

اثر رفتار تابع زمان مصالح بر عملکرد عرشه پل‌های پیش‌تنیده طره‌ای

محمد رضا عباداله‌زاده*^۱ و شاهرخ مالک^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

^۲ عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۸۵/۱۱/۰۸، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۱۳۹۰/۰۹/۱۰، تاریخ تصویب ۱۳۹۰/۰۹/۲۳)

چکیده

در این مطالعه عوامل مؤثر بر گونه‌های رفتار تابع زمان مصالح، از جمله خزش، جمع‌شدگی، تغییرات مدول الاستیسیته بتن و همچنین پدیده سستی فولادهای پیش‌تنیدگی بر عملکرد عرشه پل‌های پیش‌تنیده طره‌ای در بازه زمانی ۳۵ ساله مورد بررسی قرار داده شده‌اند. به این منظور، مدل اجزاء محدود تفصیلی یک پل سه‌دهانه از انواع متداول پل‌های طره‌ای تهیه شده و آثار ساخت مرحله‌ای، رفتار تابع زمان مصالح، اعمال مرحله‌ای نیروهای پیش‌تنیدگی و انواع افت‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت در نیروهای پیش‌تنیدگی، از طریق روش تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. بر اساس نتایج مطالعات کمی تفصیلی و نحوه تغییرات تنش‌ها و تغییرمکان‌ها در بازه زمانی فوق‌الذکر، عوامل مؤثر بر عملکرد عرشه پل مورد بررسی شناسایی شده و ضمن تشریح ویژگی‌های رفتاری تابع زمان سازه عرشه، توصیه‌های طراحی و اصلاحی در زمینه میزان پیش‌تنیدگی اولیه به منظور ساخت و همچنین میزان تاندون‌های پیوستگی لازم به نیت بهسازی اینگونه پل‌ها جهت بهبود رفتار بلندمدت عرشه پل ارائه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: پل‌های طره‌ای متعادل، رفتار وابسته به زمان، نیروهای پیش‌تنیدگی، تحلیل استاتیکی غیرخطی، ساخت مرحله‌ای.

مقدمه

توجه قرارداده شده است، در بررسی دیگری که توسط هشام-عرفات - مهدی و همکاران [۳] صورت گرفته است تأثیر رفتارهای تابع زمان بتن بر نیروها و تغییرشکل‌ها در پل‌های پیش‌تنیده با ساخت طره‌ای و همچنین تأثیر شیوه ساخت بر عملکرد این پل‌ها مورد مطالعه قرار داده شده است.

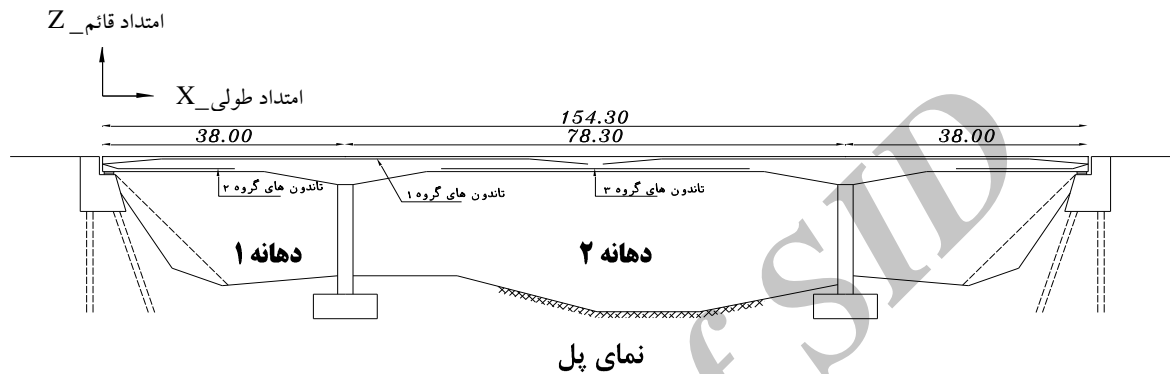
در مقاله حاضر به ارزیابی تفصیلی روند تغییرات تنش‌ها و تغییرمکان‌های نقاط مختلف عرشه پل در طول مدت زمان ۳۵ سال از ساخت پل، که ناشی از رفتارهای تابع زمان مصالح مورد استفاده در تیر عرشه به ویژه خزش بتن می‌باشد، پرداخته شده و کوشش به عمل آمده است از طریق مطالعه تفصیلی اجزای محدود و مدل‌سازی تفصیلی خواص رفتاری مصالح پل، ضمن تدقیق مطالعات پیشین، نحوه و میزان تأثیر عوامل حائز اهمیت در رفتار تابع زمان پل شامل اثرات رفتارهای تابع زمان مصالح، نظیر خزش و جمع‌شدگی بتن، تغییرات مدول الاستیسیته بتن در طول زمان و همچنین پدیده سست شدگی فولادهای پیش‌تنیدگی همراه با ملحوظ داشتن اثرات مربوط به ساخت گام به گام عرشه پل، به‌طریقه کمی مورد مطالعه

