

ارزیابی آزمایشگاهی تاثیر فیبر بازالت خردشده بر عملکرد مخلوط آسفالتی متخلخل

مقاله علمی - پژوهشی

سارا چوبدار*، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sara_choubdar@civileng.iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۵ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵

صفحه ۴۸۶-۴۷۵

چکیده

مخلوط آسفالت متخلخل نوعی مخلوط آسفالتی با زهکشی خوب است. با این حال، عملکرد و دوام کششی ضعیفی دارد. ثابت شده است که الیاف بازالت خرد شده^۱ (CBF) یک افزودنی موثر برای بهبود عملکرد مکانیکی و خستگی مخلوط‌های آسفالتی است، اما توجه کمی به مخلوط آسفالت متخلخل شده است. در این تحقیق اثر الیاف بازالت خرد شده با طول‌های مختلف (غیرالیاف، ۳ میلی متر، ۶ میلی متر، ۹ میلی متر و ۱۲ میلی متر) و محتویات (۳٪ و ۴٪) بر عملکرد مخلوط آسفالت متخلخل را بررسی می‌کند. مجموعه‌ای از آزمایش‌ها برای تعیین طول و درصد بهینه الیاف انجام شد. از جمله آزمایش ریزش، آزمایش ساییدگی کانتابرو، آزمایش کشش تقسیم‌انجماد-ذوب، آزمایش شیار جای چرخ، آزمون مقاومت به ترک خوردگی در دمای پایین، و آزمایش تیر خمشی چهار نقطه‌ای. پس از آن، آزمایش‌های کششی غیرمستقیم در دماهای مختلف برای بررسی خواص مقاومت کششی مخلوط‌های آسفالت متخلخل با طول و درصد الیاف بهینه انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن الیاف بازالت خرد شده به طور کلی می‌تواند عملکرد مخلوط آسفالت متخلخل را بهبود بخشد زیرا الیاف بازالت خرد شده یک ساختار شبکه سه بعدی را در مخلوط آسفالت متخلخل تشکیل می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: فیبر، بازالت، مقاومت کششی، خستگی، کانتابرو، آسفالت متخلخل

۱-مقدمه

ترک‌خوردگی در دمای پایین شود و مستعد نرم شدگی می‌باشد. علاوه بر محدودیت‌های مخلوط‌های آسفالتی متخلخل، افزایش حجم ترافیک چالش دیگری برای استفاده از مخلوط‌های آسفالت متخلخل است. ما، لازم است عملکرد روسازی زهکشی متخلخل را به طور جامع بهبود دهیم (Colwillet al, 1994; Fwa et al, 2001; kim et al, 1997). افزودن مواد افزودنی به آسفالت یا مخلوط آسفالت به یکی از ابزارهای فنی حل این مشکل تبدیل شده است. در سال‌های اخیر، الیاف به طور گسترده‌ای به عنوان یک افزودنی در مخلوط‌های آسفالتی استفاده شده است. ویژگی‌های برجسته مخلوط آسفالت الیافی می‌تواند از گسترش ترک‌های روسازی آسفالت جلوگیری کند، وقوع شیارشدگی در دمای بالا را

مخلوط آسفالت متخلخل به دلیل نفوذپذیری قابل توجه در آب، عملکرد مقاومت در برابر لغزش خوب و عملکرد کاهش دمای روسازی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hsu et al, 2011). با این حال، به دلیل ساختار اسکلت سنگی و حفره‌های بزرگ هوا، استحکام ساختاری مخلوط آسفالت متخلخل عمدتاً از تماس نقطه به نقطه سنگدانه‌های درشت ناشی می‌شود. در مقایسه با مخلوط‌های آسفالتی با دانه بندی پیوسته، سطح تماس بین سنگدانه‌ها حدود ۲۵ درصد کاهش یافت که منجر به تمرکز تنش در نقاط تماس شد. بنابراین، استحکام کششی مخلوط آسفالت متخلخل بیشتر از مخلوط آسفالت معمولی است، که باعث می‌شود مخلوط آسفالت متخلخل بیشتر دچار ترک‌خوردگی حرارتی یا

آسفالت متخلخل نیاز به مطالعه جامع دارد (Gao et al, 2017; Wu et al, 2007). بنابراین، این مقاله تأثیر الیاف بازالت خرد شده با طول‌های مختلف (غیرالیاف، ۳ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر، ۹ میلی‌متر و ۱۲ میلی‌متر) و محتویات (۳ درصد و ۴ درصد) را بر روی عملکرد مخلوط آسفالت متخلخل بررسی کرد و تست زهکشی، تست سایش کانتابرو، تست تقسیم انجماد- ذوب، تست شیار جای چرخ، تست خمش در دمای پایین و تست خمش چهار نقطه به ترتیب انجام شد. خواص کششی مخلوط آسفالت متخلخل با الیاف بازالت خرد شده در دماهای مختلف (۲۵- درجه سانتی‌گراد، ۱۵- درجه سانتی‌گراد، ۵- درجه سانتی‌گراد، ۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) با آزمایش کشش غیرمستقیم مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و مصالح

۱-۲- قیر

در این تحقیق از قیر اصلاح شده با پلیمر SBS^۲ استفاده گردید. مشخصات قیر در جدول ۱ آورده شده است.

