بررسی تاثیر صفحات مهاری قائم زیر تراورس بتنی در تغییر مقاومت جانبی خط بالاستی

جبار علی ذاکری (مسئول مکاتبات)، استاد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
حامد عباسی ضامنجانی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

Email: zakeri@iust.ac.ir

دریافت: ۱۳۹٤/۱۲/۲۰ پذیرش:۱۳۹٦/۰۲/۰۱

چکیده

افزایش مقاومت جانبی خطوط بالاستی خصوصاً در قوس ها جزءِ برنامه های راه آهن ها است. بسیاری از راه آهن ها، بدلیل عدم امکان تامین مقاومت جانبی در قوسهای تند، ریلها را در قوسها جوشکاری نکرده و علاوه بر سلب آسایش مسافرین (کاهش شاخص راحتی سفر) هزینه های زیادی از بابت فعالیتهای اضافی نگهداری و تعمیر اجزای روسازی تحمل می‌کنند. یکی از روش های ابتکاری استفاده از صفحات مهاری در زیر تراورس ها است. مهار های تراورس در بعضی از راه آهن های دنیا برای افزایش مقاومت جانبی مورد استفاده قرار گرفته اند در حالی که در ادبیات فنی میزان تاثیر این صفحات در مقاومت جانبی مورد ارزیابی قرار نگرفته است. ارزیابی و محاسبه نیروهای مقاومت جانبی در این حالت امکان تحلیل نیروهای جانبی خط و مقایسه کارآیی این روش با سایر روش ها را ممکن می سازد. در این مقاله آزمایش هایی بر روی تراورس های بتنی با اضافه کردن یک و دو صفحه مهاری صورت گرفت و نتایج آزمایش های STPT و TPLT نشان داد که بیشینه افزایش در حالت اول زمانی اتفاق می افتد که صفحه مهاری در زیر ریل داخلی بوده و مقدار آن به حدود ۱۹ درصد می رسد. در صورت استفاده از دو صفحه مهاری (در زیر هر ریل یک صفحه مهاری) بیشینه افزایش به ۳۷ درصد می رسد.

واژه های کلیدی: تراورس بتنی، خطوط بالاستی، مقاومت جانبی، مهاری تراورس

۱. مقدمه

با توجه به رقابت بین سیستم‌های حمل ونقل، سیستم حمل و نقل ریلی ناگزیر است که سرعت و ظرفیت خود را افزایش دهد. با افزایش روز افزون سرعت و بار محوری وسایل نقلیه ریلی، اثرات مخرب درزهای انبساط اهمیت بیشتری یافته است. در راستای کاهش این تأثیرات نامطلوب راهکار اساسی موجود، استفاده از ریل های طویل و جوشکاری ریل ها برای اتصال آنها به یکدیگر و حذف کامل درزهای انبساط است. متاسفانه، تعداد زیادی از قوس های موجود در خطوط راه آهن سنتی دارای شعاعی کمتر از ٤٠٠ متر هستند[Zakeri, 2012]. بررسی های میدانی حاکی از آن است که مقاومت جانبی خطوط با قوس های تند برای جوش دادن درزهای ریل کافی نیست. در واقع، حذف اتصالات ریل منجر به نیروهای طولی بسیار بزرگی می گردد که حرکت جانبی خط را به دنبال دارد. همچنین با توجه به رویکرد راه آهن ها برای افزایش بار محوری و افزایش طول قطارها، افزایش مقاومت جانبی اهمیت دوچندان می یابد .[Zakeri et al. 2014] مقدار این نیروی جانبی به اندازه ای است که باعث به وجود آمدن جابه جایی های جانبی به مقدار ۳۵ تا ۷۰ میلی متر در خطوط ریلی گردیده است لذا SNCF میزان جابه جایی جانبی را در خطوطی که تازه احداث شده اند به ۱تا ٤ میلی متر محدود کرده است [Ahmad, Mandal and Ghattopadhyay, 2009]. نیروی قائم وارد بر خط از ناوگان نیز بر میزان مقاومت جانبی به میزان زیادی موثر است[Zakeri, Barati 2015] . تاکنون چندین روش برای افزایش مقاومت جانبی خطوط آهن مورد استفاده قرار گرفته اند که از جمله ی این روش ها می توان به استفاده از تراورس بالدار، تراورس های دی بلوک، مهار تراورس، تراورس اصطکاکی، روش زی-ترک و استفاده از تراورس بزرگ اشاره کرد. با توجه به اینکه طول قابل توجهی از خطوط راه آهن کشورمان دارای تراورس های بتنی می‌باشد لذا افزایش مقاومت جانبی این خطوط ضروری می نماید. اولین گام برای حل این مشکل اندازه گیری مقامت جانبی خط آهن و نیروی جانبی وارده به خط آهن است.

