

بررسی عددی تأثیر شانه‌های تقویت شده با بتن آسفالتی با هدف افزایش مقاومت جانبی خط بالاستی

جبارعلی ذاکری^{۱*}، مرتضی اسماعیلی^۲ و احمد کسرائی^۳

^۱ دانشیار دانشکده راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

^۲ دانشیار دانشکده راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

^۳ کارشناس ارشد دانشکده راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

کمانش خط آهن و تغییر هندسه آن پدیده‌ای است که پایداری جانبی خط آهن را تهدید می‌کند و مقاومت جانبی خط آهن عاملی است که در مقابل این تغییرات، پایداری خط را حفظ می‌کند. در خطوط بالاستی، مناطقی که نیروی جانبی به دلایلی چون تغییرات زیاد دما یا وجود قوس‌های با شعاع کم، زیاد می‌باشد، پایداری جانبی خط با محدود کردن سرعت سیر تأمین می‌گردد. این راهکار باعث کاهش ظرفیت جابه‌جائی بار و مسافر می‌گردد. راهکارهای متعدد دیگری برای تأمین سختی جانبی وجود دارد. در این مقاله، یک روش ابتکاری با استفاده از بتن آسفالتی در مقطع شانه بالاست ارائه شده است که با این کار پایداری جانبی خط آهن در برابر نیروهای جانبی اعمالی تأمین خواهد شد. همچنین در این مقاله خط آهن بالاستی با نرم-افزار اجزای محدود ABAQUS به صورت سه بعدی مدل شده و سپس خط بالاستی و خط تقویت شده توسط بتن آسفالتی در سه منطقه: (۱) قسمت شانه بالاست، (۲) قسمت مثلثی شیب شیروانی، و (۳) مجموع قسمت‌های ۱ و ۲ بررسی شده است. با توجه به این که بتن آسفالتی نسبت به دما حساس می‌باشد اثر بتن آسفالتی در دماهای ۰، ۱۵ و ۳۰ درجه سلسیوس مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهند که خط آهن تقویت شده مقاومت جانبی بیشتری نسبت به حالت معمول خط بالاستی از خود نشان داده است.

واژگان کلیدی: مقاومت جانبی خط بالاستی، بتن آسفالتی، روش اجزای محدود، بالاست تقویت شده.

۱- مقدمه

مختلف سال زیاد است، یا در قوس‌های تند با شعاع کمتر از ۴۰۰ متر افزایش می‌یابد. این افزایش نیرو می‌تواند سازه خط را از حالت پایدار خارج نموده و خط آهن را از سرویس‌دهی باز دارد. راه‌های مختلفی جهت افزایش پایداری و مقاومت جانبی خط وجود دارد که می‌توان به استفاده از تراورس‌های خاص همچون تراورس بال‌دار، تراورس اصطکاکی یا کاهش فاصله تراورس‌ها، افزایش طول تراورس‌ها یا تأمین چسبندگی بین دانه‌های بالاست از طریق مواد پلیمری از جمله پلی‌یورتان اشاره کرد. روش آخر هم مقاومت جانبی را افزایش می‌دهد و سازه خط را در زمان کوتاهی پایدار می‌سازد. برای بررسی عملی مقاومت جانبی خط روش‌ها و آزمایش‌های متفاوتی وجود دارد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- آزمایش تراورس منفرد
- روش جابجائی پینل خط
- روش جابجائی مکانیکی خط
- اندازه‌گیری پیوسته دینامیکی مقاومت جانبی
- روش استفاده از واگن خارج شده از خط

مقاومت جانبی تراورس، عکس‌العمل بالاست در برابر جابجایی‌های جانبی تراورس می‌باشد که از لحاظ حفظ هندسه و پایداری خط حائز اهمیت است. باید توجه داشت که عوامل زیادی مانند مقطع بالاست و شرایط آن، نوع تراورس و شرایط و فاصله آن‌ها، نگهداری، بارمخوری واگن‌ها و میزان تراکم بالاست بر مقاومت جانبی اثرگذار می‌باشد. آنچه در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است، اثر تغییر مصالح در شانه بالاست می‌باشد. مقاومت جانبی بالاست از سه مؤلفه اصطکاک کف تراورس-بلاست، اصطکاک ناحیه بالاست آخوری و مقاومت انتهای یا شانه تشکیل شده است. مطالعات قبلی نشان می‌دهند که مؤلفه اصطکاک کف تراورس-بلاست بیشتر تحت تأثیر نوع تراورس و وزن آن، اصطکاک کناره‌ها تحت تأثیر بالاست آخوری و ارتفاع تماس آن با تراورس و مقاومت شانه یا انتهای تحت تأثیر هندسه شانه می‌باشد. تحکیم و تراکم هر سه مؤلفه را با شدت تأثیر متفاوت تحت تأثیر قرار می‌دهند [۱]. به طور طبیعی نیروی جانبی در بعضی مناطق مانند جاهایی که اختلاف دما بین فصول