روش ساخت طره‌ای متعادل در پل‌های پیش‌تنیده از جنبه‌های فنی و اقتصادی از جمله، سرعت اجرا و همچنین امکان اجرا و ساخت سازه عرشه برفراز دره‌ها و مناطقی که بهره‌گیری از داربست برای ساخت عرشه ناممکن یا دشوار باشد، رایج می‌باشد [۱]. در این روش با توجه به خواص مصالح مصرفی و شیوه مرحله‌ای ساخت عرشه پل و تغییر سیستم ایستایی و استاتیکی ناشی از آن به ویژه در مراحل پایانی ساخت عرشه و پیوستن طره‌ها به یکدیگر در دهانه‌های میانی و استقرار انتهای طره‌ها بر تکیه‌گاه‌ها در دهانه‌های انتهایی، عملکرد قابل مطالعه‌ای تحت تأثیر گونه‌های رفتار تابع زمان مصالح پل مشاهده گردیده است؛ به طوری که عدم توجه به این مسائل ممکن است بهره‌برداری از پل را مختل نموده و ایمنی پل را در مقابل کنش‌های گوناگون نقصان دهد.

در این ارتباط از میان نتایج تحقیقات گزارش شده می‌توان به مطالعات هوان یانگ [۲] اشاره نمود که طی آن به بررسی اثرات بلند مدت پیش‌تنیدگی همراه با آثار خزش و جمع‌شدگی بتن در پل‌های پیش‌تنیده پرداخته شده و تأثیر میزان رطوبت نسبی محیط بر این آثار مورد

مصلح مورد بررسی قرار گرفته است. در این زمینه دو حالت متفاوت برای تاندون‌های پیوستگی دهانه میانی که متعاقباً شرح داده خواهد شد، منظور شده است و عملکرد عرشه پل از لحاظ تغییرمکانی و تنش‌ها در این دو حالت مورد ارزیابی قرار گرفته است.

قرار گرفته، آثار ناشی از تغییرات رفتار پل در میزان آسیب‌پذیری عرشه در طول زمان تعیین و تبیین و با شناسایی آثار عوامل مزبور، امکان ارائه طریق در زمینه کنترل و بهبود رفتار تابع زمان پل مورد بررسی قرار داده شود. متعاقب آن تأثیر مقدار تاندون‌های پیوستگی بر رفتار و عملکرد عرشه پل در ارتباط با رفتارهای تابع زمان



شکل ۱: پل سه دهانه پیش‌تنیده باتیرهای جعبه‌ای

مدل‌سازی پل

جهت بررسی رفتار عرشه پل‌های پیش‌تنیده طره‌ای تحت اثر رفتار تابع زمان مصالح مصرفی، از مدل یک پل سه دهانه با مشخصات نشان داده شده در شکل (۱)، استفاده گردیده است [۴]. در این زمینه مدل‌های متعددی پیشنهاد شده است، که از آن جمله می‌توان به مدل آیین‌نامه ACI 209، مدل آیین‌نامه CEB90 و مدل‌های B3 و GL2000، اشاره نمود [۵]. در این مقاله از مدل آیین‌نامه CEB90 استفاده شده است که در آن از روابط زیر جهت تخمین رفتار وابسته به زمان بتن استفاده گردیده است [۶]. مقدار کرنش کل سازه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\left\{ \begin{aligned} f_{cm} &= f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2 \\ E_c &= 10000 \cdot \sqrt[3]{f_{cm}} \\ E_c(t_0) &= (E_c) \cdot e^{\left[\frac{S}{2} (1 - \sqrt{\frac{28}{t}}) \right]} \\ [\mu\epsilon/\text{psi}] &= \frac{\varphi(t, t_0)}{E_c} + \frac{1}{E_c(t_0)} \\ \varphi(t, t_0) &= (\varphi_0) * \beta_c(t - t_0) \\ \varphi_0 &= \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) \\ \varphi_{RH} &= 1 + \frac{(1 - RH)}{0.1 * \sqrt[3]{h_0}} \\ \beta(f_{cm}) &= \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} \\ \beta(t_0) &= \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.2})} \\ \beta_c(t - t_0) &= \frac{(t - t_0)^{0.3}}{[\beta_H + (t - t_0)]^{0.3}} \\ \beta_H &= 1.5 * [1 + (0.012 * RH)^{18}] h_0 + 250 \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$\epsilon(t) = \epsilon_{cs}(t - t_s) + \left[\frac{\varphi(t, t_0)}{E_c} + \frac{1}{E_c(t_0)} \right] \cdot \sigma \quad (1)$$

و مقدار کرنش ناشی از خزش بتن از روابط زیر برآورد می‌شود:

پدیده خزش بتن، مدل تفصیلی اجزاء محدود تهیه و مورد ارزیابی قرار داده شده است (شکل (۲)). سازه عرشه پل به صورت تیر جعبه‌ای قطعه‌ای با ارتفاع متغیر و همچنین در مورد دال پائینی با ضخامت متغیر در نزدیکی تکیه‌گاه‌های میانی طراحی شده است. قطعات سازه عرشه به طول ۲/۳۰ متر به صورت طره‌ای متعادل از پایه‌های میانی نصب گردیده و در وسط دهانه به یکدیگر می‌رسند در کنارها نیز در تکیه‌گاه‌ها مهار می‌گردند. مدول مقطع عمومی پل در طرفین و وسط دهانه میانی برابر با ۳۲۷۲۷۹۰ cm^3 و در محل تکیه‌گاه‌های میانی، برابر با ۱۲۴۹۱۱۰۱ cm^3 می‌باشد (شکل (۳)).

