

اثر حرارت بر رفتار پوشش مرکب پلهای بزرگ راه آهن (مطالعه موردی: پل پروژه قطعه دوم راه آهن میانه- بستان آباد- تبریز)

علیرضا سعیدی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- زلزله، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران

احمد ملکی*

استادیار، گروه عمران، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران

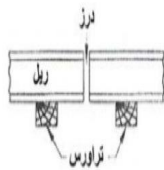
maleki_civil@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۱۱/۰۳

چکیده:

پل های بزرگ مسیر جدید راه آهن میانه - تبریز در منطقه ای با خطر نسبی زلزله بسیار زیاد و تپه ماهورهای متشکل از خاک های سست مستعد لغزش واقع شده است. با توجه به شرایط خاص کاربری، شناسایی عوامل مخرب و جلوگیری از خرابی پیشرونده به سادگی امکان ندارد. با توجه به سیکل تغییرات دمایی روزانه و فصلی، تحمیل صدمات جبران ناپذیر در اثر ایجاد موانع انبساط حرارتی مابین کوله و عرشه به طور اتفاقی یا عمدی در سازه محتمل است. بنابراین جهت شناسایی رفتار حرارتی پل و جلوگیری از عواملی مخرب احتمالی، پل با نرم افزار CSI Bridge مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از اعمال تغییرات حرارت تحلیل شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش دما به صورت تدریجی، تنش، نیروهای محوری و برشی و لنگر تا ۶۰ درجه سانتیگراد به طور یکنواخت افزایش می یابد. با رسیدن دما به مرز ۶۵ درجه سانتیگراد تنش ناشی از تغییرات حرارت به مقدار ۱۷،۷ درصد افزایش می یابد. با اعمال دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دهانه میانی ضمن تغییرات شدید نیروهای محوری و برشی به مقدار ۹۸۳۳ تن و لنگر خمشی به مقدار ۲۰۷۴ تن بر متر و مقدار جابجایی ۲۴،۳۴ سانتی متر محاسبه گردید.

کلیدواژگان: پل مرکب، تنش حرارتی، خرابی پیشرونده، نیروی زلزله، تغییر مکان



شکل ۱- کج شدن ریل‌های قطار بر اثر گرما [3].

با توجه به اینکه تاکنون در زمینه (تأثیر تغییرات درجه حرارت بر رفتار عرشه مرکب پلهای بزرگ راه آهن) مطالعات خاصی انجام نیافته است، در این تحقیق اثر تغییرات درجه حرارت بر رفتار پلهای مرکب به دلیل اهمیت بالای پل‌های اجراشده در پروژه، بصورت مطالعه موردی اثر حرارت بر رفتار پوشش مرکب پل‌های بزرگ، پل کیلومتر ۳۵ پروژه راه‌آهن میانه - تبریز که اولین و بزرگترین پل قوسی اجرا شده به روش پیشرانی در ایران می‌باشد. مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله تحقیقات در مورد موضوع می‌توان به مطالعات انجام یافته در خارج کشور، وچیبو و همکارانش [۴]، سال ۱۹۹۳. بار و همکارانش [۵]، سال ۲۰۰۵. هاگر [۶]، سال ۲۰۱۳. سانگولویا و همکارانش [۷]، سال ۲۰۱۳. تایشی و عبید [۸]، سال ۲۰۱۴. نورزای [۹]، سال ۲۰۱۰.

و همچنین می‌توان به مطالعات انجام یافته در داخل کشور، به افشاری و همکارانش [۱۰]، سال ۱۳۹۰. موحدی‌فر و بلوری بزاز [۱۱]، سال ۱۳۹۱. جعفروند و همکارانش [۱۲]، سال ۱۳۹۳. عیسی زاده‌فر [۱۳]، در سال ۱۳۹۳ اشاره نمود.

۲- معرفی سیستم

با توجه به موقعیت جغرافیایی پروژه راه‌آهن میانه - تبریز با گذر از دره‌های عمیق و عریض احداث پل‌هایی با طول زیاد تا ۶۰۰ متر و دهانه‌های بزرگ تا ۶۰ متر بصورت دوخطه علیرغم هزینه‌های زیاد اجتناب ناپذیر بوده است. در قطعه دوم این پروژه چهار عدد پل بزرگ اجرا شده است. بدلیل شرایط آب و هوایی منطقه در تابستان گرم و خشک با بادهای شدید و در زمستان سرد و یخبندان با وزش بادهای سرد مطالعه بر تأثیر شرایط اقلیمی منطقه بر پروژه‌های حساس لازم می‌باشد. بنابراین به عنوان نمونه پل کیلومتر ۳۵ از پروژه قطعه دوم میانه - تبریز، جهت بررسی انتخاب شده است.

بر اساس نقشه‌های همچون ساخت این پل به طول ۳۴۰ متر در ۹ دهانه اجرا شده است. طول دهانه‌های متصل به کوله‌ها ۳۰ متر و طول بقیه دهانه‌ها برابر ۴۰ متر می‌باشد. بنابراین شکل عمومی پل بصورت شکل ۲ می‌باشد.

۱- مقدمه

از زمان پیدایش‌های پلها با توجه به پیچیدگی این نوع سازه‌ها محققان سعی داشته‌اند مجهولات مربوط به این نوع سازه‌ها را تا حدودی تعیین کنند. برای شناسایی رفتار کلی پلها و اعضای آنها، بهبود عملکرد و تحلیل و طراحی دقیق و درست این سازه‌ها تحقیقات میدانی، آزمایشگاهی و تحلیل نرم افزاری متفاوتی تاکنون انجام شده که برای هر یک از آنها بخشی از مسائل مربوط به این نوع سازه‌ها پرداخته است. نیروی طبیعت به ویژه آب و هوا به گونه‌ای است که مبارزه با آن مشکل و حتی در برخی موارد امکان پذیر نیست. باران، یخبندان، طوفان و نمک هر کدام به تنهایی می‌توانند در فرو پاشی پل نقش بسزایی داشته و تحت یک مجموعه به احتمال بسیار قوی خواهند توانست پل را تخریب کنند.

