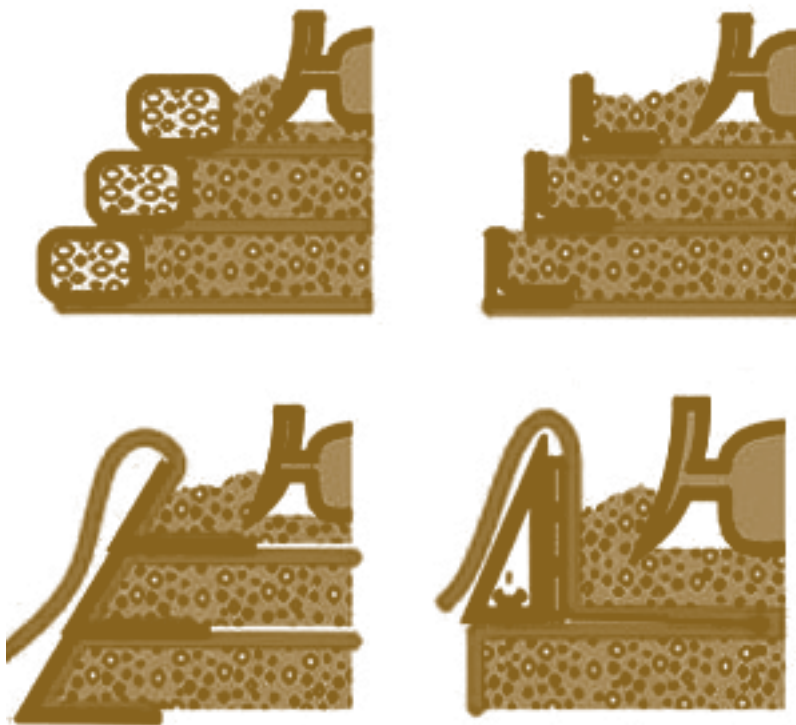


استفاده از ژئوگرید در راه‌ها و باند فرودگاه‌ها

- جلوگیری از ترک خوردگی آسفالت
- موارد کاربرد ژئوگریدهای مسلح کننده آسفالت
- فاصله بین تعمیرات
- کنترل کیفیت
- بررسی چند پروژه اجرا شده

نشریه شماره ۳۸، بهار ۱۳۷۶



پیشگفتار

در ارتباط با استفاده از مواد مصنوعی در کارهای عمرانی، این مهندسین مشاور در بهار سال ۱۳۷۲ اقدام به انتشار نشریه شماره ۶ خود تحت عنوان "مجموعه مقالات راجع به ژئوسنتز" نمود که اشاره‌ای کلی به استفاده از "ژئوممبرین‌ها"، "ژئوتکستایل‌ها" و "ژئوگریدها" در زهکشی، تقویت نمودن جاده‌ها، تقویت خاکریزها و جداسازی خاکها داشت. در زمستان سال ۱۳۷۵ نیز نشریه شماره ۳۶ تحت عنوان "حفاظت سواحل دریا و رودخانه‌ها - معرفی روشهای سنتی و پیشرفته" انتشار یافت که در آن نیز در معرفی روشهای پیشرفته، به کاربردها و مزایای استفاده از این مواد جهت کارهای ساحلی پرداخته شده بود. بنابراین، روند طبیعی موضوع، ما را به تهیه و تدوین این نشریه هدایت نمود که اختصاصاً به موارد استفاده ژئوگرید در راهها و فرودگاهها می‌پردازد که امیدوار است مورد توجه اهل فن قرار گیرد.

همواره شنیده‌ایم که راهها شریانهای اقتصادی کشور هستند ولی اکنون زمان آن فرا رسیده است که نه تنها راهها، خیابانها و خطوط راه آهن، بلکه پایانه‌های هوایی یعنی فرودگاهها را نیز مشمول این تعریف بدانیم. با توجه به اینکه موارد فوق، از تأسیسات زیربنایی کشورها محسوب شده و هزینه هنگفت و زمان زیادی صرف احداث آنها می‌شود، لازم است که در ساخت، توسعه، نگهداری و مرمت آنها دقت فراوانی صرف گردد تا از هدر رفتن سرمایه‌های ملی جلوگیری شده، موجبات تسریع در امر حمل و نقل و جابجائی کالا و مسافران و همچنین امنیت و آرامش خاطر تردد کنندگان را فراهم نمائیم.

اکنون با پیشرفت تکنولوژی، صنعت و دامنه تحقیقات علمی و عملی، روشها و مواد و مصالح جدیدی ابداع شده‌اند که استفاده از آنها در ساخت، توسعه، نگهداری و مرمت راهها و پایانه‌ها روز بروز متداول‌تر می‌گردد. علیرغم سرمایه‌گذاری اولیه اندکی بیشتر جهت احداث و یا صرف مبالغ کمی بیشتر جهت مرمت تأسیسات زیربنائی فوق، تسریعی که در امر جابجائی حاصل می‌شود، آرامش خاطری که ایجاد می‌شود، مبالغی که در مورد تعمیرات وسایل نقلیه و تهیه لوازم یدکی صرفه‌جویی می‌گردد، ... نیاز کمتری که به دارو و تجهیزات درمانی در اثر بروز حوادث رانندگی خواهد بود و، صرف این هزینه‌های اولیه و در عوض سود بردن در بلند مدت را، به سرمایه‌گذاری شیرینی تبدیل می‌کند.

صرفنظر از روشهای فنی، یکی از مواد و مصالحی که کاربرد آنها در حال رایج‌تر شدن است، ماده‌ای است که به "ژئوگرید" موسوم است و بتوسط کمپانی‌های متعددی در جهان تولید می‌شود و حتی امکان تولید آن در کشور ما نیز وجود دارد.

در کشور ما که بسیاری از جابجائی‌های کالا و مسافرین از طریق زمین انجام می‌شود و تغییرات دمائی روزانه و فصلی، نوسانات قابل توجهی دارند و عوامل جوی از قبیل آفتاب، باران و برف از شدت زیادی برخوردارند و سنگین‌تر شدن روزافزون وزن وسایل نقلیه و محموله‌های آنها، بررسی و نگرشی دقیق در استفاده از این مواد، ضرورتی عاجل بنظر می‌رسد.

با توجه به موارد یاد شده در فوق، این مهندسی مشاور تصمیم به انتشار این نشریه گرفت تا ضمن ارائه قابلیت‌های اینگونه مواد و عرضه شواهد و مثال‌هایی از کاربردهای آن در کشورهای دیگر، مسئولان، مدیران و مهندسان کشور را بیش از پیش با این محصول و امکانات بالقوه آن آشنا سازد تا استفاده از مزایای بیشمار آن در پروژه‌های زیربنایی ملی را در نظر بگیرند.

سعید شهیدی

مدیربخش تحقیق و توسعه

مقدمه

مخلوط‌های قیری که در ایران به آسفالت موسوم هستند، از اختلاط قیر و مصالح سنگی به دست می‌آیند. آسفالت انواع مختلف دارد و از آن برای ساختن لایه‌های رویه‌ی اساس و زیر اساس روسازی راهها و فرودگاهها استفاده می‌شود. از آنجا که خصوصیات آسفالت بستگی به خصوصیات مصالح تشکیل دهنده آن یعنی قیر و مصالح سنگی دارد، لذا روشهای تسلیح آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

- مصالح سنگی که در ساختن آسفالت‌ها به کار می‌روند، باید دارای ۳ خصوصیت باشند.

- ۱- در برابر وزن وسایل نقلیه عبوری سنگین و همچنین وزن ماشین‌آلات سنگین راهسازی مقاومت کافی داشته باشد و نباید در اثر تنشهای ناشی از وزن آنها شکسته و خرد شود (سختی).
- ۲- در برابر عوامل جوی مقاوم باشند. مصالحی که در اثر یخبندان و یا در اثر تغییرات رطوبت شکسته و خرد می‌شوند، نباید در لایه‌های آسفالتی روسازی مصرف شوند (دوام).
- ۳- مصالح سنگی آسفالت‌ها باید تمیز بوده و از هرگونه مواد خارجی از قبیل مواد آلی، سنگهای نرم و کم دوام و خاک رُس عاری باشد (تمیزی).

جلوگیری از ترك خوردگی آسفالت

آسفالت ماده ایده‌آل (بادوام و ارزان) برای احداث جاده و راه می‌باشد. با این وجود وقتی ترك خوردگی‌های لایه‌های قدیمی زیرین به لایه رویی منتقل می‌شوند، مشکلات تعمیرات بروز می‌کنند.

این نوع ترك‌ها بیشتر به علت خستگی (فرسودگی) ناشی از حرارت

ایجاد می‌شوند، هرچند خستگی (فرسودگی) ناشی از ترافیک نیز در این امر موثر است.

