

تحلیل حساسیت تنش و بیشینه تغییر مکان قائم سطح بالاست بر اساس مشخصات سیستم خطوط بالاستی راه آهن ایران

سعید محمدزاده^۱، جبارعلی ذاکری^{۲*}، محمد وریا خورده‌بینان^۳

^۱ استادیار دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

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

^۳ دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج

چکیده

اندرکنش تراورس و لایه بالاست نقش مهمی در زوال خط راه آهن دارد. لایه بالاست با ایجاد یک سطح برابر محکم، یکنواخت و هموار برای تراورس‌ها و انتقال بار وارد از خط در حدی از تنش فشاری که قابل تحمل برای بستر باشد، از به هم خوردن هندسه خط و نشست‌های غیر مجاز در راستای قائم جلوگیری می‌کند. مطالعات نشان می‌دهند که تحلیل تنش تماسی زیر تراورس با توجه به سیستم بستر ریل و نوع بارگذاری خط تاکنون کمتر مورد توجه محققین بوده است. در این تحقیق برای تحلیل تنش و تغییر مکان قائم سطح لایه بالاست با توجه به افزایش بار محوری و سرعت عبوری از یک سو و تغییر ضخامت لایه بالاست و نوع بستر خطوط راه آهن از سوی دیگر از روش اجزای محدود استفاده می‌گردد. برای رسیدن به این هدف سیستم راه آهن در دو قسمت تست میدانی و تحلیل عددی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا خطوط بالاستی راه آهن در محدوده مشخصات هندسی و فنی مدل‌سازی می‌گردد. سپس برای کنترل صحت مدل‌سازی به کمک تست میدانی مدل کالیبره می‌شود و بر اساس طبقه‌بندی اجزای سیستم خطوط ریلی، تحت پارامترهای مختلف بارگذاری و ضخامت لایه بالاست مدل خط تحلیل می‌گردد. در پایان، نتایج به دست آمده تحلیل می‌شوند و نمودارها و جدول‌های مختلف جهت تخمین میزان تنش فشاری و نشست بیشینه سطح لایه بالاست تحت پارامترهای رایج خطوط ریلی ایران ارائه می‌گردد.

واژگان کلیدی: تراورس بتنی، زیرکوبی، پایدارسازی، بالاست، مکانیک خط راه آهن.

۱- مقدمه

و در خارج کشور [۱، ۷-۹] ارائه شده است که به طور کلی با توجه به موقعیت اعمال بار چرخ‌ها به تراورس، مقادیر تنش‌ها در دو انتهای تراورس بیش‌تر از مقادیر تنش‌های قسمت مرکزی آن است. بدین ترتیب انتظار می‌رود که توزیع تنش در زیر تراورس غیر یکنواخت باشد. تعیین دقیق توزیع فشار تماسی بین تراورس و بالاست بسیار پیچیده است و با توجه به متغیر بودن میزان فشار تماسی بین تراورس و بالاست در طول دوره بهره‌برداری خط راه آهن، تحت تأثیر دو عامل اصلی ترافیک عبوری و کیفیت عملیات نگهداری و تعمیر خط، استفاده از حداکثر تنش فشاری بین تراورس و بالاست در طراحی منطقی به نظر می‌رسد. نظریه-ها و مطالعاتی توسط Zimmerman در سال ۱۸۸۷ [۱۰]، آیین‌نامه آلمان [۲]، آیین‌نامه AREMA در سال ۲۰۰۶ [۱۱]، استاندارد راه آهن استرالیا [۱۲] و Kaewunruen و Remennikov [۱۳، ۱۴] در این زمینه ارائه شده است. مطالعات نشان می‌دهند در نظریه‌های رایج و استانداردهای راه-آهن، نقش ضخامت لایه بالاست و نوع بستر در تعیین بیشینه

سیستم یک خط راه آهن را می‌توان به صورت یک سیستم توزیع کننده بار در نظر گرفت. به صورتی که بار متناوب ناشی از عبور چرخ وسایل نقلیه ریلی ابتدا از ریل به تراورس و سپس از طریق یک لایه محافظ به نام بالاست بر لایه زیرسازی انتقال می‌یابد. اندازه و بزرگی مقدار تنش‌های وارد بر لایه زیرسازی به عمق بالاست وابسته است [۱]. روال و شیوه معمول در طراحی خط راه آهن بر پایه ارضای چندین معیار مقاومت برای هر یک از اجزای خط بنا شده است. یکی از این معیارها تنش مجاز بالاست است [۱، ۲].

اندرکنش ریل و تراورس و تماس مستقیم تراورس و لایه بالاست، تنش تماسی را در وجه تحتانی تراورس با بالاست به وجود می‌آورد. نحوه توزیع تنش در زیر تراورس، به عوامل متعددی وابسته است و در طول دوره بهره‌برداری از خط راه آهن تغییرات زیادی در آن به وجود می‌آید. فرضیات گوناگونی درباره توزیع بار در زیر تراورس توسط محققان مختلف در ایران [۳-۶]

تست میدانی در خط چهار راه آهن ایستگاه بهرام در مسیر خط راه آهن تهران- مشهد انجام گردید که دارای بستر از نوع خاک ماسه‌ای با کیفیت خوب است. سیستم خط در مرحله اول با بار محوری ۲۰ تن و سرعت عبوری قبل از زیرکوبی ۳/۴ km/h و بعد از زیرکوبی و پایدارسازی خط ۶/۸۸ km/h بارگذاری گردید و در مرحله دوم بیشینه درصد سهم باربری تراورس از بار عبوری و میزان و محل بیشینه تنش زیر تراورس در سه حالت زیرکوبی و تراکم بالاست، قبل از عملیات پایدارسازی و بعد از پایدارسازی سیستم خط بررسی شد.



شکل ۱- تغییر مکان سنج در تست میدانی [۴، ۵]

آزمایش‌های تست میدانی با نصب شش عدد نیروسنج و سنسور تغییر مکان سنج در سه تراورس بتنی انجام گردید. بارگذاری خط با عبور دیزل ۶ محوره و واگن ۴ محوره در دو حالت قبل و بعد از عملیات زیرکوبی و پایدارسازی خط صورت گرفته و پاسخ خط ثبت شد. ارزیابی سنسورها از میزان تغییر مکان قائم سه تراورس تحت شرایط مختلف بارگذاری خط در شکل (۲) نشان داده شده است [۴-۶].

نیروسنج‌هایی که برای سنجش نیرو در تراورس بتنی به کار می‌روند، با توجه به محل‌های قابل جاگذاری در تراورس باید دارای ضخامت کم، متناسب با نشیمنگاه ریل و همچنین قابلیت بارگذاری زیاد انتخاب گردند [۱۵]. به همین دلیل نیروسنجی به قطر ۱۰۰ mm، ضخامت ۲۰ mm و قابلیت اندازه‌گیری ۱۰ تن فشاری در محل نشیمنگاه ریل و ۴ عدد نیروسنج دیگر در کف تراورس (B1، B2، B3 و B4) به قطر ۱۰۰ mm، ضخامت ۲۰ mm و قابلیت اندازه‌گیری ۲/۵ تن به صورت فشاری و کششی جهت مرحله دوم تست میدانی در نظر گرفته شدند (شکل (۳)) [۳، ۱۶].

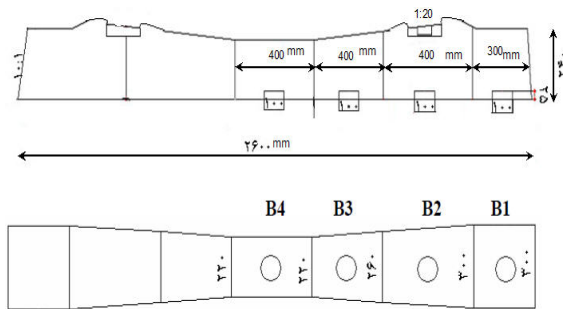
تنش سطح بالاست با توجه به شرایط رایج اجزا سیستم خط راه آهن نادیده گرفته شده است. تعیین دقیق تنش تحت فاکتورهای متغیر اجزای سیستم خطوط ریلی با توجه به ماهیت دینامیکی نیروهای وارده بر خط امری دشوار و پیچیده بوده و نیازمند مطالعات و آزمایشات میدانی گسترده است. تدوین یک روش تخمین نشست خط و تحلیل حساسیت تنش و تغییر مکان بیشینه سطح بالاست که دربر گیرنده کلیه عوامل مؤثر در آن باشد، هدف اصلی این مقاله است و برای رسیدن به این مهم ابتدا با تست میدانی در خط ریلی تهران- مشهد و تحلیل نتایج آن، تنش و تغییر مکان بیشینه سطح بالاست تعیین می‌گردد. سپس به کمک نرم‌افزار به روش اجزای محدود به عنوان روشی کارآمد در تحلیل مکانیکی تک تک اجزای سیستم راه آهن، مدل بهینه خط طراحی می‌شود و با استفاده از نتایج تست میدانی کالیبره می‌گردد. در مرحله، بعد مدل تحت ضخامت‌های مختلف لایه بالاست، انواع بستر، سرعت عبوری و بار محوری مورد تحلیل قرار می‌گیرد. سپس نتایج حاصل از تحلیل برنامه نرم‌افزاری ANSYS، جهت تعیین بیشینه نشست و تنش در سطح لایه بالاست بررسی می‌شود. در پایان برای درک بهتر نسبت به نتایج حاصله، میزان حساسیت پارامترهای نشست و تنش عمودی بیشینه سطح بالاست به عنوان تابعی از افزایش سرعت عبوری، بار محوری و افزایش ضخامت لایه بالاست توسط منحنی‌ها و جدول‌هایی ارائه خواهد شد.

