# راهکارهای پیشگیری از سوانح ناشی از کمانش خطوط ریلی

**فاطمه داودی[۱] ، سعید محمدزاده[۲]**

[۱]کارشناس ارشد مهندسی خطوط ریلی، اداره کل خط و سازه های فنی؛ F_Davoodi_60@yahoo.com

[۲]دکترای عمران، استادیار دانشکده راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران ؛ Mohammadz @ iust.ac.ir

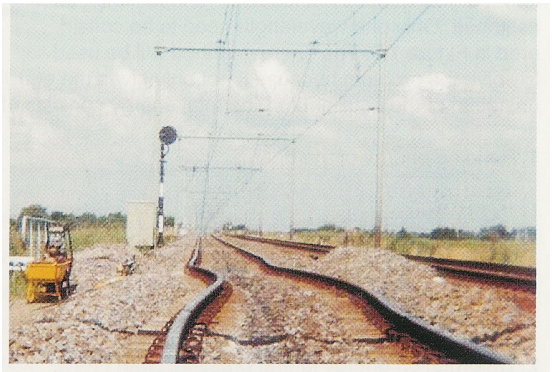
**چکیده**

در خطوط جوشکاری نشده متداول در نسل پیشین خطوط ریلی، همواره درز خط در محل اتصال ریل‌ها پیش‌بینی می‌گردید و بدین صورت تأثیر تغییرات طول ناشی از نوسان درجه حرارت محیط به حداقل می‌رسید. استفاده از درزها ریسک ایجاد نیروهای طولی و به تبع آن خطر کمانش خط را کاهش می‌دهد. البته باید در نظر داشت که بهای پیش‌بینی درز خط، وجود درزهایی با الزامات نگهداری زیاد و تولید نیروهای دینامیکی بزرگ هنگام عبور قطار می‌باشد. این درزها سبب معضلات بسیاری از جمله زوال سریع هندسه قائم خط، تغییرمکان پلاستیک قارچ ریل، ترک‌های خطرناک ریل و آسیب به تراورس‌ها و پابندهای خط می باشند. بطور کلی، درز خط به میزان قابل توجهی بر عمر قطعات خط تأثیر منفی می‌گذارد. خطوط جوشکاری شده پیوسته هیچ یک از معایب فوق را ندارند. به علت عدم وجود درز خط، کیفیت هندسه خط ارتقاء یافته و همین امر سبب افزایش طول عمر خطوط ریلی، کاهش آلودگی صوتی، کاهش صدمات به روسازی و وسیله نقلیه، کاهش هزینه های نگهداری و هزینه های انرژی نیروی محرکه و بهبود راحتی و آسایش حرکت می شود. خطوط جوشکاری شده پیوسته علاوه بر این مزایا دارای معایبی چون خطر کمانش خط و شکستگی ریل نیز می باشند. در این مقاله سعی شده است تا با مروری بر ادبیات فنی موجود در زمینه کمانش خطوط ریلی، عوامل موثر بر این پدیده، نتایج حاصل از آن، راهکارهای پیشگیری از وقوع این پدیده بررسی گردد.

**کلمات کلیدی:** کمانش، مقاومت جانبی، ناترازیهای طولی، دمای بی تنش، خطوط CWR.

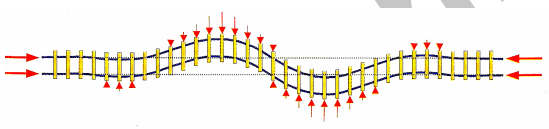
## مقدمه

از بین رفتن پایداری جانبی خط معمولاً با دو مد خرابی مشخص می شود : تغییر مکان خط و کمانش. تغییر مکان خط معمولاً در اثر ایجاد و توسعه عیوب راستای جانبی به علت نیروهای محوری بالا می باشد، در حالیکه کمانش خط یک تغییرشکل بزرگ است که ناگهانی و بعلت ناپایداری اتفاق می افتد.[۱۱] هم مسیرهای مستقیم و هم قوسها مستعد کمانش هستند. در قوسها بزرگی کمانش بین ۱۵ تا ۲۴ سانتیمتر و در خطوط مستقیم از ۳۰ تا ۷۰ سانتیمتر متغیر است.[۷] بر اساس مرجع[6]، موجهای کمانش ایجاد شده در خط با جوشکاری پیوسته می تواند بین ۸ الی ۲۰ متر با دامنه حدود ۱۰۰۰ میلیمتر باشد. اما در تغییرشکل، طول موج معمولاً بین ۴ الی ۸ متر با دامنه حدود ۲۰ الی ۸۰ میلیمتر می باشد . نمونه‌ای واقعی از کمانش خط در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱: نمونه‌ای واقعی از کمانش خط[۸]

اساس پدیده کمانش در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است. در این شکل نیروی فشاری، نیروهای مقاوم جانبی خط و الگوی کمانش خط ارائه شده‌اند.



شکل ۲: شکل عمومی کمانش خط

کمانش معمولاً بدلیل ۳ فاکتور اصلی نیروهای فشاری بزرگ، ضعیف بودن شرائط خط و بارهای دینامیکی قطار ایجاد می شود. نیروهای فشاری حاصل تنشهایی هستند که در ریل به دلیل دمای بیش از دمای حالت بدون تنش۱ و منابع مکانیکی مثل ترمزگیری، اصطکاک حرکتی و فلنج چرخ در قوسها بوجود می آیند. ضعیف بودن شرائط خط که بر پتانسیل کمانش خط اثر می گذارد عبارت است از : کم بودن مقاومت خط۲، عیوب راستای جانبی و پائین بودن دمای خنثی ریل.[۷]

---

[1] دمای ریل در حالت بدون تنش بعنوان دمای خنثی ریل شناخته می شود. (دمایی که در آن نیروی طولی در ریل صفر است)

[2] مقاومت خط ، توانایی بالاست ، تراورسها و اتصالات در تولید مقاومت جانبی و طولی برای حفظ پایداری خط است .

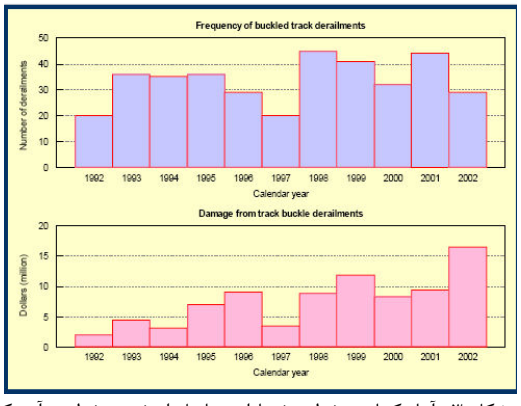
Archive of SID
www.SID.ir

عیوب راستای جانبی، مقاومت جانبی خط را کاهش می دهند چراکه کمانش به سمت انحرافات اولیه در راستا میل می کند. با بیشتر شدن این عیوب، کمانش بیشتری در خط انتظار می رود. کمانش می تواند در بستر جوشهای کج و معوج آغاز گردد. معمولاً کمانش خط از انحرافات کوچک اولیه در خط آغاز می شود. بارهای چرخ و عکس العمل قطار سبب افزایش مقادیر این انحرافات شده و سبب بروز کمانش می شوند. وسائط نقلیه با اعمال نیروهای جانبی در قوسها به کمانش کمک می کنند. این نیروها در مسیر مستقیم در اثر حرکت واگن در روی خط ناهموار یا در اثر پدیده هانتینگ ایجاد می شوند. عملکرد کند شونده، ترمز دینامیکی سنگین و ترمز اضطراری می توانند سبب کمانش گردند.[۷]

اما مهمترین دلیل پدیده کمانش، وجود نیروهای فشاری محوری ناشی از افزایش دمای بیش از دمای خنثی است. در ابتدای بهره برداری از خط، دمای خنثی ریل، دمای نصب ریل یا دمای مهاری است. در دماهای بالاتر از دمای خنثی نیروی فشاری تولید می شود و در دماهای زیر دمای خنثی نیروی کششی ایجاد می شود.[۷]

