

بررسی آزمایشگاهی تأثیر تراورس اصطکاکی در افزایش مقاومت جانبی خط آهن

جبارعلی ذاکری*، دانشیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
 مریم فخاری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
 دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۵ - پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۵

چکیده

درز ریل‌ها در قوس‌هایی با شعاع کمتر از ۴۰۰ متر در راه آهن به دلیل عدم امکان تأمین مقاومت جانبی خط، جوشکاری نمی‌شوند. باقیماندن درزها در خط باعث افزایش هزینه‌ها و حجم فعالیت‌های نگهداری می‌شود. همچنین باعث ظاهر شدن خرابی‌هایی نظیر تغییر شکل پلاستیک تاج ریل، شکستگی تراورس، خرابی پاندها و به‌طور کلی زوال سریع هندسه قائم و افقی خط می‌گردد. در این مقاله، ابتدا راه‌کارهای افزایش مقاومت جانبی بررسی شده و یکی از راه‌کارها که استفاده از طرح ابتکاری تراورس اصطکاکی (که در آن سطح زیرین تراورس به جای مسطح بودن، به صورت زیکزآگی برجسته شده تا مقاومت جانبی ناشی از سطح زیرین تراورس افزایش یابد) می‌باشد، تشریح شده است. در این مقاله تأثیر این نوع تراورس با انجام آزمایش‌های تعیین مقاومت جانبی خط بررسی شده است. آزمایش‌های انجام شده به‌صورت آزمایش تراورس منفرد بوده و نتایج آن نشان داده است که مقاومت جانبی خط با تراورس اصطکاکی در مقایسه با تراورس عادی در حدود ۵۹/۱ درصد افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: خط آهن، پایداری جانبی خط آهن، مقاومت جانبی تراورس، آزمون آزمایشگاهی

۱- مقدمه

هر کدام از روش‌های فوق معایب و مزایای خاصی دارد که در متون فنی بررسی و ارایه شده است. در این مقاله مطالعه موردی بر روی تراورس اصطکاکی خاصی که برای این منظور طراحی و ساخته شده است، ارایه شده است (Zakeri, 2012). مطالعات متعددی برای اندازه‌گیری مشخصات مقاومت جانبی خطوط بالاستی صورت گرفته است (ERRI, 1998; Koc, et al., 2011). دلیل اصلی انجام این مطالعات بررسی امکان تأمین پایداری خط در برابر نیروهای طولی ناشی از تغییرات دمایی می‌باشد (Nam-Hyoung, et al., 2003). مطالعات قبلی عموماً بر روی خطوط بالاستی با تراورس‌های معمولی صورت گرفته و اغلب تأمین پایداری برای خطوط CWR در بخش مستقیم با داشتن ابعاد مناسب مقطع بالاست امکان‌پذیر شده ولی برای قوس‌ها نیاز به تمهیداتی گزارش شده است (Lichtberger,

جوشکاری درز ریل‌ها و تبدیل خطوط درزدار به خطوط CWR از برنامه‌های راه‌آهن‌های کشورهای مختلف جهت افزایش سرعت قطارها محسوب می‌شود. اکثر خطوط قدیمی راه آهن‌ها متأسفانه دارای قوس‌های تند با شعاع کمتر از ۴۰۰ متر می‌باشد. بررسی‌های اولیه نشان داده است که مقاومت جانبی چنین خطوطی برای جوشکاری درزها کافی نبوده و در صورت حذف درزها، نیروهای طولی ریل‌ها باعث جابه‌جایی عرضی خط می‌گردد. راه‌کارهای متعددی جهت افزایش مقاومت جانبی خط آهن ارایه شده است که می‌توان به تغییر نوع و شکل تراورس اشاره کرد. (استفاده از تراورس‌های بال‌دار؛ تراورس‌های دو تکه؛ تراورس اصطکاکی؛ تراورس یکپارچه؛ استفاده از صفحات فلزی قائم در انتهای تراورس (Esveld, 2001)؛ استفاده از فناوری زی - ترک).

پژوهشنامه حمل و نقل، سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۲

همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، مقدار مقاومت جانبی با افزایش تغییر مکان جانبی افزایش می‌یابد. اما وقتی که تغییر مکان جانبی به حد مشخصی برسد، مقاومت بالاست دیگر افزایش نمی‌یابد و مقدار ثابتی باقی می‌ماند. این مقدار بر اساس نتایج بررسی‌های قبلی ۲ میلی‌متر تخمین زده شده است (Lichtberger, 2007).