برای اندازه گیری میزان مقاومت جانبی خط آهن روش های زیر مورد استفاده قرار می گیرند[Zakeri, 2012] .

- روش بارگذاری تراورس منفرد(STPT)
- روش بارگذاری پانل خط(TPLT)
- آزمایش جابه جایی دینامیکی خط آهن

از میان روش های فوق آزمایش هل دادن تراورس منفرد (STPT) و بارگذاری (هل دادن) پانل خط (TPLT) بیشتر مورد کاربرد قرار گرفته‌اند. در آزمایش STPT با هل دادن یک تراورس که پابند های آن باز شده است و اندازه گیری نیروی قابل تحمل برای جابه جایی جانبی 2mm ،مقاومت جانبی خط آهن تخمین زده می شود .در آزمایش TPLT کوپلاژی از خط آهن را بارگذاری کرده و مقاومت جانبی قابل تحمل به ازای 2mm جابه جایی اندازه گیری می شود.

هر یک از روش های یاد شده بسته به شرایط و نیاز در آزمایشگاه و خط، به کار گرفته می شوند. بین نتایج آزمایش های یاد شده روابطی وجود دارد به نحوی که با انجام یکی از آن ها می توان نتایج آمایشات دیگر و همچنین مقاومت جانبی واقعی خط را اندازه گیری کرد [Koike et al, 2014].

راه کارهای گوناگونی جهت افزایش مقاومت جانبی خط آهن مورد استفاده قرار می گیرد . مقاومت جانبی در خط ریلی به مقاومت بین تراورس و بالاست در ناحیه آخوری ، شانه ها و ناحیه کف تراورس مربوط می شود و با تغییر در هرکدام این

موارد می تـوان مقاومـت جـانبی را افـزایش داد [Le Pen and Powrie 2011]. ایجاد تغییر در لایه بالاست ، تغییر در هندسـه تراورس و استفاده از سخت کننده های عرضی از جمله این روش ها هستند . تـاثیر پارامترهـای هندسـی لایـه بالاسـت در افـزایش مقاومت جانبی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج حاکی از آن است که افزایش ارتفاع شـانه بالاسـت و اسـتفاده از شـکل گـرده ماهی در طرفین شانه بالاست مقاومت جانبی را ۲۵ درصد افزایش می دهد[ذاکری و بختیاری، ۱۳۹۲].تغییر در تراورس های فلزی و اضافه کردن سخت کننده های عرضی به آن مقاومت جانبی را تـا ۱٤۰ درصد افزایش داده است[Zakeri and Talebi, 2016]. تاثیر استفاده از تراورس های اصطکاکی بر روی مقاومت جانبی به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است که نتایج تحقیق افزایش٦۰ درصدی مقاومت جانبی را نشان می دهد [Zakeri,Mirfattahi and Fakhari, 2012]. هم چنین اثر تراورس هـای اصـطکاکی بـا روش عـددی نیـز افـزایش مقاومـت جـانبی را نشـان مـی دهد[Zakeri et al, 2014]. همچنین تاثیر تغییر شکل تراورس ها بر مقاومت جانبی با روش عددی اجزای محدود مورد بررسـی قرار گرفته و نتایج افزایش ۳۹ تا ۵۵ درصدی در مقاومـت جـانبی را نشان می دهد[Domingo et al. 2014]. روشی کـه اخیـرا مورد بررسی قرار گرفته، استفاده از گابیون های کوچک است کـه مقاومت جانبی را ٤۰درصد افزایش داده است [درخـوش، ۱۳۹۳]. روش دیگر استفاده از خطوط با تراورس نردبانی اسـت. براسـاس مطالعات عددی صورت گرفته در این زمینه مقاومت ایـن خطـوط در برابر کمانش و جابـه جـایی نسـبت بـه خطـوط بـا تـراورس معمولی بیشتر است[Barenberg, 2011].

