

بررسی عملکرد بلندمدت مخلوط‌های آسفالتی گرم حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی

سجاد مسعودی*، کارشناس ارشد مهندسی راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

سید مهدی ابطیحی، دانشیار گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان
احمد گلی، استادیار، دانشکده حمل و نقل، دانشگاه اصفهان

Email: s.masoudi@cv.iut.ac.ir

تلفن: ۹۵/۰۵/۰۴ - فکس: ۹۵/۱۰/۱۸

چکیده

با توجه به اصل توسعه‌ی پایدار و نگرانی‌های زیست‌محیطی ناشی از آلودگی هوا و همچنین گسترش روزافزون پروژه‌های عمرانی و محدود بودن معادن سنگی، کاهش دمای ساخت مخلوط‌های آسفالتی و استفاده از مصالح جانبی به عنوان جایگزین مصالح سنگی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در این پژوهش، عملکرد بلندمدت مخلوط‌های آسفالتی گرم حاوی سرباره فولاد مورد بررسی قرار گرفته است. از سنگدانه‌های آهکی و سرباره‌ی فولاد کوره‌ی قوس الکتریکی به عنوان مصالح مصرفی و همچنین از ساسویت به عنوان ماده‌ی افزودنی ساخت آسفالت گرم استفاده شده است. با استفاده از ۱/۵ درصد ساسویت نسبت به وزن قیر، دمای ساخت و تراکم مخلوط‌های آسفالتی 20°C کاهش یافته است. برای شبیه‌سازی پیرشدگی کوتاه‌مدت و بلندمدت نمونه‌های آسفالتی به ترتیب از استانداردهای AASHTO R35 - AASHTO R30 استفاده گردیده است. ساسویت با استفاده از همزن معمولی و همزن برش بالا با قیر مخلوط شده و تست‌های سنتی و شارپ انجام شده روی آن‌ها حاکی از عدم حساسیت ساسویت نسبت به شرایط اختلاط می‌باشد. به منظور بررسی عملکرد نمونه‌های آسفالتی، از تست‌های مقاومت مارشال، مدول برجهندگی، مقاومت کششی غیرمستقیم، حساسیت رطوبتی و خزش دینامیک استفاده شده است. در نهایت، رشد کمی نتایج هر کدام از نمونه‌ها نسبت به آسفالت داغ آهکی ارائه گردیده است. به طور کلی، استفاده از سرباره به عنوان جایگزین مصالح آهکی، حساسیت بیشتر مخلوط‌های آسفالتی نسبت به پیرشدگی را موجب شده است. همچنین، نمونه‌های آسفالتی داغ در مقایسه با مخلوط‌های آسفالتی گرم، نسبت به پیرشدگی از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشند. با توجه به این که مخلوط‌های آسفالتی گرم حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی، نسبت به سایر مخلوط‌های آسفالتی، عملکرد کوتاه‌مدت و بلندمدت بهتری از خود نشان داده‌اند، استفاده از آن‌ها توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آسفالت گرم، ساسویت، سرباره فولاد، پیرشدگی، عملکرد بلندمدت

۱. مقدمه

در سال ۲۰۰۸ میلادی، بخش درشت‌انه آسفالت‌ها جایگزین شده، استفاده از سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی به منظور جایگزینی ویرگی‌های مخلوط‌های آسفالتی در استفاده از تست‌های مقاومت مارشال و آزمون‌های سنجش چسبندگی، خزش دینامیک، خستگی کششی و مقاومت در برابر ریزش غیرمستقیم استفاده شد. این سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی جایگزینی درشت‌انه سرباره فولاد تا ۷۵٪ موجب بهبود ویژگی‌های مکانیکی مخلوط‌های آسفالتی می‌گردد.

سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی (۲۰۰۹) استفاده از سرباره‌های ترکیبی که در ترکیب در ساخت مخلوط‌های آسفالتی استفاده می‌شوند. بدین سبب از چهار نوع مختلف آسفالتی شامل ترکیب از نوع قیر (AC-10) و (AC-5) استفاده می‌شود. در یک دسته، مصالح تماماً از سنگ‌آهک و سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی و درشت‌انه فولاد کوره قوس الکتریکی استفاده می‌شود. نمونه‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی با مقاومت مارشال ۳٪ در نتیجه نسبت مارشال ۳٪ شتری استفاده می‌شود. استفاده از آسفالت‌های کشش غیرمستقیم نیز نشان‌دهنده مقاومت چسبندگی در مخلوط‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی با نمونه‌های شاهد می‌باشد. بنابراین، استفاده از آسفالت‌های بیشتر این نمونه‌ها در ابر اثرات منفی آن‌ها در گشت‌های هم‌چنین نتایج آزمایش‌های مقاومت در برابر خزش، تقسیم و سختی خزشی، بیشتر در مقاومت در برابر ریزش شکل دائمی و شیارشدگی در نمونه‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی مشخص نموده است.

در سال ۲۰۱۰ میلادی، بخش درشت‌انه آسفالت‌ها جایگزین شده، استفاده از سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی به منظور جایگزینی ویرگی‌های مخلوط‌های آسفالتی در استفاده از تست‌های مقاومت مارشال و آزمون‌های سنجش چسبندگی، خزش دینامیک، خستگی کششی و مقاومت در برابر ریزش غیرمستقیم استفاده شد. این سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی جایگزینی درشت‌انه سرباره فولاد تا ۷۵٪ موجب بهبود ویژگی‌های مکانیکی مخلوط‌های آسفالتی می‌گردد.

در سال ۲۰۰۹ (۲۰۰۹) استفاده از سرباره‌های ترکیبی که در ترکیب در ساخت مخلوط‌های آسفالتی استفاده می‌شوند. بدین سبب از چهار نوع مختلف آسفالتی شامل ترکیب از نوع قیر (AC-10) و (AC-5) استفاده می‌شود. در یک دسته، مصالح تماماً از سنگ‌آهک و سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی و درشت‌انه فولاد کوره قوس الکتریکی استفاده می‌شود. نمونه‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی با مقاومت مارشال ۳٪ در نتیجه نسبت مارشال ۳٪ شتری استفاده می‌شود. استفاده از آسفالت‌های کشش غیرمستقیم نیز نشان‌دهنده مقاومت چسبندگی در مخلوط‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی با نمونه‌های شاهد می‌باشد. بنابراین، استفاده از آسفالت‌های بیشتر این نمونه‌ها در ابر اثرات منفی آن‌ها در گشت‌های هم‌چنین نتایج آزمایش‌های مقاومت در برابر خزش، تقسیم و سختی خزشی، بیشتر در مقاومت در برابر ریزش شکل دائمی و شیارشدگی در نمونه‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی مشخص نموده است.

در سال ۲۰۱۰ (۲۰۱۰) استفاده از سرباره‌های ترکیبی که در ترکیب در ساخت مخلوط‌های آسفالتی استفاده می‌شوند. بدین سبب از چهار نوع مختلف آسفالتی شامل ترکیب از نوع قیر (AC-10) و (AC-5) استفاده می‌شود. در یک دسته، مصالح تماماً از سنگ‌آهک و سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی و درشت‌انه فولاد کوره قوس الکتریکی استفاده می‌شود. نمونه‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی با مقاومت مارشال ۳٪ در نتیجه نسبت مارشال ۳٪ شتری استفاده می‌شود. استفاده از آسفالت‌های کشش غیرمستقیم نیز نشان‌دهنده مقاومت چسبندگی در مخلوط‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی با نمونه‌های شاهد می‌باشد. بنابراین، استفاده از آسفالت‌های بیشتر این نمونه‌ها در ابر اثرات منفی آن‌ها در گشت‌های هم‌چنین نتایج آزمایش‌های مقاومت در برابر خزش، تقسیم و سختی خزشی، بیشتر در مقاومت در برابر ریزش شکل دائمی و شیارشدگی در نمونه‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی مشخص نموده است.

در سال ۲۰۱۲ (۲۰۱۲) استفاده از سرباره‌های ترکیبی که در ترکیب در ساخت مخلوط‌های آسفالتی استفاده می‌شوند. بدین سبب از چهار نوع مختلف آسفالتی شامل ترکیب از نوع قیر (AC-10) و (AC-5) استفاده می‌شود. در یک دسته، مصالح تماماً از سنگ‌آهک و سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی و درشت‌انه فولاد کوره قوس الکتریکی استفاده می‌شود. نمونه‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی با مقاومت مارشال ۳٪ در نتیجه نسبت مارشال ۳٪ شتری استفاده می‌شود. استفاده از آسفالت‌های کشش غیرمستقیم نیز نشان‌دهنده مقاومت چسبندگی در مخلوط‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی با نمونه‌های شاهد می‌باشد. بنابراین، استفاده از آسفالت‌های بیشتر این نمونه‌ها در ابر اثرات منفی آن‌ها در گشت‌های هم‌چنین نتایج آزمایش‌های مقاومت در برابر خزش، تقسیم و سختی خزشی، بیشتر در مقاومت در برابر ریزش شکل دائمی و شیارشدگی در نمونه‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی مشخص نموده است.