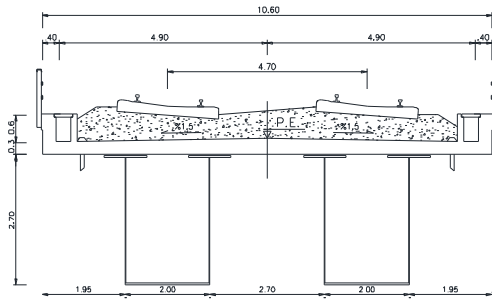
تأمین ایمنی کافی و رعایت اقتصادی یک عضو سازه‌ای اساساً از آن جهت طرح می‌شود که از ایمنی کافی برخوردار باشد. به این مفهوم که در مقابل بارهای وارده و تحت انواع شرایط محتمل از پایداری برخوردار باشد. بدون شک اثر حرارت بر سازه‌ها می‌تواند باعث بروز خسارت‌های بزرگی شود که باید برای امنیت انسان‌ها و ساختمان‌های دیگر در نظر گرفته شود تا از تخریب سازه جلوگیری شده و امنیت سازه‌ها و انسان‌ها تضمین گردد. اما گرما چه بلایی سر فلزات می‌آورد؟ می‌دانیم که گرما و سرما بر روی فلزات اثر گذاشته و آن‌ها را منبسط و منقبض می‌کند.

با وجود مقدار کم انبساط یا انقباض فلزات در صنعت و تکنولوژی و حتی در امور روزمره زندگی ما انسان‌ها با اهمیت می‌باشد. برای مثال: ریل‌های راه‌آهن که تماماً از فولاد یا آهن ساخته می‌شوند و چرخ‌های قطار بر روی آن حرکت می‌کنند. این ریل‌ها در تابستان بدلیل افزایش گرمای هوا منبسط شده و در زمستان بدلیل کاهش دما ممکن است منقبض می‌شوند [۱].

اگر این ریل‌ها را پشت سرهم کار بگذارند ریل‌ها بدلیل انبساط ممکن است به هم فشار آورده و مانند شکل ۱ کج شوند و باعث خارج شدن قطار از ریل بشوند. برای جلوگیری از کج شدن ریل‌ها در تابستان، ریل‌ها را با فاصله‌ی اندکی از هم کار می‌گذارند (درز انبساط) که موقع انبساط باعث کج شدن یا تغییر شکل همدیگر نشوند.

فلزات بر اثر حرارت طولشان افزایش پیدا می‌کند اما افزایش طول هر فلز با فلزات دیگر متفاوت است بدین معنا که اگر دو فلز ناهمسان را در یک حرارت مشخصی قرار دهیم هر دوی آن‌ها افزایش طول می‌دهند اما این افزایش، یکسان نیست و به جنس فلز بستگی دارد و برای فلزات مختلف اعداد متفاوت دارد [۲].

مقطع عرضی عرشه پل مطابق شکل ۴ در نرم افزار مدل شده است.



شکل ۴- مقطع عرضی عرشه پل

۳- خرابی پیش رونده

خرابی پیش‌رونده، خرابی تمام و یا قسمت عمده ایی از یک سازه است که با گسیختگی موضعی در بخشی از سازه شروع شده و می‌تواند پایداری کل سازه را تهدید نماید. با توجه به اینکه رفتار سازه‌ها در خرابی پیش‌رونده می‌تواند نتیجه عوارض مختلف از جمله نحوه اثر حرارت (موضعی یا کلی) و انتقال بارهای ناشی از حرارت درگره‌ها و نحوه رفتار آنها می‌تواند در خرابی پیش‌رونده سازه بسیار موثر گردد. از اینرو با بررسی و پیش‌بینی اثر تغییرات حرارت می‌تواند برای جلوگیری از خرابی موضعی و در ادامه روند بهره‌برداری سازه از خرابی کلی پل‌ها جلوگیری نماید.

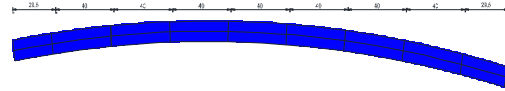
۴- تنش و کرنش حرارتی

قرار گرفتن مواد در معرض افزایش یا کاهش درجه حرارت باعث تنش و کرنش حرارتی می‌باشد.

جدول ۱- ضریب انبساط حرارتی و مدول الاستیسیته بعضی از عناصر [۱۴].

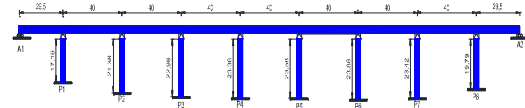
Coefficient of Thermal Expansion α and Elastic Modulus E				
Material	α US ($10^{-6} \text{ in/in/}^\circ\text{F}$)	E- Modulus US (10^6 psi)	α SI ($10^{-6} \text{ m/m/}^\circ\text{C}$)	E- Modulus SI (10^6 pa)
Aluminum	13	10	24	69
Steel	6.5	29	11.7	200
Concrete	6	3-4	11	20-28
Masonry	4	1-3	7	7-21
Wood	1.7-2.5	1.2-2.2	3.5-4.5	8-15
Glass	44	9.6	80	66
Plastics	68-80	0.3-0.4	122-144	2-2.8

با توجه به شرایط خاص منطقه تغییرات دمایی در فصل تابستان و زمستان خیلی زیاد بوده و با استناد به تجربیات نگارنده دمای هوا در زمستان ۲۱ درجه سانتیگراد زیر صفر و در تابستان ۴۶ درجه سانتیگراد بالای صفر اختلاف دمای ۶۷ درجه سانتیگراد ثبت شده است.



