

# مطالعه کاربرد چپ سیل و فوگ سیل در مدیریت روسازی راهها و مشاهدات کاربردی در محورهای شریانی استان بوشهر

مقاله علمی - پژوهشی

محسن عموزاده عمرانی<sup>\*</sup>، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران  
رضاحفظ اله، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد آیت... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران  
مسلم زینالزاده، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد آیت... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران  
<sup>\*</sup>پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [omrani@iausk.ac.ir](mailto:omrani@iausk.ac.ir)

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۵ - پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵

صفحه ۱۱۸-۱۰۳

## چکیده

یکی از بزرگترین سرمایه‌های زیر ساختی کشور، راه است. داشتن یک مدیریت مهندسی برای بهبود عملکرد و همچنین یک سیستم مدیریت نگهداری برای حفظ و نگهداری از این سرمایه ملی ضروری است. با توجه به هزینه‌های سنگین ترمیم و بهسازی، روشهای پیشگیرانه و افزایش طول عمر روسازی می‌تواند نقشی ویژه در کاهش هزینه‌های چرخه عمر روسازی ایفا نماید. در حال حاضر، با توجه به اهداف تعیین شده در سیستم مدیریت روسازی راهها (PMS)، برنامه ریزی‌های مدیریتی و اقتصادی صورت گرفته است و در این رویکرد به اجرای آسفالت‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل توجه ویژه شده است. بر این اساس، در این پژوهش، مروری بر تحقیقات صورت گرفته در مورد چپ سیل و فوگ سیل از قبیل آزمایش‌های ارزیابی و روش پیشنهادی کنترل کیفی، بررسی و مقایسه روش‌های اجرا، استفاده از افزودنی‌ها، و مصالح سازگار با محیط زیست صورت گرفته است. در ادامه، بر اساس مقادیر شاخص‌های سیستم مدیریت روسازی راهها، شاخص وضعیت روسازی و شاخص ناهمواری بین المللی راه‌های استان بوشهر ملاک قرار گرفته و با پیش بینی نسبت هزینه و طول عمر روسازی، عملکرد نمونه‌های اجرا شده چپ سیل و فوگ سیل در تعدادی از محورهای شریانی استان بوشهر مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی پژوهش‌های صورت گرفته و نمونه‌های اجرا شده در استان بوشهر نشان می‌دهد، به‌منظور بهبود عملکرد و کاهش مشکلات اجرایی به‌خصوص پرتاب سنگدانه‌ها، ایجاد گرد و غبار، پاشش مواد چسبنده در زمان اجرا و عمل آوری لایه‌های حفاظتی، استفاده از افزودنی‌ها و اصلاح‌کننده‌های مناسب و سازگار با محیط زیست، سودمند است. همچنین ارزیابی و کنترل کیفی مصالح و نحوه اجرا نیز نقش بسزایی در عملکرد نهایی چپ سیل و فوگ سیل دارد. در نهایت، اجرای لایه‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل در کاهش هزینه طول عمر روسازی موثر است.

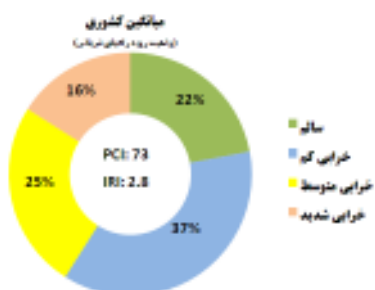
واژه‌های کلیدی: چپ سیل، فوگ سیل، مدیریت پیشگیرانه، آسفالت حفاظتی، مدیریت روسازی

## ۱-مقدمه

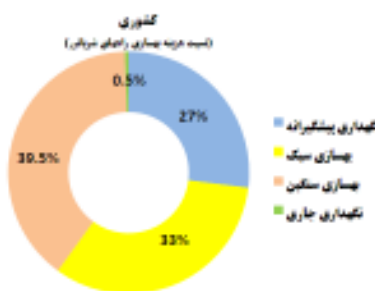
فرآیندهای ترمیم و نگهداری روسازی راهها، می‌تواند ضمن کنترل و تحلیل هزینه‌های نگهداری، دوره عملکرد روسازی و خدمت‌دهی مناسب در چرخه عمر روسازی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد و نقشی اساسی در توسعه پایدار ایفا نماید (سمیع عادل و گل رو، ۱۳۹۳). استفاده از رویکردهای پیشگیرانه در طول چرخه عمر روسازی، علاوه بر کاهش حدود

راهها جزئی از سرمایه‌های زیر ساختی کشور می‌باشند، که سالیانه بخش عمده‌ای از بودجه عمرانی به منظور ساخت، ترمیم و نگهداری آنها هزینه می‌گردد. در این میان یکی از مباحث پر اهمیت در خصوص این سرمایه ملی، نوع و نحوه نگهداری روسازی راهها می‌باشد که در خدمت دهی راهها ایفای نقش می‌نماید. تبیین استراتژی‌های مدیریت کارآمد و

راهداری و حمل و نقل جاده ای کشور، ۱۴۰۰). همچنین، ۲۲ درصد طول راههای مورد مطالعه(راههای شریانی) دارای وضعیت سالم، ۳۷ درصد دارای خرابی کم، ۲۵ درصد دارای خرابی متوسط و ۱۶ درصد دارای خرابی شدید می باشند. در این رویکرد پیش بینی می شود ۳۹/۵ درصد هزینه های مدیریت نگهداری راهها صرف بهسازی های سنگین، ۳۳ درصد هزینه ها صرف بهسازی سبک و ۲۷ درصد صرف نگهداری پیشگیرانه و ۰/۵ درصد هزینه ها صرف نگهداری های جاری شود (شکل ۳ و ۴). با توجه به مراتب فوق، اهمیت برنامه ریزی جهت انجام اقدامات پیشگیرانه نمایان می گردد (سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای کشور، ۱۴۰۰).



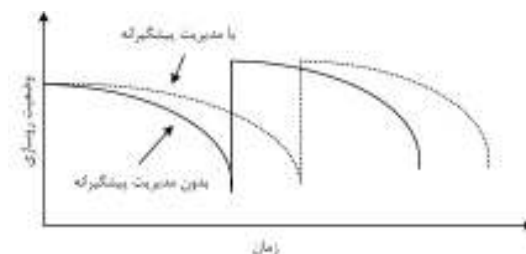
شکل ۳. وضعیت رویه راههای شریانی کشور به تفکیک شدت خرابی (در سال ۱۳۹۹)



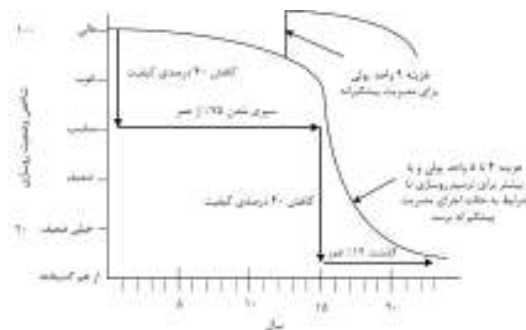
شکل ۴. نسبت هزینه بهسازی راههای شریانی کشور به تفکیک رویکردهای مختلف (در سال ۱۴۰۰)

خرابی رویه های روسازی آسفالتی در طول دوران بهره برداری عمدتاً در اثر وجود عوامل جوی مانند یخ زدگی، بارندگی و درجه حرارت و همچنین اثرات بارهای وارده از سوی وسایل نقلیه عبوری، در راهها رخ می دهد. از عمده ترین این خرابی ها می توان ترک های خستگی، ترک های طولی و عرضی، قیر زدگی، شن زدگی و ... را نام برد که اگر در زمان مناسب اقدامات پیشگیرانه ترمیمی بر روی این سطوح انجام

۳۰ الی ۴۰ درصدی هزینه ها نسبت به رویکردهای اصلاحی، باعث افزایش سطح خدمت و عمر بهره برداری ایمن از روسازی می شود (اردکانیان و همکاران، ۱۳۹۴). مدیریت پیشگیرانه، به معنی به تاخیر انداختن خرابی های روسازی، پیش از نیازمندی به ترمیم می باشد (شکل ۱ و ۲). اگر اقدامات پیشگیرانه در زمان مناسب و با برنامه ریزی لازم صورت پذیرد، علاوه بر صرفه جویی در هزینه ها و افزایش طول عمر روسازی، برنامه ای مناسب جهت توزیع هزینه ها در طول سال را در پی دارد (فخری و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۱. تاثیر مدیریت پیشگیرانه در به تاخیر انداختن ترمیم کلی روسازی (Cuelho, E et al, 2006)



شکل ۲. جایگاه مدیریت پیشگیرانه در کاهش هزینه های ترمیم و بهبود وضعیت روسازی (Deborah, A et al, 2003)

در سیستم مدیریت روسازی، شاخص وضعیت روسازی (PCI) بزرگتر از ۷۰ و شاخص ناهمواری بین المللی (IRI) کوچکتر از ۲/۲ به عنوان سطح مطلوب روسازی راهها در نظر گرفته شده است. بر اساس آمار منتشر شده، اگر چه در پایان سال ۱۳۹۹ میانگین شاخص وضعیت روسازی (PCI) حدود ۷۳ و شاخص ناهمواری بین المللی راهها (IRI) حدود ۲/۸ را در کشور نشان می دهد، لیکن در مقایسه با شاخص های ۲ سال قبل از آن، روند افت وضعیت حدود ۹ درصدی در شاخص PCI و ۸ درصدی در شاخص IRI را داشته است (سازمان