در سال ۲۰۰۷ (۲۰۰۷) استفاده از سرباره‌های ترکیبی که در ترکیب در ساخت مخلوط‌های آسفالتی استفاده می‌شوند. بدین سبب از چهار نوع مختلف آسفالتی شامل ترکیب از نوع قیر (AC-10) و (AC-5) استفاده می‌شود. در یک دسته، مصالح تماماً از سنگ‌آهک و سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی و درشت‌انه فولاد کوره قوس الکتریکی استفاده می‌شود. نمونه‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی با مقاومت مارشال ۳٪ در نتیجه نسبت مارشال ۳٪ شتری استفاده می‌شود. استفاده از آسفالت‌های کشش غیرمستقیم نیز نشان‌دهنده مقاومت چسبندگی در مخلوط‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی با نمونه‌های شاهد می‌باشد. بنابراین، استفاده از آسفالت‌های بیشتر این نمونه‌ها در ابر اثرات منفی آن‌ها در گشت‌های هم‌چنین نتایج آزمایش‌های مقاومت در برابر خزش، تقسیم و سختی خزشی، بیشتر در مقاومت در برابر ریزش شکل دائمی و شیارشدگی در نمونه‌های حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی مشخص نموده است.

- 1- Warm Mix Asphalt (WMA)
- 2- Hot Mix Asphalt (HMA)

3- Marshall Quotient

دانشگاه استفاده شده است. کاهش شیارشدگی افزایش یافته است. افزایش آبرشال گردیده است. کاملاً به جلیلی قاضی (۲۰۱۴) عملکرد سنگ کوتاه مدت با مدت مخلوط‌های آسفالتی ساخته شده از سرباره کوره قوس الکتریک را به کار بردند. نتایج آزمون‌ها در خستگی چهار نقطه‌ای نشان نمودند. نتایج آزمون‌ها خستگی نشان داده‌اند که به سرباره سنگ با طرح سطح بهتر سرباره و همچنین سنگ با طرح سطح آبرشال در صد استفاده از سرباره سرباره با طرح سطح خستگی مخلوط‌های آفالتی پیرامون می‌گردد. این ویژگی‌ها با خستگی بلندمدت نمونه‌ها تفاوت‌ها را نشان می‌دهد. همچنین، در این تحقیق نتایج آزمون مصالح آهکی و سرباره با کارخانه مقایسه شده است. نتایج به دست آمده بیانگر افزایش خستگی نمونه شامل سرباره نسبت به نمونه آهکی می‌باشد.

با آنکه مطالعات و تحقیقات انجام شده در زمینه آبرشال سنگ در حدی که استفاده از سرباره در اکثر نقاط دنیا به کار می‌رود و عملکرد بلندمدت مخلوط‌های آبرشال سنگ در سرباره فولادی از نقاط ابهام آن به شمار می‌آید که افزایش آبرشال و شوهش بررسی آن می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۱-۲-۱. مصالح سنگی

در این تحقیق ساخت مخلوط‌های آفالتی در این سرباره‌ها و نوع سنگدانه‌ها آهک و سرباره‌ای استفاده شده است. مصالح آهکی از معدنی واقع در کربلا (شاه‌قندهار) و سرباره از کارخانه مجتمع فولاد کربلا تهیه شده است. جهت تعیین ویژگی‌های آبرشال از تست‌های مختلف و ص، درصد جذب آب و هم‌انگاری نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

در این تحقیق با استفاده از روش طرح اختلاط، جهت تراکم نمونه‌ها از دستگاه ژیراتوری استفاده شده است. کلیه مخلوط‌ها ساخته شده با نسبت به مخلوط‌های ساخته شده با مصالح از خصوصیات مکانیکی آبرشال کمتر و در نتیجه از دوام بالاتری برخوردار می‌باشند.

در این تحقیق آذرهوش (۲۰۱۲) امکان استفاده از بتن آبرشال با سرباره به عنوان جایگزین سنگدانه‌ای مناسب برای نوع مخلوط آفالتی را بررسی کرد و بتن بازیافتی به عنوان بیزدانه و نسبت‌های استفاده و ویژگی‌های مکانیکی آن‌ها را تعیین کرد. نتایج مخلوط‌های ساخته شده نمودند. گرچه نتایج نتایج آبرشال سنگ که بهترین مخلوط آسفالتی استفاده از سرباره به عنوان درشت‌دانه است بازیافتی به عنوان بیزدانه حاصل می‌گردد. این ویژگی‌ها وجود نمونه‌ها که در آن‌ها درشت‌دانه‌ها جایگزین شده است، مقایسه شده است. در جدول اول برجستگی بیشتر، به شکل آبرشال سنگ که با هم‌چنین عملکرد خستگی تری نسبت به نمونه‌ها شاهد داشته‌اند که نسبت آن نیز تریه‌ها نسبت به مصالح و درگیری بهتر آن‌ها با کارخانه می‌باشد.

در این تحقیق همکاران (۲۰۱۳) امکان جایگزینی سرباره در مصالح آهک با سرباره در مخلوط‌های آفالتی را بررسی نمودند. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که استفاده از سرباره در مصالح مخلوط‌های آفالتی گرم موجب بهبود سطح سطحی و هم‌انگاری مقاومت در برابر سایشی‌ها است. از رطوبت و به‌عبارت دیگر موجب افزایش دوام آن‌ها شده است. پیوستگی بیشتر در مصالح آفالتی گرم و قفل‌شدگی مصالح آفالتی در مخلوط‌ها که در آن‌ها سرباره به عنوان

- 1- Cohesive
- 2- Interlocking

بررسی عملکرد بلندمدت مخلوط‌های آسفالتی گرم حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی

جدول ۱. خصوصیات مصالح مورد استفاده

سرباره	مصالح آهکی			استاندارد	آزمایش
	درشت‌دانه	ریزدانه	فیلر		
۳/۴۴۶	۲/۶۵۲	۲/۶۳۴		ASTM C127 & C128	تراکم حجمی (g/cm^3)
۳/۴۶۳	۲/۶۶۴	۲/۶۵۷		ASTM C127 & C128	تراکم حجمی اشباع با سطح خشک (g/cm^3)
۳/۵۷۲	۲/۶۹۸	۲/۶۷۱		ASTM C127 & C128	تراکم حجمی ظاهری (g/cm^3)
			۲/۷۲۳	ASTM D854	تراکم مخصوص فیلر (g/cm^3)
۱/۳	۰/۶	۰/۸		ASTM C127 & C128	نسبت آب (%)
		۷۵		ASTM D2419	مماسه

شماره ۱) استفاده گردیده، استفاده شده است. وزن مورد استفاده سنگدانه‌ها با اندازه‌ها مختلف و درصد کداس از الک‌ها با ساخت نمونه‌ای مشابه در جدول ۲ آورده شده است.

۲-۲-۲. دانه‌بندی

برای پژوهش، از نوع مصالح آهکی (L) در سرباره‌ها (S) استفاده گردید. جهت تهیه نمونه‌ها، آفتالی از دانه‌ها بسته شماره ۴ آیین‌نامه شماره ۲۳۳۴ ایران (نشریه ۲۳۳۴) که در لایه رویه

جدول ۲. مشخصات دانه‌بندی مورد استفاده در تهیه نمونه‌های آسفالتی

مصالح نوع S				مصالح نوع L			اندازه الک
درصد حجمی عبوری	درصد وزنی عبوری	وزن مانده بر الک (گرم)	نوع مصالح	درصد عبوری	وزن مانده بر الک (گرم)	نوع مصالح	
۱۰۰	۱۰۰	۰	—	۱۰۰	۰	—	۱۹ mm
۹۵	۹۴/۲۷	۷۷	باره	۹۵	۶۰	آهکی	۱۲/۵ mm
۵۹	۵۲/۷۶	۵۵۷	باره	۵۹	۴۳۲	آهکی	۴/۷۵ mm (#۴)
۴۳	۳۸/۴۶	۱۹۲	آهکی	۴۳	۱۹۲	آهکی	۲/۳۶ mm (#۸)
۱۳	۱۱/۶۳	۳۶۰	آهکی	۱۳	۳۶۰	آهکی	۰/۳ mm (#۵۰)
۶	۵/۳۷	۸۴	آهکی	۶	۸۴	آهکی	۰/۰۷۵ mm (#۲۰۰)
۰	۰	۷۲	آهکی	۰	۷۲	آهکی	فیلر

۳-۲-۳. ماده‌ی افزودنی

در این پژوهش، ماده‌ی افزودنی مورد استفاده در این پژوهش می‌باشد که در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. خصوصیات ساسوییت مورد استفاده

۱- افزودنی	۱- آب ویت
۲- سازنده	۲- کونکرت آلیفاتیک
۳- فیزیکی	۳- گرانول
۴- رنگ	۴- سفید
۵- نو	۵- نیو
۶- حجمی	۶- ۶۲۲-۵۹۰ بلوگ - متر مکعب
۷- نقطه اشتعال	۷- ۲۹۰ °C
۸- در آب	۸- قابل حل
۹- صرفی	۹- ۱/۵ (ت به وزن قیر)

۲-۴. قیر

۴-۱. مشخصات ساخت مخلوط آسفالتی گرم

۴-۲. مشخصات قیر به انضمام ۱/۵ ساسوییت استفاده شده گ ۱۰۰ است.

