

بررسی آزمایشگاهی تأثیر تراشه‌های خرده آسفالت بر روی خصوصیات قیر و مخلوط‌های آسفالتی گرم

محمود عامری، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
علی تقی نژاد عمران، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E- mail: ameri @iust.ac.ir

چکیده

محدودیت منابع و مصالح سنگی مرغوب و قیر، حل معضلات زیست محیطی ناشی از تولید تراشه‌های خرده آسفالت و فواید اقتصادی سبب بهره‌برداری مجدد از مصالح موجود در صنعت روسازی شده است. روش بازیافت گرم مخلوط‌های آسفالتی، یکی از روشهای مناسب برای ترمیم، بهسازی و بازسازی روسازی‌های آسفالتی است در این روش رویه‌های آسفالتی که دچار خرابی و فرسودگی شده‌اند از سطح راه تراشیده شده و در ترکیب مخلوط‌های آسفالتی جدید استفاده می‌شوند. بنابراین لازم است برای تشخیص عملکرد مناسب مخلوط‌های آسفالتی حاوی تراشه‌های خرده آسفالت تحقیقات بیشتری انجام شود. با توجه به این که قیر موجود در تراشه‌های خرده آسفالت، در طی مدت اجرا و همچنین مدت خدمت دهی، به دلیل واکنش با اکسیژن هوا به تدریج فرسوده و سخت می‌شوند، بنابراین بررسی قیر ترکیبی (قیر تراشه‌های خرده آسفالت و قیر جدید) مخلوط‌های آسفالتی حاوی تراشه‌های خرده آسفالت ضروری و مهم است. در این پژوهش خصوصیات قیر مخلوط‌های آسفالتی گرم حاوی درصد‌های مختلف تراشه‌های خرده آسفالت (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد)، پس از عمل بازیابی با آزمایش‌هایی نظیر درجه نفوذ، نقطه نرمی، خاصیت انکمی و کند روانی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین از آزمایش‌هایی نظیر مارشال و مقاومت کششی غیر مستقیم جهت بررسی مخلوط‌های آسفالتی استفاده شده است.

نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان دادند قیر موجود در تراشه‌های خرده آسفالت نسبت به قیر اولیه‌ای که در تهیه مخلوط‌های آسفالتی بکار رفته است، به طور قابل ملاحظه‌ای سخت شده است. همچنین قیر مخلوط‌های آسفالتی بدون تراشه‌های خرده آسفالت در هنگام ساخت نسبت به قیر اولیه مورد استفاده سخت شده است. با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده مشخص شد که افزایش تراشه‌های خرده آسفالت به مخلوط‌های آسفالتی موجب سختی قیر جدید مورد استفاده در تهیه مخلوط‌ها می‌شوند و در مخلوط‌هایی که حاوی درصد بیشتری از تراشه‌های خرده آسفالت هستند، خصوصیات قیر ترکیبی (قیر خرده آسفالت و قیر جدید) مشابه خصوصیات قیر تراشه‌های خرده آسفالت مورد استفاده است. همچنین با افزایش مقدار تراشه‌های خرده آسفالت در مخلوط‌های آسفالتی، استحکام مارشال و مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط‌های آسفالتی افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: خرده آسفالت، قیر، مقاومت مارشال، مقاومت کششی غیر مستقیم

۱. مقدمه

استفاده از تراشه‌های خرده آسفالت بکارگیری آنها در مخلوط‌های آسفالتی گرم است.

جنبه اقتصادی و حفظ منابع طبیعی از دلایل عمده استفاده از تراشه‌های خرده آسفالت در روسازی راههاست. یکی از موارد

قیر دارای دو مرحله پیری است: ۱- دوره کوتاه مدت، ۲- دوره بلندمدت، Bell در تحقیقاتش نشان داد دلیل اصلی پیری کوتاه مدت قیر، تبخیر است و در هنگام گرم کردن مخلوط یا اجرا حادث می‌شود. در حالی که پیری بلند مدت قیر در محل اتفاق می‌افتد و به خاطر اکسیداسیون است. بررسی اثر پیری روی قیر هنگامی که مخلوط شامل خرده آسفالت با قیر سخت شده از زمان ساخت است، مهم است [۲].

۳. پیشینه تحقیق

زمانی که از مخلوط‌های آسفالتی شامل تراشه خرده آسفالت استفاده می‌شود، دانستن خصوصیات قیر، درصد قیر و دانه‌بندی خرده آسفالت ضروری است. قبل از تعیین دانه‌بندی خرده آسفالت، باید قیر و سنگدانه‌ها از هم جدا شوند. چندین روش برای جداسازی قیر از سنگدانه‌ها و مشخص کردن درصد قیر وجود دارد که شامل جداسازی به وسیله حلال، روش هسته‌ای، روش پیکنومتر، ثبت اتوماتیک و روش حرارت دادن است. در روش جداسازی با حلال (vacuum و reflux centrifuge) از حلالهایی مانند متیلن و تری متیلن استفاده می‌شود که به وسیله آن، قیر از سنگدانه‌های ریز جدا می‌شود [۵]. Zhang در تحقیقاتش نشان داد روش جداسازی به وسیله حلال و روش حرارت دادن درگرمخانه نسبت به بقیه روشها مناسب‌تر هستند [۶].

