) مجدداً انجام شد تا میزان تغییرات خواص رئولوژیکی و شیمیایی را به دست آید. قبل و بعد از عمل آوری داده ها برای تمام روش های آزمون جمع آوری و برای مقایسه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از اصطکاک سطحی نشان می دهد که Rejuvenator C باعث کمترین کاهش اصطکاک سطحی در مقایسه با Rejuvenator A و Rejuvenator B می باشد، در حالی که نتایج حاصل از آزمایش قیر نشان می دهد که Rejuvenator A و Rejuvenator C در مقایسه با Rejuvenator B مزایای بیشتری به قیر ارائه می دهند(Kebede, ۲۰۱۶).

۳- نتایج و بحث

معرفی سیستم مدیریت شبکه جاده ای پیش شرط تصویب استراتژی نگهداری جاده ها است. فقط با آگاهی دقیق از شبکه راه، آسیب های آن، نیازهای نگهداری و فن آوری های موجود، می توان با در نظر گرفتن منابع مالی موجود، استراتژی نگهداری را آغاز کرد. این امر تأکید ویژه ای بر تجزیه و تحلیل سناریوهای مختلف نگهداری، که به موجب آن لازم است بودجه لازم برای هر یک از آنها را تجزیه و تحلیل کند، و سپس با توجه به منابع مالی موجود، مطلوب ترین مورد را اتخاذ کنید و استراتژی تعمیر و نگهداری آینده را تعیین کند. با بکارگیری از این نوع روش های کم هزینه و مؤثر می تواند از شرایط مناسب و منطقی تر از منابع مالی و تجهیزاتی در بهسازی راههای کشور استفاده کرد. آسفالتهای حفاظتی فگ سیل در صورتی که بتوان طرح اختلاط مناسبی متناسب با شرایط محلی که در آن اجرا می شوند تهیه کرد

۱ State of Indiana
۲Polymer-Modified Rejuvenator
۳ Coal Tar Rejuvenator
۴ Soybean Rejuvenator
۵ Coefficient of Friction
۶ Pavement Surface Evaluation and Rating
۷ Dynamic Friction Tester
۸ Dynamic Shear Rheometer
۹ Fourier Transform Infrared Spectroscopy
۱۰ Pressure Aging Vessel

می تواند بسیار مناسب و موثر باشد. همچنین این آسفالت حفاظتی نیازمند ماشین آلات ویژه و نیروی انسانی متخصص می باشد. در حالت کلی به خاطر ضخامت کم این نوع آسفالت حفاظتی در اجرا در مقایسه با گزینه های مشابه دیگراقتصادی تر می باشد.

۴- نتیجه گیری

حفظ و نگهداری روسازی فرایند حفظ و محافظت از شرایط روسازی برای افزایش عمر مفید روسازی است و به همان اندازه طراحی روسازی اهمیت دارد. حفاظت از شرایط روسازی می تواند از آسفالت حفاظتی همانند فوگ سیل یا با انجام فعالیت های نگهداری از قبیل بررسی ترک های موجود و استفاده از راههای پیشگیرانه با استفاده کرد. یک جاده که به خوبی حفظ شده باشد می تواند قبل از نیاز به تعمیر و نگهداری، طول عمر زیادی داشته باشد. علاوه بر این، یک نگهداری پیشگیرانه روسازی با قیمت پایین که در مراحل اولیه عمر مفید آن برای روسازی انجام می شود، می تواند هزینه چرخه عمر روسازی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. اهم نتایج حاصل از این مطالعه به شرح زیر است:

۱- فگ سیل ماسه ای با امولسیون اپوکسی، مقاومت در برابر سایش و سرخوردگی را نشان می دهد که استفاده از آن جهت آبندی و پیشگیری در سطح روسازی باعث افزایش مقاومت در برابر سرخوردگی می شود.

۲- افزودن روغن (زیست محیطی – نفتی) نیاز چسبندگی آسفالت را کاهش داده و منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی می شود. همچنین باعث افزایش مقاومت سطح جاده با عملکرد بالا و همچنین مقاومت در مقابل پیرشدگی را بالا می برد.

۳- نتایج استفاده از فگ سیل موجود در آزمایشگاه نشان داد که نمونه های عمل آوری شده با درزگیری با استفاده از مواد زیستی که در بالاترین میزان کاربرد به کار رفته اند، کمترین میزان جذب آب و نفوذ پذیری هوا را نشان دادند. چنین یافته هایی نشان می دهد که درزگیری هایی که از مواد زیستی در آنها استفاده می شود، می تواند یک جایگزین پایدار برای روسازی آسفالت باشد.

۴- کارایی کلیه مصالح بر اساس تست Fluidity و عملکرد نفوذ و تست مقاومت سرخوردگی درونی برای ارزیابی یکپارچگی بافت سطح فگ سیل با مواد ماسه نشان داد که ارزیابی بافت سطح نشان می دهد که پس از جامد شدن BFSS و افزایش عمق ساختاری سطح مصالح، باعث ایجاد شیارهای کوچکتر در اطراف ذرات ماسه می شود. همچنین افزودن روغن (زیست محیطی – نفتی) نیاز چسبندگی آسفالت را کاهش داده و منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی می شود. بنابراین، BFSS یک مادهFSS نسبتاً مطلوب است.