۴-۱. مشخصات ساخت مخلوط آسفالتی گرم از قیر ۶۴-۲۲

۴-۲. مشخصات قیر PG (۶۰/۷۰) تهیه شده از شرکت پالایش نفت ایران، مطابق با مشخصات آن در جدول

جدول ۴. نتایج آزمایش‌های سنتی قیر مورد استفاده

استاندارد	قیر ۶۰/۷۰	خصوصیات
ASTM D70	۱/۰۱۹	چگالی در دمای ۲۵ °C (g/cm ³)
ASTM D5	۶۴	سختی نفوذ در دمای ۲۵ °C (mm)
ASTM D36	۴۹/۷	نقطه نرمی (°C)
ASTM D113	>۱۰۰	انگشت در دمای ۲۵ °C (cm)
ASTM D92	۳۱۱	نقطه اشتعال (°C)
ASTM D2171	۱۸۴۰	مقاومت کششی در دمای ۶۰ °C (P)
ASTM D2170	۳۴۲	مقاومت کششی در دمای ۱۳۸ °C (cSt)

۲-۵. شرایط اختلاط قیر و ساسوییت

۲-۵.۱. شرایط اختلاط قیر و ساسوییت: ساسوییت به آن اضافه شده و اختلاط به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۱۴۰ °C به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۸۰ °C انجام می‌دهند. در هر مرحله از اختلاط، دمای قیر و ساسوییت را به دمای ۱۴۰ °C برسانند. در هر مرحله از اختلاط، دمای قیر و ساسوییت را به دمای ۱۸۰ °C برسانند. در هر مرحله از اختلاط، دمای قیر و ساسوییت را به دمای ۱۸۰ °C برسانند.

۲-۵.۲. شرایط اختلاط قیر و ساسوییت: ساسوییت به آن اضافه شده و اختلاط به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۱۴۰ °C به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۸۰ °C انجام می‌دهند. در هر مرحله از اختلاط، دمای قیر و ساسوییت را به دمای ۱۴۰ °C برسانند. در هر مرحله از اختلاط، دمای قیر و ساسوییت را به دمای ۱۸۰ °C برسانند. در هر مرحله از اختلاط، دمای قیر و ساسوییت را به دمای ۱۸۰ °C برسانند.

بررسی عملکرد بلندمدت مخلوط‌های آسفالتی گرم حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی

۱۰۰٪ از تجهیزات آسفالتهای شرکت پالایش نفت ... استفاده شده است.

جدول ۵. نتایج آزمایش‌ها سنتی مخلوط قیر و ساسوبیت

مخلوط قیر و ساسوبیت حالت دوم	مخلوط قیر و ساسوبیت حالت اول	خصوصیات
۴۶/۷	۴۸/۵	سختی نفوذ در دمای ۲۵ °C (۰/۱ mm)
۶۴/۶	۶۲/۵	تمام نرمی (°C)

جدول ۶. نتایج آزمایش DSR قیر و ساسوبیت

$G^* \times \sin(\delta)$	$G^*/\sin(\delta)$	δ (°)	G^* (kPa)	دما (°C)	
-	۱/۰۵	۸۶/۴	۱/۰۵	۶۴	Original
-	۰/۴۷۰	۸۷/۷	۰/۴۷۰	۷۰	
-	۳/۷۸	۸۱/۹	۳/۷۵	۶۴	RTFO
-	۱/۶۲	۸۴/۴	۱/۶۲	۷۰	
۴۷۵۰	-	۴۰/۲	۷۳۶۰	۱۹	PAV
۶۹۳۰	-	۳۸/۴	۱۱۲۰۰	۱۶	
-	۱/۶۹	۸۳/۳	۱/۶۷	۶۴	Original
-	۰/۸۴۳	۸۴/۷	۰/۸۳۹	۷۰	
-	۲/۹۸	۸۲/۴	۲/۹۵	۶۴	RTFO
-	۱/۳۳	۸۴/۶	۱/۳۳	۷۰	
۴۱۲۰	-	۳۹/۷	۶۴۵۰	۱۹	PAV
۵۷۴۰	-	۳۷/۲	۹۵۰۰	۱۶	
-	۱/۷۰	۸۲/۹	۱/۶۱	۶۴	Original
-	۰/۷۹۳	۸۴/۴	۰/۷۸۹	۷۰	
-	۲/۹۴	۸۲/۳	۲/۹۱	۶۴	RTFO
-	۱/۳۰	۸۴/۳	۱/۲۹	۷۰	
۴۰۵۰	-	۳۹/۲	۶۴۱۰	۱۹	PAV
۵۷۳۰	-	۳۶/۸	۹۵۶۰	۱۶	

جدول ۷. نتایج آزمایش BBR قیر و ساسوبیت

-۱۸°C	-۱۲°C	-۶°C		
-	۰/۳۰۲۸	۰/۳۳۴۲	m value	مقاومت پایه
-	۱۲۸/۹۰	۵۲/۶۶	stiffness	
۰/۲۶۱۹	۰/۳۱۰۲	-	m value	مقاومت و ساسوبیت
۱۸۶/۶۴	۱۰۸/۵۲	-	stiffness	حالات اول
۰/۲۵۴۰	۰/۳۰۹۸	-	m value	مقاومت و ساسوبیت
۱۷۸/۵۳	۱۰۹/۴۱	-	stiffness	حالات دوم

۲-۶. تعیین درصد قیر بهینه

در این مطالعه، تعیین درصد قیر بهینه سنگدانه‌ها کاملاً آمکی (L) سنگدانه‌ها منطبق بر باره و آهکی (S) مطابق استاندارد ASTM D1559 از آزمایش‌ها وزن منتهی به مقاومت مارشال، همان‌طور که فضای خالی (V_a)، فضای خالی مصالح سنگی (VMA) و فضای خالی پرشده با قیر (VFA) اندازه‌گیری شده و نتایج آن در جدول ۸ ارائه شده است. در نهایت، درصد قیر بهینه مصالح نوع L و S به ترتیب ۴/۷۵ و ۵/۲ درصد تعیین شده است.

نتایج به این که نتایج ارائه شده از اختلاف در ترکیب با همزن برش بالا می‌باشد. بنابراین نحوه اندازه‌گیری، بر عملکرد مخلوط قیر تأثیرگذار نمی‌باشد. از این جهت تمام مخلوط‌ها آبی‌تری گرم، از ترکیب شده با همزن برش بالا و با شرایط ذکر شده اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که استفاده از این روش‌ها شایستگی مخلوط قیری را کاهش داده و منجر به افزایش آن در دماهای کم می‌گردد.

جدول ۸. نتایج آزمایش مارشال

درصد قیر بهینه	VFA (%)	VMA (%)	روانی (mm)	استقامت مارشال (KN)	وزن مخصوص (gr/cm^3)	فضای خالی (%)	نوع مصالح
۴/۷۵	۷۳	۱۴/۹	۳/۳	۱۴/۵۸	۲/۳۷۶	۴	L
۵/۲	۷۴	۱۵/۲	۳/۵	۱۵/۵۱	۲/۶۳۶	۴	S

۲-۷. آماده‌سازی نمونه‌های آسفالتی

از این نمونه‌ها آسفالتی ساخته و تراکم آن‌ها در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹. دمای ساخت و تراکم نمونه‌های آسفالتی

دمای تراکم (°C)	دمای ساخت (°C)	علامت اختصاری	نمونه
۱۳۸	۱۵۸	HL	آسفالت گرانول مصالح آهکی
۱۳۸	۱۵۸	HS	آسفالت گرانول مصالح آهکی و سرباره
۱۱۸	۱۳۸	WL	آسفالت گرانول مصالح آهکی
۱۱۸	۱۳۸	WS	آسفالت گرانول مصالح آهکی و سرباره

نمونه‌ها از گدازه خارج شده‌اند. واقع در این
نیمه از نمونه‌ها در زمان رشدگی کوتاه‌ات
دیگر از نمونه‌ها در زمان رشدگی کوتاه‌ات،
رشدگی بلندمدت انجام گردیده است.

۳. آزمایش‌ها

آزمایش‌ها انجام شده روی مخلوط‌ها آسفالتی در
حلول ۱۰ آهک شده‌اند. تمام آزمایش‌ها ذکر شده
بر روی نمونه‌ها انجام شده و میانگین نتایج
آن‌ها ارائه گردیده است.