۲- تحلیل روسازی خط راه آهن

جهت تحلیل حساسیت میزان تنش و تغییر مکان سطح بالاست، در مرحله اول به روش میدانی سیستم خط راه آهن مورد آزمایش قرار می‌گیرد تا تأثیر دوره بهره‌برداری برای اولین عبور بعد از زیرکوبی و پایدارسازی تا سیکل بعدی بر دو پارامتر فوق مورد مطالعه قرار گیرد و در مرحله دوم به کمک روش اجزای محدود و با توجه به داده‌های تست میدانی سیستم خط راه آهن مدل‌سازی و کالیبره می‌گردد. در ادامه به کمک نرم‌افزارهای CATIA و ANSYS برای شرایط مختلف سیستم خط ریلی، تحلیل حساسیت مدل صورت می‌گیرد. سپس بر اساس منحنی‌ها و جدول‌های مختلف نتیجه‌گیری روشن و قابل استنادی در مورد تأثیر پارامترهای اجزا خط راه آهن بر میزان تغییر مکان و فشار تماسی قائم بیشینه بر سطح بالاست ارائه می‌گردد.

۲-۱- روش تست میدانی

مرحله بعد از زیرکوبی و نیز بعد از پایدارسازی تحت اثر عبور دیزل ۶ محوره و واگن ۴ محوره تحلیل می‌گردد.

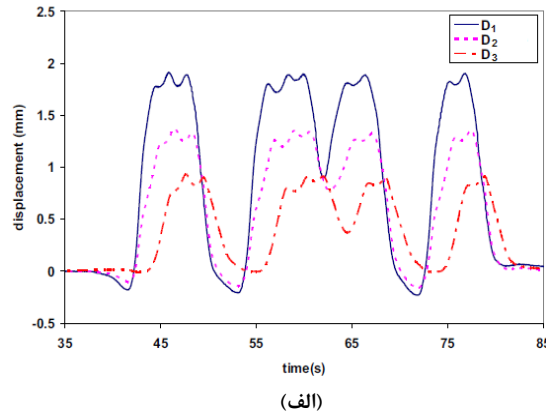


شکل ۳- شکل شماتیک آرایش نیرو سنج ها در تراورس (mm)

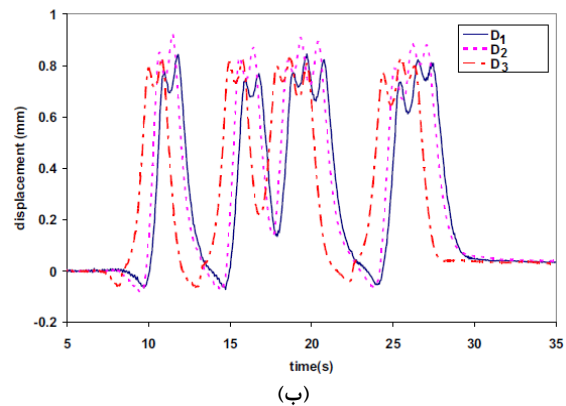
پس از نصب تراورس و اتصالات جهت ایجاد یکنواختی در تراکم بالاست زیر تراورس و کارآمد کردن نیروسنج ها به وسیله ماشین زیرکوب خط، محل مورد نظر زیرکوبی گردید. هنگامی که بالاست در یک خط راه آهن تازه کوبیده شده باشد، ناحیه فشار تماسی و تراورس در زیر هریک از نشیمنگاه های ریل ها اتفاق می افتد. ولی پس از مدتی سرویس دهی، توزیع فشار تماسی بین تراورس و بالاست به سوی توزیع یکنواخت می رود [۱۵].

اندازه گیری های میدانی در این مرحله به سه صورت زیر انجام گردید:

- الف) آزمایش خط تحت انواع بارگذاری استاتیکی و دینامیکی قطار در خصوص اثرات زیرکوبی.
- ب) تست خط قبل از استفاده از پایدار ساز.
- پ) آزمایش خط پس از پایدارسازی خط.



(الف)

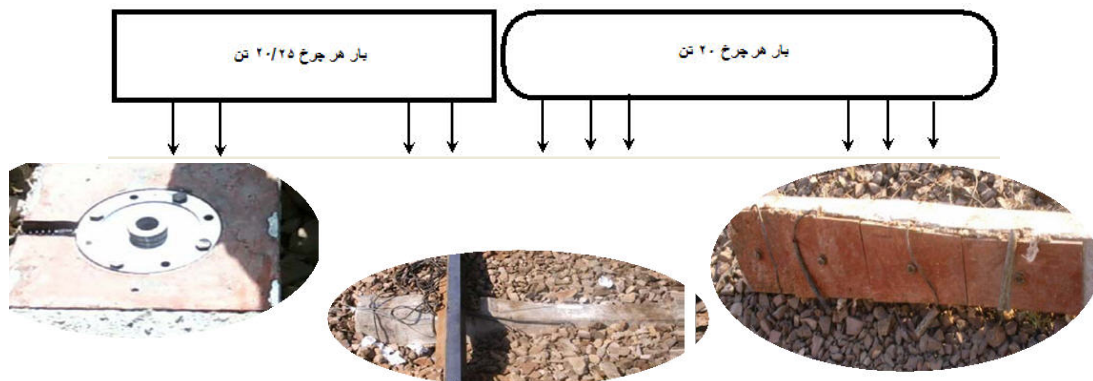


(ب)

شکل ۲- نشست قائم تراورس تحت عبور دیزل [۴، ۵]:

الف) سیکل آخر بارگذاری در دوره بهره برداری قبل از زیرکوبی و با سرعت عبوری ۳/۴ km/h، ب) سیکل اول بارگذاری بعد از زیرکوبی و پایدار سازی با سرعت عبوری ۶/۸۸ km/h

در مرحله دوم تست میدانی، به بررسی بیشینه بار زیر تراورس و یافتن درصدی از بار چرخ که به تراورس انتقال می یابد می پردازیم. برای این منظور از ۵ نیروسنج جاسازی شده در تراورس استفاده می گردد (شکل ۳) و میزان سهم تراورس از بار محوری چرخ عبوری و نیز تنش بیشینه در زیر تراورس در دو



شکل ۴- جزئیات تست میدانی با تراورس حاوی نیرو سنج: الف) مشخصات شماتیک قطار (دیزل شش محوره به همراه واگن مخزن دار)

جهت بارگذاری خط راه آهن، ب) جاگذاری تراورس بتنی [۳، ۴]

۲-۲- روش تحلیل عددی

در انجام یک تحلیل پارامتریک، هدف اصلی، تعیین چگونگی تغییرات یک پارامتر بر حسب سایر پارامترها می‌باشد، بنابر این در این راه تعدادی از آن‌ها را بایستی ثابت در نظر گرفته و مابقی متغیر باشند. با تغییر مقدار پارامترهای متغیر، می‌توان تأثیر آن‌ها را بر روی پارامترهای ثابت بررسی و تحلیل نمود. در این تحقیق، هدف تعیین تأثیر کمی و کیفی پارامترهای متغیری مانند نوع بستر، ضخامت لایه بالاست، بار محوری و سرعت عبوری بر روی پارامترهای ثابت است. بدین وسیله و بر اساس نتایج حاصل از آن می‌توان به اصول و چهارچوب مورد نظر جهت تحلیل حساسیت میزان تنش و تغییر مکان بیشینه سطح بالاست که هدف نهایی می‌باشد، دست پیدا کرد. در تحلیل عددی خط راه‌آهن، به کمک نرم‌افزار و با استفاده از روش آزمون و خطا

مدلی که بیشترین انطباق را با سیستم روسازی خط در مطالعه میدانی داشته باشد انتخاب گردید. در مدل از ریل UIC₆₀ (با مدول ارتجاعی $1.0^5 \times 10^5 \text{ MPa}$) و مشخصات مکانیکی مطابق جدول (۱) و تراورس بتنی B₇₀ (ابعاد $260 \times 24 \times 15 \text{ cm}$) با مقاومت فشاری 600 kg/cm^2 در فواصل $0/6$ متر از یکدیگر در سیستم خط استفاده شده است. همچنین ضخامت 10 سانتی‌متر برای لایه زیربلاست به صورت ثابت در نظر گرفته شده است. مشخصات مکانیکی اجزاء مختلف سیستم خط بالاستی راه‌آهن در تحلیل عددی مدل جدول (۲) فرض گردیده است [۱۷، ۱۸]. در تحلیل عددی پس از مدل‌سازی خط جهت کالیبره کردن مدل از نتایج تست میدانی مندرج در جدول (۳) استفاده گردید [۱۷-۱۹].