تقویت کردن بالاست یورتان کراس لینک شده می‌باشد که این محصول در محل به وسیله تجهیزاتی به خط اضافه می‌گردد. عملکرد و مشخصات مهندسی این پلیمر برای رفع هر مشکل خط متفاوت می‌باشد که این مشخصات مهندسی این پلیمر شامل سختی، مقاومت، نسبت میرایی، ویسکوزیته و غیره می‌باشد. کرنش‌های کششی در شکست این پلیمر بیش از ۱۰۰ درصد می‌باشد که نشان دهنده درجه بالای شکل‌پذیری این پلیمر می‌باشد. هنگام تزریق آن به لایه بالاست، این پلیمر از طریق خلل و فرج موجود در بالاست شروع به نفوذ می‌کند که طی نفوذ دانه‌های بالاست را در تمام جهات تقویت می‌کند که این المان‌ها در کنار هم یک ژئوکامپوزیت سه‌بعدی متصل شده را به وجود می‌آورند. به طور معمول این پلیمر طی ۱۰ ثانیه عمل‌آوری می‌شود در طی چند دقیقه به ۵۰ درصد از سختی و در حدود یک ساعت به ۹۰ درصد سختی می‌رسد [۹]. مزایای استفاده از این پلیمر عبارتند از:

- رفع مشکل تغییر سختی در ناحیه انتقال که سختی خط به طور ناگهانی تغییر می‌کند [۱۰].
 - کاهش نشست، تغییر مکان جانبی و افزایش دوره‌های نگهداری و تعمیر [۱۱].
 - افزایش انعطاف‌پذیری، برابری فشاری و خمشی [۱۲]
- یکی دیگر از روش‌های تقویت کردن خط برای افزایش مقاومت جانبی استفاده از آسفالت در شانه می‌باشد. اما کارهای انجام شده با استفاده از بتن آسفالتی بیشتر در بستر و لایه‌های میان بالاست و زیر بالاست بوده است که استفاده آن در این وضعیت اثری در افزایش مقاومت جانبی ندارد، بلکه باید کنترل شود که مقدار مقاومت را در جهت طولی و جانبی خط کاهش ندهد.

مؤسسه آسفالت در اوایل دهه ۱۹۶۰ علاقمند به استفاده از مخلوط آسفالت داغ در بستر خطوط راه‌آهن شد. نظر بر استفاده مخلوط داغ آسفالتی به عنوان مقطع سازه خط بود که با عنوان "تمام عمق" شناخته می‌شود. در اواخر دهه ۶۰ میلادی، ایده "زیرلایه" مورد علاقه قرار گرفت که این سیستم شامل یک لایه از بالاست که بر مخلوط آسفالتی داغ به عنوان زیر بالاست قرار گرفته می‌شد. البته ایده قرارگیری مستقیم خط بر روی مخلوط آسفالتی داغ در این زمان ترک نشد [۱۳].

مزایای استفاده از مخلوط آسفالتی لایه‌ای عبارتند از:

- بهبود توزیع بار بر سابگرید
- حذف نفوذ آب در سابگرید

بررسی‌های انجام شده در خصوص مقاومت جانبی خط بالاستی بیشتر بر کماتش خط تمرکز داشته که می‌توان به کارهای Kerr در سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۷۸ و ۱۹۸۰ اشاره نمود ایشان با استفاده از مدل تیر به بررسی کماتش خط پرداخته است. این مدل دارای محدودیت‌هایی مانند عدم در نظر گرفتن اثرات تراورس‌ها و سیستم‌های پایند یا اثرات بالاست زیرکوبی شده و زیرکوبی نشده می‌باشد. Kish و همکاران و Samavedam و همکاران مقاله‌هایی در مورد بررسی کماتش خط با استفاده از مدل تیر منتشر کردند. با این حال، مدل آن‌ها اثرات غیر یکنواختی توزیع مقاومت خط را در طول (فقدان تراورس‌ها و سیستم پایند)، تغییر عرض خط و اختلاف دماهای خنثی بین دو ریل را در نظر نگرفته است. از کامل‌ترین کارهایی که در زمینه بررسی عددی مقاومت جانبی با روش اجزای محدود می‌توان اشاره کرد بررسی Kabo در سال ۲۰۰۶ می‌باشد که با استفاده از یک مدل رفتاری تأیید شده برای بالاست به بررسی اثرات هندسی مانند عرض شانه، ارتفاع شانه و اثر پارامتری مانند ضریب اصطکاک پرداخت و اثر هرکدام را مورد مطالعه قرار داد که البته می‌توان به کمبودهایی مانند عدم بررسی تغییر ضخامت لایه بالاست، تغییر شیب شانه بالاست اشاره کرد [۲]. از کارهای انجام شده دیگر در زمینه بررسی مقاومت جانبی و پارامترهای مؤثر در آن می‌توان به کار شرکت Plasser and Theurer در سال ۲۰۰۷ اشاره کرد که مقاومت جانبی متوسط خط قبل و بعد از زیرکوبی و پس از پایدارسازی دینامیکی تحت اثر سرعت‌ها و فرکانس‌های مختلف اندازه‌گیری شده است [۳]. از کارهای آزمایشگاهی می‌توان به کار Le pen در سال ۲۰۰۸ اشاره کرد که به بررسی رفتار تماس تراورس-بلاست پرداخته است. ایشان در آزمایشاتی تأثیر تماس بالاست زیر تراورس و تماس انتها و پهلوی تراورس را تحت بارگذاری استاتیک و سیکلیک بیان کرده است [۴]. از کارهای آزمایشگاهی و میدانی که در دانشکده راه-آهن انجام گرفته می‌توان به کار میرفتاحی [۵] و فخاری [۶] و بختیاری [۷] و ذاکری و همکاران [۸] اشاره کرد که به بررسی میزان تأثیر تراورس اصطکاکی بر مقاومت جانبی پرداخته‌اند که آزمایشات بختیاری محدود به یک هندسه خاص نمی‌باشد و به بررسی اثر ضخامت لایه بالاست و ارتفاع شانه بالاست (که اصطلاحاً گرده ماهی نامیده می‌شود) پرداخته است.

