

بررسی اندرکنش طولی خط و پل راه آهن

مقاله علمی - پژوهشی

سعیده باکری*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

سعید محمدزاده، دانشیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Saeideh.bakeri@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸ - پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵

صفحه ۱۲-۱

چکیده

استفاده از خطوط جوشکاری شده طویل از ملزومات خطوط سریع‌السر است. عواملی همچون تغییر دما، خمش سازه‌ی تکیه‌گاهی و بار ترمز موجب اندرکنش طولی خط و پل می‌شوند و نیروی طولی زیادی در ریل به وجود می‌آورند؛ از آنجایی که وجود پل‌ها در مسیر خط امری اجتناب‌ناپذیر است، لذا بررسی اندرکنش طولی خط-پل، در پل‌های راه آهن، امری ضروری است. در این مقاله، مدلسازی اجزا محدود پدیده اندرکنش طولی خط-پل توسعه داده شده و در حالت سختی طولی غیرخطی اعتبارسنجی شده است. به منظور حل یک مسأله واقعی، پل راه آهن ایزدخواست با خط جوشکاری شده پیوسته واقع در مسیر راه آهن اصفهان-شیراز، انتخاب شده و پدیده‌ی اندرکنش طولی خط-پل با رویکرد قطعی مطالعه شده است. در این رویکرد تنش‌های بوجود آمده در ریل ناشی از اندرکنش طولی خط-پل تحت اثر تغییرات دمای پل، بار ترمز و خمش سازه‌ی تکیه‌گاهی با در نظر گرفتن سختی طولی گسترده غیرخطی بدست آمده و با مقادیر مجاز کنترل شده‌اند. همچنین تحلیل پارامتری دمای پل، موقعیت اعمال بار قائم، تغییرمکان حدالاستیک و ضریب انبساط حرارتی انجام شده است. حداکثر تنش‌های طولی هنگام بارگذاری دهانه سوم پل رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: اندرکنش طولی خط-پل، خط جوشکاری شده پیوسته، سختی غیرخطی، تنش طولی، تحلیل پارامتری

۱-مقدمه

همچنین در طراحی جاری پل‌های راه آهن، امری ضروری است. راه آهن ایران جز UIC بوده و فیش UIC 774-3 (2001) به بررسی پدیده‌ی اندرکنش خط-پل پرداخته و برای محاسبات پل‌های راه آهن با در نظر گرفتن این پدیده پیشنهاداتی ارائه کرده است. راکش کومار و آخیل آپادهای در خصوص اثر تغییر دما بر اندرکنش خط-پل در سال ۲۰۱۲ مطالعاتی انجام داده‌اند (Kumar and Upadhyay, 2007). وانگ پینگ و همکارانش در سال ۲۰۱۱ در مورد نیروهای طولی خط CWR ناشی از پدیده‌ی اندرکنش طولی خط و پل مطالعاتی انجام داده‌اند (Wang et al., 2014). بر اساس تئوری اجزاء محدود، به منظور مطالعه‌ی ویژگی‌های نیروهای طولی در خط آهن جوشکاری شده‌ی پیوسته (CWR) بر روی عرشه‌ی پل قوسی، مدل محاسباتی سیستم اتصال

استفاده از خطوط جوشکاری شده طویل از ملزومات خطوط سریع‌السر است. از مباحث مهم در خطوط جوشکاری شده طویل، اندرکنش طولی خط با سازه‌ی پل بوده و وجود چنین مسأله‌ای می‌تواند بهره‌برداری از خط را با مشکل مواجه کند. نتایج نشان می‌دهد که اندرکنش بین خط CWR و سازه‌ی پل، نه تنها نیروهای طولی در سازه‌ی زیرین ایجاد می‌کند، بلکه تنش‌های اضافی قابل توجهی نیز در ریل بوجود می‌آورد. این تنش‌ها، می‌تواند منجر به شکست ریل و یا کماتش خط شود (Wang et al., 2014). نیروهای طولی در ریل در اثر بار ترمز، تغییردمای سازه تکیه‌گاهی یا خمش عرشه پل ایجاد می‌شوند. دو مورد آخر منجر به تنش طولی قابل توجهی در ریل می‌شوند (Ruge and Brik, 2007). لذا بررسی اندرکنش طولی خط-پل، در پل‌های موجود و

طول کمتری در ریل ایجاد می‌کند. با افزایش سختی طولی خط، تنش طولی ایجاد شده نیز افزایش می‌یابد. از دو روش تحلیل مجزا و تحلیل ترکیبی تنش‌های کل بدست آمده است (Ruge and Brik, 2007). در مراجع (Yang & Pan, 2021, Kang, Wenner & Marx, 2021, Widarda, 2009, Fryba, 1996, Yun and Park, 2016, Ccalcada et al., 2009, Wen-shuo et al., 2013, Ruge et al., 2009, Ruge et al., 2009, Schanack et al., 2014, Zhang et al., 2015, Yan et al., 2012) نیز مطالعاتی بر روی اندرکنش طولی خط-پل انجام شده است.

