

بررسی توزیع تنش در مقاطع حساس تراورس B70 تحت اثر بار واقعی قطار

جبارعلی ذاکری^{۱*}، سعید محمدزاده^۱، یاشار درودی^۲

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

^۲ کارشناس ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

در این مقاله بررسی تحلیلی تنش در تراورس با استفاده از نتایج آزمایش‌هایی که در خط آهن واقعی صورت گرفته است، انجام گردید. در این آزمایش‌ها تراورس بتنی B70 حاوی نیروسنج‌های جاسازی شده در آن نصب گردید. سپس بعد از زیرکوبی با عبور قطاری با بار محوری مشخص، نیروهای وارده بر تراورس به عنوان خروجی اندازه‌گیری‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج تحلیل‌ها نشان دادند که طراحی تراورس بتنی B70 برای حالت‌های متفاوت زیرکوبی شده و زیرکوبی نشده مناسب بوده و تنش‌های ایجاد شده در محدوده مجاز می‌باشد. همچنین تحلیل‌ها نشان دادند که عدم استفاده از ماشین پایدارساز دینامیکی خط برای تثبیت تراورس تعویض شده با کاهش سهم باربری تراورس مورد آزمایش باعث اعمال نیروهای بیشتر از چرخ به تراورس‌های اطراف می‌شود و همین مساله باعث تشدید نیروهای دینامیکی ریل-تراورس و در نتیجه زوال زودرس تراورس‌ها می‌گردد. به همین دلیل در تعویض تراورس‌های معیوب مناسب است طول مناسبی از خط زیرکوبی شده و سپس ماشین پایدارساز دینامیکی خط فعالیت نماید. **واژگان کلیدی:** مکانیک خط آهن، تراورس بتنی، نیروسنج، زیرکوبی خط آهن، پایدارساز دینامیکی خط.

۱- مقدمه

شناخت درست و صحیح فشار تماسی بین تراورس و بالاست نقش مهمی را ایفا نماید. مطالعات قبلی مولفین با در نظر گرفتن وضعیت زیرکوبی خط آهن و استفاده یا عدم استفاده از پایدارساز دینامیکی خط منجر به کم کردن تغییرات فشارهای تماسی در زیر تراورس گردید [۳].

در این مقاله در راستای همین آزمایش‌ها سعی شده است که با توجه به مشخصات مکانیکی تراورس بتنی B70، که متداولترین نوع تراورس در ایران می‌باشد، تنش‌های ایجاد شده در مقاطع حساس آنها، با اطلاعات به دست آمده از آزمایش‌ها (نیروها و تغییر شکل‌ها)، محاسبه شده [۴] و با تنش‌های مجاز موجود در آیین‌نامه بتن آبا مقایسه گردد.

مطالعه مشابهی در راه آهن استرالیا نیز با در نظر گرفتن مشخصات مکانیکی تراورس‌های بتنی مطابق استاندارد استرالیا توسط Remennikov, Kaewunruen [۵،۶] صورت گرفته و نشان داده شده است که تراورس‌های بتنی تولید شده با استاندارد استرالیا، از نظر مقاومت خمشی و تنش‌های ایجاد شده، کفایت لازم را داشته و در شرایط زیرکوبی شده و زیرکوبی نشده، پایدارسازی شده و پایدارسازی نشده، مناسب می‌باشند. تفاوت عمده بین این تحقیق و مطالعات آنها در این است که آنها با فرض خطی بودن تغییرات فشار تماسی در زیر تراورس به چنین نتایجی رسیده‌اند. این در حالیست که فشارهای تماسی در این

تراورس پس از ریل مهمترین المان روسازی راه آهن می‌باشد که نقش آن حفظ هندسه خط، مقاومت در برابر بارهای قائم و جانبی و انتقال آنها به لایه بالاست می‌باشد. اتصال تراورس به لایه بالاست به صورت تماسی بوده و نقش مهمی را در زوال خط آهن بازی می‌کند. به همین دلیل نحوه آنالیز، طرح و ساخت تراورس‌ها و همچنین بکارگیری آنها در روسازی خط آهن در تحقیقات مهندسی راه آهن بسیار حائز اهمیت است.

