

ارزیابی استفاده از مصالح بازیابی شده روسازی‌های آسفالتی در تولید مخلوط‌های آسفالت گرم به روش بازیافت درجا

عارف ابراهیمی بشلی، دانشجوی دوره دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

غلامعلی بهزادی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی ایران، آمل، ایران

داریوش یوسفی کبریا (نویسنده مسئول)، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

مریم تقی زاده، دانشجوی دوره دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران

E-mail: dy.kebroa@nit.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۷

دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰

چکیده

امروزه صنایع مرتبط با ساخت، نگهداری و بهسازی زیرساخت های حمل و نقل (راه ها، معابر، فرودگاه ها) با انتشار گازهای گلخانه‌ای که از مهم‌ترین عوامل تخریب اکوسیستم ها و منابع طبیعی به شمار می‌رود، یکی از منابع اصلی آلودگی محیط زیست است. تولید مخلوط‌های آسفالتی پاک، نیازمند پایین آوردن دمای این مخلوط ها، بدون کاهش در سطوح عملکرد مکانیکی آن ها است. استفاده مجدد از مصالح خرده مخلوط آسفالت تخریب شده به عنوان پسماند صنعت راهسازی در تولید مخلوط آسفالت جدید موجب حفظ منابع طبیعی و کاهش آلودگی زیست محیطی می‌شود. در این تحقیق استفاده از مصالح بازیابی شده روسازی‌های مخلوط آسفالتی در تولید مخلوط‌های آسفالتی داغ و گرم و اثر افزودنی ها (ساسوبیت و زایکوترم) بر عملکرد مخلوط آسفالتی گرم مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان مخلوط آسفالتی بازیافتی (RAP) مورد استفاده در مخلوط گرم ۵۰ و ۷۵ درصد و میزان افزودنی ساسوبیت و زایکوترم به ترتیب ۲ و ۰٫۱ درصد در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج به دست آمده افزودن ساسوبیت در بهبود تراکم پذیری و افزایش استحکام مخلوط های آسفالتی موثر بوده، بطوری‌که نمونه های حاوی ۷۵ درصد RAP از تراکم پذیری بهتر و استحکام بیشتری در مقایسه با سایر نمونه ها برخوردار بوده اند. زایکوترم نیز موجب بهبود تراکم پذیری و کاهش قابل توجه در محدوده فضای خالی و افزایش استحکام در مخلوط حاوی ۷۵ درصد RAP گردید و بطور کلی نمونه های مخلوط آسفالتی گرم با ۷۵ درصد RAP از نظر استحکام تفاوت چندانی با مخلوط های آسفالت داغ نداشته است. همچنین افزودن ساسوبیت باعث افزایش کرنشهای ماندگار در پالسه‌های اولیه شده است اما روند تغییرات به گونه ای است که نمونه های حاوی ساسوبیت در پالسه‌های بالاتر از ۱۵۰۰ کرنشهای ماندگار کمتری را نشان داده است. افزودن زایکوترم نیز باعث افزایش کرنشهای ماندگار شده است. در تمامی حالات نتایج آزمایش TSR، با افزایش نسبت درصد مصالح خرده مخلوط آسفالتی بازیافتی یافته است که بیانگر پایین بودن حساسیت رطوبتی در مخلوط های بازیافتی است.

واژه های کلیدی: آلودگی زیست محیطی - مخلوط آسفالتی گرم - مخلوط آسفالتی بازیافتی - آزمایش عملکردی ساده - مدول

برجهندگی

۱. مقدمه

استفاده قرار گیرد و موجب صرفه جویی در هزینه و انرژی شود [Yousefi Kebria, Moafimadani and Goli, 2015, Mallick, Kandhal and Bradbury, 2008] اما در مقابل باید آلودگی زیست محیطی مخلوط آسفالتی داغ خصوصا هنگامی که حاوی درصد بالایی مصالح RAP است را یادآور شد. این امر خود، درصد استفاده از مصالح بازیافتی در روسازی مخلوط آسفالتی جدید را محدود می‌کند. ضمناً درجه حرارت بالا در بازیافت گرم علاوه بر تولید گازهای مضر موجب پیرتر شدن قیر مصالح RAP می‌شود. پژوهشها نشان می‌دهد کاهش ۱۰ تا ۱۲ درجه سلسیوس دمای تولید مخلوط آسفالتی داغ می‌تواند تولید گازهای مضر را ۵۰ درصد کاهش دهد [Mallick, Bergendahl and Pakula. 2009] و هنگامی که دمای اختلاط از ۱۵۰ درجه سلسیوس به ۱۳۰ درجه سلسیوس می‌رسد، کاهش انرژی بیش از ۵۰ درصد خواهد بود [Karen and Phyllis, 2009].

فناوری مخلوط آسفالتی گرم اولین بار در اروپا پس از توافقنامه کیوتو جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای ابداع شد و با توجه به بالا رفتن قیمت انرژی و به دلایل محیط زیستی، استفاده از آن رو به افزایش است [Kai, Maekawa and Hachiya 2009]. در این فناوری با استفاده از روشهای مختلف، کندروانی قیر کاهش یا حجم قیر افزایش داده می‌شود تا قیر بتواند در درجه حرارت پایین تر اطراف مصالح را بخوبی پوشش دهد و به این ترتیب درجه حرارت اختلاط و تراکم مخلوط آسفالتی کاهش می‌یابد.

مخلوطهای آسفالتی گرم در سالهای اخیر با توجه به آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از تولید و اجرای مخلوط آسفالتی داغ و افزایش بهای سوخت، در سراسر دنیا پذیرش بسیاری کسب نموده‌اند و به دلیل کاهش دمای تولید مخلوط آسفالتی به میزان ۲۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس نسبت به مخلوط‌های آسفالتی داغ، می‌توانند به عنوان راهکاری موثر در کاهش آلودگی هوا لحاظ شوند [Naisheng et al. 2014].

حفظ محیط زیست به‌عنوان یکی از ارکان توسعه پایدار، از اهمیت فراوانی برخوردار است. آلودگی‌های زیست محیطی و رشد تولید گازهای گلخانه‌ای از جمله مهم‌ترین معضلاتی است که پس از انقلاب صنعتی، دامن‌گیر جامعه جهانی شده است و در همایش محیط زیست و توسعه پایدار در سال ۱۹۹۲ در ریودوژانیرو به عنوان مشکلات جدی زیست محیطی تهدیدکننده سیاره زمین مورد بررسی قرار گرفت. تخریب منابع طبیعی و تغییرات آب و هوایی، دلایل اصلی از بین رفتن اکوسیستم‌ها عنوان شدند و در این میان، دو صنعت مهم حمل و نقل و کشاورزی به‌عنوان صنایعی که بیشترین تأثیر را در این رابطه دارند، معرفی شدند [Crosson et al. 2011].

با توجه به انتشار دی‌اکسیدکربن در اثر تولید مخلوط‌های آسفالتی داغ (HMA^۱)، استفاده از مخلوط‌های گرم (WMA^۲) می‌تواند موجب کاهش تولید گازهای آلاینده و همچنین کاهش میزان انرژی مصرفی شود.