هرگونه وقوع کمانش در خط، سبب بروز خطر در بهره برداری می گردد و بلافاصله باید خط را مسدود نمود، در غیر این صورت ممکن است پدیده خروج از خط رخ دهد. همچنین در صورت تغییرشکل خط محدودیت سرعتی برابر ۱۰ الی ۳۰ کیلومتر بر ساعت باید در محل اعمال نمود.[8]

بمنظور بیان اهمیت مساله کمانش، پدیده کمانش خط به همراه تعداد خروج از خطها/صدمات خط کمانه شده در طول ۱۰ سال (سالهای ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲) در آمریکا بررسی شد. (شکل ۳) [۷]




شکل ۳ : آمار کمانش خط و خسارات حاصل از خروج خط در آمریکا

همانطور که مشاهده می شود، در آمار ۵ سال انتهایی (۱۹۹۸-۲۰۰۲ ) بطور متوسط ۳۸ خروج از خط در سال، با افزایش سطح خرابی سالانه تا حداکثر ۱۷ میلیون دلار در سال ۲۰۰۲ وجود دارد. به منظور بهره برداری ایمن از خطوط ریلی، تعیین رفتار خط با جوشکاری پیوسته در برابر تغییرات دمایی امری لازم است، لذا در این مقاله به بررسی منحنیهای کمانش خطوط با جوشکاری پیوسته و عوامل موثر بر تغییرات دمایی پرداخته شد، همچنین معیارهای ایمنی مورد استفاده در این خطوط بررسی شد.

**عوامل موثر بر کمانش جانبی خطوط با جوشکاری پیوسته**

فاکتورهای اصلی موثر در کمانش خط عبارتند از : ۱- نیروی طولی ریل، مقاومت جانبی خط، مقدار بلند شدگی دینامیکی[3] که بین واگنهای یک وسیله نقلیه اتفاق می افتد و مقدار انحراف از راستای جانبی هندسه خط(ناترازی طولی- جانبی) [9]

نیروی طولی ریل، فاکتور محرک کمانش است. بالا بودن دمای محیط سبب افزایش دمای ریل می شود و گاهی اوقات دمای ریل ۱۷درجه سانتیگراد بیشتر از دمای محیط می گردد و از آنجا که انبساط حرارتی ریل محدود است، این امر سبب نیروی فشاری بزرگی در ریل می گردد که این نیرو می تواند سبب کمانش خط در صفحه جانبی در اندازه و شکلهای متفاوتی گردد. در قوسها بعلت خروج از مرکزیت، تمایل بیشتری به کمانش نسبت به خطوط مستقیم وجود دارد.[9]

مقاومت خط توانایی بالاست، تراورسها و اتصالات در تولید مقاومت جانبی و طولی برای حفظ پایداری خط است.[۷] مقاومت جانبی را می توان به ۳ بخش اصطکاک زیر تراورس، اصطکاک اطراف تراورس، اصطکاک انتهای تراورس و شانه های محدود کننده تقسیم کرد.[۱۰] در هر ۳ بخش نوع تراورس، نوع بالاست، دانه بندی بالاست و مقاومت (تابعی از تراکم بالاست) موثر می باشد. اصطکاک زیر تراورس تحت تاثیر 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 می کند.[9]

تعمیر و نگهداری خط مثل سرند بالاست، زیرکوبی، مسطح سازی، تنظیم راستا، تراکم بالاست(تحت اثر بار ترافیک یا با استفاده از تثبیت دینامیکی) بر مقاومت اطراف و زیر تراورس موثر است.[9] مقاومت جانبی بسیار متغیر است و تحت تاثیر بسیاری از پارامترهای تعمیر و نگهداری و سازه خط است. بنابراین هنگامیکه مقاومت جانبی ضعیف می شود، کمانش به همراه افزایش در نیروی طولی ریل (افزایش دمای خنثی) ایجاد می شود. مقاومت جانبی یک تابع غیرخطی دارای اجزاء استاتیک و دینامیک و خصوصیات پیچیده ای است.[۷] مقادیر مقاومت خط بستگی به نوع تراورس و بالاست و همچنین فاصله بین تراورس‌ها دارد. همچنین مقاومت جانبی بیشتر به عرض شانه‌های بالاست وابسته می‌باشد. مقادیر مقاومت با افزایش وزن قاب ریل- تراورس افزایش می‌یابد و مقادیر مقاومت تا میزان مشخصی با افزایش تنازع عبوری از خط (به علت تراکم بالاست)، افزایش می‌یابد. عملیات بازسازی خط که دستخوردگی بالاست را به دنبال دارند (برای مثال زیرکوبی یا بهسازی شانه‌ها)، مقادیر مقاومت را کاهش می‌دهد. مقادیر مقاومت بستگی به عوامل آب و هوایی مانند رطوبت و درجه حرارت نیز دارد (برای مثال یخزدگی بالاست و بستر خیس مقاومت را کاهش می‌دهد).

زیرکوبی یک روش تعمیر و نگهداری است که اثر نامطلوبی در پایداری جانبی خط دارد، چراکه بالاست زیر تراورس را پخش می کند. پخش شدن بالاست منجر به نشست قائم خط و عیوب راستای

[3]UPLIFT

Archive of SID

www.SID.ir

جانبی می گردد. برای دوباره متراکم کردن بالاست بعد از زیرکوبی اغلب تثبیت دینامیکی استفاده می شود. بعد از زیرکوبی بطور متوسط بین ۳۷ تا ۴۸ درصد کاهش مقاومت نسبت به مرحله قبل از زیرکوبی بوجود می آید. مقاومت جانبی متوسط بعد از تثبیت نسبت به شرائط قبل از آن ۲۴ تا ۳۷ درصد افزایش می یابد.[9]

بلند شدگی دینامیکی ریل بین دو واگن یک وسیله نقلیه بر رفتار کمانش خط تاثیر می گذارد. در منطقه بلندشدگی در بسیاری از موارد تماس زیر تراورس با بالاست کم می شود و این امر سبب کاهش یا حذف مقاومت جانبی در برابر کمانش می گردد. بار اعمالی وسیله نقلیه، ابعاد وسیله نقلیه، وزن خط و مدول قائم خط، مقدار بلندشدگی دینامیکی خط راتعیین می کند. [9]

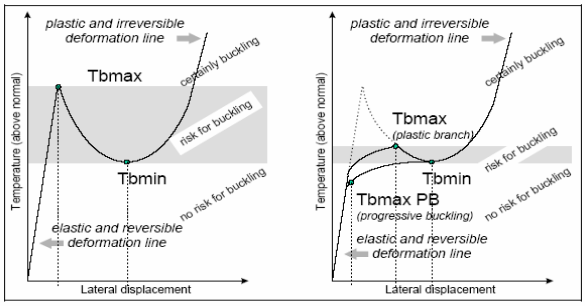
فاکتور دیگری که به کمانش خط کمک می کند انحراف در راستای طولی خط است. در صورت وجود انحراف از راستای مستقیم، بار لازم برای کمانش خط کاهش می یابد. بعلاوه در اثر بارهای حرارتی و عبور وسیله نقلیه، این انحرافات افزایش می یابند. در صورت بالا بودن مقدار انحراف از راستا و یا دمای زیاد ممکن است خط بطور ناگهانی کمانه کند. [9] مطالعات پارامتری کمانش نشان داده است که عیوب راستای جانبی، پتانسیل کمانش را افزایش می دهند. مثلاً خطی با عیوب زیاد در امتداد جانبی (کلاس ۳) نسبت به خطی با عیوب کم (کلاس ۶) در برابر کمانش، ایمنی کمتری دارد. عیوب انحراف از راستای جانبی بعنوان عامل محرک کمانش نیز می باشند. ناترازیهای جانبی خط، یک پارامتر ورودی برای آنالیز کمانش در پیش بینی طول موج و دوره کمانش است و پارامتری است که توسط ماشین اندازه گیری هندسه خط تعیین می شود. برای تحلیل کمانش، آمار فرکانس- تناوب صحیحی از ناترازیهای جانبی با استفاده از اطلاعات ماشین اندازه گیری هندسه خط لازم می باشد. [۷]

