Archive of SID

بررسی خصوصیات عملکردی مخلوط‌های آسفالتی حاوی مصالح خرده آسفالت اصلاح شده با افزودنی‌های نیمه گرم

مقاله پژوهشی

امین چوبدار، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
علیرضا عاملی*، مربی، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
امین فرج اللهی، مربی، گروه مهندسی عمران، واحد ملارد، دانشگاه آزاد اسلامی، ملارد، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Amelii@gmail.com
دریافت: ۹۸/۰٤/۳۰- پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۰
صفحه ۱۹٤-۱۷۷

چکیده

مصالح خرده آسفالتی (RAP) که شامل سنگدانه و قیر می‌باشد، می تواند در مخلوط آسفالتی جدید مورد استفاده قرار گیرد.بازیافت این مصالح موجب حفظ منابع طبیعی، کاهش هزینه‌ها و کاهش مصرف انرژی می‌شود. در میان انواع روش های تولیدآاسفالت، آسفالت گرم دارای دوام و مقاومت بالاتری نسبت به آسفالت سرد می‌باشد. اما برای استفاده از مصالح خرده آاسفالت در تولید آسفالت گرم، درجه حرارت بالا (بیش از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد) در این فرایند ممکن است باعث تیر و سخت‌تر شدن قیر مصالح خرده آسفالت شود که از قبل یکبار تیر شده است، ضمن اینکه موجب تولید بسیار زیاد گازهای سمی می‌شود که این امر مقدار استفاده از مصالح خرده آسفالت در بازیافت را محدود می‌کند. در تکنولوژِی آسفالت نیمه گرم با استفاده از کاهش ویسکوزیته قیر با افزایش حجم آن، کاهش دمای اختلاط و تراکم ممکن می‌شود. کاهش دما در این مخلوط‌ها می‌تواند راهکار خوبی برای حل مشکل حرارت زیاد در بازیافت گرم باشد تا بدین ترتیب بتوان ضمن کاهش آلودگی های زیست محیطی درصد استفاده از مصالح خرده آسفالت در مخلوط‌های آیفالتی را افزایش داد. در این پژوهش از دو واکس آلی ساسوبیت و رئوفالت برای تولید مخلوط های بازیافتی نیمه گرم استفاده شد و خواص عملکردی این مخلوط‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین منظور چهار مخلوط بازیافتی با استفاده از ۱۰۰ درصد RAP و یک مخلوط شاهد با استفاده از مصالح سنگی RAP که قیر آن جدا شده است، ساخته شد. مخلوط‌های بازیافتی شامل یک نمونه بازیافتی گرم و سه نمونه بازیافتی نیمه گرم (یکی بدون افزودنی، یکی با افزودنی ساسوبیت، یکی با افزودنی رئوفالت) می‌باشد. آزمایش‌های مختلفی جهت ارزیابی عملکردی نمونه‌های مختلف انجام گردید، از جمله: استفامت مارشال، کشش غیرمستقیم، مدول برجهندگی، خزش دینامیکی و شیار جای چرخ. نتایج نشان داد که افزودنی‌های ساسوبیت و رئوفالت تاثیر مثبتی در بهبود تراکم و خواص عملکردی مخلوط‌ها داشته است. حساسیت رطوبتی و پتانسیل شیارشدگی در مخلوط‌های بازیافتی نیمه گرم با افزودنی، کمتر از مخلوط بازیافتی گرم بوده است.

واژه‌های کلیدی : بازیافت گرم، آسفالت نیمه‌گرم، مصالح خرده آسفالت، پیرشدگی، ساسوبیت، الیاف

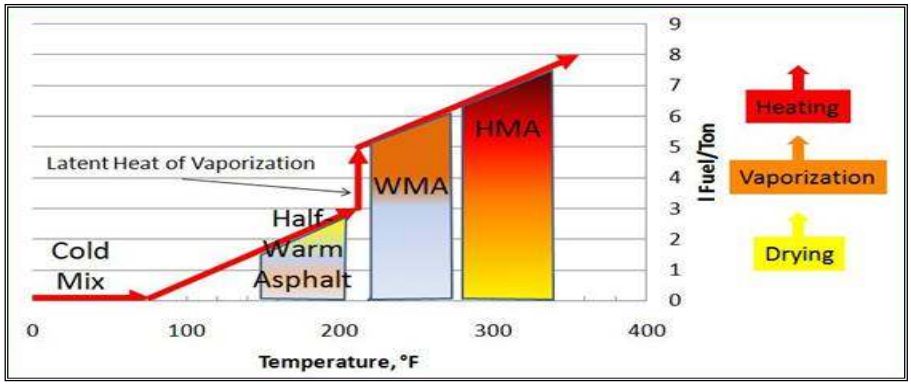
۱-مقدمه

RAP مصالح فرسوده ای است که از طریق بازیافت، اسیاب نمودن یا تراشیدن آسفالت روسازی‌های مضمحل شده بدست می آید (Feipeng Xiao and Serji N Amirkhanian, 2007). این مصالح می‌تواند در مخلوط‌های آسفالتی جدید سرد و گرم مورد استفاده قرار گیرد و موجب صرفه جویی در هزینه و انرژی شود. آسفالت گرم نسبت به آسفالت سرد دوام و مقاومت بالاتری دارد (He and Wong, 2008) اما در مقابل باید

www.SID.ir

Archive of SID

آلودگی زیست محیطی آسفالت گرم خصوصاً هنگامی که حاوی درصد بالایی مصالح RAP است را یادآور شد. این امر خود درصد استفاده از مصالح بازیافتی در روسازی اسفالتی جدید را محدود می‌کند. ضمنا درجه حرارت بالا در بازیافت گرم علاوه بر تولید گازهای مضر موجب پیرتر شدن قیر مصالح RAP می‌شود. بنابراین باید به دنبال راه حلی بود تا بتوان درجه حرارت اختلاط و تراکم آسفالت را کاهش داد تا ضمن کاهش اتساع گازهای سمی و مضر، درصد استفاده از مصالح خرده اسفالتی بازیافتی را افزایش داد. تحقیقات نشان می‌دهد کاهش ١٠ تا ١٢ درجه سانتی‌گراد در دمای تولید آسفالت گرم می‌تواند تولید گازهای مضر را ٥٠ درصد کاهش دهد (Joe et al, 2007) و هنگامی که دمای اختلاط از ١٥٠ به ١٣٠ می‌رسد، کاهش انرژی بیش از ٥٠٪ خواهد بود (Karen et al, 2009). تکنولوژی اسفالت نیمه گرم اولین بار در اروپا پس از توافق نامه کیوتو جهت کاهش گازهای گلخانه ای ابداع شد و با توجه به بالا رفتن قیمت انرژی و به دلایل محیط زیستی استفاده از ان رو به افزایش است (Mallick et al, 2009) در این تکنولوژی با استفاده از روش های مختلفی ویسکوزیته قیر کاهش یا حجم قیر افزایش داده می شود تا قیر بتواند در درجه حرارت پایین تر اطراف مصالح را به خوبی پوشش دهد و بدین ترتیب درجه حرارت اختلاط و تراکم آسفالت کاهش می یابد. این عمل به دو طریق کلی انجام می‌شود : افزایش حجم قیر و تبدیل ان به کف قیر با استفاده از بخار آب یا مواد آبدوست و کاهش ویسکوزیته قیر با استفاده از افزودنی‌های شیمیایی و الی یا واکس‌ها. استفاده از تکنولوژی آسفالت نیمه گرم می‌تواند تا حد زیادی مشکلات ساخت و اتساع گازهای مضر را حل کند. افزایش آلاینده‌های زیست محیطی، سختی اجرا، وقوع خرابی‌های روسازی، محدودیت اجرا در فصول سرد و هزینه‌های بالای سوخت و انرژی از مهم‌ترین عواملی بودند که باعث پیدایش تکنولوژی آسفالت‌های نیمه گرم[٢] در صنعت راهسازی شد. نخستین تلاش‌ها در زمینه تولید این نوع آسفالت در اروپا و کشور آلمان صورت گرفت. مخلوط‌های آسفالتی دارای انواع مختلفی هستند که هر یک در محدوده درجه حرارت‌های خاصی، استفاده و تولید می‌شوند. عموماً این محدوده برای آسفالت نوع نیمه‌گرم، ١٠٠ تا ١٣٥ درجه سانتی گراد می‌باشد که کمتر از محدوده آسفالت گرم رایج قرار دارد. دامنه تولید مخلوط‌های آسفالت‌های گرم ٢٠ تا ٤٠ درجه سانتیگراد بیش‌تر از محدوده این پارامتر در آسفالت‌های نیمه‌گرم می‌باشد و برای مخلوط‌های آسفالتی نسبتاً گرم درجه حرارت تولید در محدوده ٣٥ درجه تا ١٠٠ درجه قرار دارد. انواع مخلوط‌های آسفالت نیمه‌گرم نیز خود دارای دمای تولید متنوعی هستند. دمای تولید آسفالت‌های نیمه گرم با آسفامین[٣] و ساسوبیت[٤] حدود ٢٠ تا ٣٠ درجه سانتیگراد پایین‌تر از مخلوط آسفالت گرم است. برای این نوع مخلوط‌ها در آلمان با توجه به سختی قیر، از دمای ١٣٠ تا ١٧٠ درجه سانتی‌گراد استفاده می‌شود. این محدوده برای مخلوط‌های آسفالت نیمه‌گرم کف‌قیری ١١٠ تا ١٢٠ و برای آسفالت‌های نیمه گرم ساخته شده با اووترم[٥]، ٨٥ تا ١١٥ درجه سانتیگراد می‌باشد (Mallick et al, 2009). شکل ١، دامنه درجه حرارت‌تولید انواع مخلوط‌های آسفالتی را (از مخلوط آسفالتی سرد[٦] تا گرم[٧]) نشان می‌دهد.