۲- فناوری Xitrack و کاربرد آن در خطوط بالاستی

فناوری Xitrack یکی از ابداعاتی می‌باشد که خط بالاستی را به سرعت پایدار و تقویت می‌کند. پلیمر استفاده شده برای

افزایش باربری قائم [۱۳]

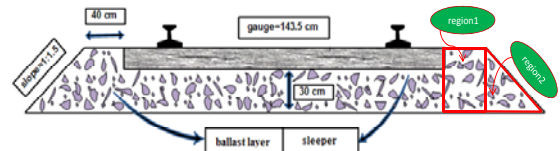
هدف اصلی در این مقاله، مدل کردن خط بالاستی با هدف تقویت شانه بالاست با استفاده از مصالح بتن آسفالتی می‌باشد که این کار با استفاده از روش اجزای محدود انجام می‌گیرد تا میزان اثر تقویت شانه‌های خط بالاستی با بتن آسفالتی ارزیابی گردد باید اشاره شود که استفاده از مصالحی آسفالتی چنان که پیشتر اشاره شد فقط در بستر یا به جای لایه زیر بالاست و یا این که به جای کل مصالح دانه‌ای روسازی خط متداول می‌باشد و استفاده از آن در شانه با هدف تقویت شانه بالاست تا حال انجام نگرفته است. برای این کار شانه‌های خط بالاستی مطابق شکل (۱) در سه منطقه:

(۱) قسمت مستطیلی شانه بالاست

(۲) قسمت مثلثی شیب شیروانی شانه بالاست

(۳) مجموع قسمت‌های ۱ و ۲

مدل شده و در سه دمای متفاوت، ۱۵ و ۳۰ درجه سلسیوس بررسی شده است و در هر سه دما خط مقاومت جانبی بیشتری نسبت به حالت معمول خط بالاستی نشان داده است به دلیل حساسیت بتن آسفالتی به درجه حرارت سه دمای متفاوت مورد بررسی قرار گرفته تا حساسیت‌سنجی نسبت به دما انجام گیرد.



شکل ۱- مقاطع تقویت شده به وسیله بتن آسفالت

مدل رفتاری تأیید شده در کارهای قبلی استفاده گردیده است و برای بیان رفتار بتن آسفالتی از مدل رفتاری که در آزمایشگاه در دماهای مختلف بررسی شده است، استفاده گردیده است (شکل (۲)) [۱۵]. پس از این که مدل رفتاری بالاست و بتن آسفالتی مشخص گردید با بیان این مدل رفتاری برای نرم‌افزار و مشخص کردن ویژگی‌ها برای مصالح بخش‌های مختلف مدل و نسبت دادن شرایط مرزی و بارگذاری به مدل و مشخص کردن نوع و اندازه شبکه‌ها، مدل را اجرا کرده و خروجی‌های مورد نظر را استخراج می‌کنیم. نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS دارای بخش‌های مختلف به نام ماژول می‌باشد. در هر ماژول کار خاصی انجام می‌شود که عملیات مدل‌سازی، اختصاص مشخصات مصالح، سرهم‌بندی اجزای مختلف، اندرکنش اجزا، بارگذاری و شرایط مرزی، شبکه‌بندی و اجرا در هر ماژول خاص انجام می‌گیرد. این نرم‌افزار قابلیت مدل کردن مصالح مختلف مانند فلزات، بتن، خاک، سنگ و ... را دارا می‌باشد و می‌توان خروجی‌ها را به آسانی در یک محیط گرافیکی به دست آورد و از طرفی یکی از قابلیت‌های این نرم‌افزار شبکه‌بندی آسان می‌باشد که یکی از نقاط قوت این نرم‌افزار به حساب می‌آید.

با توجه به کاربرد آسفالت در راه‌آهن در موارد ذکر شده مطالعه عددی اجزا محدود برای بررسی اثر استفاده از آسفالت در شانه‌ها انجام گرفته است. در این مطالعه آسفالت بتنی در سه سطح مقطع مختلف و در سه دمای متفاوت بررسی شده است. مطالعه اثر تقویت شانه در سه مقطع متفاوت شکل (۱) انجام گرفته است.

