بسم الله الرحمن الرحیم

مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران

نقش ژئوسنتتیک‌ها در کاهش ترک روکش‌های آسفالتی

گزارش شماره ۲۵۱

معاونت مطالعات و برنامه‌ریزی امور زیرساخت و طرح جامع

مدیریت مطالعات و برنامه‌ریزی امور فنی عمرانی و استانداردسازی

نویسندگان: امیر علی مصطفوی مقدم، علیرضا نوری

داور علمی: فریدون مقدس‌نژاد

معاونت علم و فناوری

چاپ و انتشارات: مدیریت فناوری اطلاعات و مرکز اسناد

نشانی: تهران، خیابان شریعتی، پل رومی، خیابان شهید اکبری، نبش خیابان شهید آقابزرگی، شماره ۳۲، کدپستی ۱۹۶۴۶۳۵۶۱۱

امور مخاطبین: ۳- ۲۲۳۹۲۴۸۴ داخلی ۳۰۸، نرگس آقایی http://rpc.tehran.ir

حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران است و استفاده از مطالب آن صرفاً با ذکر مأخذ بلامانع می‌باشد. ضمناً متن (WORD, PDF) بر روی سایت فوق قابل دریافت است.

سخن نخست

مدیریت بهینه، حفظ پویایی و ارتقای نوآوری هر سازمان نیازمند تجزیه و تحلیل صحیح محیط، انتخاب بهترین اهداف و راهبردها، ارتقای توانمندی‌های سازمان و اقدام مؤثر درجهت تأمین هدف‌های تدوین‌شده است.

بی‌شک دستیابی به این مهم، فارغ از مطالعه، پژوهش و تدبر و تحقیق در امور امکان‌پذیر نیست. مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران با توجه به فلسفه‌ی وجودی و ظرفیت‌ها و توانمندی‌های خود به مدیریت فرایندهای پژوهشی و انجام مطالعه و پژوهش درخصوص مسائل مدیریت شهری می‌پردازد، تا انجام فرایندهای پیش‌گفته را برای مدیران، صاحب‌نظران و پژوهشگران حوزه‌ی مدیریت شهری تسهیل کند.

هرساله روسازی‌هایی که با هزینه‌ای گزاف در شهر تهران ساخته می‌شوند، دستخوش خرابی‌هایی می‌شوند که به‌منظور ترمیم آن، راهکارهایی ازجمله اجرای روکش بر روی روسازی قدیمی در دستور کار شهرداری قرار می‌گیرد. با توجه به این موضوع که پس از مدتی روکش نیز دچار خرابی‌هایی می‌شود، شناخت این خرابی‌ها و بررسی راهکارهای پیشگیری از آن می‌تواند گامی مؤثر در کاهش هزینه‌های اجرای روکش در سطح شهر تهران باشد. یکی از مؤثرترین راهکارها به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها در لایه‌ی روکش است. در گزارش حاضر، پس از معرفی اجمالی انواع ترک‌ها در روسازی و تشریح عوامل مؤثر بر شکل‌گیری آن‌ها، روش‌های مرمت روسازی و درنهایت روش‌های کنترل و پیشگیری از تخریب روکش به‌واسطه‌ی رشد ترک‌ها و همچنین، استفاده از ژئوسنتتیک‌ها با رویکرد شهری بررسی می‌شود. این گزارش می‌تواند با افزایش دانش فنی موجود در شهرداری تهران، موجب به‌کارگیری هرچه بیشتر مصالح نوین در روسازی معابر شود.

با وجود این، این پژوهش همچون هر پژوهش دیگر جهت بهبود کمّی و کیفی نیازمند دریافت پیشنهادات و انتقادات مخاطبان محترم است. امید است با بهره‌مندی از نظرات ارزشمند جنابعالی، در ارائه‌ی مؤثرتر اینگونه آثار، گام برداریم.

بابک نگاهداری
رئیس مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران

چکیده

هرساله روسازی‌های شهری به دلیل قرارگیری در معرض عوامل جوّی و بارگذاری‌های ترافیکی دچار اضمحلال و فرسودگی می‌شوند که این موضوع درنهایت به بروز تَرَک، چاله و تغییر شکل روسازی منجر می‌شود. روش‌های گوناگونی برای تعمیر و نگهداری روسازی در قالب تعمیرات پیشگیرانه، اصلاحی و اضطراری به‌کار برده می شود؛ دراین‌خصوص، روکش کردن یکی از راه‌حل‌هایی است که به‌منظور تعمیر و مرمت روسازی ترک‌خورده مرسوم است.

زمانی‌که روکش آسفالتی جدیدی بر روی روسازی ترک‌خورده اجرا شود، ترک‌های موجود در روسازی قدیمی پس از مدتی به دلیل تمرکز تنش ناشی از بارگذاری و تغییر دما، شروع به گسترش و رشد در روکش جدید کرده و بر روی سطح نمایان می‌شوند و عملکرد روکش را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند. از سوی دیگر، وقوع این ترک‌ها در روکش، موجب نفوذ آب و مواد مخرب دیگر به داخل بدنه‌ی روسازی می شود که این موضوع به‌نوبه‌ی خود اثرات منفی قابل‌توجهی را بر مقاومت روسازی در پی خواهد داشت. به‌منظور پیشگیری از وقوع چنین پدیده‌هایی، روش‌های متعددی در دنیا ارائه شده که هم‌اکنون استفاده شوند. یکی از مؤثرترین آن‌ها به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها در لایه‌ی روکش است.

در گزارش حاضر، پس از معرفی اجمالی انواع ترک‌ها در روسازی و تشریح عوامل مؤثر بر شکل‌گیری آنان، روش‌های مرمت روسازی و درنهایت، روش‌های کنترل و پیشگیری از تخریب روکش به‌واسطه‌ی رشد ترک‌ها و همچنین، استفاده از ژئوسنتتیک‌ها با رویکرد شهری بررسی می‌شود. بدیهی است به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها در روسازی‌های شهری مزایا و معایبی در پی دارد و زمانی به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها بهترین عملکرد را از خود نشان خواهد داد، که براساس دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های اجرایی باشد. با وجود اینکه دستورالعمل مشخصی برای طراحی، نحوه‌ی انبار کردن و نحوه‌ی به‌کارگیری هریک از محصولات ژئوسنتتیک توسط تولیدکننده‌ی آن ارائه می‌شود، برخی از توصیه‌های سازندگان منحصر به محصول خاص نمی‌شود و عمومیت بیشتری دارد. ازاین‌رو، در این گزارش پس از معرفی انواع ژئوسنتتیک‌های قابل‌استفاده در آسفالت، توصیه‌های عمومی به‌منظور چگونگی انتخاب، کاربرد و نصب ژئوسنتتیک‌ها در پروژه‌های راه‌سازی و یا ترمیم روسازی‌های شهری بیان شده و در انتها چک‌لیستی از مجموعه فعالیت‌هایی که به‌طور عمومی در هنگام اجرای صحیح ژئوسنتتیک‌ها باید مدنظر قرار گیرند، ارائه می‌شود.

فهرست مطالب

مقدمه ۹

۱- تقسیم‌بندی انواع ترک‌ها در روسازی آسفالتی براساس الگوی ترک‌خوردگی ۱۰

۱-۱- ترک‌خوردگی پوست سوسماری ۱۱

۱-۲- ترک‌های بلوکی ۱۲

۱-۳- ترک‌خوردگی طولی و عرضی ۱۳

۱-۴- ترک‌خوردگی لبه ۱۴

۲- روش‌های تعمیر و نگهداری روسازی ۱۵

۲-۱- تعمیر و مرمت روسازی به‌صورت موضعی ۱۶

۲-۲- تعمیر و مرمت روسازی به‌صورت کلی و بنیادی ۱۶

۳- ترک‌های انعکاسی در روسازی با روکش آسفالتی ۱۷

۳-۱- مکانیزم وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی بر اثر بارگذاری حرارتی ۱۹

۳-۲- مکانیزم وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی براثر جابه‌جایی نامتقارن سطوح زیرین ۲۰

۳-۳- مکانیزم وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی براثر بارگذاری ترافیکی ۲۱

۳-۴- روش‌های پیشگیری از ترک‌های انعکاسی ۲۴

۴- ژئوسنتتیک‌ها و انواع آن‌ها ۲۶

۴-۱- ژئوتکستایل‌ها ۲۸

۴-۲-ژئوگریدها ۳۱

۴-۳-ژئوکامپوزیت‌ها ۳۳

۵- نقش ژئوسنتتیک‌ها در کاهش اثرات ناشی از ترک در روسازی آسفالتی ۳۵

۵-۱- آب‌بند نمودن روسازی راه و روکش ۳۶

۵-۲-مستهلک نمودن و کاهش دادن تنش‌ها و کرنش‌های وارده به روسازی ۳۸

۵-۳- مسلح نمودن روکش ۴۰

۶- محدودیت‌های به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک در هنگام اجرای روسازی ۴۲

۷- معیارهای انتخاب مصالح ژئوسنتتیک در روسازی ۴۴

۸- ژئوسنتتیک‌ها و ملاحظات قبل از نصب و اجرای آن‌ها در عملیات روسازی ۴۶

۹- ملاحظات اجرایی لازم در هنگام نصب مصالح ژئوسنتتیک در روسازی ۴۷

۹-۱- آماده کردن سطح کار ۴۷

۹-۲- آماده کردن سطوح تراشیده‌شده ۴۸

۹-۳- اجرای تک‌کت ۴۹

۹-۴- نصب مصالح ژئوسنتتیک ۴۹

۹-۵- ایرادات نصب ۵۰

۹-۶- اجرای روکش ۵۲

۱۰- نتیجه‌گیری ۵۴

منابع ۵۶

فهرست اشکال

شکل شماره‌ی ۱: ترک‌خوردگی پوست سوسماری در روسازی آسفالتی ۱۲
شکل شماره‌ی ۲: ترک‌خوردگی بلوکی در روسازی آسفالتی ۱۳
شکل شماره‌ی ۴: ترک‌خوردگی عرضی در روسازی آسفالتی ۱۴
شکل شماره‌ی ۵: ترک‌خوردگی لبه در روسازی آسفالتی ۱۵
شکل شماره‌ی ۶: به‌وجود آمدن تنش در روکش تحت اثر تغییرات حرارتی ۲۰
شکل شماره‌ی ۷: به‌وجود آمدن تنش در روسازی تحت اثر جابه‌جایی خاک ۲۱
شکل شماره‌ی ۸: تنش‌های حاصل از عبور چرخ از محدوده‌ی ترک موجود در روسازی قدیمی ۲۲
شکل شماره‌ی ۹: تمرکز تنش ناشی از بارگذاری ۲۲
شکل شماره‌ی ۱۰: مراحل بروز و گسترش ترک با افزایش تعداد سیکل بارگذاری– باربرداری ۲۴
شکل شماره‌ی ۱۱: کاربرد ژئوگریدها در روسازی به‌عنوان یکی از روش‌های جلوگیری از بروز ترک‌های انعکاسی ۲۵
شکل شماره‌ی ۱۲: لایه‌ی کاهش تنش SAMI ۲۶
شکل شماره‌ی ۱۳: انواع ژئوتکستایل، سمت راست: نوع بی‌بافت ، سمت چپ: نوع بافته‌شده ۲۹
شکل شماره‌ی ۱۴: ژئوگریدها به‌صورت شبکه‌هایی هستند که مصالح به‌خوبی درون آن‌ها چفت و بست می‌شوند ۳۲
شکل شماره‌ی ۱۵: انواع مختلف ژئوسنتیک‌ها ۳۴
شکل شماره‌ی ۱۶: تاول‌زدگی سطح ژئوسنتتیک‌های اشباع در اثر رطوبت ۴۳
شکل شماره‌ی ۱۷: نحوه‌ی مهار ژئوسنتتیک توسط میخ‌کوبی ۴۳
شکل شماره‌ی ۱۸: چین‌خوردگی‌های به‌وجود آمده در سطح ژئوسنتتیک به‌واسطه‌ی روزدگی قیر و عبور خودروی راه‌سازی ۴۴
شکل شماره‌ی ۱۹: مرمت روسازی ترک‌خورده به کمک مصالح ژئوسنتتیک ۴۷
شکل شماره‌ی ۲۰: الف) اجرای نادرست لایه‌ی ژئوسنتتیک بر روی ترک‌های با عرض بزرگتر از ۳/۲ میلی‌متر؛ ب) اجرای صحیح لایه‌ی ژئوسنتتیک با مواد پرکننده بر روی ترک‌های با عرض بزرگتر از ۳/۲ میلی‌متر ۴۸
شکل شماره‌ی ۲۱: ماشین نصب لایه‌ی ژئوسنتتیک و معرفی اجزای آن ۵۱

فهرست جداول

جدول شماره‌ی ۱: مشخصات ژئوتکستایل‌های مناسب برای به‌کارگیری در زیر روکش آسفالتی ۳۱
جدول شماره‌ی ۲: مشخصات لازم برای ژئوکامپوزیت‌های قابل به‌کار گیری در روکش آسفالتی ۳۵
جدول شماره‌ی ۳: چک‌لیست نصب ژئوسنتتیک‌ها و روکش آن ۵۳

مقدمه

یکی از روش‌های ترمیم روسازی آسفالتی راه‌ها، اجرای روکش آسفالتی جدید بر روی آن است که درصورت عدم اتخاذ تمهیدات لازم، پس از مدتی ترک‌های موجود در روسازی قدیمی رشد کرده و با انتشار و گسترش آن‌ها در روکش فوقانی به آن آسیب رسانده که درنتیجه پس از طی مدت کوتاهی، مجدداً ترک‌های قبلی بر روسازی جدید پدیدار خواهند شد. ازاین‌رو، به‌منظور افزایش عمر روکش و کاهش سرعت تشکیل و گسترش ترک‌های انعکاسی (که در ادامه تعریف می‌شوند)، امروزه روش‌هایی همچون استفاده از ژئوسنتتیک‌ها در لایه‌ی روکش جدید در دنیا کاربرد داشته که می‌تواند مقاومت روسازی در برابر رشد ترک‌ها را تا چندین برابر افزایش دهد.

تحقیقات صورت‌گرفته تاکنون گواه این مطلب است که عملاً با به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها در روسازی راه، می‌توان تعداد محور استاندارد قابل‌عبور از روی روکش را به‌ازای ضخامت مشخص افزایش داد و یا اینکه ضخامت روکش را با ثابت نگه داشتن تعداد محور استاندارد قابل‌تحمل توسط روسازی کاهش داد. در ایران مطالعاتی درباره‌ی نقش استفاده از مصالح ژئوسنتتیک در افزایش عمر روسازی در قالب عملیات میدانی و تحقیقات آزمایشگاهی انجام گرفته و علاوه‌براین، تاکنون در برخی از پروژه‌های وزارت راه و شهرسازی به‌صورت پایلوت از این مصالح استفاده شده است.

ازاین‌رو، با توجه به توضیحات فوق و همچنین، نظر به بومی‌شدن دانش تولید این مصالح و کاهش هزینه‌ی استفاده از آن در داخل کشور، می‌توان در پروژه‌های شهری نیز با هزینه‌ی مناسبی این نوع مصالح را به‌کار گرفت.

با توجه به این موضوع که مسیرهای شهری از نظر تعداد تکرار بار و میزان بارگذاری تفاوت‌هایی با مسیرهای برون‌شهری دارند و همچنین شرایط محیطی روسازی در محیط‌های شهری با محیط‌های برون‌شهری متفاوت است، در نگاه اول اینگونه به‌نظر می‌آید که باید دستورالعمل مجزایی به‌منظور طراحی روسازی با ژئوسنتتیک‌ها در محیط‌های شهری و محیط‌های برون‌شهری ارائه کرد. بااین‌وجود، با توجه به این موضوع که تفاوت‌های بیان‌شده، عمدتاً به‌لحاظ نوع بارگذاری و شرایط محیطی است، عمده‌ی دستورالعمل‌ها بر تفکیک وضعیت طراحی براساس عامل بارگذاری و شرایط محیطی تأکید دارند و در دستورالعمل‌های بررسی‌شده، تقسیم‌بندی مشخصی براساس طراحی شهری یا غیرشهری مصالح ژئوسنتتیک‌های به‌کار برده شده در آسفالت ارائه نشده است (و فقط توصیه‌هایی به‌منظور اجرای ژئوسنتتیک‌ها در محیط‌های شهری در اختیار متخصصان قرار گرفته است). با وجود این، می‌توان اینگونه گفت که اجرای ژئوسنتتیک‌ها در محیط‌های شهری، با توجه به تردد بیشتر و اتلاف زمان بیشتر در اثر تعمیرات می‌تواند هزینه‌های دوره‌ی عمر روسازی را بسیار بیش از راه‌های برون‌شهری کاهش دهد.

همچنین، با توجه به کاهش اصطکاک چشمگیر روسازی در زمان اجرای ژئوسنتتیک‌ها درصورتی‌که وسایل نقلیه و عابران به هر نحو از روی آن عبور کنند، به بروز مشکلات متعدد در اجرا منجر می‌شود.

به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها در شهر تهران قدمت چندانی ندارد و این مصالح به‌طور محدود در برخی از پروژه‌های شهرداری تهران به‌کار رفته است که از این جمله می توان به استفاده از ژئوسنتتیک‌ها در تونل نیایش و بر روی بتن کف، بزرگراه امام علی (ع) بین لایه‌ی آسفالت و بتن غلتکی و همچنین به‌کارگیری پراکنده در لکه‌گیری‌های سطح شهر تهران اشاره کرد. در این گزارش تلاش شده است که با بررسی عملکرد مصالح ژئوسنتتیک و همچنین مطالعه‌ی تجارب جهانی و ملی در به‌کارگیری آن، نقش استفاده از این نوع مصالح در پروژه‌های ترمیم و بهسازی بیش از پیش مشخص شده و در ادامه ضمن تشریح برخی دستورالعمل‌های ارائه‌شده، چگونگی به‌کارگیری و اجرای آن در پروژه‌های ترمیم و بهسازی راه‌ها با رویکرد شهری به تفصیل بررسی شود؛ اما پیش از آن لازم است تا با توجه به اهمیت شناخت انواع ترک‌ها در روسازی آسفالتی و ارتباط مستقیم آن‌ها با مباحث ترمیم و بهسازی، به نحو مناسبی در این گزارش معرفی شوند که در ادامه به این امر خواهیم پرداخت.

۱- تقسیم‌بندی انواع ترک‌ها در روسازی آسفالتی براساس الگوی ترک‌خوردگی

ترک‌خوردگی روسازی آسفالتی عمدتاً ناشی از دو عامل عمده‌ی تغییر شکل (ناشی از عوامل جوی و محیطی) و بارگذاری (ناشی از ترافیک عبوری) است که هر یک به‌نحوی می‌توانند خواص مورد انتظار از روسازی را تحت تأثیر خود قرار دهند. تغییر شکل روسازی آسفالتی می‌تواند ناشی از نشست خاک بستر، تورم به دلیل یخ‌زدن لایه‌های واقع در زیر روسازی و یا گرم و سرد شدن متوالی روسازی باشد. از سوی دیگر، عبور ترافیک از روی روسازی می‌تواند با توجه به ماهیت تکرارشوندگی آن با ایجاد سیکل‌های نامنظم بارگذاری و باربرداری در روسازی، منجر به ایجاد ترک‌های بسیار ریز در بدنه‌ی روسازی و سپس بزرگتر شدن این ترک‌ها و درنهایت اضمحلال روسازی شود. البته باید خاطرنشان کرد که انواع خرابی‌ها در روسازی، صرفاً محدود به وقوع ترک‌ها نبوده و بروز خرابی‌هایی از قبیل شیارافتادگی[1] و یا عریان‌شدگی روسازی[2] در کنار بسیاری از خرابی‌های دیگر در زمره‌ی علل کاهش عملکرد مناسب روسازی محسوب می‌شوند که پرداختن به آن‌ها از حوصله‌ی این گزارش خارج است. علی‌ای‌حال، براساس انواع الگوی ترک‌خوردگی در روسازی‌های آسفالتی، ترک‌ها را می‌توان به چهار دسته‌ی کلی زیر تقسیم‌بندی کرد:

الف) ترک‌های پوست سوسماری

[1] Rutting
[2] Stripping

ب) ترک‌های بلوکی
ج) ترک‌های طولی و عرضی
د) ترک‌های لبه

در ادامه به تشریح هر یک از موارد فوق پرداخته می‌شود.

۱-۱- ترک‌خوردگی پوست سوسماری[1]

ترک‌های پوست سوسماری یا ترک‌خوردگی‌های خستگی، مجموعه‌ای از ترک‌های به‌هم متصل هستند که در اثر گسیختگی ناشی از خستگی رویه‌ی بتن آسفالتی آغاز شده و تحت اثر تنش‌های کششی و تغییر شکل‌های نسبی ناشی از بار چرخ به بالاترین مقدار خود می‌رسند. این ترک‌ها در ابتدا به‌صورت مجموعه‌ای از ترک‌های طولی موازی با یکدیگر در سطح رویه منتشر می‌شوند؛ آنگاه با تکرار بارگذاری ترافیکی، ترک‌ها به یکدیگر متصل شده و تکه‌های چند ضلعی با گوشه‌های تیز به‌وجود می‌آورند که بیشتر به الگوی پوست سوسمار شباهت دارد. شایان ذکر است که ابعاد این تکه‌ها معمولاً از ۶۰ سانتی‌متر تجاوز نمی‌کند. ترک‌خوردگی پوست سوسماری تنها در بخش‌هایی از روسازی به‌وقوع می‌پیوندد که در معرض تکرار بارگذاری ترافیکی قرار دارند؛ همانند محل عبور چرخ خودروها؛ لذا، خرابی تنها زمانی کل سطح روسازی را دربر خواهد گرفت که تمامی آن سطح تحت اثر بارگذاری ترافیکی قرار گیرد (عامری، ۱۳۷۸).