جدول ۱- مشخصات مکانیکی ریل UIC₆₀ با شکل هندسی پاشنه‌دار

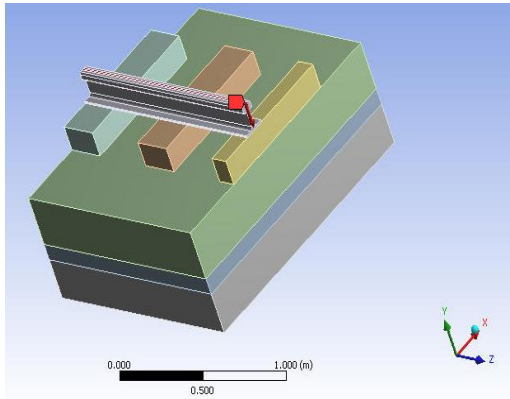
ضریب پواسون	وزن واحد (kg/m)	سطح مقطع (mm ²)	ارتفاع کل (mm)	عرض پاشنه (mm)	عرض کلاهک (mm)	ممان اینرسی حول محور افقی (cm ⁴)
۰/۳	۶۰/۳۴	۷۶۸۶	۱۷۲	۱۵۰	۷۲	۳۰۵۵

جدول ۲- مشخصات فنی اجزای مختلف خط در تحلیل عددی

نوع مصالح	مدول ارتجاعی (kg/cm ²)	چسبندگی (kg/cm ²)	زاویه اصطکاک	مدول ارتجاعی (kg/cm ²)	ضریب پواسون
لایه بالاست	۱۳۰۰	۰	۴۵	۱۳۰۰	۰/۲
لایه زیر بالاست شنی	۲۰۰۰	۰	۳۵	۲۰۰۰	۰/۳
بستر ضعیف (S _۱)	۱۲۵	۰/۱۵	۱۰	۱۲۵	۰/۴
بستر متوسط (S _۲)	۲۵۰	۰/۱	۲۰	۲۵۰	۰/۳
بستر خوب (S _۳)	۸۰۰	۰	۳۰	۸۰۰	۰/۳

جدول ۳- مقادیر پارامترهای سیستم خط با توجه به مطالعه میدانی در مدل‌سازی

پارامتر	واحد	مقدار	پارامتر	واحد	مقدار
ممان اینرسی تراورس	cm ⁴	۲۴۲۰۰	مدول ارتجاعی لایه بستر	kg/cm ²	۱۲۴۰
ممان اینرسی ریل	cm ⁴	۳۹۵۰	مدول ارتجاعی زیربلاست	kg/cm ²	۱۲۶۰
ضخامت لایه بالاست	cm	۳۸	مدول ارتجاعی بالاست	kg/cm ²	۲۴۹۰
ضخامت لایه زیربلاست	cm	۱۵/۲	مدول ارتجاعی تراورس	kg/cm ²	$2/07 \times 10^5$
بار چرخ	ton	۱۴/۲	مدول ارتجاعی ریل	kg/cm ²	$2/07 \times 10^6$
طول تراورس بتنی	cm	۲۵۹	ضریب پواسون بستر	-	۰/۴
عرض تراورس بتنی	mm	۲۲۹	ضریب پواسون بالاست	-	۰/۴
فاصله بین تراورس‌های بتنی	cm	۶۱	ضریب پواسون تراورس	-	۰/۳
مساحت سطح مقطع عرضی ریل	cm ²	۸۶/۵	ضریب پواسون ریل	-	۰/۲۵
ضریب پواسون لایه زیربلاست	-	۰/۳			



شکل ۶- مدل سیستم روسازی خط راه آهن

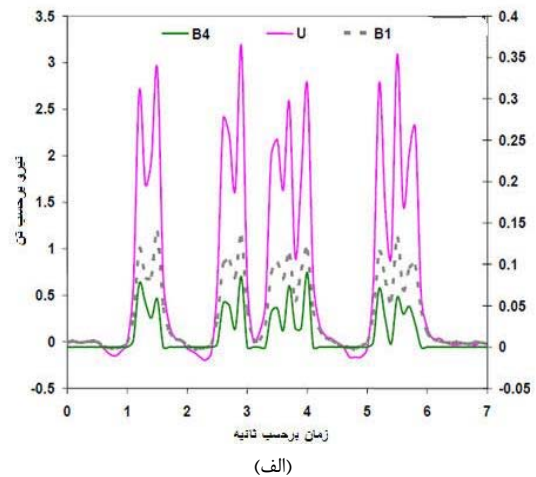
جدول (۴) نتایج کالیبره کردن مدل را نشان می‌دهد. اختلاف داده‌های خروجی مدل نرم‌افزاری با تست میدانی می‌تواند ناشی از شرایط محیطی باشد.

جدول ۴- مقایسه نتایج مطالعه میدانی و مدل سازی تئوری

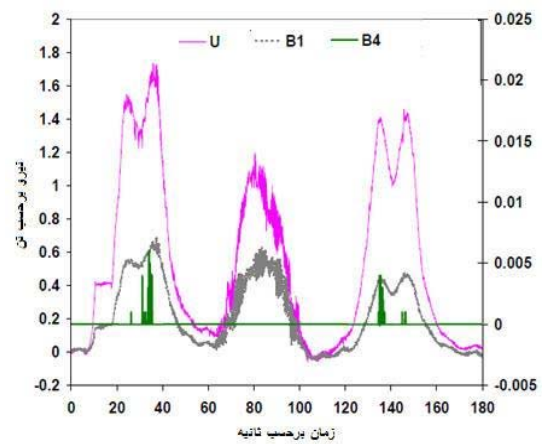
پارامتر	حالت میدانی	حالت تئوری	میزان تفاوت (%)
تغییر مکان سطح بستر (mm)	۰/۸۵	۰/۸۹	۴/۷
تنش سطح بستر (kPa)	۷۰	۷۱	۱/۴
کرنش سطح بالاست	۰/۰۰۱۵۵	۰/۰۰۱۴۴	۶

برای بارگذاری در تحلیل عددی، بار محوری خطوط مسافری ۱۶ و ۱۸ تن با سرعت حداکثر ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت و بار محوری خطوط باری ۲۰ و ۲۵ تن با سرعت حداکثر ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت طبقه‌بندی شده است.

ماهیت دینامیکی نیروهای وارد بر خطوط ریلی فرآیند تحلیل و طراحی سیستم خطوط راه آهن را دشوار می‌نماید. بدین جهت برای طراحی، نیروی وارد از چرخ وسایل نقلیه عبوری در مقدار ضریب دینامیکی ضرب شده و به صورت نیروی شبه استاتیکی استفاده می‌گردد. در این مقاله با در نظر گرفتن شرایط سیستم خط، ضریب دینامیکی برای هر کدام از خطوط ریلی به روش AREMA و با فرض قطر چرخ ۹۲۰ mm محاسبه شده است. در بارگذاری به روش تدریجی و با پیش بارگذاری ۱۷/۵ درصد تنظیم گردیده است. پارمترهای متغیر در تحلیل عددی شامل: ضخامت‌های مختلف لایه بالاست ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ سانتی‌متر، انواع کیفیت بستر S_1 ، S_2 و S_3 بار محوری و سرعت عبوری طبقه‌بندی شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۵- نمونه نیروهای ثبت شده در آزمایش مرحله دوم [۳]: الف) نیروی ثبت شده نیرو سنج‌ها بعد از زیرکوبی و قبل از عملیات پایدارسازی و با سرعت عبوری ۲۵ km/h، ب) نیروی ثبت شده نیرو سنج‌ها تحت عبور پایدارساز ۵۹ تنی شرکت پلاس و تئور با فرکانس ۱۵ هرتز

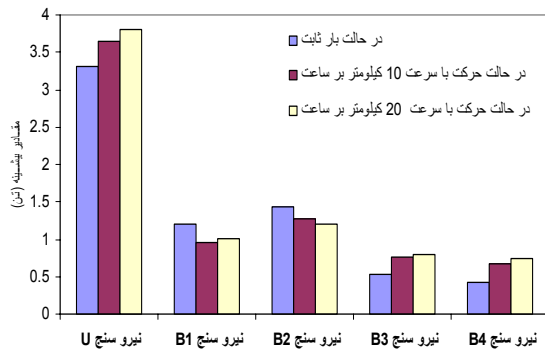
مدلی که نتایج تحلیل عددی آن با داده‌های تست میدانی بیشترین انطباق را دارد، در شکل (۶) نشان داده شده است. با توجه به مطالعه منابع مختلف در هر بارگذاری خط پنج تراورس با تقارن در امتداد ریل (تراورس زیر چرخ ۴۰٪ و اولین تراورس-های مجاور هر یک ۲۳٪ بار و دومین تراورس‌های مجاور هر یک ۷٪ بار) تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در مدل بهینه جهت رعایت شرایط مرزی از اصل تقارن در دو امتداد ریل و تراورس استفاده شده است و در دو جهت دیگر یکی در جهت شانه خط کاملاً آزاد و در امتداد ریل صفحه مدل فاقد هرگونه جابجایی در راستای عمود بر صفحه می‌باشد. در صفحه تحتانی مدل درجات آزادی معادل صفر فرض شده است.

