

## ارزیابی تاثیر ژئوتکستایلهای مورد استفاده، بر عمر خستگی رویه‌های آسفالتی در راههای کشور

جلیل شاهی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
محمود عامری، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران  
حامد خانی سانجی، (نویسنده مسئول)، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E- mail: khani@iust.ac.ir

### چکیده

نزدیک به کل روسازیهای موجود در کشور از جنس بتن آسفالتی هستند که به دلایل مختلف عمر کوتاهی دارند و در سالهای اولیه عمرشان دچار خرابی می‌شوند. یکی از مهم ترین خرابیهای روسازیهای آسفالتی ترکهای خستگی هستند که به دلیل تعدد بار در جاده های کشور به وجود می آیند. ژئوتکستایلهای می‌توانند به‌عنوان تقویت کننده تا حد زیادی در افزایش طول عمر روسازیهای آسفالتی موثر باشند. در این پژوهش، به بررسی عملکرد سه نوع ژئوتکستایل در عمر خستگی تیرچه‌های آسفالتی پرداخته شده است. آزمایش خستگی با استفاده از آزمایش تیر خمشی با بارگذاری  $E$  نقطه‌ای در حالت کرنش ثابت با موج نیمه سینوسی و فرکانس ده هرتز، انجام شده است. بررسی تعدادی از متداول ترین ژئوتکستایلهای مورد استفاده در ایران در چهار سطح کرنش، از نوآوریهای این تحقیق است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که عمر خستگی کلیه نمونه‌های مسلح شده با ژئوتکستایل افزایش می‌یابد، ولی این افزایش برای نمونه‌های ۱ و ۲ بیشتر از نمونه‌های داخلی است. نتایج این تحقیق خاطر نشان می‌کند که ژئوتکستایل می‌تواند سبب کاهش یا افزایش میانگین سفتی خمشی نمونه‌های آزمایشگاهی شود، ولی به طور کلی سبب افزایش کیفیت روسازی آسفالتی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عمر خستگی، ژئوتکستایل، آزمایش تیر خمشی، سطوح کرنش

## ۱. مقدمه

شمار شستگی می‌شوند [Perkins, 1999 and Hass (et.al.)]. ایده کاربرد ژئوستنتیکها<sup>۳</sup> در مخلوطهای آسفالتی، برپایه همان ایده مسلح کردن مواد غیرهمگن ضعیف در کشش استوار است. بانصب ژئوتکستایلها در محلی که آسفالت گرم در معرض بیشترین تنش کششی یا تمرکز تنش است، می‌توان میزان این تنش را کاهش داد و ایجاد خرابیها را به تاخیر انداخت [Mahrez and Karim, 2010 and Al-Qadi (et.al.), 2003].

### ۱-۲ مرور بر ادبیات فنی

تاکنون مطالعات آزمایشگاهی زیادی با استفاده از تجهیزات مختلف برای آزمایش میزان بهبود عملکرد روسازی مسلح شده با مصالح ژئوتکستایل صورت گرفته است. تجهیزات در مقیاس آزمایشگاهی عموماً شامل یک قاب خاص برای بارگذاری و بارگذاری چرخه‌ای بوده است و عملیات میدانی در مقیاس واقعی با استفاده از تجهیزات معمولی نیز توسط گروهی از محققین صورت گرفته است.

صرفاً در سال ۲۰۰۱ در یک تحقیق آزمایشگاهی اثر مسلح کردن با ژئوتکستایلها را بر روی عمر خستگی نمونه های آسفالتی بررسی کرد. نتایج تحقیقات صرفاً نشان داد که عمر خستگی آسفالت مسلح در حد قابل توجهی افزایش می‌یابد و ژئوتکستایلها نقش موثری در افزایش عمر نمونه آسفالتی دارند [Saraf, Majidzadeh and William, 2001]. لیو و لینگ در سال ۲۰۰۱ آزمایشهایی برای تعیین اثر ژئوتکستایلها در مسلح کردن روسازیهای آسفالتی انجام دادند. در این آزمایشها از سه نوع بارگذاری استاتیکی، تکراری و دینامیکی استفاده شد. نتایج این آزمایشها بهبود عملکرد و کاهش جابجایی در نمونه‌های حاوی ژئوتکستایل را نشان داد [Liu and Ling, 2001].

برای افزایش کارایی ژئوتکستایلها تدابیر مختلفی اندیشیده شده است. برای کاهش تغییرمکان و افزایش انرژی جذب شده، ژئوتکستایلها را می‌توان به الیاف مسلح کرد. الیاف شیشه و کربن دو نوع اصلی این الیاف هستند. الیاف مورد استفاده در ژئوتکستایلها باید در حداقل کرنش به حداکثر تنش خود برسند.

