

بررسی میدانی رابطه افزایش درصد جذب آب مصالح سنگی کوهی آهکی و خرابی عریان شدگی رویه آسفالتی

غلامرضا تدین‌فر، استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
علی اصغر صادقی، استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
حامد والهی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

پست الکترونیک نویسنده مسئول: rezatadayon@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۱۷ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۵

صفحه ۲۳-۳۰

چکیده:

دوام و پایداری رویه‌های آسفالتی در برابر عوامل جوی و ترافیکی با نوع مصالح مصرفی و نحوه اجرا رابطه تنگاتنگی دارد. همچنین چسبندگی قیر به مصالح سنگی در کیفیت و دوام رویه‌های اجرا شده بسیار موثر می‌باشد که یکی از عوامل مهم آن ویژگی‌های مصالح سنگی از لحاظ جنس، وزن مخصوص و میزان جذب آب می‌باشد. چنانچه این چسبندگی به اندازه کافی برقرار نباشد خرابی عریان‌شدگی در رویه بوجود می‌آید که خود موجب زمینه‌سازی و شدت خرابی‌های دیگر می‌گردد. در این تحقیق با ثابت نگهداشتن دیگر شرایط، وضعیت پدیدار شدن خرابی عریان‌شدگی بر روی دوقطعه راه اجرا شده با دو نوع مختلف مصالح سنگی کوهی آهکی با وزن مخصوص و درصد جذب آب متفاوت، دو سال پس از بهره‌برداری با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد درصد جذب آب بالاتر و وزن مخصوص پایین‌تر مصالح سنگی باعث کاهش دوام رویه و پدیدار شدن سریع خرابی عریان‌شدگی می‌گردد. با توجه به هزینه هنگفت احداث راه‌ها می‌باید علاوه بر هزینه قیر و مصالح سنگی و حمل، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری نیز مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مصالح سنگ شکسته آهکی، خرابی رویه آسفالتی، جذب آب، عریان‌شدگی

۱- مقدمه

جنس و شکل سنگدانه‌ها، دانه‌بندی مصالح و مقدار جذب آب باید انجام گردد تا حداقل مقدار کیفی را داشته باشد. از طرفی انسجام مخلوط‌های آسفالتی در اثر چسبندگی مصالح سنگی و قیر معنی پیدا می‌کند. لذا در مواردی که نکات فنی در مورد مصالح سنگی و قیر یا مخلوط‌های آسفالتی رعایت نشود چسبندگی قیر و مصالح از بین می‌رود و دوام آسفالت کاهش یافته و به اضمحلال راه منجر می‌شود. از عوامل محیطی که در روسازی راه‌ها تاثیرگذار هستند تغییرات درجه حرارت، نفوذ

رویه آسفالتی راه نقش مهمی بعنوان بخشی از سازه راه را در عملکرد و تامین سطح هموار و ایمن آن ایفا می‌کند. کیفیت مصالح سنگی که بیش از ۹۰ درصد مخلوط آسفالتی را شامل می‌شود از المان‌های مهم و اساسی در کیفیت تولید آن محسوب می‌شود بطوریکه خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی مصالح بطور مستقیم در خواص آسفالت تاثیر دارد. مطالعه و بررسی و انجام آزمایش بر روی مصالح قبل از ارائه طرح و اجرای آسفالت ضروری می‌باشد. مطالعات و آزمایش‌ها بر روی نوع

آب و یخبندان را می‌توان نام برد. این عوامل بر مدول الاستیسیته لایه‌های مختلف روسازی تاثیر می‌گذارند. در طول فصل سرد یا در اوقات شبانه روز وقتی درجه حرارت روسازی پایین است مخلوط‌های آسفالتی سخت می‌شوند و میزان کرنش داخلی روسازی کاهش می‌یابد و میزان سفتی آسفالت باعث کاهش عمر خستگی روسازی می‌گردد و در نتیجه درجه حرارت پایین می‌تواند باعث تردی و خردشدن مصالح و در نهایت باعث ترک در سطح آسفالت گردد. از این رو رددشگی و برهنگی مصالح سنگی در قشرهای آسفالتی، موضوعات پیچیده‌ای است که به متغیرهای زیادی از جمله نوع و کاربرد مخلوط آسفالتی، مشخصات مصالح سنگی، مشخصات قیر، ترافیک، روش اجرا، نفوذ آب و یخبندان بستگی دارد.