در این روش مخلوط‌های آسفالتی با درجه حرارتی کمتر از مخلوط‌های آسفالتی متداول (دمایی در حدود ۳۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس کمتر از دمای تولید مخلوط‌های آسفالتی گرم) تولید گردید. فناوریهای تولید مخلوط آسفالتی گرم، شامل دو فناوری عمده بکارگیری برخی مواد افزودنی بمنظور کاهش کندروانی قیر و تولید کف قیر به منظور افزایش کارایی مخلوط هستند.

بکارگیری محصولات نظیر ساسوبیت^۳، رثوفالت^۴، آسفامین^۵ و اووثرم^۶ به عنوان مواد کاهنده کندروانی قیر، از جمله نوآوری‌های این فناوری محسوب می‌شوند.

یکی دیگر از عوامل کاهش آلودگی محیط زیست استفاده از مصالح بازیابی شده روسازی آسفالتی (RAP^۷) در مخلوط‌های آسفالتی است. RAP مصالح فرسوده‌ای است که از طریق بازیافت (آسیاب نمودن یا تراشیدن) مخلوط آسفالتی روسازی‌های تخریب شده بدست می‌آید [Fakhri et al. 2006]. این مصالح می‌تواند در مخلوط‌های آسفالتی جدید سرد و گرم مورد

ارزیابی استفاده از مصالح بازیابی شده روسازی‌های آسفالتی در تولید مخلوط‌های آسفالت گرم ...

[2000].

تاکنون انواع مختلفی از مخلوط آسفالتی گرم با کف قیر، مواد معدنی و افزودنی‌های آلی مانند آسفامین و ساسوبیت تولید شده اند. اکثر تکنولوژی‌های مخلوط آسفالتی گرم در مرحله ارزیابی برای تولید و اجرا در سطح وسیع هستند. ملاحظات زیست محیطی و سودمندی‌های دیگر این تکنولوژی‌ها منجر به آن شده است که در سطح گسترده‌ای مورد توجه قرار می‌گیرند.

ساسوبیت محصولی است که برای اولین بار در کشور آلمان به تولید رسیده و تاکنون در کشورهای زیادی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. این ماده واکس سینتتیکی است که در روند تبدیل ذغال سنگ به گاز تولید شده و باعث کاهش کندروانی قیر در دمای اختلاط با سنگدانه و تراکم مخلوط آسفالتی می‌شود [D'Angelo et al. 2008].

میزان استفاده از این محصول بسیار گسترده‌تر از سایر انواع محصولات بوده، به طوری که تاکنون بیش از ۱۰ میلیون تن مخلوط آسفالتی گرم حاوی ساسوبیت در آلمان و حدود ۲۰ کشور دیگر مورد استفاده قرار گرفته است. [Brian Hill. 2011].

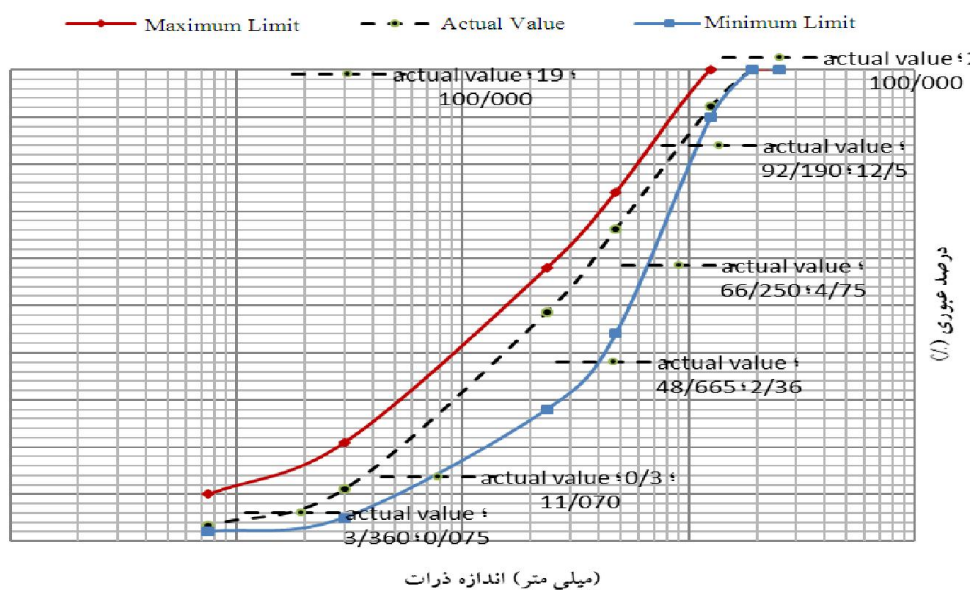
در سال ۲۰۰۵ اداره راه‌های مریلند^۱ دو گزارش در ارتباط با ارزیابی عملکرد مخلوط حاوی ساسوبیت با مقدار مصالح خرده مخلوط آسفالتی زیاد در لایه‌های بیندر و توپکا ارائه نمود. بر اساس این گزارش حمل و پخش مخلوط‌های حاوی ساسوبیت راحت‌تر بوده و این مخلوط کاملاً به درصد تراکم مورد نظر دست یافته است [D'Angelo et al. 2008].

در این مطالعه استفاده از مصالح خرده آسفالتی بازیافتی، تاثیر افزودنی‌های مخلوط آسفالتی گرم بر تراکم مخلوط، دمای اختلاط و پارامترهای عملکردی مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی پارامترهای عملکردی، نمونه‌های مخلوط‌های آسفالتی حاوی درصد‌های مختلف مصالح خرده آسفالتی در دمای اختلاط و تراکم تعیین شده ساخته شد و آزمایش‌هایی از قبیل مقاومت کششی غیرمستقیم (ITS^۱)، حساسیت رطوبتی (نسبت

هدف این فن‌آوریها کاهش کندروانی قیر است که موجب بهبود کارایی مخلوط، کاهش گازهای گلخانه‌ای و عموماً بهبود شرایط عملکردی می‌شود. تولید گازهای گلخانه‌ای، با دما ارتباط دارد، به این صورت که تا دمای ۸۰ درجه سلسیوس تقریباً هیچ گاز گلخانه‌ای متصاعد نمی‌شود، حتی در دمای حدود ۱۵۰ درجه سلسیوس تولید گازهای گلخانه‌ای در حدود 1 mgh^{-1} است. تولید گازهای گلخانه‌ای به صورت قابل توجهی در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس رخ می‌دهد. همین دمای کمتر تولید WMA، کاهش زیادی در تولید گازهای گلخانه‌ای و بخارات را نتیجه می‌دهد. علاوه بر این فن‌آوریها مخلوط‌های آسفالتی گرم دارای مزایای زیست محیطی غیرمستقیم نیز هستند که از جمله می‌توان به قابلیت استفاده بیشتر از مصالح آسفالتی بازیافتی اشاره کرد [Yue et al. 2012]. چپو و همکارانش در سال ۲۰۰۸ دریافتند که افزودن RAP به مخلوط‌های آسفالتی، اثرات زیست محیطی تولید را تا ۲۳ درصد کاهش می‌دهد [Chi, Hsu and Yang, 2008]. بارتل در کنگره جهانی راه در آفریقای جنوبی روشی را برای استفاده از زئولیت سینتتیکی در تولید مخلوط آسفالتی گرم معرفی کرد. زئولیت خاصیت تولید کف دارد که می‌تواند سبب افزایش کارایی مخلوط آسفالتی شود.

