افزایش کارآیی رویه‌های بتنی با اجرای روکش آسفالتی

ابوالفضل حسنی، دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

بهروز ثقفی، دانشجوی کارشناسی ارشد رشته راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

روسازی مرکب به روسازیی اطلاق می‌شود که در آن لایه رویه از دو جنس بتن و آسفالت تشکیل شده باشد. بسته به اینکه لایه بتنی بالاتر قرار گیرد یا لایه آسفالتی، نوع طراحی و اجرای روسازی مرکب متفاوت خواهد بود؛ ولی در متداول‌ترین نوع روسازی مرکب، لایه آسفالتی بالاتر از لایه بتنی قرار می‌گیرد. در این حالت عموماً یک لایه روسازی آسفالتی با کیفیت مناسب روی روسازی بتنی قدیمی اجرا می‌شود و هدف ارتقای کیفیت سطح راه می‌باشد. قبل از اجرای روسازی آسفالتی جدید، اقداماتی روی دال بتنی انجام می‌شود؛ چرا که جا به جایی‌ها و تغییرشکل‌های دال بتنی در اثر حرارت و تغییرات دما می‌تواند باعث ترک‌خوردگی لایه آسفالتی گردد. چند روش برای طراحی روسازی‌های مرکب وجود دارد. اما آنچه که امروزه بیشتر مد نظر قرار گرفته است، استفاده از مدل‌های سازه‌ای و روش‌های مکانیستیک برای تعیین رفتار و عکس‌العمل‌های سازه‌ای است. استفاده از این روش‌ها دید مناسب‌تری از رفتار روسازی را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد.

۱- مقدمه

روسازی مرکب[1] (CP) به روسازی اطلاق می‌شود که شامل دو نوع روسازی، یعنی آسفالتی[2] (AC)، به عنوان لایه انعطاف‌پذیر و روسازی بتنی[3] (PCC)، به عنوان لایه صلب باشد. در برخی موارد از یک لایه میانی جداکننده بین لایه‌های آسفالتی و بتنی استفاده می‌گردد. استفاده از مصالح بتنی به عنوان لایه زیرین و در نقش لایه اساس، و مصالح آسفالتی به عنوان لایه رویه، ترکیب متداولی است که ویژگی‌هایی همچون مقاومت و سطح هموار را ارائه کرده و بهره‌برداری از یک روسازی ایده‌آل را ممکن می‌سازد. استفاده از مصالح بتنی در نقش لایه رویه و مصالح آسفالتی در نقش لایه اساس، گزینه‌ای است که در صورت خرابی کامل لایه آسفالتی مقرون به صرفه خواهد بود. با توجه به هزینه اولیه بالای اجرای این نوع از روسازی‌ها، ساخت آنها به طور محدود صورت گرفته و بیشتر برای رفع معایب روسازی‌های بتنی موجود و به منظور ارتقای کیفیت سطح راه و تأمین سرویس، به صورت روکش آسفالتی بر روی روسازی‌های بتنی موجود، به کار می‌روند.

۲- دلایل اجرای روسازی مرکب

از آنجایی که تاریخچه استفاده از روسازی‌های مرکب به سال‌های اخیر باز می‌گردد، فقط برخی کشورها مزایای یک چنین طرحی را تجربه کرده‌اند. در حال حاضر، استفاده از روسازی‌های مرکب به جاده‌های با ترافیک سنگین مانند بزرگراه‌ها و شریان‌های اصلی متمرکز شده است. عموماً انتخاب روسازی مرکب تحت تأثیر یکی از عوامل زیر می‌باشد:

۱. به علت ترکیب یک لایه بتنی با یک لایه آسفالتی، ظرفیت باربری زیاد و مقاومت در برابر تغییرشکل در اثر عبور زیاد وسایل نقلیه را در کنار بهبود مشخصات سطح و آسان شدن تعمیر و نگهداری روسازی خواهیم داشت؛
۲. کم شدن صدای چرخ وسیله نقلیه در حرکت روی جاده با بهره‌گیری از ویژگی‌های آسفالت متخلخل،
۳. اجتناب از تعمیر و نگهداری درز آب‌بند در روسازی‌های بتنی یا به حداقل رساندن آن،
۴. کاهش نفوذ آب و در نتیجه بهتر شدن رفتار بلند مدت سازه روسازی،
۵. تعمیر یا ارتقای کیفیت روسازی بتنی با سطح رو به زوال،
۶. کاهش هزینه‌های اضافی در طول طرح برای مسئولان نگهداری راه و استفاده‌کنندگان.

