

اثر سیمان در کاهش حساسیت مخلوطهای آسفالتی گرم به رطوبت

محمد رضا الیاسی (مسئول مکاتبات)، کارشناس ارشد، مربی، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

علیرضا باقریه، استادیار، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

مسعود جیلانچی، کارشناس ارشد، مربی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه زابل، زابل، ایران

E-mail: eliasy_mr@Yahoo.com

پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۵

دریافت: ۹۱/۰۵/۰۵

چکیده

رطوبت به عنوان یکی از عوامل عریان شدگی آسفالت مطرح است. از بین بردن یا کاهش آثار رطوبت بر مخلوطهای آسفالتی گرم از مهم‌ترین مسائل متداول روسازی بوده و یکی از راههای حصول به این هدف، استفاده از مواد مختلف در ساخت آسفالت است. در این زمینه می‌توان از سیمان پرتلند به عنوان ماده جایگزین فیلر در مخلوط آسفالتی استفاده کرد. در این مقاله، نتایج یک پژوهش آزمایشگاهی برای بررسی اثر سیمان در کاهش حساسیت آسفالت به رطوبت ارایه می‌شود. در آزمایشهای انجام شده در این تحقیق اثر مدت زمان استغراق و مجاورت مخلوط آسفالتی گرم در برابر رطوبت ارزیابی شد. این نتایج نشانگر آن است که تأثیر سیمان در افزایش مقاومت مخلوط آسفالتی گرم در برابر رطوبت تابع زمان است و این افزایش در زمانهای اولیه پس از اختلاط قابل توجه نیست. سیمان آثار مناسبی در کاهش حساسیت دراز مدت آسفالت به رطوبت دارد و این پدیده را می‌توان به زمان مند بودن واکنشهای شیمیایی نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: بتن آسفالتی گرم، سیمان پرتلند، حساسیت در برابر رطوبت، مقاومت، زمان.

۱. مقدمه

است که با وجود تأثیر این عامل حتی با اصلاح نوع قیر نیز نمی‌توان این حساسیت را کاهش داد. سنگدانه‌های با مقدار سیلیس زیاد (سنگدانه‌های اسیدی و غنی از کوارتز) به سختی با قیر پوشانده می‌شوند، به همین دلیل پتانسیل عریان شدگی آنها از سنگدانه‌های دارای کربنات زیاد (سنگ آهک) بیشتر است [Putman and Amir Khanian, 2006; Graf, 1986]. هیکنز^۱ (۱۹۹۱) جمع بندی کاملی از خرابیهای ناشی از رطوبت ارائه کرد [Hicks, 1991]; روسازیهای مسأله‌دار تحت ترافیک زیاد، مسلماً در مقایسه با حالت کم ترافیک، زودتر در معرض خرابی قرار می‌گیرند؛ همچنین مخلوطهای متراکم شده با درصد حفرات هوای زیاد نیز بیشتر از روسازیهایی که با نسبت هوای کمتری متراکم شده‌اند، مستعد خرابی هستند؛ مخلوطهای آسفالتی با دانه‌بندی باز در اثر پدیده عریان شدگی دچار خرابی زود هنگام می‌شوند. در اینگونه موارد، زوال روسازی در هفته‌های اولیه پس از اجرای روسازی رخ می‌دهد.

مخلوطهای آسفالتی همواره با مشکلات زیادی در اثر عریان شدگی و جدا شدن قیر از سنگدانه‌ها مواجه هستند. آب (رطوبت) می‌تواند به روشهای مختلفی شامل جابجایی، جدایی، فشار حفراهی و غیره موجب عریان شدگی شود [Kavussi et al., 1990]. برای برطرف کردن مواردی از این دست، از موادی که باعث بهبود چسبندگی می‌شوند، استفاده می‌شود. تعدادی از این مصالح عبارتند از: آهک هیدراته شده، سولفور، آنتی اکسیدانها، مواد ضد عریان شدگی، لاستیک، کربن (دوده) و گستره‌ای از پلیمرها. کاربرد آهک در کاهش قابل توجه حساسیت مخلوطهای آسفالتی به رطوبت مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. [Alkhatib and Alkharas, 2011]

[Bah and Mehmet, 2009; Little and Epps, 1993; Hitti and Wetzel, 2003]

علاوه بر آن می‌توان به استفاده از مواد غیر آلی نظیر سیمان پرتلند، سرباره و پودر آجر در جهت کاهش حساسیت به رطوبت اشاره کرد [Huang et al. 2010; Chen et al. 2011]. الخطیب و الاخرس^۲ (۲۰۱۱) به بررسی اثرات افزودن سیمان بر خصوصیات

خرابیهای ناشی از رطوبت برای اولین بار در اوایل قرن بیستم میلادی مشاهده شد و تاکنون به عنوان یکی از اصلی ترین عوامل مخرب روسازیهای آسفالتی مطرح است [Kiggundu and Roberts, 1988]. یکی از اثرات مهم رطوبت کاهش مقاومت در طی زمان است که می‌تواند موجب خرابیهای سطحی نظیر شیار خوردگی، اعوجاج، کشیدگی و ترک خوردگی ناشی از خستگی در آسفالت شود.

