

بررسی تأثیرات دما و فیلر آهک هیدراته در مقاومت شیارشده‌گی مخلوط‌های آسفالتی

امیر کاوسی (مسئول مکاتبات)، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
جواد بختیاری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس،
تهران، ایران

E-mail: kavussia@modares.ac.ir

پذیرش: ۹۲/۰۵/۰۱

دریافت: ۹۲/۲/۱۱

چکیده:

شیارشده‌گی^۱ از جمله خرابیهای عمده‌ای است که در روسازیهای آسفالتی رخ می‌دهد. این خرابی با افزایش تردد وسایل نقلیه سنگین به ویژه در نواحی گرمسیر، مشکلات زیادی ایجاد می‌کند. یکی از روشهای اساسی برای افزایش پایداری مخلوط آسفالتی در مقابل شیارشده‌گی، بکارگیری افزودنیهایی مانند آهک هیدراته^۲ به عنوان بخشی از فیلر مخلوط است. در این پژوهش آزمایشگاهی، مقاومت در برابر شیارشده‌گی مخلوط‌های آسفالتی گرم (HMA)^۳ حاوی درصد‌های مختلف آهک هیدراته (۱، ۱/۵ و ۲ درصد وزن خشک سنگدانها) در دو دمای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و با مخلوط آسفالتی شاهد (حاوی فیلر مصالح اصلی و بدون افزودنی) در همان شرایط مقایسه شده است. برای ارزیابی پتانسیل شیارشده‌گی مخلوطها از دو پارامتر نسبت مارشال^۴ و میزان اثر چرخ^۵ استفاده شد. در روش تعیین میزان اثر چرخ دالهای بتن آسفالتی در ابعاد ۳۰۵×۳۰۵×۵۰ میلی‌متر و با درصد قیر بهینه آماده و به منظور تعیین پارامترهای مورد نظر، آزمایشها در شرایط ۱۲۰۰ سیکل رفت و برگشت انجام شدند. به منظور بررسی اثر دما، آزمایش نسبت مارشال در دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی-گراد و آزمایش میزان اثر چرخ در دو دمای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که افزودن آهک هیدراته به مخلوط آسفالتی گرم، باعث افزایش پارامتر نسبت مارشال در دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سانتیگراد و کاهش پارامترهای عمق و نرخ شیارشده‌گی در دماهای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد شد. همگی این موارد نشانگر بهبود مقاومت در برابر شیارشده‌گی مخلوط‌های آسفالتی گرم، در اثر افزودن آهک هیدراته در دماهای مختلف هستند.

واژه‌های کلیدی: مخلوط آسفالتی گرم، آهک هیدراته، نسبت مارشال، آزمایش شیارشده‌گی

۱. مقدمه

روسازیهای آسفالتی در اثر گذشت زمان، اثرات بارهای ترافیکی و شرایط جوی دچار خرابیهایی می‌شوند. یکی از خرابیهایی متداول در روسازیهای آسفالتی شیارشدگی است. شیارشدگی به تغییرشکل‌های دائمی اطلاق می‌شود که به صورت شیار در مسیر چرخ وسایل نقلیه و به موازات محور طولی راه ایجاد می‌شود. چنان که بارهای ترافیکی به میزان قابل توجهی افزایش یابد و درجه حرارت محیط نیز زیاد باشد، خطر ایجاد پدیده شیارشدگی بیشتر می‌شود [White et al., 2002]. مقدار شیارشدگی برحسب متر مربع سطح رویه و شدت آن به وسیله میانگین عمق شیار بر حسب میلی‌متر تعیین می‌شود [Archilla and Madant, 2000]. شیارشدگی به طور معمول در سالهای اولیه عمر روسازی (کمتر از پنج سال) که هنوز قیر موجود در آسفالت سخت نشده است، اتفاق می‌افتد. این نوع خرابی به طور آشکاری موجب افت شدید کیفیت سواری، جاری شدن آب از مسیر شیار و خطر تصادف ناشی از بی‌تعادلی وسیله نقلیه و نیز ایجاد پدیده آب پیمایش^۶ می‌شود [Ceneto et al. 2008 and Zhao et al. 2012]. شیارشدگی ممکن است در اثر سه مکانیزم به وجود آید: ۱- ضعف لایه‌های بستر، زیراساس و اساس ۲- لایه یا لایه‌های آسفالتی ناپایدار ۳- تراکم آسفالت در مسیر چرخ وسایل نقلیه [Ceneto et al. 2008]. داده‌های به دست آمده از آزمایشهای آشتو نشان می‌دهد که ۳۴ درصد شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی گرم به علت عامل ضعف لایه بتن آسفالتی است. لایه‌های بستر، اساس و زیراساس نیز به ترتیب ۴۵، ۱۴ و ۹ درصد در میزان شیارشدگی تأثیر دارند [Ullidtz, 1987].

بارگذاری سنگین و دمای زیاد محیط از جمله مهم‌ترین عواملی هستند که باعث ایجاد پدیده شیارشدگی می‌شوند. با افزایش دمای محیط، شیارشدگی به شدت افزایش می‌یابد. با افزایش بار در حد

مجاز، شیارشدگی به صورت خطی افزایش می‌یابد [Huang et al. 2008]. عوامل دیگری همچون نوع مصالح، نوع دانه‌بندی مخلوط آسفالتی و نوع قیر نیز روی پدیده شیارشدگی تأثیر می‌گذارند. مصالح مکعبی شکل دارای بافت زبر، به علت قفل و بست سنگدانه‌ای بهتر و مقاومت برشی بالاتر، نسبت به مصالح گرد دارای بافت صاف عملکرد بهتری دارند. بنابراین میزان تغییرشکل دائم یا شیارشدگی در مصالح مکعبی با بافت زبر کمتر خواهد بود. استفاده از مخلوطهای آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای^۷ [Ibrahim, 2006]. و نیز مخلوطهای با دانه‌بندی درشت^۸ باعث افزایش مقاومت در برابر شیارشدگی می‌شود [Fakhri and Mahmoodinia, 2011]. مخلوطهای ساخته شده با قیر نرمتر^۹ دارای مقاومت شیارشدگی کمتری نسبت به مخلوطهای ساخته شده با قیر سخت‌تر (کندروانی بیشتر) هستند [Ibrahim, 2006].