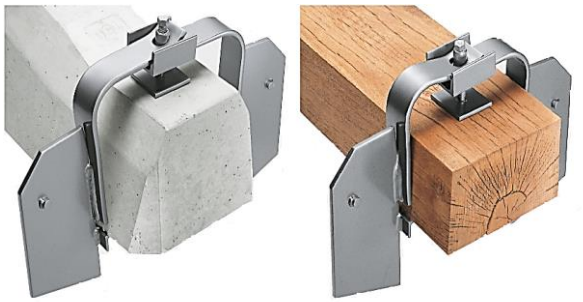
با افزایش دما ریل دچار کمـانش مـی شـود و درصـورتی کـه در مقابل این کمانش مقاومت جانبی مناسبی وجود نداشته باشد خـط در جهت جانبی جابه جا شده و این امر خروج از خط را به دنبال خواهد داشت. یکی از روش های افزایش مقاومـت جـانبی خـط استفاده از پروفیل های ریل سنگین تر اسـت [Lichtberger, 2007]. روش نوینی که امروزه برای افزایش مقاومت جانبی مورد استفاده قـرار مـی گیـرد اسـتفاده از صـفحات فلـزی قـائم اسـت [Esveld, 2001] .

مهار های تراورس در بعضی از راه آهن های دنیـا بـرای افـزایش مقاومت جانبی مورد استفاده قرار گرفته اند ولی میزان تاثیر آن هـا بر افـزایش مقاومـت جـانبی مـورد بررسـی قـرار نگرفتـه اسـت. همچنین رابطه بین روش اندازه گیری STPT و TPLT نیـز بـه روشنی مشخص نمی باشد .در این مقاله میزان تاثیر مهار تراورس بر افزایش مقاومت جانبی به صورت آزمایشـگاهی در آزمایشـگاه خط دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران مـورد بررسی قرار گرفته است.

استفاده از مهاری‌های تراورس به منظور افزایش مقاومت جانبی و طولی خط آهن متشکل از تراورس های چوبی و بتنـی، راه حلـی نوین است. این مهاری‌ها هـم اکنـون توسـط سـازندگان متعـددی تولید شده و بطور بسیار ساده بر روی تراورس نصب مـی گـردد. از جملـه شـرکت‌هـای سـازنده، شـرکت Vossloh و شـرکت Hayashi Soji می باشد که این مهار را در انواع متنوع تولیـد و عرضه می‌کنند. این مهاری ها با افـزایش سـطح مقـاوم در زیـر و کناره های تراورس در در مقابل حرکت بالاست ، مقاومت جـانبی را افزایش می دهند. این صفحات مهاری در حالت کلی به دو نوع SN و SV تقسیم می شوند و ویژگی های آن ها بـه شـرح زیـر است [Esveld, 2001] .

مهاری نوع SN به منظور افزایش مقاومت جـانبی تـراورس و در نتیجه برای افزایش مقاومت جانبی خط آهن مـورد اسـتفاده قـرار

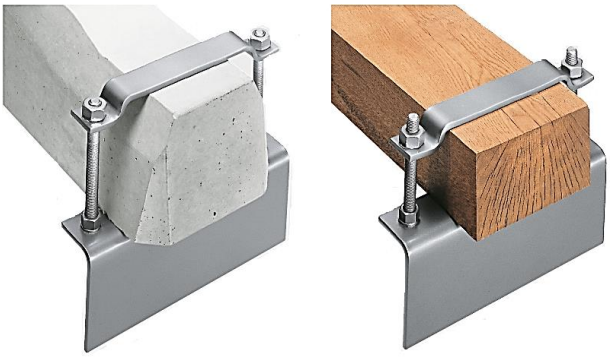
می گیرد. این نوع مهار دارای ساختاری بسیار ساده بوده و نمای کلی آن در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۲ – مهار تراورس نوع SN ساخته شده توسط شرکت ووسلو.

از این نوع مهاری ها میتوان در دوراهه ها ، قوس های خط ،ناحیه انتقال پل ها و قسمت هایی از خط به هم جوش شده اند استفاده کرد.

مهاری نوع SV همانند مهار SN، برای افزایش مقاومت جانبی تراورس و در نتیجه خط مورد استفاده قرار می گیرد و بر روی دو نوع تراورس چوبی و بتنی قابل نصب می‌باشد. موارد استفاده از این نوع مهار مشابه مورد قبلی است. این گونه مهارها در وسط تراورس و در دو انتهای تراورس نصب می شود.



شکل ۳– مهار تراورس نوع SV ساخت شرکت ووسلو

مهار تراورس SN و SV که در دانشگاه فنی مونیخ مورد آزمایش قرار گرفته اند، منجر به افزایش سختی خط به محض نصب می گردند و به بستر بالاستی آسیبی وارد نمی گردد. همچنین این مهارها در مورد ریل های جوشکاری شده‌ی ممتد ایمنی کافی در برابر کمانش ایجاد می کند حتی در مواردیکه یک نقطه از لحاظ کمانشی بحرانی باشد. نصب کردن این نوع مهارها بسیار ساده و سریع بوده و در سیستم بهره برداری اخلالی ایجاد نمی کند همچنین در حین نصب آن نیاز به برداشتن و یا جابجا کردن بالاست نمی باشد و این مهارها را می توان چندین سال پس از استفاده در جای دیگر مورد استفاده قرار داد. این مهار در وسط تراورس ها نیز قابل نصب بوده و به هنگام عملیات تعمیر و نگهداری در صورت نیاز می توان آنها را باز کرده و پس از انجام عملیات دوباره نصب نمود.

