بررسی میدانی تأثیر صفحات لاستیکی زیر تراورس در مقاومت جانبی خطوط راه آهن

آرمین منیر عباسی[1*]، اسماعیل شاهرخی نسب[2]، جبارعلی ذاکری[3]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
۳- دانشیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

صفحه لاستیکی زیر تراورس در مناطق متعددی از جمله مناطقی که بایستی انتقال ارتعاشات به محیط اطراف محدود شود مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر تمامی مزایا، این عناصر در زمینه کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری خط، بهبود هندسه خط، کاهش ضخامت بالاست مورد نیاز ، کاهش ارتعاشات و سر و صدای ناشی از عبور ناوگان ریلی و غیره مؤثر باشد. طبق بررسی‌های انجام شده در سطح بین المللی در خصوص ارزیابی‌های مربوط به تأثیر این صفحات در مقاومت جانبی خط، نشان می‌دهد که عوامل گوناگونی در مقاومت جانبی خط مؤثر می‌باشد که از آن جمله می‌توان به به کیفیت تماسی و تراکم دانه‌های بالاست، اندازه عرض شانه بالاست، ضخامت بالاست و فاصله بین تراورس‌ها اشاره کرد. بنابراین استفاده از پدهای ارتجاعی بویژه در مسیرهای با قوس‌های تند که در آنها موضوع مقاومت جانبی خط حائز اهمیت می‌باشد، مستلزم روشن بودن تأثیر این المان در مقاومت جانبی خط می‌باشد. به همین منظور در این مقاله مقاومت جانبی خط به کمک روش تراورس منفرد و تجهیزات مربوط به آن به صورت میدانی اندازه‌گیری و ارائه شده است. در این پژوهش برای بررسی مقاومت جانبی خط از ۱۵۰ عدد پد زیر تراورس پلی اورتانی کمپانی گتزنر اتریشی با دو سختی متفاوت استفاده شده است. نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی انجام شده در این زمینه نشان داد که استفاده از پدهای الاستیک سخت در زیر تراورس سبب افزایش ۹/٦ درصدی مقاومت جانبی خط می‌گردند و استفاده از نوع نرم آنها در زیر تراورس، سبب کاهش ۲/٥٤ درصدی مقاومت جانبی خط می‌شوند و این در حالی است که با کاهش سختی پدها نرخ کاهش مقاومت جانبی خط افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: روسازی بالاستی، مقاومت جانبی خط آهن، صفحات لاستیکی زیر تراورس، ارتعاشات محیطی

*نویسنده مسئول: آرمین منیر عباسی.
پست الکترونیکی: monirabbasi@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹٤/۰۳/۱۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹٤/۱۰/۱۹

۱- مقدمه

با روند عبور قطار و ایجاد نیروهای دینامیکی و استاتیکی بر روی سیستم ریلی، به دلیل حذف خلل و فرج بین دانه‌های بالاست، در زیر تراورس نشست‌هایی ایجاد می‌شود که معمولاً در دو سر تراورس حداکثر هستند و در اثر این نشست‌ها علاوه بر افزایش، سختی خط نیز افزایش می‌یابد. اغلب تغییر مکان‌های بوجود آمده ناهمگن بوده و با افزایش تعداد سیکل‌های بارگذاری این وضعیت تشدید می‌گردد و علاوه بر کاهش راحتی سفر باعث افزایش نرخ زوال خط می‌شود. به همین منظور برای مقابله با این مشکل و برای تأمین اطمینان و راحتی سفر، یا باید سرعت عبوری قطار را محدود کرد و یا باید مقدار بار محوری را کاهش داد و یا اینکه مدت زمان بین دوره‌های تعمیر و نگهداری را کاهش داد که همه‌ی این موارد سبب صرف هزینه‌های بیشتر می‌گردد [۱].

به مرور زمان با افزایش سرعت عبوری و همچنین افزایش بار محوری، نرخ زوال خط افزایش می‌یابد که این امر سبب افزایش سختی مدول ریل و صرف هزینه بیشتر جهت تعمیر و نگهداری خط می‌گردد. بعضی از قسمت‌های خط آهن، تحت تأثیر تغییر سختی خط می‌باشند از جمله سوزنها، تراورسهای شناور و خاکریزها و پل‌ها و... افزایش سختی قائم سبب ایجاد نیروی تماسی بزرگتری بین چرخ و ریل می شود و همچنین باعث افزایش نرخ زوال خط می‌شود [۳-۱].

با توجه به مسائل و مشکلات مطرح شده به نظر می‌رسد که یک راه مناسب جهت مقابله با این مشکلات تغییر مشخصات دینامیکی سیستم قطار و ریل می‌باشد، به این ترتیب که با تغییر دادن سختی کل سیستم با کمک اجزای الاستیک می‌توان توزیع مناسب‌تری برای بارها ایجاد کرد و در نتیجه میزان نشست هم کاهش میابد و علاوه بر این مورد، این اجزا نقش بسزایی در کاهش ارتعاشات و سر و صدای ناشی از عبور قطار و در نتیجه راحتی سفر دارند [٦-٤].