۳- تحلیل مدول خط راه آهن

۳-۱- تحلیل نتایج تست میدانی

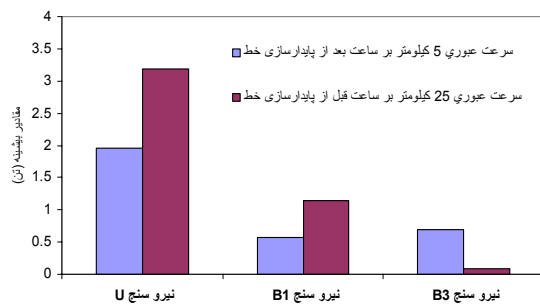
تحلیل نتایج حاصل از تست میدانی در شرایط بستر ماسه‌ای تحکیم یافته (کیفیت خوب) برای سیستم خط چهار راه آهن ایستگاه بهرام در شکل (۷) ارائه شده است.

تحلیل نتایج شکل (۷) نشان می‌دهد که تحت بار محوری ۲۰ تن، تغییر مکان قائم در اثر زوال تا حدود ۳ برابر افزایش پیدا کرده و غیر همگون می‌گردد. اما بعد از زیرکوبی و پایدارسازی خط، تغییر مکان قائم تحت بارگذاری ۲۰ تن به صورت تقریباً یکسان حدود ۰/۹۳ میلی‌متر است. بنابه تحقیقات صورت گرفته در خطوط راه آهن ایران با ایجاد زوال در خط، پارامترهای مکانیکی غیرهمگون و سختی خط کاهش می‌یابد و رفتار خط از رفتار تیر بر روی بستر الاستیک دور می‌شود. همچنین نشست می‌تواند ۳ تا ۶ برابر افزایش یابد که با انجام زیرکوبی و پایدارسازی، خط رفتار یکنواختی از خود نشان می‌دهد و سختی آن افزایش می‌یابد [۳، ۴]. مطالعه استانداردهای مختلف نشان می‌دهد که درصد بار قائم چرخ انتقال یافته به تراورس زیر ریل به عوامل متعددی وابسته است و نمودارهای پیشنهادی در این استانداردها متناسب با شرایط آن کشورها می‌باشد. در سری اول آزمایش‌های تعیین میزان سهم بار محوری تراورس تحت اثر عبور دیزل و یک واگن در حالت بیشینه حدود ۳۰ درصد بار چرخ از نشیمنگاه به تراورس انتقال می‌یابد. تست میدانی جهت تعیین محل و میزان بیشینه تنش زیر تراورس در سه حالت انجام گردید: در حالت اول زیرکوبی در چند مرحله صورت گرفت. نتایج تحت بارگذاری ماشین زیرکوب پلاس (۰۸) پس از حداقل ده مورد برداشت [۳] در شرایط یکسان در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۸- مقادیر بیشینه اندازه‌گیری شده در حالت زیرکوبی با ماشین زیرکوب پلاس (۰۸) تحت بار چرخ ۶/۰۶۲۵ تن

تحلیل تنش در طول تراورس با توجه به نتایج شکل (۸) نشان می‌دهد که در زیر نشیمنگاه ریل تنش بیشینه است و در وسط تراورس منیمم می‌باشد. در حالت دوم قبل از عبور پایدارساز و در حالت سوم بعد از عبور پایدارساز تحت عبور قطار، نیروسنج‌ها نتایج شکل (۹) را ارائه دادند.

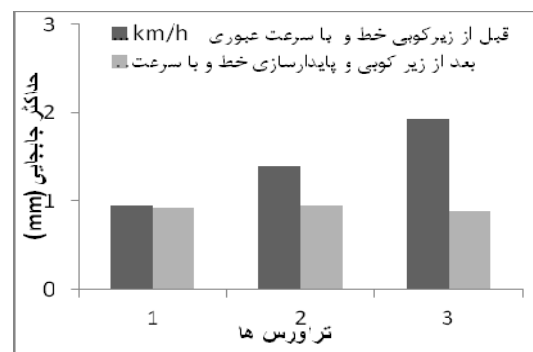


شکل ۹- مقادیر بیشینه اندازه‌گیری شده در حرکت قطار

مقایسه مرحله دو و سه حاکی از این مسئله است که بعد از عبور پایدارساز، توزیع نیروها زیر تراورس یکنواخت‌تر گردیده است. تحلیل نتایج آزمایشات مرحله دوم در سه حالت فوق نشان می‌دهد که در طول دوره بهره‌برداری با زیرکوبی و پایدارسازی مناسب، خط رفتار همگون و یکنواختی در انتقال نیرو خواهد داشت که باعث می‌شود از یک طرف هزینه‌های نگهداری کاهش پیدا کند و از طرف دیگر فاصله تناوبی دوره تعمیر و مرمت خط بیشتر می‌گردد و عمر اجزا سیستم خط افزایش پیدا می‌کند.

۳-۲- تحلیل نتایج روش اجزای محدود

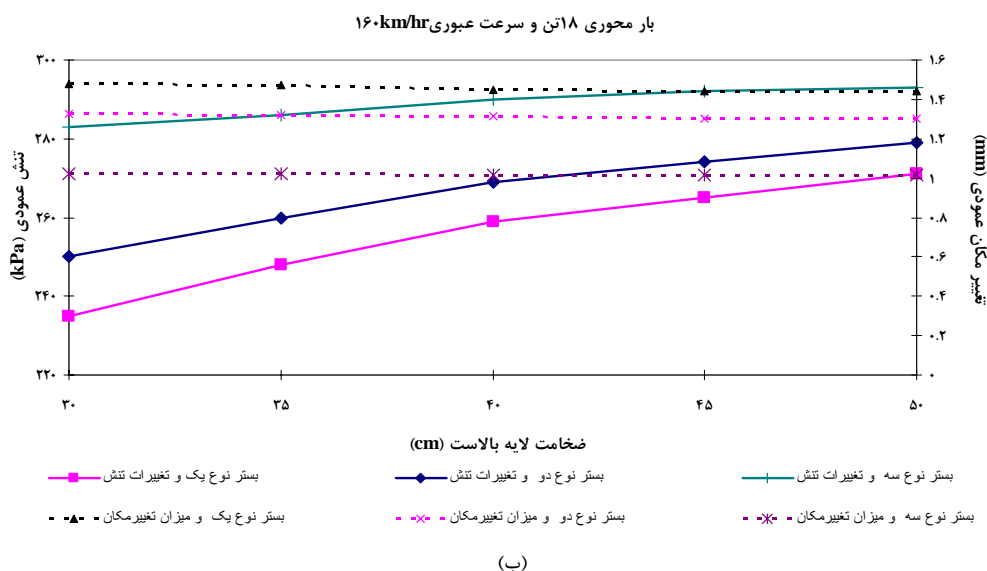
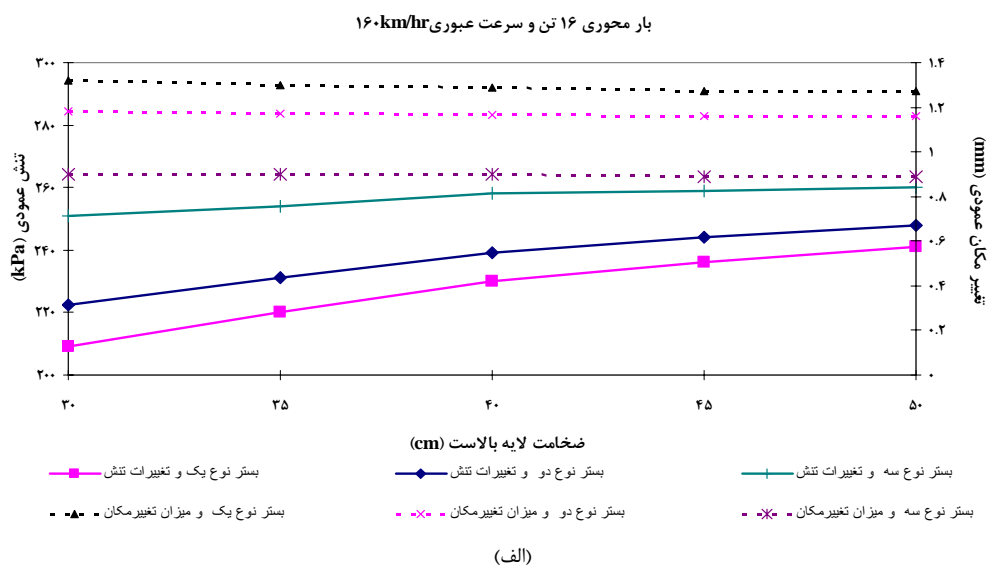
نتایج تحلیل عددی مدل سیستم خط جهت تعیین بیشینه میزان تنش و تغییر مکان روی سطح بالاست و زیر تراورس در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) ارائه گردیده‌اند.