۲. تدوین برنامه آزمایشگاهی برای انجام آزمایش های STPT

برای انجام آزمایش‌های STPT یک کوپلاژ خط به طول ٦ متر در آزمایشگاه دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه علم‌وصنعت ایران ساخته شد. کوپلاژ ساخته شده به لحاظ تراکم ، قاصله بین تراورس ها و نصب پابند ها با شرایط واقعی خط آهن یکسان درنظر گرفته شد. برای این کار ابتدا کوپلاژ با تراورس های بدون مهاری تجهیز گردید و آزمایش های STPT بر روی تراورس منفرد و پانل خط انجام شد. در مرحله بعد کوپلاز با ترکیب های مختلف تراورس و مهاری تجهیز گردید و آزمایش های یاد شده مجددا بر روی تراورس منفرد و پانل خط انجام گرفت و نتیجه مورد مقایسه قرار گرفت.

۲-۱ ساخت کوپلاژ خط

برای ساخت کوپلاژ خط لازم است لایه های بالاست مطابق با تراکم میدانی متراکم شود. جهت تعیین تراکم بالاست و حصول حداکثر تراکم، از نتایج آزمایشات صورت گرفته در تحقیقات دیگر استفاده می شود[بختیاری، ۱۳۹۱]. تحقیق صورت گرفته توسط بختیاری میزان تراکم آزمایشگاهی متناظر با شرایط میدانی را مورد بررسی قرار داده است و نتایج آن جهت تراکم لایه های بالاست در این آزمایش مبنا قرار داده شده است. برای همین منظور باتوجه به اینکه طول پانل خط برای انجام آزمایشات ٦ متر است، پس از پهن کردن لایه ۱۰ سانتیمتری از بالاست، این لایه به تعداد ۲۵ بار غلتک‌زنی می شود.

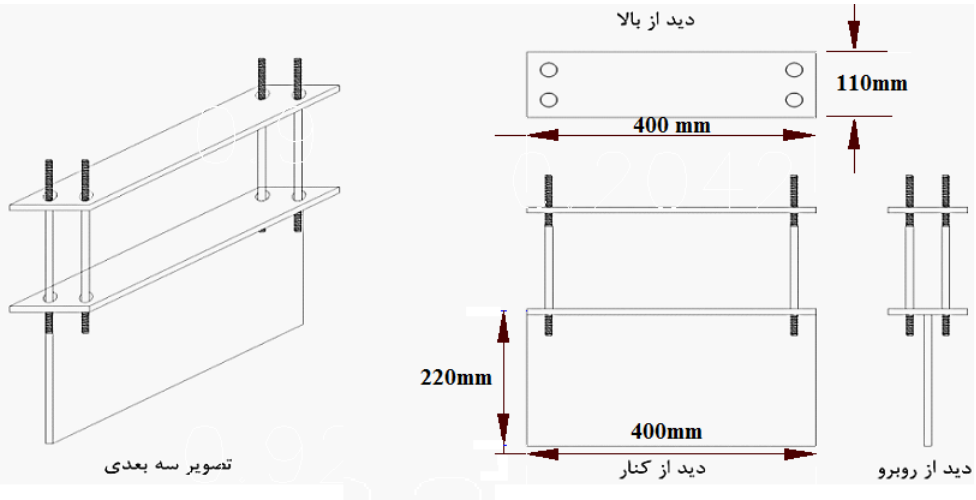
به همین ترتیب در مرحله‌ی بعد لایه ی ۱۰ سانتیمتری دوم از بالاست نیز ریخته شده و به تعداد ۲۵ بار غلتک‌زنی شده و در نهایت لایه سوم نیز به همین ترتیب بالاست ریزی شده و با ۲۵ بار غلتک‌زنی متراکم می شود.

پانل خط شامل ریل های UIC60 و به طول ٦ متر و فاصله‌ی بین تراورس‌ها برابر ٦۰ سانتیمتر در نظر گرفته می شود. پابندهای مورد استفاده در این تراورس‌ها از نوع پاندرول بود.