در ژوئن ۲۰۰۵، مرکز ملی تکنولوژی مخلوط آسفالتی دو گزارش در زمینه استفاده از ساسوبیت به عنوان واکس سینتتیکی (موم مصنوعی) و آسفامین به عنوان نوعی زئولیت سینتتیکی در مخلوط‌های آسفالتی نیمه‌گرم ارائه داد.

اکثر فعالیت‌های انجام شده بر روی مخلوط آسفالتی گرم شامل مخلوط‌هایی با دانه‌بندی توپ‌پر بوده است. کاندراست در سال ۲۰۰۰ عنوان نمود که تکنولوژی مخلوط آسفالتی گرم برای سایر انواع مخلوط‌های آسفالتی (دانه‌بندی باز، میان‌تهی و استخوان‌بندی سنگدانه‌ای) نیز قابل کاربرد است. بعدها او بیان کرد که تولید و اجرای تکنولوژی مخلوط آسفالتی گرم در کارخانه‌های معمول تولید مخلوط آسفالتی گرم و با تجهیزات اجرای مخلوط‌های آسفالت معمول نیز امکان‌پذیر است [Prowell and Hurley,



شکل ۱. منحنی دانه بندی مصالح سنگی مورد استفاده

جدول ۱. دانه بندی و درصد قیر متوسط مصالح خرده مخلوط آسفالتی (درصد قیر=۴)

شماره الک	درصد عبوری میانگین RAP
۱۹ میلیمتر	۱۰۰
۱۲٫۷ میلیمتر	۹۴/۴
۹٫۵۱ میلیمتر	-
۴ (۴٫۷۵ میلیمتر)	۵۸/۲
۸ (۲٫۳۸ میلیمتر)	۴۲
۵۰ (۰٫۳ میلیمتر)	۱۰/۲
۲۰۰ (۰٫۰۷۵ میلیمتر)	۴/۸

مخلوط‌های بتن آسفالتی در شکل (۱) و مشخصات آن در جدول (۱) آورده شده است [Management and Planning Org. 2003]. در این مطالعه از پودر سنگ آهک به عنوان فیلر (عبوری از الک شماره ۲۰۰) استفاده شده است

۲-۱-۲ مصالح خرده مخلوط آسفالتی

مصالح خرده مخلوط آسفالتی، از تراشه روسازی های آسفالتی قدیمی تهیه گردید. مخلوطهای آسفالتی گرم با توجه به قابلیت های کارخانه های آسفالت و همچنین خصوصیات فیزیکی مخلوط آسفالتی موجود معمولاً تا ۵۰ درصد وزنی خود از مصالح خرده مخلوط آسفالتی تشکیل می شوند.

مقاوت کششی اشباع به خشک (TSR¹¹) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش ها

۲-۱-۲ مواد و مصالح

۲-۱-۲-۱ مصالح سنگی تازه

این مصالح از جنس سنگ آهک بوده که از معدن موجود در محور شیراز- اصفهان ایران تهیه شد. دانه بندی مورد استفاده مطابق با آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران (نشریه ۲۳۴) انتخاب شد که حدود مجاز دانه بندی مصالح سنگی، برای تهیه

ارزیابی استفاده از مصالح بازیابی شده روسازی‌های آسفالتی در تولید مخلوطهای آسفالت گرم ...

جدول ۲ تا ۴ ارایه شده است، [Johnston et al. 2006]

[Papagiannakis, 2008]

۲-۱-۳ قیر خالص مورد استفاده

قیر مصرفی مورد استفاده در این تحقیق، قیر خالص با درجه نفوذ ۶۰/۷۰ است، که از پالایشگاه سلفچگان تهیه شده است. این قیر برای تهیه نمونه‌های HMA و WMA مورد استفاده قرار گرفته است. برای ساخت نمونه‌های مخلوط آسفالتی گرم این قیر با استفاده از افزودنی ساسوبیت و زایکوترم^{۱۱} اصلاح شده است. نوع قیر و خصوصیات آن در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که از مقایسه جدول ۴ و ۵ مشخص است، قیر استخراجی از مخلوط بازیافتی، دارای درجه نفوذ کمتر و نقطه نرمی بیشتر است که نشان‌دهنده سخت شدن قیر در مدت زمان بهره برداری است. استفاده از آن می‌تواند مخلوط سخت و شکننده تولید نماید.

برای تعیین ساختار دانه بندی و همچنین ارزیابی خصوصیات فیزیکی قیر استخراج شده، آزمایش استخراج قیر از مصالح خرده مخلوط آسفالتی بر اساس استاندارد ASTM D2172 با استفاده از حلال تولوئن انجام گرفت [Jenkins et al. 2007].

ساختار زنجیری تولوئن در قیاس با ساختار حلقوی قیر، امکان بازیابی کامل قیر از حلال تولوئن را بدون تاثیر در خصوصیات فیزیکی آن فراهم می‌آورد. برای تعیین دانه بندی مصالح سنگی استخراج شده از استاندارد ASTM C136 استفاده گردید.

[Graham and Hurley, 2005]

پس از جداسازی قیر از مصالح بازیافتی، وزن مخصوص ظاهری و حقیقی، درصد شکستگی، تطویل و تورق آن و همچنین آزمایشهای درجه نفوذ و نقطه نرمی بر روی قیراستخراجی به روش ASTM D5 و ASTM D36 انجام شد که نتایج آن در

جدول ۲. مشخصات مصالح سنگی استخراج شده از مصالح تازه و خرده مخلوط آسفالتی

مصلح تازه		خرده مخلوط آسفالتی		مشخصه
ظاهری	حقیقی	ظاهری	حقیقی	
۲/۷۰۶	۲/۸۰۲	۲/۶۱۲	۲/۶۵۴	مصالح سنگی مانده روی الک شماره ۸
۲/۴۲۸	۲/۷۷	۲/۵۲۹	۲/۶۲۷	مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۸ و مانده روی الک شماره ۲۰۰
۲/۶۱۸		۲/۶۲۲		مصالح سنگی رد شده از الک ۲۰۰
۲/۵۷۰		۲/۶۱۸		وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی، Gsb

جدول ۳. مشخصات مرغوبیت مصالح سنگی استخراج شده از مصالح خرده مخلوط آسفالتی

نتایج	استاندارد	مشخصه
۸۴	ASTM D 5821	درصد شکستگی مصالح سنگی مانده روی الک شماره ۴
۱۸	BS- 812	درصد تطویل
۱۶	BS- 812	درصد تورق

جدول ۴. نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی قیر احیا شده

نمونه	آزمایش	روش انجام آزمایش	نتایج	میانگین
۱			۲۴	
۲	درجه	ASTM D5	۳۶	۳۱
۳	نفوذ		۳۳	

۶۸	۱	
۶۳	۲	نقطه
	۳	نرمی
۶۲		

جدول ۵. خصوصیات قیر مورد استفاده

روش آزمایش	قیر ۷۰/۶۰	خصوصیات
ASTM D-70	۱/۰۳	وزن مخصوص در ۲۵ درجه سانتی‌گراد
ASTM D-5	۶۴	درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتی‌گراد
ASTM D-36	۵۴	نقطه نرمی (درجه سانتی‌گراد)
ASTM D-113	۱۰۲	انگمی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد

زاویه اصطکاک داخلی می‌شود. بنابراین مقایسه استحکام مخلوط‌های آسفالتی فقط در مواقعی که ساختار دانه بندی و میزان تراکم آنها یکسان باشد (درصد فضای خالی یکسان)، می‌تواند نشانه‌ای از سختی قیر در آنها باشد. از طرف دیگر سختی قیرهای موجود در مخلوط‌های آسفالتی بازیافتی با تغییر درصد قیر کلی تغییر می‌کند. بنابراین مقایسه استحکام مخلوط‌های آسفالتی با ترکیب و سهم مساوی از مصالح خرده مخلوط آسفالتی فقط در درصد قیر بهینه و با حذف اثر تغییرات درصد قیر خالص ۷۰/۶۰ می‌تواند درک صحیحی از رفتار مخلوط‌های بازیافتی را بدست دهد. بنابراین، نمونه‌های مختلف با درصد‌های ذکر شده در جدول ۱ ساخته شد و درصد قیر بهینه هر نوع ترکیب مخلوط آسفالتی بدست آمد که در جدول ۷ نشان داده شده است.