۳- مقاطع روسازی

در صورت استفاده از روکش آسفالتی بر روی روسازی بتنی موجود، بخش عمده باربری از طریق لایه بتنی انجام می‌شود. از این رو می‌توان برای طراحی لایه بتنی از تئوری صفحات استفاده کرد. اگر بتوان فرض نمود که چسبیدگی لایه آسفالتی به لایه بتنی به طور کامل صورت گرفته است، می‌توان با در نظر گرفتن مقطع معادل از تئوری صفحات به منظور تعیین تنش خمشی دال بتنی بهره جست. در صورتی که محل بار چرخ در نزدیکی لبه یا درز[4] لایه بتنی در نظر گرفته شود، روش تئوری صفحات به تنهایی جوابگو است و اگر بار چرخ در وسط و به دور از لبه‌ها یا درزها وارد شود، می توان از تئوری لایه‌ها و یا صفحات برای

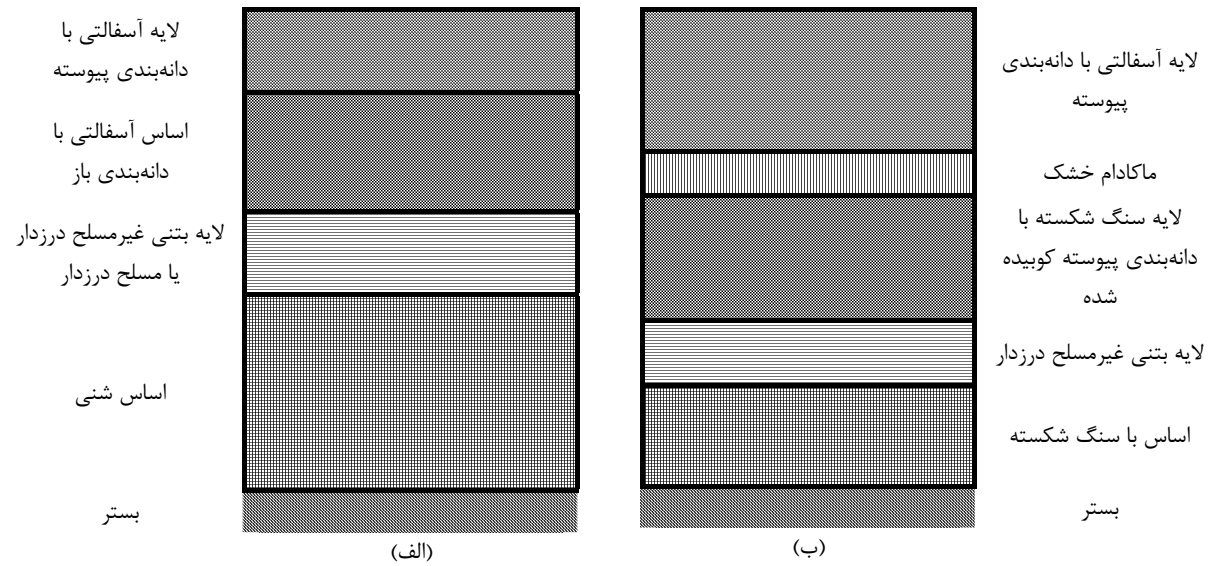
[1] Composite Pavement
[2] Asphalt Concrete Pavement
[3] Portland Cement Concrete Pavement
[4] Joint

Copyright © 2003-2006 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

طراحی استفاده نمود. روسازی بتنی می‌تواند به صورت بتن غیرمسلح درزدار، بتن مسلح درزدار و یا بتن مسلح پیوسته باشد.

