

ارزیابی عددی خرابی روسازی‌های آسفالتی ناشی از درزهای طولی و عرضی با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود Abaqus

مقاله علمی-پژوهشی

مرتضی اویسی فر^{*}، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند، بیرجند، ایران

^{*}پست الکترونیکی نویسنده مسئول: lipar1081@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵

صفحه ۵۰۰-۴۹۱

چکیده

روسازی راه در نتیجه عواملی از قبیل بارگذاری ترافیکی، دما، رطوبت، جابجایی خاک بستر و... در معرض تنش‌های مختلفی قرار دارد که خرابی‌های کوچکی را به روسازی وارد می‌سازند که می‌توانند منجر به خرابی‌های بزرگتری و باعث مشکلاتی از قبیل کاهش سرعت، کاهش ایمنی، خرابی وسیله نقلیه و کاهش سطح سرویس شوند. در این تحقیق به منظور بررسی زاویه برشی درزهای طولی و عرضی دو لایه آسفالتی مجاور هم، از نمونه آسفالتی آزمایشگاهی استفاده شده است. هندسه مدل روسازی شامل لایه آسفالتی با مقطع دایره‌ای به عمق ۴۰ میلی‌متر و همچنین دو صفحه بارگذاری به طول ۱۲/۷ میلی‌متر که در بالا و پایین مدل نصب شده‌اند. همچنین تحلیل شبیه‌سازی زاویه درزها از نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS برای مدل‌سازی و تحلیل ۱۰ مدل عددی استفاده شده است. مطابق نتایج در درزهای عرضی با افزایش زاویه درز تنش‌های قائم و برشی در محل درز کاهش می‌یابد به طوری که کاهش تنش‌های برشی به نسبت کاهش تنش قائم محسوس‌تر می‌باشد. با توجه به بررسی نیروهای داخلی در محل درزهای عرضی مشاهده گردید که با افزایش زاویه درز عرضی تا ۴۵ درجه کاهش تنش‌های قائم و برشی شدید می‌باشد ولی از زاویه ۴۵ تا ۹۰ درجه این تغییر با روند نزولی همراه است؛ از این رو زاویه برشی ۴۵ درجه عملکرد بهتری در بارگذاری رویه‌های آسفالتی از خود نشان داده است. همچنین در درزهای طولی همانند درزهای عرضی با افزایش زاویه درز، تنش‌های قائم و برشی در محل درز کاهش می‌یابد و زاویه برشی ۳۰ درجه عملکرد بهتری در بارگذاری رویه‌های آسفالتی از خود نشان داده است. براساس نتایج عددی در شرایط یکسان تنش برشی بیشتری در محل درزهای طولی به نسبت درزهای عرضی ایجاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: خرابی آسفالت، روسازی، درز طولی، درز عرضی، نرم افزار ABAQUS

۱- مقدمه

لایه می‌شود. فرسودگی روسازی‌ها، اکثراً خود را به شکل ترک لایه‌ها نشان می‌دهد. ترک خوردگی لایه روسازی‌ها بایستی مورد تعمیر قرار گیرد، زیرا خرابی لایه را افزایش داده و ممکن است به کاهش جدی عمر مفید منجر شود اگر ترک لایه‌ها آب بندی نشوند، نفوذ آب‌های سطحی می‌تواند قدرت لایه‌های زیرین را کاهش داده و منجر به ترک‌های عریض تر و ایجاد چاله‌ها شود از میان روش‌های متعدد برای تعمیر ترک‌ها در روسازی، آب بندی ترک‌ها دارای کارایی مناسب می‌باشد. علت اصلی ترک خوردگی در آسفالت تنش کششی ناشی از بارگذاری از وسایل نقلیه و همچنین تغییرات قابل توجه دما در فصل زمستان است.

امروزه هزینه ساخت روسازی بخش عمده ای از هزینه‌های ساخت راه‌ها را شامل می‌شود. برای بالا بردن دوره عملکرد روسازی‌ها و همچنین استفاده بهینه از سرمایه‌گذاری کلان در بخش راه‌ها استفاده از یک سیستم مدیریتی کار آمد به خصوص در بخش روسازی ضروری می‌باشد. یکی از انواع روش‌های مدیریت نگهداری روسازی‌ها، مدیریت پیشگیرانه می‌باشد. در اثر بارگذاری روسازی، لایه‌ها تغییر شکل داده و در آنها تنش‌های کششی و فشاری به وجود می‌آید. هر گاه شدت تنش‌های ایجاد شده در یک لایه روسازی از میزان استقامت مصالح آن لایه بیشتر گردد، موجب شکست و ترک خوردگی آن

تنش معادل دهانه ترک بزرگتر از نوک ترک است. بیشتر احتمال دارد که گسترش یابد و بیشتر در فرم ترکیبی II / III گسترش یابد. Sudyka و Krysiński در سال ۲۰۱۳ به پژوهشی تحت عنوان توانایی‌های GPR در شناخت و بازرسی در مورد ترک‌های عرضی کف خیابان با استفاده از فرکانس‌های مختلف به منظور جلوگیری از گسترش ترک‌ها پرداختند. این مقاله نتایج تحقیقات در مورد قابلیت‌های تکنولوژی GPR درون میدان را شرح می‌دهد. نتیجه اصلی این کار لیستی از نشانگرهای GPR ترک‌ها است که بر روی اکوگرام‌ها دیده شده بود با استفاده از یک همبستگی از ترک‌های مشاهده شده با اکوگرام‌های مربوطه، با دقت سنج ایجاد می‌شود. چندین نوع از پاسخ‌های GPR طبقه بندی شده و مرتبط با دسته‌های احتمالی ترک بودند. کارایی روش پیشنهادی برای شناسایی و مکانیزاسیون ترک‌های بالاتر زمانی است که مشاهدات GPR طولانی مدت انجام می‌شود. حیاتی و چاره جو در سال ۱۳۹۸ در پژوهشی به ارزیابی روسازی‌های بتنی درز دار و بتن غلتکی و بتن آسفالتی با در نظر گرفتن هزینه چرخه عمر در آزاد راه‌ها پرداختند. باتوجه به حجم عظیم عملیات عمرانی مربوط به راه سازی در آزاد راه‌های کشورمان در صورتیکه در طراحی روسازی و برآورد هزینه‌های پروژه نگرش مسئولین به سوی کاهش هزینه‌های اولیه، بدون در نظر گرفتن هزینه‌های فاز بهره‌برداری پروژه و چرخه عمر آن باشد، ممکن است گزینه ای از روسازی انتخاب گردد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد. به این مفهوم که انتخاب یک گزینه ممکن است به دلیل عدم تامین کیفیت و عمر بالاتر، هزینه اولیه کمتری را برای کارفرما به دنبال داشته باشد. اما در طول مدت عملکرد پروژه نیاز به عملیات نگهداری و تعمیر پی در پی، انسداد راه‌ها و هزینه‌های بیشتری را به کارفرما تحمیل کند، در این پژوهش در نظر است سه نوع روسازی آزاد راهی در قالب روسازی بتنی غیر مسلح درزدار و روسازی غلتکی با روسازی بتن آسفالتی مقایسه و ارزیابی گردند که لازمه آن بررسی تجربیات برخی کشورهای خارجی و جمع بندی اطلاعات موجود و انجام تحقیقات دیگر بود و در مجموع اینگونه نتیجه گرفته شده است که با در نظر گرفتن متغیرهای ترافیک و مقاومت بستر، عملاً روسازی‌های بتنی درزدار، هزینه چرخه عمر کمتر در حدود ۶۰ درصد نسبت به رویه آسفالتی دارند و رویه‌های گزینه مطلوب و قابل قبولی در ترافیک‌های سنگین آزاد راهی می‌باشند. زینالفام و منصوریان در سال ۱۳۹۷