به‌طورکلی، می‌توان گفت که یکی از علل به‌وجود آمدن ترک‌های پوست سوسماری، تغییر شکل بیش از حد لایه‌های روسازی در اثر بارگذاری و یا خستگی بیش از حد رویه‌ی آسفالتی در اثر تکرار بارهای وارده است. ساخت روسازی بر روی خاک‌های با مقاومت کم و قابلیت شکل‌پذیری زیاد، عدم تراکم کافی لایه‌های اساس و زیراساس، و همچنین مقاومت ناکافی این لایه‌ها در روسازی می‌تواند منجر به بروز ترک‌خوردگی پوست سوسماری شود.

ترک‌خوردگی پوست سوسماری عمدتاً به‌عنوان یکی از خرابی‌های اصلی سازه‌ای به‌شمار می‌رود و معمولاً به همراه خرابی شیارشدگی[2] در سطح رویه ظاهر می‌شود (عامری، ۱۳۷۸).

[1] Alligator Cracking
[2] Rutting

شکل شماره‌ی ۱: ترک‌خوردگی پوست سوسماری در روسازی آسفالتی

عامری، ۱۳۷۸

۱-۲- ترک‌های بلوکی[1]

ترک‌های بلوکی نوعی از ترک‌های به‌هم متصل هستند که روسازی را به قطعات تقریباً مستطیلی‌شکل تقسیم می‌کنند. ترک‌خوردگی بلوکی عمدتاً در اثر انقباض بتن آسفالتی که ناشی از تغییرات روزانه‌ی درجه‌ی حرارت می‌باشد به‌وجود می‌آید. وقوع ترک‌خوردگی بلوکی در سطح رویه معمولاً نشانگر آن است که قیر به میزان قابل‌ملاحظه‌ای سفت شده است. این نوع از ترک‌خوردگی، به‌طور معمول در ناحیه‌ی وسیعی از سطح روسازی گسترده می‌شود، ولی گاهی اوقات تنها در نواحی غیرترافیکی نیز به‌وقوع می‌پیوندد. تفاوت این نوع خرابی با ترک‌خوردگی پوست سوسماری در آن است که الگوی ترک‌های پوست سوسماری همانطور که پیشتر ذکر گردید، تکه‌های کوچک چندوجهی با لبه‌های تیز می‌باشد. همچنین برخلاف ترک‌های بلوکی، ترک‌های پوست سوسماری در اثر تکرار بارگذاری ترافیکی ایجاد می‌شوند و لذا تنها در نواحی با بارگذاری ترافیکی دیده می‌شوند (عامری, ۱۳۷۸).

[1] Block Cracking

شکل شماره‌ی ۲: ترک‌خوردگی بلوکی در روسازی آسفالتی

عامری، ۱۳۷۸

۱-۳- ترک‌خوردگی طولی[1] و عرضی[2]

ترک‌های طولی به موازات محور یا جهت خواب روسازی[3] ظاهر می‌شوند و ممکن است ناشی از عوامل زیر باشند:

۱- اجرای نادرست درز خط عبور
۲- انقباض سطح رویه‌ی بتن آسفالتی

در اثر درجه حرارت‌های پایین یا سفت شدن قیر و یا چرخه‌ی روزانه‌ی درجه حرارت ترک‌های عرضی در وسط روسازی ظاهر می‌شوند و تقریباً به‌طور عمود نسبت به محور یا جهت خواب روسازی امتداد می‌یابند. این نوع ترک‌ها عمدتاً ارتباطی به بارگذاری ندارند (عامری، ۱۳۷۸).

[1] Longitudinal Cracking
[2] Transversal Cracking
[3] Direction of lay down

شکل شماره‌ی ۳: ترک‌خوردگی طولی در روسازی آسفالت

Asphalt Institute, 2009

شکل شماره‌ی ۴: ترک‌خوردگی عرضی در روسازی آسفالتی

FHWA, 2013

۱-۴- ترک‌خوردگی لبه[1]

ترک‌های لبه به موازات لبه‌ی خارجی روسازی و معمولاً حدفاصل ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری از آن امتداد پیدا می‌کنند. با وجود اینکه علت عمده‌ی رخداد این ترک می‌تواند فقدان پایداری و استقامت برشی

[1] Edge Cracking

خاک و یا مصالح کناره‌های روسازی راه باشد، سیر خرابی در اثر بارگذاری ترافیکی تسریع می‌شود (عامری، ۱۳۷۸).

شکل شماره‌ی ۵: ترک‌خوردگی لبه در روسازی آسفالتی

Asphalt Institute, 2009

همچنین، بخش لبه‌ی روسازی به‌مراتب از دیگر نواحی روسازی آسیب‌پذیرتر بوده و عبور چرخ از نزدیک لبه می‌تواند، منجر به تغییر شکل‌های بزرگ در روسازی شده و نهایتاً به خرابی روسازی بینجامد.

البته شایان ذکر است که اگر ناحیه بین ترک و لبه‌ی روسازی به‌صورت خردشده درآمده باشد، به‌عنوان خرابی «دانه‌دانه شدن» طبقه‌بندی می‌شود (عامری، ۱۳۷۸).

۲- روش‌های تعمیر و نگهداری روسازی

به‌منظور نگهداری، ترمیم و تعمیر ترک‌های رویه‌ی آسفالتی، امروزه از روش‌های متفاوتی بهره گرفته می‌شود که هر روش مزایا و معایب خاص خود را دارد. به‌طورکلی، روش‌های نگهداری و تعمیر به دو سطح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- تعمیر و مرمت روسازی به‌صورت موضعی
۲- تعمیر و مرمت روسازی به‌صورت کلی و بنیادی

۲-۱- تعمیر و مرمت روسازی به‌صورت موضعی

در روش‌هایی که تمرکز آن‌ها بیشتر بر روی تعمیر و مرمت موضعی روسازی استوار می‌باشد، تنها بخشی از روسازی که دچار خرابی شده است، مورد مرمت قرار می‌گیرد و سایر قسمت‌ها که عملکرد مناسب‌تری دارند تعمیر نمی‌گردند. بسته به میزان خرابی موضعی، یکی از روش‌های ذیل را می‌توان جهت عملیات تعمیر و مرمت پیشنهاد نمود (مقدس نژاد، ۱۳۸۷):

الف) پرکردن چاله: یکی از روش‌های تعمیر و مرمت موضعی روسازی، کندن چاله و نواحی سست اطراف آن تا حصول به لایه‌های با تراکم مناسب و نواحی سفت و محکم بوده که سپس با پاک کردن مواد زائد درون چاله، قیرپاشی و نهایتاً پرکردن چاله با بتن آسفالتی گرم عملیات ترمیم کامل می‌گردد.

ب) وصله‌ی سطحی: در نوع دیگری از عملیات تعمیر و نگهداری که به تعمیر وصله‌ی سطحی معروف است، نواحی خراب یا ترک برداشته شده‌ی روسازی که از عملکرد مناسب و لازم برخوردار نمی‌باشند، به‌صورت اشکال منظم هندسی بریده شده و کف و جداره‌های این نواحی تا رسیدن به نواحی متراکم برداشته می‌شود. سپس سطوح داخلی آن نواحی بریده‌شده قیرپاشی گردیده و نهایتاً با بتن آسفالتی گرم پر و متراکم شده؛ به‌طوری‌که همسطح با نواحی دیگر روسازی گردد.

ج) وصله‌ی عمیق: در نوع دیگری از عملیات تعمیر و نگهداری که به وصله‌ی عمیق معروف می‌باشد، قسمت‌هایی از لایه‌ی اساس و یا زیراساس درصورت لزوم برداشت شده و چنانچه لایه‌ها از عدم زهکشی مناسب برخوردار باشند، با استفاده از مصالح با دانه‌بندی مناسب در این لایه‌ها و تراکم مناسب آن‌ها، می‌توان شرایط مناسبی را برای زهکشی سطوح زیرین روسازی فراهم نمود.

درصورتی‌که میزان قیر در آسفالت زیاد باشد و روسازی دچار قیرزدگی شده باشد، از طریق سوزاندن نواحی دارای قیرزدگی و یا پخش شن ریزدانه در این نواحی می‌توان این نوع خرابی را کنترل و مرمت نمود.

۲-۲- تعمیر و مرمت روسازی به‌صورت کلی و بنیادی

به‌طورکلی، در مواقعی که تعمیر سطحی رویه و یا لایه‌های روسازی مقرون‌به‌صرفه نبوده و نواحی خراب‌شده‌ی روسازی وسعت قابل‌توجهی داشته باشند، از روش‌های مبتنی بر ترمیم و تعمیر کلی و اساسی خرابی‌های روسازی و لایه‌های زیرین آن بهره گرفته می‌شود که عبارتند از:

الف- اجرای روکش آسفالتی با ضخامت مشخص بر روی رویه‌ی قدیمی
ب- حذف رویه‌ی قدیمی و اجرای رویه‌ی جدید
ج- بازیافت آسفالت رویه و درصورت لزوم لایه‌ی اساس

عموماً چه در حالت استفاده از تعمیر و مرمت موضعی و چه در حالت استفاده از تعمیر و مرمت کلی، زمانی‌که روکش جدید اجرا می‌گردد و بر روی روسازی ترک‌خورده‌ی زیرین قرار می‌گیرد، امکان گسترش ترک به درون آن وجود خواهد داشت (مقدس نژاد، ۱۳۸۷).

۳- ترک‌های انعکاسی در روسازی با روکش آسفالتی

همانگونه که بیان شد، یکی از مهم‌ترین روش‌های تعمیر و نگهداری اساسی راه‌ها، اجرای روکش است؛ بااین‌حال، درصورتی‌که در روسازی قدیمی مسیر راه، درزها یا ترک‌هایی موجود باشد و روکش جدید بتن آسفالتی بر روی آن قرار گیرد، پس از مدتی بر روی این روکش نیز ترک‌هایی مشاهده خواهد شد که الگوی آن‌ها کاملاً مشابه با ترک‌های پیشین است. این نوع ترک‌ها را اصطلاحاً ترک‌های انعکاسی[۱] می‌نامند. به‌عبارت‌دیگر، می‌توان گفت پس از اجرای روکش بتن آسفالتی جدید بر روی روکش قبلی، درصورتی‌که شرایط محیطی و الگوی بارگذاری وارده بر معبر مورد نظر تغییر نکند، پس از مدتی ترک‌های جدیدی بر روی روکش جدید پدیدار خواهند شد که به مانند قبل روسازی را دچار مشکل خواهند کرد.

براساس تحقیقات انجام‌گرفته در دپارتمان حمل‌ونقل تگزاس، ترک‌خوردگی انعکاسی یکی از جدی‌ترین خرابی‌هایی است که روکش روسازی‌های آسفالتی و بتنی که معمولاً به‌صورت لایه‌ی نازکی از آسفالت قیری می‌باشد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Cleveland, 2002). با توجه به ماهیت این نوع از خرابی، نظرات متفاوتی در مورد منشأ و شرایط بروز آن مطرح گردیده است. آقای شاهین[۲] در کتاب مدیریت روسازی برای راه‌ها، فرودگاه‌ها و پارکینگ‌ها، بروز این نوع از خرابی را در روسازی‌های با رویه‌ی آسفالتی که بر روی دال‌های بتن سیمانی قرار دارند نیز محتمل می‌داند. ترک‌های مذکور، عمدتاً در اثر جابه‌جایی ناشی از حرارت یا رطوبت دال بتنی در زیر رویه‌ی آسفالتی به‌وجود می‌آیند. با وجود اینکه منشأ این نوع خرابی در محل درزها عمدتاً بارگذاری نمی‌باشد، اما بارگذاری ترافیکی نیز ممکن است باعث گسیختگی و بروز ترک‌هایی در محل نزدیکی درزها شود (عامری، ۱۳۷۸).

همچنین، براساس آنچه که آقای کیم[۳] در کتاب مدل‌سازی بتن آسفالتی[۴] ارائه نموده است، زمانی‌که لایه‌ی روکش بر روی روسازی بتنی موجود اجرا شود (ساختار نیمه‌ی صلب)، ترک‌هایی بر روی روکش پدید می‌آیند که حاصل از جمع‌شدگی روسازی بتنی، جابه‌جایی‌های حرارتی و یا جابه‌جایی طرفین درز موجود در روسازی بتنی هستند. به‌طورکلی لایه‌ی روکش آسفالتی از این مشخصه که بدون آسیب‌دیدگی و

[1] Reflective Cracks
[2] M.Y.Shahin
[3] Kim
[4] Modeling of asphalt

ترک‌خوردگی، قابلیت پذیرش تغییر مکان‌های بالا را داشته باشد، برخوردار نبوده و لذا ترک‌ها از روی درز موجود در روسازی بتنی شروع به گسترش نموده و به‌تدریج بدنه‌ی روکش آسفالتی را تخریب نموده و در امتداد ضخامت آن به سطح روکش رسیده و منجر به ترک‌خوردگی انعکاسی می‌شود (Kim, 2004).

به‌طورکلی، می‌توان گفت پس از آنکه عملیات ساخت روکش به اتمام رسید، وقوع هرگونه جابه‌جایی افقی یا عمودی روسازی در محل ترک که منشأ آن بارگذاری و یا تغییر درجه‌ی حرارت محیط باشد، به‌تدریج موجب گسترش ترک‌ها از روسازی زیرین به روسازی جدید فوقانی شده و خرابی آن را نیز در پی خواهد داشت. وقوع این جابه‌جایی‌ها موجب قلوه‌کن شدن[۱] و عریان شدن[۲] بدنه‌ی روسازی شده و عملاً شرایط را برای ورود آب‌های سطحی به لایه‌های اساس، زیراساس و خاک بستر مهیا می‌سازد که نهایتاً کاهش کیفیت سواری و افزایش سرعت تخریب لایه‌های روسازی و زیرسازی را به دنبال خواهد داشت (U.S. Department of the army and the air force, 1995).

در تحقیقی دیگر، *کلیولند*[۳]، *باتن*[۴] و *لیتن*[۵] در گزارش «استفاده از ژئوسنتتیک‌ها به‌منظور به حداقل رساندن ترک‌های انعکاسی» در سال ۲۰۰۲، به این موضوع اشاره کرده‌اند که یکی از مشکلات جدی گریبان‌گیر روکش‌های نازک، بروز ترک انعکاسی در آن است. به بیان ایشان، این پدیده عموماً به انتشار و گسترش ترک از روسازی زیرین یا لایه‌ی اساس به داخل رویه‌ی جدید اطلاق می‌شود که به دلیل تنش‌های ایجادشده توسط بارگذاری یا تغییر دما پدید می‌آیند (Cleveland, 2002).

دوبنت[۶] نیز در گزارش خود در سال ۱۹۹۸، رخداد ترک را به دلیل ایجاد تنش و کرنش بالا در روکش جدید اجراشده بر روی روسازی ترک‌خورده می‌داند. وجود ناپیوستگی در روسازی قدیمی که ناشی از وقوع ترک در بدنه‌ی آن است، سختی خمشی روسازی مرمت‌یافته را کاهش داده و همچنین، موجب تمرکز تنش می‌شود. زمانی‌که شرایط به‌گونه‌ای باشد که تنش به‌وجود آمده در روسازی از مقاومت شکست رویه بیشتر شود، ترک انعکاسی در رویه‌ی جدید آغاز شده و به‌تدریج در داخل آن گسترش می‌یابد.

اثر تغییرات درجه‌ی حرارت در بروز ترک انعکاسی، در سال ۲۰۰۲ توسط *کیم* و *باتلر*[۷] تحلیل گردید. به بیان این محققین، انقباض لایه‌ی ناپیوسته‌ی زیرین موجب ایجاد تنش‌های متمرکز اضافی در روکش

[1] Spalling
[2] Raveling
[3] Cleveland
[4] Button
[5] Lytton
[6] De Bondt
[7] Buttlar

جدید گردیده، که وقوع این پدیده در بالای ترک‌ها و درزهای روسازی پیشین، موجبات خرابی روکش را فراهم خواهد آورد (Khodaii, 2008).

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که جدای از این موضوع که آیا روکش آسفالتی قرارگرفته بر روی روسازی بتنی درزدار (JCP) یا روسازی ترک‌خورده به‌درستی طراحی شده است یا خیر، ترک انعکاسی پس از گذشت مدت کوتاهی از ساخت روکش به دلیل وجود بارهای ترافیکی و تغییرات محیطی می‌تواند در داخل آن شروع به رشد نموده و توسعه یابد. در تحقیقات به‌عمل آمده، این نتیجه حاصل شده است که ظرفیت باربری روسازی بتنی درزدار موجود، نقش بسیار مهمی را در توسعه‌ی ترک‌های انعکاسی بازی می‌کند. به عبارت بهتر، پتانسیل رشد و گسترش ترک‌های انعکاسی با میزان مدول لایه‌ی اساس و خاک بستر رابطه‌ی عکس دارد. همچنین، شرایط اتصال دو لایه‌ی روکش جدید و روسازی موجود به یکدیگر نیز توسعه و نحوه‌ی انتشار ترک‌های انعکاسی را تحت تأثیر خود قرار می دهند (Baek, 2010).

بنابراین، همچنین براساس کلیه‌ی موارد مطرح‌شده در بالا، می‌توان اینطور نتیجه گرفت که سه مکانیزم زیر در به‌وجود آمدن ترک‌های انعکاسی مؤثر هستند:

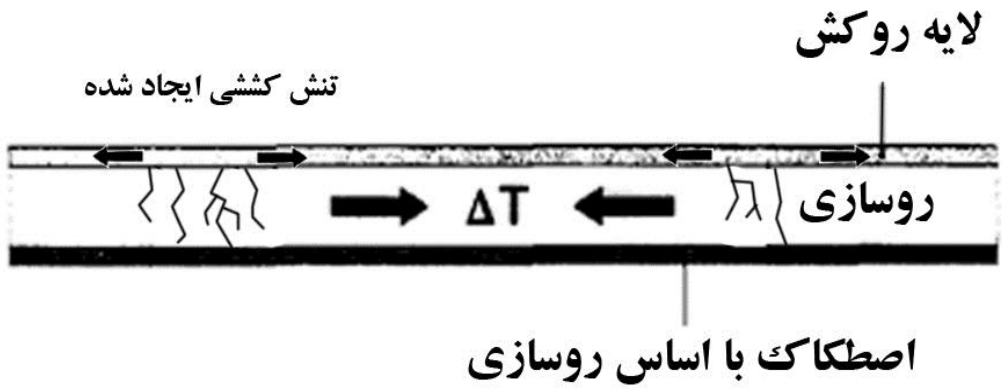
۱- مکانیزم وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی بر اثر بارگذاری حرارتی
۲- مکانیزم وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی بر اثر جابه‌جایی نامتقارن سطح زیرین
۳- مکانیزم وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی بر اثر بارگذاری ترافیکی

در ادامه، هر یک از مکانیسم‌های فوق معرفی می‌شوند.

۳-۱- مکانیزم وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی بر اثر بارگذاری حرارتی

زمانی‌که یک روسازی ترک‌خورده یا درزدار در برابر کاهش زیاد دما قرار می‌گیرد، مطابق آنچه که در شکل شماره‌ی (۶) نشان داده شده است، قطعات آن شروع به انقباض کرده و درنتیجه درزها یا ترک‌ها میل به باز شدن پیدا می‌کنند. زمانی‌که لایه‌ی روکش جدیدی بر روی روسازی ترک‌خورده قرار داشته باشد، عملاً این جابه‌جایی را محدود کرده و مانع از باز شدن ترک می‌شود، که این پدیده منجر به شکل‌گیری تنش‌های کششی در داخل لایه‌ی روکش قرار گرفته بر روی درزها و ترک‌ها می‌شود که به‌تدریج به ترک‌خوردگی آن خواهد انجامید.

شکل شماره‌ی ۶: به‌وجود آمدن تنش در روکش تحت اثر تغییرات حرارتی



De Bondt, 1999

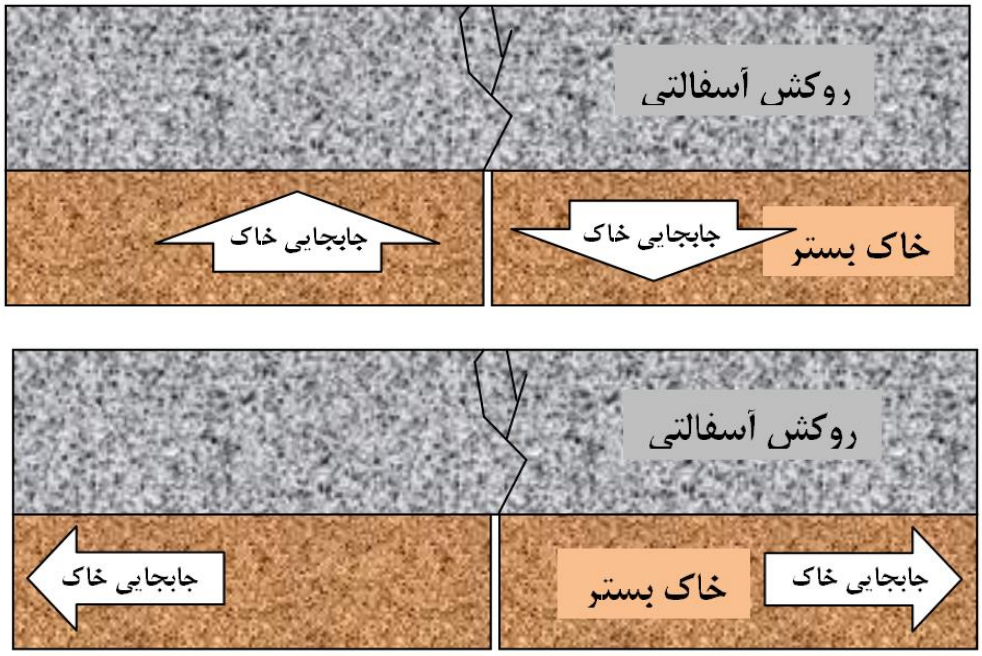
مقدار تنش کششی ایجادشده در روکش به مشخصات مصالح آن، مشخصات مصالح روسازی درزدار یا ترک‌خورده‌ی زیرین، خصوصیات ناحیه‌ی اتصال آن به روکش جدید، میزان اصطکاک با خاک بستر و نهایتاً میزان تغییرات دما در منطقه بستگی خواهد داشت (De Bondt, 1999).

