فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱
صفحات ۱-۱۱
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

بررسی آزمایشگاهی مقاومت مارشال سه ماده موثر الیاف فورتا و الیاف شیشه ای و زباله PET بر رفتار خستگی مخلوط آسفالت گرم

سجاد کفاش زاده *۱ و مرتضی عراقی۲
۱ . استاد دانشگاه،گروه راه و ترابری،دانشکده مهندسی عمران،دانشگاه صنعتی بیرجند،ایران
۲ . استاد دانشگاه،گروه راه و ترابری،دانشکده مهندسی عمران،دانشگاه بیرجند،ایران
آدرس ایمیل نویسنده:sajjadkaffashzadeh@yahoo.com

چکیده

دانشمندان و مهندسان علم روسازی با توجه به حساس بودن مخلوط آسفالتی و همچنین افزایش وسایل نقلیه و بار وارده به روسازی تلاش می کنند تا خواص و عملکرد مخلوط آسفالتی را بهبود بخشند. امروزه استفاده از اصلاح کننده های پلیمری ، الیافی و نانو موادها برای اصلاح خواص قیر و بهبود عملکرد مخلوط آسفالتی می تواند بسیار کارامد باشد،اما با توجه به هزینه اجرای نسبتا بالا به ندرت رواج پیدا کرده است، بازیافت مواد و استفاده از آن ها به عنوان مواد ثانویه در مخلوط آسفالتی علاوه بر کمک در کاهش هزینه می تواند اثرات محیط زیستی سودمندی داشته باشد.به همین منظوراین مقاله اثرات افزودن الیاف شیشه و زباله های بازیافتی پلی اتیلن تریفتالات بر مخلوط آسفالتی در مقایسه با تاثیراستفاده از الیاف مصنوعی فورتا بر افزایش عمر خستگی مخلوط آسفالتی ازطریق آزمایش کششی غیرمستقیم را مورد بررسی قرار داده است. بامخلوط A.B.Cنتایج آزمایشات اول سه مخلوط با نشان داد که با افزایش افزودنی الیاف شیشهو افزودنی PET مقاومت مارشال و وزن مخصوص نسبت به مخلوط شاهدکاهش و روانی مخلوط افزایش می یابد. و نتایج آزمایش دوم نشان داد با توجه به اینکه افزودنی های مخلوط آسفالتی نقش اصلاح کننده و ممانعت کننده از ایجاد ترک را دارند و بعضی از آنها نقش کنترل دهنده در توسعه ترک را دارند لذا تحقیقات آزمایشگاهی حاکی از آن دارند که الیاف فورتا در مخلوط های مسلح کننده نقش چشمگیری را دارند. همچنین مخلوط دارای بیشترین مقدار افزودنی دارای بهترین رفتار خستگی می باشد

کلیدواژه: الیاف فورتا،ترک خستگی،الیاف شیشه در آسفالت،اصلاح مخلوط آسفالت،آسفالت پلیمریGlass Fiber Ashpalt

۱ - مقدمه

در سالهای اخیر به دلیل افزایش تعداد و وزن وسایل نقلیه عبوری از روی جاده ها، خرابی و اضمحلال روسازی زودتر از زمان پیشبینی شده اتفاق می افتد .خرابی هایی مانند شیارشدگی، ترکهای خستگی و حرارتی باعث کاهش عمر بهره برداری ازروسازی می شود. برای مقابله با این مشکل می توان روش طراحی را تغییر داد یا از مصالح بهترو با کیفیت تراستفاده کرد.یا با استفاده از اصلاح کننده ها و افزودنی ها به قیر و آسفالت خواص قیرو مخلوط آسفالتی را بهبود داد . استفاده از الیاف وپلیمرها به عنوان ریزدانه نیز باعث بهبود خواص و عملکرد آسفالت و درنتیجه کاهش ترک های خستگی ، حرارتی وشیارشدگی می شود.برخی از مزایای استفاده از پلیمرها و الیاف در آسفالت شامل افزایش الاستیسیته و برگشتپذیری، افزایش نقطه ی نرمی وافزایش ویسکوزیته ی قیر می باشد که درنهایت منجر به افزایش دوره بهره برداری از آسفالت یا کاهش ضخامت لایه ی آسفالت می شود. باتوجه به تمام این مزایا قیمت بالای اجرای آسفالت اصلاح شده یکی از عمده ترین معایب آسفالت پلیمری می باشد اما با توجه به کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری راه، مقرون به صرفه به نظر می رسد. هرچند با توجه به قابل بازیافت بودن برخی مواد پلیمری در بسیاری از مواد زباله، استفاده از آن ها به عنوان مواد ثانویه در اصلاح آسفالت ، باعث کاهش هزینه های ساخت و در نتیجه کاهش آسیب های محیط زیستی می شود.