مطالعات نظری و میدانی متعددی در خصوص بررسی توزیع نیروها در بین تراورس‌ها، توزیع نیروها در زیر تراورس و توزیع تنش در مقاطع حساس تراورس و با در نظر گرفتن سختی بستر (لایه بالاست) صورت گرفته است. مطالعات Kerr توزیع نیروی یک چرخ بین حداقل ۳ تا ۷ تراورس را نشان داد [۱]. ایشان با در نظر گرفتن تئوری وینکلر و فرض بستر ارتجاعی ممتد به چنین نتایجی دست یافت.

در خصوص توزیع بار در زیر تراورس نیز فرضیات متعددی تا به حال ارائه شده است [۲]. در شرایط واقعی در روسازی راه آهن، پیش‌بینی توزیع صحیح فشار تماسی برای یک تراورس بسیار مشکل می‌باشد چرا که ارتباط مستقیمی با وضعیت تراکم بالاست و همگن بودن آن در عرض خط، آلودگی لایه بالاست و یکنواخت بودن عمل زیرکوبی آن داشته و این عوامل نیز با گذر زمان تغییر می‌کند لذا انجام آزمایش‌های میدانی می‌تواند در

اندازه‌گیری نیروهای وارده بر تراورس، از یک تراورس بتنی B70 شامل ۵ نیروسنج جاسازی شده، استفاده شد. در ابتدا یکی از تراورس‌های بتنی از زیر ریل خارج گردید و سپس تراورس ویژه در محل مورد نظر نصب گردید.

در شکل (۱) جانمایی نیروسنج‌ها در تراورس، همراه با نامگذاری‌های محدوده‌های مختلف که بعداً مورد استفاده قرار خواهد گرفت، به صورت شماتیک نشان داده شده است.

۳- چگونگی بخش بار و نمودارهای ممان حاصل از نتایج آزمایش

به منظور بارگذاری تراورس حاوی نیروسنج‌ها، از یک لوکوموتیو ۱۲۰ تنی به همراه یک واگن باری مخزن دار پر ۸۱/۴۹ تنی استفاده شد. در این آزمایش سعی شد تا از نمودار نیروهای ثبت شده، نیروی حداکثر در یک پالس زمانی استخراج گردد. در حالت اول قطار با سرعت کم عبور داده شده است. با توجه به اینکه ۳ سنسور کرنش‌سنج در مقطع زیر ریل (بالا و پایین) و مقطع میانی تراورس وجود داشت، این امکان به وجود آمد تا دیاگرام لنگر خمشی به صورت تقریبی تشخیص داده شود. در نتیجه قبل از پایدارسازی، برآیند فشار تماسی بالاست، در قسمت‌های بیرونی تراورس تمرکز دارد. این دیاگرام در شکل (۲) ارائه شده است.

با توجه به خروجی‌ها، مشاهده شد که زیر نیروسنج B4 در کف تراورس، خالی از بالاست است یا به عبارت بهتر از تراکم خوبی برخوردار نیست در نتیجه ممان وسط تراورس در میانه تراورس هم علامت و بزرگتر از لنگر مقطع زیر ریل است. مقطعی میانی و تار فوقانی مقطع زیر ریل تراورس، حین عبور قطار تحت فشار می‌باشند و تار تحتانی مقطع زیر ریل تراورس تحت کشش است. تغییر شکل فشاری در میانه تراورس به‌طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از مقطع زیر ریل است.