۲-۲- مصالح سنگی

سنگدانه‌های درشت بازالت (حداقل اندازه سنگدانه ≤ 4.75 میلی‌متر) و سنگدانه‌های ریز سنگ آهک (حداکثر اندازه سنگدانه > 4.75 میلی‌متر) به ترتیب استفاده شد. خواص سنگدانه‌ها به ترتیب در جداول ۲ و ۳ ذکر شده است.

کاهش دهد، کاستی‌های شکنندگی در دمای پایین را جبران کند و آسیب‌های آب روی روسازی‌ها را کاهش دهد. به طور قابل توجهی عمر مفید روسازی‌های آسفالتی را افزایش می‌دهد (Abtahi et al, 2010). در حال حاضر، بیشتر الیاف مورد استفاده در مخلوط‌های آسفالتی شامل الیاف آلی (الیاف لیگنین، الیاف پلیمری و الیاف پلی استر) و الیاف معدنی (الیاف بازالت خرد شده و غیره) است. مطالعات قبلی نشان داده است که الیاف آلی دارای معایبی مانند استحکام و مدول کم، مقاومت ضعیف در برابر دماهای بالا و پایین و جذب آب بالا هستند. علاوه بر این، آنها همچنین تخریب، واکنش اکسیداسیون، و مشکلات پیچ خوردگی را در طول فرآیند اختلاط و سنگ فرش نشان می‌دهند (Tapkin et al, 2008; chen et al, 2012; Sim et al, 2005; Krayushkina et al, 2016). الیاف خرد شده بازالت از سنگ‌های طبیعی بازالت ساخته شده است که شکسته شده و به داخل کوره ذوب ریخته می‌شود. پس از ذوب شدن در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتی‌گراد تا ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، الیاف پیوسته با کشیدن از صفحه سیم کشی آلیاژ پلاتین-رودیوم تشکیل شدند. به عنوان یک نوع جدید از الیاف معدنی، الیاف بازالت خرد شده دارای مزایای استحکام بالا، مقاومت اسیدی و قلیایی خوب، مقاومت در برابر درجه حرارت بالا و پایین، پراکندگی خوب، و سازگاری با محیط زیست است (Singletary et al, 1997; Yongchun et al, 2017; Muniandy et al, 2006). تعداد زیادی از مطالعات قبلی بر روی اثرات فیبر بازالت خرد شده بر عملکرد مخلوط آسفالت معمولی متمرکز شده و اثرات مثبت آن را ثابت کرده است. با این حال، توجه کمی به مخلوط آسفالت متخلخل شده است. بنابراین، اثر الیاف بازالت خرد شده بر عملکرد مخلوط

جدول ۱. خصوصیات قیر

الزامات آیین نامه	نتایج	استاندارد	خصوصیات
$75 <$	۸۰	ASTM D36	نقطه نرمی
$20 <$	۲۹	ASTM D113	شکل پذیری در ۱۰ درجه
$50 <$	۶۶	ASTM D5	درجه نفوذ
$90 <$	۹۸,۶	ASTM D4124	بازیابی الاستیک
-	۱,۰۲۳		چگالی

جدول ۲. خصوصیات مصالح درشت دانه

الزامات	۳-۵ میلی متر	۵-۱۰ میلی متر	۱۰-۲۰ میلی متر	خصوصیات
-	۲/۶۸۸	۲/۶۵۷	۲/۶۲۴	وزن مخصوص نسبی
۰/۲	۰/۴	۰/۹	۰/۹	جذب آب
۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	درصد کمتر از ۰.۷۵/۰ میلی متر
<۱۸	-	-	۲۲/۱	درصد تطویل
<۲۸	-	-	۱/۲۲	درصد شکستگی

جدول ۳. مشخصات مصالح ریزدانه

الزامات	نتایج	خصوصیت
		مصالح ریزدانه
>2.5	۲,۶۲۱	وزن مخصوص نسبی
۶۰<	۷۰	هم ارز ماسه ای
۱۰>	۸,۵	درصد مصالح ریزتر از ۰,۰۷۵ میلی متر
		فیلر
۲,۵<	۲,۶۰۳	وزن مخصوص نسبی
۱>	۰,۷	ضریب ابدوستی
۱>	۰,۳۳	درصد آب
۱۰۰	۱۰۰	۰,۶ میلی متر
۱۰۰-۹۰	۹۴,۶	۰,۱۵ میلی متر
۱۰۰-۷۵	۷۹,۲	۰,۰۷۵ میلی متر

۲-۳- فیلر معدنی

فیلر معدنی توسط سنگ آهک تولید شد. برخی از خواص در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. مشخصات مصالح فیلر

الزامات	نتایج	خصوصیت
>۲,۶	۲,۷	وزن مخصوص ظاهری
۱>	۰,۷	ضریب ابدوستی
۱>	۰,۳۳	درصد آب

۲-۴- افزودنی‌ها

قیر و بهبود پیوند بین قیر و سنگدانه‌ها است. دوز HVA ۰,۳ درصد وزنی قیر است. برخی از خواص در جدول ۵ نشان داده شده است.