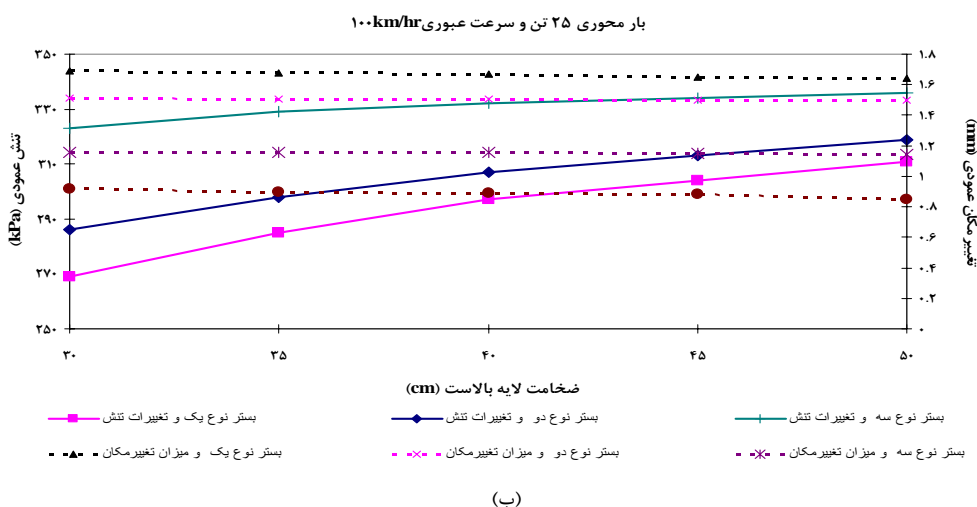
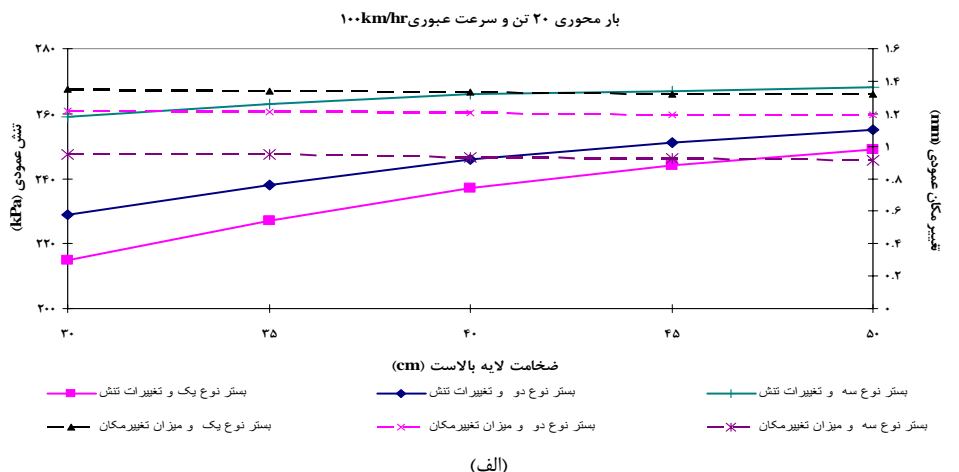
شکل ۷- تحلیل نتایج حداکثر جابجایی تست میدانی شکل

(۱) با افزایش بار محوری و سرعت عبوری، تغییر مکان قائم افزایش پیدا می‌کند.
 (۲) با افزایش ضخامت لایه بالاست، نشست کاهش یافته است.
 (۳) رابطه مستقیم بین بهبود کیفیت بستر و نشست در سیستم خط ریلی موجود است.

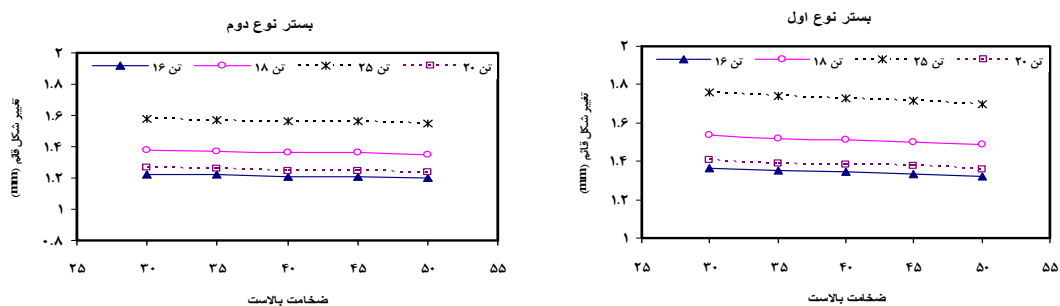
تحلیل نتایج تغییر مکان در راستای قائم با توجه به نوع کیفیت بستر و ضخامت لایه بالاست تحت یکبار بارگذاری در نمودار شکل (۱۲) ارائه شده است. با توجه به این اصل که نشست کل خط با میزان نشست ایجاد شده در سطح بالاست تقریباً یکسان است، بررسی شکل (۱۲) برای انواع پارامترهای مورد استفاده در این تحلیل نشان می‌دهد:



شکل ۱۰- نمودارهای تغییرات میزان بیشینه تنش و تغییر مکان لایه بالاست زیر تراورس (خط مسافری):
 (الف) خطوط ریلی با بار محوری حداکثر ۱۶ تن و سرعت عبوری ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت، (ب) خطوط ریلی با بار محوری حداکثر ۱۸ تن و سرعت عبوری ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت



شکل ۱۱- نمودارهای تغییرات میزان بیشینه تنش و تغییر مکان لایه بالاست زیر تراورس (خط باری): (الف) خطوط ریلی با بار محوری حداکثر ۲۰ تن و سرعت عبوری ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت، (ب) خطوط ریلی با بار محوری حداکثر ۲۵ تن و سرعت عبوری ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت



شکل ۱۲- نشست خط آهن بر حسب شرایط مختلف سیستم خط

جدول ۵- درصد تفاوت تنش روی سطح بالاست با افزایش بار محوری

بستر S ₃		بستر S ₂		بستر S ₁		پارامتر ضخامت لایه بالاست (cm)
خطوط مسافری		خطوط باری		خطوط مسافری		
۲۵	۱۲/۷۱	۲۵/۱	۱۲/۳۶	۲۵/۱۲	۱۲/۴۴	۳۰
۲۵	۱۲/۶۰	۲۵/۲۱	۱۲/۵۵	۲۵/۵۵	۱۲/۷۳	۳۵
۲۵	۱۲/۴۰	۲۵/۱۶	۱۲/۵۵	۲۵/۳۲	۱۲/۶۱	۴۰
۲۵/۰۹	۱۲/۷۴	۲۵/۴	۱۲/۳۰	۲۵	۱۲/۲۹	۴۵
۲۵/۳۷	۱۲/۶۹	۲۵/۱۰	۱۲/۵۰	۲۵	۱۲/۴۵	۵۰

با توجه به جدول (۷) میانگین درصد افزایش تنش سطح بالاست با تبدیل بسترهای مختلف در انواع خطوط یکسان است. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که میزان درصد کاهش تغییر مکان‌ها با عوض شدن بستر در خطوط ریلی با بار محوری مختلف تقریباً برابر است و اختلاف با توجه به درصد خطای تحلیل قابل چشم‌پوشی است. درصدهای کاهش در جدول (۸) ارائه گردیده‌اند.