در مدل انتخابی برای ارزیابی عملکرد سازه تحت اثرات رفتارهای تابع زمان مصالح مصرفی، به منظور بررسی رفتار وابسته به زمان بتن، رطوبت نسبی محیط برابر با ۷۰٪ و زمان شروع جمع‌شدگی از روز اول ساخت و سیمان مصرفی از نوع معمولی و زود سخت شونده (N,R) با $\beta_{sc} = 5$ ، و همچنین مقدار ارتفاع فرضی h_0 برابر ۴۵۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است. مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن ۳۵۰ kg/cm^2 فرض شده که در نتیجه مدول ارتجاعی ۲۸ روزه برابر با ۳۳۳۴۴۲ kg/cm^2 به دست می‌آید [۳]. وزن واحد حجم بتن ۲۵۰۰ Kg/m^3 فرض گردیده است.

جدول ۳: افت‌های ناشی از پیش‌تنیدگی

مدت افت کوتاه	مدت افت بلند
کوتاه شدگی الاستیک	جمع شدگی بتن
نشست گیره	خزش بتن
اصطکاک	سستی فولاد

برای در نظر گرفتن تغییرات مدول الاستیسیته بتن در طول زمان، برای سیمان مصرفی نوع معمولی و زود سخت‌شونده (N,R)، مقدار S برابر ۲۵٪ می‌باشد [۶]. تاندون‌ها از نوع مفتول با سستی کم و جهت محاسبه افت تنش در تاندون‌های پیش‌تنیدگی، مقادیر تورفتگی گیره و ضرایب اعوجاج (k) و انحنا (μ)، به ترتیب برابر mm ۵، $(1/\text{mm}) \times 10^{-6}$ و $۳/۳$ و $۱/۱۵$ در نظر گرفته شده‌اند.

در این مطالعه، مدت زمان ساخت عرشه در حالت طره‌ای، ۲۵ روز فرض گردیده است. سپس تکیه‌گاه‌های کناری ایجاد و نیروی تاندون‌های گروه ۲ اعمال شده است. در ادامه قطعه کلید در انتهای طره‌ها در وسط دهانه میانی

ضریب تأثیر نوع سیمان بر مدول الاستیسیته بتن، S، برای بتن تولید شده با سیمان‌های با روند کسب مقاومت کند، معمولی و زود سخت شونده و همچنین زود سخت شونده و پرمقاومت به ترتیب برابر با ۰/۳۸، ۰/۲۵ و ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود [۶]. همچنین کرنش ناشی از جمع شدگی بتن از روابط زیر برآورد می‌گردد:

$$\varepsilon_{cs}(t-t_s) = (\varepsilon_{cso}) * \beta_s(t-t_s) \quad (۳)$$

$$\varepsilon_{cso} = \varepsilon_s(f_{cm}) * (\beta_{RH})$$

$$\varepsilon_s(f_{cm}) = [160 + \beta_{sc}(90 - f_{cm})] * 10^{-6}$$

$$\beta_{sRH} = 1 - \left(\frac{RH}{100}\right)^3$$

$$\beta_s(t-t_s) = \sqrt{\frac{(t-t_s)}{[0.035 * h_0^2 + (t-t_s)]}}$$

انواع افت‌هایی که ممکن است در فولادهای پیش‌تنیدگی اتفاق افتد مطابق جدول (۳) [۷، ۸]، به دو گروه افت‌های کوتاه مدت و افت‌های بلندمدت تقسیم می‌شوند. افت‌های بلندمدت، ناشی از رفتار تابع زمان فولاد پیش‌تنیدگی و بتن می‌باشد. در این تحقیق جهت تعیین فاکتورهای مربوط به افت‌های کوتاه مدت از توصیه‌های آیین‌نامه AASHTO [۹] و جهت تخمین مقادیر افت‌های بلند مدت از روابط آیین‌نامه CEB90، مطابق روابط (۱) تا (۳) استفاده شده است [۶].