الیاف مورد مطالعه بعدی این مقاله به نام فورتا بوده و ترکیبی از الیاف مصنوعی است که برای استفاده در عملیات روسازی مخلوط آسفالتی طراحی شده است. این الیاف برای مسلح کردن سه بعدی مخلوطهای آسفالتی گرم در نظر گرفته شده است. شرکت فورتا اولین تولیدات خود را جهت استحکام و طول عمر آسفالت در سال ۱۸۹۲ به بازارعرضه نمود.

همچنین در سال ۲۰۱۲ نیز دو محصول الیافی جدید به تولیدات این شرکت اضافه گردید. محصولات فورتا با قابلیت تحمل و کنترل حرارت و مقاومت بالا در برابر ترک خوردگی گزینه ای مناسب جهت حفاظت هرچه بهتر از آسفالت هستند.

پلی اتیلن تریفتالات یکی از انواع اصلی پلاستیک ها می باشند که در زباله های شهری به وفور پیدا می شود .به طوریکه یک پلیمر نیمه کریستالی از گروه پلاستومرهای ترموپلاستیک میباشد و در دسته ی مواد پلی استری قرار می گیرد.

،امروزه در ساخت مواد پلاستیکی مانند بطری های پلاستیکیPET با توجه به سالم بودن، ارزان بودن،شفافیت و مقاومت شیمیایی چالش محیط زیستی رادرسراسر جهان به وجود آورده است.PET،بسته بندی غذا و... بسیار استفاده می شود.از این رو زباله های

الیاف شیشه ای یکی از مشهورترین تقویت کننده های مورد استفاده در صنعت کامپوزیت می باشدکه باتوجه به نوع ترکیبات شیمیایی و کاربرد به نام های مختلفی مانند E-glass، R-glass، S-glass، C-glass، ECR-glassوAR-glasss تولید می شوند الیاف شیشه ای استحکام و سختی مناسبی دارد وخواص مکانیکی خود را در دماهای بالا حفظ می کنند،هرچند مقاومت آن در دمای بالای ۳۱۴ کاهش می یابند دو روش استفاده از افزودنی در مخلوط آسفالتی وجود دارد روش خشک و روش مرطوب. درروش خشک افزودنی ها به طور مستقیم به مخلوط قیر و آسفالت اضافه می شود اما در روش مرطوب افزودنی به قیر اضافه می شود وپس از رسیدن به یک مخلوط همگن به سنگدانه ها اضافه می شود

۲ - مروری برمنابع

امروزه متخصصین راه در پی تکنیکهای جدید در ساخت و ساز روسازی جاده ها هستند که سازگار با محیط زیست باشد.

ترکها در روسازی مشکلات بیشتری را نسبت به انواع دیگر سازه ها ایجاد میکنند، زیرا علاوه بر مشکلات سازه ای در سطح خدمت دهی نیز مشکلات فراوان در پی خواهند داشت. از جمله خرابی های مهم در روسازی، ترک خستگی میباشد که در دماهای متوسط و پایین اتفاق میافتد.گزارشات حاکی از این هستند که روسازی های آسفالتی با سختی، ضخامت، درصد فضای خالی و درصدهای مختلف قیر میتوانند در برابر خستگی رفتار متفاوتی داشته باشند.

با روش مرطوبPET را بررسی کردند و دریافتند که استفاده از PET و همکارانش،روش مرطوب افزودن Casey درسال ۲۰۰۸، و غیرقابل تحمل توسط قیر ،به عنوان افزودنی مناسب نمی باشد.PET به دلیل دمای ذوب بالا درسال ۲۰۱۱ احمدنیا و همکاران،روش خشک استفاده مجدد از زباله های را با ماکزیمم سایز۱,۱۸ میلیمتر را بررسی اثرات مثبتی را برروی خواص

مکانیکی و مشخصات حجمی مخلوط آسفالتی دارد.عمر خستگیPETکردند ودریافتند که افزودن مقاومت بیشتری در PET تحت بارگذاری دینامیکی افزایش یافت و مخلوط دارای بیشترین مقدار PET مخلوط اصلاح شده توسط ترک های خستگی نشان داد. درمطالعات بعدی باانجام آزمایش های ویل تراک، حساسیت رطوبتی و مدول برجهندگی در برای اصلاح مخلوط آسفالت حدود ۵٪ تا ۶٪ نسبت به PET،دریافتند که مقدارمناسب PET اصلاح شده توسط SMA مخلوط به وزن قیر می باشد.