بیشترین ترک‌ها به طور گسترده در فصل بهار و پاییز ظاهر و در زمستان باز می‌شوند. درزگیری ترک قبل از شروع بارش‌ها در پاییز به علت نفوذ رطوبت در لایه‌های آسفالت از طریق ترک در لایه سطحی و سپس در بستر خاک که باعث شتاب زوال زودرس کل ساختار راه می‌شود، اهمیت ویژه ای دارد. ترک خوردگی یکی از رایج ترین خرابی‌هایی است که در روسازی‌های آسفالتی با آن مواجه می‌شویم. این پدیده ممکن است بصورت ترکهای منفرد، چند تایی، عرضی، طولی، ترکهای بلوکی یا پوست سوسماری حادث شود. به منظور کاهش دادن نفوذ رطوبت، معمولاً ترک خوردگی‌های عرضی و طولی، توسط درزگیری ترکها با ماده‌ای قیری ترمیم می‌شوند. پدیده ترک خوردگی اجتناب ناپذیر بوده و بی‌توجهی به آن منجر به تسریع بیشتر خرابی در سطح رویه روسازی می‌گردد. تعمیر و نگهداری می‌تواند به افزایش دوام روسازی کمک نموده و سطح هموارتری را ایجاد نماید. درزگیری ترک در روسازی جاده یک روش معمول نگهداری است که می‌تواند از خرابی روکش جاده از طریق محدود کردن نفوذ آبهای سطحی در لایه‌های زیراساس و اساس جلوگیری کند. این عمل به نگهداری ظرفیت ساختاری روسازی کمک کرده و فرسایش روکش را در آینده محدود می‌کند. از این رو ضروری است تا به بررسی خرابی روسازی‌های آسفالتی ناشی از درزهای طولی و عرضی تحت بار ترافیک بپردازیم.

۲- پیشینه تحقیق

Riara و همکاران در سال ۲۰۱۸ به ارزیابی تجربی از ترمیم دراز مدت ترک در آسفالت مخلوط با استفاده از عوامل درمان دهنده پرداختند. نتایج آزمون نشان داد که بهبودی در مرحله اولیه (۰-۴ روز) سریعتر بود، در مرحله متوسط (۴-۶۰ روز) آهسته تر شد و در مرحله سوم (۶۰-۱۲۰ روز) سطح مسطح تشکیل شد. بهبودی در ۴ روز اول، بیشترین سهم را در بهبود نهایی داشت. Jianxi و همکاران در سال ۲۰۱۴ به پژوهشی تحت عنوان انتشار ترک‌های طولی کف خیابان تحت بارگیری غیر یکنواخت خودرو پرداختند. روش طراحی متعارف روش تجربی برای بحث در مورد قانون اثر خواص شکست برای ترک طولی تحت تاثیر پارامترهای بارگذاری متعدد قرار گرفته است. برای رفع خستگی طولی پیاده رو، فاصله طولی از بار تا دهان ترک تاثیر زیادی بر عامل شدت تنش معادل دارد. دامنه فاکتور شدت

درصدی از هزینه‌های تعمیرات خواهد شد. درزگیری ترک‌ها اگر با استفاده از روش‌های صحیح آماده‌سازی و نوع مناسب مواد درزگیر و شیوه علمی اجرایی آن انجام شود می‌تواند به عنوان جزئی جدایی‌ناپذیر از سیستم مدیریت روسازی راه در نگهداری روزمره و یا نگهداری پیشگیرانه برای ایجاد راه‌هایی با عملکرد بهتر و هزینه کمتر به شمار آید. لذا در این تحقیق از بین روش‌های نگهداری پیشگیرانه روش درزگیری ترک‌ها انتخاب شده و به طور کامل پارامترهای موثر در انتخاب روش و اجرای صحیح درزگیری آسفالت با استفاده از قیر پلیمری بر اساس توصیه استانداردهای کشورهای اروپایی به تفصیل بیان می‌شود. لارتنی و همکاران در سال ۱۳۹۵ در پژوهشی به بررسی مقایسه اقتصادی روسازی‌های آسفالتی و بتنی غیرمسلح درزدار مطالعه موردی: آزادراه کنارگذر جنوبی تهران - قطعه ۴ پرداختند. انتخاب نوع روسازی در پروژه‌های راهسازی فرآیندی بسیار پیچیده و با اهمیت است. هدف از این مطالعه، انتخاب نوع روسازی در قطعه چهارم آزادراه کنارگذر جنوبی تهران می‌باشد. انتخاب این قطعه از مسیر بدلیل در اختیار داشتن نتایج آزمایشگاهی و امکان تعیین مقاومت خاک بستر با دقت بالاتر است. جهت تحلیل، ابتدا ضخامت گزینه‌های مورد بررسی، تعیین و سپس آنالیز چرخه عمر بر مبنای فهرست بهای راه و باند و راهداری سال ۱۳۹۵ انجام شد. جهت تعیین هزینه‌های تعمیر و نگهداری مسیر، با توجه به اطلاعات محدود در کشور و نیز عدم وجود برنامه جامع تعمیر و نگهداری، عموماً درصدی از هزینه‌های اولیه ساخت در نظر گرفته می‌شود، در این مقاله برنامه مناسب تعمیر و نگهداری براساس طول عمر متوسط هر فعالیت و با اعمال ضریب اطمینان مناسب و با توجه تجربیات موجود طراحی گردید. همچنین علاوه بر این روش، از تحلیل هزینه- اثربخشی نیز استفاده شد تا میزان اثربخشی هزینه‌های انجام شده در هر گزینه بررسی شود. بدین منظور گراف عملکردی هر دو نوع روسازی به روش سیگنویید ترسیم و شاخص هزینه- اثربخشی گزینه‌ها با توجه به سطح زیر هر نمودار تعیین شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که اختلاف قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌های احداث اولیه دو گزینه وجود ندارد، در واقع اختلاف این دو گزینه حدود ۸٪ است. هزینه تعمیرات دو گزینه مورد بررسی قرار گرفت که روسازی بتنی حدود ۴۰٪ ارزاتر است. اما در بحث نگهداری، روسازی آسفالتی حدود ۳۰٪ ارزاتر است. شاخص اثربخشی هزینه‌های انجام شده که