[Xiao et al. 2007, 2009; Kringos et al. 2008; Caro et al. 2008]

مکانیزمهای خرابی ناشی از رطوبت هنوز به طور قطعی و دقیق مشخص نشده‌اند، اما عواملی مانند نوع قیر، مشخصات سنگدانه، طرح اختلاط آسفالت، نحوه اجرا، کنترل کیفیت، خصوصیات آب، ماهیت دینامیکی بارگذاری ترافیکی و نوع و مشخصات مواد افزودنی ضد عریان شدگی بر وقوع و میزان خرابیهای رطوبتی مؤثرند [Huang et al. 2010]. کارو و همکاران (۲۰۰۸) مرور بسیار خوبی بر عوامل مؤثر بر این پدیده ارائه کرده‌اند. رطوبت موجب کاهش چسبندگی بین سنگدانه‌ها و ماستیک آسفالت (مخلوط سنگدانه‌های زیر الک ۲۰۰ و قیر) می‌شود؛ همچنین میتواند موجب کاهش مقاومت چسبندگی ماستیک آسفالت گردد [Huang et al. 2010, Roberts et al. 1996]. از بین بردن کامل رطوبت در روسازی تقریباً غیر ممکن است و همواره تلاش بر این است که حساسیت آسفالت نسبت به رطوبت کاهش یابد. آسفالت در واقع یک نوع بتن است که در آن از قیر (سیمان آسفالتی) برای چسباندن سنگدانه‌ها استفاده می‌شود. از بین رفتن اتصال بین سنگدانه‌ها و قیر موجب ایجاد فاصله بین آنها گردیده که این پدیده به عنوان عریان شدگی آسفالت شناخته می‌شود. رطوبت موجب اختلال در اتصال بین سنگدانه‌ها و قیر شده و در چنین شرایطی سنگدانه‌ها بر اثر بار ترافیکی سنگین از آسفالت جدا می‌شوند. عریان شدگی منجر به کاهش تدریجی مقاومت در مرور زمان می‌شود. اصلی‌ترین عامل کنترل‌کننده حساسیت به آب، خصوصیات سنگدانه‌ها

اثر سیمان در کاهش حساسیت مخلوطهای آسفالتی گرم به رطوبت

[2008;Mehrra and Khodaii, 2013]

الف) آزمایشهایی که بر روی مخلوطهای سست انجام می‌گیرند؛
ب) آزمایشهای مخرب مکانیکی شامل آزمایشهایی مانند تعیین غیر مستقیم مقاومت کششی، شاخص تغییر شکل دائمی و شاخص خستگی؛

ج) آزمایشهای غیر مخرب مکانیکی بر بتن آسفالتی؛

د) آزمایشهای مبتنی بر روشهای انرژی؛

ه) آزمایشهای غیر مخرب مکانیکی مانند تعیین نفوذپذیری و اندازه‌گیری سرعت امواج.

مراحل اصلی آزمایشهای حساسیت را می‌توان به این ترتیب عنوان کرد: تراکم مخلوط آسفالتی در میزان هوای خاص که مشابه شرایط واقعی اجرای آسفالت است؛ در مرحله بعد اطمینان از اینکه نمونه در مجاورت آب قرار گرفته است (به عنوان مثال استفاده از روش اشباع با خلاء) و قرار دادن نمونه در معرض شرایط آب و هوایی مانند انجماد در سیکل‌های ذوب-انجماد.

از آنجایی که آزمایشهای رایج فعلی برای ارزیابی افزودنیها بر مخلوط آسفالتی گرم عمدتاً بر مبنای مقاومت کوتاه مدت استوارند (از جمله AASHTO T 283)، در حال حاضر ارتباط مستقیمی بین نتایج آزمایشگاهی و عملکرد واقعی روسازی در محل وجود ندارد. شایان ذکر است که عملکرد دراز مدت روسازی علاوه بر حساسیت به رطوبت به عوامل دیگری مانند خستگی ناشی از بارهای ترافیکی نیز وابسته است. در حال حاضر نیاز به تدوین یک روش مطمئن آزمایشگاهی که بتواند جنبه‌های مختلف رفتاری روسازی را ارزیابی کند وجود دارد. در صورت وجود چنین آزمایشی می‌توان با دقت قابل توجهی اثر مواد افزودنی را بر کارایی دراز مدت روسازی سنجید. در آزمایشهای انجام شده در این تحقیق، اثر سیمان به عنوان یک جایگزین فیلر در کاهش حساسیت به رطوبت مخلوط آسفالتی گرم مطالعه شده است. خصوصیات مهندسی نمونه‌ها بر اساس نسبت پایداری مارشال تعیین و علاوه بر آزمایشهای مرسوم، اثر استغراق و عمل آوری دراز مدت نمونه‌ها نیز بررسی شده است.

قبر پرداختند؛ همچنین موانزا و همکاران^۳ (۲۰۱۲) اثرات استفاده از سیمان پرتلند و آهک به عنوان فیلر را بر انسجام ماستیک آسفالتی بررسی کردند. [Alkhatib and Alkharas, 2011,]
[Mwanza, Hao and Wang, 2012]
کاندال و همکاران^۴ (۲۰۰۱) در مورد استفاده از مواد ضد عریان شدگی به نتایج زیر رسیدند:

- زهکشی مناسب روسازی ضروری است چرا که اشباع آسفالت یکی از عوامل اصلی عریان شدگی است.