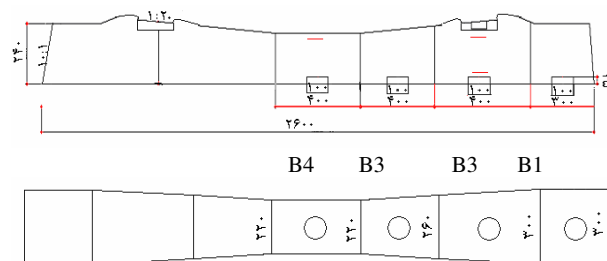
۲- تجهیزات اندازه‌گیری تنش‌ها و کرنش‌ها

در این تحقیق، بررسی تحلیلی تنش در تراورس با استفاده از نتایج آزمایش‌هایی که در خط آهن صورت گرفته است، انجام گردید. در این آزمایش‌های میدانی، تراورس بتنی B70 حاوی نیروسنج‌های جاسازی شده، در خط آهن واقعی نصب گردید. از نتایج حاصل از این آزمایش‌ها می‌توان به توزیع واقعی تنش تماسی در سطح زیرین تراورس در حالات مختلف (بعد از زیرکوبی و قبل و بعد از پایدارسازی) و تأثیر و اهمیت تراکم مورد نیاز بالاست در زیر تراورس اشاره کرد [۳]. با توجه به نتایج بدست آمده، مقدار مناسب بالاست و تراکم کافی آن در زیر تراورس و عملکرد ماشین‌های نگهداری و تعمیر خط آهن بسیار حائز اهمیت است و بعضاً در شرایط خاصی نظیر آنچه در این آزمایش شبیه‌سازی شده، استفاده از ماشین پایدارساز خط در فرایند نگهداری (بدون اضافه کردن بالاست) مضر است.

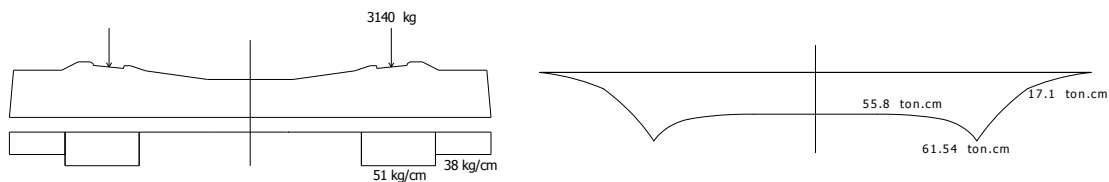
باتوجه به محدودیت‌های موجود در تراورس بتنی (محل‌های قابل جایگذاری نیروسنج) باید نیروسنجی با ضخامت کم (از نوع ورقه‌ای) و متناسب با نشیمنگاه ریل و کف تراورس و همین‌طور با قابلیت اندازه‌گیری بارهای بزرگ انتخاب می‌شد [۵]. نیروسنج‌ها می‌بایست به ترتیبی در کف تراورس و در محل نشیمنگاه ریل قرار می‌گرفتند تا بتوانند کلیه نیروهایی که از بالاست به سمت بالا و از ریل به سمت پایین اعمال می‌شوند را ثبت کنند. همچنین به منظور به دست آوردن تغییر شکل تراورس در حین عبور بارهای معین، از ۳ کرنش‌سنج استفاده شد. ۲ کرنش‌سنج در تارهای فوقانی و تحتانی مقطع زیر ریل و ۱ کرنش‌سنج هم در تار فوقانی مقطع میانی تراورس نصب شد.

۲-۱- شرح سازه‌ای و آرایش تجهیزات اندازه‌گیری

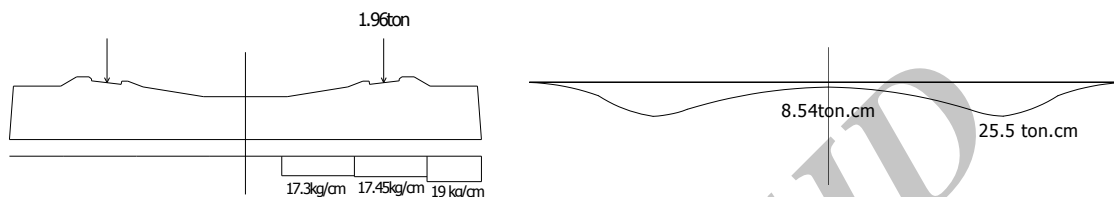
سازه مورد نظر، خط آهن بالاستی واقع در یکی از ایستگاه‌های ناحیه تهران (ایستگاه بهرام) می‌باشد. به منظور



شکل ۱- شماتیک آرایش نیروسنج‌ها در تراورس



شکل ۲- لنگر خمشی و پخش بار مربوط به آزمایش قبل از پایدارسازی



شکل ۳- لنگر خمشی و پخش بار مربوط به آزمایش بعد از پایدارسازی

نمایان می‌گردد، در نظر گرفته شده‌اند. در ابتدا لازم است مشخصات بتن و آرماتور مقاطع ارائه گردد.