**معیارهای ایمنی در تحلیل پدیده کمانش**

امروزه مدیریت تعمیر و نگهداری خطوط با جوشکاری پیوسته[4] بر اساس یکی از دو معیار زیر است: ۱- حدود ایمنی سنتی و قطعی(حداقل مقاومت جانبی خط بصورت تابعی از نیروی مجاز ریل یا مقدار افزایش دمای ریل) ۲- ریسک یا خطر پذیری(تعیین احتمال وقوع کمانش در برابر دمای ریل). هر دو معیار به شرایط خط(دمای خنثی ریل، مقاومت جانبی و راستای جانبی خط) وابسته می باشند. از آنجاکه بکارگیری پارامترهای فوق در حدود نوع اول بصورت قطعی می باشد، بنابراین باید تخمین درستی از این پارامترها در دست داشت. این معیار، معیاری مرسوم و قطعی است که به مقدار کلیه ورودیها حساس است. بر اساس این تحلیل، نشان داده می شود که وضعیت خط رضایت بخش است یا نه؟ کمانش اتفاق می افتد یا نه؟ بنابراین احتمال کمانش یا صفر است یا ۱۰۰. پس استراتژی تعمیر و نگهداری/ ایمنی خط بر اساس چنین آنالیزی پر هزینه است، خصوصاً اگر پارامترهای ورودی خطا داشته باشند. در واقع معیار ایمنی کمانش در این حالت به صورت زیر تعریف می شود[3]:

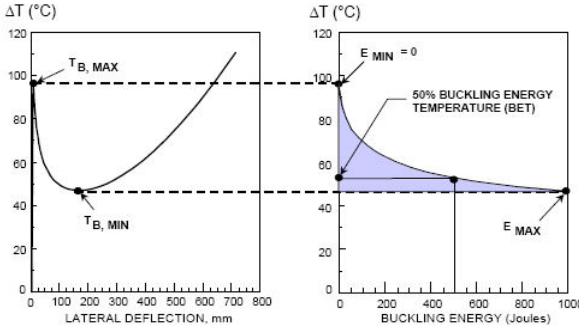
$$(\Delta T)_{LOAD} \le (\Delta T)_{ALL} \qquad (۱)$$

منحنی‌های پاسخ کمانش، اساس ارزیابی درجه حرارت مجاز بهره‌برداری از خط را تشکیل می‌دهند. آزمایشات میدانی کمیته ERRI D202 در نمودارهای شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج تقریباً ۹۰ درصد از آزمایشات در نمودار سمت چپ نشان داده شده که در این حالت بالاست دارای شرایط خوبی است. در این نمودار تغییر مکان الاستیک خطی از مبدا شروع می شود و به حداکثر مقدار خود در $T_{B,\max}$ می رسد سپس تغییر مکان برگشت ناپذیر پلاستیک(غیر ارتجاعی) با حداقل مقدار $T_{B,\min}$ شروع می شود. $T_{B,\max}$در محل تقاطع این دو شاخه وجود دارد. این نوع کمانش، کمانش انفجاری نامیده می شود. نمودار سمت راست، رفتار ۱۰ درصد از موارد را نشان می دهد. این رفتار اساساً ناشی از مقاومت جانبی پائین خط (بطور مثال بعلت بالاست با کیفیت نامناسب) می باشد. در این حالت اگر تغییر مکان الاستیک خط به ماکزیمم مقدار خود (زیر حد حداقل تغییر مکان شاخه پلاستیک) برسد، کمانش پیشرونده[5] اتفاق می افتد.[1]




شکل۴: نمودار دما در برابر جابجایی جانبی در خطوط با بالاست خوب (چپ) و ضعیف (راست)

احتمال کمانش خط در تمامی نقاط بین $T_{B,\min}$ و $T_{B,\max}$ وجود دارد و کمانش خط در این منطقه به مجموع انرژی خارجی خط کمانه شده که توسط قطار ایجاد می گردد وابسته است. در نقطه $T_{B,\max}$ بدون اعمال نیروی خارجی، خط دچار کمانش می‌شود. چنین درجه پایداری در علم مهندسی به هیچ وجه قابل استفاده نبوده و بنابراین امکان بهره‌برداری ایمن از خطوط جوشکاری شده پیوسته در درجه حرارت $T_{B,\max}$ وجود ندارد.




شکل ۵ : انرژی مورد نیاز برای کمانش خط

[4] Continuous welded rail

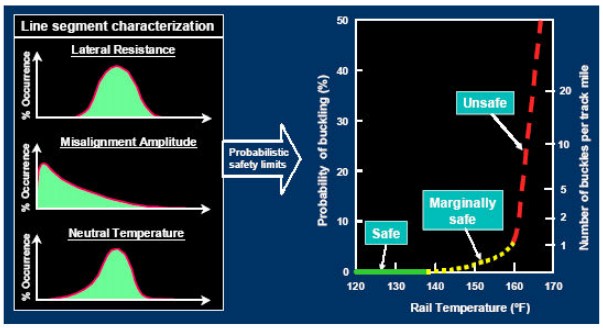
[5] progressive buckling

Archive of SID
www.SID.ir

درجه حرارت مجاز $T_{ALL}$ را می‌توان برابر $T_{B,\min}$ یا درجه حرارتی بیش از آن[6] تعریف نمود. انتخاب درجه حرارت بستگی به سطح ایمنی مطلوب دارد. در راه آهنها دو نوع سطح ایمنی به صورت زیر تعریف می شود: سطح ایمنی۱: $T_{ALL}=T_{B,\min}$ و سطح ایمنی۲: $T_{ALL}=T_{B,\min}+\Delta T$. سطح ۱، حاشیه اطمینان بیشتری نسبت به سطح ۲ دارد. انتخاب یا تعیین مقدار $\Delta T$ بر اساس تمهیدات ایمنی بوده و موضوع کم اهمیتی نمی‌باشد. با افزایش درجه حرارت فراتر از محدوده $T_{B,\min}$، پتانسیل کمانش بسرعت افزایش می‌یابد، چراکه بر اساس آزمایشات میدانی مشاهده شد که انرژی کمانش به سرعت از مقدار بیشینه خود در $T_{B,\min}$ به صفر در $T_{B,\max}$ کاهش می‌یابد. اساساً برای تعیین دمای مجاز بهره برداری $(\Delta T)$ در سطح ایمنی دوم، ۲ روش وجود دارد: ۱- رابطه انرژی کمانش بصورت تابعی از افزایش درجه حرارت مورد استفاده قرار می گیرد. ایمنی در این روش بر اساس درجه حرارت مجازی از خط قرار دارد که متناظر با کمانش نهایی خط بوده و در آن انرژی کمانش بیش از صفر و کمتر از مقدار بیشینه موجود در $T_{B,\min}$ می‌باشد. مطابق تحقیقات انجام گرفته توسط مؤسسه حمل و نقل ایالات متحده بر روی داده‌های میدانی، پیشنهاد گردیده است که درجه حرارت مجاز، برابر درجه حرارت معادل ۵۰٪ انرژی کمانش بیشینه در نظرگرفته شود. $(T_{ALL}=T_{50\%BEL})$

۲- در این روش، $\Delta T$ بر اساس پیش‌بینی دو درجه حرارت مرزی $T_{B,\max}$ و $T_{B,\min}$ تعیین می شود. این روش توسط کمیته ERRI D202 پیشنهاد شده است. ابتدا $\Delta T=T_{B,\max}-T_{B,\min}$ محاسبه می شود. اگر $\Delta T>20^0C$، دمای مجاز $T_{ALL}=T_{B,\min}+25\%\Delta T$، اگر $5^0C<\Delta T<20^0C$ آنگاه دمای مجاز برابر $T_{ALL}=T_{B,\min}$، اگر $0^0C<\Delta T<5^0C$ آنگاه دمای مجاز برابر $T_{ALL}=T_{B,\min}-5^oC$ و اگر $\Delta T<0^0C$ باشد کمانش پیشرونده در خط رخ می‌دهد که به معنی انتقال نامحسوس بین تغییرمکان‌های جانبی پلاستیک و الاستیک می‌باشد. کمانش پیشرونده معمولاً در خطوط بالاستی با کیفیت پایین روی می‌دهد و این حالت در خطوط اصلی مجاز نمی‌باشد.[۸]