هر سال حجم انبوهی از ثروت ملی ما بر اثر خرابیهای زودرس رویه‌های آسفالتی از بین می‌رود. ترک خوردگی یکی از عوامل اصلی خرابی روسازیهای آسفالتی است. ترکهای خستگی بر اثر عبور زیاد وسایل نقلیه با بارهای عادی و انقباض و انبساط روسازی در اثر تغییرات دمایی به وجود می‌آیند. از بین این دو خرابی، ترکهای مربوط به خستگی به تعداد زیاد در رویه های آسفالتی دیده می‌شوند [Hosseini (et.al), 2009]. خستگی عبارت از پدیده شکست بر اثر تکرار باری است که کمتر از مقاومت نهایی استاتیکی آسفالت است. مقاومت در برابر خستگی در یک مخلوط آسفالتی، توانایی آن مخلوط در مقابل بارهای خمشی تکراری است. ترکهای ناشی از خستگی در روسازیها عموماً در اثر شرایط محیطی خصوصاً تغییرات دمایی و تکرار بار وسایل نقلیه به وجود می‌آیند [Amara (et.al.), 2001]. این ترکها را می‌توان به سه گروه ترکهای طولی، ترکهای عرضی و ترکهای پوست سوسماری دسته بندی کرد. گسترش این ترکها در سه مرحله رخ می‌دهد: مرحله اول مرحله بروز ترک است که ترکهای ریز در اثر تمرکز تنش در رویه ایجاد می‌شوند. در مرحله دوم، ترکهای ریزی که در مرحله اول ایجاد شده اند گسترش می‌یابند و ترکهای بزرگ تر تشکیل می‌شوند و مرحله سوم که مرحله شکست است [Brown (et.al.), 1982].

### ۱-۱ ضرورت انجام تحقیق

تحقیقات علمی نشان داده اند که با کاربرد محصولات ژئوتکستایل می‌توان مقاومت کششی روسازیهای آسفالتی را افزایش داد و از ایجاد و توسعه ترکهای خستگی جلوگیری کرد. ژئوتکستایلها مصالحی از جنس الیاف هستند که به دو صورت بافته شده و نبافته<sup>۲</sup> تولید می‌شوند و در پروژه های مهندسی عمران به همراه آسک، سنگ و سایر مصالح بکار برده می‌شوند [AAS - TO, 2010]. بررسیهای میدانی در روسازیهای مسلح شده با ژئوتکستایلها نشان می‌دهند که این مصالح باعث بهبود زهکشی، افزایش عمر روسازی، جلوگیری از نشستهای موضعی و کاهش

## ارزیابی تاثیر ژئوتکستایل‌های مورد استفاده بر عمر خستگی رویه های آسفالتی در راههای کشور

(۱۰ برابر نمونه کنترلی) و تغییر شکل کمتری (۴۰ درصد نمونه کنترلی) بودند. با افزایش مقدار بار، این نمونه‌ها دارای خیز بیشتری نسبت به نمونه های کنترلی بودند، اما با این وجود، تعداد سیکل بارگذاری بیشتری نسبت به دیگر نمونه‌ها نیاز داشتند تا ترک به سطح نمونه انتقال پیدا کند [Sobhan, Genduso and Tandon, 2005].

فخری و امیرحسینی نیز در تحقیقاتی که بر روی چند نوع ژئوگرید و ژئوتکستایل انجام دادند به این نتیجه رسیدند که کاربرد مصالح ژئوتکستایل سبب افزایش عمر خستگی در نمونه‌های آزمایشگاهی می‌شود [Hosseini (et.al), 2009].

برای بررسی عمر خستگی نمونه‌های آسفالتی روشهای مختلفی از جمله کشش غیرمستقیم، کشش مستقیم و تیرچه خمشی وجود دارد که از این میان، آزمایش تیرچه خمشی روش مناسب‌تری است که در این تحقیق از آن استفاده شده است. در این تحقیق، میزان کارایی ژئوتکستایلها و تاثیر آن بر عمر خستگی نمونه‌های آسفالتی با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است و هدف ارزیابی عملکرد آزمایشگاهی ژئوتکستایل‌های مورد استفاده در راههای ایران در روسازیهای آسفالتی است.

### ۲. روش تحقیق

برای ارزیابی تاثیر ژئوتکستایلها در افزایش عمر خستگی دو نوع ژئوتکستایل PGM ۱۴ و PGM ۵۰-۵۰ و یک نوع ژئوتکستایل ایرانی مورد ارزیابی قرار گرفته است. این ژئوتکستایلها بیشترین

این خصوصیت سبب می‌شود از تمرکز تنش و انعکاس ترک به لایه‌های بالایی جلوگیری شود.

تنوع ژئوتکستایلها و الیاف مسلح کننده تولیدی توسط شرکتهای مختلف، کارآمدی این محصولات را با ابهام مواجه کرده است، بنابراین نوع الیاف و نوع آسفالت تا حد زیادی بر عملکرد ژئوتکستایلها موثر است و لازم است که تاثیر استفاده از آنها در افزایش عمر آسفالت مورد بررسی قرار گیرد.

شرر و جاکلین در سال ۱۹۹۶ در یک تحقیق آزمایشگاهی اثرات مسلح کردن آسفالت با ژئوگریدهای مسلح به الیاف شیشه را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق بارگذاری دینامیکی به صورت بارگذاری چهار نقطه‌ای بر روی نمونه‌هایی به ابعاد ۹۰ در ۱۸۰ در ۶۰۰ میلیمتر اعمال شد. بیشینه نیرو در این آزمایش ۴/۵ کیلونیوتن با فرکانس ۲۹/۳ هرتز و در دمای ۵ درجه سانتی گراد بود. شبکه ژئوستتیک در این آزمایش در فاصله ۳۰ میلیمتر از ته نمونه قرار داده شد [Jaecklin and Seherer, 1996].

