

مطالعه میدانی و آزمایشگاهی اثر نوع قیر امولسیون و دانه‌بندی چپ‌سیل اجرا شده روی روسازی بتن غلتکی

علی بردیونس^۱ و محمد مهدی خبیری^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد راه و ترابری، پردیس فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد

^۲ دانشیار پردیس فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد

(دریافت: ۹۷/۴/۲۲، پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۲، نشر آنلاین: ۹۷/۱۰/۲۲)

چکیده

در صنعت روسازی در دهه اخیر در کشور به توسعه کاربرد سیمان در روسازی‌ها توجه بیشتری شده است، یکی از مشکلات سطح رویه‌های بتن غلتکی کنده‌شدن سنگ‌دانه‌های سطحی و پوسته‌شدن سطح آن است، هدف از انجام این مطالعه تعیین دانه‌بندی مصالح سطحی و نوع قیر مناسب برای بهبود عملکرد رویه‌های بتنی غلتکی است. بنابراین میزان کنده‌شدن دو نوع سنگ‌دانه ریز و درشت‌دانه از سطح رویه بتن غلتکی به عنوان متغیر کنترلی در این تحقیق انتخاب شد و در این راستا آزمایش جاروب برای کنترل کنده‌شدن سنگ‌دانه‌ها استفاده شد. یکی دیگر از عوامل مؤثر در کنده‌شدن سنگ‌دانه میزان چسبندگی قیر است، از این رو آزمایش بیرون کشیدگی سنگ‌دانه‌ها از دو نوع قیر امولسیون و قیرامولسیون اصلاح‌شده با پودر لاستیک نیز انجام شد. در این آزمایش میزان انرژی لازم برای کنده‌شدن سنگ‌دانه‌ها از سطح چپ‌سیل به دست آمد. همچنین برای بررسی بافت درشت چپ‌سیل از آزمایش پخش ماسه استفاده شد، در مقیاس میدانی نیز نمونه‌های چپ‌سیل نیز بر روی بتن غلتکی اجرا شد و نتایج در بازه زمانی چهار ماهه بررسی گردید. نتایج نشان می‌دهد، با افزایش قیر مصرفی عمق بافت درشت‌دانه در چپ‌سیل به مقدار ۲ درصد کاهش می‌یابد. استفاده از پودر لاستیک در قیر امولسیون در آزمایش بیرون کشیدگی باعث افزایش ایجاد کشسانی در قیر به میزان ۲/۵ برابری می‌شود. با ریزتر شدن دانه‌بندی میزان کنده‌شدن سنگ‌دانه‌ها به‌طور متوسط ۱۴ درصد کاهش می‌یابد. در بررسی میدانی، بعد از پردازش تصویر مشخص شد که ۷۰ درصد سطح بافت ریزدانه سالم باقی‌مانده ولی بافت درشت‌دانه تقریباً از بین رفته و تنها ۴۰ درصد آن باقی‌مانده است.

کلیدواژه‌ها: بتن غلتکی، پودر لاستیک، چپ‌سیل، عملکرد سطحی، آزمایش بیرون کشیدگی سنگ‌دانه، ارزیابی میدانی.

۱- مقدمه

واسطه پراکنده شدن و پرتاب شدن سنگ‌دانه‌ها به اطراف و به وسایل نقلیه عبوری نیز اثر منفی دارد. نفوذ آب در سطحی که پوسته شدگی شدید در آن اتفاق افتاده بیشتر می‌شود و همچنین احتمال چسبیدن بیشتر یخ در هنگام یخ‌زدگی سطح افزایش می‌یابد. صدمات سایش لاستیک چرخ خودروها نیز در این نوع سطوح آسیب‌دیده بیشتر می‌شود (Rad و Modarress، ۲۰۱۷). بدین جهت راهکارهای اصلاحی این نوع خرابی موردتوجه این بخش از تحقیق و توسعه در صنعت روسازی بوده است. یکی از روش‌های پیشگیرانه به کار گرفتن لایه‌های پوششی اصلاحی است؛ که تحت عنوان "چپ‌سیل"^۱ نیز شناخته می‌شود. به دلیل نفوذ سطحی کم قیر به داخل بتن غلتکی تازه اجرا شده در ابتدای عمر آن، امکان نفوذ و اصطلاحاً "ریشه کردن" قیر در داخل منافذ بتن رویه کم‌تر است؛

رویکرد صنعت روسازی در دهه اخیر در کشور به توسعه استفاده از سیمان در روسازی‌ها است، از آن جمله روسازی بتنی و به‌طور خاص روسازی بتن غلتکی موردتوجه قرار گرفته است. برخی از مشکلات اجرا و کاربرد این نوع رویه محققین را بر آن داشته که سمت‌وسوی موضوعات مورد مطالعه را بیشتر به این نوع روسازی معطوف دارند. در این راستا، یکی از مشکلات سطح رویه‌های بتن غلتکی که در واژه‌های فنی به "سایش سطح" شناخته می‌شود و به مفهوم کنده‌شدن سنگ‌دانه‌های سطحی و پوسته‌شدن سطح رویه است، می‌باشد. تشدید سایش سطحی علاوه بر کاهش ضخامت لایه روسازی و نقص در ظرفیت باربری، در میزان اصطکاک سطحی و ایجاد اشکال در ایمنی رانندگان به

1. Chipseal

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۳۵-۳۱۲۳۲۴۶۱

آدرس ایمیل: alibordiuness@gmail.com (ع. بردیونس)، mkhabiri@yazd.ac.ir (م. خبیری).

لایزگیت^۳ در کانادا نیز از این روش به صورت مشابه استفاده شد (Lou و Bors، ۲۰۱۵؛ Laxdal، ۲۰۱۳).

در دو دهه گذشته، کاربرد گسترده آسفالت اپوکسی به عنوان یک پوشش نهایی برای مخلوط آسفالت متراکم با ضخامت تقریباً ۵۰ میلی متر بر روی عرشه های متعدد پلیت ارتوتروپیک^۴ در سراسر جهان، به ویژه در شرق آسیا دیده شده است. پل ها با کاربرد این سیستم شامل پل سوتانگ^۵، طولانی ترین پل کابلی- کششی چین، پل ژیهومین^۶، طولانی ترین پل معلق چین و پل جدید خلیج سانفرانسیسکو- اوکلند^۷ در ایالات متحده است. برخی از نمونه های کاربردهای اضافی آسفالت اپوکسی شامل پوشش های نسبتاً نازک و متراکم بر روی دال های بتنی، مخلوط های سطحی با دوام در پل بتنی یا جاده ها هستند. در مطالعه ای مشکلات اصلی در مورد پوشش های آسفالت اپوکسی در پروژه های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند، به غیر از هزینه اولیه، میزان مقاومت سطحی نیز مطرح بوده است (Lou و Bors، ۲۰۱۵).

در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۱۲ توسط Aktas و همکاران انجام شد بر روی تأثیر مشخصات سطح سنگدانه و قیر بر روی عملکرد کنده شدن سنگدانه ها در چپ سیل مطالعاتی انجام شد. در این تحقیق از سه نوع سنگدانه بازالت با اندازه بین الک شماره ۴ تا الک ۳/۸، سنگدانه آهکی با اندازه بین الک شماره ۴ تا الک ۳/۸ و سنگدانه بازالت با اندازه بین الک شماره ۱۰ تا الک شماره ۴ استفاده شد. قیر استفاده شده در اجرای چپ سیل شامل دو نوع قیر امولسیون و امولسیون پلیمری بود. فایده استفاده از قیر اصلاح شده پلیمری در چپ سیل شامل کاهش حساسیت درجه حرارت، بهبود چسبندگی و سختی قیر، بهبود انعطاف پذیری، سختی، بهبود چسبندگی بین قیر و سنگدانه، و افزایش طول عمر است. برای شبیه سازی بدترین حالت میدانی در کنده شدن سنگدانه ها، مقداری آب بر روی نمونه ها اسپری شد تا اثر شرایط خیس در کنده شدن سنگدانه ها بررسی شود. میزان از دست رفتن سنگدانه ها در سنگدانه CB با ۶۰/۶ درصد سیلیس نسبت به دو سنگدانه BB با ۵۵/۲۵ درصد سیلیس و سنگدانه CK با ۵۱/۱ درصد سیلیس، بیشتر است (Aktas، ۲۰۱۳).