با افزایش ضخامت لایه بالاست، تنش‌های ناشی از بار محوری عبوری بر سطح بالاست افزایش می‌یابد و مقدار آن در سطح بستر کمتر خواهد شد. در جدول (۹) به بررسی میانگین میزان افزایش تنش‌ها در سطح تماسی لایه بالاست و تراورس در اثر افزایش ۵ سانتی‌متری عمق لایه بالاست پرداخته شده است. به این صورت که اگر ۵ سانتی‌متر ضخامت اولیه بالاست افزایش یابد (ضخامت ثانویه لایه بالاست) تنش‌های سطح بالاست میانگین چند درصد افزایش پیدا می‌کند.

بررسی تفاوت تنش روی بالاست با افزایش ضخامت لایه بالاست نشان می‌دهد که نوع خط تأثیری روی تغییر درصد افزایش ندارد. ولی با افزایش کیفیت بستر درصد تنش افزایش یافته کمتر می‌گردد.

با افزایش بار محوری از ۱۶ تن به ۱۸ تن در خطوط مسافری و ۲۰ تن به ۲۵ تن در خطوط باری، درصد افزایش تنش حداکثری عمودی بر سطح بالاست در جدول (۵) با هم مقایسه شده‌اند.

تحلیل نتایج در جدول (۵) نشان می‌دهد که با افزایش بار محوری، درصد افزایش تنش روی سطح بالاست برای سه نوع بستر تقریباً یکسان است. به طور کلی میزان افزایش تنش‌ها در سطح بالاست، بدون در نظر گرفتن نوع بستر به طور میانگین برای خط مسافری ۱۲/۵ و خط باری ۲۵/۱ درصد می‌باشد.

در جدول (۶) درصد افزایش تغییر مکان قائم بیشینه بر سطح بالاست با افزایش بار محوری از ۱۶ تن به ۱۸ تن در خطوط مسافری و ۲۰ تن به ۲۵ تن در خطوط باری ارائه شده است.

با افزایش بار محوری، درصد افزایش تغییر مکان روی سطح بالاست برای چهار نوع بستر دارای اختلاف جزئی است. به طور کلی میزان افزایش تغییر مکان در سطح بالاست بدون در نظر گرفتن نوع بستر به طور میانگین برای خط مسافری ۱۲/۹۳ و خط باری ۲۴/۷۴ درصد می‌باشد.

افزایش تنش حداکثری عمودی بر سطح بالاست با تبدیل بستر به بستر با سختی بیشتر در دو حالت با بار محوری خط باری و مسافری مقایسه گردید میزان درصد افزایش تنش با عوض شدن بستر در خطوط ریلی با بار محوری مختلف در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۶- درصد تفاوت تغییر مکان روی بالاست با افزایش بار محوری

بستر S ₃		بستر S ₂		بستر S ₁		ضخامت لایه بالاست (cm)
خطوط مسافری		خطوط باری		خطوط مسافری		
۲۳	۱۳/۳۳	۲۴/۷۱	۱۲/۱۹	۲۵/۱۹	۱۲/۱۲	۳۰
۲۳	۱۳/۳۳	۲۴/۴۰	۱۲/۹۲	۲۵/۳۷	۱۳/۰۸	۳۵
۲۴/۷۳	۱۳/۲۲	۲۴/۸۸	۱۲/۶۲	۲۵/۵	۱۲/۴۰	۴۰
۲۴/۷۳	۱۴/۰۴	۲۶	۱۱/۹۷	۲۵/۰۰	۱۳/۳۹	۴۵
۲۵/۲۷	۱۴/۰۴	۲۶	۱۱/۸۸	۲۴/۲۴	۱۳/۳۹	۵۰

جدول ۷- میانگین درصد افزایش تنش روی بالاست با تبدیل بسترهای مختلف

خطوط باری		خطوط مسافری		نوع تغییر بستر
بار محوری ۲۵ تن	بار محوری ۲۰ تن	بار محوری ۱۸ تن	بار محوری ۱۶ تن	
۴	۴	۴	۴	S ₂ به S ₁
۹	۹	۹	۹	S ₃ به S ₁
۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	S ₃ به S ₂

جدول ۸- میانگین درصد کاهش تغییر مکان روی بالاست با تبدیل بسترهای مختلف

خطوط مسافری		خطوط باری		نوع تغییر بستر
بار محوری ۱۶ تن	بار محوری ۱۸ تن	بار محوری ۲۰ تن	بار محوری ۲۵ تن	
۹/۴۸	۹/۹۳	۹/۷۱	۹/۶۰	S ₁ به S ₂
۳۰/۵۳	۳۰/۰۹	۳۰/۰۹	۳۰/۷۳	S ₃ به S ₁
۲۳/۲۶	۲۲/۳۸	۲۲/۵۷	۲۳/۳۷	S ₃ به S ₂

جدول ۹- میانگین درصد افزایش تنش روی سطح بالاست با افزایش ۵ سانتی متری ضخامت لایه بالاست

نوع خط	درصد کاهش تنش		
	بستر نوع سه	بستر نوع دو	بستر نوع یک
برای انواع خطوط باری و مسافری	۱	۳	۴

۴- نتیجه گیری

زیرسازی اقتصادی و فنی خطوط ریلی در جهت تأمین کیفیت استاندارد خط برای رسیدن به حرکت ایمن و راحت در خطوط ریلی از یک سو و سیاست‌های جدید شبکه‌های راه‌آهن برای سرعت‌های بالاتر و بارهای محوری بیشتر از سوی دیگر، افزایش نشست و تنش‌ها را در لایه‌های سیستم حائل ریل به دنبال دارد. در این مقاله سعی شده است تا شرایط ایجاد شده در ساخت و بهره‌برداری سیستم خط که باعث تغییر در تعیین مقادیر نشست قائم و تنش تماسی بیشینه زیر تراورس می‌گردد لحاظ گردد و تأثیر این تغییرات در دو حالت تست میدانی و تحلیل نرم‌افزاری مطالعه گردد. در شرایط تست میدانی، تحلیل نتایج نشان می‌دهد که تحت بار محوری ۲۰ تن در قبل از زیرکوبی نسبت به بعد از زیرکوبی و پایدارسازی خط، نشست قائم بیشینه تراورس ۵۴ درصد کاهش می‌یابد و درصد بار قائم چرخ انتقال یافته از نشیمنگاه ریل به تراورس تحت اثر عبور دیزل و یک واگن در حالت بیشینه حدود ۳۰ درصد بار چرخ است. تست میدانی با جاگذاری یک تراورس حاوی نیروسنج در خط جهت تعیین محل و میزان بیشینه تنش زیر تراورس نشان داد اگر مقدار بالاست زیر تراورس کافی نباشد و یا به خوبی زیرکوبی نشده باشد، تراورس باربری مناسب را نخواهد داشت و به تراورس‌های اطراف بارهای بیشتری منتقل خواهد گردید و یک نوع ناهمگونی در خط پیش می‌آید و ضرایب دینامیکی افزایش قابل توجهی پیدا می‌کنند. این در حالی است که اگر در خط زیرکوبی با درجه ارتعاش و عمق مناسب صورت گیرد و از ماشین پایدارساز خط استفاده گردد، انتقال نیرو به تراورس‌ها در طول خط یکنواخت‌تر می‌شود و آسیب در آینده کمتر می‌گردد. در روش تحلیل عددی به کمک نرم‌افزار، مدل سیستم راه‌آهن پیشنهادی در این مقاله، بر اساس تست میدانی کالیبره شده

است و تحت بارگذاری برای شرایط طبقه‌بندی شده مختلف خط، تغییر شکل قائم و تنش بیشینه در سطح بالاست به دست آمده است که در ادامه تحلیل مشخص گردید که پارامترهای مختلف چه میزان بر دو پارامتر فوق مؤثرند. به طور کلی مشاهده گردید: (۱) با افزایش سرعت عبوری و بار محوری وسایل نقلیه ریلی، نشست خط راه‌آهن در راستای قائم افزایش می‌یابد.

(۲) با افزایش ضخامت لایه بالاست، تغییر شکل قائم سطح بالاست کاهش پیدا می‌کند.

(۳) افزایش کیفیت بستر تأثیر مستقیم بر کاهش نشست خط راه‌آهن دارد.

(۴) اثر افزایش بار محوری و سرعت عبوری بر درصد تغییر نشست، در انواع بسترها و ضخامت‌های مختلف لایه بالاست یکسان است.

با توجه به تحلیل افزایش بار محوری از ۱۶ به ۱۸ تن در خطوط مسافربری و ۲۰ به ۲۵ تن در خطوط باری می‌توان دریافت:

(۱) درصد افزایش تنش روی سطح بالاست برای سه نوع بستر تقریباً یکسان است و میزان متوسط افزایش تنش‌ها در سطح بالاست برای خط مسافری ۱۲/۵ و خط باری ۲۵/۱ درصد می‌باشد.