نشود، خرابی‌ها گسترش پیدا کرده و به لایه‌های زیرین آسیب وارد می‌کنند. به منظور پیشگیری از گسترش و یا حتی پیش از ایجاد خرابی‌ها، اقدامات اصولی و نسبتاً ارزان قیمتی از جمله اجرای آسفالت‌های حفاظتی شامل، چپ سیل<sup>۳</sup>، فوگ سیل<sup>۴</sup>، اسلاری سیل<sup>۵</sup>، مایکروسرفیسینگ<sup>۶</sup> و روکش غیر سازه‌ای<sup>۷</sup> جهت حفاظت از روسازی و حفظ سطح خدمت دهی مناسب، انجام می‌گیرد. با توجه به گستردگی روش‌ها و نحوه اجرای آسفالت‌های حفاظتی و با توجه به دسترسی به نمونه اجرای آسفالت حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل در استان بوشهر، در این مقاله ابتدا شرحی از ۲ نوع آسفالت حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل ارائه شده است و در بخش بعدی در ارتباط با مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در خصوص این ۲ نوع آسفالت‌های حفاظتی، مروری صورت گرفته است. پس از آن، نمونه‌های اجرا شده در استان بوشهر مورد بررسی قرار گرفته‌اند و پس از تحلیل بررسی‌های صورت گرفته، جمع بندی مطالب با عنوان نتیجه گیری آورده شده است.

چاله‌های کم عمق در سطح روسازی، آنها را ترمیم می‌نماید (صفی آریان و باقرزاده خلخالی، ۱۳۹۶) همچنین چپ سیل باربری سازه‌ای روسازی را افزایش نمی‌دهد (بردیونس و خبیری، ۱۳۹۴) و عموماً پیش بینی عمر عملکردی این نوع آسفالت حفاظتی، ۳ الی ۵ سال پیش بینی می‌باشد.

## ۲-۱- روش اجرای چپ سیل

عموماً اجرای لایه حفاظتی چپ سیل در ۴ مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول وضعیت سلامت اجزاء راه مورد بررسی قرار گرفته تا جسم و لایه روسازی فاقد اشکالات و خرابی‌های سازه‌ای باشد. در مرحله دوم، می‌بایست کلیه ترک‌های روسازی حدوداً ۶ ماه تا ۱ سال قبل از اجرای چپ سیل ترمیم گردند. در مرحله سوم، قیر امولسیون برای اجرای لایه حفاظتی را بر روی سطح روسازی ریخته و سنگدانه‌های بر روی آن پخش می‌شود. در مرحله چهارم، مصالح پخش شده با استفاده از غلتک‌های استاتیکی متراکم می‌شوند. اجرای یک لایه لعاب نازک قیر بر روی سطح نهایی، مشکلات کنده شدن و پرتاب سنگدانه‌ها به اطراف و همچنین مشکلات ایمنی عبور و مرور پس از اجرای چپ سیل را کاهش می‌دهد. متناسب نبودن مقادیر قیر و سنگدانه‌ها، قیرزدگی و یا شن‌زدگی و کنده شدن سنگدانه‌ها را در پی خواهد داشت (صفی آریان و باقرزاده خلخالی، ۱۳۹۶).

## ۱-۱- لایه‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل

فخری و همکاران در پژوهشی با ارائه تعریفی از انواع مدیریت نگهداری روسازی‌ها شامل نگهداری پیشگیرانه، نگهداری اصلاحی (عکس‌العملی)، نگهداری اضطراری و نگهداری روزمره، با عنوان نمودن مدیریت نگهداری پیشگیرانه به عنوان راه حلی مناسب نسبت به روش‌های سنتی مدیریت روسازی که به صورت ترمیم و نگهداری بوده است، به بررسی جایگاه و تاثیرات این نوع مدیریت پرداخته‌اند. همچنین با بررسی انواع مدیریت نگهداری پیشگیرانه، دو نوع آسفالت حفاظتی فوگ سیل و چپ سیل را از مهم‌ترین رویکردها در مدیریت روسازی کشور ایران برشمرده‌اند (فخری و همکاران، ۱۳۹۰). در ادامه بر خصوصیات و پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص لایه‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل مرور می‌گردد.

## ۲-۲- انواع چپ سیل

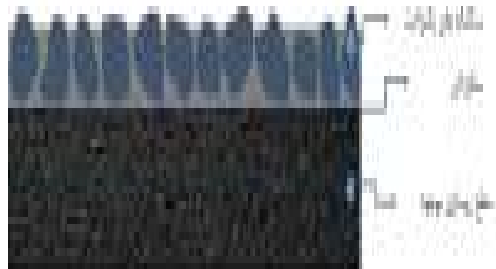
لایه حفاظتی چپ سیل از حیث طراحی، روش اجرا و یا کاربرد دارای انواعی به شرح ذیل می‌باشد (خواججه‌پور و همکاران، ۱۳۹۳؛ Gheni et al, 2017).

### ۲-۲-۱- چپ سیل تک لایه‌ای<sup>۸</sup>

دارای یک لایه اندود قیری و یک لایه سنگدانه یکنواخت بوده و از خصوصیات این نوع چپ سیل، باربری کم و نفوذ پذیری زیاد می‌باشد.

## ۲- بررسی لایه حفاظتی چپ سیل

لایه حفاظتی چپ سیل از اوایل سال ۱۹۲۰ در راه‌های روستایی و کم ترافیک و با باربری کم مورد استفاده قرار گرفته است و امروزه، با افزایش دانش کاربرد این نوع لایه حفاظتی، در راه‌های با ترافیک سنگین نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. چپ سیل با ایجاد یک لایه محافظ بر روی روسازی، از هوازگی روسازی (شن زدگی) و خردشدن سنگدانه‌ها جلوگیری کرده و باعث پر کردن ترک‌های ریز، افزایش اصطکاک سطح روسازی و عایق بندی روسازی می‌گردد. همچنین چپ سیل، در صورت وجود شیارشدگی و یا



شکل ۵. چپ سیل تک لایه‌ای

### ۲-۲-۲- چپ سیل دو لایه‌ای<sup>۹</sup>

دارای یک لایه اندود قیری، یک لایه سنگدانه یکنواخت است و پس از کوبیدگی، لایه دوم دارای یک لایه اندود قیری و یک لایه سنگدانه با دانه بندی کوچکتر می‌باشد. از خصوصیات این نوع چپ سیل، باربری بیشتر و نفوذپذیری و صدای عبور ترافیک کمتر نسبت به نوع تک لایه‌ای است.



شکل ۶. چپ سیل دو لایه‌ای

### ۲-۲-۶- اندود ساندویچی<sup>۱۰</sup>

این نوع چپ سیل، شامل یک لایه قیر مابین دو لایه سنگدانه است که لایه زیرین درشت دانه‌تر بوده و عموماً در موارد شن زدگی و دانه دانه شدن سطح، مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱۰. اندود ساندویچی

### ۲-۲-۷- اندود مسلح شده با ژئوتکستال<sup>۱۰</sup>

در این نوع ترمیم سطحی آسفالت، یک لایه اندود قیری تک کت بر روی روسازی دارای ترک‌های گرمایی و اکسید شده اجرا گردیده و پس از پهن نمودن ژئوتکستایل‌ها، چپ سیل بر روی آن اجرا می‌گردد.



شکل ۱۱. اندود مسلح شده با ژئوتکستال

### ۲-۲-۳- اندود قفل شده<sup>۱۱</sup>

همانند چپ سیل تک لایه‌ای می‌باشد که با اضافه کردن کوک<sup>۱۱</sup> به سنگدانه‌ها، در مقابل کنده شدن قبل از عمل آوری مقاوم می‌گردد.



شکل ۷. اندود قفل شده

### ۲-۲-۴- کپ سیل<sup>۱۲</sup>

همانند چپ سیل تک لایه ای می‌باشد که پیش از مرحله کوبیدگی، با پخش سنگدانه‌های ریزتر در سطح، موجب پر شدن منافذها و افزایش مقاومت برشی می‌گردد.



شکل ۸. کپ سیل

### ۲-۳- طراحی چپ سیل

روش‌های طراحی چپ سیل در سال ۱۹۳۴ توسط هانسون و سپس در سال ۱۹۵۳ توسط کربی تدوین شد و به تدریج با تحقیقات انجام شده و افزایش دانش، توسط سایرین روند تکاملی داشته است (صفی آریان و خلخالی، ۱۳۹۶؛ Caltrans Division of Maintenance, 2003). چپ سیل بر اساس شرایط روسازی موجود، ویژگی‌های سنگ دانه‌ها و قیرهای مورد کاربرد و همچنین با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی مورد طراحی قرار می‌گیرد.

### ۲-۴- عملکردهای کلیدی چپ سیل

صفی آریان و باقرزاده در پژوهشی انواع چپ سیل را معرفی نموده و با ارائه روش طراحی و اجراء ویژگی‌های چپ سیل را مورد بررسی قرار داده‌اند. جلوگیری از نفوذ آب به سازه اصلی و تامین مقاومت لغزشی به عنوان ۲ عملکرد کلیدی چپ سیل در نظر گرفته و نتایجی بدین شرح ارائه نمودند: (صفی آریان و باقرزاده خلخالی، ۱۳۹۶).