در تحقیقات امروزه از پودر لاستیک در بهبود و اصلاح عملکرد مصالح عمرانی استفاده می شود (Gheni و همکاران، ۲۰۱۷، Khabiri و همکاران، ۲۰۱۷). در تحقیقی استفاده از پودر لاستیک در چپ سیل برای اصلاح رفتار اصطکاک سطحی مخلوط های آسفالتی استفاده شد، که برای تعیین افزایش بافت درشت از تصویربرداری سه بعدی بهره گرفته شد، که نتایج نشان داد، استفاده از خرده لاستیک در بهبود بافت های درشت و ریز سطحی عملکرد

بنابراین استفاده از قیرهای مایع با بیشترین چسبندگی مورد توجه می باشد. براین اساس در این مطالعه قیر امولسیونی ساخته شده از پودر لاستیک که امکان افزایش چسبندگی آن بیشتر است به عنوان نوآوری در مقایسه با قیر امولسیونی معمول پیشنهاد شده است. همچنین به علت بیان شده، دانه بندی ریزدانه تر در مقایسه با دانه بندی های معمول چپ سیل مورد توجه این پژوهش قرار گرفته است. هدف کاربردی این تحقیق، مقایسه عملکرد بین دو نوع دانه بندی ریزدانه موجود در آئین نامه و نیز دو نوع قیر امولسیونی با و بدون افزودنی پودر لاستیکی در چپ سیل روی بتن غلتکی است. به کاربردن آزمایش های جاروب سنگدانه ها و نیز آزمایش تعریف شده جدید "بیرون کشیدگی سنگدانه از قیر" که کم تر در تحقیقات سابق مورد توجه قرار گرفته است، را می توان یکی دیگر از دستاوردهای نوآورانه این مطالعه دانست.

۲- مرور منابع

تعمیر و نگهداری راه حلی بهینه و اقتصادی در مدیریت بهره برداری روسازی راه ها است، کاربرد چپ سیل به عنوان گزینه نگهداری پیشگیرانه در تعمیر و نگهداری راه های با حجم ترافیک به ویژه کم حجم در روسازی های آسفالتی شناخته می شود (Vaitkus و همکاران، ۲۰۱۸، Khabiri، ۲۰۰۶)، کاربرد چپ سیل بر روی روسازی های باند پرواز و خزش فرودگاه هر چند تا کنون کم تر مورد توجه بوده؛ ولی در سال ۲۰۱۸ این نوع رویه در باندهای خزش فرودگاه اجرا شد و مورد مطالعه قرار گرفت (Yuan و همکاران، ۲۰۱۸).

در سال ۲۰۱۵ تحقیقی توسط ژونبر در خصوص استفاده از قیر اپوکسی^۲ در بخش های مختلف روسازی ها انجام شد. خصوصیات رویه موجود یکی از مهم ترین عوامل مؤثر بر عملکرد چپ سیل می باشد. در سال های ۱۹۷۰ الی ۱۹۹۰ میلادی در آمریکا پلهایی با عرشه فولادی استفاده شد. استفاده از این عرشه ها باعث کاهش بار مرده و در نتیجه افزایش ظرفیت باربری پل می شد. مهم ترین مشکلی که این عرشه های فلزی داشتند عدم اصطکاک کافی در برابر ترافیک موجود بود. در این راستا از چپ سیل با قیر اصلاح شده با اپوکسی بر روی این عرشه استفاده شد. استفاده از این روش در تمامی پل ها موفقیت آمیز بود. به عنوان مثال بر روی پل معلق گلدن گیت در سانفرانسیسکو ابتدا یک لایه ۱/۱۳ میلی متر از قیر اصلاح شده با اپوکسی بر روی سطح پل اسپری شد. سپس بر روی آن سنگدانه ریخته و غلتک زنی شد. ماکزیمم اندازه سنگدانه مصرفی ۳/۲ میلی متر بود. در پل

5. Sutong Bridge
6. Jiho Min
7. San Francisco Bay Auckland

2. Epoxy
3. Lionsgate
4. Oropic plate

میزان انرژی لازم برای کنده شدن سنگدانه‌ها از سطح چپ‌سیل به دست می‌آید. همچنین برای بررسی بافت درشت چپ‌سیل از آزمایش پخش ماسه برای تمام حالات استفاده شد. بخش نهایی مطالعه حاضر به بررسی عملکرد میدانی در شرایط واقعی مصالح و بارگذاری در یک دوره زمانی کوتاه می‌پردازد. لازم به ذکر است که سه آزمایش مذکور، آزمایش اصلی در این تحقیق به شمار می‌روند و آزمایش‌های دیگری نیز در راستای آماده‌سازی مصالح انجام شده است که در ادامه به آن پرداخته شده است.

۳-۱- ساخت نمونه‌های بتن غلتکی و اجرای چپ‌سیل بر روی آن

بتن غلتکی حاوی شن طبیعی عموماً مقدار آب کم‌تری نسبت به بتن غلتکی حاوی شن شکسته برای رسیدن به یک مقدار روانی مفروض، لازم دارد. بتن غلتکی ساخته شده با شن شکسته به انرژی بیشتری برای تراکم نیاز خواهد داشت ولیکن جداسازی در آن کم‌تر اتفاق می‌افتد. همچنین بتن غلتکی حاوی شن شکسته معمولاً مقاومت خمشی بیشتری به دست می‌دهد (Hashemi, ۲۰۱۸).

اساساً میزان انسجام و چسبندگی مخلوط‌های بتن غلتکی به اندازه بتن معمولی نیست، لذا مسئله جداسازی سنگدانه در مورد آن‌ها، بیشتر حائز اهمیت است. کاربرد سنگدانه‌های ریزتر از ۷۵ میکرون در صورتی که غیرپلاستیک باشند، می‌تواند راهکار سودمندی برای کاهش فضای خالی بین ریزدانه‌ها باشد. البته اثر این ذرات بر خواص بتن غلتکی تازه و سخت شده در مطالعات طرح اختلاط باید مورد ارزیابی قرار گیرد. معمولاً حدود ۲ تا ۸ درصد سنگدانه ریزتر از ۷۵ میکرومتر در بتن غلتکی روسازی راه متداول است (آئین‌نامه روسازی راه‌های بتنی ایران، ۱۳۹۶).

روش‌های مختلفی برای طرح اختلاط مخلوط‌های بتن غلتکی روسازی ارائه شده است. در کلیه روش‌های طرح اختلاط بتن جهت دستیابی به مقاومت فشاری طرح (و یا الزامات دوام) نسبت آب به مواد سیمانی مدنظر قرار می‌گیرد. همچنین اجزاء مخلوط به گونه‌ای تعیین می‌شوند که کارایی مخلوط جهت تراکم با غلتک ویرهای مناسب باشد. طرح اختلاط با استفاده از آزمایش‌های روانی بتن (روش بتنی) و طرح اختلاط با استفاده از آزمایش‌های تراکم خاک (روش تراکم خاک) در نشریه شماره ۷۳۱ استفاده از هر دو روش برای تعیین درصد رطوبت بهینه سیمان مجاز دانسته است (آئین‌نامه روسازی راه‌های بتنی ایران، ۱۳۹۶). در این تحقیق با توجه به عدم دسترسی به تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش به روش بتنی، از روش تراکم (خاک) برای ساخت نمونه‌های بتنی و تعیین درصد رطوبت بهینه استفاده شد. برای ساخت و تعیین

مناسبتی دارند (Gheni و همکاران، ۲۰۱۷). در خلاصه تحقیقات Buncher و همکاران (۲۰۱۸) بر استفاده بیشتر از لایه‌های آسفالتی حفاظتی نظیر چپ‌سیل مطابق آئین‌نامه‌های و دستورالعمل‌های فنی تأکید شده است. برای تأمین اصطکاک سطحی از نوعی سیمان پلیمری برای سنگدانه ریزدانه برای پوشش انواع رویه‌های آسفالتی و بتنی نیز پیشنهاد شده است (Wilson, ۲۰۱۸). در مطالعه‌ای دیگر، در مورد کاربرد چپ‌سیل بر روی اساس تثبیت‌شده مشخص گردید، با افزایش قیر مصرفی میزان عمق بافت در چپ‌سیل به مقدار ۲٪ کاهش می‌یابد. و با ریزتر شدن دانه‌بندی (تبدیل دانه‌بندی (ج) به دانه‌بندی (د)) میزان عمق بافت در چپ‌سیل به مقدار تقریبی ۱۱ درصد کاهش می‌یابد (بردیونس و خبیری، ۱۳۹۸). میزان چسبندگی بین چپ‌سیل و روسازی زیرین از جدیدترین موضوعات مورد مطالعه محققین است (You و همکاران، ۲۰۱۹).