این آزمایش با ژئوگریدهای مسلح به الیاف شیشه با پلی‌پروپیلین بافته نشده، ژئوگرید پلی‌استر و ژئوتکستایل پلی‌پروپیلین بافته نشده انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. این نتایج نشان داد با کاربرد مصالح ژئوستتیک مذکور عمر روسازی ۷ تا ۸ برابر افزایش می‌یابد [Jaecklin and Seherer, 1996].

در سال ۲۰۰۵ تحقیقات سبحان و همکارانش نشان داد در کرنشهای کم، نمونه‌ها با ژئوتکستایل‌هایی که در وسط لایه آسفالتی قرار گرفته بودند دارای قابلیت تحمل بارگذاری بیشتر

جدول ۱. نتایج آزمایش خستگی [Jaecklin and Seherer, 1996].

شرح	تعداد تکرار تا شکست	نسبت عمر به حالت مسلح نشده
مسلح نشده	۲۳۸۷۰	۱
با ژئوتکستایل پلی پروپیلین	۷۲۷۲۸	۳
با شبکه پلی استر	۸۹۹۴۰	۳-۴
با Glasphalt	۱۸۴۱۵۱	۷-۸

ژئوتکستایلهاى مورد استفاده در این تحقیق محصولات ۱۴ PGM و PGM ۵۰-۵۰ هستند که در ایران کاربرد زیادی دارند و یک نوع محصول داخلی نیز در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. آزمایشهای استاندارد مربوط به مصالح ژئوتکستایل شامل، وزن واحد سطح، نقطه ذوب، مقاومت کششی در دو جهت طولی و عرضی، بر روی محصولات مورد استفاده در این تحقیق انجام گرفت [۹] که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

## ۲-۲ روش انجام آزمایش و تئوری

آزمایش خستگی تیرچه خمشی مطابق استاندارد (AASHTO T 321) در دو حالت تنش کنترل شده و کرنش کنترل شده قابل انجام است. شکل موج بارگذاری در حالت تنش کنترل شده، سینوسی و در حالت کرنش کنترل شده سینوسی و نیمه سینوسی است. در حالت تنش کنترل شده میزان تنش تعیین شده تا مرحله شکست نمونه اعمال می‌گردد، ولی در حالت کرنش کنترل شده سیستم بازخوردی تعبیه شده در دستگاه بارگذاری آزمایش خستگی تیرچه، پس از هر تکرار بارگذاری، تنش را اصلاح می‌کند که کرنش در حد مشخص شده ثابت باقی بماند. نمودار سفتی در مقابل تکرار بار را که در آزمایشهای خستگی با حالت کرنش ثابت را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد. این نمودار در شکل ۲ نشان داده شده است.

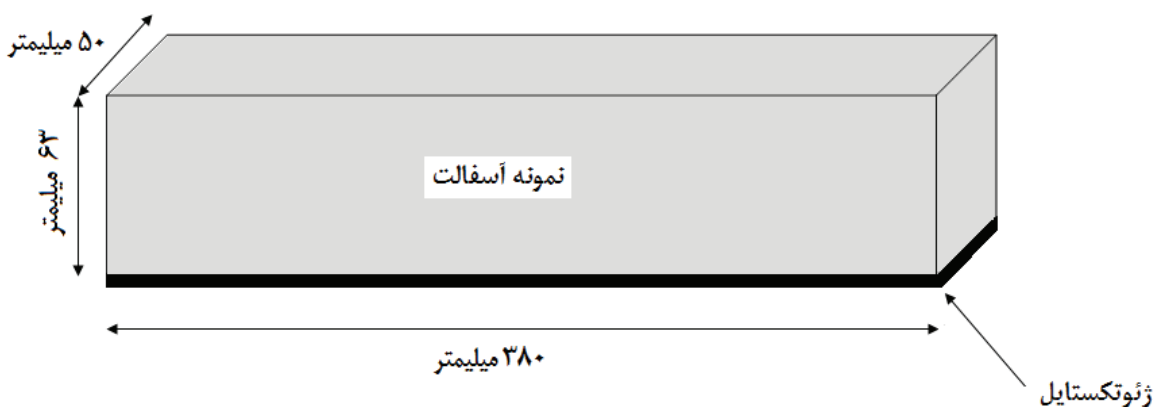
کاربرد را در داخل کشور دارند. محل قرارگیری ژئوتکستایل و ضخامت نمونه‌ها به گونه‌ای پیش‌بینی شده است که بیشترین تطابق را با واقعیت داشته باشد. به طور معمول لایه‌های ژئوتکستایل در زیر یک لایه روکش به ضخامت ۴ تا ۶ سانتی‌متر و بر روی لایه‌های آسفالت موجود استفاده می‌شود. ابعاد و محل قرارگیری نمونه‌های ژئوتکستایل در شکل یک نشان داده شده است.

## ۲-۱ خصوصیات مواد بکار رفته

دانه‌بندی مصالح سنگی بکار رفته در این تحقیق مطابق جدول ۲ است. این دانه‌بندی بیشترین کاربرد را بر اساس استانداردهای موجود در ایران دارد.

