

بررسی عوامل موثر در ایجاد ترک بر روی آسفالت از طریق حرارت

محسن صالحی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱

چکیده

مخلوط آسفالت به طور گسترده ای به عنوان یکی از رایج ترین مواد مورد استفاده در ساخت و ساز روسازی در جهان مورد استفاده قرار می گیرد. ترک خوردگی یکی از مشکلات اصلی روسازی آسفالت است. ترک خوردگی یکی از چالش های عمده روسازی های آسفالتی است. مشکلات عمده ترک در روسازی آسفالت را می توان به ترک انعکاسی، ترک حرارتی و ترک خستگی طبقه بندی کرد. ترک خوردگی ناشی از خستگی میدانی به دلیل غلظت تنش کششی ایجاد شده توسط بارهای ترافیکی مکرر در دماهای متوسط ایجاد می شود. وجود ترک ها ناهمواری سطح را افزایش می دهد و در نتیجه کیفیت سواری را کاهش می دهد و خطر تصادفات رانندگی را افزایش می دهد. بدون نگهداری یا بازسازی به موقع و مناسب لایه آسفالت، ترک خوردگی منجر به تخریب شدید عملکرد و شکست زودرس روسازی ها می شود؛ بنابراین، برای اتخاذ تصمیم های معقول برای بازسازی، ارزیابی مقاومت در برابر ترک خوردگی در دمای متوسط مخلوط های آسفالتی موجود از روسازی های در حال خدمت مهم است.

واژگان کلیدی

مقاومت، ترک خوردگی، حرارت، لایه های مختلف آسفالت

۱. کارشناسی عمران- ترافیک شهری. (Email: nsjsghene@gmail.com)

مقدمه

با افزایش قابل توجه حجم ترافیک، نیاز فوری و حیاتی به مصالح آسفالتی با کارایی بالا و طولانی مدت برای اطمینان از دوام روسازی راه وجود دارد. این امر به ویژه مهم است زیرا خرابی روسازی نه تنها سطح سرویس دهی جاده را کاهش می دهد، بلکه خطرات جدی برای کاربران جاده ایجاد می کند و احتمال تصادفات را تا حد زیادی افزایش می دهد. روسازی های آسفالتی معمولاً به عنوان سازه های پیوسته و بدون اتصالات دوره ای ساخته می شوند که تجربه رانندگی راحت و روانی را در پی دارد. با این حال، آنها هنوز هم مستعد پیریشانی هستند، از جمله انواع مختلف ترک. ترک عرضی شکل قابل توجهی از دیسترس روسازی را در روسازی های انعطاف پذیر و صلب نشان می دهد. این نوع پیریشانی به دلیل عوامل متعددی از جمله انقباض سطحی آسفالت مخلوط داغ (HMA) در دماهای پایین، خستگی حرارتی در دماهای متوسط، ترک خوردگی بازتابنده ناشی از ترک های زیرین لایه HMA و بارگذاری مکرر رخ می دهد. ترک عرضی گسترده نه تنها اجازه می دهد تا رطوبت به لایه های پایه و زیربنا نفوذ کند، بلکه کیفیت کلی سواری روسازی را نیز به خطر می اندازد.