عامل ویسکوزیته بالا (HVA^۲) و فیبر بازالت خرد شده به عنوان افزودنی در این مطالعه استفاده شد. HVA یک افزودنی معمول برای مخلوط آسفالت متخلخل برای افزایش ویسکوزیته

جدول ۵. مشخصات افزودنی

الزامات	نتایج	خصوصیت
>۲,۶	۰,۹۸۵	وزن مخصوص ظاهری
۰,۰۳<	۰,۰۲۹	ضریب ابدوستی
۲<	۹	درصد آب

فیبر بازالت خرد شده به وزن کل سنگدانه‌ها اضافه شد. می‌تواند زمانی ایجاد شود که الیاف با قیر تعامل داشته باشند، خواص CBF در جدول ۶ نشان داده شده است. علاوه بر این، برخی از ذرات کریستالی را می‌توان بر روی سطح الیاف مشاهده کرد که منجر به افزایش زبری سطح می‌شود، و اثر لنگر در نتیجه به طور موثر چسبندگی سطحی بین الیاف و قیر و متعاقباً عملکرد کلی مخلوط آسفالتی بهبود می‌یابد.

جدول ۶. مشخصات فیبر خرد شده

الزامات	نتایج	خصوصیت
-	۲,۷۱	وزن مخصوص ظاهری
-	۳ و ۶ و ۹ و ۱۲	طول (میلی‌متر)
-	۱۳	قطر (میکرومتر)
۱>	۰,۷	نرخ درصد آب
۱>	۱۳,۰	نرخ جذب روغن
-	۱۶۰۰	نقطه ذوب
۱۲۰۰<	۲۲۱۷	مقاومت کششی

۲-۵- طرح اختلاط مخلوط

دانه بندی مخلوط آسفالت متخلخل در جدول ۷ ارائه شده است. مخلوط آسفالت متخلخل با الیاف بازالت برای آزمایشات آزمایشگاهی ساخته شد. حداقل مقدار آسفالت از طریق آزمایش Cantabro و حداکثر درصد قیر از طریق آزمایش ریزش تعیین شد. جدول ۸ پارامترهای طراحی مخلوط هر مخلوط آسفالت متخلخل را نشان می‌دهد.

جدول ۷. دانه بندی مصالح سنگی

اندازه الک (میلی متر)	۱۶	۱۳,۲	۹,۵	۴,۷۵	۲,۳۶	۱,۱۸	۰,۶	۰,۳	۰,۱۵	۰,۰۷۵
حد پایین-حد بالا	۱۰۰	۱۰۰-۹۰	۸۵-۶۸	۶۸-۳۸	۵۰-۲۴	۳۸-۱۵	۱۰-۲۸	۷-۲۰	۵-۱۵	۴-۸
درصد عبوری	۱۰۰	۹۵	۷۶,۵	۵۳	۳۷	۲۶,۵	۱۹	۱۳,۵	۱۰	۶

جدول ۸. مشخصات فیبر خرد شده

شماره	طول فیبر (میلی متر)	درصد فیبر (%)	درصد قیر (%)	درصد هوا (%)
۱	-	-	۴,۶	۲۰,۳
۲	۳	۰,۳	۴,۸	۲۰,۱
۳	۳	۰,۴	۴,۸	۲۰,۱
۴	۶	۰,۳	۴,۸	۱۹,۹
۵	۶	۰,۴	۴,۸	۱۹,۸
۶	۹	۰,۳	۴,۸	۱۹,۶
۷	۹	۰,۴	۴,۸	۱۹,۵
۸	۱۲	۰,۳	۴,۹	۱۹,۳
۹	۱۲	۰,۴	۴,۹	۱۹,۲

۳- برنامه آزمایشگاهی

۱-۳- آزمایش ریزش قیر و سایش کانتابرو

تست ریزش و تست سایشی کانتابرو برای ارزیابی مقاومت ریزش و توانایی ضد ریزش مخلوط آسفالت متخلخل استفاده شد. برای هر آزمون از پنج تکرار استفاده می‌شود و داده‌های نهایی میانگین ارزش هر آزمایش است.

۲-۳- آزمایش انجماد و ذوب

آزمایش انجماد و ذوب برای ارزیابی پایداری آب مخلوط آسفالت متخلخل انجام شد. نمونه‌های مارشال زیر ۵۰ ضربه در هر طرف فشرده می‌شوند. پس از جذب آب به حالت اشباع در خلاء، نمونه‌ها در یخچال با دمای 18 ± 2 درجه سانتی‌گراد به مدت 1 ± 16 ساعت قرار گرفتند. نمونه‌ها به مدت ۲۴

۳-۴- تست تیر خمشی در دمای پایین

آزمایش تیر خمشی دمای پایین برای ارزیابی مقاومت ترک خوردگی در دمای پایین مخلوط آسفالت متخلخل استفاده شد. نمونه‌هایی که تیرهای مستطیلی $30 \times 35 \times 250$ میلی‌متر بودند، برای تعیین کرنش خمشی در دمای -10 درجه سانتی‌گراد با نرخ بارگذاری ۵۰ میلی‌متر در دقیقه تا شکست ترک، و بار و انحراف در مرکز آزمایش شدند. نمونه‌های تیر اندازه‌گیری شد. تکرارهای برای هر آزمایش استفاده

(۱)

۳-۵- تست خستگی تیرچه خمشی چهار نقطه‌ای

در این مطالعه، تست خستگی تیر خمشی چهار نقطه با استفاده از دستگاه تست $UTM-25$ انجام شد و از تیر مستطیلی به ابعاد 380×6350 میلی‌متر استفاده شد. یک بارگذاری هارسین با فرکانس ۱۰ هرتز در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد و آزمایش با حالت کرنش ثابت در سطوح کرنش های مختلف ۶۵۰، ۸۵۰ و ۱۰۵۰ میکرو کرنش انجام شد. تکرارهای برای هر آزمایش استفاده می‌شود و داده‌های نهایی مقدار متوسط هر آزمایش است.