شکل ١. محدوده درجه حرارت تولید انواع مختلف مخلوط‌های آسفالتی

www.SID.ir

Archive of SID

اما در مقابل، چالش‌های جدیدی را از جمله اثر این افزودنیها بر روی مصالح RAP، اثر کاهش دما بر روی مخلوط بازیافتی و در نهایت عملکرد مخلوط‌های بازیافتی، به وجود می‌آورد. جهت دستیابی به یک درک بهتر از رفتار مصالح خرده آسفالت هنگامی که با افزودنی‌های نیمه گرم استفاده می‌شود، در مخلوط‌های حاوی مصالح خرده آسفالت، قیر پیر شده در RAP با قیر جدید ترکیب می‌شود و بر روی درجه عملکردی قیر نهایی تاثیر می‌گذارد. در درصدهای پایین RAP زیر ۲۰ درصد این تاثیر ناچیز است اما در درصد های بالا تاثیر آن قابل توجه می‌باشد و قیر موجود در RAP سختی قیر نهایی را افزایش می‌دهد. در عمل فقط بخشی از قیر موجود در RAP در اختلاط شرکت می‌کند که آن را "قیر موثر" می‌نامند. دویل و همکاران نشان دادند درصد قیر موثر مصالح خرده آسفالتی با ویسکوزیته آن نسبت عکس دارد (Mallick et al, 2008) مقدار قیر موثر به چهار عامل بستگی دارد :۱- دمای اختلاط ۲- خصوصیات مصالح RAP 3 (انرژی تراکم ٤) افزودنی ها (Soon-Jae et al, 2009). باید توجه داشت که قیری که در اختلاط شرکت نمی‌کند در مخلوط بی‌تاثیر نیست. قیر به طور کلی سه نقش اساسی در مخلوط ایفا می‌کند: ۱) پوشش مصالح سنگی برای جلوگیری از آسیب‌های رطوبتی ۲) روان کردن مخلوط هنگام تراکم ۳) چسباندن مخلوط به هم پس از انجام تراکم. در واقع قیری که در اختلاط شرکت نمی‌کند، در موارد ۲ و ۳ تاثیر کمتری دارد اما در مورد ۱ کاملاً تاثیر گذار است و از جذب قیر جدید توسط مصالح RAP جلوگیری می‌کند (Young et al, 2007) افزایش مقدار RAP در مخلوط آسفالتی افزایش در سختی و کاهش در تغییر شکل های برشی را به دنبال دارد. مخلوط های با درصد RAP بالا مقاومت بیشتری در برابر شیار شدگی از خود نشان می‌دهند. افزایش سختی برای مخلوط های بادرصدRAP بالاتر می‌تواندموجب افزایش ترک خوردگی در دمای پایین وکاهش عمرخستگی شود. در درصدRAP بالا می‌توان اثر افزایش سختی را با استفاده از قیر تازه نرم‌تر تعدیل کرد. ساسوبیت و رئوفالت واکس‌های الی هستند که از فرایند فیشر-تروپس بدست می‌آیند. این واکس‌های الی دارای طول زنجیره شیمیایی بلندتری نسبت به واکسهای پارافینی می‌باشند و هنگامی که در مخلوط گرم با قیر مخلوط می‌شوند ویسکوزیته آن را کاهش می‌دهند. با استفاده از این روش می‌توان دمای تولید را تا ٤٠ درجه سانتیگراد کاهش داد اما در دماهای کمتر از ۸۰-۹۰ درجه ساختار مولکولی ساسوبیت به شکل شبکه بلوری در می‌آید و موجب افزایش سختی قیر می‌شود. این امر احتمال وقوع ترک‌های حرارتی را افزایش می‌دهد و توصیه می‌شود که در بازیافت همراه با یک قیر یک قیر نرمتر استفاده شود. (Jesse and Isaac, 2010) عموماً ساسوبست، پتانسیل شیارشدگی اسفالت را کاهش می‌دهد. به طور کلی با کاهش دمای تولید پتانسیل شیار شدگی افزایش پیدا می‌کند که یکی از دلایل آن می‌تواند کمتر پیر شدن قیر باشد. اما مخلوط‌های حاوی ساسوبیت کمتر تحت تاثیر کاهش حرارت قرار می‌گیرند. لی و همکاران تحقیقاتی را در زمینه تاثیر افزودنی‌های WMA بر روی خصوصیات قیرهای بازیافتی انجام دادند (Kai et al, 2009) در تحقیقات آنها ساسوبیت ویسکوزیته را کاهش داده اما استفاده از قیر نرمتر تاثیر بیشتری در کاهش ویسکوزیته داشته است. اثر استفاده از قیر نرمتر در بهبود عملکرد خستگی بیشتر از افزودنی‌ها بوده است. در واقع می‌توان با استفاده از افزودنی‌ها در هنگام ساخت، دمای ساخت را کاهش داد و با استفاده از یک قیر نرمتر خصوصیات مخلوط را بهبود بخشید. مالیک۲ و همکاران نشان دادند، استفاده از قیر نرمتر مناسب با مقدار مناسب افزودنی WMA برای کاهش دما می تواند باعث جوان کردن قیر RAP بشود تا حدی که با مخلوط‌های جدید قابل مقایسه شود. آنها موفق شدند مخلوط یازیافتی نیمه گرم با ٪۷۵ RAP با افزودنی ساسوبیت تولید کنند به طوری که مخلوط بازیافتی از نظر درصد فضای خالی، مقاومت کششی در دمای پایین و پتانسیل شیارشدگی با مخلوط‌های رایج قابل مقایسه باشد (Mihai et al, 2004). در این پژوهش مخلوط‌های نیمه‌گرم با استفاده از ۱۰۰ درصد مصالح RAP و افزودنی‌های واکسی ساسوبیت و رئوفالت ساخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. ساسوبیت رایجترین واکس الی مورد استفاده در تکنولوژی آسفالت نیمه گرم می‌باشد اما مطالعات محدودی در زمینه استفاده از رئوفالت در تکنولوژی آسفالت نیمه گرم و بازیافت صورت گرفته است. هدف این پژوهش بررسی اثر واکس‌ها وکاهش دمای ساخت بر رفتار مصالح خرده آسفالت بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

٢-روش تحقیق

هدف از این پژوهش ارزیابی آزمایشگاهی اثر افزودنی‌های نیمه گرم و کاهش دمای ساخت بر رفتار مصالح خرده آسفالت در مخلوط‌های بازیافتی می‌باشد. ضمن اینکه امکان بازیافت ١٠٠ درصدی مصالح RAP با استفاده از تکنولوژی آسفالت نیمه گرم بررسی شد. بدین منظور از دو نوع افزودنی نیمه گرم ساسوبیت و رئوفالت که هر دو از واکس‌های آلی به دست آمده از فرایند فیشر- تروپس هستند، به عنوان افزودنی‌های نیمه گرم، و برای تهیه مخلوط‌های بازیافتی از ١٠٠ درصد مصالح RAP استفاده شد.از قیر ١٠٠-٨٥ به عنوان قیر جدید اضافه شده به مخلوط آسفالتی استفاده گردید. برای تهیه مخلوط‌های آسفالتی تازه از مصالح سنگی جداشده از قیر و از قیر ٧٠-٦٠ استفاده شد و در نهایت ٥ نوع مخلوط مختلف مورد مطالعه قرار گرفت که مشخصات نمونه‌های ساخته شده در جدول زیر آمده است:

جدول ١. مشخصات نمونه های ساخته شده

نام اختصاری	مصالح	قیر جدید	نوع افزودنی	درصد افزودنی	دمای اختلاط(°C)	دمای تراکم(°C)
HMA150	RAP	(١٪) ٨٥-١٠٠	-	-	١٥٠	١٣٠
W-S	RAP	(١٪) ٨٥-١٠٠	ساسوبیت	٢٪	١٣٠	١١٥
W-R	RAP	(١٪) ٨٥-١٠٠	رئوفالت LT70	٣٪	١٣٠	١١٥
HMA130	RAP	(١٪) ٨٥-١٠٠	-	-	١٣٠	١١٥
II-V	مصالح سنگی RAP (جدا شده از قیر)	(٥٪) ٦٠-٧٠	-	-	١٦٠	١٣٥

نمونه‌های نیمه گرم ساخته شده با افزودنی‌های ساسوبیت و رئوفالت نمونه‌های مورد نظر برای بررسی استفاده از تکنولوژی WMA در بازیافت با درصد بالای RAP می‌باشد. برای بررسی امکان بازیافت با درصد بالای RAP با استفاده از WMA نمونه تازه با استفاده از مصالح جدا شده از قیر ساخته شد تا با مخلوط‌های مورد نظر مقایسه شود. برای بررسی رفتار مصالح خرده اسفالت همراه با افزودنی‌های نیمه گرم دو مخلوط بازیافتی نیمه گرم و گرم بدون افزودنی ساخته شد تا اثر کاهش حرارت و افزایش این افزودنی‌ها در دمای پایین تر به طور جداگانه بررسی شود. نمونه‌های مختلفی ساخته شد و تحت آزمایش های استفامت مارشال، کشش غیرمستقیم، مدول برجهندگی، خزش دینامیکی، شیار جای چرخ انجام پذیرفت.

مصالح خرده اسفالت مورد استفاده در این پژوهش از انبار دپوی مصالح خرده آسفالت شهرداری منطقه ١٣ تهران تهیه شد. در کشور ایران عموماً از قیر ٦٠/٧٠ برای ساخت آسفالت‌های جدید استفاده می‌شود. اما بر طبق مطالعات گذشته برای ساخت نمونه‌های بازیافتی با درصد RAP بالای ٤٠ درصد باید از یک قیر نرمتر از قیر مورد نظر استفاده کرد (نشریه شماره ٢٣٤، ١٣٩٠) برای نمونه‌های ساخته شده با مصالح خرده آسفالت در این پژوهش از قیر ٨٥/١٠٠ استفاده شد. این قیر از شرکت نفت پاسارگاد تهیه شد و خصوصیات آن در جدول ١ آمده است. برای ساخت مخلوط‌های تازه از قیر ٦٠/٧٠ استفاده شد. زیرا اکثر روسازی‌های کشور با استفاده از همین قیر ساخته می‌شود. این قیر نیز از شکت نفت پاسارگاد تهیه شده که مشخصات ان در جدول زیر آمده است.

٢-١-مصالح سنگی و قیر

جدول ١. مشخصات فیزیکی قیر ٨٥/١٠٠

نوع آزمایش	استاندارد	نتیجه آزمایش
نقطه نرمی	ASTM D36	٤٧ درجه سانتی‌گراد
درجه نفوذ دردمای ٢٥ درجه	ASTM D5	٩٣ دسی میلی‌متر
درجه اشتعال	ASTM D92	٣٠٤ درجه سانتی‌گراد
شکل‌پذیری در دمای ٢٥	ASTM D113	بیش از ١٠٠ سانتی‌متر

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٢. مشخصات فیزیکی قیر٦٠/٧٠

نوع آزمایش	استاندارد	نتیجه آزمایش
نقطه نرمی	ASTM D36	٤٧ درجه سانتی‌گراد
درجه نفوذ در دمای ٢٥ درجه	ASTM D5	٦٧ دسی میلی‌متر
درجه اشتعال	ASTM D92	٣٠٤ درجه سانتی‌گراد
شکل پذیری در دمای ٢٥	ASTM D113	بیش از ١٠٠ سانتی‌متر
چگالی	ASTM D70	١/٠٤٥ گرم بر سانتی‌مترمکعب
افت حرارتی	ASTM D6	٠/٠٥ درصد
قابلیت حل	ASTM D4	٩٩/٥ درصد

افزودنی‌های ساسوبیت و رئوفالت به عنوان افزودنی‌های نیمه گرم در ساخت نمونه‌ها استفاده شد. این افزودنی‌ها واکس‌های مصنوعی هستند که ویسکوزیته قیر را کاهش می‌دهند. خصوصیات افزودنی‌ها در جدول ٣ آمده است.

جدول ٣. مشخصات افزودنی‌ها

خصوصیات	رئوفالت LT70	ساسوبیت
اجزای سازنده	واکس‌های پارافینی و هیدروکربنی	هیدروکربن پلی اتیلن آلفاتیک
حالت فیزیکی	پاستیل	پاستیل و پریل
رنگ	سفید	سفید
بو	بی بو	بی بو
چگالی حجمی	٧٧٠ کیلوگرم بر مترمکعب	٥٩٠-٦٢٢ کیلوگرم بر مترمکعب
نقطه اشتعال	٢١٠ درجه سانتی‌گراد	٢٩٠ درجه سانتی‌گراد
حلالیت در آب	غیرقابل حل	غیر قابل حل
دز	٪ ٢-٤	٪ ١-٣

٢-٢-محاسبه درصد قیر RAP

ابتدا درصد رطوبت مصالح RAP با استفاده از روش AASHTO T329 اندازه‌گیری گردید. در این روش حدود یک کیلوگرم از مصالح وزن می‌شود و در دمای ١٠٥ درجه سانتی‌گراد در گرم‌خانه قرار داده می‌شود و پس از ٩٠ دقیقه از گرمخانه خارج و دوباره وزن می‌گردد. (نشریه ١١٠، ١٣٨٠) بدین طورت رطوبت از دست رفته محاسبه می‌گردد. این مصالح مجددا به مدت ٣٠ دقیقه در گرمخانه قرار داده می‌شود و دوباره وزن می‌شود. اگر رطوبت از دست رفته در این مرحله نسبت به مرحله قبلی کمتر از ٠/٠٥ باشد، آزمایش متوقف می‌گردد و در غیراینصورت این روند ادامه می یابد.

برای محاسبه درصد قیر موجود در مصالح RAP از روش سوزاندن AASHTO TP53-95 استفاده گردید. در این روش حدود ٢ کیلوگرم مصالح RAP که به طور دقیق وزن شده در دستگاه ACT بیش از ٩٠ دقیقه تحت حرارت ٥٠٠ تا ٦٠٠ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا قیر آن به شکل گاز دراید و از مخلوط خارج گردد. سپس مصالح موجود دوباره وزن شد تا درصد قیر موجود محاسبه گردد. و مقدار ٠٤/٥ به دست آمد. درصد قیر کلی نمونه‌های بازیافتی ساخته شده از رابطه زیر به دست می‌آید. (گروه مهندسین مشاور هرازراه، ١٣٨٥):

$$\text{درصد قیر کل نمونه} = \frac{agedB + virginB}{RAP + virginB} = \frac{5/04 + 1}{100 + 1} = 5/99\% \approx 6\% \quad (1)$$

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲. قرارگیری مصالح در دستگاه ATC

جدول ٤. نتایج به دست آمده برای درصد قیر موجود در مصالح RAP

درصد رطوبت مصالح	۰/۳۲
درصد قیر بدست آمده از ACT	۵/۳۶
درصد قیر واقعی	۵/۰۴

پس از جداکردن قیر از سنگدانه‌ها (شکل برخی از مشخصات مصالح سنگی از جمله ضریب طویل، ضریب تورق و درصد شکستگی به دست آمد. مشخصات در جدول ٤ آمده است.