ترک خوردگی در دمای پایین که به عنوان ترک حرارتی نیز شناخته می شود، یک مسئله مهم در روسازی های آسفالتی به ویژه در مناطقی با دماهای پایین یا نوسانات دمایی قابل توجه است. این نوع ترک خوردگی به دلیل تغییر حجم در لایه بتن آسفالتی رخ می دهد. هنگامی که دمای روسازی کاهش می یابد، حجم منقبض می شود و منجر به تجمع تنش های حرارتی می شود. این تنش ها به تدریج افزایش می یابد تا زمانی که از حد مقاومت مواد آسفالت فراتر رود و در نتیجه ترک هایی ایجاد شود. سطح روسازی که کمترین دمای کلی و بالاترین نوسانات دما را تجربه می کند، تمایل به ایجاد تنش های بیشتری دارد. تنش کششی ناشی از کاهش دما افزایش می یابد و به نقطه ای می رسد که از حد ترک خوردگی فراتر می رود، مانند استحکام کششی مخلوط آسفالت. در دماهای بسیار سرد یا با سرعت خنک سازی سریع، ترک های حرارتی می توانند در طول یک یا چند سیکل خنک کننده در تمام عمق لایه آسفالت منتشر شوند. این معمولاً به عنوان ترک تک رویدادی در دمای پایین نامیده می شود. در دماهای ملایم تر یا سرعت خنک شدن کندتر، ترک ها از طریق تجمع آسیب با سرعت کمتری پیشرفت می کنند. در نتیجه، ترک های عمیق تنها پس از چندین چرخه حرارتی رخ می دهند که به عنوان ترک ناشی از خستگی حرارتی شناخته می شود.

عوامل مختلفی بر مقاومت در برابر ترک های حرارتی تأثیر می گذارند، از جمله ساختار روسازی، مانند ضخامت لایه آسفالت و خواص مواد مانند سختی، انقباض و استحکام وابسته به دما. شرایط محیطی مانند دمای روسازی و سرعت خنک شدن نیز نقش مهمی دارند. خواص مخلوط آسفالتی، از جمله سختی، انقباض و استحکام آن، نقش مهمی در مقاومت روسازی در برابر ترک های حرارتی دارد.

ترک خوردگی خستگی حرارتی بتن آسفالتی از اواسط دهه هفتاد تحت مشاهده بوده است. دلیل اصلی ایجاد ترک های عرضی شدید در غرب تگزاس به ترک خوردگی خستگی حرارتی نسبت داده شد. برای مشاهده عوامل موثر بر این

پدیده می توان سیکل های حرارتی را بر روی نمونه های بتن آسفالتی در آزمایشگاه اعمال کرد. با این حال، به دلیل رسانایی حرارتی پایین آسفالت، این فرآیند زمان آزمایش طولانی و هزینه های آزمایشی بالایی را می طلبد. روش دیگر در نظر گرفتن خستگی حرارتی در طراحی روسازی، استفاده از مدل های عددی برای تخمین سری زمانی دما و محاسبه کرنش های ناشی از حرارت است. همچنین اعتقاد بر این است که ترک خوردگی خستگی حرارتی در بتن آسفالتی به جای اینکه صرفاً توسط فرکانس چرخه های حرارتی کنترل شود، تحت تأثیر سطوح کرنش/تنش چرخه ای بالا در روسازی های انعطاف پذیر است. خستگی حرارتی در روسازی های انعطاف پذیر تحت فرکانس های بارگذاری بسیار پایین رخ می دهد. با این وجود، شبیه سازی مکانیکی این پدیده در آزمایشگاه در فرکانس های نسبتاً بالاتر امکان پذیر است.

ترک خوردگی حرارتی و دوام

ترک خوردگی حرارتی و دوام در روسازی های آسفالتی یک مکانیسم تخریب عمده برای روسازی های بتن آسفالتی (AC) در مناطقی است که به ویژه دما و بارندگی شدید را تجربه می کنند. دوام مخلوط آسفالت به عنوان توانایی بتن آسفالت فشرده برای حفظ یکپارچگی ساختاری خود در طول عمر مورد انتظار خود در صورت قرار گرفتن در معرض اثرات مخرب محیط زیست و بار ترافیکی تعریف می شود. با توجه به مکانیسم های محیطی پیچیده همراه با ویژگی های بدتر AC روی سطح روسازی در طول عمر مفید، شناسایی آزمایشگاهی و بهینه سازی روسازی های آسفالتی در برابر ترک خوردگی حرارتی و دوام یک چالش بزرگ است. با وجود مدل های مکانیکی-تجربی برای ترک حرارتی، علل ریشه ای و مکانیسم های زوال خستگی حرارتی به خوبی شناخته نشده است. در این مطالعه، ما یک نمونه مطالعه موردی از ترک های حرارتی و دوام که به طور گسترده در جنوب غربی ایالات متحده مشاهده شده اند، ایجاد می کنیم. عوامل مهم و علل ریشه ای مؤثر بر وقوع ترک های دوام حرارتی با استفاده از داده های گردآوری شده از تحقیقات پزشکی قانونی سایت ها، خصوصیات هسته میدانی و ارزیابی مکانیکی سازه های روسازی انعطاف پذیر معمولی ارائه شده اند.