(۲) درصد افزایش تغییر مکان روی سطح بالاست برای چهار نوع بستر به طور میانگین برای خط مسافری ۱۲/۹۳ و خط باری ۲۴/۷۴ درصد می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهند که درصد تغییر تنش تماسی و نشست قائم بیشینه در سطح بالاست با تبدیل بسترهای مختلف به بستر با کیفیت بالاتر در انواع خطوط یکسان است. با افزایش ضخامت لایه بالاست، تنش‌های ناشی از بار محوری عبوری بر سطح بالاست افزایش می‌یابد؛ اما میزان تنش در سطح بستر کمتر

- Maintenance of Way Association, "Manual for Railway Engineering", US, 2006.
- [12] Australian Standard, "Railway Track Materials, Part 14: Prestressed Concrete Sleepers", AS 1085.14, 2002.
- [13] Kaewunruen, S., Remennikov, A. M., "Investigations of Static and Dynamic Performance of Railway Prestressed Concrete Sleepers", University of Wollongong Press, 2007.
- [14] Kaewunruen, S., Remennikov, A. M., "Nonlinear Finite Element Modeling of Railway Pre-stressed Concrete Sleeper", University of Wollongong Press, 2006.
- [15] Gustavson, R., "Static and Dynamic Finite Element Analyses of Concrete Sleepers", MSc Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden, 2002.
- [۱۶] ذاکری، ج.ع، "بررسی نیروهای وارده بر تراورس‌های بتنی"، پروژه تحقیقاتی با شماره ثبت ۱۳۸۵/۱۶۱، معاونت پژوهشی دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ۱۳۸۴.
- [17] Selig, E. T., Waters, J. M., "Track Geotechnology and Substructure Management", Thomas Telford Publishing Corporation, Massachusetts, US, 1994.
- [۱۸] مقدس‌نژاد، ف، "تعیین ضخامت بالاست برای خطوط ریلی ایران"، گزارش تحقیقاتی، مرکز تحقیقات راه‌آهن، تهران، ۱۳۸۳.
- [19] Profillidis, V., "Railway Engineering", Cambridge University Press, UK, 1995.
- [20] Esveld, C., "Modern Railway Track", 2nd Edition, the Netherlands, MRT Publication, 2001.
- [21] American Railway Engineering and Maintenance of Way Association, "Manual for Railway Track Engineering, Chapter 1, Part 2, Roadway and Ballast- Ballast", US, 2006.
- [22] Kaewunruen, S., Remennikov, A. M., "Field Trials for Dynamic Characteristics of Railway Track and its Components using Impact Excitation Technique", NDT & E International, 2007, 40, 510-519.
- [23] Selig, E. T., Li, D., "Track Modulus: its Meaning and Factors Influencing it", Transportation Research Record 1470, US, 1994, pp 47-54.
- [24] International Union of Railways, "UIC CODE, 719 R, Earthworks and Trackbed Construction for Railway Lines", 2nd Edition, 1994.
- خواهد شد. میانگین میزان کاهش تنش‌ها در سطح بستر در اثر افزایش ۵ سانتی‌متری ضخامت لایه بالاست در بستر نوع یک برابر چهار درصد، بستر نوع دو برابر سه درصد، بستر نوع سه برابر یک درصد است. پس با افزایش کیفیت بستر، نقش ضخامت لایه بالاست در تغییر میزان تنش تماسی کاهش می‌یابد.
- ### ۵- مراجع
- [1] Doyle, N., "Railway Track Design a Review of Current Practice", Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia, 1980.
- [۲] خورده‌بینان، م، "تحلیل حساسیت لایه‌های دانه‌های سیستم حائل ریل در خطوط راه‌آهن ایران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران، ۱۳۸۸.
- [۳] ذاکری، ج.ع، درودی، یاشار، محمدزاده، س، "بررسی میدانی توزیع تنش در سطح زیرین تراورس B70"، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تبریز، ۱۳۸۶، ۳۳ (۲)، ۴۴-۳۶.
- [۴] محمدزاده، س، عطایی، ش، "وضعیت‌سنجی میدانی خط راه‌آهن با آزمایش"، اولین کنفرانس بین‌المللی بازرسی فنی و آزمون غیر مخرب، تهران، آبان، ۱۳۸۶.
- [۵] محمدزاده، س، عطایی، ش، "آزمایش میدانی خطوط ۴ و ۵ خط راه‌آهن ایستگاه"، گزارش تحقیقاتی، مرکز تحقیقات راه‌آهن، تهران، ایران، ۱۳۸۴.
- [۶] محمدزاده، س، عطایی، ش، جدیدی، ح، قمری‌نژاد، "بررسی زوال در خطوط راه‌آهن"، گزارش تحقیقاتی، مرکز تحقیقات راه‌آهن، تهران، ۱۳۸۵.
- [7] Kerr, A., "Fundamentals of Railway Track Engineering", Simmons-oardman Publishing Corporation, US, 2004.
- [8] Zakeri J. A., Sadeghi J., "Field Investigation of Load Distribution on Railway Track Sleepers", Journal of Mechanical Science and Technology, 2007, 21 (12), 1948-1956.
- [9] Zakeri, J. A., Xia, H., "Sensitivity Analysis of Track Parameters on Train-Track Dynamic Interaction", Journal of Mechanical Science and Technology, 2008, 22 (7), 1299-1304.
- [10] Zimmerman, H., "Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues (The Analysis of the Railroad Tracks)", in German, Verlag W., Ernst and Sohn, Barlin (Republished in 1930 as 2nd edition and in 1941 as 3rd edition), 1887.
- [11] American Railway Engineering and

[25] Zarembski, A. M., Palese, J., "Transitions Eliminate Impact at Crossings", Railway Track and Structures, 2003.

[۲۶] ذاکری، ج.، خورده‌بینان، م.، پلاسی، م.، محمدزاده، س.،
"تخمین مدول بستر ریل بر اساس مشخصات اجزای
روسازی بالاستی"، فصل‌نامه مهندسی حمل و نقل،
۱۳۸۸، ۱ (۲)، ۵۱-۶۰.

[27] Boresi, A. P., Schmidt, R. J., "Advanced Mechanics of Materials", 6th Edition, John Wiley & Sons, New York, 2003.

EXTENDED ABSTRACT

Sensitivity Analysis of Stress and Maximum Ballast Vertical Displacement Based on Iran Railway Ballasted Track System Characteristics

Saeed Mohammadzade^a, Jabbar Ali Zakeri^{a,*}, Mohammad Worya Khordehbinan^b

^a*School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran*

^b*Department of Civil Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran*

Received: 30 April 2014; **Accepted:** 24 November 2014

Keywords:

Concrete sleeper, Tamping, Stabilization, Ballast, Railway mechanics

1. Introduction

Sleeper and rail interaction and direct contact of sleeper and ballast layer create the contact stress in lower part of the sleeper and ballast. Stress distribution under the sleeper depends on many different factors and it goes under several changes during the operation of railway [1&2]. Several hypotheses about the load distribution under the sleeper have been provided by different researches in Iran [3, 4] and outside Iran [1, 5, 6]. Theories and studies have been provided in this field by Zimmerman (1887), Germany's regulation, American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association (AREMA) regulation in 2006, Australian standard railway, and Kaewunruen and Remennikov [7]. Studies show that in common theories and standards of railways, the role of Ballast layer thickness and the type of bed for determining the maximum stress of ballast, based on the common conditions of railway system have been disregarded. The main aim of this paper is providing a track down estimation method and analyzing the stress sensitivity and displacement of maximum ballast layer which includes all effective factors; for reaching this aim, firstly, by the use of field test in Tehran-Mashhad railway and analyzing its results, the stress and displacement of maximum ballast layer is determined and then by the use of a software and finite element method, as an efficient method in mechanical analysis of individual elements of railway system, the optimal track model is designed and it is calibrated by the use of field test result; at the next stage, the model is analysed under different thicknesses of ballast layer, bed types, passing velocity, and axial load. Then the results are surveyed for determining the maximum downing and stress in the ballast layer. AT the end, for better understanding of the achieved results, sensitivity of downing parameters and maximum vertical stress of ballast layer as a function of increased passing velocity, axial load and increased ballast layer thickness is provided by curves and tables.