برای تغییر در میزان سختی خط عموماً از سیستم های جاذب انرژی استفاده می‌کنند که از میان آنها می توان پدهای الاستیک در زیر ریل ، زیر تراورس و زیر بالاست را نام برد. در واقع کار این پدها کاهش اثر متغیر بودن سختی درتماس چرخ و ریل می‌باشد و همچنین باعث توزیع بار قطار در یک سطح بزرگتر از بالاست می‌گردند. استفاده از این پدها علاوه بر عملکرد میراکنندگی انرژی، در سایر معیارهای مکانیکی خط نظیر سختی و مقاومت جانبی تأثیر گذار است. مقاومت ایجاد شده بین تراورس و بالاست جهت تأمین مقاومت جانبی خط را می توان به ۳ بخش تقسیم کرد:

الف) مقاومت اصطکاکی در زیر تراورس F_b

ب) مقاومت اصطکاکی کناره های تراورس F_s

ج) مقاومت اصطکاکی انتهای تراورس (بالاست شانه) Fe

در هر یک از موارد اخیر الذکر، نوع تراورس، نوع بالاست، دانه بندی بالاست، ضخامت بالاست و مقاومت ایجاد شده بین تراورس و بالاست مؤثر می باشد. اصطکاک زیر تراورس تحت تأثیر نوع تراورس، وزن و بار قائم می باشد. مقاومت بالاست شانه بیشتر به هندسه شانه وابسته است، چرا که شانه بالاست از حرکت تراورس در اثر نیروی برشی بالاست جلوگیری می‌کند. مقاومت اصطکاکی در اطراف تراورس نیز به طول تراورس و مقدار ارتفاعی از تراورس که در بالاست فرو رفته بستگی دارد.

از مهمترین مطالعات مرتبط با مقاومت جانبی خط می‌توان به پروژه‌ی اتحادیه بین المللی راه آهن (UIC) که بر روی خصوصیات و تأثیرات صفحات لاستیکی زیر تراورس انجام گرفته است، اشاره نمود. این پروژه شامل اندازه‌گیری‌های میدانی است که طی آن کیفیت هندسی خط، تغییر مکان قائم خط و مقاومت جانبی خط برای قسمتی از خط که مجهز به ۵ نوع پد زیر تراورس با سختی‌های گوناگون می‌باشد، انجام شده است. اندازه‌گیری مقاومت جانبی در این تست به کمک روش تراورس منفرد انجام شده است. نتیجه این مطالعه به این صورت بوده است که استفاده از پدهای الاستیک زیر تراورس در تمام حالات (سختی‌های استاتیکی گوناگون) کمتر از حالتی است که از پدهای زیر تراورس استفاده نشده است و این کاهش مقاومت (بین ۸ تا ۱۵ درصد) با کاهش سختی پدها افزایش می‌یابد [۲].

از دیگر مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر صفحات لاستیکی زیر تراورس در مقاومت جانبی خط می‌توان به مطالعات میدانی انجام شده در کشور آلمان، مطالعات میدانی شرکت SATEBA زیر نظر اتحادیه بین المللی راه آهن و همچنین مطالعات آزمایشگاهی انجام شده در دانشگاه زاگرب کرواسی اشاره نمود که نتایج حاصل از آنها به قرار زیر می‌باشد:

- مقاومت جانبی خط بر اساس اندازه‌گیری انجام شده در کشور آلمان بر روی دو پد زیر تراورس با سختی‌های استاتیکی ۷۰ و ۳۰ (کیلونیوتن بر میلیمتر) نشان داده است که میزان مقاومت جانبی تراورس‌های بدون پد تقریباً در حدود مقاومت جانبی تراورس‌های مجهز به این پدها می‌باشد با این تفاوت که در تراورس‌های مجهز به پد سخت مقدار مقاومت جانبی خط٦ درصد بیش از تراورس‌های بدون پد می‌باشد و مقاومت جانبی تراورس‌های مجهز به پد نرم نیز ۳ درصد کمتر از مقاومت جانبی تراورس‌های بدون پد می‌باشد [۷]. لازم به ذکر است که در کتب فنی منظور از مقاومت جانبی، مقدار نیروی جانبی متناظر با تغییر مکان ۲ میلیمتر تراورس می‌باشد. به همین دلیل مقدار نیروی متناظر با تغییر مکان ۲ میلیمتر مبنای مقایسه مقاومت جانبی قرار می‌گیرد.
- نتایج بررسی‌های انجام شده در شرکت SATEBA که زیر نظر اتحادیه بین المللی راه آهن در سال ۲۰۰٦ انجام شده است، نیز حاکی از افزایش ۹ درصدی مقاومت جانبی خط در صورت استفاده از پد زیر تراورس می‌باشد [۸].
- علاوه بر دو مورد اشاره شده، پروژه‌ی دیگری در زمینه تأثیرات صفحات لاستیکی زیر تراورس در دانشگاه زاگرب کرواسی به صورت آزمایشگاهی تعریف شده است. در این مدلسازی آزمایش مقاومت جانبی نیز علاوه بر اثرات ارتعاشی اندازه گیری شده است [۱۰-۹].

نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده در این زمینه نیز نشان می‌دهد که استفاده از پدهای زیر تراورس سبب افزایش مقاومت جانبی خط می‌شود. بنابراین همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر پدهای زیر تراورس در مقاومت جانبی خط محدود بوده و نتایج نسبتاً پراکندگی دارند. به نظر می‌رسد این پراکندگی ناشی از عوامل متعدد و تأثیر گذاری نظیر جنس بستر، سختی ارتجاعی پابندها، نوع پابندها، بارگذاری، ضخامت بالاست، نوع تراورس استفاده شده و غیره می‌باشد. به همین منظور بررسی این مسأله به کمک روش تراورس منفرد جهت روشن شدن تأثیر این صفحات در مقاومت جانبی خط ضروری است [۹].