ساعت در یک مخزن آب در دمای $0,5 \pm 60$ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس با نسبت ۵۰ میلی‌متر در دقیقه تا زمان شکست بارگذاری شدند. تکرارهای برای هر آزمون استفاده می‌شود و داده‌های نهایی مقدار متوسط هستند.

۳-۳- تست شیار جای چرخ

آزمایش‌های شیار جای چرخ برای ارزیابی پایداری مخلوط آسفالت متخلخل در دمای بالا انجام شد. تست شیار جای چرخ در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بر روی نمونه‌های مستطیلی، با ابعاد $300 \times 300 \times 50$ انجام شد. تکرارهای برای هر آزمایش استفاده می‌شود و داده‌های نهایی میانگین ارزش هر آزمایش است.

می‌شود و داده‌های نهایی میانگین ارزش هر آزمایش است. کرنش خمشی طبق رابطه زیر محاسبه شد و که در آن ϵ_B حداکثر کرنش خمشی در هنگام شکست نمونه است، h ارتفاع مقطع نمونه، d انحراف سطح مقطع نمونه و L دهانه نمونه است.

$$\epsilon_B = \frac{6hd}{L^2}$$

۳-۶- آزمایش کشش غیر مستقیم

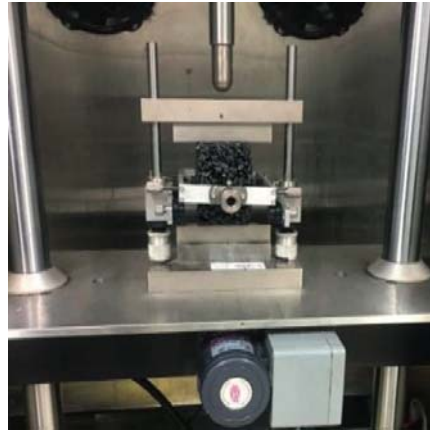
آزمایش کشش غیر مستقیم برای تعیین خواص کششی مخلوط آسفالتی در دما و نرخ بارگذاری مشخص استفاده می‌شود. الیاف بازالت خرد شده با طول ۹ میلی‌متر، محتوای ۰,۳ درصد و طول ۱۲ میلی‌متر و درصد ۰,۳ درصد به ترتیب در مخلوط آسفالت متخلخل مخلوط شدند. دمای آزمون ۲۵- درجه سانتی‌گراد، ۱۵- درجه سانتی‌گراد، ۵- درجه سانتی‌گراد، ۵ درجه سانتی‌گراد، ۱۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود و سرعت بارگذاری ۵۰ میلی‌متر در دقیقه بود. آزمون کشش غیرمستقیم در شکل ۱ نشان داده شده است.

غیرمستقیم، پاسکال، P اوج بار، D ، N قطر نمونه، میلی متر و t ضخامت نمونه، میلی متر است. TSR با معادله زیر تعیین شد.

$$ITS = \frac{2000P}{\pi Dt}$$

برای هر آزمون از چند تکرار استفاده شده است و داده‌های نهایی مقدار متوسط هستند. که در آن ITS^۰ مقاومت کششی

(۲)