نمونه مکعبی به ابعاد ۱۵ سانتیمتر بتنی که در تراورس مورد استفاده قرار می‌گیرد باید حداقل دارای مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۶۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع باشد. در نتیجه با توجه به ضوابط آیین‌نامه AASHTO در محث بتن پیش تنیده

$$F_{C_{max}} = -0.33 \times f'_c = -158.4 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{T_{max}} = 0.5 \sqrt{f'_c} \Rightarrow F_{T_{max}} = 34.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 480 \text{ kg/cm}^2$$

می‌باشند [۹،۸].

می‌لگرد مورد استفاده در تراورس از نوع st160 با قطر 7mm، تعداد ۸ عدد و وزن 6kg می‌باشد. در شکل (۴) مقطع شماتیک زیر نشیمنگاه ریل با ابعاد مورد نظر نشان داده شده است. با توجه به این ابعاد، مساحت کل مقطع $A = 482.76 \text{ cm}^2$ و ممان اینرسی نسبت به محور خنثی $I = 18466.4 \text{ cm}^4$ و اساس تار فوقانی و تحتانی به ترتیب $S_b = 1856 \text{ cm}^3$ ، $S_t = 1585.1 \text{ cm}^3$ می‌باشند. فاصله تار تحتانی از محور مرکزی آرماتورها و مقطع نیز به ترتیب $C_b = 9.95 \text{ cm}$ و $C_{b(armator)} = 9 \text{ cm}$ می‌باشد که در نتیجه اختلاف این محورها $e = 0.95 \text{ cm}$ می‌شود. فاصله تار فوقانی از محور مرکزی مقطع $C_t = 11.65 \text{ cm}$ است

بعد از عبور پایدارساز، پخش نیروها با وجود کاهش باربری، یکنواخت‌تر شد و برخلاف مرحله قبل مشاهده می‌شود که نیروها در کف تراورس، حین عبور پایدارساز در لبه‌ها متمرکز نیستند. پخش نیرو در این قسمت به صورت شکل (۳) تخمین زده می‌شود. با توجه به افزایش تنش از کنار تراورس به سمت داخل، باید گفت که با یک مقدار اولیه تنش آغاز گردیده و در زیر سطح نشیمنگاه ریل به حداکثر خود می‌رسد و سپس دوباره کاهش یافته و در مقطع وسط تراورس به حداقل خود می‌رسد [۷]. کاهش سهم باربری تراورس از بار چرخ می‌تواند به دلیل پایین‌تر آمدن تراز تراورس به نسبت تراورس‌های مجاور، بدلیل کم بودن تراکم بالاست رخ داده باشد.

تثبیت کردن بالاست توسط ماشین پایدارساز خط (که به دنبال ماشین زیرکوب حرکت می‌کند) در افزایش پایداری و مقاومت جانبی خط مشارکت دارد ولیکن مسأله‌ای که در اینجا حائز اهمیت است آنست که در صورت کمبود بالاست (به صورت مقطعی)، سهم بار تراورس تا حد زیادی کاهش می‌یابد و در نتیجه بقیه بار به تراورس‌های جانبی می‌رسد و موجب کاهش عمر مفید آنها می‌گردد.

۴- مشخصات بتن و آرماتور و مقاطع موردنظر در تراورس

در این قسمت مقاطع بحرانی که معمولاً تنش‌ها در آن بخش‌ها کنترل می‌شود و آسیب‌دیدگی‌ها بیشتر در این محل‌ها

۵- ارزیابی تنش‌های محاسبه شده

با توجه به اینکه حداکثر و حداقل تنش‌ها در تارهای تحتانی و فوقانی پدیدار می‌شوند، لذا با توجه به روابط زیر، تنش‌ها در مقاطع بحرانی (نشیمگاه ریل و وسط تراورس) به دست آمده و سپس با تنش‌های مجاز و تنش‌های ایجاد شده در حالت ایده‌آل بارگذاری (با فرض اینکه بار چرخ برابر بار در حالت آزمایش شده باشد) کنترل می‌شوند. جهت همگن‌سازی مقادیر تنش‌ها، با وجود متفاوت بودن باربری تراورس‌ها در حالت آزمایش شده و ایده‌آل، تصمیم بر آن گرفته شد که بار چرخ مؤثر تراورس در این دو حالت یکسان در نظر گرفته شود. شایان ذکر است که در این تحقیق توزیع بار و نرخ تغییرات تنش‌ها و کرنش‌ها مدنظر هستند. لازم به ذکر است که علامت منفی نشانگر فشار و علامت مثبت نشانگر کشش است و به دلیل کم بودن وزن تراورس، از تأثیر آن در محاسبات صرفنظر شده است [۹].