در مجموع مقاومت بالاست ناحیه Crib به مرور زمان با فاصله گرفتن بالاست از بدنه تراورس کم شده و یا حذف می‌شود، مقام ناحیه کف نیز ممکن است به واسطه بلند شدن لحظه‌ای تراورس ناشی از بارهای رو به بالا از بین برود. اما مقاومت جانبی ناحیه شانه مقاومت مطمئنی است (Nordal and lohren, 2003). یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مقاومت جانبی خط آهن اصطکاک بین بالاست و تراورس می‌باشد. بررسی‌ها اولیه و نتایج آزمایشات سه محوری در آزمایشگاه نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک بین دانه‌های بالاست در حدود ۰/۹ تا ۱/۴ بسته به جنس دانه‌ها، دانه‌بندی و وضعیت تراکم بالاست متغیر می‌باشد (مطالعه موردی). ضریب اصطکاک بین خط آهن با تراورس B70 و بالاست مورد مطالعه در حدود ۰/۴ تا ۰/۵ و ضریب اصطکاک بین خط آهن با تراورس اصطکاک و بالاست مورد مطالعه در حدود ۰/۸۶ تا ۱/۱ به دست آمده است (براتی، ۱۳۸۹).

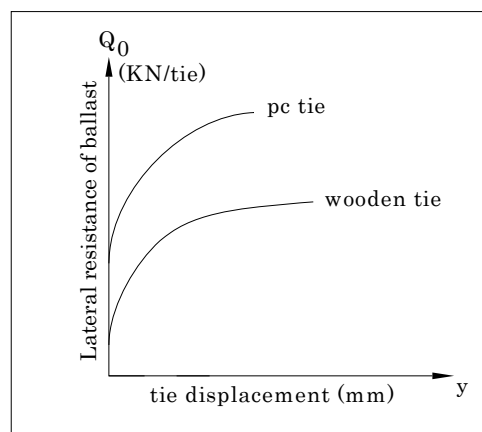
۳- روش تحقیق

آزمایش تعیین مقاومت جانبی خط به روش تراورس منفرد که به آزمایش STPT معروف است؛ از آزمایش‌های استاندارد شده می‌باشد که در طی سال‌های ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۱ توسط محققان متعددی مورد استفاده قرار گرفته است. هدف این تحقیق ابتدا بررسی اثر تراورس‌های مجاور در تراورس تحت آزمایش می‌باشد. با توجه به رفتار لایه بالاست انتظار می‌رود که نوع تراورس‌های مجاور با تراورس مورد آزمایش در نتایج آزمایش‌ها بررسی و به صورت کمی بیان خواهد شد. همچنین تغییر مقاومت جانبی خط با تغییر زبری سطح زیرین تراورس؛ با انجام آزمایش STPT بر روی تراورس‌های بتنی B70 و تراورس‌های اصطکاک B70-F تعیین خواهد شد.

(2007, Zakeri, 2012). در این مقاله ابتدا ضمن بررسی مقاومت جانبی خط؛ نوآوری خاصی در طراحی و ساخت تراورس اصطکاک تشریح شده و سپس تأثیر استفاده از این نوع تراورس‌ها در افزایش مقاومت جانبی مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته است. در آزمایشگاه آزمایش‌هایی روی خط نمونه با تراورس‌های استاندارد و تراورس‌های اصطکاک انجام شده و نتایج آنها با هم مقایسه شده‌اند.

۲- مقاومت خط آهن به جابه‌جایی جانبی

کیفیت لایه بالاست تأثیر زیادی در مقاومت جانبی خط آهن دارد. خط آهن با بالاست کثیف بیشترین مقاومت جانبی را دارد. با انجام عملیات زیر کوبی مقاومت جانبی به شدت کاهش یافته و به حداقل مقدار خود می‌رسد. با انجام عملیات پایدارسازی خط، بخشی از مقاومت از دست رفته (تا حد ۶۰ درصد) (Dongneton 1978) باز می‌گردد. مقاومت جانبی بالاست یکی از مهم‌ترین پارامترهای جلوگیری کننده از انبساط و کماتش خط است. با توجه به آزمایش‌های گسترده انجام شده، مشخص شده است که از کل مقاومت جانبی خط تقریباً ۶۰ درصد سهم بالاست، ۳۰ درصد سهم ریل و ۱۰ درصد سهم پاینده‌است. همچنین از کل مقاومت جانبی بالاست ۲۰ الی ۳۰ درصد سهم شانه‌ها، ۲۰ الی ۳۰ درصد سهم بالاست بین تراورس‌ها و ۵۰ درصد سهم بالاست زیر تراورس‌ها است. آزمایش تعیین مقاومت جانبی بالاست به این صورت است که ابتدا مقاومت جانبی یک تراورس اندازه‌گیری می‌شود. آزمایش‌های قبلی نشان می‌دهد که رابطه بین مقاومت بالاست و تغییر مکان جانبی یک رابطه غیرخطی مطابق شکل ۱ می‌باشد.