در مواردی که بر روی جاده بتونی، یک لایه آسفالت کشیده می‌شود، ترک‌های انعکاسی مشاهده می‌گردد. این نوع ترک‌ها در اثر حرکت افقی دال‌های بتونی ناشی از انقباض و انبساط حاصل از تغییرات دمایی روزانه و یا فصلی ایجاد می‌شوند. این حرکت‌ها موجب تولید فشار بسیار زیادی در آسفالت روی درز بین دال‌های بتنی شده و ایجاد ترک خوردگی می‌نمایند.

هنگامی که وزن بار چرخ یک وسیله نقلیه از روی ترکی که در ساختار رویه جاده وجود دارد عبور می‌کند، در لایه آسفالتی که مستقیماً بر روی ترک وجود دارد ایجاد نیروهای برشی می‌کند. میزان این نیروهای برشی بستگی به ضخامت لایه آسفالتی و ساختار آن، ظرفیت یا توان تحمل بار زیراساس جاده و میزان همواری لبه‌های ترک دارد. اگر روکش آسفالتی در اثر عبور مکرر بار ترافیکی دائماً تحت تاثیر این نوع فشار قرار گیرد، مقاومت و ایستادگی کاهش پیدا کرده، آسفالت دچار شکست شده و ترکهای انعکاسی (انتقالی) ظاهر خواهند شد.

با استفاده از ژئوگرید انعطاف‌پذیر مسلح کننده، بروز اینگونه صدمات در لایه آسفالتی به تعویق افتاده و یا به کلی از آن جلوگیری می‌شود. ژئوگرید مسلح کننده، راه حل صحیح جلوگیری از ترک خوردگی انعکاسی (انتقالی) را در اختیار مهندسی راهسازی قرار میدهد.

تسلیح موثر لایه های آسفالتی

لایه های آسفالتی دارای مقاومت کششی کمی هستند، در نتیجه روی لایه های آن ایجاد ترک می شود و می تواند منجر به کاهش ارزش خدماتی جاده و کم شدن عمر پوشش آسفالتی گردد.

ژئوگریدهای مسلح کننده آسفالت دونقش عمده در لایه های آسفالتی ایفا می کنند:

۱- مقاومت کششی لایه آسفالتی را افزایش می دهند.

۲- میزان قابل توجهی از نیروهای کششی افقی در آسفالت را تحمل کرده و نیروها را در یک سطح بزرگتر توزیع می نمایند. این عمل موجب پائین آمدن میزان حداکثر اوج نیروهای کششی و خطرات ناشی از بارگذاری حاصل از بارهای بسیار سنگین می شود.

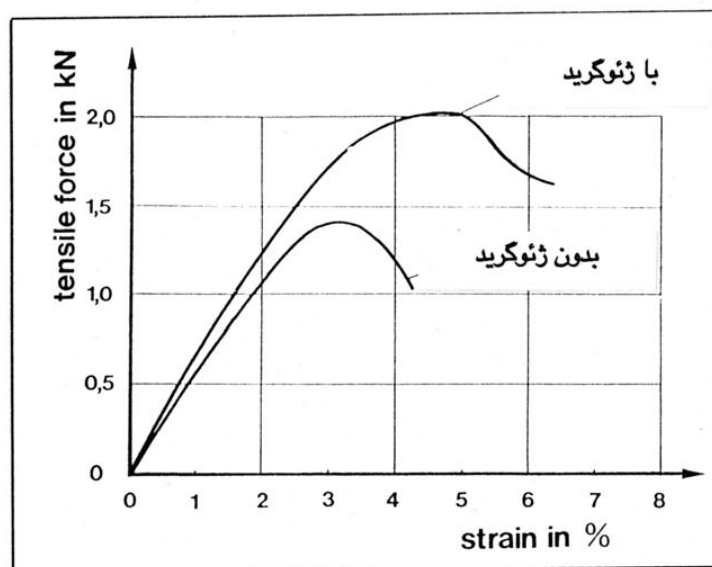
موثر بودن ژئوگریدهای مسلح کننده آسفالت در آزمایش نمونه های آسفالتی دولایه مسلح و غیرمسلح بخوبی معلوم شده است. نتایج مطالعات نشان می دهند که:

- میزان بار گسیختگی برروی نمونه مسلح آزمایشی ۵۰٪ بیشتر از میزان بار برروی نمونه غیرمسلح آزمایشی است.

- میزان ازدیاد طول آسفالت در لحظه گسیخته شدن نمونه مسلح آزمایشی نیز در حدود ۶۵٪ بیشتر است.

قابل توجه است که گسیختگی های ایجاد شده برروی نمونه غیر مسلح آزمایشی به صورت ترکهای باز و منفرد می باشند در صورتیکه برروی نمونه مسلح آزمایشی به صورت ترکهای دقیقاً پخش (توزیع) شده هستند که دلیل عمده آن، خاصیت توزیع کنندگی بار بتوسط ماده مسلح کننده است. خاصیت توزیع بار بتوسط ژئوگرید مسلح کننده آسفالت، همچنین موجب تقلیل ایجاد شیار در قسمت هایی از سطح جاده که ترافیک

بیشتری از روی آن عبور می‌کند می‌گردد. علاوه براین لایه آسفالتی مسلح شده میتواند بارهای دینامیکی بیشتر را تحمل نموده و به طور موثری در مقابل فرسایش مقاومت کند.



ژئوگریدهای مسلح کننده ساخته شده جهت مصارف خاص

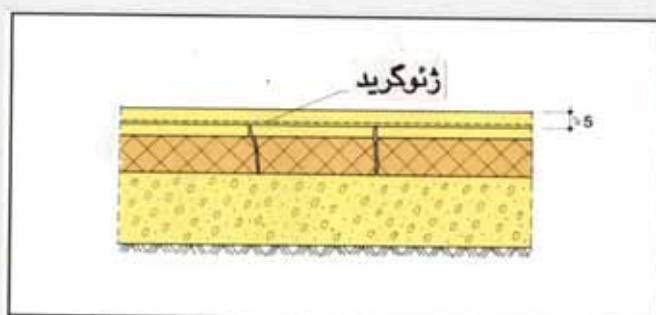
این نوع ژئوگرید، یک ماده مسلح کننده انعطاف پذیر است که از الیاف پلی استر که از طریق یک تکنیک تولیدی خاص به یکدیگر مرتبط می‌شوند ساخته می‌شود و بدین ترتیب شبکه‌ای با چشمه‌هایی باز تولید می‌گردد. انتخاب ماده پلی استر براساس تشابه بین ویژگیهای مکانیکی و مدول الاستیک آن و یا نوع آسفالت انجام می‌گردد. علاوه بر آن، میزان جمع‌شدگی (انقباض) این ماده پلیمری بسیار کم بوده و تا دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد را تحمل می‌کند.

ژئوگریدهای مسلح کننده آسفالت با يك ماده قیری پوشش شده اند که چسبندگی آنها به لایه های آسفالت را تضمین می کند. این چسبندگی موجب می شود که ژئوگرید مسلح کننده بتواند نیروهای کششی را تحمل کرده و آنها را توزیع نماید. علاوه بر این، ساختار ژئوگرید دارای فضاهای باز (چشمه) است که حداقل ۷۵٪ از سطح آنرا شامل می گردد و این فضاهای باز (چشمه ها) موجب چسبندگی مستقیم لایه های آسفالت به یکدیگر می شوند و لذا حداکثر میزان چسبندگی لایه ها حاصل میگردد. این نوع ژئوگریدها در انواع استانداردهای مختلف تولید می شوند. برخی از آنها خصوصاً برای استفاده در لایه های آسفالتی سرد طراحی شده است. انواع دیگر آن تنها برای مسلح کردن لایه های آسفالتی گرم مورد استفاده قرار می گیرند. انتخاب ژئوگرید مسلح کننده مناسب، براساس متناسب بودن ابعاد چشمه ژئوگرید با بزرگترین قطر شن و ماسه به کار رفته در مخلوط انجام می پذیرد. به عنوان يك اصل کلی، ابعاد داخلی چشمه ها باید به نسبت ۲ تا ۲/۵ برابر بزرگتر از بزرگترین دانه شن و ماسه باشد. در اکثر موارد این موضوع باعث استفاده از ژئوگرید مسلح کننده آسفالت که ابعاد چشمه های آن ۳۰ و یا ۴۰ میلی متر است می شود. علاوه براین، تجربه نشان میدهد که مقاومت ۵۰ کیلونیوتن برمترمربع که هم در جهت طولی و هم در جهت عرضی ژئوگرید مسلح کننده وجود دارد، کاملاً کافی است.