Peterson و همکارانش در تحقیقی که برای موسسه NCHRP انجام دادند، روش سانتریفیوژ را برای جداسازی با حلال پیشنهاد کردند، زیرا روش reflux پیری قیر را افزایش می‌دهد و روش vacuum در هر مکانی قابل‌انجام نیست [۷]. یکی از موانع قابل توجه در روش جداسازی با حلال، انحراف استاندارد بالای آزمایش است. با وجود موانع، یکی از فواید جداسازی قیر به وسیله حلال جمع‌آوری قیر برای انجام آزمایش‌های بیشتر (ویسکوزیته، آزمایش نفوذ و ...) است و بهترین روش برای تعیین درصد قیر تا وقتی است که روش حرارت دهی درگرمخانه بهبود یابد [۵].

پیرشدگی، تغییرات زیادی در خصوصیات قیر ایجاد می‌کند که از آن جمله می‌توان به افزایش ویسکوزیته و سختی و کاهش درجه نفوذ و تغییر شکل‌پذیری اشاره کرد که سبب می‌شود مخلوط‌های آسفالتی سخت و ترد شوند. خصوصیات مخلوط‌هایی که شامل

اولین گام در استفاده مجدد از روسازی موجود تبدیل مصالح آسفالتی و سنگدانه‌ای به مصالح استاندارد و قابل استفاده در ساخت روسازی جدید است. از تراشه‌های خرده آسفالتی می‌توان در کلیه عملیات آسفالتی از قبیل نوسازی، اجرای روکش و یا ترمیم و بهسازی روسازی راهها استفاده کرد. به طور کلی بازیابی مصالح آسفالتی به فرآیندی اطلاق می‌شود که در آن قیر و مصالح سنگی فرسوده طی فرآیندی قابل استفاده می‌شوند [۱]. بنابراین بررسی رفتار مخلوط‌های آسفالتی گرم حاوی تراشه‌های خرده آسفالت حائز اهمیت است.

هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر تراشه‌های خرده آسفالت بر روی خصوصیات قیر و مخلوط‌های آسفالتی گرم است. در این راستا از درصد‌های مختلف تراشه‌های خرده آسفالت (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) در مخلوط‌های آسفالتی استفاده شده است. ابتدا قیر تراشه‌های خرده آسفالت بکار گرفته با استفاده از آزمایش سانتر فیوژ از سنگدانه‌ها جدا شد، سپس با استفاده از دستورالعمل ASTM-D1856 قیر خالص، جهت انجام آزمایش‌های متداول قیر نظیر نقطه نرمی، درجه نفوذ، خاصیت کششی و کند روانی، به دست آمد. پس از ساخت مخلوط‌های حاوی درصد‌های مختلف تراشه‌های خرده آسفالت درصد قیر بهینه، قیر این مخلوط‌ها نیز مورد بازیابی قرار گرفته و آزمایش‌های متداول قیر نظیر آنچه در فوق بیان شد، برای تعیین خصوصیات قیر ترکیبی (قیر تراشه‌های خرده آسفالت و قیر جدید) انجام شده است. همچنین جهت ارزیابی مخلوط‌های آسفالتی حاوی درصد‌های مختلف تراشه‌های خرده آسفالت از آزمایش‌هایی نظیر مارشال و مقاومت کششی غیرمستقیم استفاده شده است.

۲. سختی (پیرشدگی) قیر

Bell در تحقیقاتش نشان داد پیری یا سختی در طول عمر قیر سبب افزایش خاصیت ویسکوزیته قیر شده و سختی مخلوط‌های آسفالتی را در پی دارد [۲].

سختی قیر می‌تواند سبب سختی زیاد و شکنندگی مخلوط‌های آسفالتی شده و مخلوطی آسفالتی با ضعف ترک‌خوردگی را به وجود آورد [۳]. همچنین در تحقیقاتی نشان داده شده است سختی قیر موجب می‌شود، مقاومت لغزشی مخلوط‌های آسفالتی کاهش یافته و حساسیت رطوبتی آنها زیاد شده و یک مخلوط آسفالتی، با دوام کمتر به وجود آید [۴].

همچنین قیر جدید مورد استفاده با توجه به شرایط اقلیمی و ترافیک شهر تهران، قیر ۶۰/۷۰ (قیر متداول ایران) بوده است. در این پژوهش، پس از تعیین درصد قیر مصالح خرده اسفالت و همچنین تعیین مشخصات فیزیکی مصالح بازیافت شده از تراشه‌های خرده اسفالت و مصالح سنگی جدید، نمونه‌های آزمایشگاهی لازم ساخته شد.