شکل ۱. نمودار مقاومت بالاست و تغییر مکان جانبی

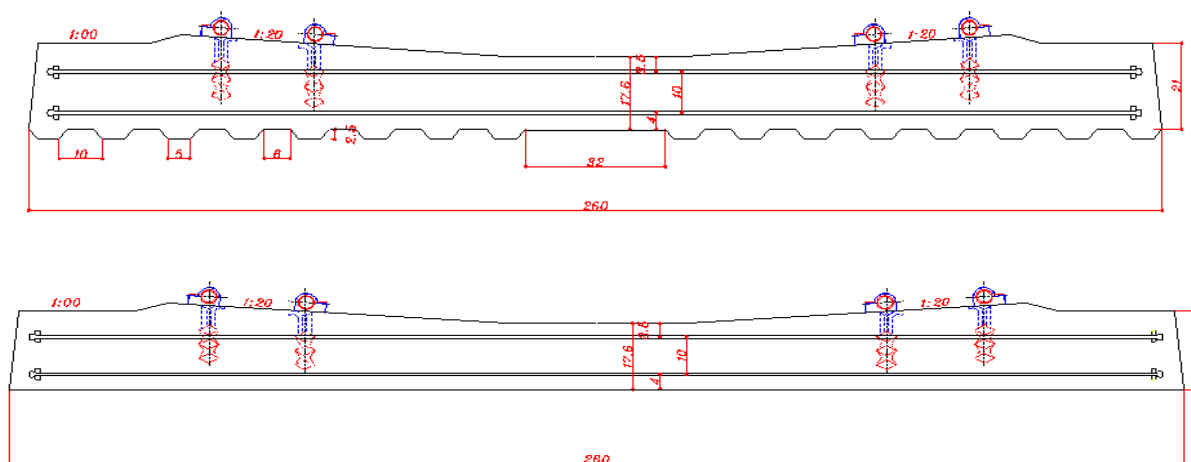
همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است تمام قسمت‌های این تراورس به استثنای بخش زیرین آن همانند تراورس B70 می‌باشد. در قسمت تحتانی تراورس زائده‌هایی ذوزنقه‌ای شکل با قاعده بزرگ ۱۰۰ میلی‌متر و قاعده کوچک ۶۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵ میلی‌متر ایجاد شده است تا باعث افزایش اصطکاک بین دانه‌های بالاست و کف تراورس شود. ۳۲ سانتی‌متر از قسمت میانی تراورس بدون زائده می‌باشد.

برای ساخت این تراورس بعد از بتن‌ریزی روی قالب‌های تراورس B70 صفحات موج‌داری قرار می‌دهند. به این ترتیب بعد از انجام عملیات ویبره و گیرش بتن سطح زیرین تراورس مانند شکل ۲ به صورت دندانه‌دار در می‌آید.

تراورس اصطکاکی، که توسط مؤلف اول طراحی و ساخته شده است، کف آن دندانه‌دار می‌باشد تا به واسطه افزایش سطح درگیری دانه‌های بالاست با تراورس، باعث افزایش اصطکاک بالاست با تراورس و افزایش نیروی فعال در هر سطح شود و به این ترتیب مقاومت جانبی خط افزایش می‌یابد. البته باید توجه شود که تراورس اصطکاکی باعث افزایش اصطکاک در ناحیه کف تراورس می‌شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد مقاومت جانبی تابع قفل و بست میان دانه‌های بالاست نیز می‌باشد. بنابراین، افزایش مقاومت جانبی با تراورس اصطکاکی تا آن جایی است که نیروی جانبی بر قفل و بست میان دانه‌های بالاست غلبه نکند.



شکل ۲. تراورس اصطکاکی



شکل ۳. مقایسه تراورس معمولی (بتنی پیش‌تنیده B70) و اصطکاکی (ابعاد به سانتی‌متر است)

تنظیمات صفحه کنترل پردازشگر به شرح زیر است:
 شماره آزمایش (شماره آزمایش وارد می‌شود). فاصله تراورس (فاصله تراورس‌ها ۶۰۰ میلی‌متر وارد می‌شود).
 میزان جابه‌جایی مورد نظر (بر اساس استاندارد اروپا ۲ میلی‌متر وارد می‌شود) (Lichtberger, 2007). دستگاه پس از وارد کردن بار در هر ۰/۵ میلی‌متر جابه‌جایی نیروی متناظر آن را ثبت و پس از انجام آزمایش بر روی یک نوار کاغذی چاپ می‌کند. ابتدا با باز کردن پابندها (پایه‌های سیلندر هیدرولیکی و سنسور تغییر مکان‌سنج این دستگاه روی شولدر پابند پاندرول نصب می‌شود) تراورس کاملاً آزاد می‌شود. سپس صفحه زیر جک را در محل پابند محکم کرده و گیج نیز در سمت دیگر تراورس در محل پابند محکم می‌گردد (شکل ۵ و ۶). پس از آن تنظیمات گفته شده برای صفحه کنترل را کامل کرده و با بستن شیر روغن بارگذاری آغاز می‌گردد. در ادامه مراحل نصب تجهیزات به طور مجزا آورده شده است. پس از انجام آزمایش با کمک دستگاه مورد اشاره ماکزیمم مقدار جابه‌جایی تراورس، نیروی مقاومت تراورس (P) برحسب کیلوگرم و نیروی مقاومت بالاست (F) برحسب کیلوگرم بر متر به دست می‌آید.