- زمانیکه زهکشی لایه زیرین روسازی مناسب نیست رطوبت و یا بخار آب در اثر موینگی به بالا حرکت کرده و آسفالت را اشباع می‌کند. در صورت اشباع آسفالت، وقوع عریان شدگی محتمل خواهد بود.

- عریان شدگی در اثر سر خوردن مکانیکی قبر از روی مصالح سنگی به علت اضافه فشارهای آب حفره‌ای سیکلی فوق‌العاده ناشی از عبور ترافیک سنگین رخ می‌دهد، در صورتی که آسفالت از سنگدانه‌های حساس به عریان شدگی تشکیل شده باشد، پتانسیل عریان شدگی افزایش می‌یابد. [Kandhal et al, 2001]
متأسفانه برای تعیین حساسیت آسفالت به رطوبت، روش مورد قبول همه جوامع علمی وجود ندارد. [McGuinness et al, 1981]. در اواخر دهه هفتاد و اوایل دهه هشتاد پروژه‌های NCHRP برای اصلاح آزمایشهای حساسیت در برابر آب آغاز شد. آزمایشهای فعلی ASTM و AASHTO بر مبنای همین تحقیقات استوار است [AASHTO T 283 and ASTM D] [4867].

آزمایشهای دیگری نیز برای تعیین حساسیت مخلوطهای آسفالتی گرم و سایر انواع حساسیت آسفالت به آب تدوین شده‌است. اغلب آزمایشها برای مرحله طرح اختلاط تدوین شده‌اند و به عنوان تستهای کنترل کیفیت آسفالت طرح ریزی نشده‌اند. در حال حاضر داده‌های کافی برای یافتن نوعی ارتباط تجربی بین نتایج اینگونه آزمایشها و عملکرد واقعی روسازی وجود ندارد. آزمایش‌های مربوط به ارزیابی حساسیت در برابر آب را می‌توان به گروه‌های اصلی ذیل طبقه بندی کرد: [Caro et al.]

۲. مصالح و روند آزمایش

۱-۲ مصالح

سنگدانه‌های استفاده شده برای ساخت آسفالت در این تحقیق، از معدن آق حصار در شمال شرقی شهرستان همدان تهیه شد، مطالعات زمین شناسی معدن نشانگر آن است که مصالح معدن از نوع رسوبات کربناته ژوراسیک است که دارای مقدار نسبتاً زیادی منیزیوم بوده و ترکیب کانی شناسی آن به دولومیت گرایش دارد. مصالح سنگی از نوع مصالح شکسته بوده و بر دانه بندی مصالح رویه با دانه بندی پیوسته تیپ IV نشریه ۱۰۱ سازمان برنامه منطبق است، درصد افت لس آنجلس مصالح مورد استفاده بر اساس استاندارد برابر ۱۹ و جذب آب آن ۱/۱ درصد است. در این پژوهش، از قیری با نفوذ ۸۵-۱۰۰ و درجه اشتعال ۲۳۵ درجه سانتی گراد در بتن آسفالتی استفاده شده و از سیمان تیپ II کارخانه سیمان هگمتان به عنوان یک ماده جایگزین فیلر ضد عریان شدگی در ساخت بتن آسفالتی گرم استفاده شده است. برای تعیین درصد قیر بهینه (۴/۹۰) از هر مخلوط نمونه‌های مارشال تهیه شد. تراکم نمونه‌های مارشال استوانه‌ای با ابعاد ۱۰۱/۶ در ۶۳/۵ میلیمتر با استفاده از ابزار مکانیکی تراکم مارشال صورت گرفت و به هر یک از وجوه نمونه‌ها، ۷۵ ضربه در دمای ۱۳۵ درجه سانتیگراد وارد شد.

۲-۲ تعیین تأثیر آب بر مقاومت مخلوطهای متراکم شده آسفالتی

در این تحقیق از روش استاندارد AASHTO T283 برای تعیین تأثیر آب بر مخلوطهای متراکم شده آسفالتی استفاده شد که این آزمایش برای تعیین کاهش مقاومت فشاری مخلوطهای متراکم شده آسفالتی در اثر آب بکار می‌رود. در این آزمایش با مقایسه مقاومت آسفالت تازه و آسفالت عمل‌آوری شده در آب، یک شاخص عددی کاهش مقاومت به دست می‌آید؛ همچنین مقاومت زوج نمونه‌هایی که در آب تحت شرایط خاصی عمل‌آوری شده‌اند، اندازه‌گیری می‌شود.

یک حمام آب اتوماتیک با گنجایش کافی برای استغراق تمام

نمونه‌ها بکار گرفته شد که از ویژگیهای لازم آن فراهم آوردن شرایط دمایی دقیق و یکنواخت در نمونه‌ها با دقت یک درجه است که در این پژوهش دمای ۶۰ درجه سانتیگراد برای نگهداری نمونه‌ها جهت آزمایش فشاری مد نظر بوده است. باید توجه شود که در ساختمان حمام آب می‌بایستی از فلزاتی مانند مس، فولاد ضد زنگ یا هر ماده غیرواکنش‌زای دیگری استفاده شده باشد. آبی که برای نگهداری و عمل‌آوری نمونه‌ها استفاده می‌شود، باید مقطر و یا آب تصفیه شده بدون الکترولیت باشد. در این تحقیق حمام آب پس از انجام هر سری از آزمایش خالی شده و برای فرآیند عمل‌آوری بعدی مجدداً پر شده است.