۲- روش تحقیق

۲-۱ کلیات

آزمایش‌های مقاومت جانبی خط چندین دهه است که در کشور های مختلف دنیا انجام می گیرد. گزارش های داخلی راه آهن انگلیس حاکی از آن است که این آزمایش‌ها حداقل از سال ۱۹۵۸ در این کشور صورت می‌گرفته است. اگرچه ، مستند سازی ضعیف راه آهن انگلستان سبب شده که دسترسی به نتایج مشکل شود، با این حال، تعدادی از این گزارش‌ها در مطبوعات و مجلات علمی منتشر شده است، در هر حال از نظر تماس بالاست-تراورس، نقص‌های زیادی در نوع روش‌های آزمایش و ناپیوستگی گزارش‌ها موجود می‌باشد، مقایسه این روش‌ها با هم کمی با تردید می‌باشد و علت آن عدم وجود شرایط مشترک بین آنها است [۱۱], [۱۰],[۲].

پروژه‌های معدودی با هدف تعیین اثر پدها در مقاومت جانبی خط انجام شده است که عمدتاً به دلیل متفاوت بودن روش‌های اندازه‌گیری مقاومت جانبی خط، شرایط خط و بالاست (شامل جنس بالاست، ضخامت بالاست و عرض شانه بالاست) و سایر مسائل تأثیر گذار در مقاومت جانبی خط، نتایج مختلف و متفاوتی را در بر داشته‌اند [۱٤-۱۳]. در این پروژه‌ها از روشهای مختلفی برای اندازه‌گیری مقاومت جانبی خط استفاده شده است که شامل روش‌های زیر می‌باشند:

۱–روش تراورس منفرد[1]

۲–روش جابجایی پانل خط[2]

۳– روش جابجایی مکانیکی خط[3]

٤– روش استفاده از واگن خارج شده خط [4]

۵– روش اندازه‌گیری پیوسته دینامیکی مقاومت جانبی[5]

بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه اندازه‌گیری مقاومت جانبی خط به کمک آزمایش تراورس منفرد انجام گرفته است و در این مطالعه نیز جهت ارزیابی مقاومت جانبی خط از این روش استفاده شده است. در این آزمایش کلیه اجزاء پابندهای یک تراورس باز می‌شوند و سپس با وارد کردن نیرو از یک طرف به تراورس و ثبت جابه‌جایی در طرف دیگر منحنی نیرو در برابر تغییر مکان هر تراورس ترسیم می‌شود [۱۱–۱۲]. در شکل ۱ تصویر کلی از آزمایش تراورس منفرد ارائه شده است.

شکل۱ : آزمایش تراورس منفرد(STPT)[۲].

۲–۲–متدولوژی تحقیق

متدولوژی تحقیق مشتمل بر سه قسمت است:

۱. روش انجام آزمایش میدانی
۲. آماده سازی خط تست و تشریح آن
۳. انجام آزمایش تراورس منفرد در محل

۲–۲–۱– روش انجام آزمایش میدانی

در این تحقیق ابتدا مطابق با مطالعات صورت گرفته قبلی ۱۵۰ عدد پد الاستیک زیر تراورس با دو سختی متداول استاتیکی متفاوت ۰/۳ و ۰/۱۳ نیوتن بر میلیمتر مکعب، با همکاری شرکت GETZNER اتریش (از تولید کنندگان معتبر پدهای ارتجاعی و پوشش‌های الاستومری) جهت انجام پروژه‌های تحقیقاتی وارد ایران شد. سپس جهت اتصال به تراورس‌ها به کارخانه تولید تراورس شاهرود انتقال یافتند و پس از بتن ریزی به صورت درجا به قسمت انتهایی تراورس‌ها متصل شدند. لازم به ذکر است هدف از انتخاب این دو سختی برای پدهای زیر تراورس ایجاد امکان مقایسه عملکرد سختی‌های متفاوت پدها در مقاومت جانبی خط بوده است.

1- Single Sleeper Method
2- Panel Displacement Method
3- Mechanical Track Displacement Method
4- Using a derailment wagon
5- Continuous dynamic measurement of lateral resistance

لازم به ذکر است که ساختار این پدها دارای یک شبکه مش مانند جهت ایجاد درگیری و اتصال با بتن تازه می‌باشد که در زمان اتصال به تراورس قسمت مش‌دار با بتن تازه در گیر شده و پس از سخت شدن بتن اتصال مناسبی با تراورس ایجاد می‌نماید. شکل کلی این صفحات و همچنین اتصال انها به تراورس در شکل۲ نشان داده شده است [۵]. مشخصات فیزیکی این پدها در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

شکل۲ : اتصال پدها در زمان بتن ریزی به سطح پایینی تراورس‌ها در کار خانه تولیدی-شکل کلی پدها.

جدول۱ : مشخصات فیزیکی پدها

مشخصات پد مورد استفاده	SLB 3007 G-پد سخت	SLS 1308 G-پد نرم
سختی استاتیکی(N/mm^3)	۰/۳	۰/۱۳
ضخامت (mm)	۷	۸
ضخامت همراه با مش(mm)	۱۲	۱۲
وزن (Kg/m^2)	۳	۷
تعداد مورد استفاده	۵۰	۱۰۰

پس از گذشت مدت زمان مناسب برای به مقاومت رسیدن بتن، تراورس‌ها برای بهره‌برداری و نصب در خط اصلی انتقال یافتند. جهت آزمایش‌های مورد نظر کیلومتر ۲۵۳ خط تهران-مشهد که دسترسی مناسبی برای انتقال تجهیزات نیز داشت، انتخاب گردید. مشخصات و خصوصیات مسیر انتخابی به شرح زیر می باشد:

- نوع ریل : UIC 60
- نوع تراورس : B70 تیپ وسلو
- فاصله تراورس‌ها : ٦٠ سانتیمتر
- اندازه شانه بالاست : ۵۰ سانتیمتر
- وضعیت تراورس‌ها : مغروق در بالاست
- سرعت سیر قطار: ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت

برای جایگزین نمودن این تراورس‌ها ابتدا تراورس‌های قدیمی از روی خط برداشته و سپس تراورس‌های جدید جایگزین تروارس‌های قدیمی شدند.