جدول ۲. حدود و مشخصات دانه‌بندی مورد استفاده در نمونه‌های آسفالتی

اندازه الک	درصد عبوری
۱۹ میلیمتر	۱۰۰
۱۲/۵ میلیمتر	۹۵
۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)	۶۳
۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)	۳۹
۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)	۹
۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)	۵

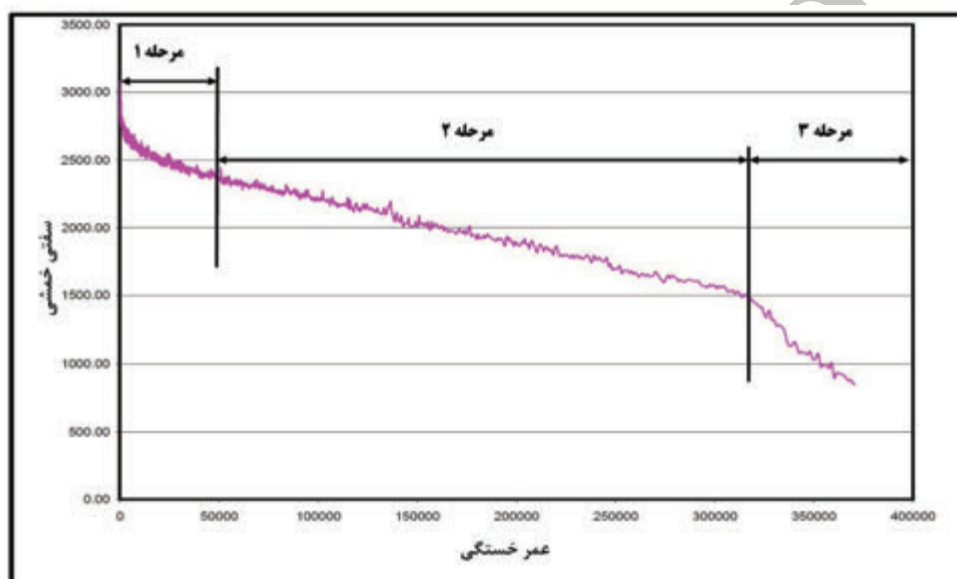


شکل ۱. ابعاد و خصوصیات نمونه‌های آزمایشگاهی

ارزیابی تاثیر ژئوتکستایلهای مورد استفاده بر عمر خستگی رویه های آسفالتی در راههای کشور

جدول ۳. نتایج آزمایشها بر روی محصولات ژئوتکستایل

مقاومت کششی عریضی (Grab(N))	مقاومت کششی طولی (Grab(N))	نقطه ذوب (درجه سانتی گراد)	وزن واحد سطح (gr/Cm <sup>2</sup> )	نوع محصول ژئوتکستایل
ASTM D4632	ASTM D4632	ASTM D276	ASTM D5261	
۵۳۹±۷۸	۶۵۶±۶۹	۱۶۰	۱۵۰±۷	PGM14
۸۸۳±۵۹	۹۷۲±۷۸	۱۴۱	۳۰۷±۵	PGM ۵۰-۵۰
۴۱۴±۳۹	۳۷۵±۳۹	۲۵۰	۱۹۵±۵	محصول ایرانی ۱



شکل ۲. نمودار سفتی خمشی در مقابل تکرار بار

کاهش سفتی تا درصدی از سفتی اولیه (عموماً ۵۰ درصد) تعریف کرده اند. استاندارد AASHTO T 321 این میزان را ۵۰ درصد تعیین کرده است. اما به علت اختلاف موجود در محاسبه سفتی اولیه و برخی اوقات پراکندگی در نتایج، بهترین معیار برای تعیین مرز شکست نمونه، توجه به نمودار کاهش سفتی در مقابل تکرار بار است. سفتی خمشی نمونه‌های تیرچه آسفالتی براساس رابطه ۱ به دست می‌آید [اشتو، ۲۰۱۱].

$$S = \frac{(0.357P)/(bh)}{12\delta h} \quad (1)$$

$$\frac{1}{(3L^2 - 4a^2)}$$

که در آن:

S = سفتی خمشی (پاسکال)

P = بار وارد شده به نمونه (نیوتن)

b = میانگین عرض نمونه (متر)

قسمت اول: مشخصه این قسمت، کاهش سریع در سفتی نمونه است. این بخش در حدود ده درصد عمر خستگی را شامل می‌شود.

قسمت دوم: مشخصه این قسمت، کاهش خطی در سفتی نمونه است که این بخش در حدود نود درصد عمر خستگی را شامل می‌شود و مرحله گسترش ترکهای ریز است.

قسمت سوم: مشخصه این قسمت، کاهش ناگهانی در سفتی نمونه است که در این بخش نمونه به مرحله شکست نزدیک می‌شود که در این مرحله ترکهای بزرگ گسترش پیدا می‌کند.

