

تأثیر الیافهای پلی پُرپلین بر کارایی و اجرای آسفالت

نوید کریمی فرد¹، احسان الیاسی²

1- دانشجوی کارشناسی عمران، کرمانشاه، دانشگاه رازی

2- دانشجوی کارشناسی عمران، کرمانشاه، دانشگاه رازی

N.Karimifard@Gmail.com

چکیده:

الیاف پلی پُرپلین در بسیاری از جاها در مهندسی عمران مورد استفاده قرار گرفته است و در سالهای بسیار به کار گرفته شده است. این الیاف ها در مقاوم سازی ثانویه ابعاد بتنی استفاده می شوند. به دلیل چسبندگی بین الیاف پلی پُرپلین و قیر، طرز کار مقاوم سازی در بتن آسفالتی به نوعی متفاوت است. در این مطالعات، نمونه بتنی آسفالتی همراه الیاف پلی پُرپلین در حجم قیر بهینه تولید می شود. مشاهده شده است که برای مقاومت الیاف نمونه مقدار مقاومت مارشال افزایش پیدا کرده و مقدار جریان و روان شدن به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد. عمر خستگی این نمونه غالباً افزایش پیدا می کند. بهبود بخشیدن به خواص بتن آسفالتی اثرات مثبت الیاف پلی پُرپلین را نشان می دهد. ترکیب آسفالت مقاوم شده با الیاف مقاومت در برابر حفظ اثر چرخها و طولانی کردن عمر خستگی و کاهش ترکها را نمایش می دهد. بنابراین نتیجه می گیریم که با به کارگیری الیاف پلی پُرپلین خواص اختلاط آسفالت را به مقادیری خیلی سودمند تغییر می دهد.

مقدمه:

الیاف پلی پُرپلین در گستره زیادی به منظور عامل افزایش مقاومت بتن به کار می رود [1-5]. الیاف پلی پُرپلین مقاومت ابعاد بتن را فراهم می کند. از این راه بتنی بسیار بادوام و سخت خواهد شد. هر چند که این الیافها نمی توانند جایگزینی شبکه های تقویتی شوند. الیاف های پلی پُرپلین در مرحله دوم مقاوم سازی به کار می روند و تا حدودی با جایگزین شدن الیاف فولادی موجب اقتصادی شدن طرح می شوند.

پلی پُرپلین یکی از اجزای اساسی افزایش مقاومت بتن است. الیاف پلی پُرپلین غالباً در ایالات متحده برای اصلاح بتن آسفالتی مورد استفاده قرار می گیرد. اداره ترابری الیاف آهایو (ODOT) یک آیین نامه استاندارد برای استفاده از الیاف پلی پُرپلین در بتن آسفالتی با مقاومت بالا انتشار کرده است. در این استاندارد راهنمای جزئیات در محصولات آماده شده است، آسفالت ریزی و فشرده سازی بتن آسفالتی همراه با الیاف پلی پُرپلین.

بر طبق این استاندارد اجرای زیاد ترکیب بتنی آسفالتی با حرارت زیاد ترکیبی از سنگدانه ها و قیر و الیاف پلی پُرپلین است. سنگدانه ها و قیر باید مطابق اداره ترابری الیاف آهایو (ODOT) باشد و اجزای ترکیب باید شامل الیاف پلی پُرپلین به مقدار مورد نیاز باشند.

الیاف پلی پُرپلین باید به طوری ویژه ای برای استفاده در اختلاط بتن آسفالتی ساخته شوند. الیاف ها باید مطابق مشخصات تولید کننده یک گونه ی یکنواخت و با رنگ استاندارد باشند و همیشه باید مطابق الزامات تعیین شده در جدول 1 باشند. بر مبنای یک پژوهش گسترده

انجام شده توسط اداره ترابری الیاف آهایو، الیاف پلی پُرپلین باید به نسبت $2/7 \text{ kg/ton}$ به اختلاط آسفالت اضافه شود به هر حال این نسبت می تواند خواص مکانیکی آسفالت روسازی را به مقدار مطلوب تغییر دهد.

