بررسی انواع آسفالت‌های حفاظتی (مزایا و کاربرد)

مقاله علمی – پژوهشی

مصطفی وامق*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران
علی هژبر کیانی، دانش آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد تهران‌جنوب دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
مصطفی آدرسی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Mostafa_Vamegh@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۸– پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱
صفحه ۳۴۰-۳۱۷

چکیده

امروزه، ایمنی، ماندگاری و مقاومت مصالح بکار رفته در پوشش شبکه حمل‌ونقل و راه‌های ارتباطی، یکی از عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار در کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری راه‌ها و تأمین امنیت، جلوگیری از اتلاف وقت و آسایش روانی استفاده‌کنندگان از این معابر می‌باشد. یافتن روش‌های پیشگیرانه از تخریب زودهنگام آسفالت در شبکه راه‌ها و به تعویق‌انداختن تعمیرات روسازی و بالابردن عمر مفید روسازی آسفالت با ارتقای مشخصات فنی مواد بکار رفته، نیازمند مطالعه و تحقیق بر روی روش‌های مختلف ترمیم و نگهداری می‌باشد که به دو صورت اصلاحی و پیشگیرانه هستند. در روش پیشگیرانه، آسفالت حفاظتی به دلیل به ارمغان آوردن خصوصیات سطحی مطلوب، کم‌کردن هزینه، اثر دهی بالا و جلوگیری از تخریب آسفالت در بازه زمانی بالا و در راستای کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، جایگاهی ویژه دارد. یکی دیگر از عملکردهای آسفالت حفاظتی، ایجاد سطحی مقاوم در برابر لغزش می‌باشد. آسفالت حفاظتی دارای انواع مختلفی به نام‌های فوگ سیل، کیپ سیل، چیپ سیل، اسلاری سیل، سیل کت و میکروسرفیسینگ است که هر کدام خصوصیات خاص خود را دارا می‌باشند که البته با انتخاب هر نوع متحمل هزینه‌های مختلفی خواهیم شد و باید به این نکته، در کنار شرایط آب‌وهوایی و میزان ترافیک محل موردنظر در هنگام انتخاب نوع آسفالت حفاظتی دقت کنیم.

واژه‌های کلیدی: آسفالت حفاظتی، نگهداری پیشگیرانه، میکروسرفیسینگ، فوگ سیل، سیل کت

۱- مقدمه

شبکه راه‌ها به‌عنوان بازوی شبکه حمل‌ونقل کشور محسوب می‌شود که شریان اصلی و گسترده توسعه اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی می‌باشد. باتوجه‌به اینکه شبکه راه‌ها از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، عدم نگهداری به‌موقع از آن، سبب ازبین‌رفتن ارزش شبکه راه و تخریب هر چه سریع‌تر بزرگراه‌ها و راه‌های برون‌شهری می‌شود. نتیجتاً شبکه راه‌ها دچار زوال و تخریب خواهند شد و امر باعث افزایش تصادفات و بیشترشدن هزینه بهره‌برداری از راه‌هایی که نیاز به بهسازی و بازسازی گسترده‌ای دارند، می‌شود. (AC01364616, 1994). با بالارفتن سن شبکه راه و افزایش سهم آن‌ها در بهبود رفاه مردم در طول زمان و افزایش آسیب‌پذیری شبکه راه در برابر اثرات تغییرات آب‌وهوایی، این نیاز بیشتر برای نگهداری راه حس می‌شود. در نتیجه سهم هزینه‌های نگهداری راه در بودجه راه‌های ملی باگذشت زمان باید افزایش یابد. درعین‌حال مدیریت هزینه باید به‌صورت هوشمندانه مؤثر، شفاف و بهینه انجام شود و با نظر به این موارد، استفاده از ترمیم و نگهداری پیشگیرانه در زمان

مناسب در مقایسه با ترمیم روسازی و احداث روسازی جدید موجب بهبود وضعیت و طولانی‌شدن عمر بهره‌برداری و کاهش هزینه‌های تحمیلی بر استفاده‌کنندگان راه‌ها می‌شود. (Zalnezhad and Hesami, 2017)

ترمیم و نگهداری، ضروری‌ترین و همچنین متداول‌ترین روش در حفظ عملکرد درازمدت روسازی آسفالتی می‌باشد. اساس تعمیر و نگهداری، به دو صورت پیشگیرانه و اصلاحی صورت می‌گیرد. در سیستم پیشگیرانه نرخ خرابی روسازی کاهش می‌یابد و روسازی موجود حفظ می‌گردد و در روش اصلاحی خرابی یا محدوده‌ای از خرابی اصلاح می‌گردد.

به طور کل به کارهایی که از آسیب‌دیدگی بیشتر روسازی جلوگیری می‌کند یا آن را کاهش می‌دهد، ترمیم و نگهداری پیشگیرانه می‌گویند(Johnson, 2000) اکثر روسازی‌ها دارای ظرفیت باربری کافی بوده و از نظر سازه‌ای سالم می‌باشند. اما دارای ویژگی‌های سطحی مطلوبی نیستند. مشخصات و ویژگی‌های مطلوب سطحی روسازی، باعث شده که یکپارچگی سازه‌ای و ساختاری آن حفظ شود و مقاومت آن در برابر سایش، ایمنی و راحتی در رانندگی را برای کاربران فراهم سازد. روش‌های نگهداری پیشگیرانه به‌عنوان امری موثر، کم هزینه و با اثردهی بالا با هدف کاهش نرخ خرابی روسازی گسترش یافته و در طول سال‌های گذشته به‌عنوان بهترین رویکرد مقرون‌به‌صرفه برای گسترش عمر بهره‌وری روسازی و حفظ و نگهداری ظرفیت ساختاری آن و ارائه خدمات با کیفیت در زمان مواجهه با محدودیت‌های بودجه‌ای معرفی شده است. در راستای کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری معابر، بکارگیری آسفالت حفاظتی رنگی بادوام می‌تواند از بهترین راهکارها قلمداد شود. (Johannes, 2014)

بهسازی‌های سطحی که یکی از روش‌های آن آسفالت حفاظتی نام دارد، به‌منظور رفع ناهمواری‌های سطحی در جهت تأمین رانندگی راحت و ایمن انجام می‌شود (Johnson, 2000)

آسفالت حفاظتی به آن دسته از مخلوط‌های قیر و مصالح سنگ می‌گویند که جهت پوشش و محافظت راه در برابر عوامل جوی به کار گرفته می‌شوند.
(I.M.o.R.a.U.D.R.C.f.R.P.M.a. Maintenance, 2011)

نگهداری شامل اقداماتی می‌باشد که در نتیجه آن هزینه‌ها یا زمان تعمیرات به تعویق بیفتند که از انواع روش‌های آن می‌توان به نگهداری پیشگیرانه و اصلاحی اشاره کرد (Zalnezhad and Hesami, 2017) آسفالت حفاظتی به‌عنوان یک لایه رویه موقت بر روی لایه اصلی قرار می‌گیرد، به‌عنوان یک برنامه نگهداری میان‌مدت و یا حتی یک بهسازی سریع پیش از بازسازی اساسی استفاده می‌شود. این اتفاق به دلیل بهبود کیفیت و افزایش طول عمر اتفاق می‌افتد (Naderi et al. 2016) همه متدهای آسفالت حفاظتی باعث افزایش عمر رویه جاده‌ها شده و هر متد کار مشخصی را انجام می‌دهد (Galehouse and Moulthrop and Hicks, 2003) and (Zainewski, 1994)

از اهداف آسفالت حفاظتی می‌توان به تأمین رویه‌ای مقاوم در برابر لغزش، فراهم‌کردن پوشش موقت برای لایه اساس جدید، افزایش مقاومت سایشی، افزایش خاصیت بازتابندگی رویه راه، احیای روسازی‌های قدیم و روسازی‌های هوازده و خشک، تأمین رویه‌ای کم‌هزینه برای آمدوشد کم تا متوسط و تأمین لایه‌ای نفوذناپذیر برای جلوگیری از نفوذ آب به لایه‌های زیرین اشاره کرد (Transportation Research Institute, 2002)

از انواع آسفالت حفاظتی می‌توان به:

فوگ سیل (اجرای قیر امولسیون شده بدون مصالح)

سیل کت (اجرای یک لایه قیر به همراه پخش یک لایه ماسه)

اسلاری سیل (مخلوطی از مصالح ریزدانه قیر امولسیون آب و فیلر معدنی)

آسفالت حفاظتی ریزدانه (مخلوطی از مصالح ریزدانه شکسته قیر امولسیون پلیمری فیلر و ...)

کیپ سیل (یک لایه آسفالت سطحی که روی آن یک لایه اسلاری سیل با آسفالت حفاظتی ریزدانه اجرا می‌شود (Kavosi and Zaierzade, 2006)

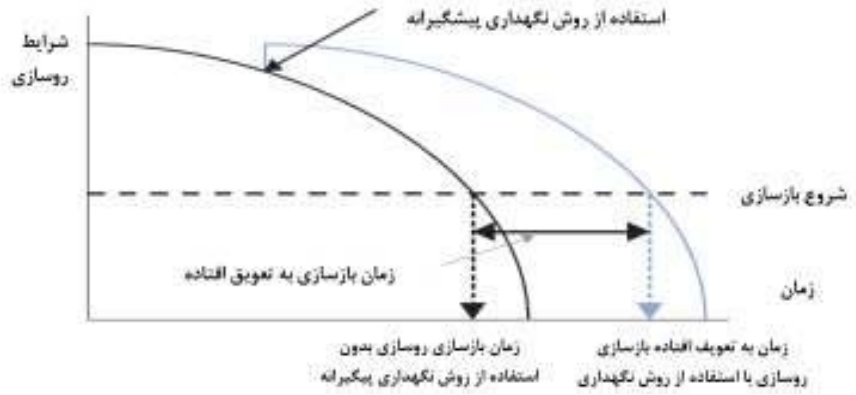
چیپ سیل (اجرای مصالح دانه‌ای بر روی قیر امولسیون (Bradiunes and Khabiri, 2019)

با بالارفتن قیمت روسازی‌های آسفالتی، کاربرد آسفالت‌های حفاظتی به‌عنوان اقدامی در سطح اقدام پیشگیرانه در تعمیر و نگهداری روسازی در سراسر جهان، من‌جمله ایران به شکل قابل‌توجهی رواج یافته است Hesami and (Zalnezhad, 2019)

انتخاب نوع درست طراحی و نوع عملیات باید به‌گونه‌ای باشد که شرایط آب‌وهوایی، جنس و اندازه مصالح توان باربری

و وضعیت روسازی در نظر گرفته شود تا عمر مفید و خدمت‌دهی یک جاده افزایش پیدا کند (Gheibi and Divandari, 2021).

باتوجه‌به اهمیت اقدامات پیشگیرانه برای حفظ عملکرد طولانی‌مدت روسازی آسفالتی و افزایش عمر و بالابردن ایمنی مسیر و کم‌هزینه‌تر بودن این دسته از اقدامات در مقایسه با ترمیم یا احداث روسازی جدید باهدف ارتقای مشخصات فنی روسازی، در این پژوهش به یکی از مهم‌ترین این دسته از اقدامات که آسفالت حفاظتی نام دارد، می‌پردازیم.



شکل ۱. استفاده از نگهداری پیشگیرانه برای به تاخیر انداختن بازسازی روسازی (Robati, 2012)

۲-آنواع آسفالت حفاظتی

فوگ سیل

در روش عمل‌آوری فوگ سیل، سطح آسفالت موجود را امولسیون آسفالت رقیق شده از انواع خرابی‌ها، آب‌بندی و محافظت می‌کند. فوگ سیل در بالاترین سطح روسازی اجرا می‌شود تا از ترک‌خوردگی و فرسایش بیشتر آسفالت محافظت کند. (Kebede, 2016) این روش مبتنی بر استفاده از امولسیون قیر و ماسه است که عملکرد آن تا حد زیادی به ویژگی‌های امولسیون قیر، شن و ماسه بستگی دارد. (California. Dept. of Transportation. Division of Maintenance, 2003) انتخاب نوع قیر امولسیونی از حیث زودشکن و دیرشکن بودن، تابع عواملی از جمله وضعیت روسازی به لحاظ وجود ترک‌های ریز (که در این حالت، قیرهای امولسیونی دیرشکن مناسب‌تر بوده تا نفوذ امولسیون در ترک‌ها رخ دهد)، وضعیت عبور و مرور در محور، درجه‌حرارت هوا و روسازی و تنظیم زمان لازم جهت شکسته‌شدن امولسیون به‌منظور برقراری عبور و مرور بستگی دارد. عموماً باتوجه‌به شرایط، رقیق نمودن قیر امولسیون به نسبت ۵۰ به ۵۰ و میزان مصرفی از ۳۰۰ الی ۱۲۰۰ گرم در مترمربع توصیه می‌شود. (California. Dept. of Transportation. Division of Maintenance, 2003) فوگ سیل باعث کاهش نفوذپذیری ناشی از آب‌بندی و آسیب ناشی از رطوبت می‌شود. در نتیجه برای نگهداری از جاده‌های کم تردد به دلیل کم‌هزینه‌بودن از این روش استفاده می‌شود. فوگ سیل پتانسیل قابل‌توجهی در کاهش هدایت هیدرولیکی دارد. (Islam and Arafat and Wasiuddin, 2017)

کاربرد اصلی فوگ سیل در راه‌های پر ترافیک، برای جلوگیری از شن‌زدگی لایه‌های اصطکاکی با دانه‌بندی توخالی و تفکیک بین مسیر عبوری از شانه راه است (Kavosi and Zaierzade, 2006).

