

بررسی پارامترهای موثر در تولید قیر امولسیون و تغییر نوع مصالح بر عملکرد مخلوط اسلاری سیل

مقاله علمی - پژوهشی

علی لطیفی، گروه عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
پرهام حیاتی*، استادیار، گروه راه و ترابری، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

احمد گلی، گروه عمران، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: p.hayati@modares.ac.i

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۸ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

صفحه ۱۸۶-۱۶۳

چکیده

یکی از پارامترهای اصلی در تعیین میزان کارایی و کیفیت امولسیون، میزان چسبندگی و پوشش دهی مصالح سنگی و همچنین زمان شکست آن می‌باشد. در این پژوهش با تغییر پارامترهای مختلف، شامل: میزان قیر باقیمانده، درصد امولسیون اضافه شده به مصالح، میزان لاتکس و تولید آن در پلنت آزمایشگاهی میزان پوشش دهی مصالح سنگی، و زمان شکست در مواجهه با مصالح سنگی برای دو نوع قیر پایه ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین اثر پارامترهای مختلف تشکیل دهنده قیر امولسیون مانند نوع قیر، درصد قیر باقیمانده و میزان امولسیفایر مورد استفاده در تولید امولسیون بر تست های کیفی مانند تست الک، ویسکوزیته، پایداری و نشست قیر امولسیون مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق به بررسی اثر دو نوع مصالح مختلف سیلیسی و آهکی و همچنین تاثیر آن بر مشخصات مخلوط اسلاری سیل، پرداخته شده است. نتایج نشان داد که استفاده از لاتکس بیشتر، زمان شکست را حدود ۲۳ درصد کاهش داده ولی پوشش قیری مصالح را حدود ۵ درصد افزایش داده است. همچنین استفاده از امولسیفایر و درصد قیر باقیمانده بیشتر، باعث افزایش زمان شکست به میزان ۱۰۰ درصد و بهبود پوشش قیری مصالح سنگی تا ۷۶ درصد شد. همینطور با استنتاج از نتایج آزمون‌های صورت گرفته استفاده از مصالح سیلیسی در آزمون چسبندگی به زمان بیشتری جهت سخت شدگی نیاز دارد. همچنین مصالح سیلیسی، مقاومت کمتری نسبت به مصالح آهکی دارد. همچنین مقاومت مصالح سیلیسی در آزمون سایش در شرایط مرطوب حدود ۲۲ درصد کمتر و در آزمون بارگذاری چرخ حدود ۲۵ درصد کمتر از مصالح آهکی است. در آزمون قوام مخلوط اسلاری سیل نیز اینطور مشخص گردید که مصالح آهکی از اسلامپ بیشتر و روانی کمتری در حدود ۳۰ درصد برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: آسفالت حفاظتی، اسلاری سیل، قیر امولسیون، مصالح آهکی، مصالح سیلیسی

۱- مقدمه

در هر امولسیون به روشهای مختلف می‌توان مشخص نمود که کدام فاز پیوسته و کدام فاز غیر پیوسته است (James, 1998). تحقیقات اخیر بیشتر در زمینه کنترل اندازه ذرات و اندازه آنها متمرکز شده که نهایتاً باعث تغییرات خصوصیات فیزیکی امولسیون گردیده است (Boussad and Martin, 1996).

امولسیون از یک سیستم با دو فاز غیر قابل امتزاج تشکیل می‌شود. یکی از دو فاز به صورت گلبول و یا گلوله‌های کوچک در داخل فاز دیگر پراکنده است. فازی که به صورت گلوله کوچک می‌باشد، فاز داخلی نامیده می‌شود و فازی که اطراف این گلوله‌ها را فرا گرفته بنام فاز خارجی یا فاز پیوسته موسوم است

کننده زمان شکست امولسیون است. این مواد با استفاده از تجهیزات مخصوص با همدیگر مخلوط شده و کیفیت یکسانی را بخود می‌گیرد و سپس با دستگاه مخصوص اسلاری سیل بر روی سطح راه بصورت یکنواخت پخش می‌شود این عمل بصورت ادامه دار و در یک زمان انجام می‌شود بطوریکه ساخت و پخش مخلوط با یک دستگاه و به طور همزمان انجام می‌شود. قیر امولسیونی موجود در مخلوط پس از پخش بر روی سطح راه شکسته می‌شود و آب موجود در آن تبخیر و یا از سطح راه خارج می‌شود و مخلوط سفت و جامدی را از خود بجای می‌گذارد (فرهاد، ۱۳۹۱).

عملکرد موفقیت آمیز آسفالت‌های حفاظتی ریزدانه در پروژه های ترمیم و نگهداری روسازی باعث ترغیب روز افزون به آن شده است. این نوع آسفالت به دلیل اختلاط سرد و مصرف کم مصالح نسبت به سایر مخلوط‌های آسفالتی دارای مزایای زیست محیطی بسیار بیشتر و در عین حال هزینه‌ی کمتر است. هم‌چنین به خاطر دوام بالا از عمر مفید مناسبی نیز برخوردار می‌باشد. این لایه‌ی حفاظتی گرچه به علت ضخامت بسیار کم دارای قابلیت باربری نمی‌باشد، اما برای روسازی‌هایی که از نظر سازه-ای و یا تحمل بار ترافیکی مشکلی ندارند؛ می‌تواند به عنوان جایگزین مناسب روکش آسفالت، مورد استفاده قرار بگیرد (Robinson et al., 1998).

رباتی و همکاران در سال ۲۰۱۳ به ارزیابی روش‌های تست و انتخاب درجه‌بندی سنگدانه برای نوع ۳ آسفالت حفاظتی پرداختند. آن‌ها قصد داشتند تا اصلاحاتی را در جهت دستورالعمل ISSA برای انتخاب درجه‌بندی سنگدانه برای نوع ۳ میکروسرفیسینگ پیشنهاد دهند. برای این کار آن‌ها ابتدا برای مشاهده تاثیر درجه‌بندی سنگدانه و قیر امولسیون آزمایشات بارگذاری چرخ، سایش در شرایط مرطوب، چسبندگی اصلاح شده، جابجایی عمودی و زمان ترکیب را بر روی نمونه‌های میکروسرفیسینگ انجام دادند. سپس در مرحله دوم این مطالعه سعی کردند تا محدوده‌ای برای درجه‌بندی مصالح سنگی نوع ۳ ارائه کنند که بیشترین پایداری را در برابر شیارشدگی داشته باشد (Robati et al., 2013).

شفقت و نظری‌زاده در سال ۲۰۱۶ به بررسی آزمایشگاهی اثر نوع مواد بر ترکیب آسفالت حفاظتی پرداختند. آن‌ها به این منظور نمونه‌های میکروسرفیسینگ را با دو نوع سنگدانه با منبع رودخانه و کوهستان و همینطور دو نوع قیر امولسیون کندشکن

ذرات امولسیون‌ها در نهایت ناپایدار هستند که با گذشت دوره‌ای از زمان که می‌تواند از ساعت تا سال‌ها باشد، فاز قیر نهایتاً از فاز آب جدا می‌گردد که قیر غیر قابل حل در آب است و شکست امولسیون شامل آمیختگی و انعقاد ذرات است (Verlhac et al., 2002).

آسفالت حفاظتی در رده روش‌های ترمیم و نگهداری فراگیر پیشگیرانه جای می‌گیرد که ضمن تامین اندود سطحی و مقاوم در برابر نفوذ آب، افزایش مقاومت در برابر لغزندگی روسازی را نیز تامین می‌نماید. از مزایای این روش می‌توان به راندمان بالای پخش، حداقل انسداد ترافیکی و تامین سطحی هموار، آب بند و با مشخصات اصطکاکی قابل قبول اشاره نمود از وجه تمایز این نوع روکش آسفالت حفاظتی با دیگر طرح‌ها می‌توان به سرعت بالای اجرای پروژه و صرفه اقتصادی اشاره کرد و با توجه به استفاده از قیر امولسیون در اجرای این نوع پوشش و همخوانی آن با محیط زیست، از آلودگی‌های زیست محیطی جلوگیری به عمل می‌آید. اسلاری سیل مخلوطی است از مصالح ریزدانه شکسته، قیر امولسیونی پلیمری، فیلر و مواد دیگر. استفاده از شیوه اسلاری سیل به منظور پر کردن شیارها و رد چرخ، پر کردن ترک‌ها، اصلاح سطوح اکسید شده راه، ایجاد سطحی یکنواخت و افزایش عمر مفید راه انجام می‌شود. این روش موجب آب‌بند شدن رویه راه شده و اصطکاک مناسبی را برای آن فراهم می‌کند. استفاده از این روش نتایج موفقیت آمیزی را به همراه داشته و در پروژه‌های ترمیم و نگهداری روسازی استفاده از آن هر روز گسترش می‌یابد و به دلیل استفاده از قیرهای امولسیونی مشکلات زیست محیطی ندارد (ISSA, Annapolis, Technology).

اسلاری سیل بدلیل کیفیت و دوام زیاد از عمر مفید بیشتری نسبت به دیگر روکش‌های حفاظتی برخوردار است. سرعت بالای اجرای این نوع روکش سبب می‌شود خطرات و مشکلات ناشی از عبور ترافیک و به خطر افتادن ایمنی استفاده کنندگان از راه به حداقل میزان خود کاهش یابد و به دلیل ضخامت کم آن پس از اجرا نیاز به ترمیم‌شانه‌ها و یا تعویض جداول حاشیه خیابان نیست و پس از حدود یک ساعت بعد از اجرا قابلیت عبور ترافیک از روی آن وجود دارد (گلی، ۱۳۹۲).

اسلاری سیل و میکروسرفیسینگ ترکیبی از ماسه صد درصد شکسته و خوب دانه بندی شده متراکم و قیر امولسیونی اصلاح شده همراه آب و فیلر و در صورت لزوم افزودنی‌های کنترل

شکن و دیرشکن امولسیون قیری تهیه کردند و تاثیر آن‌ها بر روی قیر و کیفیت مخلوط میکروسرفیسینگ را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها از نتایج حاصل از این پژوهش‌ها دریافتند که حضور انواع لاتکس در قیر باقیمانده باعث کاهش درجه نفوذ، افزایش نقطه نرمی، کاهش کشش‌پذیری و افزایش بازگشت الاستیک شده است. این مسئله نشان‌دهنده اصلاح قیر در جهت مقاومت بالاتر در برابر شیارافتادگی، ترک‌خوردگی و حساسیت دمایی کمتر است که در نتیجه الزام استفاده از امولسیون پلیمری در مخلوط میکروسرفیسینگ قابل درک است. همچنین دریافتند که با افزایش میزان امولسیون نتایج حاصل از آزمایش سایش مرطوب کاهش و نتایج حاصل از آزمایش چرخ بارگذاری افزایش می‌یابد. این نتیجه نشان‌دهنده این موضوع است که با افزایش میزان امولسیون دوام مخلوط بالاتر و پتانسیل قیرزدگی نیز افزایش می‌یابد (قدیم، ۱۳۹۶)