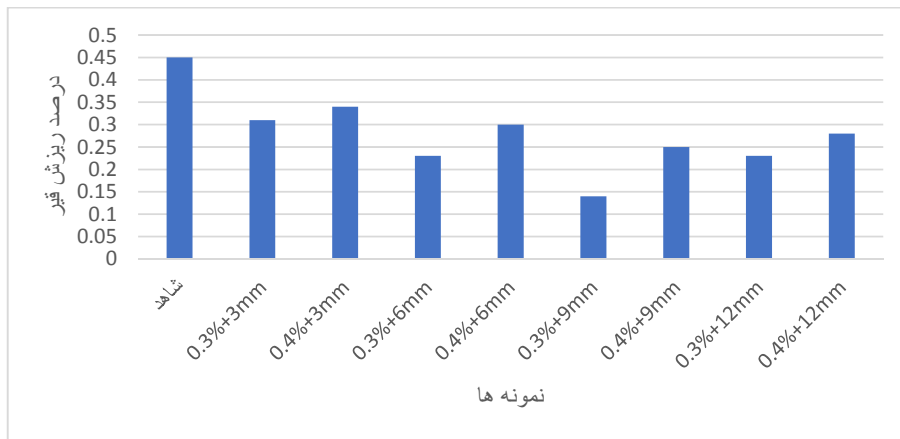
شکل ۱. آزمایش کشش غیرمستقیم

۴- نتایج و بحث

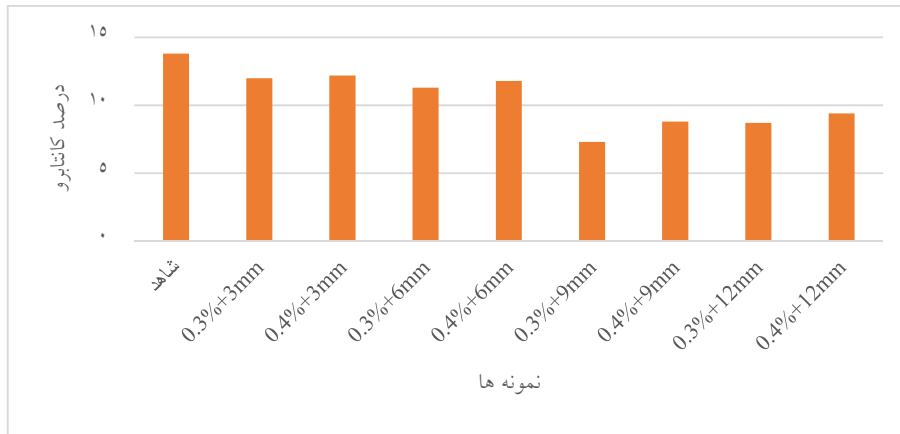
۴-۱- تست‌های عملکرد روسازی

متخلخل را بهبود بخشید. در مورد اثر طول الیاف، با افزایش طول الیاف، نسبت ریزش و کاهش جرم کانتابرو ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. و طول ۹ میلی‌متر کمترین مقادیر را ارائه می‌دهد. در مورد تأثیر محتویات فیبر، ۰٫۳٪ از الیاف همیشه مقادیر کمتری نسبت به ۰٫۴٪ از الیاف ارائه می‌دهند. بنابراین، اشاره شد که مخلوط آسفالت متخلخل با ۹ میلی‌متر طول و ۰٫۳ درصد الیاف بازالت ترکیب شده است، بهترین قابلیت ضد لایه برداری را به دست آورد.

نتایج عملکرد روسازی مخلوط آسفالت متخلخل در شکل‌های ۷-۲ نشان داده شده است. نتایج آزمون ریزش و تست سایش کانتابرو به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. از شکل ۲ و ۳ می‌توان دریافت که تمام نتایج الزامات مشخصات را برآورده می‌کنند. واضح است که مخلوط آسفالت متخلخل با الیاف بازالت خرد شده نسبت زهکشی کمتر و از دست دادن جرم کانتابرو را نشان می‌دهد، به این معنی که الیاف بازالت خرد شده می‌تواند توانایی ضد ریزش مخلوط آسفالت



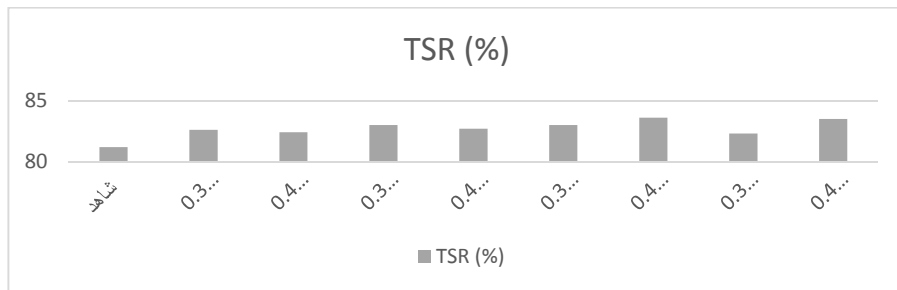
شکل ۲. نتایج آزمایش ریزش قیر



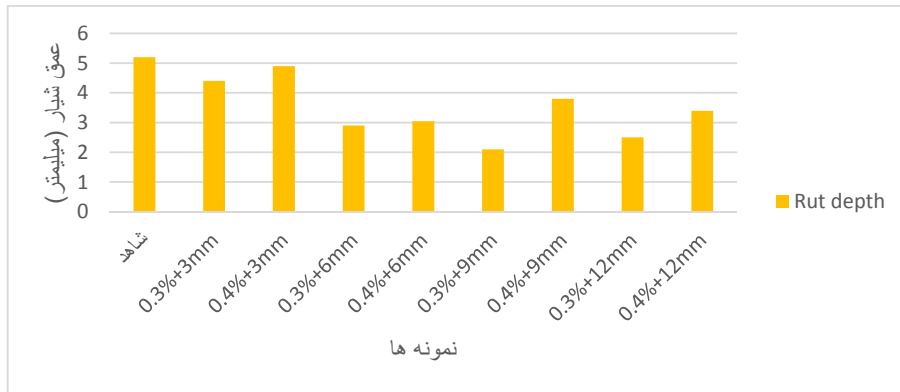
شکل ۳. نتایج کانتابرو

بر اساس شکل ۵، در مقایسه با مخلوط آسفالت متخلخل بدون الیاف، تمام مخلوط آسفالت متخلخل با الیاف بازالت خرد شده پایداری دینامیکی بسیار بالاتری ارائه می‌دهند. در مورد اثر طول الیاف، با افزایش طول فیبر، مقادیر عمق شیار ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت و طول ۹ میلی‌متر کمترین مقدار را ارائه کرد. در مورد تأثیر محتویات فیبر، ۳٪ از الیاف همیشه مقادیر عمق شیار کمتری نسبت به ۴٪ از الیاف نشان می‌دهند. بنابراین، استنباط می‌شود که مخلوط آسفالت متخلخل با ۹ میلی‌متر طول و ۰٫۳ درصد الیاف بازالت ترکیب شده، بهترین مقاومت در برابر شیار شدن را به دست می‌آورد.