در مطالعه ی دیگری تغییر شکل های ماندگار تحت بارگذاری دینامیکی بررسی شد و دریافتند که در تنش ها و دماهای مختلف به طور قابل توجهی کاهش یافت.

PET تغییرشکل های ماندگار با افزودن باوجود سفتی کمتر، مقاومت بیشتری در مقابل تغ با توجه به نتایج آزمون کشش غیرمستقیم،مخلوط اصلاح شده توسط شکل های ماندگار دارد. بر مدول برجهندگی دریافتند که در دماهای بالا اثر هردو افزودنی بر سفتی SBS^2 و PET مدرس و همکاران ،با مطالعه اثرات نقش بیشتری در کاهش سفتی و در نتیجه کاهش ترک های حرارتی دارد.SBS مخلوط یکسان می باشد اما در دماهاتی پایین و همکاران،اثرات افزودن الیاف شیشه ای بر خواص مخلوط Mahrez آسفالتی را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که افزایش الیاف شیشه باعث کاهش مقاومت مارشال،افزایش روانی و فضای خالی در مخلوط آسفالتی می شود. نتایج نشان داد که الیاف شیشه خواص مخلوط آسفالتی را در برابر خرابی های سازهای که به دلیل تکرار بار به وقوع می پیوندند ، را بهبود داده است.

با بررسی افزودن الیاف شیشه به مخلوط آسفالتی دریافتند که مدول برجهندگی مخلوط اصلاح شده بیشتر از مخلوط معمولی می باشد. همچنین با انجام آزمایش ویل تراک، نشان دادند که مخلوط اصلاح شده توسط الیاف، مقاومت بهتری در برابر شیارشدگی دارد..ابطحی و همکاران، با بررسی ترکیب الیاف شیشه و الیاف پروپیلن به مخلوط، ۰٫۱درصد الیاف شیشه و ۶٪ پلی پروپیلن به عنوان ترکیب بهینه ، اثرات مثبتی در مقاومت مارشال و روانی مخلوط آسفالتی داشته است.

در بررسی که خصوصیات خستگی مخلوط آسفالتی اصلاح شده با سه نوع الیاف (سلولزی، پلیاستری و الیاف معدنی) رامورد ارزیابی قرار داد، این نتیجه حاصل شد که مخلوط با الیاف پلی استر تاثیر بهتری نسبت به دو نوع دیگر روی خصوصیات خستگی دارد.

در تحقیق دیگری این نتیجه حاصل شد که مقاومت کششی، خمشی و دوام مخلوطهای آسفالتی میتواند با افزودن الیافها بهبود یابد و این عملکرد تحت تاثیر نوع، میزان و قطر الیاف است.

باتوجه به آزمایشهای انجام شده بر روی بتن الیافی و مشاهده تاثیر الیاف پلیپروپیلن بر رفتار بتن تراورس، مشخص شد مقدار بهینه الیاف پلیپروپیلن ۱٫۷ انتخاب شده و متاثر از آن مقاومتهای کششی و خمشی به ترتیب ۳۳ و ۱۱ درصد افزایش پیدا کرده است. درتحقیقات گذشته تاثیر استفاده از الیاف شیشه بر عمر خستگی مخلوط آسفالتی مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که با افزودن ۱٫۱۵ درصد الیاف شیشه به مخلوط آسفالتی، عمر خستگی آن تا ۳۱ درصد افزایش می یابد. در پژوهشی که الیاف فورتا را در بتن آزمایش کردند، دریافتند با افزایش مقدار الیاف فورتا در بتن، مقاومت خمشی نمونه ها تا ۴ درصد افزایش پیدا کرده است.درتحقیقاتی که شرکت تولیدکننده الیاف فورتا انجام داد نتایج زیر حاصل شد؛ افزودن ۱٫۵کیلوگرم الیاف فورتا در ۱ تن

۳ - مخلوط آسفالتی

مدول آسفالت را ۱٫۳ تا ۱٫۹ برابر افزایش داده که کاهش ضخامت لایه آسفالتی و لایه های زیرسازی را در پی داشته است. مقاومت در برابر ترکهای حرارتی ۱٫۵ برابر شده است. مقاومت در برابر گسترش و انعکاس ترک ها ۴۱ برابر بیشتر گشته است.