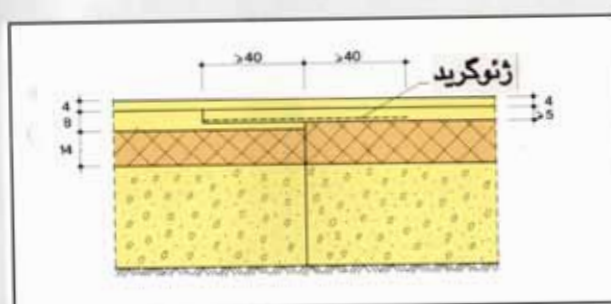
محمول	۲۰/۵	۲۰/۸	۳۰/۱۳	۳۰/۱۹	۴۰/۱۷
پلی آستر	پلی آستر	پلی آستر	پلی آستر	پلی آستر	پلی آستر
پوشش (اندود)	قیری	قیری	قیری	قیری	قیری
وزن جنس (گرم بر متر مربع)	۱۴۰	۲۴۰	۲۴۰	۴۶۰	۲۵۰
ابعاد چشمه ها (میلیمتر)	۲۰۴۲۰	۲۰۴۲۰	۳۰۴۳۰	۳۰۴۳۰	۴۰۴۴۰
میزان چشمه ها (درصد)	حدافل ۰٫۷۵	حدافل ۰٫۷۵	حدافل ۰٫۷۵	حدافل ۰٫۷۵	حدافل ۰٫۷۵
مقاومت نهایی بر حسب کیلو نیوتن بر متر (طول عرض)	۳۰۴۳۰	۵۰۴۵۰	۵۰۴۵۰	۹۰۴۹۰	۵۰۴۵۰
ازدیاد طول در نقطه شکست (طول عرض)	۱۲٫۱۴	۱۲٫۱۴	۱۲٫۱۴	۱۲٫۱۴	۱۲٫۱۴
مقاومت در هنگام ۳ درصد ازدیاد طول (طول عرض)	۷٫۵	۱۲٫۱۰	۱۲٫۱۰	۲۲٫۱۸	۱۲٫۱۰
مقاومت در مقابل حرارت	تا ۲۱۰°C	تا ۲۱۰°C	تا ۲۱۰°C	تا ۲۱۰°C	تا ۲۱۰°C
ویژگیهای جمع شدگی	حدود ۱ درصد پس از ۱۵ دقیقه دمای ۱۹۰ درجه				
مقاومت شیمیایی	در مقابل حلال ها و مواد ذوب کننده پخ خوب است				
طول نوپ به متر	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰
عرض به متر	۳٫۶۰ ۱٫۰۰	۳٫۶۰ ۱٫۷۰	۳٫۶۰ ۲٫۳۰	۳٫۶۰	۳٫۶۰

موارد کاربرد ژئوگریدهای مسلح کننده آسفالت

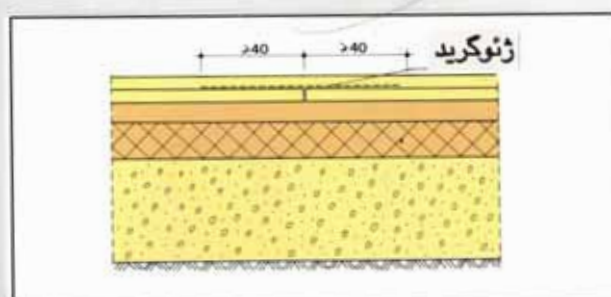
از ژئوگرید مسلح کننده آسفالت به طور وسیعی در لایه های آسفالتی راهسازی و فرودگاهها و همینطور در لایه های سطوح پوششی قیری در مهندسی هیدرولیک استفاده می شود. ژئوگریدها عمدتاً نیروهای افقی و از شکل خارج شدگی را تحمل کرده و بنابراین در مقابل توسعه و ازدیاد ترکهای انعکاسی (انتقالی) از ساختار موجود به لایه سایشی مقاومت می کنند. اینگونه تعمیر غالباً از طریق مسلح کردن کل سطح انجام می گیرد.



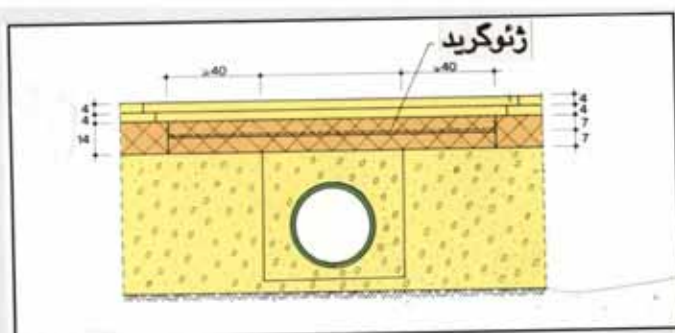
مطابق شکل زیر در مورد تعریض راهها، هنگامی که از مسلح کننده استفاده نشود غالباً يك و يا چند ترك طولی در محل درز اتصال نوار آسفالت جدید به بخش قدیمی ظاهر می شود. از طریق مسلح کردن این درز طولی میتوان از این نوع ترك خوردگی جلوگیری به عمل آورد.



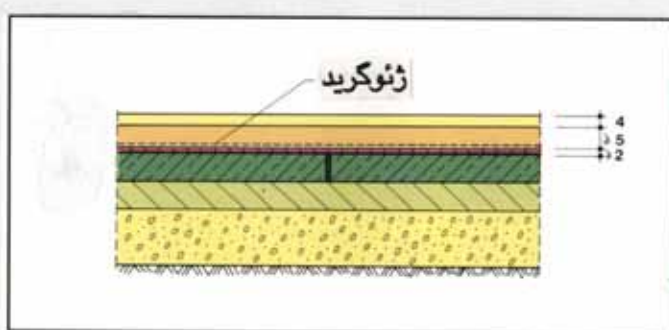
وجود درزهای باز روی لایه سایشی موجود، غالباً منطقه ای با احتمال زیاد بروز ترك خوردگی را به وجود می آورد. در چنین مواردی مسلح کردن منطقه ای روی درزها نیز توصیه می گردد (شکل ذیل).



مشابه با مورد تعریض، ترك خوردگی لایه آسفالتی در لبه حفاری یا کانالی که به منظور لوله گذاری حفر شده است نیز ظاهر می شود. استفاده از ژئوگرید مسلح کننده آسفالت می تواند موجب جلوگیری و یا تقلیل میزان این ترك خوردگی شود (شکل ذیل).



هنگامی که باندهای بتونی فرودگاهها و یا راههای بتونی باروکش آسفالتی پوشیده می‌شوند، بروز ترك خوردگی در آسفالت روی درزهای انبساط بتون بخاطر اختلاف میزان انبساط بتون و آسفالت در اثر گرما يك موضوع غير عادى نیست. با استفاده صحیح از ژئوگریدهای مسلح كننده آسفالت میتوان از بروز اینگونه ترك ها جلوگیری به عمل آورد (شكل ذیل).



استفاده از ژئوگرید مسلح کننده آسفالت در فرودگاهها معمولاً بار ترافیکی در فرودگاهها بسیار زیاد بوده و بستن فرودگاهها به منظور انجام تعمیرات ضروری باند را، هرچند برای مدتی کوتاه مشکل یا تقریباً غیرممکن می‌سازد. در نتیجه برای تعمیر ترك خوردگی لایه آسفالتی یا سائیدگی پوشش‌های بتنی وقت بسیار کمی وجود دارد. این موضوع در مورد مسیر حرکت آهسته هواپیما تا محل توقف آنها نیز صادق است هرچند در مورد باندها حادثه می‌باشد.



در اکثر مواقع، پوشش آسفالتی که کمترین وقت را برای تعمیرات می‌گیرد به عنوان روش تعمیر انتخاب می‌کنند. برای جلوگیری از بروز ترك‌های انعکاسی (انتقالی) در يك لایه جدید آسفالتی و همچنین زیاد کردن فواصل بین تعمیرات، استفاده از ژئوگرید مسلح کننده انعطاف‌پذیر را توصیه می‌کنند.



این روش تعمیراتی با استفاده از ژئوگریدهای مسلح کننده آسفالت در تعداد زیادی از فرودگاههای کشوری و نظامی در سرتاسر اروپا با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است. این ماده آزمایش خود را در زیر بار ترافیکی سنگین و شدیدترین شرایط آب و هوایی با موفقیت پشت سر گذاشته است.



راههای فاقد ترك خوردگی

در طی سالیان گذشته، مخارج تعمیرات راهها سیر صعودی طی نموده است. دلایل این امر را می توان در سپری شدن عمر مفید شبکه راهها و افزایش بار ترافیکی جستجو کرد که دلایل آنرا نیز می توان در بالا رفتن حجم ترافیک و بالا رفتن میزان بار مجاز وارد بر هر محور جستجو نمود. بنابراین می توان دریافت که چرا نیاز به روشهای اقتصادی و موثر برای تعمیر راهها است.