شکل۳ : جایگذاری تروارس‌های مجهز به پد زیر تراورس.

نحوه چینش تراورس‌ها نیز به گونه‌ای بود که ابتدا ۲۵ تراورس مجهز به پد سخت، سپس ۱۰۰عدد تراورس مجهز به پد نرم و در نهایت ۲۵ عدد تراورس باقیمانده مجهز به پد سخت در طول خط و به صورت پشت سر هم قرار گرفتند. به عبارتی از ۱۵۰ تراورس جابه‌جا شده، ۱۰۰ تراورس دارای پد نرم و ۵۰ تراورس دارای پد سخت بوده‌اند. لازم به ذکر است که انتخاب تعداد و چیدمان پدها بر اساس محدودیت‌های اجرایی نظیر مسدود کردن خط در حال بهره‌برداری، تعداد پدهای وارد شده و غیره بوده است. بعد از این مرحله به منظور آماده سازی و بهره‌برداری از مسیر از ماشین زیرکوب و پایدار ساز استفاده گردد. در این مرحله مسیر قابل بهره‌برداری بوده و امکان عبور قطارهای مسافری و باری فراهم گردید. در این مرحله در حدود دو ماه جهت تثبیت بیشتر سیستم روسازی از مسیر بهره‌برداری گردید و سپس آزمایش‌های میدانی بر روی این بازه انجام پذیرفت. در این بررسی نیز برای یکسان بودن روش اندازه‌گیری مقاومت جانبی با تحقیقات انجام شده قبلی، از روش تراورس منفرد استفاده شده است که جزئیات مربوط به آن در زیر ارائه می‌شود.

۲-۲-۲-آماده سازی خط و مقدمات آزمایش تراورس منفرد

به دلیل اینکه تراورس‌های این خط ازتیپ وسلو می‌باشند و تجهیزات آزمایش تراورس منفرد فقـط بـر روی تراورس تیپ پاندرول نصب می‌گردند، لذا به منظور انجام این آزمایش، ٤ قطعه واسطه جهت اتصال دستگاه اندازه‌گیری مقاومت جانبی برای تراورس‌های B70 تیپ وسلو موجود طراحی و ساخته شد که در ادامه جزئیات مربوط به آن ارائه می‌شود (شکلهای ۵ و ٦).

علاوه بر این برای اعمال نیرو توسط جک، وجود تکیه‌گاه مناسب ضروری بود، در همین راستا تکیه‌گاه‌های متعددی برای انجام تست در کنار خط ساخته شد. بعد از تهیه مقدمات مورد نیاز آزمایش‌ها آغاز گردید. در این روش، ابتدا پابندها باز شده و سپس به وسیله جک هیدرولیکی به تراورس نیرو وارد می‌شود. برای اندازه گیری مقاومت جانبی، به وسیله دستگاه KS625N که مجهز به یک جک هیدرولیکی است، بـه تـراورس نیرو وارد می شود.

شکل٤ : ساخت تکیه گاه برای اعمال بار(سمت راست) و قطعه واسطه ساخته شده و نصب آن (سمت چپ).

دستگاه KS625N شامل یک پردازشگر، یک گیج جهت اندازه گیری جابجایی، یک جک هیدرولیکی، پمپ الکتریکی و یک مخزن روغن هیدرولیک و شلنگ انتقال فشار از پمپ به سیلندر هیدرولیکی می باشد. جک هیدرولیکی نیز با قرار گرفتن روی یک پایه که بر روی تراورس نصب شده (با باز کردن پابندها و بستن قطعه‌ی واسطه به جای پابند وسلو و بستن پایه روی این قطعه) و با وارد کردن نیرو به قطعه‌ی واسطه، 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 جان ریل دوم مماس شده که قبل از بارگذاری فشرده می‌گردد و با حرکت تراورس و بازگشت گیج مقدار جابجایی تراورس نسبت به ریل اندازه گیری می‌شود. دستگاه پس از وارد کردن بار در هر ۰/۵ میلی متر جابجایی نیروی متناظر آن را ثبت و پس از انجام آزمایش بر روی یک نوار کاغذی چاپ می‌کند. لازم به ذکر است در اینجا حداکثر جابجایی به اندازه ۲ میلی متر تنظیم شده است.

۲-۲-۳-انجام آزمایش تراورس منفرد در محل

بر اساس توضیحات ارائه شده، این آزمایش بر روی سه دسته از تراورس‌ها انجام شد:

۱- پانل با تروارس‌های مجهز به پدهای الاستیک نرم

۲-پانل با تراورس‌های مجهز به پدهای الاستیک سخت

۳-پانل با تراورس‌های بدون پد الاستیک

به طور متوسط آزمایش تراورس منفرد به جهت کاهش خطاهای انسانی بر روی سه الی چهار تراورس از هر گروه انجام پذیرفته است که در ادامه نتایج مربوط به آنها ارائه می‌گردد.

شکل۵ : اتصال پایه جک با کمک قطعه واسطه به تراورس.

شکل٦ : تغییر مکان سنج دستگاه STPT.