علت اصلی ترک حرارتی گسترده

ترک های حرارتی گسترده معمولاً در روسازی های بتن آسفالتی (AC) در بزرگراه های ایالتی و شهرستانی، خیابان های مسکونی شهری و پارکینگ ها در مناطق آب و هوایی جنوب غربی مشاهده می شوند. این ترک ها که به عنوان ترک های حرارتی عرضی طبقه بندی می شوند، می توانند به شدت تخریب شوند و به عرض های ۲ تا ۱۰ اینچ افزایش یابند. نگهداری بخش های روسازی با این ترک ها چالش برانگیز و پرهزینه است. تغییرات قابل توجه دمای روزانه و عدم وجود رویدادهای سرما در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که ترک خوردگی ناشی از خستگی حرارتی احتمالاً مکانیسم غالبی است که باعث شروع ترک های حرارتی گسترده می شود. علیرغم اهمیت و رخداد های گسترده، اطلاعات کمی در مورد علل ریشه ای این ترک ها وجود دارد. ارزیابی علل ریشه ای ترک های حرارتی گسترده در اقلیم منحصربه فرد جنوب غربی و توسعه استراتژی های طراحی، مواد و نگهداری موثر برای کاهش این مشکل ضروری است.

ترک خوردن حرارتی آسفالت

ترک های آسفالت، ترک هایی که از سرمای زیاد ناشی می شود به عنوان ترک های دمای پایین شناخته می شود در حالی که ترک هایی که در اثر سیکل های دمایی توسعه یافته اند به عنوان ترک خوردن خستگی دمایی شناخته می شوند. ترک خوردن دمایی هنگامی اتفاق خواهد افتاد که قیر بیش از حد سخت می شود که بتواند در برابر فشار وارد شده دمایی مقاومت کند و این مربوط به ضریب گسترش دمایی و مشخصات relaxation مخلوط است. هر دو این ویژگی ها مربوط به طبیعت قیر است و خطر ترک خوردن دمایی با افزایش عمر جاده افزایش می یابد که مربوط به سخت شدن بایندر در اثر اکسیداسیون یا سخت شدن فیزیکی وابسته به زمان است.

ضریب گسترش دمایی قیر از نظر مقدار یک درجه بزرگ تر از آن چیزی است که برای سنگ دانه ها در مخلوط وجود دارد. یک تخمین سخت برای ضریب گسترش دمایی مخلوط می تواند به وسیله معادله زیر مشخص شود.

$$a_m = \frac{a_b v_b + a_a v_a}{v_b + v_a} \quad \text{ضریب گسترش آسفالت}$$

که ضریب گسترش مخلوط، نسبت قیر بر حسب حجم، نسبت سنگ دانه بر حسب حجم، ضریب گسترش دمایی قیر و ضریب گسترش دمایی سنگ دانه است. ضریب گسترش حجمی قیر تقریباً $10 \times 6 \times 10^{-4}$ بر درجه سانتی گراد است. معمولاً ضریب خطی گسترش دمایی یک مخلوط آسفالت بین 2 و 3×10^{-5} بر درجه سانتی گراد است.

دو مکانیسم مختلف ترک خوردگی دمایی ممکن است اتفاق بیفتد. در دمای پایین جاده، ترک های عرضی می توانند به سرعت ظاهر شوند که در تمام عمق جاده ادامه پیدا می کنند. به طور کلی دمای جاده باید به کمتر از حدود منفی سی درجه سانتی گراد برسد تا این شکل از ترک خوردن ایجاد شود. بر اساس موارد ثبت شده، ترک خوردن دمای پایین در انگلستان به ندرت اتفاق می افتد.

