

# ارزیابی تاثیر سرعت و آرایش چرخ‌های وسایل نقلیه سنگین بر روی گسترش ترک‌های انعکاسی به روش المان محدود

مقاله علمی - پژوهشی

عرفان ناصرزارع، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
علی عبدی کردانی\*، استاد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
حمیدرضا بهنود، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [aliabdi@eng.ikiu.ac.ir](mailto:aliabdi@eng.ikiu.ac.ir)

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸ - پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱

صفحه ۴۴-۲۳

## چکیده

خستگی عبارت است از پدیده‌ی شکست بر اثر تکرار بار، که تنش ایجاد شده توسط این بار ممکن است حتی به مراتب کوچک‌تر از مقاومت نهایی مصالح باشد. ترک‌های ناشی از خستگی، در مقاطع آسفالتی، با توجه به مکان پیدایش و نحوه گسترش آن‌ها دو دسته است. دسته اول ترک‌هایی است که در بخش پایینی مقطع آسفالتی پدید می‌آیند و سپس با تکرار بار به سمت بالا گسترش می‌یابند. دسته دوم که در روسازی‌های ضخیم امکان پیدایش بیشتری دارند، از سطح روسازی، شروع شده و به سمت پایین گسترش می‌یابند. این دسته از ترک‌ها، نسبت به دسته اول تاکنون کم‌تر مورد توجه و مطالعه قرار گرفته‌اند. سه نوع وسیله نقلیه سنگین پرتردد، شامل: کامیون ۶ چرخ ۲۶ تن، تریلی ۱۸ چرخ ۴۰ تن و تریلی ۱۲ چرخ ۴۰ تن مورد مطالعه قرار گرفتند. سرعت وسایل نقلیه در سه سرعت متفاوت ۴۰، ۶۰ و ۸۰ کیلومتر بر ساعت و ضخامت لایه جدید در ابعاد ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر بررسی شد. همچنین تغییرات ضریب پواسون و ضریب الاستیسیته لایه‌ها با افزایش ۵ تا ۳۰ درصدی بر روی عمق شیار شدگی سنجیده شد. این نتایج نشان می‌دهد که افزایش بارمحوری و تعداد چرخ‌ها رابطه مستقیمی با رشد ترک‌ها دارند و کاهش سرعت وسیله نقلیه باعث افزایش عمق شیار شدگی می‌شود. همچنین، افزایش ضخامت لایه‌های مختلف راه‌حل مناسبی برای کاهش ترک‌های انعکاسی نیست، در حالی که افزایش ضریب الاستیسیته لایه رویه مؤثرتر است.

واژه‌های کلیدی: آسفالت روسازی، المان محدود، ترک انعکاسی، مدول الاستیسیته

## ۱- مقدمه

می‌کند، مقاومت در برابر لغزندگی را بهبود می‌بخشد و ظرفیت باربری روسازی را تقویت می‌نماید. همچنین، از نفوذ رطوبت به لایه‌های زیرین روسازی جلوگیری می‌کند. اما متأسفانه، این مزایا موقتی هستند، زیرا ترک‌های انعکاسی در مدت کوتاهی پس از بهسازی، این مزایا را خنثی می‌کنند. شفاف‌بخش و

عدم استفاده از مواد مناسب در روسازی‌ها، منجر به ایجاد مشکلاتی مانند شکستگی‌های برشی، تغییر شکل‌های شدید و ناهمواری در سطح جاده می‌شود (طباطبایی، ۱۳۷۷). گاوچ و ابوجود (۲۰۱۳) روکش کردن سطح جاده، مزایای متعددی را به همراه دارد. این روش، سطح جاده را صاف و یکنواخت

مانند کامیون‌ها می‌توانند تنش‌های قابل توجهی را در نزدیکی سطح روسازی ایجاد کنند.

اخوان بهابادی و همکاران (۱۳۹۵) ضخامت لایه آسفالت و تغییرات دما، می‌توان تاثیر قابل توجهی بر ضرایب شدت تنش داشت. نتایج حاکی از آن است که افزایش ضخامت آسفالت و دمای بالاتر، منجر به کاهش این ضرایب می‌شود. با این حال، با طولانی‌تر شدن ترک‌ها، این ضرایب افزایش می‌یابند. محققان پیشنهاد می‌کنند که در مطالعات آینده، از روش XFEM برای تحلیل دقیق‌تر این پدیده استفاده شود تا نتایج جامع‌تری حاصل گردد. دیلمی و همکاران (۲۰۲۰) شکاف‌ها و ترک‌ها در روسازی جاده‌ها به دلایل متعددی رخ می‌دهند. یکی از عوامل اصلی، مقاومت ناکافی روسازی در برابر تنش‌های کششی و برشی است که در طول زمان بر آن وارد می‌شود. این تنش‌ها می‌توانند ناشی از عوامل مختلف مانند ترافیک سنگین، تغییرات دما، و بارگذاری‌های متناوب باشند. وقتی تنش‌های وارده بر روسازی از حد مقاومت نهایی آسفالت فراتر رود، پدیده خستگی رخ می‌دهد و در نتیجه، ترک‌های سطحی در جاده ایجاد می‌شود. این امر باعث کاهش کیفیت روسازی و نیاز به تعمیرات می‌شود.

### ۳- انواع تغییر شکل نوک ترک

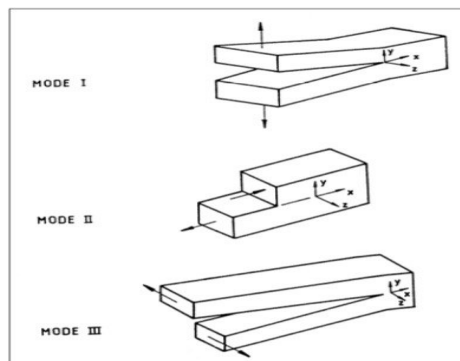
در مقایسه دو قطعه با ترک‌های مختلف، عامل اصلی متمایزکننده، پارامتر  $K$  در میدان تنش است. این پارامتر به عنوان ضریب شدت تنش شناخته می‌شود و نقش مهمی در تعیین میزان ترک دارد. به طور کلی،  $K$  به عنوان یک شاخص درجه‌بندی عمل می‌کند که شدت تنش در نوک ترک را مشخص می‌نماید. (اکرامی، ۱۳۸۲). سه ضریب شدت تنش،  $K1$ ،  $K2$  و  $K3$ ، در مکانیک شکست به سه نوع مختلف تغییر شکل سطح ترک اشاره دارند. این انواع شامل کشش، سر خوردن و پارگی است. کشش، که با  $K1$  نشان داده می‌شود، به جدا شدن مستقیم سطوح ترک از یکدیگر مربوط است. سر خوردن، با  $K2$ ، توصیف‌کننده حرکت سطوح ترک روی یکدیگر در راستای عمود بر لبه ترک است. در نهایت، پارگی، با  $K3$ ، جابجایی موازی سطوح ترک را در راستای لبه‌ی جلویی آن نشان می‌دهد. این سه ضریب، به طور جامع، طیف وسیعی از حالات تغییر شکل سطح ترک را در بر می‌گیرند. (فرهی، ۱۳۶۷).

همکاران (۲۰۲۰) یافتند ترک‌های انعکاسی، یکی از چالش‌های اصلی در روکش‌های نازک به شمار می‌روند. این پدیده معمولاً به گسترش ترک‌هایی اشاره دارد که از لایه‌های زیرین روسازی یا بستر آن نشأت می‌گیرند و به دلیل جابجایی‌ها و حرکت‌های ناشی از بارگذاری ترافیکی، به لایه روکش جدید منتقل می‌شوند. این جابجایی‌ها می‌تواند به دلیل تغییر شکل‌های مختلف در ترک‌های لایه زیرین، انبساط و انقباض خاک بستر، یا تغییرات حرارتی در روسازی باشد. در واقع، این ترک‌ها نتیجه ترکیبی از عوامل مختلف هستند که در دسته‌بندی ترک‌های خستگی قرار می‌گیرند.

### ۲- عوامل پیدایش ترک‌های سطحی

اسشورت و همکاران (۲۰۰۳) بررسی‌ها نشان می‌دهد که وجود ترک‌های متعدد و طولی در سطح روسازی، با عمقی کمتر از لایه‌ی آسفالت، می‌تواند نشانه‌ای از آغاز ترک‌ها از سطح باشد. این ترک‌های سطحی، به وضوح در امتداد مسیر چرخ‌ها در روسازی بتن آسفالتی شکل می‌گیرند و معمولاً در خارج از مسیر چرخ و موازی با لبه‌ی آن قرار دارند.

هولوینسکی و همکاران (۲۰۰۰) در نمونه‌های مغزه‌ای که از جاده‌ها تهیه شد، مشخص شد که ترک‌های خستگی در این نمونه‌ها ویژگی‌های متفاوتی دارند. برخلاف ترک‌های معمول که از کف آسفالت شروع می‌شوند، این ترک‌ها به انتهای لایه آسفالت راه پیدا نمی‌کنند. محققان در گروه تحقیقاتی Mn/Road در مینسوتا، الگوی جالبی را کشف کردند. آنها متوجه شدند که ترک‌های طولی در امتداد لبه‌های ترک‌های عرضی ایجاد می‌شوند و به‌طور موازی با مسیر چرخ‌ها گسترش می‌یابند. این ترک‌ها به‌طور ناگهانی به هم متصل می‌شوند و یک شبکه کامل از ترک‌ها را تشکیل می‌دهند. آرملینک و شنبرینر (۲۰۰۳) تحقیقات گسترده‌ای در مورد ترک‌های سطحی در روسازی‌ها صورت گرفته است و دانشمندان به این نتیجه رسیده‌اند که روش‌های متداول تحلیل روسازی قادر به توضیح کامل این پدیده نیستند. در نتیجه، فرضیات متعددی برای درک بهتر این موضوع ارائه شده است. یکی از فرضیات قابل توجه، ارتباط بین بار چرخ و وسایل نقلیه و ایجاد این ترک‌ها است. ابزارهای تحلیل فعلی روسازی بر اساس فرض یکنواختی توزیع تنش بین چرخ و روسازی طراحی شده‌اند. با این حال، مطالعات اخیر نشان می‌دهد که چرخ‌های سنگین وسایل نقلیه



شکل ۱. روش‌های اصلی بارگذاری و جابه‌جایی‌های مربوطه سطوح ترک (فرهی، ۱۳۶۹)

#### ۴- ساز و کار ترک‌ها در روسازی

تحقیقات گسترده در زمینه مکانیک شکست روسازی‌ها، سه مکانیسم متفاوت را برای تشکیل ترک‌ها در این سازه‌ها آشکار کرده است. در حالت نخست، تغییرات دمایی منجر به انبساط و انقباض مصالح می‌شود و در نتیجه، ترک‌هایی در روسازی پدیدار می‌گردد. این ترک‌ها با خمش ناشی از بارگذاری و ترافیک، در لایه‌های روسازی گسترش می‌یابند. دومین حالت، تنش‌های برشی است که در اثر بارگذاری و عبور وسایل نقلیه ایجاد می‌شود. این تنش‌ها سبب به وجود آمدن ترک‌هایی در روسازی می‌شوند که سپس در لایه‌های مختلف آن منتشر می‌گردند.

در حالت سوم، تنش‌های سطحی افقی بین چرخ و سطح روسازی، عامل اصلی تشکیل ترک‌ها هستند. این تنش‌ها در اثر بارگذاری و ترافیک به وجود می‌آیند و ترک‌های ایجاد شده، در لایه‌های روسازی گسترش می‌یابند.

بنابراین، ترک‌ها در روسازی‌ها تحت تأثیر تنش‌ها و کرنش‌های خاصی که ناشی از عوامل خارجی هستند، شکل می‌گیرند و گسترش می‌یابند. از میان این حالات، ترک‌های ناشی از تغییرات دمایی و تنش‌های برشی، شایع‌ترین موارد مشاهده شده در روسازی‌ها به شمار می‌روند. (عامری، ۱۳۶۷).

#### مدل‌سازی

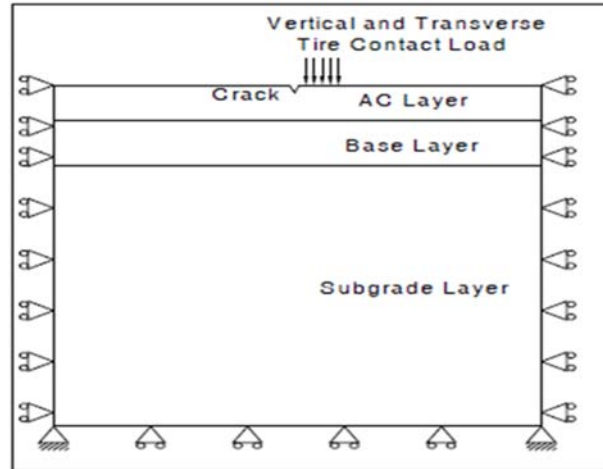
در این بخش با استفاده از روش اجزا محدود و نرم افزار آباکوس یک روسازی ترک خورده که تحت بارگذاری ناشی از چرخ قرار دارد، بررسی می‌شود. با توجه به این که هدف از این پژوهش بررسی ساز و کار ترک در عمق لایه‌ی آسفالتی است،

مسئله به صورت سه بعدی مدل می‌شود و در مدل سازی المان‌های سه بعدی چهارگره ای از خانواده Solid استفاده می‌شود. این المان، یکی از المان‌های رایج است که در بیشتر مدل سازی‌ها و تحقیقات از آن استفاده می‌شود.

شبهه سازی شرایط مرزی و بارگذاری‌ها با توجه به توصیف‌های موجود در این زمینه انجام می‌شود تا بهترین تطابق را با شرایط واقعی داشته باشد. تمرکز تنش در اطراف ترک ایجاد می‌کند که از تعداد المان‌ها و گره‌های بیشتری در اطراف ترک استفاده شود، بدیهی است که این موضوع سبب افزایش زمان محاسباتی توسط کامپیوتر می‌شود، پس ابعاد المان‌های بهینه با روش سعی و خطا، در نظر گرفته شده اند. در مدل سازی با استفاده از نرم افزار آباکوس با زون بندی مدل و تقسیم آن به نواحی مختلف و استفاده از مش با ابعاد متفاوت، در هر یک از این نواحی، سعی شده علاوه بر حفظ دقت محاسبات زمان محاسبات کمتر شود.

#### اعتبارسنجی پژوهش

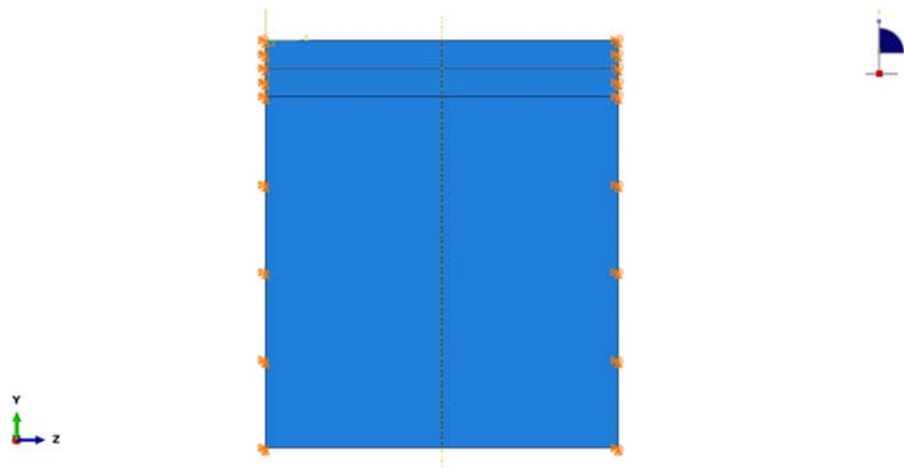
به منظور سنجش صحت روش پژوهش و نحوه مدل‌سازی و استفاده از نرم افزار مقاله‌ای به عنوان مقاله پایه در نظر گرفته شده و مدل‌سازی موجود در آن مقاله مجدداً تکرار و نتایج مقایسه می‌گردند. در صورت کم بودن اختلاف در نتایج صحت روش مورد استفاده در این پژوهش اثبات می‌گردد. مقاله مورد استفاده جهت انجام صحت سنجی مقاله "فخری و همکاران با عنوان بررسی نحوه‌ی گسترش ترک‌های بالا به پایین در روسازی‌های آسفالتی، با استفاده از فرضیه‌ی مکانیک شکست" مورد استفاده قرار گرفته است.



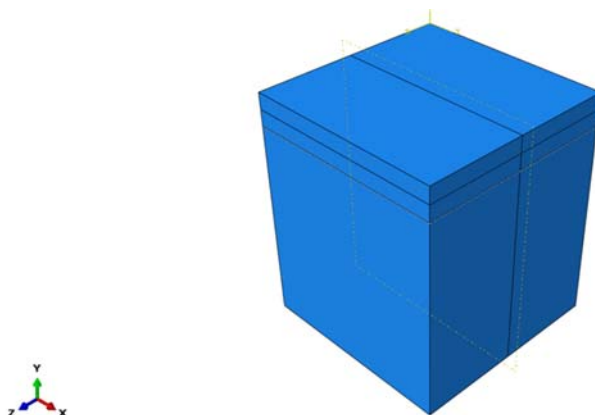
شکل ۲. هندسه مدل، لایه بندی، شرایط مرزی

از بار چرخ کامیون اکتفا شده است که با حدس اولیه استفاده از کامیون استاندارد ۴۰ تن مدلسازی انجام می‌گردد و در صورت عدم تشابه نتایج می‌بایست از دیگر وسایل نقلیه استاندارد استفاده گردد تا به جواب مشابه رسید که البته حدس اولیه صحیح بود و نتایج در ادامه بررسی خواهد گردید.

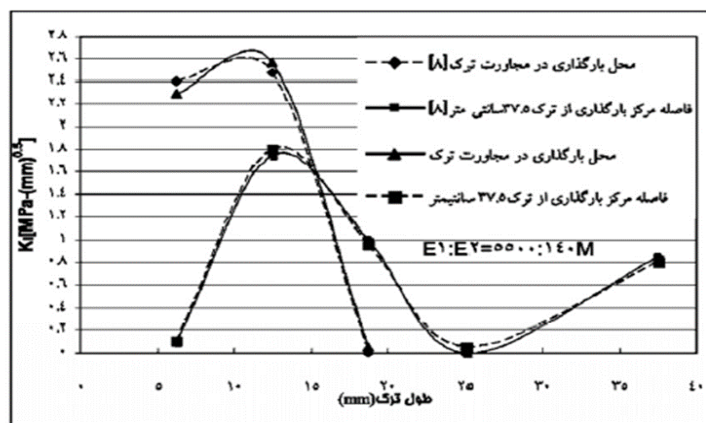
در پژوهش فخری و همکاران از مدل دوبعدی استفاده گردیده و از آنجایی که در این پژوهش از مدل سه بعدی استفاده خواهد گردید بنابراین در مدلسازی مجدد آن از هندسه سه بعدی استفاده گردید که انتظار می‌رود جواب‌های یکسان یا بسیار نزدیکی ارائه گردد. همچنین میزان بار چرخ استفاده شده در مقاله پایه به طور مشخص ذکر نشده و تنها به استفاده



شکل ۳. لایه بندی و شرایط مرزی در صحت سنجی



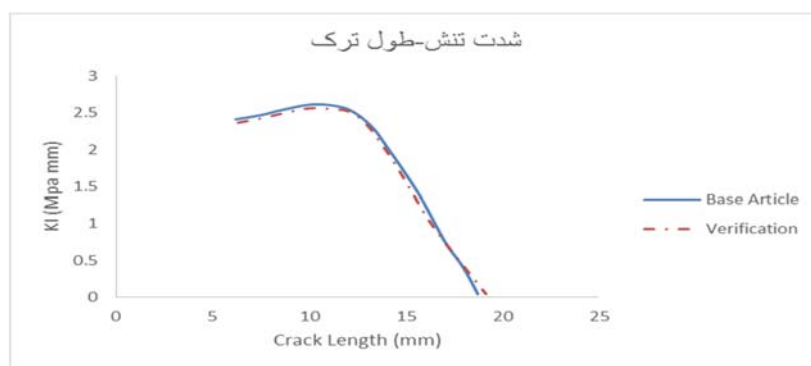
شکل ۴. هندسه سه بعدی در صحت سنجی



شکل ۵. نمودار نتایج بدست آمده در مقاله پایه (تاثیر موقعیت بارگذاری بر روی تنش در نوک ترک)

جدول ۱. مشخصات مصالح مورد استفاده در مقاله پایه

مصالح	آسفالت (۱)	آسفالت (۲)	اساس (۱)	اساس (۲)	لایه های خاکریز
نوع مصالح در نظر گرفته شده	الاستیک	الاستیک	الاستیک	الاستیک	الاستیک
مدول الاستیسیته E(MPa)	۵۵۰۰	۸۲۷۵	۱۴۰	۳۰۰	۱۰۰
ضریب پواسون، $\nu$	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۴	۰/۴	۰/۴۵



شکل ۶. نمودار مقایسه نتایج صحت سنجی با مقاله پایه

مطابق نمودار مقایسه ای بدست آمده میزان اختلاف بین نتایج مدلسازی در مقاله پایه و صحت سنجی کمتر از ۲ درصد می باشد و به همین جهت روش مدلسازی در این پژوهش قابل اعتماد می باشد.

#### ابعاد و هندسه مدل

به عنوان یک لایه نیمه بی نهایت عمل می کند. این عمق برای اطمینان از کاهش کافی تنش ها قبل از رسیدن به تکیه گاه های صلب مدل انتخاب شده است. لایه های زیرین نیز در مدل سازی گنجانده شده اند و ضخامت هر لایه مطابق با جدول ۲ است.

در این مطالعه، تحلیل های اجزای محدود با استفاده از یک مدل دوبعدی یا سه بعدی انجام می شود. مدلی که برای این تحلیل در نظر گرفته شده، یک لایه آسفالتی به ابعاد  $\frac{4}{8}$  متر در طول و ۱ متر در عرض و عمق ۲ متر است. این ابعاد به گونه ای انتخاب شده اند که زمان مورد نیاز برای حل مسئله توسط نرم افزار طولانی نشود و ابعاد مدل به گونه ای انتخاب شده است که مقطع عرضی چرخ به طور کامل و جامع در آن جا بگیرد و امکان جابه جایی عرضی آن نیز با توجه به نوع تحلیل های مورد نظر، موجود باشد. سیستم ساختمانی روسازی به صورت چهار لایه الاستیک خطی کاملاً چسبیده در نظر گرفته شد. در این مدل همچنین لایه های زیرین شامل آسفالت قدیمی، اساس، زیراساس و ۲ متر خاک بستر را در نظر می گیرد که

جدول ۲. ابعاد لایه های مورد استفاده در مدل سازی

ضخامت (سانتی متر)	نوع لایه
۴	روکش آسفالتی
۱۵	لایه آسفالت قدیمی
۱۵	لایه اساس
۲۰	لایه زیراساس
۲۰۰	بستر

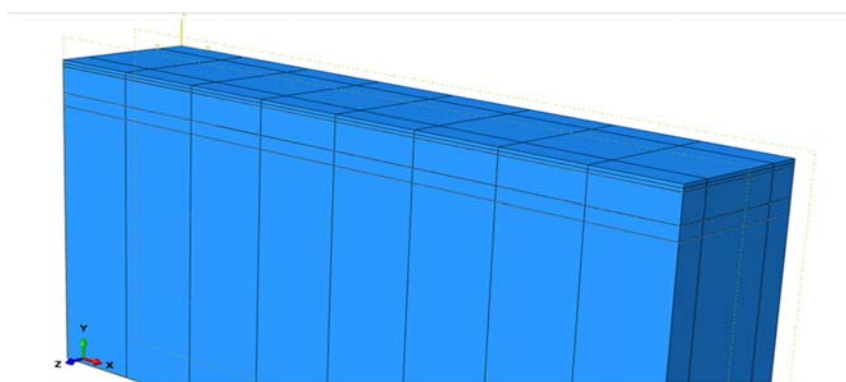
### مشخصات مصالح

مقایسه تأثیر آن‌ها بر گسترش ترک‌های انعکاسی است. فرضیات مطرح‌شده در این تحقیق برای تمامی انواع مواد روسازی معتبر هستند. برای مدل‌سازی رفتار الاستیک هر ماده، تنها نیاز به تعیین مدول الاستیسیته (E) و ضریب پواسون ( $\nu$ ) است. مقادیر این پارامترها برای این مطالعه در جدول ۳ ارائه‌شده که با خواص مکانیکی معمول لایه‌های مختلف روسازی آسفالتی مورد استفاده در ایران مطابقت دارد.

در سال‌های اخیر، تعداد قابل توجهی از پژوهشگران برای به‌کارگیری تئوری مکانیک شکست، فرضیات خود را بر اساس رفتار الاستیک خطی برای بتن آسفالتی و لایه‌های زیرین روسازی بنا نهاده‌اند. در این پژوهش، هدف بررسی آرایش چرخ‌های وسایل نقلیه سنگین، هم‌تک‌چرخ و هم‌جفت‌چرخ و

جدول ۳. مشخصات لایه‌ها

نوع لایه	E(MPa)	$\nu$
روکش آسفالتی	۹۵۰	۰,۳۵
لایه آسفالت قدیمی	۸۰۰	۰,۳۴
لایه اساس	۱۵۵	۰,۳۵
لایه زیراساس	۱۰۴	۰,۴۵
خاک بستر	۵۰	۰,۴۵

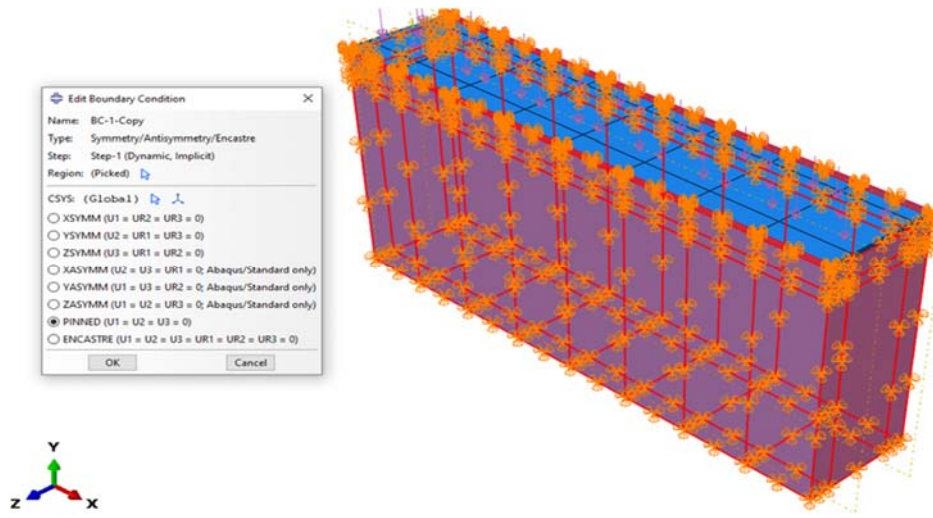


شکل ۷. مدل سازی لایه‌ها در نرم افزار آباکوس

مدل مشخص شده است، نمایانگر سطح تماس تأیر در فواصل مختلف است. هدف از این شبکه‌بندی، تضمین استقلال مقادیر محاسبه‌شده برای ضرایب شدت تنش از المان‌بندی مدل است؛ به عبارت دیگر، با مشخص کردن پیشاپیش این موقعیت‌ها، نتایج مسئله تنها به موقعیت چرخ‌ها نسبت به ترک (هدف اصلی مسئله) وابسته خواهند بود و از المان‌بندی مدل مستقل خواهند بود. بدون این شبکه‌بندی، برای هر بارگذاری باید موقعیت بار را جداگانه مشخص کرد و نتایج حاصل ممکن است تحت تأثیر المان‌بندی مدل نیز قرار گیرند.

### مدل سازی شرایط مرزی

همانطور که اشاره شد، مدل سازی به صورت سه بعدی انجام شده است. در تمام مدل‌های ساخته شده، کف لایه ساب‌گرید (خاک بستر) به صورت کامل بسته شد تا از هر گونه حرکت قائم و افقی آن جلوگیری شود. گره‌های محیط پیرامون مدل در مقابل حرکت افقی بسته شده و حرکت قائم آن میسر است. این طراحی اجازه می‌دهد که مدل علاوه بر نشست، تغییر شکل نیز داشته باشد. شکل ۸ به طور جامع مدل، بارگذاری اعمال‌شده و شرایط مرزی را نشان می‌دهد. شبکه‌ای که روی سطح فوقانی

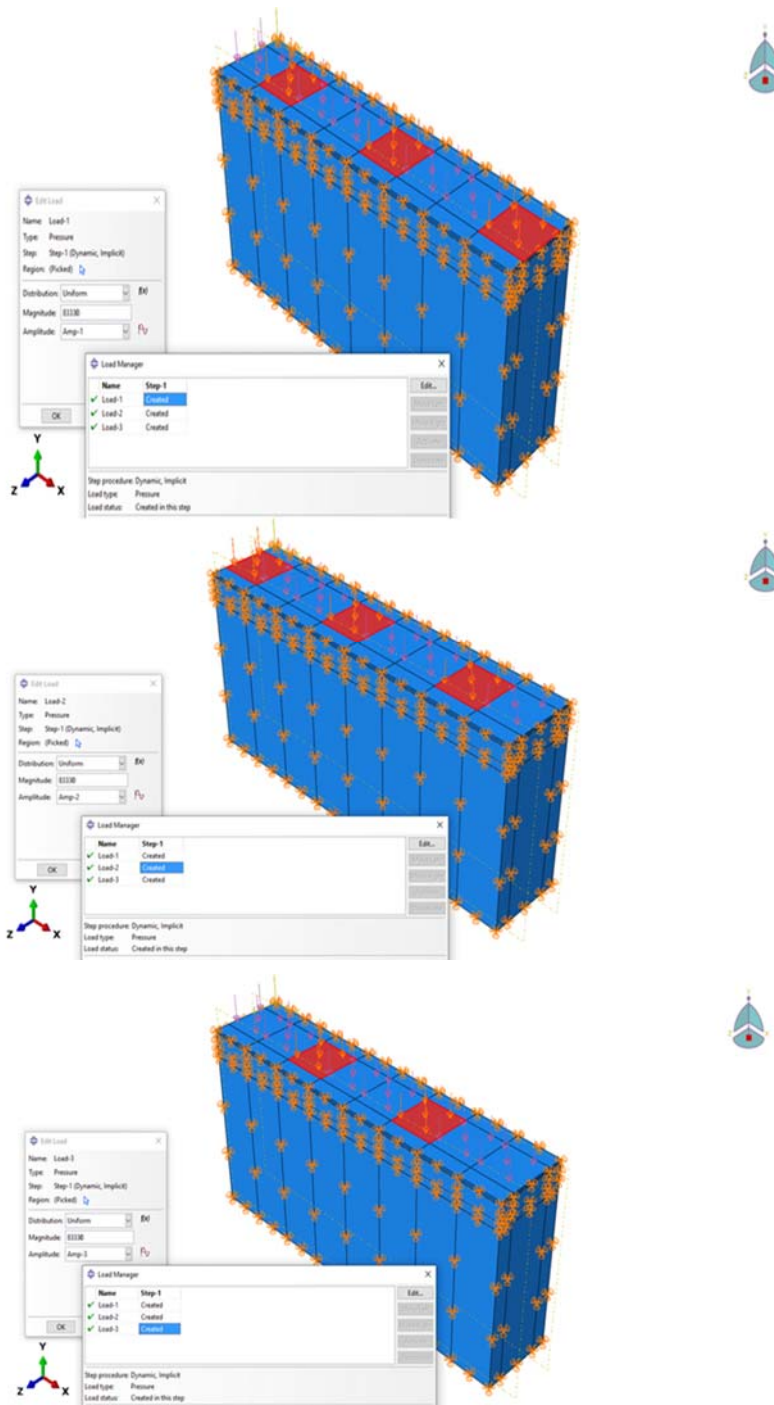


شکل ۸. شرایط مرزی مدل

هر مقدار بار اعمال شده بر اساس نصف نیروی هر محور تقسیم بر سطح بارگذاری و بر حسب نیوتن محاسبه می‌گردد. شبکه‌ای که روی سطح فوقانی مدل مشخص شده است، نمایانگر سطح تماس تایر در فواصل مختلف است. هدف از این شبکه‌بندی، تضمین استقلال مقادیر محاسبه شده برای ضرایب شدت تنش از المان‌بندی مدل است؛ به عبارت دیگر، با مشخص کردن پیشاپیش این موقعیت‌ها، نتایج مسئله تنها به موقعیت چرخ‌ها نسبت به ترک (هدف اصلی مسئله) وابسته خواهند بود و از المان‌بندی مدل مستقل خواهند بود. بدون این شبکه‌بندی، برای هر بارگذاری باید موقعیت بار را جداگانه مشخص کرد و نتایج حاصل ممکن است تحت تأثیر المان‌بندی مدل نیز قرار گیرند.

## بارگذاری

برای شبیه‌سازی بار متحرک، سه حالت بارگذاری شطرنجی شامل ترکیبات بارگذاری سه‌محوره، دو محوره و یک‌محوره در نظر گرفته می‌شود. سرعت حرکت بار بر حسب متر بر ثانیه در نظر گرفته شده و بارگذاری چرخ‌های عبوری با اعمال بار در صفحه شطرنجی محاسبه می‌گردد. برای هر آرایش از چرخ‌ها، جداولی در اکسل ایجاد می‌شود که در آن برای هر کسر محاسبه شده از زمان بر اساس سرعت بار، ضریب‌هایی در صفحه شطرنجی اعمال می‌گردد. این جدول که در آن هر ستون معادل یک محور از چرخ است، در قسمت **Amplitude** به نرم‌افزار آباکوس معرفی می‌شود.



شکل ۹. نمونه بارگذاری آرایش سه محوره در حرکت

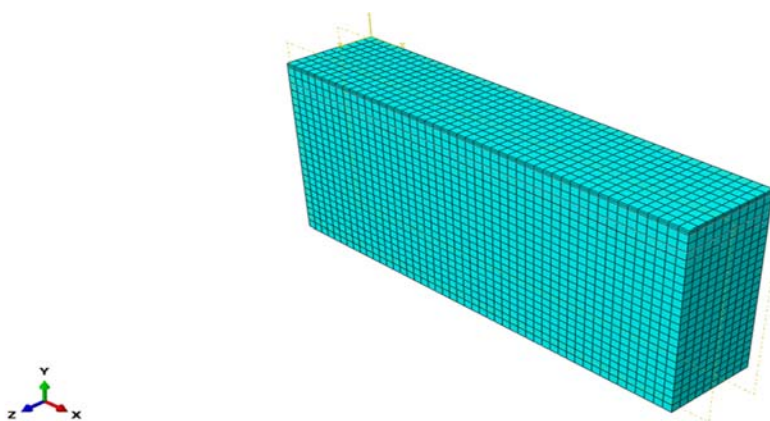
جدول ۴. نمونه جدول **amplitude** برای تریلی سه محوره و سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت

Edit Amplitude		
Name: Amp-1		
Type: Equally spaced		
Time span: Step time		
Smoothing: <input checked="" type="radio"/> Use solver default		
<input type="radio"/> Specify:		
Amplitude Data    Baseline Correction		
Fixed interval: 0.22		
	Time/Frequency	Amplitude
1	0	1
2	0.22	0
3	0.44	0
4	0.66	1
5	0.88	0
6	1.1	0
7	1.32	1
8	1.54	0
9	1.76	0
10	1.98	1
11	2.2	0
12	2.42	0
13	2.64	1
14	2.86	0
15	3.08	0
16	3.3	1
17	3.52	0

مطالعات انجام شده در این زمینه، از المان‌های نامحدود **C3D8R** در مرزهای مدل استفاده می‌شود. همچنین، برای کاهش خطا، اندازه المان‌ها در محل ترک کوچک در نظر گرفته شده و به تدریج به سمت مرزها بزرگ‌تر می‌شوند. نکته مهمی که باید مد نظر قرار گیرد این است که نسبت طول به عرض المان‌ها نباید در هیچ بخشی از مدل بیشتر از ۱۰ باشد که این موضوع نیز در مدل ساخته شده رعایت شده است.

#### مش بندی مدل

به منظور حل عددی مسائل مختلف با استفاده از روش اجزاء محدود، لازم است که هندسه مدل، المان‌بندی شود. در تحلیل دینامیکی، حل مسئله به مرزهای قراردادی مدل وابسته است که می‌تواند منجر به انعکاس انرژی به داخل مدل شود. برای حل این مشکل و همچنین دستیابی به همگرایی در مدل، بر اساس

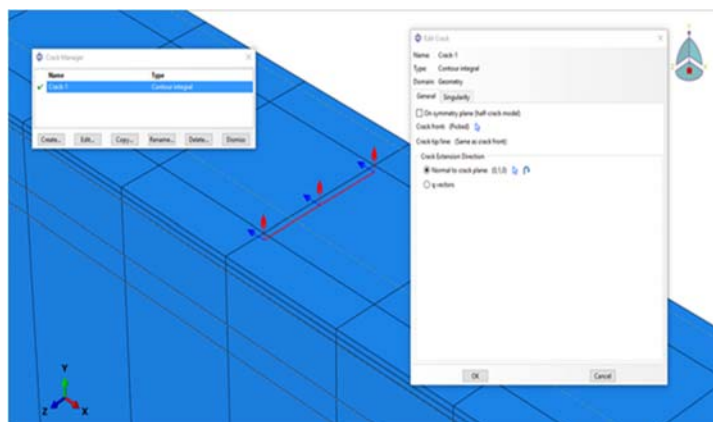


شکل ۱۰. مش بندی مدل

### اختصاص محل ترک و جهت رشد آن

سپس جهت رشد ترک را نیز با دستور **Crack** این صفحه انتخاب و جهت رشد آن به سمت بالا (از لبه لایه قدیمی به سمت لایه جدید) مشخص می‌گردد. با توجه به محورهای مختصاتی مدل **X** و **Y** و **Z** وکتور جهت رشد ترک به ترتیب صفر و یک و صفر می‌باشد.

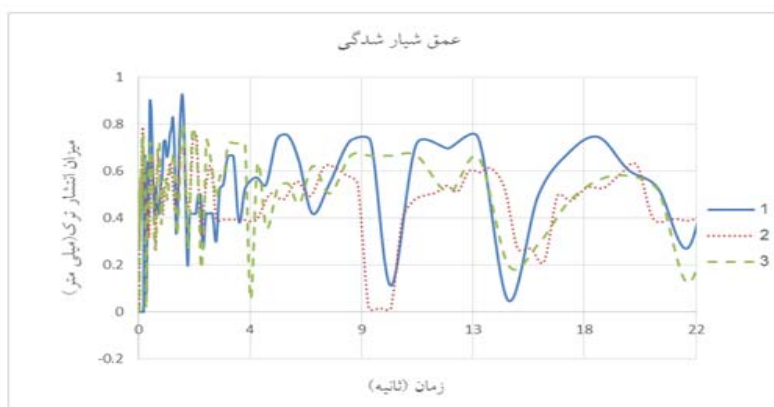
به منظور تعریف محل ایجاد ترک آن از دستور **Assign Seem** استفاده می‌گردد و بدین ترتیب صفحه قائم بر لایه و بر روی لایه جدید به عنوان صفحه ایجاد ترک معرفی می‌گردد.



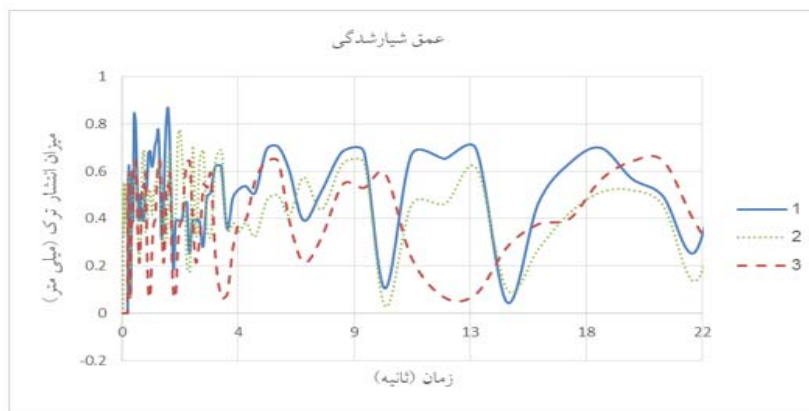
شکل ۱۱. اختصاص محل ترک و جهت رشد ترک

### نتایج مدل سازی

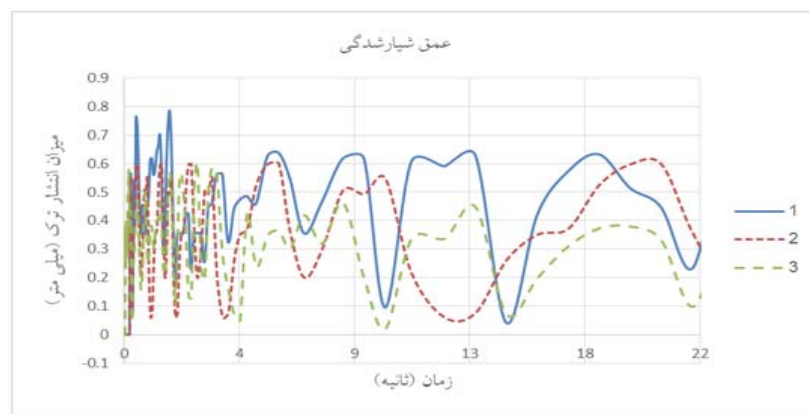
آنالیز مدل برای تعیین حداکثر عمق شیارشدگی در سرعت‌های مختلف در ۱۰۰ تکرار بارگذاری



شکل ۱۲. نمودار حداکثر عمق شیارشدگی در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت در ۱۰۰ تکرار بارگذاری



شکل ۱۳. نمودار حداکثر عمق شیارشدگی در سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت در ۱۰۰ تکرار بارگذاری

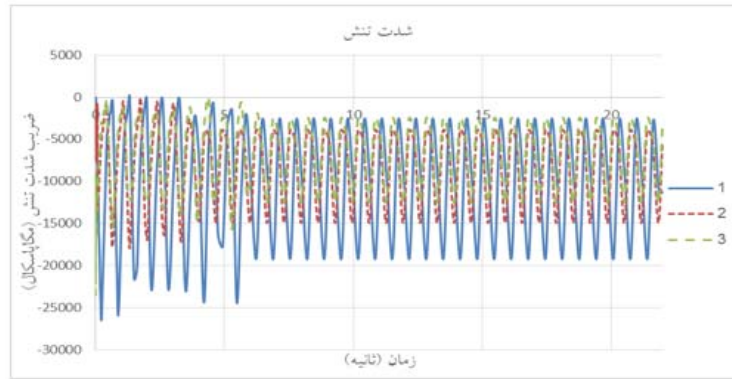


شکل ۱۴. نمودار حداکثر عمق شیارشدگی در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت در ۱۰۰ تکرار بارگذاری

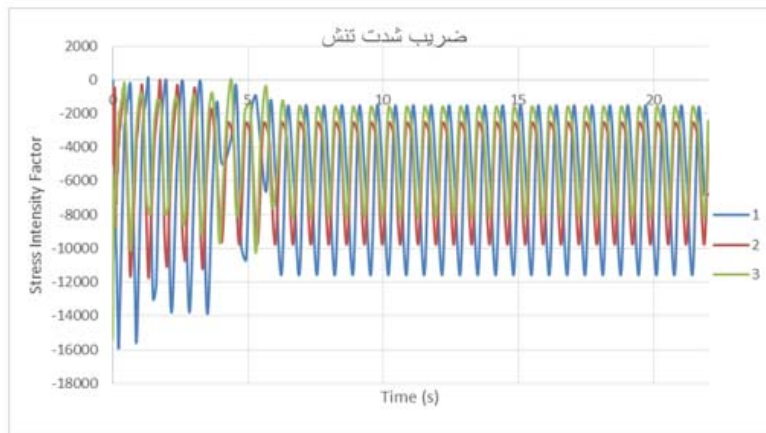
در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت را در ۱۰۰ تکرار بارگذاری نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۱۴ نشان داده می‌شود حداکثر عمق انتشار ترک مربوط به کامیون ۱۸ چرخ با مقدار ۰/۷۶ میلی‌متر می‌باشد. تریلی ۱۲ چرخ با مقدار ۰/۶۶ میلی‌متر و کامیون ۶ چرخ با مقدار ۰/۶ میلی‌متر در رتبه بعدی قرار می‌گیرند. طبق اشکال ۱۲، ۱۳ و ۱۴ می‌توان به این نتیجه رسید که هر چه میزان سرعت وسایل نقلیه سنگین کمتر باشد میزان شیارشدگی روسازی افزایش پیدا می‌کند و هر چه میزان بار ترافیکی از روی روسازی نیز سبک تر و کم تر باشد آنگاه میزان شیارشدگی بر روی روسازی نیز کم تر می‌باشد که این حالات به وجود آمده را می‌توان ناشی از رفتار قیر در حالت ویسکوز نامید.

شکل ۱۲ حداکثر عمق شیارشدگی در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت را در ۱۰۰ تکرار بارگذاری نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، حداکثر عمق انتشار ترک برای کامیون ۱۸ چرخ برابر با ۰/۹ میلی‌متر است. تریلی ۱۲ چرخ و تریلی ۶ چرخ به ترتیب با مقادیر ۰/۸ میلی‌متر و ۰/۷۸ میلی‌متر در رتبه‌های بعدی قرار دارند. شکل ۱۳ حداکثر عمق شیارشدگی در سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت را در ۱۰۰ تکرار بارگذاری نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۱۳ نشان داده می‌شود حداکثر عمق انتشار ترک مربوط به کامیون ۱۸ چرخ با مقدار ۰/۸۴ میلی‌متر می‌باشد. تریلی ۱۲ چرخ با مقدار ۰/۷۹ میلی‌متر و تریلی ۶ چرخ با مقدار ۰/۶۷ میلی‌متر در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. شکل ۱۴ حداکثر عمق شیارشدگی

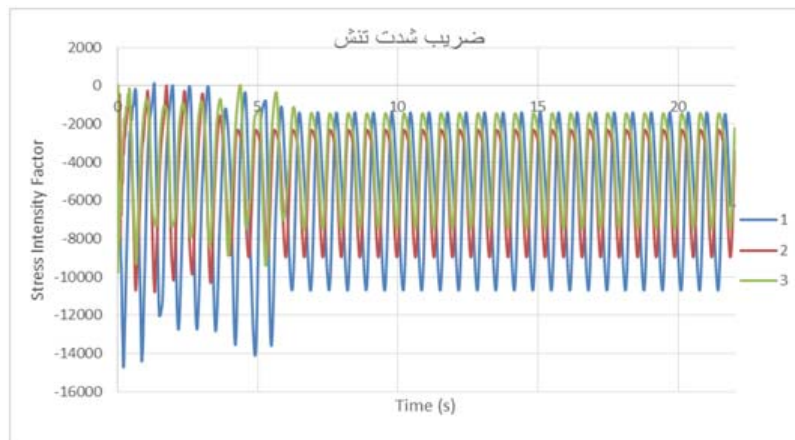
آنالیز مدل برای تعیین حداکثر ضریب شدت تنش در سرعت‌های مختلف برای ۱۰۰ تکرار بارگذاری



شکل ۱۵. نمودار ضریب شدت تنش در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت



شکل ۱۶. نمودار ضریب شدت تنش در سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت



شکل ۱۷. نمودار ضریب شدت تنش در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت

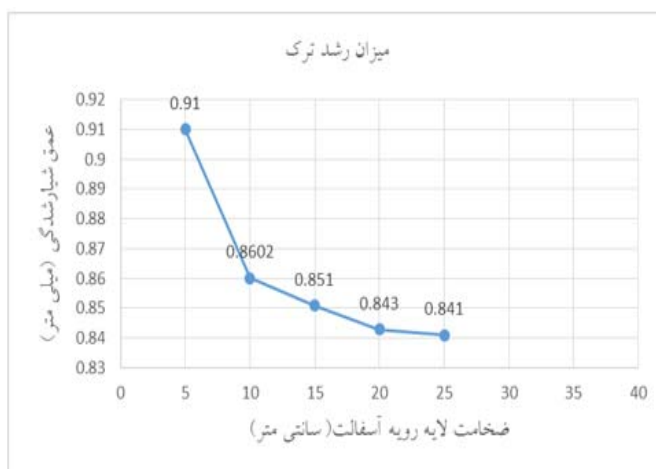
۱۷ چون در هر سه شکل میزان بارگذاری ثابت است پس تغییرات چشم گیری در این نمودارها احساس نمی گردد.

### آنالیز میزان رشد ترک انعکاسی با فرض تغییر در ضخامت لایه های روسازی

لایه های روسازی جاده هر کدام ضخامتی خاص خود دارند و این موضوع از اهمیت ویژه ای برخوردار است. ترک های انعکاسی که در روسازی ایجاد می شوند را می توان با تغییر ضخامت لایه ها کنترل کرد. در این مطالعه، با بررسی تغییرات ضخامت در هر لایه، بهترین اندازه برای کاهش این ترک ها بدست آمد.

شکل ۱۵ نشان ضریب شدت تنش در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت، در ۱۰۰ تکرار بارگذاری می باشد. مطابق شکل ۱۵ حداکثر ضریب شدت تنش ۲۶۰۰۰ مگا پاسکال و مربوط به کامیون ۱۸ چرخ می باشد. ضریب شدت تنش در تریلی ۱۲ چرخ و کامیون ۶ چرخ به ترتیب ۱۷۰۰۰ مگاپاسکال و ۱۶۰۰۰ مگاپاسکال می باشد. شکل ۱۶ نشان دهنده ضریب شدت تنش در سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت، در ۱۰۰ تکرار بارگذاری می باشد. مطابق شکل ۱۶ حداکثر ضریب شدت تنش ۱۶۰۰۰ مگا پاسکال و مربوط به کامیون ۱۸ چرخ می باشد. شکل ۱۷ نشان دهنده ضریب شدت تنش در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت، در ۱۰۰ تکرار بارگذاری می باشد. مطابق شکل ۱۷ حداکثر ضریب شدت تنش ۱۴۶۸۰ و مربوط به کامیون ۱۸ چرخ می باشد. ضریب شدت تنش در تریلی ۱۲ چرخ و کامیون ۶ چرخ به ترتیب ۱۰۷۰۰ و ۹۳۰۰ می باشد. در اشکال ۱۵، ۱۶ و

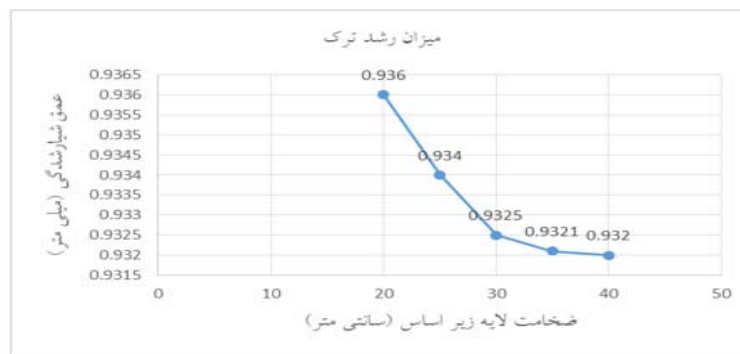
### آنالیز عمق شیارشستگی در ضخامت های مختلف از روسازی



شکل ۱۸. نمودار عمق شیارشستگی در ضخامت های مختلف برای کامیون ۱۸ چرخ در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت



شکل ۱۹. نمودار میزان رشد ترک با فرض تغییر ضخامت لایه اساس و ثابت ماندن ضخامت لایه رویه و زیراساس



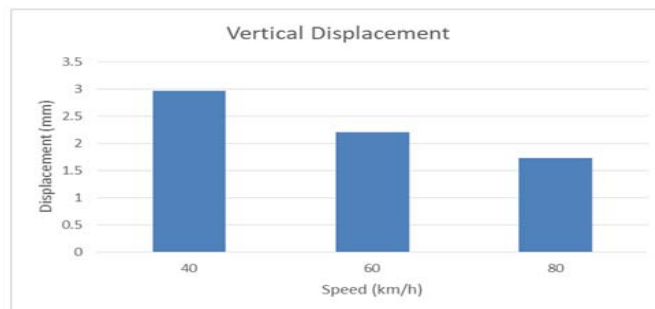
شکل ۲۰. نمودار میزان رشد ترک با فرض تغییر ضخامت لایه زیراساس و ثابت ماندن ضخامت لایه رویه و اساس

فرض تغییر ضخامت لایه زیراساس در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت تریلی ۱۸ چرخ در ۱۰۰ تکرار بارگذاری می‌باشد مطابق این شکل عمق رشد ترک با افزایش ضخامت لایه زیراساس از ۲۰ به ۴۰ سانتی متر تنها ۰/۴ میلی متر کاهش معادل ۰/۴ درصد ایجاد کرده است و تغییر اندک می‌باشد. شکل‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰ نشان می‌دهند که لایه‌های خاکی اساس و زیراساس تأثیر قابل توجهی در کاهش شیارشدگی ندارند. این امر ممکن است به دلیل قدرت کمتر لایه‌های خاکی در مقایسه با لایه آسفالت باشد. مدول الاستیسیته این مصالح خاکی غیرچسبنده کمتر از مصالح آسفالتی است و این می‌تواند یکی از دلایل اصلی باشد.

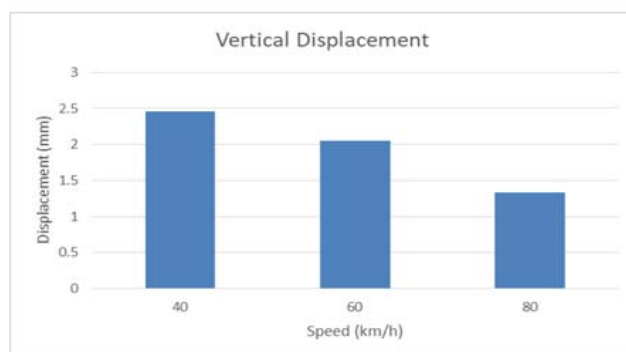
شکل ۱۸ نشان دهنده عمق شیار شدگی در ضخامت‌های مختلف لایه رویه برای کامیون ۱۸ چرخ در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. مطابق این نمودار با افزایش ضخامت لایه رویه عمق شیار شدگی کاهش یافته اما این کاهش در عمق شیار شدگی با افزایش ضخامت از ۱۰ سانتی متر به بعد تأثیر بسیار کمی داشته و اختلاف بین ضخامت ۲۰ و ۲۵ بسیار کم می‌باشد. شکل ۱۹ نشان دهنده حداکثر میزان رشد ترک با فرض تغییر ضخامت لایه اساس در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت برای کامیون ۱۸ چرخ، در ۱۰۰ تکرار بارگذاری می‌باشد. مطابق این شکل عمق رشد ترک با افزایش ضخامت لایه اساس از ۱۵ به ۳۵ سانتی متر تنها ۱/۱۵ میلی متر کاهش معادل ۱/۲۲ درصد را ایجاد کرده است و تغییر بسیار کمی می‌باشد. شکل ۲۰ نشان دهنده حداکثر میزان رشد ترک با

کاهش این تغییر مکان است تا از بروز هرگونه آسیب ناشی از تغییر شکل جلوگیری شود. میزان تغییر شکل مجاز در خاک بستر به ضخامت و مدول آن بستگی دارد.