روشهای مختلفی برای ارزیابی مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر شیارشدگی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

۱- نسبت مارشال: این شاخص نسبت استقامت مارشال به روانی آن در آزمایش مارشال (ASTM-D1559) است که معیاری جهت توصیف تغییرشکل‌های دائم مخلوطهای آسفالتی است. هرچه این نسبت بیشتر باشد، مخلوط سخت‌تر بوده و دارای مقاومت بیشتری در برابر تغییرشکل‌های دائم خواهد بود [Robertus et al., 1995].

۲- آزمایش خزش دینامیکی و تعیین عدد روانی: خزش دینامیکی از جمله آزمایشهایی است که توسط موسسات مختلف و از آن جمله NCHRP^{۱۰} برای ارزیابی عملکرد شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی پیشنهاد شده است. عدد روانی^{۱۱} پارامتر پیشنهادی این روش جهت ارزیابی مقاومت شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی است که در معرض بار فشاری محوری نیمه سینوسی قرار داده

بررسی تأثیرات دما و فیلر آهک هیدراته در مقاومت شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی

ت- پایداری دینامیکی^{۱۵} (DS) این پارامتر بر اساس نیوتن بر میلیمتر گزارش شده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$DS = \frac{N(t_2 - t_1)}{d_2 - d_1} \quad (1)$$

DS: پایداری دینامیکی بر حسب نیوتن بر میلیمتر
 d_1 و d_2 : تغییرشکل یا میزان شیارشدگی در زمانهای مختلف بر حسب میلی‌متر

t_1 و t_2 : زمان های مختلف تعیین میزان شیارشدگی بر حسب دقیقه

N: دور چرخ^{۱۶} که برای دستگاه مورد آزمایش برابر با ۲۶/۵ دور در دقیقه است [Weidong et al., 2006]. در سالهای اخیر تلاشهای گسترده‌ای برای بهبود خواص مکانیکی مخلوطهای آسفالتی و کاهش میزان شیارشدگی آنها انجام شده است. یکی از مناسب‌ترین روشها در این زمینه، اصلاح مخلوطهای آسفالتی با استفاده از افزودنیها است. برای این منظور افزودنیهای مختلفی همچون افزودنیهای معدنی، پلیمری و شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از جمله افزودنیهای معدنی مهمی که بسیار مورد توجه واقع شده است، آهک هیدراته است. دلایل مختلفی برای استفاده از آهک هیدراته در مخلوطهای آسفالتی وجود دارد که از مهم ترین این موارد می‌توان به دسترسی مناسب، قیمت ارزان و اختلاط آسان آن با قیر و آسفالت اشاره کرد. استفاده از آهک هیدراته در مخلوطهای آسفالتی از دهه ۱۹۷۰ میلادی در آمریکا شروع شد و پس از سالها تحقیق امروزه به عنوان یکی از موثرترین افزودنیها در آسفالت به شمار می‌آید. در حال حاضر حدود ۱۰ درصد مخلوطهای آسفالتی تولیدی در آمریکا حاوی آهک هیدراته هستند [Lesueur et al., 2012].

از مطالعات انجام گرفته نتیجه گیری شده است که آهک هیدراته به میزان قابل توجهی موجب بهبود عملکرد روسازی در ارتباط با پدیده شیارشدگی جای چرخ می‌شود. بر خلاف اغلب فیلرهای معدنی، آهک یک ماده فعال از لحاظ شیمیایی نسبت به فیلر

شده‌اند. این آزمایش با استفاده از دستگاه UTM^{۱۷} انجام می‌گیرد [Atud et al., 2007].

۳- آزمایش DSR^{۱۸} و تعیین نسبت $\frac{G^*}{\sin \delta} \frac{G^*}{\sin \delta}$: این آزمایش در رده آزمایشهای شارپ قرار دارد. پارامتر $G^* G^*$ خاصیتی مکانیکی از قیر است که بیانگر مقاومت کل قیر در برابر تغییرشکلهای ناشی از تنشهای برشی است. جهت بررسی شیارشدگی، بر روی نمونه‌های قیر پیر نشده و نیز نمونه های قیری که آزمایش لعاب نازک دوار^{۱۹} روی آنها صورت گرفته، آزمایش DSR انجام شده و پارامتر $\frac{G^*}{\sin \delta} \frac{G^*}{\sin \delta}$ استخراج می‌شود. این پارامتر نشانه‌ای از شیارشدگی است. هرچه این نسبت بیشتر شود مقاومت در برابر شیارشدگی نیز افزایش می‌یابد. در آیین‌نامه‌ها حداقل مقدار این نسبت برای جلوگیری از ایجاد پدیده شیارشدگی برابر ۲/۲ کیلوپاسکال برای نمونه های پیر شده و ۱ کیلو پاسکال برای نمونه‌های پیر نشده عنوان شده است [Atud et al., 2007].

۴- آزمایش ماشین اثر چرخ (ویلتراک): یکی از بهترین روشها برای تعیین شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی که با شرایط واقعی نیز تطابق دارد، آزمایش تعیین اثر چرخ است. این وسیله با حرکت رفت و برگشتی چرخ بارگذاری شده بر روی نمونه آسفالتی به تعیین پتانسیل شیارشدگی مخلوط آسفالتی می‌پردازد. پارامترهای مختلفی برای توصیف داده‌های به دست آمده از این روش وجود دارد که در زیر به برخی از آنها اشاره شده است:

الف- عمق شیارشدگی: این پارامتر بیانگر بیشترین تغییرشکل مخلوط آسفالتی در طول مسیر دستگاه اثر چرخ است.

ب- نرخ شیارشدگی: این پارامتر به عنوان میزان شیارشدگی نمونه آسفالتی در یک سوم انتهایی آزمایش تقسیم بر یک سوم مدت زمان انجام آزمایش (به ساعت) تعریف می‌شود.

پ- نسبت شیارشدگی: این پارامتر که به صورت درصد بیان می‌شود نسبت عمق شیار بر حسب میلی‌متر به ضخامت کل لایه آسفالتی بر حسب میلی‌متر است [Perraton et al., 2011].