### ۲-۲-۵- اندود با فاصله<sup>۱۳</sup>

همانند چپ سیل دو لایه‌ای می‌باشد، لیکن پس از ریختن لایه اول اندود قیری، ابتدا سنگدانه‌های ریز پخش می‌گردد و در لایه دوم، سنگ دانه‌های درشت‌تر پخش و کوبیده می‌شود. این نوع چپ سیل، عموماً در سطوح قیر زده اجرا می‌شود.



شکل ۹. اندود با فاصله

- پوشش اولیه سنگدانه‌ها پیش از مخلوط شدن با قیر، باعث کاهش گرد و غبار بر روی سنگدانه‌ها و در نتیجه کاهش کنده شدن مصالح می‌گردد.

- چپ سیل بایستی در درجه حرارت بهینه اجرا گردد. با کاهش و یا افزایش درجه حرارت نسبت به مقدار بهینه، باعث افزایش میزان کنده شدن سنگدانه‌ها از سطح چپ سیل می‌شود.

- مدت زمان عمل آوری و زمان بازگشایی ترافیک در مسیری که چپ سیل اجرا شده است باید براساس دستورالعمل‌های اجرا و طرح چپ سیل صورت گیرد تا با رسیدن رطوبت به حد مطلوب، حداقل کنده شدن سنگ دانه‌ها اتفاق بیفتد.

## ۲-۶- روش جدید ارزیابی کیفیت چپ سیل

جاهی و معتمد در پژوهشی، کنده یا ساییده شدن سنگ دانه و روزدگی و اکسیده شدن قیر معدنی را به عنوان خرابی‌های عمده در لایه حفاظتی چپ سیل برشمردند. لذا، با لازم دانستن آزمایشات کیفی جهت کنترل عملکرد چپ سیل در برابر این خرابی‌ها، با معرفی آزمایشات معمول کنترل کیفی، روش جدیدی به منظور کنترل کیفیت چپ سیل به شرح ذیل پیشنهاد نمودند (جاهی و معتمد، ۱۳۹۵).

### ۲-۶-۱- آزمایش ویالیت<sup>۱۶</sup>

آزمایش ویالیت به صورت کیفی و در دمای پایین به بررسی کنده شدن سنگدانه‌ها از سطح چپ سیل که عمده‌ترین علت افت کیفیت چپ سیل در طول عمر آن می‌باشد، می‌پردازد. در این آزمایش با انتخاب، آماده سازی و عمل آوری نمونه، بارگذاری بر روی نمونه با رهاسازی گوی مخصوص آهنی انجام می‌گیرد و تعداد سنگ دانه‌هایی که از سطح نمونه کنده نشده‌اند، به عنوان نتیجه آزمایش شمارش می‌شود. از مزایای این آزمایش، سادگی و قیمت پایین و قابل حمل بودن دستگاه می‌باشد.

### ۲-۶-۲- آزمایش جاروب<sup>۱۷</sup>

آزمایش جاروب نیز به صورت کیفی و در دمای متوسط به بررسی پیوند سنگ دانه‌ها در سطح چپ سیل می‌پردازد. در این آزمایش با عمل آوری و آغشته نمودن نم مخصوص آزمایش و اندازه‌گیری اختلاف وزن قبل و بعد از قرارگیری زیر دستگاه همزن، کیفیت و مقاومت چپ سیل را نشان

- لازمه بهبود عملکرد چپ سیل، افزایش کنترل کیفی در اجرا است.

- چپ سیل با به تاخیر انداختن خرابی روسازی، نقش مهمی در افزایش عمر روسازی دارد.

- چپ سیل مقاومت افزایش لغزشی روسازی را افزایش داده و سبب ارتقا سطح ایمنی راه می‌گردد.

- می‌توان با بکارگیری افزودنی‌ها در قیر و یا سنگدانه‌ها، اشکالات موجود را کاهش داد.

- به منظور حصول نتیجه موفق در اجرای چپ سیل، باید فاکتورهای موثر نظیر آب و هوا را در زمان اجرا مد نظر قرار داد.

- مشکلات اجرایی و خرابی‌های چپ سیل، با طراحی مناسب کاهش می‌یابد.

## ۲-۵- مهم ترین عوامل موثر در خرابی آسفالت

### حفاظتی چپ سیل

بردیونس و خبیری در پژوهشی دیگر نشان دادند، با اهمیت‌ترین نوع خرابی در چپ سیل، کنده شدن سنگدانه‌ها است. کنده شدن سنگدانه‌ها، باعث پخش و پرتاب شدن سنگدانه‌ها در اثر عبور و مرور وسایل نقلیه و نتیجتاً باعث کمتر شدن ایمنی راه می‌گردد. عوامل ایجاد این نوع خرابی عبارت است از نوع، شکل و میزان تمیزی سنگدانه، نوع قیر بکاربرده شده و شرایط روسازی موجود و در اجرای پروژه این موارد بایستی مورد بررسی و آزمایش قرار گیرند. براساس گزارش آزمایشات انجام شده در پژوهش، موارد زیر نتیجه گیری شده است (بردیونس و خبیری، ۱۳۹۴):

- اصلی ترین اشکال در اجرای چپ سیل، کنده شدن سنگدانه از سطح آن است.

- استفاده از مصالح سنگدانه پیوند قوی تری نسبت به مصالح طبیعی از خود نشان می‌دهد.

- با توجه به نفوذپذیری بیشتر مصالح آهکی نسبت به مصالح سیلیسی، استفاده از سنگدانه‌های آهکی به مقدار زیادی از کنده شدن سنگدانه‌ها می‌کاهد.

- با توجه به تاثیر نوع قیر معدنی در چپ سیل، آزمایشات انجام شده بر روی دو نوع قیر پلیمری اصلاح شده، نشان می‌دهد که استفاده از قیر با نام اختصاری CRS-1HP باعث کم شدن کنده شدن سنگدانه‌ها نسبت به قیر پلیمری با نام اختصاری CRS-2P می‌شود.

بارگذاری خزشی انجام گرفته و با اعتبار سنجی نتایج با استفاده از آزمایش چرخ<sup>۱۹</sup>، خواص پیوند بین سنگ دانه ها و سطح روسازی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## ۲-۷- عملکرد سطحی آسفالت چپ سیل بر روی

### اساس تثبیت شده سیمانی

بردیونس و خبیری مطالعاتی بر روی تاثیر نوع و مقدار قیر و سنگدانه، در وقوع خرابی‌های چپ سیل انجام داده اند. در این مطالعه از دو نوع قیر امولسیون و امولسیون با پودر لاستیک و دانه بندی نوع ج نشریه شماره ۲۳۴ و همچنین یک نوع دانه بندی پیشنهادی با دانه‌بندی ریزتر با عنوان نوع د بر روی اساس تثبیت شده با سیمان استفاده نموده اند. نتایج حاصل از این تحقیق بدین شرح می‌باشد (بردیونس و خبیری، ۱۳۹۸).

-بکارگیری قیر امولسیون با پودر لاستیک در چپ سیل، از دست رفتن سنگ دانه را ۲۰ الی ۲۳ درصد کاهش می‌دهد.

-بکارگیری دانه بندی ریزتر میزان کنده شدن سنگدانه‌ها را در چپ سیل بر روی اساس تثبیت شده سیمانی به میزان ۱۴ درصد کاهش می‌دهد و نتیجه گرفته می‌شود که ریزتر شدن دانه بندی سنگ دانه با کنده شدن دارای رابطه مستقیم است.

- با بکارگیری قیر با درصد بهینه یا بیشتر، به دلیل فرو رفتن حجم بیشتری از سنگدانه در داخل قیر، میزان کنده شدن سنگدانه‌ها کم می‌شود.

## ۳- بررسی لایه حفاظتی فوگ سیل

فوگ سیل، قیر امولسیون رقیق شده و فاقد سنگدانه است و اگرچه در راه‌های دارای ترافیک کم نیز اجرا می‌شود، لیکن کاربرد اصلی آن در راه‌های پر ترافیک به منظور پیش‌گیری از شن زدگی سطح روسازی می‌باشد. در این نوع ترمیم روسازی راه و به شرط اینکه اجزاء روسازی فاقد اشکالات و خرابی‌های سازه‌ای و گسترده باشند، با پخش یک لایه قیر امولسیون رقیق شده، باعث جوان‌سازی، جلوگیری از عریان شدگی و شن زدگی، عایق‌بندی و با فراهم کردن دید مناسب باعث افزایش ایمنی می‌شود. عموماً اجرای فوگ سیل بر حسب نوع قیر مصرفی، اقتصادی و ارزان قیمت بوده و عمر عملکردی آن بین ۱ الی ۲ سال است (کاوسی و زایزاده، ۱۳۸۵).

می‌دهد. این آزمایش زمان اولیه کسب مقاومت و گیرش چپ سیل و زمان بازگشایی و عبور ترافیک را مشخص می‌کند.

## ۲-۶-۳- آزمایش بارگذاری واقعی با مقیاس یک سوم<sup>۱۸</sup>

این آزمایش با استفاده از دستگاه بارگذاری (MMLS3) با حرکت چرخ‌هایی با قابلیت تنظیم سرعت و نیروی قائم اعمالی بر روی روسازی، این امکان را می‌دهد که عملکرد روسازی در اثر خرابی‌هایی مانند خستگی و شیارشدگی مورد ارزیابی قرار گیرد. در این آزمایش نمونه‌ها مانند آزمایش جاروب بر روی نمد عمل آوری شده و با کنترل دما، مقدار کنده شدن سنگ دانه‌ها در تعداد سیکل‌های مختلف اندازه‌گیری را به عنوان معیاری از کیفیت مورد بررسی قرار دهد.