۴ - مصالح ساخت نمونه مخلوط آسفالتی همراه ترکیبات الیاف شیشه و زباله های PET

۴ – ۱ - مصالح سنگی :

مصالح سنگی مورد استفاده از کارخانه ی سنگ شکن جوکار در یاسوج میباشد که نمودار توزیع دانه بندی مصالح سنگی مصرفی در جدول شماره ی ۱ و مشخصات مصالح در جدول شماره ی ۳ مشاهده می شود.

۴ – ۲ – قیر :

قیر استفاده شده در آزمایش با درجه ی نفوذ ۶۰ - ۷۰ از پالایشگاه شیراز می باشد که مشخصات فیزیکی قیر در جدول شماره ی ۳ مشاهده می شود.

۴ – ۳ – مواد افزودنی :

از بطری های پلاستیکی تهیه شده اند که در ابتدا بطریها را شسته PET و سپس خشک و به قطعات کوچک بریده و آنها را توسط ماشین خردکن، خرد کرده و با الک کردن به دانه بندی مورد نظرخواهیم رسید. الیاف می باشد.AR_glass شیشه مورد نظراین پروژه از نوع در جدول ۲ آورده شده است.شکل شماره ۱ نشان دهندهPET و الیاف شیشه درجدول های شماره ۳ ودانه بندی PET مشخصات می باشد.

جدول ۱ : جدول توزیع مصالح سنگی

حد وسط	حد بالا	حد پایین	اندازه الک
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۹
۹۵	۹۰	۱۰۰	۱۲/۵
۵۹	۴۴	۷۴	۴/۷۵
۴۳	۲۸	۵۸	۲/۳۶
۱۳	۵	۲۱	۰/۳
۶	۲	۱۰	۰/۰۷۵

جدول ۲ : توزیع دانه بندی PET

اندازه الک(میلیمتر)	درصد عبوری(٪)
۲/۳۶	۱۰۰
۱/۱۸	۲۷
۰/۴۲۵	۵

جدول ۳ : مشخصات فیزیکی مصالح مصرفی

مشخصات مصالح سنگی ،قیر وPET	استاندارد	واحد	مقدار	مقدار استاندارد
درشت دانه				
وزن مخصوص	ASTM C127	gr/Cm3	۲/۶۰	-
درصد سایش لوس آنجلس	ASTM C131	درصد	۲۴	کمتر از ۳۰
تطویل	BS 812	درصد	۱۵	کمتر از ۲۰
تورق	BS 933	درصد	۱۴	کمتر از ۲۰
جذب آب	ASTM C127	درصد	۰/۷۲	کمتر از ۲
ریز دانه				
وزن مخصوص	ASTM C128	gr/Cm3	۲/۶۳	-
جذب آب	ASTM C128	درصد	۰/۴	کمتر از ۲
قیر				
درجه نفوذ در دمای ۲۵ °C	ASTM D5	۰/۱ میلیمتر	۶۶	۶۰تا ۷۰
وزن مخصوص در دمای ۲۵ °C	ASTM D70	gr/Cm3	۱/۰۲۰	-
نقطه نرمی بر حسب درجه سانتی گراد	ASTM D36	° C	۵۲	۴۹
مقدار کشش در دمای ۲۵ °C	ASTM D113	Cm	بیشتر از ۱۰۰	حداقل ۱۰۰
PET				
جذب آب	ASTM D570	درصد	۰/۱۱	-
مقاومت کششی	ASTM D638	Psi	۱۱۵۰۰	-
دمای انتقال شیشه ای	-	° C	۷۵	-
دمای ذوب	-	° C	۲۵۰	-
وزن مخصوص	ASTM D792	gr/Cm3	۱/۳۵	-
AR-glass				
قطر	-	µm	۱۵	-
طول	-	mm	۱۲	-
جذب آب	-	٪	≥0/2	-
وزن مخصوص	-	gr/Cm3	۲/۷۴	-
مقاومت کششی تک رشته الیاف	-	GPa	۲/۵	-

شکل ۱ : خرده های بازیافتی PET (سمت راست) و خرده های الیاف شیشه (سمت چپ)

۵ - مصالح ساخت نمونه حاوی فورتا

۵ – ۱ - مشخصات الیاف فورتا :

الیاف نوع HMA برای کار در دمای ۱۲۰تا ۱۹۰ درجه سانتی گراد طراحی شده اند.