۲- تنش طولی مجاز ریل

به طور کلی تنش اضافی در خطوط CWR بر روی پل نباید از مقادیر مجازی که در مرجع (UIC 774-3, 2001) آورده شده است تجاوز کند.

در مورد ریل CWR 60 UIC بر روی بستر بالاستی با تراورس‌های بتنی و بالاست با عمق بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر و تراکم خوب، تنش طولی مجاز ناشی از اندرکنش خط-پل برابر است با:

- ماکزیم تنش مجاز فشاری ریل برابر ۷۲ مگاپاسکال

- ماکزیم تنش مجاز کششی ریل برابر ۹۲ مگاپاسکال

این تنش‌های مجاز از این رابطه $\sigma_{all} = a \cdot (b \cdot \sigma_U - \sigma_E - \sigma_Q - \sigma_T)$ بدست آمده‌اند (a و b ضرایب کاهشدهنده هستند).

"ریل، پل، پایه‌ی پل" براساس اصول اندرکنش «پل-خط» ایجاد شد. از این مدل برای محاسبه‌ی نیروهای ناشی از انبساط حرارتی عرشه، نیروهای ناشی از خمش عرشه زیر بارهای ترافیکی قائم (نیروهای خمشی)، نیروهای اعمالی بر عرشه ناشی از ترمزگیری قطار می‌توان استفاده نمود. تغییرات حرارتی حلقه‌ی قوس بر روی نیروهای طولی CWR اثر زیادی دارد، هنگامی که تغییرات دمایی حلقه‌ی قوس در نظر گرفته می‌شود، نیروی ماکزیم ناشی از انبساط حرارتی عرشه با ضریب ۳٫۷ افزایش می‌یابد. پاول ریجاشک و همکارانش در سال ۲۰۱۴ اندرکنش طولی یک پل فولادی را با خط CWR بررسی کردند (Ryjáček and Vokáč, 2014). در این مقاله پایش دائمی بر روی یک پل فولادی انجام شده بود، اثر تغییرات دما بر اندرکنش طولی خط-پل مورد بررسی قرار گرفت. روی پل دو نوع روسازی: بالاستی و بدون بالاست اجرا شده بود. نیرو و تنش ایجاد شده در ریل و همچنین تغییر مکان نسبی بین ریل و پل در دهانه‌هایی با روسازی بالاستی با دهانه‌های بدون بالاست مقایسه شد. همچنین نتایج بدست آمده از پایش تحلیل شد و با نتایج بدست آمده از تحلیل مدلسازی عددی مقایسه شد. پروفیسور روگه و کارولین بریک در سال ۲۰۰۷ مطالعات جامعی در خصوص اندرکنش طولی خط و پل انجام دادند (Ruge and Brik, 2007). در این مقاله پل انتخاب شده با روسازی دال خط مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این تحقیقات حاکی از آن است که خط بالاستی در مقایسه با دال خط، تنش‌های

جدول ۲. نماد تنش‌های ریل و مقادیر آن‌ها

σ_{all-c}	تنش مجاز فشاری	72 MPa
σ_{all-t}	تنش مجاز کششی	92 MPa
σ_U	تنش نهایی	580 Mpa
σ_E	تنش پسماند	80 Mpa
σ_Q	تنش خمشی	158 Mpa
σ_T	تنش حرارتی	126 Mpa

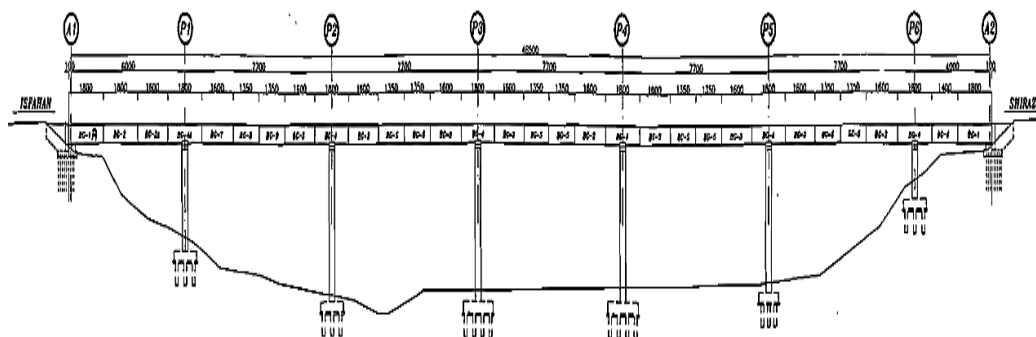
می‌شود. با فرض $b = 0.8$ تنش کل ایمن ریل $\sigma_{safe} = b\sigma_U = 470 \text{ MPa}$ می‌شود و تنش مجاز برابر خواهد بود با:

$$\sigma_{all} = a \cdot (b \cdot \sigma_U - \sigma_E - \sigma_Q - \sigma_T) = a (470 - 80 - 158 - 126) = a \cdot 106$$

بنابراین، ضریب a برای تنش کششی برابر ۰٫۸۷ و برای تنش فشاری ۰٫۶۸ فرض شده است.