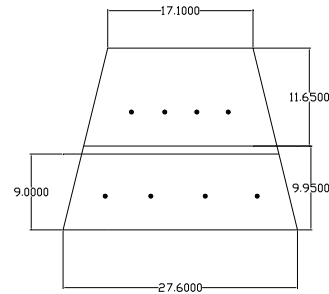
$$\sigma_t = -\left(\frac{P_e}{A}\right) \pm \left(\frac{P_e \times e}{S_t}\right) \pm \left(\frac{M}{S_t}\right) \quad (1) \quad \text{تنش در تار فوقانی}$$

$$\sigma_b = -\left(\frac{P_e}{A}\right) \pm \left(\frac{P_e \times e}{S_b}\right) \pm \left(\frac{M}{S_b}\right) \quad (2) \quad \text{تنش در تار تحتانی}$$

با توجه به مقادیر به دست آمده مشاهده می‌شود که هیچکدام از حدود مشخص شده (تنش‌های مجاز محاسبه شده در بخش (۴)) فراتر نرفته‌اند لذا فرض خطی بودن رفتار بتن صحیح است. همانطور که ملاحظه می‌شود، در مقایسه با حالت ایده‌آل، تنش‌های موجود در تراورس نسبتاً بیشتر است و بعد از پایدارسازی، سهم باربری تراورس مورد آزمایش کم می‌شود که این مساله مبین آنست که باقی نیروها به تراورس‌های اطراف منتقل می‌گردد. در نتیجه سختی خط (مدول تکیه‌گاهی) در تراورس‌ها متغیر بوده و همین مساله باعث تشدید نیروهای دینامیکی می‌گردد. در حالت ایده‌آل فرض بر این بود که بعد از پایدارسازی، تنش‌ها در شرایطی که سهم باربری تراورس تغییر نکرده است، به دست آمده‌اند.

۶- مقایسه کرنش‌های واقعی با کرنش‌های به دست آمده از تنش‌ها

طبق آیین‌نامه بتن ایران [۸] مدول الاستیسیته بتن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

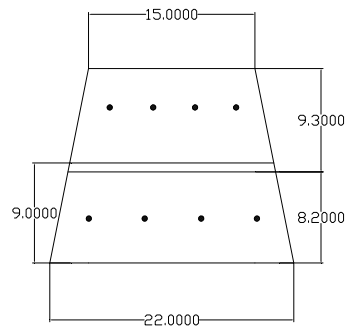


شکل ۴- مقطع زیر نشیمگاه ریل

در شکل (۵) مقطع میانی تراورس با اندازه‌گذاری نشان داده شده است. با توجه به این ابعاد، مساحت مقطع $A = 323.75 \text{ cm}^2$ می‌باشد و ممان اینرسی نسبت به محور خنثی $\bar{I} = 8154.2 \text{ cm}^4$ و اساس تار فوقانی و تحتانی به ترتیب $S_t = 876.8 \text{ cm}^3$ ، $S_b = 994.4 \text{ cm}^3$ می‌باشند. فاصله تار تحتانی از محور مرکزی آرماتورها و مقطع نیز به ترتیب $C_b = 8.2 \text{ cm}$ و $C_{b(\text{armator})} = 9 \text{ cm}$ می‌باشد که در نتیجه اختلاف این محورها $e = 0.8 \text{ cm}$ می‌شود. فاصله تار فوقانی از محور مرکزی مقطع نیز $C_t = 9.3 \text{ cm}$ است.

مساحت مقطع میلگرد و مقاومت نهایی و تسلیم آن نیز به ترتیب $F_u = 15700 \text{ kg / cm}^2$ ، $A = 0.3846 \text{ cm}^2$ و $F_y = 13750 \text{ kg / cm}^2$ می‌باشند. تعداد آرماتورهای مورد استفاده در تراورس نیز ۸ شاخه $\phi 7$ می‌باشد که ۴ شاخه در بالا و ۴ شاخه در پایین مقطع قرار دارند.