شکل ۲. قبل و بعد از اجرای فوگ سیل (Schuler .et al, 2018)

مصالح سنگی

مصالح دانه‌ای خشک شده مورداستفاده در فوگ سیل باید باتوجه‌به آزمایش دانه‌بندی با الک، مطابق با جدول زیر باشد. مصالح دانه‌ای باید توسط ابزار مکانیکی خرد شوند و زاویه حداقلی ٤٥ درجه که توسط آزمایش فضای خالی ماسه غیر متراکم مشخص شده را دارا باشند.

(t al, 2018 . Schuler)

جدول ۱. دانه‌بندی فوگ سیل(Schuler .et al, 2018)

اندازه غربال آزمایش دانه‌بندی	درصد رد شده
شماره ۸	۱۰۰
شماره ١٦	۸۵_۵۰
شماره ۳۰	٦۰_۲۵
شماره ۵۰	۳۰_۵
شماره ۲۰۰	۱۰_۰

افزودنی‌ها

فوگ سیل یک روش پرداخت سطح با استفاده از امولسیون آسفالت رقیق‌شده با گیرش آهسته یا متوسط، بدون سنگ‌دانه است که توسط یک توزیع‌کننده آسفالت بر روی سطح روسازی اعمال می‌شود. برای کاهش ترک‌خوردگی، جلوگیری از اکسیداسیون و کاهش نفوذ آب و ایجاد خطوط شانه با کمترین میزان مصرف انرژی استفاده می‌شود انواع جدید فوگ سیل مبتنی بر زیست‌محیطی مشتق شده از روغن زراعتی است که البته این نوع فوگ سیل‌های غیرمتعارف که هم پتانسیل مقرون‌به‌صرفه بودن را دارند و هم سازگار با محیط‌زیست‌اند، اما هنوز به‌درستی بررسی نشده‌اند. افزودن روغن (زیست‌محیطی – نفتی) نیاز چسبندگی آسفالت را کاهش داده و منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. همچنین باعث افزایش مقاومت سطح جاده با عملکرد بالا و همچنین مقاومت در برابر پیرشدگی را بالا می‌برد. فوگ سیل در محیط آزمایشگاهی نشان داد که نمونه‌های عمل‌آوری شده توسط درزگیری با استفاده از مواد زیستی که در بالاترین درجه کاربرد به‌کاررفته‌اند، پایین‌ترین میزان جذب آب و نفوذپذیری هوا را دارا می‌باشند که این‌ها نشانگر این است که درزگیری‌هایی که از مواد زیستی در آن‌ها استفاده می‌شود، می‌تواند یک جایگزین با نتایج پایدار برای روسازی آسفالتی باشد.

فوگ سیل ماسه‌ای با امولسیون اپوکسی، مقاومت در برابر سایش و سرخوردگی نشان می‌دهد که استفاده ازآن‌جهت آب‌بندی و پیشگیری در سطح روسازی باعث افزایش مقاومت در برابر سرخوردگی می‌شود. استفاده از فوگ سیل، سبب کاهش هزینه آسفالت محلول یا امولسیون گرفته شده از قیر نفتی یا زغال‌سنگ می‌شود. همچنین باعث کاهش سرعت انتشار ترک‌های ریز، جلوگیری از اکسیداسیون و آب‌بندی در برابر نفوذ آب می‌شود. استفاده از فوگ سیل مبتنی بر پایه متعارف نفتی،

برای سال‌های زیادی با موفقیت استفاده شده است. استفاده از پلیمر رزین سیلیکونی مورداستفاده در نگهداری پیشگیرانه از مخلوط آسفالتی فوگ سیل نشان می‌دهد که مقاومت به رطوبت مخلوط‌های آسفالت با افزایش دوز سیلیکون افزایش می‌یابد. مقدار رزین سیلیکون تاثیر کمی بر نتایج آزمایش شیارشدگی دارد، در حالی که تأثیر قابل‌توجهی در آزمون ردیابی چرخ هامبورگ دارد. مشخص شد که باوجود ۴۰۰ میلی‌لیتر در مترمربع، برای درنظرگرفتن نفوذپذیری، توزیع، عملکرد مخلوط و هزینه اقتصادی، دوز مناسب سیلیکون برای دوره اصطکاک درجه منفی ۱۳ است.

کارایی کلیه مصالح بر اساس تست Fluidity[1] و عملکرد نفوذ و تست مقاومت سرخوردگی درونی برای ارزیابی یکپارچگی بافت سطح فوگ سیل با مواد ماسه، بر این اذعان دارد که ارزیابی بافت سطح نشان می‌دهد که پس از جامد شدن BFSS[2] و افزایش عمق ساختاری سطح مصالح، باعث ایجاد شیارهای کوچک‌تر در اطراف ذرات ماسه می‌شود. همچنین افزودن روغن (زیست‌محیطی – نفتی) نیاز چسبندگی آسفالت را کاهش داده و منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود؛ بنابراین، BFSS یک ماده FSS نسبتاً مطلوب است. فوگ سیل ماسه‌ای با امولسیون اپوکسی مقاومت در برابر سایش و سرخوردگی را نشان می‌دهد که استفاده ازآن‌جهت آب‌بندی و پیشگیری در سطح روسازی باعث افزایش مقاومت در برابر سرخوردگی می‌شود. (Prapaitrakul .et al, 2005)

اجرای فوگ سیل

قبل از اجرای فوگ سیل می‌باید از تمیز و خشک‌بودن سطح و اتمام عملیات تعمیر و ترمیم‌های لازم اطمینان لازم را حاصل کنیم و به‌سرعت اجرا توجه ویژه‌ای داشته باشیم. بهتر است، فوگ سیل را در هوای گرم یا خیلی گرم اجرا کنیم تا آب امولسیون سریع‌تر تبخیر و قیر نقش پوششی خود را اجرا کند. اجرا در هوای سرد نیازمند زمان بیشتری برای گیرایی امولسیون قبل از بازگشایی مسیر برای ترافیک عبوری است. در شرایط آب‌وهوای سخت، ممکن است زمان بازگشایی راه بر روی ترافیک چندین ساعت طول بکشد. قبل از گیرایی نهایی اجازه عبور ترافیک نباید داده شود که این زمان گیرایی در ایده‌آل‌ترین حالت خود ۲ الی ۳ ساعت می‌باشد. در ضمن باید قبل از گیرش کامل و نهایی قیر امولسیون، سرعت عبور ترافیک در حد پایین کنترل گردد تا از بروز تصادفات ناشی از سرخوردن وسایل نقلیه روی سطح فوگ سیل شده، ممانعت گردد. دمای قیر هنگام پخش باید بین ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتیگراد و دمای سطح جاده حداقل ۱۰ درجه سانتی‌گراد باشد. به‌منظور افزایش ضریب اصطکاک سطحی می‌توان از پوشش سطح قیرپاشی شده یا ماسه استفاده کرد.

از فوگ سیل باید تنها در نقاطی که سطح روسازی موجود فضای خالی لازم برای جذب حداقل مقدار حیاتی امولسیون را داشته باشد، استفاده شود و نباید در نقاطی که ترک‌های آن زیاد باشد، مورداستفاده قرار گیرد. عمر عملکردی فوگ سیل به عواملی چون سازه روسازی، میزان قرارگرفتن در معرض آفتاب و شدت تابش آفتاب وابسته است. ولی عمر این مدل آسفالت نسبتاً کوتاه و معمولاً بین یک تا دو سال است. (Kavosi and Zaierzade, 2006)

اندود آب‌بندی

اندود آب‌بندی انواع مختلفی دارد که از مهم‌ترین آن‌ها اندود آب‌بندی ماسه‌ای و اندود آب‌بندی قیری به شمار می‌روند.(Najafi .et al, 2020) سیل کت، اجرای یک لایه قیر به همراه پخش یک لایه ماسه بر روی آن است، که معمولاً در مواقع اجرا امولسیون‌های قیری تندگیر استفاده می‌شود. سیل کت سطح را ضد آب و غیرقابل‌نفوذ می‌کند و دلیل استفاده از آن محافظت از روسازی در برابر اثرات مخرب گرمای خورشید و رطوبت هواست. سیل کت یک غشای ضد آب روی سطح راه ایجاد می‌کند که علاوه بر کند کردن فرایند اکسیداسیون نفوذپذیری سطحی را کاهش می‌دهد و موجب افزایش ضریب اصطکاک یا افزایش مقاومت آن در برابر سرخوردگی می‌شود. (Kavosi and Zaierzade, 2006)

آسفالت سطحی که کاربرد آن بیشتر به‌صورت آسفالت سطحی دو لایه است شامل اجرای دولایه سیل کت مجزا می‌باشد که در اکثر مواقع لایه اول ٦٠٪ کل ضخامت لایه با مصالح درشت‌تر در مرحله اول و ٤٠٪ باقیمانده ضخامت با مصالح به‌اندازه نصف اندازه مصالح لایه اول اجرا می‌شود. این نوع آسفالت حفاظتی سطح روسازی را آب‌بندی کرده و ترک‌های کوچک تا متوسط را درزگیری می‌کند و اصطکاک سطحی را افزایش می‌دهد. درصورتی‌که کاستی‌هایی در اجرای لایه اول باشد، با اجرای لایه دوم جبران می‌گردد. ضمناً چنانچه

لایه رویی در اثر سایش از بین برود، لایه پایین باقی می‌ماند. در مجموع مصالح بیشتر در اندود قیری باقی می‌ماند. آسفالت سطحی دولایه‌ای به نسبت یک لایه‌ای، سطحی نسبتاً یکنواخت ایجاد کرده و انتخاب مناسبی برای بهسازی روسازی‌های قدیمی و نامناسب است(Kavosi and Zaierzade, 2006)

اندود آب‌بندی ماسه‌ای: همانند آسفالت سطحی یک لایه و شامل پاشیدن قیر و پس از آن پخش ماسه مشابه آسفالت سطحی یک لایه‌ای بوده و شامل پاشیدن قیر و بعد از آن پخش ماسه است.

اندود آب‌بندی قیری: به‌وسیله پخش قیر بر روی بستر آسفالتی و یا بتنی بدون مصرف سنگ‌دانه و مانند اندودهای سطحی اجرا می‌شوند. برای پر کردن فضاهای خالی، ترک‌ها و احیای رویه آسفالتی به کار می‌رود و موجب افزایش عمر روسازی و به تأخیرانداختن زمان ترمیم و نگهداری اساسی می‌شود.

مصالح سنگی

اندود ماسه‌ای مشابه آسفالت سطحی یک لایه‌ای با قیرهای جدول (۲) و مصالح ماسه‌ای منطبق با دانه‌بندی جدول (۳) اجرا می‌گردد. ارزش ماسه‌های مصالح مصرفی نباید کمتر از ۷۵٪ باشد.

جدول ۲. قیرهای مورداستفاده در آسفالت‌های سطحی یک یا چند لایه‌ای (Transportation Research Institute, 2002)

انواع قیر		
قیرهای خالص	قیرهای محلول	قیرابه‌ها
	قیرهای زودگیر	آنیونی
	RC-۲۵۰	RS-۱
	RC-۸۰۰	RS-۲
۱۲۰ -۱۵۰	RC-۳۰۰۰	HFRS-۲
۲۰۰ -۳۰۰[1]	قیرهای کندگیر	کاتیونی
	MC-۸۰۰	CRS-۱
	M-۳۰۰۰	CRS-۲

۱- قیر ۳۰۰-۲۰۰ در مناطق گرم باید باتوجه‌به سابقه عملکرد آن در شرایط مشابه جوی مصرف شود.