برای شرایط خفیف تر، ترک ها ممکن است با سرعت کمتری گسترش یابند و چندین فصل طول می کشد تا در لایه های آسفالت انتشار یابد. این نوع از ترک خوردن در سطح شروع می شود و نسبتاً آهسته با هر سیکل دمایی انتشار می یابد. این نوع ترک خوردن به طور کلی به نام ترک خوردن خستگی دمایی شناخته می شود.

مکانیسم کلی مسئول این دو شکل از ترک خوردن را می توان مشابه در نظر گرفت، تفاوت اصلی به شرح زیر است:

الف) ترک خوردن دمای پایین یک پدیده تک رویداد است که در نتیجه آن تمام عمق آسفالت تحت شرایطی که relaxation فشار نمی تواند اتفاق بیافتد وارد یک تنش حرارتی می شود.

ب) ترک خوردن خستگی دمایی بیشتر به خواص لایه سطح مواد بستگی دارد و ترک ها قبل از اینکه لایه های زیری را تحت تأثیر قرار دهند اول باید در سطح ایجاد شوند و در لایه سطح انتشار یابند.

مکانیسم آسیب رطوبت

اگرچه عوامل متعددی به طور همزمان رخ می دهند که باعث ضد لکه گیری می شوند، اما همه محققان به این اتفاق نظر رسیده اند که عامل اصلی ایجاد کننده این پدیده آب است. برای ارزیابی دقیق مکانیسم های آسیب ناشی از رطوبت، شناسایی منابع و مسیرهای ورود و خروج آن در سیستم روسازی ضروری است. رطوبت به روش های مختلف از طریق سازه روسازی وارد می شود. ضد استریپینگ پدیده ای پیچیده است که تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می گیرد و برخی از این عوامل شناخته شده نیستند، اما برخی از آنها مانند فشار منفذی، جداشدگی، جابجایی، امولسیون و شرایط محیطی به عنوان مکانیسم های این پدیده پذیرفته شده اند.

ترک های حرارتی می تواند باعث زوال قابل توجهی در عملکرد ساختاری و عملکردی روسازی های بتنی آسفالتی شود. تنش حرارتی ایجاد شده در بتن آسفالتی به ویژگی های تغییر حجم مخلوط نسبت داده می شود که با رفتار انقباض/انبساط حرارتی آن تعریف می شود. اختلاف دما به دلیل محدودیت ناشی از اصطکاک بین لایه بتن آسفالت و لایه زیرین آن، تنش های حرارتی ایجاد می کند. تنش های حرارتی ایجاد می شود و در نهایت باعث ایجاد ترک از بالا به پایین در مسیر سطح می شود. ترک های موجود در مسیر سطحی، در صورت عدم بازسازی، می تواند منجر به مشکلات ساختاری شدید و کاهش کیفیت خدمات راه ها شود. ترک های ناشی از حرارت به دلیل تأثیر قابل توجهی که بر عملکرد روسازی دارند، توجه بسیاری از مهندسان روسازی را در دهه های گذشته به خود جلب کرده اند. ترک حرارتی خود را به دو صورت نشان می دهد: ترک ناشی از خستگی حرارتی و ترک در دمای پایین. اولی نتیجه تغییرات حرارتی چرخه ای در روسازی است و دومی می تواند ناشی از یک افت دمای هوا باشد که به اندازه کافی پایین است تا تنش های حرارتی بیش از مقاومت کششی بتن آسفالتی ایجاد کند. در هر صورت، ضریب حرارتی بتن آسفالتی را می توان برای تخمین تغییر حجم کل مسیر سطح تحت اختلاف دما و در نتیجه تنش های حرارتی ایجاد شده استفاده کرد.