نتایج آزمایش مقاومت کششی در شکل ۴ نشان داده شده است. از شکل ۴، مشاهده می‌شود که نسبت استحکام کششی تمام نمونه‌ها در محدوده ۸۱-۸۴ درصد بوده که نیاز کمتر از ۸۰ درصد را برآورده می‌کند. با این حال، هیچ تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های با یا بدون CBF وجود نداشت، اگرچه نسبت‌های استحکام کششی یک روند افزایشی جزئی را هنگام استفاده از CBF نشان دادند. این نشان می‌دهد که الیاف بازالت خرد شده تأثیر قابل توجهی بر پایداری آب مخلوط آسفالت متخلخل ندارد. نتایج آزمایش شیار جای چرخ در شکل ۵ نشان داده شده است.



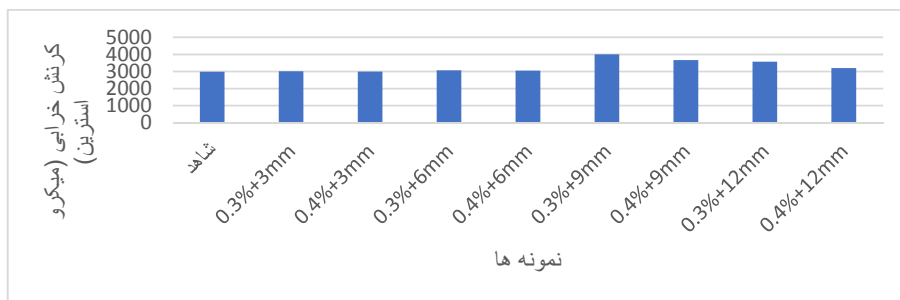
شکل ۴. نتایج حساسیت رطوبتی نمونه‌ها



شکل ۵. نتایج عمق شیار نمونه‌ها

یک افزایش ناگهانی در کرنش مشاهده شد. هنگام استفاده از الیاف بلندتر با طول ۱۲ میلی‌متر، کرنش اندکی کاهش یافت. در مورد اثر درصد فیبر، به طور مشابه، ۰٫۳٪ از الیاف همیشه مقادیر کرنش مخرب بالاتری نسبت به ۰٫۴٪ از الیاف نشان می‌دهد. بنابراین، اشاره دارد که مخلوط آسفالت متخلخل با ۹ میلی‌متر و ۰٫۳ درصد CBF مخلوط شده، بهترین مقاومت در برابر ترک خوردگی در دمای پایین را به دست می‌آورد.

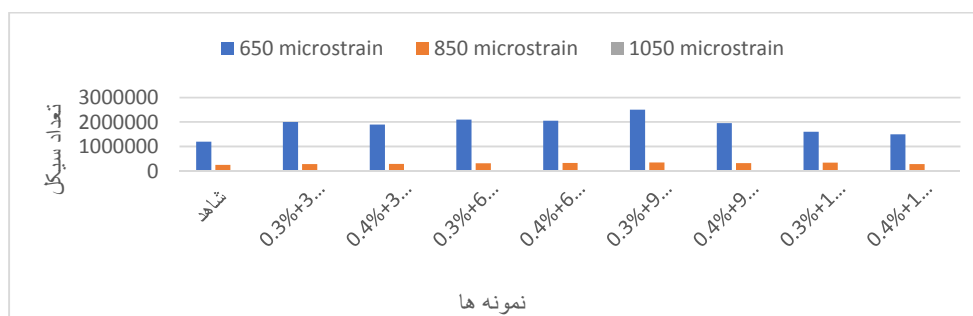
نتایج آزمایش تیر خمشی در دمای پایین در شکل ۶ نشان داده شده است. از شکل ۶ می‌توان دریافت که تمام نتایج کرنش مخرب نیاز کمتر از $2800 \mu\epsilon$ را برآورده می‌کند و در مقایسه با مخلوط آسفالت متخلخل بدون الیاف، مخلوط آسفالت متخلخل با ۳ میلی‌متر یا ۶ میلی‌متر طول CBF افزایش جزئی در کرنش‌های مخرب را نشان داد. با این حال، زمانی که ۹ میلی‌متر طول الیاف به مخلوط آسفالت متخلخل اضافه شد،



شکل ۶. نتایج تیر خمشی در دمای پایین

مقادیر بالاتری نسبت به ۰٫۴٪ الیاف نشان دادند. بنابراین، نشان می‌دهد که مخلوط آسفالت متخلخل با طول ۹ میلی‌متر و ۰٫۳ درصد الیاف بازالت بهترین عملکرد خستگی را نشان می‌دهد. از شکل‌های ۲-۷، می‌توان به این نتیجه رسید که تمام عملکرد آزمایش شده مخلوط‌های آسفالت متخلخل طراحی شده می‌تواند الزامات مشخصات را برآورده کند، و افزودن الیاف بازالت خرد شده به طور کلی می‌تواند عملکرد مخلوط آسفالت متخلخل را بهبود بخشد. علاوه بر این، طول و محتوای فیبر تا حدی بر عملکرد تأثیر گذاشت. مخلوط آسفالت متخلخل با طول ۹ میلی‌متر و ۰٫۳ درصد الیاف بازالت بهترین عملکرد روسازی را به دست می‌آورد و پس از آن مخلوط‌هایی با طول ۱۲ میلی‌متر و ۰٫۳ درصد الیاف قرار دارند.