دمای اختلاط مخلوط‌های آسفالتی داغ معادل ۱۵۰ درجه و دمای اختلاط مخلوط‌های آسفالتی گرم معادل ۱۲۰ درجه بدست آمده است. افزایش سهم قیر بهینه در مخلوط‌های آسفالتی تازه با افزودن افزودنیهای مخلوط گرم نشان از حساسیت حرارتی کم کندروانی قیر خالص ۶۰/۷۰ نسبت به افزودنیهای مخلوط گرم دارد، به گونه‌ای که دمای اختلاط آنها از ۱۲۰ درجه بیشتر بوده است و ساخت نمونه‌های مخلوط آسفالت گرم در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس نتوانسته است باعث کاهش درصد قیر بهینه آنها گردد. افزودن قیر خالص به مخلوط‌های بازیافتی حاوی مصالح

۲-۲ مواد افزودنی کاهنده ویسکوزیته (واکس)

در این پژوهش از دو افزودنی ساسوبیت و زایکوترم، استفاده شد که مشخصات آنها در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. خصوصیات افزودنی‌ها

ویژگی	زایکوترم	ساسوبیت
اجزا سازنده	سولفوآمید مایع	هیدروکربن پلی اتیلن آلفاتیک
حالت فیزیکی	مایع	پاستیل و پریل
رنگ	تیره	سفید
بو	بی بو	بی بو
چگالی حجمی (kg/m ³)	۹۰۰	۶۲۲-۵۹۰
نقطه اشتعال	۱۵۰ درجه سانتی‌گراد	۲۹۰ درجه سانتی‌گراد
حلالیت در آب	غیر قابل حل	غیر قابل حل
مقدار مصرفی	۲-۴ دهم درصد قیر جدید	۱-۳ درصد قیر

۲-۳ ساخت نمونه‌های مخلوط آسفالتی

برای ساخت نمونه‌ها از روش مارشال و با توجه به ترافیک سنگین حاکم بر محور شیراز- اصفهان و برای شبیه سازی شرایط ترافیکی از ۷۵ ضربه در هر طرف برای ساخت نمونه‌های مارشال استفاده گردید [Planning and Management Org., 1992]

استفاده از درصد‌های مختلف مصالح خرده مخلوط آسفالتی در ساخت مخلوط‌های بازیافتی عملاً باعث تغییر در ساختار دانه بندی و خصوصیات فیزیکی آنها از قبیل درصد شکستگی و

ارزیابی استفاده از مصالح بازیابی شده روسازی‌های آسفالتی در تولید مخلوطهای آسفالت گرم ...

۲-۴ برنامه آزمایشگاهی

در این پژوهش سه نوع مخلوط آسفالتی داغ، گرم (همراه با افزودنی ساسوبیت) و گرم (همراه با افزودنی زایکوترم) با مقادیر مختلف RAP (۵۰ و ۷۵ درصد) قیر (از ۴ تا ۶ درصد) تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت و برنامه کامل آزمایش‌ها در جدول ۸ نشان داده شد. آزمایشهای قیر، مارشال، خزش دینامیکی و کشش غیرمستقیم انجام گرفت (تعداد نمونه‌های ساخته شده ۲۲۶ عدد است). همچنین بمنظور اطمینان از نتایج آزمایشهای بعمل آمده، کلیه نمونه‌ها بصورت سه بار تکرار انجام شد و نتیجه آن با محاسبه میانگین درج شد.

خرده مخلوط آسفالتی باعث کاهش کندروانی قیر و در نتیجه بهبود تراکم پذیری و کاهش درصد قیر بهینه می‌شود. با توجه به عملکرد افزودنیهای گرم در کاهش دمای اختلاط از طریق کاهش کندروانی قیر در دماهای پایینتر مشاهده می‌شود که درصد قیر بهینه مخلوط‌های حاوی مصالح خرده مخلوط آسفالتی با افزودن زایکوترم و ساسوبیت کاهش یافته است. از طرف دیگر با توجه به این که کاهش کندروانی قیر با فرض ثابت بودن ساختار دانه بندی و خصوصیات مصالح سنگی باعث کاهش چسبندگی و در نتیجه کاهش مقاومت برشی خواهد شد که کاهش استحکام مارشال را نیز در بر خواهد داشت که در جدول ۸ نشان داده شده است. سپس بر روی نمونه‌های ساخته شده، تست خزش دینامیکی و کشش غیر مستقیم انجام شد [Goh et al. 2009].

جدول ۷. درصد قیر بهینه برای ترکیبات مختلف نمونه‌های مخلوط آسفالتی

استحکام نظیر	درصد فضای خالی	درصد	علامت	نوع ترکیب
قیر بهینه (کیلوگرم)	معادل قیر بهینه	قیر بهینه	اختصاری	
۱۶۷۰	۳/۵۳	۵/۲	H0R	مخلوط آسفالت داغ (مصالح سنگی تازه+ قیر ۶۰/۷۰)
۱۲۵۴	۳/۴۹۶	۵/۵۵	W0RZ	مخلوط آسفالت گرم حاوی زایکوترم (مصالح سنگی تازه+ قیر ۶۰/۷۰ + ۰/۱ درصد زایکوترم)
۱۱۶۱	۴	۵/۷	W0RS	مخلوط آسفالت گرم حاوی ساسوبیت (مصالح سنگی تازه + قیر ۶۰/۷۰ + ۲ درصد ساسوبیت)
۲۰۷۰	۳/۵	۵/۴	H50R	مخلوط آسفالت داغ (۵۰ درصد RAP+ قیر ۶۰/۷۰)
۱۳۹۱	۳/۴۵	۴/۹	W50RZ	مخلوط آسفالت گرم حاوی زایکوترم (۵۰ درصد RAP + قیر ۶۰/۷۰ + ۰/۱ زایکوترم)
۱۳۷۰,۴۲	۳/۵	۴/۸	W50RS	مخلوط آسفالت گرم حاوی ساسوبیت (۵۰ درصد RAP + قیر ۶۰/۷۰ + ۲ درصد ساسوبیت)
۱۵۴۸	۳/۴۸	۴/۷۸	H75R	مخلوط آسفالت داغ (۷۵ درصد RAP + قیر ۶۰/۷۰)
۱۴۱۷	۳/۵۴	۴/۴	W75RZ	مخلوط آسفالت گرم حاوی زایکوترم (۷۵ درصد RAP + قیر ۶۰/۷۰ + ۰/۱ درصد زایکوترم)
۱۳۷۲	۳/۵۵	۴/۵	W75RS	مخلوط آسفالت گرم حاوی ساسوبیت (۷۵ درصد RAP + قیر ۶۰/۷۰ + ۲ درصد ساسوبیت)

۳. نتایج و بحث

۳-۱ نتایج استحکام مارشال به روانی

تر است. از سوی دیگر، افزودنی نقش قابل ملاحظه ای در حساسیت رطوبتی نداشته و تفاوتی در مقدار TSR در نمونه های مخلوط داغ و گرم در حالت با یا بدون مواد بازیافتی ایجاد نکرده است [Guo and You, 2016].