۲. مشخصات مصالح مورد استفاده

مصالح سنگی مورد استفاده، از نوع مصالح سیلیسی بوده و از معدنی واقع در غرب تهران به دست آمد، و قیر مورد نیاز نیز از نوع قیر خالص ۷۰-۶۰ پالایشگاه اصفهان بود. برای طراحی مخلوط آسفالتی مورد آزمایش از دانه‌بندی شماره ۴ نشریه ۲۳۴ سازمان برنامه ریزی و مدیریت که مناسب اجرا در لایه‌های آستر و رویه روسازی است، استفاده شد. نتیجه آنالیز شیمیایی آهک هیدراته و فیلر مصالح سنگی در جدول ۲ آورده شده است. دانه‌بندی مورد استفاده در این تحقیق، مقدار میانگین حدود بالا و پایین دانه‌بندی تعیین شده در شماره ۴ نشریه ۲۳۴ انتخاب شد. در جدول ۳، این دانه‌بندی و محدوده مربوط به دانه‌بندی شماره ۴ نشریه ۲۳۴ سازمان مدیریت و برنامه ریزی، نشان داده شده است. نتیجه آزمایش‌های صورت گرفته روی مصالح سنگی و قیر خالص مورد استفاده نیز به ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده است.

۳. طرح اختلاط

جهت دستیابی به درصد قیر بهینه از روش طرح اختلاط مارشال (ASTM D-1559) استفاده شد [ASTM D-1559, 1989] برای این منظور نمونه‌هایی با درصد‌های مختلف قیر (۴، ۵، ۵/۵، ۶ و ۶/۵ درصد) تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌های مارشال مربوط به مصالح سنگی در شکل ۱ ارائه شده است. با توجه به منحنی نتایج آزمایش مارشال، درصد قیر بهینه برای مصالح سنگی ۶ درصد تعیین شد.

۴. نتایج آزمایشها

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر افزودنی بر شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی از آهک هیدراته در مقادیر ۱، ۱/۵ و ۲ درصد وزن خشک سنگدانه‌ها استفاده و آهک هیدراته جایگزین فیلر مصالح سنگی شد. اگرچه امکان افزودن آهک هیدراته به مخلوط

معمولی است. از آنجا که آهک هیدراته موجب افزایش چسبندگی باند بین قیر و سنگدانه، سفتی قیر و نیز افزایش عمر پیرشدگی و اکسیداسیون قیر می‌شود؛ بنابراین عمق شیارشدگی کاهش می‌یابد [Ozen, 2011]. تحقیقات نیازی و جلیلی نشان داد که افزودن آهک هیدراته به میزان ۲ درصد و به صورت خشک به مخلوط آسفالتی باز یافتی باعث افزایش شاخص نسبت مارشال تا حدود ۲۹ درصد در مقایسه با حالت عدم استفاده از آهک هیدراته می‌شود [Niazi and Jalili, 2008]. در تحقیقات سنگول و دیگران نشان داده شد که افزایش میزان آهک هیدراته از ۲ تا ۶ درصد باعث افزایش شاخص نسبت مارشال و به تبع آن افزایش مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالتی می‌شود [Sengul et al., 2012]. لی و همکاران آهک هیدراته را به صورت خشک و به عنوان جایگزینی از فیلر مصالح سنگی (۱ درصد وزن مصالح سنگی) استفاده کردند و نتیجه گرفتند که مخلوط آسفالتی حاوی آهک هیدراته در مقایسه با مخلوط آسفالتی بدون آهک هیدراته مقاومت بهتری در برابر شیارشدگی دارد [Lee et al., 2011]. در پژوهش دیگری آهک هیدراته به میزان ۱/۵ درصد وزن مصالح سنگی و به صورت خشک به مخلوط آسفالتی اضافه گردید و مشاهده شد که میزان عمق شیارشدگی نسبت به مخلوط بدون آهک هیدراته دچار کاهش شد [Atud et al., 2007]. پژوهش‌های گورکیم و همکاران نشان داد که افزودن آهک هیدراته به میزان ۱، ۱/۵ و ۲ درصد وزن مصالح سنگی و به صورت خشک به مخلوط آسفالتی موجب بهبود خواص مکانیکی و تغییرشکلی آن می‌گردد [Gorkem and Sengoz, 2009]. جدول ۱ درصد و نحوه استفاده از آهک هیدراته در کشورهای مختلف جهت بهبود خواص عریان‌شدگی و شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی‌های مختلف را نشان می‌دهد. [Lesueur et al., 2012]

بررسی تأثیرات دما و فیلر آهک هیدراته در مقاومت شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی

و ۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. این دو آزمایش یعنی آزمایش نسبت مارشال و آزمایش میزان اثر چرخ به ترتیب بر اساس استانداردهای (ASTM D-1559) و (B.S 598 Part:110) انجام شدند.

آسفالتی با روشهای گوناگونی امکان‌پذیر است، در این تحقیق به منظور در نظر گرفتن ساده‌ترین روش اختلاط در اجرا، از روش اختلاط خشک استفاده شد. به‌منظور بررسی اثر دما بر شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی، آزمایش میزان اثر چرخ در دو دمای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و آزمایش نسبت مارشال در دو دمای ۴۵

جدول ۱. درصد، نحوه کاربرد و هدف استفاده از آهک هیدراته در کشورهای مختلف [Lesueur et al., 2012].