شکل ۵. گیج ثبت جابه‌جایی



شکل ۶. جک و تیغه به همراه صفحه تنظیم

۴- روش انجام آزمایش تراورس منفرد (آزمایش STPT)

در این آزمایش ریل به عنوان تکیه‌گاه عمل کرده و جابه‌جایی یک تراورس تحت اثر بار وارده بر آن اندازه‌گیری می‌شود. دقت کار در این روش بستگی به مهارت آزمایش‌کننده دارد چرا که اگر بالاست اطراف تراورس دست خورده شود و تراکم آن تغییر نماید، قطعاً نتایج آزمایش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این روش تراورس تنها پابندهای یک تراورس باز می‌شود و به تراورس به وسیله جک هیدرولیکی نیرو وارد می‌شود. این روش برای اندازه‌گیری مقاومت جانبی در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته که به وسیله دستگاه KS625N که مجهز به یک جک هیدرولیکی است به تراورس نیرو وارد می‌شود. دستگاه KS625N شامل یک پردازشگر، یک گیج فنری جهت اندازه‌گیری جابه‌جایی، یک جک هیدرولیکی (روغنی)، پمپ الکتریکی و یک مخزن روغن هیدرولیک و شلنگ انتقال فشار از پمپ به سیلندر هیدرولیکی می‌باشد. سیلندر هیدرولیکی نیز با قرار گرفتن روی یک پایه که بر روی تراورس نصب شده (با باز کردن پابندها و بستن پایه روی شولدر پابند پاندرول) و با وارد کردن نیرو به وسیله نوک فلزی به حالت عمود بر جان ریل تراورس را به طرف بیرون خط می‌کشد. در طرف دیگر تراورس نیز یک سنسور بر روی تراورس نصب می‌شود (مانند اتصال سیلندر هیدرولیکی) و نوک آن با پهلوی ریل دوم مماس شده و قبل از بارگذاری فشرده می‌گردد و با حرکت تراورس و بازگشت گیج مقدار جابه‌جایی تراورس نسبت به ریل اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۴. نحوه نصب اجزای دستگاه روی خط

شکل ۴ نحوه نصب اجزا دستگاه روی خط را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

جدول ۱. نتایج آزمایش مقاومت جانبی بر روی خط بدون تراورس اصطکاکی

تراورس معمولی		جابه‌جایی (mm)
مقاومت تراورس (kg)	مقاومت بالاست (kg/m)	
۰	۰	۰
۴۴۷	۳۷۲	۰/۵
۵۷۰	۴۷۷	۱
۶۵۱	۵۴۶	۱/۵
۷۰۱	۵۹۴	۲

۵- جزئیات خط آزمایش

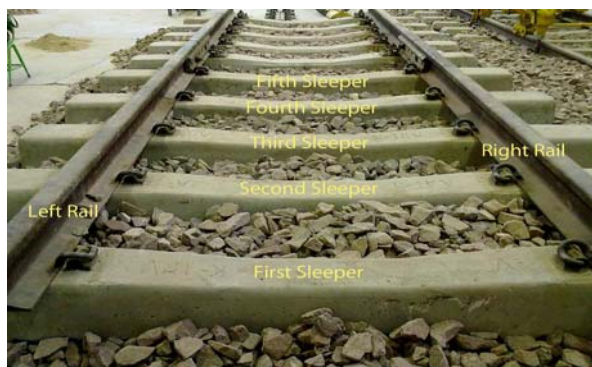
خط مورد نظر متشکل است از دو کوپلاژ ۳ متری که با صفحه اتصالی شش سوراخه به یکدیگر وصل شده‌اند. ریل‌ها از نوع UIC60 و تراورس‌ها B70 و فاصله آنها ۶۰ سانتی‌متر (هر کوپلاژ دارای ۵ تراورس می‌باشد) و تراورس‌ها تا نیمه در لایه بالاست قرار دارند. پابندهای مورد استفاده از نوع پاندرول و K و وسلو می‌باشند. ضخامت بالاست زیر تراورس ۳۰ سانتی‌متر و در طرفین (شانه) ۳۵ سانتی‌متر می‌باشد. بالاست از نوع بالاست مستعمل و جنس سنگ آن دولومیتی می‌باشد (فخاری، ۱۳۸۸).

۶- نتایج آزمایش‌های STPT

۶-۱- آزمایش اول- خط آهن با تراورس‌های معمولی

B70

در ابتدا دستگاه روی تراورس چهارم از کوپلاژ اول، با پابند پاندرول، نصب می‌شود تا مقاومت جانبی خط با تراورس‌های استاندارد B70 اندازه شود. ترتیب شماره‌گذاری تراورس‌ها در شکل ۷ مشخص شده و نتایج این آزمایش در جدول ۱ آمده است.