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۹ مشخص است که مخلوط با ۵۰ و ۷۵ درصد RAP دارای مقدار بیشتری نسبت به نمونه های شاهد هستند. در نمونه های شاهد، افزودن ساسوبیت و زایکوترم موجب افزایش مقاومت در حالت خشک و تر به میزان ۱۰ تا ۳۹ درصد شده است که میزان افزایش مقاومت زایکوترم بیشتر از ساسوبیت است. ساسوبیت و زایکوترم در مخلوط با ۵۰ درصد RAP باعث افزایش مقاومت در هر دو حالت خشک و تر شده است ولی در مخلوط با ۷۵ درصد RAP موجب کاهش مقاومت شده است. با این وجود مقدار TSR در نمونه های شاهد و با ۵۰ و ۷۵ درصد RAP با اضافه کردن افزودنی تغییر محسوسی ننموده است. نتایج مشابه در پژوهشات گذشته نیز ارائه شده است [Valdés et al. 2011].

۳-۳ ارزیابی کرنش ماندگار

۳-۳-۱ مخلوطهای آسفالتی داغ

بررسی شکل ۴ نشان می دهد که نرخ تغییرات کرنش ماندگار در آزمایش خزش دینامیکی با افزودن خرده مخلوط آسفالتی کاهش می یابد که نشانگر این واقعیت است که اگرچه مدول برجهنگی کمتر مخلوط های بازیافتی در قیاس با مخلوط های آسفالتی داغ باعث افزایش میزان کرنشهای ماندگار در پالسهای ابتدایی در قیاس با نمونه های دیگر می شود اما کاهش کرنشهای پلاستیک نیز با افزایش سهم مصالح خرده مخلوط آسفالتی میتواند باعث عملکرد بهتر این مخلوطها در پالسهای بیشتر گردد [Hill et al. 2012].

در شکل ۲ تغییرات نسبت استحکام به روانی (سختی) در درصدهای قیر نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود در نمونه ها افزودن افزودنیهای مخلوط گرم اگرچه توانسته است، باعث کاهش محسوسی در استحکام نمونه ها شود، اما در میزان روانی آنها تغییر قابل ملاحظه ای ایجاد نکرده است. این به آن معناست که نسبت مارشال (استحکام به روانی) که بیانگر سختی مخلوط آسفالتی است، با افزودن زایکوترم و ساسوبیت کاهش یافته است و احتمالاً مخلوطهای فوق دارای عمر خستگی بیشتر و مقاومت بیشتر در برابر ترکهای انقباضی هستند. در نمونه های حاوی ۵۰ درصد RAP نیز افزودن افزودنیهای مخلوط گرم توانسته است باعث کاهش قابل ملاحظه ای در سختی مارشال مخلوطهای بازیافتی شود، اما تاثیر آنها در مخلوطهای بازیافتی حاوی ۷۵ درصد RAP به مراتب کمتر است با توجه به تاثیر کم ۷۵ درصد RAP می توان بیان نمود این نوع مخلوط نمی تواند موجب بهبود عملکرد خستگی و یا افزایش مقاومت در برابر ترکهای انقباضی گردد و نتایج سایر پژوهشگران نیز همخوانی دارد [Goh and You, 2011].

۳-۲ آزمایش کشش غیرمستقیم

در این مطالعه آزمایش کشش غیرمستقیم برای مخلوط داغ و گرم با مصالح تازه و دو مقدار (۵۰ و ۷۵ درصد RAP) در دو حالت خشک و تر انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۹ و شکل ۳ آمده است، می توان دید که اگرچه مقادیر TSR در تمامی حالات کمتر از ۸۵٪ است، ولی با افزایش درصد مصالح خرده مخلوط آسفالتی این نسبت افزایش یافته است که این به این معنی است که حساسیت رطوبتی در مخلوط های بازیافتی پایین

ارزیابی استفاده از مصالح بازیابی شده روسازی‌های آسفالتی در تولید مخلوطهای آسفالت گرم ...

۳-۳-۲ مخلوطهای آسفالتی گرم با افزودنی ساسویت

نرخ تغییرات کرنش ماندگار مخلوطهای آسفالتی گرم با افزودنی ساسویت در درصد های مختلف مصالح خرده مخلوط آسفالتی که در شکل ۵ آمده است نشان می‌دهد که افزودن ساسویت باعث بهبود مدول برجهنگی در پالسه‌های اولیه شده است .

۳-۳-۳ نرخ تغییرات کرنش ماندگار مخلوطهای آسفالتی داغ

و گرم بدون مصالح خرده مخلوط آسفالتی

نرخ تغییرات کرنش ماندگار مخلوط های آسفالتی گرم و داغ بدون مصالح خرده مخلوط آسفالتی که در شکل ۶ نشان داده شده است بیانگر این است که افزودن ساسویت باعث افزایش کرنشهای ماندگار در پالسه‌های اولیه شده است اما روند تغییرات به گونه ای است که نمونه های حاوی ساسویت در پالسه‌های بالاتر از ۱۵۰۰ کرنشهای ماندگار کمتری را تجربه می‌کنند.

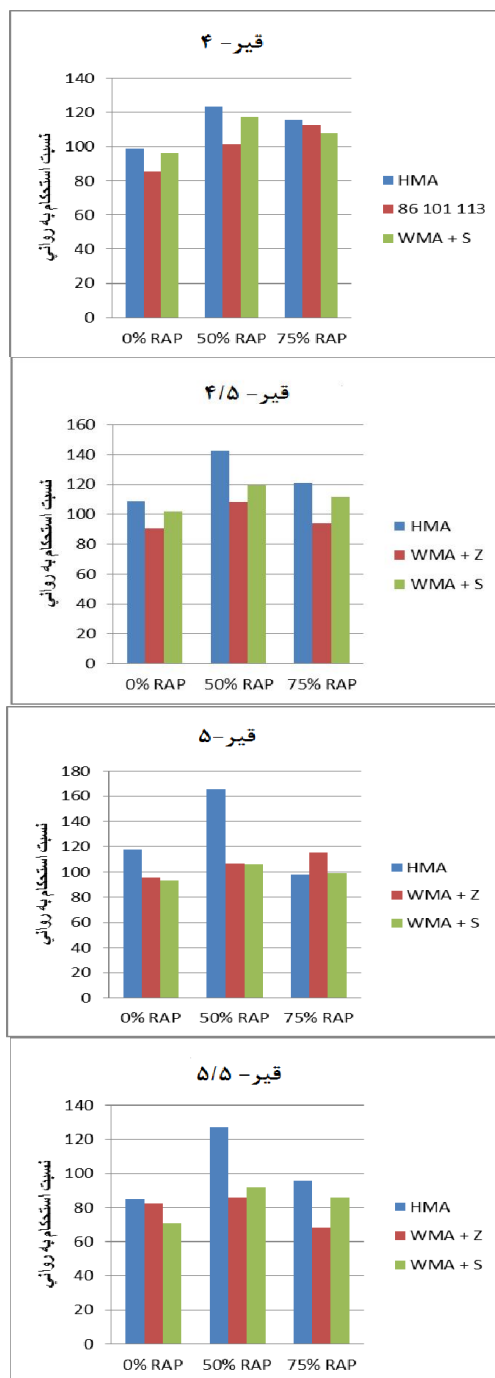
افزودن زایکوترم نیز باعث افزایش کرنشهای ماندگار شده است