مرور تحقیق‌های انجام شده تاکنون نشان می‌دهد، استفاده از سنگدانه‌های آهکی از نظر کنده شدن و هزینه نسبت به سنگدانه‌های سیلیسی و بازیافتی بهتر هستند، همچنین، بر تأثیر مثبت استفاده از قیر امولسیون اصلاح‌شده بر روی سنگدانه‌های آهکی و کاهش کنده شدن سنگدانه در چپ‌سیل تأکید دارند. مطالعات بررسی شده، روش‌های مختلفی را برای بررسی‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار داده‌اند. علاوه بر آن تحقیقات کم‌تری با هدف مقایسه و تعیین دانه‌بندی مناسب جهت کاربرد قیر امولسیونی تولیدشده با پودر لاستیک انجام شده که در راستای شناسایی و بررسی بیشتر عملکرد سطحی چپ‌سیل اجرا شده بر رویه بتن غلتکی موضوع دانه‌بندی و نوع قیر در این تحقیق این موضوع مورد مطالعه قرار گرفت.

۳-۲ روش تحقیق و مصالح مورد استفاده

هدف از انجام این مطالعه تأمین مصالح سطحی مناسب برای بهبود عملکرد رویه‌های بتنی غلتکی است، که دو عامل مصالح سنگی و قیر مؤثر هستند. بنابراین در این راستا یکی از آزمایش‌های مؤثر برای بررسی میزان کنده شدن سنگدانه‌ها از روی روسازی بتن غلتکی انجام آزمایش جاروب است. در این روش آزمایش، عملکرد رویه تحت تأثیر حرکت چرخ وسایل نقلیه در دو قیر امولسیون و دو اندازه سنگدانه‌ها با جاروب سطح^۸ در آزمایشگاه شبیه‌سازی می‌شود. متغیر دیگر تحقیق میزان مصرف بهینه قیر است، که در هر یک از آزمون‌ها نوع قیر و اندازه سنگدانه این عامل نیز دخالت داده شد. یکی از پارامترهای مهم در کنده شدن قیر میزان چسبندگی آن است. در این راستا آزمایش بیرون کشیدگی برای دو نوع قیر امولسیونی انجام شد. در این آزمایش

جدول ۱- مشخصات فنی قیرهای مصرفی در ساخت نمونه‌های

چیپسیل		
نوع قیر		آزمایش
CMS-2h با ۵ درصد پودر لاستیک	CRS-1	
۵۶	۴۳	کندروانی سی‌بالت فیل ۱۱ در ۵۰ درجه سانتی‌گراد (ثانیه)
۶۵	۶۵	درصد قیر
حداکثر ۱	حداکثر ۱	پایداری در برابر تنش‌شینی (%)
حداکثر ۰/۱	حداکثر ۰/۱	مانده روی الک (%)
۰	حداکثر ۱۲	درصد حجمی روغن امولسیون در آزمایش تقطیر
۵۳	۱۱۵	درجه نفوذ (۰/۱ میلی‌متر)
۶۰	۴۰	خاصیت انکمی ^{۱۱}
۹۸	۹۹/۷	حلالیت در تریکلرو اتیلن ^{۱۲} (%)

برای تولید این قیر از شرکت نفت پاسارگاد کمک گرفته شد. مشخصات کلی این قیر در جدول (۱) آمده است، نتایج آزمایش‌ها نشان داد، قیر اصلاح‌شده در رده جدید CMS قرار می‌گیرد. روش‌های طراحی چیپسیل عمدتاً در دو دسته کلی قرار می‌گیرد. روش

تجربی که براساس تجربیات گذشته و قضاوت مهندسی و روش دوم که براساس روابط ریاضی و مهندسی است. امروزه، فرآیند طراحی چیپسیل شامل تعیین درجه، نوع و میزان قیر لازم براساس اندازه و نوع سنگ‌دانه، حجم ترافیک و شرایط سطح روسازی موجود است. به‌طورکلی هدف از طراحی، تعیین مقدار دقیق موردنیاز سنگ‌دانه‌ها و قیر مصرفی است. اگر مصالح مصرفی متناسب با عملکرد روسازی انتخاب نشوند بعد از اجرای طرح، خرابی زودرس در روسازی اتفاق خواهد افتاد. در رابطه با چیپ-سیل مهم‌ترین مصالح قیر و سنگ‌دانه‌ها هستند که باید متناسب با پروژه، از نوع مناسب آن‌ها استفاده و با طرح اختلاط مناسب به‌کار برد. در روش‌های رایج مانند روش انیستیتو آسفالت برای تعیین میزان سنگ‌دانه و قیر موردنیاز، دانه‌بندی را به صورت یکنواخت در نظر می‌گیرند. همچنین فرض بر این است که ۷۰ درصد بعد سنگ‌دانه‌ها در داخل قیر فرو خواهد رفت.

اطلاعات موردنیاز در مورد سنگ‌دانه‌ها: حداقل متوسط ابعاد سنگ‌دانه، وزن مخصوص، فضای خالی سنگ‌دانه‌ها در شرایط غیر متراکم و تمیزی مصالح است و اطلاعات لازم در مورد تعیین مقدار قیر موردنیاز، مقدار قیر به‌جامانده پس از تصعید، بافت بستر و ترافیک میانگین کم‌ترین بعد سنگ‌دانه می‌باشد (Shuler, ۲۰۱۱؛ Adams و همکاران، ۲۰۱۷).

جدول ۲- مشخصات مصالح مورد استفاده در طرح اختلاط چیپسیل

مشخصات مصالح	علائم حرفی	واحد	نتایج
وزن مخصوص واقعی سنگ‌دانه‌های نوع (ج)	G	gr/cm ³	۲/۶۸۳
وزن مخصوص واقعی سنگ‌دانه‌های نوع (د)	G	gr/cm ³	۲/۶۹۳
وزن واحد حجم غیر متراکم سنگ‌دانه‌های نوع (ج)	W	kg/m ³	۱۴۴۰
وزن واحد حجم غیر متراکم سنگ‌دانه‌های نوع (د)	W	kg/m ³	۱۴۹۰
میانگین کم‌ترین بعد سنگ‌دانه‌های نوع (ج)	H	mm	۶/۵
میانگین کم‌ترین بعد سنگ‌دانه‌های نوع (د)	H	mm	۷
فضای خالی سنگ‌دانه‌ها در شرایط غیر متراکم نوع (ج)	V	-	۰/۴۶
فضای خالی سنگ‌دانه‌ها در شرایط غیر متراکم نوع (د)	V	-	۰/۴۵
ضریب هدر رفتن سنگ‌دانه‌ها نوع (ج)	E	-	۱/۰۵
ضریب هدر رفتن سنگ‌دانه‌ها نوع (د)	E	-	۱/۰۵
ضریب شرایط اقلیمی محل اجرای کار	M	-	۱
ضریب عوامل و شرایط محیطی	K	-	۱/۲
ضریب ترافیک	T	-	۰/۷۵
ضریب قیر باقی‌مانده بعد از تبخیر مواد فرار قیرهای محلول و قیرآبه	R	-	۰/۶۴
درجه حرارت پخش قیر	-	-	۶۰
ضریب اصلاح حجم قیر برای درجه حرارت پخش قیر	I	-	۱/۰۰۸

13. Trichloroethylene (TCE)

11. Saybolt FUROL viscosity (SFV)

12. Ductility of Bitumen

آزمایش انجام شد. شکل (۴) موقعیت نمونه‌ها و بافت سطح موجود را قبل از انجام آزمایش نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است محل مورد آزمایش دچار خرابی شن‌زدگی شده است. مقدار سنگ‌دانه و قیر مصرفی براساس نشریه ۳۳۴، در جدول (۳) آمده است، که توضیحات آن در بخش‌های قبل ارائه شد.