علاوه بر انواع فوق، روسازی‌های مرکب می‌توانند شامل روسازی‌های آسفالتی با اساس تثبیت شده یا تثبیت نشده نیز باشند. برای روسازی‌های آسفالتی با اساس ثبیت نشده، تنش و کرنش بحرانی به صورت کششی و در زیر لایه آسفالتی قرار دارد. در حالی که در روسازی‌های آسفالتی با اساس تثبیت شده موقعیت تنش بحرانی در زیر لایه اساس در نظر گرفته می‌شود.

نحوه طراحی روسازی مرکب با توجه به ترکیب لایه‌ها و نوع مقطع متفاوت خواهد بود. معمولاً لایه آسفالتی مستقیماً بر روی اساس بتنی اجرا نمی‌شود. یکی از معایب اجرای روکش به این روش، انتشار ترک‌های انعکاسی در لایه آسفالتی است که علت آن وجود درز و ترک در اساس بتنی است. شکل (۱) دو مقطع متفاوت که در بیشتر کشورها به عنوان مقطع متداول اجرا می‌گردد، را نشان می‌دهد. درصورتی که مانند مقطع (الف) از یک لایه آسفالتی با دانه‌بندی باز مابین لایه آسفالتی و بتنی استفاده گردد، می‌توان ترک‌های انعکاسی را کاهش داد. مقطع (ب) روش متداول دیگری را نشان می‌دهد که در آن برای جلوگیری از انعکاس ترک‌ها از یک لایه ضخیم از مصالح دانه‌بندی شده میان دو لایه آسفالتی و بتنی استفاده شده است. در صورت اجرای این روش می‌توان لایه رویه را در دو بخش آسفالت سطحی به صفحات ۴۰ میلی‌متر و لایه بیندر به صفحات ۵۰ میلی‌متر اجرانمود.



شکل ۱- دو مقطع متفاوت از روسازی‌های مرکب

۴- اجرای روکش آسفالتی روی روسازی بتنی موجود

همان طور که ذکر گردید، یکی از مهم‌ترین مسائل روسازی‌های بتنی با روکش آسفالتی، انتقال ترک و یا درزهای دال بتنی موجود به لایه آسفالتی است که پس از انتقال ترک موجب نفوذ آب به درون سازه راه می‌شود. از این رو روش‌های متعددی توصیه می‌شوند تا انتقال ترک‌های انعکاسی به روکش آسفالتی به حداقل برسد:

۱. روکش‌های آسفالتی ضخیم‌تر،
۲. تقسیم دال بتنیِ دارای ترک به مقاطع کوچکتر،
۳. استفاده از لایه رهاکننده ترک با امکانات زهکشی،
۴. اجرای درز و پر کردن آن در لایه آسفالتی،
۵. بکارگیری از لایه جذب تنش به عنوان لایه میانی روکش،
۶. بکارگیری لایه پارچه‌گونه[1] به عنوان لایه میانی روکش.

استفاده از روش (۱) در مواقعی پیشنهاد می‌شود که ضخامت روکش، در نقش لایه تقلیل‌دهنده ترک انعکاسی، کمتر از ۲۳۰ میلی‌متر است. معمولاً وقتی که ضخامت روکش به ۲۰۰ تا ۲۳۰ میلی‌متر می‌رسد، استفاده از روش‌های بعد توصیه می‌شود. از آنجایی که در رابطه با روش‌های (۵) و (۶) مدارک علمی و فنی کافی وجود ندارد، به عنوان گزینه‌های تحقیقاتی مطرح می‌گردند. لذا روش‌های طراحی که به تعیین ضخامت لایه آسفالتی می‌پردازند، بر اساس بکارگیری روش‌های (۲)، (۳) و (۴) تنظیم شده‌اند.