ابوقدویس و الشولی (۲۰۰۷) نشان داده‌اند افزودنی ضد عریان‌شدگی اثر مهمی بر خزش و عریان‌شدگی آسفالت دارد. همچنین آنها نشان داده‌اند که مخلوط‌های حاوی افزودنی هیدورکسید کلسیم استتارات نسبت به مخلوط‌های با افزودنی گرد سنگ آهک تغییر شکل خزشی و عریان‌شدگی کمتری را دارند.

اضافه کردن پلیمر استایرن بوتادین استایرن و آهک در مخلوط‌های آسفالتی گرم به عنوان فیلر خصوصیات عملکرد آسفالت خصوصاً مقاومت در برابر آسیب‌های رطوبتی را افزایش می‌دهد. (ورال کوک و یلمیز، ۲۰۰۹). همچنین ترکیب استفاده از آنها از تغییر شکل دائمی زودرس رویه‌های آسفالتی جلوگیری می‌نماید. تقلیل عریان‌شدگی و افزایش انسجام و دوام روسازی آسفالتی با استفاده از افزودنی آهک هیدراته در تحقیقات نیز تایید شده است (کاوسی و عبدی، ۱۳۸۹، راک و همکاران، ۲۰۰۵).

عموزادعمرانی، رسولی و حصیرچیان (۱۳۹۰) خرابی عریان‌شدگی را در مخلوط‌های آسفالتی مورد بررسی قرار داده و پیشنهاداتی را جهت افزایش چسبندگی قیر به مصالح سنگی در حضور آب ارائه داده‌اند.

بررسی اثر مواد افزودنی ضد عریان‌شدگی در آسفالت بر روی این پدیده نشان می‌دهد که استفاده همزمان از پودر سنگ آهکی و افزودنی ضدعریان‌شدگی مایع می‌تواند علاوه بر بهبود حساسیت رطوبتی آسفالت گرم، از نظر اقتصادی نیز مقرون به

صرفه باشد (حسامی، مهدی زاده و جعفری حقیقت پور، ۱۳۹۴).

بررسی اثر آهک هیدراته و نانوماده ضدعریان‌شدگی نیز در مخلوط‌های آسفالتی نشان می‌دهد وقتی آهک بصورت دوغاب به نمونه اضافه می‌شود نسبت مقاومت کششی بیشتری در برابر حالتی که آهک با همان درصد بصورت خشک به نمونه اضافه می‌شود، دارد (علی‌خانی، افلاکی و لطیفی نمین، ۱۳۹۴).

خانی سانج، خبیری و اسمعیلی (۱۳۹۵) به بررسی پدیده عریان‌شدگی در مخلوط‌های آسفالتی گرم و تاثیر آهک و سه نوع مایع ضدعریان‌شدگی بر دو نوع مصالح سنگی حساس در برابر پدیده عریان‌شدگی پرداخته‌اند و نتیجه گرفته‌اند که با استفاده از آهک و مواد ضد عریان‌شدگی می‌توان مصالح حساس در برابر این پدیده را اصلاح کرد ولی لازم است برای هر نوع مصالح به صورت مجزا تاثیر مواد ضد عریان‌شدگی بررسی شود. ارزیابی‌های اقتصادی نشان داده است که افزایش هزینه تولید با توجه به میزان کم ماده ضدعریان‌شدگی مورد استفاده در مخلوط آسفالتی اندک است و در مقایسه با هزینه حمل و نقل مصالح سنگی مرغوبتر ناچیز می‌باشد (خانی سانج، خبیری، و اسمعیلی، ۱۳۹۵)