جدول ۳- طرح اختلاط برای اجرای چپ‌سیل بر روی بتن غلتکی در آزمایش میدانی

دانه‌بندی	سنگ‌دانه مصرفی (Kg/m ²)	قیر مصرفی lit/m ²
ج	۱۱/۴	۱/۲۹
د	۹/۴	۱/۰۲



(الف)



(ب)

شکل ۴- تصاویر محل نمونه‌ها و بافت سطح موجود و تصویری از نمونه ساخته شده: (الف) چپ‌سیل اجرا شده با دانه‌بندی نوع (ج)، (ب) چپ‌سیل اجرا شده با دانه‌بندی نوع (د)

۳-۳- کاربرد آزمایش جاروب

در این آزمایش برس دستگاه با اعمال نیرو به سنگ‌دانه‌ها باعث ایجاد تنش بین سنگ‌دانه‌ها و قیر می‌شود. ابتدا قیر امولسیون به صورت یک دایره بر روی سطح موردنظر پاشیده شده سپس سنگ‌دانه‌ها بر روی آن قرار می‌گیرند. سپس نمونه‌ها را در یک درجه حرارت تقریباً ثابت برای مدت زمان مشخصی قبل از انجام آزمایش قرار داده می‌شود (Wasiuddin و همکاران، ۲۰۱۳) سپس نمونه‌ها با استفاده از برس تحت سایش قرار می‌گیرند. بعد از یک دقیقه جاروب نمونه، ساییدن نمونه‌ها متوقف شده و سپس

برای محاسبه مقدار سنگ‌دانه‌های مصرفی در واحد سطح برای هریک از لایه‌های چپ‌سیل یک یا چند لایه، از رابطه (۱) استفاده می‌شود (Asphalt Institute, ۱۹۹۷).

$$C = M(1 - 0.4V)HGE \quad (1)$$

که در آن:

C = وزن سنگ‌دانه‌ها بر حسب کیلوگرم در مترمربع سطح راه
 V = فضای خالی سنگ‌دانه‌ها در شرایط غیر متراکم
 مقدار قیر موردنیاز بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$B = \frac{2.244 H T V + S + A}{R} \quad (2)$$

که در آن:

B = مقدار قیر بر حسب گالن بر یارد مربع
 H = میانگین کم‌ترین بعد سنگ‌دانه بر حسب اینچ
 T = ضریب ترافیک که با توجه به شدت ترافیک و تعداد وسایل نقلیه از ۰/۶ تا ۰/۸۵
 V = فضای خالی سنگ‌دانه‌ها در شرایط غیر متراکم
 S = ضریب تصحیح بافت بستر بر حسب گالن بر یارد مربع
 A = ضریب اصلاح مربوط به جذب مواد قیری توسط سنگ‌دانه‌ها بر گالن بر یارد مربع که باید توسط آزمایشگاه تعیین شود.
 R = مقدار قیر به جا مانده پس از تصعید و تبخیر قیرهای محلول یا امولسیون که توسط آزمایشگاه تعیین می‌گردد (آئین‌نامه روسازی راه‌های آسفالتی ایران، ۱۳۹۰).

با جایگذاری مقادیر به‌دست آمده در جدول (۲) در رابطه (۱) مقدار سنگ‌دانه موردنیاز برای دانه‌بندی نوع (ج) برابر ۱۱/۴ کیلوگرم بر مترمربع و مقدار سنگ‌دانه موردنیاز برای دانه‌بندی نوع (د) برابر ۹/۴ کیلوگرم بر مترمربع به‌دست می‌آید. با جایگذاری مقادیر موجود در جدول (۲) در رابطه (۲) مقدار قیر موردنیاز برای سنگ‌دانه نوع (ج) برابر ۱/۲۹ lit/m² و برای سنگ‌دانه نوع (د) برابر ۱/۰۲ lit/m² به‌دست آمد.

۳-۲- بررسی‌ها و مطالعات میدانی

هدف از انجام این آزمایش میدانی بررسی عملکرد چپ‌سیل بر اساس حداکثر اندازه اسمی سنگ‌دانه‌های آن است. در این آزمایش میدانی بر روی رویه بتن غلتکی (اجرا شده در محل بندر خشک یزد) نمونه‌های چپ‌سیل اجرا شد. به دلیل عبور وسایل نقلیه سنگین در محل انجام این آزمایش‌ها می‌توانست راهنمایی‌های مفیدی را قبل از ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی بدهد. برای انجام آزمایش‌های میدانی سعی شد نقطه‌ای برای انجام آزمایش انتخاب شود که بدترین شرایط بارگذاری را داشته باشد. در این راستا در محل پیچ‌ها که بیش‌ترین خرابی را به وجود می‌آورد،

قیر با درجه حرارت ۶۰ درجه سلسیوس در داخل قالب آزمایش ریخته و سپس سنگدانه‌ها در داخل قیر قرار داده شد (طائران و همکاران، ۱۳۹۴). مقدار قیر مورد مصرفی به گونه‌ای بود که ۷۰ درصد اندازه سنگدانه‌ها مطابق شکل (۶) در داخل قیر قرار داده شدند. در این آزمایش سنگدانه‌های مصرفی از یک جنس و اندازه بودند و تنها عامل متغیر در آزمایش نوع قیر بود. برای افزایش دقت آزمایش برای هر نوع قیر سه نمونه ساخته شد و مورد آزمایش قرار گرفت.



شکل ۶- قرار گرفتن ۷۰ درصد بعد سنگدانه در داخل قیر در آزمون بیرون کشیدگی سنگدانه‌ها (دو دیدگاه متفاوت)

۳-۵- آزمایش پخش ماسه بر روی نمونه‌های چپ‌سیل

بافت درشت و ریز در عملکرد سطحی رویه‌ها نقش اساسی دارد، به طوری که روش پخش ماسه یکی از آزمایش‌های مرسوم اندازه‌گیری بافت درشت در سرتاسر دنیا می‌باشد. این آزمایش در کشورهای زیادی به صورت استاندارد درآمده و مطابق دستورالعمل ASTM E965 می‌باشد (Gandhi و همکاران، ۲۰۱۷؛ ASTM E965-15، ۲۰۱۵) هرچه سطح دایره‌ای پخش شده کوچک‌تر باشد نشان دهنده عمق بافت بیشتر است و بالعکس هرچه سطح دایره پخش شده بزرگ‌تر باشد نشان دهنده عمق کم برای بافت مورد آزمایش است. در آزمایش با تقسیم حجم ماسه مورد استفاده بر سطح پخش شده، عمق بافت موجود تعیین می‌شود (Moldovanu و Huang، ۲۰۱۸).

۴- نتایج و بحث

۴-۱- بررسی نتایج میدانی اجرا چپ‌سیل

بعد از ساخت نمونه‌ها تصاویری بعد از ۴ ماه از اجرای نمونه‌ها در محل گرفته شد. متأسفانه به دلیل تخریب‌هایی که در محل برای انجام مرمت کلی روسازی موجود انجام شده بود و مسیر در

سنگدانه‌هایی را که از سطح نمونه به اصطلاح لق شده‌اند جدا می‌شوند. در این حالت درصد کنده شدن سنگدانه‌ها محاسبه می‌شود. شکل (۵) نشان دهنده آزمایش جاروب بر روی دو نوع دانه‌بندی نوع (ج) و (د) است. همان‌طور که اشاره شد مهم‌ترین مزیت‌های استفاده از آزمایش جاروب، شبیه‌سازی عملکرد قیر امولسیون و سنگدانه با جاروب سطح نمونه، تقسیم‌بندی و قابل اجرا بودن قیرهای امولسیون زودشکن بر روی راه‌هایی که نیاز به بازگشایی سریع ترافیک دارند و همچنین به قصد ارزیابی مشخصات ترکیب قیر و سنگدانه برای اطمینان از مناسب بودن ترمیم سطح قبل از بازگشایی مسیر به روی ترافیک است (ASTM D7000-04، ۲۰۰۴). این آزمایش علاوه بر سریع بودن آن، اقتصادی نیز هست. در این آزمایش می‌توان یکی از پارامترهای مؤثر در عملکرد چپ‌سیل را به عنوان متغیر در نظر گرفت و در نتیجه بین نمونه‌های ساخته شده یک مقایسه کلی انجام داد. این مقایسه یک دید کلی را قبل از انجام آزمایش‌های پرهزینه و وقت‌گیر خواهد داد.



(الف)



(ب)

شکل ۵- انجام آزمایش جاروب بر روی نمونه‌های چپ‌سیل،

الف) دانه‌بندی نوع (ج) و انجام آزمایش جاروب بر روی

نمونه‌های چپ‌سیل ب) دانه‌بندی نوع (د)

۳-۴- آزمایش بیرون کشیدگی روی نمونه‌های چپ‌سیل

از آزمایش بیرون کشیدگی به منظور بررسی و مقایسه چسبندگی بین قیر و سنگدانه بین دو نوع قیر امولسیون و قیر امولسیون با پودر لاستیک استفاده شد. در این آزمایش از سرعت ثابت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. برای ساخت نمونه‌ها ابتدا

نقاط تیره نشان دهنده کنده شدن سنگدانه است، به این دلیل که با کنده شدن سنگدانه در چپسیل، جای آن در بافت چپسیل توخالی می‌شود در نتیجه آن نقطه سایه می‌اندازد. همچنین نقاطی که سنگدانه بر روی آن‌ها باقی‌مانده است، برآمده است در نتیجه روشن‌تر هستند. با افزایش حساسیت نرم‌افزار فتوشاپ نسبت به این دو طیف رنگی، نقاطی که سنگدانه بر روی آن‌ها باقی‌مانده و یا کنده شده است به‌وضوح خود را نشان می‌دهند. از شکل (۷) بعد از پردازش تصویر مشخص شد که ۷۰ درصد سطح بافت ریزدانه هنوز سالم باقی‌مانده ولی بافت درشت‌دانه تقریباً از بین رفته است و تنها ۴۰ درصد آن باقی‌مانده است. همچنین شکل (۸) نمایی نزدیک از نحوه گسترش خرابی را در دو نوع دانه‌بندی در مطالعات میدانی نمایش می‌دهد.