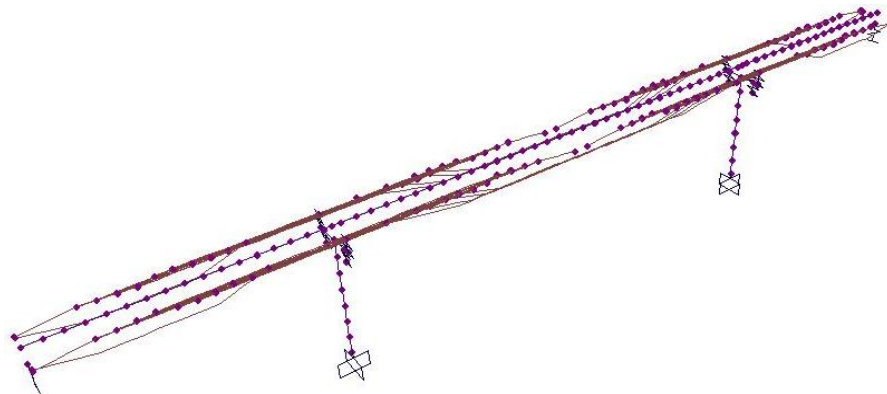
جدول ۱: تعیین ضریب β_{sc}	
نوع سیمان	β_{sc}
(SL) سیمان با روند کسب مقاومت کند	4
(N, R) سیمان معمولی و زود سخت شونده	5
(RS) سیمان زود سخت شونده و پرمقاومت	8
جدول ۲: تعیین ضریب β_{RH}	
رطوبت نسبی	β_{RH}
در هوا نگهداری شده، $40\% \leq RH \leq 99\%$	$-1.5 * \beta_{sRH}$
زیر آب (مستغرق) نگهداری شده، $RH \geq 99\%$	0.25

مشخصات پل مورد مطالعه

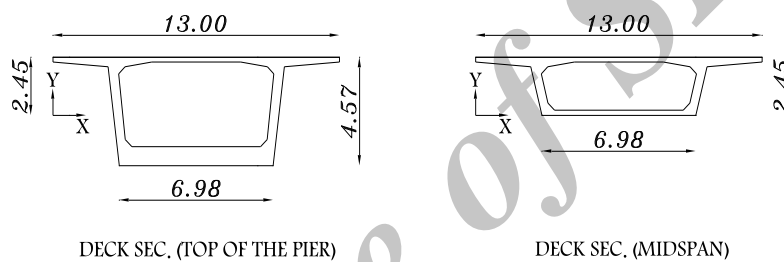
بر پایه روابط ذکر شده برای پل نشان داده شده در شکل (۱)، جهت بررسی عملکرد عرشه پل‌های پیش‌تنیده طره‌ای تحت اثر رفتارهای تابع زمان مصالح، مخصوصاً

ایجاد و نیروی تاندون‌های گروه ۳ اعمال و سازه عرشه به صورت پیوسته حاصل گردیده است [۴،۱]. در ادامه سربار به سازه پیوسته اعمال شده است.

ایجاد و نیروی تاندون‌های گروه ۳ اعمال و سازه عرشه به صورت پیوسته حاصل گردیده است [۴،۱]. در ادامه سربار به سازه پیوسته اعمال شده است.



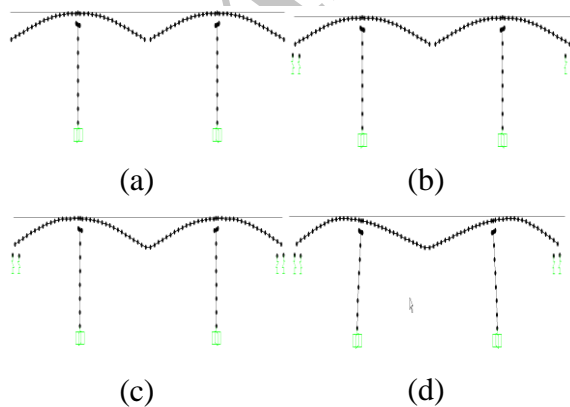
شکل ۲: نمای سه‌بعدی پل مدل‌سازی شده



شکل ۳: مقاطع تیرهای پل مدل‌سازی شده

روسازی کف عرشه و بارزنده گسترده (مطابق AASHTO) HS20-44، بر سازه یکسره پل، بدون اعمال نیروی پیش‌تنیدگی، در نظر گرفته شده است.

پس از این مرحله، عملکرد سازه عرشه پل به مدت ۳۵ سال تحت تأثیر رفتارهای تابع زمان مصالح، مورد بررسی قرار گرفته است (شکل‌های (۴-a) تا (۴-d)). در این بررسی دو حالت مختلف برای تاندون‌های گروه ۳ در نظر گرفته شده است.

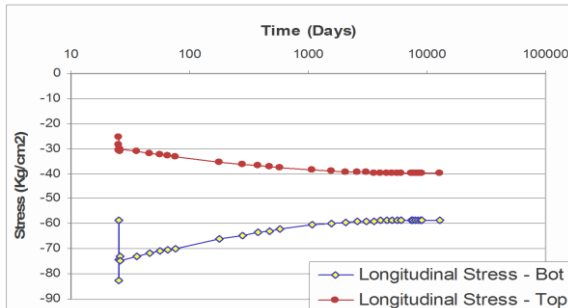


شکل ۴: مراحل ساخت و تکمیل پل

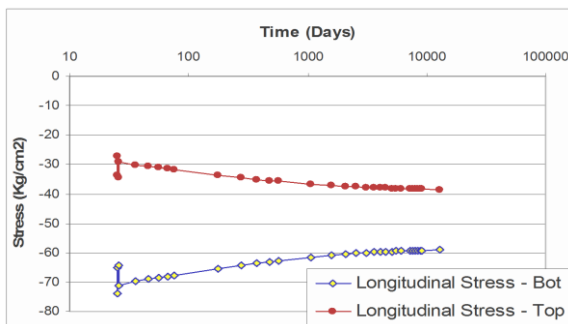
در حالت اول: تعداد این تاندون‌ها مطابق حالت متعارف یعنی به مقداری در نظر گرفته شده که تنش بتن در وسط دهانه میانی، تحت تأثیر پیوستگی سازه (ایجاد لنگر ثانویه) و همچنین بارهای مرده ناشی از روسازی کف عرشه و بارزنده ناشی از تردد وسایط نقلیه، در کوتاه مدت، از حد مجاز تعیین شده تجاوز نکند.