[Mo et al. 2012]

۳-۳-۴ ارزیابی کرنش ماندگار مخلوطهای آسفالتی داغ و

گرم در ۵۰ درصد مصالح خرده مخلوط آسفالتی

افزودن ساسویت به میزان ۲ درصد وزنی قیر چنان‌که در شکل ۷ دیده می‌شود، ابتدا باعث کاهش کرنش ماندگار می‌شود، اما افزایش کرنش پلاستیک را نیز به همراه خواهد داشت که در نهایت باعث افزایش کرنش ماندگار خواهد شد. افزودن زایکوترم نیز باعث افزایش قابلیت شیارشدگی خواهد شد [Saleh, 2016].



شکل ۲. تغییرات نسبت استحکام به روانی (سختی) در

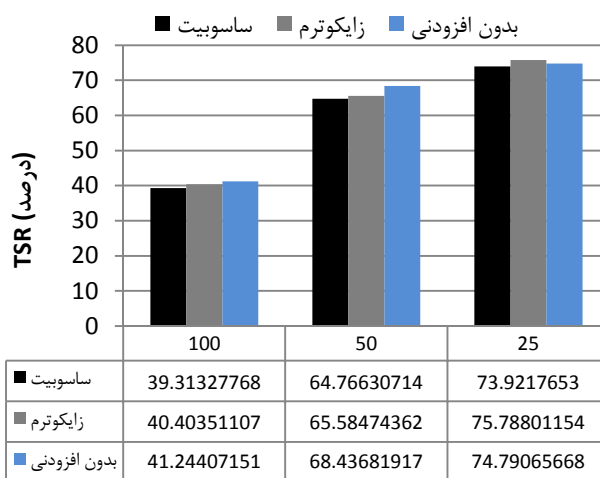
درصدهای مختلف قیر (۴, ۴/۵, ۵, ۵/۵)

جدول ۸. برنامه آزمایش های طراحی شده

درصد قیر (%)	مصالح تازه (%)	مخلوط آسفالتی (%)	نمونه مخلوط آسفالتی
	۱۰۰	۰	مخلوط آسفالت داغ (شاهد)
	۵۰	۵۰	
	۲۵	۷۵	
	۱۰۰	۰	مخلوط آسفالت گرم (با ۲ درصد ساسوبیت)
۶	۵۰	۵۰	
۵/۵	۲۵	۷۵	
۵	۱۰۰	۰	مخلوط آسفالت گرم (با ۰/۱ درصد زایکوترم)
۴/۵	۵۰	۵۰	
۴	۲۵	۷۵	

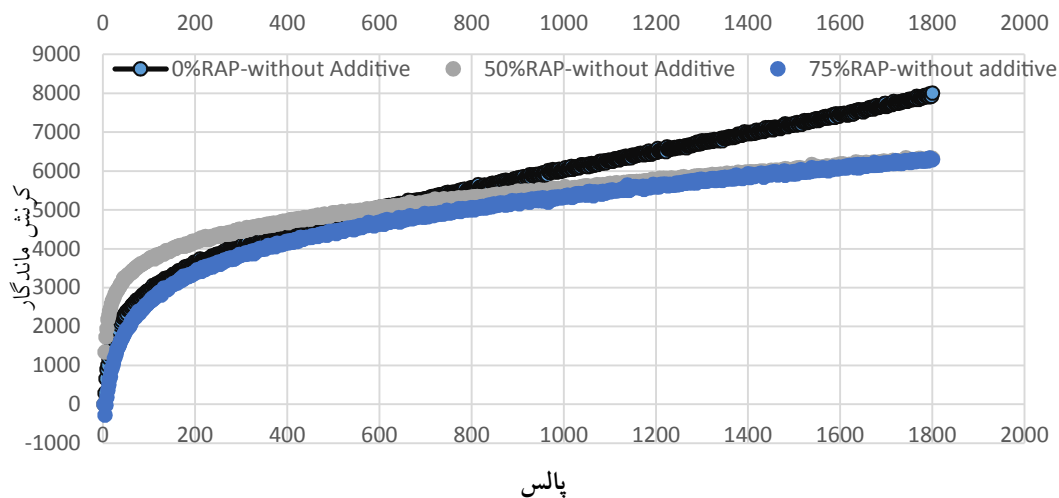
جدول ۹. آزمایش کشش غیر مستقیم برای نمونه های شاهد و مخلوط های آسفالتی گرم

درصد مصالح سالم	افزودنی	مقاومت خشک	مقاومت اشباع (کیلو پاسکال)	TSR
۱۰۰	بدون افزودنی	۵۴/۸۲	۲۲/۶۱	۴۱/۲۴
۵۰	بدون افزودنی	۷۳/۴۴	۵۰/۲۶	۶۸/۴۴
۲۵	بدون افزودنی	۱۱۳/۴۵	۸۴/۸۵	۷۴/۷۹
۱۰۰	زایکوترم	۷۶/۳۳	۳۰/۸۴	۴۰/۴۰
۵۰	زایکوترم	۷۹/۱۸	۵۱/۹۳	۶۵/۵۸
۲۵	زایکوترم	۹۳/۵۹	۷۰/۹۳	۷۵/۷۹
۱۰۰	ساسوبیت	۶۳/۴۹	۲۴/۹۶	۳۹/۳۱
۵۰	ساسوبیت	۹۷/۳۵	۶۳/۰۵	۶۴/۷۷
۲۵	ساسوبیت	۹۹/۷	۷۳/۷	۷۳/۹۲

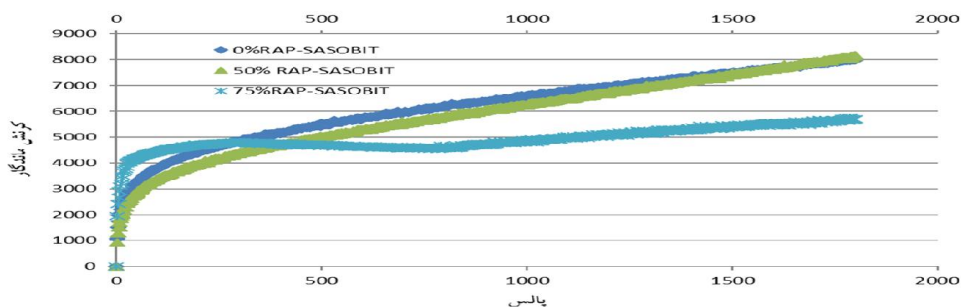


مقدار مصالح تازه (درصد)