از هر مخلوط نمونه‌های مارشال تهیه شده و تراکم این نمونه‌های استوانه‌ای با قطر ۱۰۱/۶ و ارتفاع ۶۳/۵ میلیمتر با استفاده از ابزار مکانیکی تراکم مارشال صورت گرفت و به هر یک از وجوه نمونه‌ها ۷۵ ضربه در دمای ۱۳۵ درجه سانتیگراد وارد شده است. همه نمونه‌ها برای تعیین درصد قیر بهینه (۴/۹۰) تهیه شدند که تعدادی از آنها بدون سیمان و تعدادی دیگر با درصدهای مختلف سیمان اصلاح شده‌اند. لازم به ذکر است که در طرح اختلاط در این تحقیق مقدار فیلر ۷ درصد بوده که برای نمونه‌های اصلاح شده، درصدی از فیلر کاسته و به ازای آن مقدار سیمان به طرح اختلاط اضافه شد.

دو نمونه از چهار نمونه ساخته شده در هر سری آزمایش، برای ارزیابی مقاومت مارشال بدون تأثیرات رطوبت (نمونه‌های عمل‌آوری نشده) و دو نمونه دیگر برای ارزیابی مقاومت تحت اثر رطوبت در نظر گرفته شدند. گروه اول از نمونه‌ها (نمونه‌های عمل‌آوری نشده) به مدت ۳۵ دقیقه در آب ۶۰ درجه سانتیگراد نگهداری شده سپس با نرخ ۲ اینچ بر دقیقه به روش ASTM 10754-D بارگذاری شدند و به این طریق شاخصهای پایداری و جریان در آن اندازه‌گیری شده است. نمونه‌های دسته دوم نیز برای عمل‌آوری به مدت ۲۴ ساعت یا بیشتر در حمام آب ۶۰ درجه قرار داده شد، آنگاه شرایط بارگذاری مشابه نمونه‌های عمل‌آوری نشده بر آنها اعمال شد. شاخص پایداری مارشال برای هر دسته از نمونه‌ها به وسیله رابطه زیر محاسبه شد:

$$MSR = 100 \times (MS_{cond} / MS_{uncond}) \quad (1)$$

اثر سیمان در کاهش حساسیت مخلوطهای آسفالتی گرم به رطوبت

مخلوطهای آسفالتی گرم، آزمایش ذوب - انجماد بر اساس استاندارد ASTM D4867 است که بر اساس آن یک یا چند سیکل ذوب و انجماد برای شبیه سازی اثرات مخرب رطوبت بر نمونه های مخلوط آسفالتی گرم اعمال میشود. در این پژوهش تعدادی از نمونه هایی که به مدت پنج روز در آب عمل آوری شده بودند، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۸- درجه سانتیگراد منجمد شده، پس از ذوب تحت آزمایش پایداری مارشال قرار گرفتند، جدول شماره ۳ خلاصه ای از نتایج این آزمایش را نشان می دهد.

۳. نتایج

ابتدا به بررسی تأثیر سیمان بر پایداری کوتاه مدت نمونه ها که در آن مدت عمل آوری (استغراق) نمونه ها کوتاه (۲۴ ساعت) بوده است پرداخته می شود. در شکل ۱ نسبت MSR برای نمونه های مختلف با درصد های متفاوت سیمان در مقایسه با نمونه شاهد (بدون سیمان) نشان داده شده است. همانگونه که از این شکل می توان استنباط کرد، بین نسبت مقاومت ۲۴ ساعته نمونه های تثبیت شده با سیمان و نمونه های بدون سیمان تفاوت چندانی وجود ندارد. شکل همچنین تأثیر میزان سیمان بر MSFR بتن آسفالتی را پس از عمل آوری ۲۴ ساعته نمونه ها در آب نشان می دهد، با استفاده از این شکل نیز می توان گفت تأثیرات کوتاه مدت افزودن سیمان بر کاهش حساسیت در کوتاه مدت قابل نظر کردن است. همچنین شکل ۲، نسبت پایداری مارشال برای نمونه هایی که با درصد های متفاوت سیمان ساخته شده با عمل آوری کوتاه مدت را نشان می دهد که در این شکل نیز همانند شکل قبلی نمی توان تأثیر قابل توجهی را مشاهده کرد. در جدول ۱ خلاصه ای از شرایط و نتایج آزمایش های انجام شده برای ارزیابی تأثیر سیمان بر پایداری کوتاه مدت آسفالت در برابر آب ارائه شده است.

با توجه به این نتایج دو فرضیه برای چگونگی تأثیر سیمان بر مخلوط آسفالتی قابل بیان است، اول اینکه سیمان تأثیر قابل توجهی بر میزان حساسیت مخلوط آسفالتی به رطوبت ندارد و فرضیه دوم این است که با آزمایش های متداول که زمان استغراق ۲۴ ساعته را برای ارزیابی حساسیت به رطوبت در نظر می گیرند،

که در آن MSR شاخص پایداری مارشال، MS_{cond} و MS_{uncond} به ترتیب پایداری مارشال نمونه های عمل آوری شده با آب (در معرض آب قرار گرفته) و پایداری نمونه های عمل آوری نشده بر حسب کیلوگرم هستند.