در حالت دوم: تعداد این تاندون‌ها به مقدار تاندون مورد نیاز برای لنگر مثبت ایجاد شده در وسط دهانه میانی، تحت بارهای مرده ناشی از وزن قطعات تیر عرشه بعلاوه ۱۰٪ وزن قطعات تیر عرشه (به‌عنوان وزن تأسیسات و

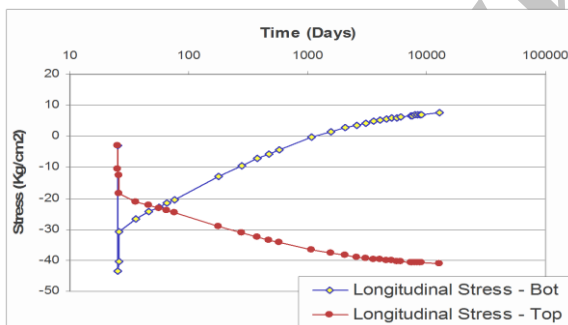
شده‌است. در تار بالای مقطع نیز همواره در طول زمان، تنش‌های فشاری افزایش یافته‌اند. البته نرخ تغییرات تنش در مقاطع مختلف تفاوت داشته و مقدار آن در وسط دهانه میانی و در بازه زمانی دو سال اول بیشتر می‌باشد.



(a)



(b)



(c)

شکل ۵: تغییرات تنش طولی بالا و پایین مقطع تیر تحت اثر رفتارهای تابع زمان مصالح

(a) وسط دهانه ۱ (b) روی پایه‌ها (c) وسط دهانه ۲

متعاقباً مقدار تاندون‌های گروه ۳ را مطابق مقدار مورد نیاز در حالت دوم، در نظر می‌گیریم. مشاهده می‌گردد که در وسط دهانه میانی تحت تأثیر بارگذاری ذکر شده در حالت دوم تنش کششی ایجاد نمی‌شود (شکل (۸)). مقدار

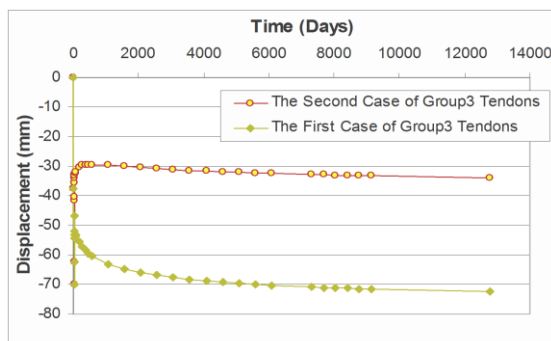
عملکرد عرشه پل تحت رفتارهای تابع زمان مصالح

پل نشان داده شده در شکل (۱) با استفاده از نرم‌افزار SAP2000.v10، مدل‌سازی شده و سپس تحت شرایط ذکر شده برای رفتارهای تابع زمان مصالح مصرفی، روند تغییرات تنش و تغییرمکان در طول زمان در اعضا و اجزاء حائز اهمیت و گره‌های وسط دهانه کناری و میانی و روی تکیه‌گاه میانی بررسی شده‌است.

تغییرات تنش و تغییرمکان در اعضای وسط دهانه کناری و میانی و همچنین اعضای روی تکیه‌گاه‌های میانی پل، بر حسب زمان برای دوره زمانی ۳۵ سال از ساخت پل، تحت بارمرده ناشی از وزن قطعات جعبه‌ای عرشه بعلاوه ۱۰ درصد وزن قطعات جعبه‌ای عرشه بعنوان وزن تأسیسات و روسازی، با مقدار تاندون‌های پیوستگی گروه ۳، مطابق حالت اول مذکور در فوق، به ترتیب در شکل‌های (۵(a,b,c)) و (۶) ارائه شده‌است. مطابق شکل (۵c) مشاهده می‌شود که در لحظه اول پس از اعمال بار روسازی، تار پایینی المان وسطی دهانه میانی دارای تنش فشاری 30 kg/cm^2 می‌باشد؛ که این تنش پس از مدت زمان ۱۱۰۰ روز به مقدار صفر رسیده و در پایان مدت زمان ۳۵ سال به تنش کششی $7/75 \text{ kg/cm}^2$ تبدیل شده‌است. همچنین مشاهده می‌شود که نرخ تغییرات تنش در ۲ سال اول زیاد بوده، بطوریکه میزان نرخ تغییرات تنش در این مدت در حدود سه برابر نرخ تغییرات تنش طی ۳۳ سال بعد می‌باشد.