همانطور که ذکر شد، استفاده از ژئوگرید مسلح کننده در لایه های آسفالتی، روش موثری برای جلوگیری از بروز ترکهای انعکاسی (انتقالی) است. تجربه ۲۰ سال استفاده از مواد مسلح کننده آسفالت نشان میدهد که می توان عمر لایه آسفالتی و لذا فواصل بین تعمیرات آنرا تا ۳ برابر افزایش داد و این در هر نوع آب و هوایی صادق است.

جاده ای که با این نوع مواد مسلح شده باشد، در صورتیکه ژئوگرید مسلح کننده به طور صحیح به کار برده شود سالهای زیادی بدون ترك خوردگی باقی خواهد ماند.

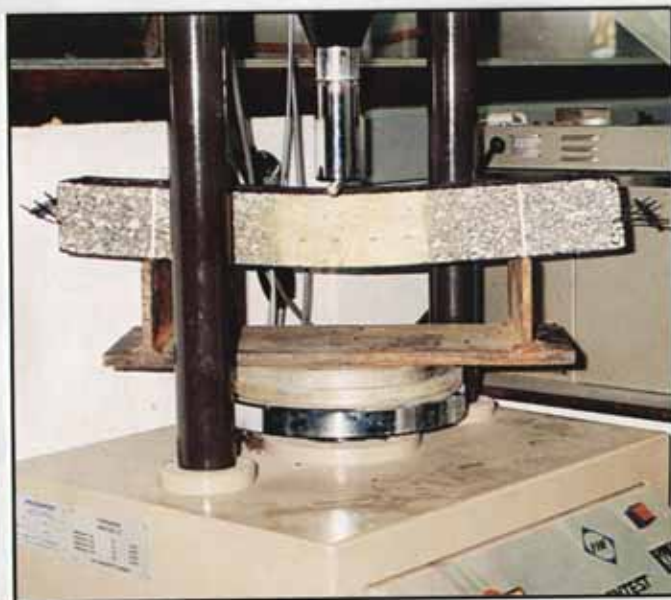


در صورت نیاز به تعمیر لایه آسفالتی مسلح در هر مقطع زمانی نیازی به هیچگونه اقدامات خاص نیست. ژئوگرید را می توان تراشید و آسفالت را مجدداً مورد استفاده قرار داد که این به علت نقطه ذوب ۲۲۵ درجه ای پلی استر است. این نوع ژئوگرید يك ماده سازگار با محیط زیست بوده و موجب صرفه جویی در منابع اولیه می گردد.

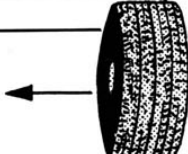


فاصله بین تعمیرات

روند توسعه (گسترش) يك ترك در لایه آسفالتی به تعداد دفعات وارد آوردن فشار برآن، بزرگی فشارهای وارده و خواص مکانیکی آسفالت بستگی دارد. از آنجا که با استفاده از ماده مسلح کننده، خواص مکانیکی آسفالت بهبود پیدا میکند، لذا روند گسترش ترك آهسته می گردد.

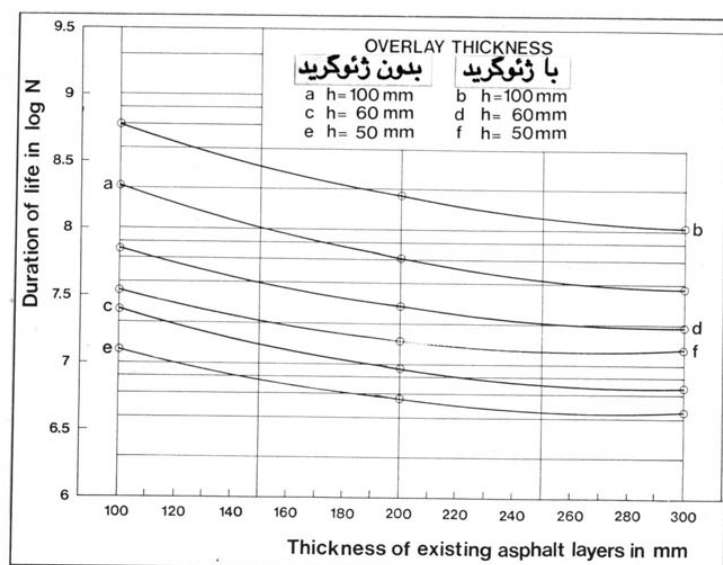


با بررسی آزمایشگاهی نمونه‌های آزمایشی مسلح و غیرمسلح آسفالت، صحت این مطالب تأیید می‌گردد. در ابتدا خواص مکانیکی نمونه‌های آزمایشی بتوسط آزمایش "Three- Point Bending Test" و از برنامه "Finite Element" با استفاده از مدل محاسباتی زیر برای تعیین منحنی‌های طراحی استفاده گردید.



روکش جدید	$E_0 = 5000 \text{ Mpa}$ $H_0 = 50, 60, 100 \text{ mm}$
لایه آسفالتی موجود	$E_1 = 7000 \text{ Mpa}$ $H_1 = 100, 200, 300 \text{ mm}$
زیراساس	$E_2 = 300 \text{ Mpa}$ $H_2 = 300 \text{ mm}$
آخرین لایه خاکریزی	$E_3 = 150 \text{ Mpa}$

تعداد دفعات لازم وارد آوردن بار قبل از نفوذ ترك به روکش آسفالتی را می‌توان مستقیماً از روی منحنی‌های طراحی قرائت نمود. مقایسه بین روکش‌های آسفالتی مسلح و غیرمسلح نشان می‌دهد که لایه آسفالتی مسلح را قبل از اینکه بشکنند می‌توان به دفعات سه مرتبه بیشتر بارگذاری نمود. این تأییدی است بر تجربه بدست آمده در عمل مبنی بر اینکه با استفاده از ژئوگرید مسلح کننده آسفالت، فواصل بین تعمیرات را می‌توان طولانی‌تر نمود.



ژئوگرید مسلح کننده آسفالت برای لایه های نازک آسفالت سرد برای سالیان متمادی از لایه های نازک آسفالت سرد برای مرمت راهها استفاده گردیده است. این لایه ها از نظر شن و ماسه، ساختار، میزان بایندر و ضخامت تفاوت دارند. شن و ماسه دارای دانه بندی ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۸ بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند. امولسیون قیری مخصوصی که مورد استفاده قرار می گیرد، غالباً بر مبنای قیر B80 یا B200 و با اضافه کردن مواد پلیمری و مواد چسبنده تهیه می شود.

از لایه‌های نازک آسفالت سرد برای مرمت عوارض ناشی از تخلخل، سایش، کم شدن مقاومت در مقابل سرخوردن و ایجاد شیار استفاده می‌گردد. ترك‌های كوچك را نیز می‌توان بدینوسیله پوشاند ولی در مورد ترك خوردگی گسترده و یا يك ترك بزرگ با استفاده از ژئوگرید مسلح کننده آسفالت می‌توان عمر لایه نازک آسفالت سرد را طولانی‌تر کرد.

نوعی از ژئوگرید مسلح کننده آسفالت در سال ۱۹۸۶ به توسط کمپانی HUESKER SYNTHETICS و با همکاری شرکت دیگری که در زمینه تعمیرات راهها فعالیت می‌کرد ابداع گردید. خصوصیات این ماده به ویژه برای مسلح نمودن لایه‌های نازک آسفالت سرد تنظیم شده است.

در ابتدا باید عملیات اجرایی و تمیز کردن سطح راه موجود انجام شود تا زیرساختار راه آماده گردد. در محل ترك خوردگی‌ها باید ژئوگرید مسلح کننده مخصوص آسفالت سرد را به توسط دست و به صورت کاملاً صاف و فاقد چروك یا تاخوردگی بر روی زیر ساختار (زیراساس) قرارداد. سپس باید مخلوط آسفالت سرد را بر روی ژئوگرید مسلح کننده پخش نموده و با استفاده از تی بر آن فشار آورد تا اینکه روی ژئوگرید کاملاً پوشیده شود. مخلوط معدنی 0.3 ، در حدود ۱۰ کیلوگرم برای هر مترمربع مورد نیاز خواهد بود تا پوشش کافی تامین گردد. در گام بعدی، لایه نهایی آسفالت سرد دارای وزن معلوم بر روی تمام سطح قرار می‌گیرد.

زیراساس تمیز و خشك شده را باید با حداقل 0.25 کیلوگرم برای هر متر مربع یا بایندر یا حداقل 0.4 متر مکعب برای هر مترمربع با امولسیون بی‌ثبات کاتیونی اسپری نمود. سپس باید ژئوگرید مسلح کننده بصورت مسطح و بدون چروك یا تاخوردگی بر روی زیراساس گسترده شود. کلیه

لایه های ژئوگرید باید حدود ۱۵ سانتی متر در جهت عرض جاده و حدود ۲۵ سانتی متری در جهت طول جاده همپوشی داشته باشند. توصیه می گردد که قبل از ریختن مخلوط آسفالت، ژئوگرید به صورت مسطح و بدون چروک و تاخوردگی پهن گردیده و به توسط وسیله ای تحت کشش قرار گیرد.