الیاف ها باید به اختلاط توسط توصیه های سازنده برای حرارت اولیه دانه ها و به منظور چسبندگی اولیه آسفالت اضافه شوند. سنگدانه ها و الیاف ها باید به صورت خشک برای 10 s بعد از تهیه اولیه الیاف ها ترکیب شوند.

زمان این اختلاط می تواند در صورت بدست نیامدن نتایج رضایت بخش افزایش پیدا کند. در این پژوهش نظریه تغییر و تبدیل اختلاط آسفالت با الیاف های پلی پُرپلین بیشتر توسعه داده شده و مورد امتحان قرار گرفته است.

Table 1
The physical properties of polypropylene fibers as specified by Ohio Department of Transportation [10]

Characteristic	Value	Standard
Denier, grams per denier	4 ± 1	ASTM D-1577
Length, mm	10 ± 2	—
Tensile strength (minimum), MPa	276	ASTM D-638
Specific gravity, kg/m^3	910 ± 4	ASTM D-792
Melting temperature, $^{\circ}\text{C}$	160	—

Table 2
The physical properties of polypropylene fibers

Characteristic	Value	Standard
Homogeneity, %	100%	—
Color	polypropylene	—
Length, mm	3–50	—
Melting temperature, $^{\circ}\text{C}$	160	—
Specific gravity, kg/m^3	910	ASTM D-792
Fire point, $^{\circ}\text{C}$	590	—
Glass transition temperature, $^{\circ}\text{C}$	-18	—
Alkali resistance as % of strength retained after treatment in 40% NaOH solution at 20 $^{\circ}\text{C}$ for 1000h	99.5	—
Water absorption, %	0.01–0.02	ASTM D-570
Moisture retention, at 20 $^{\circ}\text{C}$ and 65% relative humidity	< 0.1%	—
Rupture resistance, MPa	31–41	ASTM D-638
Elongation, %	≥ 33	ASTM D-638
Elongation at rupture, %	100–600	ASTM D-638
Tensile strength, MPa	31–37	ASTM D-638
Compressive strength, MPa	37–55	ASTM D-695
Bending strength, MPa	41–55	ASTM D-790
Tensile modulus, MPa	1137–1551	ASTM D-638
Bending modulus, 73 $^{\circ}\text{F}$, MPa	1172–1723	ASTM D-790
Hardness, Rockwell	R80–R102	ASTM D-785
Thermal expansion, linear, $\text{m/m}/^{\circ}\text{C}$	0.031–0.039	ASTM D-696

2- برنامه آزمایشی

نمونه های مارشال در شرایط آزمایشگاهی مطابق ASTM D 1559-76 آماده می شوند. برای اختلاط یکپارچه حرارت اختلاط باید کمتر از 143°C باشد. آزمایش مقاومت مارشال و آزمایش روانی استفاده می شوند و آزمایش کشش غیر مستقیم به منظور محاسبه عمر خستگی نمونه آسفالت انجام داده می شود. این آزمایش ها برای امتحان کردن تأثیر مثبت الیاف پلی پُرپلین مطرح شده اند.

1-2 مواد

خواص فیزیکی پلی پُرپلین مورد استفاده در این مطالعات به طور مختصر در جدول 2 نشان داده شده است. دانه های اساس حاوی آهک و کلسیم بدست آمده از معدن و $\frac{60}{70}$ نفوذ قیر در تمام آزمایشات استفاده شده است.

خواص فیزیکی قیر و سنگدانه ها در جداول 3 و 4 آماده شده اند. وزن مخصوص $\frac{2715}{m^3} kg$ ، $\frac{2534}{m^3} kg$ به ترتیب برای دانه های درشت و برای دانه های ریز بدست آمده است.