رباتی و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی یک اصلاح در روند طراحی ترکیب آسفالت حفاظتی پرداختند. آن‌ها بیان می‌کنند که با وجود کاربرد وسیع آسفالت حفاظتی، آزمون‌ها و روشهای طراحی اغلب آزمایشگاهی است و ارتباط آن‌ها با عملکرد واقعی ضعیف است، بنابراین هنوز نیاز است که ترکیبهای جدیدی ایجاد شوند. در تحقیق آنها تغییراتی برای روش طراحی ISSA پیشنهاد شده است. در ابتدا نتیجه کاربرد امولسیون در محتوای آب و سیمان و تاثیر آن در ویژگی‌های ترکیبات آسفالت ریزدانه بیان می‌شود که در نتیجه کاربرد یک نوع ترکیب، آسفالت امولسیون و درجه‌بندی سنگدانه خاص است. در طی بررسی چهار آزمایش بارگذاری چرخ، سایش در شرایط مرطوب، چسبندگی و زمان ترکیب بکار گرفته شده‌اند. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های بارگذاری چرخ و سایش در شرایط مرطوب بسیار متغیر بود و نمی‌توان طرح ترکیبی بهینه از آن پیشنهاد کرد. آزمایش چسبندگی را می‌توان برای محتوای آب بهینه برای آزمون نمونه‌ها در نظر گرفت. همچنین آزمایش جابه‌جایی عمودی و افقی طرح برای تعیین محتوای امولسیون آسفالت بهینه باید بکار رود. پس از بررسی‌های انجام شده نویسندگان نتیجه گرفتند که میزان کلی آب در ترکیب آسفالت حفاظتی ریزدانه نقشی عمده در آزمون بارگذاری چرخ و آزمون سایش در شرایط مرطوب دارد بطوریکه تاثیر آن در آزمایش سایش چرخ مرطوب شش روز بیش از باقیمانده قیر امولسیون است. هرچه محتوای آب اضافه گردد میزان ماسه چسبیده در

و سریع‌شکن با سه درصد ۱۰، ۱۲ و ۱۴ درست کردند. سپس آزمایشات چسبندگی ۳۰ و ۶۰ دقیقه، سایش در شرایط مرطوب ۱ ساعته و ۶ روزه، بارگذاری چرخ و فشرده سازی توسط بارگذاری چرخ را بر روی نمونه‌ها انجام دادند. بر اساس نتایج آزمایش چسبندگی مشخص شد که در مجموع نمونه‌های با مصالح رودخانه‌ای دارای چسبندگی بیشتری نسبت به مصالح کوهستانی هستند. همچنین بر اساس نتایج آزمایش سایش در شرایط مرطوب هم مصالح رودخانه‌ای عملکرد بهتری را به نسبت مصالح کوهستانی از خود نشان دادند. همچنین در آزمایش سایش در شرایط مرطوب نمونه‌های ساخته شده با قیر سریع‌شکن عملکرد بهتری با هر دو مصالح از خود نشان دادند. همچنین بر اساس نتایج آزمایش فشرده سازی به وسیله بارگذاری چرخ مشخص شد که نمونه‌های با مصالح رودخانه‌ای در مقابل خرابی شیارشدگی حساس تر هستند. همچنین مشخص شد که نمونه‌های ساخته شده با قیر کندشکن مقاومت بیشتری در مقابل شیارشدگی دارند (Robati et al., 2013). کومار و رینتاتیانگ در سال ۲۰۱۶ به تحقیق درباره روش جدید ترکیب مواد در میکروسرفیسینگ نوع ۲ و ۳ و مشاهده کاهش یا حل مشکل گلوله شدن که مشکل عمومی در ترکیب مصالح ریز و درشت با امولسیون بود پرداختند. پس از انجام آزمایشات مشخص شد که طرح اختلاط جدید بین سنگدانه‌های ریز و درشت با امولسیون قادر به برطرف کردن مشکل گلوله شدن بود. همچنین مشخص شد که برای مقدار پایداری مورد نیاز برای نوع ۳ میکروسرفیسینگ حجم آب بین ۵ تا ۱۰ درصد و حجم امولسیون ۱۸ و ۲۰ و برای مقدار پایداری مورد نیاز برای نوع ۲ میکروسرفیسینگ بدون فیلر حجم آب بین ۳ تا ۸ درصد و حجم امولسیون ۱۴ تا ۱۶ درصد و برای مقدار پایداری مورد نیاز برای نوع ۲ میکروسرفیسینگ با سیمان حجم آب بین ۳ تا ۵ درصد و حجم امولسیون ۱۸ و ۲۰ درصد بدست آمد. همچنین مشخص شد که در ۴ درصد فضای خالی مقدار قیر بهینه بدست می‌آید که این مقدار برای درجه‌بندی نوع ۳، ۱۰ درصد و برای درجه-بندی نوع ۲، ۷/۷ درصد بود (Kumar and Rynthathiang, 2016). صاحب‌الزمانی و همکاران در سال ۱۳۹۶ به بررسی اثر نوع لاتکس و امولسیفایر استفاده شده در طراحی مخلوط آسفالت حفاظتی پرداختند. آن‌ها ابتدا تمامی مواد و مصالح مخلوط آسفالت حفاظتی را مورد ارزیابی قرار دادند سپس با استفاده از چهار نوع مختلف لاتکس پایه آب و دو نوع امولسیفایر سریع

شود. در مرحله بعدی تحقیق آن‌ها دو نوع جوان کننده را به ترکیبات اضافه کردند و زمان اختلاط و مقاومت شیارشدگی را بر روی آن‌ها بررسی کردند. نتایج نشان داد که جوان کننده‌ها باعث بازگشت خصوصیات اولیه به آسفالت بازیافتی می‌شود و زمان اختلاط و مقاومت شیارشدگی را بهبود می‌بخشد و میزان قیر امولسیون مورد نیاز را کاهش می‌دهد (Wang et al., 2019). پورسلطانی و حسامی در سال ۲۰۱۷ به بررسی تاثیر استفاده از خرده آسفالت بر ویژگی‌های مخلوط آسفالت حفاظتی پرداختند. آن‌ها در این پژوهش ابتدا ترکیب مناسب اختلاط مصالح برای نمونه‌های حاوی ۶۹، ۹۵ و ۴۳ درصد خرده آسفالت و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه تازه تعیین کردند و سپس آزمایشات زمان اختلاط، چسبندگی و عریان‌شدگی مرطوب را روی آن‌ها انجام دادند. آن‌ها از این آزمایشات نتیجه گرفتند که هرچه مقدار خرده آسفالت در مخلوط افزایش یابد مقدار آب بهینه مورد نیاز مخلوط افزایش و مقدار افزودنی مورد نیاز کاهش می‌یابد. همچنین از نتایج آزمایش زمان اختلاط دریافتند که مخلوط‌های حاوی خرده آسفالت سرعت گیرش کندتری نسبت به مخلوط‌های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه تازه داشته‌اند. آن‌ها از نتایج آزمایش چسبندگی دریافتند که مقدار حداقل قیر امولسیون مورد نیاز مخلوط‌های حاوی خرده آسفالت برای برآورده کردن معیارهای آزمایش چسبندگی ۶۰ دقیقه نسبت به مخلوط‌های حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه‌ی تازه افزایش یافته است. این اختلاف برای مخلوط‌های حاوی ۹۵ و ۶۹ درصد خرده آسفالت با مخلوط حاوی ۱۰۰ درصد سنگدانه تازه کمتر از ۱ درصد می‌باشد که برابر مقدار افزودنی مورد نیاز کاهش یافته کاملاً قابل توجه است. همچنین دریافتند که از میان مخلوط‌های ۶۹، ۹۵ و ۴۳ درصد خرده آسفالت مخلوط حاوی ۶۹ درصد خرده آسفالت عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آزمایش عریان‌شدگی مرطوب دریافتند که استفاده از خرده آسفالت در مخلوط می‌تواند مشکل اندود نشدن مطلوب سنگدانه‌ها را به‌طور کامل حل کند (Poursoltani and Hesami, 2020).

زال‌نژاد و حسامی در سال ۱۳۹۶ به ارزیابی آزمایشگاهی تاثیر استفاده از مصالح سرباره فولادی بر مشخصات چسبندگی و شیارشدگی آسفالت حفاظتی پرداختند. آن‌ها در این پژوهش از دو نوع مصالح سنگی سیلیسی کوهی و سرباره فولاد با دانه بندی نوع ۳ میکروسرفیسینگ و همچنین سه درصد قیر امولسیون

آزمون بار چرخ بیشتر خواهد بود (Robati et al., 2015). بی و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی اثر دانه‌بندی در آسفالت حفاظتی اصلاح شده با پودر لاستیک پرداختند. آن‌ها ابتدا سه درجه‌بندی سنگدانه درشت، متوسط و ریزدانه را انتخاب کردند و به‌وسیله آن‌ها نمونه‌های میکروسرفیسینگ را به همراه پودر لاستیک تولید کردند و آزمایشات زمان اختلاط و چسبندگی را بر روی آن‌ها انجام دادند. نتایج این آزمایشات نشان داد که دانه‌بندی ریزدانه عملکرد بهتری را در دو آزمایش دارد و دارای زمان اختلاط کمتر و چسبندگی بیشتر نسبت به دو درجه‌بندی دیگر است. پس از آن درجه‌بندی متوسط و سپس درجه‌بندی درشت دارای بهترین عملکرد بودند.

آن‌ها سپس با همان سه درجه‌بندی سنگدانه و سه درصد ۹، ۱۰ و ۱۱ درصد و مصالح دیگر آسفالت حفاظتی و پودر لاستیک نمونه‌های میکروسرفیسینگ را برای آزمایشات سایش در شرایط مرطوب و بارگذاری چرخ درست کردند و سپس آزمایشات را بر روی نمونه‌ها انجام دادند. نتایج آزمایشات نشان داد که نمونه‌هایی با درجه‌بندی سنگدانه متوسط و قیر امولسیون ۱۰ و ۱۱ درصد دارای بهترین عملکرد هستند، در نتیجه در کل درجه‌بندی متوسط بهترین عملکرد را در میان نمونه‌ها دارا بود که این احتمالاً به دلیل این است که پودر لاستیک و فیلر فضاهای خالی بین سنگدانه‌ها را پر می‌کنند و عملکرد مخلوط بالاتر می‌رود (Ye et al., 2017).

وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی طراحی و عملکرد ترکیب آسفالت حفاظتی با آسفالت بازیافتی پرداختند. مطالعه آن‌ها با هدف طراحی ترکیب آسفالت حفاظتی با آسفالت بازیافت‌شده انجام گرفت به‌گونه‌ای که عملکرد مخلوط خصوصاً به عنوان مواد پرکننده شیار برای کاربرد میدانی راضی کننده باشد. آن‌ها به این منظور ابتدا پنج ترکیب متفاوت سنگدانه با آسفالت بازیافتی با درصدهای ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درست کردند. سپس به‌وسیله آن‌ها و دیگر ترکیبات میکروسرفیسینگ نمونه‌های آسفالت حفاظتی را برای آزمایش درست کردند. سپس برای تعیین مقدار بهینه قیر آزمایشات سایش در شرایط مرطوب، چسبندگی ماسه به‌وسیله بارگذاری چرخ و تغییر شکل عمودی و جانبی را بر روی نمونه‌ها انجام دادند. پس از مقایسه نتایج قیر بهینه به‌دست آمده مشاهده شده که افزایش میزان آسفالت بازیافتی می‌تواند میزان قیر امولسیون بهینه را کاهش دهد که این امر می‌تواند باعث کاهش هزینه‌ها

میکروسرفیسینگ ۴/۹ تا ۸،۸ سال است. همچنین مشخص شد که زمان بهینه برای روکش میکروسرفیسینگ زمانی است که PCI روسازی بین ۸۰ تا ۸۵ باشد. همچنین نتایج نشان داد که قسمت‌هایی که میکروسرفیسینگ روی آن‌ها اجرا شده بود دارای خرابی رطوبتی بیشتری نسبت به دیگر قسمت‌ها بودند که برای اجرا در مناطق مرطوب و با بارش بالا باید بررسی‌های بیشتری انجام شود (Bashar et al., 2019).