شکل ۲- پلان پل

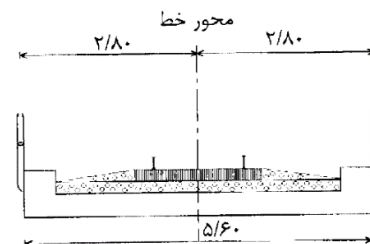
ارتفاع پایه‌های پل به ترتیب شکل ۳ می‌باشند.



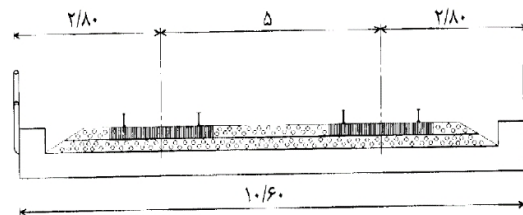
شکل ۳- مقطع طولی پل

ارتفاع پایه‌های پل شامل (ارتفاع ستون + ارتفاع سرستون و ضخامت نوپرن‌ها) محاسبه می‌شود. بنابراین ارتفاع ۲ متری سر ستون و ضخامت ۳۰ سانتیمتر نوپرن‌ها به ارتفاع ستون‌ها اضافه می‌شود.

ابعاد مقاطع در اندازه‌های واقعی در نظر گرفته شده است. ارتفاع تیرها ۲٫۷ متر ضخامت جان و بال تیر در طول پروژه متغیر بوده ولی در این نوشتار ثابت و برابر ۵۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. مقطع عرضی پل‌های راه‌آهن عموماً شامل دو بخش متمایز برای عبور قطار، و جان‌پناه‌ها است. فاصله استاندارد ریل‌ها در راه‌آهن ایران معادل ۱۴۳۵ میلیمتر است. حداقل عرض پل‌های یک خطه و دو خطه به ترتیب ۵/۶۰ و ۱۰/۶۰ متر و مقطع عرضی استاندارد برای این پل‌ها مطابق شکل زیر است [۲۰].



شکل ۴- مقطع عرضی استاندارد یک خطه راه‌آهن ایران [۱۵]



شکل ۵- مقطع عرضی استاندارد دو خطه راه‌آهن ایران [۱۵]

تغییر طول عرشه فولادی مطابق محاسبات زیر:

$$\Delta L = \alpha \Delta T * L1 \quad \text{معادله ۱.}$$

در معادله ۱. α ضریب انبساط حرارتی فولاد و ΔT تغییرات دما و $L1$ طول عرشه فلزی پل می‌باشد.

تغییر طول عرشه بتنی (دال) مطابق محاسبات زیر:

$$\Delta L = \alpha \Delta T * L2 \quad \text{معادله ۲.}$$

در معادله ۲. α ضریب انبساط حرارتی بتن و $L2$ طول عرشه بتنی پل می‌باشد.

تغییر طول عرشه فولادی با دال بتنی ناشی از اختلاف ضریب انبساط حرارتی موجب ایجاد تنش در فصل مشترک بتن و فولاد خواهد شد. که باتوجه به طول ۴۰۰ متری پل تنش ناشی از اختلاف ۱.۵ سانتی‌متر تغییر طول عرشه فولادی با دال بتنی خیلی ناچیز می‌باشد.

حال اگر حالت واقعی عرشه مرکب فولادی و بتنی را در نظر گرفته شود. نیروی مقاوم ناشی از گیرداری بتن و فولاد برای جلوگیری از حرکت سیستم اعمال شود. تنشهای ایجاد شده بر اساس روابط ذکر شده برابر خواهد بود با:

مقدار کرنش گرمایی فولاد برابر است با.

$$\epsilon 1 = \alpha \Delta T \quad \text{معادله ۳.}$$

در معادله ۳. $\epsilon 1$ کرنش گرمایی فولاد می‌باشد. تنش حاصل از کرنش حرارتی فولاد برابر است با.

$$\delta 1 = \epsilon E$$

مقدار کرنش گرمایی بتن برابر است با.

$$\epsilon 2 = \alpha \Delta T 2 \quad \text{معادله ۴.}$$

در معادله ۴. $\epsilon 2$ کرنش گرمایی بتن می‌باشد.

تنش حاصل از کرنش حرارتی بتن برابر است با.

$$\delta 2 = \epsilon E$$

جدول ۲- نتایج ناشی از حرارت در عرشه بتنی و فولادی پل

مقدار	واحد	متغیر
0.25	متر	تغییر طول عرشه فولادی
0.235	متر	تغییر طول عرشه بتنی
0.015	متر	اختلاف طول بتن و فولاد
0.00074		کرنش گرمایی فولاد
14.8	تن بر متر مربع	تنش حاصل از کرنش حرارتی فولاد
0.00069		کرنش گرمایی بتن
1.45	تن بر متر مربع	تنش حاصل از کرنش حرارتی بتن

۵- بار گذاری

نشریه ۱۳۹ از انتشارات سازمان برنامه و بودجه، تحت عنوان آیین نامه بارگذاری پل های راه و راه آهن، بارهای محاسباتی جهت طراحی پل ها را به صورت زیر تعریف می‌کند [۱۵].