درجه بندی سنگدانه ها (جدول 5) بر طبق معیار چگالی مورد کاربرد و استاندارد استفاده انتخاب شده است.

2-2 نسبت اختلاط

آزمایشات مقدماتی بر روی نمونه های مارشال (آماده شده همراه با 50 بار دمیدن در هر طرف) مبنای نسبت اختلاط مورد استفاده در این آزمایش است.

در این آزمایش حجم قیر بهینه 5/5٪ تعیین شده است (5/5٪ توسط وزن اختلاط آسفالت) در این تحقیق بتن آسفالتی همراه 0/3٪ و 0/5٪ و 1٪ از الیاف های پلی پُرپلین مورد بررسی قرار گرفته است

3-2 راه اندازی آزمایش و انجام امتحانات

نتایج امتحانات مقادیر مقاومت و روانی مراجع اختلاط ها را فراهم می کند گذشته از این وزن واحد، درصد حجم هوا، حجم سنگدانه های معدنی (VMA) و حجم پر شده توسط آسفالت (V_f) برای بررسی های طراحی مهم هستند.

Table 3
The physical properties of bitumen used in experiments

Property	Test value	Standard
Penetration at 25 °C, 1/10 mm	63.5	ASTM D 5-73
Penetration Index	+ 1.2	—
Ductility at 25 °C, cm	>100	ASTM D 113-79
Loss on heating, %	0.06	ASTM D 6-80
Specific gravity at 25 °C, kg/m ³	1036	ASTM D 70-76
Softening point, °C	57.2	ASTM D 36-76
Flash point, °C	230	ASTM D 92-78
Fire point, °C	270	ASTM D 92-78

Table 4
The physical properties of coarse aggregates used in experiments

Property	Test value	Standard
Bulk specific gravity, kg/m ³	2695	ASTM C 127-80
Apparent specific gravity, kg/m ³	2715	ASTM C 127-80
Water absorption, %	0.29	ASTM C 127-80
Bitumen absorption, %	0.15	ASTM C 127-80

Table 5
Type 3 wearing course gradation according to General Directorate of Highways of Turkey

Sieve size, mm	Gradation limits, %	Passing, %	Retained, %
12.7	100	100	0
9.52	87-100	93.5	6.5
4.76	66-82	74	19.5
2.00	47-64	55.5	18.5
0.42	24-36	30	25.5
0.177	13-22	17.5	12.5
0.074	4-10	7	10.5
Pan	—	—	7

خستگی توسط پدیده شکست تحت تنش های نوسانی و مکرر که در حالت کلی دارای مقداری بیشتر از مقاومت کششی مواد است تعریف می شود.

یک تعریف دیگر برای خستگی یک فرایند پیش رونده دائمی در موضع خاص ساختمانی است که در ماده ای که در موقعیت های تنش های نوسانی و کرنش در بعضی نقطه یا نقاط قرار می گیرد ممکن است در تعداد نوسانات کافی ترکها به حداکثر برسد و یا شکست کامل شود .

خستگی در سطح رویه آسفالت روسازی توسط تکرار بار وسایل نقلیه اعمال شده که موجب تنش های نوسانی و کرنش در سطح لایه رویینی قیر است بوجود می آید .

تحت بارهای ترافیکی لایه های ساختار روسازی انعطاف پذیر مورد اعوجاج های پیوسته قرار می گیرد . مقدار کرنش به سختی کل و ماهیت روسازی وابسته است .

به هر حال معروف است که کرنش کششی در گروه $(200 \times 10^{-6} - 30 \times 10^{-6})$ که در بار چرخ استاندارد اتفاق می افتد . تنش های تجمع یافته که سبب پدیده خستگی می شود نتیجه ترکهای مشاهده شده به صورت نقشه یا طرح سوسماری در رویه است .