کشور	سال استفاده	درصد آهک هیدراته	نحوه استفاده	هدف (جلوگیری از ...)	نوع مخلوط آسفالتی
بلژیک	۱۹۸۰	۱/۵	مخلوط با فیلر مصالح سنگی	عریان‌شدگی	AC ^{۱۷} , PA ^{۱۸}
دانمارک	۱۹۹۵	۱-۱/۵	خالص ^{۱۹}	عریان‌شدگی	AC, SMA
لهستان	۱۹۹۸	۱-۳	مخلوط با فیلر مصالح سنگی	عریان‌شدگی	AC
ایرلند	۲۰۰۱	۲	خالص	شیارشدگی و عریان‌شدگی	PA
اتریش	۲۰۰۳	۱/۵-۳/۵	خالص	شیارشدگی و عریان‌شدگی	AC, SMA
مجارستان	۲۰۰۹	۲	مخلوط با فیلر مصالح سنگی	شیارشدگی و عریان‌شدگی	AC
امریکا	۲۰۰۹	۱-۱/۵-۲	مخلوط با فیلر مصالح سنگی	شیارشدگی	AC
امریکا	۲۰۱۱	۱	مخلوط با فیلر مصالح سنگی	شیارشدگی	AC
امریکا	۲۰۱۲	۲-۶	مخلوط با فیلر مصالح سنگی	شیارشدگی	AC

جدول ۲. نتایج تحلیل XRF آهک هیدراته و فیلر مصالح سنگی

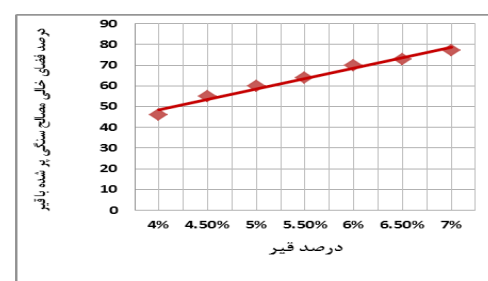
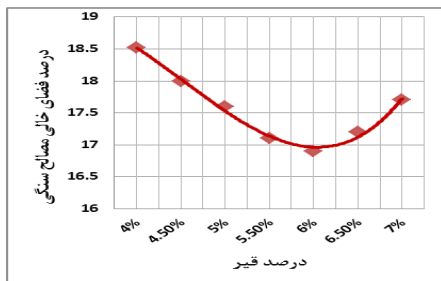
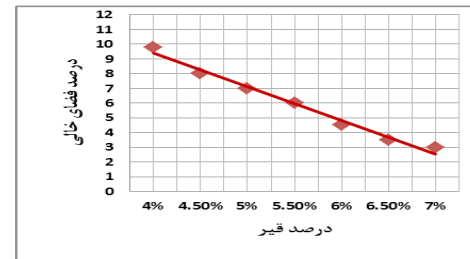
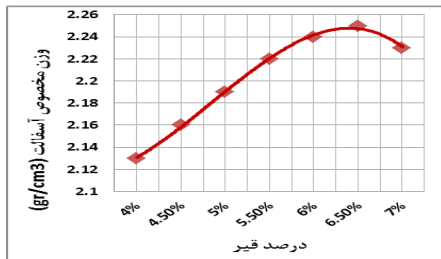
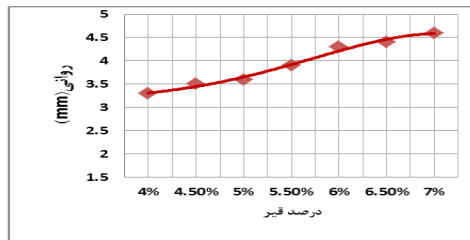
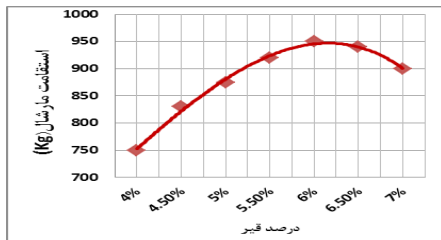
درصد عناصر	نتایج آزمایش XRF										
	درصد سولفات‌ها بر حسب SO _۳	درصد افت وزنی در اثر حرارت L.O.I	درصد اکسید								درصد
			Sr	P _۲ O _۵	سدیم Na _۲ O	پتاسیم K _۲ O	منیزیم MgO	کلسیم CaO	آهن Fe _۲ O	آلومینیم Al _۲ O _۳	
فیلر مصالح سنگی	۰/۰۳۹	۱۰/۹۴	۰/۰۳۳	۰/۱۶۵	۱/۹۸۴	۲/۶۳۳	۲/۰۴۴	۱۴/۳۱	۳/۴۶۶	۱۰/۹۸	۵۲/۷۴
آهک هیدراته	۰/۵۲۷	۲۳/۹	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	-	۰/۰۵۸	۰/۴۵۱	۷۳/۷۷	۰/۲۱۶	۰/۲۱۷	۰/۸۰۲

جدول ۳. دانه‌بندی مصالح سنگی منتخب مطابق با محدوده‌ی نشریه ۲۳۴ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور

اندازه الک	۱۹ میلی‌متر	۱۲/۵ میلی‌متر	شماره ۴	شماره ۸	شماره ۵۰	شماره ۲۰۰
محدوده درصد عبوری مجاز طبق آیین‌نامه	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۴۴-۷۴	۲۸-۵۸	۵-۲۱	۲-۱۰
درصد وزنی عبوری از هر الک	۱۰۰	۹۵	۵۹	۴۳/۵	۱۱/۵	۶

جدول ۴. آزمایشهای مرغوبیت مصالح سنگی مورد آزمایش

خصوصیات مصالح درشت دانه				
نتیجه	مقدار مجاز آیین نامه‌ای		روش آزمایش	شرح
	حداقل	حداکثر		
۲۳	-	۲۵	ASTM C-۱۳۱	سایش به روش لس آنجلس (درصد)
۰/۲	-	۸	ASTM C-۸۸	افت وزنی ناشی از سولفات سدیم (درصد)
۹۴	۶۰	-	ASTM D-۵۸۲۱	میزان شکستگی (درصد)
۲۰	-	۱۵	ASTM D-۴۷۹۱	میزان سنگدانه‌های پهن و دراز (درصد)
خصوصیات مصالح ریزدانه				
نتیجه	مقدار مجاز آیین نامه‌ای		روش آزمایش	شرح
	حداقل	حداکثر		
NP	NP	NP	ASTM D-۴۳۱۸	دامنه خمیری PI (درصد)
۱/۷۱	-	۱۲	ASTM C-۸۸	افت وزنی ناشی از سولفات سدیم (درصد)
۷۱	۵۰	-	ASTM D-۲۴۱۹	ارزش ماسه‌ای (درصد)



شکل ۱. نتایج آزمایش مارشال برای مخلوط شاهد مورد آزمایش

بررسی تأثیرات دما و فیلر آهک هیدراته در مقاومت شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی

جدول ۵. نتایج آزمایش‌های قیر خالص ۷۰-۶۰ پالایشگاه اصفهان

شماره	نوع آزمایش	روش آزمایش	مقدار مجاز آیین نامه		نتیجه
			حداقل	حداکثر	
۱	درجه نفوذ (۱/۱۰ میلی‌متر)	ASTM D-۵	۶۰	۷۰	۶۰
۲	نقطه نرمی قیر (درجه سانتی‌گراد)	ASTM D-۳۶	۴۹	۵۶	۴۹
۳	قابلیت کشش در ۲۵ درجه سانتیگراد (سانتی‌متر)	ASTM D-۱۱۳	۱۰۰	-	+۱۰۰
۴	وزن مخصوص قیر (گرم بر سانتیمتر مکعب)	ASTM D-۳۲۸۹	۱/۰۱۳	۱/۰۱۷	۱/۰۱۳
۵	ویسکوزیته کینماتیکی در دمای ۱۳۵ درجه سانتیگراد	ASTM D-۲۱۷۰	۲۰۰	۱۰۰۰	۳۱۰
۶	اندیس نفوذ، PI				-۱/۰۲۷
۷	خصوصیات پس از آزمایش لعاب نازک قیر (۶۳ درجه سانتیگراد و به مدت ۵ ساعت):				
۷-۱	تغییر جرم (درصد)	ASTM D-۱۷۵۴	-	۰/۸	۰/۰۴
۷-۲	درجه نفوذ پس از آزمایش لعاب نازک قیر (۱/۱۰ میلی‌متر)		۳۱	-	۴۱
۷-۳	نسبت درصد درجه نفوذ بعد از آزمایش به درجه نفوذ اولیه		۵۴	-	۶۸

جدول ۶. نتایج آزمایش نسبت مارشال نمونه‌ها در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد

پارامترهای بدست آمده از آزمایش نسبت مارشال			نوع مخلوط آسفالتی
نسبت مارشال	روانی (میلی‌متر)	استقامت (کیلوگرم)	
۱۹۴/۳۳	۵/۴	۱۰۴۹/۴۲	بدون آهک هیدراته
۲۰۶/۹۲	۵/۱	۱۰۵۵/۳۰	حاوی ۱درصد آهک هیدراته
۲۵۹/۴۲	۴/۲۰	۱۰۸۹/۵۷	حاوی ۱/۵درصد آهک هیدراته
۲۴۹/۷۲	۴/۵۵	۱۱۳۶/۳۰	حاوی ۲درصد آهک هیدراته

جدول ۷. نتایج آزمایش نسبت مارشال نمونه‌ها در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد

پارامترهای بدست آمده از آزمایش نسبت مارشال			نوع مخلوط آسفالتی
نسبت مارشال	روانی (میلی‌متر)	استقامت (کیلوگرم)	
۱۶۲/۵۳	۴/۸۰	۷۸۰/۱۶	بدون آهک هیدراته
۱۹۲/۱۲	۴/۴۰	۸۴۵/۳۴	حاوی ۱درصد آهک هیدراته
۲۱۰/۷۲	۴/۱۰	۸۶۳/۹۷	حاوی ۱/۵درصد آهک هیدراته
۲۰۵/۰۱	۴/۳۵	۸۹۱/۸۰	حاوی ۲درصد آهک هیدراته

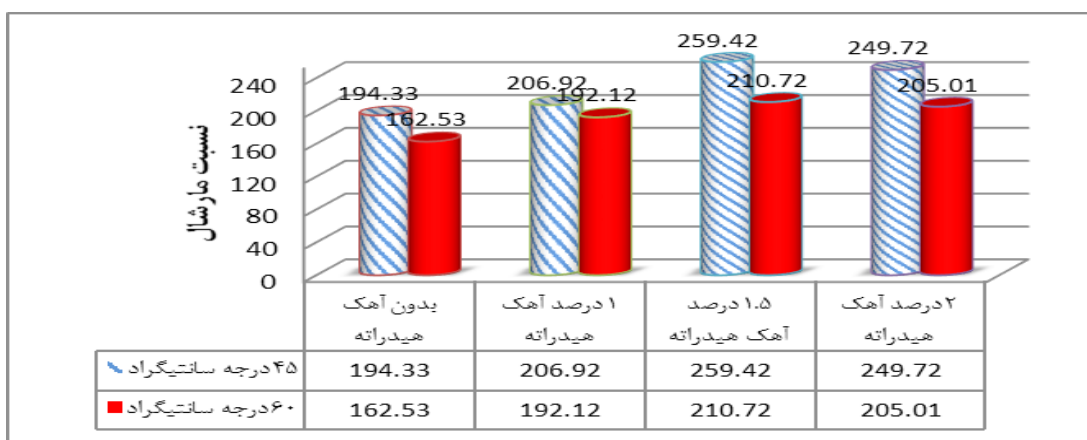
۱-۴ آزمایش نسبت مارشال

در تعیین این پارامتر از نتیجه دو ویژگی استقامت مارشال که معرف بیشترین مقاومتی است که نمونه بدون گسیختگی می‌تواند تحمل کند، و روانی مارشال که بیانگر میزان تغییرشکلی که در نمونه در لحظه شکست رخ می‌دهد، استفاده می‌شود. نسبت مارشال (نسبت استقامت مارشال به روانی آن) پارامتری تجربی برای تعیین سختی مخلوطهای آسفالتی است که مقادیر بالاتر این نسبت نشان دهنده مخلوط سخت‌تر بوده و حاکی از آن است که مخلوط دارای مقاومت بیشتری در برابر تغییرشکل دائمی است. در این پژوهش برای هر یک از درصدهای آهک هیدراته، سه نمونه تهیه و مقدار متوسط آنها گزارش شد. نتایج نسبت مارشال نمونه‌های آسفالتی دارای درصدهای مختلف آهک هیدراته و نمونه‌های بدون این افزودنی در دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در جدولهای ۶ و ۷ ارائه شده است. شکل ۲ نیز نسبت مارشال مخلوطهای آسفالتی حاوی آهک هیدراته حاصل آزمایش را در دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد نمایش می‌دهد.

