

## اثر ژئوسنتتیک‌ها بر عمر خستگی روسازی‌های آسفالتی\*

احمد خدادادی، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

منصور فخری، استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

حمید رضا امیری حسینی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-mail: akdarban@modares.ac.ir

### چکیده

ترک های خستگی یکی از مهم‌ترین خرابی‌های روسازی‌های آسفالتی هستند که به دلیل افزایش بار و ترافیک در جاده های ارتباطی و فرودگاه‌های کشور به وجود می‌آیند. ژئوسنتتیک‌ها می‌توانند به عنوان تقویت کننده در روسازی‌های آسفالتی تا حد زیادی در افزایش طول عمر آن‌ها و جلوگیری از ایجاد ترک های زودرس مؤثر باشند. کارایی ژئوسنتتیک‌ها در روسازی‌های آسفالتی به عوامل زیادی از جمله مخلوط آسفالتی، درجه حرارت، محل قرار گرفتن و ... بستگی دارد. این مقاله، به بررسی عملکرد دو نوع ژئوسنتتیک (ژئوتکستایل و ژئوگرید) در عمر خستگی تیرچه های آسفالتی به ابعاد  $50 \times 63 \times 381$  میلیمتر می‌پردازد. نمونه های مسلح نشده، مسلح شده با ژئوتکستایل و مسلح شده با ژئوگرید از دالهای آسفالتی بریده شده، از مقطع آزمایشی ساخته شده در محل تهیه گردیدند. آزمایش خستگی با استفاده از آزمایش تیر خمشی با بارگذاری  $\epsilon$  نقطه ای در حالت کرنش ثابت با موج نیمه سینوسی، بدون استراحت و فرکانس ۱۰ هرتز، انجام شد. در پایان عمر خستگی نمونه‌ها، کاهش سختی به ۵۰٪ سختی اولیه تعریف گردید. نتایج نشان می‌دهد که عمر خستگی نمونه های مسلح شده با ژئوتکستایل و ژئوگرید تا ۵۰ و ۵۶ درصد افزایش می‌یابد. همچنین لایه مسلح کننده در نمونه های مسلح شده، باعث افزایش سختی اولیه و کاهش سرعت گسترش ترک در تیرهای آسفالتی، در مقایسه با حالت مسلح نشده، می‌گردد.

کلمات کلیدی: روسازی‌های آسفالتی، عمر خستگی، ژئوسنتتیک‌ها و آزمایش تیر خمشی

### ۱. مقدمه

در برابر خستگی یک مخلوط آسفالتی، توانمندی مخلوط در مقابل بارهای خمشی تکراری بدون شکست است. ترک های ناشی از خستگی در روسازی‌ها عموماً در اثر تغییرات شرایط محیطی خصوصاً تغییرات دمایی و تکرار بار وسایل نقلیه به وجود می‌آیند [۱، ۲]. این ترکها را می‌توان به سه گروه دسته بندی کرد؛ ترک های طولی؛ ترک‌های عرضی و ترک‌های پوست سوسماری. گسترش این ترک ها در سه مرحله انجام می‌شود: مرحله اول مرحله آغاز ترک است و ترکهای ریز در اثر تمرکز تنش در رویه ایجاد می‌شوند. در مرحله دوم، ترک های ریزی که در مرحله اول

خرابی در روسازهای انعطاف پذیر در اثر دو عامل ترک خوردگی یا شیار افتادگی روی می‌دهد. عامل شیار افتادگی عموماً در اثر عبور بارهای بیش از توان روسازی است، اما ترکها معمولاً در اثر عبور زیاد وسایل نقلیه با بارهای عادی و انقباض و انبساط روسازی در اثر تغییرات دمایی حاصل می‌شوند. از میان این دو مکانیزم، ترک های مربوط به خستگی به تعداد زیاد در رویه های آسفالتی دیده می‌شوند [۱]. خستگی عبارت است از پدیده شکست بر اثر تکرار بار، تغییر و تناوب دینامیکی بار که ممکن است حتی کمتر از مقاومت نهایی استاتیکی آسفالت باشد. مقاومت

پیش بینی عمر خستگی نمونه های آسفالتی است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

هدف از این تحقیق بررسی میزان کارایی ژئوستتیک ها در روسازی های آسفالتی و تاثیر کاربرد آنها در افزایش عمر خستگی این گونه روسازی ها بر اساس مطالعات میدانی و آزمایشگاهی است.