ترکهای خستگی در ابتدا بدون تغییر شکل های دائمی در بتن آسفالت روسازی اتفاق می افتد . این ترکهای ابتدایی نمی توانند برای جزء اصلی شکست روسازی در مفهوم کاهش توانایی برای خدمت دهی به ترافیک پذیرفته شوند . به هر حال این چنین ترکهایی شکست روسازی را تسریع می کند که باعث کاهش تخمینی لایه اساسی زیرین ، اثرات مخرب بارهای چرخ ها و ورود آب است . یکی دیگر از اثرات مخرب ترک ها مربوط است به مقدار ازهم پاشیدگی در موقعیت این چنین ترکها .

آزمایش کشش غیر مستقیم بار تکرار شونده معمولاً در آزمایش کشش برای تثبیت مورد استفاده می شود .

در گذشته این آزمایش برای بتن یا ساروج استفاده می شود . هر چند به طور معمول این آزمایش بر روی به عمل آوردن شن و سیمان و تعیین چسبندگی ، اختلاط خاک آهکی و مواد تثبیت شده آسفالت استفاده می شود . این آزمایش شامل بارگذاری نمونه استوانه ای همراه بارهای فشارنده در هر دو وجه مقابل آن است . این نتایج در تنش های کششی نسبتاً یکپارچه به طور عمودی و در طول صفحه وابسته به قطر در اعمال بار عمل می کند .

سرانجام ازهم جدا شدن ترکها در صفحه وابسته به قطر اتفاق می افتد . در اثر وارد شدن نیرو و تنش های عمودی و افقی ، مدول الاستیک و مقدار کرنش به سادگی قابل محاسبه است . عمر خستگی می تواند توسط کاهش مدول الاستیک در شکست مقادیر اولیه و اصلی (عموماً با محدودیت استفاده 50٪) یا توسط تعداد بارگذاری مکرر که باعث اولین ترک می شود ، تعیین شود . در آزمایش کشش غیر مستقیم بارهای مکرر تنش های کششی ، مدول الاستیک و کرنش توسط معادلات زیر محاسبه می شوند .

$$S_m = \frac{P \times \mu + 0/273}{(H \times t)} \quad (2) \quad \sigma_T = \frac{2 \times P}{\pi \times t \times D} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{H}{D} \quad (3)$$

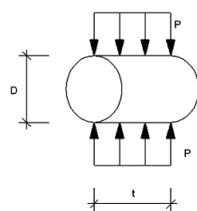


Fig. 1. Loading the specimen in the repeated load indirect tensile test.

که σ_T تنش کششی است (N)، S_M مدول الاستیک (Mpa)، \mathcal{E} کرنش کل و P بیشتر مقدار بار عمودی وارد شده (N)، t ضخامت نمونه (mm)، D قطر نمونه (mm)، H تغییر شکل افقی کل در طی بارگذاری (mm) و μ نسبت پواسون .
آزمایش کلی مواد برای آسفالت و نمونه های غیر چسبیده (UMATTA) یک سیستم آزمایشی مورد استفاده برای تعیین مدول الاستیک و غالباً تغییر شکل های الاستیک و دائمی نمونه مارشال . سیستم عملکرد خودکار و کنترل کامپیوتری استفاده نرم افزار (UMAT) نامیده می شود .

پارامترهایی مانند سطح بار اعمال شده ، تکرار بار ، زمان رسیدن به سطح بارگذاری بیشینه قبل از آزمایش تعیین می شوند . هنگامی که آزمایش شروع می شود و در مدت از پیش تعیین شده ، تغییرات الاستیک و پلاستیک ثبت می شوند و تنش های کششی ، کرنش ارتجاعی و مقدار مدول الاستیک محاسبه می شوند . آزمایش در دمای کنترل شده محیط همراه با دمای درون و سطح نمونه به طور پیوسته ثبت می شود .

بر پا کردن آزمایش و روند بارگذاری در دستورات کار شرح داده شده است .