## ۲-۶-۴- بازدید چشمی

با توجه به خرابی‌های اصلی چپ سیل شامل روزدگی قیر و کنده شدن سنگ دانه‌ها، کارشناسان با بازدید چشمی که یکی از مراحل کنترل کیفی اولیه می‌باشد، با مشاهده اختلاف رنگ در سطح راه، مقدار کم و زیاد بودن پخش مصالح در سطح راه را به صورت کیفی شناسایی می‌کنند.

## ۲-۶-۵- روش پیشنهادی ارزیابی کیفیت چپ سیل

در روش پیشنهادی، نمونه‌های چپ سیل بر روی دال‌های بتن آسفالتی با ۶ درصد هوا و سطحی به ابعاد ۴۵ در ۱۵ سانتی‌متر و دانه‌بندی شماره ۴ آیین‌نامه روسازی ایران در دستگاه Press Box ساخته می‌شود. تفاوت فرایند ساخت چپ سیل با روش‌های دیگر به شرح زیر است:

-در روش پیشنهادی، از دال‌های بتن آسفالتی به جای بستر نمدی در آزمایش جاروب استفاده شده است.

-میزان قیر و سنگ دانه جهت ساخت چپ سیل، از آیین‌نامه سازمان حمل و نقل استرالیا استخراج گردیده است.

-در تراکم چپ سیل از غلظتک به وزن ۳۰ کیلوگرم استفاده شده است.

به منظور عمل‌آوری نمونه‌های چپ سیل و جلوگیری از پیرشدگی و تغییر خواص قیر، نمونه‌ها در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۵ درصد به مدت ۵ روز عمل آوری شده‌اند و از آزمایش کشش جهت بررسی علمی کیفیت چپ سیل استفاده شده است. در این پژوهش، با انتخاب نمونه‌های چپ سیل با ترکیب سنگ دانه و انواع و مقادیر مختلف قیر، آزمایش کشش توسط ابزار توسعه یافته تحت

### ۳-۱- روش اجرای فوگ سیل

از عوامل مهم در کیفیت و چگونگی اجرای فوگ سیل، بررسی روسازی و سلامت لایه‌های زیرین روسازی می‌باشد. نشست و تخریب لایه‌های زیرین از کیفیت و تاثیرگذاری اجرای فوگ سیل می‌کاهد و لازم است در صورت وجود نشست‌های جزئی، قبل از اجرای فوگ سیل ترمیم گردند. اجرای فوگ سیل بنا بر وضعیت رویه آسفالت، شرایط اقلیمی و منطقه اجرا طراحی می‌گردد. همچنین اجرای فوگ سیل در درجه حرارت بالاتر از ۳۵ درجه سانتیگراد و پایین تر از ۱۰ درجه سانتیگراد توصیه نمی‌گردد و نمی‌بایست قیر امولسیون در زمان اجرا بیش از ۸۰ درجه سانتیگراد گرم شود (کاووسی و زایرزاده، ۱۳۸۵).

### ۳-۲- طراحی فوگ سیل

انتخاب نوع قیر امولسیونی از حیث زود شکن و دیر شکن بودن، تابع عواملی از جمله وضعیت روسازی به لحاظ وجود ترک‌های ریز (که در این حالت، قیرهای امولسیونی دیر شکن مناسب تر بوده تا نفوذ امولسیون در ترک‌ها رخ دهد)، وضعیت عبور و مرور در محور، درجه حرارت هوا و روسازی و تنظیم زمان لازم جهت شکسته شدن امولسیون به منظور برقراری عبور و مرور، بستگی دارد. لیکن عموماً با توجه به شرایط، رقیق نمودن قیر امولسیون به نسبت ۵۰ به ۵۰ و میزان قیر مصرفی از ۳۰۰ الی ۱۲۰۰ گرم در متر مربع توصیه می‌شود (Fog Seal Guidelines, Caltrans Division of Maintenance, 2003)

### ۳-۳- اجرای فوگ سیل با جاروی پخش کننده (استراپ سیل)

تحقیقات انجام شده توسط انجمن ملی روسازی‌های آسفالتی امریکا نشان داده است در زمان اجرای لایه حفاظتی فوگ سیل، نصب یک جاروی پخش کننده در انتهای ماشین پخش قیر، به پخش مناسب و یکنواخت قیر کمک کرده و نقش مهمی در افزایش نفوذ قیر امولسیون در داخل ترک‌های روسازی دارد. جواهری و همکاران در تحقیقی با ساخت این دستگاه در داخل کشور ایران و استفاده در پروژه محور سیرجان استان کرمان، نشان دادند که این روش با سرعت اجرای بالا و هزینه کم، دارای اثرات بسیار خوبی در نفوذ قیر در ترک‌های با شدت کم و متوسط می‌باشد (جواهری و همکاران، ۱۳۹۶).

### ۳-۴- فوگ سیل به عنوان یکی از مهم‌ترین انواع

#### آسفالت حفاظتی

زایرزاده و کاووسی در تحقیقی کاربرد و عملکرد انواع مختلف آسفالت‌های حفاظتی شامل فوگ سیل، سیل کت، اسلاری سیل، کیپ سیل و آسفالت‌های حفاظتی ریزدانه را مورد بررسی و ارزیابی قرار داده و فوگ سیل را یکی از مهم‌ترین انواع آسفالت‌های حفاظتی عنوان نموده‌اند (زایرزاده و کاووسی، ۱۳۸۵).

### ۳-۵- تاثیر عملکرد چسبنده‌ها و افزودنی‌ها بر

#### خصوصیات مکانیکی و عملکردی فوگ سیل

پراپاتروکال و همکارانش در تحقیقی استفاده از سایر چسبنده‌ها به جای چسبنده‌های قیری در اجرای فوگ سیل را براساس روش‌های آماری مورد ارزیابی قرار داده و با اجرای چسبنده‌های قیری مقایسه نموده‌اند. نتایج نشان داد که استفاده از قطران ذغال سنگ EB44 باعث چسبندگی بیشتر در سطح رویه روسازی شده است (Prapaitrakul et al, 2010). امانویل در تحقیقی وضعیت کلی روسازی آسفالت موجود، خواص قیر و وضعیت اصطکاک افزایش سطحی و تاثیرات سه نوع اجرای لایه حفاظتی فوگ سیل را در ۱۳ محور مختلف در قسمت جنوبی ایالت ایدیانامورد ارزیابی قرار داده و سپس نتایج حاصل از آزمایشات انواع فوگ سیل اجرا شده و امتیازات هر نوع نسبت به دو نوع دیگر، مقایسه شده است (Ammanuiel, 2016).

یوانگ و همکارانش در پژوهشی دیگر با توجه به مشکلات زیست محیطی که چسبنده‌های قیری در اجرای لایه‌های حفاظتی ایجاد می‌کنند، استفاده از مصالح سازگار با محیط زیست مورد بررسی قرار داده‌اند. این تحقیقات نشان می‌دهد اگرچه این مصالح مزایایی از جمله مقاومت خوب در برابر خرابی، بهبود وضعیت سطح روسازی و ملاحظات اقتصادی دارند، لیکن دارای محدودیت کاربرد شامل عدم امکان اجرای روسازی‌های دارای ترک خوردگی پوست سوسماری و دارای آسیب و همچنین نیاز به شرایط محیطی خاص از جمله دمای بالاتر از ۴۰ درجه فارنهایت و شرایط خشک و فاقد یخ زدگی می‌باشد. لذا، در تحقیق صورت گرفته، مقایسه‌ای بین اجرای فوگ سیل معمولی و فوگ سیل با مصالح سازگار با محیط زیست (سویا) در یک بازه دو ساله صورت گرفته و روش‌های

فوغ سیل، قبل و بعد از اجرای لایه حفاظتی مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد اندازه ۰/۹ - ۰/۴۵ میلیمتری سنگدانه‌ها در سطح روسازی با فوغ سیل ساخته شده و با افزودن رزین اپوکسی به امولسیون قیری، مناسب‌ترین عملکرد را دارد. نتایج صحرائی نیز نشان دهنده این است که پس از اجرا و آب بندی سطح توسط فوغ سیل، وضعیت سطحی روسازی و مقاومت در برابر افزایش به طور قابل توجهی بهبود یافته است (Chichun Hu et al, 2020).

با توجه به تجربیات و تحقیقات انجام شده در خصوص کاربرد امولسیون و امولسیون اصلاح شده در اجرای لایه حفاظتی چپ سیل، برخی معایب از جمله نفوذپذیری ضعیف، حساسیت به رطوبت و پیری در زیر اشعه فرا بنفش وجود دارد. پیاده‌کوبی و همکارانش در تحقیقی از پلیمر رزین سیلیکون به عنوان یک مصالح نوآورانه استفاده و برای ارزیابی نفوذپذیری و پخش پلیمر رزین سیلیکون در یک مخلوط آسفالتی از توموگرافی رایانه‌ای اشعه ایکس و فناوری بازسازی سه بعدی استفاده نمودند. اثرات فوغ سیل با رزین سیلیکون بر حساسیت به رطوبت و عملکرد دمای بالای مخلوط آسفالتی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد کاربرد پلیمر رزین سیلیکون در چپ سیل، نفوذ پذیری را بهبود می‌بخشد. همچنین در این تحقیق اثر تغییر در مقدار مصرفی پلیمر رزین سیلیکون بر پر شدن منافذ آسفالت، سرعت رشد پایداری مارشال (RMS)<sup>۲۰</sup>، نسبت مقاومت کششی (TSR)<sup>۲۱</sup>، آزمایش شل شدن و آزمون ردیابی چرخ هامبورگ (HWT)<sup>۲۲</sup> مورد بررسی قرار گرفته است (Peide Cui et al, 2019).