## ۲. مواد و روش آزمایش

به منظور مشخص کردن اثرات واقعی کاربرد ژئوستتیک ها در افزایش عمر خستگی روسازی آسفالتی، اقدام به ایجاد یک مقطع در محل فرودگاه امام با استفاده از ژئوتکتایل و ژئوگرید، و بدون استفاده از این مواد گردید.

### ۲-۱ مواد به کار رفته

دانه بندی سنگدانه های به کار گرفته شده در این تحقیق مطابق مندرجات جدول ۱ بوده است.

جدول ۱. دانه بندی آسفالت ایجاد شده در محل

اندازه الک	درصد رد شده	میانگین حدود مشخصات شماره ۴ جدول ۱۸-۳ نشریه ۱۱۰ [۱۵]
۰/۷۵ اینچ	۱۰۰	۱۰۰
۰/۵۰ اینچ	۹۵	۹۰-۱۰۰
۳/۹ اینچ	۸۷	-
شماره ۴	۶۴/۵	۴۴-۷۴
شماره ۸	۳۷/۷	۲۸-۵۸
شماره ۵۰	۱۰	۷-۲۳
شماره ۲۰۰	۵	۲-۱۰

ژئوتکتایل مورد مصرف در این تحقیق Polyfelt-PGM 14 بوده است که یک نوع ژئوتکتایل نفاخته است. این ژئوتکتایل مخصوص آسفالت و مقاوم به حرارت در دماهای تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد است. مشخصات فنی این ژئوتکتایل بر اساس اطلاعات ارایه شده از سوی کارخانه تولید کننده مطابق مندرجات

ایجاد شده اند شروع به گسترش می کنند و ترکهای بزرگ تر تشکیل می شوند. مرحله سوم مرحله شکست است [۴]. تحقیقات مختلف نشان داده اند که می توان با کاربرد مواد پلیمری جدید (ژئوستتیک ها) مقاومت کششی روسازی های آسفالتی را افزایش داد، بر طول عمر روسازی ها افزود و از ترک های زود رس و ایجاد و توسعه ترکهای خستگی جلوگیری کرد. همچنین مشاهدات میدانی در روسازی های مسلح شده با ژئوستتیک ها نشان می دهند که لایه های مسلح کننده باعث بهبود زهکشی، افزایش عمر روسازی، کنار هم نگهداشتن قسمت های ترک خورده، جلوگیری از نشست های موضعی و کاهش شیار شدگی می شوند. [۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵].

ژئوستتیک ها محصولات مسطحی هستند که از مواد پلیمری ساخته شده و به عنوان یک بخش جدایی ناپذیر در پروژه های مهندسی عمران به همراه خاک، سنگ، زمین یا سایر مصالح مرتبط با مهندسی ژئوتکنیک به کار برده می شوند [۱۳]. ژئوستتیک ها خانوادگی از مصالح هستند با کاربردهای گسترده و متنوع در مهندسی ژئوتکنیک، که در چند دهه اخیر استفاده از آنها رشد بسیار محسوسی داشته است. ASTM ژئوستتیک ها را اینگونه تعریف می کند: [۱۴]

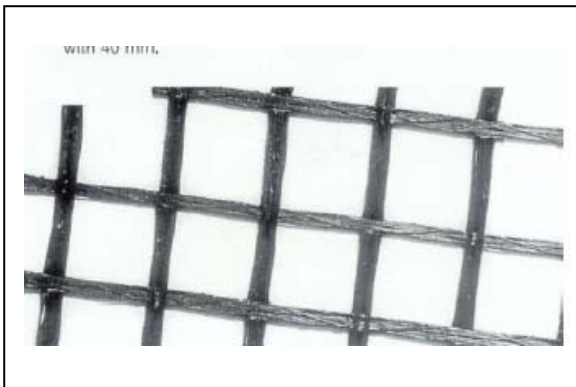
ژئوستتیک ها به پنج دسته کلی تقسیم می شوند. ژئوتکتایل ها، ژئوگریدها، ژئونتها، ژئوممبرینها، ژئوکامپوزیتها. متأسفانه هنوز استاندارد مشخصی در مورد نصب ژئوستتیکها در روسازی های آسفالتی وجود ندارد و تنوع این محصولات توسط شرکت های مختلف تولیدی کارایی آنها در مکانهای مختلف را همواره مورد سوال قرار داده است. بنابراین نحوه، محل نصب و نوع آسفالت می تواند تا حد زیادی بر نحوه عملکرد ژئوستتیکها مؤثر باشد و لذا لازم است که تاثیر استفاده از آنها در افزایش عمر آسفالت مورد بررسی قرار گیرد.