۳-۲- مکانیزم وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی براثر جابه‌جایی نامتقارن سطوح زیرین

ترک انعکاسی می‌تواند در اثر جابه‌جایی نامتقارن به‌صورت افقی، قائم و یا ترکیبی از آن‌ها اتفاق افتد و ازاین‌رو، با توجه به شرایط خاک بستر پدیده‌ی پیچیده‌ای محسوب می‌شود. معمولاً منشأ بروز جابه‌جایی‌های قائم نامتقارن، ضعف موضعی باربری خاک بستر روسازی بوده که می‌تواند منجر به بروز ترک انعکاسی شود. جابه‌جایی‌های نامتقارن افقی نیز معمولاً در شرایطی که جنس خاک بستر از رس باشد، به دلیل جمع‌شدگی آن در طول فصول خشک پدید آمده که می‌تواند منشأ بروز ترک‌های انعکاسی شود. همچنین، یکی دیگر از عوامل جابه‌جایی خاک، بنا به بیان *باکر*[1] و همکاران (سال ۱۹۹۵) می‌تواند قرارگیری و رشد و نمو درختان باشد. ریشه‌ی درختان در برخی از مناطق با جذب آب موجود در خاک، موجب بروز ترک‌های طولی و عرضی در خاک بستر شده که در برخی از موارد مقدار بازشدگی این ترک‌ها به ۲۵ میلی‌متر نیز می‌رسد.

[1] Bakker

شکل شماره‌ی ۷: به‌وجود آمدن تنش در روسازی تحت اثر جابه‌جایی خاک



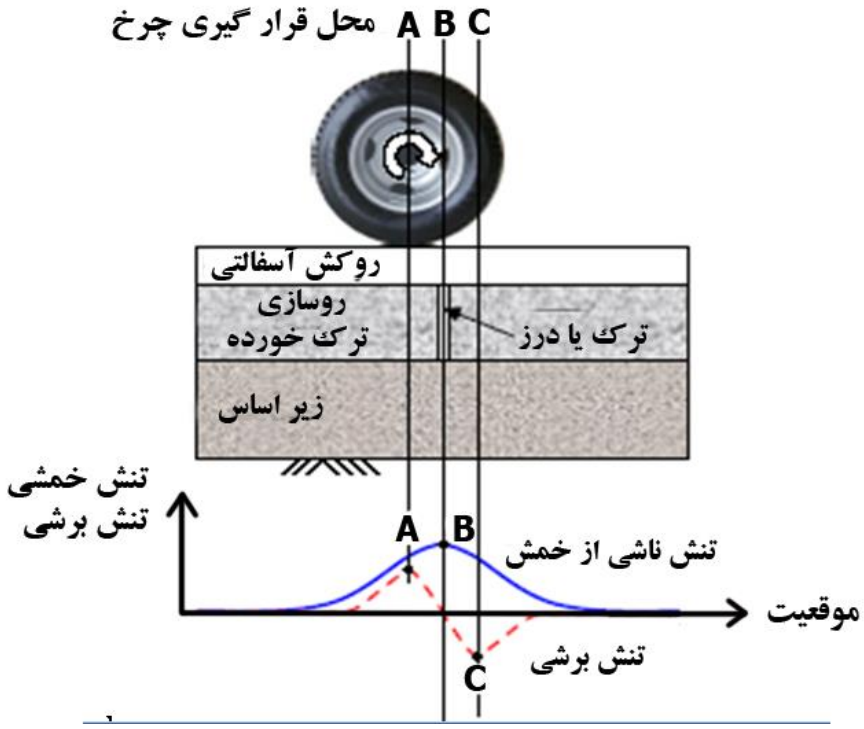
De Bondt, 1999

تحقیقات نشان می‌دهند که اینگونه ترک‌ها حتی از میان لایه‌ی اساس سنگدانه‌ای نیز عبور کرده و در برخی از موارد عمقی به اندازه‌ی نیم متر دارند (De Bondt, 1999). همچنین، مطالعات صورت‌گرفته بیانگر آن است که لبه‌های اینگونه ترک‌ها تحت اثر بارگذاری ترافیکی تخریب نشده، ولی درصورتی‌که روکش جدید بر روی اینگونه سطوح ترک‌خورده اجرا شود، قادر به تحمل تعداد زیاد تکرار بار در طول عمر مفید خود نخواهد بود (De Bondt, 1999).

۳-۳- مکانیزم وقوع ترک انعکاسی در روکش آسفالتی براثر بارگذاری ترافیکی

یکی از مهم‌ترین عوامل شکل‌گیری ترک‌های انعکاسی در روکش، عبور بارهای ترافیکی از روی سطح روکش جدید اجراشده بر روی روسازی ترک‌خورده‌ی قدیمی است. همانگونه که در شکل شماره‌ی ۸ نمایش داده شده است، زمانی‌که چرخ خودرو به محدوده‌ی ترک قدیمی نزدیک می‌شود، تنش ناشی از خمش در روکش آسفالتی افزایش می‌یابد. همچنین، تنش برشی نیز شروع به افزایش می‌کند و در نقطه‌ای که با حرف A نمایش داده شده است به بیشینه‌ی مقدار خود رسیده و با عبور چرخ از آن نقطه، شروع به کاهش می‌کند.

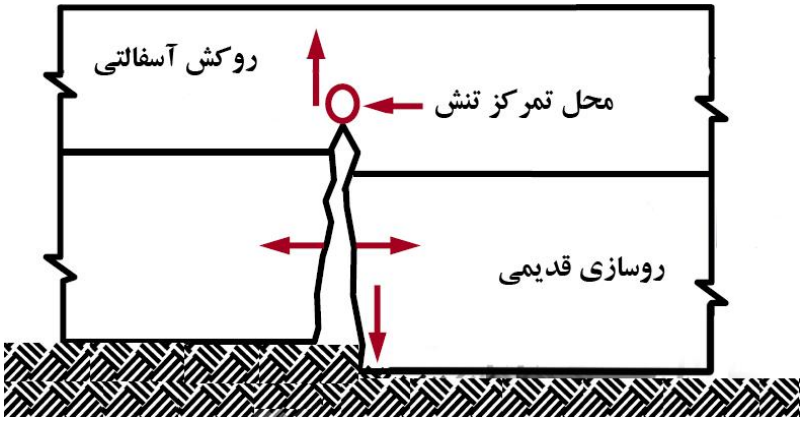
شکل شماره‌ی ۸: تنش‌های حاصل از عبور چرخ از محدوده‌ی ترک موجود در روسازی قدیمی



Button, 2007

بااین‌وجود، تنش خمشی افزایش مقدار خود را حفظ می‌کند، تا زمانی‌که چرخ دقیقاً در موقعیت ترک یا درز قرار گیرد که در این حالت بیش‌ترین تنش ناشی از خمش در روسازی به‌وجود خواهد آمد (نقطه‌ی B در شکل شماره‌ی ۸). در این حالت همانگونه که در شکل نشان داده شده است، مقدار تنش برشی به‌وجود آمده در روکش برابر با صفر خواهد بود.

شکل شماره‌ی ۹: تمرکز تنش ناشی از بارگذاری



مؤلف، ۱۳۹۲

زمانی‌که روکش آسفالتی جدیدی بر روی روسازی ترک‌خورده‌ی قدیمی اجرا می‌شود، در محل ناحیه‌ی برخورد ترک با روکش جدید، با فرض اتصال کامل دو لایه به یکدیگر، تمرکز تنش ایجاد می‌شود که این امر با ادامه‌ی روند بارگذاری و باربرداری موجب گسیختگی ناحیه‌ی مذکور و درنهایت، سبب رشد و پیشرفت ترک و بروز خرابی در روکش جدید می‌شود. ناحیه‌ی تمرکز تنش به‌صورت شماتیک در شکل شماره‌ی (۹) نمایش داده شده است. زمانی‌که تمرکز تنش در روکش جدید پدید می‌آید، چنانچه تکرار بار و میزان بار منجر به بروز تنش‌هایی در روکش شود که بزرگای آنان از حد تحمل ماده‌ی تشکیل‌دهنده‌ی روکش و همچنین، میزان خودترمیمی[1] روسازی بیشتر باشد، فرایند بروز ترک و تخریب روکش جدید آغاز می‌شود. این فرایند تخریب توسط ترک انعکاسی از سه فاز قابل‌تفکیک از یکدیگر تشکیل شده است.

این فازها عبارتند از:

۱- فاز اولیه (آغاز ترک و گسترش ترک‌های مویی و میکروترک‌ها): بارگذاری بر روی روسازی ترک‌خورده‌ی قدیمی که از روکش جدید برخوردار می‌باشد، با توجه به رخداد تمرکز تنش در محل ترک، در ابتدا بروز ترک‌های ریز را به همراه خواهد داشت که پس از اتمام سیکل بارگذاری و باربرداری و بازگشت طرفین ترک به محل‌های قبلی، به‌واسطه‌ی وجود خواص چسبندگی و خودترمیمی در ماده‌ی قیر، بخشی از این ترک‌ها ترمیم می‌گردند.

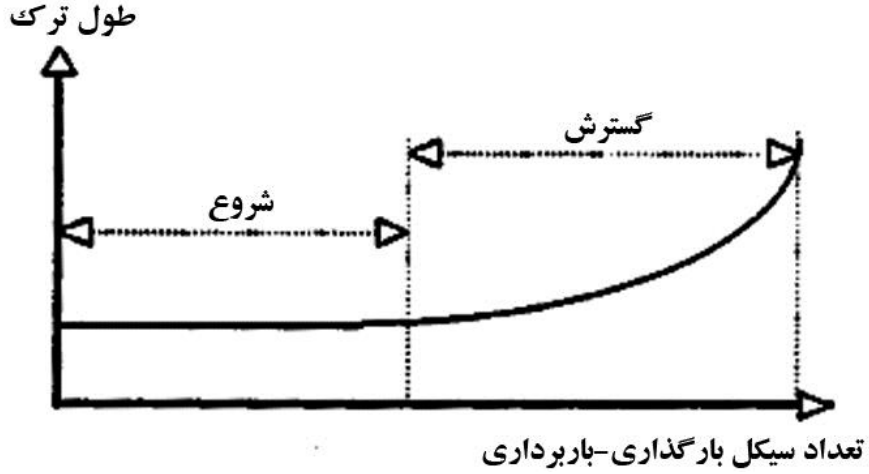
۲- فاز پیشرفت (گسترش ترک‌های مویی و تبدیل آن‌ها به ترک‌های بزرگتر): با افزایش تعداد سیکل بارگذاری و باربرداری و همچنین افزایش بزرگای آن، سطوح تنش در روکش جدید افزایش یافته و در این حالت چنانچه عملکرد خودترمیمی روسازی، توان ترمیم ترک‌ها را نداشته باشد، ریزترک‌ها به یکدیگر پیوسته شده و نهایتاً ترک‌های بزرگتر در روکش جدید پدید می‌آیند.

۳- فاز انهدام: با ادامه‌ی روند فاز پیشرفت ترک‌ها که ناشی از ادامه‌ی فرایند بارگذاری- باربرداری می‌باشد و نهایتاً رسیدن تنش‌ها به مقاومت نهایی مصالح، روکش دچار گسیختگی کامل می‌گردد. در این فاز رشد ترک‌ها و نهایتاً به‌هم پیوستگی این ترک‌ها موجب انهدام و شکست نهایی مصالح می‌گردد (Paris, 1963).

نمودار شماتیک مراحل بروز و گسترش ترک برحسب تعداد سیکل بارگذاری- باربرداری، در شکل شماره‌ی (۱۰) نمایش داده شده است.

[1] Healing

شکل شماره‌ی ۱۰: مراحل بروز و گسترش ترک با افزایش تعداد سیکل بارگذاری- باربرداری



Paris, 1963

۳-۴- روش‌های پیشگیری از ترک‌های انعکاسی

امروزه روش‌های مختلفی برای جلوگیری از بروز و یا به تأخیر انداختن ترک‌های انعکاسی وجود دارد؛ اما به‌طورکلی می‌توان این روش‌ها را به سه دسته‌ی زیر طبقه‌بندی کرد:

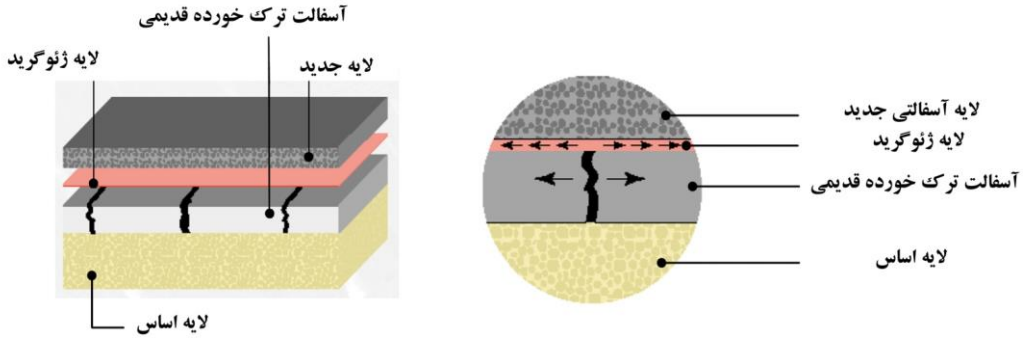
۱- مسلح نمودن روکش
۲- کاستن از تنش از طریق تعبیه‌ی لایه‌ی کاهش‌دهنده‌ی تنش
۳- ترمیم و بازگرداندن مقاومت روسازی زیرین به زمان پیش از اجرای روکش

در ادامه، راهکارهای فوق معرفی می‌شوند.

۳-۴-۱- مسلح نمودن روکش

همانطور که می‌دانیم، افزایش ضخامت روکش می‌تواند با توجه به کاهش سرعت رشد ترک و همچنین افزایش مسافتی که ترک باید برای رسیدن به سطح روکش بپیماید منجر به افزایش تعداد بار قابل‌تحمل روسازی گردد. بنابراین با توجه به اینکه با ساخت روکش ضخیم‌تر، شاهد افزایش مقاومت روسازی خواهیم بود، این روش را می‌توان در زمره‌ی روش‌های مسلح نمودن روسازی طبقه‌بندی نمود. همچنین، یکی دیگر از روش‌های مسلح نمودن روسازی به‌کارگیری شبکه‌های با سختی بالا مانند فایبرگلاس‌ها و پلیمرها می‌باشد که با توجه به برخورداری از مقاومت کششی بالا، عیناً عملکردی مشابه عملکرد آرماتورها در بتن را در روسازی از خود نشان می‌دهند. مسلح نمودن آسفالت توسط ژئوسنتتیک‌ها (که در ادامه معرفی می‌گردند)، الیاف پلی‌استر، پلی‌پروپیلن و ... نیز از سایر روش‌های مسلح نمودن روسازی به حساب می‌آیند (Button, 2007).

شکل شماره‌ی ۱۱: کاربرد ژئوگریدها در روسازی به‌عنوان یکی از روش‌های جلوگیری از بروز ترک‌های انعکاسی



Button, 2007

۳-۴-۲-کاستن از تنش از طریق تعبیه‌ی غشای میان لایه‌ی کاهش‌دهنده‌ی تنش[1]

همانطور که قبلاً نیز ملاحظه گردید، پیشگیری از به‌وجود آمدن تمرکز تنش در روکش اجراشده‌ی جدید (لایه‌ی فوقانی) می‌تواند تأثیر چشمگیری بر کاهش بروز ترک‌های انعکاسی داشته باشد. ازاین‌رو، امروزه روش‌هایی نظیر به‌کارگیری آسفالت با دانه‌بندی گسترده و غیریکنواخت، لایه‌ی آسفالت گرم شامل آسفالت با ویسکوزیته‌ی پایین، تعبیه‌ی لایه‌ی پودر سنگی ازبین‌برنده‌ی تنش بین لایه‌ای و همچنین، استفاده از میان لایه‌ی آسفالتی یا پارچه‌ای که بتواند موجب کاهش تنش گردد از روش‌های معمول در دنیا محسوب می‌گردند (Button, 2007).

به‌کارگیری غشای میان لایه‌ی کاهش‌دهنده‌ی تنش (SAMI)[2] نوع دیگری از سیستم‌های مورد کاربرد در روسازی است که بروز ترک‌های انعکاسی را به تأخیر می‌اندازد. این لایه معمولاً در دو نوع کلی زیر ساخته شده و مابین لایه‌ی روکش ترک‌خورده‌ی قدیمی و روکش جدید اجرا می‌شود:

الف) لایه‌ی آسفالت حاوی پودر لاستیک و سنگدانه
ب) لایه‌ی آسفالت حاوی ژئوتکستایل

شکل شماره‌ی (۱۲)، تصویر شماتیک مقطع یک لایه‌ی روکش سطحی که در زیر آن میان لایه‌ی آسفالت حاوی پودر لاستیک و سنگدانه اجرا شده است را نشان می‌دهد. در یکی از مطالعات صورت‌گرفته در سال ۲۰۰۸، یک لایه‌ی آسفالتی تقویت‌شده با ژئوتکستایل به‌عنوان غشای میان لایه‌ی کاهش تنش (SAMI) به‌کار گرفته شد تا ترک‌های انعکاسی را به تأخیر اندازد.

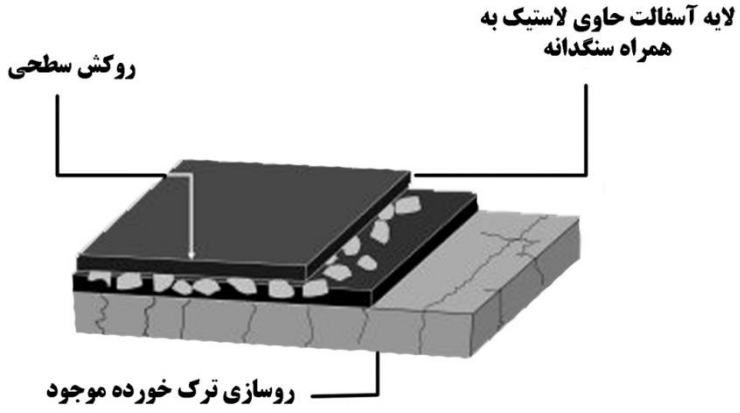
[1] Stress relieving layer
[2] Stress Absorbing Membrane Interlayer

با وجود اینکه پس از به‌کارگیری این میان لایه، برخی بهبودهای جزئی در وضعیت ترک مشاهده گردید، این روش در زمره‌ی روش‌های بهبود مقاومت روسازی آسفالتی در برابر ترک‌های انعکاسی نیز به‌شمار می‌رود (Palacios, 2008).

۳-۴-۳-ترمیم و بازگرداندن مقاومت روسازی زیرین به زمان پیش از اجرای روکش

این روش عمدتاً از طریق پر کردن ترک‌های موجود در داخل روسازی قدیمی به‌وسیله‌ی ترکیبی از آسفالت پلیمری تحقق می‌یابد. با توجه به کاهش قابل‌توجه مقاومت روسازی در اثر ترک‌خوردگی، اجرای این عملیات می‌تواند روسازی قدیمی را به چرخه‌ی خدمت بازگردانیده و علاوه‌بر جلوگیری از زیاد شدن عرض ترک‌ها در روسازی قدیمی (که منجر به تمرکز تنش در لایه‌ی روکش می‌شود)، آن را به بستری مقاوم جهت پشتیبانی از لایه‌ی روکش مبدل سازد.

شکل شماره‌ی ۱۲: لایه‌ی کاهش تنش SAMI



Palacios, 2008

۴- ژئوسنتتیک‌ها و انواع آن‌ها

کلمه‌ی ژئوسنتتیک از دو کلمه‌ی «ژئو» به معنی زمین و «سنتتیک» به معنی مصنوعی تشکیل شده است. براساس تعریف استاندارد ASTM 0439، ژئوسنتتیک محصولی مسطح است که از مواد پلیمری تولید شده و همراه با خاک، سنگ، زمین و یا سایر مواد و مصالح مربوط به مهندسی ژئوتکنیک به‌مثابه‌ی قسمتی جداناپذیر از یک پروژه، سازه و یا سیستم ساخته‌شده توسط انسان استفاده می‌شود.

امروزه محصولات ژئوسنتتیک توانسته‌اند جای خود را در میان سایر محصولات مهندسی در کاربردهای مختلف مانند حمل‌ونقل، ژئوتکنیک، محیط‌زیست و هیدرولیک باز کرده و به‌سرعت به محصولی پرکاربرد و مؤثر تبدیل شوند. این رشد سریع، ناشی از مزایای مختلف این محصولات ازجمله کیفیت کنترل‌شده در حین تولید در کارخانه، سرعت بالای اجرا، قابلیت جایگزینی به جای محصولات

سنتی، آسان‌سازی طراحی در مقایسه با طراحی‌های پیچیده با مواد و روش‌های سنتی، طول عمر بالا، داشتن استانداردها و آیین‌نامه‌های خاص، کاهش هزینه‌ها در مقایسه با اغلب روش‌های سنتی، امکان‌پذیر کردن برخی طراحی‌ها و کاربردهای غیرممکن و یا بسیار سخت، سازگاری با محیط‌زیست، قابلیت کنترل اجرای آن و قابلیت دسترسی آسان و سریع به این محصولات است. در طراحی، اجرا و نگهداری پروژه‌های مختلف به‌ویژه در زمینه‌ی حمل‌ونقل، طراحان همواره در راستای تأمین نیازهای موجود به دنبال ارائه‌ی راهکارهایی هستند که در عین داشتن ایمنی لازم، از لحاظ ساخت و نگهداری، توجیه اقتصادی داشته باشند. در گذشته تأمین تمامی موارد مذکور در یک پروژه، بسیار دشوار و در بسیاری موارد غیرممکن بود. محصولات ژئوسنتتیک با ایجاد تحولی در طراحی‌های مهندسی باعث سهولت در تأمین همه‌جانبه‌ی موارد فوق در بسیاری از پروژه‌ها شده‌اند.

