

مدل سازی اجزاء محدود گسترش ترک های انعکاسی در روسازی های آسفالتی به منظور شناخت بحرانی ترین محل بار چرخ

حمید شیرمحمدی*، استادیار، گروه راه و ترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
امین طولابی نسب، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: h.shirmohammadi@urmia.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۴/۰۶ - پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۵

صفحه ۱۳۴-۱۱۹

چکیده

اگرچه انتخاب روکش آسفالتی در مواقع برخورد با خرابی های بتن آسفالتی سریع ترین و اقتصادی ترین گزینه به نظر می رسد اما ادامه و انتشار ترک های انعکاسی منجر به خرابی مجدد و زودرس این سیستم می گردد. برای آنکه متوجه پیچیدگی های ترک انعکاسی شویم می بایست به بهترین شکل مکانیسم رفتار این نوع ترک ها در روسازی آسفالتی را بشناسیم. بنابراین به منظور شناخت بهتر ترک های انعکاسی و توانایی تخمین سرعت رشد ترک و عمر روکش های آسفالتی تحت تأثیر این نوع خرابی ها در این تحقیق مدل اجزاء محدود روسازی های آسفالتی با خرابی ترک انعکاسی با ضخامت ها و مدول الاستیسیته های مختلف به صورت خطی و غیرخطی با استفاده از نرم افزار ABAQUS بررسی گردیده است. در این مقاله موضوع عرض بحرانی ترک و بحرانی ترین نقطه اثر بار که منجر به ایجاد عریض ترین ترک در روسازی می گردد مورد بررسی قرار گرفته است. اما یکی دیگر از موارد کاهش خرابی در روسازی های آسفالتی که در معرض ترک انعکاسی هستند استفاده از موادی است که بتواند با کمترین هزینه بیشترین مقاومت را در برابر خرابی از خود نشان دهد به همین جهت با بررسی مواد کامپوزیتی متفاوت به این نتیجه رسیدیم که استایرن بوتادین استایرن بهترین کامپوزیت برای اصلاح ساختار رویه آسفالتی است.

واژه های کلیدی: روسازی آسفالتی، ترک، آباکوس، کامپوزیت

۱- مقدمه

انعکاسی نتیجه بارهای عمودی و افقی اعمال شده توسط چرخ وسایل نقلیه و حرکت آنها در طول ترک های موجود در روسازی ها و حرکت افقی قطعات آسفالتی در نتیجه تغییر دما هست. حرکت چرخ ها از عرض ترک ها، باعث ایجاد تنش های برشی در جهت عمودی صفحه پائین لایه می شوند. هنگامی که روسازی در محل ترک ها در قسمت تحتانی لایه آسفالتی تحت تنش قرار می گیرد، باعث گسترش ترک و در نتیجه ایجاد ترک ها در روسازی جدید می شود. مطالعات زیادی در تلاش برای پیشگیری و به تاخیر انداختن ترک های انعکاسی انجام شده است که در ذیل به برخی از آنها اشاره کرده ایم. از وقتی مجید زاده موضوع مکانیک شکست را در روسازی مطرح نمود، روش مکانیک شکست به صورت

امروزه حمل و نقل به عنوان یکی از شاخص های توسعه یافتگی در جوامع محسوب می گردد. در ادبیات اقتصادی توسعه سیستم های حمل و نقل همچون گردش خون در کالبد اقتصاد هر کشور است که روند توسعه آن نقش مهمی در تکامل جوامع بشری داشته است و با تسریع در این گردش، نیازهای اولیه اقتصادی در جامعه سریع تر برآورده می شود و این بدان جهت است که حمل و نقل از ابتدایی ترین و اساسی ترین نیاز انسان ها از بدو خلقت تا کنون بوده است. بر همین اساس، دست یابی به شبکه حمل و نقل پویا و ایمن، به عنوان یکی از معیارهای سنجش میزان توسعه یافتگی کشورها محسوب می گردد. (۱۲) نفوذ ترک ها از لایه زیرین رویه به لایه روکش را ترک انعکاسی گویند. به طور کلی ترک های

اصلاح قیر به کار می‌روند را می‌توان در دودسته کلی تقسیم‌بندی کرد:

پلاستومرها

الاستومرهای ترموپلاستیک (گرمانرم)

همان‌طور که توسط Stroup-Gardiner و همکاران گزارش شده، پلاستومرها ترکیبات پلاستیک بسیار کمی داشته و یا اصلاً این ترکیبات را ندارند (۱۰). در مورد الاستومرهای ترموپلاستیک باید گفت که آن‌ها در اثر حرارت نرم شده و در هنگام سرد شدن سخت می‌شوند. این الاستومرها توانایی مقاومت در برابر تغییر شکل دائمی توسط کشش تحت بار را داشته و خاصیت بازیابی کشسان پس از برداشته شدن بار را دارند. در نتیجه نسبت به پلاستومرهای اصلاح‌کننده قیر دارای موفقیت بیش‌تری هستند. برخی از پلیمرهای مرسوم جهت اصلاح قیر در جدول شماره ۱ به همراه مزایا و معایب آن‌ها معرفی شده است. از میان آن‌ها، استایرن بوتادین استایرن (SBS) به علت پراکندگی نسبتاً خوبی که در قیر دارد (و یا حلالیت مناسب) و همچنین خواص نسبتاً عالی و هزینه قابل‌قبول بیش‌ترین توجه را در اصلاح پلیمری قیر به خود جلب کرده است. با توجه به سوابق مطالعات پیشین در این تحقیق نیز استایرن بوتادین استایرن SBS استفاده شده است. (۱۰). روسازی‌ها باید چنان طراحی شوند که مقاومت و سختی کافی داشته باشند تا بتوانند بارهای ترافیکی را به گونه ای پخش کنند که نه مصالح بستر و نه هیچ یک از لایه‌های روسازی دچار تنش بیش از میزان قابل تحمل آن نشوند. بنابراین، در طراحی روسازی‌های جدید مهم‌ترین پارامترهای موثر عبارتند از مقاومت خاک بستر، بار و شدت ترافیکی پیش‌بینی شده و سختی مصالح در دسترسی که لایه‌های مختلف روسازی را تشکیل می‌دهند. از آنجایی که در ابتدا روش‌های تحلیل و طراحی مکانیستیک موجود نبودند، از روش‌های تجربی برای طراحی روسازی‌ها استفاده می‌شد. در روش‌های تجربی پارامترهای موثر بر روسازی مانند دما، شدت و بار ترافیکی، خاک بستر و ... بسته به محیط اجرای روسازی، در طی انجام آزمایشات ثابت در نظر گرفته شده و بنابراین نتایج به دست آمده فقط برای آن محیط با شرایط مفروض صادق بوده و استفاده از آن روش طراحی برای شرایط غیرمشابه خطاها و خرابی‌های بعدی را به دنبال خواهد داشت. (۶) یکی دیگر از دلایلی که مهندسیین را

گسترده‌ای در پیش‌بینی ترک‌ها خصوصاً در آنالیز ترک‌های انعکاسی کاربرد یافته است. لایتون و موسسه‌اش در سال ۱۹۷۰ به‌صورت موفقیت‌آمیز از روش مکانیک شکست برای پیش‌بینی ترک‌های انعکاسی استفاده کردند. همین‌طور موضوع مکانیک شکست توسط Owusu-antwi و همکاران و Al-Qadi و موسسه‌اش نیز مورد استفاده قرار گرفته است. (۱)

همکاران توسعه مدل مکانیکی را برای ترک‌های انعکاسی روسازی‌های آسفالتی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها همچنین از قانون پاریس برای توصیف انتشار ترک استفاده کردند (۱۲). Al-Qadi و موسسه‌اش مدل ساده‌شده‌ای برای طراحی روسازی ارائه دادند که در آن عمر سرویس‌دهی روسازی‌هایی که در مقابل ترک‌های انعکاسی تعمیر شده‌اند را پیش‌بینی می‌کند. Wathugal و همکاران در سال ۱۹۹۶ اثر رفتارهای الاستیک‌خطی و الاستوپلاستیک بر نتایج آنالیز اجزاء محدود را، مدل‌سازی عددی کردند. (۱)

پلیمرهای اصلاح‌کننده قیر به‌صورت اختلاط پلیمرها در قیر به‌وسیله یک مخلوط‌کن فیزیکی و یا طی واکنش‌های شیمیایی با قیر ترکیب می‌شوند. در طول ۴۰ سال گذشته، بیش‌تر دانشمندان فعال در این حوزه تمرکز خود را بر روی پلیمرهای اصلاح‌کننده قیر قرار داده و باعث افزایش سرعت انتشار مقالات تحقیقاتی از سال ۱۹۷۰ میلادی به بعد شدند. در این رابطه، پلیمرهای مختلفی بررسی شدند که شامل پلاستومرها (به‌طور مثال پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، اتیلن ونیل استات، اتیلن بوتیلن اکریلات) و الاستومرهای ترموپلاستیک (مانند استایرن-بوتادین-استایرن، استایرن-ایزوپرن-استایرن و استایرن-اتیلن/بوتیلن-استایرن) است. اگرچه هیچ‌کدام از این‌ها در ابتدا به‌منظور اصلاح قیر طراحی نشده بودند (۴). پلیمرهایی که به آن‌ها اشاره شد منجر به بهبود برخی از خواص قیر مانند سفتی بالاتر در دماهای بالا، مقاومت زیاد در برابر شکست در دمای پایین، مقاومت بهتر در مقابله با رطوبت و یا افزایش عمر خستگی می‌شوند.