پس از جدا سازی قیر، مصالح سنگی تراشه‌های خرده اسفالت تحت آزمایش دانه‌بندی قرار گرفتند. از دانه‌بندی به دست آمده از مصالح خرده اسفالتی جهت ساخت مخلوط‌های حاوی درصد‌های مختلف تراشه‌های خرده اسفالتی استفاده شده است. برای تعیین درصد قیر بهینه و ساخت نمونه از روش مارشال مطابق دستورالعمل ASTM-D1559 استفاده شده است [۱۴و۱۳].

سپس نمونه‌های حاوی درصد‌های مختلف تراشه‌های خرده اسفالت با توجه به قیر بهینه، برای انجام آزمایش‌هایی نظیر مارشال و مقاومت کششی غیرمستقیم مورد استفاده قرار گرفتند، سپس قیر این مخلوط‌ها نیز برای بررسی و انجام آزمایش‌های متداول قیر، مورد بازیابی قرار گرفت. لازم به ذکر است که برای انجام هر آزمایش و تعیین هر یک از پارامترهای مورد نظر، حداقل ۳ نمونه آزمایشگاهی تهیه شده است.

۴-۱ تعیین درصد قیر و مشخصات قیر خرده اسفالت

درصد قیر مصالح خرده اسفالت با انجام آزمایش جداسازی، بر اساس دستورالعمل مندرج در مرجع ۱۵، برای ۴ نمونه تقریباً ۵۰۰ گرمی از مصالح خرده اسفالت تعیین شد. به طور متوسط درصد قیر مصالح خرده اسفالت مصرفی ۵/۳٪ به دست آمد. همچنین مشخصات قیر خرده اسفالت پس از انجام آزمایش جداسازی و بازیابی، مطابق با استاندارد ASTM-D1856، تعیین شد. مشخصات قیر مذکور در جدول ۱ ارائه شده است.

تراشه‌های خرده اسفالت هستند، اساساً تحت تأثیر خصوصیات پیرشدگی قیر و مقدار تراشه‌های خرده اسفالت مورد استفاده در تهیه مخلوط‌ها هستند. با افزایش مقدار تراشه‌های خرده اسفالت در مخلوط‌های اسفالتی، مقاومت فشاری و سختی، افزایش و شکل‌پذیری، کاهش می‌یابد [۸]. Kiggundu در تحقیقاتش نشان داد که قیر مخلوط‌هایی که شامل تراشه‌های خرده اسفالت هستند نسبت به قیر مخلوط‌های متداول (بدون تراشه‌های خرده اسفالت) با نسبت آهسته‌تری پیر می‌شود [۹].

Kennedy و Perez مقاومت کششی مخلوط‌های بازیافتی را بین ۵۵۹ تا ۲۲۰۰ کیلو پاسکال (KP) (۳۱۹-۸۱ Psi) تعیین کرده بودند. آنها نشان دادند این مقادیر، کمی از مقاومت کششی مخلوط‌های متداول بزرگ‌تر هستند [۱۰].

Kandhal و همکارانش تعدادی مخلوط‌های بازیافتی را تحت آزمایش کششی غیر مستقیم قرار دادند و نتایج را با مخلوط‌های متداول مقایسه کردند. نتایج نشان دادند مقاومت کششی مخلوط‌های متداول ۱۳۹۳ کیلو پاسکال (Kpa) و برای مخلوط‌های بازیافتی ۱۲۸۹ کیلو پاسکال (Kpa) بوده است. در این تحقیق دلیل کمتر بودن مقاومت کششی مخلوط‌های بازیافتی نسبت به مخلوط‌های متداول بیان نشده است [۱۱]. Wagner و Stroup مقاومت کششی روی مخلوط‌هایی با دانه‌بندی حدبالا و پایین منطقه ممنوعه در روش سوپرپیو را بررسی کردند. درحقیقت مقاومت کششی مخلوط‌های حاوی تراشه‌های خرده اسفالت برای دانه‌بندی حد پایین منطقه ممنوعه بسیار بزرگ‌تر از مخلوط‌های متداول برای حالت اشباع و غیراشباع بوده است [۱۲].

۴. روش انجام آزمایش و طرح اختلاط

در این تحقیق از تراشه‌های خرده اسفالت جمع‌آوری شده از یکی از خیابانهای شهر تهران و مصالح سنگی جدید (آهکی) تهیه شده از معدن سنگ خلیج در غرب شهر تهران استفاده شده است.