براساس مطالب بیان‌شده در بخش‌های پیشین، مسلح نمودن روسازی و همچنین کاهش تنش وارده به لایه‌های روسازی ازجمله نقش‌های کلیدی مصالح ژئوسنتتیک در پروژه‌های راه‌سازی می‌باشند. آنچه که امروزه به‌عنوان مصالح ژئوسنتتیک نامیده می‌شود، درحقیقت محصولاتی بوده که نخستین بار در کنترل فرایند فرسایش زمین توسط *بارت*[1] در سال ۱۹۶۶ مورد استفاده قرار گرفت (Barret, 1966).

کشورهای آلمان و انگلستان، ازجمله اولین تولیدکنندگان ژئوسنتتیک در دنیا بوده‌اند. اولین دسته از محصولات ژئوسنتتیک که وارد ایالات‌متحده‌ی آمریکا شدند، حاصل تولیدات کارخانجات ICI انگلستان بود که در اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰، به این کشور صادر شد. همچنین، اولین نوشته‌ها و مقالات مرتبط با کاربرد صحیح ژئوسنتتیک‌ها در موارد مختلف، حاصل مطالعه بر روی محصولات ICI بوده است. با گسترش تولید مصالح ژئوسنتتیک در سطح جهان و روند روبه‌افزایش کاربرد آن‌ها، بسیاری از شرکت‌ها به سوی تحقیق، توسعه و تولید این محصولات روی آوردند. امروزه به‌منظور افزایش مقاومت روسازی نیز استفاده از این مصالح کاربرد چشمگیری یافته است و با توجه به تحقیقاتی که در بخش‌های بعد ارائه می‌شود، ملاحظه خواهد شد که این مصالح نقش چشمگیر خود در کاهش ترک‌های انعکاسی آسفالت را به اثبات رسانده‌اند. پیش از بررسی تأثیر به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک در کاهش ترک‌های انعکاسی، لازم است ابتدا به معرفی اجمالی کاربردهای این مصالح پرداخته شود و سپس انواعی از ژئوسنتتیک‌ها که به‌طور خاص در تقویت روکش آسفالتی به‌کار برده می‌شوند، بررسی شود.

همانطور که قبلاً نیز عنوان شد، موادی که در ساخت ژئوسنتتیک‌ها به‌کار گرفته می‌شوند عمدتاً از صنعت پلیمر به‌دست می‌آیند و به‌ندرت همراه با مصالحی مثل الیاف شیشه، الیاف فلزی و لاستیک و مواد دیگر ترکیب می‌شوند.

[1] Barret

کاربردهای مختلف ژئوسنتتیک‌ها در پروژه‌های مختلف عمرانی را می‌توان در ۵ بخش اصلی زیر طبقه‌بندی کرد:

۱- جداسازی[۱] مصالح از یکدیگر با قرار دادن ژئوسنتتیک در میان لایه‌های مختلف
۲- تسلیح[۲] و تقویت خاک در شرایطی که سطوح بالاتری از مقاومت خاک مورد نیاز باشد.
۳- عمل فیلتراسیون[۳] به‌منظور جلوگیری از فرسایش لایه‌های خاک در سازه‌های آبی
۴- ایجاد زهکش و زهکشی[۴] لایه‌های خاک در شرایطی که قابلیت تراوایی لایه‌های خاک طبیعی محدود است.
۵- حفاظت در مقابل رطوبت[۵] و آب‌بند نمودن بخش‌هایی از سازه و یا تأسیسات عمرانی در مقابل نفوذ آب یا مواد زائد (مقدس نژاد، ۱۳۸۷).

درصورت استفاده از مصالح ژئوسنتتیک در هنگام اجرای روکش جدید، لازم است تا ابتدا لایه‌ی تک‌کت[۶] به میزان کافی (همانگونه که در بخش‌های آتی خواهیم دید) بر روی روسازی قدیمی اجرا شده و سپس با قرارگیری مصالح ژئوسنتتیک بر روی لایه‌ی تک‌کت، این مصالح در تماس مستقیم با لایه‌ی روکش جدید به‌کار برده شوند. براساس تقسیم‌بندی صورت‌گرفته در بالا، اینطور می‌توان عنوان کرد که عمدتاً عملکرد جداسازی و کاهش تنش در روسازی آسفالتی با به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌های با مدول پایین تأمین شده و از طرفی دیگر، استفاده از ژئوسنتتیک‌های با مدول بالا، عملکرد تسلیح و تقویت روسازی را به دنبال خواهد داشت. انواع ژئوسنتتیک‌ها عبارتند از ژئوتکستایل‌ها، ژئوگریدها، ژئونت‌ها، ژئوممبرین‌ها، ژئوپایپ‌ها و ژئوکامپوزیت‌ها که از میان آن‌ها، ژئوتکستایل‌ها، ژئوگریدها و ژئوکامپوزیت‌ها کاربرد بیشتری برای بهبود مشخصات روسازی آسفالتی و پیشگیری از ترک‌های انعکاسی داشته و لذا در ادامه، فقط به معرفی آن‌ها پرداخته خواهد شد.

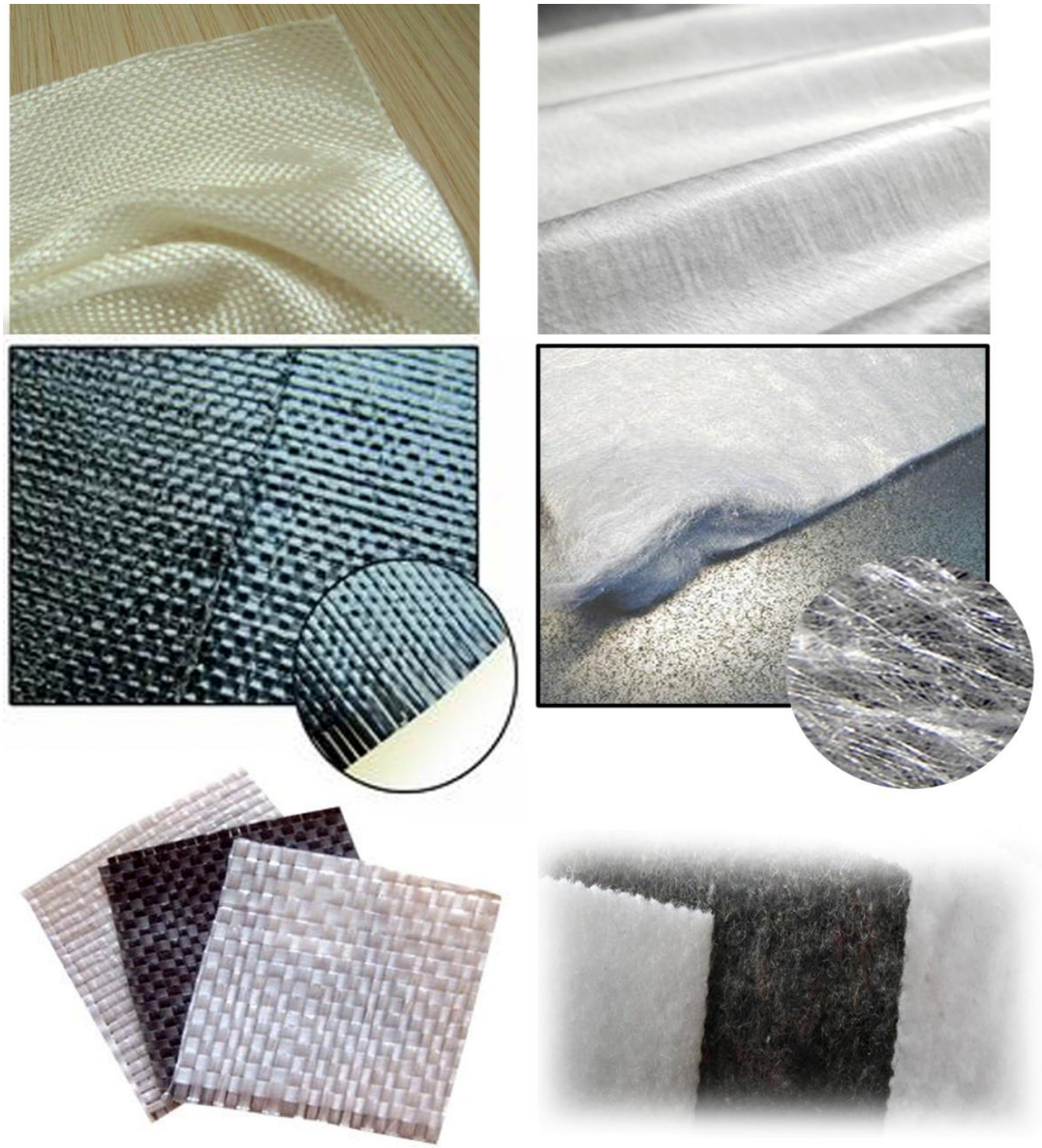
۴-۱- ژئوتکستایل‌ها

ژئوتکستایل‌ها به دو گروه عمده‌ی بافته‌شده[۷] و بافته‌نشده[۸] تقسیم‌بندی می‌شوند. ژئوتکستایل‌های بافته‌شده عمدتاً حاصل بافت الیاف مصنوعی تولیدشده از مواد پلیمری نظیر پلی‌الفین، پلی‌استر، پلی‌پروپیلن و یا الیاف شیشه هستند. با توجه به شباهت بافت این نوع از ژئوتکستایل به پارچه‌های معمولی، فرایند تولید آن‌ها نیز مشابه تولید پارچه شامل تولید نخ‌های با خصوصیات مناسب و سپس بافت

[1] Separation
[2] Reinforcement
[3] Filteration
[4] Drainage
[5] Moisture Barrier
[6] Tack Coat
[7] Woven
[8] Non Woven

ژئوتکستایل است که در انتهای فرایند تولید کنترل‌های کیفی و کمّی بر روی محصول نهایی صورت می‌گیرد.

شکل شماره‌ی ۱۳: انواع ژئوتکستایل، سمت راست: نوع بی‌بافت ، سمت چپ: نوع بافته‌شده



Engineered Linings Co., 2013

ژئوتکستایل‌های بی‌بافت از به‌هم متصل شدن رشته‌های مصنوعی یا سایر اجزای رشته‌ای به‌دست آمده از پلیمرها نظیر پلی‌الفین، پلی‌استر، پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن حاصل می‌شوند که به‌طور تصادفی و به‌وسیله‌ی روش‌های متنوعی در کنار هم قرار گرفته‌اند (فخاریان، ۱۳۸۹). این نوع از مصالح به دلیل روش ساخت مخصوص به خود و قرارگیری اتفاقی الیاف در کنار یکدیگر، الگویی ناهمگون دارند.

انواع رشته‌هایی که در ساخت ژئوتکستایل‌ها به‌کار می‌روند، عبارتند از: تار تک‌رشته، تار چندرشته، تار بافته‌نشده، تار بافته‌شده و تار تک‌رشته‌ی حاصل از برش صفحات پلیمری.

اتصال رشته‌ها در ژئوتکستایل‌های بی‌بافت می‌تواند به یکی از روش‌های اتصال توسط سوزن، اتصال با ایجاد حرارت و ذوب شدن رشته‌ها در محل‌های تماس با یکدیگر، اتصال با چرخاندن الیاف در داخل یکدیگر و اتصال با مواد چسبانده و یا صمغ صورت گیرد (فخاریان، ۱۳۸۹).

موارد مصرف ژئوتکستایل‌ها در پروژه‌های عمرانی بالغ بر ۸۰ نوع کاربرد مختلف می‌باشد که مهم‌ترین این کاربردها را می‌توان به این شرح برشمرد: جداسازی مصالح مختلف از یکدیگر با هدف جلوگیری از اختلاط و یا حرکت دانه‌ها از یک لایه به لایه‌ی دیگر و تسلیح و تقویت لایه‌های خاک سست و یا سایر مصالح که از نظر مقاومت کششی و یا باربری نیاز به تقویت دارند. همچنین، با توجه به خاصیت نفوذپذیری ژئوتکستایل‌ها و قابلیت مناسب آن‌ها در هدایت آب در جهات مختلف و همچنین داشتن خاصیت فیلتراسیون، کاربرد این محصولات در سازه‌های خاکی- آبی بسیار مورد توجه می‌باشد (فخاریان، ۱۳۸۹).

با توجه به روش ساخت ژئوسنتتیک‌ها، برای هر قطعه از ژئوسنتتیک دوجهت (بسته به اینکه جهت مذکور در راستای ماشین بافت ژئوسنتتیک و یا عمود بر جهت تولید ژئوسنتتیک قرار داشته باشد) تعریف می‌شود که با MD[1] و CMD[2] نشان داده می‌شود.

عمدتاً خصوصیات ژئوسنتتیک‌ها درجهت ضعیف‌تر درنظر گرفته می‌شود و با مشخصات فنی لازم جهت به‌کارگیری ژئوتکستایل در آن کاربرد خاص مقایسه می‌شود. به‌کارگیری ژئوتکستایل‌ها در روسازی‌های آسفالتی نیازمند تأمین مشخصات فنی خاصی است که متفاوت با مشخصات لازم برای به‌کارگیری این مصالح در کاربردهای دیگر می‌باشد. به‌عنوان مثال، همانگونه که در جدول شماره‌ی ۱ نشان داده شده است، ژئوتکستایل‌های مورد استفاده در آسفالت می‌باید تحت آزمایش کشش (که در آن ژئوتکستایل درون دو فک دستگاه مخصوص بسته می‌شود و براساس مشخصات فنی ارائه‌شده در استاندارد ASTM D4632 تحت کشش قرار می‌گیرد) مقاومت حداقل ۴۵۰ نیوتن و افزایش طول نهایی بیش از ۵۰ درصد را از خود نشان دهند (مقدس نژاد، ۱۳۸۵).

همچنین، حداقل جذب قیر برای ژئوتکستایل‌ها ۰/۹۱ لیتر بر متر مربع (براساس استاندارد ASTM D6140) و حداقل نقطه‌ی ذوب آن (براساس استاندارد ASTM D276) ۱۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد باشد.

[1] Machine Direction
[2] Cross Machine Direction

جدول شماره‌ی ۱: مشخصات ژئوتکستایل‌های مناسب برای به‌کارگیری در زیر روکش آسفالتی

ویژگی	روش آزمایش	مقدار
مقاومت grab	ASTM D ۴۶۳۲	۴۵۰ N
افزایش طول نهایی	ASTM D ۴۶۳۲	≥ ۵۰ ٪
وزن واحد سطح	ASTM D ۵۲۶۱	۱۳۵ g/m^2
حداقل جذب قیر	ASTM D ۶۱۴۰	۰/۹۱ lit/m^2
حداقل نقطه‌ی ذوب	ASTM D ۲۷۶	۱۵۰ C

منبع: مقدس نژاد، ۱۳۸۵

توضیحات: تمام نتایج آزمایشات باید برای حداقل میانگین مقادیر یک رول(MARV[1]) درجهت ضعیف‌تر آن محاسبه شود. مقدار جذب قیر باید فقط به همان اندازه‌ی لازم برای اشباع ساختن ژئوسنتتیک محاسبه شود. مقدار جذب قیر باید در برچسب محصول ارائه شده باشد. باید توجه داشت که مقادیر بیان‌شده در جدول فوق میزان قیر لازم برای اجرا را نشان نمی‌دهد.

در بخش‌های بعد خواهیم دید که این نقطه‌ی ذوب حتماً می‌باید از دمای آسفالت ریخته‌شده بر روی ژئوتکستایل بیشتر باشد تا آسفالت مزبور موجب ذوب ژئوسنتتیک و از بین رفتن آن نشود (مقدس‌نژاد، ۱۳۸۵).

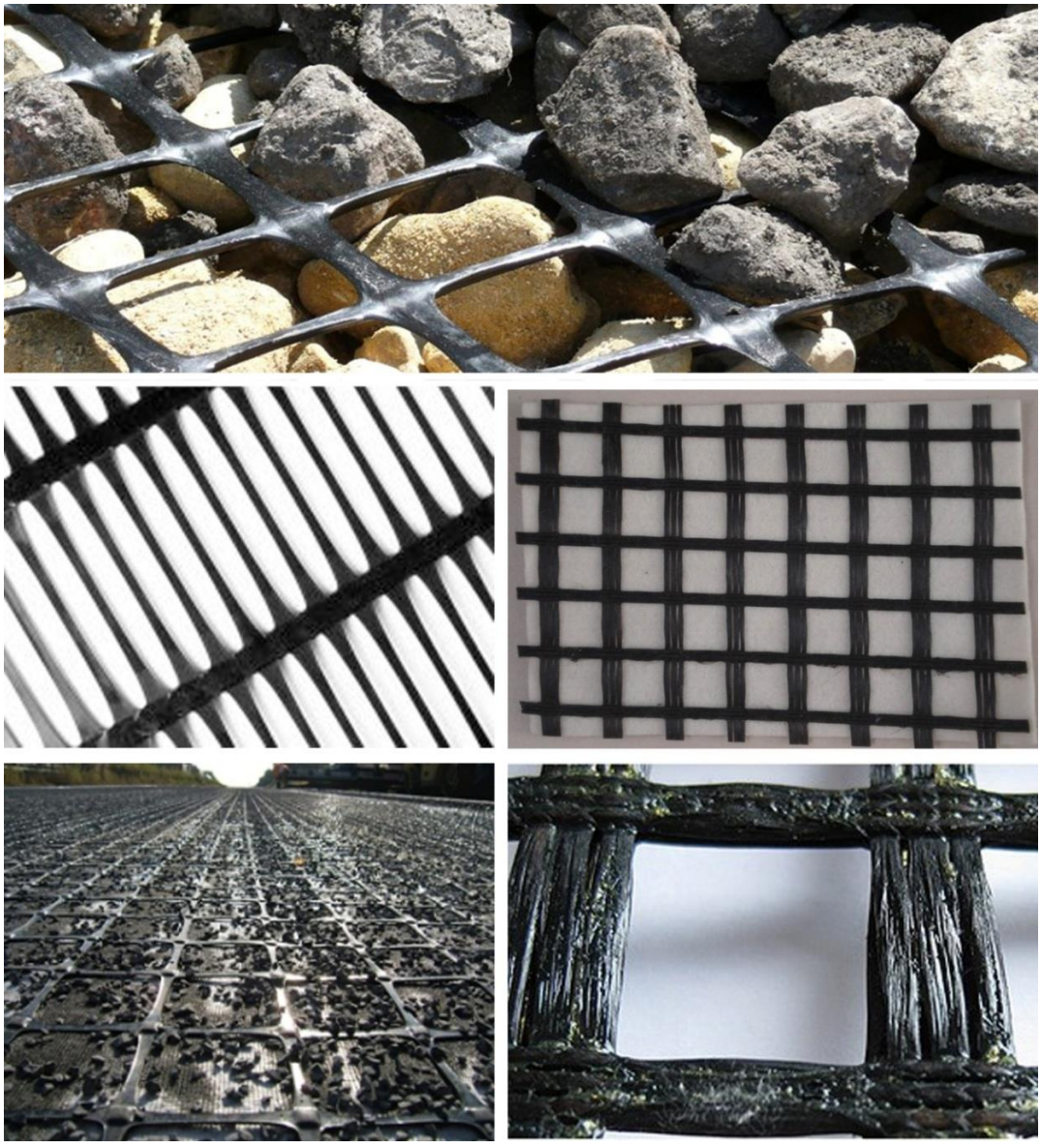
۴-۲-ژئوگریدها

ژئوگریدها به‌مثابه‌ی یکی دیگر از انواع ژئوسنتتیک‌ها، محصولاتی پلیمری بوده که معمولاً به شکل شبکه‌های مشبک منظم در یک جهت و یا دو جهت ساخته می‌شوند. وجود این شبکه‌ها و به‌ویژه حفره‌های میان آن‌ها موجب می‌شود که بتوانند دانه‌های خاک و مصالح سنگی را به‌نحو مناسبی دربر گرفته و بدین‌ترتیب مجموعه‌ی ژئوگرید و مصالح خاکی تحت تأثیر آن از خاصیت قفل و بست مطلوبی برخوردار شود.

در ساخت ژئوگریدها عمدتاً از پلیمرهایی با دانسیته و مدول الاستیسیته بالا همانند اتیلن و پلی‌پروپلین استفاده می‌شود. در فرایند تولید این محصولات، ابتدا در ورقه‌های پلیمری فوق‌الذکر سوراخ‌هایی به ابعاد مورد نظر (بین ۱۰ تا ۵۰ میلی‌متر) ایجاد می‌شود.