۳- مطالعه موردی پل ایزدخواست

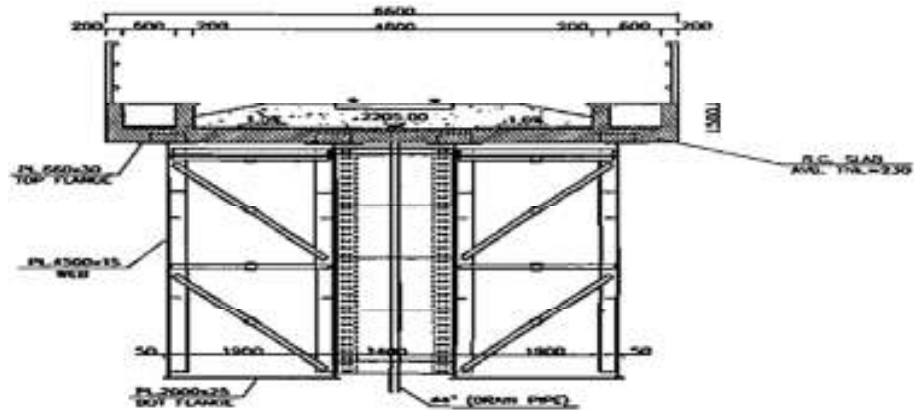
پل دره ایزدخواست واقع در (کیلومتر ۱۴۳ + ۴۳۳) مسیر راه آهن اصفهان- شیراز که خط CWR بر روی آن اجرا شده است؛ برای مدلسازی انتخاب شده است. مطابق شکل (۱) این پل شامل ۷ دهانه به طولهای (۴۱، ۷۷، ۷۷، ۷۷، ۷۷، ۷۷، ۷۷) متر می باشد، مقطع پل مرکب و شامل عرشه بتنی و تیرهای فولادی است شکل (۲). روسازی خط بالاستی و تراورسها بتنی می باشند.



شکل ۱. نمای طولی سگمت های تیورق پل



شکل ۲. سه نما از پل ایزدخواست



شکل ۳. مقطع عرضی پل در وسط دهانه

جدول ۱. مشخصات ریل و پل ایزدخواست

نوع روسازی	بالاستی
طول پل	$L = 487 \text{ m}$
تغییر دمای پل	$\Delta T = 35 \text{ }^\circ\text{C}$
بار ترمز	$P = 20000 \text{ N/m}$
بار قائم	$q = 80000 \text{ N/m}$
مدول الاستیسیته	$E = 2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
ضریب انبساط حرارتی پل	$\alpha_{br} = 0.5 \times 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$
سطح مقطع ریل‌ها	$A_R = 15174 \text{ mm}^2$
سختی گسترده خط بارگذاری نشده	$c_u = 1 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
سختی گسترده خط بارگذاری شده	$c_l = 3 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
سختی تکیه‌گاه الاستیک A1, A2	$K_{A1,2} = 9 \times 10^6 \text{ N/m}$
سختی تکیه‌گاه الاستیک P1, P6	$K_{P1,6} = 15.7 \times 10^6 \text{ N/m}$
سختی تکیه‌گاه الاستیک P2, P3, P4, P5	$K_{P2-5} = 4 \times 10^{14} \text{ N/m}$
تغییر مکان حد الاستیک	$\hat{u} = 2 \text{ mm}$

۴-مدلسازی اندرکنش طولی خط و پل

مدل اندرکنش خط CWR و پل با استفاده از روابط اجزا محدود در نرم‌افزار اجزا محدود MATLAB توسعه داده شده است. مدلسازی انجام شده با مثالی از مرجع (UIC 774-3,2001) صحت سنجی شده است و نتایج از انطباق خوبی برخوردار بودند.

مدل اندرکنش خط CWR و پل با استفاده از روابط اجزا محدود در نرم‌افزار اجزا محدود MATLAB توسعه داده شده است. مدلسازی انجام شده با مثالی از مرجع (UIC

۴-۱-ماتریس سختی

با:

در مدلسازی اندرکنش طولی خط و پل از المان محوری استفاده شده است. ماتریس سختی المان محوری برابر است

$$k = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

منفی سختی متمرکز طولی بین این دو المان محاسبه شده است. بدین ترتیب ماتریس سختی سیستم به شکل زیر تشکیل می‌شود.

با سرهم بندی ماتریس هر المان، ماتریس سختی ریل و ماتریس سختی پل محاسبه می‌شود. ماتریس سختی ریل-پل، براساس درجات آزادی مشترک ریل و پل و قرارگیری مقدار

$$K = \begin{bmatrix} k_{rail} & k_{rail/bridge} \\ k_{rail/bridge} & k_{bridge} \end{bmatrix} \quad (2)$$

خمشی المان تیر استفاده شده است و سرهم‌بندی و تشکیل ماتریس کلی سیستم، مشابه حالت قبل است.