نیروی پیش‌تنیدگی $P = 4.3 \text{ ton}$ است که در اینجا ۱۵ درصد اتلاف تنش فولاد در اثر خزش، افت و سایر عوامل در نظر گرفته شده است. در نتیجه این نیرو به 3.65 ton تقلیل پیدا می‌کند و در نتیجه برای ۷ آرماتور نیروی پیش‌تنیدگی کل $P_e = 25.55 \text{ ton}$ در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۵- مقطع میانی تراورس

$$E = 5000 \sqrt{f'_c} \left(\frac{N}{mm^2} \right) = 3.53 \times 10^5 \frac{kg}{cm^2} \quad (3)$$

این وجود مشاهده می‌شود که کرنش‌ها در حالت ایده‌آل کمتر از شرایط موجود در آزمایش می‌باشد.

باتوجه به جدول (۳)، در حالت میدانی و تحلیلی مقدار تغییرات کرنش در قسمت نشیمنگاه ریل نسبت به حالت اولیه در شرایط آزمایش و در حالت ایده‌آل تفاوت زیادی دارند. این تفاوت حاکی از آن است که اگر در مرحله زیرکوبی، تراکم و مقدار بالاست مناسب باشد، بعد از مرحله پایدارسازی، تغییرات کرنش کمتر می‌شوند. در قسمت میانی تراورس، درصد تغییرات کرنش بعد از پایدارسازی تقریباً به یک اندازه است بنابراین باید دقت شود که مقدار این تغییرات در شرایط ایده‌آل به مراتب کمتر است.

در محلهایی که کرنش‌سنج‌ها نصب شده‌اند، کرنش \mathcal{E} تئوری با کرنش‌های اندازه‌گیری شده \mathcal{E}_{actual} مقایسه می‌شود. در جدول (۲) کرنش‌های میدانی، تحلیلی و کرنش‌ها در شرایط ایده‌آل ارائه شده‌اند. منظور از کرنش میدانی، کرنشی است که توسط کرنش‌سنج‌های نصب شده در مقاطع ذکر شده، ثبت گردیده است. کرنش تحلیلی نیز با توجه به تنش‌های محاسبه شده بر اساس خروجی‌های نیروسنج‌ها (ارائه شده در جدول (۱)) به دست آمده‌اند. کرنش ایده‌آل نیز با توجه به نتایج آزمایش‌های قبلی و خروجی‌هایی که در جدول (۱) ارائه شده است به دست آمده‌اند.

دلیل اختلاف بین کرنش‌های بالا و پایین مقطع زیر ریل با حالت واقعی این است که کرنش‌سنج‌ها چند سانتیمتر پایین‌تر و بالاتر از فوقانی‌ترین و تحتانی‌ترین تار آن مقطع نصب شده‌اند. با

جدول ۱- تنش در مقاطع حساس تراورس

بار قطار بعد از زیرکوبی (ناقص) و قبل از پایدارسازی	بار قطار بعد از زیرکوبی (ایده‌آل) و قبل از پایدارسازی	بار قطار بعد از پایدارسازی	بار قطار بعد از پایدارسازی (ایده‌آل)	بدون بار قطار	kg/cm^2
-۸۱/۸	-۷۵	-۵۹/۱	-۷۰/۳	-۴۳	تار فوقانی نشیمنگاه ریل
-۴۲/۲۷	-۴۸	-۶۱/۶۶	-۵۲۰	-۷۵/۴۳	تار تحتانی نشیمنگاه ریل
-۱۸۱/۱	-۱۳۳/۷۵	-۱۲۷/۲	-۱۲۰/۷۵	-۱۱۷/۵	تار فوقانی وسط تراورس
-۱۰	-۶۰	-۵۷/۵	-۷۸/۷	-۶۶/۱	تار تحتانی وسط تراورس

تنش‌های مجاز کششی و فشاری در بتن (تراورس) $F_{Cmax} = -158.4 kg/cm^2$ و $F_{Tmax} = 34.6 kg/cm^2$