در پژوهشی به تحلیل عددی عملکرد ناحیه انتقال بین روسازی بتنی ساده درزدار و روسازی آسفالتی پرداختند. ناحیه انتقال، دال بتنی است که بین دو نوع روسازی مختلف اجرا می‌شود. هدف از اجرای ناحیه انتقال، اطمینان از حرکت هموار بین دو نوع روسازی و کاهش مشکلات مربوط به عملکرد روسازی در سالهای پس از ساخت است. عدم اجرا یا اجرای نامناسب ناحیه انتقال، منجر به عملکرد ضعیف روسازی و نیاز فراوان به عملیات تعمیر و نگهداری روسازی می‌شود. از طرفی مدل‌های مختلفی برای طراحی ناحیه انتقال بین روسازی بتنی ساده درزدار و روسازی آسفالتی پیشنهاد شده است، که نبود معیار عملکردی مشخص برای انتخاب یکی از این مدل‌ها، می‌تواند دست‌اندرکاران حوزه اجرا را با ابهام روبرو کند. به همین در تحقیق حاضر چهار روش متداولی که برای ناحیه انتقال مابین روسازی آسفالتی و بتنی ساده درزدار وجود دارد بصورت عددی بررسی شده است. نتایج نشان دهنده این است که، با تغییر مشخصات ناحیه انتقال مقدار انتقال نشست و تنش به روسازی‌های طرفین نیز تغییر می‌کند. اما استفاده از پروفیل I شکل در محل درز ناحیه انتقال به روسازی بتنی عملکرد بهتری را نسبت به سایر حالات اتصال تامین می‌کند. سید محمودی و شهری در سال ۱۳۹۶ به ارزیابی و بررسی خرابی‌ها در روسازی آسفالتی راه‌ها و معابر شهری و مراحل اجرای فرآیند تعمیر و نگهداری از آن‌ها پرداختند. به عنوان راهکاری کوتاه مدت و کم هزینه، به راحتی می‌توان با نظارت صحیح بر اجرای صحیح نکات اجرایی عوارض ناشی از کندن معابر و پس از آن لکه‌گیری را به حداقل رساند. به عنوان راهکار بلند مدت، به کارگیری تونل‌های مشترک تأسیساتی پیشنهاد می‌گردد. عراقی و همکاران در سال ۱۳۹۵ در پژوهشی به بررسی پارامترهای موثر در انتخاب روش و اجرای صحیح درزگیری آسفالت با استفاده از قیر پلیمری پرداختند. تعمیر و نگهداری، ضروری‌ترین و در عین حال متداولترین روش در حفظ عملکرد دراز مدت روسازی‌های آسفالتی می‌باشد. هدف از نگهداری روسازی، حفظ روسازی از اضمحلال و اصلاح نقایص ایجاد شده توسط خرابی‌ها است. نگهداری و مرمت راه‌ها و پیدا کردن گزینه‌ای که باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی راه‌ها گردد، از دیر باز فکر مهندسین راه را به خود مشغول کرده است. بر اساس تحقیقات انجام شده اگر فقط دو درصد از کل هزینه‌های ساخت راه را به نگهداری پیشگیرانه اختصاص دهیم، باعث کاهش ۴۰

نمایی از ابعاد مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد، همچنین جهت تنش‌های اعمالی به مدل را نشان می‌دهد. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب هندسه سه بعدی لایه آسفالتی و صفحات بارگذاری را در نرم افزار آباکوس نشان می‌دهند.

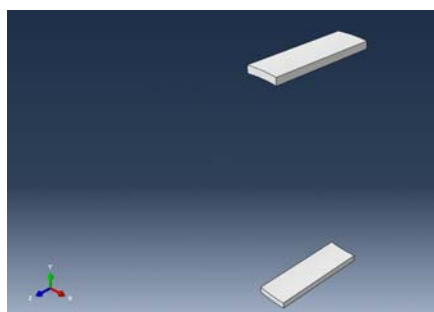
برای اعمال بار اعمالی از طرف جک به بالای مدل نقطه‌ای به عنوان نقطه مرجع در فاصله ۵ میلی متری بالای صفحه بارگذاری فرض شده سپس سطح صفحه بارگذاری با نقطه مذکور مقید می‌گردد. در این روش از تکنیک Coupling در نرم افزار آباکوس استفاده شده است. با توجه به نتایج آزمایشگاهی مقدار بار وارد شده به مدل سه بعدی کروی شکل ۵۴۷۱۵ نیوتن در نظر گرفته شده است، همچنین در این مدل تنها یک شرط مرزی به صورت گیردار در کف مدل در نظر گرفته شده است.

شکل ۴ نتایج تنش افقی حاصل از مدل سه بعدی و تحلیل ارائه شده در مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. برای محاسبه تنش افقی مقطع عرضی مدل بررسی شده (خط افقی) و با توجه تقارن مدل تنها نتایج ۵۰ میلی متر از مدل نشان داده شده است. همچنین شکل ۵ نتایج تنش افقی حاصل از تحلیل مدل در نرم افزار آباکوس را نشان می‌دهد.