۵- روش‌های طراحی

تا سال ۱۹۶۰، روش‌های طراحی مختلفی توسط افراد و شرکت‌های گوناگون برای تعیین ضخامت روکش آسفالتی پیشنهاد شد که همه بر پایه تجربه و

[1] Geotextile

Copyright © 2003-2006 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

قضاوت مهندسی استوار بودند. از سال ۱۹۶۰، استفاده از آزمایش غیرمخرب افت روسازی باعث شد تا روش‌هایی منطقی‌تر و بر مبنای اندازه‌گیری تغییرمکان‌ها و بررسی موقعیت روسازی مورد توجه قرار بگیرد. سه روش کلی طراحی برای تعیین ضخامت روکش آسفالتی متصور است: روش ضخامت مؤثر، روش تغییرشکل و روش مکانیستیک/ تجربی.

اصل اولیه روش ضخامت مؤثر این است که ضخامت مورد نظر عبارت است از تفاوت بین ضخامت مورد نیاز برای یک روسازی جدید و ضخامت مؤثر روسازی موجود. همچنین در این روش فرض بر این است که هر چه از عمر روسازی می‌گذرد و خرابی‌هایی در آن به وجود می‌آید، ضخامت مؤثر روسازی نیز کمتر و کمتر می‌گردد. به دلیل اینکه ضخامت مؤثر در این روش بر پایه نوع، موقعیت و ضخامت هر لایه استوار است، این روش به روش آنالیز اجزا نیز معروف گردیده است. این روش توسط انیستیتو آسفالت[1] (AI) و آشتو[2] (AASHTO) برای طرح روکش آسفالتی بر روی روسازی بتنی به کار برده شده است.

روش تغییرشکل بر پایه ارتباط تجربی میان میزان افت روسازی و ضخامت روکش استوار است. در این روش فرض بر این است که تغییرشکل‌های بزرگ در سطح رویه نشان‌دهنده ضعف روسازی و بستر می‌باشند، و بنابراین به روکش ضخیم‌تری نیاز است. روکش باید آنقدر ضخیم باشد که میزان افت و تغییرشکل روسازی را در حد مطلوب کنترل نماید. این روش توسط انیستیتو آسفالت (۱۹۶۳)، مرکز تحقیقات راه و ترابری بریتانیا (۱۹۷۸)، انجمن ترابری کالیفرنیا (۱۹۷۹) و انجمن راه و ترابری کانادا (۱۹۹۷) به کار برده شده است.

در روش مکانیستیک/ تجربی، طرح روسازی جدید بر اساس محاسبه تنش، کرنش و تغییرشکل روسازی با استفاده از روش‌های مکانیستیک صورت می‌گیرد و پیش‌بینی نتایج خرابی نیز به وسیله معیارهای شکست تجربی انجام می‌پذیرد. برای طرح روکش‌های انعطاف‌پذیر، معیارهای طراحی ترک‌های خستگی[3] و تغییرشکل دائمی رویه[4] می‌باشد. در حالی که برای طرح روکش‌های بتنی روی لایه آسفالتی، ترک‌های خستگی تنها معیار طراحی می‌باشد. البته پدیده فرسایش[5] نیز یکی دیگر از معیارهای طراحی روسازی‌های بتنی است؛ اما از آنجا که در نظر گرفتن این معیار موجب افزایش ضخامت و غیراقتصادی شدن روکش می‌گردد، در طرح روکش بتنی بر روی لایه آسفالتی مورد توجه قرار نمی‌گیرد. دو نکته دیگر در به کارگیری این روش حائز اهمیت است. اولین نکته اینکه قبل از طرح روکش بدین روش، بایستی میزان باقی مانده از عمر خستگی روسازی اولیه بررسی شود. اگر عمر خستگی روسازی موجود به پایان رسیده باشد، به هنگام مدل‌سازی، روکش جدید به عنوان لایه دوم در سیستم دو لایه‌ای در نظر گرفته شده و برای مدول عکس‌العمل لایه اول نیز از مدول عکس‌العمل خاک بستر استفاده می‌شود. نکته مهم دوم به ترک‌ها و درزهای موجود در روسازی بتنی موجود باز می‌گردد. تجزیه و تحلیل روکش آسفالتی به صورت مکانیستیک، به دلیل برخورد با دو نوع مصالح مختلف، مشکل و پیچیده است. از نظر تئوری می‌توان با استفاده از برنامه‌های مربوط به تحلیل صفحات در روش اجزاء محدود مدل‌سازی را انجام داد. بدین صورت که لایه آسفالتی به عنوان لایه رویه و لایه بتنی به عنوان لایه زیرین مدل شوند؛ اما از آنجا که درزها و ترک‌هایی در لایه بتنی موجود می‌باشند، مدل کردن لایه زیرین سیستم روسازی دو لایه‌ای با مشکل مواجه می‌شود. برای حل این مشکل می‌توان در صورت در اختیار داشتن ضرایب اصلاح شده بارگذاری گوشه و لبه دال، با استفاده از روش‌های تحلیل لایه‌های الاستیک به تحلیل سیستم روسازی پرداخت. برای دسترسی به این ضرایب به مرجع [۷] مراجعه کنید.