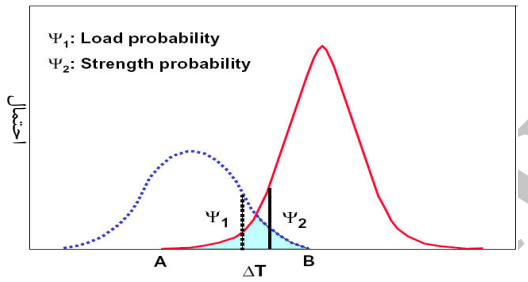
در روش احتمالاتی پارامترهای ورودی بصورت متغیرهای تصادفی می باشند. از مزایای اصلی بکارگیری این حدود، انعطاف پذیری بیشتر در مدیریت ایمن خطوط جوشکاری پیوسته در تعیین موارد تعمیر و نگهداری و انجام بازرسی/ ارزیابیهای ایمنی است. روش ریسک در پیش بینی کمانش تنها به تعیین احتمال خرابی نمی پردازد، بلکه تعیین شدت یا نتیجه خرابی نیز مورد بررسی قرار می گیرد. بطور مثال، بررسی می شود که آیا کمانش اثری بر خروج از خط دارد و چه سطح خرابی را ایجاد می کند؟ نمونه ای از نمودارهای بررسی کمانش با معیار ریسک در شکل۶ مشاهده می شود. همانطور که در شکل مشاهده می شود، پارامترهای ورودی روش احتمالاتی بصورت متغیرهای آماری می باشند.




شکل ۶ : مثالی از حدود ایمنی احتمالاتی در خط جوشکاری پیوسته

بار کمانش بصورت افزایش دمای ریل بیش از دمای خنثی $(\Delta T)_{LOAD}=T_R-T_N$ و مقاومت بصورت افزایش مجاز دما $(\Delta T)_{STRENGHT}=(\Delta T)_{ALL}$ بیان می شود. منطقه تقاطع در نمودارهای احتمالاتی بار و مقاومت، موقعیتی را نشان می دهد که بار بزرگتر یا مساوی مقاومت است. احتمال افزایش بار نسبت به مقاومت احتمال خرابی سازه است که با حل انتگرال کانولوشن زیر بدست می آید: (شکل ۷)

$$P(\Delta T)=\int_A^B \psi_1[\int \psi_2 d\Delta T]d\Delta T \qquad (۲)$$




شکل ۷ : نمایی از نمودار احتمال خرابی سازه

حداکثر دمای ریل پارامتر مهمی در کمّی کردن بار و فاکتور بحرانی در تصمیم گیری و زمان بندی عملیات تعمیر و نگهداری خطوط جوشکاری پیوسته در راه آهنها می باشد. فرض می شود که حداکثر دمای ریل برای کلیه روزهای سال تقویمی معلوم است. با فرض آنکه متغیرهای دیگر مثل مقاومت جانبی، ناترازی طولی و دمای خنثی ریل نیز احتمالاتی باشند، احتمال کمانش در دمای مشخصی در ریل محاسبه می شود. در روش احتمالاتی، احتمال کمانش در موقعیتهای بحرانی و احتمال کمانش سالانه در هر کیلومتر از خط تعیین می شود. موقعیتهای بحرانی، موقعیتهایی است که در اثر تعمیر و نگهداری یا سایر فعالیتها، احتمال وقوع کمانش در آنها زیاد است. احتمال کمانش سالانه نیز، مجموع کل احتمالات همه رویدادها (فعالیتهای تعمیر و نگهداری) در کلیه موقعیتهای بحرانی در قطعه خط مورد نظر است. [12]

در روش احتمالاتی، با کنترل توزیع مقاومت جانبی، ناراستاییها و دمای خنثی ریل می توان احتمال کمانش را به سطح دلخواهی کاهش داد. بهتر شدن توزیعها (افزایش مقادیر میانگین و کاهش

[6] باید حاشیه اطمینان مناسب کمتر از $T_{B,\max}$ باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

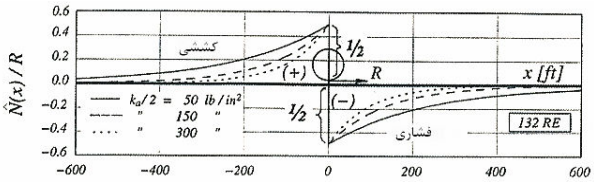
انحراف معیار در دمای خنثی ریل و مقاومت جانبی خط و کاهش مقادیر میانگین و انحراف معیار در ناراستاییها) از طریق عملیات تعمیر و نگهداری که در جدول ۱ نشان داده شده، ممکن است. [12]

جدول ۱ : عملیات تعمیر و نگهداری برای بهینه کردن پارامترها

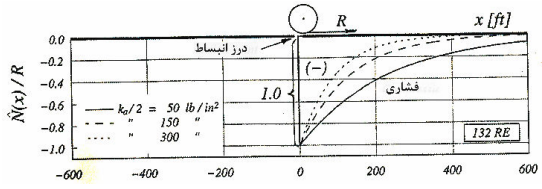
| روشهای بهینه کردن | پارامتر |
|---|---|
| رسیدن به مقادیر بالا از طریق کشنده های هیدرولیکی یا بهینه کردن گرمایش ریل | مقدار میانگین دمای خنثی ریل |
| رسیدن به یکنواختی از طریق بهینه کردن تنش زدایی در طول خطوط طویلتر ، اطمینان از کفایت پابندها ، محدود کردن حرکت قوسی | انحراف معیار دمای خنثی ریل |
| رسیدن به مقادیر بالا از طریق حفظ مقطع مناسب بالاست و تحکیم کافی بعد از تعمیر و نگهداری | مقدار میانگین مقاومت جانبی |
| جلوگیری از نقاط ضعیف محلی که منجر به توزیع غیریکنواخت در مقاومت جانبی می گردند | انحراف معیار مقاومت جانبی |
| کنترل انحراف از راستا در طول بازرسیهای دوره ای و تنظیم راستا در صورت نیاز | مقدار میانگین ناراستایی |
| کاهش نیروهای بالابرنده ریل با بهینه کردن خصوصیات وسیله نقلیه و کاهش سرعت ، محدود کردن حرکت قوسی در اثر دما | انحراف معیار ناراستایی |

**مناطق حساس به کمانش جانبی**

هنگام پرداختن به موضوع کمانش یا شکستگی کششی خط، باید توجه داشت که تغییرات درجه حرارت ریل گاهی تنها دلیل کمانش محسوب نمی‌شود. به عنوان مثال، در خلال ترمزگیری شدید وسیله نقلیه نیز نیروهای محوری بزرگ حاصل می‌گردد. این وضعیت در صورت قرارگیری درزهای انبساط لغزشی در پشت لکوموتیو در حال ترمزگیری وخیم‌تر می‌شود. نمایی از این حالت در شکلهای ۸ و ۹ نمایش داده شده است.

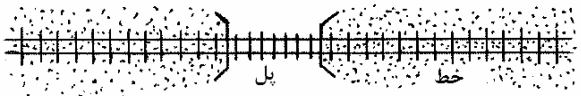



شکل ۸: نیروهای محوری ریل در خط با جوشکاری پیوسته ناشی از نیروی ترمزگیری R




شکل ۹: نیروی محوری ریل در یک خط با جوشکاری پیوسته ناشی از نیروی کندشونده R در محل درز ریل

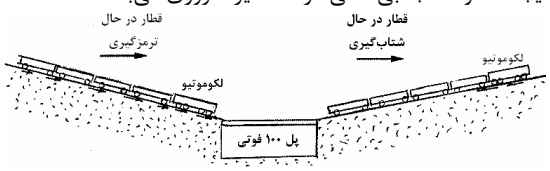
موقعیت آسیب‌پذیر دیگر در مجاورت کوله‌های پل می‌باشد(شکل ۱۰). به علت خزش ریل، ریل تمایل به حرکت در راستای ترافیک دارد، این حرکت با افزایش بار چرخ تشدید می‌گردد. در مجاورت پل‌ها که ریل‌ها در طول زیادی (تقریباً ۴۵ متر) به تراورس‌ها متصل گردیده‌اند، حرکات محوری در ریل به میزان قابل توجهی کاهش یافته و نیروی محوری فشاری در ریل مجاور کوله پل افزایش می‌یابد. این وضعیت در خطوط دارای ترافیک باری سنگین یک‌طرفه با وخامت بیشتری همراه است. در ترافیک‌های دو طرفه دارای واگن‌های باری پر از یک طرف و واگن‌های خالی از سوی دیگر، افزایش نیروی محوری در ریل نیز قابل ملاحظه می‌باشد. وضعیت مشابهی در تقاطعات همسطح جاده‌ای یا ریلی وجود دارد. در این شرایط، افزایش کوچک درجه حرارت گاهی کمانش خط را در پی دارد. بنابراین در مجاورت پل‌ها، خط باید به خوبی نگهداری شده و مقطع بالاست کافی و سیستم‌های پابند مناسبتری برای آن در نظر گرفته شود.