با استفاده از دستگاه پخش کننده آسفالت، از ژئوگرید برای مسلح کردن آسفالت با ضخامت ناچیز ۵ سانتی متر هم استفاده گردیده است. با استفاده از روش دستی، حتی لایه های ۴ سانتی متری آسفالت را هم می توان مسلح نمود.

دستورالعمل استفاده

اصول کلی و دستورالعمل های فنی رایج که برای احداث راههای قیری به کار می روند (یعنی اصولی که برای احداث راهها با مواد قیری مورد استفاده قرار می گیرند)، در مورد احداث راهها با استفاده از لایه های آسفالتی مسلح نیز کاربرد دارند. علاوه برآن، در هنگام استفاده از ژئوگرید مسلح کننده آسفالت، موارد ویژه ای هم وجود دارند که باید مورد توجه قرار گیرند.

تحقیق و توسعه و کنترل کیفیت

برای مدت بیش از ۲۰ سال، ژئوگرید برای مسلح کردن لایه های آسفالت مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه اولیه، ژئوگریدی بود فاقد پوشش قیری و با چشمه هایی به ابعاد ۱۰ میلی متر. اکنون انواع گوناگونی از

ژئوگرید مناسب با ابعاد شن و ماسه مخلوط و ویژگیهای کاربردی وجود دارند. این توسعه حاصل تحقیقات مستمر و تجربه سالیان متمادی است.

احداث و راهبری فرودگاهها، حمل و نقل هوایی، کنترل ترافیک هوایی
جلوگیری از بروز ترك های انعكاسی در پوشش ژئوگریدهای پلی استر مسلح کننده آسفالت:

از اوائل دهه ۱۹۷۰ از لایه های ژئوگرید در مرمت ترك های قشرهای آسفالتی استفاده شده است. اصولاً دو نوع ژئوتكستایل برای این کاربرد وجود دارند. الف - بافته نشده ها. ب - ژئوگریدهای مسلح کننده. تجارب بدست آمده نشان میدهند كه استفاده از چنین ژئوگریدهایی راه حل قابل اعتماد و دائمی در نگهداری (تعمیرات) پوشش های آسفالتی هستند.

الف - بافته نشده ها می توانند بیش از يك كيلوگرم برمترمربع قیر را به خود جذب نموده و لذا تشكيل عایقی را بدهند كه از نفوذ آب در پوشش قیری جلوگیری بعمل می آورند. علاوه بر این، خاصیت عایق بودن بافته نشده ها می تواند تا اندازه محدودی موجب به تاخیر افتادن ترك خوردگی انعكاسی (انتقالی) شود.

ب - از ژئوگریدهای پلی استر برای مسلح كردن لایه های آسفالتی نو، مرمت ترك های موجود و ممانعت از ترك خوردگی انعكاسی (انتقالی) در لایه های آسفالتی نو استفاده بعمل می آید.

لایه های آسفالت، مقاومت كششی کمی دارند كه در نتیجه كشش،

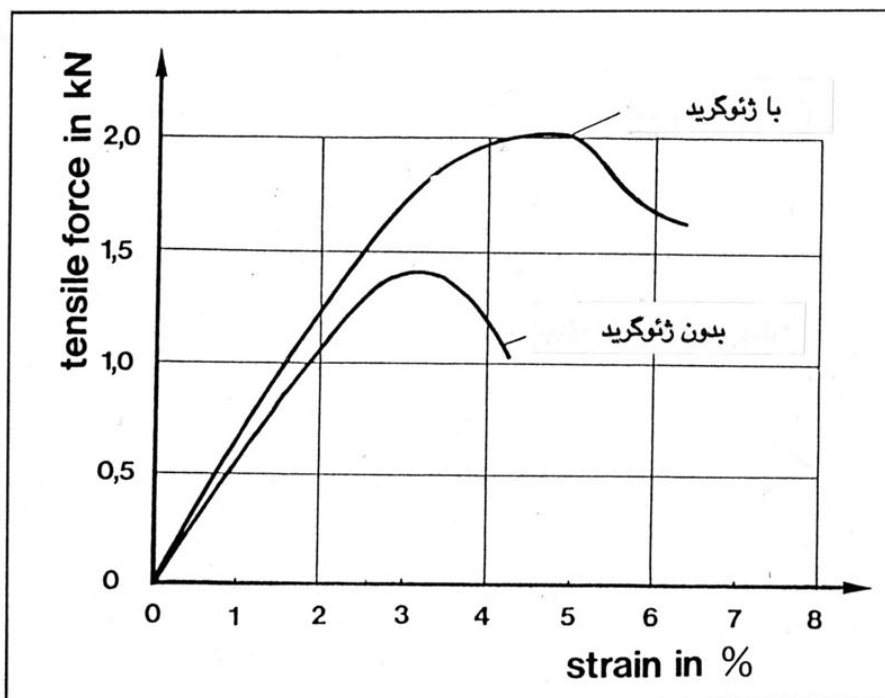
می‌توان تنها در حدود ۲ تا ۳ درصد از مقاومت کششی قابل تحمل آن فراتر رفت. وقتی که از مقاومت کششی تجاوز گردد، لایه آسفالتی دچار ترك خوردگی می‌شود که موجب تقلیل کار آئی و عمر پوشش قیری می‌گردد.

قراردادن ژئوگرید مسلح کننده در يك لایه آسفالتی موجب تقویت مقاومت کششی آن می‌گردد. ژئوگرید مسلح کننده مقدار زیادی از نیروهای کششی افقی را جذب نموده و آنها را در يك سطح بزرگتر توزیع میکند. این امر باعث کاهش میزان حداکثر نیروهای کششی و خطرات جنبی فشارهای بیش از اندازه می‌گردد. علاوه براین لایه آسفالتی مسلح شده، دارای مقاومت بیشتری در مقابل خستگی خواهد گردید.

آزمایشات کششی مقایسه‌ای که در سال ۱۹۸۲ بتوسط SCHNIERING بر روی نمونه‌های تك لایه غیرمسلح و دو لایه مسلح انجام شدند، تأثیر ژئوگرید مسلح کننده در لایه آسفالت رانشان میدهند. نتایج آزمایشات نشان میدهند که:

- میزان نیروی وارده بر روی نمونه مسلح در زمان گسیختگی ۵۰ درصد بیش از نیروی وارده بر روی نمونه غیرمسلح بود.

- ازدیاد طول نمونه مسلح در زمان گسیختگی ۶۵ درصد بیش از ازدیاد طول نمونه غیر مسلح بود (شکل صفحه بعد).



این آزمایشات همچنین در اثبات اینکه گسیختگی نمونه غیر مسلح به صورت يك ترك وسیع بوده ولی در نمونه مسلح به دلیل خاصیت ژئوگرید مسلح کننده در توزیع یکنواخت بار، قبل از گسیختگی دچار ترك های موئین در سطح وسیع می گردد نیز موفق بود.

در سال ۱۹۸۳ رفتار گسیختگی يك ساختار آسفالتی به توسط MOLENAAR به صورت افزایش ترك ها در سازه آسفالتی توضیح داده شد. براساس مکانیک ترك خوردگی، می توان گفت كه ترك ها بر طبق فرمول زیر ازدیاد

پیدا میکنند:

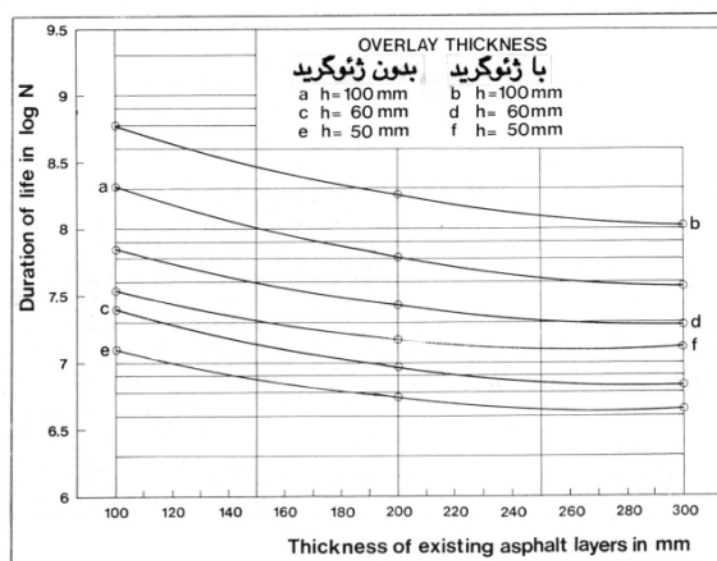
$$dc/dn = AK^n$$

dc/dn = افزایش طول ترك در طی دوره بارگذاری

K = ضریب شدت فشار نیرو

A, n = ضریب ثابت ماده (مصلح)

در سال ۱۹۹۰، NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS يك سری آزمایشات Three-Point Bending Test بر روی قطعات آسفالتی غیر مسلح و همچنین مسلح شده با ژئوگرید پلی استر انجام داد تا این ضریب ثابت ماده (مصلح) را تعیین نماید. مقایسه محاسبات کامپیوتری و منحنی های طراحی (شکل زیر) نشان میدهد که عمر مفید روکش های مسلح شده به میزان قابل توجهی طولانی تر است.