۴-۱- هندسه، مشخصات مکانیکی مصالح مدل و شرایط

مرزی

تراورس به صورت یک جسم الاستیک ۲/۵ متری با سطح مقطع ۲۲×۲۴ سانتی‌متر مربع و بالاست به صورت مصالح الاستوپلاستیک با عرض شانه ۴۰ سانتی‌متر، ضخامت ۳۰ سانتی‌متر زیر تراورس و شیب شانه ۱:۱/۵ و طول خط ۶۰ سانتی‌متر مدل شده است.

۳- مدل اجزای محدود

برای بررسی عددی تأثیر تقویت بخش‌های مختلف شانه خط بالاستی در این تحقیق از نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS استفاده شده است و برای پیاده‌سازی مدل رفتاری بالاست از

جدول ۱- مشخصات مکانیکی مصالح

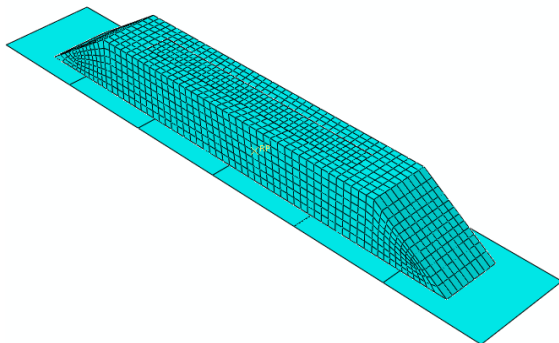
ویژگی	بلاست	تراورس	بتن آسفالتی	
			چگالی (Kg/m ³)	۲۲۰۰
مدول یانگ (N/m ²)	۰/۱۴E+۰۹	۳۷/۵E+۰۹	دما (°C)	مدول یانگ (N/m ²)
			۰	۳/۱۲E+۰۹
			۱۵	۰/۴۰E+۰۹
			۳۰	۰/۰۷E+۰۹
نسبت پواسون (-)	۰/۴۰	۰/۱۵	۰/۳۵	

۴-۲- مدل رفتاری آسفالت

در این مقاله، رفتار بتن آسفالتی در سه شرایط مختلف دمایی با نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه بررسی شده است که نمودار رفتاری این مصالح در شکل (۲) ارائه گردیده است و در مدل‌سازی مورد نظر از این مدل‌های رفتاری استفاده شده است. در مطالعه حاضر، رفتار تنش-کرنشی آسفالت بتنی در دماهای مختلف (۰، ۱۵ و ۳۰ درجه سلسیوس) با نرخ کرنش محوری ۰/۱ بر ثانیه بررسی شده است. دلیل بررسی رفتار بتن آسفالتی در دماهای متفاوت به خاطر تأثیر زیاد دما در رفتار آن می‌باشد [۱۵].

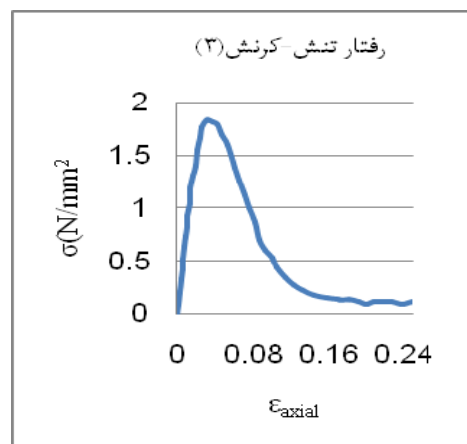
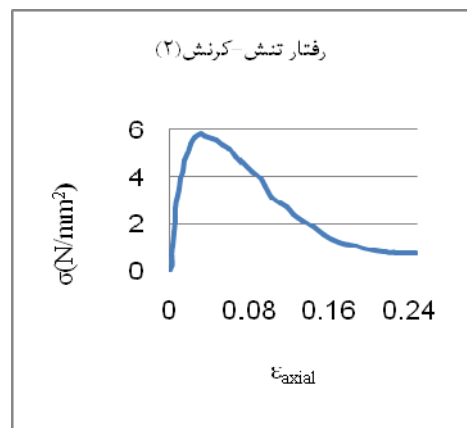
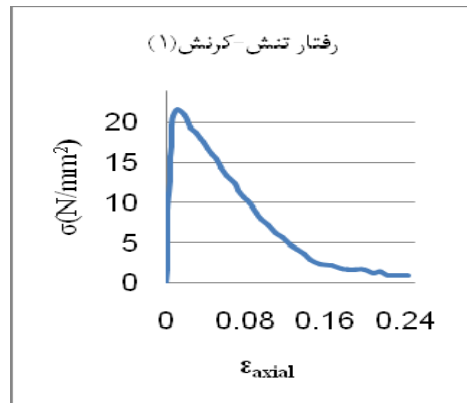
۴-۳- اندرکنش بالاست و تراورس و اعمال بارگذاری