سان و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بررسی خصوصیات عایق حرارتی میکروسرفیسینگ اصلاح‌شده توسط مواد عایق معدنی (غیر آلی) پرداختند. آن‌ها به منظور بهبود زمینه حرارتی آسفالت جاده میکروسرفیسینگ جدید اصلاح‌شده با دو نوع ماده عایق معدنی ساختند تا اثر عایق حرارتی روی آن‌ها ایجاد شود. آن‌ها هدایت حرارتی میکروسازه‌ها را بوسیله آزمایش‌های هدایت حرارتی و تحلیل اسکن میکروسکوپ الکترونی مورد آزمایش قرار دادند. بر اساس آزمایشات آزمایشگاهی و میدانی، اثرات عایق حرارتی میکروسرفیسینگ با میکروسازه‌های مورد استفاده در فرایند گرمایشی یا خنک‌کنندگی مورد ارزیابی قرار گرفت که آزمایشات میدانی در دوره‌های آزمایشی خاص از تابستان و زمستان که شامل درجه حرارت بالا و پایین در طول سال است انجام شده است. پس از آن آزمایشات لغزش آونگ بریتانیایی، سایش در شرایط مرطوب، شیارشدگی و نفوذپذیری را برای ارزیابی عملکرد میکروسرفیسینگ عایق حرارتی انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که نمونه‌های میکروسرفیسینگ به همراه مواد عایق حرارتی مقاومت حرارتی جاده را بهبود بخشیده و روند انتقال حرارتی بین جاده و محیط را کاهش داده است. علاوه بر آن مشخص شد که افزودن مواد عایق معدنی تاثیر منفی آشکاری بر عملکرد میکروسرفیسینگ نداشته‌اند (Bashar et al., 2019).

ریحانه دارش و امیر کاوسی در سال ۲۰۲۲ عملکرد مخلوط آسفالت حفاظتی شامل الیاف مختلف پلی‌الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی، فورتا و فایبرگلاس در مقادیر ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد با آزمایش‌های پیوستگی، سایش در شرایط مرطوب، چرخ بارگذاری و تیر خمشی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده نشان داد که عملکرد مخلوط میکروسرفیسینگ با اضافه کردن الیاف به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. افزودن ۰/۲ درصد الیاف پلی‌الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی، فورتا و فایبرگلاس بهترین

باقیمانده ۶/۵، ۸ و ۹/۵ برای ساخت نمونه‌های میکروسرفیسینگ استفاده کردند. پس از ساخت نمونه‌های مورد نظر آزمایش‌های زمان اختلاط، روانی یا درجه غلظت، زمان گیرش، چسبندگی مرطوب و بارگذاری چرخ بر روی آن‌ها انجام شد. پس از انجام آزمایشات مدت زمان اختلاط برای مصالح کوهی ۱۳۰ ثانیه و برای مصالح سرباره‌ای ۱۳۵ ثانیه به ثبت رسید. در آزمایش روانی میزان جابجایی ۱۶ میلی‌متر ثبت شد که مقدار مجاز استاندارد باید کمتر از ۲۰ میلی‌متر باشد. و همچنین زمان گیرش برای هر دو مصالح سرباره و کوهی ۱۵ دقیقه به ثبت رسید. آزمایش چرخ بارگذاری نشان داد که مصالح سرباره دارای درصد جابجایی عمودی و افقی بسیار کمتری نسبت به مصالح کوهی می‌باشند. آن‌ها علت این موضوع را شکستگی در چند وجه و تیزگوشه و زبر بودن مصالح سرباره می‌دانستند که باعث قفل و بست بهتر مصالح سنگی به-یکدیگر می‌شود و در نتیجه مقاومت بهتری در مقابل تغییر شکل نشان می‌دهد. در نهایت آن‌ها از نتایج آزمایش‌ها به این نتیجه رسیدند که سرباره فولادی عملکرد بهتری نسبت به مصالح کوهی در آزمایشات شیارافتادگی و چسبندگی دارد و در مجموع به دلیل خواص اصطکاکی، دوام و سختی، چسبندگی زیاد به قیر و جلوگیری از شکل‌گیری برخی خرابی‌ها از قبیل شیارشدگی و عریان‌شدگی و صیقلی شدن سنگدانه‌ها استفاده از آن در مخلوط آسفالت حفاظتی توصیه می‌شود (حسامی، ۱۳۹۶). بشار و همکاران در سال ۲۰۱۹ در تحقیق خود به بررسی بهینه‌سازی عملکرد روکش میکروسرفیسینگ در روسازی‌های انعطاف پذیر و اثر آن بر خرابی رطوبتی پرداختند. هدف از این مطالعه ارزیابی اثرات کوتاه مدت و درازمدت روکش میکروسرفیسینگ و ارزیابی اینکه آیا میکروسرفیسینگ عامل مهم آسیب رطوبتی بود. برای این کار آن‌ها ۲۷ قسمت که طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ آسفالت میکروسرفیسینگ روی آن‌ها اجرا شده بود را حداقل به مدت ۸ سال مورد مشاهده و بررسی قرار دادند (ورشوی، ۱۳۹۶). آن‌ها در این تحقیق عملکرد میدانی روسازی را به عنوان تابعی از زمان مدل کردند و موارد شیارشدگی، زبری و وضعیت کلی روسازی را بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که میکروسرفیسینگ بیشترین تاثیر را بر خرابی شیارشدگی به نسبت دیگر شاخص‌ها دارد و وضعیت روسازی را در مقابل شیارشدگی بهبود می‌بخشد. همچنین نتایج نشان داد که عمر سرویس‌دهی

شاهد موجب افزایش چسبندگی در مدت زمان ۳۰ و ۶۰ دقیقه به ترتیب به میزان ۲۸ و ۴۵ درصد، بهبود مقاومت در برابر سایش به میزان ۴۸/۳ درصد، کاهش قیر زدگی مخلوط به میزان ۲۹/۳ درصد و افزایش مقاومت در برابر جابه‌جایی عمودی و جانبی به ترتیب به میزان ۴۷/۶ و ۴۰/۰ درصد گردید. این مخلوط نسبت به نمونه شاهد دارای ۱ درصد قیر امولسیون بیشتر به‌منظور دستیابی به چسبندگی مناسب در زمان مشخص است. (دیواندری، حیدری و زال نژاد، ۱۴۰۰).

۲- مواد و روش انجام کار

در این تحقیق برای ساخت امولسیون از دو نوع قیر ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ استفاده گردید که مشخصات این دو نوع قیر در جدول شماره ۱ ارائه شده است. جدول شماره یک کنترل و مشخصات مواد اولیه قیر مصرفی در طرح اختلاط می‌باشد و در جدول شماره دو مشخصات مصالح سنگی است مورد استفاده و در شکل شماره یک منحنی دانه بندی مورد استفاده برای طرح اختلاط اسلاری سیل ارائه شده است.

مقدار برای بهبود عملکرد پیوستگی و مقاومت در برابر سایش مخلوط است. همچنین اضافه کردن مقدار ۰/۱ درصد الیاف فورتا و پلی‌الفین اصلاح‌شده پلی‌پروپیلنی و ۰/۲ درصد الیاف فایبرگلاس باعث ایجاد کمترین عمق شیار شده است. در آزمایش تیرخمشی بهترین عملکرد مقاومت در برابر شکست خمش را مخلوط حاوی الیاف فورتا از خود نشان داد (دارش و کاووسی، ۱۴۰۱). محمد حیدری و مهدی زال نژاد در سال ۱۴۰۰ به بررسی و به‌کارگیری فیلر سرباره فولاد کوره اکسیژن بازی در طرح اختلاط آسفالت حفاظتی جهت سنجش عملکرد آن است. برای این منظور، ابتدا ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی مصالح سنگی و فیلر سرباره فولاد مورد تحقیق و مطالعه واقع شده و سپس جهت بررسی عملکرد مخلوط‌ها، از پنج ترکیب مختلف حاوی صفر، ۲/۵، ۵/۰، ۷/۵ و ۱۰/۰ درصد فیلر سرباره فولاد بر حسب وزن کل سنگدانه استفاده گردید. ارزیابی نمونه‌ها به‌واسطه آزمایش‌های سایش در شرایط مرطوب، چرخ بارگذاری شده جابه‌جایی، چرخ بارگذاری شده چسبندگی ماسه و آزمایش‌های چسبندگی مرطوب در ۳۰ و ۶۰ دقیقه، مطابق با دستورالعمل ASTM D6372 و ISSA A143 انجام شد. نتایج طراحی نشان داده که مخلوط‌های حاوی فیلر سرباره فولاد، موجب بهبود عملکرد میکروسرفیسینگ می‌شوند. همچنین، در میان مخلوط‌ها، مخلوط حاوی ۷/۵ درصد فیلر سرباره فولاد نسبت به نمونه

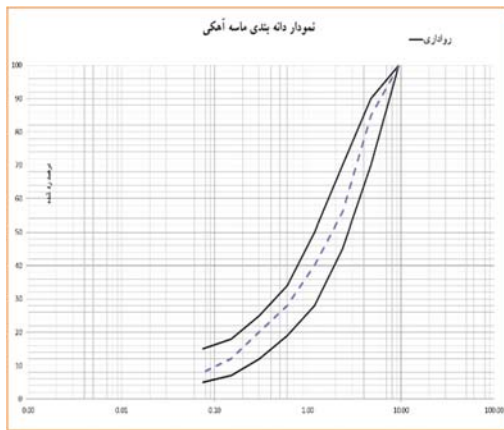
جدول ۱. مشخصات قیر های خالص مورد استفاده

شرح آزمون	۶۰/۷۰	۸۵/۱۰۰	روش آزمون	
1	درجه نفوذ قیر 0.1mm, @25°C	۶۵	۸۹	ASTMD5/ISIRI 2950
2	مزن مخصوص @25°C	۱/۰۱	۱/۰۱	ASTMD3289/ISIRI2956
3	نقطه اشتعال °C	۲۹۷	۳۲۹	ASTMD92/ISIRI198
4	cm, @25 کشش پذیری	۱۳۶	۱۴۷	ASTMD113/ISIRI3866
5	wt% حلالیت در تری کلرواتیلن	۹۹/۷۶	۹۹/۸۳	ASTMD2042/ISIRI2953
6	آزمون های %درصد تغییر جرم	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	ASTM D6/ISIRI 2957
7	نسبت درجه نفوذ به اولیه بعد از TFOT	۷۱	۷۸	ASTM D6 & D5/ISIRI 2950
8	cm, @25 کشش پذیری	۷۰	۷۶	ASTM D113/ISIRI 3866

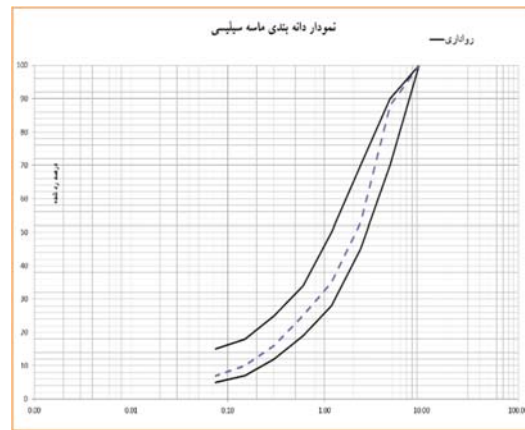
جدول ۲. نتایج آزمون بروی مصالح سنگی سیلیسی و آهکی

مشخصه	نتایج آزمایشات	محدوده پذیرش
-------	----------------	--------------

	آهکی	سیلیسی		
$65 \leq$	66	73	ارزش ماسه‌ای قبل از افزودن فیلر	
A/B/C/D	B	B	نوع دانه بندی	درصد افت وزنی در مقابل سایش به روش لوس آنجلس AASHTO C131
500	500	500	تعداد دور	
$30 \geq$	22	20	درصد سایش	
N.P	N.P	N.P	دامنه خمیری	حدود اتربرگ ASTM D3282
-	-	-	حد خمیری	
-	-	-	حد روانی	
-	-	-	یک جبهه	
			دو جبهه	درصد شکستگی مصالح سنگی روی الک شماره 4 ASTM D5821
%100	%100	%100		
$15 \geq$	2	2	سولفات سدیم	درصد افت وزنی AASHTO T104
$25 \geq$	3	4	سولفات منیزیم	



(ب)



(الف)

شکل ۱. نمودار دانه بندی مصالح سیلیسی (الف) و مصالح آهکی (ب) در رواداری شماره ۳ اسلاری

2013). امولسیون‌های ساخته شده با درصد قیرهای ۵۵، ۵۷، ۶۰ و ۶۳ درصد تولید شدند. همچنین برای ساخت امولسیون از ۳ درصد مختلف امولسیفایر به میزان ۰٫۷، ۰٫۹ و ۱٫۱ درصد و افزودنی لاتکس به میزان صفر، ۳ و ۵ درصد وزن قیر استفاده شده است. سپس بروی نمونه‌های ساخته شده آزمایش‌های پایداری، الک، ویسکوزیته، زمان شکست و میزان پوشش قیری مصالح سنگی مورد بررسی قرار گرفت که در جدول شماره ۳ آورده شده است.