شرایط مورد انتظار از ژئوگرید مسلح کننده مقاومت کششی ژئوگرید مسلح کننده باید حداقل ۲۵ کیلو نیوتن برمتر به صورت طولی و عرضی و حداکثر مجاز فشار در هنگام گسیختگی برابر ۱۵ درصد باشد. در فشار معادل ۳ درصد باید نیروی کششی حداقل برابر ۱۰ کیلو نیوتن برمتر بر ژئوگرید وارد گردد تا بتواند حتی در مواقعی که فشار کمی وجود دارد، نیروها را جذب نماید. برای اینکه ژئوگرید مسلح کننده بتواند نیروهای کششی را جذب و توزیع نماید باید چسبندگی خوبی بین این ماده و آسفالت وجود داشته باشد. بهترین راه ایجاد این چسبندگی آغشته کردن ژئوگرید عریان با مخلوط قیری است.

علاوه بر چسبندگی بین ماده مسلح کننده و آسفالت، چشمه های ژئوگرید نیز نقش بسیار عمده ای در چسبندگی لایه های آسفالت به یکدیگر دارند. این چشمه ها باید لااقل ۷۰ درصد سطح ژئوگرید را تشکیل دهند تا از این چسبندگی اطمینان حاصل گردد.

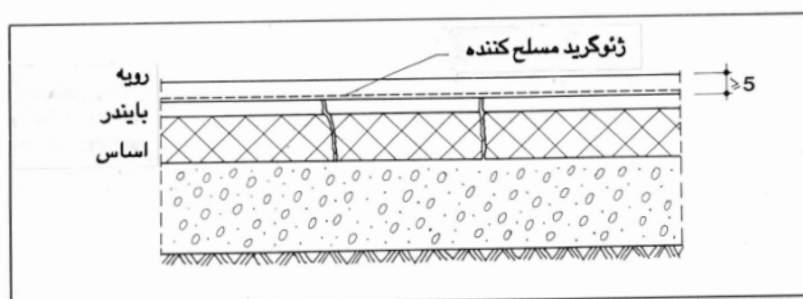
از آنجا که در هنگام ریختن آسفالت گرم ممکن است برای مدت کوتاهی درجه حرارت بالا برود، ماده پلیمری علاوه بر اینکه باید تغییر شکل ناچیزی از خود نشان دهد، باید بتواند دمای حداقل ۱۹۰ درجه سانتی گراد را تحمل نموده و انقباض کمی از خود نشان دهد.

تنها پلی استر است که دارای این ویژگی است به همین علت استفاده از ماده مسلح کننده ساخته شده از پلی آمید، پلی پروپیلین و یا پلی اتیلن دارای محدودیت هائی است و حتی ممکن است اصولاً قابل استفاده نباشد. علاوه براین، ژئوگرید مسلح کننده باید همچنین در مقابل نمک که برای ذوب کردن برف و یخ به کار می رود و همچنین مواد حلال مقاوم باشد.

کاربردها

ژئوگریدهای مسلح کننده در روکش های آسفالتی راهها و باند فرودگاهها مورد استفاده قرار می گیرند.

- جلوگیری از ترك خوردگی انعكاسی (انتقالی):
این مواد مانع انتقال ترك های انعكاسی (انتقالی) از سطح قیری موجود به لایه آسفالتی جدید میشوند.



- جلوگیری از ترك خوردگی ناشی از حرارت:
ماده مسلح کننده، نیروی ایجاد شده در آسفالت در اثر نیروهای کششی ناشی از تغییرات دمایی روزانه یا فصلی، خصوصاً انقباض در هوای بسیار سرد را تقلیل می دهد.

- توسعه عرضی راهها
در اثر نشست زیراساس قسمت کناره تازه احداث شده راه، يك یا تعدادی بیشتر ترك های طولی در فصل مشترك قسمت قدیمی جاده و قسمت تازه احداث شده بوجود خواهد آمد كه با استفاده از ژئوگرید می توان از آن جلوگیری نمود.

- ترانشه‌های محل عبور سرویس‌های شهری و یا قسمت‌های حفاری شده:

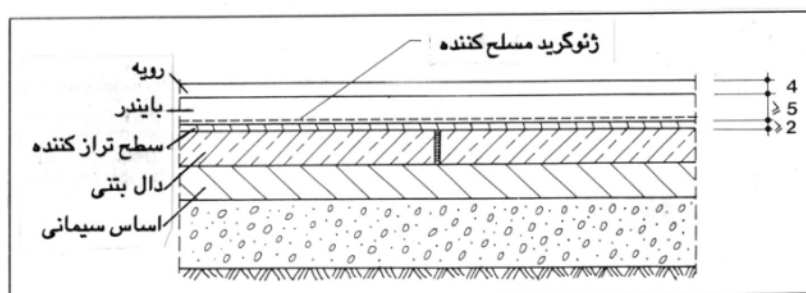
تغییر شکل پوشش قیری در اثر نشست کردن قسمت‌های پر شده در اثر عبور ترافیک می‌تواند منجر به ترك خوردگی لبه‌های قسمت تازه پر شده و آسفالت شده گردد.

- قسمت‌های دارای بارسنگین ترافیکی:

ژئوگریدهای مسلح کننده، از طریق توزیع بار، تشکیل شیار و یا فرورفتگی در قسمت‌هایی از راه که بار ترافیکی سنگینی دارند، مانند ایستگاههای اتوبوس و یا قبل از تقاطع‌ها را کاهش میدهند.

- درزهای انبساط در بتون

هنگامی که باندهای بتونی فرودگاهها و یا راههای بتونی بایک لایه قیری روکش میشوند، گاهی اوقات در اثر تفاوت میزان انقباض بتون و انقباض آسفالت به علت تغییرات دمائی، در قسمتی از آسفالت که بر روی درزهای انبساط بتون قرار دارند ایجاد ترك می‌گردد.



- درزهای اتصال که بتوسط دستگاه فینیشر ایجاد می‌شوند: در صورت وجود درزهای اتصال که به توسط دستگاه فینیشر ایجاد می‌شوند مستقیماً در مناطقی که تحت فشار ترافیکی قرار دارند خصوصاً درزهای طولی، با استفاده از خاصیت توزیع بار به توسط ژئوگرید مسلح کننده به طور موثری می‌توان آنها را در مقابل ترك خوردگی محافظت نمود.

اجراء

ژئوگریدهای مسلح کننده همیشه باید در بین دولايه آسفالت قرار گیرند. در مواقعی که از اساس قیری استفاده نمی‌شود، اولین گام باید استفاده از يك قشر یکنواخت کننده قیری باشد.

ناهمواریه‌های تند در اساس (BASE) که بیش از ۱۰ میلی‌متر باشند یا باید سائیده شده و یا اینکه يك قشر یکنواخت کننده بر روی آنها کشیده شود تا بدین ترتیب ژئوگرید به صورت مسطح قرار گیرد. ترك‌های منفرد که عرض آنها کمتر از ۳ میلیمتر است را می‌توان نادیده گرفت. ترك‌های عرضی عریض‌تر از ۳ میلیمتر و ترك‌های طولی طویل‌تر از ۳ میلی‌متر و عریض‌تر از ۵ میلیمتر را باید ابتدا تمیز نموده و با دوغاب درزگیر پر نمود. سپس بر روی اساس کاملاً خشك و تمیز که هیچ زائده‌ای بر روی آن وجود ندارد يك ماده چسبنده (۲۵٪ کیلوگرم به مترمربع) و یا امولسیون قیری (۴٪ کیلوگرم بر مترمربع) پاشیده می‌شود.

گسترده ژئوگرید مسلح کننده

ژئوگرید مسلح کننده به صورت مسطح و بدون چروك و یا تاخوردگی

برروی اساس (BASE) گسترده شده و ابتدای رول ژئوگرید با استفاده از میخ و واشر به زمین کوبیده می شود.