[1] Minimum Average Role Value

شکل شماره‌ی ۱۴: ژئوگریدها به‌صورت شبکه‌هایی هستند که مصالح به‌خوبی درون آن‌ها چفت و بست می‌شوند



Tensar Geosynthetic group, 2013

سپس ورقه‌ی سوراخ‌شده در یک یا دو جهت متعامد کشیده می‌شوند که کشیدن این ورقه‌ها درواقع موجب افزایش مقاومت کششی ژئوگرید تولیدشده درجهت مورد نظر می‌گردد (فخاریان، ۱۳۸۹). بدین‌ترتیب ژئوگریدهای تولیدشده در یک و یا دو جهت قابلیت بارگذاری و تحمل کشش را خواهند داشت. ژئوگریدها نسبت به ژئوتکستایل‌ها از سختی بیشتری برخوردار بوده و به دلیل داشتن ساختار مشبک مصالح با آن‌ها بهتر قفل و بسط می‌شوند. ازاین‌رو، مهم‌ترین کاربرد آن‌ها در پروژه‌های عمرانی عمل تقویت و تسلیح لایه های خاکریز است. البته می‌توان آن‌ها را به‌عنوان عناصر جداکننده نیز در بین

لایه‌های مصالح با خواص مختلف به‌کار برد. کاربرد اخیر نسبت به عملکرد تقویت و تسلیح از اهمیت کمتری برخوردار است (فخاریان، ۱۳۸۹).

از مهم‌ترین موارد کاربرد ژئوگریدها به‌عنوان مصالح تسلیح‌کننده، به‌کارگیری آن‌ها در لایه‌های مختلف در راه‌ها، فرودگاه‌ها و راه‌آهن، لایه‌های مختلف در خاکریزی شیروانی‌ها، لایه‌های خاکریز در دیواره‌های خاک مسلح و همچنین، کاربرد به‌عنوان شبکه‌های گابیون در کناره‌های راه‌ها و رودخانه‌ها می‌باشد (فخاریان، ۱۳۸۹).

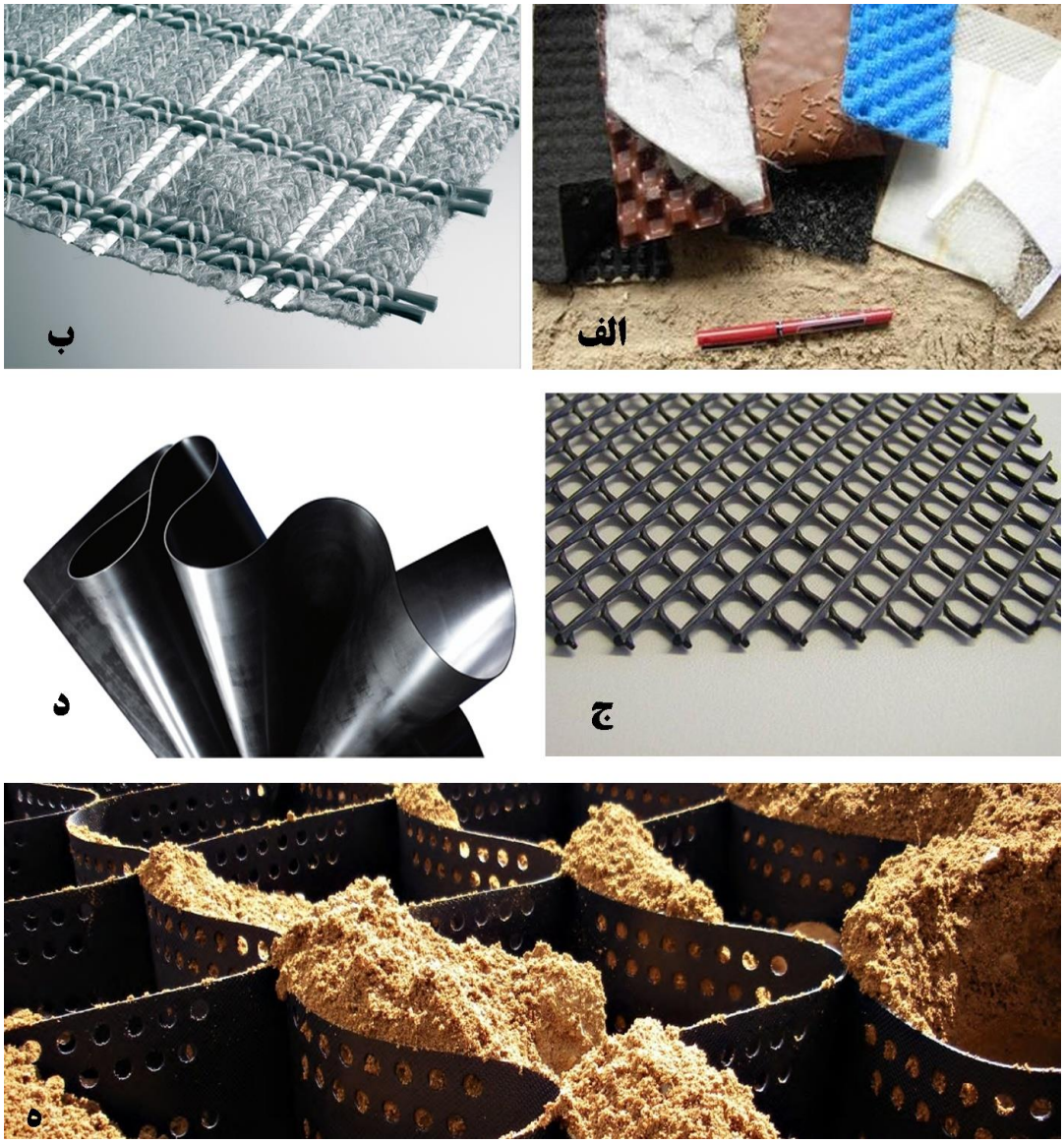
۴-۳-ژئوکامپوزیت‌ها

ژئوکامپوزیت‌ها، مصنوعاتی ساخته‌شده از ترکیب دو یا چند نوع ژئوسنتتیک مختلف می‌باشند. این محصولات گاهی اوقات همراه با سایر مواد پلیمری و یا غیرپلیمری تولید می‌گردند. همانگونه که در شکل شماره‌ی (۱۵) قسمت (الف) و (ب) نمایش داده شده است، ژئوکامپوزیت‌ها می‌توانند ترکیبی از ژئونت و ژئوتکستایل، ترکیبی از ژئوممبرین و ژئوتکستایل و یا ژئوممبرین و ژئوگرید یا ترکیب ژئوتکستایل و ژئوگرید باشد. شکل شماره‌ی (۱۵) قسمت (ج) نمونه‌ای از ژئونت و قسمت (د) ژئوممبرین را نشان می‌دهد. همچنین، همانگونه که در شکل شماره‌ی (۱۵) قسمت (ه) نشان داده شده است، ژئووب‌ها و ژئوسل‌ها محصولاتی هستند که از شکل دادن ژئو ممبرین‌ها و یا ژئوگریدها به شکل شبکه‌های جعبه‌ای و یا سلول‌های مجزا ساخته می‌شوند (فخاریان، ۱۳۸۹).

عمده‌ی ژئوکامپوزیت‌های مورد کاربرد در تقویت آسفالت مرکب متشکل از یک لایه‌ی ژئوتکستایل متصل به یک ژئوگرید مسلح‌کننده است. جنس ژئوگرید مسلح‌کننده نیز از الیاف فایبرگلاس بوده که با پلیمرهای الاستومر یا اپوکسی پوشیده شده است. در بخش‌های بعد خواهیم دید که ژئوگریدهای به‌کار گرفته‌شده در ژئوکامپوزیت به علت داشتن سختی بالا، توانایی جذب تنش‌های وارده به لایه‌ی آسفالتی را داشته و ازاین‌رو به‌مثابه‌ی لایه‌ی مسلح‌کننده‌ی آسفالت به‌کار برده می‌شوند. درحقیقت، کاربرد آن‌ها در لایه‌ی آسفالتی به تأخیر افتادن در انتقال ترک زیرین به سطح روکش و جلوگیری از بروز ترک انعکاسی منجر می‌شود.

همانگونه که درمورد ژئوتکستایل‌ها نیز بیان شد، مصالح مورد استفاده در تقویت لایه‌ی آسفالتی نیازمند تأمین مشخصات خاصی هستند که با مصالح مورد استفاده در لایه‌های خاکی متفاوت است.

شکل شماره‌ی ۱۵: انواع مختلف ژئوسنتتیک‌ها



Tensar Geosynthetic group, 2013

برای سنجش مشخصات این مصالح نیز آزمایش‌هایی تحت استانداردهای مشخصی وجود دارد که از مهم‌ترین این آزمایشات کشش نمونه بین دو فک براساس استاندارد ASTM D 6637 را می‌توان نام برد. همانگونه که در جدول شماره‌ی ۲ نشان داده شده است، مقدار مقاومت کششی بخش ژئوگرید مورد استفاده در ژئوکامپوزیت باید بیش از ۱۰۰ کیلو نیوتن بر متر باشد.

علاوه‌براین، مقدار ۵ درصد به‌عنوان حد مقدار افزایش طول در زمان گسیختگی درنظر گرفته شده است. نقطه‌ی ذوب ژئوکامپوزیت‌ها (براساس ASTM D276) به مقدار ۲۱۸ درجه‌ی سانتی‌گراد محدود

شده است و همچنین اندازه‌ی سوراخ‌های ژئوگرید مورد استفاده در ژئوکامپوزیت‌های آسفالتی نباید از ۲۶/۳ میلی‌متر تجاوز نماید (مقدس‌نژاد، ۱۳۸۵).

جدول شماره‌ی ۲: مشخصات لازم برای ژئوکامپوزیت‌های قابل به‌کار گیری در روکش آسفالتی

ویژگی	روش آزمایش	مقدار
مقاومت کششی گرید مسلح‌کننده	ASTM D ۶۶۳۷	۱۰۰ KN/m
افزایش طول در شکستگی (گسیختگی)	ASTM D ۶۶۳۷	<5%
مقاومت اتصال گرید	GSI/ GG-2	۶۷ N
حداقل، نقطه‌ی ذوب گرید	ASTM D ۲۷۶	۴۲۵ F
Max اندازه‌ی سوراخ‌های گرید MD/XD	–	۲۶/۳۰ mm
مقاومت جداشدگی لایه‌ی پارچه‌گونه از گرید	ASTM D ۴۱۳	۱۴۶ N/m

مقدس نژاد، ۱۳۸۵

توضیحات: مقاومت کشش گرید باید معرف MARV درجهت ضعیف‌تر رول باشند. مقاومت اتصال در حالت گرید متصل‌شده به ژئوسنتتیک اندازه‌گیری شود. اندازه‌ی سوراخ‌ها یا چشمه‌های گرید، مرکز به مرکز درجهت ماشین بافندگی تولیدکننده‌ی ژئوکامپوزیت و عمود بر آن اندازه‌گیری شود.

همچنین ژئوتکستایل‌های تعبیه‌شده در ژئوکامپوزیت‌ها، می‌توانند با جداسازی لایه‌ی زیرین ترک-خورده از لایه‌ی جدید فوقانی و جلوگیری از انتقال مستقیم تنش به لایه‌ی فوقانی و درنهایت مستهلک کردن تنش، از انتقال و انعکاس ترک پیشگیری به‌عمل آورند.

در سال‌های اخیر، مطالعات بسیار زیادی در کشورهای مختلف درزمینه‌ی به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها به‌منظور کاهش ترک‌های انعکاسی به‌صورت میدانی و مدل‌سازی آزمایشگاهی و عددی انجام گرفته است که عمدتاً مؤید تأثیر چشمگیر این مصالح است. پس از معرفی اجمالی انواع ژئوسنتتیک‌ها، در این بخش، در ادامه به تفکیک نوع عملکرد ژئوسنتتیک‌ها، تجربیات جهانی حاصله در به‌کارگیری مفید و مؤثر این نوع مصالح به‌ویژه در روسازی آسفالتی پرداخته خواهد شد.

۵- نقش ژئوسنتتیک‌ها در کاهش اثرات ناشی از ترک در روسازی آسفالتی

ژئوسنتتیک‌ها درصورت کاربرد در روسازی آسفالتی می‌توانند سه نقش اساسی زیر را ایفا کنند:

۱- آب‌بند نمودن روسازی راه و روکش
۲- مستهلک نمودن و کاهش دادن تنش‌ها و کرنش‌های وارده به روسازی
۳- مسلح نمودن روکش

۵-۱- آب‌بند نمودن روسازی راه و روکش

یکی از مهم‌ترین کاربردهای ژئوسنتتیک‌ها آن است که می‌توانند به‌منظور جلوگیری از نفوذ آب به درون سازه‌ی روسازی به‌کار برده شوند.

ورود آب به درون روسازی می‌تواند منجر به بروز دو مشکل عمده شود که شامل یخ زدن آب در روسازی در فصول سرد سال و درنتیجه بروز جابه‌جایی‌های عمودی در روسازی و همچنین بالا آمدن سطح آب در سازه‌ی روسازی به علت خاصیت موئینگی مصالح و درنتیجه بروز تغییر در سختی خاک بستر است.

عملکرد آب‌بندی ژئوسنتتیک‌ها می‌تواند فرایند جابه‌جایی عمودی خاک بستر که معمولاً ناشی از بروز عواملی نظیر یخ‌بندان و یا افزایش حجم خاک‌های منبسط شونده است را کاهش داده و مانع از وقوع انعکاس ترک ناشی از جابه‌جایی‌های نامتقارن روسازی شود. در این خصوص، یکی از اولین کاربردهای این مصالح در کالیفرنیا گزارش شده است که مربوط به استفاده‌ی پارچه‌های کتانی بافته‌شده در بین کت‌ها[1] و آسفالت است. کتان نه‌تنها به‌مثابه‌ی بیندر برای آسفالت به‌کار می‌رود، بلکه به‌مثابه‌ی مصالح ضد آب عمل کرده و از نفوذ آب و فرسایش روسازی جلوگیری می‌کند. اولین آزمایش‌های انجام گرفته درخصوص بررسی عملکرد مصالح ژئوسنتتیک به‌منظور آب‌بندی روسازی، به سال ۱۹۶۶ باز می‌گردد. در این آزمایش‌های در محل که در اوکلاهوما[2] صورت پذیرفت از مصالح بافته نشده‌ی پروپیلنی استفاده شد. نتایج حاصله نشان داد که با افزایش درجه‌ی اشباع شدن ژئوسنتتیک از قیر، عملکرد آن در آب‌بند کردن روسازی به‌نحو چشمگیر افزایش می‌یابد.

در تحقیقی دیگر و براساس گزارشی که توسط حسینی در سال ۲۰۰۹ تهیه گردیده است، درصورتی‌که ژئوتکستایل‌ها نیز توسط قیر اشباع گردند، می‌توانند لایه‌های زیرین خود را به میزان زیادی از وقوع خرابی حفظ نمایند (Hosseini H, 2009).

زمانی‌که پارچه‌ها و به‌عبارتی ژئوتکستایل‌ها توسط مقدار کافی قیر اشباع گردند، پرده‌ای ناتراوا و پیوسته به‌وجود می‌آورند که می‌توانند حتی پس از ترک خوردن روکش روسازی باقی مانده و از ورود آب به بدنه‌ی روسازی جلوگیری نماید. بدیهی است با توجه به مشبک بودن ژئوگریدها، درصورتی‌که از آن‌ها به‌جای ژئوتکستایل‌ها به‌منظور آب‌بندی روسازی استفاده گردد، آن لایه‌ی آب‌بند به‌وجود نخواهد آمد و لذا می‌توان گفت که ژئوگریدها برخلاف ژئوتکستایل‌ها، در ایفای نقش آب‌بندی چندان موفق نخواهند بود (Button, 2007).

[1] Coats
[2] Oklahomaha

یکی از عواملی که ممکن است بر عملکرد آب‌بندی روسازی توسط ژئوسنتتیک‌ها تأثیر گذارد، میزان و نحوه‌ی به‌کارگیری قیر تک‌کت است. در تحقیقاتی که توسط لیتون و همکاران در سال ۱۹۸۹ صورت گرفته است، این نتیجه حاصل شده است که حتی افزودن مقدار ناچیزی از قیر تک‌کت می‌تواند به آب‌بندی لایه در هنگام گسترش ترک از لایه‌ی پایین به لایه‌ی روکش کمک کند (Lytton, 1989).

علاوه‌بر نقشی که ژئوسنتتیک‌ها در هنگام استفاده در لایه‌ی روکش به همراه قیر تک‌کت در آب‌بندی و جلوگیری از ورود آب سطحی به سازه‌ی روسازی ایفا می‌کنند، درصورتی‌که در لایه‌های اساس و زیراساس به‌کار برده شوند نیز می‌توانند بر تغییرات رطوبت این لایه‌ها تأثیر گذاشته و با جلوگیری از وقوع نشست‌های نامتقارن، از بروز تنش در روکش و درنهایت انعکاس ترک‌ها به سطح روسازی پیشگیری کنند.

همچنین، ژئوتکستایل‌های بی‌بافت می‌توانند درصورتی‌که در لایه‌های زیرین روسازی به‌کار برده شوند، با جذب بخشی از آب موجود در لایه‌های خاک که سطح آن به دلیل خاصیت موئینگی ساختمان خاک بالا آمده است، از نفوذ آن به لایه‌های فوقانی جلوگیری کنند. حصول این امر به کاهش تشکیل لایه‌های یخ‌زده در زیر روسازی در فصول سرد سال و نهایتاً پیشگیری از تخریب روسازی منجر می‌شود.

در این ارتباط، در تحقیقی که توسط *زورنبرگ*[1] در سال ۲۰۱۰ انجام شده است، از دو نوع از ژئوسنتتیک‌های مورد کاربرد در خاک، در لایه‌های زیرین روسازی استفاده شده که شامل ژئوتکستایل و نوعی از ژئوسنتتیک که شبکه‌ی زهکش است، بوده است. نتایج حاصله نشان می‌دهند که تعبیه‌ی هر دو نوع لایه‌ی ژئوسنتتیک به فاصله‌ی چند سانتی‌متر بالاتر از ناحیه‌ای که در آن خاک در حالت نزدیک به اشباع است، می‌تواند میزان آبی که به دلیل وجود خاصیت موئینگی در داخل خاک به سمت بالا صعود می‌کند را به میزان زیادی کاهش داده و از اثرات مخرب آن بر روسازی بکاهد.

بااین‌حال، درصورتی‌که روکش جدید به‌خوبی متراکم نشده باشد، آب ناشی از بارش به داخل آن نفوذ کرده و درصورتی‌که از لایه‌ی ژئوسنتتیک استفاده شده باشد، به دلیل عدم امکان نفوذ آب به لایه‌های زیرین، در لایه‌ی روکش باقی مانده و می‌تواند روند تخریب آن را تسریع کند. درواقع در این حالت، ژئوسنتتیک آب را در لایه‌ی روکش نگاه داشته و عملکرد لایه را مختل خواهد کرد. ازاین‌رو، در هنگام اجرای لایه‌ی روکش پس از اجرای ژئوسنتتیک، تمهیدات لازم باید درجهت اجرای مطلوب روسازی بالأخص در مناطقی که پربارش بوده و یا تعداد چرخه‌های یخ و ذوب در آن‌ها بالا است به‌کار گرفته شود.

[1] Zornberg

درغیر این‌صورت، به‌کارگیری ژئوسنتتیک در روسازی می‌تواند نتیجه‌ی عکس را درمورد عملکرد آن به همراه داشته باشد.

۵-۲-مستهلک نمودن و کاهش دادن تنش‌ها و کرنش‌های وارده به روسازی

دیگر مزیت به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک در روسازی آسفالتی، استهلاک و کاهش تنش‌ها و کرنش‌های وارده به سازه‌ی روسازی است.

به عبارت بهتر، استفاده از مصالح ژئوسنتتیک در روسازی می‌تواند به‌عنوان یک لایه‌ی کاهش‌دهنده‌ی تنش، وقوع برخی از انواع ترک‌ها را به تأخیر انداخته و یا کنترل نماید که این امر شامل انواع ترک‌های انعکاسی نیز می‌گردد (Hosseini, 2009).

در این بین، به‌منظور آنکه ژئوتکستایل‌ها –به‌عنوان یکی از معروف‌ترین و متداول‌ترین انواع ژئوسنتتیک‌ها– بتوانند نقش سیستم میان لایه‌ی کاهش تنش را به‌نحو مناسبی ایفا نمایند، بایستی همواره به همراه تک‌کت به‌کار برده شوند. برخی از محققان در سال‌های اخیر، مجموعه لایه‌ی ژئوتکستایل و قیر تک‌کت را که در روسازی کاربرد دارد، میان لایه‌ی پارچه‌ای روسازی[1] نامیده‌اند (Hosseini, 2009).

از سوی دیگر، زمانی به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها در روسازی منجر به کاهش ترک‌های انعکاسی در روکش می‌گردد که سختی ژئوسنتتیک مورد استفاده از سختی آسفالت به‌کار رفته در مجاورت آن کمتر باشد (Lytton, 1989).

مطالعاتی در این ارتباط، به‌منظور امکان‌سنجی تأثیر مصالح ژئوسنتتیک بر کاهش و به تأخیر انداختن ترک‌های انعکاسی که در سال ۱۹۸۹، بر روی چهار نوع از این مصالح که در روسازی اجرا شده بودند صورت گرفت و اطلاعات مورد نیاز در فاصله‌ی زمانی هشت، بیست‌وشش و چهل‌وچهار ماه پس از اجرای روسازی از محل استخراج گردید. نکته‌ی حائز اهمیت در این برداشت‌ها آن بود که به‌رغم تفاوت در مقدار و سرعت کاهش ترک‌های انعکاسی، تمامی انواع مصالح به‌کار برده‌شده توانسته بودند ترک‌ها را در دوره‌ی ارزیابی کاهش دهند (Maurer, 1989). یک سال پیش از این مطالعه نیز در سال ۱۹۸۸، مجموعه‌ای شامل نوع بی‌بافت ژئوتکستایل و قیر پلیمری به‌منظور کاهش و جلوگیری از وقوع ترک‌های انعکاسی پیشنهاد گردید. این ترکیب درحقیقت یک غشای ویسکو الاستیک متشکل از قیر و پارچه‌گونه را تشکیل می‌داد. ارزیابی‌های بعدی که از عملکرد این ترکیب به عمل آمد، مؤید این نکته بود که با وجود اینکه به‌کارگیری آن در سازه‌ی روسازی راهکار مؤثری برای جلوگیری از ترک‌های انعکاسی

[1] Paving fabric interlayer

می‌باشد، با توجه به شرایط خاص عملکردی این روش، برخلاف سایر راهکارهای کاهش ترک نمی‌توان آن را به‌عنوان درمانی عمومی برای تمامی موارد وقوع ترک انعکاسی توصیه نمود (Perfetti, 1988).