شکل ۷. شماره‌گذاری تراورس‌ها

جدول ۲. نتایج آزمایش مقاومت جانبی بر روی خط با یک تراورس

اصطکاکی B7-F

با یک تراورس اصطکاکی		جابه‌جایی (میلی‌متر)
مقاومت تراورس (کیلوگرم)	مقاومت بالاست (کیلوگرم بر متر)	
۰	۰	۰
۶۶۳	۵۵۲	۰/۵
۷۸۹	۶۶۱	۱
۸۱۹	۶۹۳	۱/۵
۸۷۳	۷۲۶	۲

۶-۲- آزمایش دوم- خط آهن با یک تراورس اصطکاکی

B70-F

در این مرحله از آزمایش، یکی از تراورس‌های معمولی خط با تراورس اصطکاکی تعویض می‌شود. ابتدا تراورس پنجم از کوپلاژ اول با تراورس اصطکاکی تعویض شده و با نصب دستگاه بر روی همان تراورس چهارم میزان مقاومت تراورس در برابر بیرون‌کشیدگی تعیین می‌شود. نتایج این آزمایش‌ها در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

با مقایسه میانگین مقاومت بالاست و تراورس نسبت به حالت قبل مشخص می‌شود که مقاومت تراورس و مقاومت بالاست ۲۱/۲۵ درصد رشد داشته است. این نتیجه نشان از تأثیرگذاری تراورس‌های مجاور در نتیجه آزمایش STPT دارد.

پژوهشنامه حمل و نقل، سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۲

که با تغییر تراورس‌های بعدی مقاومت جانبی کماکان افزایش می‌یابد ولی از نظر کمی از شدت افزایش آن کاسته شده است.

جدول ۴. نتایج آزمایش مقاومت جانبی بر روی خط با سه تراورس

B70-F اصطکاک

با سه تراورس اصطکاک		جابه‌جایی (میلی‌متر)
مقاومت تراورس (کیلوگرم)	مقاومت بالاست (کیلوگرم بر متر)	
۰	۰	۰
۷۰۵	۵۸۸	۰/۵
۸۶۱	۷۱۷	۱
۹۸۷	۸۲۲	۱/۵
۱۰۶۸	۸۹۱	۲

۶-۵- آزمایش پنجم - خط آهن با چهار تراورس

B70-F اصطکاک

بعد از تعویض دومین تراورس و انجام دوباره آزمایش، میزان مقاومت جانبی در خط با وجود چهار تراورس اصطکاک به دست آمد. نتایج آزمایش در جدول ۵ ارایه شده است.

با مقایسه میانگین مقاومت بالاست و تراورس نسبت به حالت قبل مشخص می‌شود که مقاومت بالاست ۲/۲ درصد و مقاومت تراورس ۲/۱ درصد رشد داشته است. همچنین با مقایسه این عدد با حالتی که در خط تراورس اصطکاک وجود ندارد، مقاومت بالاست ۵۱/۷۵ درصد و مقاومت تراورس ۵۱/۷ درصد رشد داشته است.

جدول ۵. نتایج آزمایش مقاومت جانبی بر روی خط با چهار

B70-F اصطکاک

با چهار تراورس اصطکاک		جابه‌جایی (میلی‌متر)
مقاومت تراورس (کیلوگرم)	مقاومت بالاست (کیلوگرم بر متر)	
۰	۰	۰
۷۰۸	۵۹۱	۰/۵
۸۴۹	۷۰۵	۱
۹۵۱	۷۹۲	۱/۵
۱۰۹۲	۹۰۹	۲

۶-۳- آزمایش سوم - خط آهن با دو تراورس اصطکاک

B70-F

حالت تراورس چهارم از کوپلاژ اول نیز با تراورس اصطکاک تعویض می‌شود و دوباره با نصب دستگاه روی تراورس چهارم آزمایش تکرار می‌شود، نتایج به دست آمده در جدول ۳ مشاهده می‌شود. با مقایسه میانگین مقاومت بالاست و تراورس نسبت به حالت قبل مشخص می‌شود که مقاومت تراورس ۱۸/۰۴ درصد و مقاومت بالاست ۱۸/۱۴ درصد رشد داشته است. همچنین با مقایسه این عدد با حالتی که در خط تراورس اصطکاک وجود ندارد مقاومت تراورس ۴۳/۱۲ درصد و مقاومت بالاست ۴۳/۲۵ درصد رشد داشته است.

جدول ۳. نتایج آزمایش مقاومت جانبی بر روی خط با دو تراورس

B70-F اصطکاک

با دو تراورس اصطکاک		جابه‌جایی (میلی‌متر)
مقاومت تراورس (کیلوگرم)	مقاومت بالاست (کیلوگرم بر متر)	
۰	۰	۰
۶۴۲	۵۳۷	۰/۵
۷۸۳	۶۵۴	۱
۹۵۷	۷۹۵	۱/۵
۱۰۲۹	۸۵۸	۲

۶-۴- آزمایش چهارم - خط آهن با سه تراورس

B70-F اصطکاک

بعد از تعویض سومین تراورس با تراورس اصطکاک و نصب دوباره دستگاه روی تراورس چهارم این بار مقاومت خط با وجود سه تراورس اصطکاک اندازه گرفته شد. نتایج آزمایش در جدول ۴ ارایه شده است.