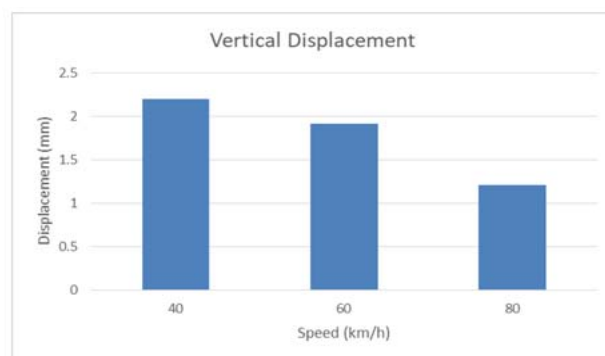
**آنالیز و بررسی تغییر شکل قائم بر روی لایه بستر روسازی**  
طراحی روسازی مستلزم در نظر گرفتن یک فاکتور اساسی؛ یعنی تغییر مکان قائم روی خاک بستر است. هدف از طراحی،



شکل ۲۱. نمودار تغییر شکل قائم روی لایه بستر روسازی برای تریلی ۱۸ چرخ ۴۰ تن



شکل ۲۲. نمودار تغییر شکل قائم روی لایه بستر روسازی برای تریلی ۱۲ چرخ ۴۰ تن

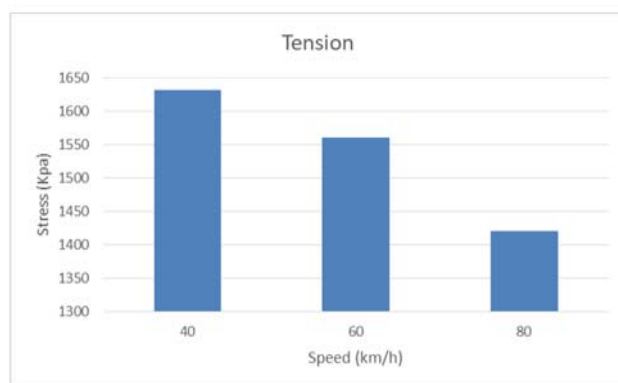


شکل ۲۳. نمودار تغییر شکل قائم روی لایه بستر روسازی برای کامیون ۶ چرخ ۲۶ تن

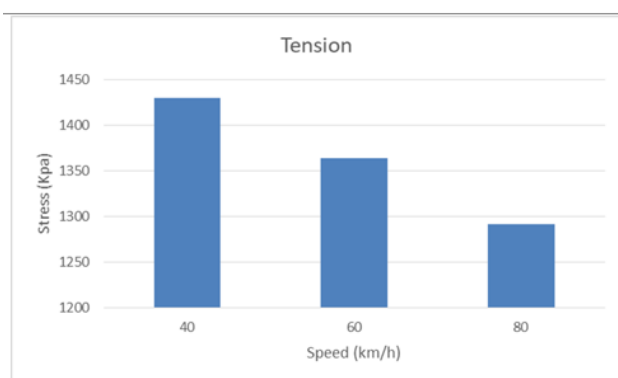
قائم در سرعت‌های ۶۰ و ۸۰ کیلومتر بر ساعت به ترتیب ۲/۰۵ و ۱/۳۳ میلیمتر می‌باشد. با افزایش سرعت تغییر مکان قائم کاهش می‌یابد. شکل ۲۳ نشان دهنده تغییر مکان قائم مدل شماره ۳، در ۱۰۰ تکرار بارگذاری می‌باشد. مطابق شکل ۲۳ حداکثر تغییر مکان قائم ۲/۲۰ میلیمتر در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. تغییر مکان قائم در سرعت‌های ۶۰ و ۸۰ کیلومتر بر ساعت به ترتیب ۱/۹۱ و ۱/۲۱ میلیمتر می‌باشد. با افزایش سرعت تغییر مکان قائم کاهش می‌یابد

شکل ۲۱ نشان دهنده تغییر مکان قائم مدل شماره ۱، در ۱۰۰ تکرار بارگذاری می‌باشد. مطابق شکل ۲۱ حداکثر تغییر مکان قائم ۲/۹۷ میلیمتر در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. تغییر مکان قائم در سرعت‌های ۶۰ و ۸۰ کیلومتر بر ساعت به ترتیب ۲/۲۱ و ۱/۷۳ میلیمتر می‌باشد. با افزایش سرعت تغییر مکان قائم کاهش می‌یابد. شکل ۲۲ نشان دهنده تغییر مکان قائم مدل شماره ۲، در ۱۰۰ تکرار بارگذاری می‌باشد. مطابق شکل ۲۲ حداکثر تغییر مکان قائم ۲/۴۶ میلی‌متر در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. تغییر مکان

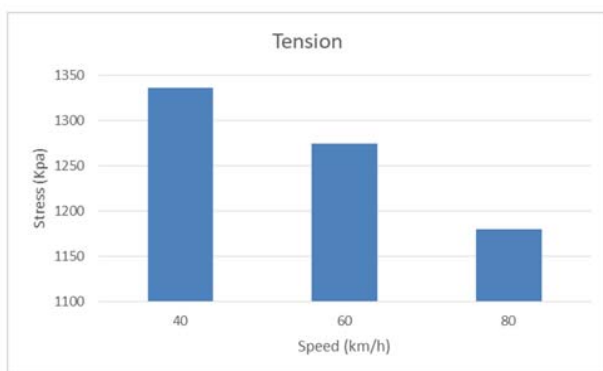
### آنالیز و بررسی تنش کششی افقی در زیر لایه آسفالت



شکل ۲۴. نمودار تنش کششی افقی زیر لایه آسفالت برای تریلی ۱۸ چرخ ۴۰ تن



شکل ۲۵. تنش کششی افقی زیر لایه آسفالت برای تریلی ۱۲ چرخ ۴۰ تن

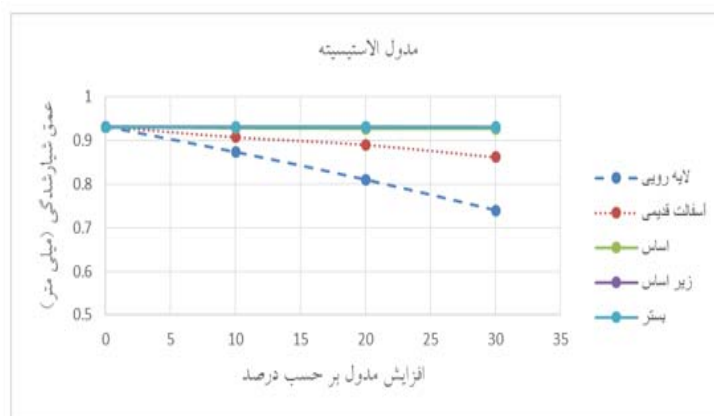


شکل ۲۶. تنش کششی افقی زیر لایه آسفالت برای کامیون ۶ چرخ ۲۶ تن

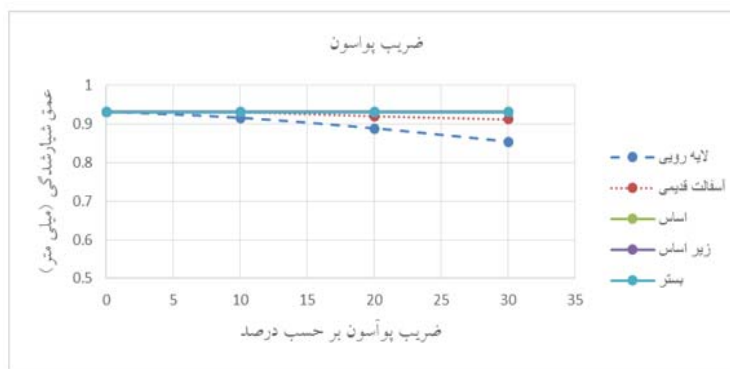
۱۴۳۰ کیلوپاسکال در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. تنش کششی در سرعت‌های ۶۰ و ۸۰ کیلومتر بر ساعت به ترتیب ۱۳۶۴ و ۱۲۹۱ کیلوپاسکال می‌باشد. شکل ۲۶ نشان دهنده تنش کششی مدل شماره ۳، در ۱۰۰ تکرار بارگذاری می‌باشد. مطابق این شکل حداکثر تنش کششی ۱۳۳۶ کیلوپاسکال در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. تنش کششی در سرعت‌های ۶۰ و ۸۰ به ترتیب ۱۲۷۴ و ۱۱۸۰ کیلوپاسکال می‌باشد.

شکل ۲۴ نشان دهنده تنش کششی مدل شماره ۱، در ۱۰۰ تکرار بارگذاری می‌باشد. مطابق شکل ۴-۱۳ حداکثر تنش کششی ۱۶۳۲ کیلوپاسکال در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. تنش کششی در سرعت‌های ۶۰ و ۸۰ کیلومتر بر ساعت به ترتیب ۱۵۶۰ و ۱۴۲۰ کیلوپاسکال می‌باشد. با افزایش سرعت تنش کششی کاهش می‌یابد. شکل ۲۵ نشان دهنده تنش کششی مدل شماره ۲، در ۱۰۰ تکرار بارگذاری می‌باشد. مطابق شکل ۲۵ حداکثر تنش کششی

### تأثیر مدول الاستیسیته و ضریب پواسون بر عمق ترک انعکاسی



شکل ۲۷. نمودار عمق ترک انعکاسی با افزایش مدول الاستیسیته در لایه‌های مختلف برای کامیون ۱۸ چرخ در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت



شکل ۲۸. نمودار عمق ترک انعکاسی با افزایش ضریب پواسون در لایه‌های مختلف برای کامیون ۱۸ چرخ در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت

بارمحوری و همچنین تعداد چرخ‌های وسایل نقلیه رابطه مستقیمی با میزان رشد ترک دارند. میزان وزن بطور مشخص در میزان تنش وارد شده تاثیر دارد و اما تعداد چرخ با ایجاد تعداد نوسان بیشتر باعث ایجاد سریعتر خستگی در لایه رویی را دارد. در میان دو نوع کامیون ۴۰ تن میزان رشد ترک در ۱۸ چرخ بیشتر ۱۱ درصد بیشتر از ۱۲ چرخ می‌باشد.