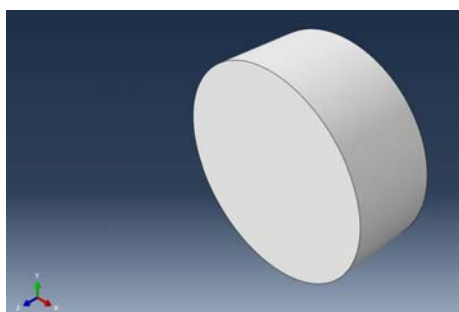
می‌تواند معیار ارزیابی هزینه به منافع باشد نیز اختلاف فاحشی را میان دو نوع روسازی نشان نمی‌دهد، هرچند در این پروژه خاص روسازی بتنی شاخص بهتری را بدست آورد. نهایتاً جهت انتخاب نوع روسازی سایر پارامترهای غیراقتصادی مربوط به پروژه مورد مطالعه قرار گرفت و روسازی آسفالتی به عنوان رویه منتخب این قطعه معرفی گردید.

۳- صحت سنجی

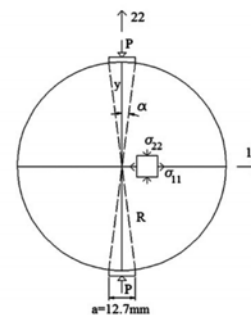
به منظور مدل سازی اولیه، مدل آزمایشگاهی انجام گرفته (Roozbahany, 2013) به عنوان مدل پایه در نرم افزار آباکوس در نظر گرفته شده است. در این پژوهش روش‌های آزمایش شامل روش مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد که در این صحت سنجی روش مستقیم در نرم افزار آباکوس در نظر گرفته شده است. هندسه مدل روسازی شامل لایه آسفالتی با مقطع دایره ای به عمق ۴۰ میلی متر و همچنین دو صفحه بارگذاری به طول ۱۲٫۷ میلی متر که در بالا و پایین مدل نصب شده‌اند. قطر نمونه آسفالتی ۱۰۰ میلی متر در نظر گرفته شده است. شکل ۱



شکل ۳. مدل سه بعدی صفحات بارگذاری



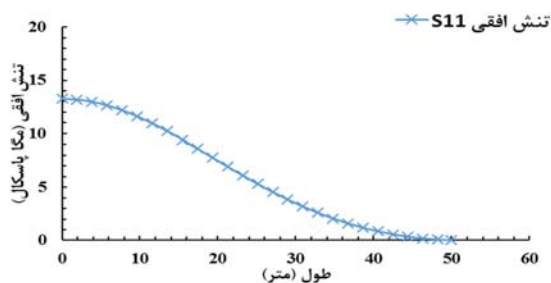
شکل ۲. مدل سه بعدی مصالح آسفالتی



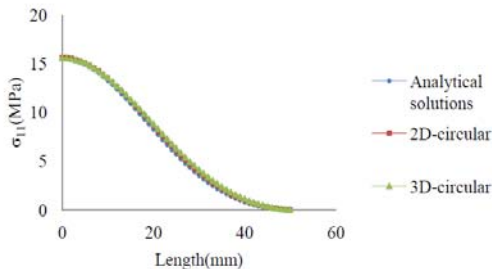
شکل ۱. هندسه مدل آزمایشگاهی

جدول ۱. مشخصات مکانیکی مصالح آسفالتی

Shape	Elastic modulus (MPa)	Poisson's ratio	Load	Displacement(mm)
2D-circular	4020	0.4	1290.555	1
2D-square	4020	0.4	1296.724	1
3D-circular	4020	0.4	54715.02	1
3D-square	4020	0.4	54934.48	1



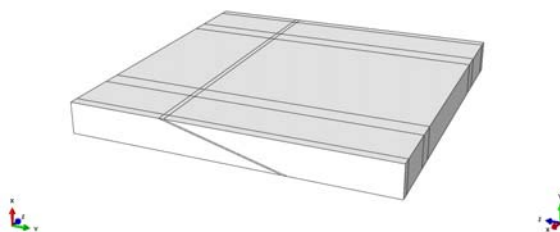
شکل ۵. تنش افقی حاصل از تحلیل مدل در نرم افزار آباکوس



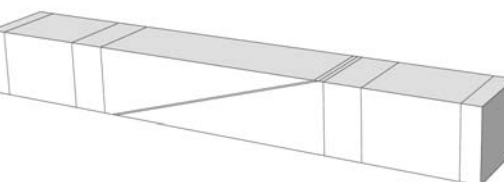
شکل ۴. تنش افقی وارد بر مدل S11

مدلسازی

برای بررسی درز عرضی شبیه سازی شده شامل یک تیر به ابعاد ۶۳×۵۰ میلی‌متر می‌باشد و طول تیر مورد نظر ۴۴۰ میلی‌متر فرض شده است. به منظور بررسی اثر درز طولی با توجه به محل قرارگیری بار اعمالی مقطع مدل به ۵۰×۵۰۰ میلی تغییر کرده است. همچنین طول مدل ۵۰۰ میلی متر فرض شده است.



شکل ۷. هندسه سه بعدی درز طولی (زاویه ۱۵ درجه)



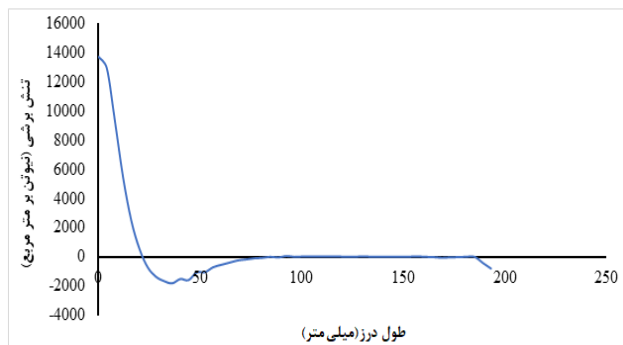
شکل ۶. هندسه سه بعدی درز عرضی (زاویه ۱۵ درجه)