- قابلیت استفاده در هر دو نوع میکسر Batch و Drum را دارند.
- قابلیت مخلوط و پخش شدن در تمامی بافت های آسفالت را دارند.

جدول ۴ : ویژگی فیزیکی الیاف فورتا

ردیف	مواد	پلی‌الفین	آرامید
۱	شکل	رشته‌های تابیده‌ای و تک رشته‌ای	تک رشته‌ای
۲	وزن مخصوص	۰,۹۱	۱,۴۴
۳	مقاومت کششی (psi)	۷۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰
۴	طول (میلیمتر)	۱۹	۱۹
۵	رنگ	مشکی	زرد
۶	مقاومت اسیدی/بازی	بی اثر	بی اثر
۷	دمای ذوب(°C)	۱۰۰	۴۲۷

الیاف فورتا به میزان ۰,۵ کیلوگرم در آزمایشگاه و ۱,۵ کیلوگرم در کارخانه مورد استفاده قرار میگیرد.

۶ – آماده سازی نمونه ها و آزمایشات

تمام نمونه های معمولی و اصلاح شده با درصد قیربهینه براساس استاندارد ASTM D1559 ساخته شده است.بدین منظور در ابتدا قیرو ۱۱۰۰ گرم مصالح سنگی به ترتیب دمای ۱۳۰درجه سلسیوس و ۱۶۰درجه سلسیوس ،گرم وسپس با هم مخلوط شدند و بعد از آن ذراتPET و الیاف شیشه به طور مستقیم به مخلوط اضافه (روش خشک) شد و سپس مخلوط از طریق ضربه ۷۵ تایی به هرطرف نمونه و در دمای ۱۴۰درجه سلسیوس نمونه متراکم شد.به طور کلی ۴ نوع مخلوط با درصد های مختلف PET و الیاف شیشه ساخته شد که مشخصات هر ترکیب در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۵ : نحوه ترکیب الیاف و ذرات PET در مخلوط آسفالتی

نام مخلوط	درصد الیاف شیشه (نسبت به وزن کل مخلوط)	درصد PET (نسبت به وزن کل مخلوط)
شاهد	۰ درصد	۰ درصد
A	۰/۵ درصد	۰/۳ درصد
B	۰/۴ درصد	۰/۴ درصد
C	۰/۵ درصد	۰/۴ درصد

الیاف فورتادر آزمایشگاه به مقدار ۱,۵ کیلوگرم و در کارخانه به مقادیر ۱,۵ و ۱ کیلوگرم در هر تن آسفالت مورد استفاده قرار می گیرد.

۷-آزمایشات

۷ – ۱ – آزمایشات اثر افزودن ترکیب PET و الیاف شیشه برمخلوط آسفالتی واحدها

۷ – ۱ – ۱ – آزمایش وزن مخصوص :

آزمایش وزن مخصوص براساس استاندارد ASTM D2726 انجام شد.نمونه ها سه بار وزن شدند.اول وزن خشک نمونه اندازه گیری شد.دوم وزن نمونه در آب اندازه گیری شد و سوم نمونه را به مدت ۴ دقیقه در آب قرار داده و سپس با یک دستمال مرطوب سطح آن را خشک کرده و وزن آن اندازه گیری شد.با داشتن این ۳ مقدار، وزن مخصوص از رابطه ی ۱ بدست می آید:

$$BSG = \frac{A}{(B - C)}$$

که در آن

BSG : وزن مخصوص حقیقی آسفالت

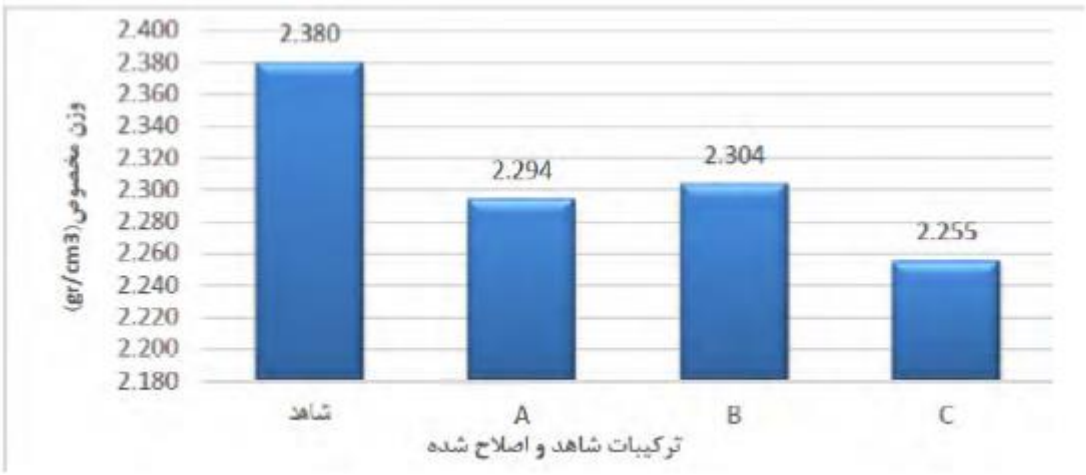
A : وزن خشک در هوا

B : وزن نمونه اشباع با سطح خشک

C : وزن نمونه در آب

تحلیل آزمایش :

شکل شماره ۲ اثرات افزودن PET و الیاف شیشه را بر وزن مخصوص آسفالت نشان می دهد.همانطورکه مشاهده می شود ترکیب شاهد دارای بیشترین وزن مخصوص می باشد.افزودنی ها به دلیل اینکه نقش ریزدانه را در مخلوط اجرا می کنند ابتدا باعث پرشدن فضای خالی مخلوط می شوند و پس از پرکردن تمام فضای خالی مخلوط موجب دورشدن مصالح سنگی و افزایش حجم مخلوط و درنتیجه کاهش وزن مخصوص مخلوط آسفالت می شود.به همین دلیل است که ترکیب C که دارای بیشترین مقدار افزودنی می باشد دارای کمترین مقدار وزن مخصوص می باشد.



شکل ۲ : اثرات ترکیب PET و الیاف شیشه بر وزن مخصوص مخلوط آسفالتی

نتایج آزمایش مارشال در جدول شماره ۶ آورده شده است.همانطورکه نتایج نشان می دهد ترکیب الیاف و PET باعث کاهش مقاومت مارشال و افزایش روانی مخلوط آسفالتی می شود، که این امر می تواند به دلیل کاهش اصطکاک داخلی مخلوط آسفالتی باشد.

جدول ۶ : نتایج آزمایشات مارشال نمونه های شاهد و اصلاح شده توسط PET و الیاف شیشه

نوع ترکیب	روانی(mm)	مقاومت مارشال(Kg)
شاهد	۲/۱۶۶	۱۰۲۷/۵۷۴
A	۳/۱۳۳	۸۷۷/۸۴۳
B	۳/۰۳۳	۹۲۶/۸۱۰
C	۳/۱۶۷	۷۹۹/۳۴۸

۷ – ۱ – ۲ – آزمایش مقاومت مارشال و روانی :

آزمایش مارشال با استفاده از استاندارد ASTM D1559 انجام شد.برای این آزمایش نمونه ها قبل از آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه درون آب گرم ۶۰ درجه سلسیوس قرادادە شد و پس از این زمان در دستگاه مارشال قرار گرفت و فورا آزمایش انجام شد.مقاومت مارشال حداکثر باری می باشد که در کرنش ثابت (۲اینچ در دقیقه) منجر به شکست نمونه شود.روانی نیز تغییر شکل قائم در لحظه شکست می باشد.

تحلیل آزمایش :

شکل شماره ی ۳ اثرات PET را برروی نسبت مارشال مخلوط آسفالتی را نشان می دهد. نسبت مقاومت مارشال به روانی آن را نسبت مارشال می گویند.همانطور که مشاهده می شود نسبت مارشال با اضافه شدن PET کاهش می یابد و به عبارتی دیگر با اضافه شدن PET از صلبیت مخلوط آسفالتی کاسته می شود که به دلیل کاهش اصطکاک داخلی مخلوط آسفالتی می باشد.از نسبت مارشال مطابق یک روش اروپایی و مطابق استاندارد TRRL،برای تعیین پتانسیل شیارشدگی و معیاری برای صلبیت لایه آسفالتی استفاده می شود که با توجه به محدوده مجاز تعریف شده حداقل و حداکثر مقدار نسبت مارشال به ترتیب برابر ۱۷۴ و ۶۸۸ کیلوگرم بر میلی متر می باشد.