جدول ۵. مشخصات مصالح سنگی RAP استفاده شده

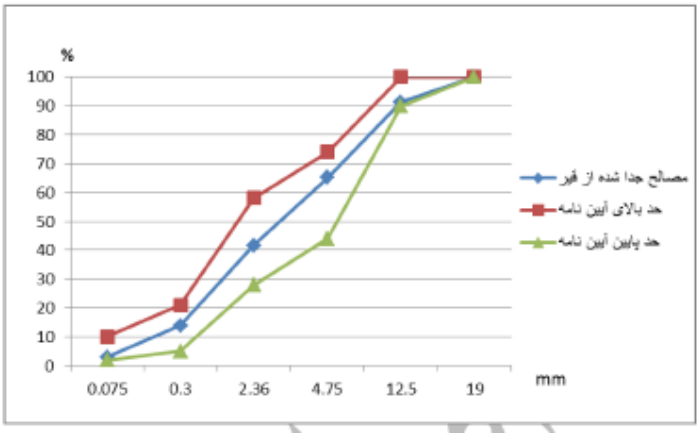
آزمایش	استاندارد	نتایج (٪)
ضریب تورق	BS 812	۲۲/۰۲
حداقل درصد شکستگی در دووجه	ASTM-D5821	۸۸/۲۷
ضریب تطویل	BS 812	۸/٤۹

شکل ۳. مصالح به دست آمده از RAP

www.SID.ir

Archive of SID

دانه بندی مصالح جداشده از قیر، در شکل ٤ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که دانه‌بندی این مصالح در میان دو حد بالا و پایین دانه‌بندی شماره ٤ نشریه ٢٣٤ برای دانه بندی پیوسته بتن آسفالتی می‌باشد. در این پژوهش برای کنترل راحت‌تر دانه‌بندی از مصالح RAP عبوری از الک ١٩ میلی متر استفاده شد. برای اینکه دانه‌بندی مصالح جدا شده از قیر در مخلوط نمونه‌های استوانه‌ای و تیر خستگی به همین شکل باشد و از تغییرات دانه بندی در نمونه‌های مختلف جلوگیری شود، مقدار کافی از مصالح RAP عبوری از الک ١٩ میلی‌متر بر روی شش الک دانه بندی شماره٤ دانه بندی شد (شکل ٥) و برای ساخت هر نمونه، نسبت مانده روی هر الک رعایت شد.



شکل ٤. نمودار دانه‌بندی مصالح جداشده از قیر

شکل ٥. مصالح RAP مانده روی هر الک

برای محاسبه درصد قیر تازه بهینه، مصالح RAP به مدت ٢ ساعت در دمای ١٥٠ درجه سانتی‌گراد برای مخلوط گرم و در دمای ١٣٠ درجه سانتی‌گراد برای مخلوط نیمه گرم قرار داده شدند. این زمان برای رسیدن این مصالح به دمای مورد نظر کافی می‌باشد. نمونه‌های بازیافتی با سه مقدار قیر مختلف ٥/٠، ١ و ٥/١ درصد با استفاده از چکش مارشال و ٧٥ ضربه به هر طرف متراکم شدند. در نهایت از بین مخلوط‌هایی که با درصد قیر مختلف ساخته شد مخلوط با قیر ١ درصد انتخاب شد زیرا با وجود اینکه مقاومت و روانی نمونه‌ها به هم نزدیک بود. درصد فضای خالی مخلوط‌های با ١ درصد قیر جدید از سایر نمونه‌ها کمتر بود.

www.SID.ir

Archive of SID

٣-روش کار آزمایش

٣-١-آزمایش کشش غیر مستقیم

در آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم، یک نمونه استوانه‌ای به صورت قطری بارگذاری می‌شود. آزمایش کشش غیرمستقیم برای تعیین مقاومت کششی مخلوط‌های آسفالتی و پیش‌بینی ظهور ترک‌ها در مخلوط آسفالتی استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از این آزمایش برای ارزیابی عمر خستگی نیز استفاده کرد. آزمایش کششی غیرمستقیم بر اساس آیین‌نامه ASTM D6931-12 با نرخ ثابت ٥٠/٨ میلی‌متر بر دقیقه و دمای٢٠ درجه سانتی‌گراد انجام شد. مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌ها با استفاده از معادله زیر تعیین شد:

$$ITS = \frac{2P_{max}}{\pi D t} \quad (٢)$$

که ITS : مقاومت کششی نمونه‌ها بر حسب پاسکال

P_{max} : بار اعمالی در زمان شکست بر حسب نیوتون

D : قطر نمونه‌ها بر حسب میلی‌متر

t : ارتفاع نمونه‌ها بر اساس میلی‌متر می‌باشد.

٣-٢- مدول برجهندگی

آزمایش مدول برجهندگی در دماهای پایین به نحوی مرتبط با ترک‌خوردگی حرارتی می‌باشد. تحقیقات متعددی نشان داده است که مخلوط‌های سخت تر در دماهای پایین‌تر بیشتر مستعد ترک‌خوردگی حرارتی می‌باشند. برای تعیین مدول برجهندگی از استاندارد AS 2891-13-1-1995 استفاده شد. ابتدا نمونه‌ها به مدت ٢٤ ساعت در محفظه دستگاه در دمای ٢٥ سانتی‌گراد قرار داده شد. شکل بارگذاری نیمه سینوسی، مدت اعمال بار ٠/١ ثانیه، زمان استراحت ٠/٩ ثانیه و ضریب پواسون ٠/٣٥ فرض گردید. در این آزمایش به ازای هر مخلوط، ٣ نمونه آسفالتی تهیه و روی هر نمونه ٥ پالس تکرار شد و میانگین نتایج به وسیله دستگاه نمایش داده شد. مدول برجهندگی بر اساس معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$M_r = \frac{P(\mu+0.2734)}{\sigma \times t} \quad (٣)$$

Mr = مدول برجهندگی بر حسب مگا پاسکال

P = بار تکراری بر حسب نیوتون

μ = نسبت پوآسن

t = ضخامت نمونه بر حسب میلی‌متر

σ = کل تغییر شکل بازگشت‌پذیر افقی بر حسب میلی‌متر

٣-٣- آزمایش حساسیت رطوبتی

این آزمایش بر اساس استانداردAASHTO –T283 انجام می‌گیرد. نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌ها بر طبق این استاندارد در شرایط اشباع و غیراشباع باید بیش از ٠/٨ باشد. برای اشباع شدن، نمونه‌ها به مدت ٢٤ ساعت در آب ٦٠ درجه قرار گرفتند (طباطبایی و همکاران، ١٣٨٠).

٣-٤-خزش دینامیکی

جهت بررسی شیار شدگی نمونه‌ها از آزمایش خزش دینامیکی استفاده شد. آزمایش خزش دینامیکی یکی از

www.SID.ir

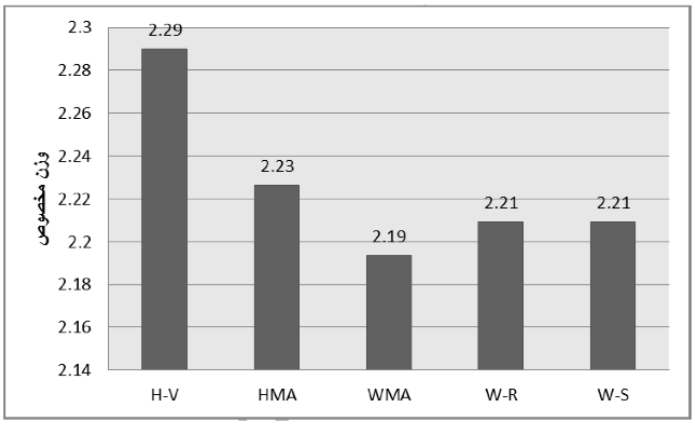
Archive of SID

معیارهای مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های دائم می‌باشد. آزمایش با استفاده از دستگاه UTM- 5P در دمای ثابت ۵۰ درجه سانتی گراد و تحت تنش ثابت ٤٥٠ کیلو پاسکال که به صورت شبه سینوسی اعمال شد، انجام گرفت. در این آزمایش یک تنش ثابت در دمای ثابت با مدت بارگذاری ۰/۱ ثانیه و زمان استراحت ۰/۹ ثانیه، توسط یک صفحه صلب به صورت عمودی به نمونه وارد می‌شود . نتایج آزمایش بر حسب عدد روانی برداشت شد که معیاری برای نشان دادن مقاومت مخلوط در برابر تغییر شکل‌های دائمی می‌باشد یعنی هر قدر عدد روانی بزرگتر باشد، مقاومت نمونه در برابر تغییر شکل‌های دائم بیشتر است.