امولسیون مصرفی در این تحقیق و مشخصات قیر مورد استفاده در تولید این آسفالت معیارهایی با شاخص‌های استاندارد مطابق نتایج جدول شماره ۳ تعیین شده است که لازم است قبل از طرح اختلاط آسفالت، کلیه آزمون‌های مرتبط با آن صورت پذیرد تا از صحت و کیفیت تولید و عملکرد آن در آسفالت اطمینان کامل بدست آید. برای تولید امولسیون از امولسیفایر برند سکا استفاده شده است همچنین نمونه‌های امولسیون با استفاده از دستگاه امولب ساخته شدند. تولید امولسیون‌های ساخته شده بر اساس استاندارد ASTM D244 انجام گرفت (Robati et al.,

۲-۱- آزمایش پوشش مصالح سنگی با قیر امولسیون

تا ۵ مرتبه تعیین می‌گردد. پس از اتمام آزمایش پوشش مصالح به صورت چشمی، خوب، متوسط و بد سنجیده می‌شود. کیفیت خوب به این معناست که مصالح کاملاً با امولسیون پوشیده می‌شوند (به جز سوراخ‌ها و لبه‌های تیز) کیفیت متوسط نشان‌دهنده سطح بیشتر مصالح پوشیده شده با امولسیون در برابر مصالح بدون پوشش می‌باشد و کیفیت بد، نشان‌دهنده سطح بیشتر مصالح بدون پوشش در مقایسه با مصالح پوشش‌دار می‌باشد (D244, 2009).

این آزمایش بر اساس استاندارد (ASTM D244) جهت تعیین قابلیت امولسیون قیری جهت پوشش سطح مصالح، بررسی مقاومت در اختلاط با مصالح و میزان مقاومت مصالح پوشیده شده با امولسیون در برابر آب بکار می‌رود. برای انجام آزمایش مقادیر مشخص از امولسیون و مصالح با یکدیگر مخلوط شده و میزان پوشش در یک بازه زمانی ۲ دقیقه ای مشاهده می‌شود. مقاومت پوشش در برابر شسته شدن، با پر کردن ظرف مصالح مخلوط شده با قیر و آب و تکرار این آزمون

جدول ۳. نتایج آزمون بر روی قیر امولسیون مورد مصرف در اسلاری سیل

نام آزمون	روش آزمون	نتیجه	محدوده پذیرش
قیر باقیمانده	ASTM D2397	۶۲/۰	حداقل ۵۷ درصد
		۰/۰۵	حداقل ۰/۳ درصد
ویسکوزیته سیولت فیورل در ۲۵ درجه سانتیگراد	ASTM D88	۱۸	۹۰-۱۵
آزمایش تقطیر	ASTM D6997	۶۲/۰	حداقل ۶۲ درصد
پایداری یک روزه	ASTM D244	۰/۹	حداکثر یک درصد
		۳/۹	حداکثر ۵ درصد
درجه نفوذ قیر باقیمانده در ۲۵ درجه سانتیگراد	ASTM D5	۶۲	۹۰-۴۰
بازیابی الاستیک	ASTM D6084	۵۶	۶۰-۵ درصد
نقطه نرمی	ASTM D36	۵۷	حداقل ۵۷ درجه



شکل ۲. پوشش مصالح سنگی با قیر امولسیون بدون لاتکس (الف) و پوشش مصالح سنگی با قیر امولسیون با افزودن لاتکس (ب)

۲-۲-آزمایش کنترل زمان اختلاط در ۲۵ درجه سانتی گراد

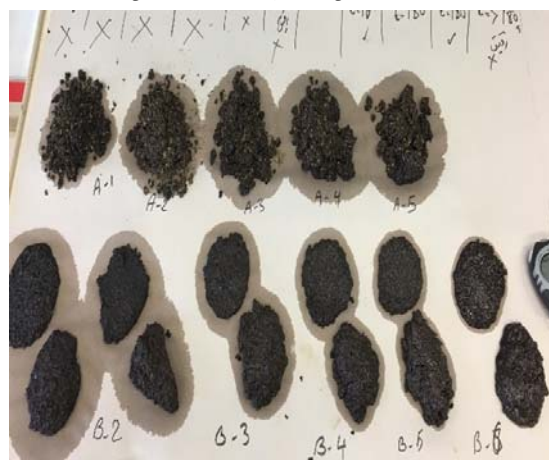
یکی از آزمایش‌های اولیه، ساده و بسیار مهم در زمینه طرح اختلاط میکروسرفیسینگ، آزمایش کنترل زمان اختلاط در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. هدف از انجام این آزمایش، سازگاری مواد اولیه با یکدیگر می‌باشد. همچنین این آزمایش

هدف از انجام این آزمایش، سازگاری مواد اولیه با یکدیگر می‌باشد. همچنین این آزمایش

صورت گیرد و یا زمان گیرش آنقدر طولانی نباشد که پس از مدت زمان زیادی، عمل گیرش اولیه آن هنوز انجام نشده باشد. در واقع در این آزمایش با ترکیب درصد‌های مختلف مواد خام اولیه و ترکیب در شرایط آزمایشگاهی (بر اساس شرایط استاندارد) بهترین ترکیب اولیه برای دست یابی به بهترین زمان شکست اولیه به دست خواهد آمد (Durand, 1994).



(ب)



(الف)

شکل ۳. آزمایش تعیین زمان شکست و گیرش اولیه امولسیون، نمونه‌های با مصالح سیلیسی (الف) و نمونه‌های با مصالح آهکی (ب)

خواص مناسب مورد نیاز جهت اطمینان از زمان کافی مخلوط برای تولید را ارائه می‌نماید. یکی از مسائل مهم در زمان اجرای میکروسرفیسینگ، مدیریت ترکیب میزان مصالح سنگی است، به طوری که در زمانی که مصالح خام (امولسیون، آب، فیلر، سیمان و ...) با یکدیگر ترکیب می‌شوند و در جعبه پخش - کننده میکروسرفیسینگ تخلیه می‌شود، زمان شکست و گیرش آنقدر کوتاه نباشد که در داخل جعبه پخش کننده، عمل شکست

زمان مورد نیاز قبل از آنکه روکش‌های سطحی در معرض ترافیک قرار بگیرد را تعیین می‌کند. با توجه به اینکه این تست در زمان‌های مختلف تعیین شده در استاندارد انجام می‌شود، در واقع بهترین ترکیب برای زمان بهینه بازشدن ترافیک بر روی آسفالت اجرا شده را نشان می‌دهد. (International Slurry Surfacing Association (ISSA), 2010a).

نمونه را دچار سایش نماید. هرچه مقدار جداشدگی مصالح از سطح نمونه، بیشتر باشد، بیان کننده چسبندگی کم قیر و مصالح سنگی و یا حساسیت زیاد نمونه به رطوبت می‌باشد. چنین نمونه‌ای پس از اجرا در سطح راه و تماس با نیروی سایشی چرخ‌های خودرو دچار گسیختگی و جداشدگی به خصوص در زمان بارندگی خواهد شد (International Slurry Surfacing Association (ISSA), 2010b).

۲-۳- آزمایش چسبندگی در شرایط مرطوب

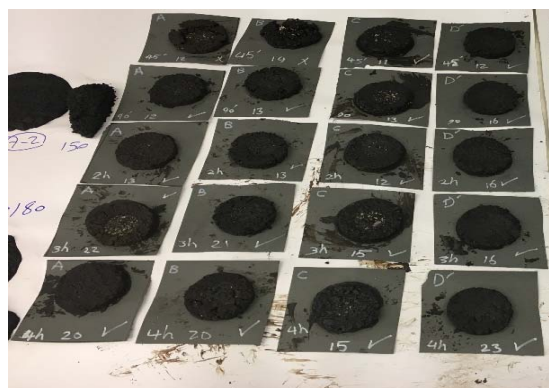
این آزمایش برای تعیین سخت‌شدگی و گیرش اولیه روکش‌های سطحی با استفاده از نیروی گشتاور انجام می‌شود. این آزمایش در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه انجام می‌شود و نمونه‌های تهیه شده از طرح اختلاط میکروسرفیسینگ باید بتواند مقدار نیروی مشخص شده در استاندارد را تحمل نماید. این آزمایش،

۲-۴- سایش مصالح در شرایط مرطوب

این آزمایش به بررسی کیفیت پوشش رویه‌های سطحی در شرایط مرطوب می‌پردازد. این آزمایش میزان حداقل قیر امولسیونی لازم برای میکروسرفیسینگ را تعیین می‌کند. در این آزمایش، نمونه در قالب مشخص ریخته شده و پس از عمل آوری و گیرش در شرایطی که استاندارد به آن اشاره کرده است در حمام آب ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد و دستگاه با استفاده از نیروی سایشی در سطح نمونه، سعی می‌کند که سطح



(ب)



(الف)

شکل ۴. نمونه‌های آزمایش چسبندگی ساخته شده (الف) و دستگاه تست زمان گیرش و چسبندگی (ب)



(ب)



(الف)

شکل ۵. نمونه‌های سایش در شرایط مرطوب مصالح سیلیسی (الف) و نمونه‌های سایش در شرایط مرطوب مصالح آهکی (ب)

۲-۵- آزمایش بارگذاری چرخ

عمل‌آوری شد، در زیر دستگاه بارگذاری چرخ قرار می‌گیرد. اگر نمونه دارای طرح اختلاط نامناسب باشد، پس از اعمال بارگذاری رفت و برگشتی بعد از ۱۰۰۰ سیکل، بروی آن ماسه مخصوص و استاندارد را قرار می‌دهیم و ۱۰۰ سیکل دیگر آزمون را ادامه خواهیم داد سپس اختلاف وزن و عدد ماسه نمایانگر میزان حداکثر قیر در این طرح می‌باشد (International Slurry Surfacing Association (ISSA), 2010b).

هدف آزمایش بارگذاری چرخ، تراکم مخلوط‌های قیری ریزدانه (مانند اسلاری سیل) با استفاده از چرخ لاستیکی دارای وزن مشخص می‌باشد. این آزمایش را می‌توان برای طرح اختلاط پیشنهادی به منظور تعیین حداکثر قیر مورد استفاده در مخلوط-های قیری قرار داد و به طراح این امکان را می‌دهد تا مانع از قیرزدگی شدید آسفالت، تحت بارهای ترافیکی سنگین شود. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود پس از اینکه نمونه ساخته شده در شرایط مشخص شده استاندارد،

۲-۶- آزمایش تعیین میزان عریان شدگی در شرایط مرطوب

قرار گیرد. این موضوعات با آزمایش عریان شدگی در شرایط مرطوب و بر اساس استاندارد ISSA TB 114، انجام می‌گیرد که باید به میزان حدود ۱۰ گرم از مخلوط را به مدت ۳ دقیقه در

پس از تعیین قیر بهینه برای مخلوط‌های اسلاری سیل ساخته شده، باید سازگاری قیر امولسیون با مصالح و همچنین میزان چسبندگی مصالح به یکدیگر توسط قیر امولسیون مورد بررسی

آب در حال جوشیدن قرار دهیم و بعد از آن با قضاوت چشمی میزان جداشدگی قیر از مصالح را اندازه بگیریم که این میزان باید بالای ۹۰ درصد باشد (ISSA TB 114).