### ۳-۶- ارزیابی کارایی و مقاومت فوغ سیل در برابر لغزش

فنگ و همکاران در تحقیقی، فوغ سیل ساخته شده با مصالح مختلف را با مصالح جدید اصلاح شده با روغن سازگار با محیط زیست با علامت اختصاری (BF66) مقایسه نموده‌اند. وضعیت و کارایی فوغ سیل BF66 نسبت به سایر انواع فوغ سیل نشان داده است که استفاده از روغن سازگار با محیط زیست در چپ سیل، موجب کاهش مقدار نیاز به چسبندگی قیری در آسفالت و در نتیجه صرفه جویی در مصرف انرژی می‌باشد (Feng et al, 2019).

دقیق ساخت و یافته‌های آزمون‌های آزمایشگاهی و تحقیقات صحرائی ثبت و نتایج زیر در خصوص مصالح سازگار با محیط زیست گزارش نموده‌اند (Yang et al, 2019):

- اگرچه کاهش اصطکاک لغزشی در کوتاه مدت مشاهده می‌گردد و لیکن با گذر زمان به میزان مناسب باز خواهد گشت. - مقدار SN روسازی قبل از اجرای فوغ سیل باید حداقل ۵۰ باشد.

- نتایج آزمایشگاهی نشان داد که سرعت پاشش بیولوژیکی در ساخت فوغ سیل، با جذب آب و نفوذپذیری در ارتباط است. - فرایند ساخت و اجرا با توجه به اینکه بدون گرمایش است، زمان باز گشایی ترافیک کوتاه می‌باشد.

- با توجه به اینکه این تحقیقات در یک دوره دو ساله انجام گرفته است، نیاز است که وضعیت اصطکاک در سال‌های بعدی مورد ارزیابی قرار گیرد.

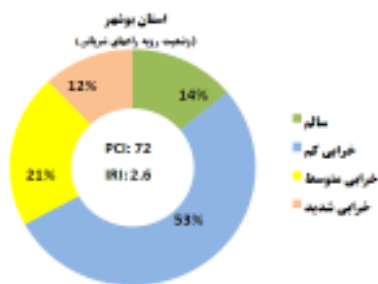
بویونگ و همکارانش با توجه به دو عامل شامل: ۱- افزایش هزینه قیرهای برپایه نفت و ۲- اثرات نامطلوب مواد قیری بر محیط زیست، استفاده از محصولات سازگار با محیط زیست به جای چسبندگی‌های قیری در اجرای فوغ سیل را مورد ارزیابی قرار دادند. بر همین مبنا لایه حفاظتی فوغ سیل با استفاده از ماده افزودنی بر پایه گیاه سویا با ۳ مقدار مختلف در یک مسیر کوتاه حدود ۵ کیلومتری اجرا و به مدت ۲ سال مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج ارائه شده، در طول مدت ارزیابی سایر خرابی‌ها از جمله لغزش سطحی، سرعت رشد ترک خوردگی و میزان نفوذ آب نیز مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، محوری با شرایط فوق و بدون استفاده از محصولات پایه گیاهی به منظور مقایسه عملکرد در مدت زمان و با ترافیک مشابه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان دهنده این است که علاوه بر بهبود و کاهش وضعیت رشد ترک‌ها، مقدار نفوذ پذیری آب و هوازگی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است (Bo Yang et al, 2020).

چی چانگ هو و همکارانش با هدف دستیابی به یک فوغ سیل بهبود یافته، با استفاده از افزودن رزین اپوکسی معلق در آب به عنوان یک اصلاح کننده امولسیون قیری، مطالعاتی انجام داده‌اند. برای این منظور آزمایش به دو صورت آزمایشگاهی و صحرائی انجام گرفته است. در آزمایشگاه، آزمایشات خواص فوغ سیل برای ارزیابی مقاومت لغزشی مصالح مصرفی انجام شده و در آزمایش صحرائی نیز خواص سطح روسازی و

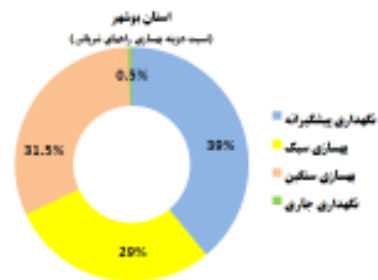


است. لذا با توجه به موقعیت استراتژیک استان بوشهر، علاوه بر توسعه و ایجاد راههای جدید، برنامه ریزی جهت حفظ، نگهداری و مرمت راههای موجود دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد.

در حال حاضر بر اساس آمارنامه سال ۱۳۹۸ سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور، استان بوشهر دارای ۴۴۳۵ کیلومتر راه معادل حدود ۱/۵ درصد کل راههای کشور است. این استان دارای ۶۸۵ کیلومتر بزرگراه، ۵۶۰ کیلومتر راه اصلی، ۸۴۵ کیلومتر راه فرعی و حدود ۲۳۴۵ کیلومتر راه روستایی است و درصد برخورداری جمعیتی روستاها از راه آسفالتی حدود ۹۹ درصد می‌باشد. بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط وزارت راه و شهرسازی در ابتدای سال ۱۴۰۰، وضعیت رویه راههای شریانی استان بوشهر بدین شرح می‌باشند؛ ۱۴ درصد طول راه‌ها سالم، ۵۳ درصد دارای خرابی کم، ۲۱ درصد دارای خرابی متوسط و ۱۲ درصد دارای خرابی شدید است. لذا، در این رویکرد پیش بینی می‌شود ۳۱/۵ درصد هزینه‌های مدیریت نگهداری راهها صرف بهسازی‌های سنگین، ۲۹ درصد هزینه‌ها صرف بهسازی سبک و ۳۹ درصد هزینه‌ها صرف نگهداری پیشگیرانه و ۰/۵ درصد هزینه‌ها صرف نگهداری‌های جاری شود (سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای کشور، ۱۴۰۰)، (شکل ۱۲ و ۱۳).



شکل ۱۲. وضعیت رویه راههای شریانی استان بوشهر به تفکیک شدت خرابی (در سال ۱۳۹۹)



شکل ۱۳. نسبت هزینه بهسازی راههای شریانی استان بوشهر به تفکیک رویکردهای مختلف (در سال ۱۴۰۰)

جیانگ و همکارانش در تحقیق صورت گرفته، فوگ سیل با انواع مصالح و با مقادیر مختلف را بر مبنای مقاومت در برابر لغزش مورد بررسی قرار دادند. در این راستا، نوع و مقادیر مصالح به منظور دستیابی به مقاومت و سایش، بهینه شده است و سپس عملکرد فوگ سیل‌های منتخب در برابر لغزش مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها، نوع فوگ سیل دارای بهترین مقاومت در برابر لغزش، نفوذپذیری و مقاومت در برابر پیرشدگی را پیشنهاد داده است (Jiang et al, 2020).

#### ۴- نمونه های اجرا شده چپ سیل و فوگ سیل در محورهای شریانی استان بوشهر

با توجه به افزایش هزینه‌های ترمیم و نگهداری‌های اساسی و در راستای سیستم مدیریت روسازی (PMS) مبتنی بر هزینه‌های چرخه عمر، گزینه‌های ترمیم و نگهداری موضعی و فراگیر مد نظر قرار می‌گیرد. در حال حاضر با توجه به مراتب فوق و رویکردهای وزارت راه و شهرسازی و سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای کشور، گزینه‌های آسفالت‌های حفاظتی از جمله آب بندی و جوانسازی روسازی‌ها از روشهای ترمیم و نگهداری فراگیر مورد توجه قرار دارد. نظر به موضوع این مقاله و با توجه به اجرای آسفالت‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل در استان بوشهر، روند اجرای عملیات در این استان با اخذ اطلاعات مرتبط و مشاهدات میدانی، اجرای عملیات چپ سیل و فوگ سیل در تعدادی از راههای شریانی مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس اطلاعات آماری و وضعیت موجود، استان بوشهر یکی از استانهای جنوبی و مرزی کشور است و عموماً در اکثر مناطق دارای آب و هوای گرم و مرطوب و در حاشیه خلیج فارس قرار گرفته است. به دلیل شاخصه‌هایی از قبیل بیش از ۷۰۰ کیلومتر مرز آبی، بنادر مهم تجاری، وجود منابع عظیم گاز و نفت و صنایع تبدیلی، نیروگاه اتمی و پایگاه‌های مهم هوایی و دریایی و همچنین مزارع وسیع پرورش آبیان، این استان را در زمره استانهای استراتژیک کشور قرار داده است که دسترسی به این مناطق از لحاظ عملکردی و پدافندی حائز اهمیت می‌باشد. یکی از شیوه‌های اصلی جهت دسترسی به نقاط حساس و همچنین نقاط جمعیتی در کشور و از جمله استان بوشهر، راهها می باشد که نقش آن در شبکه حمل و نقلی و همچنین عملکرد در مواقع اضطراری بی بدیل

اسمی مصالح ۲/۳۶-۹/۵ میلیمتر) و به منظور چسبندگی و با توجه به جنس سنگدانه‌ها و بر اساس طرح، از اندود قیر امولسیون کاتیونیک زودشکن CRS با حداقل قیر باقیمانده ۶۰ درصد در آزمایش تقطیر استفاده شده است. مزایای در نظر گرفته شده جهت استفاده از قیر امولسیون در طرح، کاهش انرژی مصرفی برای گرم کردن، کاهش خطرات آتش سوزی قیر و کاهش مشکلات زیست محیطی بوده است.