از آنجا که ترکهای ناشی از خستگی یکی از پارامترهای تعیین کننده کیفیت آسفالت هستند. لذا در این تحقیق بررسی تاثیر کاربرد دو نوع ژئوستتیک بر افزایش عمر روسازی آسفالتی از طریق آزمایش خستگی مورد بررسی قرار می گیرد.

روشهای مختلفی برای تعیین عمر خستگی روسازی های آسفالتی وجود دارند که از آنها میان می توان به روشهای کشش غیر مستقیم، کشش مستقیم، تیرچه خمشی و ... اشاره کرد که از میان این روشها، آزمایش خمشی تیرچه، روش مناسب تری برای

برش خوردند و لایه مسلح کننده در ارتفاع ۱/۳ از پایین نمونه با توجه به توصیه مرجع قرار گرفتند. [۱۷]

جدول ۲ است. اکنون این نوع ژئوتکستایل در آزاد راه تهران - قم نیز استفاده می‌شود.



شکل ۲. ژئوگرید مورد استفاده در تحقیق



شکل ۱. ژئوتکستایل مورد استفاده در این تحقیق

جدول ۳. ویژگی‌های ژئوگرید مورد استفاده [۱۸]

مقدار	واحد	استاندارد	ویژگی
			نوع محصول
			دومحوری
			مواد خام
			۱۰۰٪ پلی استر
۴۰×۴۰	mm		اندازه منافذ
۵۰/۵۰	KN/m	EN-ISO 10319	مقاومت کششی طولی/عرضی
۱۲/۱۴	%	EN-ISO 10319	کشیدگی در حداکثر نیرو عرضی / طولی
۲۴۰	g/m <sup>2</sup>	EN 965	وزن در واحد سطح ضریب تغییرات
<۱۰	%		
۱۹۰	°C	ASTM D276	نقطه ذوب

جدول ۲. ویژگی‌های ژئوتکستایل مورد استفاده [۱۶]

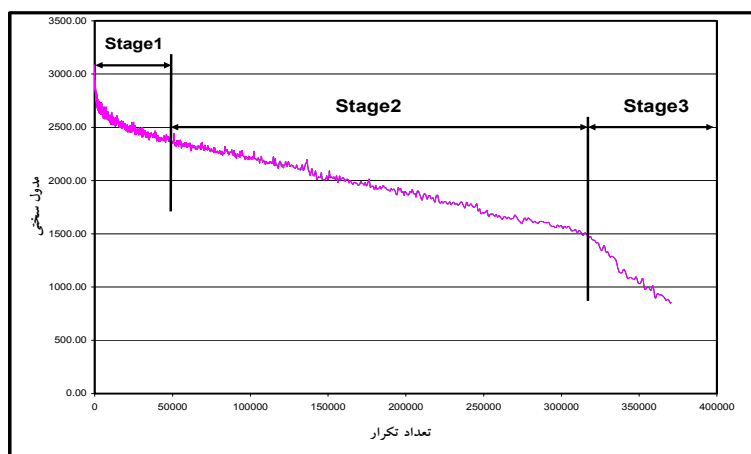
مقدار	واحد	استاندارد	ویژگی
			نوع محصول
			نیافته با الیاف پیوسته
			مواد خام
			۱۰۰٪ پلی پروپیلن
۱/۱	$\frac{KG}{M^2}$	ASTM D 6140-97	جذب قیر
۵۲۰	N	ASTM D 4632	مقاومت کششی کشیدگی
>۵۰	%		
۱/۴	mm	EN 964-1	ضخامت در ۲ KN/ M <sup>2</sup>
۱۴۰	g/m <sup>2</sup>	EN 965	وزن در واحد سطح ضریب تغییرات
<۱۰	%		
۱۶۵	°C	ASTM D276	نقطه ذوب
			بازیافت
			۱۰۰٪ قابل بازیافت با روشهای سستی

ژئوگرید مورد استفاده در این تحقیق از نوع شبکه‌ای است. این نوع ژئوگرید نیز مخصوص آسفالت بوده و در برابر دماهای تا ۱۹۰ درجه سانتیگراد مقاوم است. خصوصیات آن بر اساس اعلام کارخانه سازنده به شرح جدول ۳ است. هم اکنون این نوع ژئوگرید، وارداتی بوده و در تقویت موضعی روسازی در فرودگاه امام از آن استفاده شده است.