در شکل (۶) مشاهده می‌گردد که مقدار تغییرمکان در وسط دهانه میانی از ۵۴ میلیمتر در لحظه اول پس از اعمال بار روسازی به ۷۲ میلیمتر در پایان مدت زمان ۳۵ سال از زمان احداث پل افزایش یافته‌است. همچنین نرخ تغییرات تغییرمکان در وسط دهانه میانی به میزان قابل اعتنايي کمتر از نرخ تغییرات تنش در این نقطه می‌باشد. بازه تغییرات تنش اولیه و نهایی سازه عرشه، در تار پایین تیر عرشه، تحت بارگذاری ذکر شده، در شکل (۷) نشان داده شده‌است.

مشاهده می‌گردد که در تمام مقاطع عرشه، تنش‌های فشاری در تار پایین مقطع، همواره در طول زمان، تحت تأثیر رفتارهای تابع زمان مصالح کاهش یافته‌است. این کاهش تنش فشاری بیشتر در دهانه میانی اتفاق افتاده و تقریباً در وسط دهانه به تنش‌های کششی نیز تبدیل



شکل ۹: مقایسه تغییرات تغییر مکان در وسط دهانه میانی تحت اثر رفتارهای تابع زمان مصالح در دو حالت استفاده از تاندون‌های گروه ۳

نتیجه گیری

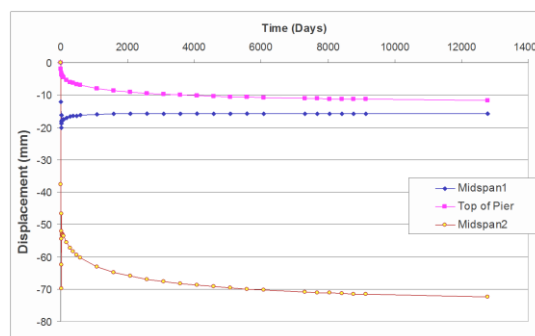
در مطالعه حاضر تأثیر رفتارهای وابسته به زمان مصالح بر سازه عرشه پل پیش‌تنیده طره‌ای در طول بازه زمانی ۳۵ ساله مورد بررسی قرار گرفته‌است. نتایج حاصل از این مطالعه را می‌توان به شرح زیر تلخیص کرد:

۱- به عنوان نمونه‌ای از نتایج تحلیل کمی پل مورد مطالعه، با رجوع به شکل (۵C)، ملاحظه می‌گردد که مقدار تنش‌ها در وسط دهانه در تار پایین از تنش فشاری اولیه حدود ۳۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، در بازه زمانی مذکور در فوق تغییر علامت داده و به تنش کششی به مقدار ۸ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع رسیده‌است که این امر با توجه به آثار دینامیکی وسائط نقلیه به احتمال قریب به یقین منجر به ایجاد ترک در این ناحیه از عرشه پل خواهد شد.

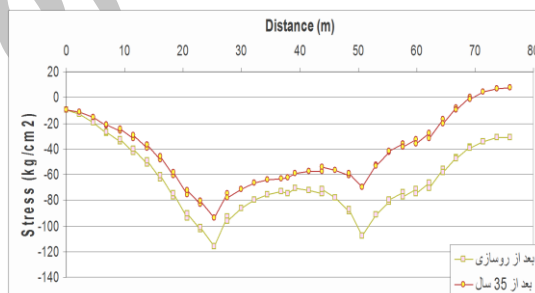
۲- همچنین در تار فوقانی همین مقطع از عرشه پل مورد بررسی، مقدار تنش فشاری از حدود ۱۸ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در طول زمان به مقدار ۴۱ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع افزایش نشان می‌دهد. چنانکه از شکل (۵C) برمی‌آید، شیب منحنی تغییرات تنش فشاری برحسب زمان در نقطه انتهائی هنوز به مقدار محسوسی از صفر بزرگ‌تر است. این امر با توجه به روند کند شونده ولی موجود افزایش تنش فشاری، خود به ادامه روند خزش و آثار ناشی از آن می‌انجامد.

۳- در شکل (۶) تغییرات میزان تغییر مکان نسبت به زمان نشان داده شده‌است. مشاهده می‌شود که نسبت میزان تغییر مکان بلندمدت به مقدار اولیه حدود ۱/۴ می‌باشد که به معنی افزایشی در حدود ۴۰٪ است.

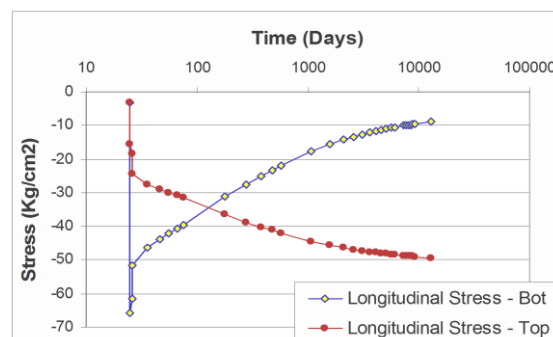
خیز وسط دهانه میانی نیز از مقدار ۴۰/۵ میلیمتر در لحظه اول پس از اعمال بار روسازی، به مقدار ۳۴ میلیمتر در پایان مدت زمان ۳۵ سال، از ساخت پل رسیده‌است (شکل ۹)). همچنین ملاحظه می‌شود که مقدار خیز وسط دهانه میانی پس از ۳۰ روز اولیه تقریباً ثابت مانده‌است که نشان‌دهنده وضعیت مطلوبی از این دیدگاه می‌باشد. (شکل ۹)).