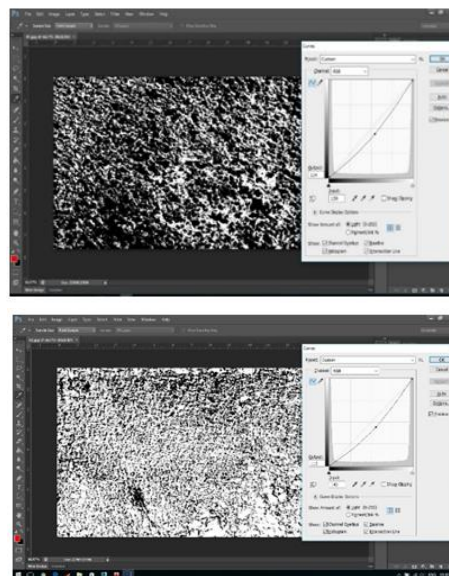
۴-۲- نتایج آزمایش جاروب بر روی نمونه‌های چپسیل

قبلاً اشاره شد این آزمایش به منظور ارزیابی میزان کنده شدن سنگدانه‌ها انجام می‌شود. در این آزمایش نمونه‌ها تحت آزمایش جاروب به مدت ۶۰ ثانیه قرار گرفتند. در این آزمایش سرعت دستگاه آزمایش جاروب معادل ۰/۸۳ دور در ثانیه تنظیم گردید. نتایج به‌دست آمده تحت آزمایش جاروب بر روی نمونه‌های اجرا شده بر روی بتن غلتکی در جدول (۴) نشان داده شده است. در رابطه با میزان قیر مصرفی در جدول، برای دانه‌بندی نوع (ج) مقدار $1/29 \text{ lit/m}^2$ و برای دانه‌بندی نوع (د) مقدار $1/02 \text{ lit/m}^2$ محاسبه شد. با توجه به این که سطح چپسیل اجرا شده بر روی نمونه‌های بتن غلتکی برابر با $0/05 \text{ m}^2$ است، در نتیجه برای ساخت نمونه‌های چپسیل، $0/064 \text{ lit}$ برای دانه‌بندی نوع (ج) و $0/051 \text{ lit}$ برای دانه‌بندی نوع (د) استفاده شد. برای بررسی تأثیر درصد قیر مقادیر فوق را به اندازه ۱۰ درصد کاهش و افزایش داده شد. همان‌طور که از جدول (۴) مشخص است، استفاده قیر امولسیون با پودر لاستیک باعث کاهش ۱۷ الی ۲۵ درصد کنده شدن سنگدانه‌ها شده است.

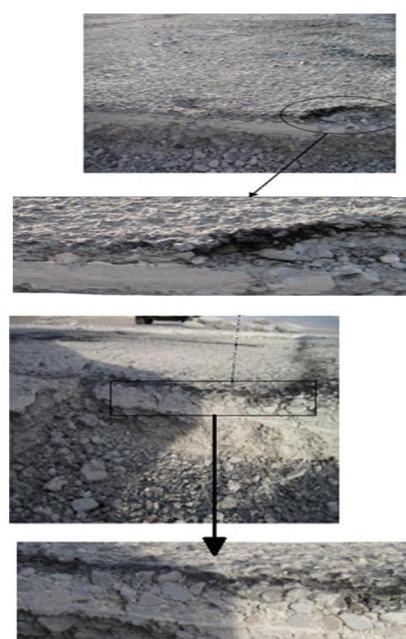
جدول ۴- دانه‌بندی نوع (ج) و (د) بر روی نمونه بتن غلتکی

میزان قیر مصرفی برای هر نمونه (Lit)	درصد کنده شدن سنگدانه (قیر امولسیون با پودر لاستیک)	درصد کنده شدن سنگدانه (قیر امولسیون)
۰/۰۵۸	۲۷	۳۵
۰/۰۶۴	۲۴	۳۲
۰/۰۷۰	۲۶	۳۲
۰/۰۴۶	۲۶	۳۰
۰/۰۵۱	۲۳	۲۸
۰/۰۵۶	۲۳	۲۶

حال بازسازی کلی بود امکان تهیه تصاویری از بازه زمانی طولانی‌تر فراهم نشد. در شکل (۷) تصاویر پردازش شده بافت چپسیل به-ترتیب برای دو نوع دانه‌بندی (ج) و دانه‌بندی (د) نشان داده شده است. برای پردازش تصاویر از نرم‌افزار فتوشاپ استفاده شد. نحوه پردازش به این صورت بود که از دو طیف رنگ روشن و تیره استفاده شد. نقاط تیره نشان‌دهنده کنده شدن سنگدانه و نقاط روشن نشان‌دهنده کنده نشدن سنگدانه است.



شکل ۷- بافت چپسیل ساخته شده: الف) با دانه‌بندی نوع (ج)، ب) با دانه‌بندی نوع (د) بعد از ۴ ماه



شکل ۸- نمای نزدیک از نحوه گسترش خرابی در چپسیل ساخته شده با دانه‌بندی نوع (ج) و دانه‌بندی نوع (د) بعد از ۴ ماه

۲- در تغییر مکان ۴ میلی‌متر در قیر امولسیون تقریباً نیرویی تحمل نمی‌شود ولی در قیر امولسیون با پودر لاستیک از تغییر مکان ۱۱ میلی‌متر به بعد نیرویی تحمل نمی‌شود. این پدیده نشان دهنده این است که تغییر شکل در قیر امولسیون با پودر لاستیک نسبت به قیر امولسیون بیشتر است.

۳- اگر مساحت زیر نمودار (نیرو- تغییر مکان) محاسبه شود، مقدار کار (انرژی جذبی) را خواهد داد. مقدار مساحت زیر نمودار برای قیر امولسیون با پودر لاستیک ۸۰/۱ نیوتن در میلی‌متر است ولی این مقدار برای قیر امولسیون معمولی ۱۶/۳ نیوتن در میلی‌متر است.

۴- قیر امولسیون با پودر لاستیک حداکثر نیروی ۶۳/۸ نیوتن با تغییر مکان ۱/۳ میلی‌متر را تحمل می‌کند در حالی که قیر امولسیون معمولی نیرویی معادل ۲۶/۲۹ نیوتن با تغییر مکان ۱ میلی‌متر را تحمل می‌کند.

۴-۴- نتایج آزمایش پخش ماسه بر روی نمونه‌های

چیپ‌سیل

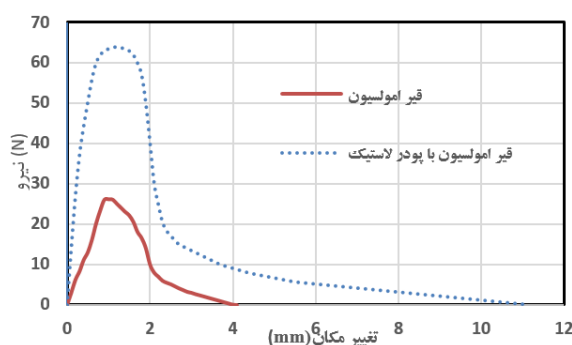
به منظور بررسی تأثیر نوع دانه‌بندی و اندازه اسمی سنگ-دانه‌ها در بافت درشت و همچنین به منظور بررسی تأثیر میزان قیر بر بافت درشت نمونه‌های چیپ‌سیل در دو نوع دانه‌بندی (ج) و (د) بر روی نمونه‌های بتن غلتکی اجرا شدند. نمونه‌ها در درصد قیر بهینه و درصدهای ± 10 نسبت به قیر بهینه ساخته شدند که نتایج آن در شکل (۱۰) آورده شده است. حداقل مقادیر برای عمق زبری براساس استاندارد وزارت را فرانسه برای جاده‌های با سرعت بیش از ۱۲۰ کیلومتر در ساعت حداقل عمق بین ۰/۸ تا ۱/۲ میلی‌متر است (Michaud, ۲۰۱۱)، که بتن غلتکی به‌تنهایی این حداقل را تأمین نمی‌کند، ولی با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش پخش ماسه بعد از اجرا چیپ‌سیل، هر دو نوع دانه‌بندی حداقل عمق زبری موردنیاز را تأمین می‌کنند. همان‌طور که از شکل (۱۰) مشخص است با افزایش مقدار قیر مصرفی، عمق بافت درشت کاهش می‌یابد. دلیل کاهش عمق این است که با افزایش قیر مصرفی عمق بیشتری از سنگ‌دانه در داخل قیر فرو می‌رود، در نتیجه عمق بافت درشت کاهش می‌یابد. نکته دیگری که از شکل (۱۰) برداشت می‌شود این است که عمق بافت درشت با تغییر دانه‌بندی از نوع (ج) به نوع (د) به مقدار تقریبی ۱۱ درصد کاهش می‌یابد. دلیل این عامل این است که در دانه‌بندی نوع (ج) حداکثر اندازه اسمی ۹/۵ و در دانه‌بندی نوع (د) حداکثر اندازه اسمی برابر (۵/۶) میلی‌متر است. در دانه‌بندی نوع (ج) ۰ تا ۲۵ درصد سنگ‌دانه از الک ۵/۶ میلی‌متر عبور کرده‌اند ولی در دانه‌بندی نوع (د) ۸۵ تا ۱۰۰ درصد سنگ‌دانه از الک ۵/۶ میلی‌متر عبور کرده است.