۲-۴ آزمایش میزان اثر چرخ (ویلتراک)

آزمایش میزان اثر چرخ برای تعیین مقاومت مخلوطهای آسفالتی در برابر تغییرشکل‌های دائمی در زیاد و تحت بارگذاری مشابه با شرایط جاده صورت می‌گیرد. در این آزمایش به وسیله حرکت رفت و برگشتی چرخ بارگذاری شده روی نمونه آسفالتی،

پتانسیل شیارشدگی مخلوط آسفالتی تعیین می‌شود. در این تحقیق به منظور ارزیابی شیارشدگی مخلوط آسفالتی، از آیین‌نامه B.S 598: Part110 استفاده شد. دالهای آسفالتی در ابعاد ۳۰۵×۳۰۵×۵۰ میلی‌متر و در درصد قیر بهینه ساخته شده و پس از ۲۴ ساعت قرار گرفتن در دمای محیط، به مدت ۵ ساعت در دو دمای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و در داخل محفظه دستگاه مورد آزمایش عمل‌آوری شدند. قبل از انجام آزمایش، تنظیمات لازم از طریق نرم‌افزار موجود در رایانه متصل به دستگاه انجام شد. در این پژوهش بار وارده برابر ۵۲۰ نیوتن، تعداد دفعات بارگذاری برابر ۱۲۰۰ سیکل رفت و برگشتی، سرعت حرکت ۲۶/۵ دور در دقیقه و دمای محفظه در دماهای موردنظر تنظیم شد. جدولهای ۸ و ۹ نتایج آزمایش میزان اثر چرخ را در دو دمای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد نمایش می‌دهند. شکل‌های ۳ و ۴ منحنی‌های عمق شیارشدگی را در مقابل تعداد دفعات بارگذاری در آزمایش میزان اثر چرخ در دماهای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهند. شکل‌های ۵ و ۶ نیز به ترتیب نمودارهای نرخ شیارشدگی و پایداری دینامیکی مخلوطهای آسفالتی حاوی آهک هیدراته و بدون آن را در دو دمای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد نمایش می‌دهند.



شکل ۲. نسبت مارشال مخلوطهای آسفالتی حاوی آهک هیدراته حاصل آزمایش در دو دمای ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد

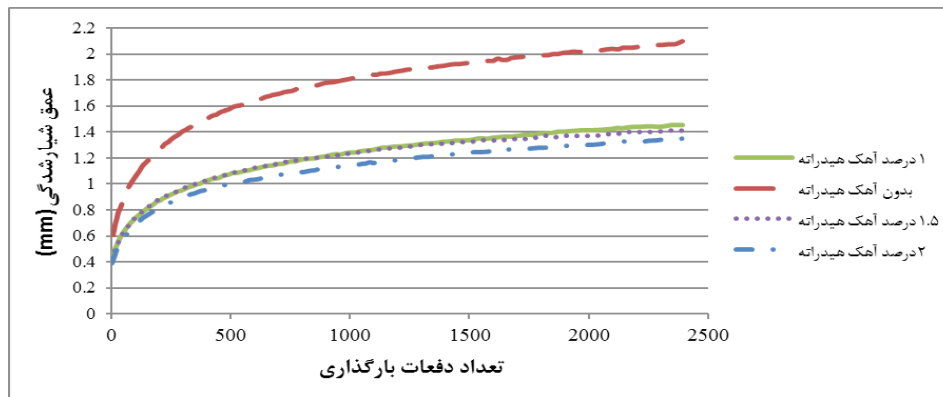
بررسی تأثیرات دما و فیلر آهک هیدراته در مقاومت شیارشدگی مخلوط های آسفالتی

جدول ۸. نتایج آزمایش میزان اثر چرخ در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد

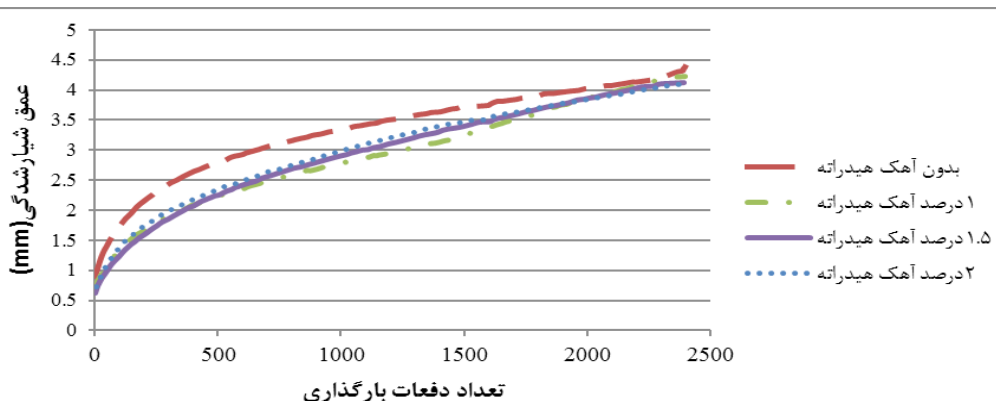
پارامترهای بدست آمده از آزمایش میزان اثر چرخ				نوع مخلوط آسفالتی
عمق شیارشدگی (mm)	نرخ شیارشدگی (mm/h)	نسبت شیارشدگی (%)	پایداری دینامیکی (N/mm)	
۲/۱۰	۰/۶۱	۴/۲	۲۶۲۶	بدون آهک هیدراته
۱/۴۵	۰/۳۸	۲/۹	۴۲۲۸	حاوی ۱درصد آهک هیدراته
۱/۴۱	۰/۲۹	۲/۸	۵۶۵۶	حاوی ۱/۵درصد آهک هیدراته
۱/۳۵	۰/۳۵	۲/۷	۴۵۴۳	حاوی ۲درصد آهک هیدراته

جدول ۹. نتایج آزمایش میزان اثر چرخ در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد

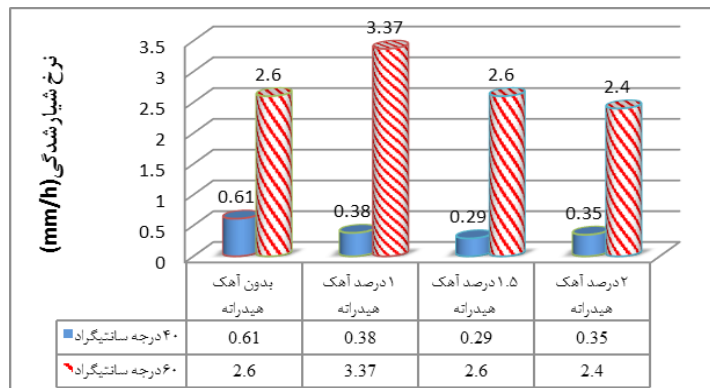
پارامترهای بدست آمده از آزمایش میزان اثر چرخ				نوع مخلوط آسفالتی
عمق شیارشدگی (mm)	نرخ شیارشدگی (mm/h)	نسبت شیارشدگی (%)	پایداری دینامیکی (N/mm)	
۴/۴۰	۲/۶۰	۸/۸	۶۱۲	بدون آهک هیدراته
۴/۲۰	۳/۳۷	۸/۴	۴۷۷	حاوی ۱درصد آهک هیدراته
۴/۱۰	۲/۶۰	۸/۲	۶۲۶	حاوی ۱/۵درصد آهک هیدراته
۴/۱۰	۲/۴۰	۸/۲	۶۶۷	حاوی ۲درصد آهک هیدراته



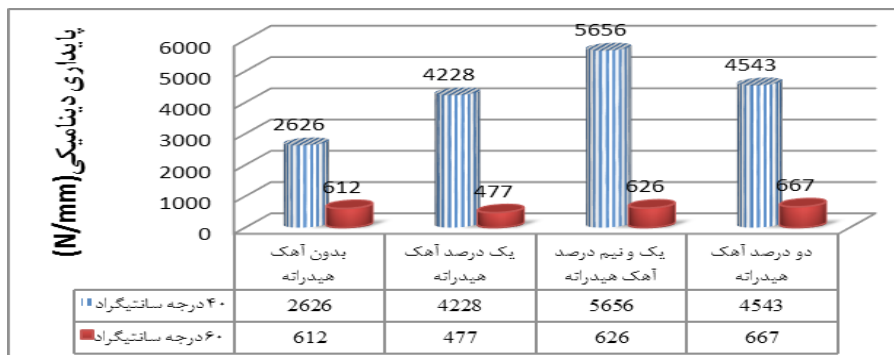
شکل ۳. منحنی عمق شیارشدگی در مقابل تعداد دفعات بارگذاری در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد



شکل ۴. منحنی عمق شیارشدگی در مقابل تعداد دفعات بارگذاری در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد



شکل ۵. نمودار نرخ شیاردگی مخلوط آسفالتی حاوی آهک هیدراته و بدون آن در دو دمای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد



شکل ۶. نمودار پایداری دینامیکی مخلوط آسفالتی حاوی آهک هیدراته و بدون آن در دو دمای ۴۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد

۵. تحلیل نتایج

۳۳ و ۲۸ درصدی در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد نسبت به حالت

عدم استفاده از آهک هیدراته داشت.

(۲) بررسی اثر دمای آزمایش نسبت مارشال نشان داد که افزایش دما از ۴۵ به ۶۰ درجه سانتی گراد موجب کاهش پارامتر نسبت مارشال مخلوطهای آسفالتی شاهد (بدون آهک هیدراته) و مخلوطهای حاوی ۱، ۱/۵ و ۲ آهک هیدراته خواهد شد. به طوری که این افزایش دما کاهشی به ترتیب برابر ۲۴، ۷، ۱۹ و ۱۸ درصدی را در پارامتر نسبت مارشال در نمونه‌های مذکور نتیجه داد.

(۳) نتایج آزمایش میزان اثر چرخ (ویلتراک) در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد نشان داد که با افزودن آهک هیدراته به میزان ۱، ۱/۵ و ۲ درصد، پارامترهای عمق و نرخ شیاردگی کاهش یافته و پارامتر پایداری دینامیکی افزایش یافت. مناسب‌ترین وضعیت از

(۱) نتایج آزمایش نسبت مارشال نشان داد که با افزودن آهک هیدراته استقامت مارشال افزایش می‌یابد، به طوری که از بین نمونه‌های آزمایش شده، نمونه حاوی ۲ درصد آهک هیدراته دارای بیشترین استقامت مارشال بود. نتایج این آزمایش همچنین نشان می‌دهد که با افزودن آهک هیدراته به مخلوط آسفالتی، روانی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. بالا بودن استقامت و کمتر بودن روانی در شرایط استفاده از مصالح یکسان، نشان دهنده استحکام بیشتر در برابر تنش و مقاومت بیشتر در برابر تغییر شکل است. نسبت استقامت مارشال به روانی نمونه‌ها (شاخص نسبت مارشال) نیز با افزودن آهک هیدراته افزایش یافت. مقدار این پارامتر برای مصالح منتخب با ۱، ۱/۵ و ۲ درصد آهک هیدراته به ترتیب افزایشی در حدود ۱۸، ۳۰ و ۲۶ درصدی در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و ۷،

بررسی تأثیرات دما و فیلر آهک هیدراته در مقاومت شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی

بیشتری افزایش یافت و این مسئله اهمیت بحث دما را در بروز پدیده‌ی شیارشدگی، که در مطالعات پیشین نیز بدان اشاره شده بود، تأیید نمود.

۷. پی‌نوشتها

- 1- Rutting
- 2- Hydrated Lime
- 3- Hot Mix Asphalt
- 4- Marshal Quotient
- 5- Wheel Tracking
- 6- Hydroplaning
- 7- Stone Matrix Asphalt
- 8- Large Stone Asphalt Mix
- 9- Soft Grade
- 10- National Cooperative Highway Research Program
- 11- Flow Number
- 12- Universal Testing Machine
- 13- Dynamic Shear Rheometer
- 14- Rolling Thin Film Oven Test
- 15- Dynamic Stability
- 16- Wheel Revolution
- 17- Asphalt Concrete
- 18- Porous Concrete
- 19- Pure

۸. مراجع

-Archilla, A. R. and Madanat, S. (2000) "Development of a pavement rutting model from experimental data", Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 126,

نظر پارامتر عمق شیارشدگی برای مخلوط آسفالتی حاوی ۲ درصد آهک هیدراته مشاهده شد که کاهش ۳۵ درصدی را در شیارشدگی نسبت به مخلوط آسفالتی بدون آهک هیدراته نشان داد. برای پارامترهای نرخ شیارشدگی و پایداری دینامیکی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بهترین حالت مربوط به مخلوط آسفالتی حاوی ۱/۵ درصد آهک هیدراته بود که کاهش ۵۲ درصدی در پارامتر نرخ شیارشدگی و افزایش ۱۱۵ درصدی را در پارامتر پایداری دینامیکی به همراه داشت.