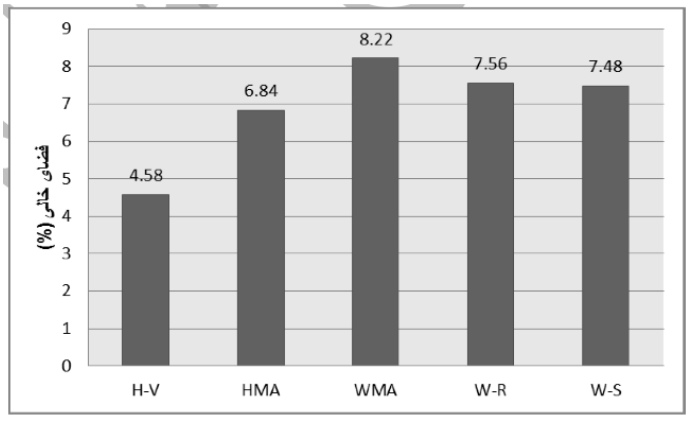
٤-تحلیل نتایج آزمایشات

٤-١-مقاومت مارشال

مقدار فضای خالی و وزن مخصوص آسفالت اثر زیادی بر خصوصیات آسفالت از جمله سختی، مقاومت و نفوذپذیری آن دارد .در شکل ٦ نمودارهای نتایج مربوط به وزن مخصوص و درصد فضای خالی را مشاهده می‌کنید. همانطور که انتظار می‌رود مخلوط بازیافتی گرم(HMA150) فضای خالی بیشتری نسبت به مخلوط تازه داشته و ملاحظه می‌شود هنگامی که دما از ۱۵۰ به ۱۳۰ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد فضای خالی مخلوط افزایش زیادی داشته و به ۸/۲۲ درصدمی‌رسد(مخلوط HMA130) اما افزودن افزودنی‌های نیمه گرم ساسوبیت و رئوفالت (مخلوط های WS,WR) فضای خالی نمونه‌ها را تا حدی کاهش داده و به مخلوط بازیافتی گرم نزدیک کرده است .این امر نشان می دهد ساسوبیت و رئوفالت باعث بهبود تراکم در دمای ۱۳۰ درجه شده است اما اثر کاهش ۲۰ درجه‌های دما را به طور کامل جبران نکرده است.



شکل ٦. نتایج مربوط به وزن مخصوص نمونه‌ها

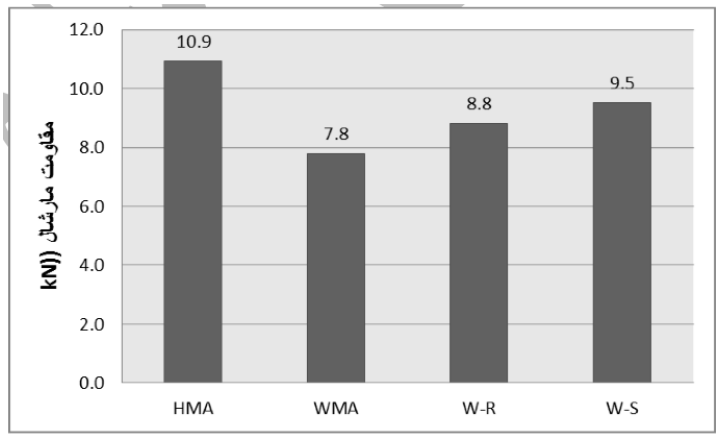


شکل ۷. نتایج مربوط به درصد فضای خالی نمونه‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

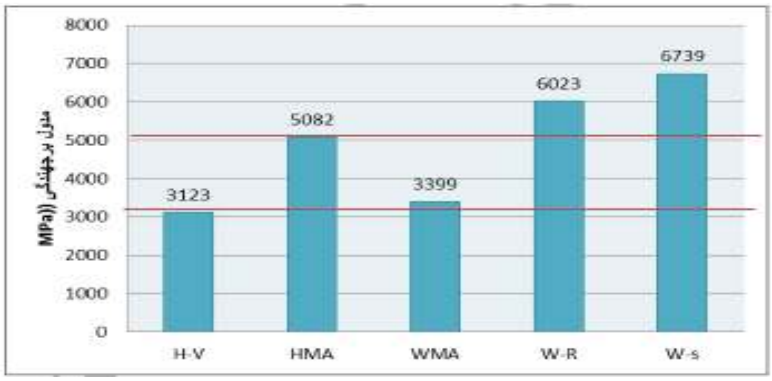
نتایج آزمایش مقاومت مارشال در شکل ٨ نشان داده شده است. نمونه‌های بازیافتی به جز نمونه نیمه گرم بدون افزودنی که مقدار جزیی کمتر از حد مجاز است، بیشتر از مقدار مجاز می‌باشند. نمونه‌ها با فضای خالی کمتر، مقاومت بیشتری از خود نشان داده و افزودنی‌ها در افزایش مقاومت تاثیر داشته‌اند. نمونه ساسوبیتی مقاومت بیشتری از نمونه رئوفالتی داشته و بیش‌ترین مقاومت مربوط به نمونه بازیافتی گرم می‌باشد.



شکل ٨. نتایج مقاومت مارشال نمونه‌ها

٤-٢-آزمایش مدول برجهندگی

همانطور که در نمودار شکل ٩ نشان داده شده است کلیه مخلوط‌های بازیافتی مدول بالاتری نسبت به مخلوط تازه دارند .این امر به دلیل استفاده از مصالح RAP و افزایش سختی مخلوط می‌باشد. مخلوط HMA130 نزدیکترین مقدار به مخلوط تازه را دارد اما این امر دلیل بر عملکرد بهتر این مخلوط نبوده بلکه می‌تواند نتیجه دو عامل مختلف باشد:یکی فضای خالی بیشتر نسبت به سایر نمونه‌های بازیافتی و دیگری اینکه دمای پایینتر ١٣٠ درجه سانتی‌گراد موجب شده اختلاط قیر جدید و قیر RAP به خوبی انجام نشود و و نمونه مانند مخلوطی با قیر نرم‌تر عمل کند. نتایج نشان می‌دهد افزودنی‌ها به شدت موجب افزایش مدول برجهندگی شده است به طوری که مدول نمونه‌های بازیافتی نیمه گرم با افزودنی از مدول نمونه بازیافتی گرم نیز بیشترشده است. این امر به دو دلیل می‌تواند اتفاق بی‌افتد: ١) افزودنی‌ها درصد قیر موثر را افزایش دادهاند در نتیجه قیر بیشتری از RAP در اختلاط شرکت کرده و موجب سختتر شدن قیری شود که بار را تحمل می‌کند. ٢) واکس‌های ارگانیک که از فرایند فیشر-تراپس بدست می‌آیند در دمای اختلاط ویسکوزیته قیر را کاهش می‌دهند اما هنگامی که دما پایین می‌آید یک ساختار شبکه‌های کریستالی به وجود می‌آورند که موجب سختی قیر می‌شوند. مخلوط بازیافتی نیمه گرم ساسوبیتی بیشترین مدول برجهندگی را داشته است و مدول مخلوط بازیافتی رئوفالتی نسبت به نمونه ساسوبیتی کمتر بوده و به مخلوط بازیافتی گرم نزدیک‌تر است.



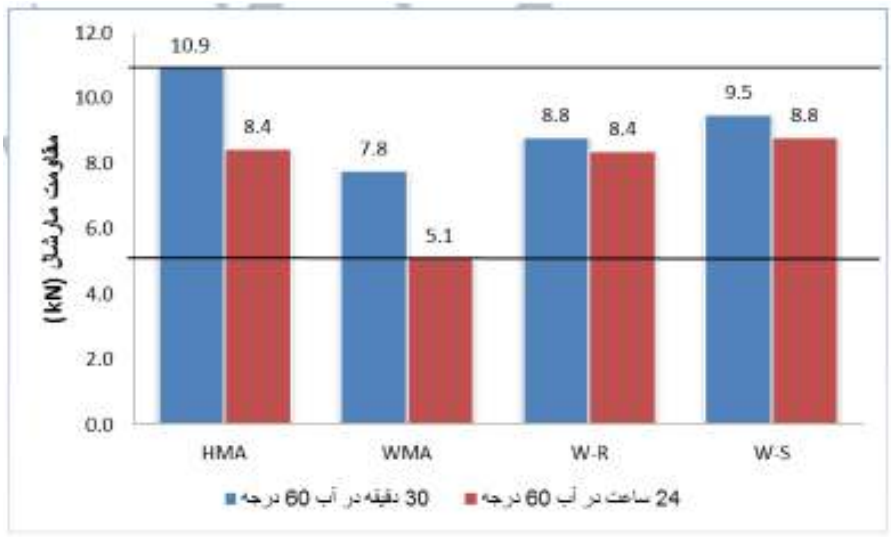
شکل ٩. تعیین MR برای نمونه‌های ساخته شده