جدول ۱. مشخصات قیر بازیابی شده از خرده اسفالت

آزمایش		استاندارد آزمایش	نتایج آزمایش
قیر بازیابی شده تراشه‌های خرده اسفالت	درجه نفوذ (۰/۱ میلی‌متر)	ASTM D5	۲۴
	خاصیت انگمی (سانتیمتر)	ASTM D113	۴۴
	نقطه نرمی (درجه سانتی‌گراد)	ASTM2398	۶۱/۵
	کند روانی در ۱۳۵°C (سانتی استوکس)	ASTM D2170	۶۴۱

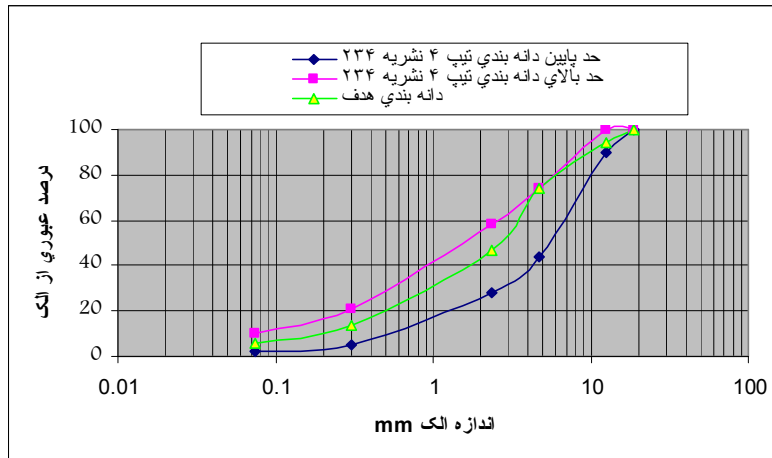
۲-۴ تعیین مشخصات مصالح سنگی خرده آسفالت و مصالح سنگی جدید

پس از بازیابی مصالح سنگی موجود در تراشه‌های خرده آسفالتی، این مصالح برای هر یک از ۴ نمونه به دست آمده از آزمایش جداسازی، مطابق با استاندارد AASHTO-T27 تحت آزمایش دانه‌بندی قرار گرفتند. منحنی دانه‌بندی این مصالح مطابق با شکل ۱ به دست آمده است. دانه‌بندی مصالح سنگی به دست آمده در

محدوده دانه‌بندی تیپ ۴ آیین‌نامه روسازی راههای ایران [۱۶] قرار گرفته است. مشخصات فیزیکی و مرغوبیت مصالح سنگی خرده آسفالت و مصالح سنگی جدید نیز در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

۳-۴ قیر بهینه مخلوط‌ها

مقادیر قیر بهینه برای مخلوط‌های مختلف در جدول ۴ ارائه شده است.



شکل ۱. نمودار دانه‌بندی مورد استفاده در ساخت مخلوط‌ها

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی مصالح سنگی بازیافت شده از خرده آسفالت

نوع مصالح	درصد شکستگی در دو جبهه مصالح روی الک ۴ \neq D5812	درصد جذب آب	درصد تطویل و تورق BS812	
			شاخص تورق	شاخص تطویل
مصالح درشت دانه	۹۲	-	۲۲/۱	۱۴/۳
مصالح ریزدانه	-	-	-	-

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی مصالح سنگی جدید

نوع مصالح	درصد شکستگی در دو جبهه مصالح روی الک ۴ \neq D5821	درصد جذب آب	درصد تطویل و تورق B5812		درصد سایش لوس آنجلس
			شاخص تورق	شاخص تطویل	
مصالح درشت دانه	۹۵	-	۱۴	۸	۲۵
مصالح ریزدانه	-	-	-	-	-

جدول ۴. نتایج تعیین درصد قیر بهینه مربوط به حالت‌های مختلف (با توجه به درصد خرده آسفالت موجود در مخلوط‌ها)

مخلوط	درصد ۰ (R0)*	درصد ۲۵ (R25)	درصد ۵۰ (R50)	درصد ۷۵ (R75)	درصد ۱۰۰ (R100)
قیر بهینه (درصد)	۵/۹	۶	۶/۲	۶/۳	۶/۵

بررسی آزمایشگاهی تاثیر تراشه‌های خرده آسفالت بر روی خصوصیات قیر و مخلوط‌های آسفالتی گرم

آسفالتی حاوی تراشه‌های خرده آسفالتی استفاده شده است. برای این منظور از دستگاه آزمایش مارشال استفاده شده است (فک دستگاه مارشال برداشته شد و دو فک دیگر روی دستگاه قرار گرفت و نمونه‌ها جهت شکست بین آنها قرار گرفت). نیروی گسیختگی و تغییر شکل نمونه‌ها در لحظه شکست از روی دستگاه قرائت می‌شود و با توجه به قطر و ارتفاع نمونه و با استفاده از رابطه (۱) مقاومت کششی نمونه‌ها محاسبه می‌شود [۵].

$$\sigma_t = \frac{2000 p_{\max}}{\pi t d} \quad (1)$$

که در رابطه فوق:

σ_t = مقاومت کششی مخلوط آسفالتی (کیلو پاسکال-KPa)

P_{\max} = حداکثر نیروی لازم برای شکستن نمونه (نیوتن-N)

t = ارتفاع نمونه قبل از آزمایش (میلیمتر-mm)

d = قطر نمونه (میلیمتر-mm)

در این تحقیق، با توجه به امکانات موجود، آزمایش ITS در شرایط دمایی محیط (۲۵ درجه سانتیگراد) انجام شده است. سرعت بارگذاری دستگاه در این آزمایش ۵۰ mm/min بوده است. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۵ و نمودار مقایسه مربوط به نتایج آزمایش در شکل ۲ ارائه شده است.