با مقایسه میانگین مقاومت بالاست و تراورس نسبت به حالت قبل مشخص می‌شود که مقاومت تراورس ۳/۷ درصد و مقاومت بالاست ۳/۶ درصد رشد داشته است. هم چنین با مقایسه این عدد با حالتی که در خط تراورس اصطکاک وجود ندارد مقاومت تراورس ۴۸/۵۴ درصد و مقاومت بالاست ۴۸/۵ درصد رشد داشته است. نتیجه این مرحله و مرحله قبل مؤید آن است

۶-۷- مقایسه نتایج آزمایش‌ها و تفسیر آنها

مقایسه مقدار مقاومت خط آهن با پنج تراورس اصطکاکی با حالتی که در خط تراورس اصطکاکی وجود ندارد، به روشنی دیده می‌شود که مقاومت بالاست ۵۹/۲۵ درصد و مقاومت تراورس ۵۹/۱ درصد رشد داشته است. نتایج به دست آمده از آزمایش پس از هر تعویض تراورس به طور خلاصه در جدول ۷ و شکل ۸ نشان داده شده است.

در نمودار شکل ۸ روند افزایش مقاومت بالاست و تراورس با افزایش تعداد تراورس‌های اصطکاکی نشان داده شده است. با توجه به نمودار متوجه می‌شویم که بعد از اضافه شدن سه تراورس اصطکاکی به خط، شیب افزایش مقاومت کم شده و تقریباً ثابت می‌شود. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که حداقل دو تراورس مجاور تأثیر قابل ملاحظه‌ای در نتایج آزمایش‌ها دارد. بنابراین، نتایج آزمایش STPT تابعی از نوع تراورس‌هاست و مستقل از آنها نمی‌باشد. توصیه می‌شود حداقل ۵ تراورس هم نوع در انجام آزمایش مذکور مورد استفاده قرار گیرد. عوامل دیگری از قبیل تراکم لایه بالاست؛ ضخامت لایه بالاست؛ عرض شانه و ... نیز تأثیرگذار است که در انجام آزمایش‌های فوق تقریباً شرایط یکنواخت در نظر گرفته شده است.

۶-۶- آزمایش ششم - خط با پنج تراورس اصطکاکی

B70-F

اکنون اولین تراورس خط نیز با تراورس اصطکاکی تعویض شده و باز هم با نصب دستگاه بر روی تراورس چهارم مقاومت جانبی خط با پنج تراورس اصطکاکی اندازه‌گیری می‌شود. نتایج آزمایش در جدول ۶ ارایه شده است.

جدول ۶. نتایج آزمایش مقاومت جانبی بر روی خط با پنج تراورس

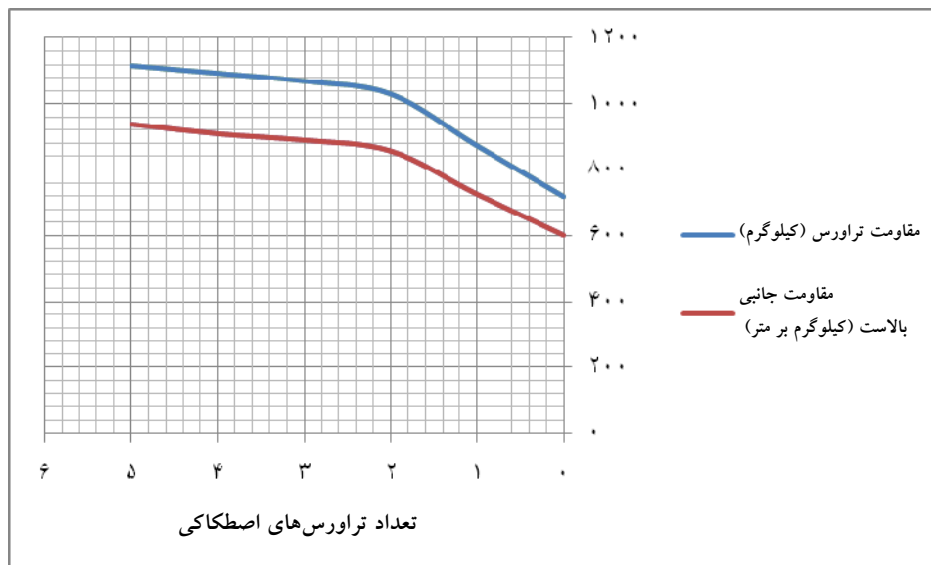
اصطکاکی B70-F

با پنج تراورس اصطکاکی		جابه جایی (میلی متر)
مقاومت تراورس (کیلوگرم)	مقاومت بالاست (کیلوگرم بر متر)	
۰	۰	۰
۶۸۱	۵۶۷	۰/۵
۸۴۹	۷۰۸	۱
۹۸۷	۸۲۲	۱/۵
۱۱۱۶	۹۴۰	۲

با مقایسه میانگین مقاومت بالاست و تراورس نسبت به حالت قبل مشخص می‌شود که مقاومت بالاست ۴/۹۴ درصد و مقاومت تراورس ۴/۹۴ درصد رشد داشته است.