www.SID.ir

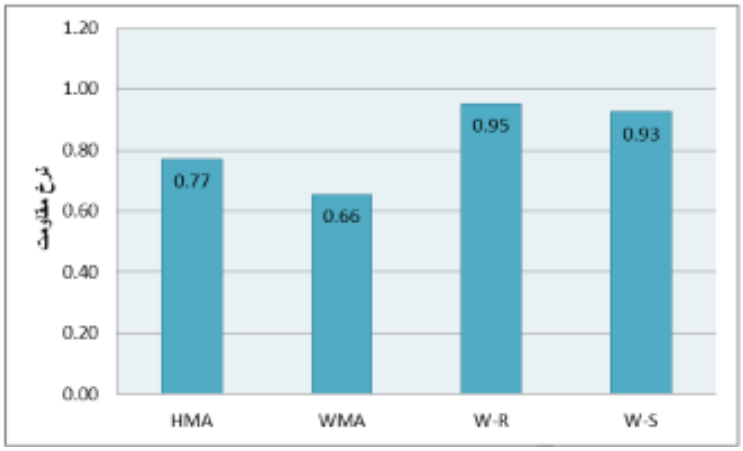
Archive of SID

٤-٣- آزمایش حساسیت رطوبتی

برای ارزیابی حساسیت رطوبتی نمونه‌های بازیافتی از دو آزمایش مارشال و کشش غیرمستقیم استفاده شد. در نمودار زیر مقاومت مارشال نمونه‌ها پس از ٣٠ دقیقه و ٢٤ ساعت ماندن در حمام آب ٦٠ درجه سانتیگراد نشان داده شده است. طبق نشریه ٢٣٤، مقاومت نمونه‌ها پس از ٢٤ ساعت ماندن در آب ٦٠ درجه سانتی‌گراد نباید از ٠/٧٥ مقاومت نمونه‌هایی که ٣٠ دقیقه در آب ٦٠ درجه بوده‌اند کمتر شود. مقاومت همه نمونه‌های بازیافتی به جز نمونه نیمه گرم بدون افزودنی (WMA) بیش از حد مجاز ٠/٧٥ بوده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که با کاهش دمای ساخت به ١٣٠ درجه سانتی‌گراد، حساسیت رطوبتی افزایش یافته و مقدار آن بیش از مقدار مجاز می شود. اما نمونه‌های با افزودنی نیمه گرم حساسیت رطوبتی کمی از خود نشان داده‌اند و کاهش مقاومت آنها از نمونه بازیافتی گرم نیز کمتر بوده است. این امر نشان می‌دهد واکس ساسوبیت و رئوفالت تاثیر مثبتی در کاهش حساسیت رطوبتی این مخلوط‌های بازیافتی داشته‌اند. این واکس‌ها دارای زنجیره‌های مولکولی بلند می‌باشند که موجب افزایش پایداری قیر می‌شوند.



شکل ١٠. نتایج آزمایش مقاومت مارشال نمونه‌های بازیافتی



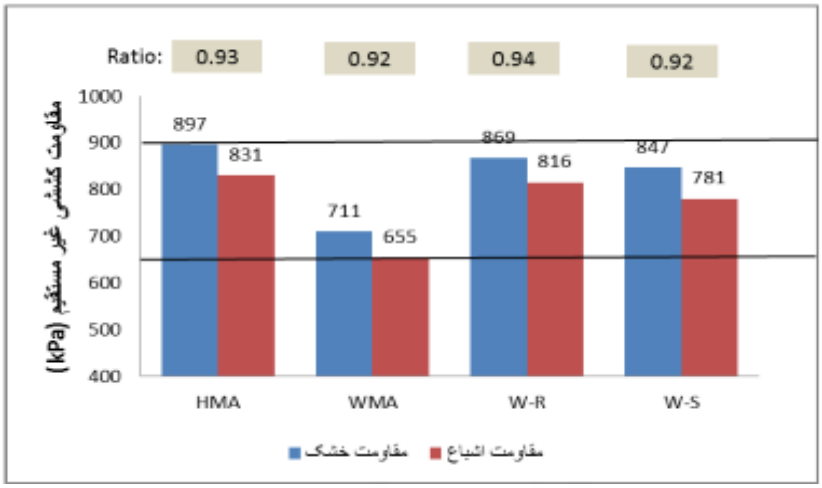
شکل ١١. نسبت مقاومت مارشال نمونه های بازیافتی

رطوبت به دو صورت می‌تواند موجب خرابی مخلوط آسفالتی شود ١(کاهش چسبندگی میان مصالح سنگی) و قیر ٢ (کاهش مقاومت قیر) (زیاری و همکاران، ١٣٨٥). چسبندگی قیر یک عامل مهم در جلوگیری از این نوع

www.SID.ir

Archive of SID

خرابی‌ها است و تراکم خوب و درصد فضای خالی کم می‌تواند مقاومت مخلوط را در برابر آسیب‌های رطوبتی افزایش دهد. طبق استاندارد AASHTO T283 برای کنترل حساسیت رطوبتی, نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم نمونهها در شرایط اشباع و غیر اشباع باید بیش از ۸/۰ باشد. مطالعات نشان داده در مخلوط‌های حاوی RAP حساسیت رطوبتی کاهش می‌یابد که دلیل آن می‌تواند سختی قیر و چسبندگی زیاد مصالح به قیر پیر شده باشد. ممکن است احتمال وقوع آسیب‌های رطوبتی در مخلوط های نیمه گرم افزایش یابد که دلیل آن دمای تولید کمتر و امکان از بین نرفتن رطوبت مخلوط به طور کامل، در این دما است (طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۰). همانطور که از نتایج مشخص است با اینکه نمونه‌ها دارای مقاومت‌ها کششی متفاوتی می‌باشند، اما نرخ کاهش مقاومت همه نمونه‌های بازیافتی تقریبا برابر می‌باشد و همه آنها بالای ۰/۹ می‌باشد.



شکل ۱۲. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم نمونه‌ها در حالت خشک و تر و نسبت مقاومت‌ها

در نهایت با توجه به نتایج هر دو آزمایش می‌توان دریافت به جز نمونه نیمه‌گرم بازیافتی بدون افزودنی، بقیه نمونه‌های بازیافتی با توجه به معیارها مشکل خاصی از نظر حساسیت رطوبتی نداشته‌اند و در این میان نمونه‌های نیمه گرم با افزودنی کم‌ترین حساسیت رطوبتی را از خود نشان داده‌اند. نمونه بازیافتی نیمه گرم حاوی افزودنی رئوفالت (WR) در هر دو آزمایش بهترین عملکرد را داشته است.

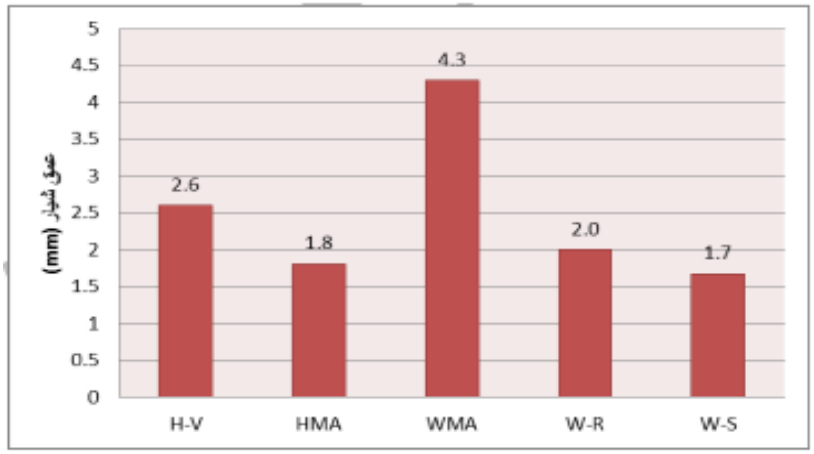
٤-٤- شیار جای چرخ

در نمودار زیر نتایج مربوط عمق شیار حاصل در آزمایش شیار جای چرخ را مشاهده می‌کنید. ملاحظه می‌شود نمونه بازیافتی گرم (HMA150) و نمونه‌های بازیافتی نیمه گرم (W-SوW-R) دارای عمق شیار کمتری نسبت به مخلوط تازه (H-V) بوده‌اند. اما مخلوط بازیافتی HMA130 بیشترین عمق شیار را داشته است که این مقدار از مخلوط تازه نیز بیشتر بوده است. همانطور که در قسمت مدول برجهندگی گفته شد دمای پایین‌تر تراکم موجب می‌شود قسمت کمتری از قیر سخت شده مصالح RAP در اختلاط شرکت کند. بنابراین مخلوط بیشتر مانند مخلوطی با قیر نرمتر (۱۰۰-۸۵) عمل می‌کند. دلیل عمق شیار بیشینه در مخلوط WMA میتواند همین امر باشد ضمن اینکه این مخلوط فضای خالی بیشتری نیز نسبت به بقیه مخلوط‌ها دارا می‌باشد و قیر آن نسبت به قیر مخلوط گرم کمتر پیر شده است. عمق شیار در مخلوط‌های نیمه گرم با افزودنی کمتر از نصف مخلوط نیمه گرم بدون افزودنی می‌باشد که نشان دهنده اثر افزودنی‌ها در کاهش پتانسیل شیارشدگی می‌باشد. این اثر می‌تواند ناشی از بهبود تراکم، افزایش درصد قیر موثر و سختی قیر به خاطر خواص ملکولی این افزودنی‌ها باشد. ملاحظه می‌شود مخلوط بازیافتی ساسوبیتی که در آزمایش شیار جای چرخ کمترین عمق شیار را داشته، بیشترین عدد روانی را نیز داشته است و مخلوط نیمه گرم بدون افزودنی که بیشترین عمق شیار را داشته است اینجا کمترین عدد روانی را دارد و از این جهت