* برای شناسایی مخلوط‌های مختلف که حاوی درصد‌های مختلف تراشه‌های خرده آسفالت هستند از نشانه R_p استفاده می‌شود، که R مخفف تراشه‌های خرده آسفالت (Reclaimed Asphalt Pavement) و اندیس I مقدار خرده آسفالت موجود در مخلوط را بر حسب درصد نشان می‌دهد.

البته بیان این نکته لازم است که در تهیه مخلوط‌های حاوی تراشه‌های خرده آسفالت، گرم کردن تراشه‌های خرده آسفالت بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش دما و مدت زمان گرم کردن تراشه‌های خرده آسفالت برای تهیه مخلوط‌ها براساس پیشنهاد و تحقیقات گروه NCHRP است [۱۷]، که طی آن تراشه‌های خرده آسفالت به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند.

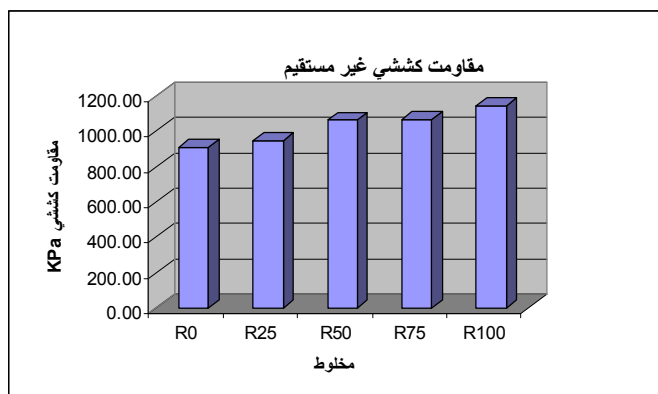
۵. نتایج آزمایش

۵-۱-۵ آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم

نحوه انجام آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم مطابق دستورالعمل ASTM - D4321 است. در این پژوهش از آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم که به عنوان نماد مناسبی از چسبندگی است برای بررسی پتانسیل شیار شدگی مخلوط‌های

جدول ۵. میانگین نتایج آزمایش مقاومت کشش غیر مستقیم

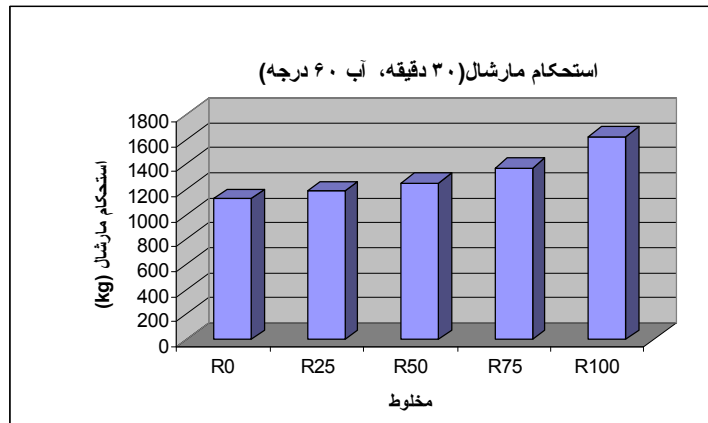
نمونه	ارتفاع (mm)	قطر (mm)	نیروی گسیختگی (KN)	تغییر شکل قائم (mm)	مقاومت کششی (KPa)
R۰	۷۰/۵	۱۰۰/۶	۱۰/۱	۲/۳۵	۹۰۷/۱
R۲۵	۷۰/۸	۱۰۱	۱۰/۶۲	۲/۳۶	۹۴۶
R۵۰	۷۱/۲	۱۰۱/۲	۱۲	۲/۲۶	۱۰۶۰/۸
R۷۵	۷۱	۱۰۱	۱۱/۹۸	۱/۶	۱۰۶۴/۱
R۱۰۰	۷۰/۲	۱۰۱/۳	۱۲/۷۸	۱/۹۳	۱۱۴۴/۷



شکل ۲. نمودار مقایسه‌ای مقاومت کششی مخلوط‌های حاوی درصد‌های مختلف تراشه‌های خرده آسفالت

جدول ۶. میانگین نتایج آزمایش مارشال

شرایط نمونه	مخلوط					
		R ₀	R ₂₅	R ₅₀	R ₇₅	R ₁₀₀
۳۰ دقیقه در آب	مقاومت مارشال (kg)	۱۱۲۷	۱۱۹۱	۱۲۵۴	۱۳۷۷	۱۶۲۹
۶۰ درجه	روانی (mm)	۳/۱	۳/۰	۲/۹	۲/۸	۳



شکل ۳. نمودار نتایج استحکام مارشال برای مخلوط‌های حاوی درصد‌های مختلف تراشه‌های خرده آسفالت (۳۰ دقیقه در آب ۶۰ درجه)