ابتدا لایه بالاست بر روی یک صفحه صلب قرار گرفته و ضریب اصطکاک تماسی بالاست و تراورس ۰/۱ در نظر گرفته شده است. سطوح تماس تراورس با بالاست با هم درگیر شده و باعث مقاومت در برابر نیروهای جانبی اعمالی می‌گردد. در ارتباط با اندرکنش بین تراورس و بالاست باید یادآوری شود که در اندرکنش تراورس و بالاست آخوری ضخامت بالاست بسیار مهم می‌باشد و با افزایش این عمق مقدار این مؤلفه مقاومتی افزایش می‌یابد که با افزایش تراکم بالاست نیز این محدوده افزایش می‌یابد و مقاومت شانه به طور مستقیم با افزایش ارتفاع شانه از کف تراورس و پهنای شانه افزایش می‌یابد. تراکم بالاست شانه‌ها این مقاومت را افزایش می‌دهد و مقاومت کف تراورس نشانگر نیروی لازم جهت غلبه بر مقاومت اصطکاکی با نیروی قائمی برابر با وزن تراورس است [۱۶]. البته ضریب اصطکاک تا حدود زیادی به زبری کف تراورس بستگی دارد. در این مؤلفه مقاومت با افزایش وزن تراورس افزایش پیدا می‌کند. در شکل (۳) مدل کاملی از خط نشان داده شده است [۱۷].



شکل ۳- شبکه‌بندی اجزای مختلف روسازی خط در مدل

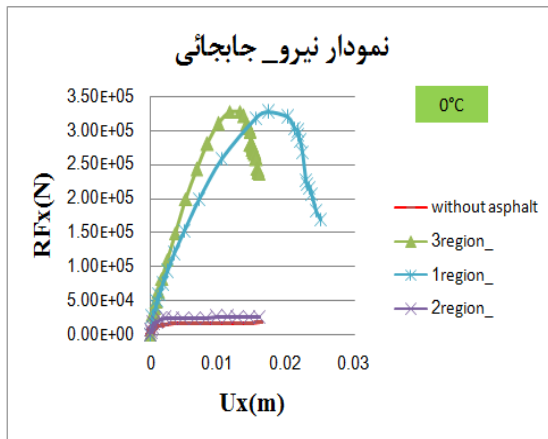
مصالح بتن آسفالتی نیز الاستوپلاستیک رفتار می‌کند و کل خط بر روی یک صفحه که نشان دهنده بستر می‌باشد قرار گرفته است و در محل قرارگیری خط بر روی بستر درجات آزادی انتقالی و چرخشی محدود شده است که این با واقعیت متفاوت می‌باشد و باعث افزایش سختی می‌گردد. در جدول (۱) مشخصات مصالح ارائه شده است.



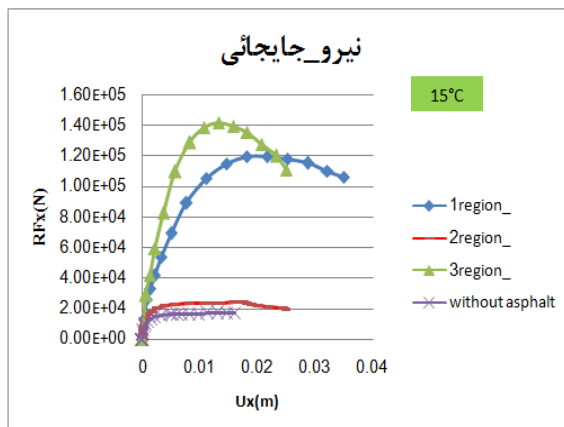
شکل ۲- رفتار تنش-کرنش بتن آسفالتی برای دمای صفر، ۱۵ و ۳۰ (به ترتیب از بالا به پایین) درجه سلسیوس با نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه

۶- خروجی‌های نرم افزار

با استفاده از تحلیل استاتیکی مدل سازی انجام شده توسط نرم افزار ABAQUS، نتایج به شرح شکل‌های (۶) تا (۸) برای خط بالاستی که در مقطع‌های مختلف تقویت شده، ارائه گردیده است. در این شکل‌ها، رفتار خط در حالت معمول یعنی حالتی که فقط بالاست در خط استفاده شده است و در حالتی که از بتن آسفالتی در سه دمای مختلف برای سه منطقه مختلف استفاده شده است، بررسی گردیده و خروجی‌ها برای هر دما و مناطق مختلف تقویت شده در کنار هم در شکل‌های (۶) تا (۸) نشان داده شده‌اند.

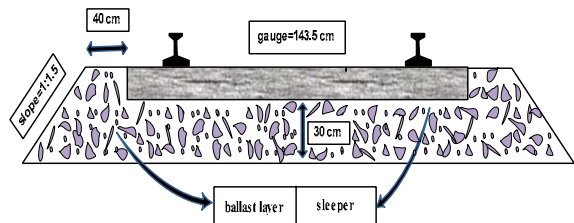


شکل ۶- نمودار نیرو-جابجائی برای حالتی که از بتن آسفالتی در دمای صفر درجه و نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه استفاده شده است



شکل ۷- نمودار نیرو - جابجائی برای حالتی که از بتن آسفالتی در دمای ۱۵° و نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه استفاده شده است

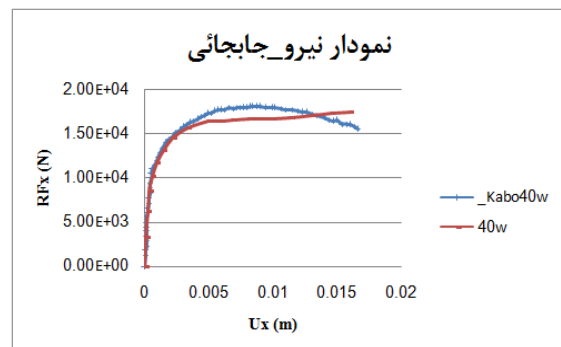
بارگذاری به صورت جابجایی جانبی به خط اعمال می‌گردد و نیروی عکس‌العمل افقی بالاست به عنوان مقاومت جانبی خط اندازه گیری می‌شود. باید توجه شود که جابجائی جانبی در محل یک گره (محل قرارگیری ریل بر تراورس) اعمال می‌گردد (شکل (۴)).