(ب)



(الف)

شکل ۶. نمونه‌های آزمایش بارگذاری چرخ مصالح آهکی (الف) و نمونه‌های با مصالح سیلیسی (ب)



شکل ۷. آزمایش عریان شدگی در آب جوشان و نمونه مورد آزمون قرار گرفته

۲-۷-آزمایش تعیین میزان قوام مخلوط

را در جهت عمودی به بالا می‌کشیم و جداشدگی در ۴ نقطه نود درجه بصورت میانگین اندازه‌گیری می‌شود. روش انجام و نمونه‌های آن در شکل ۸ گردیده است (International Slurry Surfacing Association (ISSA), 2010a).

پس از تعیین قیر بهینه به منظور تعیین مقدار عددی میزان قوام مخلوط اسلاری سیل ساخته‌شده، به منظور تعیین توانایی پایداری مخلوط سخت شده تحت شرایط استاندارد را باید تعیین نمود. این موضوع با آزمایش میزان قوام مخلوط و بر اساس استاندارد ISSA TB 106، انجام می‌گیرد بدین صورت که به میزان ۴۰۰ گرم از مصالح خشک و پس از ساخت مخلوط مطابق شکل ۸ درون مخروط استاندارد ریخته سپس آن



(ب)

(الف)

شکل ۸. مخروط انجام آزمایش تعیین میزان قوام مخلوط (الف) و نمونه مخلوط مورد آزمون قرار گرفته (ب)

۳- بحث و تحلیل نتایج

آب بیشتر شده و مخلوط غلیظ و یکنواخت‌تری حاصل شده است و به همین دلیل ذرات امولسیون تمایل کمتری به جداسدن و دوفاز شدن امولسیون خواهند داشت.

متاسفانه در آزمایش ویسکوزیته، هیچکدام از قیرهای ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ و بادرصدهای مختلف تولید، نتوانسته‌اند حداقل مشخصات استاندارد (ویسکوزیته ۲۰ تا ۱۰۰ سانتی استکس) را تامین نمایند.

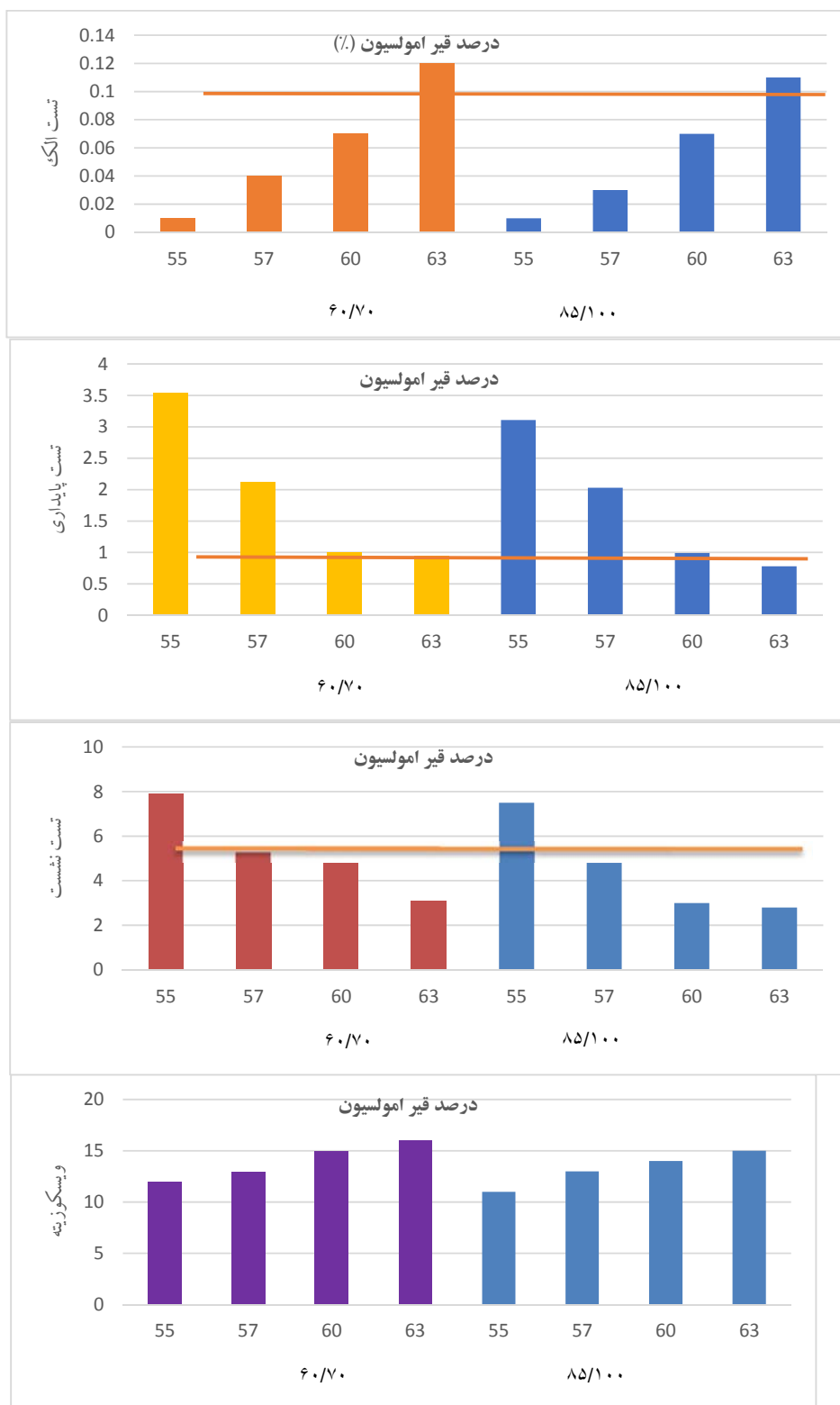
در نمودار شماره ۲ مشاهده می‌شود با افزایش درصد قیر باقیمانده از ۵۷ به ۶۳ درصد در تمام قیرهای امولسیون، زمان شکست امولسیون قیری بیشتر خواهد شد. البته زمان شکست در قیر ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ متفاوت می‌باشد، به طوریکه زمان شکست در قیر ۸۵/۱۰۰ نسبت به قیر ۶۰/۷۰ در شرایط مشابه درصد قیر باقیمانده، کمتر می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که قیرهای با ویسکوزیته (قیر پایه) بیشتر، باعث ایجاد امولسیون پایدارتری خواهند شد و در مواجهه با مصالح سنگی در شرایط مشابه با قیرهای نرم‌تر، دیرتر دچار شکست خواهند شد. این موضوع در مورد استفاده از لاتکس، نتایج معکوسی را نشان می‌دهد و با اضافه شدن لاتکس بیشتر به امولسیون، امولسیون سریع‌تر دچار شکست شده است.

همانطور که پیش‌بینی می‌شد، اضافه کردن میزان امولسیفایر به امولسیون به دلیل وجود بیشتر ذرات امولسیفایر باعث افزایش پایداری امولسیون شده است و در زمان اختلاط قیر امولسیون و مصالح سنگی، قیر امولسیون، در زمان

پس از ساخت نمونه‌های امولسیون با دو نوع قیر ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰، در شرایط مختلف تولید (بادرصد قیرهای مختلف و درصد امولسیفایر مختلف) آزمایش‌های کنترل کیفی مانند تست الک، تست پایداری، تست نشست و ویسکوزیته قیرهای امولسیون مورد بررسی قرار گرفت. لازم به یادآوری است که حدود مشخصات قابل قبول برای استاندارد آزمایش قیر امولسیون، توسط خط نارنجی رنگ مشخص شده است. به طور مثال، مقدار مجاز برای آزمایش پایداری، عدد ۱ درصد می‌باشد که در نمودار مربوط به نتایج این تست، خط نارنجی رنگی روبه روی آن رسم شده است.

همانطور که در نمودار شماره ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش درصد قیر باقیمانده امولسیون از ۵۵ تا ۶۳ درصد، میزان ذرات جامد باقیمانده در تست الک افزایش می‌یابد به طوریکه امولسیون‌هایی که با ۶۳ درصد قیر تولید شده‌اند، نتوانسته‌اند حداقل مشخصات تست الک را پاس کرده و میزان قیر باقیمانده بر روی الک در این تست بیش از ۰/۱ درصد می‌باشد. ولی در مورد امولسیون‌هایی که درصد قیر کمتری داشته‌اند، نتایج قابل قبولی بدست آمده است. ولی این موضوع در مورد تست پایداری، نتایج معکوسی را نشان می‌دهد. یعنی با افزایش درصد قیر باقیمانده امولسیون میزان نشست ذرات امولسیون کمتر شده است. این نتیجه در مورد تست نشست نیز قابل استناد می‌باشد. دلیل این موضوع را می‌توان اینگونه بیان کرد که با افزایش درصد قیر امولسیون، پراکندگی ذرات در داخل

طولانی‌تری دچار شکست شده است. این نتیجه در مورد هر دونوع قیر ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ نتایج تقریباً مشابهی داشته‌است.



نمودار ۱. بررسی اثر میزان قیر موجود در امولسیون بر پارامترهای کنترل کیفی قیر امولسیون



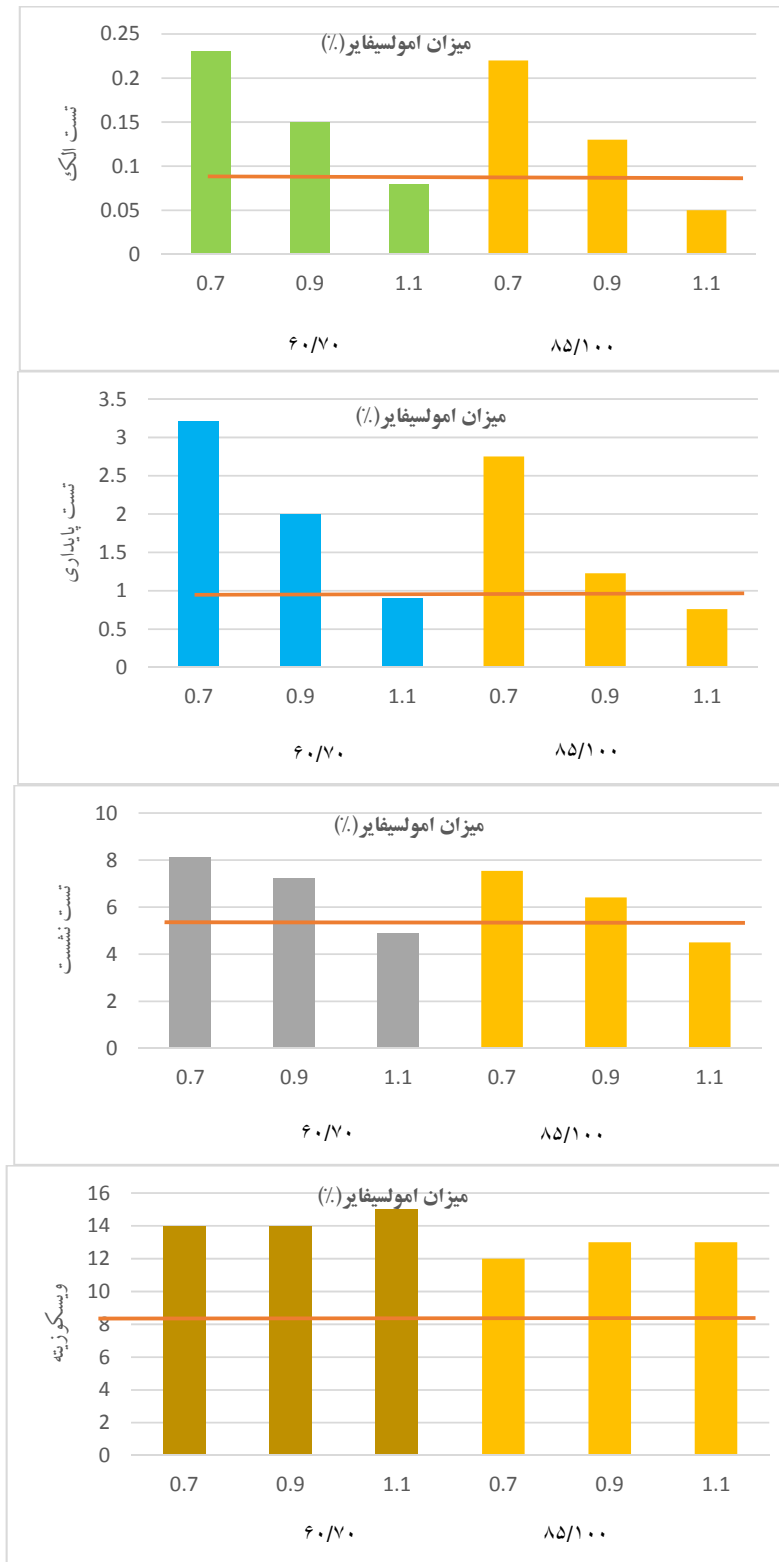
نمودار ۲. بررسی اثر میزان امولسیفایر، درصد قیر باقیمانده و میزان لاتکس بر زمان شکست قیر امولسیون در زمان اختلاط با مصالح سنگی