www.SID.ir

Archive of SID

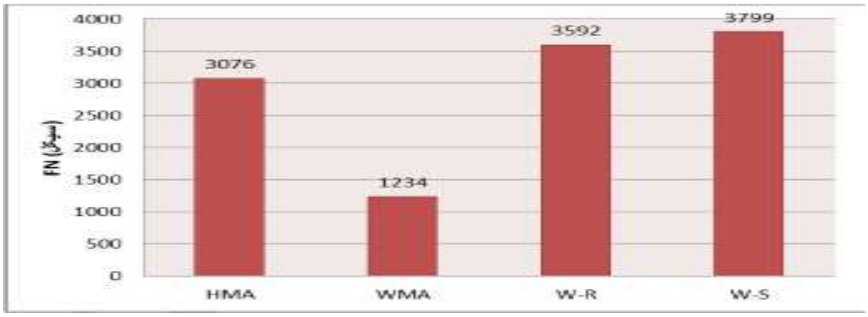
دو آزمایش با هم همخوانی دارد می‌باشد. در مجموع با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که علارغم اینکه کاهش دمای ساخت موجب افزایش پتانسیل شیارشدگی شده است، افزودنی‌ها اثر قابل ملاحظه‌ای در کاهش پتانسیل شیارشدگی مخلوط‌های بازیافتی داشته‌اند.



شکل ١٣. نتایج مربوط به ازمایش شیار جای چرخ

٤-٥-آزمایش خزش دینامیکی

شیارشدگی یکی از خرابی‌های رایج در روسازی‌های آسفالتی می‌باشد و به تغییرشکل‌های دائمی گفته می‌شود که بصورت شیار فرورفته در مسیر چرخ وسایل نقلیه به موازات محور طولی راه دیده می‌شود. لذا در این تحقیق شیارشدگی نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی شیارشدگی نمونه‌ها از آزمایش خزش دینامیکی استفاده شد. آزمایش خزش دینامیکی یکی از معیارهای مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های دائم می‌باشد. ملاحظه می‌شود مخلوط بازیافتی ساسوبیتی که در آزمایش شیار جای چرخ کمترین عمق شیار را داشته است، اینجا نیز بیشترین عدد روانی را داشته و مخلوط نیمه گرم بدون افزودنی که بیشترین عمق شیار را داشته است، کمترین عدد روانی را دارا می‌باشد. این روند در ارتباط با دو مخلوط بازیافتی رئوفالتی و مخلوط بازیافتی گرم رعایت نشده است. دلیل این امر تفاوت در معیار ارزیابی دو آزمایش می‌باشد. در آزمایش شیار جای چرخ معیار اندازه تغییر شکل های دائمی می باشد، اما در آزمایش خزش دینامیکی نحوه و نرخ تغییر شکل‌ها در بارگذاری متوالی معیار می‌باشد. در واقع با اینکه نمونه رئوفالتی عدد روانی بیشتری نسبت به مخلوط گرم داشته است، کرنش‌های تجمعی بیشتری نیز داشته است. به عنوان مثال در بارگذاری ٣٠٧٦ ام که عدد روانی مخلوط گرم می‌باشد، کرنش تجمعی برای مخلوط رئوفالتی ١/٢٢ درصد و برای مخلوط گرم ١/١٧ درصد بوده است. بنابراین می‌توان دریافت که مخلوط رئوفالتی علارغم تغییر شکل‌های بیشتر، FN بالاتری نیز داشته است. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که علی رغم اینکه کاهش دمای ساخت موجب افزایش پتانسیل شیارشدگی شده است، افزودنی‌ها اثر قابل ملاحظه‌ای را در کاهش پتانسیل شیارشدگی مخلوط بازیافتی داشته اند.



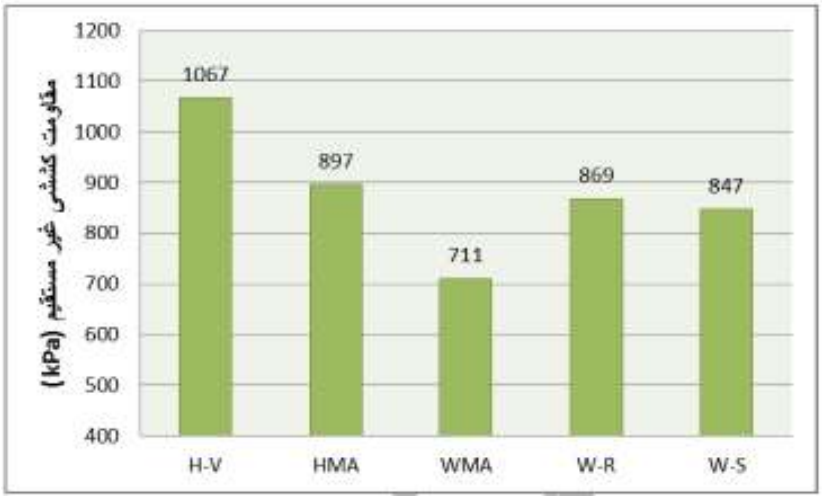
شکل ١٤. نتایج آزمایش شیار جای چرخ

www.SID.ir

Archive of SID

٤-٢-٣- آزمایش کششی غیر مستقیم

پس از اینکه نمونه‌های ساخته شده با قیر بهینه تحت آزمایش کششی غیر مستقیم قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد مقاومت کششی تمامی نمونه‌ها از نمونه شاهد کمتر می باشد که دلیل آن چسبندگی بیشتر قیر خالص و فضای خالی کمتر می‌باشد. زیرا فضای خالی کمتر موجب افزایش سطح مقاوم در برابر نیرو شده و تنش موثر را کاهش می‌دهد. در میان مخلوط‌های بازیافتی مخلوط بازیافتی نیمه گرم بدون افزودنی کمترین و مخلوط بازیافتی گرم بیشترین مقاومت کششی را از خود نشان داده است. هرچند تفاوت مقاومت کششی مخلوط بازیافتی گرم با مخلوط‌های بازیافتی نیمه‌گرم با افزودنی ساسوبیت و رئوفالت ناچیز می‌باشد و تقریباً در یک محدوده قرار دارند. نتایج نشان می‌دهد کاهش دمای ساخت در بازیافت موجب کاهش مقاومت کششی مخلوط شده است این امر به دلیل عدم تراکم مطلوب در دمای پایین‌تر و همچنین عدم اختلاط مناسب دو قیر و کاهش قیر موثر در تحمل بار اتفاق می‌افتد. در اینجا افزودنی‌ها توانسته‌اند اثر کاهش دما را تا حد قابل ملاحظه‌ای جبران کنند. افزودنیهای ساسوبیت و رئوفالت ضمن تسهیل تراکم و افزایش درصد قیر موثر به دلیل اینکه از ساختار مواکولی بلند زنجیره‌ای برخوردارند موجب افزایش پایداری قیر می‌شوند. عملکرد کششی غیر مستقیم نمونه‌رئوفالتی اندکی بیشتر از نمونه ساسوبیتی بوده است.



شکل ١٥. نتایج آزمایش مقاومت کششی نمونه‌ها د دمای ٢٥ درجه سانتی‌گراد

٥- نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت ارزیابی عملکرد مخلوط‌های خرده آسفالتی حاوی افزودنی نیمه گرم آزمایش‌های مختلفی از قبیل: مقاومت مارشال، کشش غیرمستقیم، مدول برجهندگی، حساسیت رطوبتی، خزش دینامیکی و شیار جای چرخ انجام پذیرفت که نتایج به شرح زیر می باشد:

به کارگیری ساسوبیت و رئوفالت در کاهش فضای خالی مخلوط بازیافتی نیمه‌گرم تاثیرگذار بوده است، هرچند که کمترین فضای خالی مربوط به مخلوط گرم می‌باشد.