۳- نتایج آزمایش

نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی تراورس‌ها به صورت جداول ۲ تا ۵ می‌باشد که بر اساس آنها نمودار نیرو بر حسب جابه‌جایی برای آنها ترسیم شده است و در نهایت با یکدیگر مقایسه می‌شوند:

جدول۲ : نتایج آزمایش STPT (Csta=0.13 N/mm3)

آزمایش اندازه‌گیری مقاومت جانبی تراورس منفرد- تراورس‌های دارای پد نرم-قضاوت مهندسی					
آزمایش سوم		آزمایش دوم		آزمایش اول	
تغییر مکان(mm)	نیرو(kg)	تغییر مکان(mm)	نیرو(kg)	تغییر مکان(mm)	نیرو(kg)
۰.۵	۸۹۰	۰.۵	۸۰۰	۰.۵	۸۲۰
۱	۱۰۸٦	۱	۱۱۱۰	۱	۱۰۵۰
۱.۵	۱٤۹٦	۱.۵	۱۵۹۰	۱.۵	۱٤۳۲
۲	۱۹۲۰	۲	۱۹۸۰	۲	۱۹۸۵

جدول۳ : نتایج آزمایش STPT (C_{sta}=0.3 N/mm^3)

آزمایش اندازه‌گیری مقاومت جانبی تراورس منفرد- تراورس‌های دارای پد سخت-قضاوت مهندسی							
آزمایش چهارم		آزمایش سوم		آزمایش دوم		آزمایش اول	
تغییر مکان(mm)	نیرو(kg)	تغییر مکان(mm)	نیرو(kg)	تغییر مکان(mm)	نیرو(kg)	تغییر مکان(mm)	نیرو(kg)
۰.۵	۱۰۱۰	۰.۵	۱۰۵۰	۰.۵	۱۰۳۰	۰.۵	۱۰۱۰
۱	۱۳۷۰	۱	۱۳۳۰	۱	۱۳۵۰	۱	۱۲۸۰
۱.۵	۱۷۷۰	۱.۵	۱۷۹۰	۱.۵	۱۸۱۰	۱.۵	۱۷۱۰
۱.۷۸	۲۰۰۰	۱.۷۲	۲۰۰۰	۱.۷	۲۰۰۰	۱.۸۳	۲۰۰۰
۲	۲۱۷۰	۲	۲۲۵۰	۲	۲۲۷۰	۲	۲۱٤۰

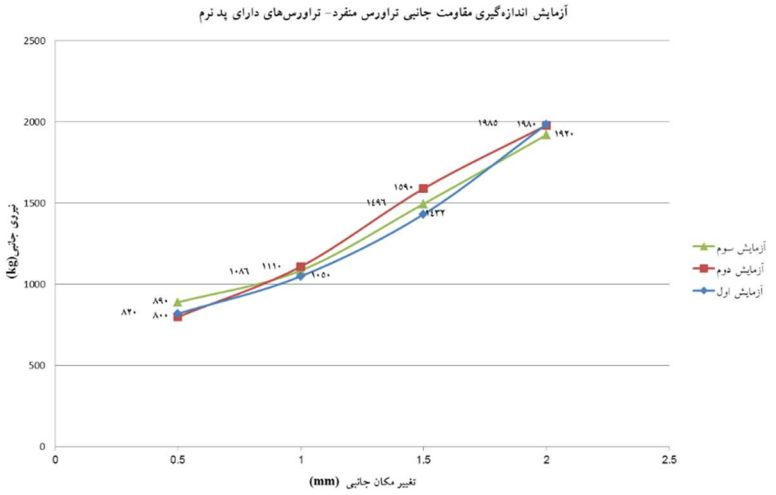
در مورد آزمایش تراورس منفرد بر روی تراورس‌های دارای پد سخت، به علت احتمال عدم عملکرد صحیح تغییر مکان سنج به ناچار آزمایش چهارم نیز برای قرائت بیشتر انجام گرفت.

جدول٤ : نتایج آزمایش STPT

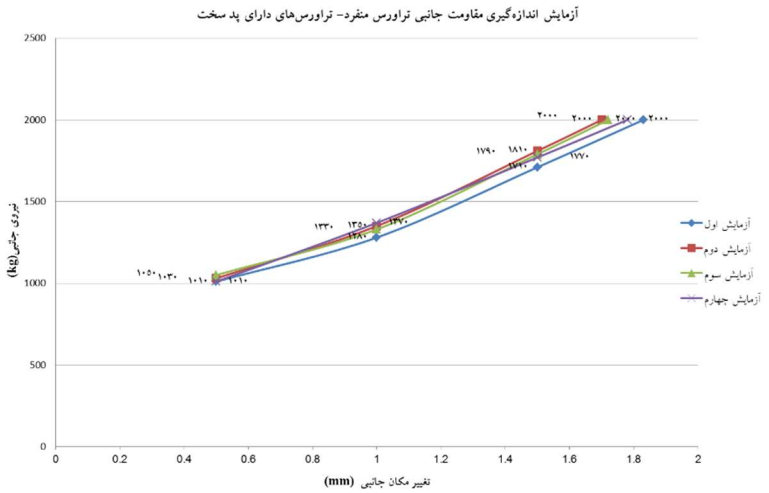
آزمایش اندازه‌گیری مقاومت جانبی تراورس منفرد- تراورس‌های بدون پد-قضاوت مهندسی					
آزمایش اول		آزمایش دوم		آزمایش سوم	
نیرو(kg)	تغییر مکان(mm)	نیرو(kg)	تغییر مکان(mm)	نیرو(kg)	تغییر مکان(mm)
۸۸۰	۰.۵	۱۰۰۰	۰.۵	۹۵۰	۰.۵
۱۲۰۰	۱	۱۲۰۰	۱	۱۱۵۰	۱
۱۶۰۸	۱.۵	۱۵۸۹	۱.۵	۱۵۹۳	۱.۵
۲۰۰۰	۱.۹۷	۱۹۸۰	۲	۲۰۰۰	۱.۹۵
۲۰۲۰	۲			۲۰٤۰	۲