بر مبنای نتایج آزمایش ، عمر خستگی روسازی آسفالت در شرایط آزمایشگاهی مدل شده اند و آزمایشات برای بررسی اثرات الیاف های پلی پُرپلین اداره می شوند . هدف این آزمایش مدل کردن خستگی یا ترکهای سوسماری بر روی ساختار روسازی است .
در کارهای گزارش شده ، تکرار بارگذاری غیر مستقیم بر نمونه های مارشال اعمال شده است و تغییر شکل جانبی اندازه گیری شده است .
آزمایش هنگامی به پایان می رسد که ترکهای آشکار بر روی سطح نمونه اتفاق بیافتد . به منظور تعیین اثر الیاف پلی پُرپلین ، نتایج آزمایش خستگی برای عمر خستگی و تغییر شکل دائمی و الاستیک نمونه ارزیابی شده است . آزمایشات خستگی در دماهای کنترل شده واحد انجام شده است. دمای آزمایش $50^{\circ}C$ بوده همانند موقعیتی که ترکهای ناشی از خستگی آغاز می شوند .

نسبت پواسون 0/35 بدست آمده است . دوره جهش 500 ms انتخاب شده است زمان بارگذاری 100 ms انتخاب شده است و بار اعمال شده 1000 N تنظیم شده است تمامی آزمایشات با این پارامترها انجام شده اند . محاسبه برآیند کرنش الاستیک و محاسبه پالس مدول الاستیک و ترسیم نمودار آن در توانایی نمونه در حمل بار .

برای سنگدانه های معینی و قیر ، حجم قیر بهینه 5/5٪ بدست آمده است .

هنگامی که عمر خستگی نمونه انتظار می رود که افزایش پیدا کند ، قیمت محصول و ساخت کاهش می یابد و از این رو انتظار می رود که حجم قیر بهینه برای نمونه با الیاف پلی پُرپلین کمتر شود . رفتار نمونه در این امر همچنین مشابه مطالعات [19,20] ثابت کرده که حجم قیر بهینه می تواند به مقدار 4٪ کاهش یابد بدین وسیله حدود 27٪ قیر باقی می ماند . در آزمایشات گوناگون انجام شده ، حجم پلی پُرپلین در حدود 0/3٪ تا 0/1٪ است و بر طبق چگالی ترافیک این نسبت می تواند تا رسیدن به سطح کارایی مورد نیاز افزایش یابد .

این کار روابط بر طرف کننده مشکل ترک ناشی از خستگی آسفالت روسازی به دلیل بارگذاری بیش از حد و دمای زیاد را ارزیابی کرده است و به کمک الیاف پلی پُرپلین این مشکل قابل حل است . این امر اساس مهمی برای نقطه اتصال با حجم ترافیک زیاد ، پل ها ، پلی های راه آهن و پل های بتنی و راه های موتوری است . این مطالعات اثر الیاف پلی پُرپلین در خواص مکانیکی و رفتار نمونه آسفالت در حجم قیر بهینه را بررسی می کند.

3- نتایج و مباحث

نتایج تحقیق در شکل 11-2 آماده شده است .

معلوم شده است که وزن واحد الیاف تقویتی نمونه کمتر از پهنای نمونه است (شکل 2) مقدار حجم هوا همراه با افزایش حجم الیاف پلی پُرپلین افزایش می یابد (شکل 3) .

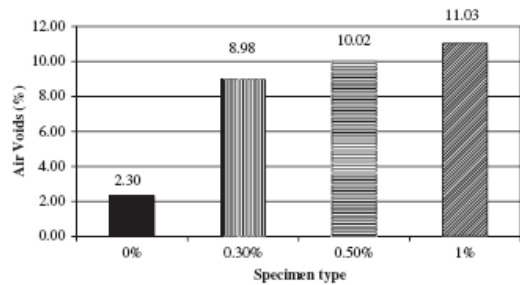


Fig. 3. Effect of polypropylene fibers on the volume of air voids.