- بارهای دائمی (بار مرده)
- بارهای بهره برداری و هرگونه اثرات مربوط به آنها از جمله اثر ضربه، ترمز وسایل نقلیه و نیروی گریز از مرکز
- بارهای وارد بر پیاده‌رو
- بار باد
- بار ناشی از اثرات تغییر دما
- بار ناشی از اثرات غوطه وری و جریان آب
- بار ناشی از تغییر شکل‌های تابع زمان مصالح (افت و خزش)
- بار ناشی از اثرات نشست و کوتاه شدن پایه ها
- بار زلزله
- بارهای وارد بر جان پناه‌ها و نرده‌ها
- بارهای ویژه از قبیل برخورد وسایل نقلیه کشتی‌ها و قطعات یخ به پایه‌های پل

۱-۵- ترکیبات بارگذاری

ضرایب بار و تنش‌های مجاز محاسباتی مطابق آیین نامه آستو LRFD [18,17,16] و Eurocod [19]، تعیین می‌شوند.

۲-۵- مشخصات مصالح

در دال عرشه، پایه ها، کوله ها، سرشمه‌ها و شمعها از بتن رده C25 با مقاومت مشخصه $f_c' = 250 \frac{kg}{cm^2}$ استفاده شده است. فولاد مورد استفاده در تیرهای فلزی، ورق‌های وصله، پروفیل‌های بال پهن، سخت کننده ها و ورق‌های اتصال آنها و پروفیل‌های یادبندی از نوع ST37-3N مطابق با DIN 17100 با حد جاری شدن 2400 Kg/Cm2 و حد گسیختگی 3700 Kg/Cm2 می‌باشد. میلگرد مورد استفاده در قطعات بتن مسلح از نوع AIII با حد جاری شدن $f_y = 4000 \frac{kg}{cm^2}$ می‌باشد.

۳-۵- بار گذاری

۱-۳-۵- بار مرده روسازی (DD)

بار مرده روسازی ناشی از وزن بالاست، ریل و تراورس، دست انداز و گاردریل می‌باشد.

۲-۳-۵- بار زنده (LL)

در ابنیه فنی راه آهن به جای بار حقیقی قطار بار فرضی مطابق شکل زیر که در آیین‌نامه بارگذاری پلها بارگذاری استاندارد نوع ۱ نامیده می‌شود، قرار داده شده و به عنوان نامناسب ترین وضعیت بارگذاری برای قسمتهای مختلف پل استفاده می‌گردد.

در معادلات ۹ و ۱۰ و ۱۱: حداکثر سرعت طرح برحسب کیلومتر بر ساعت، W وزن قطار R شعاع قوس برحسب متر f_r ضریب کاهش و L طول بارگذاری شده از قوس

۷-۳-۵- اثرات افزایش یا کاهش درجه حرارت:

براساس اطلاعات سالنامه آماری کشور، اثر اختلاف دما بین سطوح فوقانی و تحتانی عرشه پل با فرض تغییر خطی دما در ارتفاع مقطع طبق نشریه بارگذاری پلها بصورت زیر اعمال می‌گردد.

اثر اختلاف دما برای سازه مرکب هنگام تابش خورشید روی سطح فوقانی و سایه در سطح زیرین عرشه پل برابر با ۱۰ درجه سانتیگراد.

اثر اختلاف دما برای سازه مرکب هنگامی که روی سطح پل یخبندان باشد برابر با ۷ درجه سانتیگراد می‌باشد.

اختلاف بار حرارتی ۶۳ درجه سانتیگراد که از گزارشات روزانه ثبت شده در محل احداث در ۵ سال گذشته بدست آمده به عرشه و پایه‌ها و قسمتهای روی خاک اعمال می‌گردد.

۸-۳-۵- گرادیان حرارتی:

برای پل‌های دارای بالاست:

$$\Delta t_g = 5^\circ c \quad \text{در ارتفاع:}$$

$$\Delta t_g = \pm 15^\circ c \quad \text{در عرض:}$$

۹-۳-۵- نیروی بار باد وارد بر بار زنده (WL):

معادله ۱۲.

در معادله ۱۲، C ضریب بار باد منطقه و Q مقدار نیروی باد از محبت ۶ آیین نامه بارگذاری و h مجموع ارتفاع بادگیر عرشه و قطار.

۴-۳-۵- نیروی زلزله (EQ):

نیروی جانبی زلزله بر پل‌ها بر اساس آیین نامه ایران از رابطه ذیر محاسبه می‌شود.

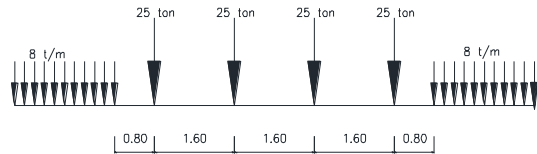
$$F = CW \quad \text{معادله ۱۳.}$$

در معادلات ۱۳ و ۱۴، C ضریب زلزله A شتاب

مبنای طرح B ضریب بازتاب و I ضریب اهمیت و R ضریب ارتفاع در پل‌هایی که طول کل پل کمتر از ۳۰۰ متر و دارای دهانه کمتر از ۱۰۰ متر و پایه‌های با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر باشند می‌توان از روش تحلیل استاتیکی معادل استفاده نمود.

پل‌های نامنظم به پل‌هایی طلاق می‌شود که توزیع جرم در طول آنها یکنواخت نبوده و تغییرات ناگهانی داشته باشد و همچنین کلیه پل‌هایی که ضوابط پل‌های منظم را نداشته باشند.

با توجه به آیین نامه طراحی پل‌های راه و راه‌آهن در برابر زلزله، با توجه به طول ۳۳۹ متری پل مورد مطالعه، این پل را می‌توان بر اساس روش استاتیکی معادل آنالیز کرد. [۲۱].



شکل ۷- بارگذاری استاندارد [۲۰].