رول های ژئوگرید باید حداقل ۱۵ سانتی متر به صورت عرضی و ۲۵ سانتی متر به صورت طولی با یکدیگر همپوشی داشته باشند. در جهت طولی، لبه هر رول جدید که گسترده می شود باید در زیر رولی که قبلاً گسترده شده است قرار گیرد تا دستگاه فینیشر آسفالت لبه آن را بلند نکند.

در محل پیچ های مسیر، ژئوگرید با توجه به شعاع پیچ به قطعات کوچکتر بریده می شود. در محل هایی که منهول یا چیزی مشابه آن وجود دارد ژئوگرید روی آن قسمت باید بریده شود.

هنگامی که از ژئوگرید های با عرض ۳/۶ متر و یا بیشتر از آن استفاده می گردد باید از یک میله کشش برای کشیدن ژئوگرید و نگهداشتن آن برروی اساس (BASE) بدون چروک و تاخوردگی استفاده بعمل آید. این امر موجب جلوگیری از حرکت کردن و یا بلند شدن ژئوگرید در اثر عبور کامیون های حمل آسفالت و یا دستگاه فینیشر می شود. کشش ژئوگرید باید تدریجاً انجام گردیده ولی هرگز از ۰/۲٪ تجاوز ننماید.

پخش کردن مخلوط آسفالت

مخلوط آسفالت باید براساس مشخصات فنی که معمولاً در مورد لایه های قیری وجود دارد، پخش گردیده و کوبیده شود. در هر صورت ژئوگرید مسلح کننده باید حداقل بایک لایه آسفالتی به ضخامت ۵ سانتی متر پوشیده گردد. با کشیدن ژئوگرید و یا ریختن آسفالت به ضخامت ۲ تا ۳ سانتی متر مستقیماً در مقابل فینیشر، می توان از ایجاد موج و یا تاخوردگی ژئوگرید جلوگیری نمود. موج های کوچکی که در

جلوی فینیشر ایجاد می‌شوند تاثیری بر عملکرد ژئوگرید ندارند. درزهای ایجاد شده بتوسط دستگاه فینیشر نباید مستقیماً بر روی محل همپوشی ژئوگرید قرار گیرند. پس از کوبیده شدن مختصر آسفالت توسط دستگاه فینیشر، در ابتدا لایه آسفالت را باید تنها بایک غلطک سبك و یا نیمه سنگین دوبله (دوغلطکی) و یا غلطک چرخ لاستیکی کوبید و پس از آن از غلطک سنگین دوبله (دوغلطکی) برای کوبیدن نهایی استفاده نمود. در جایی که ضخامت لایه‌های آسفالت کمتر از ۸ سانتی متر است، استفاده از غلطک ویبراتوری می‌تواند تاثیر منفی بر روی چسبندگی (اتصال) بین لایه‌ها بگذارد.

پروژه‌ها

اولین پروژه‌ای که در آن از ژئوگرید برای مسلح نمودن روکش آسفالتی استفاده شد، مربوط به اوائل دهه ۱۹۷۰ می‌شود. از آن زمان تاکنون پروژه‌های فرودگاهی زیادی در مناطقی که شرایط اقلیمی متفاوتی با یکدیگر دارند انجام شده است. یکی از این پروژه‌ها در سال ۱۹۸۹ چنین شرح داده شده است:

بر روی باند بتونی اصلی فرودگاه بروکسل با عرض ۴۵ متر که در سال ۱۹۵۸ ساخته شده بود، تا سال ۱۹۷۴ خرابی‌های زیادی مشاهده می‌گردید لذا سطح آن با مخلوط قیرواپوکسی مرمت گردیده بود.

بعد از زمستان بسیار شدید سال ۱۹۷۹ بسیاری از قسمت‌های مرمت شده، در اثر وسایل برف روبی و پائین بودن دمای زمین دچار خسارت شده و دال‌های بتونی ترك‌ها و نشست‌های زیادی پیدا کرده بودند. پس از سائیدن سطح بتن و انجام عملیات ترمیمی تا عمق حدود يك

سانتی متر، حفره های زیر دالها از طریق تزریق بتن پر شدند سپس يك قشر يکنواخت (هموار) کننده از نوع III C 0/8 ریخته شد. بر روی این قشر نیز ژئوگرید پلی استر با مقاومت نهایی ۵۰ کیلونیوتن بر متر قرار داده شد.

تنها ۲۵ متر از عرض ۴۵ متری باند فرودگاه با ژئوگرید پلی استر مسلح گردیده و لذا ۱۰ متر از هر طرف باند مسلح نگردید. ژئوگرید بلافاصله بایک قشر بایندر از نوع III B 0/16 و لایه سایشی (Wearing Course) از نوع 10/22 به ضخامت ۵ سانتی متر پوشیده گردید.

بررسی عملیات انجام شده در سال ۱۹۸۳ نشان داد که کلیه درزهای دالهای بیرون از قسمت های پوشیده شده با ژئوگرید، بر روی پوشش نهایی اثر گذاشته بودند ولی در قسمت های مسلح شده چنین چیزی مشاهده نگردید. در این قسمت تنها درزهای دستگاه فینیشر به چشم می خوردند. پس از گذشت ۱۱ سال، سطوح مسلح شده کاملاً تحت استفاده قرار داشته و تنها به مرمت های سطحی جزئی نیاز بوده است.

نتیجه گیری

از اوائل دهه ۱۹۷۰، ژئوگرید های پلی استر مسلح کننده با موفقیت برای مرمت ترك خوردگی و یا جلوگیری از ترك های انتقالی (انعكاسی) و ترك خوردگی ناشی از درجه حرارت، بر روی قسمت های تعریض شده راهها، ترانشه عبور سرویس های شهری، درز های انبساط یا درز های اجرایی و قسمت هایی که زیر بار های سنگین ترافیکی قرار دارند به کار گرفته شده اند. ژئوگرید های مسلح کننده، مقاومت کششی لایه آسفالت را بهبود بخشیده و بارها را توزیع می کنند. تجربه نشان می دهد که عمر مفید

لایه نهایی مسلح شده، به میزان قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند. در هنگام احداث يك لایه آسفالتی مسلح صرفنظر از مشخصات فنی رایج برای پوشش‌های قیری، چند نکته خاص باید در نظر گرفته شوند: ژئوگرید باید به صورت مسطح و بدون چروک و تاخوردگی گسترده گردیده و لایه آسفالتی که مستقیماً بر روی آن قرار می‌گیرد حداقل ۵ سانتیمتر ضخامت داشته باشد.

فرودگاه لوتون (انگلستان)

پوشش اصلی سطح باند فرودگاه که از MARSHAL ASPHALT ساخته شده بود ترك‌های انتقالی (انعكاسی) زیادی را نشان میداد که در اثر درزهای انبساط و درزهای اجرایی سطح زیرین، که از جنس بتن مرغوب بود ایجاد شده بودند. معمولاً برای تقلیل ریسک بروز ترك‌های انتقالی (انعكاسی) نیاز به روکش آسفالتی به ضخامت ۱۵۰ میلیمتر می‌باشد. در انتهای غربی باند امکان اضافه کردن ضخامت آسفالت به این اندازه نبود زیرا که رقوم باند و همچنین شیب طولی را نمی‌شد تغییر داد. به منظور تقلیل خطر ترك خوردگی در روکش جدید که ضخامت آن در انتهای غربی باند ۱۰۰ میلیمتر بود، پس از سائیدن سطح قدیمی تا حد ۵۰ میلیمتر، از ژئوگرید مسلح کننده برای تقویت مقاومت رویه جدید استفاده گردید. در حدود ۳۰۰ متر از طول باند فرودگاه با عرض کامل (۶۴/۳ متر) از این ماده استفاده شد که آن نیز با بین ۶۰ تا ۱۰۰ میلیمتر MARSHAL ASPHALT جدید پوشیده گردید.

پس از ۴ سال استفاده که شامل هواپیماهای پهن پیکر نیز می‌گردید، هیچگونه اثری از ترك خوردگی انتقالی (انعكاسی) دیده نشده و کارایی باند فرودگاه، رضایت بخش است.

موارد استفاده شده از ژئوگرید مسلح کننده آسفالت در
راه سازی

U75 RESPOND ROAD، يك راه دسترسی ۲/۸ کیلومتری تك خطی به يك مركز پرورش ماهی و مشابه با بسیاری از راههای عمومی در ساحل غربی اسکاتلند است که بر روی زمین های مرطوب و دارای فرم اسفنجی احداث شده است. این راه جهت ارائه خدمات ترافیکی قابل قبول، به تعمیرات و نگهداری مداوم نیاز داشته است.