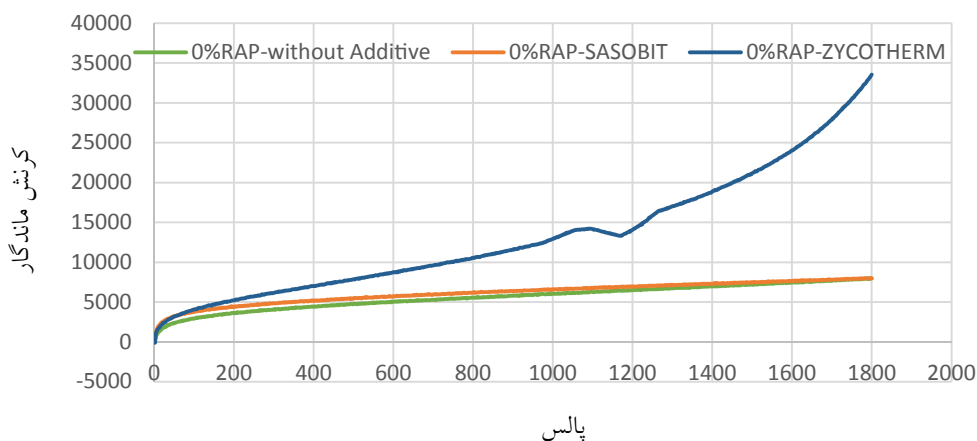
شکل ۳. نسبت مقاومت کششی در حالت خشک به اشباع



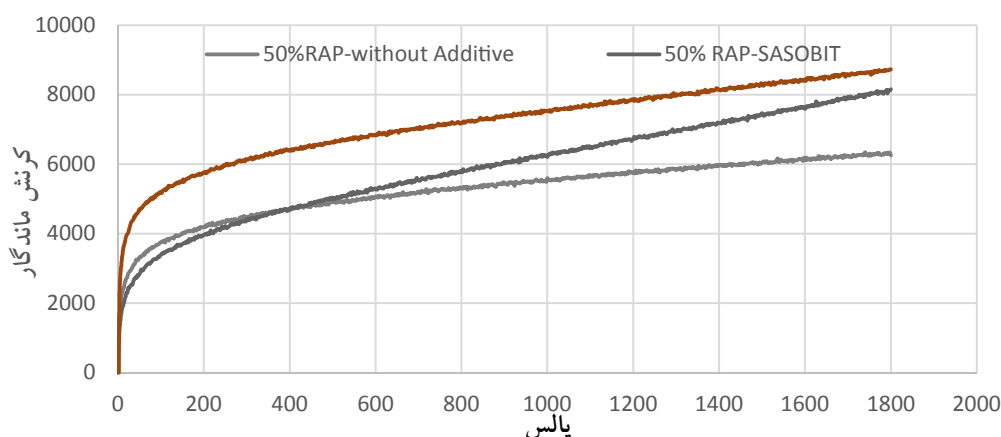
شکل ۴. نرخ تغییرات کرش ماندگار مخلوط های آسفالتی داغ با درصد های مختلف مصالح خرده مخلوط آسفالتی در آزمایش خزش دینامیکی



شکل ۵. نرخ تغییرات کرش ماندگار مخلوط های آسفالتی گرم با افزودنی ساسوبیت در درصد های مختلف مصالح خرده مخلوط آسفالتی



شکل ۶. نرخ تغییرات کرش ماندگار مخلوط های آسفالتی گرم و داغ بدون مصالح خرده مخلوط آسفالتی



شکل ۷. نرخ تغییرات کرنش ماندگار مخلوط های آسفالتی داغ و گرم در ۵۰ درصد مصالح خردده مخلوط آسفالتی

۴. نتیجه گیری

ساسوبیت کاهش یافته است و احتمالاً مخلوط های فوق دارای عمر خستگی بیشتر و مقاومت بیشتر در برابر ترکهای انقباضی هستند.

۴) نرخ تغییرات کرنش ماندگار با افزودن خردده مخلوط آسفالتی کاهش می یابد که نشانگر این واقعیت است که اگرچه مدول برجهندگی کمتر مخلوط های بازبافتی در قیاس با مخلوطهای آسفالتی گرم باعث افزایش میزان کرنشهای ماندگار در پالسهای ابتدایی در قیاس با نمونه های دیگر می شود، اما کاهش کرنشهای پلاستیک نیز با افزایش سهم مصالح خردده مخلوط آسفالتی می تواند باعث عملکرد بهتر این مخلوطها در پالسهای بیشتر گردد.

۵) افزودن ساسوبیت باعث افزایش کرنشهای ماندگار در پالسهای اولیه شده است اما روند تغییرات به گونه ای است که نمونه های حاوی ساسوبیت در پالسهای بالاتر از ۱۵۰۰ کرنشهای ماندگار کمتری را تجربه می کنند. افزودن زایکوترم نیز باعث افزایش کرنشهای ماندگار شده است.

۶) افزودن ساسوبیت به میزان ۲ درصد وزنی قیر ابتدا باعث کاهش کرنش ماندگار می شود، اما افزایش کرنش پلاستیک را نیز به همراه خواهد داشت که در نهایت باعث افزایش کرنش ماندگار خواهد شد.

۷) افزودن زایکوترم باعث افزایش قابلیت شیارشدگی خواهد شد. افزودن زایکوترم باعث کاهش برگشت پذیری

با توجه به نتایج کامل اشاره شده در قبل بر مبنای روش های پژوهش مطرح شده، نتیجه گیری کلی به عمل آمده بطور خلاصه به شرح زیر است:

۱) بکارگیری افزودنی ساسوبیت در نمونه های گرم اثر قابل ملاحظه ای روی استحکام مارشال این نوع مخلوطها نسبت به مخلوطهای آسفالتی گرم داشته است. این در حالی است که نمونه های گرم حاوی افزودنی زایکوترم مقادیر استحکام مارشال کمتری در مقایسه با نمونه های مخلوط آسفالتی داغ از خود نشان داده اند.

۲) اثر افزودنیهای مخلوط گرم در نمونه های حاوی ۵۰ درصد مصالح خردده مخلوط آسفالتی نشان داده است. مشابه حالت قبل نمونه های مخلوط گرم در مقایسه با نمونه های مخلوط آسفالت داغ از استحکام کمتری برخوردار هستند اما با توجه به اینکه دمای اختلاط و تراکم در حدود ۲۰ درجه کاهش یافته است با این وجود تراکم پذیری مخلوط گرم بهتر از نمونه های مخلوط آسفالت داغ است.

۳) در نمونه های شاهد، افزودن افزودنیهای مخلوط گرم اگرچه توانسته است، باعث کاهش محسوسی در استحکام نمونه ها شود اما در میزان روانی آنها تغییر قابل ملاحظه ای ایجاد نکرده است. این به آن معنا است که نسبت مارشال (استحکام به روانی) که بیانگر سختی مخلوط آسفالتی است با افزودن زایکوترم و

- Chiu, C., Hsu, T. and Yang, W. (2008) "Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements", Resources Conservation and Recycling, Vol. 52, No. 3, pp. 545-556.

Crosson, P., Shalloo, L., O'Brien, D., Lanigan, G. J., Foley, P. A., Boland, T. M., Kenny, D. A. (2011) "A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems", Animal Feed Science and Technology. Vol. 166-167, pp.29-45.

- D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowsert, J., Harman, T., Jamshidi, M., Jones, W., Newcomb, D., Prowell, B., Sines, R. and Yeaton, B. (2008) "Warm-mix asphalt: European practice", FHWA Report No. FHWA-PL-08-007.