پس از ایجاد مقطع مورد نظر در یکی از جاده های دسترسی فرودگاه امام، دالهای ۵۰×۵۰ سانتیمتری از این مقطع تهیه و برای برش نمونه‌ها به آزمایشگاه مرکزی فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری منتقل شدند. نمونه‌ها برای آزمایش خمشی تیرچه آسفالتی به ابعاد ۳۸۱×۶۳×۵۰ میلیمتر با رواداری ۵ میلیمتر توسط اره مناسب از برش دالهای آسفالتی، تهیه شدند. نمونه‌ها در ۶ وجه



شکل ۳. تعدادی از نمونه های تهیه شده



شکل ۴. نمونه‌ای از نمودار سختی در مقابل تکرار بار

## ۲-۲ روش آزمایش خمشی تیرچه

آزمایش خمشی تیرچه در دو حالت تنش کنترل شده و کرنش کنترل شده قابل انجام است. شکل ۳ موج بارگذاری در حالت تنش کنترل شده، سینوسی و در حالت کرنش کنترل شده سینوسی و نیمه سینوسی است.

در حالت تنش کنترل شده مقدار تنش تعیین شده تا مرحله شکست نمونه اعمال می‌شود ولی در حالت کرنش کنترل شده سیستم بازگشتی تعبیه شده در دستگاه آزمایش خستگی تیر پس از هر تکرار بارگذاری، تنش را اصلاح می‌کند تا کرنش در حد مشخص شده ثابت باقی بماند. شکل ۴ یک نمونه از نمودار سختی در مقابل تکرار بار را که در آزمایشهای خستگی باحالت کرنش ثابت به دست آمده است نشان می‌دهد. نمودار را می‌توان به سه قسمت تقسیم کرد:

**قسمت اول:** مشخصه این قسمت، کاهش سریع مدول سختی نمونه است. این بخش در حدود ۱۰٪ عمر خستگی را شامل می‌شود.

**قسمت دوم:** مشخصه این قسمت کاهش خطی ضریب سختی نمونه است که این بخش در حدود ۹۰٪ عمر خستگی را شامل می‌شود و مرحله گسترش ترک های ریز است.

**قسمت سوم:** ویژگی این قسمت کاهش ناگهانی ضریب سختی نمونه است که در این بخش نمونه به مرحله شکست نزدیک می‌شود و ترک های بزرگ گسترش می‌یابند.

در حالت کرنش کنترل شده به علت کاهش مقدار تنش، نمونه می‌تواند مدت زیادی در مرحله سوم بدون کاهش چشمگیر در

مقدار سختی نمونه باقی بماند. به این علت معیار شکست را عموماً به صورت کاهش سختی تا درصدی از سختی اولیه (عموماً ۵۰ درصد) تعریف کرده‌اند. استاندارد AASHTO-TP8-94 این مقدار را ۵۰ درصد تعیین کرده است. اما به علت اختلاف موجود در محاسبه سختی اولیه و گاهی پراکندگی در نتایج، بهترین معیار برای تعیین مرز شکست نمونه، توجه به نمودار کاهش ضریب سختی در مقابل تکرار بار است که بر اساس یک تعریف دیگر، پایان مرحله دوم و شروع مرحله سوم، مرز شکست نمونه تعیین می‌شود [۱۹].

## ۲-۳ معرفی دستگاه آزمایش خستگی تیر

این دستگاه قادر است بارهای خمشی تکراری به نمونه های آسفالتی (یا دیگر مصالح) را 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 اندازه گیری شده در هر تکرار بار تصحیح می‌شود تا در تکرار بعدی، کرنش تعیین شده محقق گردد. در حالت تنش کنترل شده نیروی وارده ثابت فرض می‌شود و تغییر شکل نیز ثابت می‌گردد. اگر در نمونه خزش روی دهد، سطح حداکثر و حداقل بار تصحیح می‌شود تا تیر در حالت مستقیم نگه داشته شود. پارامترهای مختلفی از داده‌های به دست آمده محاسبه می‌شوند که عبارتند از: مدت زمان بارگذاری، تعداد تکرار بار، حداکثر و حداقل مقدار بار وارده، حداکثر و حداقل تغییر شکل تیر، تنش و کرنش کششی و سختی خمشی.

نتایج مربوط به آزمایش‌های این تحقیق بر اساس معادله فوق نشان داده شده‌اند.