شاخص پایداری مارشال به عنوان ابزاری در تعیین حساسیت مخلوط به رطوبت استفاده می شود و نسبت پایداری نمونه های در معرض آب قرار گرفته به نمونه هایی که در معرض آب قرار نگرفته اند به عنوان معیاری در پذیرش یا عدم پذیرش شرایط حساسیت مخلوط به رطوبت تلقی می گردد.

نسبت پایداری مارشال نمونه ها به نفوذ (جریان) F در نمونه های عمل آوری شده و نمونه های عمل آوری نشده تعیین و نسبت پایداری نفوذ نمونه های مارشال از رابطه زیر محاسبه شد:

$$MSFR = 100 \times \frac{(MS/F)_{cond}}{(MS/F)_{uncond}} \quad (2)$$

که در رابطه ۲، F معرف جریان (Flow) در آزمایش مارشال می باشد. همانند پارامترهای رابطه ۱ مقادیر مندرج در صورت کسر مربوط به حالت عمل آوری شده با آب و مقادیر مندرج کسر در حالت عمل آوری نشده هستند.

۲-۳ ارزیابی اثر طولانی مدت سیمان بر مخلوط

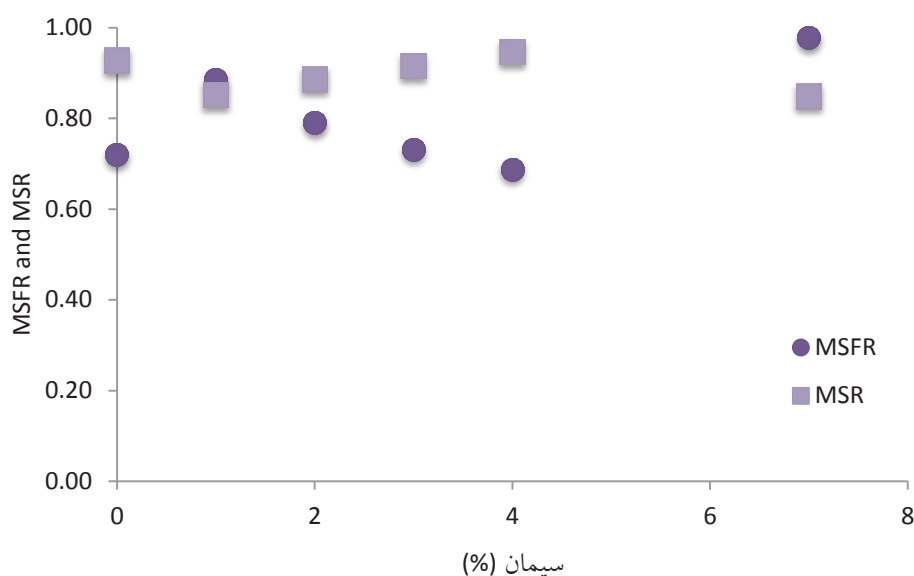
آزمایش پایداری مارشال بر روی نمونه های با ۲ و ۴ درصد سیمان و مخلوط های بدون سیمان نگهداری شده در آب به مدت ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ روز، انجام شد که اینگونه می توان اثر دراز مدت آب بر مخلوطها را ارزیابی کرد. از آنجا که فرآیند هیدراسیون در سیمان وابسته به زمان است، چنین روش آزمایشی طراحی شد. به این ترتیب مقایسه نسبت پایداری مارشال نمونه های اصلاح شده و اصلاح نشده پس از عمل آوری دراز مدت می تواند به عنوان شاخصی از بهبود کیفیت مخلوط اصلاح شده در دراز مدت به شمار آید.

۴-۲ ارزیابی یک سیکل انجماد - ذوب

یکی از روش های رایج برای ارزیابی اثر رطوبت و یخبندان بر

جدول ۱. شرایط و نتایج آزمایش‌های انجام شده برای ارزیابی تأثیر سیمان بر پایداری کوتاه مدت آسفالت در برابر آب

شماره	عمل آوری نشده			عمل آوری شده در آب		
	میزان سیمان (%)	فیلر (%)	پایداری مارشال (lb)	نفوذ (1/1000 in)	پایداری مارشال (lb)	نفوذ (1/1000 in)
۱	۰	۷	۱۰۵۳	۲/۲۵	۹۷۷	۲/۹
۲	۱	۶	۹۲۸	۲/۶	۷۹۱	۲/۵
۳	۲	۵	۹۵۵	۲/۵	۸۴۶	۲/۸
۴	۳	۴	۹۸۳	۲/۴	۹۰۰	۳
۵	۴	۳	۱۰۱۰	۲/۴	۹۵۶	۳/۳
۶	۷	۰	۹۰۰	۲/۶۵	۷۶۴	۲/۳



شکل ۱. نسبت‌های MSR و MSFR برای نمونه‌هایی که با درصدهای مختلف سیمان ساخته شده و ۲۴ ساعت مستغرق بوده اند