امولسیفایر امولسیون، میزان نشست ذرات امولسیون کمتر شده- است. دلیل این موضوع را می‌توان اینگونه بیان کرد که با افزایش درصد امولسیفایر، بار موجود بر روی ذرات قیر بیشتر شده و باعث دافعه بیشتر ذرات قیر و در نتیجه امولسیون پایدارتری شده‌است و به همین دلیل ذرات امولسیون تمایل کمتری به جداشدن و دوفازشدن امولسیون و در نتیجه نشست ذرات خواهندداشت. متاسفانه در آزمایش ویسکوزیته، هیچکدام از قیرهای ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ و بادرصدهای مختلف امولسیفایر،

همانطور که در نمودار شماره ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش درصد امولسیفایر استفاده شده در تولید امولسیون از ۰/۷ تا ۱/۱ درصد، میزان ذرات جامد باقیمانده در تست الک کاهش می‌یابد به طوریکه نمونه‌های تهیه شده با امولسیفایرهای ۰/۷ و ۰/۹ درصد، نتوانسته‌اند حداقل مشخصات تست الک را تامین نمایند ولی با افزایش میزان امولسیفایر، میزان ذرات باقیمانده در تست الک، کاهش یافته‌است. این موضوع در مورد تست پایداری و نشست نیز قابل استناد می‌باشد. یعنی با افزایش درصد

که نوع قیر استفاده شده در ایران، نمی‌تواند ویسکوزیته لازم برای امولسیون را تامین نماید.

نتوانسته‌اند حداقل مشخصات استاندارد (ویسکوزیته ۲۰ تا ۱۰۰ سانتی استکس) را تامین نمایند. لذا با توجه به نتایج حاصل از تغییر درصد قیر و تغییر درصد امولسیفایر، می‌توان نتیجه گرفت



نمودار ۳. بررسی اثر میزان امولسیفایر موجود در امولسیون بر پارامترهای کنترل کیفی قیر امولسیون

استاندارد انجام می‌شود، در واقع بهترین ترکیب برای زمان بهینه بازشدن ترافیک بر روی آسفالت اجرا شده را نشان می‌دهد. همانطور که از نتایج مشخص می‌گردد نمونه‌های ساخته شده با مصالح سیلیسی نسبت به آهکی دارای مقاومت کمتری تحت فشار پیچشی هستند هم چنین به زمان بیشتری جهت سخت‌شدگی نسبت به مصالح آهکی دارند که اثبات می‌کند جهت استفاده در پروژه‌های اجرایی به حداقل ۲/۵ ساعت زمان جهت عبور ترافیک نیازمند است.

در آزمون سایش در شرایط مرطوب با توجه به نتایج مندرج در جدول ۴ اینطور مشخص می‌گردد که میزان کنده‌شدگی در نمونه‌های ساخته شده با مصالح سیلیسی مقاومت کمتری نسبت به نوع آهکی داشته که بیانگر این مطلب است در جهت بهبود به میزان قیر بیشتری نسبت به نمونه‌های آهکی دارد. در آزمون بارگذاری چرخ به این نتیجه می‌توان دست یافت که نمونه‌های ساخته شده با مصالح سیلیسی در طول بارگذاری دچار خرابی ترک‌های طولی و تغییر شکل می‌گردد و در نمونه‌های با درصد قیر پایین نسبت به مصالح آهکی بدلیل جذب قیر کمتر دچار شن زدگی و با درصد قیر بالاتر شاهد قیر زدگی هستیم و این نتایج در جدول شماره ۵ گزارش داده شده‌اند. از نتایج بدست آمده در دو آزمون سایش در شرایط مرطوب و بارگذاری چرخ می‌توان نمونه‌های زیر (نمودار ۵) را ترسیم کرد تا درک و بیان نتایج ساده‌تر گردد.

با توجه به نمودار شماره ۴ نیز می‌توان مشاهده کرد که میزان امولسیفایر، درصد لاتکس مورد استفاده و درصد قیر باقیمانده، پس از اختلاط با مصالح سنگی توسط قیر باقیمانده، هم‌انطور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، با اضافه شدن درصد قیر باقیمانده امولسیون، به دلیل وجود قیر بیشتر در واحد حجم امولسیون، قیر باقیمانده بیشتری بر روی مصالح باقی می‌ماند و میزان پوشش قیری افزایش می‌یابد. این نتیجه در مورد هر دو نوع قیر ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ قابل استناد می‌باشد.

با اضافه شدن میزان امولسیفایر، میزان پوشش مصالح سنگی نیز افزایش می‌یابد. دلیل این پدیده، این است که استفاده از امولسیفایر بیشتر در ساختار امولسیون، باعث ایجاد امولسیون پایدارتر و با زمان شکست بیشتری (باتوجه به نمودار ۱) شده که این موضوع منجر به این می‌شود که ذرات قیری، فرصت بیشتری برای چسبندگی به سطح مصالح سنگی داشته و می‌توانند سطح بیشتری از مصالح سنگی را پوشش دهند. همچنین استفاده از لاتکس بیشتر در ساختار امولسیون، باعث چسبندگی بهتر ذرات قیر به مصالح سنگی شده و در نتیجه پوشش بهتری را برای مصالح سنگی ایجاد می‌کند. این موضوع نیز در مورد هر دو نوع قیر ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ قابل استناد می‌باشد.

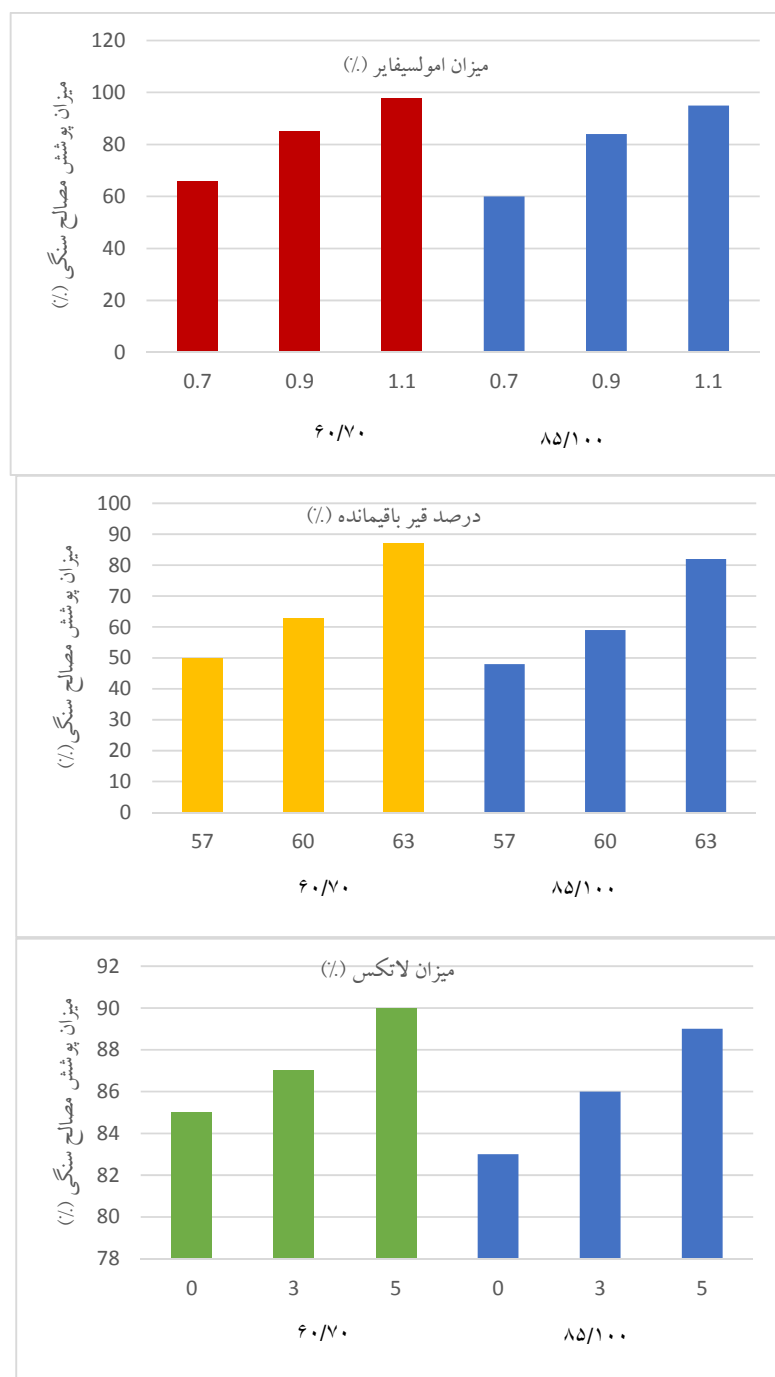
همچنین در مخلوط اسلاری سیل در آزمون چسبندگی با توجه به اینکه این تست در زمان‌های مختلف تعیین شده در