شکل ۱۰: خط در مجاورت یک پل

وضعیت آسیب‌پذیر دیگر در شکل۱۱ نمایش داده شده است. با کاهش سرعت یک قطار در مجاورت یک پل، نیروی فشاری در ریل‌های روی پل و سمت چپ آن بوجود می‌آید. پس از گذشت لکوموتیو از روی پل و افزایش نیروی کشش جهت هدایت قطار به سمت بالا، نیروی فشاری بر روی ریل‌های روی پل و سمت راست آن حاصل می‌گردد. بنابراین یک قطار در حال حرکت، مستقل از جهت حرکت، قادر به القای نیروی فشاری به ریل‌های واقع بر روی پل و مجاور آن می‌باشد. با عبور تجمعی ترافیک، نیروی محوری فشاری در ریل‌ها نیز افزایش می‌یابد. بنابراین در خصوص وضعیت نشان داده شده در شکل ۱۱، حتی افزایش کوچک درجه حرارت نسبت به دمای تعادل ریلگذاری، قادر به ایجاد کمانش در خط راه‌آهن می‌باشد. [3]

بر روی پل با عرشه‌های باز[7]، قاب ریل- تراورس به شاهتیرهای پل متصل گشته و دچار کمانش نمی‌شوند. بدین لحاظ کمانش معمولاً در خطوط مجاور پل روی می‌دهد. بدین منظور، پیشنهاد می‌شود که مقاومت سیستم پابند در مجاور پل‌ها بزرگتر از سایر مناطق انتخاب گردد (به عنوان نمونه از پابندهای فنری به جای میخ‌های سرکج بهره‌گرفته شود). بدین صورت از جابجایی ریل از روی تراورس ناشی از تغییرات درجه حرارت و نیروهای فشاری محوری موجود در ریل و خروج از خط قطار بر روی پل جلوگیری بعمل می‌آید. در خطوط مجاور، وجود شانه‌های عریض بالاست جهت ایجاد مقاومت جانبی کافی در خط نیز ضروری می‌باشد.




شکل ۱۱: تولید نیروی فشاری در ریل در مجاورت یک پل ناشی از قطار عبوری

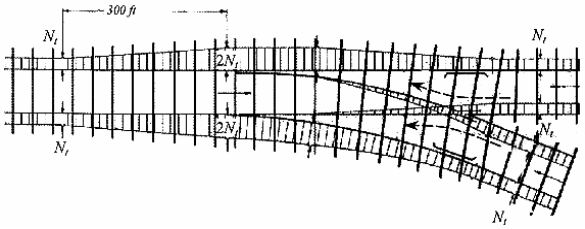
[7] Open –deck bridge

Archive of SID

www.SID.ir

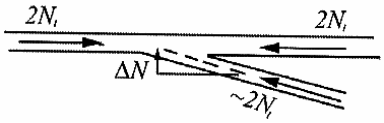
موقعیت حساس دیگر در برابر کمانش، محدوده سوزن‌ها می‌باشد. در سوزن‌های با جوشکاری پیوسته، نیروی محوری موجود در ریل‌های متصل به مجموعه سوزن باید توسط تراورس‌ها آزاد گردد تا در شروع تیغه سوزن کاملاً ناپدید گردد. بسته به سختی تراورس‌ها، نیروهای محوری به ریل‌های جوشکاری شده پیوسته و بستر بالاستی انتقال داده می‌شوند. [۸]

در خلال تابستان، ساختار سوزن در معرض افزایش درجه حرارت نسبت به درجه حرارت خنثی ریلگذاری قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، سوزن شکل ۱۲ دارای یک قسمت مستقیم و یک خط انحرافی می‌باشد و نیروهای فشاری محوری این وضعیت نمایش داده شده است. در قسمت سمت چپ ناحیه سوزن، هر یک از دو ریل در معرض نیروی حرارتی $N_t$ قرار دارند. در سمت راست ناحیه سوزن، دو خط وجود داشته و تمامی چهار ریل تحت نیروی حرارتی $N_t$ قرار دارند. بنابراین، $4N_t$ در طرف راست باید به $2N_t$ در سمت چپ سوزن انتقال یابد. باید توجه نمود که دو ریل داخلی در سمت راست، در ناحیه تکه‌مرکزی خاتمه می‌یابند. بنابراین نیروهای محوری، باید توسط تراورس‌های سوزن و مقاومت طولی خط بین ریل- تراورس و بالاست به ریل‌های خارجی انتقال یابند. این امر توسط دو فلش خط‌چین در شکل۱۲ نمایش داده شده است. نتیجه این امر افزایش نیروهای محوری در ریل خارجی در ناحیه تکه مرکزی می‌باشد. وضعیت نیرویی در این حالت، گاهی سبب کمانش جانبی کل سازه ریل- تراورس در سازه خط می‌شود. در این حالت در صورت کیفیت پائین پابندهای ریل، برای مثال شل‌شدن میخ‌های سرکج تحت بارگذاری ترافیکی، ریل منفرد دچار کمانش شده و خروج از خط قطارهای عبوری بوجود می آید. [3]




شکل ۱۲: نیروی محوری ریل در یک سوزن ناشی از تغییرات درجه حرارت $\Delta T_0$

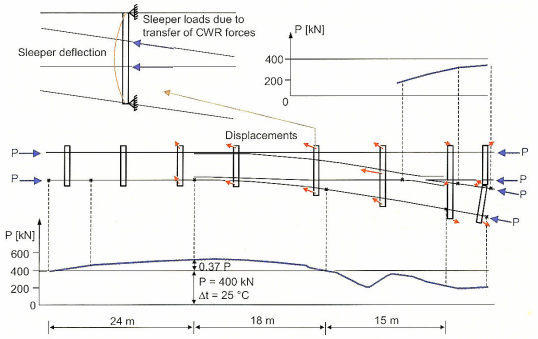
موضوع دیگری در شکل۱۳ نمایش داده شده است. در صورت افزایش درجه حرارت ریل به میزان $\Delta T_0$، خط انشعابی نیروی جانبی $\Delta N$را به خط اصلی اعمال نموده و سازه سوزن را به یک سمت فشار می‌دهد. این امر نیز موجب انحراف هندسی خط در پلان شده و موجبات کمانش خط را فراهم می‌آورد.[3]




شکل ۱۳ : نیروی جانبی خط در ناحیه سوزن

در شکل ۱۴، بارهای اعمالی به تراورس و تغییرمکان‌های متناظر با آنها در راه‌آهن آلمان در یک دستگاه سوزن نشان داده شده است.