کام نمونه‌ها به زمانه‌ها پیرشدگی کوتاه‌ات
مطابق استاندارد AASHTO R35 انجام عمل
انجام شده که ارتفاعی بین ۲/۵ تا ۵ سانتی‌متر
باشد. این نمونه‌ها در زمانه‌ها ریخته شده و به مدت ۲ ساعت
در گدازه مصالح آهکی تراکم قرار گرفته‌اند (بوزن کوبست،
۲۰۱۱). تمام آزمایش‌ها در زمانه‌ها رشدگی بلندمدت نیز نیمه
از نمونه‌ها که در زمانه‌ها رشدگی کوتاه‌ات بر آن‌ها اعمال
گردید (مطابق استاندارد AASHTO
R30 که مدت ۱۲۰ روز در گدازه‌ها با دمای ۸۵ °C
قرار گرفته‌اند). این نمونه‌ها در گدازه‌ها خاموش شده
و در آن‌ها در گدازه‌ها و پس از گذشت ۲۴ ساعت

جدول ۱۰. مشخصات آزمایش‌های انجام شده روی مخلوط‌های آسفالتی

شرح	روش انجام آزمایش (°C)	استاندارد	آزمایش
-	۲۵	ASTM D1559	شدت مخصوص
نسبت مارشال نامیده شده است.	۲۵	ASTM D1559	نسبت مارشال، روانی و نسبت شال
آزمایش‌ها به روش نوسی با فرکانس ۸۱ هرتز در دوره آزمایش‌ها ۰/۱ ثانیه.	۴۰	ASTM D4123-82	آزمایش جھندگی
شکل برابر ۵۱ mm/min	۲۵	AASHTO T283-03	آزمایش کشش غیر مستقیم (ITS)
نسبت ITS: نمونه‌ها اشباع به ITS: نمونه‌های غیر اشباع	۲۵	AASHTO T283-03	نسبت کشش (نسبت مقاومت کشش غیر مستقیم)
آزمایش‌ها در جھندگی نمونه‌ها انجام به مدول کشش‌ها در جھندگی غیر اشباع	۴۰	-	نسبت کشش (نسبت مدول کشش‌ها)
آزمایش‌ها اعمالی ۶۰۰ KPa در گذرانی ۰/۱ ثانیه در زمان آزمایش‌ها تحت ۰/۹ ثانیه	۵۰	US.NCHRP 9-19	آزمایش دینامیک

¹ - Tensile Strength Ratio (TSR)

² - Resilient Modulus Ratio (RMR)

۳-۱. تست مارشال

این تست برای اندازه‌گیری مقاومت و تغییرات در آسفالت مورد آزمایش می‌تواند استفاده شود. در این تست، نمونه‌ها پس از آماده‌سازی در حمام آب گرم در دمای 60°C قرار می‌گیرند. این عملیات در تابلوهای آسفالت در تابستان با آن انجام می‌شود. در این تست، قرارگیری نمونه‌ها در حمام آب باید بین 30 تا 40 دقیقه باشد که در این مدت نمونه‌ها به یکسان گرم می‌شوند. کلیه نمونه‌ها به مدت 30 دقیقه در حمام قرار داده شده‌اند. در این زمان، نمونه‌ها از حمام خارج شده و در حالت عمود بر جهت کشش در دستگاه قرار می‌گیرند.

۳-۲. مدول برجهندگی

در این تست، ابتدا نمونه‌ها در دمای 40°C قرار گرفته و با اعمال بار به 1000 نیوتن (که 0.9 تا 1 کانس است) بارگذاری می‌شود. در این تست، برجهندگی نمونه‌ها در آسفالتی بر اساس رابطه (۱) تعیین می‌شود:

$$MR = \frac{P(v+0.27)}{t\Delta H} \quad (1)$$

که MR مدول برجهندگی (MPa)، P نیروی اعمال شده (N)، t ضخامت نمونه (mm)، ΔH ضخامت برگشت‌پذیر (mm) و v ضریب پواسون (که 0.35 است).

۳-۳. مقاومت کششی غیرمستقیم

این تست برای اندازه‌گیری کشش غیرمستقیم و طی مراحل زیر انجام می‌شود. نمونه‌ها در دمای 25 تا 24 ساعت در حمام آب قرار داده شده و در بین دستگاه

در دمای 25 تا 24 ساعت در حمام آب قرار داده شده و در بین دستگاه

در دمای 25 تا 24 ساعت در حمام آب قرار داده شده و در بین دستگاه

$$ITS = \frac{2P}{\pi t d} \quad (2)$$

که ITS تنش کششی (N/mm^2)، P بار اعمال شده (N)، t ضخامت نمونه (ارتفاع) (mm) و d قطر نمونه (mm) است.

۳-۴. حساسیت رطوبتی

در این تست، مقاومت آسفالت در شرایط رطوبتی مختلف و وجود آنکه استاندارد AASHTO T283-03 به منظور مقایسه حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی از نسبت مقاومت کششی استفاده می‌شود. در این پژوهش، مخلوط‌های آسفالتی در دمای 25 تا 24 ساعت در حمام آب قرار داده شده و در دمای 60°C قرار می‌گیرند. در این زمان، نمونه‌ها از حمام خارج شده و در حالت عمود بر جهت کشش در دستگاه قرار می‌گیرند. در این تست، مقاومت کششی در دمای 25 تا 24 ساعت در حمام آب قرار داده شده و در بین دستگاه

$$TSR = \frac{ITS_c}{ITS_{uc}} \quad (3)$$

تعداد مشخصه‌ها مشخص قرار گرفته و تا تعداد مشخصه‌ها که توسط اپراتور تعیین می‌شود، ادامه داده می‌شود. از طرفی، به ازای کرنش-بندج LVDT² که مشخصه‌ها نمونه در هر سیکل اندازه‌گیری می‌شود که محور افقی آن، تعداد سیکل اندازه‌گیری مشخصه‌ها از کرنش تجمعی است، توسط کامپیوتر مشخصه‌ها دستگاه رسم می‌گردد.

که TSR : مقاومت کششی، ITS_c - انگین مقاومت کششی نمونه‌ها اشباع و ITS_{uc} - انگین مقاومت کششی نمونه‌ها اشباع است.

$$RMR = \frac{MR_c}{MR_{uc}} \quad (4)$$

که RMR : مقاومت برجهنگی، MR_c - انگین مقاومت کششی نمونه‌ها اشباع و MR_{uc} - انگین مقاومت کششی نمونه‌ها اشباع است.

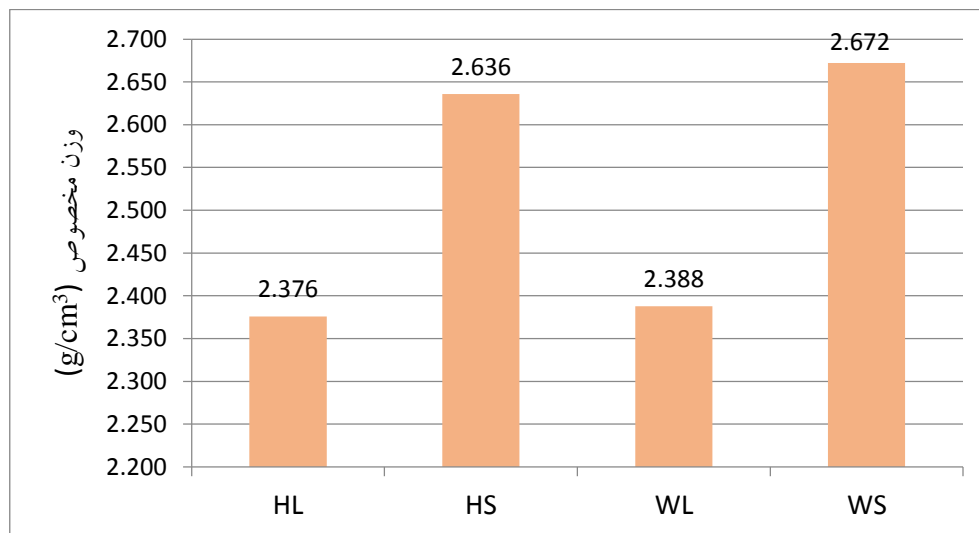
۳-۵. خزش دینامیک

آزمایش خزش دینامیک به این صورت انجام می‌آورد که نمونه آسفالتی به یک دستگاه زیرین دستگاه UTM قرار داده می‌شود. در این آزمایش، بارهای دینامیک ۱ می‌گردد. شرط باری دینامیک،

۴. بررسی و تحلیل نتایج

۴-۱. وزن مخصوص

وزن مخصوص‌ها به نسبت آبیاری هر کدام از نمونه‌ها، شکل ۱ ارائه گردیده است.