۲- پلیمرهای مرسوم جهت اصلاح خواص قیر

پس از پایان جنگ جهانی دوم، استفاده از پلیمرهای مصنوعی جهت اصلاح خواص قیر آغاز شد. برای چندین سال، پژوهشگران انواع پلیمرهای مختلف اصلاح‌کننده را گسترش و توسعه دادند (۱۱) امروزه، پلیمرهای که به‌طور گسترده برای

روسازی را برای آینده پیش بینی کرده و به بهینه‌سازی هزینه‌های نگهداری بپردازند.

و ادار کرد تا به فرآیند تحلیل روسازی روی آورند، عبارت بود از مساله نگهداری روسازی. در مساله نگهداری روسازی، عموماً مسئولین راه‌ها با بودجه کم و محدود علی‌رغم افزایش بار ترافیکی جاده‌ها روبرو هستند که برای بهینه‌کردن هزینه‌ها در جستجوی راه حل مهندسی هستند. تحلیل روسازی مهندسین را قادر می‌سازد تا شرایط موجود روسازی را با معیارهای قابل استناد مورد بررسی قرار داده، شرایط

جدول ۱. پلیمرهای رایج مورداستفاده جهت اصلاح خواص قیر

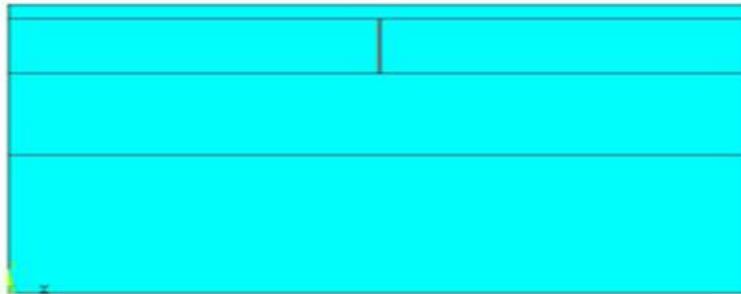
دسته بندی ها	مثال ها	مزایا	معایب
پلاستومرها	پلی اتیلن PE	خواص در دمای بالای خوب	بهبود محدود خاصیت ارتجاعی
	پلی پروپیلن PP	هزینه نسبتاً پایین	مشکل جدايش قازی
الاستومرها	اتیلن و نیل استات EVA	پایداری ذخیره سازی نسبتاً خوب	بهبود محدود در بازیابی کشسان
	اتیلن بوتیل اکریلات EBA	مقاومت بالا در برابر شیارشدگی	الزایش محدود خواص در دمايس پایین
الاستومرهای نرموپلاستیک	استایرن بوتادین استایرن SBS	افزایش سختی	مشکل سازگاری در برخی از قیرها
	استایرن ایزوپرن استایرن SIS	کاهش حساسیت دمایی	مقاومت پایین در برابر حرارت، اکسیداسیون و اشعه فرابنفش
	استایرن ایلن/بولیلن استایرن SEBS	بهبود خاصیت کشسان	هزینه نسبتاً زیاد
		مقاومت بالا در برابر حرارت، اکسیداسیون و اشعه فرابنفش	مشکل پایداری ذخیره سازی و هزینه زیاد
		کاهش نسبی قابلیت ارتجاعی	

۳- مدل‌سازی و بارگذاری

طریق آنالیزهای متعدد با ابعاد مختلف مدل نیز بعد بهینه مدل در جهت افق نیز در همین حدود حاصل شد. حداقل ضخامت لایه‌های روسازی با توجه به مقادیر مختلف در نظر گرفته‌شده توسط محققان مختلف و با توجه به ضوابط نشریه ۱۰۱ و نیز آئین‌نامه روسازی راه‌های ایران با فرض ترافیک عبوری بیشتر از یک میلیون بار عبور محور هم‌ارز ۸/۲ تنی بر اساس جدول زیر انتخاب شده است.

پس از ساختن مدل هندسی و انتخاب المان و واردکردن مشخصات مصالح و المان با انتخاب المان‌های هر قطعه از مدل و مشخصات مصالح موردنظر برای آن قطعه بر اساس مش بندی خودکار و یا دستی، شبکه‌بندی سطوح و المان بندی اشکال هندسی موردنظر انجام شده است. جهت مدل‌سازی لایه‌های روسازی از المانی دوبعدی که در هر گره آن دو درجه آزادی وجود داشته و در مجموع دارای هشت درجه آزادی است، استفاده شده است.

ابعاد مدل با توجه به محدوده اثر بار وارده بر سیستم روسازی که برابر با فشار حاصل از اعمال محور استاندارد یعنی ۰/۷ مگا پاسکال بر روی سطح دایره‌ای به شعاع ۵/۳۵ اینچ یا ۱۳/۵ سانتیمتر است، در جهت افقی برابر با ۲ متر انتخاب گردید. لازم به ذکر است با روش سعی و خطا از



شکل ۱. هندسه مدل دوبعدی مورد تحلیل

جدول ۱. حداقل ضخامت لایه‌های روسازی در مدل اجزا محدود

ضخامت (mm)	لایه
۵۰-۱۰۰-۱۵۰	روکش
۱۵۰	روسازی ترک خورده
۱۵۰	اساس
۳۰۰	زیر اساس
۵۰۰ (نامحدود)	سایگرید

جدول ۲. مشخصات مقاومتی لایه‌ها در آنالیزهای خطی

E(Gpa)	ν	لایه	تحلیل خطی
۴/۲۹	۰,۳۱	روکش	
۱۰-۵-۲	۰,۳۵	روسازی ترک خورده	
۰,۲۵	۰,۳	اساس	
۰,۲	۰,۳	زیراساس	
۰,۱۵	۰,۳۵	بستر	

ترک هست، بنابراین تماس کامل بین لایه‌های روسازی در نظر گرفته شده است.

مدل‌های رفتاری

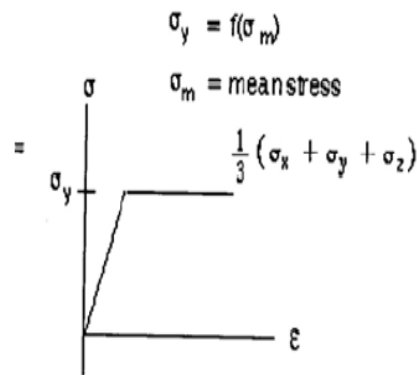
لازمه انجام آنالیز غیرخطی، تعریف مدل رفتاری مصالح است زیرا که در حالت الاستیک و تا زمانی که تنش‌های

سطح تماس لایه‌ها

در نظرگیری شرایط واقعی تماس بین لایه‌ها از طریق المان‌های اصطکاکی در مدل‌سازی اجزاء محدود باعث نزدیکی واقعی جواب‌های حاصل از تحلیل اجزاء محدود با واقعیت می‌شود. در این تحقیق با توجه به اینکه هدف بررسی پارامتریک مشخصات مدل و اثر آن‌ها بر روی رشد

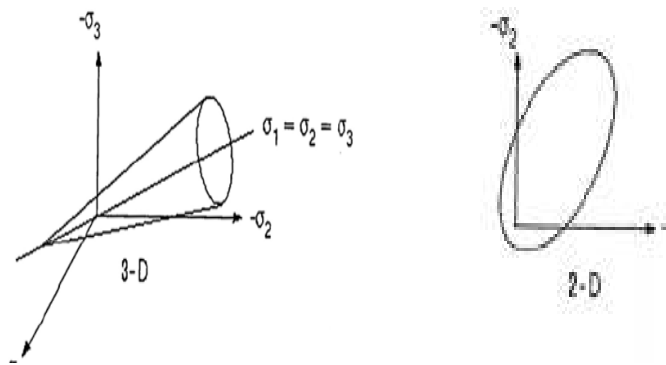
و حتی آسفالت با تقریب خوبی از مدل موهرکولمب قابل استفاده هست پارامترهای الاستیک مورد نیاز این مدل مانند مدول الاستیسیته و ضریب پواسون در بخش مشخصات الاستیک مصالح وارد شده و سطح تسلیم در این مدل توسط سه مقدار چسبندگی C و زاویه اصطکاک (φ) و زاویه اتساع یا جاری شدن ϕ_f تعریف می گردد. در ذیل نمودار تنش کرنش مربوط به مدل بیان شده و در شکل ۳ سطوح تسلیم مربوط به این مدل نشان داده شده است.