۲- خرابی عریان‌شدگی

حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی که عموماً پتانسیل عریان‌شدگی نامیده می‌شود از عمده خرابی‌های روسازی‌های آسفالتی می‌باشد. جدایی قیر از سنگ‌دانه به علت حضور آب به خصوصیات شیمیایی و الکتروشیمیایی قیر و سطح مصالح سنگی نسبت داده می‌شود. تحقیقات نشان داده است که نقش خواص شیمیایی سنگ‌دانه‌ها در پدیده عریان‌شدگی بیش از خواص قیر می‌باشد. هنگام اندود شدن مصالح سنگی با قیر، سنگ‌دانه‌ها بخشی از ترکیبات قطبی قیر را جذب کرده و با آنها پیوند هیدروژنی تشکیل می‌دهند که این ترکیبات نقش مهمی در چسبندگی قیر و مصالح سنگی ایفا می‌کند. با نفوذ آب بین دو لایه قیر و سنگ‌دانه برخی از اتصالات نمکی و یونی بین قیر و مصالح سنگی به راحتی در آب حل شده و باعث پدیده عریان‌شدگی می‌گردد.

بانتخاب مناسب زوج قیر- مصالح یا استفاده از مواد افزودنی، کمپلکس‌های پایدار نامحلول و پیوندهای کووالانسی در مرز مشترک قیر- مصالح تشکیل می‌شوند و چسبندگی و مقاومت در برابر صدمات رطوبتی افزایش می‌یابد (جمشیدی، زمانی فر و اسماعیلی طاهری، ۱۳۸۹، مهرآرا و خدایی، ۲۰۱۳).

همچنین علاوه بر ترکیب شیمیایی و جنس سنگدانه‌ها، ساختار سطح سنگدانه‌ها نیز عامل ایجاد چسبندگی مکانیکی آن با قیر است و عوامل مانند شکسته و گوشه‌دار بودن و جذب قیر آنها نیز در مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر رطوبت کمک می‌کند (اسماعیلی، ۱۳۸۷).

۳- مشخصات مصالح سنگی و قیر نمونه‌های آسفالتی

جدول (۱) مشخصات مصالح سنگی و نمونه‌های آسفالتی با استفاده از معدن شماره (۱) واقع در مسیر تربت حیدریه- مشهد

را نشان می‌دهد. مخلوط آسفالت با استفاده از قیر خالص با درجه نفوذ ۷۰-۶۰ تهیه شده است و دانه‌بندی مصالح سنگی مورد استفاده سنگ شکسته کوهی منطبق بر دانه بندی پیوسته نوع ۴ آیین‌نامه روسازی راه‌های ایران (وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۰) بوده است. نوع مصالح سنگی از لحاظ جنس سنگ آهکی می‌باشد. مقدار درصد جذب آب مصالح از مقادیر مجاز آیین نامه روسازی بیشتر می‌باشد با اینحال استفاده از این مصالح سنگی با تایید دستگاه نظارت مجاز اعلام شده است.

جدول (۲) مشخصات مصالح سنگی و نمونه‌های آسفالتی تهیه شده با استفاده از معدن کوهی شماره (۲) واقع در مسیر تربت حیدریه- مشهد را نشان می‌دهد. مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از مصالح این معدن نیز مشابه با مخلوط آسفالت معدن شماره (۱)، با قیر ۷۰-۶۰ تهیه شده و دانه‌بندی مورد استفاده نوع ۴ آیین نامه روسازی بوده است.



شکل ۱. نمونه ای از مصالح سنگی معدن شماره ۱

جدول ۱. مشخصات مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی تهیه شده از معدن شماره ۱