استفاده از پودر لاستیک به منظور اصلاح قیر، باعث افزایش نیروی خروج و به دنبال آن ویسکوزیته می‌شود که این پدیده باعث ارتقاء عملکرد قیر و آسفالت در دمای بالا می‌گردد (جلوگیری از پدیده قیرزدگی).

حساسیت حرارتی قیر با افزایش درصد پودر لاستیک کاهش می‌یابد. با کاهش حساسیت حرارتی، مقاومت قیر در برابر شیارشدگی و ترک‌خوردگی در دمای پایین افزایش می‌یابد. استفاده از قیر امولسیون با درصد بهینه یا بیشتر از آن باعث کاهش کنده شدن سنگ‌دانه می‌شود. دلیل این موضوع در این است که با افزایش قیر مصرفی عمق بیشتری از سنگ‌دانه در داخل قیر قرار می‌گیرد در نتیجه باعث افزایش نیروی لازم برای جدا شدن سنگ‌دانه می‌شود.

۳-۴- نتایج آزمایش بیرون کشیدگی

از دست رفتن سنگ‌دانه‌های سطح روسازی علاوه بر این‌که باعث تسریع در تخریب و کاهش عمر روسازی می‌شود، منجر به کاهش اصطکاک بین لاستیک و جاده شده و همچنین باعث ایجاد احساس ناراحتی در بین کاربران جاده می‌گردد بنابراین، توجه به سازگاری قیر و سنگ‌دانه‌ها از پارامترهای مهمی است که در طرح مخلوط‌های آسفالتی باید به آن توجه شود. از همین رو در این تحقیق آزمایش بیرون کشیدگی، با هدف بررسی و مقایسه چسبندگی انواع مختلف قیر معمولی و یا اصلاح‌شده (توسط پودر لاستیک) و سنگ‌دانه صورت گرفت (طائرین و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج مقایسه بیرون کشیدگی یک نوع سنگ‌دانه برای دو نوع قیر مختلف مورد استفاده در این تحقیق در شکل (۹) نمایش داده شده است.



شکل ۹- مقایسه بین نمودارهای آزمایش بیرون کشیدگی سنگ‌دانه از قیرهای مختلف

نتایجی که از نمودار شکل (۹) برداشت می‌شود عبارتند از:

- ۱- حداکثر نیروی قابل تحمل برای نمونه ساخته شده با پودر لاستیک تقریباً ۲/۵ برابر نمونه ساخته شده با قیر امولسیون است.

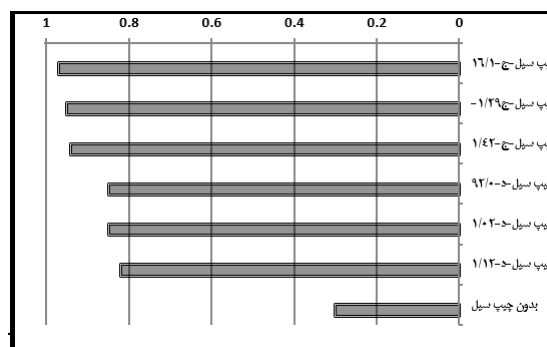
به طور واضحی میزان ناهمواری‌های سطحی چپ‌سیل در تصویر با بزرگ‌نمایی اجرا شده نسبت به بتن غلتکی اولیه بیشتر است. همان‌گونه که مشخص است ارتفاع ناهمواری‌ها در سطح چپ‌سیل بیشتر از سطوح نسبتاً هموار در شکل (۱۱-ب) است.

۴-۵- بحث در نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی

انجام آزمایش جاروب بر روی نمونه‌ها نشان‌داد که عملکرد دانه‌بندی نوع (د) بهتر از دانه‌بندی نوع (ج) است و باعث کاهش کنده‌شدن سنگ‌دانه به مقدار ۵ الی ۲۰ درصد شده است. سطح نمونه‌های بتن غلتکی یک سطح صیقلی می‌باشد و در نتیجه باعث کاهش عمق بافت می‌شود. با کاهش عمق بافت میزان درگیری بافت درشت نسبت به بافت ریز کاهش می‌یابد و با ریزتر شدن سنگ‌دانه میزان درگیری بین سطح و سنگ‌دانه افزایش می‌یابد. استفاده از چپ‌سیل در هر دو نوع دانه‌بندی باعث افزایش عمق بافت در هر دو نوع رویه بتن غلتکی شده است. در مقایسه این نتایج با نتایج به‌دست آمده از اجرا چپ‌سیل بر روی پل‌های عرشه فولادی در آمریکا می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از چپ‌سیل می‌تواند باعث بهبود مقاومت لغزندگی رویه بتنی شود. چپ‌سیل اجراشده در این پل‌ها دارای حداکثر اندازه سنگ‌دانه مصرفی ۳/۲ میلی‌متر بود درحالی‌که دانه‌بندی نوع (ج) و (د) مورد استفاده در این تحقیق دارای به‌ترتیب حداکثر اندازه سنگ‌دانه مصرفی ۹/۵ و ۵/۶ میلی‌متر هستند. در نمونه‌های اجراشده چپ‌سیل بر روی سطوح بحرانی‌تر از بتن غلتکی، همانند عرشه‌های فولادی در پل‌ها همان‌طور که در بخش‌ها قبلی به آن اشاره شد از سنگ‌دانه‌هایی با حداکثر اندازه اسمی ۳/۲ میلی‌متر استفاده می‌شود. از اعداد آزمایش کشسانی قیر، دو نتیجه می‌توان گرفت. اول این که قیر امولسیون با پودر لاستیک قادر به تحمل نیروی بیشتری نسبت به قیر امولسیون معمولی است. اما نتیجه مهم‌تر این است که شکل‌پذیری قیر امولسیون با پودر لاستیک نسبت به قیر امولسیون معمولی نیز بیشتر شده است. این دو عامل از عوامل مؤثر در کنده شدن سنگ‌دانه از سطح چپ‌سیل هستند همان‌گونه که از آزمایش جاروب نیز مشخص است درصد کنده‌شدن سنگ‌دانه‌ها در چپ‌سیل با قیر امولسیون معمولی نسبت به چپ‌سیل با قیر امولسیون با پودر لاستیک بیشتر است.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق عملکرد چپ‌سیل اجراشده بر روی بتن غلتکی با استفاده از دو نوع دانه‌بندی و سه درصد قیر و دو نوع قیر بررسی گردید که نتایج پژوهش به شرح زیر است:



شکل ۱۰- تأثیر نوع دانه‌بندی و درصد قیر در عمق بافت درشت در چپ‌سیل اجرا شده روی بتن غلتکی

شکل (۱۱) همچنین تغییر ناهمواری سطحی در تصاویر تهیه شده از رویه بتن غلتکی، با دوربین با قدرت عکس‌برداری ۱۶ مگاپیکسل (X16) را نمایش می‌دهد، و برای مشاهده بهتر ناهمواری و بافت سطحی درشت، مجدد شکل (۱۱-ب) در نرم‌افزار پردازش تصویر، به اندازه ۴۰۰ درصد بزرگ‌نمایی شد.