- Goh, S.W. and You, Z. (2011) "Mechanical properties of porous asphalt pavement materials with warm mix asphalt and RAP", Journal of Transportation Engineering, Vol. 138, No. 1, pp. 90-97.

- Graham C. and Hurley, B. D. P. (2005) "Evaluation of Aspha-min® Zeolite for use in Warm Mix Asphalt", NCAT Report: pp. 05-04

-Guo, N. and You, Zh. (2016) "Performance evaluation of warm mix asphalt containing reclaimed asphalt mixtures", International Journal of Pavement Engineering, Vol. 138, No. 1, pp. 1-9.

- Hill, B., Behnia, B., Buttlar, W. G. and Reis, H. (2012) "Evaluation of warm mix asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement through mechanical performance tests and an acoustic emission approach", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 25, No. 12, p. 1887-1897.

کرنشهای اعمالی در نمونه های حاوی RAP گردید که می تواند به دلیل کاهش کندروانی، افزایش سختی و در نتیجه کاهش انعطاف پذیری قیر ترکیبی در نتیجه افزودن زایکوترم باشد.

۵. پی نوشتها

1. Hot Mix Asphalt (HMA)
2. Warm Mix Asphalt (WMA)
3. Sasobit
4. Reophalt
5. Asphamin
6. Evotherm
7. Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)
8. Maryland
9. Indirect Tensile Strength (ITS)
10. Tensile Strength Ratio (TSR)
11. Zaycoterm

۶. مراجع

- فخری، منصور و نادری، اصغر (۱۳۸۵) " روش های بازیافت سرد و گرم و امکان سنجی اقتصادی آن در ایران"، معاونت آموزش، پژوهشها و فناوری پژوهشکده حمل و نقل، وزارت راه و شهرسازی.

- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸۱) "آیین نامه روسازی آسفالتی راههای ایران"، تهران: مرکز پژوهشهای آموزش وزارت راه و ترابری

- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸۲) "مشخصات فنی عمومی راه ها"، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی، تهران: انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

- AASHTO (2006) "Standard practice for sampling aggregates". T-2, Washington, DC.

- Hill, B. (2011) "Performance evaluation of warm mix asphalt mixtures incorporating reclaimed asphalt pavement", University of Illinois At Urbana-Champaign.

mix asphalt containing recycled asphalt mixtures, pp. 141-149.

- Papagiannakis, A.T. (2008) "Pavement design and materials", New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Prowell, B. and Hurley, G. C. (2007) "Warm-mix asphalt: best practices", National Asphalt Pavement Association Quality Improvement Series 125. Lanham, MD.

- McDaniel, Rebecca S. and Shah, A. (2002) "Use of reclaimed asphalt pavement (rap) under Superpave specifications", A regional pooled fund project.

- Saleh, M. (2016) "Laboratory evaluation of warm mix asphalt incorporating high RAP proportion by using evotherm and sylvaroad additives", Construction and Building Materials, Vol. 114, pp. 580-587.

- Valdés, G., Pérez-Jiménez, F., Miró, R., Martínez, A. and Botella, R. (2011) "Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)", Construction and Building Materials, Vol. 25, No. 3, pp.1289-1297.

- Yousefi Kebria, D., Moafimadani, S. R. and Goli, Y. (2015) "Laboratory investigation of the effect of crumb rubber on the characteristics and rheological behaviour of asphalt binder", Road Materials and Pavement Design, Vol. 16, No. 4, pp. 946-956.

- Yue, H., Tony, P., Matthew, W., Ciaran and M. (2012) "Risk assessment and life cycle assessment of reclaimed asphalt", In WASCON Conference proceedings.

- Jenkins, K. J., de Groot, J. L. A., de Ven, M. F. C. and Molenaar, A. A. A. (1999) "Half-warm foamed bitumen treatment, a new process", 7th Conference on Asphalt pavement for Southern Africa.

- O'Sullivan, Karen A. and Wall, Ph. A. (2009) "The effects of warm mix asphalt additives on recycled asphalt pavement", Bachelor of Science thesis, Major Qualifying Project, Number: MQPRBM0903, Worcester Polytechnic Institute, USA.

- Kai, S., Ryota, Ma, and Yoshitaka, H. (2009) "Laboratory evaluation of WMA mixture for use in airport pavement rehabilitation", International Journal of Construction and Building Materials, Vol. 23, Issue 7, pp. 2709–2714.

- Mallick, R., Kandhal, P. and Bradbury, R. (2008) "Using warm mix asphalt technology to incorporate high percentage of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) material in asphalt mixtures", Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2051, pp. 71-79.

- Mallick, R., Bergendahl, J. and Pakula, M. (2009) "A laboratory study on CO₂ emission reductions - through the use of warm mix asphalt", Transportation Research Board Annual Meeting Paper #09-1951.

- Mo, L., Li, X., Fang, X., Huurman, M. and Wu, S. (2012) "Laboratory investigation of compaction characteristics and performance of warm mix asphalt containing chemical additives", Construction and Building Materials. Vol. 37, pp. 239-247.

- Guo, N., You, Z., Zhao, Y., Tan, Y. and Diab A. (2014) "Laboratory performance of warm

عارف ابراهیمی بشلی، مدرک کارشناسی خود در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۷۹ از دانشگاه امام حسین و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه علوم و پژوهشهای واحد آیت الله آملی اخذ نمود. ایشان در حال حاضر دانشجوی دکتری در رشته مهندسی مدیریت ساخت در دانشگاه آزاد اسلامی است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه وی مدیریت پیمان و بهبود روسازی آسفالتی است.



غلامعلی بهزادی، مدرک کارشناسی خود در رشته مهندسی عمران را در دانشگاه علم و صنعت در سال ۱۳۶۷ به اتمام رسانده و مدارج کارشناسی ارشد و دکتری در رشته مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری را در دانشگاه نیوساوت ولز NSW استرالیا در سالهای ۱۳۷۲ و ۱۳۷۶ اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان، ایمنی در ترافیک، کاربری اراضی و برنامه ریزی حمل و نقل، سیستم های حمل و نقل هوشمند، طراحی هندسی راه و راه آهن و عارضه سنجی ترافیکی بناهای جاذب سفر است. وی در حال حاضر عضو هیئت علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه شمال و علوم و پژوهشهای آیت الله آملی است.



داریوش یوسفی کبریا، مدرک کارشناسی خود در رشته مهندسی عمران را در دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل در سال ۱۳۷۸ به اتمام رسانده و مدارج کارشناسی ارشد و دکتری در رشته مهندسی عمران، گرایش مهندسی محیط زیست را در دانشگاه تربیت مدرس تهران در سالهای ۱۳۸۲ و ۱۳۸۸ اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان، ژئوتکنیک زیست محیطی، بیوفناوری محیط زیست، پاکسازی خاک های آلوده نفتی و طراحی تصفیه خانه آب و فاضلاب است. وی در حال حاضر عضو هیئت علمی با مرتبه دانشیاری در دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل است.



مریم تقی زاده خلیلی، درجه کارشناسی خود را در رشته مهندسی عمران در سال ۱۳۸۸ از دانشگاه مازندران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- محیط زیست را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل اخذ نمود. ایشان در حال حاضر دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل در رشته مهندسی عمران، گرایش مهندسی محیط زیست است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان تصفیه آب و خاک و مدلسازی در زمینه انتقال آلاینده در آب و خاک است.