عملیات بوسیله دستگاه کامیون دارای امکان تنظیم مقدار پخش همزمان قیر و مصالح سنگی انجام و در ادامه توسط غلتک‌های چرخ لاستیکی عملیات کوبیدگی صورت گرفته و عمل آوری عملیات انجام شده است. به منظور کنترل کیفی عملیات اجرا شده، آزمایشات لازم بر اساس مشخصات فنی از جمله آزمایش سینی به منظور کنترل میزان قیر پخش شده در مسیر و آزمایشات کنترل کیفی مصالح سنگی انجام گرفته است. نقاط قوت عملیات ساخت و اجرای چپ سیل در این محور، آماده سازی و تمیزی سطح راه و سنگدانه‌ها از گرد و غبار (که باعث افزایش چسبندگی بین سنگدانه‌ها و سطح شده است)، دمای مناسب فصل انتخاب شده جهت اجرا و اجرای صحیح با استفاده از ماشین آلات مناسب بوده است.

عمده مسائلی که در حین اجرا و در زمان عمل آوری پیش رو قرار داشته بدین شرح گزارش گردیده است:

- طولانی بودن مدت زمان اعمال محدودیت‌های ترافیکی جهت بازگشایی و عبور و مرور

- پرتاب شدن سنگدانه‌های اضافی از روی سطح چپ سیل و نیاز به جارو نمودن سطح روسازی

- ایجاد صدا در زمان عبور از روی چپ سیل  
- همچنین افزایش مقاومت سازه‌ای و کیفیت سواری را نمی‌توان از اجرای لایه چپ سیل انتظار داشت.

به منظور پیش‌گیری یا بهبود وضعیت و برطرف نمودن مسائل اجرایی یاد شده در زمان اجرا، می‌توان پیشنهاداتی بدین شرح مطرح نمود:

- استفاده از امولسیون‌های پلیمری  $^{PM}E$  که علاوه بر افزایش انعطاف پذیری روسازی و ویسکوزیته قیر باقیمانده و در نتیجه حداقل شدن احتمال پدیده قیر زدگی، باعث افزایش سختی اولیه و نگهداری بهتر سنگدانه‌ها در محل خود می‌شود.

با توجه به وضعیت حال حاضر راه‌ها و هزینه‌های مرتبط با بهسازی و نگهداری از راه‌های موجود، اهمیت روش‌های پیشگیرانه از جمله عملیات حفاظتی راه‌ها بیشتر نمایان می‌شود. لذا، در ادامه، روند اجرای لایه‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل در ۲ محور شریانی باند عبوری محور چغادک- خورموج (حد فاصل روستای قبالکلی تا دمربادان) و باند عبوری محور خورموج-چغادک (حد فاصل سه راهی گادویی تا چغادک مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد.

#### ۴-۱- اجرای لایه حفاظتی چپ سیل

باند عبوری محور چغادک-خورموج (حد فاصل روستاهای قبالکلی تا دمربادان): این محور به عنوان یک باند از یکی از بزرگراه‌های پرتردد و شریانی استان بوشهر می‌باشد و عمر ساخت آن بیش از ۳۰ سال و آخرین روکش آسفالتی اجرا شده حدود ۱۵ سال بوده است. عمده خرابی‌های محور به شرح ذیل بوده است:

- ترک‌های کم تا متوسط
- دارای سطح صاف با اصطکاک لغزشی کم
- لذا، بر اساس شاخص‌های در نظر گرفته شده در سیستم PMS، اجرای لایه حفاظتی چپ سیل به منظور نگهداری پیشگیرانه در این محور، با اهدافی به شرح ذیل مد نظر قرار گرفته است و انتظار می‌رود در چرخه عمر روسازی، ۳ الی ۵ سال عمر عملکردی روسازی افزایش یابد.
- بافت و مقاومت سایشی مناسبی برای سطح راه ایجاد نماید.
- خرابی را کنترل و جدا شدن دانه‌ها در سطح راه را کاهش دهد.
- سطح راه را آبنندی نماید.
- به لحاظ ظاهری، سطحی یکنواخت‌تری نسبت به یک راه مرمت شده را ایجاد نماید.

با توجه به عمر روسازی، وضعیت و طراحی صورت گرفته و با در نظر داشتن فصل مناسب، لایه چپ سیل در نیمه اول سال ۱۳۹۸ به طول ۱۰ کیلومتر و عرض ۱۱ متر اجرا شده است. در این پروژه، قبل از اجرای لایه حفاظتی، به منظور آماده نمودن سطح روسازی و تمیزی لازم، عملیات راهداری بر روی سطح روسازی انجام و عملیات کنترل و هدایت ترافیکی در زمان اجرا صورت گرفته است. بر اساس طرح، به منظور اجرای چپ سیل از مصالح سنگی با سنگ شکسته مصنوعی رودخانه‌ای و با دانه بندی نوع ۴ مشخصات فنی (حداکثر اندازه



شکل ۱۴. مراحل اجرای چپ سیل در باند عبوری محور چغادک-خورموخ (حد فاصل روستای قباکلکی تا دمربادان)



شکل ۱۵. روسازی پس از گذشت حدود ۲ سال از اجرای لایه حفاظتی چپ سیل در باند عبوری محور چغادک-خورموخ (حد فاصل روستای قباکلکی تا دمربادان)

#### ۴-۲- اجرای لایه حفاظتی فوگ سیل

باند عبوری محور خورموخ-چغادک (حد فاصل سه را گادوئی تا چغادک): این باند از محور نیز یکی از بزرگراه‌های پرتردد و شریانی استان بوشهر است و با عمر ساخت بیش از ۳۰ سال و آخرین روکش آسفالتی اجرا شده حدود ۱۰ سال می‌باشد. این باند از محور فاقد اشکالات و خرابی‌های سازه‌ای و گسترده بوده است. لذا، بر اساس شاخص‌های در نظر گرفته شده در سیستم PMS، اجرای لایه حفاظتی فوگ سیل به منظور نگهداری پیشگیرانه در این محور، با اهدافی به شرح زیر مد نظر قرار گرفته است و انتظار می‌رود در چرخه عمر روسازی، ۱ الی ۲ سال عمر عملکردی روسازی افزایش یابد.

- استفاده از قیرهای پلیمری PMB<sup>۲۴</sup> که علاوه بر بهبود میزان مقاومت چسبندگی قیر و افزایش دوام لایه حفاظتی اجرا شده، می‌تواند با ایجاد یک چسبندگی اولیه با سنگدانه‌ها، زمان بازگشایی راه و همچنین پرتاب سنگدانه‌ها را کاهش دهد.

- در پایان مراحل اجرایی چپ سیل، عملیات جاروکنشی با استفاده از ماشین آلات مناسب انجام شود تا سنگدانه‌های اضافی و سست که به قیر نچسبیده‌اند را جدا و از سطح روسازی جمع آوری نموده تا مشکلات گرد و غبار و پرتاب سنگدانه‌ها کاهش یابد.

- عملیات غلتک زنی با استفاده از غلتک‌های پنوماتیک مناسب به منظور جا گیری و قراردادن سنگدانه‌ها درون قیر پخش شده قبل از شکسته شدن قیر، انجام گیرد.

- به منظور پیشگیری از بروز مشکلات کنده شدن و پرتاب سنگدانه‌ها به اطراف و ایمنی عبور و مرور، یک لایه لعاب نازک قیر بر روی سطح نهایی پخش گردد.

با بررسی صورت گرفته پس از حدود ۲ سال از زمان اجرای لایه چپ سیل در محور، شاخص عملکردی قابل قبولی را نشان می‌دهد. خلاصه برآورد اجرا و مقایسه با ترمیم اساسی به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱. خلاصه برآورد اجرای چپ سیل و مقایسه با ترمیم اساسی بر اساس فهرست بهای عملیات راهداری سال ۱۳۹۸

محور چغادک-خورموخ (حد فاصل روستاهای قبا کلکی و دمربادان)			
طول(کیلومتر)	هزینه اجرای روکش آسفالت گرم (بیندر ۶ سانتیمتر و توپکا ۴ سانتیمتر) (میلیارد ریال)		هزینه اجرای چپ سیل (میلیارد ریال)
	دوره ۵ ساله	دوره ۱۵ ساله	دوره عملکردی ۵ ساله
۱۰	۲۸/۵	۸۵	۲۰

تصاویر مراحل اجرای چپ سیل (شکل ۱۴) و روسازی اجرا شده پس از گذشت حدود ۲ سال (شکل ۱۵) در ادامه آورده شده است.