مشخصات نمونه		درشت دانه		میاندانه		ریز دانه		فیلر	
نمونه	استاندارد	نمونه	استاندارد	نمونه	استاندارد	نمونه	استاندارد	نمونه	استاندارد
درصد هم ارز ماسه ای (AASHTO-T176) SE									
سایش به روش لوس آنجلس		B	B						
(AASHTO-T96)		تعداد دور	۵۰۰	۵۰۰					
درصد سایش		۱۷	۲۵						
حدود اتربرگ (AASHTO-T89,90) دامنه خمیری (PI)									
NP	NP	NP	NP						
درصد شکستگی در دو جبهه (ASTM-D5821)									
		۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰			
درصد چسبندگی قیر به مصالح (AASHTO-T182)									
		۹۵							
درصد تطویل و تورق (BS-812)									
		۱۳							
درصد تورق									
		۲۲		۳۰					
درصدافت وزنی در مقابل سولفات									
		۸							
سديم ریزدانه									
		۱۲		۱					
(AASHTO-T104)									
مصالح سنگی مانده روی الک ۸میره									
		۲.۶۳۶		۲.۴۶۶		۲.۵			
مصالح سنگی رده شده از الک شماره ۸ و مانده روی الک ۲۰۰میره									
		۲.۶۳۰		۲.۴۴۵		۲.۵			
مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۲۰۰									
		۲.۶۲۷							
وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی Gsb									
		۲.۴۶۶							
درصد جذب قیر مخلوط مصالح سنگی									
		۰.۴۱							
درصد قیر بهینه									
		۰.۴							



شکل ۲. نمونه ای از مصالح سنگی معدن شماره ۲

جدول ۲. مشخصات مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی تهیه شده از معدن شماره ۲

مشخصات نمونه		درشت دانه	میاندانه	ریز دانه	فیلر
نمونه	استاندارد	نمونه	استاندارد	نمونه	استاندارد
درصد هم ارز ماسه ای SE (AASHTO-T176)					
				۶۵	۵۰
سایش به روش لوس آنجلس		نوع دانه بندی	B	B	
(AASHTO-T96)		تعداد دور	۵۰۰	۵۰۰	
		درصد سایش	۲۶	۲۵	
حدود اتبرگ (AASHTO-T89.90)		دامنه خمیری (PI)			
NP	NP	NP	NP		
درصد شکستگی در دو جبهه (ASTM-D5821)			۸۰	۸۰	۱۰۰
درصد چسبندگی قیر به مصالح (AASHTO-T182)			۹۵	۹۵	
درصد تطویل و تورق (BS-812)		تطویل	۲۶		
		تورق	۲۱	۳۰	۳۰
درصدافت وزنی در مقابل سولفات سدیم		درشت دانه	۸		
(AASHTO-T104)		ریزدانه	۱	۱۲	۱۲
مصالح سنگی مانده روی الک نمره ۸			۲.۷۱۲	۲.۶۷۱	۲.۵
مصالح سنگی رده شده از الک شماره ۸ و مانده روی الک نمره ۲۰۰			۲.۷۲۲	۲.۶۵۲	۲.۵
مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۲۰۰			۲.۷۵۹		
وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی Gsb			۲.۶۶۹		
درصد جذب قیر مخلوط مصالح سنگی			۰.۲۲		
درصد قیر بهینه			۴.۷		

۴- شرایط اجرا

مخلوط‌های آسفالتی شرح داده شده در بخش قبل هر دو در یک منطقه و در شرایط آب و هوایی یکسان- باند دوم محور مشهد- تربت حیدریه- مورد استفاده واقع شده است و از هر دو مخلوط بعنوان لایه رویه (توپکا) استفاده شده است. قیر مورد استفاده همزمان خریداری شده و یکسان بوده است و زمان اجرا خردادماه بوده و تنها ۲ هفته (بدون تفاوت دمایی محسوس) تفاوت داشته است. لازم به ذکر است کارخانه تهیه آسفالت و ماشین آلات مورد استفاده و پیمانکار دوقطعه یکسان بوده است. همچنین شرایط شیب مقطع عرضی برای هر دو قطعه یکسان و شیب طولی تفاوت محسوسی نداشته است. لازم به ذکر است با توجه به اینکه هر دو قطعه اجرا شده مربوط به