۴- نتایج تحلیل

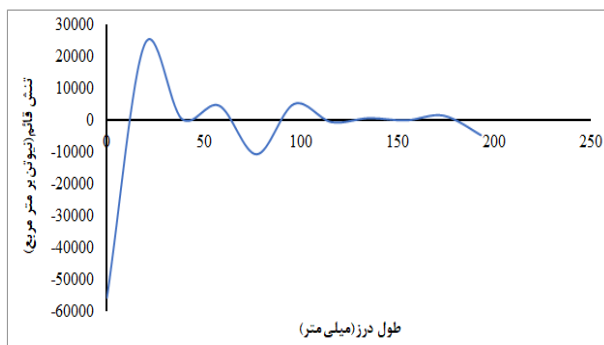
۴-۱- گروه اول (درز عرضی)

نمودارهای ۱ الی ۴ به ترتیب نمودار تنش قائم- طول درز، تنش برشی- طول درز، تنش افقی- طول درز و جابجایی کلی- طول درز برای درز عرضی با زاویه ۱۵ درجه (برای نمونه) را نشان می‌دهند. همچنین در شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب کانتور تغییر شکل قائم و تغییرات حداکثر کرنش الاستیک برای درز عرضی با زاویه ۱۵ درجه نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین تنش قائم، تنش برشی و تنش افقی به ترتیب برابر ۵۵/۶، ۱۳/۷ و ۵۴/۵ کیلو نیوتن بر متر مربع می‌باشد. همچنین بیشترین جابجایی کلی برابر ۰/۱۲۳۲ میلی متر می‌باشد.

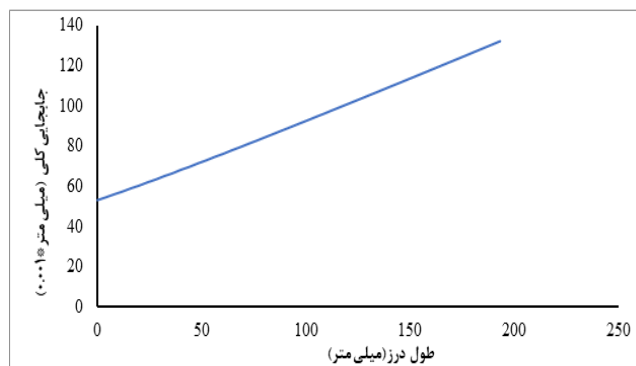
در مدل سه بعدی دو لایه آسفالتی در نظر گرفته گرفته شده است. با توجه به اینکه مشخصات حرارتی دو لایه آسفالتی در محل درزها متفاوت است دو نوع آسفالت با درجه حرارت ۲۵ و ۲۱ استفاده شده است. همچنین برای مدل سازی رفتار واقعی محل درز از المان‌های چسبنده (Cohesive Elements) استفاده شده است. مشخصات المان‌های چسبنده به صورت الاستیک و ماده ای با مشخصات میانگین دو نوع آسفالت استفاده شده است. لازم به ذکر است ضخامت المان‌ها چسبنده در تمام مدل‌ها ۲ میلی متر در نظر گرفته شده است. بار وارد شده به مدل ۶۰۰ کیلو پاسکال می‌باشد که مقدار این بار نمایانگر محور استاندارد ۸۰ کیلو نیوتنی می‌باشد. برای مصالح آسفالت از المان‌های جامد ۸ گره ای با انتگرال گیری کاهش یافته استفاده شده است (C3D8R). همچنین برای مش بندی ناحیه چسبنده از المان‌های COHAX4 استفاده شده است.



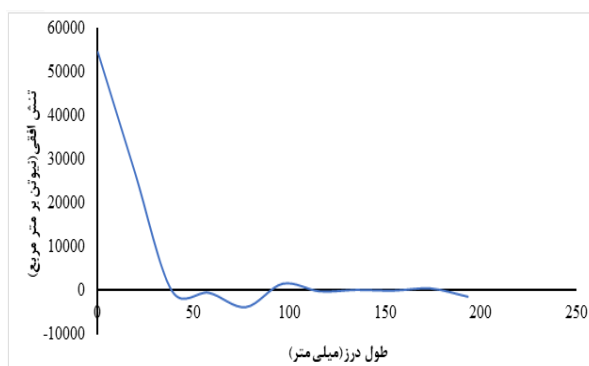
نمودار ۲. نمودار تنش برشی - طول درز برای درز عرضی (۱۵ درجه)



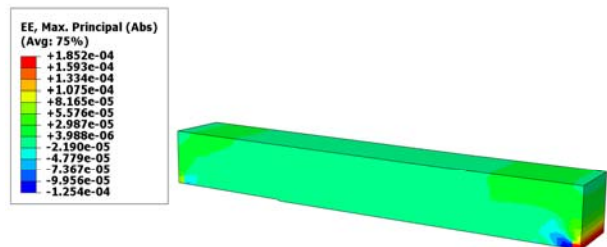
نمودار ۱. نمودار تنش قائم - طول درز برای درز عرضی (۱۵ درجه)



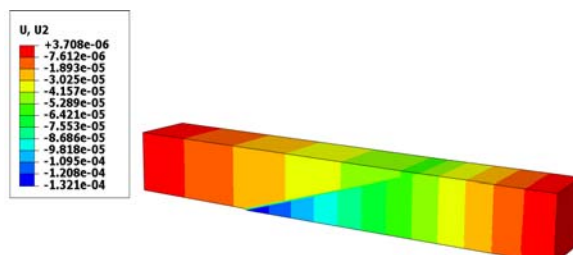
نمودار ۴. نمودار جابجایی کلی - طول درز برای درز عرضی (۱۵ درجه)



نمودار ۳. نمودار تنش افقی - طول درز برای درز عرضی (۱۵ درجه)



شکل ۹. کانتور تغییرات حداکثر کرنش الاستیک برای درز عرضی (۱۵ درجه)

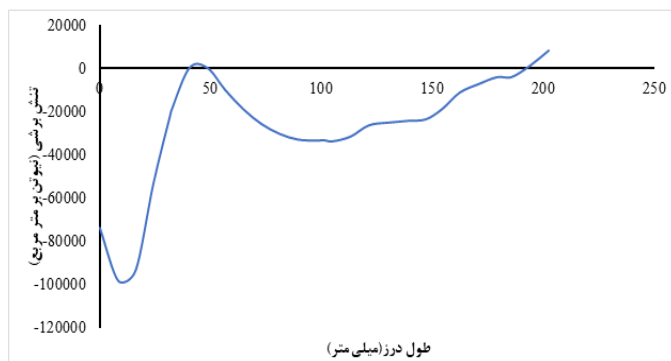


شکل ۸. کانتور تغییر شکل قائم برای درز عرضی (۱۵ درجه)