(الف)



(ب)

شکل ۱۱- تغییرات سطح با اجراء چپ‌سیل بر روی بتن غلتکی: (الف) سطح بتن غلتکی، (ب) سطح چپ‌سیل اجراشده بر روی بتن غلتکی

بردیونس ع، خبیری م م، "بررسی عملکرد سطحی آسفالت حفاظتی چیپسیل بر روی اساس تثبیت شده سیمانی"، فصلنامه علمی پژوهش نامه حمل و نقل، ۱۳۹۸، ۱۶ (۲)، ۱۳۴-۱۴۹.

Adams J, Castorena C, Im JH, Ilias M, Kim YR, "Addressing Raveling Resistance in Chip Seal Specifications", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2017, 2612 (1), 39-46.

Aktaş BM, Karaşahin M, Saltan C, Güner V, Uz E, "Effect of aggregate surface properties on chip seal retention performance", Construction and Building Materials, 2013, 44, 639-644.

Asphalt Institute, Asphalt in Pavement Maintenance, Manual Series, 16 (MS-16).

ASTM D1557-12e1, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, 1-2.

ASTM D7000-04, Standard Test Method for Sweep Test of Bituminous Emulsion Surface Treatment Samples, ASTM International, West Conshohocken, PA2004, 1-2.

ASTM E965-15, Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique, ASTM International, West Conshohocken, PA.2015, 1-2.

ASTM, "Standard Test Method for Sweep Test of Bituminous Emulsion Surface Treatment Samples", ASTM D7000, 1997, pp. 1-4, 2011.

Buncher M, Jones W, "Rehabilitation of PCC Airfield Pavement with Asphalt", Purdue Road School 2018 Presentations, Session Number: 2018, 65, 1-2.

Gandhi GK, Sharma D, Misra S, "Quantifying Changes in Surface Characteristics of Concrete due to Progressive Deterioration", Journal of Materials in Civil Engineering, 2017, 29 (8), 06017008.

Gheni AA, Abdelkarim OI, Abdulazeez MM, ElGawady MA, "Texture and design of green chip seal using recycled crumb rubber aggregate", Journal of Cleaner Production, 2017, 166, 1084-1101.

Gu X, Zhang X, Lv J, Huang Z, Yu B, Zou X, "Laboratory Performance Evaluation of Reinforced Basalt Fiber in Sealing Asphalt Chips", Journal of Testing and Evaluation, 2017, 46 (3), 1-11.

Hashemi M, Shafigh P, Karim MRB, Atis CD, "The effect of coarse to fine aggregate ratio on the fresh and hardened properties of roller-compacted concrete pavement", Construction and Building Materials, 2018, 169, 553-566.

Khabiri MM, "Development a mathematical model for increasing flexible pavement life cycle under preventive maintenance (Doctoral dissertation, Ph. D Thesis, Iran Science and Technology University), 2006, 1-150

Khabiri MM, Khishdari A, Gheibi E, "Effect of tyre powder penetration on stress and stability of the road embankments", Road Materials and Pavement Design, 2017, 18 (4), 966-979.

Laxdal J, "Orthotropic Deck Wear Surface System Selection Lions Gate Bridge North Approach

- با افزودن پودر لاستیک میزان کنده شدن سنگدانه در چیپسیل کاهش می یابد. این میزان به مقدار ۲۳ درصد برای دانه بندی نوع (ج) و ۲۰ درصد برای دانه بندی نوع (د) می باشد.

- با ریزتر شدن دانه بندی میزان کنده شدن سنگدانه ها تقریباً ۱۴ درصد کاهش یافت. دلیل این موضوع است که با توجه به صیقلی بودن سطح بتن غلتکی هرچه قدر دانه بندی ریزتر باشد میزان قفل و بست بین دانه بندی و رویه موجود بهتر انجام می شود. همچنین در دانه بندی ریزتر به دلیل قرار گرفتن تعداد سنگدانه بیشتر در واحد سطح نیرویی که به یک سنگدانه وارد می شود در دانه بندی ریزتر کاهش می یابد.

- استفاده از قیر با درصد بهینه یا بیشتر از آن باعث کاهش میزان کنده شدن سنگدانه ها می شود. دلیل این موضوع در این است که با افزایش قیر مصرفی حجم بیشتری از سنگدانه در داخل قیر فرو می رود در نتیجه نیروی لازم برای کندن سنگدانه نیز افزایش می یابد. از آنجائی که مشخص است، استفاده از قیر بیش از حد خطر قیرزدگی را افزایش می دهد، لازم است که مقدار استفاده از در حد بهینه قرار گیرد.

- با افزایش قیر مصرفی میزان عمق بافت درشت در چیپسیل به مقدار ۲ درصد کاهش می یابد.

- استفاده از پودر لاستیک در قیر امولسیون باعث افزایش ایجاد کشسانی در قیر به میزان ۲/۵ برابر می شود.

- انجام آزمایش جاروب بر روی رویه بتن غلتکی نشان داد که عملکرد دانه بندی نوع (د) بهتر از دانه بندی نوع (ج) است و باعث کاهش کنده شدن سنگدانه به مقدار ۵ الی ۲۰ درصد بسته به نوع قیر و مقدار آن می شود.

۶- سپاس گذاری

در تهیه قیرامولسیونی با پودرلاستیکی شرکت راه سازی فرش راه و نیز بخش تحقیق و توسعه پالایشگاه نفت پاسارگارد کمک های قابل توجهی نمودند، که بدین وسیله از حمایت های ایشان سپاسگزاری می گردد. همچنین از آقای دکتر مصطفی آدرسی که در ارائه بخشی از ایده اولیه این تحقیق یاری دادند، سپاسگزاری می شود.

۷- مراجع

"دستورالعمل طراحی، اجرا و نگهداری روسازی بتنی راه ها"، شماره نشریه: ۷۳۱، وزارت راه و ترابری، ۱۳۹۶، ۳۷۰.

طائران ا، ابطحی س م، کوشاب، حجازی س م، "بررسی مکانیکی اثر کاربرد ذرات لاستیک در قیر"، مهندسی حمل و نقل، ۱۳۹۴، ۶ (۳)، ۴۷۹-۴۹۲.

نشریه شماره ۲۳۴، "آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران"، وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۱، ۲۴۵.

- Viaduct", Vancouver BC. In 2013 Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada-Transportation: Better-Faster-Safer, 2013, 1-5.
- Lu Q, Bors J, "Alternate uses of epoxy asphalt on bridge decks and roadways. Construction and Building Materials", 2017, 78, 18-25.
- Lu Q, Bors J, "Alternate uses of epoxy asphalt on bridge decks and roadways. Construction and Building Materials", 2015, 78, 18-25.
- Michaut PJ, "Pavement Surface Texture, Fact or Friction", The French view on texture, SCI Construction Materials Group, 2011, SCI London, 2011, 33.
- Moldovanu A, Huang L, "Development of a portable circular texture meter for road texture depth measurement", Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, 2018, 144 (3), 04018026.
- Rad SAM, Modarres A, "Durability properties of non-air entrained roller compacted concrete pavement containing coal waste ash in presence of de-icing salts", Cold Regions Science and Technology, 2017, 137, 48-59.
- Shuler S, "Manual for emulsion-based chip seals for pavement preservation (Vol. 680)", Transportation Research Board, 2011, p1-111.
- Vaitkus A, Vorobjovas V, Tuminienė F, Gražulytė J, Čygas D, "Soft Asphalt and Double Otta Seal-Self-Healing Sustainable Techniques for Low-Volume Gravel Road Rehabilitation", Sustainability, 2018, 10 (195), 1-11.
- Wasiuddin NM, Marshall A, Saltibus NE, Saber A, Abadie C, Mohammad LN, "Use of sweep test for emulsion and hot asphalt chip seals: Laboratory and field evaluation", Journal of Testing and Evaluation, 2013, 41 (2), 289-298.
- Wilson WR, "Polymer modified cement adhesive for providing high friction surfacing", U.S. Patent Application 15/605, 2013, 684, 1-2.
- You L, You Z, Dai Q, Xie X, Washko S, GAO J, "Investigation of adhesion and interface bond strength for pavements underlying chip-seal: Effect of asphalt-aggregate combinations and freeze-thaw cycles on chip-seal", Construction and Building Materials, 2019, 203, 322-330.
- Yuan J, Xu S, Hou X, Xiao F, Jiang C, Luo, Y, "Functional Layer Designation of Combined Chip Seal and Slurry Seal in Airport Pavement", Journal of Testing and Evaluation, 2018, 46 (3), 956-966.