در حالت کرنش کنترل شده، به علت کاهش میزان تنش، نمونه می‌تواند مدت زیادی در مرحله سوم بدون کاهش چشمگیر در میزان سفتی نمونه باقی بماند. به این علت معیار شکست را عموماً به صورت

آزمایشگاه ساخته شد و برای جلوگیری از چسبیدن نمونه به ته دستگاه، از فویل‌های آلومینیومی استفاده شد. به این ترتیب دالهای آسفالتی به ابعاد ۳۰۰ در ۴۰۰ میلیمتر و به ارتفاع ۶۰ میلیمتر ساخته شده و از هر کدام از این نمونه چهار تیرچه خستگی بریده شد. این چهار نمونه که جنس ژئوتکستایل و آسفالت در آنها یکسان است، در چهار سطح کرنش ۲۵۰، ۴۰۰، ۶۵۰ و ۱۰۰۰ میکرواسترین مورد آزمایش قرار گرفتند. به این ترتیب برای بررسی رفتار خستگی نمونه‌های ژئوتکستایل ۴ سری ۴ تایی نمونه تیرچه خستگی که شامل نمونه آسفالت شاهد و سه نوع ژئوتکستایل بوده آزمایش شدند.

### ۳. تحلیل نتایج

#### ۳-۱- عمر خستگی نمونه‌های آسفالتی

برای بررسی نتایج و رسیدن به یک مدل آزمایشگاهی در ارتباط با تغییرات عمر خستگی مدل مانیسمیت<sup>۷</sup> که به صورت رابطه ۲ است، مورد استفاده قرار گرفت [Huang, 1993].

$$N_f = k \left( \frac{1}{\epsilon} \right)^n \quad (2)$$

در این رابطه ( $\epsilon$ ) کرنش کششی اولیه و  $k$ ، ضرایب ثابت و  $N_f$  عمر خستگی بر اساس تعداد بارگذاری است. در این رابطه بعد از رسم پراکندگی داده‌های عمر خستگی در برابر کرنش اولیه در مقیاس لگاریتمی، رابطه ۲ با استفاده از معادله خط قابل برازش و محاسبه است.

کلیه ۴ سری نمونه در چهار کرنش مورد آزمایش قرار گرفتند و کاهش سختی آنها به نصف میزان اولیه معیار پایان عمر خستگی آنها قرار گرفت. بر این اساس عمر خستگی نمونه‌های شاهد، نمونه خارجی ۱ و ۲ و نمونه ایرانی ارزیابی شد که عمر خستگی این نمونه‌ها و کرنش متناظر با آنها در جدول شماره ۳ ذکر گردیده است. برای بدست آوردن ضرایب رابطه ۲ بر روی نتایج آزمایشهای خستگی و برای هر سری از نمونه‌ها رگرسیون لگاریتمی انجام شده است. منحنی خستگی در برابر سطح کرنش در مقیاس لگاریتمی برای چهار سری از نمونه‌های شاهد، خارجی ۱ و ۲

$h$  = میانگین ارتفاع نمونه (متر)

$\delta$  = تغییر شکل حداکثر در وسط تیر (متر)

$L$  = فاصله بین تکیه گاهها (معمولاً ۰/۳۵۷ متر)

$a$  = فاصله بین گیره‌های بارگذاری (معمولاً ۰/۱۱۸۵ متر)

#### ۲-۳- دستگاه آزمایش خستگی تیرچه خمشی

نمای کلی دستگاه آزمایش خستگی تیرچه خمشی در شکل ۳ نشان داده شده است. این دستگاه قادر است بارهای خمشی تکراری به نمونه‌های آسفالتی (یا دیگر مصالح) وارد کرده و بار وارده و تغییر شکل ایجاد شده را محاسبه کند. آزمایش ممکن است در حالت تنش کنترل شده یا کرنش کنترل شده انجام شود. در حالت تنش کنترل شده، تغییر شکل اندازه‌گیری شده در هر تکرار بار اصلاح می‌شود تا در تکرار بعدی کرنش تعیین شده محقق شود. در حالت تنش کنترل شده، نیروی وارده ثابت فرض می‌گردد و تغییر شکل ثبت می‌شود.