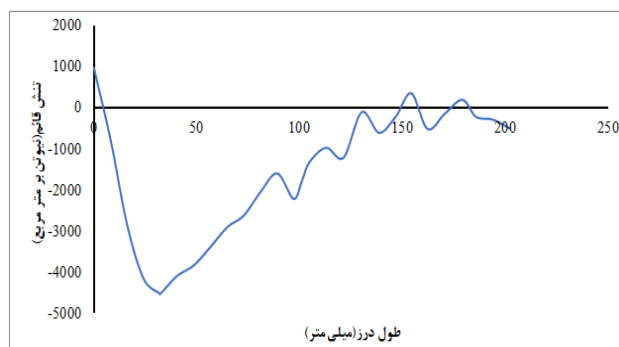
۴-۲- گروه دوم (درز طولی)

درجه نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین تنش قائم، تنش برشی و تنش افقی به ترتیب برابر ۴/۵، ۹۸/۴ و ۵۰/۸ کیلو نیوتن بر متر مربع می‌باشد. همچنین بیشترین جابجایی کلی برابر ۰/۰۳۰۷ میلی متر می‌باشد.

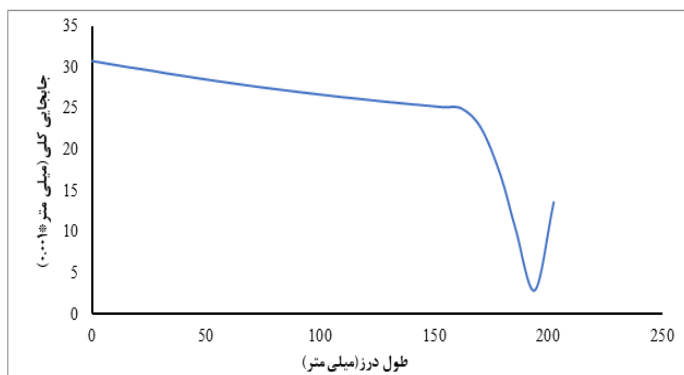
نمودارهای ۵ الی ۸ به ترتیب نمودار تنش قائم - طول درز، تنش برشی - طول درز، تنش افقی - طول درز و جابجایی کلی - طول درز برای درز طولی با زاویه ۱۵ درجه را نشان می‌دهند. همچنین در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب کانتور تغییر شکل قائم و تغییرات حداکثر کرنش الاستیک برای درز طولی با زاویه ۱۵



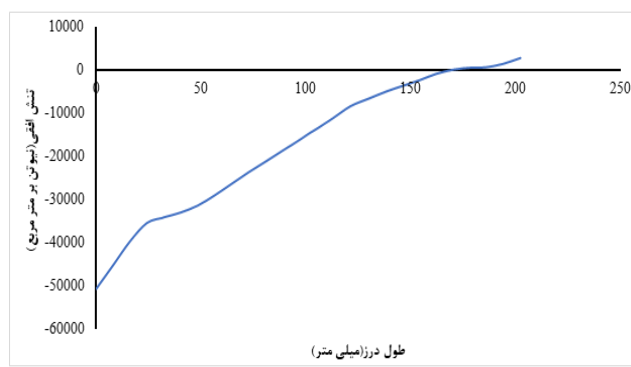
نمودار ۶. نمودار تنش برشی - طول درز برای درز طولی (۱۵ درجه)



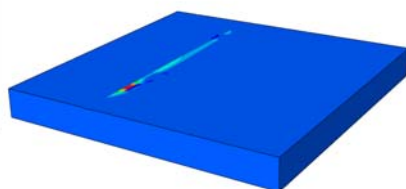
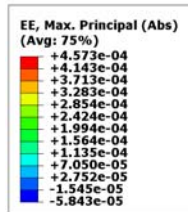
نمودار ۵. نمودار تنش قائم - طول درز برای درز طولی (۱۵ درجه)



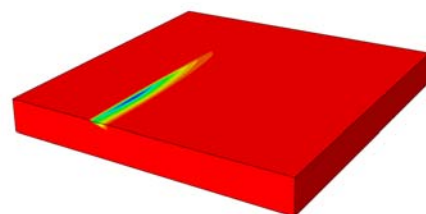
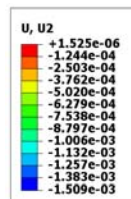
نمودار ۸. نمودار جابجایی کلی - طول درز برای درز طولی (۱۵ درجه)



نمودار ۷. نمودار تنش افقی - طول درز برای درز طولی (۱۵ درجه)



شکل ۱۱. کانتور تغییرات حداکثر کرنش الاستیک برای درز طولی (۱۵ درجه)



شکل ۱۰. کانتور تغییر شکل قائم برای درز طولی (۱۵ درجه)

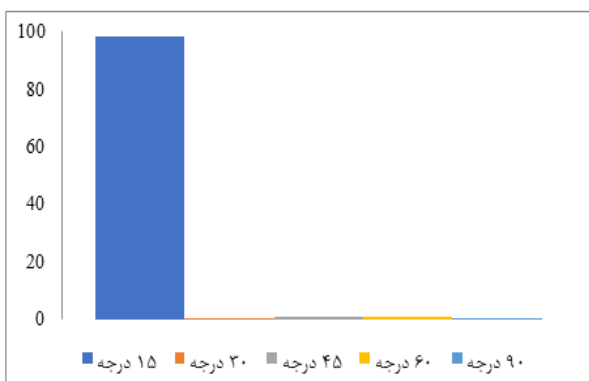
۴-۳- مقایسه نتایج

در نمودار ۹ بیشترین تنش برشی بر حسب کیلو نیوتن بر متر مربع برای درزهای عرضی نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در درزهای عرضی بیشترین تنش برشی برابر ۱۳/۷ کیلو نیوتن بر متر مربع که مربوط به درز با زاویه ۱۵ درجه می‌باشد. با افزایش مقدار زاویه درز عرضی مقدار تنش برشی نزدیک به صفر می‌شود. با توجه به بررسی نیروهای داخلی در محل درزهای عرضی مشاهده گردید که با افزایش زاویه درز عرضی تا ۴۵ درجه کاهش تنش برشی شدید می‌باشد ولی از