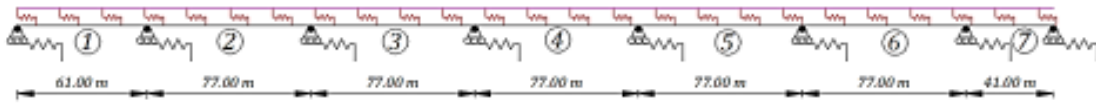
برای بدست آوردن دوران تکیه‌گاه که در محاسبه تنش طولی ناشی از خمش استفاده می‌شود، از ماتریس سختی

$$k = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

۴-۲- اثر موقعیت بار قائم

گرفت که شامل ۲۸ حالت بارگذاری بوده است. در شکل (۴) شماره‌گذاری دهانه‌های پل نشان داده شده است.

در این قسمت برای پیدا کردن محل اعمال بار قائم که بیشترین و بحرانی‌ترین تنش ممکن به دست آید، تمام حالات ممکن بارگذاری قطار روی پل مورد بررسی قرار



شکل ۴. شماره‌گذاری دهانه‌های پل از چپ به راست

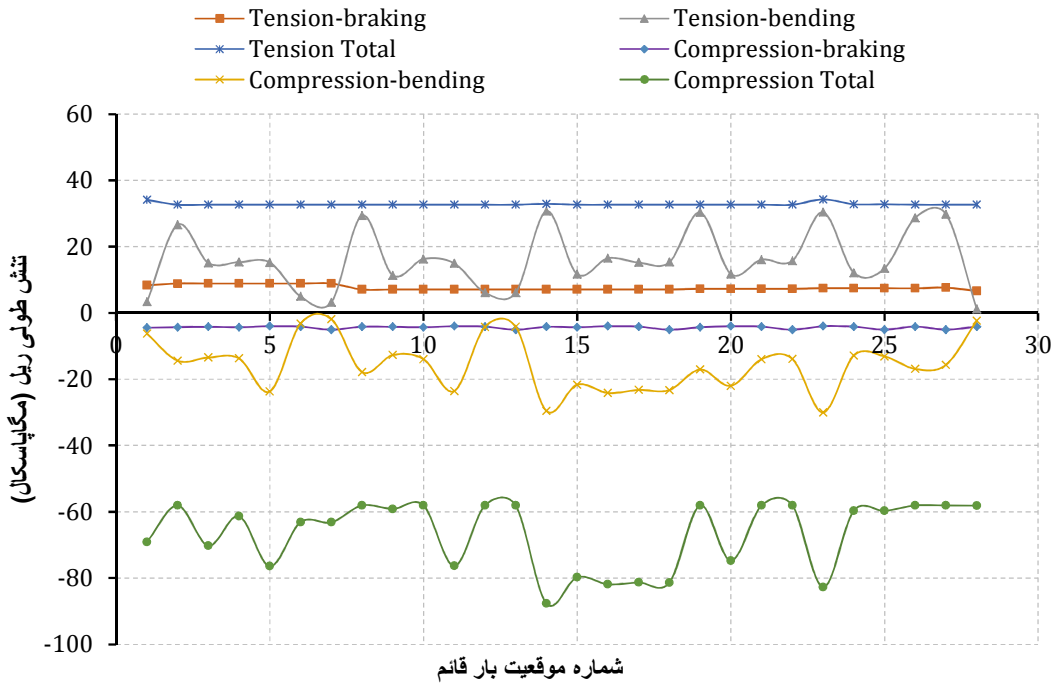
جدول ۳. راهنمای شماره موقعیت بارگذاری دهانه‌های روی پل

Num.	L.S	Num.	L.S	Num.	L.S	Num.	L.S	Num.	L.S	Num.	L.S	Num.	L.S
1	1	5	1 to 5	9	2 to 3	13	2 to 7	17	3 to 6	21	4 to 6	25	5 to 7
2	1 to 2	6	1 to 6	10	2 to 4	14	3	18	3 to 7	22	4 to 7	26	6
3	1 to 3	7	1 to 7	11	2 to 5	15	3 to 4	19	4	23	5	27	6 to 7
4	1 to 4	8	2	12	2 to 6	16	3 to 5	20	4 to 5	24	5 to 6	28	7

L.S: Loaded Spans

دهانه‌های ۱ و ۲ و ۳ بارگذاری شده اند، و (۳) بدان معناست که تنها بر روی دهانه‌ی ۳ بارگذاری شده است.

در جدول (۳) بیان شده است که شماره موقعیت بار قائم که در ادامه از آن استفاده شده است شامل بارگذاری چه دهانه‌هایی می‌باشد. برای مثال (۳تا۱) بدین معناست که



شکل ۵. اثر موقعیت قرارگیری قطار در تنش طولی ریل

شکل (۵) ماکزیمم تنش طولی فشاری و کششی ریل در اثر اندرکنش خط-پل را تحت بار ترمز و خمش عرشه، و تنش کل را برای تمام موقعیت‌های مختلف قرارگیری بار قطار نشان می‌دهد. توجه شود که تنش ناشی از تغییر دمای

پل به موقعیت بار بستگی ندارد و با توجه به این نکته می‌توان روند نسبتاً ثابت تنش کششی کل را توضیح داد. زیرا ماکزیمم تنش کششی که در ریل بوجود می‌آید در اثر بارگذاری تغییردما می‌باشد.