شکل ۶: تغییرات تغییر مکان مقاطع عرشه پل تحت اثر رفتارهای تابع زمان مصالح



شکل ۷: مقایسه تغییرات تنش طولی تار انتهایی پایینی عرشه پل تحت اثر رفتارهای تابع زمان مصالح طی ۳۵ سال از ساخت پل



شکل ۸: تغییرات تنش طولی در وسط دهانه میانی تحت اثر رفتارهای تابع زمان مصالح با استفاده از حالت دوم تاندون‌های گروه ۳

پذیری سازه سیر نزولی طی نماید. لذا ارزیابی آسیب پذیری پل‌های موجود از این نوع در کشور امری ضروری به‌شمار می‌رود.

۸- از نتایج دیگر حاصل از بررسی‌های کمی انجام شده شناخت میزان تأثیر تاندون‌های پیوستگی دهانه‌های میانی بر تغییر مکان‌ها و تنش‌های مقاطع مختلف عرشه پل و در حالت کلی رفتار عمومی عرشه مورد مطالعه می‌باشد. شکل (۸) نشان دهنده پیش‌گیری از بروز ترک در وسط دهانه در حالت دوم از نظر میزان تاندون‌ها بوده و شکل (۹) حاکی از کنترل میزان تغییر مکان وسط دهانه از این طریق می‌باشد. به این ترتیب در مورد پل‌هایی با حدود ابعاد دهانه‌ها و فرم کلی نظیر پل تحت بررسی می‌توان توصیه نمود برای تاندون‌های گروه ۳، مقدار پیش کشیدگی اولیه‌ای متناسب با مقدار تاندون مورد نیاز متناظر با مقدار لنگر مثبت وسط دهانه میانی، حاصل از اعمال آثار کل بارگذاری مرده و زنده روی سازه یکسره پل اختیار گردد. در این حالت، ایجاد شرایط تغییر مکانی و تنشی مطلوب به‌منظور ارضاء ملزومات ایمنی مورد انتظار خواهد بود. همچنین این مقدار تاندون پیوستگی می‌تواند معیاری برای تقویت یا بهسازی و بازیافت عملکرد آن دسته از پل‌های پیش‌تینیده طره‌ای محسوب شود که در طراحی آنها آثار ناشی از رفتارهای تابع زمان مصالح به درستی در نظر گرفته نشده‌اند. این‌گونه بهسازی به‌ویژه به‌کمک روش‌های پس‌کشیدگی خارجی قابل توصیه خواهد بود.

۴- اگرچه در مورد این پل خاص تحت بررسی هنوز میزان تغییر مکان دراز مدت از میزان حد اکثر مجاز مورد توصیه مشخصات فنی اش تو [۹] کوچک‌تر می‌باشد، وجود این میزان تغییرات در جابجائی‌ها حاکی از تغییرات قابل ملاحظه تنش‌ها و کرنش‌ها در بالا و پایین مقطع عرشه بوده که علاوه بر ایجاد تغییرات مستقیم بر عملکرد بتن موجب ایجاد افت در نیروی کششی تاندون‌ها و تشدید این تغییرات می‌شود. تأثیر رفتارهای تابع زمان بتن بر افت بلند مدت نیروهای پیش‌تینیدگی قابل ملاحظه بوده و عدم ملحوظ داشتن این آثار در طراحی این‌گونه از پل‌ها آثار نامطلوب و مخاطره‌آمیزی در بر خواهد داشت. در مرجع [۱] نیز تخریب و یا ایجاد ترک در عرشه پل‌های ساخته شده در چند دهه اخیر یاد آوری شده است.

۵- با در نظر گرفتن مراحل و شیوه ساخت، اثر رفتارهای تابع زمان بتن و به‌ویژه پدیده خزش بتن، در حین ساخت قابل ملاحظه بوده و با تغییر سیستم ایستائی و استاتیکی پل پس از ساخت عرشه به روش طره‌ای و پیوسته شدن سازه عرشه پل، تأثیر رفتارهای تابع زمان بر نیروهای داخلی و تغییر مکان‌های سازه عرشه پل همچنان حائز اهمیت است. نتایج کمی مطالعات موردی انجام شده حاکی از آن است که در چنین حالتی رفتارهای تابع زمان بتن باعث ایجاد تغییرات تنش‌ها و تغییر مکان‌های عرشه پل در گام‌های مختلف زمانی در طول مدت بهره‌برداری پل گردیده و این تغییرات در دهانه‌های میانی و یا در حالت کلی در دهانه‌هایی که از بهم پیوستن طره‌ها از دو طرف ایجاد می‌گردند، قابل ملاحظه بوده و بر عملکرد عرشه تأثیرگذار خواهند بود.