شکل ۴- مشخصات هندسی مقطع بالاست و محل اعمال جابجائی جانبی

۵- اعتبارسنجی

با استفاده از خروجی‌های به دست آمده از کار انجام شده در دانشگاه چالمرز نمودار w40-Kabo (w بیانگر عرض شانه بالاست می‌باشد)، رفتار بالاست برای حالت خاص که در قسمت‌های قبل، از لحاظ هندسه و اندرکنش تشریح گردید استفاده شده است و با توجه به آن نمودار حاصل برای نیرو-جابجائی مطابق شکل (۵) (نمودار w40) به دست آمده است که نشان از تطابق خوب با نمودار تأیید شده دارد و با استفاده از این رفتار بالاست در قسمت‌های بعد، رفتار بالاست و بتن آسفالتی در کنار هم مورد بررسی قرار گرفته شده است. باید توجه کرد که برای به دست آوردن رفتار تنش-کرنشی بالاست با استفاده از نمودار w40-Kabo مقدار مقاومت شانه بالاست ۲۵ درصد کل مقاومت جانبی در نظر گرفته شده است [۱۸ و ۱۹].



شکل ۵- صحت‌سنجی مدل سازی انجام گرفته در این مطالعه با مدل Kabo

با توجه به مدل‌سازی انجام شده، تقویت مناطق مختلف شانه بالاست در دماهای بررسی شده باعث افزایش مقاومت جانبی خط می‌گردد که البته باید اشاره شود که تقویت منطقه (۲) تأثیری زیادی بر مقاومت جانبی ندارد. در مجموع با توجه به مدل‌سازی انجام شده نتایج زیر حاصل گردیده‌اند:

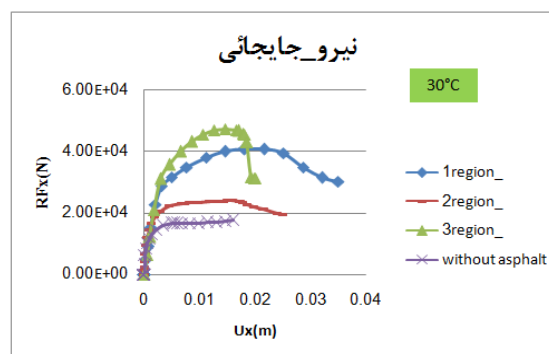
(۱) با توجه به نتایج، تقویت منطقه (۱) از لحاظ فنی و اقتصادی توجیه دارد.

(۲) در قوس‌های تند با شعاع کمتر از ۴۰۰ متر، پیشنهاد می‌گردد از روش تقویت شانه بالاست توسط بتن آسفالتی برای مرتفع کردن محدودیت سرعت و حفظ پایداری هندسه خط استفاده گردد.

(۳) با توجه به حساسیت بالای بتن آسفالتی به درجه حرارت، استفاده از این تکنیک تقویت شانه بالاست در مناطق سردسیر مخصوصاً در قوس‌های تند این مناطق مناسب‌تر می‌باشد.

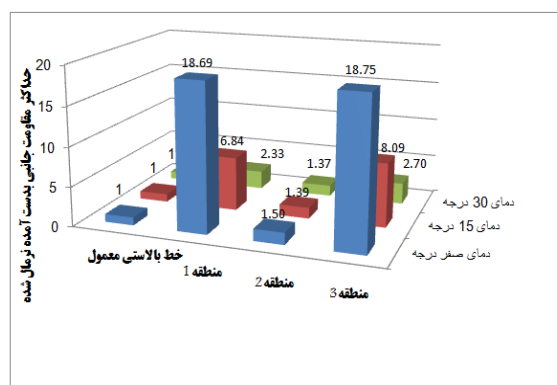
۸- مراجع

- [1] Kish, A., "On the Fundamentals of Track Lateral Resistance", AREMA, US, 2011.
- [2] Kabo, E., "A Numerical Study of the Lateral Ballast Resistance in Railway Tracks ", Rail and Rapid Transit Journal, 2006, 220, 425-433.
- [3] Lichtberger, B., "The Lateral Resistance of the Track", Plasser and Theurer Publications, 2007.
- [۴] براتی، م.، "تأثیر بار قائم بر مقاومت جانبی خط با تراورس اصطکاکی"، سمینار کارشناسی‌ارشد مهندسی خطوط، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، ۱۳۸۹.
- [۵] میرفتاحی، ب.، "مطالعه میدانی مقاومت جانبی خطوط CWR با تراورس‌های اصطکاکی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، ۱۳۸۸.
- [۶] فخاری، م.، "بررسی آزمایشگاهی تأثیر تراورس‌های اصطکاکی بر روی میزان افزایش مقاومت جانبی خط آهن"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، ۱۳۸۸.
- [۷] بختیاری، آ.، "بررسی پارامترهای مؤثر بر مقاومت جانبی خط بالاستی"، سمینار کارشناسی‌ارشد مهندسی خطوط، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، ۱۳۹۰.
- [8] Zakeri, J. A., Mirfatahi, B., Fakhari, M., "Lateral Resistance of Railway Track with Frictional Sleepers", Proceedings of the