۵- استفاده از فگ سیل سبب کاهش هزینه آسفالت محلول یا امولسیون گرفته شده از قیر نفتی یا ذغال سنگ، کاهش سرعت انتشار ترک های ریز، جلوگیری از اکسیداسیون و آب بندی در برابر نفوذ آب می شود. استفاده از فگ سیل مبتنی بر پایه متعارف نفتی، برای سالهای زیادی با موفقیت استفاده شده است، در حالی که فگ سیل های غیر متعارف که از مواد شیمیایی زراعتی مشتق شده اند و دارای پتانسیل های مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست هستند، هنوز به درستی بررسی نشده است.

۶- استفاده از پلیمر رزین سیلیکونی مورد استفاده در نگهداری پیشگیرانه از مخلوط آسفالتی با فگ سیل نشان داد که مقاومت به رطوبت مخلوط های آسفالت با افزایش دوز سیلیکون افزایش می یابد. مقدار رزین سیلیکون تأثیر کمی بر نتایج آزمایش شیارشدگی دارد در حالی که تأثیر قابل توجهی در آزمون ردیابی چرخ هامبورگ دارد. مشخص شد که با وجود۴۰۰ میلی لیتر در متر مربع، برای در نظر گرفتن نفوذ پذیری، توزیع، عملکرد مخلوط و هزینه اقتصادی، دوز مناسب سیلیکون برای دوره اصطکاک درجه منفی ۱۳ است.

۷- در حالت کلی استفاده از فگ سیل باعث حفاظت روسازی در برابر ترک خوردگی و فرسایش آسفالت شده، افزایش طول روسازی، به تعویق انداختن ترمیم عمده، کاهش نفوذپذیری ناشی از آب بندی و آسیب ناشی از رطوبت می شود.

منابع

Cui, P., Wu, S., Xu, H., & Lv, Y. (۲۰۱۹). Silicone resin polymer used in preventive maintenance of asphalt mixture based on fog seal. Polymers, ۱۱(۱۱), ۱۸۱٤.

Edenhofer, O. (Ed.). (۲۰۱٥). Climate change ۲۰۱٤: mitigation of climate change (Vol. ۳). Cambridge University Press, New York.

Feng, P., Wang, H., Zhang, X., Hasan, M. R. M., You, Z., & Gao, J. (۲۰۲۰). Study on workability and skid resistance of bio-oil–modified fog seal with sand. Journal of Testing and Evaluation, ٤۸(۳).

Ghosh, D., Turos, M., & Marasteanu, M. (۲۰۱٦). Evaluation of bio-fog sealants for pavement preservation. Report No. MN/RC ۲۰۱٦-۲۰. University of Minnesota.

Gransberg, D., Pidwerbesky, B., & James, D. M. (۲۰۰٥, October). Analysis of New Zealand chip seal design and construction practices. In Transportation Research Circular No. E-C۰۷۸: Roadway Pavement Preservation ۲۰۰٥: Papers from the First National Conference on Pavement Preservation, Kansas City, Missouri October ۳۱–November ۱ (pp. ۳-۱٥).

Haas, R., Hudson, W. R., & Zaniewski, J. P. (۱۹۹٤). Modern pavement management.

Houghton, E. (۱۹۹٦). Climate change ۱۹۹٥: The science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. ۲). Cambridge University Press.

Hu, C., Li, R., Zhao, J., Leng, Z., & Lin, W. (۲۰۲۰). Performance of Waterborne Epoxy Emulsion Sand Fog Seal as a Preventive Pavement Maintenance Method: From Laboratory to Field. Advances in Materials Science and Engineering, ۲۰۲۰.

Islam, R. M., Arafat, S., & Wasiuddin, N. M. (۲۰۱۷). Quantification of reduction in hydraulic conductivity and skid resistance caused by fog seal in low-volume roads. Transportation Research Record, ۲٦٥۷(۱), ۹۹-۱۰۸.

Jiang, Y., Yi, Y., Tian, T., Fan, J., Yuan, K., Deng, C., & Xue, J. (۲۰۲۰). Development and Application of Skid Resistance Fog Seal for Pavements. Coatings, ۱۰(۹), ۸٦۷.

Johnson, A. M. (۲۰۰۰). Best practices handbook on asphalt pavement maintenance. Retrieved from https://ntl.bts.gov/lib/۱۱۰۰۰/۱۱٥۰۰/۱۱٥۹٦/۲۰۰۰-۰٤.pdf.

Kebede, A. A. (۲۰۱٦). Asphalt pavement preservation using rejuvenating fog seals.

Kim, Y. R., & Im, J. H. (۲۰۱۲). Fog seal effectiveness for bituminous surface treatments. Report No. HWY-۲۰۱۰-۰۲, North Carolina Department of Transportation, Raleigh, NC

Mamlouk, M. S., & Zaniewski, J. P. (۱۹۹۸). Pavement preventive maintenance: Description, effectiveness, and treatments. In Flexible pavement rehabilitation and maintenance. ASTM International. Retrieved from https://compass-astm-org.proxy.lib.iastate.edu/download/STP۱۲۸٥٦S.٤٧۹۹.pdf.

Nedevksa, I., Ognjenovic, S., & Pustovgar, A. (۲۰۱۷). Review on the Pavement-repairing Measures as a Condition for the Choice of Road-Maintenance Strategy. MATEC Web of Conferences.

Yang, B., Zhang, Y., Ceylan, H., & Kim, S. (۲۰۲۰). Evaluation of bio-based fog seal for low-volume road preservation. International Journal of Pavement Research and Technology, ۱-۱۰.

Yang, B., Zhang, Y., Ceylan, H., & Kim, S. (۲۰۱۹). Assessing Bio-Based Fog Seal for Asphalt Pavement Preservation.