جدول ۳. دانه‌بندی ماسه برای اندود ماسه‌ای
(Transportation Research Institute, 2002)

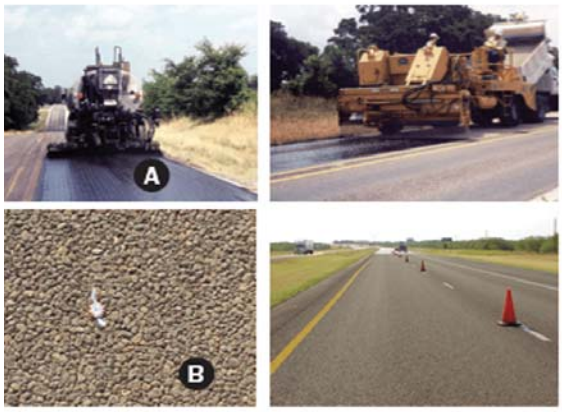
اندازه الک‌ها	درصد مواد رد شده
الک ۹/۵ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)	۱۰۰
الک ٤/۷۵ میلیمتر (شماره ٤)	۹۵-۱۰۰
الک ۱/۱۸ میلیمتر (شماره ١٦)	٤٥- ۸۰
الک ۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۱۰ – ۳۰
الک ۰/۱۵ میلیمتر (شماره۱۰۰)	۲-۱۰
الک ۰/۰۷۵ (شماره ۲۰۰)	۰-۳

افزودنی‌ها

افزودن پلیمرها در سیمان آسفالت، امولسیون آسفالت و امولسیون قطران زغال‌سنگ به طور معمول سفتی اولیه پوشش آب‌بندی را افزایش می‌دهد که منجر به حفظ بهتر سنگ‌دانه‌های مورداستفاده در پوشاندن مواد قیری می‌شود. علاوه بر این، پلیمر انعطاف‌پذیری/کشسانی پوشش آب‌بندی را در آب‌وهوای سرد افزایش می‌دهد و کاهش روزدگی قیر و تخلیه قیر روسازی در طول دوره‌های حرارت بالا را به همراه دارد

الاستومترها و پلاستومترها معمولاً به‌عنوان پلیمرهای افزودنی به اندود آب‌بندی استفاده می‌شوند. الاستومترها خصوصیات حالت ارتجاعی و انعطاف‌پذیری را مهیا می‌کنند و

امکان بازگشت به حالت اولیه پس از کشیدگی یا فشرده‌شدن را دارند. الاستومترهای معمول شامل لاستیک طبیعی، لاتکس طبیعی (لاتکس اصطلاحی برای هر لاستیک طبیعی یا مصنوعی می‌باشد که امولسیون شده)، لاستیک استایرن بوتادین و استایرن بوتادین استایرن. پلاستومترها خصوصیات سختی را مهیا می‌کنند و با افزایش دما نرم می‌شوند؛ ولی با سردشدن مواد باز به حالت سختی خود باز می‌گردند. پلاستومرهای معمول شامل اتیلن استات، پلی‌اتیلن، ترکیبات مختلف پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن وینیل استات و اتیلن متیل آکریلات است(Prapaitrakul .et al, 2005)



شکل ۳. اجرای سیل‌کت
(T.D.O.T.T.V. DICTIONARY, 2019)

A: آسفالت با سرعتی مناسب برای ترافیک و سایر عوامل پیش‌بینی شده اجرا می‌شود. ضخامت آسفالت به‌دقت انتخاب می‌شود تا ثبات و چسبندگی مناسب را در محدوده دماهای مورد انتظار حفظ کند.

B: مصالح دانه‌بندی شده بر روی آسفالت تازه پخش می‌شود. غلتک آن را به آسفالت فشار می‌دهد تا محکم به سطح بچسبد. هرگونه مصالح دانه‌بندی شده دیگری از جاده جارو می‌شود به کنار. اندازه مصالح دانه‌بندی شده بسته به هزینه، دردسترس‌بودن کیفیت سواری موردنظر و فاکتورهای دیگر می‌تواند متفاوت باشد. (T.D.O.T.T.V. DICTIONARY, 2019)

روش اجرای سیل کت

قبل از اجرای آسفالت سطحی باید از خشکی و تمیزی کامل سطح روسازی و تکمیل تعمیرات لازم نظیر درزگیری و لکه-گیری اطمینان لازم را حاصل کرد. پس از اجرا و قبل از اتمام عملیات غلتک‌زنی و تا زمانی که مواد قیری به گیرایی لازم نرسیده‌اند، نباید به ترافیک اجازه عبور داده شود. در سیل کت مصالح سنگی که با قیر به‌خوبی مخلوط نشده باشند، در برابر عبور چرخ‌ها ممکن است دچار خرابی شوند.

این آسفالت بر یک اساس مناسب با مقطع عرضی قابل‌قبول و پایدار بودن روسازی می‌باشد؛ این امر یکی از شرایطی است که روسازی موجود باید آن را داشته باشد.

وجود وصله‌کاری‌هایی که به‌صورت اصولی انجام شده باشند، نیز در روسازی قابل‌قبول است. این نوع آسفالت حفاظتی در زمان اجرا به‌شدت تحت‌تأثیر شرایط آب‌وهوایی است. بهترین شرایط آب‌وهوایی روز آفتابی گرم و با رطوبت کم است. رطوبت و هوای سرد زمان گیرایی را به تأخیر انداخته و اگر در این شرایط ترافیک از آن عبور کند، موجب بروز خرابی در سطح خواهد شد. بارندگی هم می‌تواند مشکلات زیادی ایجاد کند. در اجرای سیل کت بهتر است در فصول گرم و غیر بارانی وارد عمل شویم. همچنین نباید سیل کت را در هوای مه‌آلود و بارانی اجرا کنیم.

از نظر عملکردی طول عمر خدمت‌دهی زمان تقریبی ۳ تا ۵ سال برای این نوع آسفالت حفاظتی پیش‌بینی می‌شود. (Kavosi and Zaierzade, 2006)

اسلاری سیل

مخلوط آسفالتی اسلاری سیل، از مصالح ریزدانه با دانه‌بندی منظم قیر امولسیون و آب تهیه می‌شود که به جهت استفاده روی سطح راه‌های آسفالتی به‌عنوان یک قشر حفاظتی با ضخامت ۳ تا ۱۰ میلی‌متر اجرا می‌شود.

(Transportation Research Institute, 2002)

باتوجه‌به نوع سنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در اسلاری سیل با سه نوع مزیت و کارایی متفاوت روبرو می‌شویم:

-پر کردن ترک‌های ریز و ایجاد پوششی نازک بر روی سطح موجود

-بهبود مقاومت سایشی و شن‌زدگی (معمول‌ترین نوع سنگ‌دانه استفاده شده)

-حفاظت از سطح موردنظر و جلوگیری از تجمع آب و ایجاد پدیده هیدروپلنینگ(D. Anderson, 1987) و (Ming MA, et al. 2014)

مخلوط‌های اسلاری سیل، به دلیل اینکه صرفاً در یک ضخامت معین و بر حسب اندازه اسمی مصالح به‌کاررفته، قابل‌پخش می‌باشند، باید قبل از آن که شیب عرضی در اثر نشست‌ها یا برآمدگی‌ها برهم‌خورده یا خرابی‌ها تشدید شوند، اجرا شوند. (Ardakanian and Arezumand and Musavi, 2015)

در استفاده از روش اسلاری سیل برای بهسازی کم ضخامت و ارزان‌قیمت، جهت داشتن کارایی لازم و مطلوب می‌بایست تجهیزات مناسب را به کار گرفت و نکات اجرایی مخصوص نحوه اجرای محل درزهای طولی و عرضی، لبه‌ها و شانه‌ها، اختلاط مناسب، ایجاد سطح صاف و هموار، کنترل و هدایت و بازگشایی مدیریت شده ترافیک و کنترل و بازرسی مستمر روند عملیات اجرایی را رعایت نمود. (Ardakanian and Arezumand and Musavi, 2015)

مصالح سنگی

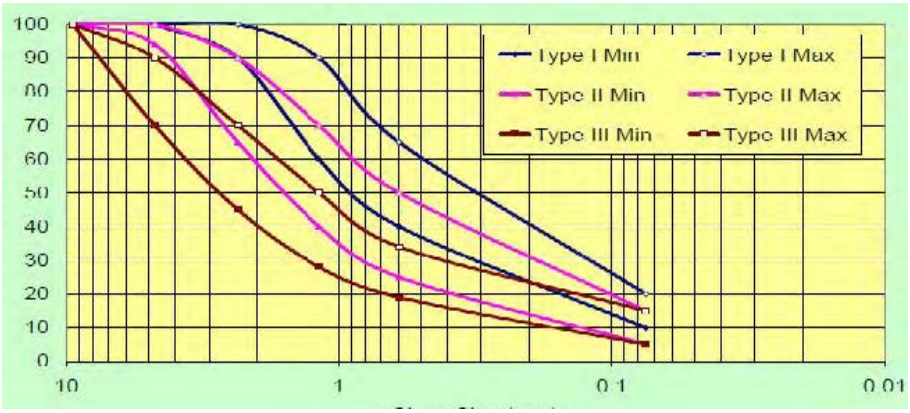
مصالح آسفالت اسلاری سیل، دانه‌بندی‌های متفاوتی دارند که در جداول شماره‌های ٤ و ٥ و نمودار شماره ٢ انواع ١ و ٢ و ٣ دانه‌بندی‌های متفاوت مناسب برای مخلوط اسلاری سیل نشان داده می‌شود.

جدول ٤. دانه‌بندی نوع (١) تا (٣) مربوط به دانه‌بندی مصالح مناسب برای مخلوط‌های اسلاری سیل (Caltrans, 2006)

الک	نوع ١	نوع ٢	نوع ٣
٣/٨ in (٩/٥mm)		١٠٠	١٠٠
No. ٤ (٤/٧٥mm)	١٠٠	٩٤_١٠٠	٧٠_٩٠
No. ٨ (٢/٩٦mm)	٩٠_١٠٠	٦٥_٩٠	٤٥_٧٠
No. ١٦ (١/١٨mm)	٦٠_٩٠	٤٠_٧٠	٢٨_٥٠
No. ٣٠ (٦٠٠-mm)	٤٠_٦٥	٢٥_٥٠	١٩_٣٤
No. ٢٠٠ (٧٥-mm)	٢٠_١٠	١٥_٥	١٥_٥

جدول ٥. مقادیر پارامترهای هم ارز ماسه‌ای و نشانه دوام دانه‌بندی نوع (١) تا (٣) مصالح مخلوط‌های اسلاری سیل (Caltrans, 2006) و (Schilling, 2002)

آزمایش	نوع ١	نوع ٢	نوع ٣	استاندارد آزمایش
هم ارز ماسه‌ای (دقیقه)	٤٥	٥٥	٦٠	CT ٢١٧
نشانه دوام (دقیقه)	٥٥	٥٥	٥٥	CT ٢٢٩



شکل ٤. سیستم سطح‌بندی دانه بندی سنگ‌دانه اسلاری سرفیسینگ (Ardakanian and Arezumand and Musavi, 2015)

٤-افزودنی‌ها

به دلیل استفاده از سنگ‌دانه‌های نوع آهکی در اسلاری سیل که به لحاظ چسبندگی به قیر و آب‌گریز بودن مناسب‌اند اما مقاومت خردشدگی و سایش پایینی دارد از سرباره استفاده می‌شود چرا که سرباره دارای مقاومت سایشی، مقاومت خردشدگی، مقاومت صیقلی‌شدن و ارزش ماسه‌ای بهتری نسبت به نوع سنگ‌دانه آهکی می‌باشد (Khan and Wahhab, 1998)

بااین‌حال استفاده از سنگ‌دانه‌های سرباره به‌تنهایی در مخلوط اسلاری ممکن است منجر به مشکلات جداشدن از مخلوط شود. این موضوع به دلیل چگالی بیشتر، تمایل کمتر سرباره به قیر در مقایسه با سنگ‌دانه آهک و بافت سطحی بسیار سخت ذرات تراکم سرباره است. (Gutt, 1976)

روش اجرای اسلاری سیل

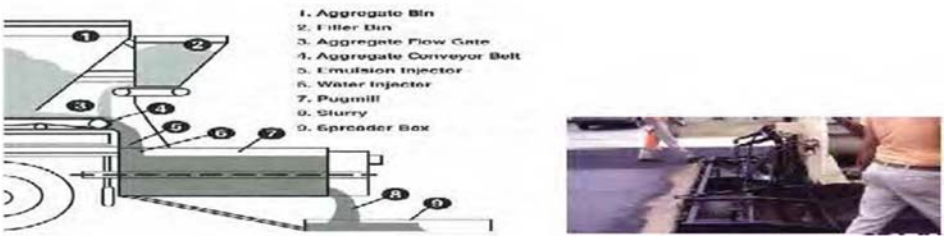
اجرای اسلاری سیل در جاهایی که مشکل اصلی اکسیداسیون یا سخت‌شدگی بیش از حد روسازی موجود است، مؤثر می‌باشد. بدین ترتیب آن را به‌منظور ایجاد تأخیر در زبر شدگی سطح راه، پر کردن ترک‌های ریز و بهسازی اصطکاک سطحی پیشنهاد می‌کنند. درصورتی‌که روسازی موجود در جاده دارای ترک‌های گسترده از نوع فعال (عرض ترک، قابلیت تغییر زیاد در طول شبانه‌روز و در فصول مختلف سال را دارد.) باشد، اسلاری سیل عملکرد خوبی نخواهد داشت.

اسلاری سیل را در زمانی که دمای هوا حداقل ۱۰ درجه سانتیگراد باشد و در طول ٢٤ ساعت اولیه پس از اجرا، احتمال یخبندان وجود نداشته باشد، می‌توان اجرا کرد. در زمان بارندگی یا زمانی که احتمال بارندگی قبل از گیرایی کامل امولسیون وجود داشته باشد، نباید اسلاری سیل را اجرا نمود.

در شرایط گرما و وجود تابش خورشید، پخش یک لایه‌نازک آب روی سطح برای شکست زودهنگام امولسیون و بهبود چسبندگی اسلاری سیل با روسازی موجود لازم است. در هوای گرم اسلاری سیل، حداقل ۲ ساعت برای گیرایی نیاز به زمان دارد. و این زمان گیرایی وابسته به دمای هوای محیط، رطوبت و نوع قیر امولسیون است. تنظیم مقدار فیلر معدنی به کاهش زمان گیرایی مخلوط اسلاری سیل کمک می‌کند، ولی ممکن است باعث کاهش کارایی مخلوط شود. منظور از کارایی چگونگی قابل‌پخش بودن مخلوط در سطح راه است که مخلوط‌های با کارایی زیاد و بیش از حد به کنار جاده زهکش می‌شوند و مخلوط‌های با کارآیی کم به قدری سخت و خشک هستند که قابل‌پخش در سطح راه نمی‌باشند.