شکل ۳ : اثرات افزودن الیاف شیشه و ترکیبات PET بر نسبت مارشال مخلوط آسفالتی

۷ – ۱ – ۳ – آزمایش خستگی تیرچه خمشی :

به منظور انجام خستگی تیرچه خمشی، نمونه های تخته ای شکل مخلوط های آسفالتی معمولی و اصلاح شده با استفاده از تراکم غلتکی ساخته و متراکم شدند.نمونه های مذکور توسط اره برقی برش داده شده و تیرچه های آسفالتی با ابعاد با مندرج در استاندارد آماده شدند.AASHTO T321 آزمایش خستگی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس با بارگذاری نیمه سینوسی و کرنش ثابت ۸۰۰ میکرو انجام پذیرفت.عمر خستگی برابراست با تعداد سیکل متناظر با تعداد سیکل بارگذاری متناظر با ۷۰ درصد سفتی اولیه نمونه شد.

تحلیل آزمایش :

جدول شماره ۷ نتایج آزمایش خستگی تیرخمشی را نشان می دهد.نتایج نشان می دهد که الیاف تاثیر مثبتی بر فتا خستگی مخلوط آسفالتی دارد،به طویکه با وجود سفتی بیشت مخلوط شاهد نسبت به سایر نمونه های اصلاح شده، این نمونه با تعداد سیکل بارگذاری کمتری نسبت به سایر نمونه ها به شکست (۷۰درصد سفتی اولیه) رسیده است. همچنین می توان به این موضوع اشاره کرد که هرچقدر مقدار الیاف بیشتر شده است، نمونه با تعداد سیکل بارگذاری بیشتری به شکست رسیده است.به عنوان مثال مخلوط C که دارای بیشترین مقدار الیاف نسبت به سایر مخلوط ها می باشد بیشترین سیکل بارگذاری را تا شکست مخلوط تحمل کرده است.

جدول ۶ : نتایج آزمایش تیرچه خمشی

نوع ترکیب	سفتی اولیه(MPa)	سفتی نهایی(MPa)	تعداد سیکل نهایی خستگی
شاهد	۲۳۹۷	۷۱۹	۲۶۸۴۰
A	۱۶۲۶	۴۸۸	۵۵۵۱۰
B	۱۹۶۵	۵۹۰	۴۹۹۶۰
C	۱۴۹۹	۴۵۰	۶۸۲۵۰

۷ – ۲ - آزمایشات مربوط به نمونه حاوی فورتا

۷ – ۲ – ۱ آزمایش کشش مستقیم :

یک نوع آزمایش خستگی است که بارگذاری به صورت تکراری بر یک نمونه سیلندری وارد میشود به طوری که بار فشاری بروجه های استوانهای و به صورت موازی و قائم اعمال میشود. این شکل بارگذاری سبب تنش کششی یکنواختی درنمونه شده که عمود برجهت بارگذاری و در طول نمونه استوانه خواهد بود. به طور معمول پالس بارگذاری دراین آزمایش نیمه سینوسی است. تغییر شکل افقی نمونه به صورت تابعی از سیکل بارگذاری ثبت میشود وعمرخستگی نمونه که متناظر با خرابی نمونه است، بدست میآید.

تعیین میشود ترک خوردگی ناشی از خستگی یک نوع خرابی روسازی است که عموما در دماهای میانی سرویس دهی روی میدهد لذا دمای ۲۱ درجه برای انجام آزمایش پیشنهاد میشود.

دو نوع بارگذاری کنترل شده در این آزمایش میتوان اعمال کرد: تنش کنترل شده و کرنش کنترل شده. در روش اول تنش ثابت میماند و کرنش نمونه با افزایش تعداد تکرار بار افزایش مییابد. در روش کرنش کنترل شده، کرنش ثابت میماند و با افزایش تعداد تکرار بار، مقدار تنش کاهش می یابد.

۸ - نتیجه گیری

- با افزایش افزودنی الیاف شیشه و PET وزن مخصوص مخلوط آسفالتی کاهش می یابد.
- افزایش الیاف شیشه و PET باعث کاهش اصطکاک داخلی و درنتیجه باعث کاهش مقاومت مارشال و افزایش روانی می شود.
- با کاهش نسبت مارشال مخلوط اصلاح شده توسط الیاف شیشه و PET پتانسیل شیارشدگی مخلوط آسفالتی بیشتر می شود.
- مخلوط دارای بیشترین مقدار الیاف بهترین رفتار خستگی می باشد و تعداد سیکل بیشتری را برای رسیدن به مرحله شکست تحمل می نماید.
- به دلیل عملکرد ضعیف اختلاط آزمایشگاهی الیاف فورتا در مخلوط آسفالتی، آزمایش خستگی مخلوط در کارخانه انجام گرفت.
- رفتار و عملکرد خستگی مخلوطهای مسلح شده با الیاف فورتا در مقایسه با مخلوط شاهد بهبودی چشمگیر داشت
- عمر خستگی مخلوط مسلح شده با ۱,۵ و ۱ کیلوگرم الیاف در هر تن آسفالت، به ترتیب ۲ و ۳۴ برابر بیشتر از مقدار آن برای مخلوط شاهد است.
- افزایش مقدار الیاف از ۱,۵ به ۱ کیلوگرم باعث بهبود قابل ملاحظه عمر خستگی گردید.
- به طور کلی مسلح نمودن مخلوطهای آسفالتی با حداقل مقدار ۱,۵ کیلوگرم الیاف در هر تن آسفالت،رفتار الاستیک را افزایش میدهد که منجر به افزایش عمر خستگی مخلوط آسفالتی میشود.