جدول ۲- کرنش در مقاطع حساس تراورس

موقعیت	کرنش \mathcal{E}		قبل از پایدارسازی (ایده‌آل) μ	بعد از پایدارسازی	
	میدانی μ	تحلیلی μ		میدانی μ	تحلیلی μ
تار فوقانی نشیمنگاه ریل	-۸۰	-۱۰۰	-۸۲/۷	-۳۳	-۴۱/۶
تار تحتانی نشیمنگاه ریل	۵۰	۸۶	۷۰/۵	۲۶	۳۵/۶
تار فوقانی وسط تراورس	-۱۸۴	-۱۶۴	-۴۲	-۳۵	-۲۵/۲

جدول ۳- نسبت تغییرات کرنش قبل و بعد از پایدارسازی

موقعیت	تار فوقانی نشیمنگاه ریل	%۵۹	%۵۸	%۱۶

کرنش \mathcal{E}	میدانی	تحلیلی	ایده‌آل

- Thesis Chalmers University of Technology, 2003.
- [3] Zakeri, J.A. Sadeghi, J. "Field investigation of load distribution on railway track sleepers", Journal of Mechanical Science & Technology, Dec. 2007 pp.1948-1956.
- [۴] ذاکری، جبارعلی. درودی، یاشار. محمدزاده، سعید. "بررسی میدانی توزیع تنش در سطح زیرین تراورس B70"، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تبریز، تابستان ۸۶ شماره ۳۳ (۲).
- [5] Kaewunruen, S. Remennikov, A.M. "Investigations of static and dynamic performance of railway prestressed concrete sleepers", University of Wollongong, 2007.
- [6] S Kaewunruen, S. Remennikov, A.M. "Nonlinear finite element modeling of railway pre-stressed concrete sleeper", University of Wollongong, 2006.
- [۷] ذاکری، جبارعلی. "بررسی نیروهای وارده بر تراورس‌ها" گزارش نهائی پروژه تحقیقاتی معاونت پژوهشی دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۴.
- [۸] آیین‌نامه بتن ایران (ابا). دفتر امور فنی و تدوین معیارها- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، چاپ هفتم، ۱۳۸۳.
- [۹] طاحونی، شاپور. "مهندسی پل"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۶.

تار تحتانی نشیمنگاه ریل	٪۴۸	٪۵۸	٪۱۵
تار فوقانی وسط تراورس	٪۸۱	٪۸۴	٪۸۰

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایش‌ها و بررسی‌های صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که در حالت‌های مختلف آزمایش شده، تراورس B70 قابلیت باربری خوبی دارد. بنابه آنچه در نتایج مشاهده شد و شکل توزیع بار در زیر تراورس می‌توان گفت که در زمان عبور چرخ از محل تراورس، حساس‌ترین قسمت تراورس نشیمنگاه ریل می‌باشد که در نتیجه باید شرایط مناسبی از تراکم بالاست در این قسمت فراهم شود. همچنین اگر مقدار تراکم بالاست زیر تراورس کافی نباشد، تراورس باربری کافی طراحی را ندارد. پیامد این مسأله این است که به تراورس‌های اطراف، بارهای بزرگتری منتقل می‌شود و یک نوع ناهمگونی در خط پیش می‌آید و ضرایب دینامیکی افزایش قابل توجهی پیدا می‌کنند. در صورت عدم تراکم کافی بالاست در زیر تراورس، پایدارساز آن را برطرف می‌کند ولیکن به دلیل پایین‌تر آمدن تراز به نسبت تراورس‌های مجاور، سهم بار تراورس مورد نظر کاهش پیدا می‌کند و همین مسأله مشکلات زوال زودرس تراورس‌های بتنی را در پی خواهد داشت. ضمناً با توجه به مقایسه‌های انجام شده، در شرایطی که زیرکوبی با شرایط ایده‌آل انجام شود، تغییرات کرنش در محل نشیمنگاه ریل کمتر می‌گردد. این تغییرات در قسمت میانی تراورس به مراتب کمتر است.

۷- مراجع

- [1] Kerr, Arnold Fundamentals of Railway Track Engineering April, 2004.
- [2] Rikard Gustavson, Static and Dynamic Finite Element Analyses of Concrete Sleepers, Msc.