۶- در ارتباط با بند دوم فوق، در دهانه‌های معمولاً طویل‌تر میانی در چنین پل‌هایی احتمال دارد تنش‌های فشاری تار پایین مقطع (ناشی از کشیده شدن تاندون‌های پیوستگی)، که مستمراً در حال کاهش می‌باشند، به تنش‌های کششی تبدیل شده و این امر منجر به بروز ترک و مسائل متعاقب ترک‌خوردگی گردد.

۷- همراه با تغییرات رفتار تابع زمان پل، انتظار می‌رود متناسب با میزان آسیب‌پذیری پل، که معمولاً به صورت کمی از طریق شاخص‌های آسیب‌پذیری و اندیس‌های خسارت بیان می‌گردند، روند افزایشی داشته و اعتماد

مراجع

1. Sauvageot, G. (2000). "Segmental Concrete Bridges." *Bridge Engineering Handbook*. Ed. Wai-Fah Chen and Lian Duan, Boca Raton: CRC Press.
2. In Hwan Yang. (2005). "Uncertainty and updating of long-term prediction of prestress forces in PSC box girder bridges" *Daelim Industrial Co. 146-12 Susong-dong, Jongro-ku, Seoul 110-732, Republic of Korea, Volume 83 Issue 25-26*.
3. Mahdi, H.A. and El-Kadi, F. (2007). "Appraisal of Time Dependent Effects on the Behavior of Segmental Prestressed Concrete Box-Girder Bridges" *Twelfth International Colloquium on Structural and Geotechnical Engineering, Cairo – Egypt*.
4. Tahooni, S. (2004). "Bridge Design (Steel, Reinforced and Prestressed Concrete)" Second edition, University of Tehran press.
5. Edward, C., Vincent. (2003). "Compressive Creep of a Lightweight, High Strength Concrete Mixture." Thesis presented to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University In partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil Engineering.
6. CEB-FIP Model Code. (1990). "Evaluation of the Time Dependent Behavior of Concrete."
7. Abeles, P. W. and Bardhan-Roy, B. K. (1981). *Prestressed Concrete Designer's Handbook*, Viewpoint, Slough.
8. Mortensen, C., Saiidi, M., and Ladkany, S. (2003). "Creep and Shrinkage Losses in Prestressed Concrete Bridges in Highly Variable Climates."
9. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1996). *Specifications for Standard Highway Bridges 16th Edition*, Washington, D.C.

Archive of SID

نمادها

$\varphi(t, t_0)$	= ضریب خزش برای تعریف خزش بین زمان‌های t_0 و t
E_c	= مدول الاستیسیته ۲۸ روزه بتن (N/mm^2)
$E_c(t_0)$	= مدول الاستیسیته بتن در لحظه بارگذاری (N/mm^2)
s	= ضریب تأثیر نوع سیمان بر مدول الاستیسیته بتن
$\varepsilon(t)$	= کرنش کل (کرنش الاستیک آنی بعلاوه کرنش ناشی از خزش و جمع‌شدگی بتن)
$\varepsilon_{cs}(t - t_s)$	= کرنش ناشی از جمع‌شدگی بتن بین زمان‌های t و t_s (mm/mm)
t	= عمر بتن
t_s	= عمر بتن در زمان شروع جمع‌شدگی
f_{cm}	= مقاومت متوسط ۲۸ روزه بتن
f_{ck}	= مقاومت مشخصه ۲۸ روزه بتن با معیار پذیرش ۹۵٪
t_0	= عمر بتن در لحظه بارگذاری
ϕ_0	= عدد فرضی خزش
$\beta_c(t - t_0)$	= ضریب توسعه خزش در زمان‌های بعد از بارگذاری
ϕ_{RH}	= ضریب تأثیر رطوبت نسبی محیط، بر خزش
$\beta(f_{cm})$	= ضریب تأثیر مقاومت بتن، بر خزش
$\beta(t_0)$	= ضریب تأثیر عمر بتن در لحظه بارگذاری، بر خزش
RH	= رطوبت نسبی محیط (٪)
Ac	= مساحت سطح مقطع عضو (mm^2)
u	= مساحت سطح محیطی از عضو که در معرض جریان هوا قرار دارد (mm)
h_0	= ضخامت مؤثر یا ضخامت نظری عضو ($h_0 = 2Ac/u$)
β_H	= ضریب تأثیر رطوبت نسبی محیط و ابعاد عضو بر خزش
ε_{cso}	= ضریب جمع‌شدگی مفروض
$\beta_s(t - t_s)$	= معادله توسعه جمع‌شدگی در زمان
$\varepsilon_s(f_{cm})$	= ضریب تأثیر مقاومت بتن، بر جمع‌شدگی
β_{RH}	= ضریب تأثیر رطوبت نسبی محیط، بر جمع‌شدگی
β_{sc}	= ضریبی تأثیر نوع سیمان
β_c	= ضریب توسعه جمع‌شدگی در زمان
σ	= تنش اعمال شده بر عضو (N/mm^2)