مراجع:

[1] Cleven, M.A. Investigation of the Properties of Carbon Fiber Modified Asphalt Mixtures. Master
Thesis, Michigan Technological University, 0222.

[2] میرزایی، ا. نصرالهی، م. بررسی خواص روسازی های آسفالتی تقویت شده با الیاف پلی استر، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز، ۱۳۸۸

[3] Aravind, K and Das, A. Dynamics of structures: Pavement design with central plant hot mix recycled
asphalt mixes, Constr Build Mater, 0222.

[4] Moghadas Nejad, F. Aflaki, E and Mohammadi, M.A. Dynamics of structures: Fatigue behavior of
SMA and HMA mixtures, Construction and Building Materials, 0212.

[5] NCHRP APPENDIX II-1, Calibration of fatigue cracking models for flexible pavements, 0222.

[6] Qunshan, Ye. Aksoy, A. Tayfur, S and Celik, F. Laboratory performance comparison of the
elastomer-modified asphalt mixtures, Build Environ, 0222.

[7] Aravind, K. Shaopeng, Wi and Ning, Le. Dynamics of structures: Investigation of the dynamic andfatigue properties of fiber-modified asphalt mixtures, International Journal of Fatigue, 0222

[8] Ferrotti, G and Canestrari, F. Dynamics of structures: Experimental characterization of highperformance fiber-reinforced cold mix asphalt mixtures, Construction and Building Materials, 0212.

[9] اسماعیلی، م. قهاری، ع. بررسی آزمایشگاهی تأثیر الیاف پلی پروپیلن بر رفتار بتن تراورس، مجله علمی- پژوهشی عمران . مدرس، تهران، ۱۳۸۱

[10] لطفی، ع. عامری، م. حسامی، ا. بررسی آزمایشگاهی استفاده از الیاف پلیپروپیلن در مخلوطهای آسفالتی
اولین کنفرانس بین المللی انسان، عمران، معماری، شهرسازی، تبریز، ۱۳۹۴

[11] رنجبر، م. مدندوست، م. فدایی، ر. تاثیر الیاف فورتا بر خواص مکانیکی بتن تازه، ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، .تهران، ۱۳۹۳

[12] Matthews JM, Monismith CL. The effect of aggregate gradation on the creep response of asphalt mixtures and pavement rutting estimates. ASTM STP 1992;1147

[13] Balghunaim F, Al-Dhubaib I, Khan S, Fatani M, Al-Abdulwahhab H, Babshait A.Pavement rutting in the Kingdom of Saudi Arabia: adiagnostic approach to the problem. In: Proceedings of 3rd IRF middle east regional meeting, vol. 6,Riyadh, Saudi Arabia, February; 1988. p. 210–32

[14] Abdulshafi A. Rutting-review of existing models and some application to Saudi Arabia. In: Proceedings of 3rd IRF middle east regional meeting, vol. 6, Riyadh,Saudi Arabia; February 1988. p. 244–56.

[15] Zahw MAA. Development of testing framework for evaluation of rutting resistance of asphalt mixes. A Thesis submitted to the Faculty of Engineering,Al-Azhar University in fulfilment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in Civil Engineering; 1996

[16] Tayfur S, Ozen H, Aksoy A. Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. Constr Build Mater 2007;21:328–37

[17] Tortum A, Celik C, Aydin AC. Determination of the optimum conditions for tire rubber in asphalt concrete. Build Environ 2005;40:1492–504.

[18] Siddique R. Recycled/waste plastic. Waste materials and by-products in,concrete. @Springer 2008. [chapter 3.[

[19] Li Y, White DJ, Lee Peyton R. Composite material from fly ash and postconsumer PET. Resour Conserv Recycl 1998;24:87–93