مهار های تراورس از دو بخش تحتانی و فوقانی تشکیل شده است که به وسیله پیچ های بلند به هم متصل می شوند. بخش تحتانی مهاری از ورق فولادی به ضخامت ٦ میلی متر، به طول ٤۰۰ میلی متر و ارتفاع ۲۲۰ میلی متر طراحی و ساخته شده است. همچنین صفحه دیگری به عرض ۱۱۰ میلی متر عمود بر صفحه تحتانی به وسیله جوش شیاری به هم متصل شده اند.جزئیات ابعاد مهاری تراورس در شکل ٤ نشان داده شده است.

شکل ۵ نیز مشخصات مهاری تراورس را پس از ساخت نشان می‌دهد. برای ساخت مهار های تراورس فولاد مصرفی از نوع ST37 در نظر گرفته شد.

شکل ۳. تصویر مربوط به لایه اول بالاست متراکم شده با غلتک به تعداد ۲۵ بار

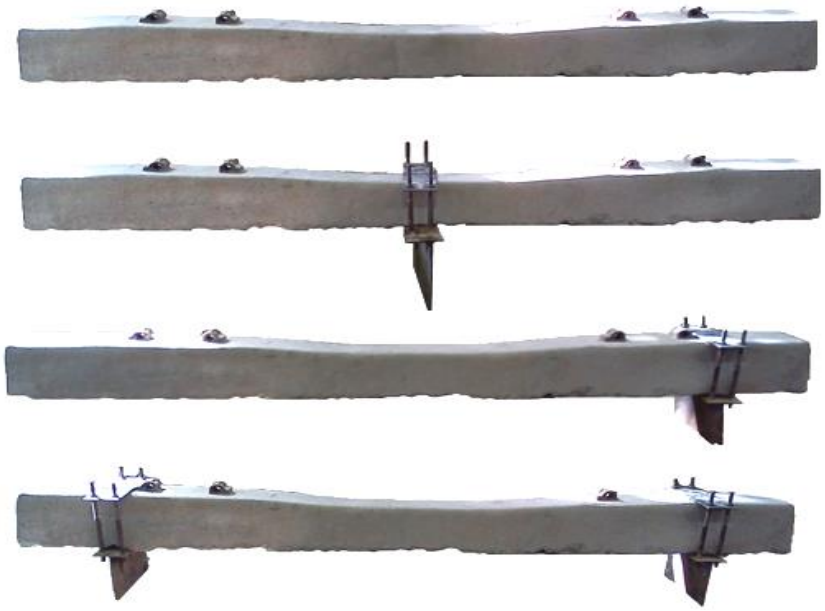


شکل ٤ . نمای کلی مهار تراورس ساخته شده در آزمایشگاه برای افزایش مقاومت جانبی

شکل ۵. مشخصات مهار تراورس ساخته شده

برای تعیین مقاومت جانبی چهار سری آزمایش پیش بینی گردید ؛ در سری اول از آزمایشات، مقاومت جانبی تراورس بتنی معمولی (بدون مهاری) مورد اندازه گیری قرار می‌گیرد، در سری دوم از آزمایشات، مقاومت جانبی تراورس بتنی دارای یک مهاری در وسط تراورس اندازه گیری می شود، در سری سوم از آزمایشهای مقاومت جانبی تراورس بتنی دارای یک مهاری در یک سمت تراورس و در سری چهارم از آزمایشها، مقاومت جانبی تراورس بتنی دارای دو مهاری در دو سمت تراورس‌ها اندازه‌گیری

می‌گردد. همچنین به منظور اجتناب از ایجاد خطا در آزمایشها و برای بالا بردن قابلیت اطمینان، در هر سری از آزمایشها، آزمایش مورد نظر سه بار تکرار شده و با توجه به انحراف معیار مناسب نتایج میانگین نتایج حاصل گزارش خواهد شد. در شکل ٦ تصویر شماتیکی از هر چهار سری آزمایش ارائه شده است.