به عبارت بهتر، در هنگام به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک در روسازی ترک‌خورده، بایستی به عامل به‌وجود آورنده‌ی ترک انعکاسی توجه ویژه‌ای را مبذول داشت و مشخص نمود که آیا علت به‌وجود آمدن ترک، تنش‌های حرارتی بوده و یا اینکه بارگذاری ترافیکی منجر به وقوع ترک‌ها شده است؛ چراکه در بسیاری از تحقیقات انجام‌شده بر روی میان لایه‌های پارچه‌ای این نتیجه حاصل شده است که این میان لایه‌ها زمانی بیش‌ترین کارایی را دارند که به‌عنوان پیشگیری‌کننده از رشد ترک‌های مرتبط با بارگذاری به‌کار برده شوند و عملاً در به تأخیر انداختن ترک‌های حرارتی تأثیر چندانی ندارند (Amini, 2005).

از سوی دیگر، در هنگام به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک به‌منظور کاهش تنش در روسازی بایستی ملاحظات اجرایی را به‌نحوه‌ی صحیحی رعایت نمود؛ چراکه به‌کارگیری این مصالح بدون رعایت دستورالعمل‌های مربوطه می‌تواند منجر به نتیجه‌ی عکس یعنی کاهش مقاومت روسازی گردد؛ به‌عنوان مثال، رعایت مقدار مورد نیاز قیر تک‌کت جهت چسبانیدن ژئوتکستایل به لایه‌ی زیرین آن نقش اساسی را در میزان موفقیت این روش ایفا می‌نماید. مقدار تک‌کت باید همیشه مقداری بالاتر از مقدار بهینه داشته باشد، اما نباید آنقدر زیاد باشد که موجب از میان رفتن اتصال برشی میان لایه‌های روسازی شود (Lytton, 1989).

در مطالعه‌ای دیگر، در سال ۲۰۰۵ برخی از انواع ژئوکامپوزیت‌های با طراحی خاص نیز توسط مدل‌سازی با روش اجزای محدود مورد آزمایش قرار گرفتند و توانایی آن‌ها در کاهش ترک‌های انعکاسی ارزیابی گردید. براساس مشاهدات به‌عمل آمده، تا زمانی‌که میان لایه‌ی به‌کار برده‌شده بدون تحمل هیچ آسیبی سالم باقی بماند و ضخامت و مشخصات لازم را همچنان حفظ نماید (ترک از میان آن عبور نکرده باشد) همچنان انرژی به‌وجود آمده در نوک ترک مستهلک خواهد شد. درواقع، این غشا نقش سپر محافظتی را برای نوک ترک بازی می‌کند (Elseifi, 2005).

در انتها با توجه به مطالب بیان‌شده، اینطور می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با وجود اینکه میزان تأثیرگذاری مصالح ژئوسنتتیک در کاهش میزان تنش و کرنش وارده به روسازی به پارامترهای فراوانی بستگی دارد؛ بااین‌حال، استفاده از آن روشی مؤثر درکاهش ترک‌های انعکاسی روکش آسفالتی قلمداد می‌شود؛ مشروط بر آنکه مصالحی که قرار است به این منظور در آسفالت به‌کار روند، دو نقش زیر را به‌نحو مناسبی ایفا کنند:

۱- قادر باشند قیر یا سایر انواع آب‌بندها را جذب کرده و در مقابل آب‌های سطحی، دیواره‌ای ایجاد کنند که مانع نفوذ آب به لایه‌های زیرین شود.

۲- از مقاومت و انعطاف‌پذیری کافی تحت اعمال بار برخوردار بوده و به‌علاوه، بتوانند تنش را در بین دو لایه به‌نحو مناسبی مستهلک کنند.

۵-۳- مسلح نمودن روکش

از دیگر نقش‌هایی که ژئوسنتتیک‌ها درصورت استفاده در روسازی می‌توانند ایفا نمایند، مسلح نمودن روسازی است. این نوع مصالح پس از اجرا در روسازی، با تغییر رفتار مجموعه در برابر بار و همچنین تغییر الگوی توزیع بار در آن مقاومت روسازی را افزایش می‌دهند. استفاده از ژئوگریدها در روسازی با ساختار شبکه‌ای مانندی که از آن برخوردارند می‌تواند همچون شبکه‌ی میلگردها در بتن مسلح عمل نموده و رشد ترک‌های لایه‌ی آسفالتی در مجاورت خود را متوقف کند (Saraf, 1974). همچنین، تغییر شکل ژئوگریدها در روسازی موجب استهلاک انرژی در ناحیه‌ی نوک ترک گردیده و لذا از تخریب افزاینده‌ی روسازی به‌نحو مناسبی پیشگیری خواهد نمود (Saraf, 1996).

با توجه به عملکرد مناسب ژئوگریدها در کنترل ترک‌های روسازی، در سال‌های گذشته تحقیقات بسیاری با هدف بررسی چگونگی تأثیر پارامترهای مختلف این مصالح بر عملکرد روسازی انجام پذیرفته است؛ به‌عنوان مثال، در سال ۱۹۸۲ و در یکی از اولین بررسی‌ها، امکان‌سنجی به‌کارگیری نوعی ژئوگرید (با توان باربری در یک جهت) در روسازی مورد مطالعه قرار گرفت. در این بررسی که بر روی یکی از محورهای راه واقع در جزیره‌ی کانوی[1] در نزدیکی لندن صورت گرفت، به‌منظور کنترل ترک‌های انعکاسی پدیدآمده در یک روکش آسفالتی که بر روی روسازی بتنی ترک‌خورده به‌کار برده شده بود، از حدود ده هزار متر مربع ژئوگرید جهت تسلیح روسازی استفاده گردید و نتایج قابل‌قبولی حاصل شد (Austin, 1996).

نکته‌ای که ذکر آن در اینجا حائز اهمیت می‌باشد آن است که تسلیح روسازی تنها زمانی مؤثر خواهد بود که مدول ژئوسنتتیک مورد استفاده‌ی بیشتر از مدول لایه‌ی آسفالتی بوده و عملکرد آن به‌گونه‌ای باشد که بتواند با مصالح آسفالت در مجاورت خود پیوند کافی برقرار نموده و روکش آسفالتی را مسلح نماید (Khodaii, 2009). در این خصوص، *کیکواتا* و *موراماتسو*[2] در سال ۱۹۸۹ طی تحقیقاتی به این نتیجه رسیدند که در حصول عملکرد مناسب روسازی، میزان اتصال و پیوستگی ژئوسنتتیک با روکش آسفالتی اطراف آن و همچنین سختی ژئوسنتتیک بیش‌ترین تأثیر را دارند. بایستی توجه داشت که به‌منظور مسلح نمودن روسازی، لایه‌ی ژئوسنتتیک می‌تواند خواه در لایه‌های زیرین روسازی (لایه‌های سنگدانه‌ای روسازی همچون اساس و زیراساس) و خواه در لایه‌ی آسفالتی آن به‌کار برده شود. اما بااین‌وجود، به‌منظور کنترل ترک‌های انعکاسی، قرارگیری لایه‌ی ژئوسنتتیک در لایه‌ی روکش الزامی

[1] Canvey Island
[2] Kikuata and Muramatsu

خواهد بود (Berg, 2000). در این خصوص بایستی خاطرنشان ساخت که مواردی همچون نوع روسازی ترک‌خورده‌ی قدیمی اعم از آسفالتی یا بتنی، موقعیت قرارگیری لایه‌ی ژئوگرید در روسازی و همچنین دمای هوای منطقه‌ای که روسازی در آن اجرا شده است ازجمله مهم‌ترین فاکتورهایی هستند که بر نحوه و میزان گسترش ترک تأثیرگذار هستند (Khodaii, 2008).

از سوی دیگر، به‌کارگیری ژئوگریدها در روسازی آسفالتی، مقاومت قطعه‌ی روسازی را در برابر خستگی نیز افزایش خواهد داد. در این ارتباط، نتایج یکی از تحقیقات انجام‌شده درخصوص تأثیر به‌کارگیری نوعی از ژئوگرید پلاستیکی با نام تنسار[1] در روسازی بیانگر آن است که استفاده از این مصالح می‌تواند منجر به افزایش مقاومت روسازی در برابر خستگی گردیده و یا امکان کاهش ضخامت لایه‌ی روکش آسفالتی را برای طراحان فراهم سازد (Halim, 1983). در تحقیقی دیگر که به‌صورت آزمایشگاهی در کشور تایوان، انجام گرفته است، به‌منظور ارزیابی تأثیر به‌کارگیری ژئوگریدها در کاهش ترک‌خوردگی ناشی از خستگی روسازی، از سه نوع ژئوگرید استفاده گردید. دو نوع از ژئوگریدها از جنس الیاف شیشه و یک نوع آن از پلی پروپیلن با چگالی بالا (HDPE)[2] ساخته شده بودند. براساس نتایج به‌دست آمده از آزمایش خستگی که بر روی تیرچه‌های ساخته‌شده از بتن آسفالتی انجام گرفت، عمر خستگی تیرچه‌های دارای شبکه‌ی الیاف شیشه با مقاومت کششی ۱۰۰ کیلو نیوتن بر متر و ژئوگرید ساخته شده با HDPE درحدود ۳ الی ۵ برابر نمونه‌های فاقد این مصالح بوده است. همچنین این مقدار افزایش برای نمونه‌های ساخته‌شده با شبکه‌ی الیاف شیشه با مقاومت کششی ۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر در حدود ۵ الی ۹ برابر گزارش شده است. بنابراین، استفاده از ژئوسنتتیک‌ها در روسازی منجر به افزایش عمر خستگی آن می‌گردد (Chang, 1999).

از سوی دیگر، در مطالعاتی که توسط مهرز[3] در سال ۲۰۱۰، انجام گرفت مشخص شد که در شرایطی که تنش بیشتری در روسازی وجود دارد درنتیجه مسلح نمودن روسازی، عمر خستگی آن به میزان بیشتری بهبود می‌یابد. ازاین‌رو، به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها به این منظور در ناحیه‌هایی که ترافیک با وزن بیشتر در مسیر تردد می‌کنند بسیار مؤثرتر از زمانی خواهد بود که ترافیک محل وزن کمتری را دارد. بنابراین با وجود اینکه مسلح کردن روسازی در راه‌های با ترافیک با وزن کم نیز مؤثر است، به دلیل ملاحظات اقتصادی توصیه می‌شود که این راهکار در نواحی با ترافیک با وزن بالا استفاده شود.

امروزه به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌های ساخته‌شده با الیاف شیشه در روسازی رواج چشمگیری یافته است. براساس مطالعات گسترده‌ای که بر روی مقاطع مسلح‌شده توسط ژئوگرید ساخته‌شده با الیاف شیشه در آزمایشگاه صورت گرفته است و مقایسه‌ی نتایج حاصل از آزمایشات با نتایج حاصل از

[1] Tensar
[2] High Density Polyethylene
[3] Mahrez

مدل‌سازی اجزای محدود سه بُعدی، اینگونه استنباط می‌گردد که با به‌کارگیری این مصالح عملکرد روسازی بهبود چشمگیری می‌یابد و مقاومت بتن آسفالتی در برابر رشد و گسترش ترک افزایش چشمگیری خواهد یافت (Siriwardane, 2010).

عامل دیگری که بر روی عملکرد ژئوسنتتیک‌ها در کنترل ترک‌های انعکاسی مؤثر می‌باشد، نوع بارگذاری وارده به مجموعه‌ی روسازی است. در این ارتباط آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی و دینامیکی با کرنش ثابت بر روی روسازی آسفالتی مسلح شده با ژئوگرید گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، سختی و ظرفیت باربری روکش آسفالتی پیش از رخداد ترک با قرارگیری ژئوگرید افزایش یافته است. البته میزان این افزایش برای نمونه تحت بارگذاری دینامیکی بسیار بیشتر از نمونه‌ی مشابه آن تحت بارگذاری استاتیکی بوده است (Ling, 1999).

براین‌اساس، می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری نمود که تأثیر به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها در کاهش ترک و افزایش سختی لایه‌ی روسازی تحت بارگذاری استاتیکی نظیر پارکینگ‌ها به‌مراتب کمتر از مقادیر نظیر آن در نواحی تحت بارگذاری دینامیکی (نظیر بزرگراه‌ها و مناطق با سرعت تردد بالا) می‌باشد (Ling, 1999).

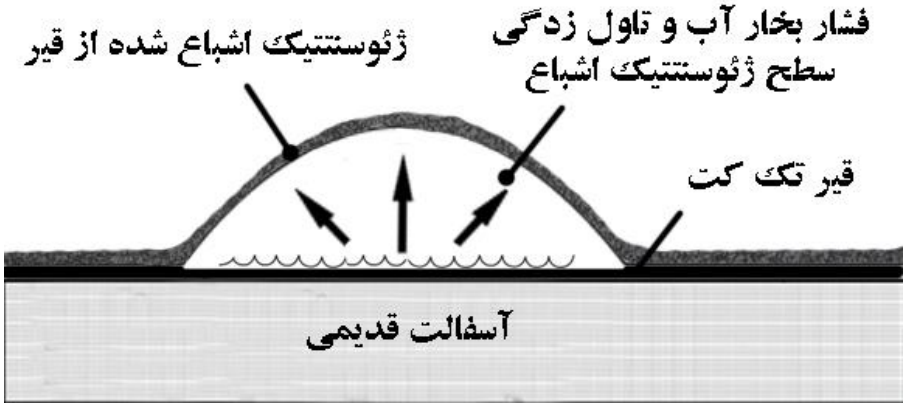
۶- محدودیت‌های به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک در هنگام اجرای روسازی

مصالح ژئوسنتتیک درصورتی‌که تمهیدات لازم در هنگام نصب آن‌ها بر روی لایه‌ی روسازی قدیمی صورت نگیرد، ممکن است پس از اجرای لایه‌ی روکش جدید و تحت بار ترافیک، تغییر مسیر وسایل نقلیه‌ی سنگین و یا تغییر سرعت آن‌ها از محل اولیه‌ی خود جابه‌جا شده و درنتیجه تغییر شکل آن‌ها، آسیب‌های قابل‌توجهی به روکش جدید وارد آید. این امر زمانی رخ می‌دهد که اتصال مصالح ژئوسنتتیک با لایه‌ی روسازی به‌نحو مناسبی صورت نگیرد که دلیل عمده‌ی آن، کیفیت نامناسب مصالح قیر تک‌کت به‌کار رفته و یا عدم به‌کارگیری قیر مناسب با شرایط آب‌وهوایی محل است. لذا دراین‌باره، باید ضمن رعایت اصول و معیارهای فنی لازم در هنگام طراحی و نصب آن‌ها، ترتیبی اتخاذ شود که با ایجاد یک سیستم کنترل کیفیت نصب مناسب در محل اجرا، از نصب صحیح مصالح ژئوسنتتیک و اتصال کافی آن‌ها با دو لایه‌ی فوقانی و تحتانی اطمینان حاصل کرد. در این میان، یکی از راهکارهایی که می‌تواند به نصب مناسب مصالح ژئوسنتتیک کمک کند، مهار کردن آن‌ها بر روی لایه‌ی تک‌کت به کمک میخ‌کوبی است (شکل شماره‌ی ۱۷ را ملاحظه کنید).

در مناطق با آب‌وهوای گرم (دمای روسازی بالاتر از ۴۸ درجه‌ی سانتی‌گراد) و پیش از اجرای لایه‌ی روکش جدید، قیر تک‌کت ممکن است از درون ژئوسنتتیک بالا زده و با تردد خودروهای راه‌سازی بر روی لایه‌ی مصالح ژئوسنتتیک و چسبیدن این مصالح به چرخ آن‌ها، سبب کنده‌شدن ژئوسنتتیک و حتی پیچیده‌شدن آن به دور چرخ این خودروها شود. پدیده‌ی بالازدن قیر با اعمال فشار بیش از حد

توسط برس دستگاه پهن‌کننده‌ی ژئوسنتتیک و همچنین چرخ‌های دستگاه تشدید می‌شود. در شکل شماره‌ی (۱۸) به دلیل رعایت نکردن موارد فوق و روزدگی قیر، پس از عبور یکی از خودروهای راه‌سازی (که رد چرخ آن بر روی ژئوسنتتیک مشاهده می‌شود)، ژئوسنتتیک دچار چین‌خوردگی شده است.

شکل شماره‌ی ۱۶: تاول‌زدگی سطح ژئوسنتتیک‌های اشباع در اثر رطوبت



مؤلف، ۱۳۹۲

از سوی دیگر، همانگونه که استفاده‌ی بیش از حد تک‌کت می‌تواند اجرای مصالح ژئوسنتتیک را با مشکل مواجه کند، درصورتی‌که حجم قیر تک‌کت مورد استفاده از میزان مورد نیاز کمتر باشد، به اشباع ناکافی ژئوسنتتیک‌ها از قیر منجر شده و درنتیجه اتصال آن‌ها به لایه‌های روسازی به‌نحو مناسبی تحقق نخواهد یافت. از دیگر عوامل اشباع ناکافی مصالح ژئوسنتتیک در هنگام اجرا می‌توان، دمای نامناسب لایه‌ی روکش و همچنین تراکم نامناسب آن را برشمرد.

شکل شماره‌ی ۱۷: نحوه‌ی مهار ژئوسنتتیک توسط میخ‌کوبی

Button, 2003

شکل شماره‌ی ۱۸: چین‌خوردگی‌های به‌وجود آمده در سطح ژئوسنتتیک به‌واسطه‌ی روزدگی قیر و عبور خودروی راه‌سازی

Button, 2003

همچنین، اگر مصالح ژئوسنتتیک در هنگام استفاده رطوبت داشته و بر روی روسازی مرطوب نصب شوند، به دلیل تبخیر آب و تقطیر آن در بخش زیرین لایه‌ی نفوذناپذیر ژئوسنتتیک، در برخی قسمت‌ها، ژئوسنتتیک از لایه‌ی قیر تک‌کت زیرین خود جدا شده و به‌این‌ترتیب، نواحی تاول‌مانندی در ژئوسنتتیک به‌وجود می‌آید. در شکل شماره‌ی (۱۶) فرایند تاول‌زدگی سطح ژئوسنتتیک اشباع در اثر فشار بخار آب مشاهده می‌شود.

۷- معیارهای انتخاب مصالح ژئوسنتتیک در روسازی

علی‌رغم نقش مؤثر به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک در روسازی به‌منظور کنترل و جلوگیری از وقوع ترک‌های انعکاسی که در بخش‌های قبلی این گزارش به آن پرداخته شد، بایستی به این نکته نیز توجه نمود که کارایی و عملکرد این مصالح به میزان عرض ترک موجود در لایه‌ی روکش قدیمی وابسته بوده و درصورتی‌که این میزان از حد معینی تجاوز کند، به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک در روسازی چندان مؤثر نخواهد بود. در این ارتباط، براساس کتابچه «راهنمای به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها به همراه روسازی‌های صلب و انعطاف‌پذیر به‌منظور کاهش ترک‌های انعکاسی» که در سال ۲۰۰۳، توسط انستیتو حمل‌ونقل تگزاس ارائه گردید، درصورتی‌که بازشدگی ترک‌های حرارتی روسازی قدیمی بین ۰ الی ۰/۷۵ میلی‌متر باشد، نیازی به به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک نخواهد بود. وجود ترک‌های با عرض بین ۰/۷۵ الی ۱/۵

میلی‌متر در روسازی، بهترین شرایط برای به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها بوده و برای عرض ترک‌های بالاتر از ۱/۵ میلی‌متر به‌کارگیری این مصالح در روسازی تأثیر چندانی در کنترل ترک‌ها نخواهد داشت (Button, 2003).

آن دسته از مصالح ژئوسنتتیک که درحال‌حاضر در روسازی آسفالتی استفاده می‌شوند، شامل ژئوتکستایل‌ها، ژئوگریدها و یا ترکیبی از آن‌ها است. در این بین، مصالح تولیدشده از مواد پلی پروپیلن و پلی‌استر کاربرد بیشتری در روسازی داشته، ولی عمدتاً قیمت آن‌ها نیز از سایر مواد بالاتر است. ماده‌ی پلی‌پروپیلن در دمایی در حدود ۱۶۳ درجه‌ی سانتی‌گراد شروع به ذوب شدن می‌کند، بدین لحاظ معمولاً توصیه می‌شود که زمانی‌که از محصولات ساخته‌شده از پلی‌پروپیلن استفاده می‌شود، دمای مخلوط آسفالتی نباید از ۱۴۸ درجه‌ی سانتی‌گراد تجاوز کند.

زمانی‌که محصولات ژئوسنتتیک از سوی پیمانکار سفارش داده می‌شود، وی باید نوع و عرض رول‌های ژئوسنتتیک مورد نیاز جهت استفاده در روسازی را مشخص نماید. انتخاب عرض نامناسب این مصالح منجر به هدر رفتن زمان، ایجاد درزهای اضافی ساخت و از همه مهمتر هدر رفتن مصالح می‌شود. پیمانکار همچنین باید ماکزیمم وزن هر رول مصالح را مشخص نماید (مقدس‌نژاد، ۱۳۸۵).