۳-۳-۵- ضریب ضربه (دینامیکی)

ضریب ضربه دینامیکی برای برش و خمش

$$\delta = \frac{1.44}{\sqrt{L' - 0.2}} + 0.82 \quad \text{معادله ۶}$$

$$\delta = \frac{1.44}{\sqrt{L' - 0.2}} + 0.73 \quad \text{معادله ۷}$$

$$L_{avg} = \frac{1}{n} \sum L_i$$

در معادلات ۶ و ۷ پارامتر L' کوچکترین مقدار از (طول بزرگترین دهانه و ۱٫۵ برابر متوسط طول دهانه‌ها) و n تعداد دهانه‌های پل و L_i طول پل می‌باشد.

۴-۳-۵- نیروی نوسانات جانبی (N):

نیروی نوسانات جانبی بصورت نیروی منفرد در امتداد عمود بر محور خط در سطح ریل در نامساعدترین حالت اثر می‌کند. این نیرو در ترکیب بارهای زلزله در نظر گرفته نمی‌شود.

$$F_N = 10t \quad \text{معادله ۵.}$$

۵-۳-۵- نیروی ترمز و شتاب (F_{LF}):

نیروی ترمز و شتاب برابر با $\frac{1}{7}$ وزن آن قسمت از قطار که روی ریل قرار می‌گیرد.

$$F_{LF} = 2 \cdot \frac{1}{7} \cdot W_{train} \quad \text{معادله ۸.}$$

در معادله ۸، W وزن قطار می‌باشد.

۶-۳-۵- اثر خروج از خط قطار (نیروی گریز از مرکز)

$$(F_c)$$

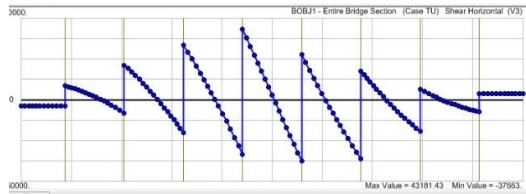
پل مورد مطالعه در قوس افقی قرار گرفته است. نیروی افقی گریز از مرکز ۱٫۸ متر بالای ریل اثر می‌کند. اثر این بار به همراه لنگر ناشی آن به صورت گسترده در طول پل وارد می‌شود.

$$F_c = K_c \cdot W \quad \text{معادله ۹.}$$

$$K_c = \frac{V^2}{127R} \times f_r \quad \text{معادله ۱۰}$$

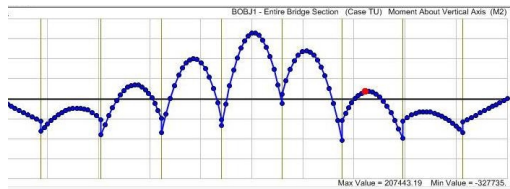
$$f_r = 1 - \left(\frac{V-120}{1000} \right) \left(\frac{814}{V} + 1.54 \right) \left(1 - \sqrt{\frac{2.88}{L}} \right) \quad \text{معادله ۱۱}$$

نمودار نیروی برشی عرضی وارد بر پل با اعمال تغییرات یکنواخت بار حرارتی ۶۵ درجه سانتیگراد به شکل ۸ می‌باشد. مقدار حداکثر بار وارده برابر ۴۳ (تن) و مقدار حداقل نیروی برشی برابر ۳۸- (تن) می‌باشد.



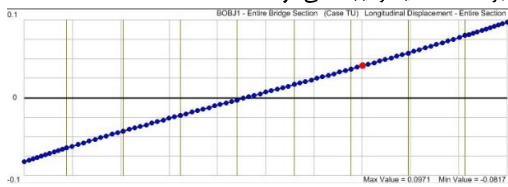
شکل ۸- نمودار دمای یکنواخت - تغییرات نیروی برشی

نمودار لنگر وارد بر پل با اعمال تغییرات یکنواخت بار حرارتی ۶۵ درجه سانتیگراد به شکل ۹ می‌باشد. مقدار حداکثر لنگر وارده برابر ۲۰۷ (تن بر متر) و مقدار حداقل نیروی برشی برابر ۳۳- (تن بر متر) می‌باشد.



شکل ۹- نمودار دمای یکنواخت - تغییرات لنگر

نمودار جابجایی پل با اعمال تغییرات یکنواخت بار حرارتی ۶۵ درجه سانتیگراد به شکل ۱۰ می‌باشد. طوری مقدار حداکثر جابجایی برابر ۱۰،۵ سانتیمتر ایجاد می‌شود.



شکل ۱۰- نمودار دمای یکنواخت - تغییرات لنگر

جهت بررسی آهنگ افزایش تنش، تغییرات یکنواخت افزایش دمای پل را در شرایط آتش سوزی به مقدار ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دهانه پنجم و به مقدار ۶۵ درجه سانتیگراد در سایر دهانه‌ها اعمال نموده و با رعایت شرایط تأثیر همزمان نیروهای محاسبه شده زلزله (استاتیکی معادل) و بارهای متحرک (عبور همزمان قطار از روی پل) مدل را آنالیز می‌کنیم.

جابجایی حاصل از اعمال تغییرات بار حرارتی یکنواخت ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دهانه پنجم پل و ۶۵ درجه سانتیگراد در سایر دهانه‌ها مطابق شکل ۱۱ حداکثر جابجایی حاصل از آنالیز نرم‌افزار برابر ۲۴،۳۴ سانتیمتر و حداقل جابجایی ۱۹،۱۷- سانتیمتر می‌باشد. شایان ذکر است که شکست ناگهانی و پله ایجاد شده در اثر اعمال بار حرارتی ۸۰۰ درجه سانتیگراد ایجاد شده است.

۶- نتایج آنالیز و بررسی نمودارها

تحلیل نتایج حاصل از تغییرات دما بر مقدار تنش، جابجایی و برش حاصل از تغییرات یکنواخت دما از ۳۵ تا ۶۵ درجه سانتیگراد. در آکس پل مطابق با جداول ۲ تا ۴ ثبت شده است.