شکل ٦. تراورس های انتخاب شده به همراه صفحات مهاری در ٤ سری آزمایشات پیش بینی شده

آماده سازی خط با توجه به معیارهای موجود در نشریه ۳۰۱ مشخصات فنی عمومی روسازی راه آهن ایران صورت گرفته است. بعد از پخش بالاست و تراکم لایه سوم، تراورس‌ها به فاصله ٦۰ سانتیمتر روی بالاست قرار گرفت. در مرحله بعد بالاست محل قرارگیری مهاری، در زیر تراورس‌های مورد نظر تخلیه شده و مهاری‌ها در جای خود قرار گرفته و به تراورس متصل شدند. در این مرحله یکی از مهاری‌ها به وسط و دیگری به یک سر تراورس متصل گردید. پس از قرارگیری پانل خط در ناحیه‌ی آخوری و شانه ها بالاست ریخته شده و با استفاده از یک کلنگ عمل زیر کوبی بر روی هر ۱۰ تراورس انجام گرفت تا زیر تراورس ها بطور کامل با بالاست پر گردد. عملیات کلنگ زنی به صورت یکنواخت ۱۰ بار برای طرفین هر تراورس تکرار گردید. سپس کمبود بالاست در ناحیه ی آخوری و شانه ها تامین شده وعرض شانه به ٤۰ سانتیمتر رسانیده شد. در کلیه‌ی آزمایشات شانه و ناحیه ی آخوری بطور کامل تا سطح بالایی تراورس ها دارای بالاست بوده و شیب های کناری ۳ به ۲ در نظر گرفته شده است. پس از پر کردن ناحیه‌ی آخوری و شانه ها با بالاست، بالاست موجود در این نواحی نیز به تعداد ۲۰ بار غلتک زنی گردید. وضعیت نهایی خط در شکل ۷ نشان داده شده است.

شکل ۷. پانل خط آماده شده برای آزمایش

برای انجام آزمایش از دستگاه STPT استفاده شد. این دستگاه دارای چهار بخش کلی می باشد که عبارتند از: پردازشگر مرکزی، باتری، جک هیدرولیکی، و تغییر مکان سنج (LVDT).

روش کار دستگاه بدین صورت است که نیرو توسط جک هیدرولیکی به ریل وارد شده و به تبع آن تراورس و ریل نسبت به هم جابه جا خواهند شد. این جابه جایی و نیروی وارد شده به ازای آن توسط پردازشگر مرکزی ثبت و چاپ می شود. شکل ۸ دستگاه STPT را که بر روی پانل خط نصب شده است نشان می دهد.

شکل ۸. تجهیزات آزمایش STPT

۳. نتایج آزمایش و بررسی میزان تاثیر مهارهای تراورس

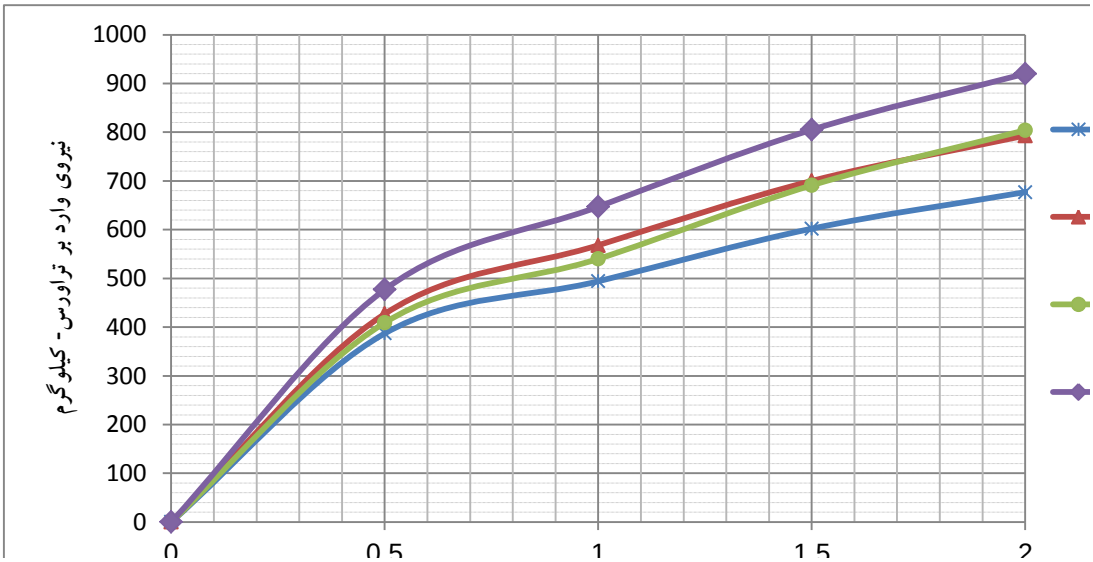
پس از نصب دستگاه STPT ، آزمایش STPT سه بار بر روی تراورس بتنی بدون مهاری انجام گرفته و نتایج ثبت گردید. با توجه به نتایج مطلوب آزمایش ها و قابل قبول بودن انحراف معیار آن ها از تکرار آزمایش ها خودداری شد. در مرحله دوم دستگاه STPT روی تراورس با مهاری موجود در وسط بسته شده آزمایش STPT تکرار و نتایج ثبت گردید. در مرحله سوم آزمایشات روی تراورس با مهاری در یک سمت انجام شده و نتایج ثبت گردید. جهت انجام آزمایشات سری چهارم که حالت مهاری در دو سمت تراورس می‌باشد، مهاری موجود در وسط تراورس آزمایش سری دوم باز شده و به سمت دیگر تراورس آزمایشات سری سوم منتقل شد. پس از زیرکوبی به کمک دیلم و