در میان انواع مصالح ژئوتکستایل، پارچه‌های بی‌بافت عمدتاً مدول پایینی داشته و بنابراین می‌توانند فقط به‌منظور محدود کردن تنش در ترازهای با سطوح پایین تنش به‌کار گرفته شوند. اینگونه مصالح می‌توانند در نقش لایه‌ی جذب‌کننده تنش مابین لایه‌ها نیز عمل کنند. همچنین، همانطور که قبلاً نیز عنوان شد، این لایه می‌تواند از ورود آب به داخل ترک‌های روسازی جلوگیری کرده و بنابراین به روسازی کمک می‌کند تا سختی خود را حفظ کند. به‌علاوه، هرچقدر مصالح ژئوسنتتیک ضخیم‌تر باشند، سطوح بیشتری از تنش را در نوک ترک کاهش خواهند داد. به‌عبارت بهتر، میزان تنش کاهش‌یافته توسط مصالح ژئوتکستایل رابطه‌ی مستقیمی با ضخامت آن خواهد داشت.

نکته‌ای که درخصوص مصالح ژئوسنتتیک بی‌بافت بایستی متذکر شد، آن است که تمامی ضخامت آن‌ها در هنگام اجرا باید توسط قیر اشباع گردد. ازآنجایی‌که خصوصیت جذب قیر از مشخصات مهم اینگونه مصالح است، اما مقدار جذب قیر آن‌ها باید حداکثر ۰/۹ لیتر بر متر مربع باشد؛ که البته این میزان ارتباط کاملاً مستقیمی با وزن مصالح و ضخامت آن خواهد داشت. به‌عنوان مثال، زمانی‌که از این نوع مصالح به‌عنوان میان لایه‌ی کاهش تنش، استفاده می‌گردد، وزن آن بایستی حداقل ۱۳۹ گرم بر متر مربع باشد (مقدس‌نژاد، ۱۳۸۵).

علاوه‌براین، مصالح ضخیم‌تر خصوصیات عملکردی بهتری را نسبت به نوع نازکتر از خود نشان می‌دهند. به‌عنوان مثال، مصالح ژئوسنتتیک ضخیم‌تر با وجود آنکه مقدار بیشتری قیر جذب می‌نمایند، اما وقوع ترک‌ها را بیشتر از مصالح نازکتر به تأخیر می‌اندازند. همچنین، هرچه وزن مصالح ژئوسنتتیک در

واحد سطح بیشتر باشد، در هنگام اجرا آسیب کمتری متحمل شده و خصوصیات فیزیکی خود را به‌نحو مطلوب‌تری حفظ می‌نماید. بایستی توجه داشت که حداکثر وزن اجرایی مصالح ژئوتکستایل به‌کار رفته در روسازی در حدود ۲۰۳ گرم بر متر مربع بوده که اجازه‌ی اشباع شدن از قیر را به‌نحو مناسبی برای آن در محل فراهم می‌آورد (Button, 1983).

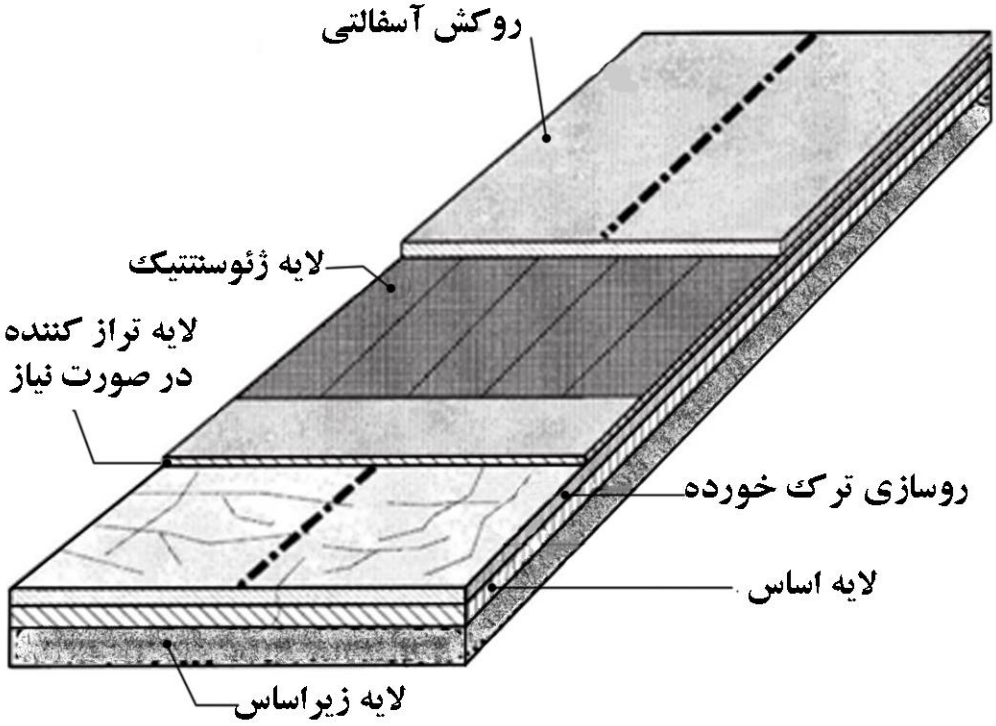
۸- ژئوسنتتیک‌ها و ملاحظات قبل از نصب و اجرای آن‌ها در عملیات روسازی

پس از معرفی ژئوسنتتیک‌ها در بخش‌های قبلی گزارش و تشریح نقش آن‌ها در روسازی و همچنین، محدودیت‌های به‌کارگیری آن‌ها به همراه معیارهای انتخاب آن‌ها، در این قسمت به بیان مراحل نصب و اجرا و همچنین نکاتی که در این مرحله بایستی مدنظر قرار گیرند، می‌پردازیم. قبل از به‌کارگیری، ژئوسنتتیک‌ها باید به‌گونه‌ای حمل و انبار گردند که اولاً از هرگونه آسیب فیزیکی و یا شیمیایی در امان بوده و ثانیاً شرایط و مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آن‌ها قبل از اجرا با آنچه که قبلاً در طراحی تعیین گردیده مطابقت داشته باشد. رول‌های ژئوسنتتیک را باید دور از سطح و به‌گونه‌ای قرار داد که به‌خوبی در برابر اشعه‌ی فرا بنفش (U.V) نور خورشید، مواد شیمیایی مانند اسید و نمک‌های قوی، آتش و شعله مثل جرقه‌ی جوشکاری، دمای بیشتر از ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد محافظت و پوشیده شده و همچنین از دسترس افراد متفرقه و همچنین، جانوران و حیوانات در امان باشند. قبل از باز کردن رول‌های ژئوسنتتیک، نوع محصول، طول و محل نصب را باید با نقشه‌های اجرایی، کنترل نمود. همچنین، در هنگام باز کردن آن‌ها و قبل از مصرف بایستی تمامی قسمت‌های رول از لحاظ ظاهری مورد بررسی قرار گرفته و تمامی عیب‌ها و آسیب‌هایی که احیاناً در حین انبار کردن، حمل‌ونقل و یا نصب مصالح به‌وجود آمده بایستی رفع و مرمت شود (مقدس نژاد, ۱۳۸۵).

قبل از به‌کارگیری ژئوسنتتیک، لازم است وضعیت روسازی از طریق بازدید محلی ارزیابی شود. چنانچه میزان ترک‌های سطح روسازی زیاد باشد و یا خرابی‌های زیادی در سطح روسازی موجود مشاهده شود، لازم است که بر روی روسازی موجود یک لایه‌ی ترازکننده اجرا شود که در این صورت، نیازی به پر کردن ترک‌ها نخواهد بود.

البته تراشیدن سطح آسفالت موجود نیز ازجمله گزینه‌های پیشنهادی جهت آماده‌سازی سطوح روسازی قدیمی خواهد بود. در شکل (۱۹) نحوه‌ی مرمت روسازی‌های ترک‌خورده به کمک لایه‌ی ژئوسنتتیک نشان داده شده است (مقدس‌نژاد، ۱۳۸۵).

شکل شماره‌ی ۱۹: مرمت روسازی ترک‌خورده به کمک مصالح ژئوسنتتیک



مقدس نژاد، ۱۳۸۵

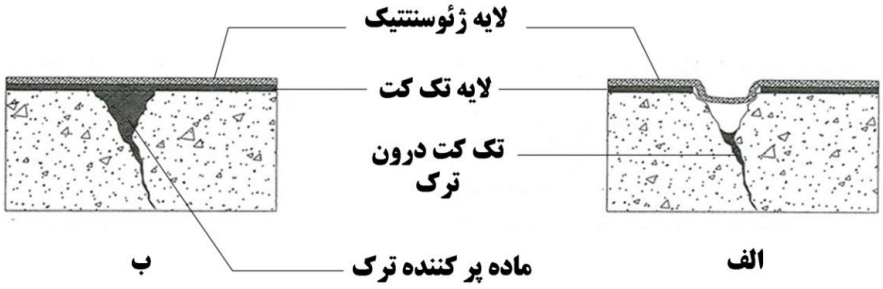
۹- ملاحظات اجرایی لازم در هنگام نصب مصالح ژئوسنتتیک در روسازی

۹-۱- آماده کردن سطح کار

سطحی از روسازی که مصالح ژئوسنتتیک بر روی آن قرار می‌گیرد، باید عاری از وجود هرگونه آلودگی، مواد زائد و رطوبت باشد. لایه‌ی ژئوسنتتیک باید بر روی یک سطح قابل‌زهکشی قرار گرفته و وجود هرگونه شیار یا فرورفتگی در روسازی موجود را باید با تراشیدن یا اجرای لایه‌ی ترازکننده مرمت کرد. همچنین، دست‌اندازها و ناهمواری‌های موجود بر روی روسازی قدیمی باید به‌طور کامل تعمیر و مرمت شوند. تأثیر کارایی لایه‌های ژئوسنتتیک بر روی نواحی ترک‌خورده‌ی گسترده مانند ترک‌های پوست سوسماری بسیار قابل‌توجه بوده و همچنین به‌کارگیری آن بر روی ترک‌های با میزان بازشدگی ۰/۷تا ۲ میلی‌متر نیز همانطور که قبلاً عنوان شد بسیار سودمند خواهد بود. از طرف دیگر، ترک‌هایی که عرضشان بیشتر از ۳/۲ میلی‌متر است را باید قبل از نصب لایه‌ی ژئوسنتتیک با مواد پرکننده‌ی مناسب پر کرد. این نوع ترک‌ها را باید ابتدا با برس معمولی یا برس هوا، تمیز کرده و درصورتی‌که ترک‌هایی که اندازه‌ی بازشدگی آن‌ها کمتر از ۹/۵ میلی‌متر باشد، می‌توان آن‌ها را به‌منظور جلوگیری از نفوذ تک‌کت به داخل ترک با مواد درزگیر قیری مایع پر کرد (شکل شماره‌ی ۲۰ را ملاحظه کنید).

در مورد ترک‌های با عرض بزرگتر از ۹/۵ میلی‌متر، می‌توان آن‌ها را به‌منظور افزایش مقاومت برشی مقطع ترک‌خورده با مخلوط آسفالتی سرد یا گرم، دوغاب امولسیونی و یا دیگر پرکننده‌های ترک پر کرد. در مواقعی که ماده‌ی پرکننده‌ی ترک حاوی قیر امولسیون یا قیر محلول است، باید زمان کافی برای عمل آمدن مناسب آن، قبل از اجرای تک‌کت منظور شود.

شکل شماره‌ی ۲۰: الف) اجرای نادرست لایه‌ی ژئوسنتتیک بر روی ترک‌های با عرض بزرگتر از ۳/۲ میلی‌متر؛
ب) اجرای صحیح لایه‌ی ژئوسنتتیک با مواد پرکننده بر روی ترک‌های با عرض بزرگتر از ۳/۲ میلی‌متر



مقدس نژاد، ۱۳۸۵

ترک‌ها نباید بیش از اندازه‌ی حجم خود پر شوند، بلکه باید همواره مواد پرکننده‌ی ترک، همسطح رویه‌ی موجود یا سطح زیرین باشد. درصورتی‌که این امر رعایت نگردد، بر روی محل ترک برآمدگی ایجاد شده که می‌تواند معضلاتی را در مراحل بعدی کار بالأخص هنگام نصب لایه‌ی ژئوسنتتیک به‌وجود آورد (مقدس‌نژاد، ۱۳۸۵).

۹-۲- آماده کردن سطوح تراشیده‌شده[1]

در بسیاری از پروژه‌ها به‌منظور اجرای لایه‌ی جدید روکش، سطح ترک‌خورده‌ی آسفالتی موجود تراشیده می‌شود. تراشیدن آسفالت موجب حفظ ارتفاع لازم برای جداول کناری روسازی، جلوگیری از به‌وجود آمدن چاله در محل درپوش‌ها و نیز جلوگیری از بروز دیگر عواملی که معمولاً اجرای روکش آسفالتی را با مشکل مواجه می‌سازند، خواهد شد. باوجوداین پس از تراشیده شدن سطح روسازی موجود، ترک‌های بسیار ریزی در سطح باقی‌مانده‌ی آن ایجاد می‌شود، که حضور این ترک‌ها باعث افزایش نفوذپذیری بدنه‌ی روسازی و نفوذ آب بیشتر به داخل آن می‌شود. به‌منظور کاهش نفوذپذیری روسازی‌های تراشیده‌شده، می‌توان از ژئوسنتتیک‌ها به‌منظور آب‌بندی سطح روسازی سود برد. البته باید توجه داشت که به دلیل نامنظمی و ناصافی سطح روسازی تراشیده‌شده، هنگامی که مصالح ژئوسنتتیک بر روی سطح تراشیده قرار داده می‌شود، برای جبران این موضوع مقدار قیر تک‌کت به‌کار برده شده باید افزایش یابد.

[1] Milled surface

۹-۳- اجرای تک‌کت

پخش تک‌کت باید در زمانی اتفاق افتد که دمای روسازی و همچنین دمای محیط جهت انجام این عملیات در محدوده‌ی مناسبی قرار داشته باشد تا بتوان امکان تثبیت مصالح ژئوسنتتیک در محل مورد نظر توسط تک‌کت را به‌نحو مناسبی فراهم کرد. دمای محیط در هنگام پخش تک‌کت باید حداقل ۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده و اجرای آن توسط یک کامیون که دارای لوله‌ی پخش‌کننده‌ی درجه‌بندی شده است، با توزیع مناسبی صورت پذیرد.

علاوه‌براین، دمای تک‌کت در زمان پخش باید بین۱۴۰ تا ۱۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد باشد تا از یک سو حرارت کافی برای اجرای یکنواخت آن فراهم گردد و از سوی دیگر از بروز آسیب به مصالح ژئوسنتتیک به دلیل حرارت بیش از حد تک‌کت جلوگیری شود. همچنین، تک‌کت باید در عرض حداقل ۱۵۰ میلی‌متر بیشتر از عرض روسازی پخش شود (Shukla, 2002).

برای تخمین میزان تک‌کت لازم بسته به نوع مصالح ژئوسنتتیک، دستورالعمل‌ها و روابط مختلفی توسط تولیدکننده‌های مختلف ارائه شده است. درمورد ژئوگریدها رابطه‌ی مشخصی تاکنون موجود نبوده و میزان تک‌کت بستگی به ویژگی ژئوگرید و سطح روسازی دارد و کارخانجات تولیدکننده‌ی اینگونه محصولات میزان حداقل تک‌کت را اعلام می‌کنند که درواقع می‌باید این میزان در اجرا رعایت شود (Amini, 2005).

اما درمورد ژئوتکستایل‌ها شرایط به‌گونه‌ی دیگری بوده و روابط مختلفی توسط محققین و تولیدکنندگان ارائه شده است. در این بین، برخی از این روابط عمومیت بیشتری داشته و در نبود رابطه‌ی ارائه‌شده از سوی تولیدکنندگان، می‌توان از آن‌ها استفاده نمود. یکی از این روابط پیشنهادی برای تخمین میزان تک‌کت مورد نیاز در هنگام اجرای ژئوتکستایل‌ها در روسازی به شرح زیر است (India Roads Congress, 2002):

$$Q_d = Q_c + Q_s + ۰/۳۶$$

Q_d : مقدار تک‌کت طراحی (kg/m^2)

Q_s : مقدار لازم تک‌کت برای اشباع نمودن ژئوتکستایل که توسط کارخانه‌ی تولیدکننده اعلام می‌گردد (kg/m^2)

Qc : مقدار لازم تک‌کت اصلاح‌شده براساس وضعیت روسازی موجود (kg/m^2)

۹-۴- نصب مصالح ژئوسنتتیک

به‌منظور نصب مصالح ژئوسنتتیک در روسازی باید حتماً به این موضوع توجه کرد که دوطرف رویه‌ی این مصالح عمدتاً با یکدیگر متفاوت هستند. اغلب مصالح ژئوسنتتیک مورد استفاده در روسازی‌ها بافت پلی‌پروپیلن سوزن‌کاری شده با ساختاری بی‌بافت داشته که یک رویه‌ی آن زبر و ناصاف

بوده و رویه‌ی دیگر صاف، نرم و حرارت‌دیده است. در هنگام نصب، وجه زبر و ناصاف ژئوسنتتیک باید روی لایه‌ی تک‌کت پخش‌شده قرار گیرد. به این منظور، در کارخانه‌های تولیدی، اغلب این نوع مصالح را طوری به‌صورت رول می‌پیچند که طرف زبر آن‌ها برای نصب آسان و صحیح به سمت بیرون باشد.

برای نصب مصالح ژئوسنتتیک در پروژه‌های بزرگ از ماشین‌های مخصوص نصب استفاده می‌شود. این ماشین‌آلات، قرار دادن، برس کشیدن (جارو کردن) و نیز کشش یکنواخت لایه‌ی ژئوسنتتیک را در هنگام اجرا به‌صورت متوالی و پیوسته انجام می‌دهند. نمونه‌ای از این نوع از ماشین‌آلات و اجزای آن در شکل (۲۱) نشان داده شده است (مقدس نژاد, ۱۳۸۵).

باید توجه داشت که در داخل قوس‌های مسیر، نصب ژئوسنتتیک با استفاده از این تجهیزات، همراه با ایجاد چروک و ناهمواری خواهد بود که در این مواقع لازم است ژئوسنتتیک بریده شده و سپس در قوس نصب شود.

در هوای بسیار گرم، قرارگیری ژئوسنتتیک بر روی سطح روسازی باید با تأخیر انجام شود تا زمان کافی جهت سفت شدن تک‌کت پخش‌شده در این مدت فراهم شود. در هوای سرد، ژئوسنتتیک باید سریعاً پس از اجرای تک‌کت، در جای خود قرار گیرد و بر روی تک‌کت نصب شود تا تک‌کت به‌صورت گرم باقی مانده و قابلیت نفوذ خود در ژئوسنتتیک را از دست ندهد. در محل درزها، منافذ، مجراهای زهکشی و نیز در حالت اتصال لایه‌ی رول تمام‌شده و رول جدید باید لایه‌های ژئوسنتتیک به میزان بین ۲/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر با یکدیگر هم‌پوشانی داشته باشند.

۹-۵- ایرادات نصب

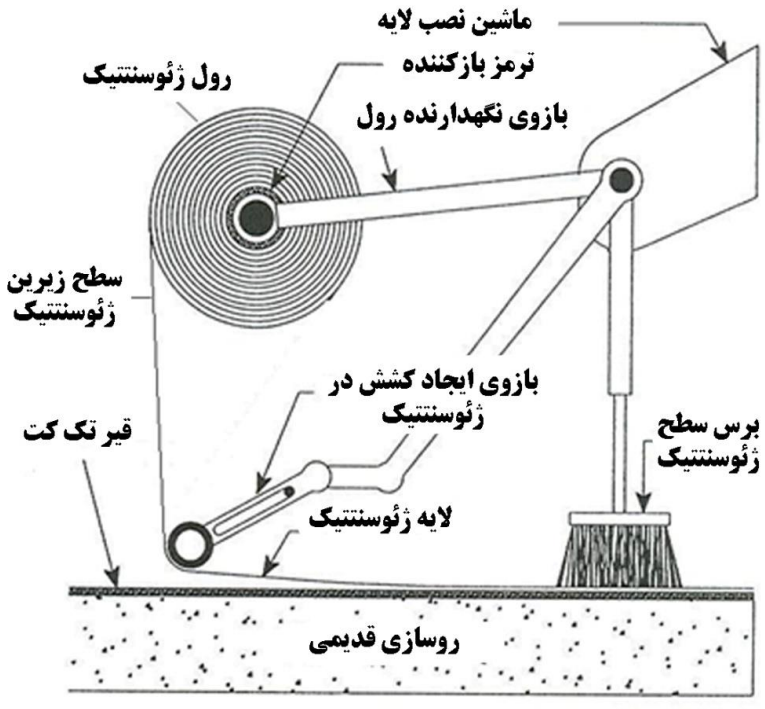
ممکن است در حین نصب مصالح ژئوسنتتیک برخی نارسایی‌ها رخ دهد که باید قبل از نصب روکش اقدام به رفع آن‌ها کرد. برخی از این نارسایی‌ها عبارتند از: چروک شدن، کنده شدن، طبله و برآمدگی، قیرزدگی، فتیله شدن و تورق. در این بین، برخی از این موارد به دلیل نصب ناصحیح ژئوسنتتیک و برخی دیگر پس از نصب و به دلیل تردد بر روی آن‌ها به‌وجود می‌آیند.