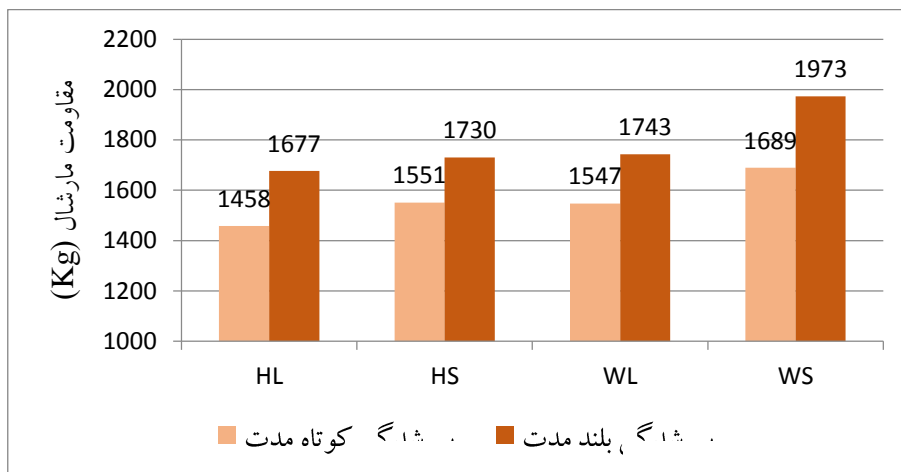


شکل ۱. وزن مخصوص

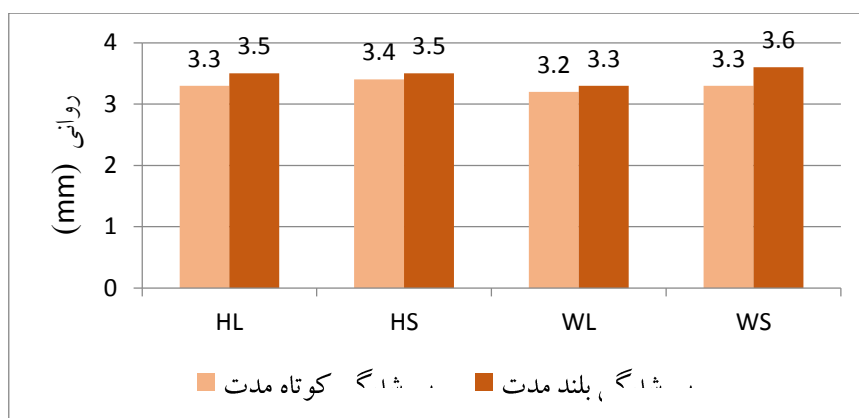
۴-۲. استقامت مارشال، روانی و نسبت مارشال

نتیجه انجام آزمایش استقامت مارشال و روانی تعیین گردیده است که در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شده‌اند.

1-Capping
2- Linear Variable Differential Transducers

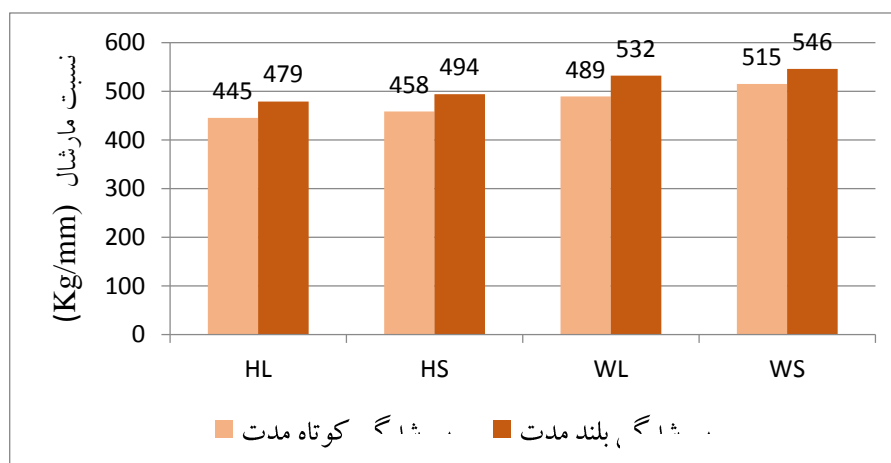


شکل ۲. استقامت مارشال



شکل ۳. روانی

در این مطالعه، مقادیر مقاومت مارشال و روانی برای هر کدام از حالت‌ها از طریق آزمون‌های آزمایشی به دست آمد. نتایج این آزمون‌ها در جدول ۱ و ۲ به تفصیل درج شده است. همچنین نتایج آزمون‌ها در ذیل ارائه شده است.



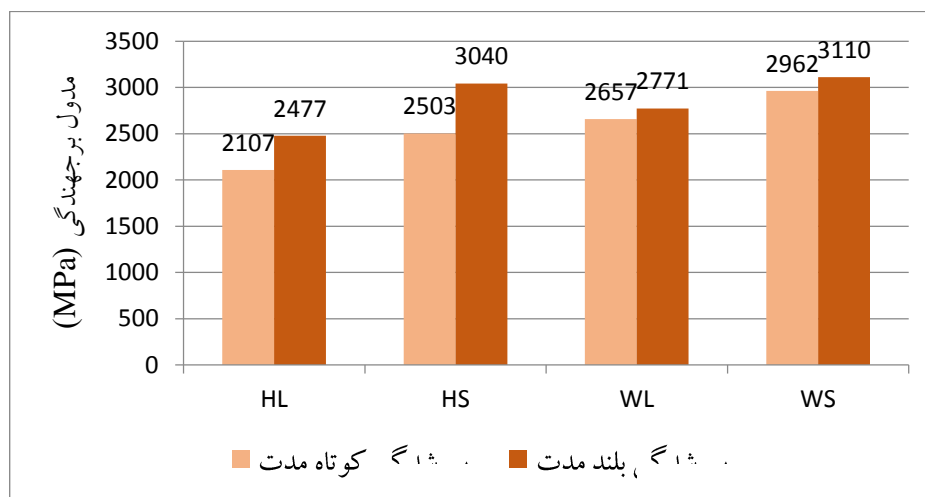
شکل ۴. نسبت مارشال

مقاومت در برابر آلودگی بالتر این نمونه‌ها را خواهد زد. همه نمونه‌ها از لحاظ شرایط پیرشدگی بلندمدت مقاومت در برابر آلودگی بیشتری کسب نموده‌اند. سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی در فرار و روغنی قیر شده و در نتیجه سختی مخلوط‌ها آن‌ها را افزایش داده و در نتیجه مقاومت در برابر آلودگی مارشال نمونه‌ها بهبود یافته است.

۳-۴. مدول بر جهندگی

تأثیر دمای ۴۰ °C بر مدول بر جهندگی در دمای ۱۵ °C دیده است.

از تمام این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مقاومت در برابر آلودگی مارشال نمونه‌ها شایسته سرباره‌ها از لحاظ عملکرد بالتری برخوردار می‌باشند و در نتیجه با افزایش گشتاوی و سطح مضرس آن‌ها در جبهه تحمل شایستگی کمتر سنگدانه‌ها را در کنار می‌گذارد. در نتیجه با افزایش بهینه بیشتر مخلوط‌های آسفالتی حاوی سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی بهبود پوشش قیری درشت‌انته‌ها را در اتصال بین آن‌ها بهبود می‌بخشد که همه این‌ها منجر به افزایش مقاومت در برابر آلودگی و سختی بیشتر نمونه‌ها را در نتیجه خواهد داشت. تراکم آن‌ها در متر مخلوط‌های آن‌ها را در نتیجه ساختار متراکم‌تر که در اثر استفاده از آن‌ها در فرایند در قیر پدید می‌آید، سختی بیشتر



شکل ۵. مدول بر جهندگی در دمای ۴۰ °C

صاف‌تر باشد. تأثیر دمای ۴۰ °C بر جهندگی است. احتمالاً سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی و سرباره بیشتر می‌باشد. از آن‌ها مدول بر جهندگی آن‌ها را افزایش داده شده از آن نیز بیشتر از آن‌ها استفاده شده است.

قیر به عنوان چسبانه سنگدانه‌ها نقش مهمی در پیرشدگی بلندمدت مخلوط‌های آسفالت ایفا می‌کند. افزودن سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی در دوگانه و کاملاً متفاوت به آن‌ها منجر به بهبود عملکرد آن‌ها در دمای ذوب ساسوبیت

در دمای ذوب ساسوبیت مصالح آهکی دارای جبهه‌های شکستگی به شکل ظاهری گوشه‌ای است که منجر به گیری بهتر آن‌ها را در گشته و در نتیجه از لحاظ بیشتر آسفالت‌ها در دمای ذوب را رقم خواهد زد. در نتیجه با افزایش بهینه بیشتر این نوع مصالح در سنگدانه‌ها در آن‌ها در ظرفیت باربری آن‌ها را ساخته شده از آن‌ها را افزایش می‌دهد. سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی و سنگدانه نیز یکی دیگر از

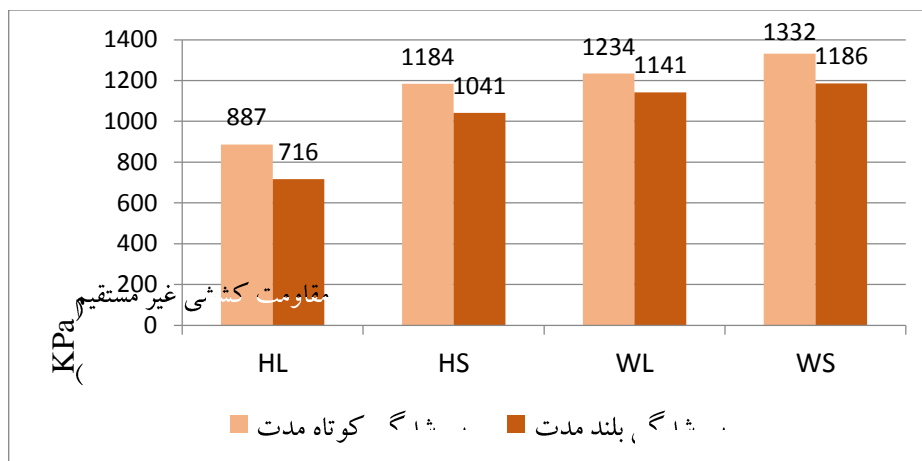
آزمایش و به مدت کلی ۳۰۰ ساعت قهقهه در قیر و ... افزایش که بونیل موجب سخت شدن قیر و ... مخلوطه آسفالت می شود در واقع ... افزایش ... خواص الاستیک قیر می گردد. ... آزمون ... خواهد داشت.