نتایج آزمون خستگی خمشی چهار نقطه‌ای در شکل ۷ نشان داده شده است. از شکل ۷، به وضوح مشاهده می‌شود که مخلوط آسفالت متخلخل با CBF چرخه‌های بسیار بالاتری برای شکست دارند. این بدان معنی است که الیاف بازالت خرد شده می‌تواند عملکرد خستگی مخلوط آسفالت متخلخل را به طور قابل توجهی بهبود بخشد. برای یک نوع مخلوط آسفالت متخلخل، روند تغییر عمر خستگی در حالت‌های مختلف کرنش یکسان است و عمر خستگی با افزایش کرنش کاهش می‌یابد. در مورد اثر طول الیاف، با افزایش طول فیبر، چرخه‌های شکست ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. و نمونه‌های با ۹ میلی‌متر CBF بالاترین مقادیر خستگی را ارائه کردند. در مورد تأثیر محتویات فیبر، ۰٫۳٪ الیاف عمدتاً

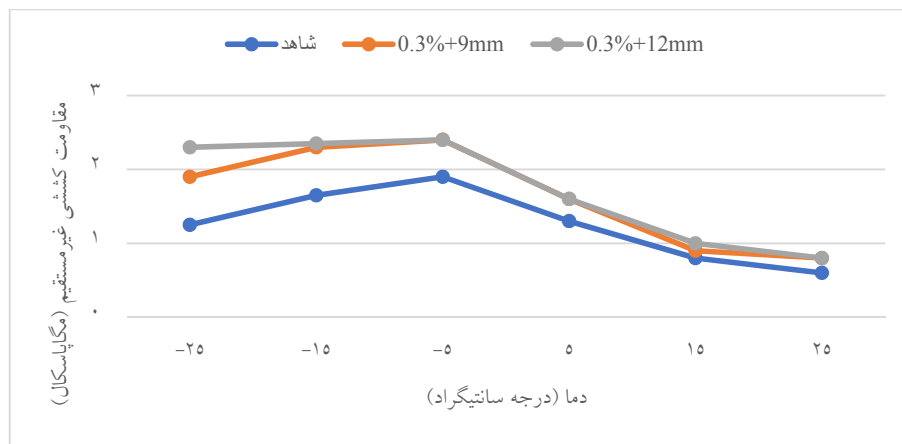


شکل ۷. نتایج خستگی

۴-۲- تست ITS و TSR

آسفالت متخلخل با الیاف به ترتیب در ۲۵- درجه سانتی‌گراد و ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۷,۱٪ و ۴,۶٪ افزایش یافت. علاوه بر این، با افزایش دما، استحکام کششی غیرمستقیم همه مخلوط‌ها با الیاف ابتدا از ۲۵- درجه سانتی‌گراد به ۵- درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و سپس از ۵- درجه سانتی‌گراد به ۲۵ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت و استحکام کششی غیرمستقیم کاهش یافت. هنگامی که دما ۵- درجه سانتی‌گراد است به بالاترین نقطه می‌رسد. همچنین مشاهده شد که طول الیاف هیچ تاثیر آشکاری بر استحکام کششی غیرمستقیم نداشت. با این حال، مخلوط‌هایی با الیاف ۹ میلی‌متری استحکام کششی غیرمستقیم بالاتری را در چندین دما نشان دادند. ما، همراه با نتایج شکل‌های ۲-۷، طول ۹ میلی‌متر و محتوای ۰,۳ درصد فیبر برای بهبود خواص کششی مخلوط آسفالت متخلخل توصیه می‌شود.

خواص کششی مخلوط آسفالت متخلخل می‌تواند عملکرد مقاومت در برابر ترک حرارتی را نشان دهد. بنابراین، مطالعه بیشتر اثرات فیبر بازالت خرد شده بر خواص کششی مخلوط آسفالت متخلخل مهم است. آزمایش‌های کششی غیرمستقیم برای ارزیابی خواص کششی مخلوط‌های آسفالت متخلخل در دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج شکل‌های ۲-۷، نمونه‌هایی با CBF با ۹ میلی‌متر، طول ۱۲ میلی‌متر و محتوای ۰,۳ درصد استفاده شد. مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط آسفالت متخلخل و دما در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۸ مشاهده می‌شود، افزودن هر دو ۹ میلی‌متر و ۱۲ میلی‌متر CBF تأثیر مثبت قابل توجهی بر استحکام کششی مخلوط آسفالت متخلخل در تمام دماهای آزمایشی ایجاد می‌کند. به عنوان مثال، در مقایسه با مخلوط‌های بدون الیاف، استحکام کششی غیرمستقیم مخلوط



شکل ۸. نتایج مقاومت کششی غیرمستقیم نمونه‌ها

۵- نتیجه گیری

در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد، استحکام سنگدانه‌ها به استحکام کششی غیرمستقیم نمونه آزمایشی کمک می‌کند و در نتیجه حداکثر استحکام کششی غیرمستقیم را به همراه دارد. الیاف بازالت خرد شده به خوبی با آسفالت ترکیب شده و در یک ساختار شبکه سه بعدی در مخلوط آسفالت متخلخل توزیع می‌شود که می‌تواند عملکرد مخلوط آسفالت را به طور قابل توجهی تقویت کند.