البته باید توجه داشت که در این میان، عموماً رفت‌وآمد با سرعت محدود و یکنواخت وسایل نقلیه‌ی نصب و اجرا به ژئوسنتتیک‌های نصب‌شده، آسیبی نمی‌رساند؛ اما باید از گردش و چرخش‌های شدید، ترمز شدید، پارک و توقف طولانی‌مدت و نیز شروع به حرکت سریع اجتناب شود. سرعت حرکت وسایل نقلیه بر روی سطح مصالح ژئوسنتتیک باید به ۳۵ کیلومتر بر ساعت محدود شود (مقدس نژاد، ۱۳۸۵). در محیط‌های شهری با توجه به امکان تردد عابران در برخی از محل‌ها باید تمهیداتی به‌منظور کنترل تردد عابران از روی ژئوسنتتیک‌ها درنظر گرفته شود. همچنین با توجه به تعدد موتورسیکلت‌ها در شهر تهران، درصورتی‌که ژئوسنتتیک‌ها در محلی اجرا می‌شوند باید کنترل دقیقی بر تردد موتورسیکلت‌ها صورت

گیرد؛ چراکه با توجه به کاهش اصطکاک در محل ژئوسنتتیک، تردد موتورسیکلت‌ها می‌تواند منجر به بروز حادثه شود.

علاوه‌براین، سطح فوقانی نسبتاً صاف این نوع مصالح، مقاومت کمتری نسبت به روسازی در برابر لغزندگی داشته و وجود رطوبت روی ژئوسنتتیک می‌تواند مقاومت در برابر لغزندگی را به مقدار بسیار کمی برساند که ممکن است ایمنی اجرا را برای ماشین‌آلات نصب به مخاطره اندازد. بنابراین، به دلیل ملاحظات ایمنی نباید به‌جز موارد ضروری، اجازه‌ی تردد وسایل نقلیه بر روی مصالح ژئوسنتتیک داده شود.

شکل شماره‌ی ۲۱: ماشین نصب لایه‌ی ژئوسنتتیک و معرفی اجزای آن



مقدس نژاد، ۱۳۸۵

اگر به دلایل اجرایی لازم باشد بر روی مصالح ژئوسنتتیک تردد شود، باید بر روی آن‌ها ماسه پاشیده شده تا میزان اصطکاک را افزایش داده و همچنین، علائم هشداردهنده‌ی کاهش سرعت برای آگاهی دادن به رانندگان باید در محل، نصب شود. با پاشیدن و پخش ماسه‌ی تمیز بر روی مصالح ژئوسنتتیک نصب‌شده، می‌توان علاوه‌بر فراهم آوردن مزیت قبلی، از کنده‌شدن، پاره‌شدن، ورقه‌ورقه شدن این مصالح توسط ماشین روکش‌کننده[1] جلوگیری کرد. بدیهی است که اگر به دلایل گفته‌شده، از ماسه‌پاشی استفاده شود، باید هرگونه ماسه‌ی اضافی قبل از اجرای لایه روکش جدید از روی مصالح ژئوسنتتیک‌ها برداشته و پاک شود.

۹-۶- اجرای روکش

روکش‌های مخلوط آسفالتی گرم را می‌توان، فوراً پس از نصب ژئوسنتتیک بر روی روسازی اجرا کرد، اما باید توجه داشت که درصورت وجود هرگونه رطوبت بر روی ژئوسنتتیک نصب‌شده، باید سریعاً قبل از اجرای روکش جدید آن را برطرف کرد.

در اجرای روکش به دو عامل دمای پخش مخلوط روکش و میزان تراکم آن بایستی توجه ویژه‌ای مبذول داشت. در این خصوص توصیه‌ی آشتو آن است که هنگامی که دمای مخلوط بالای ۱۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است عملیات غلتک‌زنی آغاز شده و تا زمانی‌که دمای مخلوط به ۶۶ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسد، خاتمه یابد. به‌طورکلی باید توجه نمود که هرچه روکش نازکتر باشد سریعتر سرد شده و بدین‌ترتیب توانایی آن برای اشباع کردن ژئوسنتتیک نسبت به روکش‌های ضخیم‌تر، کمتر خواهد بود. درهرحال، دمای مخلوط روکش در هنگام قرارگیری بر روی ژئوسنتتیک نباید از نقطه‌ی ذوب این مصالح تجاوز کند. حداقل ضخامت متراکم‌شده‌ی روکش در هر بار غلتک زدن ۳۸ میلی‌متر است. بنابراین، در نقاطی که ضخامت روکش به دلایلی کمتر از ۳۸ میلی‌متر است نباید ژئوسنتتیک را اجرا کرد؛ زیرا روکش‌های نازک دمای کافی برای هدایت قیر به داخل ژئوسنتتیک را فراهم نمی‌کنند (مقدس‌نژاد، ۱۳۸۵).

در انتهای این مبحث باید توجه داشت که اگرچه برای هر نوع از مصالح ژئوسنتتیک باید دستورالعمل خاص نحوه‌ی اجرا و نصب آن محصول که از سوی سازنده ارائه شده است به‌کار برده شود، استفاده از چک‌لیست‌ها درمورد برخی از آیتم‌ها که عمومیت بیشتری دارند می‌تواند از بروز بسیاری از مشکلات در هر یک از مراحل، پیشگیری کند.

براین‌اساس، جدول شماره‌ی ۳، چک‌لیستی را براساس دستورالعمل‌های اداره‌ی راه ایالت تگزاس امریکا برای نصب مصالح ژئوسنتتیک و لایه‌ی روکش روی آن‌ها ارائه می‌نماید (Button, 2003). این

[1] Finisher

چک‌لیست تمامی مراحل از انبار کردن ژئوسنتتیک تا نصب آن و نهایتاً اجرای روکش بر روی آن را دربر می‌گیرد.

جدول شماره‌ی ۳: چک‌لیست نصب ژئوسنتتیک‌ها و روکش آن

عملیات اولیه

- □ نمونه‌گیری از مصالح ژئوسنتتیک و ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه‌های کنترل کیفی جهت ارزیابی
- □ انبار نمودن مصالح ژئوسنتتیک در محلی حفاظت‌شده در برابر نور خورشید و آب
- □ تعیین درجه‌ی قیر مورد استفاده به‌عنوان تک‌کت و نمونه‌گیری از آن
- □ مشخص نمودن مقدار و سرعت استفاده از تک‌کت

آماده‌سازی روسازی قدیمی

- □ جارو زدن و تمیز نمودن سطح روسازی قدیمی
- □ آب‌بندی کردن ترک‌های با عرض بزرگتر از ۰/۳ سانتی‌متر و یا لایه‌ی ترازکننده
- □ پر کردن ترک‌های بزرگتر از ۲/۵ سانتی‌متر توسط مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی ریز
- □ تعمیر سطوح تخریب‌شده، دست‌اندازها و محل‌های ناپایدار از روسازی
- □ ریختن لایه‌ی ترازکننده

ریختن تک‌کت

- □ کنترل دمای قیر تک‌کت و سرعت پخش توسط ماشین و نمونه‌گیری
- □ احتیاط و انجام هماهنگی‌ها با تیم اجرا به‌منظور پیشگیری از ریختن نامتجانس تک‌کت (به دلایلی همچون توقف دستگاه پخش‌کننده و محل‌های هم‌پوشانی مسیرهای رفت و برگشت ماشین پخش‌کننده)

نصب ژئوسنتتیک

- □ جلوگیری از هرگونه جمع‌شدگی، چروک‌خوردن یا تاشدن ژئوسنتتیک و از میان بردن چروک‌ها درصورت لزوم
- □ تأمین و رعایت هم‌پوشانی استاندارد مصالح ژئوسنتتیک براساس دستورالعمل‌های ارائه‌شده از سوی تولیدکننده‌ی آن‌ها
- □ حصول اطمینان از قرارگیری ژئوسنتتیک در راستای صحیح
- □ حصول اطمینان از قرارگیری صحیح ژئوسنتتیک به‌نحوی‌که براساس دستورالعمل کاربری وجه زبر و ناصاف آن بر روی روسازی قرار گیرد.
- □ درصورتی‌که بالازدگی قیر بر روی ژئوسنتتیک اتفاق افتاده است، پخش کردن مقدار کمی آسفالت (و نه سنگدانه) در آن ناحیه و در ناحیه‌ای که چرخ خودروهای درحال کار بر روی آن قرار می‌گیرد، به‌منظور پیشگیری از چسبیدن ژئوسنتتیک به چرخ و جدا شدن آن از سطح

قرارگیری روکش

- □ آزمایش و حصول اطمینان از دمای مناسب بتن آسفالتی در محل خروج از ماشین پخش‌کننده‌ی آسفالت
- □ انجام عملیات غلتک‌زنی در سریع‌ترین زمان ممکن
- □ برداشت بخش‌هایی از لایه‌ی آسفالتی پس از متراکم نمودن و کنترل میزان قیر جذب‌شده توسط لایه‌ی ژئوسنتتیک
- □ حصول اطمینان از رسیدن تراکم روکش به تراکم مورد نیاز

Button, 2003

۱۰- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین عوامل بروز و رشد ترک به‌ویژه ترک‌های انعکاسی در آسفالت شامل سه دسته‌ی کلی بارگذاری ترافیکی، بارگذاری حرارتی و بارگذاری ناشی از جابه‌جایی هستند. به‌طورکلی، در تشریح علل بروز ترک‌ها می‌توان عنوان کرد که درصورتی‌که اعمال و بعضاً تکرار هریک از انواع بارگذاری با شدت و پریود معین به بروز تنش‌هایی بیش از حد آستانه‌ی تحمل روسازی آسفالتی منجر شود، روسازی دچار ترک‌خوردگی می‌شود. درصورتی‌که استفاده از روکش آسفالتی به‌مثابه‌ی روش تعمیر و نگهداری انتخاب شود، به‌منظور افزایش عمر آن باید به‌نحوی تنش به‌وجود آمده در روکش را کاهش داد. یکی از روش‌هایی که به‌منظور کاهش اثر تنش‌های مخرب بر روکش (که در محل ترک‌های پیشین تمرکز می‌یابند) و همچنین پیشگیری از رشد ترک‌های انعکاسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک است. این نوع مصالح که هم به‌صورت مصالح با سختی زیاد و ژئوسنتتیک‌های با سختی کم تولید می‌شوند، به‌ترتیب با ایجاد دو عملکرد مسلح کردن به‌منظور کاهش تنش و استهلاک انرژی در محل ترک‌ها می‌توانند در کاهش رشد ترک‌های انعکاسی مؤثر باشند.

به‌عنوان توصیه‌هایی راهبردی باید موارد زیر در استفاده از ژئوسنتتیک‌ها به‌منظور کاهش ترک‌های انعکاسی روسازی آسفالتی در محیط شهری مدنظر قرار گیرند:

۱- پیش از به‌کارگیری این مصالح باید علل بروز ترک در روسازی قدیمی مشخص شود؛ چراکه عموماً دلایل بروز ترک در روکش ممکن است در آینده نیز تکرار شوند و تأثیر و عدم تأثیر به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها نسبت مستقیمی با نوع ترک‌ها و عوامل به‌وجود آورنده‌ی ترک‌های مذکور دارد.

۲- به‌کارگیری و نصب مصالح ژئوسنتتیک باید براساس توصیه‌های شرکت تولیدکننده انجام گیرد و پیش از نصب لازم است محل نصب عاری از هرگونه آلودگی و رطوبت باشد.

۳- اشباع کردن مصالح ژئوسنتتیک توسط قیر و همچنین ایجاد پیوستگی مناسب میان ژئوسنتتیک، لایه‌ی روسازی قدیمی و روکش به‌ویژه در مواردی که از ژئوتکستایل استفاده می‌شود اهمیت فراوانی داشته و کیفیت عملکرد این مصالح را مستقیماً تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۴- عامل رطوبت یکی از عمده‌ترین منابع آسیب‌دیدگی روسازی به‌شمار می‌رود. با توجه به جذب قیر توسط لایه‌ی ژئوسنتتیک و تشکیل پرده‌ای آب‌بند، آسفالت تقویت‌شده توسط این مصالح می‌تواند منابع رطوبت را کنترل کند و از نفوذ آب سطحی به روسازی جلوگیری کند. مصالح ژئوسنتتیک می‌توانند حتی پس از ترک خوردن آسفالت نیز در جای خود باقی مانده و دیواره‌ای در برابر رطوبت ایجاد کنند. همچنین، باید به این نکته توجه داشت که لازم است تا مصالح ژئوسنتتیک توسط مقدار قیر کافی اشباع شوند تا بتوانند این دیواره‌ی آب‌بند را ایجاد کنند. وجود تک‌کت ناکافی به اختلال در بروز این پدیده منجر می‌شود. وقوع جابه‌جایی در محل ترک‌ها در برخی از درزها می‌تواند آنقدر

بزرگ باشد که به پارگی ژئوسنتتیک منجر شود و این عایق رطوبتی را از میان ببرد. در چنین شرایطی بهتر است که از ژئوکامپوزیت ها استفاده شود.

۵- در محل‌های عبور عابران، باید به‌نحوی از جابه‌جایی، تغییر بافت یا جمع شدن ژئوسنتتیک جلوگیری به عمل آورد. تغییر مسیر عبور عابران، اجرای ژئوسنتتیک‌ها در شب و زمان‌هایی که تعداد عابران پیاده کمتر است، ماسه‌پاشی بر روی ژئوسنتتیک‌ها و همچنین قرارگیری صفحات صلب موقت بر روی ژئوسنتتیک‌ها به‌نحوی‌که امکان عبور موقت عابران را بدون آسیب زدن به ژئوسنتتیک‌ها فراهم آورد در اجرای ژئوسنتتیک‌ها در محیط‌های شهری توصیه می‌شود.

۶- قبل از به‌کارگیری، ژئوسنتتیک‌ها باید به‌گونه‌ای حمل و انبار شوند که اولاً از هرگونه آسیب فیزیکی و یا شیمیایی در امان بوده و ثانیاً شرایط و مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آن‌ها قبل از اجرا با آنچه که قبلاً در طراحی تعیین شده مطابقت داشته باشد. رول‌های ژئوسنتتیک را باید دور از سطح و به‌گونه‌ای قرار داد که به‌خوبی در برابر اشعه‌ی فرابنفش (U.V) نور خورشید، مواد شیمیایی مانند اسید و نمک‌های قوی، آتش و شعله مثل جرقه‌ی جوشکاری، دمای بیشتر از ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد محافظت و پوشیده شده و همچنین از دسترس افراد متفرقه و تردد افراد در امان باشند.

در انتها باید اذعان داشت که به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک با وجود هزینه‌ی اولیه‌ی بالاتر در مرحله‌ی ساخت می‌تواند با توجه به کاستن از سرعت رخداد ترک‌های انعکاسی (درصورت طراحی و نصب صحیح) و در پی آن کاهش هزینه‌ی تعمیر و نگهداری سیستم روسازی به کاهش هزینه‌های چرخه‌ی عمر روسازی منجر شود. لذا با وجود اینکه در این گزارش به دلیل وجود محدودیت‌هایی امکان پرداختن به این موضوع وجود نداشته است، لازم است تحلیل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر برای به‌کارگیری این مصالح انجام گیرد تا تأثیرات بلندمدت به‌کارگیری مصالح ژئوسنتتیک بر هزینه‌های تعمیر و نگهداری معبر نیز در کنار هزینه‌ی اولیه‌ی آن دیده شود.

منابع

۱- عامری، م؛ افتخارزاده، ف (۱۳۷۸)؛ **مدیریت روسازی برای راه‌ها، فرودگاه‌ها و پارکینگ‌ها، تهران**، دانشگاه علم و صنعت ایران.

۲- فخاریان، ک (۱۳۸۹)؛ **تسلیح خاکریز و بستر راه‌ها با استفاده از ژئوگرید**، تهران، وزارت راه و ترابری.

۳- مقدس‌نژاد، ف (۱۳۸۷)؛ **به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها به‌منظور کاهش ترک‌های انعکاسی روکش آسفالتی**، تهران، پژوهشکده‌ی حمل‌ونقل وزارت راه و ترابری.

۴- مقدس‌نژاد ، ف، طولابی، س؛ شفیعی، م (۱۳۸۵)؛ **بررسی نکات اجرایی درزمینه‌ی نصب لایه‌های پارچه‌گونه (ژئوسنتتیک) در روکش روسازی‌ها جهت کنترل ترک‌های انعکاسی**، سومین همایش قیر و آسفالت ایران.

5- Amini, F. ,Potential Application of Paving Fabrics to Reduce Reflective Cracking. Mississippi, Jackson state University, Mississippi Department of transportation, FHWA, 2005.

6- Asphalt Institute, Asphalt Pavement Distress Summary, Asphalt Institute website. 2009. http://www.asphaltinstitute.org/public/engineering/maintenance_rehab/asphalt-pavement-distress-summary.dot.

7- Austin, R.,Gilchrist,A. Enhanced Performance of Asphalt Pavements Using Geocomposites. 1996.

8- Baek, J. Modeling reflective cracking development in hot-mix asphalt overlays and quantification of control techniques: Civil Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2010.

9- Barrett, R. J., "Use of Plastic Filters in Coastal Structures," Proceedings from the 16th International Conference Coastal Engineers, Tokyo, pp. 1048-1067, Sep. 1966.

10- Berg, R.,Christopher,B.,Perkins,S. Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures. 2000, p. 130.

11- Button, J.,Lytton,R. Geosynthetics in Flexible and Rigid Pavement Overlay Systems to Reduce Reflection Cracking. Texas : Overlay Systems to Reduce Reflection Cracking,Texas A&M University, 2003.

12- Button, J.W.,Epps,J.A.,Lytton,R.L. Laboratory Evaluation of Fabrics for Reducing Reflection Cracking. Texas : Texas A&M University, 1983.

13- Button, J.W.,Lytton,R.L. Guide lines for using geosynthetics with hot mix asphalt overlays to reduce reflective cracking. TRB Annual Meeting, 2007.

14- Chang, D.,Ho, N.,Chang,H.,Yeh,H. Laboratory and Case Study for Geogrid-Reinforced Flexible Pavement Overlay. 1999.

15- Cleveland, G.S.,Button,J.W.,Lytton,R.L. Field Synthesis of Geotextiles in Flexible and Rigid Pavement Rehabilitation Strategies Including Cost Considerations. Project Summary Report 0-1777, 2002.

16- Cleveland, G.S.,Lytton,R.L.,Button,J.W. Reinforcing Benefits of Geosynthetic Materials in Asphalt Concrete Overlays using Pseudo Strain Damage Theory. Texas : Transportation Research Board (TRB), 2002.

17- De Bondt, A.H. Anti reflective cracking design of (reinforced) asphaltic overlays. Netherlands : Ponsen & Looijen, 1999.

18- Elseifi, M.,Al-Qadi,I. Modeling of Strain Energy Absorbers for Rehabilitated Cracked Flexible Pavements. 2005.
19- Engineered Linings Co. Products page. EL website. Engineered Linings, http://www.englining.co.za/index.php/geotextiles., 2013
20- FHWA. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments. FHWA Website. FHWA,. http://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/01.cfm., 2013
21- Halim, A.,Haas,R.,Phang,W. Geogrid Reinforcement of Asphalt Pavements and Verification of Elastic Theory. 1983.
22- Hosseini H, Darban A, Fakhri K. The Effect of Geosynthetic Reinforcement on the Damage Propagation Rate of Asphalt Pavements., pp. 26-32, 2009
23- Hosseini, H.,Darban, A.,Fakhri,K. The Effect of Geosynthetic Reinforcement on the Damage Propagation Rate of Asphalt Pavements, pp. 26-32, 2009
24- India Roads Congress. Guidelines for Use of Geotextiles in Road Pavements and Associated Works. New Delhi, India : India Roads Congress, 2002.
25- Khodaii, A. Effects of geosynthetics on reduction of reflection cracking in asphalt overlays doi:10.1016/j.geotexmem.2008.05.007. 2008
26- Khodaii, A.,Fallah,S.,Moghadas Nejad,F. Effects of Geosynthetics on Reduction of Reflection Cracking in Asphalt Overlays. 2009.
27- Kim, Y.R. Modeling of Asphalt Concrete. North Carolina State University, 2004.
28- Ling, H.,Liu,Z. Performance of Geosynthetic-Reinforced Asphalt Pavements. 1999.
29- Lytton, R.L. Use of Geotextiles for Reinforcement and Strain Relief in Asphaltic Concrete, Vol.8, Page 217-237, 1989
30- Maurer, D.,Malasheskie,G. Field Performance of Fabrics and Fibers to Retard Reflective Cracking., Vol. 8, page 239-267, 1989
31- Palacios, C. Evaluation of Fiber Reinforced Bituminous Interlayers for Pavement Preservation, Vol. 6, Chicago, Ill, 2008.
32- Paris, P.C.,Erdogan,F. A Critical Analysis of Crack Propagation Laws. Transaction of the ASME,Journal of basic Engineering, 1963.
33- Perfetti, T. The Use of a Textile-Based System to Control Pavement Cracking. Vol.7. Page 165-178, 1988.
34- Saraf, C.,Majidzadeh, K.,Tribbett,W ,Effect of Reinforcement on Fatigue Life of Asphalt Beams,1996.
35- Saraf, C.,Majidzadeh,K. Dynamic Response and Fatigue Characteristics of Asphaltic Mixtures, 1974.
36- Shukla, S. K., Yin, J. H. , Kong, H. Function and Installation of Paving Geosynthetics. Banaras : Banaras Hindu University, 2002.
37- Siriwardane, H.,Gondle,R.,Kutuk,B. Analysis of Flexible Pavements Reinforced with Geogrids. 2010.
38- Tensar Geosynthetic group. Geogrids. Tensar group website. http://www.tensar.co.uk/., Sep. 2013
39- U.S. Department of the army and the air force. Technical manual . Engireeng use of geotextiles, U.S. Departments of army and the air force, TM 5-818-8 / AFJMAN 32-1030,1995.