همانگونه که از نتایج مندرج در جداول نیز قابل مشاهده است نیرو به ازای هر نیم میلیمتر جابه‌جایی ثبت شده است. لازم به ذکر است که در کتب فنی مقاومت جانبی خط برای تغییر مکان جانبی خط به میزان ۲ میلیمتر معیار می‌باشد، لذا در این آزمایش‌ها نیز تغییر نیروی متناظر با مقدار جابه‌جایی ۲ میلیمتر معیار مقاومت جانبی خط قرار گرفته است.

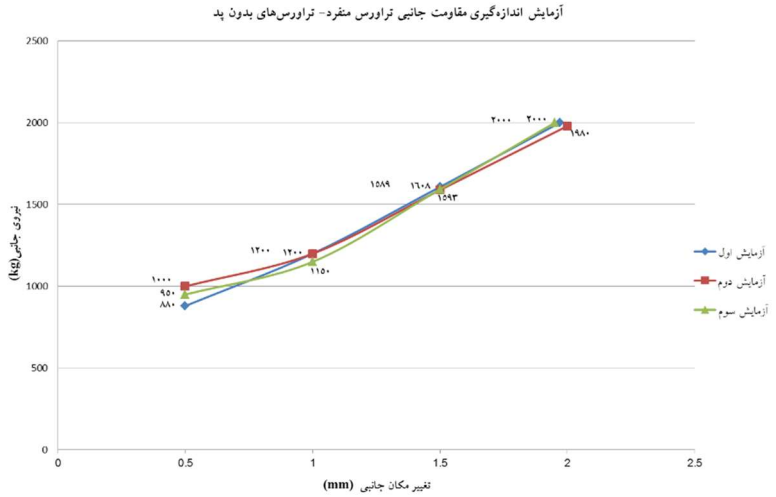
نکته قابل توجه در این زمینه محدود بودن ظرفیت جک هیدرولیکی (حداکثر ۲ تن) می‌باشد که در چند مورد قبل از رسیدن به جابه‌جایی ۰/۵ میلیمتر جک به حداکثر ظرفیت خود رسیده است. در این موارد با توجه به روند داده‌های ثبت شده، نیرو به ازای تغییر مکان ۲ میلیمتر برون‌یابی شده است. در ادامه نمودار نیرو بر حسب جابه‌جایی برای هر گروه از تراورس‌ها نمایش داده شده است (اشکال ۷ تا ۱۰).



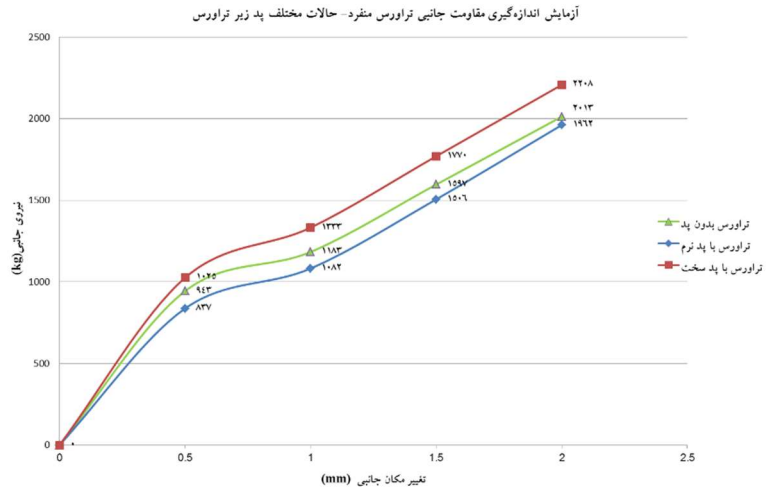
شکل۷ : نمودار نیرو-جابه‌جایی-تراورس با پد نرم.



شکل۸ : نمودار نیرو-جابه‌جایی-تراورس با پد سخت.



شکل۹ : نمودار نیرو-جابه‌جایی-تراورس بدون پد.



شکل۱۰ : مقایسه نمودار نیرو-جابه‌جایی (مقادیر میانگین).

٤- تفسیر نتایج آزمایش STPT و اعتبار سنجی

در مورد ناحیه تماس زیرین تراورس با بالاست، بهتر است که رفتار زاویه اصطکاکی یا نسبت بار قائم به بار افقی گزارش شود، تا تأثیر بار قائم مشاهده گردد. در حقیقت بار قائم بر مقاومت اصطکاکی انتهای تراورس و کناره های تراورس تأثیر ندارد و فقط بر زیر تراورس تأثیر دارد.