اسلاری سیل در جاهایی که نیاز به بازگشایی سریع راه بر روی ترافیک باشد، مناسب نیست. چرا که قبل از آنکه به ترافیک اجازه عبور از روی سطح اجرا شده داده شود، یک دوره زمانی گیرایی و عمل‌آوری لازم است. عمر این آسفالت بین ۳ تا ۵ سال است. (Kavosi and Zaierzade, 2006)

شکل ۵. نمونه‌ای از اجرای اسلاری سیل در مناطق شهری بر روی روسازی موجود (Ardakanian and Arezumand and Musavi, 2015)



شکل ٦. نمونه‌ای از اجزای دستگاه مورداستفاده در اجرای مخلوط‌های اسلاری سیل (بصورت شماتیک)

(Ardakanian and Arezumand and Musavi, 2015)

اصلاحات پس از عملیات اجرایی به شرح زیر است:

غلتک‌زنی: ممکن است برای محدودکردن میزان جداشدن مصالح از غلتک پنوماتیک با فشار باد چرخ KPA۳٤٥ جهت تراکم استفاده شود.

جاروزدن: بایستی درست قبل از باز شدن جریان ترافیک و در دوره‌های تعیین شده جهت جمع‌آوری مصالح سنگین از سطح برای جلوگیری از صدمه به شیشه جلوی خودروها، جاروزنی انجام شود.

ماسه‌پاشی: در جهت کاهش زمان محدودیت عبور و مرور در مسیر (یا زمانی که تقاطع‌ها بسته می‌شوند.) ممکن است عملیات ماسه‌پاشی انجام شود. شرایط اجرایی پس از عملیات اجرایی به طریق زیر می‌باشد:

برقراری ترافیک سنگین همراه با بارش باران شدید بافاصله چند ساعت از زمان اجرا احتمال آسیب‌دیدگی سطوح اسلاری سیل را افزایش می‌دهد. بروز شرایط دمای پایین هوا و یخبندان تا دو هفته بعد از زمان اجرا می‌تواند باعث نفوذ آب به سیستم شده و سبب انجماد و آسیب به سطح اسلاری سیل گردد. (Ardakanian and Arezumand and Musavi, 2015)

آسفالت حفاظتی ریزدانه

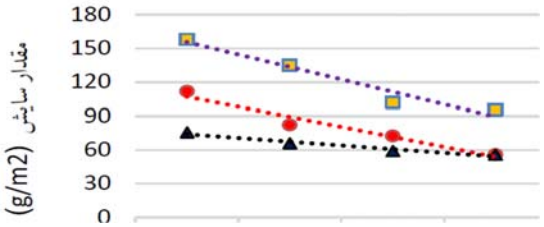
آسفالت حفاظتی ریزدانه، مخلوطی از مصالح ریزدانه شکسته، قیر امولسیون پلیمری، فیلر و مواد دیگر است که با آسفالت حفاظتی اسلاری سیل اصلاح شده با پلیمر اشتباه گرفته می‌شود.

مصالح سنگی

مصالح سنگ‌دانه‌ای معدنی مورداستفاده در آسفالت‌های امولسیونی نازک (میکروسرفیسینگ) می‌بایست از نوع سنگ اصلی‌ترین تفاوت آن‌ها در مرحله گیرایی و نحوه کاربرد آن می‌باشد. در آسفالت حفاظتی ریزدانه، گیرش به روش شیمیایی کنترل می‌گردد و در اصلاح شیب عرضی معابر و راه‌ها نیز کاربرد دارد. (Kavosi and Zaierzade, 2006) علاوه بر افزایش مقاومت سایشی و اصطکاک سطح، چسبندگی مناسب مصالح باعث محافظت بهتر از سنگدانه‌ها و جلوگیری از جداشدن آن‌ها می‌شود و تغییر شکل دائمی آن‌ها کاهش می‌یابد. ستفاده از آسفالت حفاظتی ریزدانه باعث کاهش مقدار پاشش آب بر روی سطح خیس و در نتیجه افزایش ایمنی مسیر و کاهش تصادفات جاده‌ای ناشی از بارش باران می‌شود. پر شدن ترک‌های موجود در آسفالت به وسیله این آسفالت حفاظتی باعث ایجاد نفوذناپذیری و آب‌بندی مناسب سطح می‌شود. صرفه اقتصادی این مدل آسفالت حفاظتی به دلیل استفاده از حداقل انرژی، صرفه‌جویی در زمان و افزایش عمر روسازی نیز یکی دیگر از مزیت‌های این نوع آسفالت حفاظتی می‌باشد. (Kavosi and Zaierzade, 2006

جدول ٦. منحنی‌های افت سایش مخلوط آسفالت حفاظتی ریزدانه برای مقادیر مختلف لاتکس و ۱/۵ درصد سیمان

(Kavosi and Zaierzade, 2006)



	۰	۳	٤	٥
درصد قیر= ٦/۳	۱٥۷/۹۲	۱۳٤/۸۹	۱۰۱/۹۹	۹٥/٤۱
درصد قیر = ۸/۲	۱۱۱/۸٦	۸۲/۲٥	۷۲/۳۸	٥٥/۹۳
درصد قیر = ۱۰٪	۷٥/٦۷	٦٥/۸	٥۹/۲۲	٥٥/۹۳

شکسته گرانیت یا سنگ‌آهک یا سرباره ذوب‌آهن و یا سایر سنگ‌های باکیفیت مطلوب باشد. حدود مشخصات لازم برای مصالح در جدول شماره ۷ آمده است آزمایش سایش بایستی بر روی سنگ‌دانه‌ها، قبل از شکستن انجام شود. دانه‌بندی مصالح سنگی مورد مصرف در آسفالت‌های امولسیونی نازک بر اساس توصیهISSA بعد از آنکه تمام آزمایش‌ها فوق انجام گرفت بایستی در محدوده جدول شماره ۸ باشد

جدول ۷. آزمایشات کیفیت مصالح سنگی(Internatinal Slurry Seal Association, 2010)

آزمایش	کیفیت	مشخصات
AASHTO T۱۷6 ASTM D۲٤۱۹	هم ارز ماسه‌ای	حداقل ٦٥
AASHTO T۱04 ASTM C88	دوام و استحکام در مقابل سولفات‌ها	حداکثر ۰/۱۵ با سولفات سدیم یا حداکثر ۰/۲۵ با سولفات منیزیم
AASHTO T96 ASTM C131	مقاومت در برابر تخریب سنگ‌دانه درشت‌دانه سایز کوچک در اثر سایش و ضربه در دستگاه لوس آنجلس	حداکثر ۳۰٪

جدول ۸. دانه‌بندی مصالح سنگی مورد مصرف در میکرو سرفیسینگ(Asphalt Institute, 2009)

اندازه الک	نوع دوم	نوع سوم	حدود رواداری
	درصد رد نشده از الک	درصد رد نشده از الک	
۹/۵ میلیمتر (۳/۸ اینچ)	۱۰۰	۱۰۰	±۵
٤/۵۷ میلیمتر (شماره ٤)	۱۰۰-۹۰	۹۰-۷۰	±۵
۲/۳٦ میلیمتر (شماره ۸)	۹۰-٦٥	۷۰-٤٥	±۵
۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱٦)	۷۰-٤٥	۵۰-۲۸	±۵
۰/٦ میلیمتر (شماره ۳۰)	۵۰-۳۰	۳٤-۱۹	±۵
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۳۰-۱۸	۲۵-۱۲	±٤
۰/۱۵ میلیمتر (شماره ۱۰۰)	۲۱-۱۰	۱۸-۷	±۳
۰/۷۵۰ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۱۵-۵	۱۵-۵	±۲

افزودنی‌ها

از نظر انواع مصالح مصرفی، آسفالت حفاظتی ریزدانه مخلوطی از امولسیون اصلاح شده پلیمری، مصالح سنگی شکسته با دانه‌بندی مناسب، فیلر معدنی (معمولاً سیمان) آب و افزودنی‌های شیمیایی برای کنترل‌های زمان شکست می‌باشد. در دستگاه اجرای آسفالت این فیلر معدنی، مصالح سنگی قیر امولسیون و آب در محفظه‌ای با هم مخلوط شده و سپس وارد محفظه پخش می‌گردد(Kavosi and Zaierzade, 2006) . اصلاح قیر امولسیون با شیره لاستیک در آسفالت میکروسرفیسینگ پیامدهای مثبتی دارد، طور یکه پخش‌شدن شیره لاستیک در امولسیون، باعث پیدایش یک شبکه لانه‌زنبوری پیوسته پلیمری می‌شود که در سرتاسر قیر گسترش‌یافته و بین ذرات قیر چسبندگی و پیوستگی بهتری را ایجاد می‌کند. هر قدر میزان شیره لاستیک موجود در اصلاح قیر امولسیون بیشتر شود، شبکه‌های پیوسته بیشتری ایجاد می‌شود و شاهد چسبندگی و پیوستگی بیشتر و بهتری خواهیم بود. همچنین به‌خاطر خاصیت کشسانی شیره لاستیک و امکان برگشت به حالت اولیه پس از باربرداری عمق شیارشدگی با افزایش مقدار شیره لاستیک در مخلوط کاهش پیدا می‌کند.

در آسفالت میکروسرفیسینگ می‌توان پس از اجرا تا اندازه‌ای شیب عرضی جاده هم اصلاح شود. افزایش مقدار قیر مخلوط میکروسرفیسینگ تا حدی می‌تواند باعث چسبندگی بهتر میان سنگ‌دانه‌ها و قیر و محبوس شدن سنگ‌دانه‌ها شود و در نتیجه باعث کم‌شدن شیارافتادگی شود، اما افزایش بیش از حد قیر باعث می‌شود که عمق شیار بیشتر شود، زیرا قیر مانعی برای تحمل بار توسط سنگ‌دانه‌ها می‌شود. (Kavosi and Hafezzade, 2016)

نقش الیاف در میکروسرفیسینگ بدین‌گونه است:

الیاف در مخلوط میکروسرفیسینگ باعث ایجاد جسم یکپارچه‌ای می‌گردد که مقاومت مخلوط را در برابر ترک‌خوردگی بالا برده و از گسترش ترک‌ها جلوگیری می‌کند.

مقاومت بسیار زیادی در برابر فرسایش دارد.

عمر متوسط و دوام میکرسرفیسینگ الیافی بیشتر است.

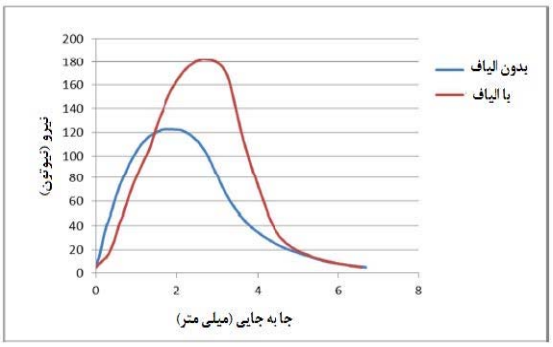
مخلوط میکرو سرفیسینگ الیافی چسبندگی بیشتری دارد.

چسبندگی شن و قیر را بهبود می‌بخشد.

ضعف‌های لاتکس را پوشش داده و جبران می‌کند.

باعث افزایش مقاومت کششی و خمشی مخلوط می‌شود.