جدول ۷. نتایج آزمایش مربوط به قیر ترکیبی مخلوط‌های حاوی درصد‌های مختلف تراشه‌های خرده آسفالتی

نمونه	کندروانی (سانتی استوکس، ۱۳۵ درجه) (cSt)	درجه نفوذ (۱/۰ میلی‌متر-0/1mm)	خاصیت انگی (سانتیمتر-cm)	نقطه نرمی (درجه)
R ₀	۴۹۲	۵۳	>۱۰۰	۵۰/۵
R ₂₅	۵۰۵	۵۱	>۱۰۰	۵۲/۴
R ₅₀	۵۷۴	۳۸/۳	>۱۰۰	۵۶/۳
R ₇₅	۶۱۰	۲۸	۸۰	۵۹/۶
R ₁₀₀	۶۳۹	۲۳	۴۶	۶۰/۲

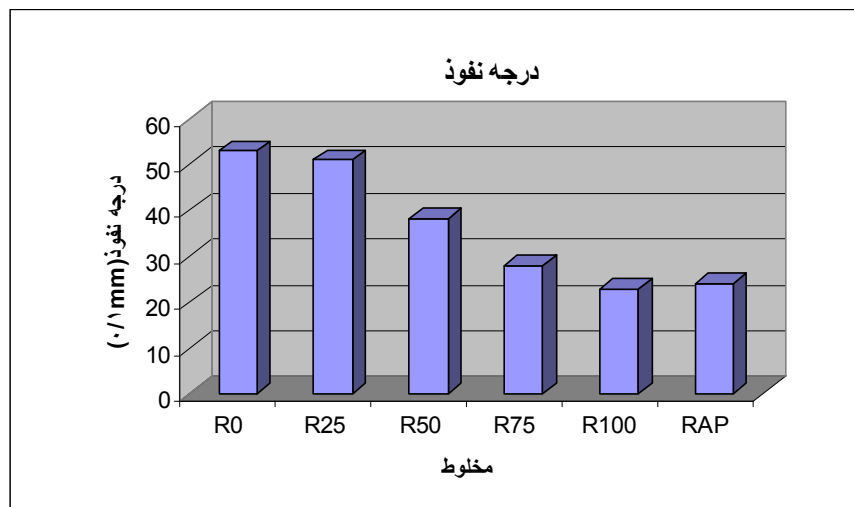
۲-۵ آزمایش مارشال

در آزمایش مارشال دو پارامتر استحکام مارشال و روانی نظیر با استحکام مارشال اندازه‌گیری می‌شود. استحکام مارشال به نوعی، شاخصی از مقاومت فشاری مخلوط‌های آسفالتی است و با اندازه‌گیری این پارامتر چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی اندازه‌گیری می‌شود [۱۸]. همچنین روانی نظیر استحکام مارشال معرف نرمی و انعطاف‌پذیری مخلوط‌های آسفالتی است و این پارامتر میزان اصطکاک داخلی مخلوط‌های آسفالتی را نشان می‌دهد [۱۸]. سرعت بارگذاری دستگاه مارشال در این آزمایش ۵۰ mm/min است. نتایج حاصل از این آزمایش در جدول ۶ و نمودار مقایسه‌ای حاصل از نتایج آزمایش دو در شکل ۳ ارائه شده است.

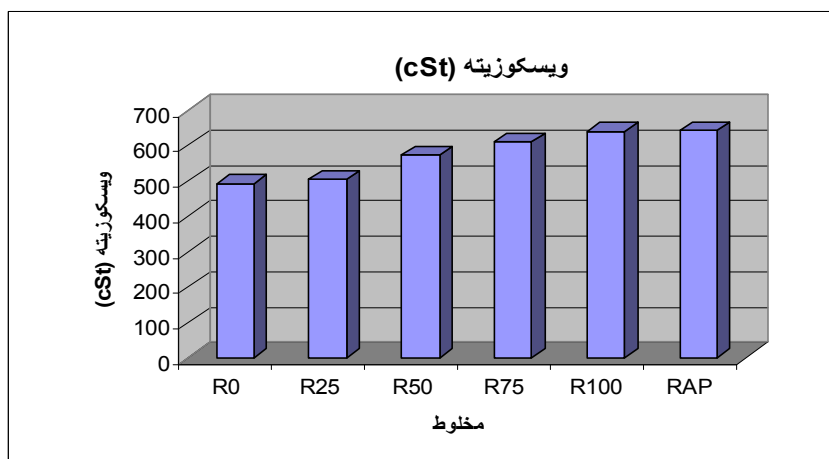
۳-۵ آزمایش‌های قیر

در این قسمت برای شناخت خصوصیات قیر مخلوط‌های آسفالتی حاوی درصد‌های مختلف تراشه‌های خرده آسفالت، پس از عمل جداسازی و به دست آوردن قیر تراشه‌های خرده آسفالتی، آزمایش‌های متداول قیر بر روی قیر بازیافتی صورت گرفته است.