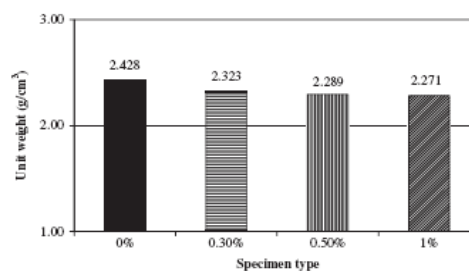


Fig. 2. Effect of polypropylene fibers on unit weight.

این خاصیت برای طراحی روسازی برای خدمت دهی به مناطق گرم مهم است که آسفالت احتمال خارج شدن از تراز و روانی و جوشش را دارد که افزایش نسبت هوا می تواند این مشکل را حل کند . یک بهسازی پراهمیت در پایداری و نرخ جریان i.e 58% افزایش در پایداری و 142% کاهش در نرخ جریان (شکل های 4 و 5) به گسترش تولید جریان کارایی بیشتر روسازی کمک می کند . نمودار نشان داده شده در شکل 6-11 عمر خستگی منابع و الیاف مقاومتی نمونه را (همراه الیاف تعیین شده از 1% وزن) تحت آزمایشات کنترل تنش مهیا کرده است .

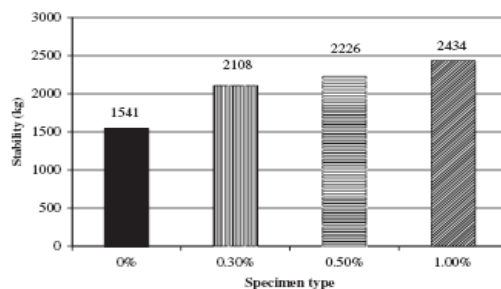


Fig. 4. Effect of polypropylene fibers on stability values.

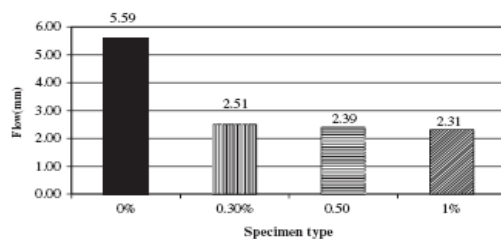


Fig. 5. Effect of polypropylene fibers on flow values.

نمونه تحقیقات رفتار عمر خستگی کاملاً متفاوتی را نشان می دهد (شکل 6 و 7) این می تواند نشان دهد که اضافه کردن الیاف عمر خستگی را طولانی می کند .

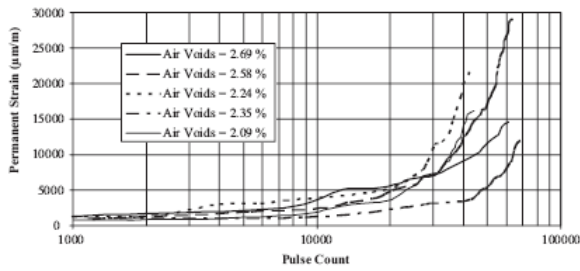


Fig. 8. Permanent strain versus pulse count of reference specimens.

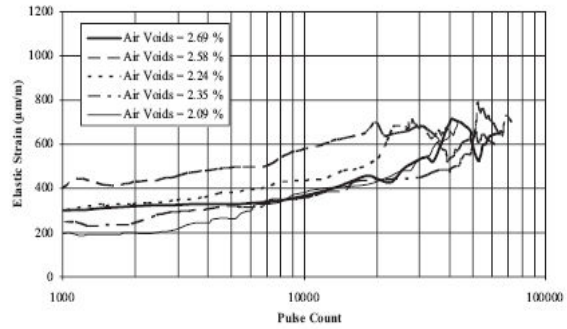


Fig. 6. Elastic strain versus pulse count of reference specimens.

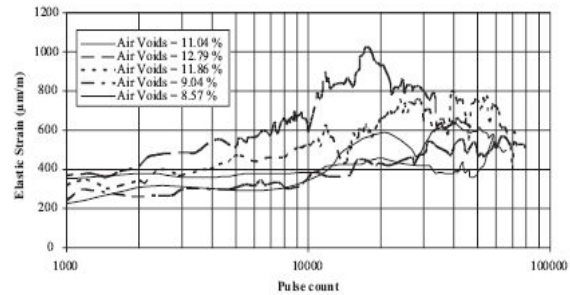


Fig. 7. Elastic strain versus pulse count of fiber-reinforced specimens.

تعدادی نقطه اوج در کرنش الاستیک مقابل نمودار محاسبه جهش وجود دارد، هنگامی که این نقاط بدست آیند و آزمایش بیشتر ادامه پیدا کند، بخش سخت شدگی کرنش در مقدار اوج دوم قابل مشاهده است [19]. به هر حال در این مطالعات آزمایش پایان خواهد یافت هنگامی که اولین ترکهای قابل مشاهده بر روی سطح نمونه آشکار شود. بنابراین عمر خستگی نمونه در این پایه محاسبه خواهد شد. کرنش های دائمی در طی آزمایش با زیاد شدن تعداد تکرار بارها ثبت می شود، کرنش های دائمی غالباً افزایش پیدا می کند. در مرحله آغازین آزمایش این افزایش تدریجی و تقریباً خطی است. ملاحظه خواهد شد که بعد از تعدادی از تکرار بارها نرخ کرنش دائمی افزایش می یابد و به طریقی در مراحل بعدی کاهش می یابد (شکل 9 و 8) قبل از ملاحظه ترک های آشکار بر روی نمونه، افزایش در کرنش ثابت همراه تکرار بار دوباره تقریباً خطی خواهد شد. مرحله آغاز ترک که به آسانی قابل یافتن نیست، خیلی محتمل است که بین این بخش خطی از طرح کرنش دائمی اتفاق بیافتد.

کرنش دائمی الیاف تقویت کننده نمونه کمتر از نمونه اصلی است (شکل 9 و 8) که اشاره به مقاومت بالاتر در برابر تغییر شکل های دائمی دارد.

عمر خستگی متناظر 50٪ مدول الاستیک با استفاده از الیاف پایه پلی پُرپلین نمونه هنگامی که با نمونه اصلی مقایسه می شود نزدیک 27٪ افزایش می یابد (شکل 10 و 11) هنگامی که ضابطه اولین ترک محدوده عمر خستگی را نشان داد، غالباً 17-24٪ بیشتر از عمر خستگی نسبت به نمونه مرجع است (شکل 6 و 7)

نمونه تقویت شده با الیاف رفتار الاستیک و تغییر شکل دائمی متفاوتی را از خود نشان می دهد تغییر شکل الاستیک در شروع امتحان تقریباً برای هر دو نمونه بتن آسفالت یکسان است، اما هنگامی که شمار جهندگی افزایش می یابد، الیاف پلی پُرپلین اضافه شده به نمونه سطح بالای تغییر شکل الاستیک را نشان می دهد.

هنگامی که نقطه شکست نزدیک می شود ، تغییر شکل الاستیک نمونه دارای الیاف پلی پُرپلین به پایین سطح نمونه مرجع و اصلی تنزل می کند . می توان ملاحظه کرد که نمونه تقویت شده با الیاف پاسخ تغییر شکل دائمی را نشان داده است . کمترین مقدار مدول ارتجاعی به نظر می رود که پایان عمر خستگی باشد . عمر خستگی نمونه تقویت شده توسط الیاف ، توسط افت در مقدار مدول الاستیک ، که 27٪ بیشتر از نمونه اصلی مرجع است (شکل 10 و 11) محاسبه شده است .

S. Tapkan / Building and Environment 43 (2008) 1065–1071

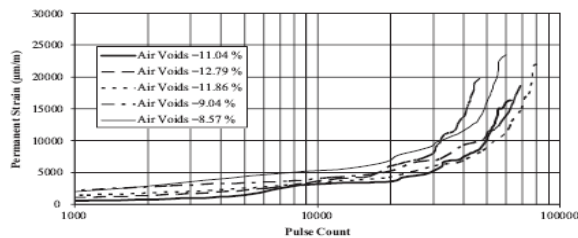


Fig. 9. Permanent strain versus pulse count of fiber-reinforced specimens.

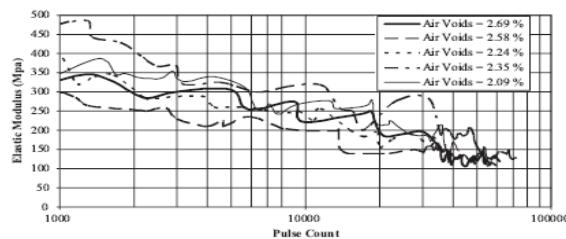


Fig. 10. Elastic modulus versus pulse count of reference specimens.

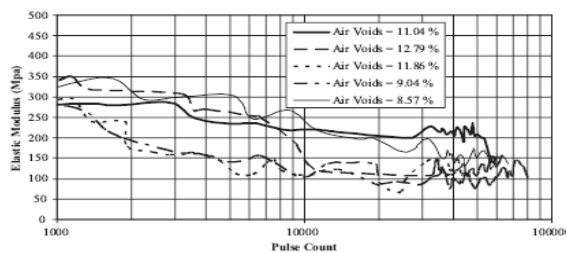


Fig. 11. Elastic modulus versus pulse count of fiber-reinforced specimens.

4- نتایج

آزمایشات مارشال و آزمایشات کشش غیر مستقیم بارگذاری مکرر نشان می دهد که اضافه کردن الیاف پلی پُرپلین به طور قابل ملاحظه ای رفتار بتن آسفالتی را تغییر می دهد . هنگامی که حجم الیاف پلی پُرپلین افزایش می یابد ، شاخص مقاومت مارشال افزایش می یابد مشاهده می شود که به 58٪ برای نمونه تقویت شده با 1٪ الیاف پلی پُرپلین می رسد . بر طبق نتایج آزمایش اضافه کردن 1٪ الیاف پلی پُرپلین عمر خستگی را به 27٪ طولانی می کند .

الیاف پلی پُرپلین دارای سنگینی خاص متفاوت و توزیع اندازه متفاوت است و به دلیل این امر برخی تغییرات فیزیکی در بتن آسفالت وجود دارد و این تغییرات می تواند موجب رفتار متفاوت شود . از طرف دیگر خمیر قیر همراه الیاف پلی پُرپلین رفتار متفاوتی را در خاصیت الاستوپلاستیک و چسبندگی هنگام مقایسه با خمیر قیر پر کننده و مسلح نشان می دهد . خاصیت متفاوت الاستیک و تغییر شکلهای دائمی در واکنش نمونه مقاوم شده با الیاف می تواند به این پاسخ مربوط باشد .

بر طبق نتایج این مطالعات اضافه کردن الیاف پلی پُرپلین ، همکاری و کمک معین و مثبتی را در اجرا و کارایی آسفالت روسازی فراهم می کند . این دستاوردها یک مفهوم عملی و کاملاً مهم برای طراحی اجرا و کارایی بتن آسفالت روسازی است .

1.ACI 455,Report on fiber Reinforced concrete (544.1 R-96) , American concrete Institute;2002.

2.Song PS, Hwang S, Sheu BC. Strength properties of nylon and polyproolene-fiber-reinforced concrete.cement and concreete Research 2005;35(8):1546-50.