- مقدار رشد ترک با کاهش سرعت افزایش می‌یابد. در سرعت ۸۰ کیلومتر تریلی ۱۸ چرخ  $0/78$  میلی‌متر شیار شدگی را ایجاد کرده در صورتی که این مقادیر در سرعت ۶۰ کیلومتر  $0/86$  میلی‌متر و در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت  $0/93$  میلی‌متر می‌باشد که با کاهش از سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت به ۴۰ کیلومتر بر ساعت حدود ۱۶ درصد افزایش عمق شیار شدگی را شاهد هستیم. می‌توان نتیجه گرفت که سرعت کمتر وسیله نقلیه عبوری باعث افزایش زمان بارگذاری و در نتیجه باعث ایجاد تنش بیشتر می‌گردد.

- مطابق انتظار، کامیون ۱۸ چرخ باعث ایجاد بیشترین ضریب شدت تنش با مقدار ۲۶۶۰۰ در لایه رویی شده است که از تریلی ۱۲ چرخ و ۶ چرخ به ترتیب ۳۵ و ۳۸ درصد بیشتر می‌باشد.

- حداکثر تنش کششی افقی ایجاد شده معادل ۱۶۳۲ کیلوپاسکال برای کامیون ۱۸ چرخ با سرعت عبور ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد.

- حداکثر تغییر مکان قائم ایجاد شده در لایه رویی  $2/97$  میلی‌متر برای کامیون ۱۸ چرخ با سرعت عبور ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد.

- افزایش ضخامت لایه رویی تا ۱۰ سانتیمتر تاثیر کمی بر کاهش عمق ترک انعکاسی را دارد و حدود  $0/4$  میلی‌متر از

شکل ۲۷ نشان دهنده عمق ترک انعکاسی با افزایش مدول الاستیسیته برای هر لایه برای کامیون ۱۸ چرخ در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. مطابق این نمودار با افزایش مدول در لایه رویه عمق شیار شدگی کاهش یافته و از مقدار  $0/9$  به  $0/7$  میلی‌متر رسیده اما این کاهش در لایه آسفالت قدیمی تاثیر کمتری داشته و به مقدار  $0/83$  میلی‌متر رسیده. همچنین در لایه‌های زیرین تقریباً بی‌تاثیر می‌باشد. شکل ۲۸ نشان دهنده عمق ترک انعکاسی با افزایش ضریب پواسون برای هر لایه برای تریلی ۱۸ چرخ در سرعت ۴۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. مطابق این شکل با افزایش ضریب در لایه رویه عمق شیار شدگی ۸ درصد کاهش یافته اما این کاهش در لایه آسفالت قدیمی تنها ۲ درصد بوده و تاثیر بسیار کمتری داشته و در لایه‌های زیرین کاملاً بی‌تاثیر می‌باشد.

## ۵- نتیجه‌گیری

- با مدل‌سازی مجدد یکی از مدل‌های موجود در مقاله پایه و مقایسه نتایج، ۲ درصد اختلاف وجود داشت که نشان دهنده روش صحیح و قابل اعتماد بودن نتایج حاصله در این پژوهش می‌باشد.

- با توجه به این‌که در این تحقیق از سه نوع وسیله نقلیه استفاده شده است، بعد از تحلیل و مقایسه این وسایل نقلیه، این نتیجه حاصل شد که بیشترین ترک انعکاسی مشاهده شده برای تریلی ۱۸ چرخ ۴۰ تن می‌باشد که ۱۱ درصد از تریلی ۱۲ چرخ و ۱۳ درصد از کامیون ۶ چرخ بیشتر بوده است. همچنین کمترین عمق ترک انعکاسی مشاهده شده در کامیون ۶ چرخ ۲۶ تن است. این نتایج بر این موضوع دلالت دارد که افزایش

۱۰. افزایش ضریب الاستیسیته لایه رویی تاثیر نسبتا بالایی بر کاهش عمق ترک انعکاسی را دارد و باعث ۲۲ درصد کاهش در عمق ترک انعکاسی را ایجاد نموده است. در عین حال که افزایش این ضریب در لایه آسفالت قدیمی تاثیر کم و در حدود ۲ درصد و در دیگر لایه‌ها تقریبا ناچیز می‌باشد. -افزایش ضریب پواسون لایه رویی تاثیر نسبتاً کمی بر کاهش عمق ترک انعکاسی و ۸ درصد کاهش را در پی داشته و مقدار آن در عین حال که افزایش این ضریب در لایه آسفالت قدیمی بسیار کم و در دیگر لایه‌ها کاملا نامحسوس می‌باشد.

ترک انعکاسی کاهش یافته در عین حال که افزایش بیشتر ضخامت لایه رویی تاثیر کمتری را داشته و افزایش ضخامت از ۲۰ به ۲۵ تاثیر ناچیزی در حدود ۰/۰۰۴ میلیمتر را نشان می‌دهد و مشخصا افزایش ضخامت راه حل چندان مناسبی نمی‌باشد. - افزایش ضخامت لایه اساس از ۱۵ به ۳۵ سانتی‌متر تنها ۱,۲ درصد بر کاهش عمق ترک انعکاسی را دارد و افزایش ضخامت لایه اساس راه حل مناسبی نمی‌باشد. -افزایش ضخامت زیر لایه اساس از ۲۰ به ۴۰ سانتیمتر تنها ۰/۴ درصد بر کاهش عمق ترک انعکاسی را دارد و افزایش ضخامت لایه زیر اساس راه حل مناسبی نمی‌باشد.

## ۶-مراجع

-Deilami, S., & White, G. (2020). Review of reflective cracking in composite pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 13, 524-535

- Holevinsky, J. M., Soon, S. C., & Stolarsky, H. (2000). Investigation of Factor Related to Surface Initiated Cracks In Flexible Pavement. *Department of Civil Engineering, University of Minnesota*.

- Harmelink, D., & Aschenbrener, T. (2003). Extent of Top-Down Cracking in Colorado. *Colorado Department of Transportation Research Branch*.

-Ghauch, Z.G. and Abou-Jaoude, G. G., (2013). Strain response of hot-mix asphalt overlays in jointed plain concrete pavements due to reflective cracking. *Elsevier Ltd*, No. 124, 38-46.

- Schorsh, M., Chang.C.M, & Baladi.G.Y. (2003). Effect of Segregation on the Initiation and Propagation of Top-Down Cracks. *The Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington D.C.

-Shafabakhsh, G., Akbari, M., & Bahrami, H. (2020). Evaluating the Fatigue Resistance of the Innovative Modified-Reinforced Composite Asphalt Mixture. *Advances in Civil Engineering*, (1), 8845647.

- طباطبایی، امیرمحمد (۱۳۷۷). *روسازی راه*. مرکز نشر دانشگاهی.

- اکرامی، علی اکبر (۱۳۸۲). *تغییر شکل و مکانیک شکست مواد و آلیاژهای مهندسی* (چاپ اول). *انتشارات دانشگاه صنعتی شریف*.

- عامری، محمود (۱۳۶۷). *مکانیزم ترک و گسترش آن در روسازی، طرح مخلوط و ضخامت روکش برای جلوگیری از انعکاس ترک*. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین‌المللی عمران.

- فرهی، غلامحسین (۱۳۶۷). *مکانیک شکست* (چاپ اول). *انتشارات دانشگاه بو علی سینا*.

- اخوان بهابادی، محمد جواد، خبیبری، محمد مهدی و فتوحی فیروزآبادی، علیرضا (۱۳۹۵). *بررسی عددی رشد ترک بر پایه ضرایب شدت تنش در اثر بارگذاری چرخ هواپیما در روسازی آسفالتی فرودگاه*. *مجله پژوهشنامه حمل و نقل*، شماره ۳، ۱۴-۳.

# A Finite Element Analysis of Heavy Vehicle Wheel Configuration and Speed on Reflective Crack Propagation

*Erfan Naser Zare, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering,  
Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*Ali Abdi Kordani, Professor, Department of Civil Engineering,  
Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*Hamidreza Behnood, Associate Professor, Department of Civil Engineering,  
Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

*E-mail: aliabdi@eng.ikiu.ac.ir*

Received: May 2025- Accepted: August 2025

## **ABSTRACT**

Fatigue is a failure phenomenon caused by repeated loading, where the stress induced can be significantly lower than the ultimate strength of the material. Fatigue cracks in asphalt pavements can be categorized into two types based on their location and propagation pattern. The first type originates at the bottom of the asphalt layer and propagates upwards, while the second type, more common in thick pavements, starts at the surface and extends downwards. These latter cracks have received less attention in research compared to the former. Three types of heavy-traffic vehicles were studied: a 26-ton 6-wheel truck, a 40-ton 18-wheel trailer, and a 40-ton 12-wheel trailer. Vehicle speeds of 40, 60, and 80 kilometers per hour and new layer thicknesses of 5, 10, 15, 20, and 25 centimeters were analyzed. The effects of varying Poisson's ratio and elasticity modulus of the layers by 5% to 30% on rut depth were also examined. The results indicate that increased axial load and number of wheels have a direct correlation with crack growth, and reducing vehicle speed leads to deeper ruts. Additionally, increasing the thickness of the layers is not an effective solution for reducing reflective cracks, whereas enhancing the elasticity modulus of the surface layer shows better results.

**Keywords:** Pavement Asphalt, Finite Element, Reflective Cracks, Elasticity Modulus