شکل ۸- نمودار نیرو-جابجایی برای حالتی که از بتن آسفالتی در دمای ۳۰° و نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه استفاده شده است.

در نهایت کلیه نتایج را می‌توان برای دماها مختلف و بخش‌های مختلف که تقویت شده‌اند در نمودار (۹) مشاهده کرد. یکی از نتایج مهم این مطالعه، عدم تأثیر تقویت منطقه ۲ می‌باشد. نتیجه دوم، تأثیر دما در رفتار بتن آسفالتی می‌باشد که با افزایش دما همان طور که در نمودارها مشخص می‌باشد کاهش قابل توجه در مقاومت جانبی دیده می‌شود. در شکل (۹) نتایج نسبت به حالت معمول خط بالاستی نرمال شده است و به وضوح تأثیر تقویت مناطق مختلف نشان داده شده است [۱۹].



شکل ۹- نتایج حاصل از تقویت منطقه‌های مختلف در دماهای مختلف نرمال شده نسبت به حالت خط بالاستی معمول

۷- نتیجه‌گیری

مدل‌سازی انجام شده نشان می‌دهد که یکی از راهکارهای افزایش پایداری جانبی خط آهن مخصوصاً در مناطق حساس مانند قوس‌ها با شعاع کمتر از ۴۰۰ متر یا مناطقی با اختلاف دمایی زیاد در فصول مختلف می‌توان از مصالحی مانند آسفالت بتنی در شانه‌ها استفاده کرد تا پایداری جانبی خط حفظ گردد.

- Institution of Civil Engineers, 2012, 165, 151-155.
- [9] Woodward, P. K., Body, P., Banimahd, P., "Xitrack Reinforcement of Tunnel Railway Tracks from Floating to Fixed Geometry in a Day", The 9th International Conference on Railway Engineering, London, England, June, 2007.
- [10] Banimahd, M., Woodward, P. K., "3-Dimensional Finite Element Modeling of Railway Transition", The 9th International Conference on Railway Engineering, London, England, June, 2007.
- [11] Woodward, P. K., Nicholl, G., Zettor, B., "The Application of Xitrack Geocomposite Technology to Bletchley Points on the West Coast Main Line", The 9th International Conference on Railway Engineering, London, England, June, 2007.
- [12] Woodward, P. K., Nicholl, G., Thompson, D. R., "Cost Effective Solution of Persistent Permanent Way Track Faults Using Xitarck Geocomposite Technology", The 9th International Conference on Railway Engineering, London, England, June, 2007.
- [13] Hensley, M. J., Rose, J. G., "Design Construction and Performance of Hot Mix Asphalt for Railway Trackbeds", The 1st World Conference of Asphalt Pavement, Sydney, Australia, 2000.
- [14] Rose, J. G., Tucker, P. M., "Quick-Fix, Fast-Track Road Crossing Renewals Using Panelized Asphalt Underlayment System", AREMA Annual Conference and Exposition, Washington DC, US, September, 2002.
- [15] Erkens, S. M. J. G., Poot, M. R., "Determining and Modeling Asphalt Concrete Response (ACRe)", Heron, 2000, 45 (3), 219-236.
- [16] Zakeri, J. A., "Lateral Resistance of Railway Track", Reliability and Safety in Railway, In Tech-Open Access Publisher, Perpinya.
- [۱۷] سلیگ، ا.، واترز، ج.، ترجمه اسماعیلی، ا.، و بلوکیان، ن.، "ژئوتکنیک راه آهن و مدیریت زیرسازی"، اصفهان، ۱۳۸۹.
- [۱۸] کسرائی، ا.، "مطالعه عددی مقاومت جانبی خط بالاستی"، سمینار کارشناسی ارشد مهندسی خطوط، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، ۱۳۹۱.
- [۱۹] کسرائی، ا.، "مطالعه عددی مقاومت جانبی خط آهن بالاستی"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی خطوط، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، ۱۳۹۲.