نتایج مربوط به آزمایش‌های انجام شده بر روی قیر ترکیبی (قیر تراشه خرده آسفالت و قیر جدید ۶۰/۷۰) مخلوط‌های آسفالتی در حالات مختلف در جدول ۷ و نمودارهای مقایسه‌ای در شکل ۴ و ۵ ارائه شده است.



شکل ۴. نمودار مقایسه‌ای درجه نفوذ قیر ترکیبی برای مخلوط‌های مختلف



شکل ۵. نمودار مقایسه‌ای ویسکوزیته قیر ترکیبی برای مخلوط‌های مختلف

سختی قیر مخلوط‌ها باشد. همچنین نتایج آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم نشان می‌دهند میزان چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی با افزایش مقدار تراشه‌های خرده آسفالت کاهش نیافته است، زیرا یکی از دغدغه‌های اصلی استفاده از تراشه‌های خرده آسفالت این است که ممکن است با افزایش مقدار تراشه‌های خرده آسفالت میزان چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی کاهش یابد. با توجه به نتایج آزمایش مارشال، برای نمونه‌هایی که به مدت ۳۰ دقیقه در آب ۶۰ درجه سانتیگراد قرار داشتند، با افزایش مقدار تراشه‌های خرده آسفالت، استحکام مارشال افزایش می‌یابد.

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی قیر ترکیبی مخلوط‌ها نشان می‌دهند که با افزایش مقدار تراشه‌های خرده آسفالت در حدود ۵۰ درصد، سرعت پیر شدن قیر خالص ۶۰/۷۰ با شدت بیشتری

با توجه به نتایج آزمایش برای نمونه‌های شاهد یعنی مخلوط‌های آسفالتی بدون تراشه‌های خرده آسفالت (R۰) مشخص است که قیر پس از ساخت، دچار پیری شده است که نشان دهنده پیری کوتاه مدت یعنی پیری در حین ساخت است. البته شرایط و نحوه ساخت نمونه‌ها در آزمایشگاه نیز در مقدار پیری مؤثر است و ممکن است تحت شرایط خاص آزمایشگاهی نتایج با هم متفاوت باشند.

۶. تحلیل نتایج

همان‌طور که از نتایج آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم مشخص است، با افزایش مقدار تراشه‌های خرده آسفالت مقاومت کششی مخلوط‌ها نیز افزایش می‌یابد که این می‌تواند ناشی از افزایش

است و در صورت استفاده از درصد‌های بیشتر تراشه‌های خرده آسفالت هر چند پارامترهای مقاومتی افزایش می‌یابد، ولی خصوصیات قیر ترکیبی (قیر جدید و قیر تراشه‌های خرده آسفالت) می‌بایست کنترل شود تا قیر ترکیبی شرایط قیر هدف که با توجه به ترافیک و شرایط محیطی که برای یک منطقه در نظر گرفته می‌شود را دارا باشد.

- برای مخلوط‌های حاوی مقادیر بالای خرده آسفالت (۷۵ و ۱۰۰ درصد) خصوصیات قیر ترکیبی مشابه خصوصیات قیر خرده آسفالت مورد نیاز است.

- با توجه به نتایج آزمایش‌ها و افزایش سختی در مخلوط‌های حاوی تراشه‌های خرده آسفالت بررسی پارامترهای دیگر جهت تعیین درصد بهینه تراشه‌های خرده آسفالت در مخلوط‌ها، همانند حساسیت رطوبتی و حساسیت دمایی لازم است، زیرا ممکن است مخلوط‌هایی با سختی بیشتر، در دمای کم، نسبت به مخلوط‌هایی با سختی کمتر، زودتر دچار ترک خوردگی شوند [۱۹].

۸. مراجع

۱. وزارت راه و ترابری. معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری (۱۳۸۳) "روش‌های بازیافت سرد و گرم آسفالت و امکان سنجی اقتصادی آن در ایران"، تهران، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه ترابری.

2- Bell, C. A. (1989) "Summary report on aging of asphalt-aggregate systems", Strategic Highway Research Program, SHRP-A/IR-89-004.

3- Vallerga, B. A. (1981) "Pavement deficiencies related to asphalt durability", Proceedings, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 50, pp. 481-491.

4- Barth, E. J. (1962) "Asphalt", Gordon & Breach, New York.

5- Sondog, M. S., Chadbourn, B.A. and Dreseher, A. (2002) "Investigation of recycled asphalt pavement (RAP) mixtures", National Technical Information Services, Springfield, Virginia.

6- Zhang, W. (1996) "Determination of asphalt concrete by ignition method", Minnesota Department of Transportation Research Report 96-30.

7- Peterson, R.L., Soleymani, H.R., Anderson, R.M., and McDaniel, R.S. (2000) "Recovery and testing of RAP binders from recycled asphalt pavements", Proceedings: Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 69, pp.72-91.