در اثر نیروی عکس‌العمل اعمالی بر ریل‌های جوشکاری پیوسته، نیروی محوری فشاری در این ریل‌ها در مجاورت مجموعه سوزن کاملاً ناپدید می‌گردد. در نزدیکی ابتدای تیغه‌های سوزن، نیروی فشاری محوری در ریل‌های جوشکاری شده پیوسته افزایش می‌یابد (افزایش مذکور تا ۴۰٪ نیز امکان‌پذیر می‌باشد.) به علاوه راه‌آهن آلمان آزمایشاتی بر روی تقاطعات همسطح ریلی۸نیز به انجام رسانده است. به علت وجود طول انتقال محدود، افزایش در نیروی فشاری تنها ۷٪ برآورد گردیده است. [۸]




شکل۱۴ : نیروهای سوزن جوشکاری شده پیوسته در آلمان

با فرارسیدن زمستان، درجه حرارت ریل به زیر درجه حرارت خنثی ریل سقوط کرده و نیروهای کششی در ریل ایجاد می‌گردد. دور از محل قرارگیری قوس، نیروهای کششی در ریل دارای تعادل داخلی می‌باشند. در نواحی انتقال که خطوط مستقیم به خط واقع در قوس می‌پیوندد، خط مستقیم نیروی کششی به ریل‌های واقع در قوس اعمال می‌نماید. در صورت کاهش قابل ملاحظه درجه حرارت، نیروی کششی سبب حرکت خط واقع در قوس به سمت داخل میگردد. تغییرمکان جانبی قاب ریل- تراورس، توسط ارتعاشات حاصل از قطارهای عبوری تسهیل می‌گردد. حرکت مذکور موجب ایجاد حفره‌هایی در انتهای خارجی تراورس در قوس شده که به تدریج توسط افراد دست‌اندرکار نگهداری پر می‌گردد. بدین صورت یک درجه حرارت خنثی جدید، در ناحیه خط واقع در قوس پدید آمده که بسیار کمتر از درجه حرارت خنثی اولیه می‌باشد. با فرارسیدن فصول گرم سال و افزایش درجه حرارت ریل، نیروهای فشاری محوری در ریل واقع در قوس بوجود می‌آیند. این نیروها بسیار بزرگتر از نیروهای متناظر در ریل‌های مجاور واقع در خط مستقیم بوده و گاهی موجب کمانش موضعی در این ناحیه می‌گردد. بنابراین در اوایل بهار، تراز هندسی ریل- تراورس باید اصلاح گردیده یا قسمتی از خط در این ناحیه باید بریده شود تا از شکل‌گیری نیروهای فشاری بسیار بزرگ در ریل‌های واقع در قوس جلوگیری بعمل آید. در خطوط واقع در قوس، درجه حرارت خنثی ثابت نبوده و دستخوش تغییرات بسیاری می‌شود. بنابراین در نظرگیری یک درجه حرارت خنثی برای خط واقع در قوس، ثبت شده در خلال عملیات اجرا یا بازسازی، گاهی گمراه‌کننده می‌باشد و همواره باید قبل از

[8] Crossovers

Archive of SID

www.SID.ir

فرارسیدن فصول گرم، نسبت به بازگرداندن خط به شرایط هندسی اولیه هنگام ساخت، اقدام نمود. [3]

باید توجه کرد که : ۱- درصد بالایی از رویدادهای کمانش خط در اواخر بهار و اوایل تابستان، در روزهای گرم تابستان و اغلب تحت یک قطار متحرک روی می‌دهند. ۲- احتمال وقوع کمانش خط در صورت دستخوردگی خط ناشی از عملیات نگهداری و کاهش مقاومت‌های طولی و جانبی، بیشتر می‌شود. ۳- پس از نگهداری‌های موضعی، باید در اسرع وقت نسبت به بازگرداندن سطح مقطع اولیه بالاست (بالاست آخوری و شانه) و اتصال مناسب ریل به تراورس اقدام نمود. ۴- کمانش خط بیشتر در خطوط واقع در قوس، روی می‌دهد. این امر در خطوط واقع در قوسی که در خلال فصول سرد تنظیم تراز هندسی و بالاست‌ریزی می‌شوند، با احتمال بیشتری همراه می‌باشد. ۵- کمانش خط گاهی در خلال عملیات بهره‌برداری نامناسب از خط، به عنوان مثال ترمزگیری شدید، آغاز می‌گردد.[3]

**تمهیدات لازم جهت جلوگیری از کمانش**

اگر در یک خط جوشکاری پیوسته، درجه حرارت ریل بیشتر از ۳۵ درجه سانتیگراد باشد، بکارگیری عملیاتی که باعث سبک شدن بالاست در طول بیش از ۲/۵ متر گردد، مجاز نمی‌باشد، این مطلب در مورد بازسازی خط، سرند بالاست، ترازیابی قائم و زیرکوبی و نوسازی تراورسها قابل کاربرد می‌باشد. اگر عملیات جوشکاری در دمای پایین و در شب انجام پذیرد، هیچ گونه مانعی برای زیرکوبی و پس از آن تثبیت دینامیکی و سرعت مجاز خط، به وجود نمی‌آید.[6] مشخصات روسازی که طبق توصیه اتحادیه بین المللی راه آهنها[9] بهتر است در این خطوط بکار گرفته شوند عبارت است از: ۱- تمامی ریلهای پاشنه تخت برای این خطوط مناسب است. ۲- در هر بخش از خط، ترجیحاً پروفیل ریل، سطح مقطع و شکل آن باید یکسان باشد در صورت امکان از ریلهای سوراخ دار نباید استفاده نمود. ۳- پیشنهاد می شود قبل از قرار گرفتن مجدد ریلها در خطوط، آزمایش آلتراسونیک روی آنها انجام شود و کلیه معایب ریل برطرف گردد. ۴- فقط استفاده از پابندهایی که پایداری پانل خط را در طول زمان تضمین نمایند و در برابر خزش ریل مقاوم باشند مجاز است. ۵- پیشنهاد می شود که راه آهنها، حداقل مقادیر سختی و پایداری پانل خط و مقاومت در برابر خزش ریل را در نظر بگیرند. ۶- مقاومت در برابر خزش ریل بر روی تراورسها را می توان با استفاده از ادوات ضد خزش افزایش داد. در انتهای بخش خط ، باید درزهای اتصالی با تجهیزات ضد خزش یا ادوات خاص درزهای انبساط مورد استفاده قرار گیرند. ۷- از انواع تراورسهای چوبی ، فلزی یا بتنی می توان در این خطوط استفاده کرد. حداکثر فاصله پیشنهادی تراورسها 650 میلیمتر برای خطوط کلاس ۱تا ۴ و ۷۰۰ میلیمتر برای خطوط کلاس ۵ تا ۹ در طبقه بندی اتحادیه بین المللی راه آهنها می باشد. ۸- مقاومت عرضی و طولی مناسب خط به دانه بندی ، شکل هندسی، پاکیزگی و تراکم بالاست وابسته است. ۹- توزیع دانه بندی باید یکنواخت و در محدوده 65-25 میلیمتر بوده و ترجیحاً بالاست از سنگ سخت با لبه های تیز و عاری از سنگهای صاف و نازک و کروی باشد.۱۰- حداقل عمق پیشنهادی بالاست در زیر تراورس 300 میلیمتر و در صورتی که زیرسازی مناسب باشد، عمق 200 میلیمتر کافی است.۱۱- حداقل شعاع مجاز قوسها، به پروفیل ریل، سیستم پابند، نوع و فاصله بین تراوسها و پروفیل بالاست و اختلاف درجه حرارت بین دمای نهایی بستن ریلها و حداکثر دمای ممکنه ریل بستگی دارد. برای مثال در خطی که از تراورسهای چوبی و ریلهای UIC 60 ساخته شده است، حداقل شعاع می تواند بین 500 تا800 میلیمتر باشد. در خطوط با تراورسهای فلزی یا بتنی، شعاع کمتر نیز قابل قبول می باشد.۱۲- هنگامیکه دمای ریل پایین تر از دمای مجاز نصب باشد جوشکاری نهایی ریلهای طویل فقط پس از گرمایش یا کشش، قابل قبول است و ریلهای طویل پس از جوشکاری بلافاصله باید بسته شوند.۱۳- تنش زدایی و عملیات جوشکاری فقط در صورتیکه سطح و راستای خط مطابق استاندارد بوده و بالاست در شرائط خوبی باشد، قابل اجرا می باشد.۱۴- حداقل دمایی که میتوان در آن عملیات انجام داد ۰ درجه سانتیگراد می باشد و حداکثر دما، نباید بیش از دمای بستن بعلاوه ۱۵ درجه سانتیگراد شود. [6]