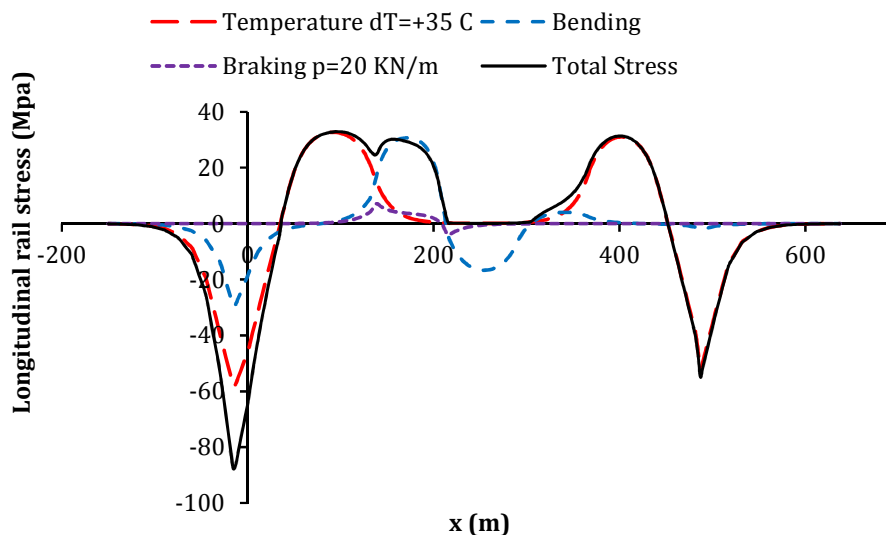
جدول ۴. ماکزیمم تنش فشاری ریل در موقعیت بارهای مختلف

Num.	M.C.S	Num.	M.C.S	Num.	M.C.S	Num.	M.C.S	Num.	M.C.S	Num.	M.C.S	Num.	M.C.S
1	-65.26	5	-70.78	9	-61.84	13	-63.23	17	-83.28	21	-62.16	25	-61.99
2	-57.29	6	-63.34	10	-61.55	14	-87.65	18	-82.82	22	-61.79	26	-60.33
3	-67.10	7	-63.94	11	-74.60	15	-82.94	19	-62.91	23	-79.03	27	-59.97
4	-60.84	8	-60.46	12	-62.66	16	-84.23	20	-73.81	24	-62.33	28	-59.64

M.C.S: Maximum Compression Stress

مطابق جدول (۴) که صرفاً مقدار تنش‌های فشاری به علت بحرانی بودن ارائه شده است، بیشترین مقدار تنش فشاری کل زمانی است که دهانه سوم روی پل بارگذاری

قائم شده باشد؛ که مقدار تنش فشاری کل به 87.65 مگاپاسکال می‌رسد. این مقدار از حد مجاز تنش فشاری یعنی 72 مگاپاسکال 22 درصد بیشتر است.

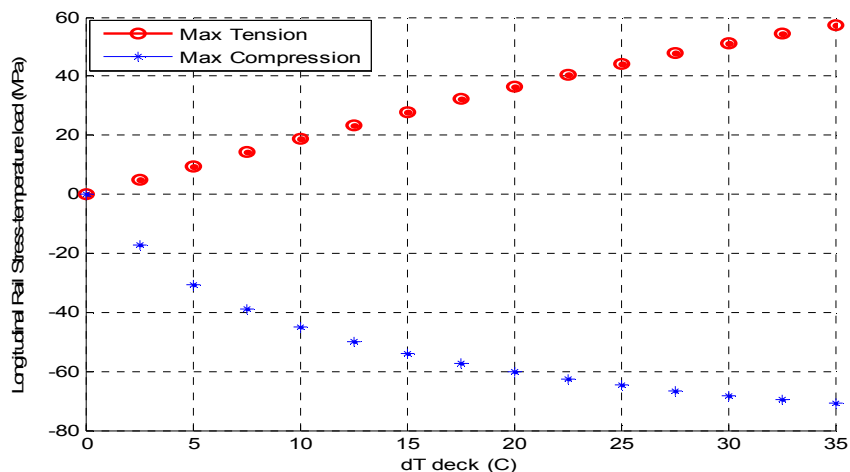


شکل ۶. تحلیل غیرخطی اندرکنش طولی خط و پل در اثر تغییرات دما، خمش تکیه‌گاه و بار ترمز

شکل (۶) تنش طولی ریل را برای بارگذاری قائم دهانه سوم پل، در اثر تغییرات دمای پل $dT=+35^{\circ}C$ ، بار ترمز و خمش عرشه نشان می‌دهد. تغییر دمای پل و سپس خمش تکیه‌گاه بیشترین تاثیر را در تنش طولی ایجاد شده ناشی از اندرکنش طولی خط و پل ایجاد می‌کنند. البته با تغییر موقعیت بارگذاری قائم مقدار تنش‌های ناشی از ترمز و

ناشی از خمش عرشه تغییر می‌کند. در شکل (۴-۲۰) ماکزیمم تنش فشاری کل به 87.65 مگاپاسکال می‌باشد، این مقدار 22 درصد بیشتر از حد مجاز تنش فشاری یعنی 72 مگاپاسکال شده است. ماکزیمم تنش کششی کل 32.9 مگاپاسکال شده است که کمتر از حد مجاز یعنی 92 مگاپاسکال است.