شکل ۳. نمای کلی دستگاه آزمایش خستگی تیرچه خمشی

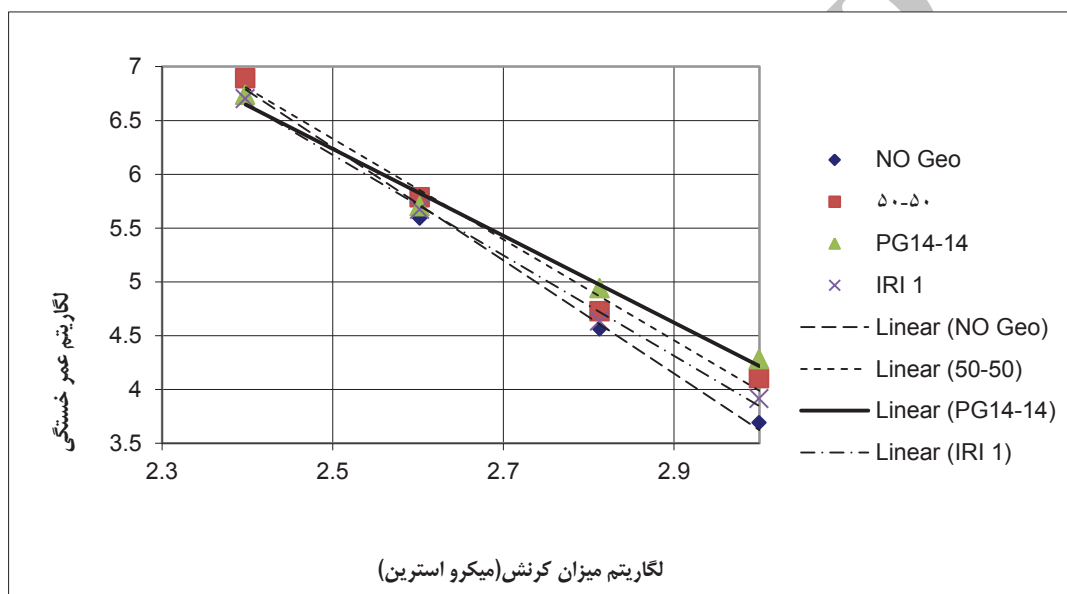
#### ۲-۴ روش ساخت نمونه‌ها

در عمل لایه ژئوتکستایل در زیر لایه روکش مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای شبیه‌سازی این امر، لایه ژئوتکستایل در زیر ۶ سانتیمتر نمونه آسفالتی ساخته شده مطابق با استاندارد آشتو قرار گرفت. این نمونه‌ها توسط دستگاه متراکم کننده غلظتی در

ارزیابی تاثیر ژئوتکستایلهای مورد استفاده بر عمر خستگی رویه های آسفالتی در راههای کشور

جدول ۴. رابطه خستگی و ضریب همبستگی  $\epsilon$  سری نمونه‌ها

نوع نمونه	رابطه خستگی	ضریب همبستگی ( $R^2$ )
نمونه‌های شاهد	$N_f = 2/5178 \times 10^{19} X(1/e)^{5/2598}$	۰/۹۹۴۵
PGM ۱۴	$N_f = 2/1230 \times 10^{16} X(1/e)^{6/0367}$	۰/۹۹۱۷
PGM ۵۰-۵۰	$N_f = 1/4322 \times 10^{18} X(1/e)^{4/6829}$	۰/۹۸۹۲
محصول ایرانی ۱	$N_f = 7/2110 \times 10^{17} X(1/e)^{4/6712}$	۰/۹۹۶۶



شکل ۴. عمر خستگی در برابر سطح کرنش نمونه‌های آسفالت خالص (شاهد) و نمونه‌های حاوی مصالح ژئوتکستایل

خستگی بالایی است در اینجا اهمیت می‌یابد. در این حالت هر رابطه‌ای که عکس کرنش در آن توان کمتری داشته باشد، کارایی بهتر ژئوتکستایل را نشان می‌دهد. بر این اساس ژئوتکستایل PGM ۱۴ بهترین کارایی را داشته و ژئوتکستایل ایرانی و PGM ۵۰-۵۰ به ترتیب در رتبه های بعدی هستند و نمونه‌های شاهد دارای کمترین کارایی برای جاده های کشور هستند.

وجود ژئوتکستایلها و قیر لازم برای چسباندن آنها به نمونه آسفالتی سبب جلوگیری و تاخیر در ایجاد و رشد ترکهای ریز در زیر نمونه می‌شوند. تارهای ته نمونه آسفالتی در اکثر اوقات بیشترین میزان کرنش کششی را تحمل می‌کند و در معرض ترکهای ناشی از آن قرار دارند. ایجاد نشدن ترکهای کششی ریز و جلوگیری از رشد

و نمونه ایرانی به ترتیب در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. ضریب همبستگی و متغیرهای  $k$  و  $n$  برای هر سری از نمونه‌ها بدست آمده که این اعداد در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل نمودارها نشان می‌دهد که وجود ژئوتکستایل سبب کاهش توان معکوس کرنش در معادلات نمایی جدول ۴ و در نتیجه سبب افزایش عمر خستگی در نمونه‌های مسلح به ژئوتکستایل می‌شود.

اکثر روسازیهای موجود در راههای اصلی کشور که با ژئوتکستایل تقویت می‌شوند باید بار ترافیکی سنگینی را جوابگو باشند. این بار ترافیکی در اکثر اوقات به چندین ده میلیون محور هم‌ارز معادل ۸/۲ تنی می‌رسد. بنابراین کرنشهای کم که متناظر با عمر

خمشي نمونه مسلح شده روبرو خواهیم شد. در این نمونه افزایش کرنش از ۴۰۰ به ۶۵۰ میکرواسترین سبب افزایش سفتی خمشي نمونه شده است که بر خلاف روند موجود در بقیه نمونه‌هاست. این مورد را می‌توان با تغییر در دانه‌بندی و فضای خالی آسفالت گرم که به صورت تصادفی در نمونه‌ها اتفاق می‌افتد مرتبط دانست. داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهند که نمونه‌های مسلح به PGM۵۰-۵۰ دارای بالاترین میزان میانگین سفتی خمشي هستند و نمونه‌های غیرمسلح کنترلی در رتبه بعدی قرار دارند. مقدار مناسب میانگین سفتی خمشي نمونه‌های غیرمسلح کنترلی به علت وجود قیر کمتر در این نمونه‌ها است با استفاده از این قیر ژئوتکستایلها به نمونه‌های آسفالتی چسبیده‌اند. میانگین سفتی خمشي مناسب نمونه‌های مسلح به PGM۵۰-۵۰ نشان دهنده تحمل بالا و مرغوبیت این نمونه‌هاست و وجود الیاف شیشه در اینجا سبب افزایش میانگین سفتی خمشي نمونه‌ها شده است. کمترین میزان میانگین سفتی خمشي در اینجا مربوط به نمونه‌های PGM۱۴ است.