افزایش می‌یابد، در حالی که قیر مخلوط‌های بدون تراشه‌های خرده آسفالت و مخلوط‌های حاوی ۲۵ درصد تراشه‌های خرده آسفالت تفاوت چندانی با هم ندارند. ولی برای مخلوط‌های شامل ۷۵ و ۱۰۰ درصد خرده آسفالت، نتایج مربوط به آزمایش قیر مشابه نتایج آزمایش بر روی قیر خرده آسفالت است و این نشان می‌دهد، به دلیل این که قیر خرده آسفالت در حین ساخت، اجرا و مدت زمان بهره برداری دچار پیر شدگی شده بود، در نتیجه روند پیر شدن آن در استفاده مجدد بسیار اندک است و افزایش قیر جدید در این حالت هر چند مقدار آن کم است، ولی در جهت بهبود خصوصیات قیر خرده آسفالت عمل می‌کند.

از نتیجه این آزمایش می‌توان چنین استنباط کرد که افزایش حدود ۲۵ درصد تراشه خرده آسفالت تأثیر چندانی بر روی قیر مخلوط ندارد، در حالی که افزایش حدود ۵۰ درصد تراشه خرده آسفالت بر روی قیر جدید و مخلوط مؤثر است. همچنین استفاده از تراشه‌های خرده آسفالت به میزان بیشتر از ۵۰ درصد موجب می‌شود خصوصیات قیر مخلوط مشابه خصوصیات قیر تراشه‌های خرده آسفالت اولیه مورد استفاده قرار گیرد. در نتیجه استفاده از تراشه‌های خرده آسفالت به مقدار زیاد (در صورتی که دانه‌بندی آن مشابه دانه‌بندی مورد نیاز در طراحی باشد) مستلزم استفاده از قیر نرم‌تر و یا جوانساز است. البته در این حالت باید سایر پارامترهای مقاومتی مخلوط مورد بررسی قرار گیرند.

۷. نتیجه‌گیری

- با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش‌های مقاومت کششی غیر مستقیم و مارشال مشخص می‌شود که با افزایش مقدار خرده آسفالت، سختی مخلوط‌ها افزایش می‌یابد.

- نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان دادند افزودن تراشه‌های خرده آسفالتی به مخلوط‌های آسفالتی، تأثیر منفی بر روی چسبندگی مخلوط‌های آسفالتی ندارند.

- با توجه به نتایج آزمایش قیر بر روی قیر ترکیبی مخلوط‌ها (حاوی قیر خرده آسفالت و قیر ۶۰/۷۰) مشخص شد که با افزایش مقدار تراشه‌های خرده آسفالت سختی قیر نیز افزایش می‌یابد و افزایش حدود ۲۵ درصد تراشه‌های خرده آسفالت تأثیر چندانی بر روی خصوصیات قیر جدید (۶۰/۷۰) مورد استفاده ندارد.

- با توجه به نتایج آزمایش‌های به دست آمده، استفاده از ۲۵ درصد تراشه‌های خرده آسفالت در مخلوط‌های آسفالتی مطلوب

14- Asphalt Institute (1981) "Asphalt hot-mix recycling", Manual Series No. 20 (MS-20), one Edition, Maryland, USA.

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

۱۶. سازمان مدیریت و برنامه ریزی ایران (۱۳۸۱) "آیین نامه روسازی آسفالتی راههای ایران"، نشریه ۲۳۴، چاپ اول، تهران: سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

17-National Cooperative Highway Research Program, NCHRP (2000) "Recommended use of reclaimed asphalt pavement in the Superpave mix design method", Web Document 30.

18-Huang, Yang H. (1993) "Pavement analysis and design", University of Kentucky.

19- Roberts, R. L., Kandhal, P. S., Broen, E. R., Lee D. Y. and Kennedy, T. W. (1996) "Hot mix asphalt materials, mixture, design and construction", NAPA Education Foundation, Lanham, Maryland, 2nd Edition.

8- Nikone, Soupharath (1998) "Evaluation of rutting resistance characteristics of asphalt binder containing recycled asphalt pavement", Department of Civil and Environmental

Engineering, University of Rhode Island.

9- Badr, M. Kiggundu, Humphrey, B. N. and Zallen, D. M. (1985) "Recycling agent selection and tentative specification", New Mexico Engineering Research Institute, Final Report # ESL-TR-84-47.

10- Kennedy, T. W. and Perez, I. (1978) "Preliminary mixture design procedure for recycle asphalt materials", Recycling of Bituminous Materials, ASTM STP 662, L. E. Wood, Ed., American Society for Testing and Materials, pp.47-67.

11- Kandhal, P. S., Rao, S. S., Watson, D. E., and Young, B. (1995) "Performance of recycled hot- mix asphalt in Georgia", Transportation Research Record 1507, pp. 67-77.

12- Stroup-Gardiner M. and Wagner, C. (1999) "Use of RAP in Superpave HMA applications," Submitted for publication in Transportation Research Record.

۱۳- سازمان مدیریت و برنامه ریزی ایران (۱۳۸۵) "مشخصات فنی و اجرایی بازیافت گرم آسفالت"، نشریه شماره ۳۴۱، چاپ اول. تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی.