

## ارزیابی مکانیکی مدل روسازی تراموای مدفون شده در خیابان‌های شهری

### مقاله پژوهشی

علی عبدی\*، دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین، ایران  
نادر میرزا گل گنجی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات شاهرود، ایران  
فرشاد قطب، دانشجوی دکترا، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین، ایران  
\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: aliabdi@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۸/۲۸ - پذیرش: ۹۸/۰۲/۰۴

صفحه ۳۶-۲۹

### چکیده

با توجه به توسعه روز افزون زندگی شهری و افزایش ترافیک، مصرف سوخت بالا و اتلاف وقت شهروندان، استفاده از روشهایی که کارایی تسهیلات حمل و نقل موجود را افزایش می‌دهد ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این تحقیق، تحلیل و ارزیابی روسازی تراموای مدفون شده در روسازی آسفالتی شبیه سازی شده با استفاده از مدل اجزای محدود ساخته شده در نرم افزار ABAQUS می‌باشد. مشخصات مدل ساخته شده شامل ۲۰۰ میلی‌متر آسفالت برای ضخامت با پهنای ۱۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد. برای این منظور اثر بارهای تک و همزمان بار افقی و عمودی بر روی سیستم اعمال شد و نتایج کامل خروجی از جمله معیارهای تنش فون مایسز و تغییر شکل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از این تحقیق حاکی از این موضوع است که تنش در بارگذاری یکطرفه بحرانی تر از حالت دوطرفه می‌باشد و بیشترین تنش و کرنش نیز در قسمت داخلی مابین دو ریل اتفاق می‌افتد.

واژه‌های کلیدی: تراموای، روسازی، آباکوس

### ۱-مقدمه

خصوصیات خوب تراموا قدرت جابجایی زیاد مسافر و نزدیکی ایستگاه‌های آن به یکدیگر است. وجه اختلاف تراموا با سامانه قطار سبک شهری، استفاده مشترک از سطح معابر به همراه سایر خودروها و وسایل نقلیه موتوری می‌باشد (حسن زاده). با مقایسه انواع سیستم‌های حمل و نقل درون شهری از نقطه نظر کارآمدی، هزینه و چرخه عمر می‌توان به مناسب بودن استفاده از تراموا به عنوان یک سیستم حمل و نقل عمومی در شهرهای پرتراфик گواهی داد (اردکانی، ۱۳۸۸).

### ۲-پیشینه تحقیق

در سال ۲۰۰۳ میلادی نیز هورمان و همکاران در مقاله‌ای به بررسی رابطه تنش‌ها و کرنش‌هایی که در آسفالت متخلخل بتن اندود و جرم بستر ایجاد می‌شوند پرداخته‌اند. تنش‌ها و کرنش‌ها با استفاده از تعدادی از مدل‌های المان محدود، تحت

واگن برقی یا تراموا (به زبان فرانسوی) یک واگن است که می‌تواند با اشغال کمترین جا از روی راه آهن خود در خیابان‌ها حرکت کند. واگن برقی می‌تواند درون شهری و بین شهری باشد. واگن‌های برقی معمولاً سبک‌تر و کوتاه‌تر از قطارهای معمولی و متروها هستند. یکی از جنبه‌های مهم در عملیات مهندسی راه‌آهن، تعیین وضعیت زیربنایی و اقدامات مربوط برای آن است (Franciszek Restel ۲۰۱۷). تراموا قطار خیابانی است که ریل‌گذاری آن روی سطح خیابان‌های شهر انجام شده و معمولاً در محدوده داخل شهرها، کار جابجایی مسافر را انجام می‌دهند. تراموا در صورت استفاده از تونل‌ها در حقیقت عملکرد مترو را خواهد داشت. پیدایش و تکمیل تراموا به سال ۱۸۳۲ میلادی برمی‌گردد که اولین بار در نیویورک واگن‌های اسبی به کار افتاد. اتفاق این واگن‌ها به کمک چرخ و با نیروی اسب روی ریل حرکت می‌کرد. از

۱۳۹۲). یکی از راهکارهایی که با دید حفاظت از محیط زیست طی دو دهه اخیر توسعه یافته، بکارگیری خرده لاستیک فرسوده به عنوان لایه زیرین بالاست در خطوط ریلی بوده است. اسماعیلی و همکاران در تحقیق به بررسی آزمایشگاهی اثر خرده لاستیکها بر کاهش ارتعاشات در خطوط ریلی پرداختند. ارزیابی کلی از نتایج آزمایشات صورت گرفته، مبین آن است که لایه خرده لاستیک با محدوده دانه بندی ۵ تا ۵۰ میلیمتر و به ضخامت ۲۰ سانتیمتر، به میزان ۱۵ الی ۴۷ دسی بل در ارتعاشات محدوده فرکانسی ۳۲ تا ۲۵۰ هرتز کاهش ایجاد نموده است (اسماعیلی، سال ۱۳۹۱). در بحث ایمنی تراموای شهری، نوول و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی ایمنی و عملیات تراموا در تعامل با فضای عمومی پرداخته اند. با توجه به اینکه در میان تمام کشورهای موجود تنوع زیادی از سیستم های تراموا و مکانیزم های مدیریت ایمنی وجود دارد، بعضی از کشورها توجه ویژه ای به استفاده از موانع و نرده ها به عنوان روش عمومی برای حفاظت تراموا، دارند. در برخی دیگر از کشورها سعی دارند سیستم یکپارچه تری را با تعاملی ساده تر با عابران پیاده و دوچرخه سواران در مرکز شهر بگنجاند (Novales, 2016).

### ۳- روش انجام تحقیق

هدف از این تحقیق، امکان سنجی استفاده از تراموا و چگونگی طراحی و اجرای خط تراموا و همچنین مدل سازی جایگذاری ریل تراموا در آسفالت و بررسی تغییر شکل های ایجاد شده در اثر حرکت واگن و قطار بر روی آن می باشد. در نهایت براساس نتایج آزمایشگاهی و با استفاده از مدل سازی با نرم افزار ABAQUS به توصیف تنش ها و کرنش های آسفالت و ریل مدفون براساس معیار فون مایسز پرداخته شده است. این معیار در سال ۱۹۱۳ پیشنهاد گردیده است که آن را سطح تسلیم فون مایسز می نامند. معیار مزبور یکی از ساده ترین سطوح تسلیم می باشد، زیرا تابع ریاضی آن یگانه بوده و شکل ساده ای دارد. در فضای تنش های اصلی، معیار تسلیم فون مایسز معادله یک استوانه با مقطع دایره ای شکل را مشخص می نماید (Bos, 1999).

بارگذاری جاده ای و هم بارگذاری ترافیک ریلی تعیین می شوند. ساختارهای ریلی جاسازی شده تنها با استفاده از بتن های سیمانی ساخته شده اند که این ساختارها تحت ترافیک ریلی و جاده ای به خوبی عمل می نمایند و منجر به کاهش چشمگیر صدا و لرزش آزادنده در محدوده ی اطراف مسیر تراموا می شود (Huurman, M, ۲۰۰۳). در پژوهشی دیگر ارتعاشات حاصل از حرکت تراموا روی دال خط را مدلسازی کردند، که این پژوهش بر پایه ایجاد یک مدل ریاضی تحلیلی جهت پیش بینی ارتعاشات حاصل از عبور تراموا در زمین در راستای بک خط آهن می باشد. این مدل با داده های واقعی جمع آوری شده در شبکه تراموا شهر آلیکانت اعتبار بخشیده شده است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که این مدل با در نظر گرفتن بارهای ایستا و هارمونیک در تولید مجدد تغییر مکان ایجاد شده در اثر گذر یک وسیله حمل و نقل آهنی، توزیع بار متناظر با محورهای گوناگون هم در نظر گرفته شده است (Real, 2011). دکتر اسماعیلی و همکاران در سال ۱۳۹۲ به بررسی رفتار ارتعاشی سیستم ریل مدفون در اثر اعمال بار هارمونیک پرداخته اند. این گروه، مدل عددی اجزاء محدود دال خط ریل مدفون با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS توسعه داده اند و نتایج آن را در حالت استاتیکی با مدل ارایه شده توسط ایسولد و همکاران مقایسه کرده اند و به این ترتیب مدل معتبر سازی شده است. نتایج تحلیل ها نشان می دهد که مقدار مدول الاستیسیته ترکیب دورگیر، تأثیر بسزایی در میزان ارتعاشات داشته و با افزایش آن از ۱ به ۱۰ مگاپاسکال، به میزان این ارتعاشات به شدت افزوده شده است. همچنین با بررسی اثر هندسه شیار نشیمن ریل ملاحظه می شود که افزایش مساحت آن منجر به کاهش ارتعاشات منتشره در محیط اطراف می گردد. از سوی دیگر زمانی که دامنه بار هارمونیک اعمالی از ۱/۵ تن به ۹ تن افزایش یابد، دسی بل ارتعاشات محیطی بیشتر شده و با افزایش فرکانس آن، مقدار این ارتعاشات کاهش می یابد. همچنین بررسی نتایج ارتعاشی نشان می دهد که این پدیده، در فرکانس ۵ هرتز، بیشترین و در فرکانس ۵۰ هرتز کمترین مقادیر را به خود اختصاص داده است. در مجموع میزان ارتعاشات دال خط مذکور در فرکانس بار اعمالی بیشتر از ۶۰ هرتز قابل توجه نیست (اسماعیلی، سال

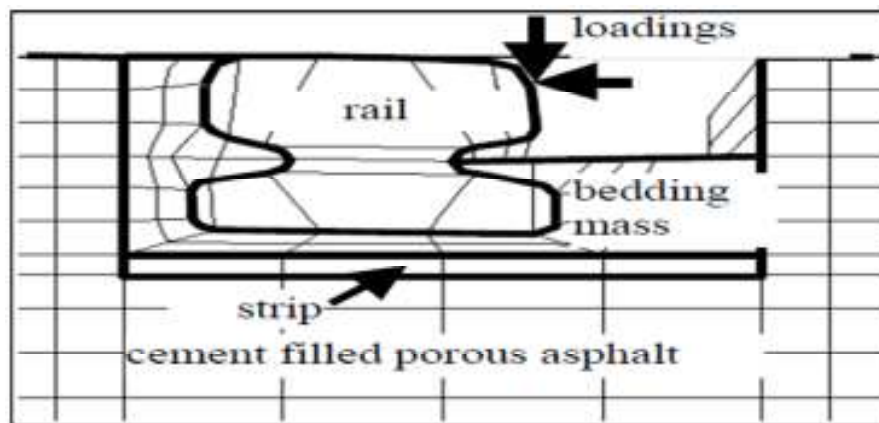
#### ۴- مشخصات مدل

مدل مورد بررسی در این پژوهش ریل مدفون در آسفالت می‌باشد که اثرات تنش‌ها، نیرو و همچنین جابه‌جایی ریل در آسفالت و زیرسازی آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مشخصات مدل مورد نظر در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات مدل

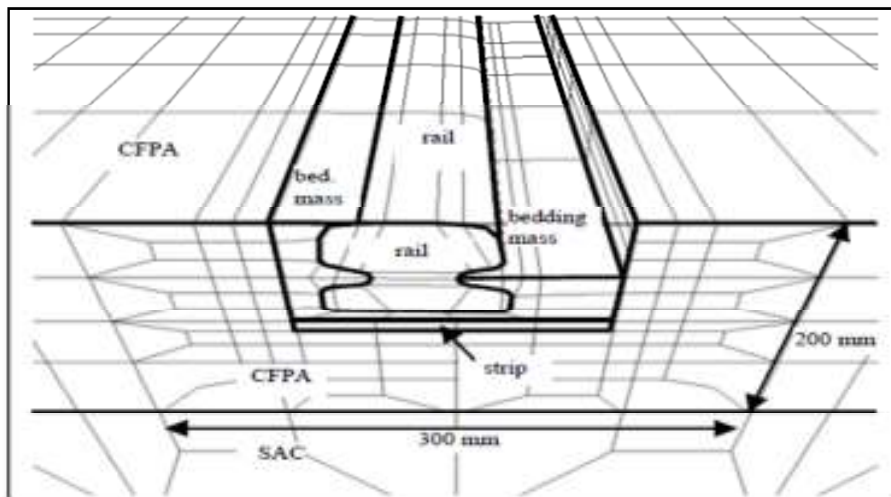
اندازه (mm)	عنوان
۲۰۰	ضخامت آسفالت
۱۵-۲۰ درصد	تخلخل آسفالت
۱۰۰	ارتفاع کل
۱۴۰	پهنا
۲۵	قسمت ماهیچه ای پروفایل
۱۵۰۰	فاصله مرکز تا مرکز ریلها
۲۰۰	ضخامت لایه سنگ ساب بیس
۲۰۰	ریزدانه ساب بیس
۱۰۰۰	ماسه ساب بیس

و در شکل ۱ نیز نمای کلی از مدل و نحوه بارگذاری آورده شده است:

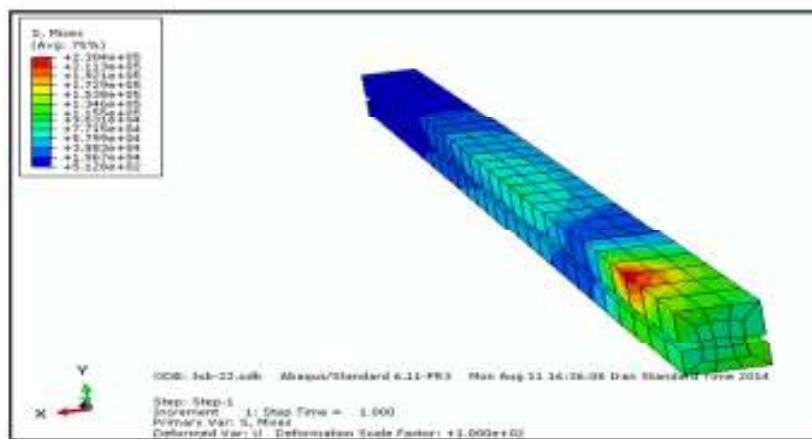


شکل ۱. نمای کلی از مدل و بارگذاری

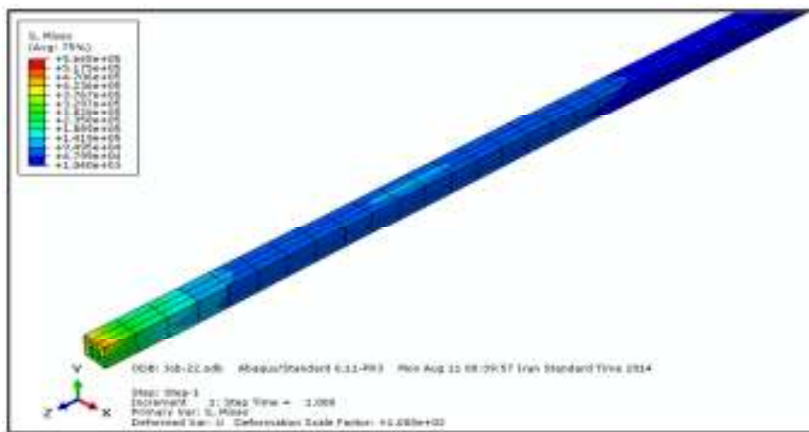
و همچنین نمای پارامترهای مختلف و موقعیت قرارگیری ریل و ساب بیس در شکل ۲ نمایش داده شده است:



شکل ۲. نمای پارامترهای موقعیت قرارگیری ریل و ساب بیس



شکل ۳. خروجی و نمای تنش‌های فون میسز پروفیل



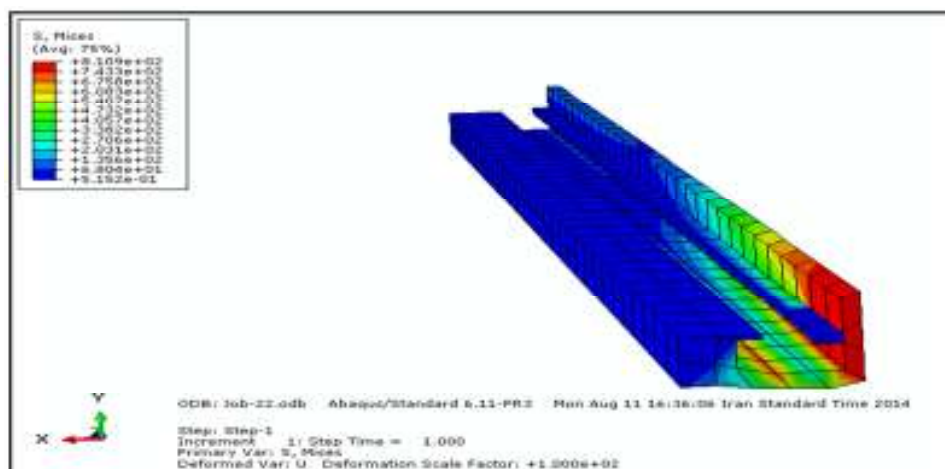
شکل ۴. خروجی تنش‌های فون میسز پروفیل ریل در طول المان با بارگذاری دو طرفه

### نمایش تنش‌های های ریل مدفون در آسفالت

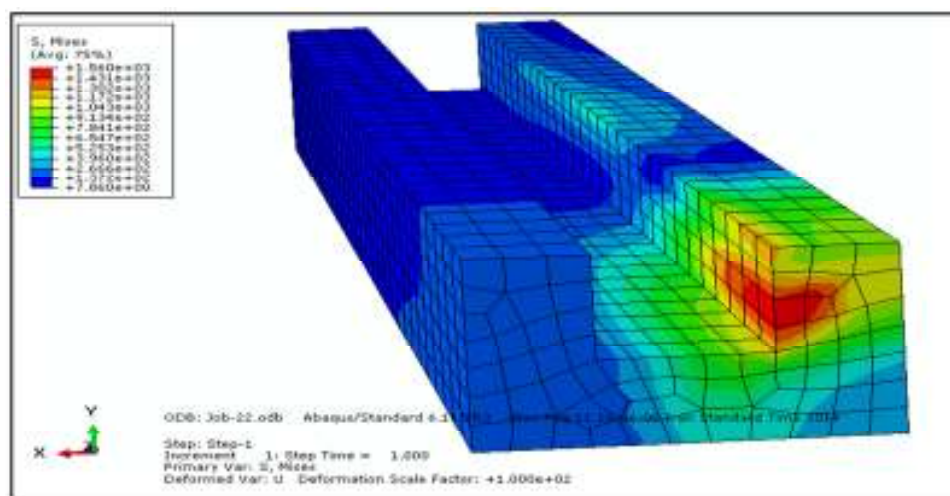
افزایش پیدا کرده است. در بارگذاری یکطرفه بیشینه تنش  $2/3 \times 10^6$  و در بارگذاری دوطرفه به  $4/7 \times 10^6$  می‌رسد. در شکل ۵ خروجی تنش فون میسر آسفالت با بارگذاری یکطرفه نمایش داده شده است.

در شکل ۵ مشخص است که بیشترین تنش در قسمت داخلی بین دو ریل اتفاق می‌افتد و تمرکز تنشی در حدود  $8/1 \times 10^6$  در قسمت گوشه آسفالت به وجود آمده است که می‌تواند باعث تخریب آن قسمت شود. در شکل‌های ۶ و ۷ تنش‌ها در بیس در حالت بارگذاری یکطرفه و دوطرفه باهم مقایسه شده‌اند.

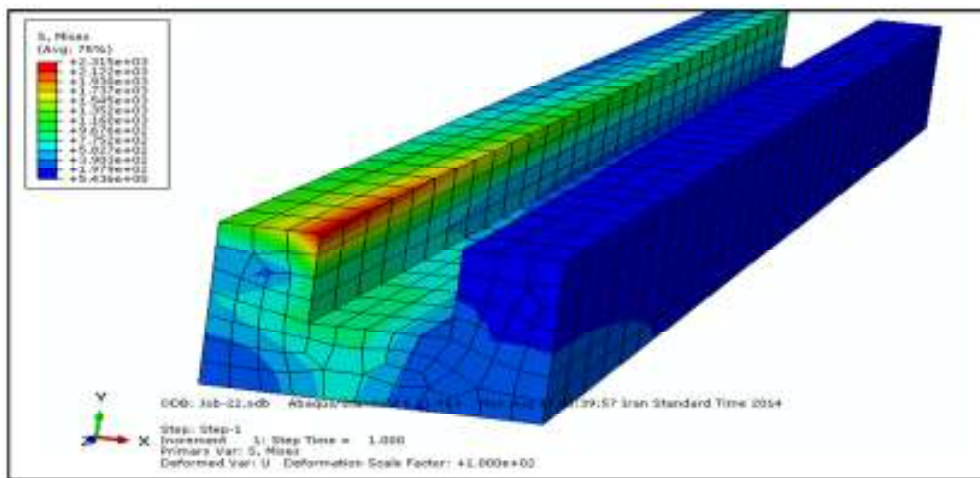
با توجه به مشخصات مدل، اقدام به ایجاد مدل در نرم افزار آباکوس با مقادیر ذکر شده شد. با توجه به نوع بارگذاری در مرحله اول خروجی های ناشی از تنشهای فون مایسر ناشی از بار در یک جهت و در مرحله بعد خروجی‌های گرافیکی ناشی از بار در دو جهت قائم و افقی را می‌توان مشاهده نمود. در شکل‌های ۳ و ۴ خروجی تنش در پروفیل با بارگذاری یکطرفه و دوطرفه باهم مقایسه شده است. طبق خروجی نشان داده شده، تمرکز تنش به وجود آمده در حالت بارگذاری یکطرفه در قسمت داخلی بین دو ریل افزایش پیدا کرده و در بارگذاری دوطرفه، تمرکز تنش در ابتدای نمونه



شکل ۵. خروجی و نمای تنش های فون میسر آسفالت



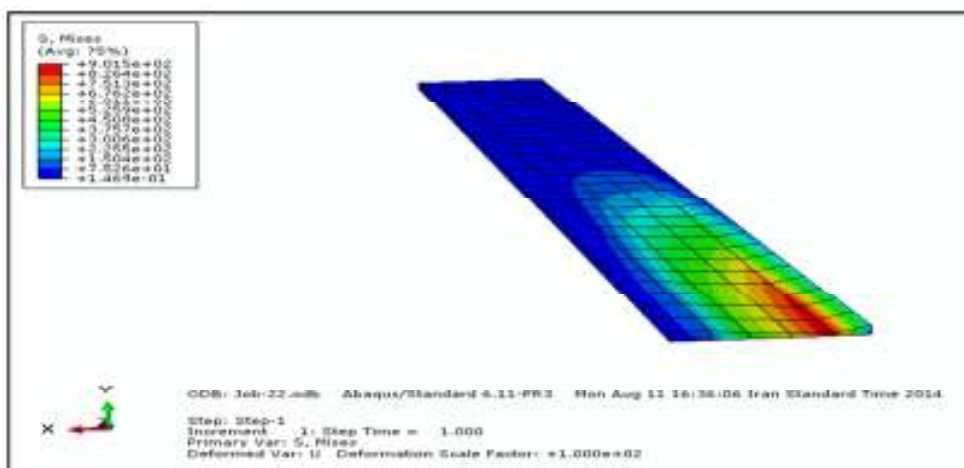
شکل ۶. خروجی و نمای تنش های فون میسر بیس



شکل ۷. خروجی تنش های فون میسز بیس با بارگذاری دو طرفه

حالت تمرکز تنش در قسمت داخلی بیس (مابین دو ریل) به وجود آمده است. اما در شکل ۸ تنش فون میسز کف در حالت بارگذاری یکطرفه نشان داده شده است.

در شکلهای ۶ و ۷ مشخص است که تمرکز تنش ایجاد شده در حالت بارگذاری یکطرفه در قسمت ابتدایی بیس جمع شده است در حدود  $1/56 \times 10^3$  می باشد که با بارگذاری دوطرفه این تنش به  $2/3 \times 10^3$  رسیده است اما در هر دو