#### ۴. نتیجه‌گیری

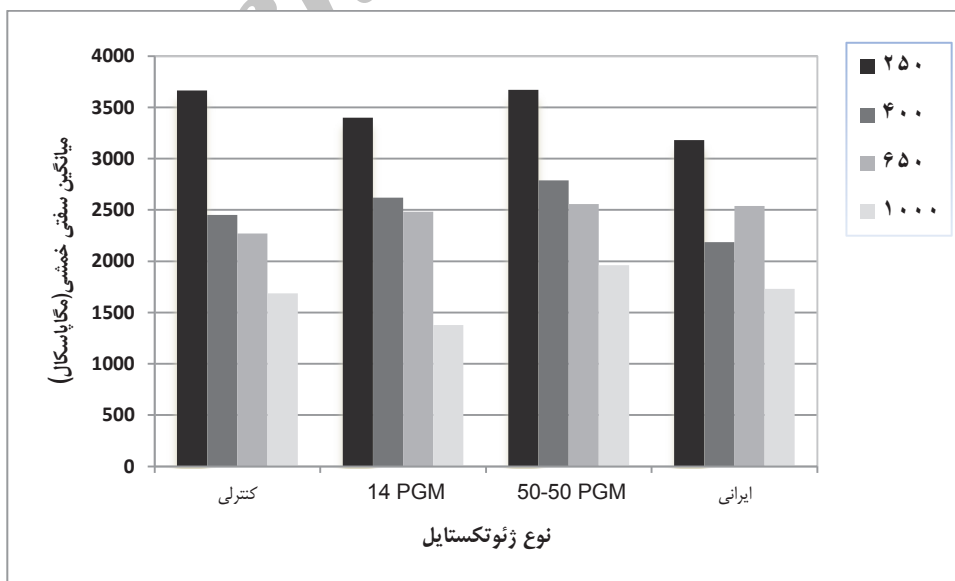
بررسی عمر خستگی نمونه‌های آسفالتی مسلح شده با ژئوتکستایل در آزمایشگاه نشان می‌دهد این نمونه‌ها بهتر از نمونه‌های غیرمسلح

ترک مهم‌ترین عامل افزایش عمر خستگی به علت وجود مصالح ژئوتکستایل است.

#### ۲-۳ سفتی خمشي نمونه‌های آسفالتی

در تمامی آزمایشهای خستگی، سفتی خمشي نمونه‌های آسفالتی برای هر بارگذاری محاسبه شد. ملاک پایان آزمایش خستگی نیز رسیدن سفتی خمشي به نصف میزان اولیه بود. سفتی خمشي برای تمامی بارگذاریها در هر آزمایش که شاید بیش از یک میلیون داده بود، میانگین گیری شد. چون تمامی آزمایشها در این مطالعه در حالت کرنش ثابت انجام شد، مبین تحمل بار استاتیکی برای نمونه‌ها بوده و به همراه عمر خستگی نشان دهنده کیفیت مناسب نمونه‌های آسفالتی است.

شکل ۵ میانگین سفتی خمشي را برای چهار سری نمونه‌های آسفالتی در کرنشهای ۲۵۰، ۴۰۰، ۶۵۰ و ۱۰۰۰ میکرواسترین نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با کاهش کرنش میانگین سفتی خمشي افزایش می‌یابد. با کاهش کرنش از ۴۰۰ به ۲۵۰ میکرواسترین سفتی خمشي در نمونه‌ها افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. میزان افزایش سفتی خمشي با کاهش کرنش از ۶۵۰ به ۴۰۰ میکرواسترین کاهش می‌یابد به قسمی که در نمونه ایرانی با کاهش میزان سفتی



شکل ۵. میانگین سفتی خمشي در برابر نوع نمونه برای کرنشهای ۲۵۰، ۴۰۰، ۶۵۰ و ۱۰۰۰ میکرواسترین



آسفالتی استفاده کرد.

بررسی همزمان میانگین سفتی خمشی و عمرخستگی نمونه‌های مسلح به ژئوتکستایل نشان دهنده عملکرد این مصالح در افزایش عمر خستگی نمونه‌های آسفالتی و همچنین انعطاف‌پذیرتر شدن نمونه‌های مسلح است. به طور کلی وجود ژئوتکستایل سبب افزایش تاب تحمل آسفالت گرم در برابر شرایط ترافیکی و محیطی می‌شود.

#### ۵. پی نوشتها

- 1- Geotextile
- 2- Nonwoven
- 3- Geosynthetic
- 4- Geogrid
- 5- Strain control
- 6- Stress control
- 7- Monsmith

#### ۶. مراجع

- AASHTO (2011) "Standard method of test for determining the fatigue life of compacted hot-mix asphalt (HMA) subjected to repeated flexural bending", AASHTO Designation T321-07.

- AASHTO (2010) "AASHTO standard specification for geotextiles specification for highway applications", AASHTO Designation M288-06.

- Al-Qadi, I. L., Elseifi, M. and Leonard, D. (2003) "Development of an overlay design model for reflective cracking with and without steel reinforcing nettings", Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Volume:72, pp. 388-423.