جدول ۷. خلاصه نتایج آزمایش سنجش مقاومت جانبی بر روی خط با تراورس اصطکاکی و خط با تراورس معمولی

نوع خط آهن	مقاومت تراورس (کیلوگرم)	مقاومت بالاست (کیلوگرم بر متر)
خط بدون تراورس اصطکاکی	۷۲۰	۶۰۱
خط با یک تراورس اصطکاکی	۸۷۳	۷۲۶
خط با دو تراورس اصطکاکی	۱۰۲۹	۸۵۸
خط با سه تراورس اصطکاکی	۱۰۶۸	۸۹۱
خط با چهار تراورس اصطکاکی	۱۰۹۲	۹۱۰.۵
خط با پنج تراورس اصطکاکی	۱۱۱۵	۹۴۰



شکل ۸. مقاومت بالاست و تراورس در برابر تعداد تراورس اصطکاکی

۷- نتیجه گیری

پایداری جانبی خط آهن به مقاومت جانبی تراورس‌ها، بالاست و پابندها بستگی دارد. حذف درزها و جوشکاری آنها باعث به وجود آمدن نیروی‌های طولی در ریل‌ها می‌گردد که خطر کمانش خط آهن را به دنبال دارد. بدین منظور صاحب‌نظران راه آهن؛ روش‌های مختلفی را جهت افزایش مقاومت جانبی خط پیشنهاد کرده‌اند. در این مقاله، تراورس‌های اصطکاکی با سطح زیرین دنداندار (B70-F) معرفی شده و تأثیر این نوع تراورس‌ها در افزایش مقاومت جانبی خط بررسی شده است. همچنین تعدادی آزمایش بر روی تراورس‌های (B70) با سطح زیرین صاف و اصطکاکی (B70-F) صورت گرفته و نتایج به دست آمده نشان می‌دهد حدوداً ۵۹ درصد افزایش در مقاومت جانبی به وجود می‌آید. همچنین نتایج به دست آمده نشان دادند که حداقل ۵ تراورس هم نوع در انجام آزمایش STPT مورد استفاده قرار گیرد تا نتایج آنها تحت تأثیر توزیع تراورس قرار نگیرد. بدین ترتیب برای قوس‌های با شعاع ۲۵۰ متر تا ۴۰۰ متر که عملاً جوشکاری صورت نمی‌گیرد، می‌توان با استفاده از تراورس‌های اصطکاکی این مشکل را حل کرده و با حاشیه ایمنی کافی نسبت به جوش درزها اقدام کرد.

۸- مراجع

- براتی، م. (۱۳۸۹) "تأثیر نیروهای قائم بر افزایش مقاومت جانبی خط آهن"، سمینار کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
- فخری، م. (۱۳۸۸) "بررسی آزمایشگاهی تأثیر تراورس اصطکاکی بر روی میزان افزایش مقاومت جانبی خط آهن"، پایان‌نامه کارشناسی، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
- ذاکری، ج.ع. و میرفتاحی، ب. (۱۳۸۹) "مطالعه میدانی مقاومت جانبی خط با استفاده از روش جابه‌جایی پانل خط"، همایشنامه دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل و نقل ریلی ۲-۳ آبان، تهران.
- Dogneton, P. (1978) "The experimental determination of the axial and lateral track-ballast resistance", proceedings of railroad track mechanics and technology, USA.
- ERRI (1998) "Measurement of lateral resistance characteristics for ballast track." Report D 202/DT 361, Utrecht, Netherlands.
- Esveld, C. (2001): "Modern railway track", Second edition, TU-Delft.

- sleepers", Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport Journal, Vol. 165, Issue 2, pages 151–155.
- Zakeri, J. A., Mir Fattahi, B. and Fakhari, M. (2010) "Field and laboratory Investigation on the lateral resistance of sleepers by employing STPT test", CD proceeding. First International Conference on Road and Rail Infrastructure, Croatia, 2010.
 - Zakeri J. A. (2010) "Frictional concrete sleeper and its influence on the lateral resistance of track", Research Report 160/5776, Iran University of Science and Technology.
 - Zakeri J. A. (2012) "Lateral resistance of Railway track", Chapter 13 from " Reliability and Safety in Railway "Book; Edited by Xavier Perpinya, InTech - Open Access Publisher.
 - Koc W., Wilk, A., Chrostowski P. and Grulkowski S. (2011) "Tests on lateral resistance in railway tracks during the operation of a tamping machine", Proc. IMechE Part F: J. Rail and Rapid Transit Vol. 225, pp. 325-340.
 - Lichtberger, B. (2007) "The lateral resistance of the track." European Railway Review, Issue 3&4.
 - Nam-Hyoung, L., Nam-Hoi, P., Young-Joung, K. (2003) "Stability of continuous welded rail track." Computers and Structures, Vol. 81.
 - Nordal S. R. and Løhren, A. H. (2003) "Concrete friction sleeper for increased lateral track resistance", International Conferences on railway engineering, London, UK.
 - Zakeri J. A., Mirfattahi, B. and Fakhari M. (2012) "Lateral resistance of railway track with frictional

Experimental Investigation of Frictional Sleeper Effect on the Lateral Resistance of Railway Track

J. A. Zakeri, Assistant Professor, Department of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

M. Fakhari, M.Sc. Student, Department of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: zakeri@iust.ac.ir

Received: November 2013 - Accepted: February 2014

ABSTRACT

Welding rail joints in Curves with radius less than 400 meters is not applicable. Consequently, maintenance costs in many old-fashioned railway tracks increases rapidly. Moreover, destruction of track components, plastic deformation and critical cracks to the rail head, fractures in sleepers, failure in fasteners, ballast bed damage and lateral movement of railway track occur in rail joints. There are many methods to increase the lateral resistance of the railway track such as changing the type of sleepers, changing sleeper intervals and employing new technologies. The new frictional sleeper is designed with cross-wise ridges at the underside to utilize more of the high internal friction potential of the crushed stone ballast by forming a coarse toothing with adequate dimensions.