همانطور که در جداول ۱ و ۲ مشخص شده است میزان درصد قیر بهینه، درصد قیر جذبی و میزان جذب آب مصالح سنگی معدن شماره ۱ از معدن شماره ۲ بیشتر می‌باشد. درصد قیر بهینه به روش طرح مارشال (AASHTO -T245) برای معدن شماره ۱ برابر ۵/۴ و برای معدن شماره ۲ برابر ۴/۷ درصد می‌باشد. از این رو کیفیت آسفالت و هزینه تمام شده تهیه آسفالت با مصالح معدن شماره ۲ به صرفه‌تر می‌باشد با اینحال با توجه به برآوردهای انجام شده توسط پیمانکار و دستگاه نظارت میزان قیر صرفه جویی شده از هزینه فاصله حمل مصالح از معدن به کارخانه آسفالت و محل اجرا کمتر بوده و از این رو از معدن شماره ۱ نیز استفاده شده است تا هزینه تمام شده اولیه پروژه کاهش یابد.

یک راه می‌باشد ترافیک در سال های پس از بهره برداری نیز برای هردو قطعه یکسان بوده است.

۵- بررسی های میدانی

در این تحقیق دو قطعه اجرا شده با استفاده از مخلوط های آسفالتی تهیه شده از معدن ۱ و ۲ مورد بازدید و بررسی میدانی قرار گرفته است. بررسی های میدانی ۲ سال پس از بهره برداری و باز شدن ترافیک انجام شده است. بررسی ها نشان می‌دهد تحت شرایط ترافیکی، نزولات جوی و شرایط آب و هوایی یکسان در قطعه شماره ۱ که با استفاده از مصالح معدن شماره ۱ ساخته شده است. عریان شدگی مصالح بوجود آمده و سطح

آسفالت زیر شده است. در این قطعه بخش های ریزدانه از مخلوط آسفالتی جدا شده و با وجود مقاومت مناسب سنگدانه های درشت دانه زیر بار ترافیک، پوشش قیر آنها از بین رفته و خرابی عریان شدگی بوجود آمده است.

شکل (۳) نمونه ای از تصاویر خرابی عریان شدگی در قطعه شماره ۱ را نشان می‌دهد. در قطعه شماره ۲ که با استفاده از مصالح معدن شماره ۲ ساخته شده است، بررسی های میدانی نشان می‌دهد آسفالت اجرا شده از عملکرد مناسبی برخوردار بوده و خرابی عریان شدگی در آن اتفاق نیفتاده است. شکل شماره (۴) نمونه ای از کیفیت سطحی آسفالت را در این قطعه نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمونه هایی از کیفیت سطحی آسفالت قطعه شماره ۱ و وقوع خرابی عریان شدگی



شکل ۴. نمونه‌هایی از کیفیت سطحی آسفالت قطعه شماره ۲ و انسجام سطحی آن

۶- نتیجه گیری

تخلخل بیشتر این مصالح باعث افزایش جذب قیر به مصالح سنگی نیز شده است و از این رو درصد قیر بهینه افزایش یافته است که قیمت تهیه مخلوط آسفالت را بالتبع افزایش داده است. اگرچه این افزایش قیمت در زمان طراحی در نظر گرفته شده است با اینحال به دلیل کمتر بودن آن نسبت به هزینه حمل، مصالح معدن شماره ۱ نیز مورد استفاده قرار گرفته است و متاسفانه هزینه خرابی‌های بوجود آمده که عمدتاً خرابی

بررسی طرح مخلوط‌های آسفالتی و بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد قطعه شماره ۱ که با استفاده از مصالح معدن شماره ۱ ساخته شده است، در مقایسه با قطعه شماره ۲ از عملکرد مناسبی برخوردار نبوده و در یک دوره کوتاه مدت ۲ ساله مورد اضمحلال قرار گرفته است. ویژگی‌های مصالح سنگی نشان می‌دهد مصالح معدن شماره ۱ دارای مقدار جذب آب بیشتر و وزن مخصوص پایین‌تری نسبت به معدن شماره ۲ می‌باشد.