بحث و نتیجه گیری

ترک خوردگی حرارتی یکی از چالش برانگیزترین مشکلات پیش بینی و کاهش در روسازی های ساخته شده در مناطق سردسیر است. جامعه پژوهش پس از بیش از ۴۰ سال تحقیق گسترده به درک قابل توجهی از مکانیسم ها و عوامل موثر بر این ناراحتی دست یافته است. مشخصات فعلی و روش های آزمایشی که برای انتخاب مواد استفاده می شود، نقطه شروع خوبی برای به حداقل رساندن این پیریشانی است. با این حال، عوامل و خصوصیات مهمی وجود دارد که در مشخصات فعلی به آنها اشاره نشده است که اگر در نظر گرفته شود می تواند عملکرد روسازی آسفالت را تا بارگذاری حرارتی بهبود بخشد. استفاده از آسفالت مخلوط گرم به دلیل تراکم و اختلاط در دمای بالا باعث افزایش میزان انرژی و سوخت مصرفی شده و با انتشار آلاینده ها و گازهای سمی محیط زیست را به خطر می اندازد. با افزایش آلودگی محیط زیست، افزایش قیمت سوخت و انرژی، گرایش به استفاده از فناوری آسفالت WMA بیش از پیش در سراسر جهان پذیرفته شده است. WMA در مقایسه با مخلوط های آسفالتی معمولی مزایا و معایب متفاوتی دارد. مزیت اصلی این

فناوری جدید کاهش دمای تولید آسفالت به میزان ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد است و این کاهش دما به عنوان روشی موثر برای کاهش آلودگی هوا محسوب می شود. ملاحظات زیست محیطی، پیری کمتر، مصرف انرژی کمتر و افزایش زمان اجرا در طول سال از مزایای این نوع مخلوط آسفالتی است. از سوی دیگر هزینه افزودنی های ویژه، هزینه تصفیه، تجهیز کارخانه های آسفالت و ضعف روسازی در برابر آسیب رطوبتی از معایب آن است. حساسیت مخلوط آسفالتی به رطوبت یکی از دغدغه های اصلی فناوری WMA است که در نتیجه از بین رفتن پیوند بین قیر و سنگدانه یا شکست ساختار قیر به وجود می آید. وجود رطوبت در لایه روسازی به دلیل از بین رفتن پیوند بین قیر و سنگدانه و در حین بارگذاری تردد، سازه آسفالت پاره می شود و در خرابی هایی مانند شیار و کندگی رخ می دهد.

منابع

- Alkuime, H.; Tousif, F.; Kassem, E.; Bayomy, F. Review and evaluation of intermediate temperature monotonic cracking performance assessment testing standards and indicators for asphalt mixes. *Constr. Build. Mater.* 2020,263, 120121.
- Batioja-Alvarez, D.; Lee, J.; Haddock, J.E. Understanding the Illinois Flexibility Index Test (I-FIT) using Indiana Asphalt Mixtures. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 2019,2673, 036119811984128.
- Biligiri, K.P.; Said, S.; Hakim, H.J. Asphalt mixtures' crack propagation assessment using semi-circular bending tests. *Int. J. Pavement Res. Technol.* 2012,5, 209–217.
- Chen, X.; Solaimanian, M.J. Simple Indexes to Identify Fatigue Performance of Asphalt Concrete. *J. Test. Eval.* 2020,48, 3999–4015.
- Du, H.; Ni, F.; Ma, X. Crack Resistance Evaluation for In-Service Asphalt Pavements by Using SCB Tests of Layer-Core Samples. *J. Mater. Civ. Eng.* 2021,33, 04020418.
- Du, H.; Ni, F.; Zhao, Y. Characterization of the Influence Factors of Low-Temperature Fracture Properties for Serving Asphalt Pavements Using Layer Core Samples. *J. Transp. Eng. Part B-Pavements* 2021,147, 04021016.
- Jiang, J.; Dong, Q.; Ni, F.; Zhao, Y.J. Effects of Loading Rate and Temperature on Cracking Resistance Characteristics of Asphalt Mixtures Using Nonnotched Semicircular Bending Tests. *J. Test. Eval.* 2019,47, 4.
- Kaseer, F.; Yin, F. Development of an index to evaluate the cracking potential of asphalt mixtures using the semi-circular bending test. *Constr. Build. Mater.* 2018,167, 286–298.
- Kim, S.S.; Yang, J.J.; Etheridge, R.A. Effects of mix design variables on flexibility index of asphalt concrete mixtures. *Int. J. Pavement Eng.* 2020,21, 1275–1280.
- Majidifard, H.; Jahangiri, B.; Rath, P.; Buttlar, W.G. Development of a Balanced Cracking Index for Asphalt Mixtures Tested in Semi-Circular Bending with Load-LLD. *Measurement* 2020,173.
- Molenaar, J.M.M. Performance Related Characterisation of the Mechanical Behavior of Asphalt Mixtures. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2003.
- Ozer, H.; Al-Qadi, I.L.; Singhvi, P.; Khan, T.; Rivera-Perez, J.; El-Khatib, A. Fracture Characterization of Asphalt Mixtures with High Recycled Content Using Illinois Semicircular