در گام اول پردازش نتایج حاصل، عمر خستگی نمونه های مختلف استخراج گردید که به شرح جداول ۵ تا ۷ بیان شده است. مبنای عمر خستگی که در تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد، کاهش سختی تا ۵۰٪ سختی اولیه است. سپس نمودارهای سطوح کرنش در برابر عمر خستگی برای هر سه حالت رسم شدند و با استفاده از نرم افزار بر روی این نقاط رگرسیون نمایی انجام شد که نمودارهای حاصل، معادلات به دست آمده و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) مطابق اشکال ۶ تا ۸ و جدول ۸ ارایه می‌شوند. ضرایب  $k$  و  $n$  بر اساس رابطه ۱ مطابق مندرجات جدول ۹ به دست می‌آیند. اشکال ۶ تا ۸ منحنی های خستگی برای حالات مختلف را نشان می‌دهند. بررسی نمودارهای مربوط به ضریب سختی در برابر تکرار بار برای هر نمونه نشان می‌دهد که نمونه های مسلح شده دارای ضریب سختی بیشتری از نمونه های غیر مسلح هستند که این ضریب در نمونه های مسلح شده با ژئوگرید بیشتر است. نتایج کارهای Kim Saraf, Brown et al, نیز نشان دهنده این مطلبند [۲۱ و ۲۸]

#### جدول ۵. تعداد تکرار بار تا مرحله شکست

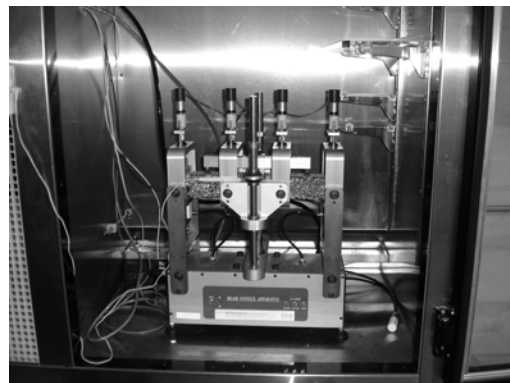
##### در نمونه های مسلح نشده

سطح کرنش	تعداد تکرار تا مرحله شکست (کاهش ۵۰ درصد ضریب سختی)	تعداد تکرار تا پایان مرحله دوم نمودار تکرار سختی
۷۰۰	۳۰۹۰۶۷	۳۱۵۰۶۰
۹۰۰	۹۱۵۶۰	۱۲۲۵۷۲
۱۱۰۰	۲۸۷۳۳	۳۷۶۸۰
۱۳۰۰	۱۸۰۳۰	۲۱۳۵۳

#### جدول ۶. تعداد تکرار بار تا مرحله شکست در

##### نمونه های مسلح شده با ژئوتکتستایل

سطح کرنش	تعداد تکرار تا مرحله شکست (کاهش ۵۰ درصد ضریب سختی)	تعداد تکرار تا پایان مرحله دوم نمودار تکرار سختی
۷۰۰	۳۵۶۹۶۱	۵۹۷۰۱۳
۹۰۰	۱۲۰۳۴۰	۲۷۰۱۰۵
۱۱۰۰	۵۳۴۶۰	۶۲۴۹۱
۱۳۰۰	۲۸۶۶۸	۳۵۲۹۰



شکل ۵. چارچوب دستگاه آزمایش خمش تیرچه

#### ۲-۴ طراحی آزمایش‌ها

با توجه به تعداد نمونه‌های به دست آمده در عملیات برش دالهای برداشت شده از اجرای میدانی و توجه به حداقل نمونه های مورد نیاز برای رسم منحنی های خستگی، برای هر حالت مسلح شده و مسلح نشده ۴ نمونه در ۴ سطح کرنش مورد آزمایش قرار گرفتند. با عنایت به این نکته که نمونه ها در یک سمت مسلح شده بودند و برای شبیه سازی بهتر رشد ترک، در مقایسه با وضعیت واقعی از بارگذاری نیمه سینوسی با فرکانس ۱۰ هرتز و بدون استراحت در حالت کرنش کنترل شده استفاده گردید.