ایجاد در مصالح از حد مقاومت آنها تجاوز نکرده اند کلیه مصالح دارای رفتاری مشابه هم می باشند و اختلاف رفتار مصالح در حقیقت پس از مرحله تسلیم شدن است. که رابطه بین تنش و کرنش در این حالت از قانون هوک پیروی نکرده و وابسته به سطح تسلیم مدل تعریف شده در نرم افزار است. لازم به ذکر است که برخی از مدل های غیرخطی مصالح گوناگون به شکل پیش فرض در نرم افزار موجود می باشند که مدل رفتاری Drucker-Prager که برای معرفی رفتار مصالح چسبنده خمیری مانند خاک، سنگ، بتن



دراکر پراگر

شکل ۲. نمودار تنش کرنش مدل مورد بررسی



شکل ۳. سطوح تسلیم دراگر پراگر

حالت کرنش مسطح در تقریب مدل های سه بعدی به دو بعدی در روش آنالیز اجزاء محدود استفاده شده است.

۴- بحث

وضعیت بحرانی ترک خوردگی، بر اثر افزایش تنش های عامل ایجاد و گسترش ترک، ایجاد خواهد شد. مهم ترین تنش های اصلی عامل ایجاد و گسترش ترک در روکش

شرایط آنالیز دو بعدی (صفحه ای)

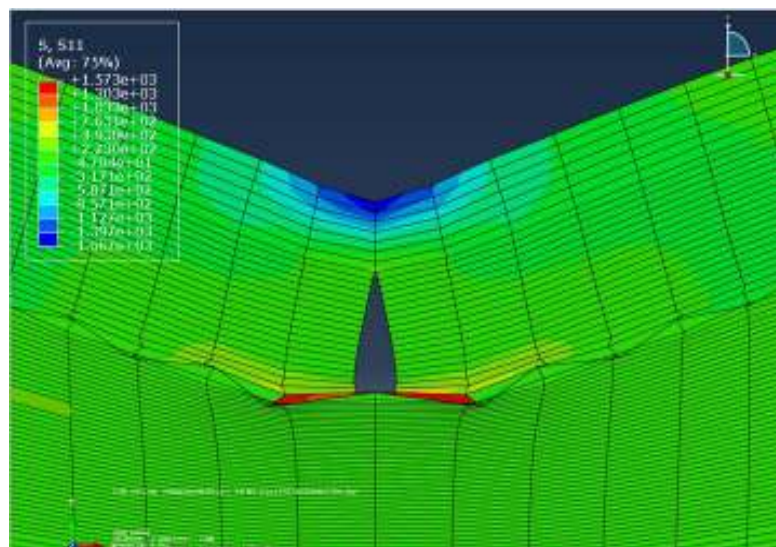
در آنالیز مدل های اجزاء محدود اغلب از برخی ساده سازی ها استفاده می شود که باعث تقریب مسائل سه بعدی به حالت های دو بعدی می شود. ساده سازی مدل های سه بعدی به دو بعدی نیازمند وجود شرایط خاص بارگذاری، هندسه و مشخصات اجزاء مدل است. در این تحقیق از

دارد، بدین منظور در مطالعاتی که ابراهیم صفا، خسرو فردوس نیا نسبت به بررسی اثر غالب بین دو مد فوق در جهت تسریع در رشد ترک و اعمال این شرایط در تحلیل‌های این قسمت مطالعات پارامتریک انجام می‌شود. باربر روی سطحی به عرض ۲۷ سانتیمتر در شرایط کرنش مسطح به روسازی اعمال شده است. برای ایجاد مد (الف) شکست، باربر روی محور ترک و برای ایجاد مد (ب) شکست، بار قبل از محور ترک اعمال گردید. در دو حالت ضخامت روکش برابر با ۵ و ۱۰ سانتیمتر مطالعه فوق انجام گردید. مدول الاستیسیته روکش برابر با ۲۵۰۰ مگا پاسکال و عرض ترک برابر با ۴ میلی‌متر در نظر گرفته شد که در نتیجه اعمال نیرو قبل از محل ترک تاثیر بیشتری بر گسترش ترک داشته است. در این قسمت بار قبل از محور ترک تحت دو نوع روکش آسفالتی با مشخصات استفاده شده در تحقیق فوق الذکر و استفاده از روکش تقویت شده با پلیمر استایرن بوتادین ۴،۵ درصد که در سوابق مطالعات اشاره شد که اندازه بهینه استفاده از این پلیمر در روکش آسفالتی در تحقیقات آزمایشگاهی است، مورد بررسی قرار گرفته است.

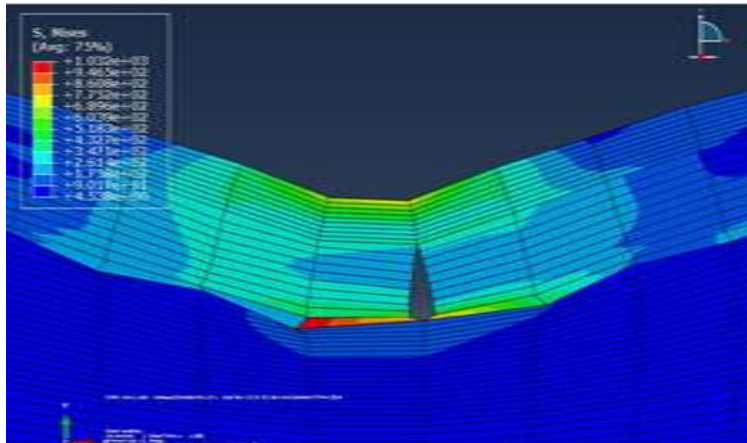
آسفالتی عبارت‌اند از تنش‌های کششی و برشی. بنابراین هر عاملی که در تشدید و افزایش مقادیر این تنش‌ها مؤثر باشد، باعث ایجاد پدیده ترک‌خوردگی روسازی و تشدید آن خواهد شد. افزایش تنش‌های کششی و برشی در کف روکش که از مناطق بحرانی ترک‌خوردگی است، خطر ترک‌خوردگی روکش و انعکاس ترک‌های قدیمی را به بدنه آن افزایش می‌دهد. ازجمله عوامل مؤثر در شدت ترک‌خوردگی و گسترش آن می‌توان به محل بار، شدت بار و عرض ترک (میزان بازشدگی دهانه ترک) اشاره کرد. که تأثیر این عوامل با فرض ثابت ماندن خواص لایه‌های روسازی در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تأثیر پلیمر استایرن - بوتادین ۴،۵ درصد

سه مد غالب گسیختگی در مفاهیم مکانیک شکست جهت بیان ترک‌خوردگی و رشد ترک مدنظر می‌باشند که ایجاد هر یک از این اشکال گسیختگی تابع محل اعمال بار و شرایط حاکم بر سیستم است. مد غالب در بیان ترک‌خوردگی لایه روکش در روسازی‌ها مد (الف - خمشی) و مد (ب- برش) است و مد پیچشی چندان موجود نیست. ایجاد حالت گسیختگی برشی و خمشی بستگی به نحوه و محل اعمال بار



شکل ۴. مد (الف - خمشی) شکست، بار بر روی محور ترک



شکل ۵. مد (ب- برشی) شکست، بار قبل از محور ترک

تنش افقی

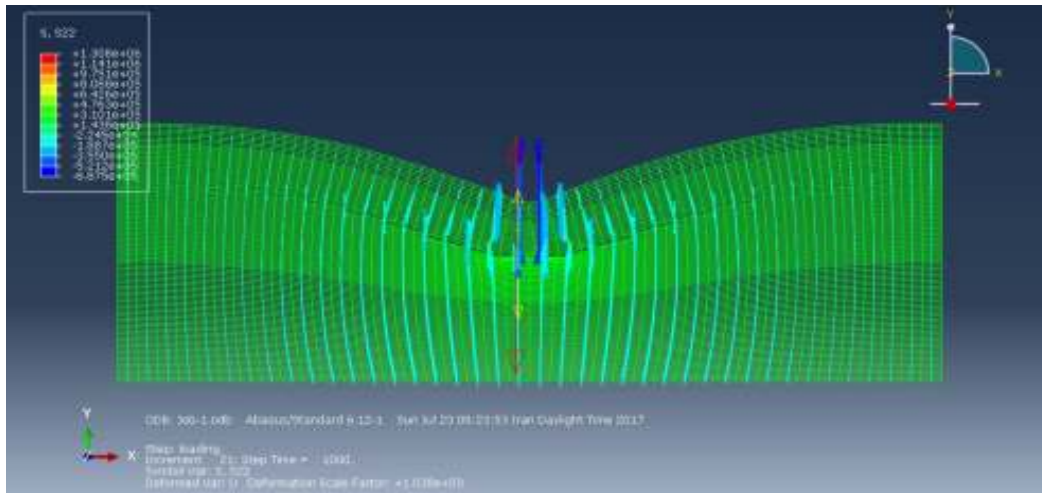
اصلاح پلیمری روکش آسفالتی اثر چندانی بر تغییر توزیع تنش‌های افقی در ضخامت روکش واقع در بالای ترک نداشته و در ضخامت ۵ سانتی‌متر تنش‌های ایجاد فشاری و در ضخامت ۱۰ سانتی‌متر تنش‌های ایجاد فشاری در حوالی ترک با علامت قراردادی مثبت و کششی است. در حالت ضخامت ۱۰ سانتی‌متر افزایش قابل توجهی در میزان تنش‌های کششی ایجاد می‌شود. مشاهده می‌شود.

تنش برشی

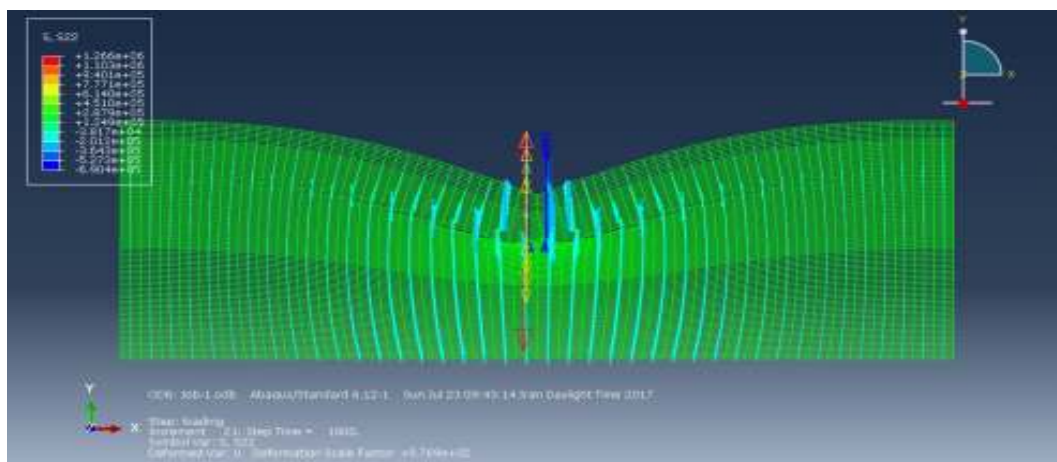
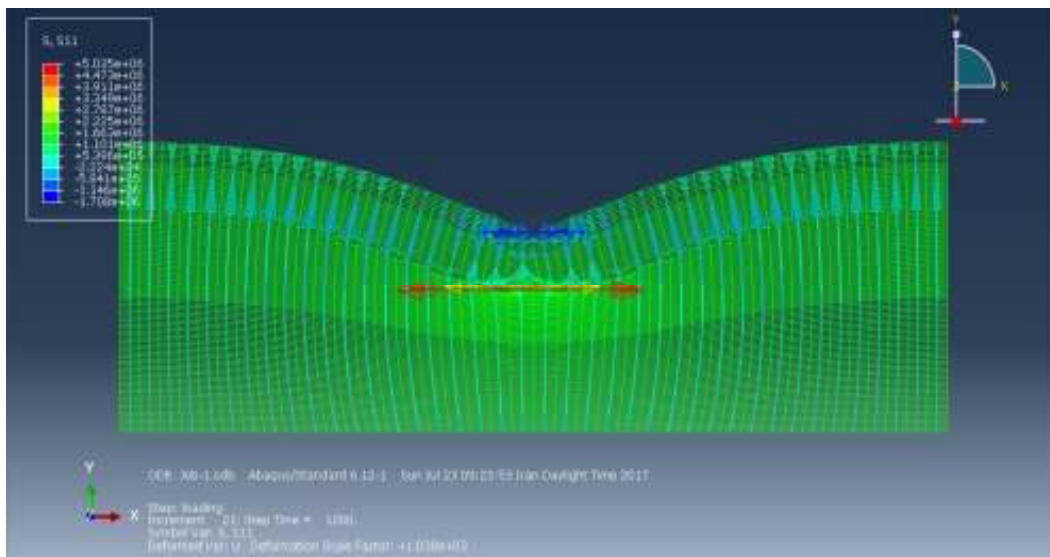
با وارد شدن بار قبل از محور ترک باعث ایجاد مدبرشی و افزایش میزان تنش برشی در ضخامت روکش و در نوک ترک می‌شود، که این میزان افزایش در حدود ۱/۴ مگا پاسکال برای ضخامت روکش ۵ سانتی‌متر است. با افزایش ضخامت روکش به ۱۰ سانتی‌متر تغییرات تنش برشی در ضخامت روکش و در بالای نوک ترک آهنگ منطقی‌تری را دنبال می‌کنند (اشکال ۵ و ۶). نتایج حاصل در این قسمت تطابق خوبی با نتایج تحقیقات (Lytton (1989) دارد، وی در نتایج تحلیل‌های خود بیان کرده بود که عامل رشد ترک در ضخامت‌های کم روکش و در ۲-۳ سانتی‌متر بالای نوک ترک به دلیل ایجاد برش و غلبه تنش برشی بر مقاومت اصطکاکی مصالح روکش است.

شدت تنش

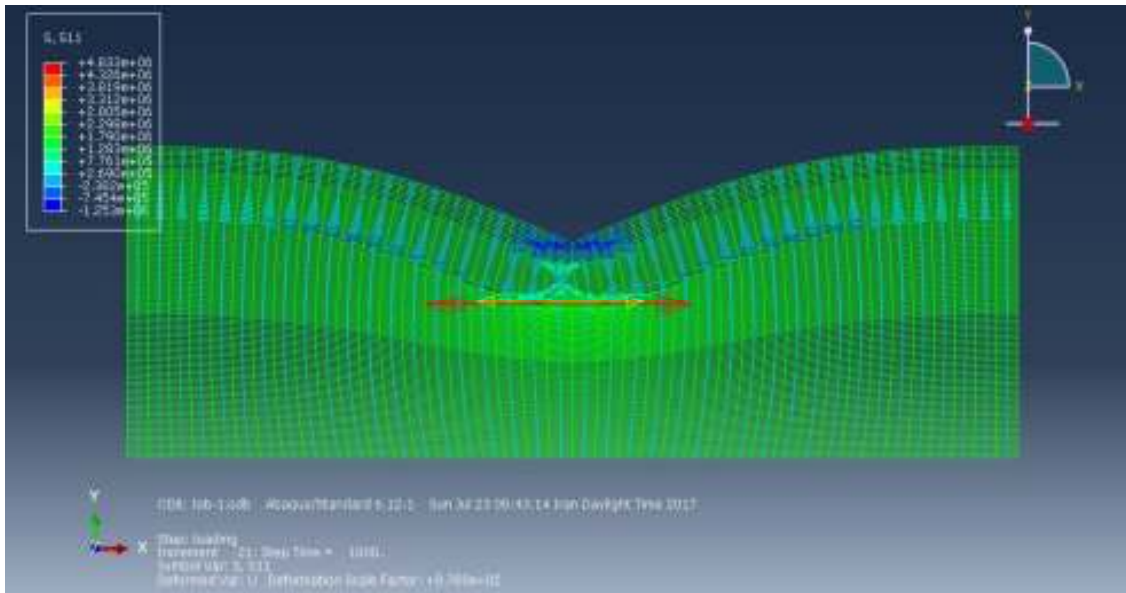
با توجه به اثرات منفرد تنش‌های برشی و کششی حاصل از وارد شدن بار در رشد و گسترش ترک، و نیز در نظر گرفتن اثر توأم این تنش‌ها در گسترش ترک از پارامتر شدت تنش جهت بررسی اثرات متقابل تنش کششی و تنش برشی جهت ارزیابی نتایج مطالعات پارامتریک استفاده گردید. بر اساس این پارامتر که معرف حداکثر اختلاف بین تنش‌های اصلی است، دستیابی به تنش برشی اصلی میسر بوده و می‌توان به‌عنوان معیاری جهت ارزیابی اثرات متقابل تنش کششی و برشی مورداستفاده قرار گیرد. البته از معیار فون میسر به‌عنوان معیار ارزیابی اندرکنش تنش‌های وارده به روکش نیز می‌توان استفاده کرد. بسته به نوع روکش آسفالتی در دو حالت روکش با ضخامت ۵ سانتی‌متر و ۱۰ سانتی‌متر در اشکال ۵-۷ و ۵-۸ توزیع شدت تنش حالت مختلط در ضخامت روکش، واقع در بالای ترک نشان داده شده است. افزایش شدت تنش در کف روکش نشان‌دهنده ایجاد تمرکز تنش در نوک ترک و کف روکش است. تفاوت بین مقادیر شدت تنش بین محل‌های بارگذاری و نوع روکش نامحسوس بوده ولی می‌توان به این نتیجه رسید که در روکش پلیمری میزان شدت تنش‌ها در عمق روکش تغییر محسوس دارد.



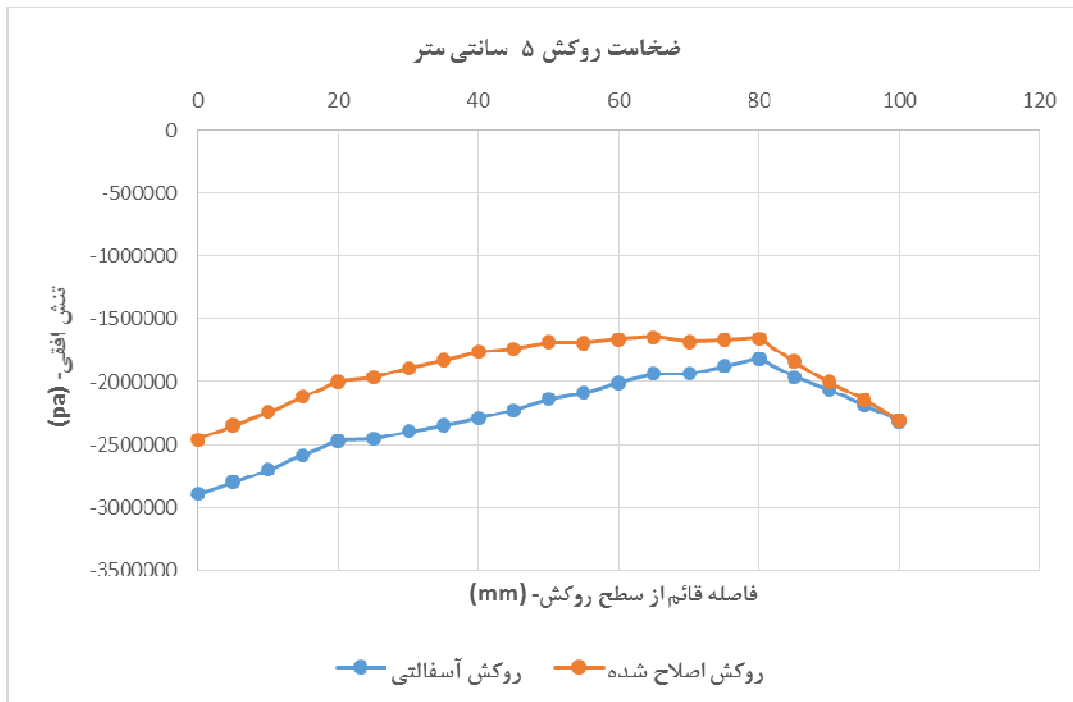
شکل ۴. کانتور تنش برشی روکش آسفالتی



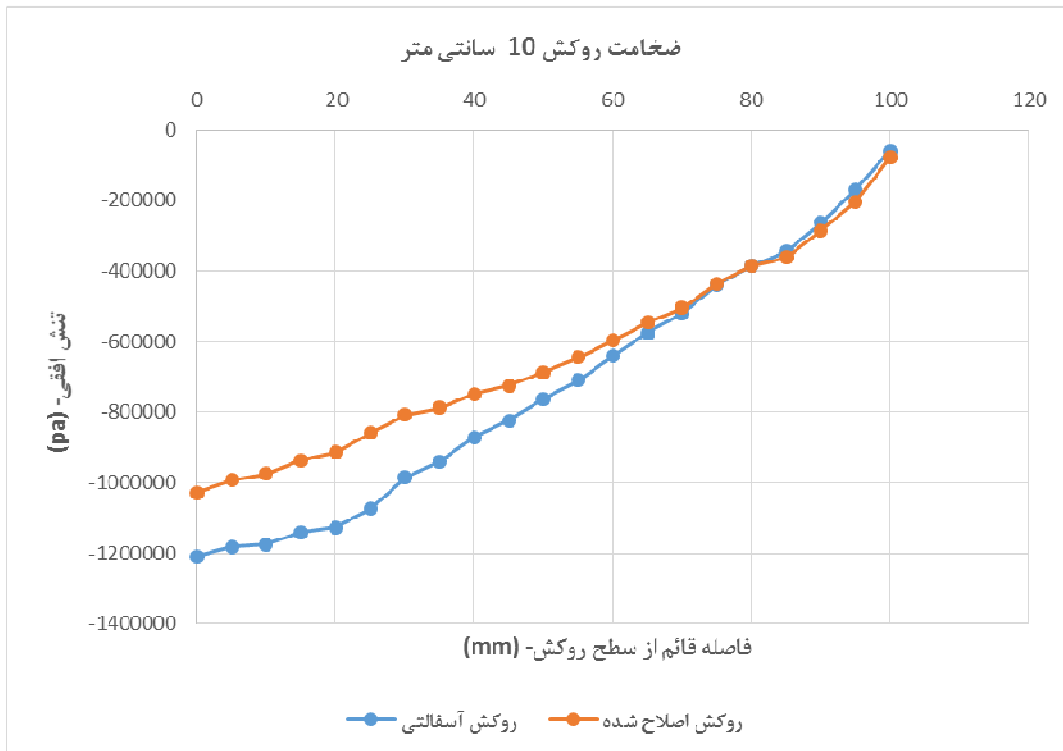
شکل ۵. کانتور تنش برشی روکش اصلاح شده



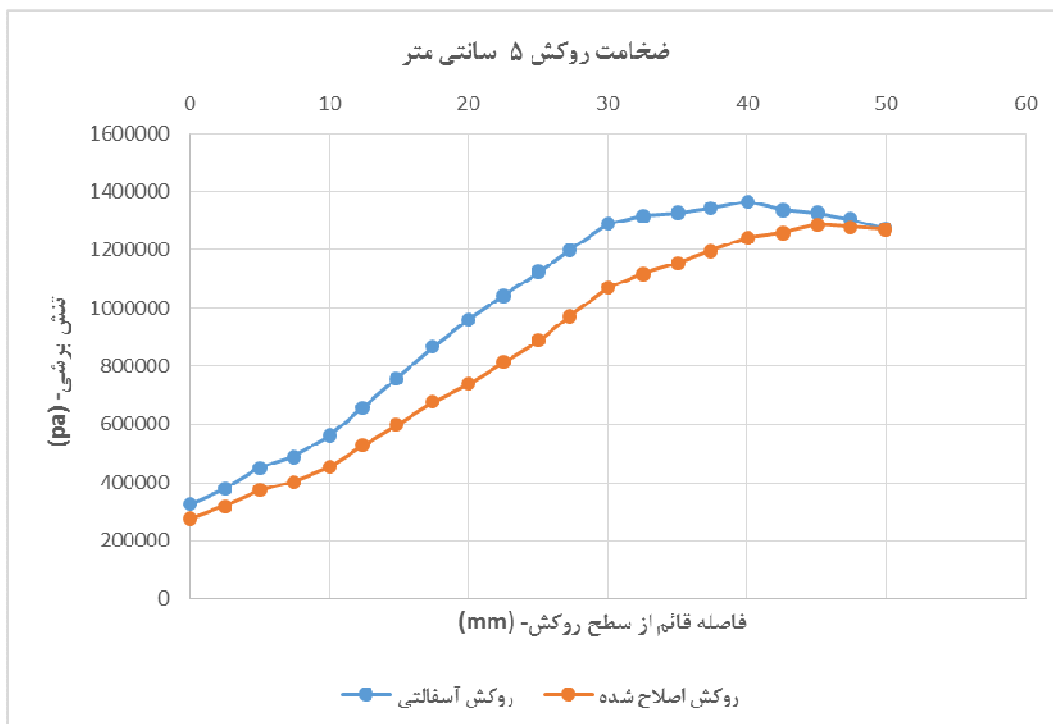
شکل ۶. کانتور تنش‌های کششی روکش اصلاح شده



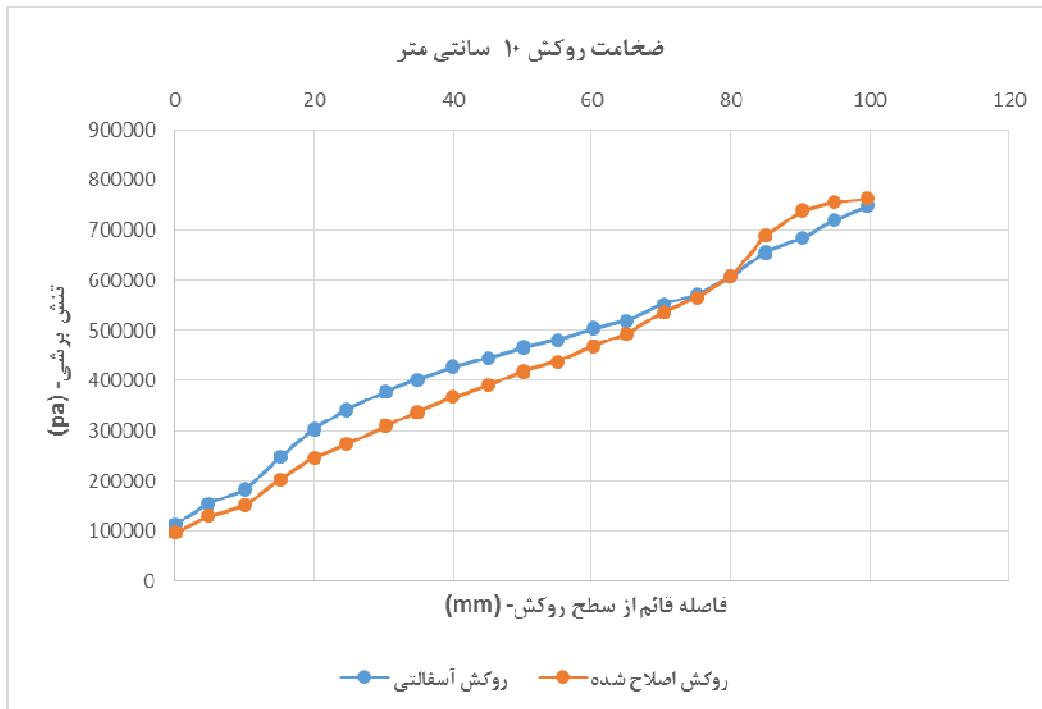
شکل ۷. توزیع تنش افقی در ضخامت روکش برابر ۵ سانتی‌متر



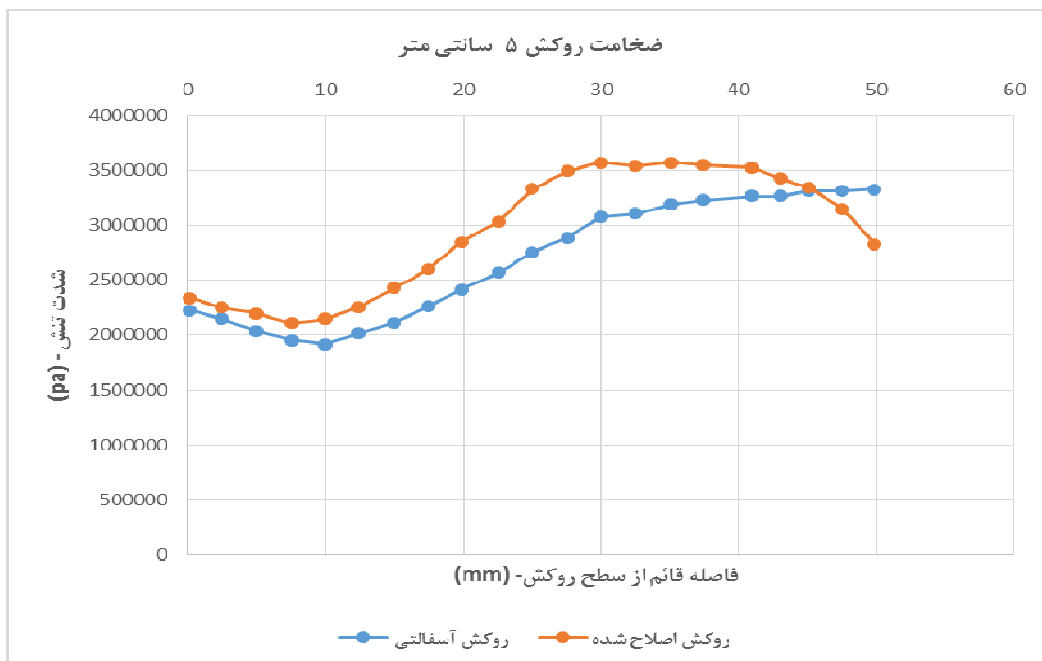
شکل ۸. توزیع تنش افقی در ضخامت روکش برابر ۱۰ سانتی متر



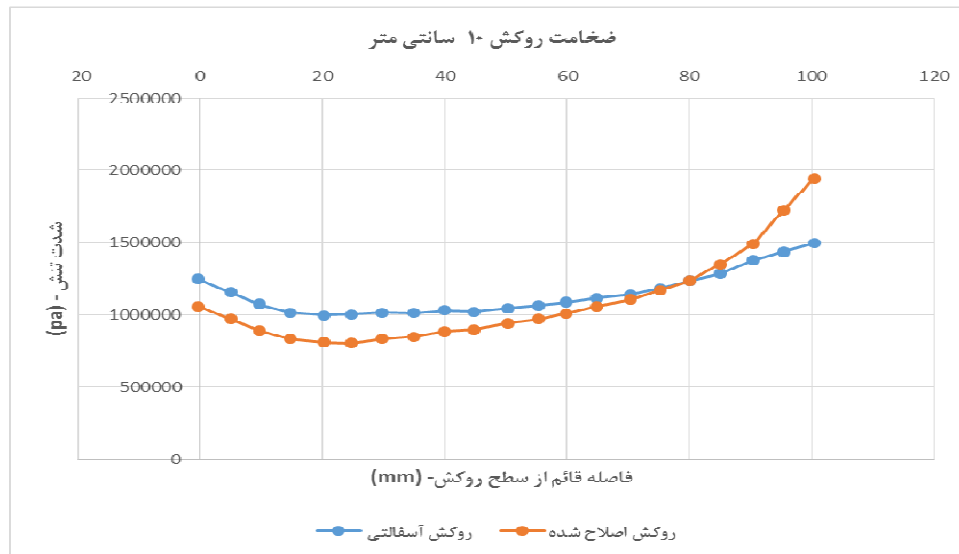
شکل ۹. توزیع تنش برشی در ضخامت روکش برابر ۵ سانتی متر



شکل ۱۰. توزیع تنش برشی در ضخامت روکش برابر ۱۰ سانتی متر



شکل ۱۱. تغییرات شدت تنش در ضخامت روکش برابر ۵ سانتی متر



شکل ۱۲. تغییرات شدت تنش در ضخامت روکش برابر ۱۰ سانتی متر

عرض بحرانی ترک

تمرکز تنش در نوک ترک و در کف لایه روکش اصلاح شده با پلیمر استایرن بوتادین ۴،۵ درصد، عرض ترک‌های ۲،۴ و ۱۰ میلی‌متر در روسازی قدیمی و در زیر روکش در نظر گرفته شد و نتایج با سیستم روسازی بدون ترک مقایسه گردید. در تحلیل‌های این بخش از تحقیق، ضخامت روکش برابر با ۱۰ سانتی‌متر، مدول الاستیسیته آن ۴۲۹۰ مگا پاسکال و محل اعمال بار قبل از محور ترک در نظر گرفته شد. مقادیر مربوط به مشخصات سایر لایه‌ها بر اساس جدول ۵-۱ در مدل مورد تحلیل اعمال گردید. نتایج مطالعات پارامتریک در ادامه بیان می‌شود. نتایج این قسمت از مطالعه پارامتریک به شرح زیر است:

وجود ترک در روسازی کهنه و در زیر لایه روکش تأثیر فراوانی بر تمرکز تنش در محل تماس روکش و ترک دارد، میزان این تأثیر وابسته به عوامل مختلفی مانند عرض ترک موجود است. بسته به عرض ترک‌های متفاوت حالت‌های مختلفی از رشد ترک مانند حالت پایدار، ناپایدار و گسیختگی را می‌توان انتظار داشت. همان‌طوری که قبلاً بیان شد، ترک در روسازی قدیمی به شکل یک ناپیوستگی در بین لایه‌های روسازی کهنه در نظر گرفته شده و میزان عرض ترک بر اساس اندازه‌گیری و تحقیقات افراد مختلف بین ۲ میلی‌متر تا ۱۵ میلی‌متر قابل‌اعمال است. در این تحقیق باهدف بررسی اثر عرض ترک بر میزان رشد ترک و

جدول ۲. مشخصات لایه‌های روسازی در تحلیل پارامتریک عرض ترک

لایه	E(MPa)	ν	$((N/m^3))$	C(KPa)	ϕ
روسازی ترک‌خورده	۴۲۹۰	۰/۳۱	۱۹۰۰۰		
اساس	۲۰۰	۰/۳	۱۷۵۰۰	۵	۴۰
زیراساس	۱۵۰	۰/۳	۱۶۵۰۰		
ساب‌گرید	۵۰	۰/۳۵	۱۵۰۰۰	۱۰	۲۵

تنش افقی

وجود ترک در کف روکش باعث ایجاد تمرکز تنش و افزایش تنش افقی در کف روکش می‌شود به طوری که وجود ترک باعث افزایش تنش کششی در نوک ترک و در کف روکش شده و گسیختگی روسازی و ترک خوردگی را افزایش می‌دهد. با افزایش عرض ترک میزان این تمرکز افزایش یافته ولی مشاهده می‌شود که میزان افزایش تمرکز تنش افقی در نوک ترک فقط تا حد مشخصی وابسته به عرض ترک است، زیرا در افزایش عرض ترک از ۴ میلی‌متر به ۱۰ میلی‌متر تفاوت محسوسی در میزان تمرکز تنش‌های ایجادی در روکش مشاهده نمی‌شود.