با توجه به این موضوع و تنوع روشهای مختلف اندازه‌گیری مقاومت جانبی خط و تفاوتهای هر یک از این روشها و همچنین نزدیک‌تر بودن نتایج آنها به حالت واقعی خط، وجود یک استاندارد جهت این آزمایش‌ها و چگونگی محاسبه مقاومت جانبی ضروری است. در سطح دنیا بیشتر مطالعات به دلیل کمبود امکانات و همچنین سادگی کار از روش تراورس منفرد استفاده نموده اند و به ترتیب بعد از آن از روشهای جابه جایی پانل خط و استفاده از ماشین زیرکوب یا پایدار ساز مد نظر قرار گرفته است. البته لازم به ذکر است که در برخی موارد همانگونه که پیش تر عنوان گردید، نتایج آزمایش ها مؤید یکدیگر نیستند به عنوان مثال، مقاومت جانبی تراورس در حالت منفرد کمتر از حالت پانل می‌باشد که به خاطر تداخل و اثر گذاری تراورس ها در پانل در افزایش مقاومت جانبی می باشد. البته تأثیر ترافیک عبوری و زیرکوبی خط بر مقاومت جانبی کاملاً محسوس می باشد. بنابراین با توجه به کلیه موارد عنوان شده و همچنین تنوع نتایج در زمینه تأثیر پدهای الاستیک در مقاومت جانبی خط، بررسی میدانی این مسأله ضروری است.

لازم به ذکر است که آزمایش تراورس منفرد آزمایش دقیقی بوده و تنها عامل تفاوت در نتایج این آزمایش شرایط اولیه آن شامل هندسه خط، شرایط بارگذاری، نوع پابندها و بالاست و سختی پدها می‌باشد که در این پژوهش، این شرایط به غیر از سختی پدها، برای کلیه‌ی تراورس‌های مورد آزمایش یکسان بوده است.

همانگونه که از نتایج مندرج در جداول و نمودارهای ارائه شده پیداست، میزان مقاومت جانبی خط برای تراورس‌های مجهز به پد سخت بیش از مقاومت جانبی تراورس های بدون پد می‌باشد و مقاومت جانبی تراورس‌های بدون پد نیز بیش از تراورس های مجهز به پدهای نرم می‌باشد. دلیل اولیه برای این منظور ایجاد تغییر مکان برشی در خود پد زیر تراورس می‌باشد. بدین معنی که در اثر اعمال نیروی جانبی، تنش برشی ایجاد شده در ضخامت پد سبب ایجاد تغییر مکان جانبی (برشی) در جسم پد می‌شود و این فرآیند با کاهش سختی پد افزایش می‌یابد. بنابراین جدا از شرایط روسازی خط، افزایش سختی پد به علت کاهش تغییر شکل‌های جانبی، تا حدودی سبب افزایش مقاومت جانبی خط می‌شود. همانگونه که در جدول شماره ۱ نیز اشاره شد ضخامت هر یک از این پدها به همراه مش آنها ۱۲ میلیمتر می‌باشد.

بر اساس نیروی اندازه‌گیری شده برای جابه‌جایی به میزان ۲ میلیمتر، برای آزمایش‌های انجام شده می‌توان نتیجه گیری نمود که استفاده از پد سخت در این آزمایش در حدود ۹/٦ درصد سبب افزایش مقاومت جانبی خط و استفاده از پدهای نرم در زیر تراورس سبب کاهش مقاومت جانبی خط به میزان ۲/٥٤ درصد نسبت به خطوط دارای تراورس بدون پد می‌شود.

البته همانگونه که توضیح داده شد به علت تنوع شرایط اولیه و پارامترهای دخیل آزمایش‌های انجام شده در زمینه مقاومت جانبی کاملاً مشابه نبوده و لذا امکان مقایسه‌ی دقیق وجود نخواهد داشت. با این وجود نتایج حاصل شده از این آزمایش تا حدودی مؤید کارهای قبلی است. مطالعات انجام گرفته در آلمان، کرواسی و همچنین مطالعات انجام شده شرکت SATEBA زیر نظر اتحادیه بین المللی راه آهن همگی افزایش مقاومت جانبی (۹ درصد افزایش) در اثر استفاده از پد زیر تراورس را گزارش نموده‌اند که با نتایج حاصل شده هماهنگی دارد (۹/٦ درصد افزایش مقاومت). البته مطالعه‌ی جامع اتحادیه بین المللی راه آهن (UIC) حاکی از کاهش مقاومت جانبی در اثر استفاده از این پدها می‌باشد. در آلمان نیز مقاومت جانبی تراورس‌های مجهز به پد نرم ۳ درصد کمتر از مقاومت جانبی تراورس‌های بدون پد

می‌باشد. به نظر می‌رسد دلیل کاهش مقاومت جانبی خط در زمان استفاده از پدها با سختی کم (نرم) عدم وجود شرایط مناسب در طرح هندسی مسیر، نظیر عرض کم شانه بالاست، ضخامت کم بالاست و همچنین ایجاد تنش برشی در جسم خود پد می‌باشد.

بنابراین با توجه به متفاوت بودن نتایج کارهای انجام شده و نیز نتایج بدست آمده از این آزمایش، می‌توان اینگونه جمع بندی کرد که استفاده از این پدها بسته به سختی آنها و همچنین بسته به شرایط آزمایش، نوع آزمایش، شرایط خط، وجود بار قائم و . . . می‌تواند سبب کاهش و یا افزایش مقاومت جانبی خط شود. البته با توجه به اینکه بیشتر مطالعات افزایش مقاومت جانبی را به هنگام استفاده از پدهای سخت گزارش نموده‌اند، می‌توان عنوان نمود که استفاده از پدهای سخت عموماً سبب افزایش مقاومت جانبی خط می‌شود.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