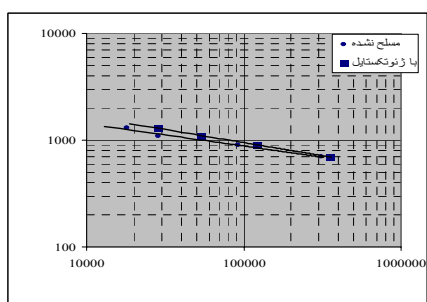
با توجه به نتایج حاصل از مرور مطالعات صورت گرفته در زمینه بکارگیری ژئوسنتتیک‌ها، برای مشاهده پتانسیل ژئوسنتتیک‌ها در مسلح سازی رویه های آسفالتی، نمونه ها در سطوح با کرنش زیاد آزمایش شدند. نمونه‌ها در ۴ سطح کرنش ۱۱۰۰، ۹۰۰، ۷۰۰ و ۱۳۰۰ میکرون و در دمای  $20 \pm 0.8$  درجه سانتیگراد مورد آزمایش قرار گرفتند و آزمایش‌ها تا شروع مرحله سوم نمودار کاهش ضریب سختی در مقابل تکرار بار ادامه یافتند.

#### ۳. پردازش نتایج و بحث

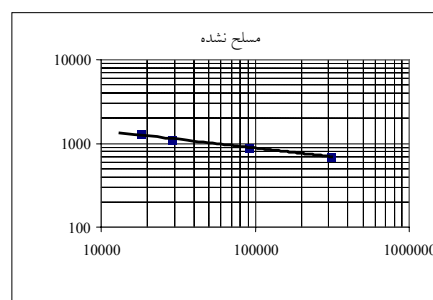
یکی از معمول ترین معادلات خستگی به صورت معادله (۱) است [۲۰].

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

که در آن  $\epsilon$  کرنش کششی اولیه و  $k$  و  $n$  ضرایب ثابت هستند که بعد از رسم نمودار تعداد تکرار در مقابل کرنش کششی اولیه در مقیاس لگاریتمی، با استفاده از معادله خط برازش شده، قابل محاسبه‌اند.



شکل ۱۰. مقایسه منحنی خستگی در حالت مسلح نشده و مسلح شده با ژئوتکستایل

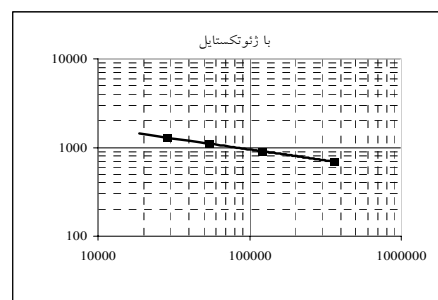


شکل ۶. منحنی خستگی برای نمونه‌های غیر مسلح

جدول ۷. تعداد تکرار بار تا مرحله شکست

در نمونه‌های مسلح شده با ژئوگرید

سطح کرنش	تعداد تکرار تا مرحله شکست (کاهش ۵۰ درصد ضریب سختی)	تعداد تکرار تا پایان مرحله دوم نمودار تکرار سختی
۷۰۰	۴۴۲۱۸۹	۴۴۸۹۲۳
۹۰۰	۱۳۹۶۳۰	۱۷۵۷۹۰
۱۱۰۰	۴۳۶۵۰	۵۲۶۱۰
۱۳۰۰	۲۵۶۵۰	۳۶۷۰۰

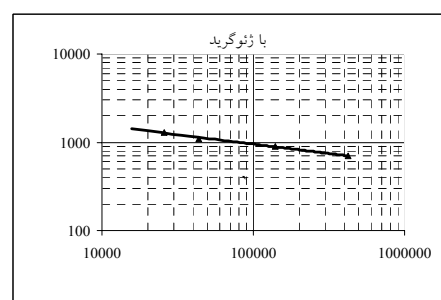


شکل ۷. منحنی خستگی برای نمونه‌های مسلح شده با ژئوتکستایل

جدول ۸. معادلات خستگی به دست آمده

برای نمونه‌های مختلف

ضریب همبستگی ( $R^2$ )	معادله خستگی	نمونه آسفالتی
$R^2 = 0.9883$	$N_f = 8.9420 \times 10^{18} \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{4.7379}$	مسلح نشده
$R^2 = 0.9876$	$N_f = 7.8058 \times 10^{18} \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{4.6635}$	مسلح شده با ژئوگرید
$R^2 = 0.989$	$N_f = 1.4354 \times 10^{17} \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{4.0829}$	مسلح شده با ژئوتکستایل