شدت تنش

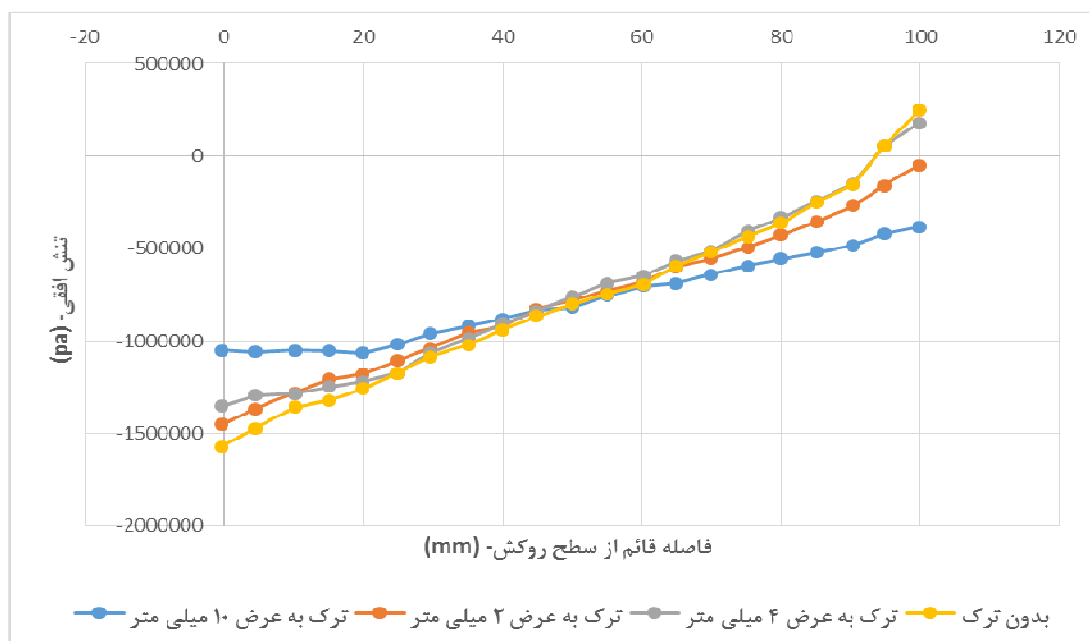
تغییرات شدت تنش حالت مختلط (ترکیب مد الف و ب) در ضخامت روکش به‌عنوان معیار اصلی رشد و گسترش ترک در نمودار شکل ۵-۱۱ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج نیز می‌توان چنین بیان کرد که قابلیت ترک خوردن روکش در اثر وجود ترک در روسازی قدیمی تا حد مشخصی با افزایش عرض ترک افزایش یافته و پس از آن ثابت می‌ماند. بنابراین، می‌توان دهانه بازشدگی بحرانی ترک را جهت شروع و رشد ترک در روکش واقع بر روسازی ترک‌خورده برابر با ۵ میلی‌متر در نظر گرفت و در مدل‌سازی اعمال کرد.

تنش برشی

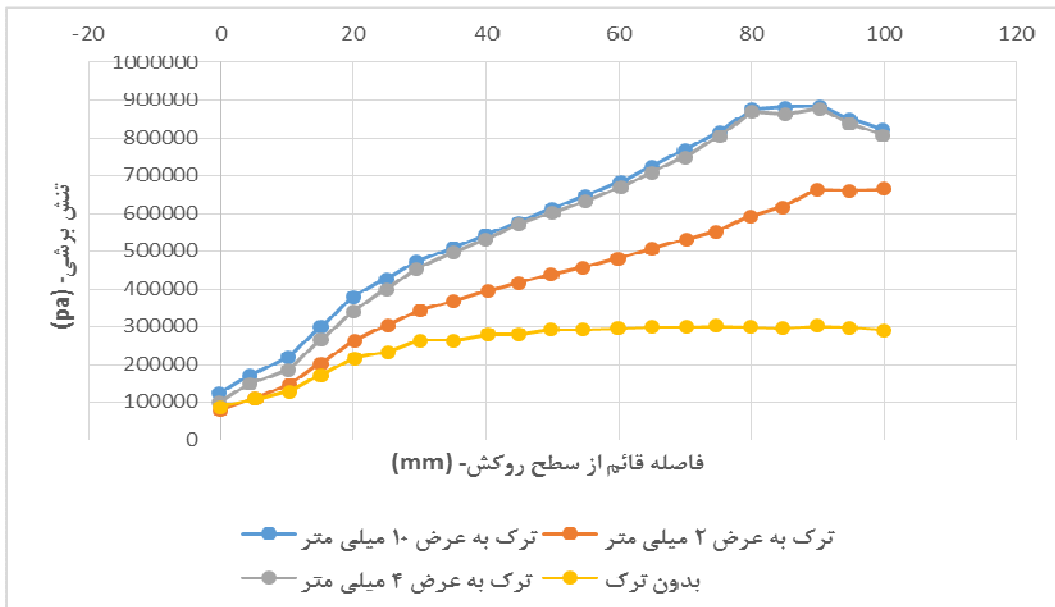
همان‌طور که در بخش قبل بیان شد مشابه تغییرات تنش افقی، افزایش تمرکز تنش برشی در نوک ترک و در کف روکش تا حدی از عرض ترک افزایش یافته (حدود ۵ میلی‌متر) و بالاتر از این میزان افزایش چشم‌گیری در تنش برشی مشاهده نمی‌شود. در هر حال وجود ترک در سیستم روسازی باعث افزایش تنش برشی تا حدود ۳ برابر نسبت به حالت بدون ترک، در کف روکش می‌شود.

کرنش کششی و برشی

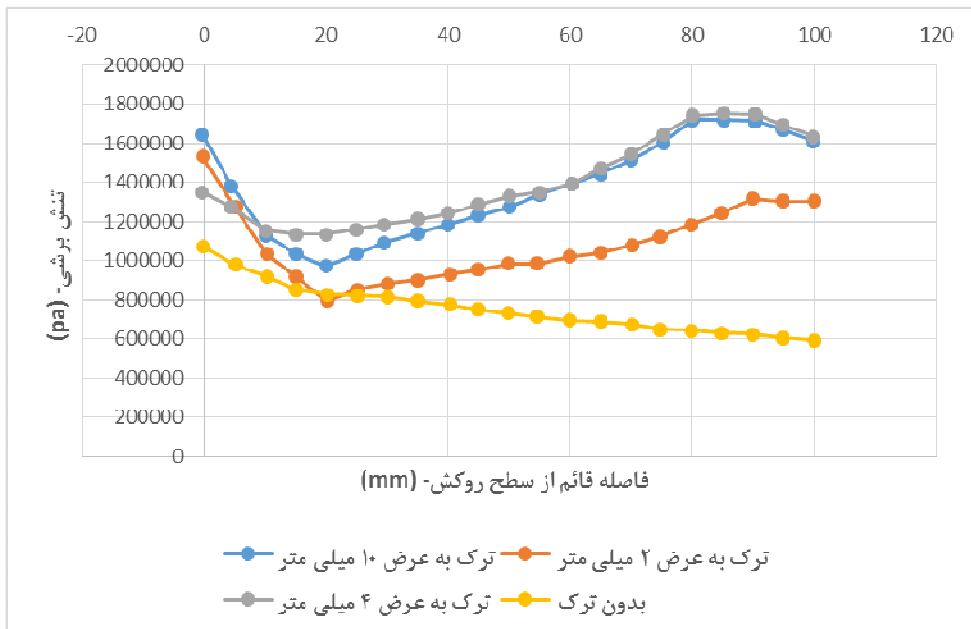
بر اساس نمودار اشکال تغییرات کرنش کششی و برشی در ضخامت روکش، نشان‌دهنده ارتباط مستقیم بین این پارامترها و میزان بازشدگی دهانه ترک (عرض ترک) است. این ارتباط در مقادیر عرض ترک بالاتر از ۵ میلی‌متر برقرار نبوده و می‌توان عرض بحرانی ترک موجود را از جنبه افزایش تمرکز تنش و کرنش‌های عامل رشد ترک برابر با ۵ میلی‌متر در نظر گرفت.