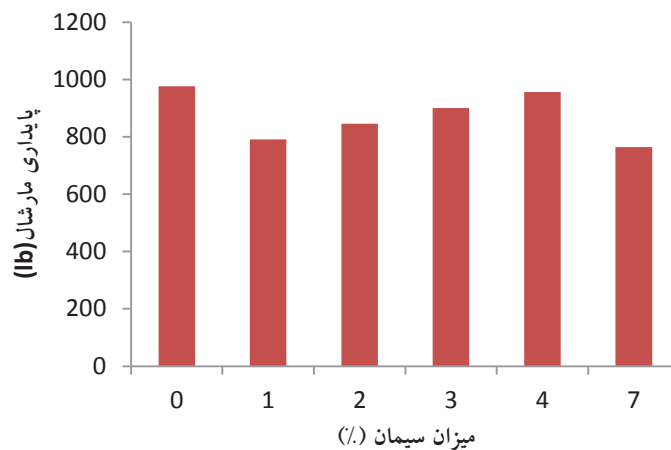
شدگی، پس از گذشت ۵ روز به تدریج پایداری مارشال افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد؛ به گونه‌ای که پایداری مارشال ۳۰ روزه نمونه‌های مستغرق تثبیت شده با سیمان مساوی و یا حتی کمی بیشتر از مقاومت نمونه غیر مستغرق می‌شود. این مشاهدات بر این واقعیت دلالت دارد که در روزهای اولیه روند کسب مقاومت ناشی از هیدراسیون و یا سایر فعل و انفعالات شیمیایی در سیمان کندتر از روند کاهش مقاومت به دلیل رطوبت است؛ با گذشت زمان، مقاومت کسب شده به علت فعل و انفعالات زمان‌مند سیمان، بر کاهش مقاومت ناشی از رطوبت غلبه می‌کند. جدول شماره ۲ خلاصه‌ای از نتایج و شرایط انجام آزمایش‌های انجام شده برای ارزیابی تأثیر سیمان در مقاومت دراز مدت آسفالت را نشان می‌دهد. نمودارهای MSR و MSFR قابل مشاهده در شکل‌های

نمی‌توان به‌طور کامل میزان تأثیر مواد افزودنی، بخصوص سیمان را در بهبود مقاومت در برابر رطوبت ارزیابی کرد که این فرضیه با دانستن اینکه هیدراسیون سیمان رفتاری تابع زمان است، قوت می‌گیرد. به همین دلیل، گروه دیگری از آزمایش‌ها برای ارزیابی شرایط عمل‌آوری دراز مدت مخلوط آسفالتی در این پژوهش انجام گرفت.

پس از بررسی کوتاه مدت مسئله به بررسی تأثیر سیمان بر پایداری مارشال و تغییرات MSR و MSFR در طول ۳۰ روز پرداخته می‌شود.

همانگونه که در شکل ۳ قابل مشاهده است، در روزهای اولیه استغراق پایداری مارشال نمونه‌ها با آهنگ سریعی کاهش می‌یابد، اما در نمونه‌های تثبیت شده با سیمان به عنوان ماده ضد عریان

اثر سیمان در کاهش حساسیت مخلوطهای آسفالتی گرم به رطوبت



شکل ۲. نسبت پایداری مارشال برای نمونه‌هایی که با درصد‌های مختلف سیمان ساخته شده و ۲۴ ساعت مستغرق بوده‌اند

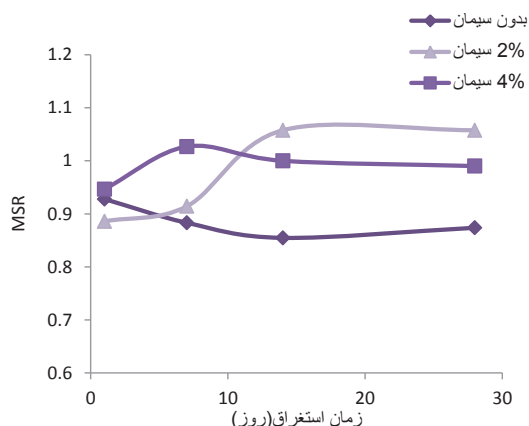
جدول ۲. نتایج و شرایط انجام آزمایش‌های انجام شده برای ارزیابی تأثیر سیمان در مقاومت دراز مدت آسفالت

شماره نمونه	نفوذ (1/1000 in)	پایداری مارشال (lb)	مدت زمان استغراق (روز)	MSR	MSFR	درصد سیمان	درصد فیبر
۱/۱	۲/۸	۹۳۰	۷	۰/۸۸	۰/۷۱	۰	۷
۱/۲	۲/۵	۹۰۰	۱۴	۰/۸۵	۰/۷۷	۰	۷
۱/۳	۲/۵	۹۲۰	۲۸	۰/۸۷	۰/۷۹	۰	۷
۲/۱	۲/۶	۱۰۳۷	۷	۱/۰۳	۰/۹۵	۴	۳
۲/۲	۲/۴	۱۰۱۰	۱۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۴	۳
۲/۳	۲/۵	۱۰۰۰	۲۸	۱/۹۹	۰/۹۵	۴	۳
۳/۱	۲/۸	۸۷۳	۷	۱/۹۱	۰/۸۲	۲	۵
۳/۲	۲/۳	۱۰۱۰	۱۴	۱/۰۶	۱/۱۵	۲	۵
۳/۳	۲/۶	۱۰۱۰	۲۸	۱/۰۶	۱/۰۲	۲	۵