بررسی صورت گرفته پس از حدود ۲ سال از زمان اجرا، شاخص عملکردی قابل قبولی را نشان می‌دهد. خلاصه برآورد اجرا و مقایسه با ترمیم اساسی در جدول ۲ آورده شده است. جدول ۲. خلاصه برآورد اجرای فوگ سیل و مقایسه با ترمیم اساسی بر اساس فهرست بهاء عملیات راهداری سال ۱۳۹۸

محور خورموج-چغادک (حد فاصل سه راهی گادویی تا چغادک)			
هزینه اجرای روکش آسفالت گرم (پیندر ۶ سانتیمتر و توپکا ۴ سانتیمتر) (میلیارد ریال)		هزینه اجرای فوگ سیل (میلیارد ریال)	طول (کیلومتر)
دوره عملکردی ۲ ساله	دوره عملکردی ۱۵ ساله	دوره عملکردی ۲ ساله	
۳۶/۳	۲۷۲	۱۴	۳۲

تصاویر مراحل اجرای فوگ سیل (شکل ۱۶) و روسازی اجرا شده پس از گذشت حدود ۲ سال (شکل ۱۷) در ادامه آورده شده است.



شکل ۱۶. مراحل اجرای فوگ سیل در باند عبوری محور خورموج-چغادک (حد فاصل سه راهی گادویی تا چغادک)

- جوان سازی و احیای سطح آسفالتی خشک شده
- درزگیری ترک‌های ریز موجود
- ایجاد غشای آب بندی روی سطح روسازی
- پیش گیری از شن زدگی
- با فراهم کردن دید مناسب، ایمنی را افزایش دهد.

نقاط قوت عملیات ساخت و اجرای فوگ سیل در این محور، آماده سازی و تمیزی سطح راه، دمای مناسب فصل انتخاب شده جهت اجرا و اجرای صحیح با استفاده از ماشین آلات مناسب بوده است. با توجه به عمر روسازی، وضعیت و طراحی صورت گرفته و با در نظر داشتن فصل مناسب، لایه فوگ سیل در نیمه اول سال ۱۳۹۸ به طول ۳۲ کیلومتر و عرض ۱۱ متر اجرا شد. به منظور اجرای پروژه، ابتدا عملیات آماده سازی به لحاظ تمیزی با اجرای عملیات راهداری انجام و با عملیات کنترل ترافیکی، فوگ سیل به دلیل ایجاد زمان کافی جهت نفوذ در ترک‌های ریز، با استفاده از قیر امولسیون کاتیونیک دیر شکن CSS با حداقل قیر باقیمانده ۵۷ درصد در آزمایش تقطیر، اجرا و عمل آوری گردیده است. به منظور کنترل کیفی عملیات اجرا شده، آزمایشات لازم از جمله آزمایش سینی به منظور کنترل میزان قیر پخش شده در مسیر انجام گرفته است. عمده مسائلی که در حین اجرا و در زمان عمل آوری پیش رو قرار داشته بدین شرح گزارش گردیده است.

- اعمال محدودیت‌های ترافیکی و عبور و مرور در زمان اجرا
- لغزش خودروهای عبوری از محور
- با توجه به وضعیت حال حاضر، انتظار می‌رود با اجرای این عملیات پیشگیرانه، ۱ الی ۲ سال عمر عملکردی در چرخه عمر روسازی افزایش یابد.
- به منظور پیش‌گیری یا بهبود وضعیت و برطرف نمودن مسائل اجرایی یاد شده در زمان اجرا، می‌توان پیشنهاداتی بدین شرح مطرح نمود:
- چنانچه سطح رویه آسفالت فاقد ترک باشد، از قیرهای زود شکن CRS استفاده گردد تا با کاهش زمان شکسته شدن امولسیون قیر، برقراری ایمن عبور و مرور امکان پذیر شود.
- برنامه‌ریزی مناسبی جهت کنترل ترافیک به منظور پیش‌گیری از لغزش و همچنین پاشش قیر به خودروهای عبوری در زمان اجرا و عمل آوری لایه حفاظتی صورت پذیرد.

محل خود باعث ایجاد چسبندگی اولیه بهتر و کاهش پرتاب سنگدانه‌ها شود.

-با توجه به مصالح دانه‌ای و چسبنده‌ها، روشهای طراحی متناسب با مناطق با شرایط آب و هوایی و اقلیمی متفاوت و با دوره عملکرد بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

-در طراحی لایه‌های حفاظتی و به منظور افزایش دوره عملکرد لایه‌های حفاظتی، استفاده از مصالح و افزودنی‌ها و به خصوص افزودنیهای سازگار با محیط زیست مد نظر قرار گیرد.

-در اجرای لایه‌های حفاظتی روش‌های جدید و متناسب با منطقه و تجهیزات جدیدتر مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا و بر اساس مطالعات گزارش شده، می‌توان در خصوص لایه‌های حفاظتی چپ سیل به روش‌های موثر در کاهش گرد و غبار نشسته بر روی سنگدانه‌ها، مدیریت در مدت زمان عمل آوری و بازگشایی ترافیک و استفاده از اساس تثبیت شده سیمانی اشاره کرد. همچنین در خصوص لایه حفاظتی فوگ سیل، استفاده از تجهیزات پخش مناسب و بکنواخت قیر و مدیریت زمان عمل آوری و کنترل ترافیک را نام برد. به همراه افزایش کنترل کیفی در مراحل اجرا، روش‌های جدید و مطمئن‌تری در ارزیابی و کنترل کیفیت مد نظر قرار گیرد. بر اساس مرور مطالعات انجام شده، می‌توان روش‌های جدیدی همانند انجام آزمایش کشش توسط ابزار توسعه یافته تحت بارگذاری خزشی بر روی نمونه‌ها بکار برد.

## ۶- نتیجه‌گیری

مدیریت پیشگیرانه می‌تواند در کاهش هزینه‌های ترمیم و بهبود وضعیت روسازی راه‌ها نقش ویژه‌ای ایفا نماید. در همین راستا دو نوع آسفالت حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل، به عنوان روش‌های فراگیر بهسازی روسازی مطرح شد. در این مقاله با مروری بر مطالعات صورت گرفته، اهمیت راهکارهای مدیریت پیشگیرانه، عملکردهای کلیدی و عوامل موثر در خرابی لایه‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل ارزیابی شد و روشهای اجرا، ارزیابی کیفیت و تاثیر افزودنی‌ها و مواد سازگار با محیط زیست در اجرای چپ سیل و فوگ سیل بررسی گردید. در نهایت، مشاهدات کاربردی آنها در محورهای شریانی استان بوشهر مورد تحلیل قرار گرفت. بر اساس مطالعات انجام شده در این پژوهش و همچنین مشاهدات



شکل ۱۷. روسازی پس از گذشت حدود ۲ سال از اجرای لایه حفاظتی فوگ سیل در باند عبوری محور خورموج-چفادک (حد فاصل سه را گادویی تا چفادک)

## ۵- تحلیل بررسی‌های صورت گرفته

نتیجه مرور مطالعات و بررسی صورت گرفته بر روی نمونه‌های اجرایی چپ سیل و فوگ سیل در محورهای شریانی استان بوشهر، نشان می‌دهد در نمونه مورد بررسی، در یک دوره عملکرد ۵ ساله، هزینه اجرای لایه حفاظتی چپ سیل در استان بوشهر حدود ۷۰ درصد هزینه اجرای روکش آسفالت گرم است و در نمونه دیگر مورد بررسی، در یک دوره عملکرد ۲ ساله، هزینه اجرای فوگ سیل حدود ۴۰ درصد هزینه اجرای روکش آسفالت گرم می‌باشد.

با توجه به بررسی صورت گرفته، پس از گذشت حدود ۲ سال از اجرای لایه‌های حفاظتی در محورهای مورد بررسی در استان بوشهر، عملکرد اجرای لایه‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل مورد قبول است.

با توجه به پژوهش‌های مرور شده و بررسی نمونه‌های اجرا شده در این مقاله، به منظور بهبود روشهای اجرا و افزایش عملکرد لایه‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل می‌توان مواردی به شرح زیر را مد نظر قرار داد:

-استفاده از چسبنده‌های مناسب که علاوه بر افزایش انعطاف پذیری روسازی، میزان مقاومت چسبندگی قیر را بهبود می‌بخشد و باعث افزایش دوام لایه حفاظتی اجرا شده می‌گردد. بنابر این افزایش سختی اولیه و نگهداری بهتر سنگدانه‌ها در

## ۷- سپاسگزاری

از همکاری اداره کل راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استان بوشهر و نگرش ارزنده مدیران و کارشناسان این مجموعه به دلیل استفاده از رویکردهای جدید و همچنین همکاری لازم، قدردانی نموده و امید است استفاده از روش‌های علمی جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش طول عمر راه‌های کشور، توسعه بیشتری یابد.

## ۸- پی‌نوشت‌ها

- 1- PCI: Pavement Condition Index
- 2- IRI: International Roughness Index
- 3- Cheap Seal
- 4- Fog Seal
- 5- Slurry Seal
- 6- Micro Surfacing
- 7- Non-Structural Overlay
- 8- Single Cheap Seal
- 9- Double Cheap Seal
- 10- Raked In-Seal
- 11- Choke Stone
- 12- Cape Seal
- 13- Inverted Seal
- 14- Sandwich Seal
- 15- Reinforced Geotextile Seal
- 16- Vialit Test
- 17- Broom Test
- 18- One-Third Model Mobile Loading Simulator
- 19- Wheel Track Test
- 20- RMS: Residual Marshall Stability
- 21- TSR: Tensile Strength Ratio
- 22- HWT: Hamburg Wheel Tracking Test
- 23- PME: Polymer-Modified Emulsions
- 24- PMB: Polymer Modified Bitumen

اطلاعات دریافت شده از نمونه‌های موردی اجرای چپ سیل و فوگ سیل در استان بوشهر، نتایج زیر حاصل شد:

به دلیل محدودیت‌های اقتصادی و اجرایی، مدیریت روسازی راه‌ها جهت کنترل و پیش‌بینی هزینه‌ها و عملکرد در طول چرخه عمر روسازی لازم است. در این راستا بکارگیری روش‌های متناسب و اقتصادی در نگهداری راه‌ها از جمله لایه‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل مطرح می‌باشند.