۴) در آزمایش میزان اثر چرخ در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، مخلوط آسفالتی حاوی ۲ درصد آهک هیدراته بهترین وضعیت را داشت. به طوری که برای پارامترهای عمق و نرخ شیارشدگی کاهش به ترتیب ۷ و ۸ درصدی و برای پارامتر پایداری دینامیکی افزایش ۹ درصدی را نسبت به مخلوط آسفالتی بدون آهک هیدراته نتیجه داد.

۵) بررسی اثر دما در آزمایش میزان اثر چرخ نشان داد که با افزایش دما از ۴۰ به ۶۰ درجه سانتی‌گراد، پارامترهای عمق و نرخ شیارشدگی به شدت افزایش یافته و پایداری دینامیکی نیز به شدت کاهش یافته است.

۶. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش آزمایشگاهی نشان داد که افزودن آهک هیدراته به مخلوط آسفالتی باعث کاهش شیارشدگی مخلوطهای آسفالتی شده است. این کاهش به علت افزایش سختی مخلوط آسفالتی، بهبود پیوستگی بین قیر و سنگدانه و نیز افزایش عمر پیرشدگی و اکسیداسیون قیر، در اثر افزودن آهک هیدراته به آن، ایجاد شده است. همچنین مشخص شد که اثر آهک هیدراته در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بود. این موضوع نشانگر آن است که در دماهای بالاتر، نقش قیر دارای اهمیت بیشتری است. با افزایش دما شیارشدگی با نرخ بسیار

- Gorkem, C. and Sengoz, B. (2009) "Predicting stripping and moisture induced damage of asphalt concrete prepared with polymer modified bitumen and hydrated lime", *Construction and Building Materials*, 23, pp. 2227-2236.
- Huang, X. M., Li, H. and Zhang, J. (2008) "Simulation of rutting behavior of asphalt pavement based on real temperature field", *Transportation Research Board, National Research Council, NCHRP Report 08-0372*, Washington, D.C., USA.
- Ibrahim, M. (2006) "Laboratory comparison study for the use of stone matrix asphalt in hot weather climate", *Construction and Building Materials*, 20, pp. 982-989.
- Lee, S., Mun, S. and Kim, Y. R. (2011) "Fatigue and rutting performance of lime-modified hot mix asphalt mixture", *Construction and Building Materials*, 25, pp. 4202-4209.
- Lesueur, D., Petit, J. and Hans, J. R. (2012) "Increasing the durability of asphalt mixture by hydrated lime addition: What evidence?" *Eurasphalt & Eurobitume Congress, A5EE-255*, Istanbul, Turkey.
- No. 4, pp. 291-299.
- ASTM D-1559 (1989) "Test method for resistance of plastic flow of bituminous mixtures using Marshall Apparatus", *American Society for Testing and Materials*.
- Atud, T. J., Kanitpong, K. and Martono, W. (2007) "Laboratory evaluation of hydrated lime application process in asphalt mixture for moisture damage and rutting resistance", *Transportation Research Board, National Research Council, NCHRP Report 07-1508*, Washington, D.C., USA.
- Centeno, M., Sandoval, I., Cremades, I. and Alarcon J. (2008) "Assessing rutting susceptibility of five different modified asphalts in bituminous mixture using rheology and wheel tracking test", *Transportation Research Board, National Research Council, NCHRP Report 468*, Washington, D.C., USA.
- White, T. D., Haddock, J. E., Hand, A. J. T. and Fang, H. (2002) "Contribution of pavement structural layers to rutting of hot mix asphalt pavement", *Transportation Research Board, National Research Council, NCHRP Report 468*, Washington, D.C., USA.

resistance of asphalt overlay with multilayer wheel tracking test”, Journal of Wuhan University, Vol. 21, No. 3, China.

- Zhao, W., Xiao, F., Amirhanian, S. N. and Putman, B. J. (2012) “Characterization of rutting performance of warm additive modified asphalt mixture”, Construction and Building Materials, 21, pp. 265-272.

- فخری، منصور و محمودی‌نیا، نادر (۱۳۹۰) "ارزیابی مقاومت شیارافتادگی مخلوطهای آسفالتی گرم با مصالح سنگی درشت‌دانه"، نشریه مهندسی عمران، سال بیستم، شماره یک.

- نیازی، یونس و جلیلی قاضی‌زاده، مرتضی (۱۳۸۷) "تأثیر سیمان و آهک بر تغییرشکل‌های دائمی مخلوطهای آسفالتی بازیافتی به روش سرد با امولسیون قیر"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال پنجم، شماره چهارم.

-Ozen, H. (2011) “Rutting evaluation of hydrated lime and SBS modified asphalt mixture for laboratory and field compacted samples”, Construction and Building Materials, 25, pp. 756-765.

-Perraton, D., Sauzeat, C. and Bankowski, W. (2011) “Rutting of bituminous mixtures: Wheel tracking tests campaign analysis”, Journal of Material and Structure, 44, pp. 969-986.

- Robertus, C., Mulder, E. A. and Koole, R. C. (1995) “SBS modified bitumen for heavy duty Asphalt pavement”, International Conference on Road and Airfield Pavement Technology, Singapore.

- Sengul, C.E., Aksoy, S., Iskender, E. and Ozen, H. (2012) “Hydrated lime treatment of asphalt concrete to increase permanent deformation resistance”, Construction and Building Materials, 30, pp. 139-148.

- Ullidtz, P. (1987) “Pavement analysis, development in civil engineering”, Series# 19, Elsevier.

- Weidong, L., Zheng, C., Shaopeng, W. U., Liantong, M. O. and Gang, L. (2006) “Rutting