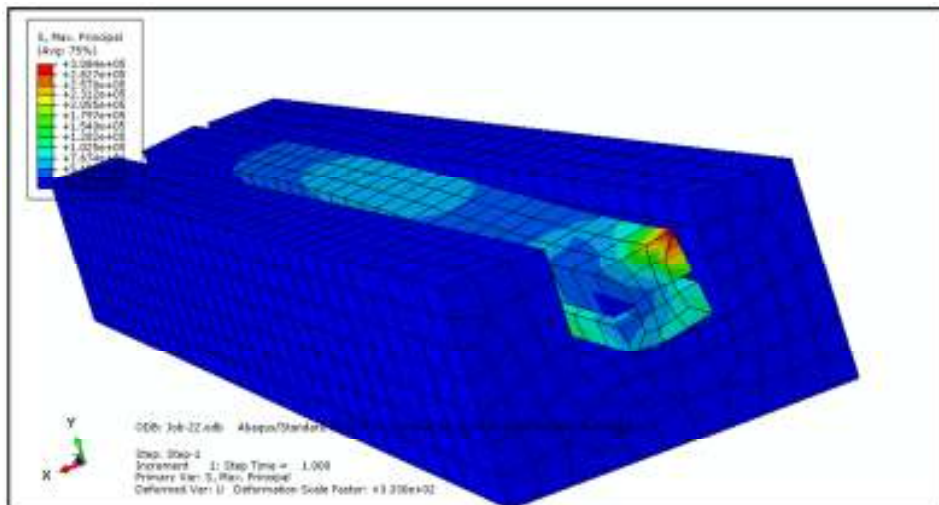
شکل ۸. خروجی و نمای تنش های فون میسز کف

در این قسمت به بررسی بیشینه کرنشهای ایجاد در مدل پرداخته شده است. در شکل ۹ بیشینه کرنش در پروفیل نمایش داده شده است. در این شکل مشاهده می شود بیشترین تغییر شکل در ناحیه ابتدایی مدل یعنی در شروع فرآیند اتفاق افتاده است.

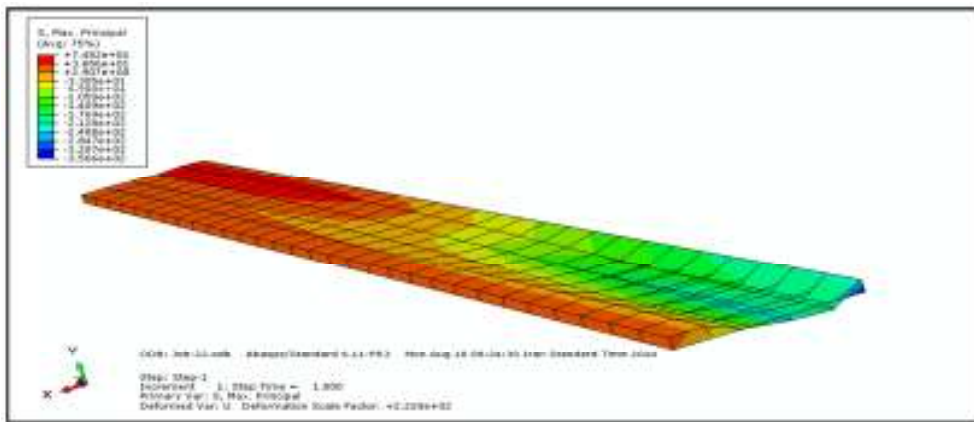
در شکل ۱۰ و ۱۱ نیز به بررسی حداکثر تغییر شکل به وجود آمده کف و آسفالت پرداخته شده است.

در این شکل نیز مشاهده می شود بیشترین تنش در قسمت داخلی مابین دو ریل، اتفاق می افتد که بیشترین تمرکز تنش در ابتدای مدل و گوشه سمت راست ریلی که در طرف چپ قرار گرفته است، مشاهده می شود. همین میزان تنش نیز در طرف راست ریلی که در سمت چپ قرار گرفته است نیز وجود دارد. میزان این تنش در حدود  $9 \times 10^2$  است.