برای سنجش تأثیر سیمان بر مقاومت مارشال، تعدادی آزمایش نیز به منظور بررسی اثر یک سیکل انجماد-ذوب بر نمونه‌هایی که ۵ روز در آب عمل‌آوری شده بودند و در ساخت آنها از درصد‌های مختلف سیمان استفاده شده بود، انجام گردید. جدول شماره ۳ خلاصه‌ای از نتایج این آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، سیمان تأثیر واضحی بر پایداری مارشال نمونه‌های ۵ روز عمل‌آوری شده پس از یک سیکل انجماد-ذوب ندارد؛ علت چنین مشاهده‌ای با کمک نتایج بیان شده در قسمت قبل به این شکل قابل بیان است که در مدت ۵ روز عمل‌آوری، فرآیندهای زمان‌مند سیمان کامل نشده‌اند، به همین دلیل در این زمان مقاومت نمونه‌های دارای سیمان و بدون سیمان در برابر یخبندان با یکدیگر تفاوت معناداری نخواهد داشت.

۴ و ۵ که بر اساس همین داده‌های آزمایشگاهی ترسیم شده‌اند نیز بیانگر همین رفتار هستند.

علت آنکه نمونه‌های حاوی ۲ درصد سیمان در نمودارهای ۴ و ۵ که تغییرات MSR و MSFR را نشان می‌دهد، بالاتر از نمونه‌های حاوی ۴ درصد سیمان قرار گرفته‌اند، این است که پارامترهای مذکور نسبی هستند و در مخرج کسر پایداری نمونه‌های عمل‌آوری نشده قرار می‌گیرد. از آنجایی که پایداری نمونه‌های عمل‌آوری نشده حاوی ۲ درصد سیمان کمتر از نمونه‌های حاوی ۴ درصد سیمان بوده است و پایداری دراز مدت آنها حدوداً یکسان است (مطابق شکل ۳ و جدول شماره ۲)، بنابراین نسبت‌های MSR و MSFR نمونه‌های حاوی ۲ درصد سیمان در مدت زمانهای زیاد عمل‌آوری بیشتر از نمونه‌های حاوی ۴ درصد سیمان میشود.



شکل ۴. منحنی تغییرات MSR در برابر زمان استغراق

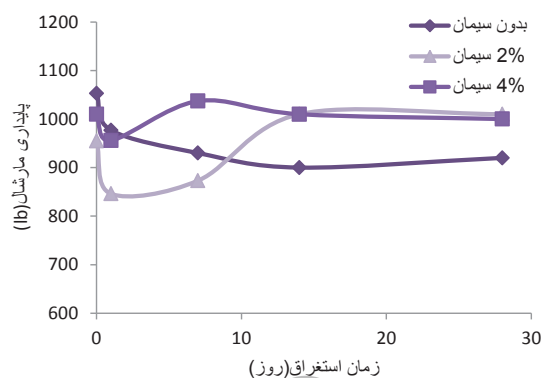
زمان به نسبت پایداری در برابر رطوبت ۱ رسیده‌اند، درحالی‌که پایداری نمونه‌های اصلاح نشده با همان طرح اختلاط، برابر ۰/۹ است. با توجه به این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که حساسیت آسفالت به رطوبت با استفاده از سیمان در دراز مدت کاهش یافته‌است.

۵. سپاسگزاری

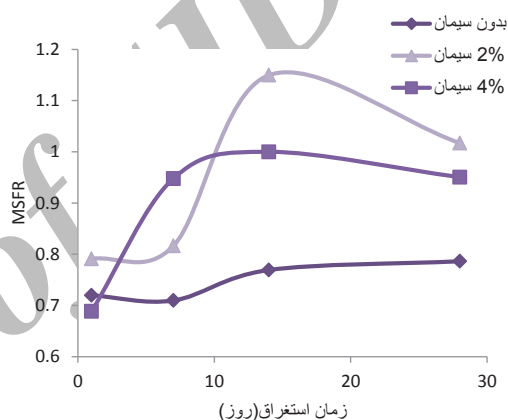
نویسندگان این مقاله از تمام افرادی که در این پژوهش یاری رساندند، به ویژه آقایان مهندس سید محمد مهدی میرعظیم، مهندس ایمان لولوئی و مهندس جمال لک سپاسگزاری می‌کنند. همچنین به این وسیله مراتب سپاسگزاری از دانشگاه ملایر به سبب فراهم کردن هزینه‌های تحقیق در قالب یک طرح پژوهشی اعلام می‌شود.

۶. مراجع

- Al-Khateeb, G. and G, Al-Akhras, N. M. (2011) "Properties of Portland cement-modified asphalt binder using Superpave tests", Construction Building Materials, 25, pp.926-932.