الیاف باعث بهبود بافت سطح و کاهش سروصدا در روسازی می‌شود. وجود الیاف باعث عملکرد بهتر، مخلوط در سایش و افزایش مقاومت در مقابل شیارشدگی می‌شود. (Jahangiri and Hesami, 2018)



شکل ۷. نتیجه آزمون تیر خمشی در پژوهش چارموت(Charmot .et al, 2014)

روش اجرای میکروسرفیسینگ

به‌منظور ارتقای کیفیت محصول نهایی باید مطمئن شد که روسازی کاملاً تمیز بوده و تمامی اقدامات تعمیر و مرمت ضروری قبل از اجرای آسفالت حفاظتی ریزدانه انجام شده باشد. در اجرای این آسفالت نیازی به تراکم غلتک‌زنی نیست و تحت شرایط محیطی طبیعی می‌توان به ترافیک پس از یک ساعت اجازه عبور داد، باتوجه‌به اینکه عمل شکست و گیرایی امولسیون با استفاده از مواد شیمیایی صورت می‌گیرد، مرحله انتخاب مصالح و طرح اختلاط بسیار مهم و حیاتی است. در طرح اختلاط معمولاً مقدار قیر امولسیونی پلیمری و فیلر معدنی به‌صورت تابعی از مقدار مصالح سنگی تعیین می‌گردد. مقدار آب، فیلر معدنی و افزودنی‌ها در محل هنگام اجرا و در راستای کنترل زمان شکست قیر امولسیون و زمان بازگشایی راه برای عبور ترافیک تنظیم می‌گردد. همچنین درصورتی‌که تغییری در دما و رطوبت هوا یا بافت سطحی روسازی به وجود آید، می‌توان مقادیر تنظیم شده از مواد فوق را در راستای بهبود کیفیت تغییر داد. (Kavosi and Zaierzade, 2006). برای تهیه و پخش این مخلوط آسفالتی از کامیون‌های مخصوص که مجهز به سیلوهای جداگانه مصالح سنگی، فیلر، قیر امولسیون، آب و نیز واحد مخلوط‌کننده می‌باشد، استفاده می‌شود (A. Institute and A.E.M. Association, 1979)

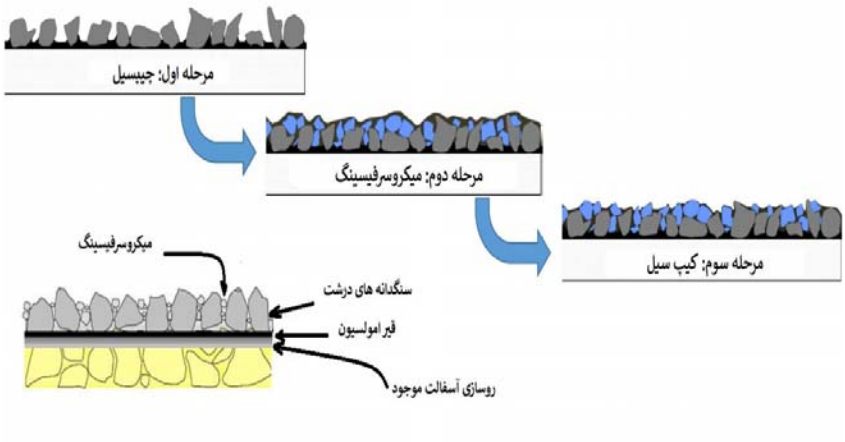
مخلوط آسفالتی که به‌این‌ترتیب تهیه می‌شود، توسط دستگاه پخش‌کننده‌ای که به انتهای واحد مخلوط‌کننده و در قسمت انتهای وسیله می‌باشد، باضخامت موردنظر و لحاظ‌کردن نوع مخلوط بر سطح مسیر پخش می‌گردند. (International Slurry Surfacing Association, 2010). پس از اجرا ترافیک را باید تا قبل از گیرایی کامل از مسیر انحرافی عبور داد. آسفالت حفاظتی ریزدانه به دلیل استفاده از امولسیون‌های زودشکن سریع‌تر از اسلاری سیل‌ها گیرایی و استحکام لازم را پیداکردن و می‌توان پس از حدود یک ساعت از اجرا مسیر را بر روی ترافیک عبوری بازگشایی کرد. عمر خدمت‌دهی آسفالت حفاظتی ریزدانه حدود ۷ سال و یا بیشتر است. عمر خدمت‌دهی آن به شرایط روسازی در زمان اجرای آسفالت حفاظتی ریزدانه بستگی دارد. (Kavosi and Zaierzade, 2006). اگرچه مخلوط میکروسرفیسینگ به‌صورت شیمیایی عمل‌آوری می‌شود، ولی بااین‌وجود جهت بهبود خصوصیات چسبندگی آن، دمای هوا، رطوبت باد و بارش تأثیرگذار خواهد بود. (International Slurry Surfacing Association, 2010) شرایط آب‌وهوایی ایده‌آل شامل رطوبت کم، نسیم ملایم و دمای بالای پایدار می‌باشد. رطوبت بالا مانعی برای شکست و عمل‌آوری میکروسرفیسینگ محسوب می‌شود. (Asphalt Institute, 1988)

شکل ۸ قبل و بعد از اجرای لایه حفاظتی میکروسرفیسینگ (Rezai .et al, 2017)

کیپ سیل(cape seal)

کیپ سیل، یکی از انواع آسفالت سطحی حفاظتی می‌باشد که متشکل از یک لایه آسفالت سطحی است که روی یک لایه اسلاری سیل با آسفالت حفاظتی ریزدانه اجرا می‌شود. لایه اسلاری سیل فضاهای خالی بین سنگ‌دانه‌های آسفالت سطحی را پر می‌کند و سطحی سیاه و یکدست به وجود می‌آورد. با پوشش مصالح سنگی توسط مخلوط اسلاری سیل از جداشدن مصالح آسفالت سطحی و سایش آن‌ها توسط ترافیک جلوگیری می‌شود در این‌گونه موارد مقدار قیر آسفالت سطحی به‌خاطر قیر موجود در اسلاری سیل باید از مقدار معمول کمتر باشد. آسفالت سطحی قبل از اجرای اسلاری سیل باید گیرایی کامل خود را به دست آورده باشد. کیپ سیل نوعی آسفالت حفاظتی بادوام بالاست که به‌منظور افزایش طول عمر راهسازی‌های موجود می‌توان از آن استفاده کرد. وجود لایه اسلاری سیل باعث جلوگیری از جداشدن مصالح سنگی از سطح روسازی و کاهش آلودگی صوتی می‌شود(Kavosi and Zaierzade, 2006))

آسفالت حفاظتی کیپ سیل به دلیل به‌کارگیری هم‌زمان چیپ سیل و میکروسرفیسینگ بهترین ویژگی‌های این دو را با هم ترکیب کرده و سطحی صاف و مقاوم در برابر فشار ترافیک وارد شده، مقاوم در برابر نفوذ آب، افزایش مقاومت لغزشی، کاهش ترک‌های لغزشی، کاهش ترک‌های انعکاسی، جلوگیری از قیر زدگی در صورت طراحی و اجرای درست، جلوگیری از بازتاب و انعکاس ترک‌خوردگی‌های لایه زیرین به سطح روسازی ارائه می‌کند. با انتخاب درست مصالح سنگی و بافت سنگ‌دانه‌ها می‌توان تا ۳۵٪ تصادفات وسایل نقلیه که بر اثر لغزش بودند را کاهش داد. (T.N. Zealand .et al, 2005) و (Freeman, 2021)



شکل ۹. تعریف کیپ سیل (Hosseini and Khabiri and Sanij, 2021)

بررسی اثر دانه‌بندی سنگ‌دانه‌های یا بافت ریز و درشت در عملکرد سطحی آسفالت حفاظتی کیپ سیل نشان می‌دهد که در شرایط جوی مرطوب و خشک مقاومت لغزشی و عدد پاندول در بافت درشت به دلیل افزایش اصطکاک بیشتر از بافت ریز بوده و با افزایش عمق بافت در بافت درشت، خلل‌وفرج در سطح کیپ سیل افزایش می‌یابد که باعث تبخیر آب، جلوگیری از نفوذ رطوبت به لایه زیرین و زهکشی مناسب می‌شود. با افزایش عمق بافت مقدار اصطکاک بین لاستیک و سطح روسازی افزایش پیدا می‌کند و از لغزیدن وسایل نقلیه جلوگیری می‌کند. اما در بافت ریز به علت کاهش‌یافتن عمق بافت که رابطه مستقیم با مقاومت لغزشی دارد، میزان اصطکاک کاهش می‌یابد و ایمنی وسیله نقلیه را کاهش می‌دهد و باعث بیشتر ساییده شدن سنگ‌دانه‌ها، قیرزدگی و ایجاد خرابی بیشتر در روسازی می‌شود (Hosseini and Khabiri and Sanij, 2021).

مصالح سنگی

لایه چیپ سیل

مصالح دانه‌بندی شده مورداستفاده برای امولسیون چیپ سیل معمولاً در یک اندازه و دارای کیفیت خوب می‌باشد. برای چیپ سیل‌ها، بهترین عملکرد زمانی به دست می‌آید که مصالح دانه‌بندی شده دارای خصوصیات زیر باشد.

در یک اندازه (تا حد ممکن)

بدون رس

مکعبی (ذرات صاف کشیده محدود)

سطوح خرد شده و دارای زاویه

سازگار با نوع چسب انتخاب شده

مرطوب برای استفاده امولسیون

لایه سطحی اسلاری

مصالح دانه‌بندی شده برای سطح اسلاری دارای کیفیت خوب و درجه‌بندی خوبی هستند. بهترین عملکرد زمانی به دست می‌آید که مصالح دانه‌بندی شده دارای مشخصات زیر باشند:

دارای درجه‌بندی خوب

تمیز

بدون رس

سطوح خرد شده

سازگار با نوع چسب انتخاب شده

مصالح دانه‌بندی شده می‌بایست مرطوب یا با سطح خشک باشند

افزودنی‌ها

مقدار قیر امولسیونی استفاده شده در چیپسیل به دلیل مقدار قیر امولسیونی استفاده شده در میکروسرفیسینگ باید از مقدار معمول کمتر باشد تا کیپ سیل دچار قیرزدگی در هنگام تردد وسایل نقلیه نشود (astm, 2015) و(Van Zyl and Fourie, 2015)

انواع امولسیون

برای لایه چیپ سیل نوع چسب امولسیونی باتوجه‌به نوع چیپ سیل ساخته شده متفاوت می‌باشد انواع چسب عبارتند از:

امولسیون اصلاح شده با پلیمر: امولسیون‌های آسفالتی از یک ماده قیری تشکیل شده که به طور یکنواخت با آب و یک ماده تثبیت‌کننده امولسیونی شده. امولسیون‌های آسفالت اصلاح شده با پلیمر هم حاوی پلیمرهایی برای کمک به بهبود انعطاف‌پذیری و چسبندگی سنگ‌دانه هستند.

امولسیون جوان‌کننده: این امولسیون‌ها با روغن‌های جوان‌کننده‌ای اصلاح شده‌اند که برای نفوذ و نرم کردن روسازی‌های آسفالت حاضر قدیمی و اکسید شده استفاده می‌شوند این نوع امولسیون نه‌تنها بسیار پلیمریزه شده (که به انعطاف‌پذیری، سختی و دوام چیپ سیل می‌افزاید)، بلکه حاوی مقداری عامل بازیافت شده است که به بازیابی سطح روسازی قدیمی کمک می‌کند. با جوان‌سازی، سطح قدیمی و دیواره‌های ترک‌هایی که در اثر آسیب‌دیدن ایجاد شده‌اند، کاهش میابد. برای سطح اسلاری، نوع امولسیون‌های استفاده شده در کالیفرنیا عبارتند از:

امولسیون‌های گیرش آنی معمولی

امولسیون‌های گیرش آنی اصلاح شده با پلیمر (که بیشترین استفاده را دارد)

امولسیون‌های لاستیکی شده

امولسیون‌های لاستیکی اصلاح شده با پلیمر(RPME)

امولسیون‌های میکروسرفیسینگ(MSE)

روش اجرای کیپ سیل

اجرای چیپ سیل

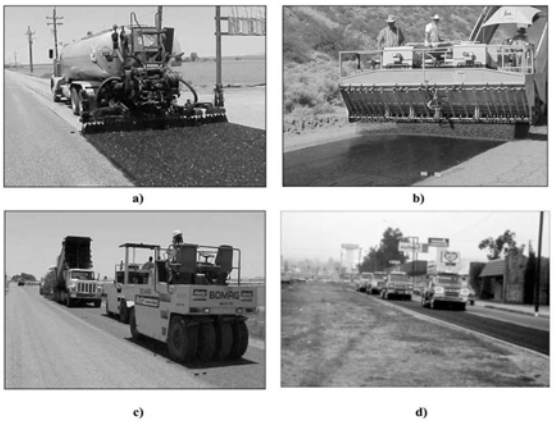
در این مرحله باید خرابی‌های حاد روسازی، مانند ترک‌خوردگی‌ها و چاله‌ها با شدت وسیع ترمیم شوند و بعد از ۴۸ ساعت سطح روسازی را با دستگاه جاروب تمیز کرد.

قیر امولسیونی CRS-2P بر روی سطح پاشیده می‌شود.

مصالح سنگی با دانه‌بندی مشخص بر روی سطح پخش می‌شوند.

غلتک‌های پنوماتیک برای متراکم‌کردن و پر کردن فضای خالی استفاده می‌شوند.

دستگاه جاروب برای تمیزکردن و کنارگذاشتن سنگ‌دانه‌های جدا شده بر روی سطح روسازی استفاده می‌شود(Hosseini and Khabiri and Sanij, 2021)



شکل ۱۰. مراحل اجرای چیپ سیل
(Arian and Khalkhali, 2017)

اجرای میکروسرفیسینگ

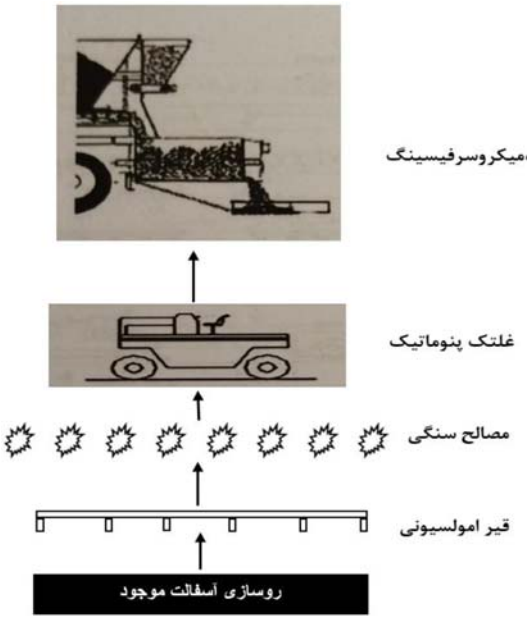
-بعد از گذشت ۴۸ ساعت تا یک هفته سطح چیپ سیل با دستگاه جاروب تمیز می‌شود.