۴-۴. مقاومت کششی غیرمستقیم

آزمون ... غیرمستقیم در نمودار ۶ ارائه ... نتایج به دست آمده از آن است که ... کششی نمونه ها که در ساخت آن ها از ... استفاده شده است بیشتر از نمونه های می باشد که ... از سنگدانه های آهکی ساخته شده اند. ... آزمون ... داغ و گرم می توان ... آسفالت های گم ساخته شده به کمک ... به مخلوطه آزمون داغ مقاومت کششی ... علت این امر را می توان ... به مصالح آهکی، ... به علت تخلخل بیشتر ... سرباره های ... پیوستگی بهتر ... اصلاح ... به قیر پایه دانست.

۱۰۰ °C) ... کاهش ویسکوزیته ... در دماهای متوسط کم، ... را افزایش می دهد. نکته بیشتر قیر ... ممانعت از جابه جایی مولکول ها ... اصلاح شده می گردد، همین امر را ... اصلی سخت شدن قیر اصلاح شده با ... پایه دانست. از طرف دیگر، ... بهیل تراکم آزمون مخلوطه ای ... از انرژی می شود از آنجا که انرژی تراکم یکسان ... آزمون نمونه های آزمون داغ و گرم، ... بهتر متراکم شده و از ... کمتری برخوردار می باشد و ... در نتیجه مدول برجهندگی ... دارند.

... و مدول بر جهندگی ... تغییر در ... و رئولوژیک قیر ... علت اصلی پیرشدگی ... توازن آسفالتن، رزین ... پیر شده می گردد. بررسی ... قیر نیز نشان داده است که ... دو محصول اصلی کربونیل (C=O) و لئوکسید (S=O) می گردد افزایش



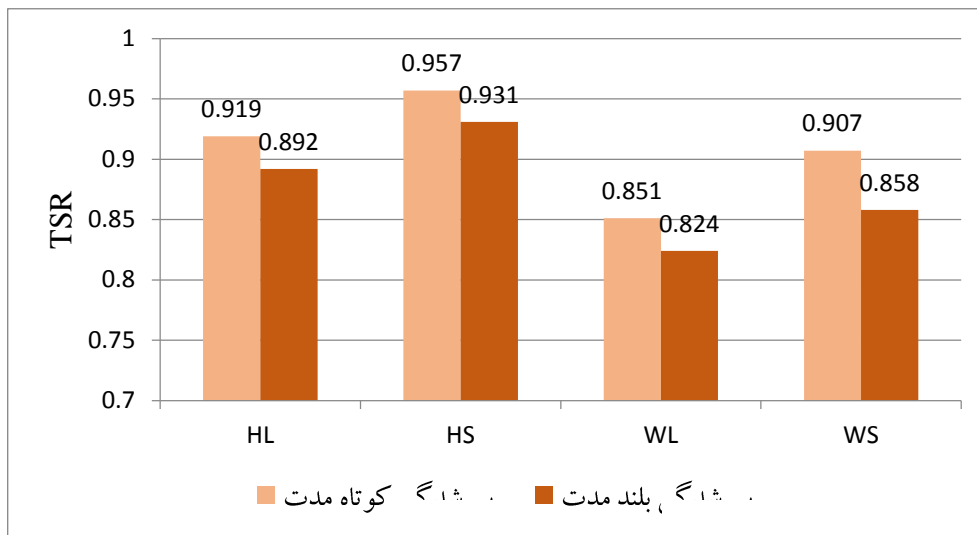
شکل ۶. مقاومت کششی غیرمستقیم در دمای ۲۵ °C

کاهش شدگی بلندمدت محسوب گردد.

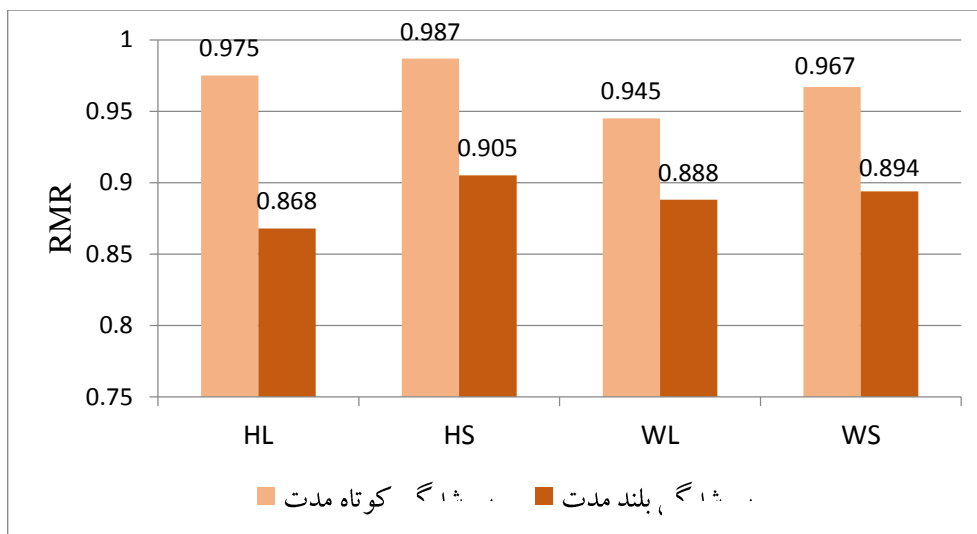
اندک‌ترین کاهش مقاومت کششی آن‌ها شده است. همچنین، بلندمدت، افزایش سختی مخلوط‌ها آن‌ها را کمی خواهد داشت، ولی احتمالاً به دلیل چسبندگی بین سنگدانه‌ها تغییر نمی‌کند. این امر می‌تواند تا حدی اصلی مقاومت

۴-۵. حساسیت رطوبتی

تست‌ها به استناد رطوبتی (RMR - TSR) در نمونه‌ها به دلیل شدگی کوتاه‌مدت و بلندمدت در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه گردیده است.



شکل ۷. نسبت مقاومت کششی غیرمستقیم (TSR) در دمای ۲۵ °C



شکل ۸. نسبت مدول بر جهندگی (RMR) در دمای ۴۰ °C

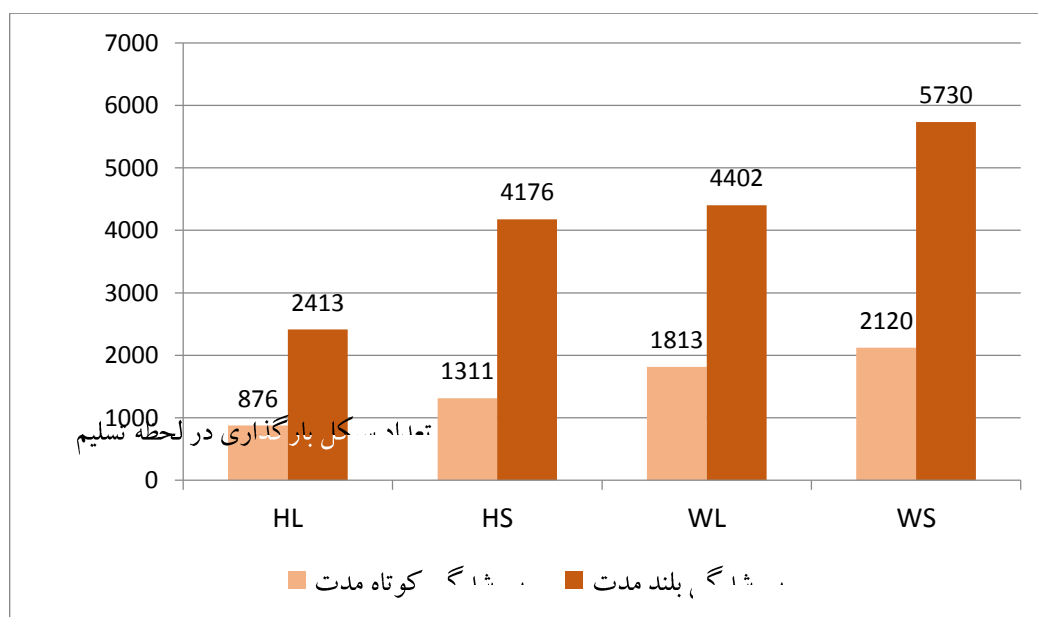
است. آن می‌تواند که با سطح خشک بودن سطح سنگدانه‌ها، مدت ماندگی در آن‌ها افزایش یابد. رطوبت باقی‌مانده به سبب کاهش مقاومت عملکرد آسفالت را تعدیل می‌کند که به سبب میزان رطوبت می‌تواند تأثیرات متفاوتی داشته باشد. رطوبت باقی‌مانده در سنگدانه‌ها به سبب قرارگیری نمونه‌ها آفالتی به مدت زمان زیاد، رطوبت، آنهم در دمای زیاد، باعث نمونه‌ها آفالتی درون و بیرون موجب می‌گردد. مشاهده شکل‌ها فوق می‌تواند دریافت کند که با افزایش مدت نیز، به سبب کاهش حساسیت سنگدانه موجب حساسیت رطوبتی سنگدانه‌ها کلیه مخلوط‌ها آفالتی شده است.