جدول ۴. نتایج آزمون سایش در شرایط مرطوب بروی دو نوع مصالح سیلیسی و آهکی

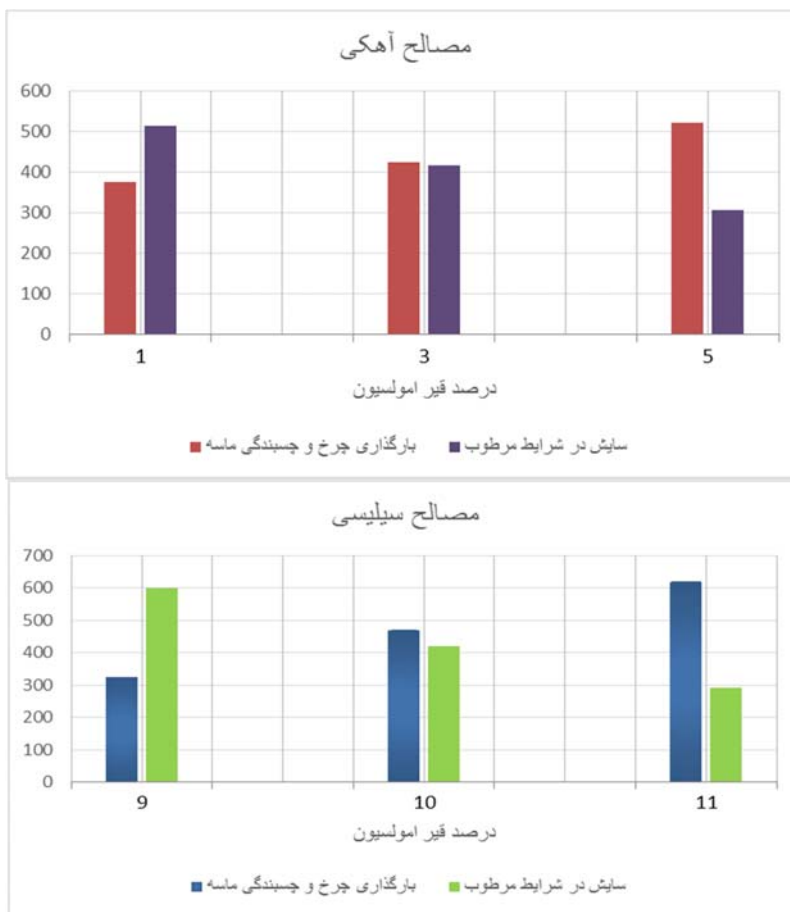
مقدار قیر امولسیون در مخلوط	٪۹/۰	٪۱۰/۰	٪۱۱/۰
کاهش وزن نمونه در اثر سایش نمونه‌های سیلیسی گرم بر متر مربع	۵۸۳	۴۶۲	۳۴۰
کاهش وزن نمونه در اثر سایش نمونه‌های آهکی گرم بر متر مربع	۵۱۲	۴۱۳	۳۰۹

جدول ۵. نتایج آزمون بارگذاری چرخ بروی دو نوع مصالح سیلیسی و آهکی

مقدار قیر امولسیون در مخلوط	٪۹/۰	٪۱۰/۰	٪۱۱/۰
افزایش وزن نمونه در اثر بارگذاری چرخ نمونه‌های سیلیسی گرم بر متر مربع	۳۲۷	۴۷۳	۶۱۶
کاهش وزن نمونه در اثر بارگذاری چرخ نمونه‌های آهکی گرم بر متر مربع	۳۷۲	۴۲۱	۵۲۴



نمودار ۴: بررسی اثر میزان امولسیفایر، درصد قیر باقیمانده و میزان لاتکس بر پوشش قیری مصالح سنگی توسط امولسیون قیری



نمودار ۵. نمودارهای نتایج آزمایش بارگذاری چرخ و آزمایش سایش در شرایط مرطوب

ضریب همبستگی همواره عددی بین +۱ و -۱ می‌باشد. عدد ۱ همبستگی مثبت، ۰ عدم همبستگی و -۱ نیز همبستگی منفی را نشان می‌دهد. بر اساس شیوه‌های آماری ضریب همبستگی برای مقادیر بالاتر از مقدار مطلق ۰/۷ نشان‌دهنده همبستگی نسبتاً قوی بین دو پارامتر و ضریب همبستگی ۰/۴ تا ۰/۷ همبستگی متوسط را نشان می‌دهند. همچنین ضریب همبستگی‌های کمتر از ۰/۴ نشان‌دهنده همبستگی ضعیف یا عدم وجود همبستگی بین دو پارامتر می‌باشد. نتایج همبستگی بررسی اثر میزان قیر موجود در امولسیون بر پارامترهای کنترل کیفی قیر امولسیون در جدول ۶ و نتایج بررسی اثر میزان امولسیفایر موجود در امولسیون بر پارامترهای کنترل کیفی قیر امولسیون در جدول ۷ ارائه شده است. همانطور که از جدول ۶ مشاهده می‌شود، میان تست‌های الک، پایداری، نشست و ویسکوزیته، ضریب همبستگی همه‌ی حالت‌ها برای هر دو قیر مصرفی بیش از ۰/۹ می‌باشد. این نتایج نشان‌دهنده ارتباط قوی

در آزمون قوام نیز نمونه‌های آهکی با درصد قیر امولسیون ۱۰ درصد برابر ۱،۹ و نمونه‌های سیلیسی در حالت مشابه برابر با ۲،۵ بصورت میانگین بدست آمد که نشان‌دهنده اسلامپ بیشتر و روانی کمتر مخلوط با مصلح آهکی در حدود ۳۰ درصد نسبت به نمونه مخلوط با سنگدانه‌های سیلیسی می‌باشد.

۴- تحلیل آماری

امروزه در مهندسی راه بمنظور تحلیل و ارزیابی نتایج آزمایشگاهی، از تحلیل‌های آماری استفاده می‌شود (Goli et al., 2022). در این پژوهش نیز بمنظور ارزیابی نتایج آزمایشگاهی از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. ابتدا بمنظور یافتن ارتباط میان آزمایش‌های الک، پایداری، نشست و ویسکوزیته از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. مقادیر

تحلیل واریانس زمانی تایید می‌شود که تمام میانگین‌ها برابر باشند یا تفاوت معناداری نداشته باشند. فرضیه یک (فرض مقابل) زمانی برقرار است که حداقل میانگین دو گروه با هم اختلاف معنی داری داشته باشند. نتایج ANOVA برای بررسی اثر میزان امولسیفایر، درصد قیر باقیمانده و میزان لاتکس بر زمان شکست قیر امولسیون در زمان اختلاط با مصالح سنگی در جدول ۸ ارائه شده است. همچنین نتایج اثر میزان امولسیفایر، درصد قیر باقیمانده و میزان لاتکس بر پوشش قیری مصالح سنگی در جدول ۹ و نتایج اثر جنس مصالح سنگی بر آزمایش سایش در جدول ۱۰ خلاصه شده است. همانطور که از جداول ۸ تا ۱۰ مشخص است،

P-Value در تمامی حالت‌ها از ۰/۰۵ بزرگتر می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد سطح معناداری در همه این حالت‌ها بیشتر از فرض در نظر گرفته شده بدست آمد. به عبارت دیگر تغییر در پارامترهای مستقل تاثیر معنی داری بر متغیر پاسخ نگذاشته است.

میان تست‌های مذکور می‌باشد. همچنین همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، در این حالت نیز میان تمام آزمایش‌های انجام گرفته بجز میان ویسکوزیته در حالت قیر ۶۰/۷۰ با قیر ۸۵/۱۰۰ همبستگی نسبتاً قوی و مناسبی وجود دارد. از نتایج ضریب همبستگی پیرسون می‌توان نتیجه گرفت برای حالت‌هایی که دارای ضریب همبستگی بالایی می‌باشند، می‌توان با انجام یک آزمایش، سایر عملکرد نمونه‌ها را پیش‌بینی کرد.

در ادامه تاثیر پارامترهای مختلف بر زمان شکست قیر امولسیون در زمان اختلاط با مصالح سنگی، پوشش قیری مصالح سنگی و نتایج آزمون سایش با تحلیل‌های آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور در این تحقیق از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده شد. از تجزیه و تحلیل آماری ANOVA برای بررسی اثر یک متغیر مستقل بر روی یک متغیر پاسخ استفاده می‌شود. در این پژوهش از سطح معنی داری ۰/۰۵ استفاده شد. سطح اطمینان ۰/۰۵ معمولاً در تجزیه و تحلیل آماری استفاده می‌شود. فرض صفر در

جدول ۶. همبستگی میان پارامترهای کنترل کیفی قیر امولسیون براساس میزان قیر موجود در امولسیون

	تست الک ۶۰/۷۰	تست الک ۸۵/۱۰۰	تست پایداری ۶۰/۷۰	تست پایداری ۸۵/۱۰۰	تست نشست ۶۰/۷۰	تست نشست ۸۵/۱۰۰	ویسکوزیته ۶۰/۷۰	ویسکوزیته ۸۵/۱۰۰
تست الک ۶۰/۷۰	۱							
تست الک ۸۵/۱۰۰	۰/۹۹	۱						
تست پایداری ۶۰/۷۰	-۰/۹۱	-۰/۹۱	۱					
تست پایداری ۸۵/۱۰۰	-۰/۹۲	-۰/۹۴	۰/۹۹	۱				
تست نشست ۶۰/۷۰	-۰/۹۵	-۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۴	۱			
تست نشست ۸۵/۱۰۰	-۰/۹۱	-۰/۹۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۴	۱		
ویسکوزیته ۶۰/۷۰	۰/۹۷	۰/۹۸	-۰/۹۴	-۰/۹۷	-۰/۹۲	-۰/۹۳	۱	
ویسکوزیته ۸۵/۱۰۰	۰/۹۵	۰/۹۷	-۰/۹۷	-۰/۹۸	-۰/۹۸	-۰/۹۷	۰/۹۶	۱

جدول ۷. همبستگی میان پارامترهای کنترل کیفی قیر امولسیون براساس میزان امولسیفایر موجود در امولسیون

	تست پایداری ۶۰/۷۰	تست پایداری ۸۵/۱۰۰	تست الک ۶۰/۷۰	تست الک ۸۵/۱۰۰	تست نشست ۶۰/۷۰	تست نشست ۸۵/۱۰۰	ویسکوزیته ۶۰/۷۰	ویسکوزیته ۸۵/۱۰۰
تست پایداری ۶۰/۷۰	۱							
تست پایداری ۸۵/۱۰۰	۰/۹۶	۱						
تست الک ۶۰/۷۰	۰/۹۹	۰/۹۶	۱					
تست الک ۸۵/۱۰۰	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۹	۱				
تست نشست ۶۰/۷۰	۰/۹۶	۰/۸۵	۰/۹۶	۰/۹۶	۱			
تست نشست ۸۵/۱۰۰	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۱		
ویسکوزیته ۶۰/۷۰	-۰/۸۵	-۰/۶۸	-۰/۸۴	-۰/۸۴	-۰/۹۶	-۰/۹۲	۱	
ویسکوزیته ۸۵/۱۰۰	-۰/۸۷	-۰/۹۷	-۰/۸۸	-۰/۸۸	-۰/۷۲	-۰/۷۸	۰/۵	۱

جدول ۸. نتایج آنالیز ANOVA بر زمان شکست قیر امولسیون

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	۴۹۶۷/۵	۵	۹۹۳/۷	۰/۴۲۲	۰/۸۲۴	۳/۱۰
Within Groups	۲۸۲۳۴	۱۲	۲۳۵۲/۸۳			
Total	۳۳۲۰۲/۵	۱۷				

جدول ۹. نتایج آنالیز ANOVA بر پوشش قیری مصالح سنگی

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	۱۵۹۴/۳	۵	۳۱۸/۸۵	۱/۵۳	۰/۲۵	۳/۱۱
Within Groups	۲۴۹۶	۱۲	۲۰۸			
Total	۴۰۹۰/۳	۱۷				

جدول ۱۰. نتایج آنالیز ANOVA بر آزمایش سایش

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	۶۵۱۶/۶۶	۳	۲۱۷۲/۲	۰/۱۶	۰/۹۱	۴/۰۶
Within Groups	۱۰۳۹۳۳/۳۳	۸	۱۲۹۹۲			
Total	۱۱۰۴۵۰	۱۱				

۵- نتیجه گیری

نوع قیر (۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰)، میزان امولسیفایر، درصد قیر باقیمانده و میزان لاتکس، مدت زمان شکست امولسیون در مواجهه با مصالح سنگی و همچنین میزان پوشش قیری مصالح سنگی توسط قیر امولسیون مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش لاتکس مشخص شد که در قیر ۶۰/۷۰ میزان پوشش قیری به میزان ۵ درصد و در قیر ۸۵/۱۰۰ به میزان ۷

امروزه استفاده از قیر امولسیون بجای قیرهای محلول، مورد توجه ویژه قرار گرفته است و استفاده بیشتر از این قیرها، در پروژه‌های راهسازی کشور روبه گسترش می‌باشد. قیر امولسیون در واقع ترکیب قیر، آب و ماده امولسیفایر می‌باشد. ولی نسبت ترکیب این مواد، نقش بسیار مهمی در رفتار و عملکرد این نوع قیرها دارد. در این تحقیق با تغییر پارامترهای

۱- مصالح سیلیسی در تست چسبندگی مقاومت پائینی در فشار پیچشی اعمال شده تحت آچار تورکتر نسبت به نمونه‌های مشابه در مصالح آهکی داشته و بیانگر این مطلب است که به زمان بیشتری جهت رسیدن به سخت‌شدگی نهایی در سطح راه دارد که نشان‌دهنده برگاوا و همکاران نیز به در تحقیق خود به آن اشاره دارند (Bhargava et al., 2021).

۲- در نمونه‌های ساخته شده با مصالح آهکی می‌توان بیان کرد که نیاز به استفاده مقدار قیر کمتری نسبت به مصالح دیگر مشاهده می‌گردد و این می‌تواند شامل صرفه‌جویی در هزینه‌های یک پروژه اجرایی گردد.

۳- در نمونه‌های ساخته شده با مصالح سیلیسی شاهد کاورینگ کمتری نسبت به نوع دیگر بودیم که باید از مقدار بیشتری امولسی فایر در آن استفاده کرد که می‌تواند تا حدی این مشکل را بهبود ببخشد که محسن ابوطالبی و همکارش نیز دلالت به این نتایج داشته‌اند (Esfahani and Khatayi, 2022).

۴- جهت بهبود در استحکام مخلوط میکروسرفیسینگ با جنس مصالح سیلیسی نسبت به آهکی نیاز هست تا از فیلر معدنی بیشتری استفاده شود و در برآورد مالی طرح‌های اجرایی استفاده از مصالح آهکی هزینه بیشتری به نسبت مصالح سیلیسی خواهد داشت.

درصد بهبود پیدا کرده است همچنین با افزودن میزان امولسیفایر از ۰.۷ به ۱.۱ درصد در هر دو نوع قیر پایه ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ زمان شکست امولسیون حدود ۱۰۰ درصد افزایش پیدا کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از لاتکس بیشتر، زمان شکست را کاهش داده ولی پوشش قیری مصالح را افزایش داده است. همچنین استفاده از امولسیفایر بیشتر و درصد قیر باقیمانده بیشتر، باعث افزایش زمان شکست و پوشش قیری بیشتر مصالح سنگی گردید. اگرچه نتایج بدست آمده از نظر مقدار عددی برای دونوع قیر ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ متغیر بود ولی روند ثابتی برای هر دونوع قیر بدست آمد.

همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش درصد قیر امولسیون، نتایج آزمایش الک به میزان بدتر ولی نتایج آزمایش‌های نشست و پایداری بهبود یافته است. همچنین مشخص شد که استفاده از امولسیفایر بیشتر، آزمایش‌های الک، پایداری و نشست را بهبود داده است. نتایج آزمایش‌های انجام شده، نشان داد که هیچکدام از نمونه‌های تهیه شده با درصد قیر و درصد امولسیفایر متفاوت و استفاده از هر دو نوع قیر ۶۰/۷۰ و ۸۵/۱۰۰ نتوانسته‌اند، نتایج مورد نظر استاندارد در مورد آزمایش ویسکوزیته را تامین نمایند.

۶- مراجع

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی - موسسه فرهنگی نشر فن آریا.

-رضائی، حامد؛ محسن صادقیان؛ حامد معتمدی؛ ایمان ترابی و محمد ورشوی، (۱۳۹۶). نحوه استفاده از روکش آسفالت میکروسرفیسینگ و مقایسه اقتصادی آنها دیگر آسفالت‌های حفاظتی، نهمین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی - موسسه فرهنگی نشر فن آریا.

-دارش، ریحانه کاوسی، امیر (۱۴۰۱). ارزیابی تاثیر استفاده از الیاف بر عملکرد آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ. فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل.

-دیواندری حسن؛ محمد حیدری محمد؛ زال نژاد مهدی (۱۴۰۰). مشخصات عملکردی مخلوط میکروسرفیسینگ حاوی پودر سرباره فولاد کوره اکسیژنی به‌عنوان جایگزین فیلر طبیعی. دانشگاه سمنان.

-گلی، احمد. اکبری مرزناک، طه. (۱۳۹۲). معرفی آسفالت‌های حفاظتی. چاپ اول. انتشارات مشق شب.

-زال‌نژاد، مهدی و ابراهیم حسامی، (۱۳۹۶). ارزیابی آزمایشگاهی تاثیر استفاده از مصالح سرباره فولادی بر مشخصات چسبندگی و شیارشدگی آسفالت حفاظتی میکروسرفیسینگ، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر، تهران، دانشگاه اسوه، دانشگاه شهید بهشتی.

-عامری، محمود. افتخارزاده، فرهاد. (۱۳۹۱). مدیریت روسازی راهها و فرودگاه‌ها و محوطه‌های پارکینگ. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

-صاحب‌الزمانی، سید حمیدرضا؛ سید رسول فاضلی؛ سید محمدحسن صاحب‌الزمانی و رضا قدیم، (۱۳۹۶). بررسی اثر نوع لاتکس و امولسیفایر استفاده شده در طراحی مخلوط میکروسرفیسینگ، نهمین همایش قیر و آسفالت ایران. تهران،

- International Slurry Surfacing Association (ISSA), (2010). Micro-surfacing: pavement resurfacing. ISSA TB 114. 2010. *International Slurry Surfacing Association*.
- International Slurry Surfacing Association (ISSA), (2010). Micro-surfacing: pavement resurfacing. ISSA TB 106. 2010. *International Slurry Surfacing*.
- James, A. (1998). Asphalt emulsions (chemistry and concepts). In 2nd Asphalt technology conference of the Americas. Austin, Texas.
- Kumar, R., and Ryntathiang, T. L. (2016). New laboratory mix methodology of microsurfacing and mix design. *Transportation Research Procedia* 17, 488-497.
- Poursoltani, M., and Hesami, S. (2020). Performance evaluation of microsurfacing mixture containing reclaimed asphalt pavement. *International Journal of Pavement Engineering* 21, 1491-1504.
- Robati, M., Carter, A., and Perraton, D. (2013). Evaluation of test methods and selection of aggregate grading for type III application of micro-surfacing. *The International Journal of Pavement Engineering & Asphalt Technology (PEAT)*.
- Robati, M., Carter, A., and Perraton, D. (2015). Evaluation of a modification of current microsurfacing mix design procedures. *Canadian Journal of Civil Engineering* 42, 319-328.
- Robinson, R., Danielson, U., and Snaith, M. S. (1998). Road maintenance management: concepts and systems. *Springer*.
- Verlhac, P., Verzarro, F., Calderon, F. L., Potti, J., and Eckmann, B. (2002). Characterisation of Bituminous Emulsions: Particle Size Distribution and Amount of Residual Emulsifier. Paper 1C-172. In *Proc., 3rd World Congress on Emulsions*. Lyon, France.
- Wang, A., Shen, S., Li, X., and Song, B. (2019). Micro-surfacing mixtures with reclaimed asphalt pavement: Mix design and performance evaluation. *Construction and Building Materials* 201, 303-313.
- Ye, Y., Guo, J., and Hou, F. (2017). Effects of Aggregate Gradation on Drying Micro-Surfacing added by Waste Rubber Powders. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 216, 012030. *IOP Publishing*.
- Bashar, M. Z., Elseifi, M. A., Mousa, M. R., Zhang, Z., and Gaspard, K. (2019). Optimizing the performance of microsurfacing treatments in flexible pavements and assessing its effects on moisture damage. *Transportation Research Record* 2673, 217-229.
- Bhargava, N., Siddagangaiah, A. K., and Ryntathiang, T. L. (2021). Systematic approach to address challenges in microsurfacing mix design. *Construction and Building Materials* 270, 121759.
- Boussad, N., and Martin, T. (1996). Emulsifier content in water phase and particle size distribution: Two key-parameters for the management of bituminous emulsion performance. In *Eurasphalt & Eurobitume Congress, Strasbourg, 7-10 May 1996*. Vol. 3. *Paper E&E*. 6.159.
- D244, A. (2009). Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts. *Annual Book of Standards*.
- Durand, G. (1994). Manufacturing Process And Emulsion Properties. In *21st Annual Meeting of the Asphalt Emulsion Manufacturers Association*.
- Esfahani, M. A., and Khatayi, A. (2022). Effect of type and quantity of emulsifier in bitumen polymer emulsion on microsurfacing performance. *International Journal of Pavement Engineering* 23, 957-971.
- Goli, A., Emadi, H., and Sadeghi, P. (2022). Investigating the effect of using steel slag on abrasion resistance of roller-compacted concrete pavement. *Innovative Infrastructure Solutions* 7, 297.
- International Slurry Surfacing Association (ISSA). Micro-surfacing: pavement resurfacing. Annapolis, Md, USA. *Technology. Sixth Ed., Butterworth-Heinemann, Oxford*.
- International Slurry Surfacing Association (ISSA), (2010). Micro-surfacing: pavement resurfacing. ISSA TB139. *International Slurry Surfacing Association*.
- International Slurry Surfacing Association (ISSA), (2010). Micro-surfacing: pavement resurfacing. ISSA TB 100. 2010. *International Slurry Surfacing Association*.
- International Slurry Surfacing Association (ISSA), (2010). Micro-surfacing: pavement resurfacing. ISSA TB 109. *International Slurry Surfacing Association*.

Investigation of Emulsion Bitumen Production Projects and Changing the Type of Materials on the Performance of Slurry Seal Mixture

*Ali Latifi, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,
Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

*Parham Hayati, Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering,
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*

Ahmad Goli, Department of Civil Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

E-mail: p.hayati@modares.ac.ir

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

One of the main parameters in determining the effectiveness and quality of the emulsion is the degree of adhesion and coating of stone materials as well as its failure time. In this research, by changing various parameters, including: the amount of residual bitumen, the percentage of emulsion added to the materials, the amount of latex and its production in the laboratory plant (EmoLab), the amount of coating of stone materials, and the failure time in contact with stone materials for two types of basic bitumen 70/60 and 100/85 have been investigated. Also, the effect of different parameters of the bitumen emulsion, such as the type of bitumen, the percentage of residual bitumen, and the amount of emulsifier used in the production of emulsion, on qualitative tests such as sieve test, viscosity, stability, and settlement of the emulsion bitumen were investigated. In this research, an attempt has been made to investigate the effect of two different types of siliceous and lime materials and their effect on the properties of silt slurry mixture. The results showed that the use of more latex reduced the failure time by about 23%, but the bituminous coating of the materials increased by about 5%. Also, the use of emulsifier and more residual bitumen increased the failure time by 100% and improved the bituminous coating of stone materials by 76%. Also, inferring from the results of the tests, the use of silica materials in the adhesion test requires more time for hardening. Also, siliceous materials have less resistance than limestone materials. Also, the resistance of siliceous materials in the wear test in wet conditions is about 22% lower and in the wheel loading test about 25% lower than limestone materials. In the consistency test of slurry silt mixture, it was also determined that limestone materials have more slump and less fluidity around 30%.

Keywords: Protective Asphalt, Slurry Seal, Emulsion Bitumen, Lime Materials, Siliceous Materials