۳-۴- اثر تغییر درجه حرارت پل بر تنش‌های طولی ریل



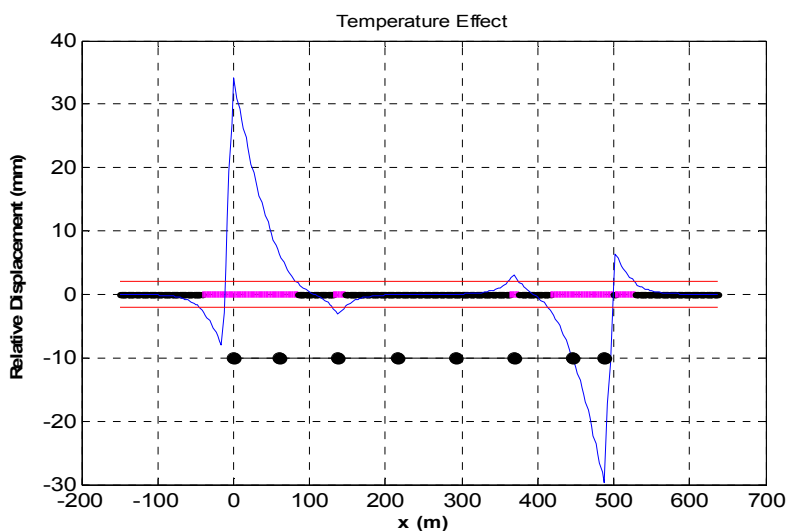
شکل ۷. ماکزیمم تنش طولی ریل ناشی از تغییر دما، در dT های مختلف

تغییر دمای پل $dT=+35$ °C نشان داده شده است. خط ضخیم‌تر ناحیه پلاستیک و خط باریک‌تر ناحیه الاستیک را نشان می‌دهد. هنگامی که تغییر مکان نسبی ریل و پل از ± 2 میلیمتر بیشتر می‌شود؛ وارد مرحله‌ی پلاستیک خواهد شد. بیشترین تغییر مکان نسبی در ابتدای ورود به پل و انتهای پل رخ داده و در نتیجه طول بیشتری از ریل در این نواحی پلاستیک شده است.

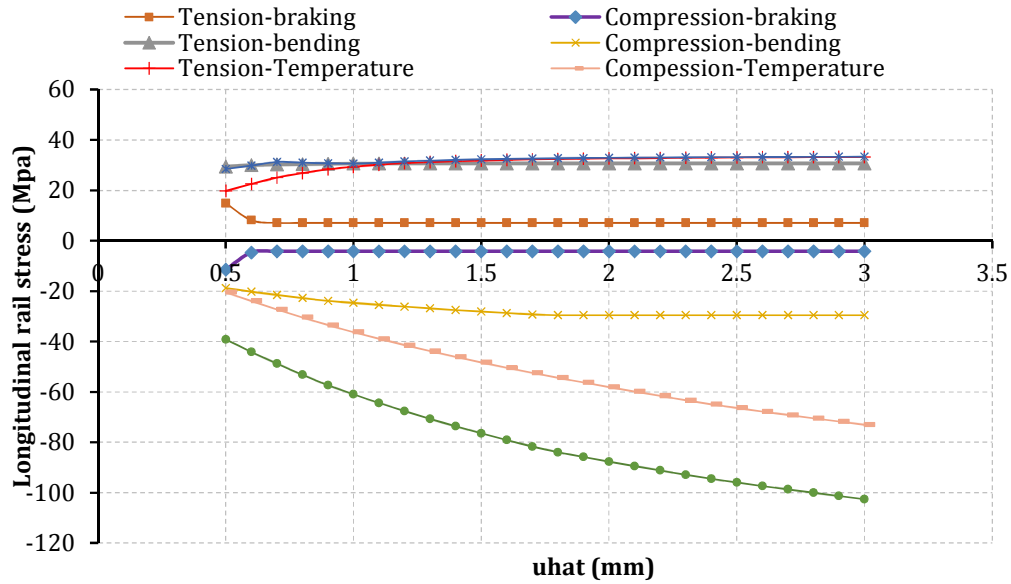
ماکزیمم تنش طولی بوجود آمده در ریل در dT های متفاوت، به تفکیک تنش‌های کششی و تنش‌های فشاری در شکل (۷) نمایش داده شده است. با افزایش تغییر دمای پل تنش طولی ریل افزایش پیدا کرده است، با ۳ برابر شدن دمای پل، ماکزیمم تنش طولی ناشی از آن حدوداً ۱/۵ برابر افزایش یافته است.

۴-۴- مقدار تغییر مکان حد الاستیک

در شکل (۸) محدوده‌ی الاستیک و پلاستیک ریل در اثر



شکل ۸. نواحی الاستیک و پلاستیک ریل در اثر تغییر دمای پل $dT=+35$ °C

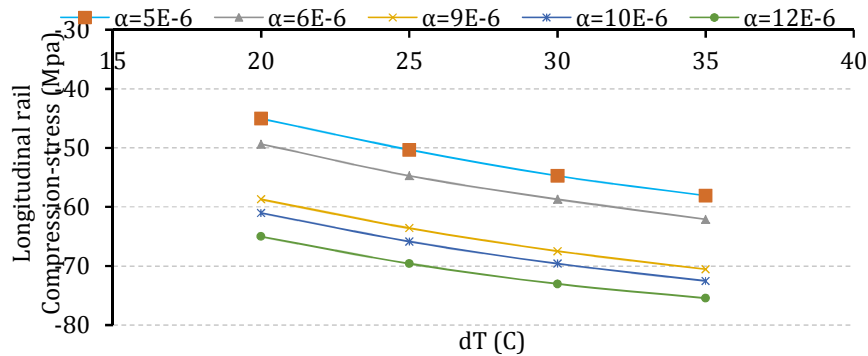


شکل ۹. اثر تغییر مکان حد الاستیک بر تنش طولی ریل

ناشی از خمش از $\hat{u} = 0.5$ تا $\hat{u} = 1.8$ mm افزایش یافته و سپس ثابت شده است. مقدار تنش فشاری و کششی ناشی از ترمزگیری از $\hat{u} = 0.5$ تا $\hat{u} = 0.6$ mm کاهش یافته و سپس ثابت شده است. قسمت‌هایی از نمودار که به مقدار ثابتی رسیده‌اند نشان‌دهنده‌ی آن است که ریل در محدوده‌ی الاستیک قرار دارد، در واقع تغییر مکان‌های نسبی از مقدار تغییر مکان حد الاستیک کمتر بوده است.

با توجه به شکل (۹) با افزایش مقدار \hat{u} مقدار تنش فشاری کل افزایش می‌یابد بگونه‌ای که با افزایش حد الاستیک از ۲ به ۳ تنش ۱۷ درصد و از ۱ به ۳ تنش ۶۸ درصد افزایش یافته است و تنش کششی کل با افزایش حد الاستیک از ۰.۵ تا ۰.۷ میلی‌متر ۴ درصد افزایش، از ۰.۷ تا ۱ میلی‌متر ۲ درصد کاهش و از ۱ تا ۳ میلی‌متر ۹ درصد افزایش یافته است. مقدار تنش کششی ناشی از خمش از $\hat{u} = 0.5$ تا $\hat{u} = 1.6$ mm افزایش یافته و سپس ثابت می‌ماند. مقدار تنش فشاری

۴-۵- اثر تغییر ضریب انبساط حرارتی پل



شکل ۱۰. ماکزیمم تنش فشاری ریل با تغییر دمای پل در ضریب انبساط حرارتی پل

Applied Mechanics and Materials 501-504, pp.1434-1438.

-Dina Rubiana Widarda, (2009), "Longitudinal forces in continuously welded rails due to nonlinear track-bridge interaction for loading sequences".

-F. Schanack, Ó.R. Ramos, J.P. Reyes and M. J. Pantaleón, (2014), "Relative Displacement Method for Track-Structure Interaction", Scientific World Journal.

-J. Zhang, D.J.Wu, Q. Li, (2015), "Loading-history-based track-bridge interaction analysis with experimental fastener resistance", Engineering Structures 83, pp.62-73.

-K. M. Yun, B. H. Park, (2016), "Some Thoughts on Variation of Response according to Longitudinal TrackBridge Interaction Analysis Methods", International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Vol. 11, No. 5, pp. 3689-3695.

-Kang, C., Wenner, M., & Marx, S. (2021). Background investigation on the permissible additional rail stresses due to track/bridge interaction. Engineering Structures, 228, 111505.

-L. Wen-shuo, D. Gong-lian, H. Xu-hui, (2013), "Sensitive factors research for track-bridge interaction of Long-span X-style steel-box arch bridge on high-speed railway", Central South University Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

-L.Fryba, (1996), "Dynamics of Railway Bridge", Academia Praha.

-P. Ruge, C. Birk, (2007), "Longitudinal forces in continuously welded rails on bridge decks due to nonlinear track-bridge interaction", Computers & Structures 85(11), pp.458-475.

-P. Ruge, D.R. Widarda and C.Brik, (2009), "Longitudinal track-bridge interaction for load-sequences", Taylor & Francis Group, Chapter 10, pp.109-127.

شکل (۱۰) تنش فشاری ماکزیمم ریل در شرایط مختلف تغییرات دمای پل را نشان می‌دهد، هرچه ضریب انبساط حرارتی پل بیشتر شده، مقدار مطلق تنش هم افزایش یافته است. برای مثال با تغییر دمای پل از $dT=20$ به $dT=35$ بیشترین اثر مربوط به ضریب انبساط حرارتی $\alpha=5 \times 10^{-6}$ بوده است که مقدار تنش فشاری مربوطه $1,27$ برابر افزایش یافته است. از طرفی به ازای $dT=35$ C با تغییر $\alpha=5 \times 10^{-6}$ به $\alpha=10 \times 10^{-6}$ نیز مقدار تنش فشاری ریل $1,27$ برابر افزایش یافته است.