EXTENDED ABSTRACT

Numerical Investigation of Effect of Improved Shoulder with Concrete Asphalt with Emphasis on Lateral Resistance Increasing of Ballasted Track

Jabbar Ali Zakeri*, Morteza Esmaeili, Ahmad Kasraei

Railway School, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Received: 18 November 2014; **Accepted:** 02 June 2015

Keywords:

Lateral resistance, Ballasted railway track, Track stability, Concrete asphalt, Improved ballast

1. Introduction

Buckling and geometric variation of railway track are the phenomena that threaten railway stability. The lateral resistance is the factor that maintains stability of railway track against them. In ballasted tracks, there are some regions that lateral forces increase, for example, in areas with high differences in temperature or in curves with low radii. In these places, the train speed will be restricted for keeping lateral stability. This approach will decrease the capacity of passengers and freight train transition. A lot of investigations by different researchers were carried out by using beam model or Euler theory Such as Kerr 1999 and Kish et al [1]. Other experimental and field studies have been done by Plasser and Theurer studies, Le pen and some Msc Dissertations in School of Railway engineering (SRE) of Iran University of Science and Technology (IUST). In this school a lot of bachelor and master thesis with this base defined and carried out. In related with numerical study of lateral resistance, there are limited studies like an article with subject "A numerical study of the lateral ballast resistance in railway tracks" presented by Kabo [2]. The technical investigation showed that different parameters affect the lateral resistance such as type and weight of sleeper (winged sleeper, frictional sleeper etc.), ballast density, fouling, extent and material of ballast layer. This paper presents an innovative approach with using concrete asphalt in ballast shoulder that will increase lateral stability of railway. In this approach ballast material in shoulder substitutes with concrete asphalt and performance of shoulder will be evaluated.

2. Methodology

With using Finite Element software ABAQUS, a 3D model of railway track created and consequently improved (substitution ballast material of shoulder with concrete asphalt) and typical track were compared. Track was improved in 3 regions: a) shoulder, b) slope of ballast c) whole of 1 and 2 (Fig. 1) and improvement was separately investigated in each region. With regard to this point that concrete asphalt is very sensitive to temperature, effect of temperature is investigated in different degrees of 0, 15 and 30 °C. Track sleeper and ballast layer are considered as an elastic and elasto-plastic material, respectively. Sleeper is modeled as a cube with section 22*24 cm² and longitudinal 2.5 m and ballast layer is simulated with thickness 30cm, shoulder slope 1:1.5 and longitudinal 60cm. bottom of track in all translational direction restricted. Ballast layer is in contact with sleeper from 3 area base, crib and shoulder for this interaction friction coefficient equal 0.8 is considered. Loading with applying displacement in

* Corresponding Author

E-mail addresses: zakeri@iust.ac.ir (Jabbar Ali Zakeri), m_esmaeili@iust.ac.ir (Morteza Esmaeili), ahmad.kasraei@gmail.com (Ahmad Kasraei).

rail seat is considered and horizontal reaction in bottom of ballast layer as result is exported. Concrete asphalt is considered as an alsto-plastic material and behavior of it in 3 temperatures (0, 15 and 30 0C) are investigated.

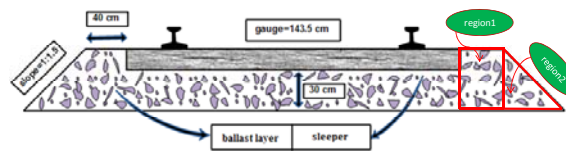


Fig. 1. Regions for improvement with concrete asphalt

3. Results and discussion

For validation of model study of Kabo as a valid study is considered. Comparison between results of Kabo and simulation in this article are showed that results of this article have appropriate accuracy. With respect to results (Fig. 2) it is understood that improvement of region 1 or 3 has significant effect. This method is suggested for area with cold weather because of asphalt performance.

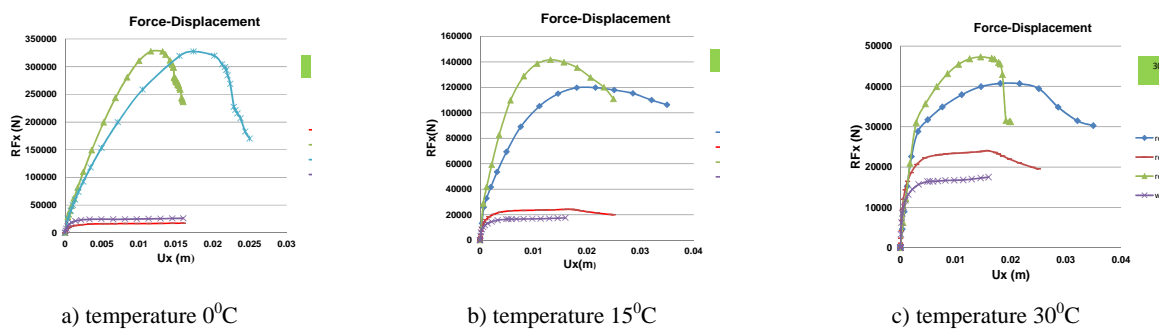


Fig. 2. Results for different temperatures [3]

4. References:

- [1] Kish, A., "On the Fundamentals of Track Lateral Resistance", AREMA, US, 2011.
- [2] Kabo, E., "A Numerical Study of the Lateral Ballast Resistance in Railway Tracks", Rail and Rapid Transit Journal, 2006, 220, 425-433.
- [3] Kasraei, A., "Numerical Study of Lateral Resistance of Ballasted Railway Track", MSc Thesis, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, 2013.