-با استفاده از طرح اختلاط میکروسرفیسینگ این لایه بر روی چیپ سیل اجرا می‌شود.

-بعد از گذشت ۱ تا ٤ ساعت بسته به نوع محل و شرایط محیط روسازی قابل استفاده است. (Hosseini and Khabiri and Sanij, 2021)

چیپ سیل

چیپ سیل در ابتدا برای جاده‌های شنی با حجم کم‌ترافیک مورداستفاده قرار می‌گرفت. از ۱۹٦۰ به بعد به‌عنوان یک لایه محافظ بر روی جاده‌های با ترافیک کم و زیاد مورداستفاده قرار می‌گیرد. چیپ سیل عمر روسازی را افزایش می‌دهد و هزینه آن کم می‌باشد. در واقع چیپ سیل یک غشاء ضد آب بر روی سطح راه ایجاد می‌کند. در یک رویه بتنی، چیپ سیل سطح را آب‌بند می‌کند و ضریب اصطکاک را افزایش می‌دهد که دلیل آن افزایش مقاومت در برابر سرخوردگی می‌باشد. (California. Dept. of Transportation. Division of, Maintenance Maintenance, 2008)



شکل ۱۱. مراحل اجرای کیپ سیل
(Hosseini and Khabiri and Sanij, 2021)

انواع چیب سیل

چیپ سیل تک لایه

چیپ سیل تک لایه، از یک لایه اندود قیری و یک لایه سنگ‌دانه یکنواخت روی آن تشکیل می‌شود. البته روسازی مزبور در برابر نفوذ آب و حجم سنگین ترافیک، مقاومت زیادی ندارد (شکل ۱۲).

چیپ سیل دو لایه

چیپ سیل دو لایه، از یک لایه قیر، یک لایه سنگ‌دانه یکنواخت، یک لایه قیر و یک لایه سنگ‌دانه یا دانه‌بندی ریزتر تشکیل شده است. البته یادآوری می‌شود قبل از اجرای لایه دوم بعد از غلطک زدن نیز می‌بایست اضافات سنگ‌دانه‌های اضافی را جاروب نمود. این نوع چیپ سیل شامل مزیت‌هایی است مانند کاهش صدای عبور ترافیک از روی روسازی و افزایش آب‌بندی سطح بستر که بدین لحاظ چیپ سیل در نواحی با بارندگی زیاد و شیب کم کاربرد بیشتری دارد، در نتیجه تحمل بار عبوری بیشتری را دارا می‌باشد (شکل ۱۳).

اندود قفل شده

به دلیل کنده‌شدن سنگ‌دانه از سطح، قبل از عمل‌آوری چیپ سیل، می‌توان با افزودن کک به سنگ‌دانه‌های مورداستفاده

از این امر جلوگیری نمود، این اتفاق در سطوحی که حرکات گردشی زیاد دارند، مانند قوس‌ها و پارکینگ‌ها دیده می‌شود (شکل ١٤).

کپ سیل

در کپ سیل، با افزودن ریزدانه به سطح، البته پس از پخش‌کردن سنگ‌دانه، منافذ پر شده و سنگ‌دانه‌ها قفل می‌شوند که این امر مقاومت برشی را برابر با آسفالت ایجاد می‌کند (شکل ١٥).

اندود با فاصله

در این روش یک لایه قیر، یک لایه سنگ‌دانه با سایز کوچک و سپس یک لایه قیر و یک لایه سنگ‌دانه با سایز بزرگتر اجرا می‌شود. البته دقیقاً برعکس دوبل سیل، این روش بیشتر در سطوح قیر زده، کاربرد دارد (شکل ١٦).

اندود ساندویچی

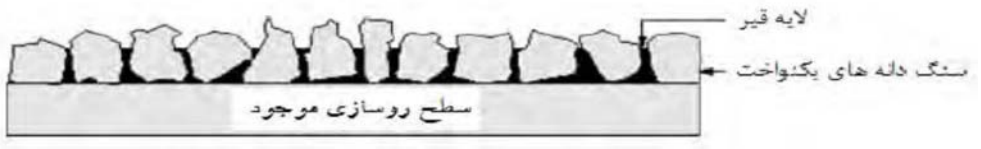
در روش اندود ساندویچی، در موارد هوازدگی سطح و دانه‌دانه شدن آن بیشتر کاربرد دارد و یک لایه قیر در بین دو لایه سنگ‌دانه به کار برده شده یا به‌اصطلاح ساندویچ می‌شود (شکل ١٧).

اندود مسلح شده با ژئوتکستایل

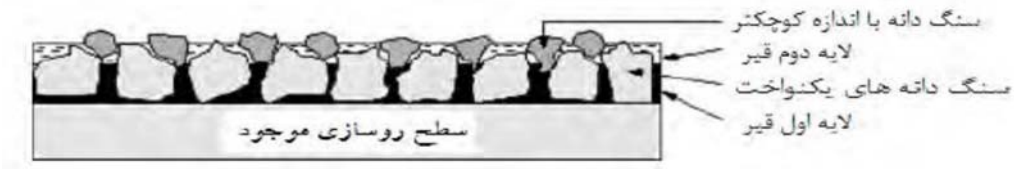
این روش در روسازی‌هایی با ترک‌های گرمایی و یا بیش از حد اکسیدی شده کاربرد دارد. با اجرای یک لایه تک کت روی سطح روسازی و سپس پهن کردن ژئوتکستایل روی آن، می‌توان دیگر از چیپ سیل استفاده نمود(شکل ١٨)

این چیپ سیل‌ها اگر با دید مناسب و توانایی طراحی مناسب با شرایط روسازی انجام گیرد، عملیات بهسازی مقرون‌به‌صرفه و کارآمد خواهد بود. طراحی مناسب قیر و سنگدانه می‌تواند خرابی‌های چیپ سیل، نظیر رو زدگی قیر یا کنده‌شدن سنگدانه‌ها را از سطح از بین ببرد. با درنظرگرفتن عوامل مؤثر در اجرای چیپ سیل نظیر آب‌وهوا، می‌توان احتمال ناموفق بودن عملیات را کم نمود. چیپ سیل روشی جهت افزایش ایمنی راه توسط افزایش مقاومت لغزشی روسازی می‌باشد. چیپ سیل به عنوان روشی مقرون به صرفه جهت افزایش عمر روسازی با به تعویق‌انداختن زوال آن، می‌باشد. با کنترل کیفیت در زمان اجرای چیپ سیل می‌توان کیفیت این نوع از روسازی را افزایش داد و از هدررفتن بودجه جلوگیری نمود.

(Arian and Khalkhali, 2017)

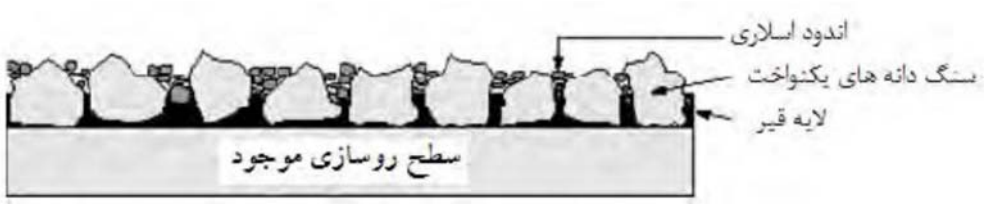


شکل ۱۲. چیپ سیل تک لایه به‌صورت شماتیک (Arian and Khalkhali, 2017)

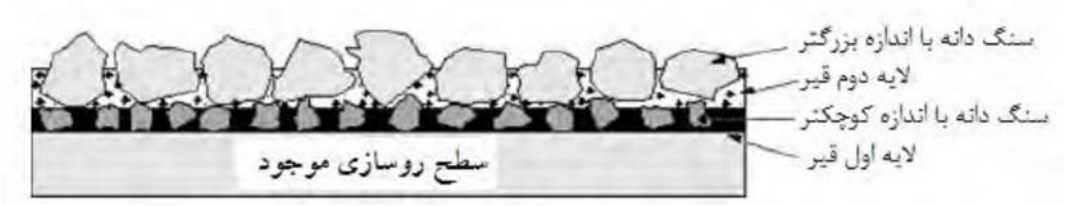


شکل ۱۳. چیپ سیل دو لایه به‌صورت شماتیک(Arian and Khalkhali, 2017)

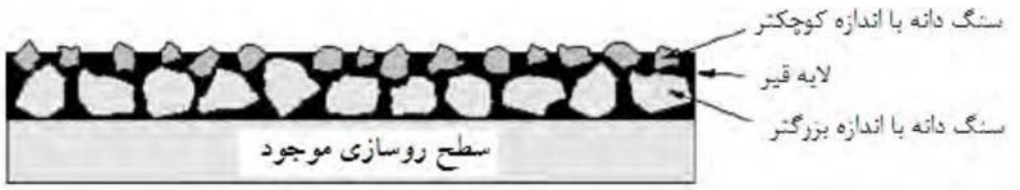
شکل ١٤. اندود قفل شده به‌صورت شماتیک(Arian and Khalkhali, 2017)



شکل ۱۵. کپ سیل به‌صورت شماتیک (Arian and Khalkhali, 2017)



شکل ۱۶. اندود با فاصله به‌صورت شماتیک(Arian and Khalkhali, 2017)



شکل ۱۷. اندود ساندویچی به‌صورت شماتیک(Arian and Khalkhali, 2017)

شکل ۱۸. اندود مسلح شده با ژئوتکستایل به‌صورت شماتیک(Arian and Khalkhali, 2017)

۲-۶-۱- سنگ‌دانه

سنگ‌دانه‌هایی که برای چیپ سیل استفاده می‌شوند باید یکنواخت باشند. بااین‌حال عملی و مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد که همه سنگ‌دانه‌ها را تماماً یکنواخت انتخاب کنیم. بزرگ‌ترین سنگ‌دانه نباید دوبرابر بزرگ‌تر از کوچک‌ترین سنگ‌دانه باشد (California. Dept. of Transportation. Division of, Maintenance Maintenance, 2008)

بهترین شکل برای سنگ‌دانه مکعبی می‌باشد. باید حدوداً زاویه‌دار باشد و صاف نباشد. همچنین تمیز و خشک‌بودن سنگ‌دانه‌ها هم مهم است.

جدول ۹. مقادیر آسفالت و سنگ‌دانه برای چیپ سیل تک لایه(International Slurry Surfacing Association, 2010)

اندازه اسمی سنگ‌دانه	شماره اندازه	مقدار سنگ‌دانه (پوند بر یارد مربع)	مقدار امولسیون (گالن بر یارد مربع)	درجه امولسیون
تا ۸/۳ اینچ ۳/٤	٦	٤٠_٥٠	۰/٤ _۰/٥	RS-۲, CRS-۲, CRS-۲P, CRS-۲L, HFRS-۲
اینچ تا شماره ۱/۲٤	۷	۲٥_۳۰	۰/۳ _۰/٤٥	RS-۲, CRS-۲, CRS-۲P, CRS-۲L, HFRS-۲
اینچ تا شماره ۳/۸۸	۸	۲۰_۲٥	۰/۲-۰/۳٥	RS-۲, CRS-۲, CRS-۲P, CRS-۲L, HFRS-۲
شماره ٤ تا شماره ۱٦	۹	۱٥_۲۰	۰/۲ _۰/۱٥	RS-۱, CRS-۱, MS-۱, HFRS-۲
شن	AASHTO M-٦	۱۰_۱٥	۰/۱٥ ۰/۱_	RS-۱, CRS-۱, MS-۱, HFRS-۲

۲-۶-۲- افزودنی‌ها

استفاده از قیر اصلاح شده با پلیمر از طریق افزایش چسبندگی بین قیر و سنگ‌دانه عملکرد آسفالت در جهت حفظ سنگ‌دانه را بهبود می‌دهد (Aktaş and Karaşahin, 2013). نوع دیگری از چیپس‌های استفاده شده در چیپ سیل خرده لاستیک‌های بازیافت شده از تایرهای قدیمی است که به سنگ‌دانه افزوده می‌شود (Gheni and ElGawady, 2017)استفاده از خرده لاستیک باعث افزایش ایمنی و عدم آسیب به استفاده‌کنندگان از راه می‌شود چرا که یکی از مشکلات ایمنی چیپ سیل کنده‌شدن سنگ‌دانه‌ها از سطح می‌باشد. علاوه بر سنگ‌دانه‌ها گاهی خرده لاستیک مستقیماً به قیر افزوده می‌شوند که رسانایی حرارتی قیر را کاهش داده و قیر در دمای پایین مقاومت لرزشی خود را حفظ می‌کند.