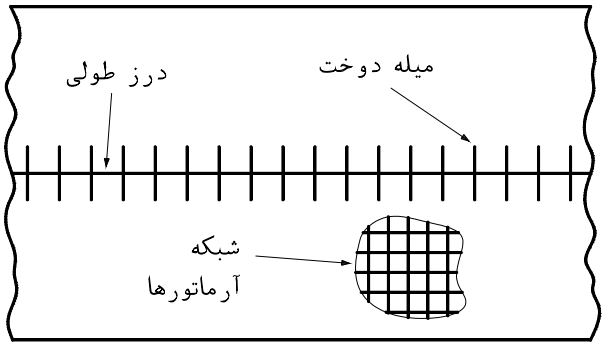
برای آشنایی بیشتر با نحوه مدل‌سازی و طراحی به روش مکانیستیک/ تجربی، به یک تحقیق در زمینه طرح روسازی مرکب با اساس بتنی مسلح پیوسته و روکش سطحی آسفالتی پرداخته می‌شود. پس از انجام این تحقیق، چندین جدول و یکسری نمودار برای تعیین ضخامت لایه آسفالتی به دست آمدند که برای رعایت اختصار فقط روند تحقیق و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفته و از آوردن نمودارها و جداول طراحی خودداری گردیده است. برای مشاهده نمودارها و جداول طراحی به مرجع [۳] و [۴] مراجعه نمایید.

۶- پروژه طرح روسازی مرکب با اساس بتنی مسلح پیوسته و روکش سطحی آسفالتی

در این پژوهش، روسازی مرکبی شامل یک لایه سطحی آسفالت[6] (ASC) روی اساس بتنی مسلح پیوسته[7] (CRCB) از لحاظ رفتار مورد بررسی‌های تجربی و با استفاده از روش‌های مکانیستیک مورد مطالعه تحلیلی قرار گرفته است. CRCB علاوه بر اینکه دارای ظرفیت باربری بالا و دوام خوبی است، به علت مسلح بودن دارای ترک‌های باریک با فاصله‌های کم بوده و از آنجا که به صورت پیوسته اجرا می‌گردد، فاقد درز می‌باشد (شکل (۲)). لذا مشکل مدل کردن ترک‌های عمیق و درزها که در روسازی‌های بتنی غیرمسلح و درزدار مطرح می‌باشند، را نداشته و از طرف دیگر مسأله بروز و گسترش ترک‌های انعکاسی به دلیل موئی بودن ترک‌ها منتفی است.