EXTENDED ABSTRACT

Field and Laboratory Study of the Effect of Type of Emulsion Bitumen and Chip Seal Aggregate Size Applied on Roller Concrete Pavement

Ali Bordiuness, Mohammad Mehdi Khabiri *

Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Yazd 89195741, Iran

Received: 14 July 2018; **Accepted:** 13 June 2019

Keywords:

Roller concrete, Rubber powder, Chip seal, Surface performance, Aggregate pull out test, Field evaluation.

1. Introduction

The pavement engineering approach in recent decades has been to develop the use of cement in pavements, including concrete pavement, in particular roller concrete pavement. Some problems with the implementation and application of this type of procedure have led researchers to focus on the subject matter of this type of pavement. In this respect, one of the problems with the level of roller concrete, which, in technical terms, is "surface wear" Known as surface abrasion and surface cracks. Surface abrasion, in addition to reducing the thickness of the pavement layer and defective bearing capacity, in the amount of surface friction and creating a driver safety problem due to the dispersion and throwing of aggregates, it also has a negative effect on the surrounding and passing vehicles. Repair and maintenance is an optimal and economical solution in road pavement management. The use of Chip Seal as preventive maintenance is a two option maintenance for low-volume traffic in highway pavements (Vaitkus et al., 2018, Khabiri, 2005). In previous studies, micronutrient aggregate has been used more than usual, as an example of research on the effect of surface aggregates and bitumen on the performance of peeled aggregates in chip seal (Aktas et al., 2013). The main purpose of this research is to use a fine grading and emulsion bitumen with a rubber powder additive in roller compacted concrete pavement.

2. Methodology

Previous scientific documentation has been investigated, they have used various methods for laboratory investigations. The purpose of this study is to provide suitable surface materials for improving the performance of concrete roller applications, therefore, the study of the amount of aggregates drying on roller concrete steps is one of the important stages of this research. In this regard, one of the most operative tests for this research is a sweeping test. In this test method, to evaluate emulsion bitumen and aggregates as variables are using a 3-samples surface sweep in the laboratory. One of the important parameters in rubber bitumen is its adhesion. In this regard, a ductility test has been carried out. In this experiment, the quantity of energy necessary to remove aggregates from the surface of the chipseal is obtained. The sand patch test was also used to check the macrotexture of the chip seal. It should be noted that three of the trials mentioned above are the three main tests in this study, and other experiments have been carried out to prepare the materials, which have been considered further. The use of emulsion bitumen with an optimal or higher percentage reduces the removal of aggregate. The reason is that with increased consumption of bitumen, more depth of aggregate is placed inside the bitumen, resulting in an increase in the amount of strength necessary for the aggregate to be removed.

* Corresponding Author

E-mail addresses: alibordiuness@gmail.com (Ali Bordiuness), mkhabiri@yazd.ac.ir (Mohammad Mehdi Khabiri).

2.1. Evaluation of field performance results of chip seal

The loss of pavement surface aggregates, in addition to accelerating the destruction and reduction of pavement life, leads to a reduction in friction between tires and roads and also causes discomfort among users of the road. In the field test and on a real scale; after the samples were made, images were taken on site after 4 months. Unfortunately, due to the destruction that was carried out at the site for the overall repair of the existing pavement and the overall reconstruction route, it was not possible to produce images of a longer period of time. In Fig. 1, the processed images of the Chip Seal layer are shown for two types of coarse aggregates (a) and fine grains (b), respectively.

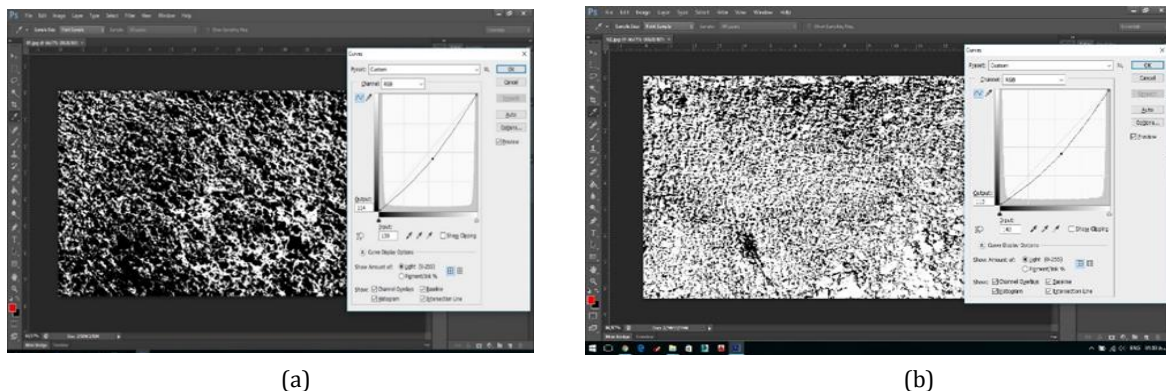


Fig. 1. Chip Seal tissue made with coarse aggregates: a) and after 4 months b)

2.2. Results of laboratory test on Chip Seal samples

Az previously mentioned, this experiment is conducted to evaluate the amount of aggregate leaching. In this research, the specimens were swept for 60 seconds. In this test, the speed of the sweeper was set to 0.83 rpm. In relation to the amount of bitumen used, the type (a) was 1.29 lit/m² for the type and (1.2) lit/m² for the type of grading. The use of bitumen emulsion with rubber powder reduced 17 to 25 percent of aggregate raveling. Due to the fact that the surface of the chip seal applied to roller concrete samples is equal to 0.05 m², it was used for making 0.046 liters for prepared samples, 0.06 for type (a) and lit (0.15 lit) for type (b) grading. To study the effect of bitumen, the above values were reduced and increased by 10%. Another aspect taken from tests is that the depth of the macrotexture decreases by a change of gradient from type (a) to type (b) to an approximate value of 11%. The reason for this factor is that in the type (a), the maximum nominal size is 9.5 and in the type of aggregate (b) the maximum nominal size is (5.6) mm.

The use of chip seal in both types of aggregates increases the depth of the texture in both types of roller concrete. Comparing these results with the results of chipset execution on American steel deck bridges, it can be concluded that the use of chips can improve the skid resistance of concrete. The chip seal used in these bridges has a maximum aggregate consumption of 3.2mm, while the type (a) and (b) of the aggregates used in this study have the maximum aggregate consumption of 9.5 and 5.6mm (Yuan, et al., 2018).

3. Results and discussion

In this research, Chip Seal performance was studied using two types of granulation and three percent bitumen and two types of bitumen. The results of this study are as follows:

- With the addition of rubber powder, the amount of aggregates in the Chip Seal is reduced. This amount is 23% for type (a) and 20% for type (b) aggregates.
- With the fineness of aggregation, the amount of aggregate fell down by about 14%. The cause for this is that due to the smoothness of the surface of the concrete pavement, the finer the aggregate, the better the locking and the bond between the aggregate and the existing treatment. Also, in Fine-grained, the amount of aggregates per unit area of the aggregate is reduced in smaller aggregates.
- Use of bitumen with an optimum or higher percentage reduces the amount of aggregate raveling. With increased consumption of bitumen, more volumes of aggregates fall into the bitumen, resulting in an increase in the amount of aggregate ductility required. Of course, the use of bitumen increases the possibility of blending.
- With the increase in bitumen, the depth of the texture in Chip Seal decreases by 2%.

- The use of rubber powder in bitumen emulsion increases the amount of elasticity and ductility is obtained by increasing by 2.5 times.
- The sweep test on the roller concrete pavement indicated that the type of gradient (Fine) is better than type (Coarse), and reduces the amount of gravel felling to 5 to 20 depending on the type of bitumen and its amount.

4. References

- Aktaş BM, Karaşahin M, Saltan C, EmreUz V, "Effect of aggregate surface properties on chip seal retention performance", *Construction and Building Materials*, 2013, 44, 639-644.
- Khabiri MM, "Development a mathematical model for increasing flexible pavement life cycle under preventive maintenance (Doctoral dissertation, Ph. D Thesis, Iran Science and Technology University), 2006, pp.150.
- Vaitkus A, Vorobjovas V, Tuminienė F, Gražulytė J, Čygas D, Soft Asphalt and Double Otta Seal-Self-Healing Sustainable Techniques for Low-Volume Gravel Road Rehabilitation. *Sustainability*, 2018, 10 (1), 198.
- Yuan J, Xu S, Hou X, Xiao F, Jiang C, Luo Y, "Functional Layer Designation of Combined Chip Seal and Slurry Seal in Airport Pavement", *Journal of Testing and Evaluation*, 2018, 46 (3), 956-966.