شکل ۳. منحنی تغییرات پایداری مارشال در برابر زمان استغراق



شکل ۵. منحنی تغییرات MSFR در برابر زمان استغراق

۴. جمع بندی و نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر افزودن سیمان بر مقاومت مخلوطهای آسفالتی گرم مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده این واقعیت است که تأثیر افزودن سیمان به مخلوط آسفالتی به صورت تابعی از زمان است و آزمایشهایی که بر مبنای زمانهای عمل‌آوری و استغراق کوتاه مدت، استوارند نمی‌توانند ارزیابی صحیحی از پایداری درازمدت آسفالت در برابر رطوبت داشته‌باشند. نمونه‌های اصلاح شده با سیمان در این تحقیق پس از گذشت

جدول ۳. آزمایش های تاثیر یک سیکل یخبندان-ذوب بر نمونه هایی که ۵ روز در آب عمل آوری شده اند

شماره نمونه	نفوذ (1/1000 in)	پایداری مارشال (lb)	مدت استغراق (روز)	MSFR	MSR	درصد سیمان	درصد فیلر	مدت زمان انجماد (ساعت)
f.1	۲/۳	۹۱۱	۵	۰/۸۵	۰/۸۷	۰	۷	۲۴
f.2	۲/۵	۸۷۳	۵	۰/۸۳	۰/۸۶	۴	۳	۲۴
f.3	۲/۷	۷۶۴	۵	۰/۷۴	۰/۸۰	۲	۵	۲۴

- Kiggundu, B. M. and Roberts, F. L. (1988) "Stripping in HMA mixtures: State-of-the-art and critical review of test methods." NCAT Rep. No. 88-02, National Center for Asphalt Technology, Auburn, Alabama, USA.
- Kringos, N., Scarpas, A., Copeland, A. and Youtcheff, J. (2008) "Modelling of combined physical-mechanical moisture-induced damage in asphaltic mixes. Part 2: Moisture susceptibility parameters." *Int. J. Pavement Eng.*, 9(2), pp.129–151.
- Little, D.N. and Epps, J. A. (1993) "Hydrated lime in hot-mix asphalt presentation manual", FHWA-HI-93-032, FHWA, AASHTO and National Lime Association, prepared for Chemical Lime Company, Fort Worth, Texas, USA.
- McGennis, R.B. Machemehl, R. B. and Kennedy, T. W. (1981) "Stripping and moisture damage in asphalt mixtures", Research Report 253-1, Center For Transportation Research, Bureau of Engineering Research, The University Of Texas, Austin, USA.
- Mehrara, A. and Khodaii, A. (2013) "A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete. *Const. Build. Mater.*, 38, pp. 423–442.
- Mwanza, A. D., Hao, P. and Wang, H. (2012) "Effects of type and content of mineral fillers on the consistency properties of asphalt mastic", *Journal of Testing and Evaluation*, 40(7), pp. 1-9
- Putman, B. J. and Amirhanian, S. N. (2006) "Laboratory evaluation of anti-strip additives in hot mix asphalt, Report No. FHWA-SC-06-07, Federal Highway Association, USA.
- Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Lee, D. Y. and Kennedy, T. W. (1996) "Hot mix asphalt materials, mixture design and construction", 2nd Ed., NAPA Education Foundation, Lanham, Md, USA..
- Xiao, F., Amirhanian, S. N., and Juang, H. C. (2007) "Rutting resistance of rubberized asphalt concrete pavements containing reclaimed asphalt pavement mixtures", *J. Mater. Civ. Eng.*, 19-6, pp. 475–483
- Baha, V. K. and Mehmet, Y. (2009) "The effects of using lime and styrene-butadiene-styrene on moisture sensitivity resistance of hot mix asphalt." *Construction Building Materials*, 23(5), pp.1999–2006.
- Caro, S., Masad, E., Bhasin, A. and Little, D. N. (2008) "Moisture susceptibility of asphalt mixtures, Part 1: Mechanisms", *Int. J. Pavement Eng.*, 9(2), pp.81–98.
- Cawsey, D.C. and Raymond-Williams, R. K. (1990) "Stripping of macadam's performance tests with different aggregates", *Highways and Transportation*, July, pp.16–21.
- Chen, M. Z., Lin, J.T., Wu, S.P. and Liu, C. H. (2011) "Utilization of recycled brick powder as alternative filler in asphalt mixture", *Construction Building Materials*; 25, 4, pp.1532–1536.
- Chen, X. and Huang, B. (2008) "Evaluation of moisture damage in hot mix asphalt using simple performance and superpave indirect tensile tests", *Construction and Building Materials*, 22-9, pp.1950–1962
- Graf, P.E. (1986) "Factors affecting moisture susceptibility of asphalt concrete mixes", *Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 55, pp. 175-204
- Hicks, R. G. (1991) "Moisture damage in asphalt concrete" NCHRP Synthesis of Highway Practice 175, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Hitti, E. and Weitzel, D. (2003) "Effectiveness of lime in hot mix asphalt pavements", TRR1832. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Huang, B., Shu, X., Dong, Q. and Shen, J. (2010) "Laboratory evaluation of moisture susceptibility of hot-mix asphalt containing cementitious fillers", *J. Mater. Civ. Eng.*, 22(7), pp.667–673.
- Kandhal, P. S. and Richards, I. J. (2001) "Premature failure of asphalt overlays from stripping: Case histories, National Center for Asphalt Technology, NCAT Report No. 2001-1

- Xiao, F. and Amir Khanian, S. N.(2009) “Laboratory investigation of moisture damage in rubberized asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement” ,Int. J. Pavement Eng., 10(5), pp.319–328.

- Xiao, F., Zhao, W., Gandhi, T. and Amir Khanian, S. (2010) “Anti Stripping additives on moisture susceptibility of warm mix asphalt mixtures”, J. Mater. Civ. Eng., 22(10), pp. 1047–1055.

Archive of SID