از دیگر مزایای آن می‌توان به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای ناشی از فرایند تولید قیر اشاره کرد این افزودنی علاوه بر بهبود حساسیت قیر آن را ویسکوزتر نموده و مقاومت برشی را افزایش می‌دهد و در محل‌هایی که نیاز به مقاومت لغزشی بیشتر می‌باشد در عین بالابردن مقاومت کیفیت سواری را بهبود داده و باعث کاهش نویز ناشی از حرکت وسایل نقلیه می‌گردد. افزودن فرآورده‌های لاستیکی به قیر باعث کاهش بروز ترک‌های انعکاسی نیز خواهد شد(Arian and Khalkhali, 2017)

روش اجرای چیپ سیل

بررسی وضع روسازی از نظر سلامت سازه اساس و زیر اساس و عدم وجود خرابی‌های سازه‌ای نظیر چاله‌های عمیق و...، لازمه اجرای چیپ سیل هستند. انجام پر کردن تمامی ترک‌های روسازی می‌بایست ٦ تا ۱۲ ماه قبل از اجرای چیپ سیل باشد. بعد از مرحله پر کردن تمامی ترک‌های روسازی، قیر امولسیونی طراحی شده برای روسازی موردنظر را، روی سطح ریخته و سنگ‌دانه‌ها روی آن پخش شده و عملیات متراکم‌سازی توسط غلتک‌های چرخ بادی انجام می‌پذیرد.

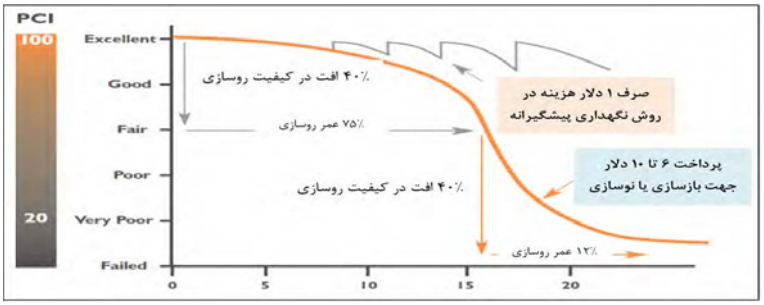
البته می‌توان گاهی در این مرحله مقداری سنگ‌دانه اضافی نیز روی قیر ریخته تا در حین غلتک زدن احتمال کنده‌شدن سنگ‌دانه‌های جای گرفته در قیر، توسط چرخ غلتک را کاهش دهد که این مقدار سنگ‌دانه، اضافه ۵ تا ۱۰ درصد سنگ‌دانه موردنیاز محسوب می‌شود. مرحله آخر این عملیات نیز جاروزدن سنگ‌دانه‌های اضافی می‌باشد. (Arian and Khalkhali, 2017)

شکل ۱۹. اجرای چیپ سیل با رنگ روشن
(Roberts .et al, 1996)

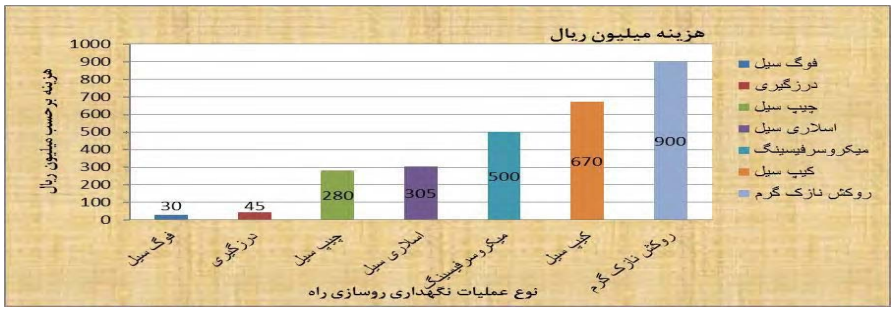
بررسی از منظر اقتصادی

مطابق با برنامه تحقیقاتی NCHRP، به‌ازای هر دلاری که در نگهداری پیشگیرانه در زمان درست در چرخه عمر روسازی هزینه می‌شود، ۳ تا ٤ دلار در هزینه‌های بازسازی و احیای روسازی در آینده، می‌تواند صرفه‌جویی شود (Broughton and Lee, 2012)

هزینه انواع نگهداری پیشگیرانه روسازی مانند (درزگیری، اجرای آب‌بندی ترک، پر کردن ترک)، فوگ سیل، آسفالت سطحی(چیپ سیل، کیپ سیل، اسلاری سیل، میکروسرفیسینگ و آسفالت گرم نازک) برای یک راه اصلی در سال ۱۳۹۵ در راه‌های اصلی استان یزد مورد بررسی قرار گرفت. در نمودار هزینه تمام شده انواع عملیات نگهداری روسازی راه‌های اصلی استان یزد نشان‌داده‌شده است.



شکل ۲۰. رابطه بین شرایط روسازی در زمان به کارگیری آسفالت حفاظتی و هزینه اجرای آن
(Galehouse and Moulthrop and Hicks, 2003)



شکل ۲۱. هزینه‌های انواع عملیات نگهداری پیشگیرانه (Mirshahi, 2017)

بررسی روش‌های نگهداری پیشگیرانه در راه‌های استان یزد نشان داد به ترتیب کمترین هزینه اجرایی برای انجام عملیات فوگ سیل و درزگیری و بعد از آن هزینه عملیات اجرایی به ترتیب مربوط به عملیات چیپ سیل، اسلاری سیل، میکروسرفیسینگ، کیپ سیل و روکش نازک گرم می‌باشد. بررسی‌های انجام شده در راه‌های استان یزد نشان داد که در صورت عدم نگهداری به‌موقع، هزینه هر مرحله نگهداری نسبت به مرحله قبل افزایش‌یافته، به‌طوری‌که هزینه نگهداری به‌ازای هر کیلومتر در هر مرحله از روش‌های نگهداری راه (معمول پیشگیرانه - روکش و بهسازی – بازسازی)، از مرحله معمولی تا مرحله پیشگیرانه و از مرحله پیشگیرانه تا مرحله بهسازی و روکش و از مرحله بهسازی و روکش تا مرحله بازسازی اساسی ۳ برابر خواهد شد. این بدان معنا است که عدم هزینه هر ۱۰۰۰۰ ریال برای هر مرحله نگهداری ۳۰۰۰۰ ریال برای مرحله بعدی نگهداری باید هزینه‌کرد (Sadeghian and Motamedi and Torabi, 2016)

اگر از میکروسرفیسینگ در زمان قبل از ایجاد خرابی‌های سازه‌ای و قبل از اینکه PCI آسفالت کاهش پیدا کند استفاده شود، می‌تواند سود زیادی داشته باشد.

جدول ۱۰. عمر میکروسرفیسینگ باتوجه‌به PCI٦ (Mirshahi, 2017)

عمر روسازی (سال)	شرایط روسازی		
	ضعیف PCI= ٤٠	متوسط PCI = ٦٠	خوب PCI = ٨٠
	٤-١	٥-٣	٨-٤

تعمیر و نگهداری پیشگیرانه PM به‌عنوان کارایی اولیه در طول عمر روسازی تعریف می‌شود و به‌عنوان یک استراتژی برای به تعویق‌انداختن خرابی‌ها و کاهش نیاز به روان تعمیر و نگهداری در نظر گرفته می‌شود. PM متفاوت از تعمیر و نگهداری اصلاحی است که بعد از آشکارشدن خرابی‌ها انجام می‌شود. بر اساس برنامه تحقیقاتی NCHPR هر دلاری که خرج تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در زمان درست انجام شود ٦ تا ١٠ دلار هزینه بازسازی را کاهش می‌دهد. این برنامه موثر PM باید شامل برنامه دوره‌ای از تعمیر و نگهداری باشد. به‌منظور دستیابی به هدف موثر و اقتصادی بودن روش‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، باید به طور منظم بررسی انجام شود. میکروسرفیسینگ اگر به وسیله‌ی افراد حرفه‌ای و آموزش دیده انجام شود می‌تواند عمر روسازی را تا چندین سال بیشتر به تعویق بندازد. در جدول زیر قیمت آسفالت حفاظتی نشان داده شده است.

جدول ۱۱. مقایسه قیمت میکروسرفیسینگ با دیگر آسفالت‌های حفاظتی (Kazmierowski and Bradbury, 1995)

نوع	قیمت در هر مایل خط ۱۲ فوت	عمر مفید		
		حداقل	میانگین	حداکثر
آببند ترک	۵۳۰۰ دلار	۲	٤/٤	۱۰
فوگ سیل	۲۲۰۰ دلار	۲	۲/۲	٤
اسلاری سیل	٦٦٠٠ دلار	۱	٤/۸	۱۰
میکروسرفیسینگ	۱۲٦۰۰ دلار	٤	۷/٤	۲٤
چیپ سیل	۷۸۰۰ دلار	۲	۳	٥

۵-نتیجه‌گیری

در انتخاب آسفالت حفاظتی ایده‌آل برای روسازی می‌بایست بودجه، آب‌وهوا، ترک‌های موجود و ترافیک مسیر را مدنظر قرار دهیم تا نگهداری پیشگیرانه مؤثری انجام داده باشیم.

آسفالت حفاظتی فوگ سیل: استفاده اصلی این نوع آسفالت حفاظتی در راه‌های پرترافیک می‌باشد؛ ولی به دلیل صرفه اقتصادی آن در راه‌های کم‌ترافیک نیز استفاده می‌شود. کاربرد آسفالت حفاظتی در راه‌های پر ترافیک شامل پیشگیری از شن زدگی لایه‌های اصطکاکی با دانه‌بندی توخالی و تفکیک بین مسیر عبوری از شانه راه است، در راه‌های کم‌ترافیک برای کاهش آسیب ناشی از رطوبت و کاهش نفوذپذیری ناشی از آب‌بندی استفاده می‌شود.

آسفالت حفاظتی سیل کت: این نوع آسفالت حفاظتی انواع مختلفی دارد که از مهم‌ترین انواع آن می‌توان به اندود آب‌بندی ماسه‌ای و اندود آب‌بندی قیری اشاره کرد، این نوع آسفالت حفاظتی علاوه بر درزگیری ترک‌های کوچک تا متوسط با ایجاد یک غشای ضد آب بر روی سطح راه با کاهش نفوذپذیری سطحی باعث افزایش اصطکاک و مقاومت در برابر سرخوردگی می‌شود و کاربرد آن در مواجه با اثرات مخرب گرمای خورشید و رطوبت هوا می‌باشد. این آسفالت همچنین به دلیل دولایه‌ای بودن در صورت کاستی در اجرای لایه اول با اجرای لایه دوم به حالت ایده‌آل می‌رسد و برای استفاده به‌عنوان بهسازی روسازی‌های قدیمی و نامناسب، مناسب می‌باشد.

آسفالت حفاظتی اسلاری سیل: کاربرد اصلی آسفالت حفاظتی اسلاری سیل در مقابله با اکسیداسیون یا سخت‌شدگی بیش از حد روسازی می‌باشد. این نوع آسفالت بسته به نوع سنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در آن با سه نوع مزیت و کارایی مختلف از آن روبرو می‌شویم:

-پر کردن ترک‌های ریز و ایجاد پوششی نازک بر روی سطح موجود

-بهبود مقاومت سایشی و شن‌زدگی که معمول‌ترین نوع استفاده می‌باشد

-حفاظت از سطح موردنظر و جلوگیری از تجمع آب و ایجاد پدیده هیدروپلنینگ

البته لازم به ذکر می‌باشد که با استفاده از سرباره می‌توان کاستی‌های فنی این نوع آسفالت حفاظتی را جبران کرد.

-آسفالت حفاظتی ریزدانه: این نوع آسفالت حفاظتی به‌خاطر کاهش پاشش آب بر روی سطح خیس منجر به افزایش ایمنی مسیر و کاهش تصادفات جاده‌ای ناشی از بارش باران می‌شود علاوه بر این مزیت این نوع آسفالت حفاظتی صرفه اقتصادی را به دلیل استفاده از حداقل انرژی، صرفه‌جویی در زمان و افزایش عمر روسازی را دارا می‌باشد و کاربرد آن در اصلاح شیب عرضی معابر و راه‌ها می‌باشد.

آسفالت حفاظتی کیپ سیل: آسفالت حفاظتی کیپ سیل دو نوع آسفالت حفاظتی چیپ سیل و میکروسرفیسینگ را هم‌زمان با هم به کار می‌گیرد و به این دلیل بهترین خصوصیات هرکدام را با هم ترکیب می‌کند که نتیجه می‌دهد در سطحی صاف، مقاوم در برابر ترافیک، مقاوم در برابر نفوذ آب، افزایش مقاومت لغزشی، کاهش ترک‌های لغزشی و با انتخاب درست مصالح سنگی و بافت سنگ‌دانه‌ها می‌توان تا ۳۵٪ تصادفات وسایل نقلیه که بر اثر لغزش بودند را کاهش داد.

-**آسفالت حفاظتی چیپ سیل:** آسفالت حفاظتی چیپ سیل با ایجاد یک غشای ضد آب بر روی راه در یک‌رویه بتنی باعث آب‌بندی می‌شود و افزایش مقاومت در برابر سرخوردگی باعث افزایش ضریب اصطکاک می‌شود و همچنین این نوع آسفالت علاوه بر هزینه کم، عمر روسازی را افزایش می‌دهد.

-موضوعات تحقیقاتی آینده

۱-روش‌های مقابله با پیرشدگی انواع آسفالت حفاظتی

۲-تاثیر انواع قیر بر روی اثرات مخرب گرمای خورشید

۳-بررسی دقیق تاثیر روغن زراعتی و ضایعاتی در برخی از آسفالت حفاظتی

٤-بررسی تاثیر افزودنی‌های مختلف برای ترکیب با سرباره در برخی از آسفالت حفاظتی

برخی از نکاتی که نیاز به تحقیق بیشتر دارند:

-آسفالت فوگ سیل در دماهای بالا و میزان کاربرد امولسیون پایین، امولسیون‌ها به‌سرعت به عمل می‌آیند، اما میزان کاربرد امولسیون پایین می‌تواند منجر به عملکرد ضعیف سطح روسازی شود که در این نکته می‌بایست تحقیقات بیشتری به عمل آید. علاوه بر این، تأثیر فاکتورهای محیطی باید با تغییرات در دما، رطوبت و میزان جریان و تأثیر آن‌ها بر مواد کامپوزیتی مورد بررسی قرار گیرد.

-در آسفالت چیپ سیل بررسی الیاف برای کاهش کنده‌شدن سنگ‌دانه‌ها در محل قوس‌های افقی و تقاطع‌های شهری علاوه بر تأثیرهای محیطی مثل دما، شرایط اجرا و عمل‌آوری را می‌بایست به‌صورت میدانی بررسی کرد.

-در آسفالت اسلاری سیل برای تحقیقات آینده مدل‌سازی هزینه این آسفالت حفاظتی می‌تواند به ما مقدار هزینه دقیقی را که هر مقدار بهبود آسفالت حفاظتی شامل می‌شود را به دست آورد که این موضوع با به دست آوردن اطلاعات دقیق پروژه‌های انجام شده صورت می‌گیرد.

-در آسفالت میکروسرفیسینگ باید تحقیقات بیشتری بر روی مواد اولیه پایدار و زائد مثل خاکستر بادی انجام شود تا به یک بهسازی تقریباً بدون انتشار آلایندگی رسید. همچنین اثر تغییرات دانه‌بندی بر روی این آسفالت برای بهبود خواص و عملکرد این مخلوط از جمله عمر بهره‌وری باید مورد بررسی بیشتری قرار گیرد.

-یک از چالش‌های مهم در اجرای آسفالت‌های حفاظتی آماده‌سازی سطح روسازی قدیمی می‌باشد که تأثیر بسزایی در عملکرد، کیفیت و عمر سطح نهایی بعد از اجرا آسفالت حفاظتی دارد.

۵-مراجع

-AC01364616], A. (1994). International road maintenance handbook. *practical guidelines for rural road maintenance. 3. Paved roads*, TRL .

-Zalnezhad, M., Hesami, E. (2017). Preventive maintenance of roads using protective microsurfacing asphalt. *The First National Conference on Road and Transportation Engineering,* Rasht: 30 August (in Persian).

-Johnson,A.M. (2000). Best practices handbook on asphalt pavement maintenance. *Minnesota Technology Transfer/LTAP Program,* Center for Transportation Studies.

-Johannes, P.T. (2014). Development of an improved mixture design framework for slurry seals and micro-surfacing treatments. *Madison*. The University of Wisconsin-Madison.

-I.M.o.R.a.U.D.R.C.f.R.P.M.a. Maintenance. (2011). entation of protective asphalt including the proposed guidelines / implemented by Tarbiat Modares University pavement maintenance and management research center. (in Persian).

-Naderi, K., MahmudiNia, N., Nasrakani, A.A., Nakhaei, M. (2016). Functional classification of bitumens used in protective asphalts.*The 8th Iran Bitumen and Asphalt Conference*. Tehran, 1 November (in Persian).

-Galehouse, L., Moulthrop, JS., Hicks, R.G. (2003). Principles of pavement preservation: Definitions, benefits, issues, and barriers. *TR News.*

-Hass, R.C.G., Hudson, W.R., Zaniewski, J.P. (1994). Modern pavement management. *Krieger Pub Co.*

-Transportation Research Institute (2002). Publication 234 of Asphalt Regulations for Road Paving in Iran. M.a.P. Organization. *V.P.f.S.A.o.t.C.f.S.D.a. Publications.* (in Persian)

-Kavosi,A., Zaierzade, A. (2006). Application of different types of protective asphalt. *The third conference of bitumen and asphalt of Iran*. Tehran. 14 November (in Persian)

-Bradiunes,A., Khabiri,M,M. (2019). Investigating the surface performance of chip seal protective asphalt on a stabilized cement base. *Transportation Research Paper*, Vol.16. No. 2, 135-148. (in Persian)

-Hesami,E., Zalnezhad,M. (2019). Introduction of protective microsurfacing asphalt and investigation of factors affecting its performance. *Quarterly Journal of Transportation Engineering*. Vol.27, No.98, 87-104. (in Persian)

-Gheibi,R.A., Divandari, H. (2021). a review on fog seal protective asphalt application in pavement", Civil and project journal, Vol.3, No.1, pp 73-84. (in Persian)

Robati, M. (2012). Evaluation of a modification of current micro-surfacing mix design procedures. *Montreal: École de technologie supérieure.*

-Kebede, A.A. (2016). Asphalt pavement preservation using rejuvenating fog seals. *West Lafayette: Purdue University*.

-California. Dept. of Transportation. Division of Maintenance (2003). Fog seal guidelines. California. Dept. of Transportation.

-Islam, R.M., Arafat,S., Wasiuddin,N.M. (2017). Quantification of Reduction in Hydraulic Conductivity and Skid Resistance Caused by Fog Seal in Low-Volume Roads. *Transportation Research Record,* Vol.2657, No.1, 99-108.

-Schuler,S., hicks, R.G.,Multhorp, J., Rahman,T. (2018). Guide Specifications for the Construction of Chip Seals, Microsurfacing, and Fog Seals. *Shuler Consultants*, LLC.

-Najafi,S., Farshad,H., Alidadipour,B., Ghobadi,S. (2020). A review of protective asphalt with an emphasis on microsurfacing protective asphalt. *The Fifth International Conference on Applied Research in Science And Engineering*, University of Amsterdam: 2 November (in Persian)

-Ming MA, Tao Liu, Guo Fei and Kai Xuan, (2014). Application of Slurry Seal Technology in the Reconstruction Project of G303. Vol. 559, Key Engineering Materials, 277-281.

-D. Anderson, (1987). Guidelines for Use of Dust in Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists,* Vol. 56, 492-516.

-Prapaitrakul,N., Freeman,T.J., Glover,C.J., T.T. Institute, T.D.o.T. Research, T.I. Office, (2005). Analyze Existing Fog Seal Asphalts and Additives: Literature Review. *Texas Transportation Institute,* Texas A&M University System.

-T.D.O.T.T.V. DICTIONARY, (2019). Seal coat. Information website: https://www.txdot.gov/driver/txdot-visual-dictionary/seal-coat.html .

-Ardakanian,A., Arezumand,A., Musavi,S.M. (2015). Application of slurry seal as a low-cost and effective solution in road improvement management. *10th International Congress of Civil Engineering*. Tabriz: 5 May. (in Persian).

-California Department of Transportation, (2006). Standard Specifications. *Sacramento,* California, May.

-schilling, p., (2002). success with bituminous emulsions requires a well balanced chemistry of emulsions, bitumen and aggregate. *International Slurry Surfacing Association Conference,* berlin, Germany.

-Khan, M.I., Wahhab, H.I.A. A. (1998). Improving slurry seal performance in Eastern Saudi Arabia using steel slag. *Construction and Building Materials,* Vol.12, No.4, 195-201.

-Gutt,W.H. (1976). Blast furnace and steel slag: by A.R. Lee [UK pound]3[middle dot]80. Edward Arnold (Publishers) Ltd, London, 1974. *Resources Policy,* Elsevier, Vol.2, No.1, 62-63.

-Kavosi,A., Zaierzade,A. (2006). Parameters affecting the design and implementation of fine-grained protective asphalt mixture. *The third conference of bitumen and asphalt of Iran*. Tehran: 14 November. (in Persian)

-Asphalt Institute, (2009). Asphalt in Pavement Preservation and Maintenance. Asphalt Institute.

-Kavosi,A., Hafezzade, R. (2016). Repairing rut damage using fine-grained protective asphalt (microsurfacing). *Experimental Researches in Civil Engineering*. Vol.3, No.spring and summer 2016, 29-39. (in Persian)

-Jahangiri, A., Hesami, S. (2018). A review of the role of fibers on the technical and functional characteristics of protective microsurfacing asphalt. *International Conference on Civil Engineering*. Architecture and Urban Development Management in Iran, Tehran: 19 December. (in Persian)

-Charmot,S., Ye,C., Zhu,Z., Yang,Y. (2014). Measurement of Effectiveness of Fiber-Rein forced Microsurfacing Mixtures. *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting*. Washington DC: 12 January.

-Asphalt Institute, A.E.M. Association (1979). A basic asphalt emulsion manual. Department

of Transportation, *Federal Highway Administration.*

-International Slurry Surfacing Association, (2010). Recommended Performance Guidelines for Micro Surfacing. I.S.S. Association.

-Asphalt Institute, (1988). Asphalt Surface Treatments—Construction Techniques, Lexington, Ky. Asphalt Institute.

-Rezai,H., Sadeghian, M., Motamedi,H., Torabi,I. (2017). How to use microsurfacing asphalt coating and its economic comparison with other protective asphalt. *The 9th Iran Bitumen and Asphalt Conference*, Tehran: 24 October. (in Persian)

-T.N. Zealand, T.N.Z. Staff, T.N.Z.R.C. Authorities, R.N. Zealand, R.N.Z. Staff, (2005). Chipsealing in New Zealand. *Roading New Zealand.*

-Freeman,B. A. (2021). Microsurfacing and Cape Seals in the Darling Downs District. *Department of Transport and Main Roads.*

-Hosseini,M., KhabiriM.M., Sanij,H.K. (2021). Investigating the effect of granulation of aggregates on the surface performance of Cape Seal protective asphalt. *The 13th National Conference and Exhibition of Bitumen, Asphalt and Machinery*. Tehran: 9 November. (in Persian)

-Astm, (2015). Standard Practice for Construction of Asphalt-Rubber Cape Seal ASTM D7564/D7564M-09. *Astm International*.

-Van Zyl, G.D., Fourie, H. (2015). Key aspects of good performing Cape seals. Proceedings of the 11th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA 2015), Sun City, South Africa: August, 16-19.

-Arian,M.S., Khalkhali,A.B. (2017), Introducing types of chip seal and design and implementation methods. The 5th International Congress on Civil Engineering, *Architecture and Urban Development,* Tehran: 26 December. (in Persian)

-California. Dept. of Transportation. Division of, Maintenance Maintenance (CalTrans), (2008). Technical Advisory Guide (TAG): Volume I – Flexible Pavement Preservation. Second Edition.

-Aktaş,B., Karaşahin,M. (2013). Chip Seal Adhesion Performance with Modified Binder in Cold Climates:Experimental Investigation. *Transportation Research Record*, Vol.2361, No.1, 63-68.

-Gheni, A.A., ElGawady,M.A. (2017). Crumb rubber as a sustainable aggregate in chip seal pavement. Congrès International de Géotechnique–Ouvrages–Structures, Springer, 392-401.

-Roberts,F.L., Kandhal,P.S., Brown,E.R., Lee, D.-Y. Kennedy,T.W. (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design And Construction. Second Edition. *National Asphalt Pavement Association.*

-Broughton,B., Lee,S.-J. (2012). Microsurfacing in Texas. *Texas Transportation Institute.*

-Mirshahi,M. (2017). Correct and timely evaluation of microsurfacing and its impact on life cycle and costs. *The 12th Symposium on Advances in Science and Technology of the Fourth Commission: Sustainable Land of New Findings in Civil and Environmental Engineering*, Mashhad: 14 December. (in Persian)

-Sadeghian,M., Motamedi,H., Torabi, I. (2016). Cost comparison of implementing various road pavement maintenance methods in Yazd province. *The 8th Iran Bitumen and Asphalt Conference,* Tehran: 1 November. (in Persian)

-Kazmierowski, T.J., Bradbury, A. (1995). Microsurfacing: solution for deteriorated freeway surfaces. *Transportation Research Record,* Vol. (1473), 120-130.

Examining Different Types of Asphalt Surface Treatment; (Advantages and Applications)

Mostafa Vamegh, Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran.

Ali Hojabrkiani, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Mostafa Adresi, Assistant Professor, Civil Engineering Department, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

E-mail: mostafa_vamegh@yahoo.com

Received: March 2024- Accepted: October 2024

ABSTACT

Today, the safety, durability and strength of the materials used in covering the transportation network and communication routes, is one of the most important and effective factors in reducing road maintenance costs and providing safety, preventing waste of time and providing psychological comfort to those using the routes. Finding methods to prevent premature destruction of asphalt in the road network and delaying pavement repairs and increasing the service life of asphalt pavement by improving the technical specifications of the materials used, requires study and research on various methods of repair and maintenance which are corrective and preventive. In the preventive method, surface treatment asphalt has a special place due to bringing the desired surface characteristics, reducing costs, high effectiveness and preventing the destruction of asphalt in a long period of time in order to reduce maintenance costs. Another function of surface treatment asphalt is to create a non-sliding surface. Surface treatment asphalt has different types called fly seal, cape seal, chip seal, slurry seal, seal coat and micro-surfing, each of which has its own characteristics, but of course we will bear difference in cost by choosing each type. We have to pay attention to this point, along with the weather conditions and the amount of traffic in the desired location when choosing the type of surface treatment asphalt.

Keywords: Surface Treatment, Preventive Maintenance, Micro Surfacing, Fog Seal, Seal Coat