- Amara, L., Al-Qadi, I.L., Bhutta, S. and Flintsch, G.W. (2001) "Evaluation of geosynthetics when used as separation", Transportation Research Record, Vol. 1687, pp. 104-111.

- ASTM D7460 – 10. (2010) "Standard test method for determining fatigue failure of compacted asphalt concrete subjected to repeated flexural bending", Vol. 04.03.

- Brown, S. F., Jones, C. P. D. and Broderick, B. V.

خستگی را تحمل می‌کنند و هرچه میزان کرنش بیشتر باشد و بار بیشتری به نمونه‌ها وارد شود. این افزایش عمر خستگی بیشتر خواهد بود، به گونه‌ای که در سطوح کرنش ۱۰۰۰ میکرواسترین و بیشتر، عمر خستگی نمونه‌های مسلح شده به ژئوتکستایل در حد چند برابر نمونه‌های معمولی خواهد بود. افزایش عمر خستگی در کرنشهای کمتر کاهش می‌یابد. در سطح کرنش ۴۰۰ میکرواسترین ژئوتکستایلهای موجود در حد ۵۰ درصد عمر خستگی را افزایش داده‌اند و با کاهش کرنش افزایش تغییرات در نتایج بدست آمده امکان تفسیر منطقی را امکان ناپذیر می‌سازد و در این سطوح کرنش، به علت زمان طولانی مورد نیاز برای انجام هر آزمایش و مشکلات اجرایی، امکان تکرار آزمایش و دستیابی به جامعه آماری قابل تفسیر کار بسیار مشکلی است. مقدار ضریب  $k$  در جدول ۴ نیز مانند توان  $n$  با افزایش کیفیت محصولات ژئوتکستایل روند نزولی دارد و نشان می‌دهد که در سطوح کرنش پایین بالاخره نمودارهای خستگی ترسیم شده یکدیگر را قطع خواهند کرد و این به آن مفهوم است که اگر سطح کرنش بسیار پایین باشد، دیگر به استفاده از مصالح ژئوتکستایل نیازی نیست. به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاربرد مصالح ژئوتکستایل در هر صورت برای افزایش عمر خستگی مفید خواهد بود.

بررسی میانگین سفتی خمشی نمونه‌ها نشان دهنده کارایی مناسب نمونه‌های PGM ۵۰-۵۰ است، این نمونه علاوه بر میانگین سفتی خمشی مناسب، در سطح کرنش ۱۰۰۰ میکرواسترین بهترین رفتار خستگی را از خود نشان داده است. نمونه‌های کنترلی آسفالت خالص پس از نمونه‌های PGM ۵۰-۵۰ بیشترین میزان میانگین سفتی خمشی را از خود نشان دادند. این نمونه‌ها در آزمایشهای خستگی در تمامی کرنشها کمترین مقدار عمرخستگی را داشتند. ترکیب این دو رفتار در آزمایشگاه نشان دهنده صلیبت نمونه‌های آسفالت خالص نسبت به دیگر نمونه‌هاست، بنابراین وجود ژئوتکستایل باعث افزایش انعطاف پذیری رویه‌های آسفالتی و مقاومت بیشتر در برابر ترکهای انقباضی می‌شود. نمونه‌های PGM ۱۴ دارای کمترین مقدار میانگین سفتی خمشی بودند ولی عمرخستگی مناسبی داشتند، بنابراین می‌توان از آنها در لایه‌های

- Mahrez, A. and Karim, M. R. (2010) "Fatigue characteristics of stone mastic asphalt mix reinforced with fiberglass", *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 5(12), pp. 1840-1847.
- Perkins, S.W. (1999) "Geosynthetic reinforcement of flexible pavements: Laboratory based pavement test sections", *Federal Highway Administration Report FHWA/MT-99-001/8138*, Montana Department of Transportation.
- Saraf, C.L., Majidzadeh, K. and William, T. (2001) "Effect of reinforcement on fatigue life of asphalt beams", *Transportation Research Record*, N. 1534, pp. 66-71.
- Sobhan, K., Genduso, M. and Tandon, V. (2005) "Effects of geosynthetic reinforcement on the propagation of reflection cracking and accumulation of permanent deformation in asphalt overlays", *Third LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCET2005) "Advances in engineering and technology: A global perspective"*, 8-10 June 2005 Cartagena, Columbia, pp. 1-9.
- (1982) "Use of non-woven fabrics in permanent road pavements", *Proceeding of the Institution of Civil Engineers*, Part 2, London, UK, pp. 541-56.
- Hass, R., Wall, J. and Carroll, R.G. (1988) "Geogrid reinforcement of granular bases in flexible pavements", *Transportation Research Record*, 1188, pp. 19-27.
- Hosseini, H. R. A., Darban, A. K. and Fakhri, M. (2009) "The effect of geosynthetic reinforcement on the damage propagation rate of asphalt pavements", *Scientia Iranica*, Vol. 16, No.1, pp. 26-32.
- Huang, Yang. H. (1993) "Pavement analysis and design", Prentice Hall.
- Jaecklin, F. P. and Seherer, J. (1996) "Asphalt reinforcing using glass fiber grid Glasphalt", *Reflective cracking in pavement*, RILEM, London.
- Ling, H. I. and Liu, Z. (2001) "Performance of geosynthetic-reinforced asphalt pavements" *Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering*, Vol. 127, No. 2, , pp. 177-184.