2. Railway Pavement Analysis

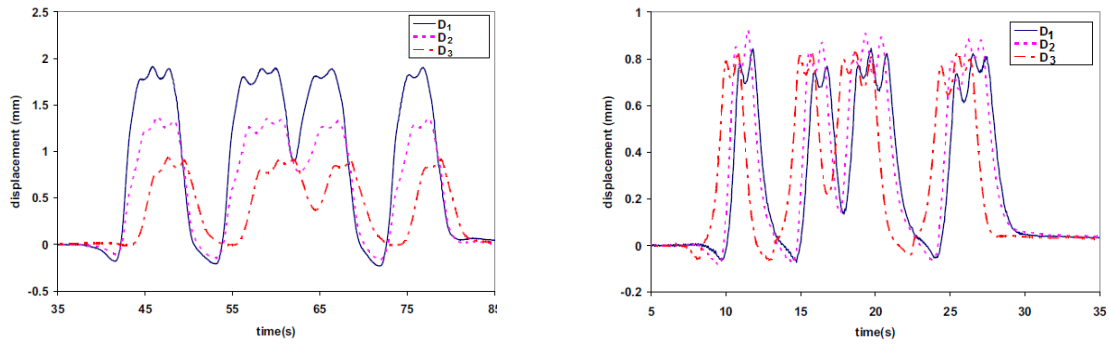
2.1. Field Test Method

The field test was conducted in line 4 of Bahram railway station in Tehran-Mashhad railway line that has a bed of sandy soils with high quality. At the first stage the track system was loaded up with axial load of 20 tons and before-tamping passing velocity of 3.4km/h and after-tamping and track stabilizing with passing velocity of 6.88km/h; at the second stage, the maximum percent of sleeper's freight share was surveyed in three conditions of tamping and ballast density, before stabilizing, and after stabilizing the track system. Sensor assessment shows a displacement of vertical position of three sleepers under different loading conditions of the track in figure (1).

At the second stage of field test the maximum load under sleeper and the percent of wheel load which is transferred to sleeper is surveyed. To this aim, 5 dynamometers embedded in sleeper are used; then the sleeper's share of axial load of passing wheel and also maximum stress under the sleeper at two stages of after tamping and after stabilizing under the influence of 6-axis diesel and 4-axis wagon passing are analysed. Field measurements at this stage are conducted through three following methods: A) track test under different static and dynamic train loading about the effects of tamping. B) Track test before using the stabilizer. C) Track test after stabilizing the track.

* Corresponding Author

E-mail addresses: zakeri@iust.ac.ir (Jabbar Ali Zakeri), mohammadz@iust.ac.ir (Saeed Mohammadzade), mkhordebinan@ut.ac.ir (Mohammad Worya Khordehbinan).



a. Last loading cycle during operation before tamping, with passing velocity of 3.4km/h b. First loading cycle after tamping and stabilizing, with passing velocity of 6.88km/h

Fig.1. Sleeper vertical downing under diesel passing

3. Analysis of Railways Model

3.1. Analysis of Field Test Results

Analysis of results achieved from field test in consolidated sand bed (good quality) for four track system of Bahram railway station shows that under axial load of 20 tons, the vertical displacement caused by declining had a threefold increase and it became non-homogenous; but after tamping and track stabilizing, the vertical displacement under almost identical loading of 20 tons, was around 0.93mm. Based on the conducted researches, in Iranian railways, by track declining, the mechanical non-homogeneous parameters and track difficulty decrease and the track behavior goes away from the beam behavior on elastic bed. Also downing could increase 3 or 6 times and by performing tamping and stabilizing the track shows a monotonic behavior and its difficulty increases. Surveying different standards show that the percent of vertical load of the wheel transferred to sleeper beneath the rail depends on different factors and proposed diagrams for these standards are appropriate for the conditions of those countries. In the first series of tests for determining the axial load share of sleeper under the influence of passing diesel and wagon at the maximum mode, around 30% of wheel load is transferred from rail cant to sleeper.

Stress analysis along the sleeper shows that beneath the rail cant there is maximum stress and in the middle of sleeper there is minimum stress. Comparing stage 2 and 3 shows that after passing of stabilizer, the distribution of forces beneath sleeper is more uniform. Analysis of stage 2 test results in three above mentioned modes shows that during the operation, by appropriate tamping and stabilizing, the track will have a monotonic and homogenous behavior in transferring the force which results in reducing the maintenance costs and also increasing the periodic intervals of repairing the tracks and also increasing the life of track system components.

3.2. Analysis of Results of Finite Element Method

By increasing the axle load from 16 tons to 18 tons in passenger tracks and 20 tons to 25 tons in freight tracks, percent of increased maximum vertical stress on ballast layer is compared in table 1.

Surveying the stress difference on ballast by increasing the ballast layer thickness shows that type of track does not have an effect on change of increased percent; but by increasing the quality of bed the increased stress percent decreases.

Table 1. Stress difference percent on ballast layer by increasing axle load.

Parameter	Bed S ₁		Bed S ₂		Bed S ₃	
	Lines		Lines		Lines	
Ballast layer thickness (cm)	Passenger	Freight	Passenger	Freight	Passenger	Freight
30	12.44	25.12	12.36	25.1	12.71	25
35	12.73	25.55	12.55	25.21	12.60	25
40	12.61	25.32	12.55	25.16	12.40	25
45	12.29	25	12.30	25.4	12.74	25.09
50	12.45	25	12.50	25.10	12.69	25.37

Surveying the stress difference on ballast by increasing the ballast layer thickness shows that type of track does not have an effect on change of increased percent; but by increasing the quality of bed the increased stress percent decreases.

4. Conclusions

In this paper, it has been tried to consider the conditions created in construction and operation of track system which result in change in determining the amount of vertical downing and maximum contact stress beneath the sleeper and to study the effect of these changes at two modes of field test and software theoretical analysis. In field test condition, the analysis results showed that under axial load of 20 tons, before tamping compared to after tamping and track stabilizing, the maximum vertical downing of sleeper had a 54% decrease; and percent of vertical load of wheel transferred from rail cant to sleeper, under the influence of passing diesel and wagon at the maximum mode is around 30% of the wheel load. Field test by embedding a sleeper including dynamometer in track for determining the location and amount of maximum stress beneath the sleeper showed that if the ballast layer beneath the sleeper is not enough or not well tamped, the sleeper will not have the appropriate freightage and will transfer more loads to surrounding sleepers and a kind of heterogeneity will happen in the track and the dynamic coefficients will have a considerable increase; whereas, if the tamping in the track is good with appropriate degree of vibration and depth, and if the track stabilizer machine is used, the force transfer along the track will be uniform and there will be less damage in the future. In numerical analysis by the help of software, the proposed railway system model in this article was calibrated based on field study and under loading for different classified track conditions, vertical displacement and maximum stress on ballast layer were achieved; then it was determined that how effective different parameters were on two above mentioned parameters. Generally it was observed that: 1) by increasing the passing velocity and axial load of railway vehicles, the vertical downing of railway track increases. 2) By increasing the ballast layer thickness, vertical displacement of ballast layer decrease. 3) Increased bed quality has a direct effect on decreased railway track downing. 4) The effect of increased axial load and passing velocity on percent of change of downing is the same for all beds and different thicknesses of ballast layer.

According to the increased axial load analysis from 16 to 18 tons in passenger tracks and 20 to 25 tons in freight tracks, it could be found out that 1) percent of increased stress on ballast layer for three beds is almost the same and the average amount of increased stresses on ballast layer for passenger track is 12.5 and for freight track is 25.1 percent. 2) percent of increased displacement on ballast layer for four types of bed for passenger track was averagely 12.93 and for freight track was averagely 24.74 percent.

Results show that percent of contact stress change and maximum vertical downing on ballast layer by changing the beds to beds with higher quality in different tracks is the same. By increasing the ballast layer thickness, stresses caused by passing axial load on ballast layer increase but the stress amount on bed decreases. Mean of decreased stresses on bed caused by 5cm increase of ballast layer thickness in bed type 1 is 4%, in bed type 2 is 3% and in bed type 3 is 1%. Thus by increasing the bed quality, the role of ballast layer thickness in change of contact stress decreases.

5. References

- [1] Doyle, N., "Railway Track Design a Review of Current Practice", Canberra, Australia, 1980.
- [2] Khordebinan, M., "Sensitivity Analysis of Granular Layers of Rail Support System in Iranian Railways", MSc Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran, 2009.
- [3] Zakeri, J., Doroudi, Y., Mohammadzadeh, S., "Field Study of Stress Distribution in Lower Level of Sleeper B₇₀", Journal of Technical Faculty of University of Tabriz, 2007, 33 (2), 36-44.
- [4] Mohammadzadeh, S., Ataei, S. H., "Field Survey of Railways with Testing", 1st International Conference of Technical Inspection and Non-destructive Testing, Tehran, Iran, November, 2007.
- [5] Kerr, A., "Fundamentals of Railway Track Engineering", 2004.
- [6] Zimmerman, H., "Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues (The Analysis of the Railroad Tracks)", in German, Verlag W., Ernst and Sohn, Barlin (Republished in 1930 as 2nd edition and in 1941 as 3rd edition), 1887.
- [7] Kaewunruen, S., Remennikov, A. M., "Nonlinear Finite Element Modeling of Railway Pre-stressed Concrete Sleeper", University of Wollongong, 2006.