نتایج آزمایش استقامت مارشال کاملاً با درصد فضای خای نسبت عکس دارد و با کاهش دما از ١٥٠ به ١٣٠ درجه سانتیگراد، مقاومت نمونه‌ها به شدت کاهش یافته است. اما افزودنی ساسوبیت و رئوفالت سبب افزایش مقاومت نمونه‌های نیمه گرم شده‌اند. ضمن اینکه ساسوبیت نسبت به رئوفالت تاثیر بیشتری در افزایش مقاومت داشته است.

کلیه مخلوط‌های بازیافتی مدول برجهندگی بیشتری نسبت به مخلوط گرم شاهد داشته اند و در این میان مخلوط ساسوبیتی و رئوفالتی بیشترین مدول را داشته‌اند.

افزودنی‌های ساسوبیتی و رئوفالت در نمونه‌های بازیافتی موجب افزایش مقاومت در برابر حساسیت رطوبتی شده‌اند. به طوری که نمونه‌های نیمه گرم ساسوبیتی و رئوفالتی حتی عملکرد بهتری نسبت به مخلوط بازیافتی گرم داشته‌اند.

در آزمایش حساسیت رطوبتی اختلاف نتایج به دست آمده از نسبت مارشال بیشتر از نتایج بدست آمده از نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم می‌باشد که دلیل ان می‌تواند

www.SID.ir

Archive of SID

شرایط سختگیرانه تر ازمایش مارشال باشد. به طوری که به جز نمونه نیمه گرم بدون افزودنی حساسیت رطوبتی همه نمونه‌ها در حد مجاز بوده است. مقایسه مقدار مقاومت شیارشدگی مخلوط بازیافتی گرم شاهد نشان می‌دهد مصالح RAP موجب افزایش مقاومت در برابر شیارشدگی می‌شود. باوجوداینکه در مخلوط بازیافتی از یک قیر نرمتر نسبت به مخلوط شاهد استفاده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که افزودنی‌های ساسوبیت و رئوفالت سبب افزایش مقاومت مخلوط در برابر شیارشدگی شده‌اند.

بیشترین مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط های بازیافتی در دمای ۲۵ درجه مربوط به مخلوط گرم می باشد. هنگامی که دمای ساخت نمونه‌ها کاهش یافته، مقاومت کششی نیز کاهش می‌یابد. اما افزودنی‌های نیمه گرم در افزایش مقاومت تاثیر داشته‌اند. ضمن اینکه مقاومت مخلوط حاوی رئوفالت به مقدار کمی بیشتر از مخلوط ساسوبیتی می‌باشد.

نتایج حاصل از آزمایش‌های مدول برجهندگی، شیارشدگی و خستگی نشان می‌دهد افزودنی‌ها سختی مخلوط را افزایش داده اند که این افزایش سختی در مخلوط ساسوبیتی بیشتر از رئوفالتی بوده است و مخلوط رئوفالتی نتایج نزدیکتری به مخلوط گرم داشته است. افزایش سختی توسط افزودنی‌ها به دو شکل ممکن است رخ دهد:

به خاطر شاختار شبکه‌ای که افزودنی‌ها در دمای محیط ایجاد می‌کنند.

بهبود اختلاط قیر جدید با قیر RAP، به طوری که مقدار بیشتری از قیر سخت شده RAP در اختلاط شرکت می‌کند.

٦- پی‌نوشت‌ها

1- German Technical Specification
2- Warm Mix Asphalt (WMA)
3- Aspha-min
4- Sasobit
5- Evotherm
6- Cold mix Asphalt
7- Hot mix Asphalt (HMA)
8- Rutting Potential
9- Aging
10- Rutting Resistance
11- Softening point
12- Penetration grade
13- Penetration index
14- Penetration-viscosity index
15- Performance Grade (PG)

٧-مراجع

- "آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران"، (۱۳۹۰)، نشریه شماره ۲۳٤، پژوهشکده حمل و نقل، دفتر نظام فنی و اجرایی، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.

- زیاری، ح. طباطبایی، س. ع. و خبیری، م.م.، (۱۳۸۵)، "راهنمای کاربردی آزمایش‌های قیر و آسفالت"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

- سازمان برنامه و بودجه، معاونت فنی، (۱۳۸۰)، نشریه ۱۱۰، "مشخصات فنی عمومی راه".

- گروه مهندسین مشاور هرازراه، (۱۳۸۵)، "روش‌های بازیافت سرد و گرم و امکانسنجی اقتصادی آن در ایران" ، معاونت آموزش، تحقیقات، فناوری پژوهشکده حمل و نقل.

- طباطبایی، ا. م.، (۱۳۸۰)، "روسازی راه"، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

- Feipeng Xiao and Serji N Amirkhanian, (2007), “Laboratory Investigation of Moisture Damage in Rubberized Asphalt Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement,” Int.J. Pavement Engineering, Vol.10, Issue 5.

- He Gui-Ping , Wong Wing-Gun, (2008), “Effects of moisture on strength and permanent deformation of foamed asphalt mix incorporating RAP materials,” Construction and Building Materials. Vol. 22, Issue 1, pp.30–40.

- Joe W. Button, Cindy Estakhri, and Andrew Wimsatt, (2007), “A Synthesis of Warm-mix Asphalt,” Technical Report: 0-5597-1Project, performed in cooperation with the Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration.Us.

- Karen A. O’Sullivan, Phyllis A. Wall, (2009), “The Effects of Warm Mix Asphalt

www.SID.ir

Archive of SID

-Jesse D.Doyl, Isaac L.Howard P., (2010), "Compactibility and bitumen utilization of 100% warm mixed RAP," Transportation Research Board Annual Meeting 2010 Paper #10-0279.

-Kai su, Ryota Maekawa,Yoshitaka Hachiya. (2009), "laboratory evaluation of WMA mixture for use in airport pavement rehabilitation," Int.J. Construction and building materials, Vol. 23, Issue 7, pp. 2709– 2714.

-Mihai O. Marasteanu, Xue Li, Timothy R. Clyne, Vaughan R. Voller, David H. Timm, David E. Newcomb, (2004), "Low Temperature Cracking Of Asphalt Concrete Pavements," Technical Report: MN/RC – 2004-23, University of Minnesota Department of Civil Engineering.

Additives on Recycled Asphalt Pavement," B.S. thesis, Major Qualifying Project, Number: MQPRBM0903, Worcster Polytechnic Institute, US.

- Mallick, R. B., Bergendahl, J., & 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.

- Mallick, R; Kandhal, P & 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.

- Soon-Jae Lee a, Serji N. Amirkhanian b, Nam-Won Park c, Kwang W. Kim., (2009), "Characterization of warm mix asphalt binders is containing artificiallylong-term aged binders," Int.J. Construction and Building Materials, Vol. 23, Issue 6, pp. 2371–2379.

- Young S. Doh, Jin C. Kim, Min Y. Ryu, (2007), "Evaluation of selected warm-mix additives for asphalt recycle," Transportation Research Board Annual Meeting 2010 Paper #10-1063.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation of Performance properties of Reclaimed Asphalt pavement (RAP) mixtures containing Warm Mix Asphalt (WMA) additives

A. Choubdar, M.Sc.,Grad., Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.
A. R. Ameli, Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.
A. Farajollahi , Department of Civil Engineering, Malard Branch, Islamic Azad University, Malard, Tehran, Iran.

E-mail: Amelii@gmail.com

Received: September 2019-Accepted: December 2019

ABSTRACT

The use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) helps us save our natural resources and money. Of the different types of asphalt pavements that can be built, HMA pavements are considered the best in the terms of strength and durability. But the production temperature limits the amount of RAP used in the new mixture because this production`s high temperature requirement causes the deterioration of the aged binder of RAP and increases greemhouse gas emission. In the recent years there has been much focus on Warm Mix Asphalt (WMA) technology, because the aim of this approach is to reduce the production temperature by using additives which increase the workability of the binder at a lower temperature. The use of WMA additives helps us reduce the temperature while preserving the desired workability, thus enables HMA to contain higher percentages of RAP. The purpose of this experimental study was to evaluate the effect of production temperature reduction by using WMA additives on the performance properties of asphalt mixture containing 100% RAP. To reach this goal, five mixes were prepared and tested: a control mix (100% RAP-mixing temperature 150°C), three mixes with Sasobit, Rheofalt and without additives (mixing temperature of 130°C), and one virgin mix with extracted aggregate (mixing temperature of 160°C). The performance properties of the mixtures were evaluated based on indirect tensile strength, resilient module, four point beam fatigue test, and dynamic creep test etc. The results showed that the mixtures with WMA additives had better performance according to their moisture susceptibility and rutting potential, but the control mix had better performance in fatigue and low temperature cracking.

Keywords: Recycling, Warm Mix Asphalt, RAP, Aging, Fatigue, Sasobit, Rheofalt

www.SID.ir