جدول ۳- مقادیر تنش بر اثر بارحرارتی اعمال شده

تنشهای ناشی از تغییرات حرارت		
C	Max	Min
۳۵	۲۵۱۸۵،۸	۱۶۱۷۴۵،۴-
۴۰	۲۸۷۸۳،۸	۱۸۴۸۵۱،۹-
۴۵	۳۲۳۸۱،۷	۲۰۷۹۵۸-
۵۰	۳۵۹۷۹،۷	۲۳۱۰۶۴،۸-
۵۵	۳۹۵۷۷،۶۸	۲۵۴۱۷۱،۳-
۶۰	۴۳۱۷۵،۶۵	۲۷۷۲۷۷،۸-
۶۵	۴۶۴۳۹۹،۷	۱۲۳۵۲۱۲-

جدول ۴- مقادیر جابجایی بر اثر بارحرارتی اعمال شده

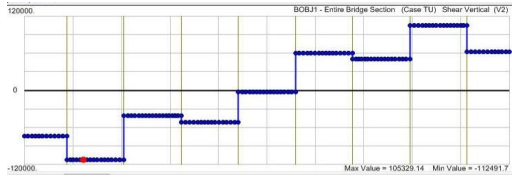
جدول جابجایی ناشی از تغییرات حرارت		
C	Max	Min
۳۵	۰،۰۵۶۶	۰،۰۴۷۷-
۴۰	۰،۰۶۴۷	۰،۰۵۴۵-
۴۵	۰،۰۷۲۸	۰،۰۶۱۳-
۵۰	۰،۰۸۰۹	۰،۰۶۸۱-
۵۵	۰،۰۸۹	۰،۰۷۴۹-
۶۰	۰،۰۹۷۱	۰،۰۸۱۷-
۶۵	۰،۱۰۵۱	۰،۰۸۸۵-

جدول ۵. مقادیر نیروهای برشی بر اثر بارحرارتی

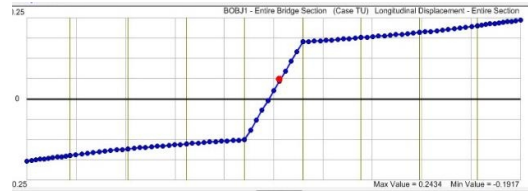
تغییر نیروهای برشی ناشی از تغییرات حرارت		
C	Max	Min
۳۵	۲۲۸۴۳،۳۶	۲۴۷۸۱،۰۱-
۴۰	۲۶۱۰۶،۷	۲۸۳۲۱،۲-
۴۵	۲۹۳۷۰	۳۱۸۶۱،۳-
۵۰	۳۲۶۳۳،۴	۳۵۴۰۱،۴-
۵۵	۳۵۸۹۶،۷	۳۸۹۴۱،۶-
۶۰	۳۹۱۶۰	۴۲۴۸۱،۷-
۶۵	۴۲۴۲۳،۴	۴۶۰۲۱،۹-

۶-۱- نتایج تحلیل با نرم‌افزار

همانطور که از شکل‌ها و نمودارهای ۸ الی ۱۰ ملاحظه می‌گردد، تغییرات مقادیر جابجایی و نیروهای برشی و محوری بر اثر تغییرات دما افزایش می‌یابد.



شکل ۱۳- نمودار دمای یکنواخت - تغییرات نیروی برشی طولی

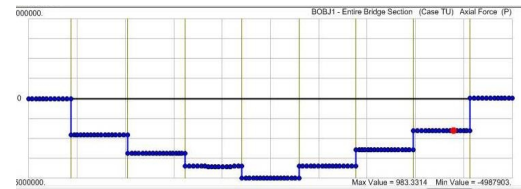


شکل ۱۱- نمودار دمای یکنواخت - تغییرات جابجایی



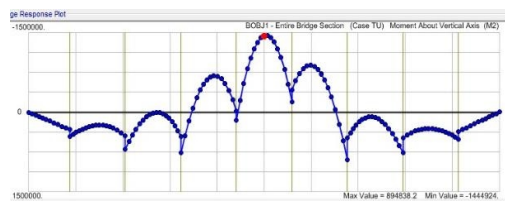
شکل ۱۴- نمودار دمای یکنواخت - تغییرات نیروی برشی

نیروی محوری حاصل از اعمال تغییرات بار یکنواخت ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دهانه پنجم پل و ۶۵ درجه سانتیگراد در سایر دهانه‌ها مطابق شکل ۱۲ حداکثر نیروی محوری حاصل از آنالیز نرم‌افزار برابر ۹۸۳۳ (تن) و حداقل نیروی محوری ۴۹۷۸- (تن) محاسبه گردید.



شکل ۱۲- نمودار دمای یکنواخت- تغییرات نیروی محوری

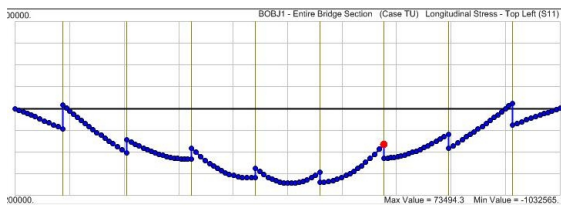
لنگر حاصل از اعمال تغییرات بار یکنواخت ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دهانه پنجم پل و ۶۵ درجه سانتیگراد در سایر دهانه‌ها مطابق شکل ۱۵ می‌باشد. حداکثر نیروی برشی حاصل از آنالیز نرم‌افزار برابر ۸۹۵ (تن بر متر) و حداقل ۱۴۴۵- (تن بر متر) محاسبه گردید.