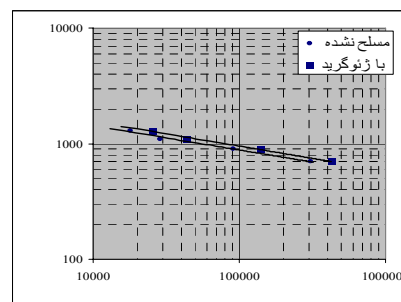


شکل ۸. منحنی خستگی برای نمونه‌های مسلح شده با ژئوگرید

جدول ۹. ضرایب kn در رابطه ۱

برای نمونه‌های مختلف

ضریب n	ضریب k	شرح
4.7379	$8.9420 \times 10^{18}$	نمونه مسلح نشده
4.6635	$7.8058 \times 10^{18}$	نمونه مسلح شده با ژئوگرید
4.0829	$1.4354 \times 10^{17}$	نمونه مسلح شده با ژئوتکستایل



شکل ۹. مقایسه منحنی خستگی در حالت مسلح نشده و مسلح شده با ژئوگرید

با کرنش زیاد مشهودتر است و این امر در مورد ژئوتکستایل‌ها بیشتر قابل توجه است. همچنین مقادیر  $n$  نشان می‌دهند که سرعت کاهش عمر خستگی در نمونه‌های مسلح شده با افزایش سطح تنش کمتر از نمونه‌های مسلح نشده است. با توجه به مندرجات فوق می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد ژئوگریدها در نمونه‌های آسفالتی بیشتر مسلح کننده است، اما در نمونه‌های مسلح شده با ژئوتکستایل، تأخیر در گسترش ترک‌ها عامل افزایش عمرخستگی است.

#### سپاسگزاری:

از همکاری آزمایشگاه مرکزی فنی و مکانیک خاک وزارت راه و ترابری و واحد مستقر در فرودگاه امام خمینی جهت اجازه استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی و انجام آزمایش‌ها، نیز همکاری‌های شرکت بهسازان محک و مجری محترم فرودگاه امام خمینی و دفتر نظارت مهندسین مشاور هگزا، آقای مهندس صیقلی قدردانی می‌شود.

#### ۵. مراجع

- 1- Chang, T.T., Ho, N.H., Chang, H.Y and Yeh, H.S, (1999) "Laboratory and case study for Geogrid reinforced flexible pavement overlay", TRB A2K07 Committee78" Annual Meeting.
- 2- Amara, L., Imad L., Al-Qadi, Salman, Bhutta, and Gerardo, W. Flintsch (2001) "Evaluation of geosynthetics when used as separation", Department of Civil and Environmental Engineering, Blacksburg, VA
- 3- Khodadadi, A. (1993) "The effect of compaction method on the fatigue life and elasto – plastic properties of asphalt pavement", Department Of Civil and Environmental Engineering ,Charleston University, Ottawa, Canada.
- 4- Brown, S.F. (1999) "Geosynthetics in asphalt pavements", International Geosynthetics Society.
- 5- Ahmad, S. 1998) "Mechanistic – empirical pavement design procedure for Geosynthetically stabilized flexible

مقایسه اشکال ۹ و ۱۰ بیان کننده این واقعیت است که عملکرد ژئوگریدها در نمونه‌های آسفالتی بیشتر مسلح کننده است به این معنی که افزایش عمر خستگی ناشی از افزایش سختی اولیه و به تأخیر انداختن ایجاد ترک‌های ریز اولیه، از طریق حبس مخلوط و نگهداشت جانبی است. اما در نمونه‌های مسلح شده با ژئوتکستایل، تشکیل یک لایه نرم داخلی، باعث تأخیر در گسترش ترک‌ها و ایجاد ترک‌های بزرگ نهایی می‌شود و عامل افزایش عمرخستگی است. Chang et al. این عملکرد را در مورد ژئوگریدها مورد تایید قرار داده است Austin و Gilchrist در مورد ژئوتکستایل‌ها نیز به این مطلب اشاره کرده‌اند [۲۲ و ۲۳].

#### ۴. نتیجه گیری

آزمایش‌های مربوط به بررسی خستگی نمونه‌های روسازی‌های آسفالتی مسلح شده با ژئوسنتتیک‌ها نشان می‌دهد که این نمونه‌ها به مراتب بهتر از نمونه‌های مسلح نشده می‌توانند خستگی را تحمل نمایند. این افزایش خستگی در سطح کرنش‌های بزرگ‌تر بیشتر آشکار می‌شود. مشاهدات عینی در حین انجام آزمون‌های خستگی تیر<sup>۶</sup> نشان دادند که نمونه‌های مسلح شده پس از پایان آزمایش، یکپارچگی و پایداری بهتری از نمونه‌های غیرمسلح دارند و عرض ترک‌های ایجاد شده هم کمتر است. علت این امر این است که در پایان عمر خستگی نمونه‌های مسلح شده، لایه‌های ژئوگرید و ژئوتکستایل تقریباً سالم باقی می‌مانند.