کلنگ و غلتک زنی تستهای سری چهارم نیز مشابه آزمایشات پیشین صورت گرفت. نتایج کلیه آزمایشات در جدول ۱ ارائه شده است.

نتیجه انجام آزمایشات و میزان تاثیر مهارها بر مقاومت جانبی در جدول ۱ آمده است. همانطور که مشاهده می شود استفاده از مهاری در وسط تراورس مقاومت جانبی را ۱۷ در صد افزایش می دهد. اگر این مهار در کناره تراورس نصب شود میزان این افزایش مقاومت ۱۹ درصد و در صورتی که در دو انتهای تراورس نصب گردد میزان افزایش مقاومت جانبی ۳٦ درصد خواهد بود. شکل ۹ میزان نیروی وارده بر ریل را در مقابل تغییرات جانبی مکانی ریل نشان می دهد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد با نصب برای یک مهاری در وسط تراورس یا در یک سمت تراورس افزایش مقاومت جانبی تقریبا به یک اندازه افزایش پیدا کرده است. این موضوع را می توان اینگونه توجیه کرد که درصد قابل توجهی از افزایش مقاومت جانبی متاثر از سطح تماس مهاری با بالاست است. درصد افزایش مقاومت جانبی با دومهاری، تقریبا ۲ برابر افزایش مقاومت جانبی با یک مهاری است. این موضوع اهمیت سطح تماس تراورس و مهاری را در افزایش مقاومت جانبی را مورد توجه قرار می دهد. در واقع با افزایش سطح تماس به میزان ۲ برابر مقاومت جانبی نیز ۲ برابر شده است.

جدول ۱. مقاومت جانبی خط و درصد افزایش آن نسبت به تراورس بدون مهاری

وضعیت تراورس	نیروی لازم جهت ۲mm جابجایی تراورس (Kg)	درصد افزایش مقاومت نسبت به حالت بدون مهاری
تراورس بدون مهاری	٦۷۷	۰
تراورس با یک مهاری در وسط	۷۹۳	۱۷
تراورس با یک مهاری در یک سمت	۸۰٤	۱۹
تراورس با دو مهاری در دو سمت	۹۲۰	۳٦



شکل ۹. نمودار نیرو – تغییر مکان تراورس در ٤ حالت تعریف شده

٤. جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به اهمیت مقاومت جانبی، در این مقاله تاثیر صفحات مهاری قائم زیر تراورس بتنی در تغییر مقاومت جانبی خط بالاستی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج افزایش مقاومت جانبی را تا ۱۹ درصد برای یک مهاری و تا ۳۷ درصد برای دو مهاری به دنبال داشت. مهم ترین نتایج این تحقیق عبارتند از:

استفاده از مهار های قائم در زیر تراورس برای افزایش مقاومت جانبی خطوط بالاستی امکان پذیر است.

نزدیکی مقادیر مقاومت جانبی مهاری در وسط و کنار تراورس را می توان این گونه توجیه کرد که عمده مقاومت جانبی به وجود آمده متاثر از سطح تماس بین مهاری و بالاست است و محل نصب مهاری تاثیر کمتری در مقادیر مقاومت جانبی دارد.

در آزمایش های صورت گرفته به ترتیب یک و دو سخت کننده قائم فلزی در زیر هر تراورس نصب شد و نتایج آزمایش های STPT افزایش ۱۹ و ۳۷ درصدی را در مقاومت جانبی نشان داد.

با توجه به اینکه ساخت این مهاری برای این آزمایش نیاز به صرف هزینه ناچیزی داشت استفاده از این نوع مهاری را می توان روشی مقرون به صرفه برای افزایش مقاومت جانبی به شمار آورد.

همچنین پیشنهاد می‌شود این آزمایش به صورت میدانی نیز برای ارزیابی میزان تاثیر مهاری تراورس بر مقاومت جانبی انجام شود.