Since the lateral resistance of a standard mono block concrete sleeper in a ballast bed mainly consists of the frictional forces between the ballast stones and the sleeper bottom, this article will investigate the changes in lateral resistance of railway track by employing STPT test on frictional sleeper and comparing the results with standard sleeper.

An experiment has been directed on a track with and without frictional sleepers in SRE LAB-IUST and it has been found that the lateral resistance of the railway track increases %59.1 by using frictional sleepers. According to the test results rail joints in curves with radius less than 400 meters can be welded by employing frictional sleepers.

1- Introduction

To increase speed limit for railway tracks is applicable by welding rail joints and employing Continues welded rails (CWR). Unfortunately, there are a lot of curves with radius less than 400 m in most old-fashioned railway tracks. Field investigations show that the lateral resistance of the railway track is not adequate for welding rail joints in mentioned railway tracks. In fact, omitting rail joints causes huge longitudinal forces in rail leading to track lateral movement. There are many methods to increase the lateral resistance of the railway track such as employing winged sleeper, dual block sleepers, sleeper anchoring, frictional sleeper, Xi Track method and This paper investigates one of these methods, employing frictional sleeper, by conducting an experiment on a special frictional sleeper designed for this purpose. At first, lateral resistance of the railway track and its components will be discussed

then the experiment on a track with and without frictional sleepers which has been directed in SRE LAB-IUST will be explained.

Lateral resistance of the railway track generally consists of two components: the lateral resistance provided by ballast for the single sleeper and rail bending stiffness and fasteners torsional stiffness in the horizontal plane. The rail resistance and fastener resistance are often very small and the rail contribution becomes zero during buckling since the rail produces the force causing the lateral movement. The resistance between a standard mono block concrete sleeper and the ballast bed mainly consists of three components: F_b , friction at the bottom, F_c , friction on the sides (crib zone) and F_s , passive pressure at the end of the sleeper (shoulders), (figure 1).

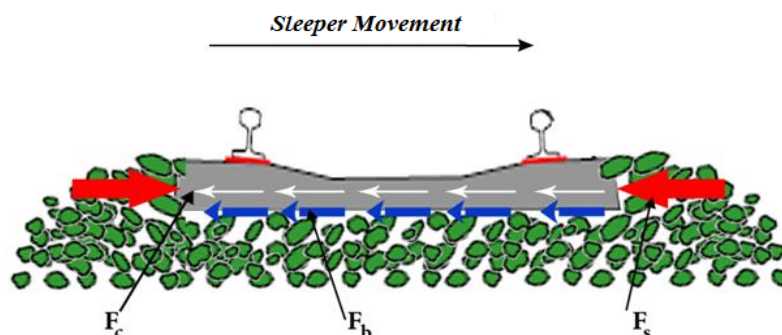


Figure 1. Sleeper resistance factor in a ballast bed

The bottom resistance is a force which overcomes frictional resistance. The frictional force, of course, depends on the sleeper weight and the friction coefficient. Frictional resistance on the sides of the sleeper under a normal force caused by lateral ballast pressure causes the crib resistance. This resistance increases directly by the depth of ballast in the crib. The contact between ballast particles and the sides of the sleeper reduces in a timely manner. The crib contribution, consequently, will be reduced or omitted. Passive pressure resistance at the shoulders mostly depends on the shoulders geometry which prevents sleeper movement caused by the ballast shear force. The shoulder contribution also increases directly with the height of the shoulder above the sleeper bottom and the shoulder width.

2- Conclusion

The lateral stability of the railway track depends on the lateral resistance of the sleepers, ballast bed and fastening systems. Omitting and welding rail joints cause huge longitudinal forces in the rails leading to the rail buckling. Consequently, professionals have suggested different method to increase railway track lateral resistance. This study introduces a new frictional sleeper with a course tothing surface at the bottom. Employing this frictional sleeper increases the railway track lateral resistance by exploiting high internal friction potential of ballast stones. In this study, laboratory tests were directed on the frictional sleeper and the test results indicated that employing frictional sleeper increases the lateral resistance of the railway track by approximately 59%. Consequently, rail joints in curves with radius less than 400 meters can be welded by employing frictional sleepers instead of ordinary sleepers.

Keywords: Railway Track, Ballasted Track, Lateral Resistance, Sleeper, Rail Joints, Conventional Railways