طراحی، روش اجرا، فصل و زمان اجرای لایه حفاظتی، باید بر اساس مشخصات و با توجه به نوع و شرایط محل اجرای لایه‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل انجام پذیرد.

استفاده از افزودنی‌ها و اصلاح کننده‌ها جهت افزودن به قیر و یا سنگدانه‌ها؛ مانند، قیرهای پلیمری، قطران ذغال سنگ، خرده لاستیک بازیافتی و همچنین افزودنی‌های گیاهی، در عملکرد انواع لایه‌های حفاظتی روسازی، افزایش کارایی، کاهش مشکلات کنده‌شدن سنگدانه‌ها در چپ سیل و همچنین سازگاری با محیط زیست نقش عمده‌ای دارد.

کنترل کیفی عملیات اجرایی چپ سیل و فوگ سیل بر اساس مشخصات فنی، نقش بسزایی در عملکرد لایه‌های اجرا شده دارند. بنابراین، تعیین استانداردها و روش‌های جدید و منطبق با پیشرفت‌های علمی، در کنترل عملیات و برآورده شدن پیش‌بینی‌ها و انتظارات، موثر است.

با توجه به سهم انواع خرابی‌ها و پیش‌بینی سهم هزینه‌های پیشگیرانه در استان بوشهر، در نظر داشتن رویکردهای اصلاحی و جوانسازی روسازی راه‌ها، از جمله اجرای لایه‌های حفاظتی چپ سیل و فوگ سیل، به جای روکش، دارای رویکرد اقتصادی و اهمیت ویژه‌ای است.

## ۹- مراجع

سیل، "دومین همایش ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه پایدار، (دانشگاه پیام نور یزد).  
-جاهی، ح. و معتمد، آ.، (۱۳۹۵)، "معرفی روش جدید ارزیابی چپسیل اجرا شده بر روی نمونه بتن آسفالتی"، نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، (دانشگاه فردوسی مشهد).

-بردیونس، ع. و خبیری، م.، (۱۳۹۸)، "بررسی عملکرد سطحی آسفالت حفاظتی چپسیل بر روی اساس تثبیت شده سیمانی"، فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل، سال ۱۶، شماره ۵۹، ص. ۱۳۵-۱۴۸.

-بردیونس، ع. و خبیری، م.، (۱۳۹۴)، "بررسی عوامل موثر در خرابی از دست رفتی سنگدانه‌های آسفالت حفاظتی چپ

- صافی آریان، م. و باقرزاده خلخالی، ا. (۱۳۹۶)، "معرفی انواع چپ سیل و روش طراحی و اجرا"، پنجمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، (تهران).
- فخری، م.، مصطفوی، م. و ظفری، آ. (۱۳۹۰)، "بررسی راهکارهای مدیریت پیشگیرانه و مقایسه رویکردهای مختلف از لحاظ کاربرد در مدیریت و نگهداری روسازی"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، (دانشگاه سمنان).
- Caltrans Division of Maintenance, (2003), "Caltrans Maintenance Technical Advisory Guide (TAG) chapter 5", and chapter 7.
- Cuelho, E., R.Mokwa and M.Akin, (2006), "Preventive Maintenance Treatments of Flexible Pavement: A Synthesis of Highway Practice", the State Of Monstrance Apartment of Transportation, Fhwa.
- Cui, P., Wu, S., Xu, H. and Lv, Y., (2019), "Silicone Resin Polymer Used in Preventive Maintenance of Asphalt Mixture Based on Fog Seal", Polymers.
- Jiang, Y., Yi, Y., Tian, T., Fan, J., Yuan, K., Deng, C. and Xue, J., (2020), "Development and Application of Skid Resistance Fog Seal for Pavements", Special Issue Mechanical Properties of Polymer Materials and Coatings.
- Kebede, A. A., (2015), "Asphalt Pavement Preservation Using Rejuvenating Fog Seals", Thesis of Master of Science in Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Prapaitrakul, N., Freeman, T. and Glover, C., (2010), "Fog Seal Treatment Effectiveness Analysis of Pavement Binders Using the *t*-Test Statistical Approach", Petroleum Science and Technology, Vol. 28, issue. 18. pp. 1895-1905.
- Yang, B., Zhang, Y., Ceylan, H. and Kim, S., (2019), "Assessing Bio-Based Fog Seal for Asphalt Pavement Preservation", Civil, Construction and Environmental Engineering Conference Presentations and Proceedings, 105.
- Yang, B., Zhang, Y., Zhang, Y. and Kim, S., (2020), "Evaluation of bio-based fog seal for low-volume road preservation", international Journal of Pavement Research and Technology, 13, pp. 303-312.
- جواهری، ب.، جواهری، س.، گلی، ا.، عصارى، ع.، پرویزی، س. و سلاجقه، م. (۱۳۹۶)، "عملکرد بهتر تک کت و فاگ سیل امولسیون در پرکردن و جلوگیری از رشد ترک‌ها به روش اسکراب سیل"، نهمین همایش ملی و نمایشگاه قیر، آسفالت و ماشین آلات (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی).
- خواججه‌پور، ا. سالخورده حقیقی، م. و موسوی، ح. (۱۳۹۳)، "پارامترهای موثر در انتخاب مواد و روش چپ سیل"، نهمین سمپوزیم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور، آمارنامه (۱۴۰۰).
- سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور، (۱۳۹۵) "راهنمای مشخصات فنی و اجرایی چپ سیل".
- زایرزاده، ع. و کاوسی، ا. (۱۳۸۵)، "کاربرد انواع مختلف آسفالت حفاظتی"، سومین همایش قیر و آسفالت ایران.
- Deborah A. Carroll, Robert J. Eger III, Lara Gruszczynski, (2003), "Capital Preventive Maintenance", Midwest Regional University Transportation Center College of Engineering, Madison.
- Feng, P., Wang, H., Zhang, X., Mohd Hasan, M. R., You, Z. and Gao, J., (2020), "Study on Workability and Skid Resistance of Bio-Oil-Modified Fog Seal with Sand", Journal of Testing and Evaluation, Vol. 48, No. 3. pp. 2072-2092.
- Fog Seal Guidelines, Caltrans Division of Maintenance (2003).
- Gheni, A., Abdulazeez, M. Mohamed, A. ElGawady, (2017), "Texture and Design of Green Chip Seal Pavement Using Recycled Crumb Rubber Aggregate".
- Hu, C., Li, C., Zhao, J., Leng, Z. and Lin, W., (2020), "Performance of Waterborne Epoxy Emulsion Sand Fog Seal as a Preventive Pavement Maintenance Method: From Laboratory to Field", Advances in Materials Science and Engineering.

# **Study of the Application of Chip Seal and Fog Seal in Pavement Management and Practical Observations in Arterial Roads (Bushehr Province)**

*Mohsen Amouzadeh Omrani, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,  
Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.*

*Reza Hefzallah, Ph.D., Student, Department of Civil Engineering, Ayatollah Amoli Branch,  
Islamic Azad University, Amol, Iran.*

*Moslem Zeynalzadeh, Ph.D., Student, Department of Civil Engineering, Ayatollah Amoli  
Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.*

*E-mail: m\_amouzadeh@yahoo.com*

Received: August 2021-Accepted: February 2022

## **ABSTRACT**

One of the biggest infrastructural assets of the country is the road. Having an engineering management to improve performance as well as a maintenance management system is essential to maintain this national asset. Due to the heavy costs of repair and improvement, preventive methods and increasing the life of the pavement can play a special role in reducing the costs of the pavement life cycle. At present, according to the goals set in the road pavement management system (PMS), management and economic planning has been done and in this approach, special attention has been paid to the implementation of chip seal and fog seal protection asphalts. Accordingly, in this study, a review of research on chip seals and fog seals such as evaluation tests and proposed quality control methods, review and comparison of implementation methods, use of additives, and environmentally friendly materials has taken. In the following, based on the values of the pavement management system of the roads, the pavement condition index (PCI) and the international road roughness index (IRI) of Bushehr province are the criteria and by predicting the cost ratio and longevity of the pavement, the performance of the sample Implemented chip seal and fug seal have been studied in a number of arterial axes of Bushehr province. A review of the researches and samples carried out in Bushehr province shows that in order to improve the performance and reduce the executive problems, especially throwing aggregates, creating dust, spraying cohesive materials during execution and operation It is beneficial to apply protective layers, use appropriate and environmentally friendly additives and modifiers. Also, evaluation and quality control of materials and execution method play an important role in the final performance of chip seal and fug seal. Finally, the implementation of chip-seal and fug-seal protective layers is effective in reducing the cost of pavement life.

**Keywords:** Chip Seal, Fog Seal, Preventive Management, Surface Treatment, Pavement Management