۵- نتیجه گیری

استفاده از خطوط جوشکاری شده طولی از ملزومات خطوط سریع‌السير است. عواملی نظیر تغییر دمای، خمش سازه‌ی تکیه‌گاهی و ترمز موجب اندرکنش طولی خط و پل می‌شوند و در نتیجه‌ی آن نیروی طولی زیادی در ریل بوجود می‌آورند؛ از آنجایی که وجود پل‌ها در مسیر خط امری اجتناب‌ناپذیر است، لذا بررسی اندرکنش طولی خط-پل، در پل‌های راه‌آهن، امری ضروری است. در این رویکرد بار قطار در تمام حالات بارگذاری روی دهانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و بیشترین تنش برای حالتی که دهانه سوم پل بارگذاری شده بود بدست آمد. در این حالت تنش فشاری ماکزیمم $87/65$ - مگاپاسکال و تنش کششی ماکزیمم $32/9$ مگاپاسکال بدست آمد. که تنش فشاری از مقدار مجاز (72 - مگاپاسکال) 22 درصد بیشتر شده است. در تحلیل پارامتری درجه حرارت پل با 3 برابر شدن دمای پل، ماکزیمم تنش طولی ناشی از آن حدوداً $1/5$ برابر افزایش یافت. در تحلیل پارامتری ضریب انبساط حرارتی با تغییر دمای پل از $dT=20$ به $dT=35$ بیشترین اثر مربوط به ضریب انبساط حرارتی $\alpha=5 \times 10^{-6}$ بوده است که مقدار تنش فشاری مربوطه حدود $1,27$ برابر افزایش یافته است.

۶- مراجع

-B.Yan, G.Dai, H.Zhang, (2012), "Beam-track interaction of high-speed railway bridge with ballast track", J. Cent South Univ.19, pp.1447-1453.

-D.Cai, P.Wang, D.Zhao, H.Luo,(2014), "Laws of bending force on railway bridge",

bridge interaction”, *Interaction and Multiscale Mechanics*, 5(1), pp.1-12.

-Su, M., Yang, Y., & Pan, R. (2021). A comprehensively overall track-bridge interaction study on multi-span simply supported beam bridges with longitudinal continuous ballastless slab track. *Structural Engineering and Mechanics*, 78(2), 163-174.

-UIC Code 774-3-R, (2001), “Track/bridge interaction – Recommendations for calculations”, 2nd edition, Translation, UIC,

-X.Wei, P.Wang, (2011), “Calculation and Study of Longitudinal Forces of Continuous Welded Rail Track on Deck Arch Bridge”, *ICTE*, pp. 2092-2097.

-P.Ruge, D.R. Widarda, G. Schmälzlin, L. Bagayoko, (2009), “Longitudinal track–bridge interaction due to sudden change of coupling interface”, *Computers and Structures* 87, pp.47–58.

-Pavel Ryjáček, MiroslavVokáč, (2014), “Long-term monitoring of steel railway bridge interaction with continuous welded rail”, *Journal of Constructional Steel Research* 99,pp.176–186.

-R. Ccalcada, R. Delgado, A. C. E. Matos, J.M.Goicolea, F.Gablton, (2009), “Track-bridge Interaction on High-Speed railways”, London: Taylor & Francis Group, pp.63–94.

-R.Kumar, A., Upadhyay, (2012), “Effect of temperature gradient on track-

Investigation of Longitudinal Interaction of Track and Railway Bridge

*Saeideh Bakeri, M.Sc., Grad., School of Railway Engineering,
Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*Saeed Mohammadzadeh, Associate Professor, School of Railway Engineering,
Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

E-mail: Saeideh.bakeri@gmail.com

Received: August 2021-Accepted: November 2021

ABSTRACT

The use of Continuous Welded Rail (CWR) is a requirement of high-speed rail. Factors such as temperature change, bending of the supporting structure and brake load cause the longitudinal interaction of the Track and the bridge and create a lot of longitudinal force in the rail; Since the presence of bridges in the route of the track is inevitable, so it is necessary to study the longitudinal interaction of the track-bridge in the railway bridges. In this paper, finite element modeling of the track-bridge longitudinal interaction phenomenon is developed and validated in the case of nonlinear longitudinal stiffness. In order to investigate a real problem, Izadkhasht Railway Bridge with a continuous welded rail located on the Isfahan-Shiraz railway has been selected and the phenomenon of longitudinal interaction of the track-bridge has been studied with a definite approach. In this approach, the stresses generated in the rail due to the longitudinal interaction of the track-bridge due to changes in bridge temperature, braking load and bending of the support structure are obtained by considering the wide nonlinear longitudinal stiffness and are controlled with allowable values. Parametric analysis of bridge temperature, vertical load application position, maximum elastic displacement and thermal expansion coefficient has also been performed. Maximum longitudinal stresses occurred while the third span of the bridge was loaded.

Keywords: Track-Bridge Longitudinal Interaction, Continuous Welded Rail, Nonlinear Stiffness, Longitudinal Stress, Parametric Analysis