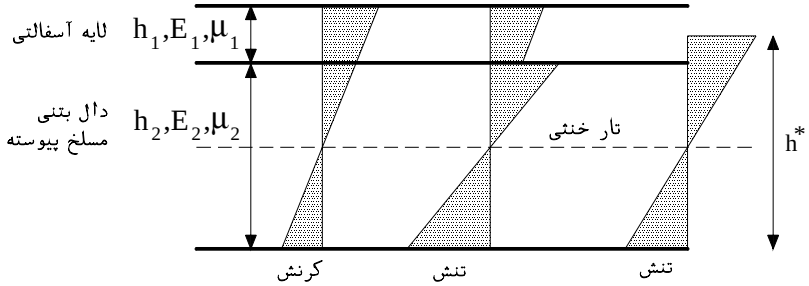
[1] Asphalt Institute
[2] American Association of State Highway and Transportation Officials
[3] Fatigue cracking
[4] Rutting
[5] Erosion
[6] Asphalt Surface Course
[7] Continues Reinforced Concrete Base

Copyright © 2003-2006 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.



شکل ۲- طرح شماتیک روسازی بتنی مسلح پیوسته

مفهوم اصلی و پایه‌ای این طرح بدین صورت در نظر گرفته شد که ظرفیت پایداری روسازی و تحمل بار ترافیک بر عهده CRCB بوده و وظیفه تأمین یک سطح با کیفیت نیز به عهده ASC می‌باشد. از آنجایی که ترک‌های خستگی در CRCB به عنوان معیار طراحی در نظر گرفته شده بودند، می‌بایست تنش‌های بارگذاری و حرارتی در CRCB به درستی تخمین زده شوند. به همین لحاظ از روش المان محدود[1] (FEM) برای تحلیل مکانیکی CRCB بهره‌برداری شد. در این مدل، CRCB به المان‌های صفحه‌ای مستطیلی و نیز المان‌های ترک، برای نشان دادن دال با ترک‌های عرضی روی پی وینکلر[2] تقسیم و بار انتقالی در ترک‌ها نیز توسط سه فنر الاستیک خطی (برشی، خمشی و کششی) در المان ترک مدل گردید. برای محاسبه تنش‌ها در سیستم دو لایه‌ای از تئوری صفحات مرکب استفاده شد. مطابق این تئوری، ASC می‌تواند به عنوان یک ضخامت اضافی برای CRCB تلقی شود (شکل (۳)).



شکل ۳- نمودارهای تنش و کرنش در مدل صفحات مرکب

در این تئوری، ضخامت معادل از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$h^* = \frac{\alpha + 2\beta + \beta^2}{\alpha + \beta} h_2 \qquad (۱)$$

$$\alpha = \frac{E_2 (1-\mu_1^2)}{E_1 (1-\mu_2^2)} \qquad (۲)$$

$$\beta = \frac{h_1}{h_2} \qquad (۳)$$

که در روابط فوق، h، E و μ به ترتیب ضخامت، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون لایه‌های آسفالتی و بتنی می‌باشند. با به دست آمدن ضخامت معادل برای سیستم دو لایه‌ای مقادیر تنش در CRCB قابل محاسبه هستند. پس از مدل‌سازی روسازی مرکب، نکته مهم یافتن ثابت فنر برای بار انتقالی در ترک‌های عرضیِ باریکِ بخش CRCB است که با استفاده از روش المان محدود محاسبه شده و با نتایج تجربی مقادیر ثابت فنر که قبلاً از آنالیز اطلاعات تجربی به دست آمده‌اند، مقایسه می‌شوند. این مقادیر با باز شدن ترک‌ها و تغییر درجه حرارت تغییر می‌کنند. لذا وارد کردن این تغییرات در روند طراحی باعث پیچیده‌تر شدن موضوع می‌گردد.

وجود ASC تأثیراتی روی سیستم خواهد داشت. یکی از این تأثیرات کاهش میزان تنش در CRCB و تأثیر دیگر کاهش گرادیان حرارتی روی CRCB می‌باشند که تأثیر اول با استفاده از مفهوم ضخامت معادل و بر پایه تئوری صفحات مرکب توجیه می‌شود. اثرات حرارتی نیز با آزمایش روسازی در آزمایشگاه قابل مشاهده است. در نهایت، جمع آثار مکانیکی و حرارتی روی این بخش، به صورت مقادیر پارامتریک بر روی معیار خستگی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