- Bending Test Method and Flexibility Index. Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board 2016,2575, 130–137.
- Sreedhar, S.; Coleri, E. The effect of long-term aging on fatigue cracking resistance of asphalt mixtures. Int. J. Pavement Eng. 2020,23, 308–320.
- Sreedhar, S.; Coleri, E.; Haddadi, S.S. Selection of a Performance Test to Assess the Cracking Resistance of Asphalt Concrete Materials. Constr. Build. Mater. 2018,179, 285–293.
- Yan, C.; Zhang, Y.; Bahia, H.U. Comparison between SCB-IFIT, un-notched SCB-IFIT and IDEAL-CT for measuring cracking resistance of asphalt mixtures. Constr. Build. Mater. 2020,252, 119060.
- Yuan, F.; Cheng, L.; Shao, X.; Dong, Z.; He, X.J. Full-field Measurement and Fracture and Fatigue Characterizations of Asphalt Concrete based on the SCB Test and Stereo-DIC. Eng. Fract. Mech. 2020,235, 107127.
- Zhao, Z.; Jiang, J.; Ni, F. Factors Affecting the Rutting Resistance of Asphalt Pavement Based on the Field Cores Using Multi- Sequenced Repeated Loading Test. Constr. Build. Mater. 2020,253, 118902.
- Zhou, F.; Im, S.; Sun, L.; Scullion, T. Development of an IDEAL Cracking Test for Asphalt Mix Design and QC/QA. Road Mater. Pavement Des. 2017,18, 405–427.
- Zhou, Z.; Gu, X.; Ni, F.; Li, Q.; Ma, X. Cracking Resistance Characterization of Asphalt Concrete Containing Reclaimed Asphalt Pavement at Intermediate Temperatures. Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board 2017,2633, 46–57.

Investigation of factors affecting cracking of asphalt through heat

Mohsen Salehi¹

Abstract

Asphalt mixture is widely used as one of the most common materials used in pavement construction in the world. Cracking is one of the main problems of asphalt pavement. Cracking is one of the major challenges of asphalt pavements. The major cracking problems in asphalt pavement can be classified into reflective cracking, thermal cracking and fatigue cracking. Field fatigue cracking is caused by tensile stress concentration caused by repeated traffic loads at moderate temperatures. The presence of cracks increases the surface roughness, thereby reducing ride quality and increasing the risk of traffic accidents. Without timely and appropriate maintenance or rehabilitation of the asphalt layer, cracking leads to severe degradation of performance and premature failure of pavements. Therefore, to make reasonable rehabilitation decisions, it is important to evaluate the resistance to cracking at medium temperatures of existing asphalt mixtures from in-service pavements.

Keywords

resistance, cracking, heat, different asphalt layers

¹ Bachelor of Civil Engineering - Urban Traffic. (Email:nsjsghene@gmail.com)