شکل ۱۵- نمودار دمای یکنواخت - تغییرات لنگر

نیروی برشی حاصل از اعمال تغییرات بار یکنواخت ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دهانه پنجم پل و ۶۵ درجه سانتیگراد در سایر دهانه‌ها مطابق شکل ۱۳ و ۱۴ حداکثر نیروی برشی عمودی حاصل از آنالیز نرم‌افزار برابر ۱۵۰ (تن) و حداقل نیروی برشی ۱۳۳- (تن) محاسبه گردید. حداکثر نیروی برشی عرضی حاصل از آنالیز نرم‌افزار برابر ۱۰۵ (تن) و حداقل نیروی برشی ۱۱۲- (تن) محاسبه گردید.

تنش حاصل از اعمال تغییرات بار یکنواخت ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دهانه پنجم پل و ۶۵ درجه سانتیگراد در سایر دهانه‌ها مطابق شکل ۱۶ می‌باشد. حداکثر لنگر حاصل از آنالیز نرم‌افزار برابر ۴۷ (تن بر مترمربع) و حداقل لنگر ۳۰۰- (تن بر مترمربع) محاسبه گردید. نتایج حاصل از آنالیز پل با شرایط و حرارت یکنواخت متغیر در جدول ۶ خلاصه شده است.



شکل ۱۶- نمودار دمای یکنواخت - تغییرات تنش

جدول ۶- مقایسه آنالیز پل با دماهای ثابت تا ۶۵ درجه و اعمال دمای ۸۰۰ درجه سلسیوس در دهانه میانی

مقایسه نیروهای و تنشهای ناشی از اعمال تغییرات دما در دهانه های پل														
دما	نام متغیر		جابجایی		نیروی محوری		نیروی برشی عمودی		نیروی برشی افقی		لنگر		تنش	
	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
۶۵ درجه سانتیگراد	۸,۷۵	۱۰,۵۲	۱۴۲۳۹۶۷	۲۹,۵	۴۶۰۲۲	۴۲۴۲۳	۳۷۶۶۲	۴۳۱۸۱	۳۲۷۲۵	۲۰۷۴۴۲	۲۷۴۴۵۰	۲۵۸۸۹		
۸۰۰ درجه سانتیگراد	۱۹,۱۷	۲۴,۳۴	۴۹۸۷۹۰۳	۹۸,۳	۱۱۲۴۹۲	۱۰۵۳۳۹	۱۳۲۵۸۲	۱۵۰۵۸۷	۱۴۴۴۹۲۴	۸۹۴۸۲۸	۱۰۳۲۵۶۵	۷۳۴۹۳		
ضریب تغییرات	۲,۱۹	۲,۳۱	۳,۵	۳,۳۳	۲,۴۴	۲,۴۸	۳,۵۲	۳,۴۹	۴,۴۱	۴,۳۱	۳,۷۶	۲,۸۴		

۷- نتیجه گیری

با اعمال بار حرارتی در دال های مرکب پلهای بزرگ راه آهن (مطالعه موردی: پل کیلومتر ۳۵ پروژه قطعه دوم راه آهن میانه- بسستان-آباد- تبریز) و تغییرات جابجایی، نیروهای محوری، لنگرهای خمشی و پیچشی و تنشهای داخلی اعضای سازه‌ای در تکیه‌گاه‌ها، با مدل سازی در نرم‌افزار CsiBridge بررسی شده‌اند. و نتایج زیر حاصل شده است:

۱- مقادیر تنش‌های برشی و خمشی بر اثر تغییرات دما بصورت یکنواخت افزایش می‌یابد و با افزایش تغییرات دما تنش وارده به شدت افزایش پیدا می‌کند. به طوری که مقدار تنش خمشی ناشی از افزایش یکنواخت دما به مقدار ۵ درجه سانتیگراد ۱۷,۷ درصد می‌باشد. با توجه به رابطه مستقیم تنش و نیرو مقدار نیروهای داخلی نیز بیشتر خواهد شد. در اثر افزایش نیروی داخلی باعث ایجاد خرابی در بدنه عرشه پل می‌گردد.

۲- جابجایی حاصل از اعمال تغییرات بار حرارتی یکنواخت ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دهانه میانی پل جابجایی برابر ۲۴,۳۴ سانتیمتر و حداقل جابجایی ۱۹,۱۷- سانتیمتر می‌باشد. که در صورت عدم پیش‌بینی و یا عدم اجرای صحیح باعث تخریب در کوله‌های پل می‌گردد.

۴- نیروی محوری حاصل از اعمال تغییرات بار یکنواخت ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دهانه میانی (فقط در یک دهانه)، نیروی محوری بسیار بزرگی ایجاد می‌گردد که ضمن تأثیر بسیار شدید به تکیه‌گاه‌های اطراف دهانه تحت حرارت و ایجاد کماتش در سر ستونها درصد احتمال تخریب پل خیلی زیاد خواهد بود.

۵- با افزایش لنگر حاصل از اعمال تغییرات بار یکنواخت ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دهانه میانی پل، و احتمال همزمانی حرکت قطار از روی پل و تأثیر لنگرهای بار زنده بر پل نتایج جبران ناپذیری به سازه تحمیل می‌گردد.

با توجه به نتایج فوق‌الذکر ملاحظه می‌شود که تغییرات یکنواخت افزایش دمای پل در شرایط آتش‌سوزی با اعمال دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دهانه پنجم و ۶۵ درجه سانتیگراد در سایر دهانه‌ها باعث افزایش ۲,۲ برابری جابجایی، ۳,۴ برابری نیروی محوری، ۲,۴۶ برابری نیروی برش عمودی و ۳,۵۱ برابری نیروی برشی افقی، ۴,۳۶ برابری لنگر و ۳,۳ برابری تنش‌های شده است. این نتایج نشان می‌دهد که ضمن ایجاد خرابی‌های جزئی پس از افزایش دمای وارده به پل، باعث

ایجاد خرابی‌های پیش‌رونده در جسم پل می‌گردد و با اعمال تغییرات حرارتی غیر معمول احتمال تخریب آبی سازه افزایش خواهد یافت.