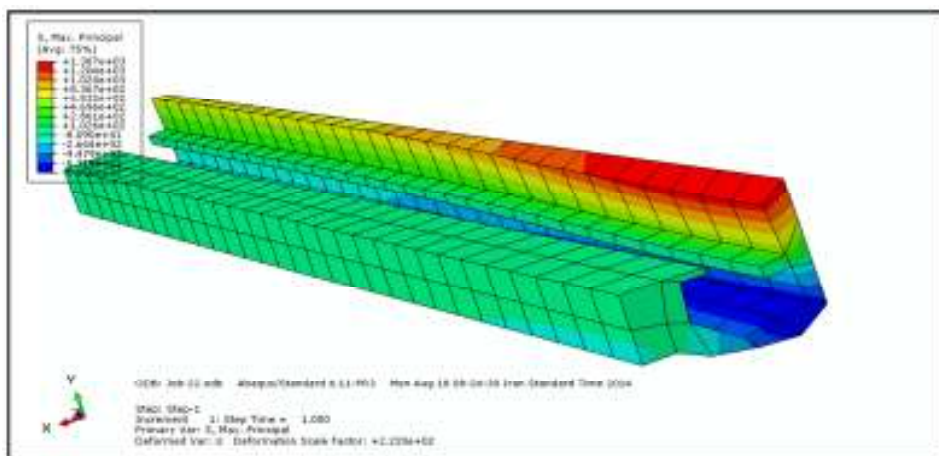
نمایش کرنشهای ریل مدفون در آسفالت



شکل ۹. خروجی تغییر شکل حداکثر مجموعه ریل در کل مجموعه



شکل ۱۰. خروجی تغییر شکل حداکثر کف



شکل ۱۱. خروجی تغییر شکل حداکثر در آسفالت

- م. اسماعیلی، ن. رضایی، (۱۳۹۱)، "بررسی آزمایشگاهی اثر خرده لاستیک‌ها بر کاهش ارتعاشات در خطوط ریلی" دومین کنفرانس بین‌المللی آکوستیک و ارتعاشات.

- Huurman, M., Markine, V. L., & de Man, A. P. (2003), "Design calculations for embedded rail in asphalt". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1825(1), pp.28-37.

- Real, J., Martínez, P., Montalbán, L., & Villanueva, A. (2011), "Modeling vibrations caused by tram movement on slab track line". *Mathematical and Computer Modeling*, 54(1), pp.280-291.

-Franciszek Restel, Lukasz Wolniewicz, (2017), "Tramway Reliability and Safety Influencing Factors" *Transportation Science and Technology, Procedia Engineering* 187, pp.477-482.

- Laetitia Fontainea (2016), "Margarita Novalesb Dominique Bertrandc Manuel Teixeirad", "Safety and Operation of Tramways in Interaction with Public Space". *Transportation Research Procedia Volume* 14, pp. 1114-1123.

- Bos, J. and Stuit, H. (1999), "Deck track: Foundation for the railways of the future," *Proceedings of the International Conference on Innovations in the Design & Assessment of Railway Track*, December 2-3, Delft University of Technology, The Netherlan.

طبق شکل ۱۰ بیشترین تغییر شکل در کف، در وسط المان متمایل به قسمت داخلی مابین دو ریل اتفاق است، جایی که بیشترین تنش وجود داشت. در شکل ۱۱ نیز حداکثر کرنش ایجاد شده در آسفالت را نشان داده است که مشاهده می‌شود این پیشینه مقدار در قسمت داخلی بین دو ریل اتفاق افتاده است.

## ۵- نتیجه گیری

۱- تنشهای به وجود آمده در پروفیل، بیس، کف و آسفالت به دلیل بارگذاری یکطرفه بحرانی تر و دارای تمرکز تنش بیشتری نسبت به حالت بارگذاری دو طرفه می باشد.

۲- بیشترین تنش به وجود آمده در هر دو حالت بارگذاری یکطرفه و دوطرفه در قسمت داخلی پروفیل مابین دو ریل اتفاق افتاده است.

۳- بیشترین تغییر شکل نیز در ابتدای پروفیل رخ داده است که بیشترین تمرکز تنش وجود دارد.

## ۶-مراجع

- حسن زاده، ح.، "آموزش سازه های زیر زمینی مترو و راه آهن".

- کاکانی اردکانی، م.، (۱۳۸۸)، "مقایسه انواع سیستم‌های حمل و نقل درون شهری".

- اسماعیلی، م.، ذاکری، ج.ع. و مسلمی پور، ش.، (۱۳۹۲)، "بررسی رفتار ارتعاشی دال خط ریل مدفون به روش عددی" فصلنامه مهندسی حمل و نقل دوره: ۵، شماره: ۲.