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان به نتایج زیر دست یافت: -افزودن الیاف بازالت خرد شده می‌تواند عملکرد روسازی مخلوط آسفالت متخلخل را بهبود بخشد و طول و محتوای فیبر توصیه شده به ترتیب ۹ میلی‌متر و ۰,۳٪ است. -افزودن الیاف بازالت خرد شده می‌تواند استحکام کششی غیرمستقیم مخلوط آسفالت متخلخل را بهبود بخشد. تفاوت آشکاری بین طول ۹ میلی‌متر و ۱۲ میلی‌متر الیاف مشاهده نشد. استحکام کششی غیرمستقیم در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد به حداکثر مقدار می‌رسد.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- Chopped Basalt Fiber
- 2- Styrene Butadiene Styrene
- 3- High Viscosity Agent
- 4- Universal Testing Machine
- 5- Indirect Tensile Strength

۷-مراجع

- pavements and air- port runways. *Baltic Journal of Road & Bridge Engineering*, Vol. 11, No. 1, 77–83.
- Muniandy. R. and B. B. K. Huat (2006). Laboratory diametral fatigue performance of stone matrix asphalt with cellulose oil palm fiber,” *American Journal of Applied Sciences*, vol. 3, no. 9, pp. 2005–2010, 2006.
- Sim. J., C. Park, and D. Y. Moon, (2005). Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites Part B: Engineering*, Vol. 36, No. 6-7, 504–512.
- Singletary. J., R. W. Baines, W. Beckett, and K. Friedrich, (1997). Examination of fundamental assumptions of an analytical model of fiber pull-out test,” *Mechanics of Composite Materials & Structures*, Vol. 4, No. 2, 95–112.
- Tapkın. S., (2008). Effect of polypropylene fibers on asphalt performance. *Building & Environment*, Vol. 43, No. 6, 1065–1071.
- Wu. S., Q. Ye, N. Li, and H. Yue, (2007). Effects of fibers on the dynamic properties of asphalt mixtures. *Journal of Wuhan University of Technology—Materials Science Edition*, Vol. 22, No. 4, 733–736.
- Yongchun . C., Z. Chunfeng, T. Guojin et al., (2017). Laboratory study on properties of diatomite and basalt fiber compound modified asphalt mastic. *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. Article ID 1475167, 1-10.
- Abtahi, S. M., M. Sheikhzadeh, and S. Mahdi Hejazi (2010). Fiber reinforced asphalt concrete a review. *Construction and Building Materials*, Vol. 24, No. 6, 871–877.
- Chen. Y. Z. and Z. X. Li, (2012). Study of road property of basalt fiber asphalt concrete. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 238, 22–25.
- Colwill .D. M., G. J. Bowskill, J. C. Nicholls, and M. E. Daines, (1994). Porous asphalt trials in the United Kingdom. *Transportation Research Record*, 13–21.
- Fwa . T. F., S. A. Tan, C. T. Chuai, and Y. K. Guwe, (2001). Expedient permeability measurement for porous pavement surface. *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 2, No. 4, 259–270.
- Gao. Y., Q. Guo, Y. Guo, P. Wu, W. Meng, and T. Jia, (2017). In visitation on reinforced mechanism of fiber reinforced asphalt concrete based on micromechanical modeling. *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2017, Article ID 4768718, 1-12.
- Hsu .T. W., S. C. Chen, and K.-N. Hung (2011). Performance evaluation of asphalt rubber in porous asphalt-concrete mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 23, No. 3, 342–349.
- Kim . K. W. and M. E. Hussein (1997). Variation of fracture toughness of asphalt concrete under low temperatures,” *Construction and Building Materials*, Vol. 11, No. 7-8, 403–411.
- Krayushkina . K., O. Prentkovskis, A. Bieliatynskiy et al., (2016). Perspectives on using basalt fiber filaments in the construction and rehabilitation of highway

Laboratory Evaluation of the Effect of Crushed Basalt Fiber on the Performance of Porous Asphalt Mixture

Sara Choubdar, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: sara_choubdar@civileng.iust.ac.ir

Received: February 2024- Accepted: June 2024

ABSTRACT

Porous asphalt mixture is a type of asphalt mixture with good drainage. However, it has poor tensile performance and durability. Crushed basalt fibers (CBF) have been proven to be an effective additive to improve the mechanical performance and fatigue of asphalt mixtures, but little attention has been paid to porous asphalt mixtures. In this research, the effect of crushed basalt fibers with different lengths (non-fibers, 3 mm, 6 mm, 9 mm and 12 mm) and contents (3% and 4%) on the performance of porous asphalt mixture is investigated. A series of tests were performed to determine the optimal fiber length and percentage, including the shedding test, the cantabro abrasion test, the freeze-thaw split tensile test, the wheel groove test, the low temperature cracking resistance test, and the four-point bending beam test. After that, indirect tensile tests were conducted at different temperatures to investigate the tensile strength properties of porous asphalt mixtures with optimal fiber length and percentage. The results show that the addition of crushed basalt fibers can generally improve the performance of the porous asphalt mixture because the crushed basalt fibers form a three-dimensional network structure in the porous asphalt mixture.

Keywords: Fiber, Basalt, Tensile Strength, Fatigue, Cantabro, Porous Asphalt