منابع

۱- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، واکنش در برابر آتش برای مصالح و فرآورده‌های ساختمانی، طبقه بندی ۸۲۹۹، چاپ اول تهران.

۲- محمد س. ۱۳۸۲. کماتش ریل‌های طویل (C.W.R) در قوسهای افقی در اثر تنش‌های حرارتی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

[3]. <http://mechassis.com/2017/10/tacoma-narrows-bridge>

[4]. F.J. VECCHION, AGOSTINO, N D B. ANGELAKOS, 1993, Reinforced concrete slabs subjected to thermal loads, Department of Civil Engineering, University of Toronto Toronto, ON M5S 1A4, Canada, 741

[5]. Barr P. J, Effects of Temperature Variations on Precast, Prestressed Concrete Bridge Girders Dept. of Civil and Environmental Engineering, Utah State Univ., Box 4110, Logan, UT 84322. JOURNAL OF BRIDGE ENGINEERING © ASCE / MARCH/APRIL 2005

[6]. Hager I. 2013. Behaviour of cement concrete at high temperature. BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCESTECHNICAL SCIENCES, Vol. 61, No. 1, 2013

[7]. Sangluaia, C., Haridharan, M. K., Natarajan, C., & Rajaraman, A. (2013). Behaviour of reinforced concrete slab subjected to fire. International Journal of Computational Engineering Research, 3, 195-206.

[8]. Tayşi, N., & Abid, S. (2015). Temperature distributions and variations in concrete box-girder bridges: experimental and finite element parametric studies. Advances in structural engineering, 18(4), 469-486.

[9]. Noorzaei, Abdulrazeg A, Jaafar M. S, Kohnepoosh. 2010. Non-linear analysis of an integral bridge. J Civil Engineering and management; 16(3):387-394

۱- افشاری ز، جعفروند ع، ۱۳۹۰، اثر آتش بر مشخصات بتن، ششمین کنگره مهندسی عمران - دانشگاه سمنان.

- ۱۱- موحدی فر م، بلوری بزاز ج، ۱۳۹۱. بررسی تأثیر تغییر طول حرارتی عرشه بر فشار وارد بر کوله پل‌های یکپارچه. پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره چهارم.
- ۱۲- جعفروند ع، احمدی ج، گوهررخی ع، ۱۳۹۳. بررسی روش‌های جلوگیری و کنترل ترک خوردگی در عرشه پلهای بتنی، اولین همایش ملی مهندسی سازه ایران.
- ۱۳- عیسی‌زاده فر ن. ۱۳۹۳. شناسایی رفتار پل‌های یکپارچه تحت اثر بار حرارت و زلزله. رساله دکتری تخصصی، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز.
- ۱۴- ساعدی‌داریان ا، و رضایی فر ع، سال ۱۳۸۷. بررسی اثر آتش بر رفتار اتصال پیچی در سازه‌های فولادی به روش عددی و مقایسه آن با نتایج حاصل از بررسی‌های آزمایشگاهی، چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور.
- ۱۵- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، امور نظام فنی، ۱۳۹۱، راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای سازه‌های حیاتی ایران، (نشریه ۶۰۰)، تهران.
- [16]. American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO LRFD Bridge design specification. Washington (DC) 2012.
- [17]. American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO LRFD Bridge design specification. Washington (DC) 2010.
- [18]. American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO LRFD Bridge design specification. Washington (DC) 2007.
- [19]. European Standard EN 1998-2:2005 has the status of a British Standard. Eurocode 8, Bridges.
- ۲۰- وزارت راه و ترابری - پژوهش‌شکده حمل و نقل، ۱۳۸۷، جمع‌آوری و طبقه‌بندی آسیب‌های وارده به پل‌ها در زلزله‌های گذشته. چاپ اول.
- ۲۱- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، دفتر نظام فنی و اجرایی، ۱۳۸۷، آیین‌نامه طرح پل‌های راه و راه‌آهن در برابر زلزله (نشریه ۴۶۳)، تهران.

The Heat Effect of Composite Deck Behavior Railroad Bridges (Case Study: Part Two, railroad Project of Meyaneh-Bostanabad-Tabriz)

Alireza Saeedi

Master student of civil Engineering earthquake, Faculty of Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

Ahmad Maleki

Assistant Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran
maleki_civil@Yahoo.com

Abstract:

The large bridges of the new Meyaneh - Tabriz Railroad are located in a region with a high risk of a large earthquake and a slope of sloping soils, which are susceptible to landslides. Depending on the user's specific circumstances, it is simply not possible to identify malicious factors and prevent progressive failures. Regarding the daily and seasonal temperature variation cycles, imposing irreparable damage due to the creation of thermal expansion barriers between the shell and the deck is likely to occur accidentally or deliberately in the structure. Therefore, in order to detect the thermal behavior of the bridge and prevent potential destructive factors, the bridge was investigated using the CSI Bridge software and the results of the heat changes were analyzed. The results show that with increasing temperature gradually, stress, axial, shear and anchor forces increase to 60 ° C uniformly. With temperature reaching 65 ° C, the stress caused by heat changes increased by 17.7%. Applying a temperature of 800 ° C in the middle span with a sharp change in the axial and shear forces of 9833 tons and flexural anchorage of 2074 tons per meter and a displacement of 24.34 cm. were calculated.

Keywords: composite bridge, thermal stress, progressive failure, earthquake force, displacement