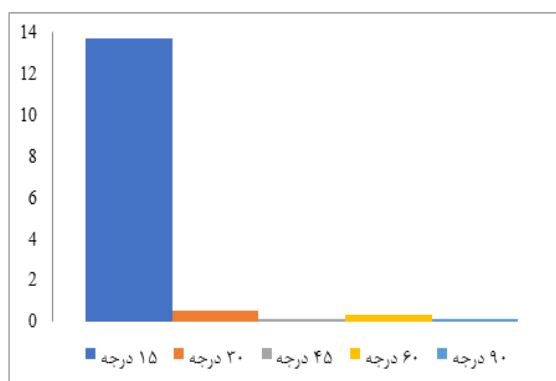
زاویه ۴۵ تا ۹۰ درجه این تغییر با روند نزولی همراه است؛ از این رو زاویه برشی ۴۵ درجه عملکرد بهتری در بارگذاری رویه‌های آسفالتی از خود نشان داده است. همچنین در نمودار ۶ بیشترین تنش برشی بر حسب کیلو نیوتن بر متر مربع برای درزهای طولی نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در درزهای طولی بیشترین تنش برشی برابر ۹۸/۴ کیلو نیوتن بر متر مربع که مربوط به درز با زاویه ۱۵ درجه می‌باشد. همچنین با افزایش مقدار زاویه درز طولی مقدار تنش برشی

در نمودار ۱۱ و ۱۲ به ترتیب بیشترین جابجایی کلی بر حسب میلی‌متر برای درزهای عرضی و طولی نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در درزهای عرضی بیشترین جابجایی کلی ۰/۱۲۳۲ میلی‌متر مربوط به درز با زاویه ۱۵ درجه می‌باشد. همچنین در درزهای طولی بیشترین جابجایی کلی ۰/۱۰۶۸ میلی‌متر مربوط به درز با زاویه ۳۰ درجه می‌باشد. همچنین میزان جابجایی در حالت درزهای عرضی بیشتر از حالت درزهای طولی می‌باشد؛ که مقدار آن حدود ۱/۱۵ برابر می‌باشد.

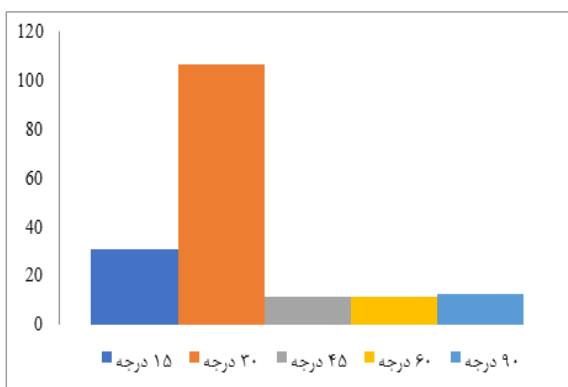
نزدیک به صفر می‌شود. با توجه به بررسی نیروهای داخلی در محل درزهای طولی مشاهده گردید که با افزایش زاویه درز عرضی تا ۳۰ درجه کاهش تنش برشی شدید می‌باشد ولی از زاویه ۳۰ تا ۹۰ درجه این تغییر با روند نزولی همراه است؛ از این رو زاویه برشی ۳۰ درجه عملکرد بهتری در بارگذاری رویه‌های آسفالتی از خود نشان داده است. براساس نتایج عددی در شرایط یکسان تنش برشی بیشتری در محل درزهای طولی به نسبت درزهای عرضی ایجاد می‌گردد.



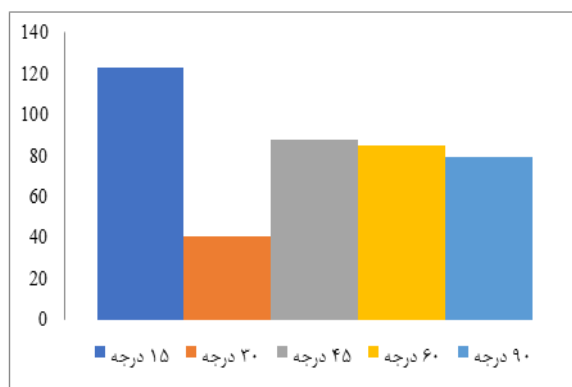
نمودار ۱۰. بیشترین تنش برشی برای درزهای طولی



نمودار ۹. بیشترین تنش برشی برای درزهای عرضی



نمودار ۱۲. بیشترین جابجایی کلی برای درزهای طولی



نمودار ۱۱. بیشترین جابجایی کلی برای درزهای عرضی

۵- نتیجه‌گیری

تعیین‌کننده خاصیت آسفالت، قیر موجود در آن می‌باشد، و با توجه به رفتار و ویژگی این ماده می‌توان گفت که رفتار آسفالت، شبیه ویسکوالاستیک دارد. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی عددی خرابی روسازی‌های آسفالتی ناشی از درزهای طولی و عرضی با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود Abaqus بوده است. نتایج پژوهش به شرح ادامه می‌باشد.

آسفالت گرم، مخلوطی از مصالح سنگی و قیر خالص است که بر حسب نوع دانه بندی و قیر مصرفی، در حدود ۱۰۵ تا ۱۶۳ درجه سانتی‌گراد، در کارخانه آسفالت تهیه و در محدوده همین حرارت، روی سطوح آماده شده راه (مانند بستر روسازی تقویت شده، زیر اساس، اساس، پوشش‌های گوناگون آسفالتی سرد و گرم و رویه‌های بتنی) پخش و کوبیده می‌شود. جزء اصلی و

زاویه درز، احتمال خرابی و جدا شده لایه های آسفالتی در قسمت پایین محل درز کاهش خواهد یافت.

- مطابق نتایج میزان کاهش تنش های داخلی در محل تا زاویه ۴۵ درز قابل توجه می باشد و بر اساس نتایج عددی با افزایش زاویه درز از ۴۵ به ۶۰ درجه میزان نرخ کاهش تنش های داخلی به طرز قابل توجهی کاهش می یابد، به طوری که میزان کاهش تنش قائم در محل درز با افزایش زاویه درز از ۱۵ به ۴۵ درجه حدود ۹۵ درصد می باشد، به طوری که این کاهش تنش با افزایش زاویه درز از ۴۵ به ۶۰ درجه حدود ۲۷ درصد مشاهده شده است. این روند کاهش در سایر تنش های داخلی نیز قابل مشاهده است.