نکته بسیار مهم در مورد آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق این بود که به دلیل محدودیت ظرفیت اعمال نیروی جک دستگاه STPT (حداکثر ۲ تن) و عدم ثبت جابه‌جایی به ازای نیروی ۲ تن، لازم بود بالاست روی خط سبک شود تا با کاهش وزن بالاست روی خط، مقاومت جانبی کاهش یافته و بتوان تغییر مکان‌ها را به ازای نیروی ۲ تن ثبت نمود. همین دستخورده کردن خط آهن بر خلاف استاندارد می‌باشد و در نتیجه نتایج حاصل از این آزمایش صرفاً جهت مقایسه بین ۳ حالت مورد آزمایش (تراورس بدون پد و تراورس با پد سخت و تراورس با پد نرم) در این تست قابل اعتبار است و نتایج آن به صورت قطعی قابل تعمیم و مقایسه با سایر مطالعات قبلی (از قبیل مطالعات جامع UIC و . . .) که از این روش استفاده نموده‌اند، نمی‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به نیاز وجود جک متحرک در کنار خط و اعمال نیرو در محل و محدودیت‌های امکانات موجود در ایستگاه راه آهن، امکان استفاده از جک با ظرفیت بالاتر نبوده است. ضمن اینکه در صورت وجود جک قوی تر، تأمین تکیه گاه صلب برای اعمال نیروی بیش از ۲ تن نیز جز محدودیت‌های اجرایی طرح بوده است.

نکته‌ی دیگری که در این زمینه حائز اهمیت است این است که از اثر بار قائم ناشی از عبور قطار به علت جوابگو نبودن ظرفیت جک هیدرولیکی خودداری شده است. بار قائم تأثیر مستقیم در مقاومت جانبی خط دارد و امکان دارد که در زمان عبور قطار از خط هر کدام از این سه دسته مقاومت جانبی یکسان از خود نشان دهند، چرا که شدت بار قائم در روی خط سبب کاهش تنش برشی در خود پدهای لاستیکی دارد و عملکرد آنها تا حدودی مشابه خواهند بود البته برای روشن شدن مطلب احتیاج به آزمایشات گوناگون و با تجهیزات کامل دیگری میسر خواهد شد که از موضوع این پروژه به دور خواهد بود.

علاوه بر مسأله عنوان شده، بررسی انجام شده در خط مستقیم صورت گرفته است و در خط مستقیم پدیده‌ی هانتینگ سبب ایجاد نیروی جانبی می‌شود که تابع تناوبی دارد اما عملکرد این پدها در قوس‌ها نیز که بار جانبی به حداکثر مقدار خود می‌رسد نیز باید بررسی گردد و نتایج این بررسی به صورت کامل قابل تعمیم به وضعیت خطوط ریلی در محل قوسها نمی‌باشد.

به عنوان نتایج کلی و بر اساس نتایج سایر پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان اینگونه اظهار نمود که استفاده از پدهای الاستیک سخت سبب افزایش مقاومت جانبی خط در حدود ۹ درصد می‌شوند (بر حسب سختی مقدار افزایش مقاومت متفاوت است) و استفاده از صفحات الاستیک نرم در مقاومت جانبی خط تأثیر زیادی ندارد و حتی ممکن است بر حسب سختی آنها تا حدود ۳ درصد سبب کاهش مقاومت جانبی خط شوند که نتایج این بررسی نیز مؤید این مسأله می‌باشد. البته دلیل کاهش مقاومت جانبی در پدهای نرم را می‌توان به سبب ایجاد نیروی برشی و تغییر شکل برشی در ضخامت این پدها دانست.

سپاسگزاری

از حمایت‌های مالی دانشگاه پیام نور تشکر و قدردانی می‌گردد.

مراجع

[1] Prof.dr..sc.Stepan Lakusic &Moja Ahac & Ivo Haladin; "Experimental investigation of Railway Track with Under Sleeper Pad"; .Portroz, 2010
[2] International Union of Railways, “UIC Project, Under Sleeper Pads” , 4th Edition, Vienna, (2009).
[3] Dorothée Stiebel, Matthias Krüger, Ullrich Kleinert, Rüdiger Garburg,“Application and benefits of Elastic Elements in Ballasted Track”, Deutsche Bundesbahn (2006).
[4] H. Loy, “Under Sleeper Pads in Turnouts”, RTR 02 - European Rail Technology Review, pp. 35-38 (2009).
[5] Getzner Company, Website: www.getzner.com.
[6] Zakeri, J.A. Mir fattahi, B. Fakhari, M. Field and laboratory Investigation on the lateral resistance of sleepers by employing STPT test. CD proceding. First International Conferance on Road and Rail Infrastructure, Croatia, (2010).
[7] A. Johansson et al., “Under Sleeper Pads-Influence on dynamic train-track interaction” ,Wear 265, pp.1479–1487 (2008).
[8] Otto Plášek, Richard Svoboda, Miroslava Hruzíková, “Assembly of Under Sleeper Pads in Turnouts for the Homogenization of Vertical Rai; Deflections”, Brno University of Technology, center for Integrated Design of Advanced Structures, Project No. 1M0579 (2007).
[9] E Kabo ; "A Numerical Study of the Lateral ballast resistance in Railway tracks", (2006).
[10] Fakhari, M.: Laboratory investigation of Frictional sleepers effects on Lateral Resistance of Railway Track, BSc. Thesis, Iran University of Science & Technology, School of Railway Engineering, (2009).
[11] Esveld, C.: Modern Railway Track, Second edition, TU-Delft, (2001).
[12] Selig, T.E &. Waters, J.M.: Track Geotechnology And Substructure Management, Thomas Relford Publications ,1994.
[13] U.S. Department Of Transportation Federal Railroad Administration, The Influence Of Track Maintenance On The Lateral Resistance Of Concrete Tie Track, (2003).
[14] "Theory of CWR track stability." Report ERRI, D 202/PR3, Utrecht, Netherlands, (1995).