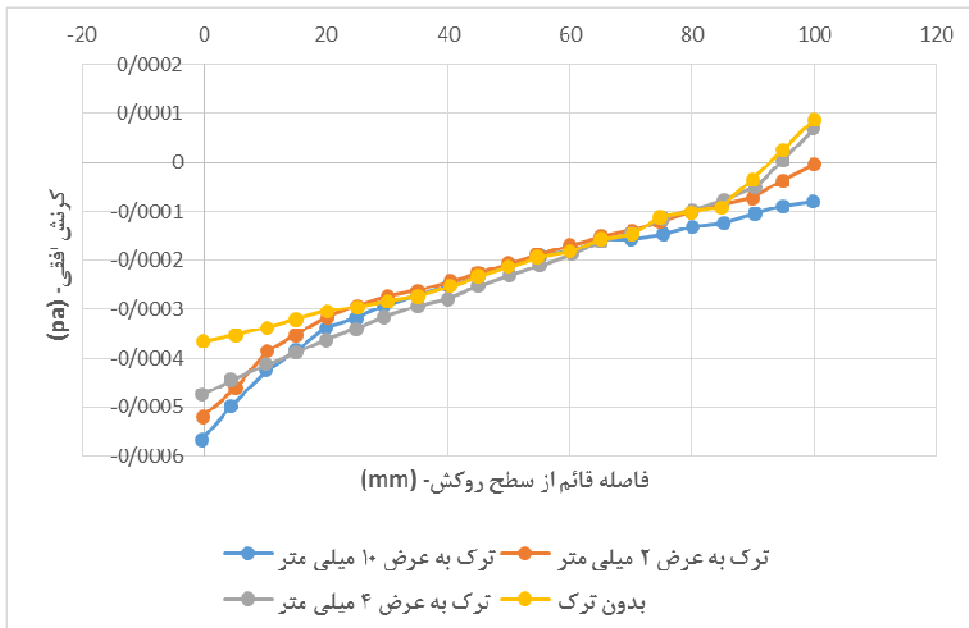
شکل ۱۳. تغییرات تنش افقی در ضخامت روکش برای عرض ترک‌های مختلف



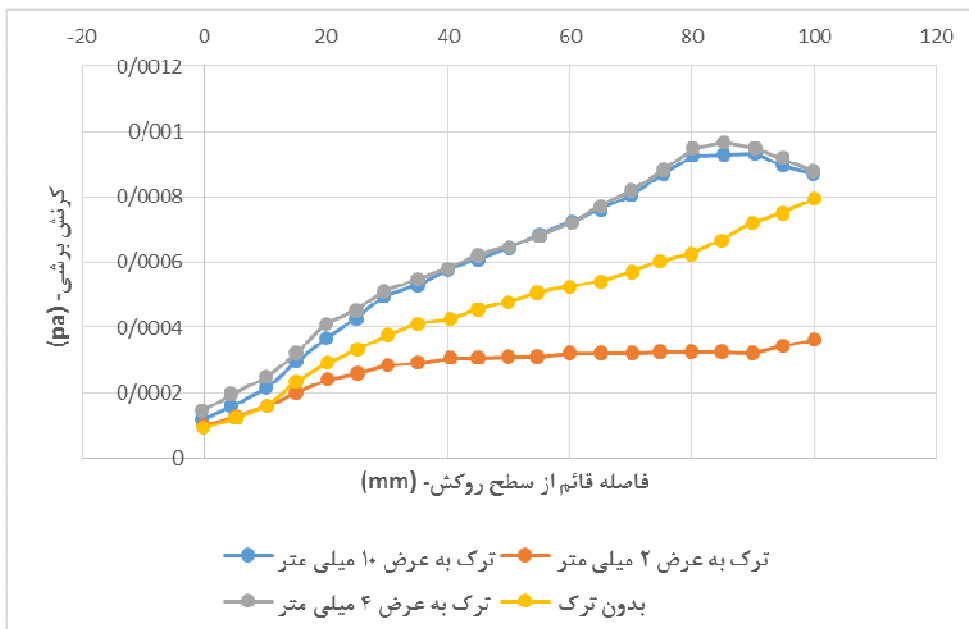
شکل ۱۴. تغییرات تنش برشی در ضخامت روکش برای عرض ترکهای مختلف



شکل ۱۵. تغییرات شدت تنش در ضخامت روکش برای عرضهای مختلف



شکل ۱۶. تغییرات کرنش کششی در ضخامت روکش ۱۰ سانتیمتر



شکل ۱۷. تغییرات کرنش برشی در ضخامت روکش ۱۰ سانتیمتر

۵- نتیجه گیری

-AlQadi and Elseifi, M.A. "A simplified overlay design model against reflective cracking utilizing service life prediction".

-Relation between polymer architecture and nonlinear viscoelastic behavior of modified asphalts Current Opinion in Colloid & Interface Science 2006 11(4): pp.230-245.

-Micro-structural and rheological characteristics of SBS-asphalt blends during their manufacturing Construction and Building Materials 23(8): pp.2769-2774.

-Polymer modified asphalt binders Construction and Building Materials 21(1): pp.66-72.

-Polymer literature review Minnesota Department of Transportation Report No. MN/RC-95/27.

-(1987), "British Aggregate Construction Materials Industries". What is in a road? UK ACMA Product Group.

-Croney, David & Croney, Paul. McGraw-Hill, (1991), "The Design and Performance of Road Pavements". s.l.: International Series in Civil Engineering.

-Hildebrand, George. (2002), "Verification of Flexible Pavement Response from a Field Test". s.l. Denmark: Danish Road Institute.

-Non-linear Finite Element analysis of Flexible Pavements Advanced Engineering Software No. 34, pp.657-662.

-(1978), "A guide to the structural design of pavement for new roads. London (1978), UK Road research Laboratory, Department of Environment.

-(1978), "What is in a road"? ACMA Product Group.

-"Use of Geotextile for Reinforcement and Strain Relief in Asphalt Concrete Geotextile and Geomembrane". pp.217-237.

بر اساس بررسی‌های انجام گرفته و نتایج مطالعات اجزاء محدود که مقادیر و نمودارهای حاصل موارد زیر جز و مهم‌ترین نتایج این بخش از مطالعات تحقیق است:

(۱) با بررسی‌های انجام شده مشخص گردید با توجه به اینکه هر کدام از مواد کامپوزیتی معایب و مزایای خاص خود را دارند و در مواردی با اصلاح برخی ویژگی‌های روسازی منجر به کاهش سایر شاخص‌ها می‌گردند، لذا استفاده از هر نوع پلیمری بسته به شرایط، کاربرد و وضعیت آب و هوای منطقه مورد استفاده می‌تواند متفاوت باشد.

(۲) مشخص شد که پلیمر پرکاربرد استایرن بوتادین استایرن (SBS) با نسبت ۴،۵ درصد حجم قیر مصرفی در حالت بهینه برای روکش آسفالتی مورد استفاده قرار گیرد.

(۳) بحرانی‌ترین حالت شروع ترک با توجه به دو معیار تنش کششی و برشی در ضخامت روکش و در نوک ترک برای دو ضخامت ۵ و ۱۰ سانتیمتر روکش در دو وضعیت قرارگیری بار چرخ بر روی محور ترک شناخته شده است، با بررسی تاثیر روکش آسفالتی اصلاح شده مشخص می‌گردد اصلاح آسفالت تاثیر آنچنان محسوسی بر شدت تنش‌های برشی و افقی در عمق روکش ندارد.

(۴) بسته به میزان بازشدگی دهانه ترک (عرض ترک)، بحرانی‌ترین وضعیت تمرکز تنش کششی و برشی در نوک ترک (کف روکش) برای عرض‌های ۲، ۴ و ۱۰ میلی‌متر بررسی شد و نتایج نشان‌دهنده این بود که افزایش تنش‌ها در نوک ترک با عرض ترک رابطه مستقیم داشته ولی این ارتباط تا حدی از عرض ترک برقرار بوده و پس از آن ثابت تنش‌های کششی و برشی در نوک و در ضخامت روکش ایجاد می‌شود، این عرض بحرانی در حدود ۵ میلی‌متر حاصل شد.

۶- مراجع

- صفارزاده، جوتین خ، کنت ل، (۱۳۸۱)، مترجم، "مهندسی ترافیک و ترابری"، تهران، دانشگاه تربیت مدرس: مرکز نشر آثار علمی.

- ع، فخاریان ک. و مجتهدی م. (۱۳۸۱)، "معرفی، کاربرد و وضعیت ژئوسنتتیک‌ها: در جهان و ایران"، تهران: مجموعه مقالات نخستین کنفرانس بهسازی زمین.