جهت کاهش احتمال کمانش خط تمهیدات زیر مؤثر می‌باشد: ۱- نیروی محوری درون ریل باید تا حد امکان کوچک (بدون ایجاد نیروی شکستگی کششی در فصول سرد) پیش‌بینی شود. ۲- صلبیت جانبی خط (که از قاب ریل- تراورس و بالاست تشکیل می‌شود) باید تا حد امکان بزرگ انتخاب شود. هدف از تمهید ۱، نصب و نگهداری ریل‌ها در دمای خنثی بوده تا از افزایش بیش از حد نیروی فشاری تحت بارگذاری قطار در ریل‌ها پرهیز گردد. در روش نصب مورد استفاده در بسیاری از راه‌آهن‌های اروپایی، از عدم وجود تنش در ریل‌ها در درجه حرارت متوسط بین مقادیر بیشینه درجه حرارت محیطی در منطقه، اطمینان حاصل می‌نمایند. این روش در مناطقی که در معرض تغییرات درجه حرارت زیادی نباشند (آب و هوای معتدل) مفید استفاده می‌باشد. روش دیگر برآورده نمودن هدف ۱، کاهش درجه حرارت ریل با رنگ‌آمیزی ریل‌ها به رنگ سفید می‌باشد. مطابق نتایج آزمایش درجه حرارت در ریل‌های به رنگ سفید حدود 5 تا 7 درجه سانتیگراد کمتر از ریل‌های معمولی رنگ‌نشده برآورد گردیده است. البته در بسیاری از راه‌آهن‌ها مانند خطوط باری آمریکای شمالی، این روش عملی به نظر نمی‌رسد و بهره‌گیری از آن تنها در موقعیت‌های خاص پیشنهاد می‌شود. [3]

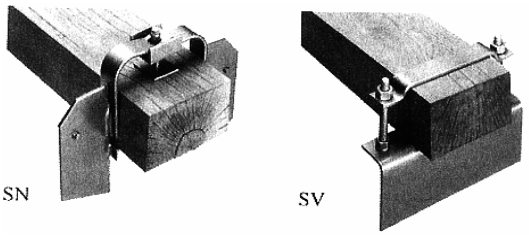
هدف ۲، نیز با افزایش مقاومت جانبی خط و افزایش مقادیر مقاومت در لایه دانه‌ای بالاست قابل انجام می‌باشد. بمنظور افزایش صلبیت جانبی قاب ریل- تراورس، بسیاری از راه‌آهن‌ها از پابندهای دارای سختی پیچشی بیشتر مانند پابندهای فنری و تراورس‌های مونوبلوک دارای سختی خمشی جانبی بزرگ‌تر، بهره می‌برند. در راستای افزایش مقاومت طولی، بالاست آخوری بین تراورس‌ها باید تا زیر سطح فوقانی تراورس‌ها پر شده و متراکم گردد. همچنین تراورس‌های سنگین‌تر و عمیق‌تر (برای مثال تراورس‌های مونو بلوک

[9] UIC

Archive of SID

www.SID.ir

پیش‌تنیده) مقاومت محوری خط را افزایش می‌دهند. مقاومت جانبی لایه دانه‌ای بالاست با افزایش عرض شانه‌های بالاست، افزایش ارتفاع بالاست شانه بیش از تراز فوقانی تراورس‌ها، افزایش وزن و سطح تراورس‌ها، متراکم‌سازی بالاست و نصب کلاهک‌های ایمنی (که سطح مؤثر جانبی تراورس‌ها را افزایش می‌دهد)، قابل افزایش می‌باشد. نمونه‌ای از کلاهک‌های ایمنی در شکل ۱۵نشان داده شده است. [3]




شکل ۱۵: کلاهک‌های ایمنی جهت افزایش مقاومت جانبی خط

بمنظور جلوگیری از کمانش خط، بسیاری از راه‌آهن‌ها (خصوصاً راه‌آهن‌های اروپایی) عرض شانه بالاست را افزایش داده‌اند. به عنوان مثال راه‌آهن آلمان و راه‌آهن شوروی سابق عرض شانه‌های بالاست را در خطوط مستقیم به ۳۵ سانتیمتر افزایش دادند. در خطوط سریع‌السیر راه‌آهن آلمان، عرض شانه‌های بالاست برابر ۵۰ سانتیمتر انتخاب شده است. در خلال چند دهه اخیر، روش استاندارد مورد استفاده در راه‌آهن آمریکای شمالی عرض شانه را ۱۵ سانتیمتر پیشنهاد نموده است. طبق بررسیهای انجام شده در خطوط آمریکای شمالی، به نظر می‌رسد که اقتصادی‌ترین و مؤثرترین راهکار جلوگیری از کمانش خط در این خطوط، افزایش عرض شانه تا حدود ۳۸ سانتیمتر و افزایش ارتفاع آنها می‌باشد. [3]

برای اطمینان از آنکه تغییرات طول ریل در اثر تغیرات دما، با تنشهای اضافی در بعضی نقاط حساس در طول خط (مانند انتهای پلهای فلزی، خروجیها و ورودیهای ایستگاهها و ...) همراه نباشد، ابزار انبساطی در این نقاط نصب می شوند.

برای بازرسی منظم خطوط جوشکاری پیوسته، راستا و تراز خط، پروفیل بالاست، کارایی پابندها، شرایط ریلها مورد توجه قرار می گیرد. انجام بازرسی قبل از دوره گرمای شدید بسیار اهمیت دارد. تعداد دفعات بازرسی به حجم ترافیک، سرعت، نوع و شرایط روسازی وابسته است. ادوات ثابت خط نظیر سوزن و تقاطع، ادوات انبساط، پلها، گذرگاههای همسطح و دهانه تونلها، مناطق انبساطی در خطوط جوشکاری پیوسته و محلهایی که عملیات روی بالاست به تازگی انجام شده باشد، پروفیل بالاست کافی نباشد، تراورسها بصورت یکنواخت زیرکوبی نشده باشند، بستر خط ضعیف باشد، اتصالات اضطراری وجود داشته باشد، وضعیت پابندهای ریل نامناسب باشد، بایستی مورد بازرسی قرار گیرند. همچنین زمانیکه دما در دوره زمانی کوتاهی افت شدیدی داشته باشد و به مقادیر بسیار پایینی برسد می بایست بازرسی خاص صورت گیرد.[6]

در اثر عملیات جوشکاری و یا تغییر شکلهای غیر عادی حرارتی (در اثر عملیات تعمیر و نگهداری یا خزش ریل) ممکن است دما در طول خط غیر یکنواخت باشد که این عوامل نگهداری و بهره برداری ایمن از خطوط پیوسته را به خطر می اندازد، لذا برای حصول اطمینان از ایمنی کامل خط، در هنگامیکه دمای ساخت مطابق مقدار تصریح شده نباشد، پابندهای خط و گیره های ضد لغزش در تمام یا قسمتی از خط پیوسته باز و یا شل می شوند تا ریل ها به مقدار مناسب منبسط و یا منقبض شوند و پس از انبساط یا انقباض ریلها خط مجدداً مهار می شود تا دمای ساخت به مقدار مورد نظر رسیده باشد، این عملیات اصطلاحاً تنش گیری[10] نامیده می شود. در مناطقی با آب و هوای بسیار سرد، خطوط پیوسته تنش دار باید دوبار در سال تنش گیری شوند که معمولاً در بهار و پاییز می باشد. تنش گیری باید در دمای ساخت انجام شود تا اطمینان حاصل شود که نیروی فشاری از مقدار مجاز تجاوز نخواهد کرد.[۵]

تنش زدایی بعد از گذشت مدت زمانی از کارگذاری ریل طویل که بستگی به بار ترافیکی لازم برای پایدار شدن خط دارد، انجام می گیرد. این بار معمولاً ۱۰۰۰۰۰ تن برای تراورسهای چوبی و ۲۰۰۰۰ تن برای تراورسهای بتنی است. تنش زادیی بایستی بصورت تدریجی در طولهای ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و در شرائط استثنایی ۱۲۰۰ متر انجام گیرد. [۴]