- مطابق نتایج با توجه به روند کاهش نیروهای اعمالی بر سطح بین دو لایه آسفالتی می توان نتیجه گرفت که زاویه درز ۴۵ درجه بهترین عملکرد را نسبت به سایر حالت داشته است و با توجه نتایج حاصل از تحلیل عددی می توان زاویه درز ۴۵ درجه را به عنوان زاویه بهینه برای تحکیم لایه های آسفالتی در نظر گرفت.

- نتایج نشان می دهد که با افزایش زاویه درز و همچنین افزایش سطح تماس دو لایه آسفالتی تنش های قائم بین دو لایه کاهش می یابد. به طوری که با افزایش زاویه درز از ۱۵ به ۳۰ تنش قائم حدود ۶۳ درصد کاهش یافته است. همچنین این کاهش در تنش برشی نیز مشاهده شده است، به طوری که نرخ کاهش تنش برشی محسوس تر می باشد.

- نتایج نشان می دهد که با افزایش زاویه درز عملکرد درز بین دو لایه بهتر می باشد و پیوستگی بیشتری بین لایه های آسفالتی مشاهده می گردد؛ دلیل این امر به واسطه افزایش سطح تماس و توزیع نیروها بین دو لایه می باشد. لذا توصیه می گردد در جاده هایی که لایه های آسفالتی جدید و قدیم کنار یکدیگر ریخته می شوند تا حد امکان سطح تماس بین دو لایه افزایش یابد.

- مطابق نتایج با افزایش زاویه درز بین دو لایه علاوه بر کاهش تنش های داخلی مقدار جابجایی های بین دو لایه نیز کاهش یافته است. با توجه میزان کاهش تغییر شکل محل درز با افزایش

۶- مراجع

مدیریت شهری، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

-لارتنی، منا، تولایی، داود، همراهی، وحید (۱۳۹۵). مقایسه اقتصادی روسازی های آسفالتی و بتنی غیرمسلح درزدار مطالعه موردی: آزادراه کنارگذر جنوبی تهران- قطعه ۴، چهارمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران، دبیرخانه دایمی کنفرانس، دانشگاه شهید بهشتی.

-Ehsan Ghafoori Roozbahany, Manfred N. Partl, Patryk Jakub Witkiewicz (2013). Fracture testing for the evaluation of asphalt pavement joints, *Road Materials and Pavement Design*, Vol. 14, Issue 4.

Lech Krysiński, Jacek Sudyka (2013). GPR abilities in investigation of the pavement transversal cracks, *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 97, October, 27-36.

-LuYongjie, Yang Shaopu, Wang Jianxi (2014). Research on pavement longitudinal crack propagation under non-uniform vehicle loading, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 42, July 2014, 22-31.

Martin Riara, Ping Tang, Liantong Mo, Meng Chen, Jizhe Zhang, Shaopeng Wu (2018). Experimental assessment of the long-time crack healing in asphalt mixtures using healing agents, *Construction and Building Materials*, Vol. 191, 10 December, 411-422.

-حیاتی، پرهام؛ چاره جو، شهریار (۱۳۹۸). ارزیابی روسازی های بتنی درز دار (JPCP) و بتن غلتکی (RCCP) و بتن آسفالتی (HMA) با در نظر گرفتن هزینه چرخه عمر در آزاد راه ها، سومین کنفرانس ملی رویه های بتنی، تهران، انجمن بتن ایران- دانشگاه علم و صنعت ایران.

-زینالفام، وحید؛ منصوریان، احمد (۱۳۹۶). تحلیل عددی عملکرد ناحیه انتقال بین روسازی بتنی ساده درزدار و روسازی آسفالتی، هفتمین کنفرانس بین المللی توسعه پایدار و عمران شهری، اصفهان، موسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو- دانشگاه صنعتی دورتمند آلمان- اداره کل راه و شهرسازی استان اصفهان- شهرداری اصفهان و شرکت مادر تخصصی عمران و بهسازی شهری ایران.

-سید محمودی، سید رضا؛ شهری، رضا (۱۳۹۶). ارزیابی و بررسی خرابی ها در روسازی آسفالتی راه ها و معابر شهری و مراحل اجرایی فرآیند تعمیر و نگهداری از آن ها، دومانامه نخبگان علوم و مهندسی ۲ (۶).

-عراقی، مرتضی، خسروی روبیات، مرتضی، الوانی، عباس (۱۳۹۵). پارامترهای موثر در انتخاب روش و اجرای صحیح درزگیری آسفالت با استفاده از قیر پلیمری، چهارمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و

Numerical Assessment of Asphalt Pavement Damage Caused by Longitudinal and Transverse Seams Using Abaqus Finite Element Software

Morteza Ovesifar, M.Sc., Student, Birjand Islamic Azad University, Birjand Iran.

E-Mail: lipar1081@gmail.com

Received: June 2024- Accepted: September 2024

ABSTRACT

As a result of factors such as traffic loading, temperature, humidity, subsoil movement, etc. the road pavement is exposed to various stresses that cause small damages to the pavement which can lead to bigger damages and cause problems such as speed reduction, safety reduction, vehicle breakdown and service level reduction. In this research, in order to investigate the shear angle of the longitudinal and transverse seams of two adjacent asphalt layers, a laboratory asphalt sample has been used. The geometry of the pavement model includes an asphalt layer with a circular cross-section with a depth of 40mm and two loading plates with a length of 12.7mm that are installed at the top and bottom of the model. Also, the analysis of the simulation of the angle of the seams from the ABAQUS finite element software was used to model and analyze numerical models. According to the results, in transverse seams, with the increase of the seam angle, vertical and shear stresses in the seam area decrease, so that the reduction of shear stresses is more noticeable than the reduction of vertical stress. According to the investigation of the internal forces at the location of the transverse seams, it was observed that with the increase of the angle of the transverse seam up to 45 degrees, there is a sharp decrease in the vertical and shear stresses, but from the angle of 45 to 90 degrees, this change is associated with a downward trend; Therefore, the cutting angle of 45 degrees has shown a better performance in loading asphalt pavements. Also, in longitudinal seams as well as transverse seams, vertical and shear stresses in the seam area are reduced by increasing the seam angle, and the shear angle of 30 degrees has shown better performance in loading asphalt pavements. Based on the numerical results, under the same conditions, more shear stress is created in the location of the longitudinal seams than in the transverse seams.

Keywords: Asphalt Failure, Pavement, Longitudinal Seam, Transverse Seam, ABAQUS Software