عریان شدگی می‌باشد در نظر گرفته نشده است. تجربه نشان می‌دهد پس از پدیده عریان شدگی و جدانشدگی مصالح دیگر خرابی‌ها نیز به سرعت رشد کرده و طول عمر و شاخص خدمت دهی آن به سرعت کاهش می‌یابد. علاوه بر این زبری سطح آسفالت و هزینه بوجود آمده برای کاربران به دلیل لاستیک‌سایی نیز باید در نظر گرفته شود.

از این رو پیشنهاد می‌شود هنگام تصمیم‌گیری و برآورد هزینه‌ها در گزینه‌های ممکن تهیه و اجرای آسفالت، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری نیز در نظر گرفته شود و یا در زمان تهیه آسفالت از افزودنی‌های کاهنده خرابی عریان شدگی استفاده شود. موثر بودن استفاده از آهک هیدراته و پلیمر استایرن بوتادین استایرن جهت جلوگیری از خرابی عریان شدگی توسط محققان نشان داده شده است.

۱۱- مراجع

- اسمعیلی، ع.، (۱۳۸۷)، "تاثیر نوع و میزان فیلر برخواص مخلوط‌های آسفالتی"، نشریه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، شماره ۸۲.

- جمشیدی، ح. و زمانی فر، ا. و اسماعیلی طاهری، م.، (۱۳۸۹)، "کاربرد انرژی آزاد سطحی برای پیش‌بینی پتانسیل زیان رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی گرم"، پنجمین همایش قیر و آسفالت ایران، موسسه قیر و آسفالت ایران، تهران: ۱۰-۱۱ اسفند.

- حسامی، ا. و مهدی زاده، غ. و جعفری حقیقت پور، پ.، (۱۳۹۴)، "بررسی تاثیر افزودنی ضدعریان شدگی و پودرسنگ آهکی برحساسیت رطوبتی آسفالت گرم"، همایش بین المللی معماری عمران و شهرسازی در آغاز هزاره سوم، تهران: ۲ مرداد.

- خانی سانج، ح. و خبیری، م. و اسمعیلی، ر.، (۱۳۹۵)، "ارزیابی آزمایشگاهی روشهای مقابله با پدیده عریان شدگی در مخلوط‌های آسفالتی گرم" فصل نامه مهندسی حمل و نقل. سال هفتم شماره ۴. ص. ۶۷۹-۶۸۸.

- علی‌خانی، ه. و افلاکی، س. و لطیفی نمین، م.، (۱۳۹۴)، "اثر آهک هیدراته و نانوماده ضدعریان شدگی برحساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی گرم"، سومین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۸-۱۰ دی.

- عموزادعمرانی، م. و رسولی، ر. و حصیرچیان، م.، (۱۳۹۰)، "بررسی پدیده عریان شدگی در مخلوط‌های آسفالتی و روش‌های بهبود آن"، سومین همایش ملی عمران شهری، دانشگاه سنندج، سنندج: ۴ آبان.

- کاوسی، ا. و عبدی، ع.، (۱۳۸۹)، "بررسی عریان شدگی مصالح سنگی در رویه‌های آسفالتی به روش آزمایش سایش"، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، دوره دهم شماره ۲، ص. ۱۲۳-۱۳۳.

- وزارت راه و شهرسازی (۱۳۹۰)، "آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران- نشریه شماره ۲۳۴. تجدیدنظر اول."

- Abo-Qudais, S., Al-Shweily, H., (2007), "Effect of antistripping additives on environmental damage of bituminous mixtures", Journal of Building and Environment, No. 42, pp. 2929 – 2938.

- Mehrara, A., Khodaii, A., (2013), "A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete", Journal of Construction and Building Materials, No.38, p.p. 423-442.

- Roque, R., Birgisson B., Drakos, C., Sholar, G., (2005), "Guidelines for use of modified binders". Florida department of Transportation, project number: 4910-4504-964-12.

- Vural Kok, B., Yilmaz, M., (2009), "The effects of using lime and styrene-butadiene-styrene on moisture sensitivity resistance of hot mix asphalt", Journal of Construction and Building Materials, No. 23, pp. 1999-2006.