پس از تعمیرات موقتی انجام شده در سال ۱۹۸۶، در اثر وزن سنگین وسایل نقلیه ای که از روی این راه عبور کردند، جاده بطور مستمر دچار سایش و ترك خوردگی شده و تعمیرات مجدد را الزامی نمود. در کوششی برای طولانی تر کردن عمر جاده در سال ۱۹۹۱، شورای منطقه ای شهر تصمیم گرفت از ژئوگرید در مسلح کردن لایه های سطحی جدید استفاده نماید تا ادعای تولید کنندگان آنرا مبنی بر افزایش عمر مفید پوشش، به بوته آزمایش بگذارد.

ژئوگرید مسلح کننده نوع ۳۰/۳۱ (انتخاب شده براساس مشخصات طرح) یکی از مصالح انتخاب شده برای این آزمایش بود و از آن تاریخ به بعد، برای جاده های دیگری در همان منطقه، مورد استفاده قرار گرفت. عملیات نصب در دو قطعه از جاده انجام گردید. در يك قطعه، از ژئوگرید بر روی لایه تك كت و در قطعه دیگر مستقیماً روی لایه اساس استفاده گردید. در هر دو مورد، پیوستگی ژئوگرید در فصل مشترك بین قشرهای یکنواخت کننده و تحت سایش، حاصل گردید.

در قطعه آزمایشی A، در ابتدا با استفاده از ماکادام قیری دارای دانه های

۱۴ میلیمتری، يك لایه سایشی بر روی سطح جاده ریخته شده و با يك غلظت به وزن مرده ۷/۵ تن کوبیده گردید. متذکر می گردد که يك لایه تك كت امولسیوني به میزان ۰/۵ لیتر بر مترمربع بر روی سطح یکنواخت کننده پاشیده شده و اجازه داده شد تا شکسته شود.

ژئوگرید مسلح کننده مورد نظر بطول ۱۰۰ متر از بالا به سمت پایین و بر روی سطح آماده شده، غلطانده شد و انتهای پائینی آن با میخ های ۴۵ میلیمتری و واشر به قطر ۳۲ میلیمتر و فواصل ۳۰۰ میلیمتر بصورت متقاطع با جهت جاده ثابت گردید.

در ابتدا ۶ متر از طول جاده موجود و انتهای ثابت ژئوگرید، با وسایل دستی با ماکادام قیری به ضخامت ۵۰ میلیمتری پوشیده گردید تا چسبندگی لازم برای ژئوگرید ایجاد گردد.

تجربه پوشش های نازک نشان می دهد که استفاده تنها از میخ برای ایجاد مقاومت در مقابل نیروهای کششی لازم، جوابگو نیست. سپس طرف آزاد ژئوگرید به میزان ۲٪ یا ۲۰۰ میلیمتر برای هر ۱۰۰ متر طول ژئوگرید با استفاده از میله کششی و يك وینچ جغجغه ای يك تن که بر روی زمین ثابت گردیده بود، بطور تدریجی تحت کشش قرار گرفت. پیچ های جاده هیچگونه مشکلی در عملیات کششی ژئوگرید ایجاد نکردند و لایه ۵۰ میلیمتری قیری، پخش شده و عملیات معمولی کوبیدن با غلظت انجام شد.

قطعه آزمایش B بطول ۵۰ متر نیز به همان روش انجام شد ولی بدون استفاده از لایه تك كت زیرا به این نتیجه رسیده شد که روی سطح تازه یکنواخت شده، به اندازه ژئوگرید کافی ماده چسبنده وجود دارد که موجب چسبندگی ژئوگرید آغشته به قیر، به لایه جدید گردد. در تمام

مدت عملیات برروی قطعات A و B به استثناء مواقعی که دستگاه پخش کننده آسفالت و یا غلطک موجب مسدود شدن جاده شده بودند، ترافیک محلی قادر بود بصورت متقاطع ازروی جاده عبور کند یعنی نکته ای که در هنگام عدم وجود راههای دیگری بمنظور دسترسی، اهمیت زیادی پیدا می کند.

محل انجام عملیات فوق نمونه ای است از جاده های بسیاری که برروی شالوده های سستی که دائماً احتیاج به نگهداری و تعمیرات دارند، ساخته شده اند.

نتیجه:

تسلیح آسفالت با استفاده از ژئوگرید مسلح کننده، اقتصادی ترین و ایده آل ترین روش افزایش عمر روسازی راهها و باند فرودگاهها محسوب می گردد. در موارد استفاده از مواد فوق، انتخاب نوع ژئوگرید و نحوه اجرای کار با توجه به شرایط آب وهوائی، نوع خاک و نوع بارترافیکی انجام می گیرد.

گروه بین‌المللی ره‌شهر تا کنون ۳۸ نشریه با عناوین زیر منتشر کرده است:

- ۱- کاربرد جدید شیشه در نمای ساختمان (تابستان ۱۳۷۱)
- ۲- پارکینگ مراکز تجاری (پائیز ۱۳۷۱)
- ۳- محافظت در مقابل زلزله (زمستان ۱۳۷۱)
- ۴- جمع آوری و دفع زباله و مسائل ناشی از آن (زمستان ۱۳۷۱)
- ۵- طرح اسکان و سریع (زمستان ۱۳۷۱)
- ۶- مجموعه مقالات راجع به ژئوسنتز (بهار ۱۳۷۲)
- ۷- مهار آب با آب (بهار ۱۳۷۲)
- ۸- تحول سبز در معماری (بهار ۱۳۷۲)
- ۹- روندیابی و مدیریت سیلاب (بهار ۱۳۷۲)
- ۱۰- مطالعات اقتصادی جهت احداث مراکز خرید (تابستان ۱۳۷۹)
- ۱۱- نگاهی کوتاه بر طراحی فضای سبز - "تجربیات کشورهای مختلف" (تابستان ۱۳۷۲)
- ۱۲- بازیافت آب در صنایع شن و ماسه‌شونی (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۳- بناهای چوبی (کنده‌ای) در ایران و تجربیات کشورهای دیگر (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۴- نکاتی در مورد طراحی ساختمان‌های بتنی پیش‌ساخته پیش‌تنیده در مناطق زلزله‌خیز (پائیز ۱۳۷۲)
- ۱۵- اتوماسیون و بهینه‌سازی در سیستم‌های توزیع الکتریکی (زمستان ۱۳۷۲)
- ۱۶- انرژی دریاها (زمستان ۱۳۷۲)
- ۱۷- پارکینگ‌های مکانیکی اتوماتیک و نیمه اتوماتیک (بهار ۱۳۷۳)
- ۱۸- انرژی باد (بهار ۱۳۷۳)
- ۱۹- اصول طراحی ساختمان‌های اداری و بانک‌ها (بهار ۱۳۷۳)
- ۲۰- انرژی خورشیدی (بهار ۱۳۷۳)
- ۲۱- طراحی مرکز خرید- جلد اول: مطالعات مقدماتی جهت طراحی مراکز خرید (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۲- شهر سالم با آمورتون (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۳- شهر سالم - کاربرد سیستم‌های فتوولتائیک از میلی وات تا مگاوات (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۴- شهر سالم- اصول طراحی برای افراد دارای کپولت، ناتوانی، اختلال و معلولیت (تابستان ۱۳۷۳)
- ۲۵- نسل چهارم نیروگاه‌ها (پائیز ۱۳۷۳)

- ۲۶- بازیافت آب در صنایع نساجی (پائیز ۱۳۷۳)
- ۲۷- مراکز درمانی و بیمارستان‌های آینده (پائیز ۱۳۷۳)
- ۲۸- شهر سالم-انبوه‌سازی (انبوه‌سازان اسکان) (زمستان ۱۳۷۳)
- ۲۹- سیستم‌های مدیریت بار و مدیریت انرژی در شبکه‌های انرژی الکتریکی (زمستان ۱۳۷۳)
- ۳۰- بازیافت آب - "تصفیه پساب صنایع لبنی" (بهار ۱۳۷۴)
- ۳۱- شهر سالم - صنعت چوب و کاغذ و نقش آن در فرهنگ، اقتصاد و سیاست (بهار ۱۳۷۴)
- ۳۲- صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های مسکونی (بهار ۱۳۷۴)
- ۳۳- شهر سالم- معماری و پرورش فکری کودکان و نوجوانان (تابستان ۱۳۷۴)
- ۳۴- شهر سالم- بازیافت زباله و مصالح ساختمانی و نقش آن در حفظ خاک و پاکسازی محیط (پائیز ۱۳۷۴)
- ۳۵- شهر ما کجاست (زمستان ۱۳۷۴)
- ۳۶- حفاظت سواحل دریا و رودخانه‌ها- معرفی روش‌های سنتی و پیشرفته (زمستان ۱۳۷۵)
- ۳۷- بهینه‌سازی آموزش عالی - نگاهی کوتاه بر کارکرد نظام آموزشی ایران و جهان (زمستان ۱۳۷۵)
- ۳۸- استفاده از ژئوگرید در راه‌ها و باند فرودگاه‌ها (بهار ۱۳۷۶)