۵. پی نوشت‌ها

[1] France's national state-owned railway company
[2] Xi-track
[3] Mechanical track displacement test
[4] Single Tie (sleeper) Push Test
[5] Track Panel Loading Test
[6] Ladder Sleeper Track
[7] Sleeper Anchoring

٦. مراجع

- بختیاری، آرش (۱۳۹۱) "پیش بینی مقاومت جانبی خط آهن بالاستی با استفاده از روش شبکه عصبی تابع پایه شعاعی(RBF)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر جبارعلی ذاکری سردرودی، تهران: دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

- درخوش، میثم (۱۳۹۳) "بررسی میدانی تاثیر گابیون های کوچک در افزایش مقاومت جانبی خط بالاستی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر جبارعلی ذاکری سردرودی، تهران: دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

- ذاکری، جبارعلی و بختیاری ، آرش (۱۳۹۲) "بررسی تاثیر پارامتر های هندسی لایه بالاست در افزایش مقاومت جانبی تراورس بتنی اصطکاکی"، پژوهشنامه حمل و نقل ، سال دهم ، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۲، ص. ۱۵۹ تا ۱٦۹ .

- طالبی ، روشن (۱۳۹۱) "بررسی آزمایشگاهی تأثیر سخت کننده های عرضی تراورس های فلزی در افزایش مقاومت جانبی استاد راهنما: دکتر جبارعلی ذاکری سردرودی، تهران: دانشکده مهندسی راه آهن ، دانشگاه علم و صنعت ایران

- Barenberg, E.J (2001) "Lateral Stability Analysis of Ladder Sleeper Track Systems", WCRR paper, UIC.

- Esveld .C (2001) "Modern railway track", Second edition, Netherlands: Delft, TU-Delft.

- Zakeri, J.A., Esmaeili, M., Kasravi, A. and Bakhtiari, A. (2014) "A numerical investigation on the lateral resistance of frictional sleepers in ballasted railway tracks", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit, Vol. 230 issue. 2, page(s), 440-449.

- Ahmad, S., Mandal, N. K. and Ghattopadhyay, G. (2009) "Track stability management, part 1: Literature review, theories and practices, Australian Government's Cooperative Research Centers Programme.

- Zakeri, J. A and Barati, M. (2015) "Utilizing the track panel displacement method for estimating vertical load effects on the lateral resistance of continuously welded railway track", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Vol. 229, issue, 3, page(s), 262-267.

- Domingo, L. M., Real Herraiz, J. ,Zamorano, C. ,Real Herraiz, T.(2014) "Design of a new high lateral resistance sleeper and performance comparison with conventional sleepers in a curved railway track by means of finite element models"Latin American Journal of Solids and Structures;. vol.11 no.7, page, 1238-1250.

- Le Pen, L.M., Powrie, W.(2011) " Contribution of Base, Crib, and Shoulder Ballast to the Lateral Sliding Resistance of Railway Track: A Geotechnical Perspective", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit, Vol. 225, issue, 2, page(s), 113-128.

- Lichtberger, B.(2007)"The track lateral resistance", European Railway review,Vol.10, issue, 2, page(s),68-71.

- Koike, Y., Nakamura, T., Hayano, K., Mayoma, Y.(2014) " Numerical Method for Evaluating the Lateral Resistance of Sleepers in Ballasted Track", Journal of Soils and Foundations ,Vol. 54, issue. 3, page(s), 502-514.
- Zakeri, J.A. (2012)" Lateral Resistance of Railway Track", Reliability and Safety in Railway, Croatia: In Tech publisher.
- Zakeri, J. A, Mirfattahi, B., Fakhari, M.(2012) "Lateral Resistance of Railway Track with Frictional Sleepers", Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport journal, Vol. 165, issue, 2, page(s), 151-155.
- Zakeri, J.A, Talebi, R.(2016)" Experimental investigation into the effect of steel sleeper vertical stiffeners on railway track lateral resistance", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, Journal of Rail and Rapid Transit, Vol. 231, issue, 1, page(s), 104-110.

جبارعلی ذاکری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۷۱ از دانشگاه تبریز و درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران – سازه در سال ۱۳۷٤ را از دانشگاه تبریز اخذ نمود. در سال ۱۳۷۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران – سازه های ریلی از دانشگاه جیائوتونگ پکن گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان تحلیل استاتیکی و دینامیکی، طراحی خط و سازه های ریلی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد تمام در دانشگاه علم و صنعت ایران است.

حامد عباسی ضامنجانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی راه آهن را در سال۱۳۹۲ از دانشگاه علم صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی راه وترابری در سال ۱۳۹۵ را از دانشگاه صنعتی امیرکبیر اخذ نمود.