۴-۶. خزش دینامیک

از نتایج تست خزش دینامیک که در شکل ۹ ارائه شده است می‌تواند به سبب مقاومت شیارشدگی نمونه‌ها مشاهده نمود.

همان‌طور که انتظار می‌رود سنگدانه نقش مهمی در استحکام و طول عمر آسفالت ایفا می‌کند. مخلوط‌ها آفالتی که بخش درشت‌تر آن‌ها سرباره حاوی شده است به سبب ماندگی بهتر این نوع سنگدانه‌ها به سبب رطوبت، حساسیت کمتری دارند. همچنین مدت زمان قرارگیری بیشتر مورد استفاده در آفالت‌ها حاوی سرباره موجب سطح درگیری بیشتر به سبب پوشش سنگدانه‌ها توسط قیر شده است. امر خرابی آن‌ها به سبب رطوبت را کاهش می‌دهد.

نتایج حاصل از حساسیت رطوبتی بیشتر مخلوط‌ها آفالتی گرم نسبت به مخلوط‌ها آسفالتی سرد می‌تواند به سبب این محققین بر این عقیده است که سنگدانه‌ها به سبب آسفالت (مخصوصاً هنگامی که دما ساخت بین ۱۴۰-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد سیوس می‌باشد) امکان تشکیل شدن کامل سنگدانه‌ها را فراهم نمی‌آورد. از آنجایی که دما ساخت مخلوط‌ها آفالتی گرم، دما ساخت سرد است و ساخت و تراکم می‌باشد، لذا



شکل ۹. خزش دینامیک

می‌تواند افزایش خاصیت الاستیک آسفالت در اثر پیرشدگی باشد.

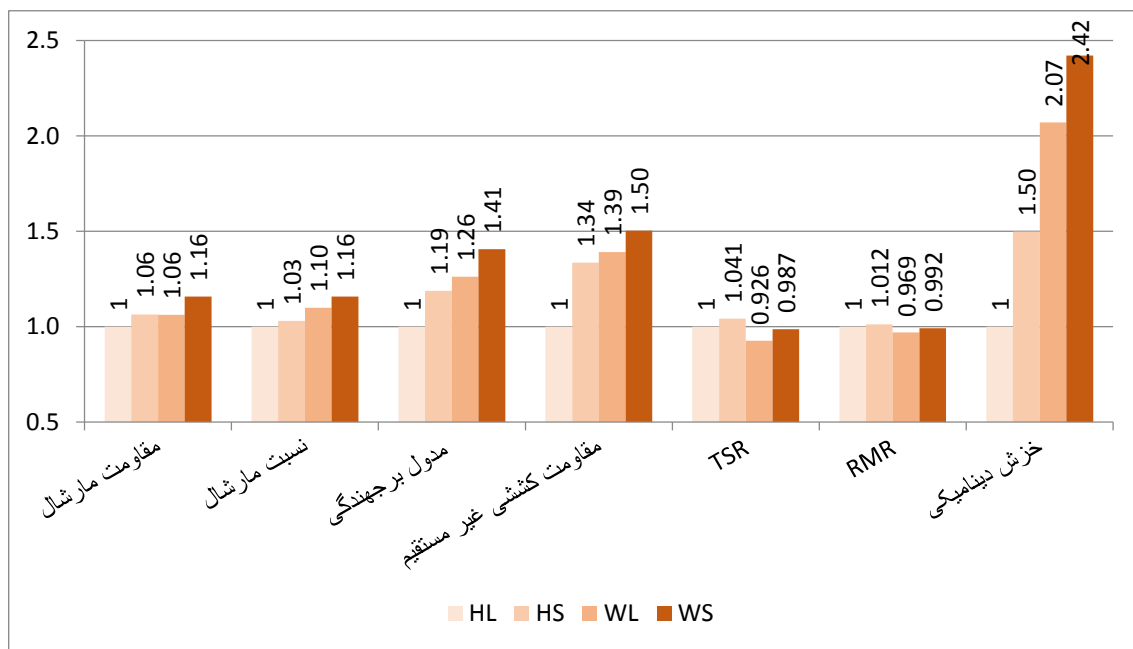
۴-۷. رشد کمی نتایج نسبت به آسفالت داغ

آهکی

حداکثر مقایسه مخلوط‌های آسفالتی مختلف با آسفالت پایه آهکی (به عنوان نمونه‌های کنترل) رشد کمی مقادیر μ آسفالت داغ سرباره‌ها در آذالت گرم آهکی در آذالت گرم سرباره‌ها نسبت به نمونه‌های کنترل در حالت پیرشدگی کوتاه‌مدت در شکل ۱۰ در آذالت‌های پیرشده بلندمدت در شکل ۱۱ ارائه شده است. با توجه به اعداد ارائه شده نمودارها در آذالت داغ سرباره‌ها (انگیزه تأثیر سرباره) و آذالت‌های کنترل (انگیزه تأثیر ساسوبیت) می‌توان تأثیرگذاری سرباره‌ها نسبت به ساسوبیت بر هر کدام از پارامترها را با مقایسه نمود.

کامل‌ترین پیرشدگی سرباره‌ها در آذالت‌ها که به علت شکل‌ناهمی، گوشه و بافت زبر آن‌ها می‌باشد و همچنین رنگی بهتر آن‌ها می‌تواند موجب مقاومت بیشتر آسفالت‌ها سرباره‌ها نسبت به آسفالت‌های آذالت‌های کنترل با توجه به کاهش زاویه فاصله بین ذرات سرباره‌ها از ساسوبیت (چنانچه در نتایج تست‌های میکروسکوپی مشاهده شد) نیز مشخص گردید، این افزایش خاصیت الاستیک کفیر و طبیعتاً آسفالت را بهبود می‌بخشد. الاستیک‌تر شدن آسفالت‌ها سبب می‌گردد که در شکل‌ها مانع از گسیل‌ها به عبارتی کرنش‌های تحمیلی در آن‌ها باشد. به همین دلیل نیز در سرباره‌ها نسبت به ساسوبیت، تعداد سیکل‌های بارگذاری در لحظه‌ها افزایش می‌یابد.

آزمایش‌های پیرشدگی سرباره‌ها کاملاً به پیرشدگی آذالت‌ها سبب شده و اعمال پیرشدگی کوتاه‌مدت در آذالت‌های پیرشده بلندمدت نتایج آن گردیده است. علت افزایش پیرشدگی سرباره‌ها نسبت به ساسوبیت، اعمال پیرشدگی بلندمدت،