از دست‌آوردهای این پژوهش، نمودارهایی برای نشان دادن میزان تأثیر مدول لایه آسفالتی روی نسبت تنش و نسبت تغییرشکل روسازی مرکب تحت بارگذاری داخلی و بارگذاری لبه به دست آمدند که نشان‌دهنده کاهش نسبت تنش و نسبت تغییرشکل در مقابل افزایش مدول الاستیسیته لایه آسفالتی بودند. همچنین نمودارهایی برای تعیین تابع توزیع دما در CRCB در مقابل گرادیان حرارتی، قبل و بعد از اجرای روکش آسفالتی حاصل گردیدند. این نمودارها اثر مثبت روکش

[1] Finite Element Method
[2] Winkler Foundation

Copyright © 2003-2006 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.

آسفالتی در کاهش دمای CRCB را مشخص کردند. از دیگر نتایج این پژوهش جداولی هستند که برای تخمین دمای نقاط مختلف CRCB در مقابل تغییر درجه حرارت محیط و با توجه به نوع روکش آسفالتی به کار می‌روند.

۷- نتیجه‌گیری

در طول عمر بهره‌برداری رویه‌های بتنی به منظور تأمین پارامترهای سطح روسازی و ارتقای کیفیت آن، اصلاح سطح روسازی ضرورت دارد. با بررسی مکانیستیک/ تجربی تأثیر روکش سطحی آسفالتی روی اساس‌های بتنی مسلح پیوسته نتایج زیر حاصل گردیدند:

۱. نتایج تحلیل سیستم دو لایه‌ای با استفاده از تئوری صفحات مرکب نشان دادند که اجرای روکش آسفالتی موجب کاهش تنش‌های ناشی از بارگذاری روی اساس بتنی مسلح پیوسته می‌گردد.

۲. نتایج تجربی و بررسی‌های آزمایشگاهی گویای اثر روکش آسفالتی در کاهش مقدار گرادیان حرارتی می‌باشند که نتیجه بلافصل آن به صورت کاهش تنش‌های حرارتی در اساس بتنی مسلح پیوسته نمایان می‌گردد.

۳. کاهش تنش‌های بارگذاری و حرارتی باعث کاهش تنش‌های خستگی در اساس بتنی مسلح پیوسته می‌شود. در اثر کاهش تنش‌های خستگی، عمر اساس بتنی مسلح پیوسته افزایش یافته و به دنبال آن دوره بهره‌برداری از سازه روسازی نیز افزایش خواهد یافت.

۴. با افزایش مدول الاستیسیته لایه آسفالتی کاهش نسبت تنش و نسبت تغییرشکل مشاهده گردیدند. بنابراین استفاده از رویه‌های با خصوصیات مکانیکی ارتقا یافته، علاوه بر افزایش کیفیت سطح روسازی، عمر بهره‌برداری بیشتری را در اختیار کاربران قرار می‌دهد.

مراجع

[1] AASHTO, 1998, "**Guide for Design of Pavement Structures**", Part II, Rigid Pavement Design and Rigid Pavement Joint Design, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D. C. 20001, USA.

[2] Asphalt Institute, 1993, "**Asphalt Overlay for Highway and Street Rehabilitation**", Manual Series No.17 (MS-17), Lexington, Kentucky, USA.

[3] Change, G., 1998, "**A Road Ride Ability Rating Experiment**", Ontario Ministry of Transportation and Communication, Ontario, Canada.

[4] Change, G., 1998, "**Measurement of Road Ride Ability**", Ontario Ministry of Transportation and Communication, Ontario, Canada.

[5] Huang, Y. H., 2003, "**Pavement Analysis and Design**", Chapter 13, Design of Overlay, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

[6] Smith, P., 1990, "**Past Performance of Composite Pavements**", Highway Research Board, Washington, D. C., USA.

[7] Treybig, H. J., McCullough, B. F., Smith, P. and Quintus, H. V., 1977. "**Overlay Design and Reflection Cracking Analysis for Rigid Pavements**", Federal Highway Administration, FHWA RD-77-76, Washington, D. C., USA.

Copyright © 2003-2006 Iran Civil Center, All rights reserved worldwide.