محاسبات اولیه بر روی نتایج جداول ۵ تا ۷ نشان می‌دهند که اگر مبنای پایان عمر خستگی کاهش ضریب سختی به اندازه ۵۰٪ سختی اولیه باشد، عمر خستگی در نمونه‌های مسلح شده با ژئوگرید به طور میانگین به اندازه ۵۰٪ و در نمونه‌های مسلح شده با ژئوتکستایل به اندازه ۴۸٪ در مقایسه با نمونه‌های مسلح نشده افزایش می‌یابد. تمامی تحقیقات قبلی در مورد کاربرد ژئوسنتتیک‌ها در مسلح سازی روسازی‌های آسفالتی، این مبنا را عبور ترک از عرض نمونه تعریف کرده‌اند. به این دلیل اختلاف نتایج این تحقیق در مورد عمر خستگی با کارهای قبلی زیاد است. اگر مبنای پایان عمر خستگی پایان مرحله دوم نمودار ضریب سختی در مقابل تکرار بار برای هر نمونه باشد، مقادیر بند فوق برای نمونه‌های مسلح شده با ژئوگرید ۵۶٪ و برای نمونه‌های مسلح شده با ژئوتکستایل ۸۵٪ است.

مقادیر  $k$  به دست آمده در جدول ۹ نشان می‌دهد که اثر ژئوتکستایل و ژئوگریدها، بر افزایش عمر خستگی در سطوح

۱۵- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، "آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران"، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، مرکز مدارک علمی و انتشارات، ۱۳۸۱.

16- POLYFELT INC, "Company catalog specification, Polyfelt-14 " 1997.

17- Standard Test AASHTO Provisional Standards (1994) "Standard test method for determination of the fatigue life of compacted hot mix asphalt (HMA), subjected to repeated flexural bending". TP8-94.

18- HUESKER INC (1993) "Company catalog specification, Hatelit".

19- Artamendi, A. and Khalid, H. (1993) "Different approaches to depict fatigue of bituminous materials", Department of Civil Engineering, University Of Liverpool, UK.

20- Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, (1996) "Summary report on fatigue response of asphalt mixtures project A-003A", Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.

21- Kim, K.W., Churl, Y.P., Seok, Y.K. (1996) "Tensile reinforcement of asphalt concrete using polymer coating", Construction and Building Materials, V. 10, pp. 141-146.

22- Austin, R.A., Gilchrist, A.J.T., (1996), "Enhanced Performance Of Asphalt Pavement Using Geocomposites, Journal Of Geotextile and Geomembrance", 14, 175-186.

23- GFR. (2003) "Overlay stress absorption and reinforcement", Geotechnical Fabrics Report, pp. 8-11

پانویس ها:

- 1- Geotextiles
- 2- Geogrids
- 3- Geonets
- 4- Geomembranes
- 5- Geocomposites
- 6- Beam Fatigue

pavement", Blacksburg, Virginia Polytechnic Institute.

6- 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.

7- Kwasi, A. (1997) "In-situ behavior of Geosynthetically stabilized flexible pavement", Thesis submitted to The Faculty of The Virginia Polytechnic Institute.

8- Brown, S.F., Jones, C.P.D. and Broderick, B.V (1982) "Use of non-woven fabrics in permanent road pavements", Proceedings of The Institution of Civil Engineers, London, UK, Part 2, Vol.73, pp. 541-563.

9- Hass, R., Wall, J., and Carroll, R.G.(1988) "Geogrid reinforcement of granular bases in flexible pavements", In Transportation Research Record 1188, TRB, National Research Council, Washington, DC, USA, pp. 19-27.

10- Barksdale, R.D., Brown, S.F. and Chan, F. (1989) "Potential benefits of Geosynthetics in flexible pavement systems", National Cooperative Highway Research Program Report.

11- 11-Tensar Earth Technologies INC. (1998) "A review of Geosynthetic function and application in pave and unpaved roads", Technical Note.

12- 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.

13- SHRP (1994) "A-404, fatigue response of asphalt-aggregate mixes". Strategic Highway Research Program, National Research Council.

14- ASTM (1994) "Annual book of ASTM standards", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.