فلسفه تنش گیری اینست که سطح تنش ریل را به مقدار اولیه آن در دمای ساخت یا به مقداری که متناسب با تغییر درجه حرارت آن از دمای ساخت می باشد برسانیم. ۲ روش برای تنش گیری وجود دارد که عبارتند از آزاد کردن دما[11] و آزاد کردن نیرو[12]. در روش اول تمامی پابندها در محدوده دمای مورد نظر باز می شوند تا ریلها آزاد و منبسط شوند و پس از اینکه تنش آزاد شد، خط مجدداً مهار می شود. یکی از مرسومترین روشهای آزاد کردن نیرو ، تنش گیری بوسیله غلطک می باشد. در روش دوم مقاومت پابندها را با شل کردن پیچها به مقدار مناسبی کاهش می دهند و ریل ها را توسط نیروی خارجی منبسط یا منقبض می کنند و پس از اینکه تغییر طول خط به مقدار لازم رسید آنرا مهار می کنند. تنش گیری بوسیله عبور قطار و تنش گیری با ضربه زنی در این طبقه بندی قرار می گیرند.[۵]

اگر بدلیل عدم رسیدگی به خط در زمان مناسب، کمانش در خط جوشکاری پیوسته بوقوع بپیوندد، لازم است که برای رفع این عیوب اقدامات زیر صورت گیرد:۱- هرگونه وقوع کمانش در خط بلافاصله سبب بروز مخاطره در بهره برداری می گردد و بلافاصله باید خط را مسدود نمود. در صورت تغییر شکل خط، محدودیت سرعت حرکت۱۰ الی30 کیلومتر بر ساعت اعمال می شود و به هنگام عبور قطار از محل تغییر شکل خط، نظارت کامل صورت می پذیرد. پس از اصلاح کمانش یا تغییر شکل خط در محل آسیب دیده، تردد وسایل نقلیه در ابتدا باید با سرعت بسیار کم انجام می شود و خط در هنگام عبور قطار مورد بررسی قرار می گیرد. محدودیت سرعت تا پایان دوره پایداری خط باید اجرا شود. ۲- برای بازسازی موقت خط پس از کمانش بایستی میان دو ریل برش داده شده (در نقطه ای که

[10] STRESS Liberation

[11] Temperature Liberation

[12] Forced Liberation

Archive of SID

www.SID.ir

جوشکاری را بدون مشکل بتوان انجام داد) و اضافه طول حذف می گردد، سپس خط به حالت اولیه خود بازگردانده می شود. پابندها حداقل در طول منطقه آسیب دیده شل شده و سپس مجدداً محکم می شوند. ریلها با وصله ریل همانند اتصالات اضطراری با ایجاد فضای کافی انبساط، بسته می شوند. ریلهای دارای تاب خوردگی و تراورسهای معیوب نیز تعویض می شوند. در منطقه آسیب دیده در صورت نیاز، بالاست ریزی، زیرکوبی، ترازیابی و متراکم سازی انجام می شود. در بخشهای تعمیر شده موقت، محدودیت سرعت اعمال و کنترل پیوسته ای بر رفتار خط انجام می شود. ۳- تعمیر نهایی کمانش و تغییر شکل خط، مشابه عملیات خط گذاری می باشد و تنش زدایی در دامنه دمای بستن ریل انجام می پذیرد. در فصول گرم، هنگامیکه احتمال کمانش بیشتر است، ریلها را می توان بصورت موقت در دمای بالاتر از دمای مقرر بستن آزاد نمود. تنش زدایی نهایی پس از جوشکاری ریلهای طویل جایگزین شده، قبل از دوره سرمای سالیانه و در دامنه مجاز دمای بستن صورت می پذیرد. [6]

**نتیجه گیری و پیشنهادات**

در این مقاله ضمن بررسی عوامل موثر بر کمانش ، اقدامات لازم جهت پیشگیری از کمانش خط مورد بررسی قرار گرفت. بررسی و نظارت صحیح بر عملیات جوشکاری و جوشکاری بهنگام، تعیین درجه حرارت خنثی ریلگذاری خصوصاً در قوسها، تعیین مناطقی که احتمال کمانش در آنها بیشتر است و کنترل بیشتر این مناطق، توجه به عمر بهره برداری خط و در نظرگرفتن سیکلهای گرم و سرد شدن آن، تامین سختی طولی مناسب (جلوگیری از خزش ریل و استفاده بهینه از ادوات ضد خزش)، نصب مناسب کلاهکهای ایمنی بر روی تراورسهای بتنی برای افزایش پایداری خط در برابر تغییرات دمایی، افزایش مقاومت جانبی (افزایش عرض شانه بالاست، افزایش زبری در سطح تماس تراورسها با بالاست) و جلوگیری از نقاط ضعیف محلی که منجر به توزیع غیریکنواخت مقاومت جانبی می گردند، توجه به تغییردر مقاومت خط که بستگی به عوامل آب و هوایی مانند رطوبت و درجه حرارت و همچنین تناژ عبوری از خط دارد، استفاده از پابندهای با مقاومت پیچشی بیشتر (پابندهای فنری) جهت افزایش دمای لازم برای کمانش، افزایش دمای خنثی ریل از طریق کشنده های هیدرولیکی یا بهینه کردن گرمایش ریل، یکنواخت کردن دمای خنثی در محل از طریق بهینه کردن تنش زدایی در طول خطوط جوشکاری پیوسته، اطمینان از کفایت پابندها، محدود کردن حرکت قوسی، اندازه گیری ناترازیهای جانبی با استفاده از ماشین اندازه گیر خط و کنترل و برنامه ریزی جهت حذف آنها در اسرع وقت، کاهش ناترازیهای طولی از طریق کاهش نیروهای بالابرنده ریل با بهینه کردن خصوصیات وسیله نقلیه و کاهش سرعت، محدود کردن حرکت قوسی در اثر دما، تنش گیری صحیح و به موقع، بکارگیری ابزار و درز انبساط در مکان مناسب، استفاده از ابزارهای ایمنی جهت کنترل نیروهای جانبی وارد برخط از طرف وسیله نقلیه، اعمال محدودیت سرعت در صورت لزوم از اقدامات موثر در جلوگیری و پیشگیری از وقوع کمانش می باشند. پیشنهاد می گردد در شبکه ریلی ایران بر اساس بحرانی بودن خطوط با جوشکاری پیوسته ایران پهنه بندی صورت گیرد و نظارت و بازرسی صحیحی برای جلوگیری از کمانش خطوط و شکستگی کششی ریلها و جوشها انجام شود.

**مراجع**


[1] فاطمه داودی، مدلسازی و تحلیل پدیده کمانش در خطوط CWR ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی راه آهن ، ۱۳۸۷.

[2] فاطمه داودی، بررسی عوامل کمانش خط و مطالعه روشهای پایداری جانبی خطوط CWR ، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی راه آهن ، ۱۳۸۶.

[3] سعید محمدزاده، ماهان یلداش خان، اصول مهندسی خط راه آهن، مرکز آموزش علمی- کاربردی راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۵.

[4] سعید محمدزاده، مطالب پیشنهادی درس روسازی راه آهن ۱، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی راه آهن،۱۳۷۷.

[5] امیر حسین فتح ا...زاده، بررسی کمانش جانبی خطوط CWR، پایان نامه تحصیلی کارشناسی، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی راه آهن، ۱۳۸۳.

[6] فیش UIC720 ، خط گذاری و نگهداری خطوط متشکل از ریلهای جوشکاری شده طویل، اتحادیه بین المللی راه آهنها، ۱۹۹۸.

[7]Track Buckling Research, FRA & VOLP Center, 1998.

[8]C. Esveld, Modern Railway Track, Delft University of Technology, 2001.

[9] Theodore Sussmann, Andrew Kish, Investigation of the Influence of Track Maintenance on the Lateral Resistance of Concrete the Track, Amtrak.

[10] The Influence of Track Maintenance on the Lateral Resistance of Concrete Tie Track, U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration, 2003.

[11]Andrew Kish, Theodore Sussmann ,Michael Trosino, Effects of Maintenance Operations on Track Buckling Potential, Us Dot/Federal Railroad Administration Research.

[12] Andrew Kish, Gopal Samavedam, Risk Analysis Based CWR Track Buckling Safety Evaluations.



Archive of SID

www.SID.ir