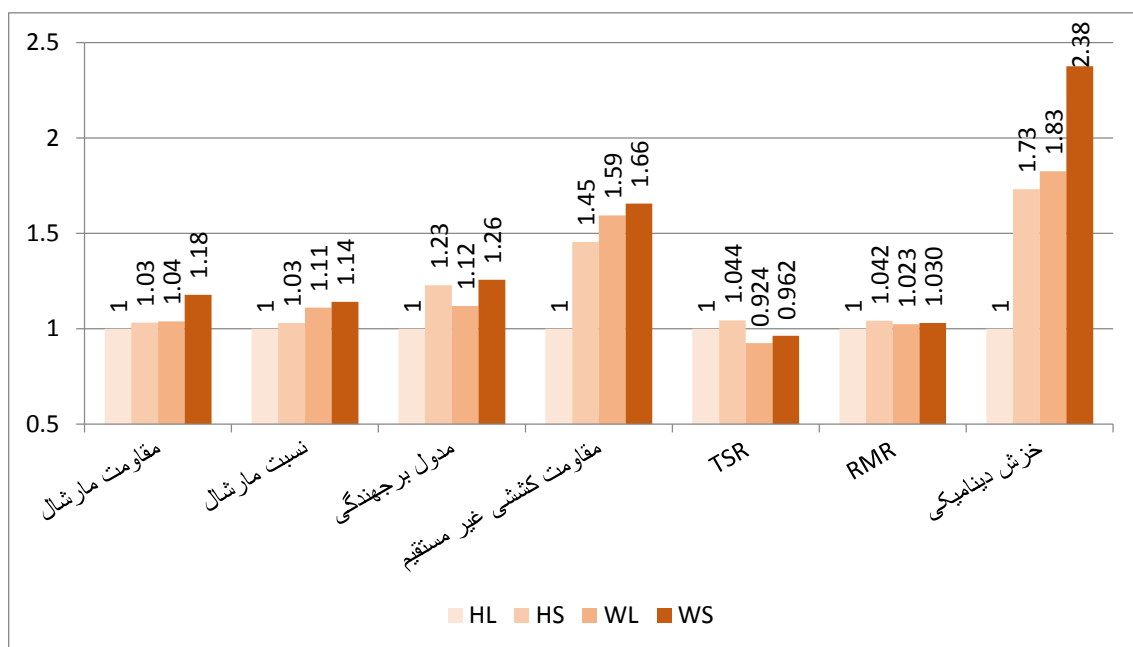


شکل ۱۰. نتایج کمی آزمایش‌ها برای مخلوط‌های با پیرشدگی کوتاه‌مدت

تأثیرگذاری داشته و نتایج به دست آمده حاکی از عملکرد بهتر مصالح آذوقه آهکی نسبت به آسفالت داغ سرباره می‌باشد.

در تست‌های مقاومت مارشال، استفاده از سرباره منجر به افزایش مقاومت آسفالت در برابر رطوبت گردید. همچنین مصالح آهکی که استفاده از ساسویت و در نتیجه کاهش دمای ساخت آسفالت منجر به افزایش مقاومت آن نسبت به رطوبت می‌گردد، توجه به نتیجه به دست آمده از این نمونه‌ها هم سرباره‌ای می‌تواند استفاده شود که در صورت استفاده همزمان از ساسویت و مصالح آهکی، تأثیر ساسویت غالب بوده و منجر به افزایش مقاومت مصالح آهکی نسبت به مخلوط‌های آهکی می‌گردد.

نتایج در شکل ۱۰ مشخص شده است، برای تمام آزمایش‌ها انجام شده به غیر از حساسیت رطوبتی (RMR, TSR) نتایج به دست آمده از روند خاصی برخوردار نیستند. در تست‌های مارشال، مدول بر حسب مقاومت کششی غیرمستقیم و خزش دینامیک، آفالت‌ها همگی هم سرباره، مخلوط‌های آسفالتی همگی و آسفالت‌های داغ سرباره به ترتیب به ترتیب نتایج مشابهی به دست می‌آید. کنترل را داشته‌اند؛ اما مقایسه آسفالت‌ها همگی که در ساخت آن‌ها از ساسویت استفاده شده است نسبت به مخلوط‌های آهکی و آسفالت‌های داغ سرباره می‌تواند باعث کاهش مقاومت آن‌ها گردد. با این وجود، استفاده از ساسویت نسبت به استفاده از سرباره



شکل ۱۱. نتایج کمی آزمایش‌ها برای مخلوط‌های با پیرشدگی بلندمدت

نتایج گردیده از آزمون‌ها حاکی از آنکه نرخ پیرشدگی آفالت‌های حاوی سرباره بیشتر از آسفالت‌های ساخته شده با مصالح آهکی است و از طرف دیگر همین مصالح آهکی آسفالت‌ها همگی ساسویت کمتر از

نتایج به شکل ۱۱ مشخص شده است. در رشدگی کوتاه‌مدت، نتایج حاصل از تست‌ها به دست آمده از رشدگی کوتاه‌مدت، نتایج مشابهی به دست می‌آید. در تست‌های مارشال، مدول بر حسب مقاومت کششی غیرمستقیم و خزش

آسفالت‌ها داغ می‌شوند و از برخی از تست‌ها مثلاً
برجهنگی، نتایج به دست آمده از آسفالت داغ
سرباره نسبت به آفات گرم آهکی پیشی گرفته
است. نتایج به دست آمده از تست رطوبتی
نمونه‌ها نشان می‌دهد که به نتایج حاصل بعد از
تست‌های کوتاه‌مدت دارد.

۵. نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از تست‌ها نسبت به شرایط اختلاط
آسفالت‌ها به دست آمده از اختلاط و مدت زمان اختلاط
نشان می‌دهد که از ساده‌ترین شرایط نیز می‌توان
عملکرد ترکیب آن‌ها استفاده نمود.

نتایج به دست آمده از تست‌ها جذب قیر بیشتر، هنگام
سازگاری با بخش درشت‌اندامه به افزایش درصد
قیرینه از ۴/۷۵ به ۱۰/۱۰۰ آفات آهکی به ۵/۲
گشته است.

نتایج به دست آمده از تست‌ها بیشتر آسفالت‌ها گرم نسبت
به آسفالت‌های داغ نشان می‌دهد که استفاده از ۱/۵
درصد سرباره فولاد کوره قوس الکتریکی در ساخت آسفالت
به میزان ۲۰°C به بهبود تراکم آسفالت مخلوط‌های
آفات گشته است.

نتایج به دست آمده از تست‌ها به دست آمده برای عملکرد
کوتاه‌مدت و بلندمدت آسفالت گرم سرباره بهترین
ساختار و آسفالت داغ آهکی ضعیف‌تر عملکرد را
نشان می‌دهد. نکته قابل توجه دیگر تقریباً یکسان
آفات‌ها داغ سرباره به مخلوط‌ها آفاتی گرم
آهکی به دست آمده برای نمونه‌ها با پیرشدگی
کوتاه‌مدت می‌باشد.

نتایج به دست آمده از تست‌ها استفاده از پیرشدگی آسفالت
تأثیرگذار می‌باشد و استفاده از مصالح آهکی از
دیدگاه هزینه‌ها بیشتر و ظرفیت گران‌بالاتری
نشان می‌دهد که همین علل می‌تواند منجر به
پیرشدگی بیشتر مخلوط‌ها آفات حاوی سرباره‌ی
فولاد کوره قوس الکتریکی در مخلوط‌ها آفات گرم نسبت به
آفات‌ها داغ سرباره کتری دارند. درصد فضای
خالی کمتر به دست آمده از تراکم کمتر قیر و هوای آزاد شده،
که این امر منجر به پیرشدگی کمتر مخلوط‌های
آفات گرم را سبب می‌شود.

نتایج به دست آمده از تست‌ها پاره موجب بهبود کلیه
نمونه‌ها از مخلوط‌ها آفات گردیده است.
نتایج به دست آمده از تست‌ها نیز به نشان آنکه مقاومت در برابر رطوبت را
تخمین زده‌اند و پارامترهای مورد بررسی را
به دست آمده از تست‌ها سرباره و ساسوبیت و در
نتایج به دست آمده از آفات گرم سرباره به آنکه
مقاومت در برابر رطوبت، جهنگی، مقاومت کششی
خردشدگی و تنش دینامیک را به دست قابل توجهی
افزایش داده‌اند. نتایج به دست آمده از آفات آهکی تقریباً از
دیدگاه مقاومت یکسانی برخوردار می‌باشد.

۶. مراجع

- استان مدیریت و برنامه ریزی کشور. ۱۳۹۱ "آیین نامه: ساخت و راه اندازی". نشریه ۲۳۴: ۱۰۱-۱۰۲ نظر اول.
- AASHTO T283. 1989. "Standard method of test for resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage". 19th Edn., American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Ahmedzade, P. and Sengoz, B. 2009. "Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete". J. Hazard. Mater., 165(1): 300-305.
- Ameri, M., Hesami, S. and Goli, H. 2013. "Laboratory evaluation of warm mix asphalt mixtures containing electric arc furnace (EAF) steel slag". Constr. Build. Mater., 49: 611-617.
- Arabani, M. and Azarhoosh, A. R. 2012. "The effect of recycled concrete aggregate and steel slag on the dynamic properties of asphalt mixtures". Constr. Build. Mater., 35: 1-7.
- Asi, I. M., Qasrawi, H. Y. and Shalabi, F. I. 2007. "Use of steel slag aggregate in asphalt concrete mixes". Can. J. Civil Eng., 34(8): 902-911.
- Bonaquist, R. F. 2011. "Mix design practices for warm mix asphalt". Transport. Res. Board, Vol. 691.
- Kavussi, A. and Qazizadeh, M. J. 2014. "Fatigue characterization of asphalt mixes containing electric arc furnace (EAF) steel slag subjected to long term aging". Constr. Build. Mater., 72: 158-166.
- Pasetto, M. and Baldo, N. 2010. "Experimental evaluation of high performance base course and road base asphalt concrete with electric arc furnace steel slags". J. Hazard. Mater., 181(1): 938-948.
- Rubio, M. C., Martínez, G., Baena, L. and Moreno, F. 2012. "Warm mix asphalt: An overview". J. Cleaner Prod., 24: 76-84.