

فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال پنجم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۳، (پیاپی ۱۹): صص ۳۹-۳۱

بررسی رفتار دورانی پل‌های بزرگراهی بتنی به همراه کلید برشی با رویکرد پدافند غیرعامل

سید محمدجواد فروغی مقدم^۱، سید محمد قاضی میرسعید^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۱۲

چکیده

شمار زیادی از پل‌ها در زلزله‌های اخیر دچار خرابی شدید شده‌اند. در این میان، پل‌های بزرگراهی مورب، با توجه به شکل مودی غالب آن‌ها که پیچش عرشه با جابجایی‌های بزرگ در گوشه‌های عرشه می‌باشد، بیشتر به چشم می‌خورند. بنابراین، تأثیر حضور کلید برشی در این نوع از پل‌ها واضح‌تر می‌باشد. میزان جابجایی جانبی گوشه‌های عرشه، دوران عرشه و همچنین تقاضای لرزه‌ای کلیدهای برشی مستقر بر روی کوله‌های پل مورب در مقایسه با پل مستقیم، از اهداف این مطالعه می‌باشد. بنابراین بررسی رفتار این سازه‌ها تحت اثر انفجار و ارائه روش‌های نوین طراحی، از ارکان مهم پدافند غیرعامل می‌باشد. لذا رفتار غیرخطی پل مدنظر، تحت اثر انفجار برای سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای نیل به این هدف، مدل غیرخطی پل مورب به همراه کلیدهای برشی در نرم‌افزار OpenSEES ارائه می‌گردد. مشاهده می‌شود که کلیدهای برشی نقش عمده‌ای در جذب انرژی عرشه پل و در نتیجه، کاهش دوران عرشه در این گونه از پل‌ها دارند.

کلیدواژه‌ها: پل بزرگراهی بتنی، پدافند غیرعامل، کلید برشی، انفجار، تقاضای لرزه‌ای

۱- کارشناس ارشد مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، پژوهشکده سازه، تهران MJ.Moghadam66@gmail.com - نویسنده مسئول

۲- مربی و عضو هیئت علمی دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۱- مقدمه

برشی را در کوله‌های از نوع نشیمن، به کمترین مقدار رابطه (۱) محدود می‌کند.

$$F_{sk} \leq \begin{cases} .75 \times \sum V_{piti} \\ .3 \times P_{di}^{sup} \end{cases} \quad (1)$$

که در آن، $\sum V_{piti}$ مجموع ظرفیت جانبی شمع‌ها و P_{di}^{sup} مؤلفه محوری واکنش در کوله تحت اثر بار مرده می‌باشد.

در این مطالعه، تأثیر تورب پل بر روی رفتار غیرخطی کلید برشی تحت تأثیر انفجار و زلزله مورد بررسی قرار می‌گیرد. در همین راستا، مدل اجزاء محدود یک پل مورب واقعی موجود در نرم‌افزار OpenSEES تهیه شده است [۵]. از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، برای بررسی رفتار لرزه‌ای و هم‌چنین در حین انفجار سازه مورد نظر استفاده شده است.

این مقاله، مشخصات لرزه‌ای سازه با در نظر گرفتن یک رفتار غیرخطی برای کلید برشی، که با فاصله از عرشه بر روی کوله‌ها واقع شده است را ارائه می‌کند. نتایج تحلیل لرزه‌ای پل مستقیم (بدون زاویه تورب) نیز با پل مورب مورد قیاس قرار می‌گیرد.

۲- پدافند غیرعامل

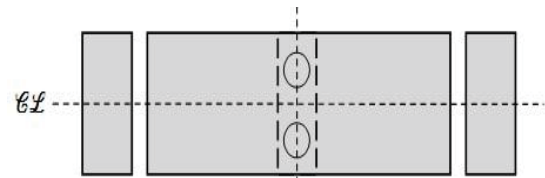
هر اقدام غیرمسلحانه‌ای که موجب کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی، ساختمان‌ها، تأسیسات، تجهیزات، اسناد و شریان‌های کشور در مقابل عملیات خصمانه و مخرب دشمن گردد، پدافند غیرعامل خوانده می‌شود. به بیان ساده‌تر، پدافند غیرعامل، مجموعه اقداماتی است که انجام می‌شود تا در صورت بروز جنگ، و یا حوادث طبیعی، خسارات احتمالی به حداقل میزان خود برسد. هدف از اجرای طرح‌های پدافند غیرعامل، کاستن از آسیب‌پذیری نیروی انسانی و تجهیزات حیاتی و حساس و مهم کشور علی‌رغم حملات خصمانه و مخرب دشمن و استمرار فعالیت‌ها و خدمات زیربنایی و تأمین نیازهای حیاتی و تداوم اداره کشور در شرایط بحرانی ناشی از جنگ است. به‌عنوان مثالی ساده، از پدافند غیرعامل می‌توان به استتار، اختفا و ایجاد سرپناه برای تأسیسات مهم و راهبردی اشاره کرد. با توجه به حجم تهدیداتی که ایران در عرصه بین‌الملل با آن مواجه است، در زمینه پدافند غیرعامل هنوز در ابتدای راه هستیم و باور هرچه بیشتر مدیران و کارشناسان به این مقوله مهم می‌تواند ضریب ایمنی کشور را در برابر تهاجم احتمالی بیگانگان افزایش دهد.

سیستم‌های سازه‌ای مناسب با توجه به رویکرد پدافند غیرعامل

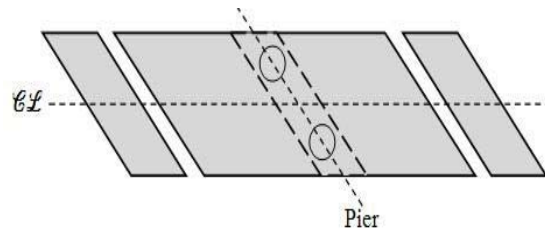
یکی از روش‌هایی که می‌توان خسارات ناشی از عملیات خصمانه و مخرب دشمن را تا حد بسیار زیادی کاهش داد، استفاده از

شمار زیادی از پل‌ها در زلزله‌های اخیر دچار آسیب‌دیدگی فراوان شدند. در این میان، پل‌های بزرگراهی مورب با توجه به شکل مود اصلی خود که اصولاً دوران عرشه با جابجایی‌های بزرگ در گوشه‌ها می‌باشند، قابل توجه هستند. بنابراین تأثیر حضور کلید برشی در این نوع از پل‌ها واضح‌تر است. در مناطق لرزه‌خیز، جابجایی نسبی گوشه‌های عرشه و کوله‌ها زیاد است و احتمال برخورد عرشه به دیواره‌های کوله‌ها افزایش می‌یابد. این برخورد می‌تواند تقاضای لرزه‌ای پل را در پایان زمین‌لرزه افزایش دهد.

پل بزرگراهی مورب (Skewed Highway Bridge) به پلی گفته می‌شود که در آن بر خلاف پل بزرگراهی مستقیم (Straight Highway Bridge) راستای قرارگیری پایه‌ها بر راستای طولی عرشه عمود نباشد. در شکل (۱) به‌طور شماتیک پلان عرشه پل بزرگراهی مورب و مستقیم ارائه شده است.



الف - پل مستقیم



ب - پل مورب

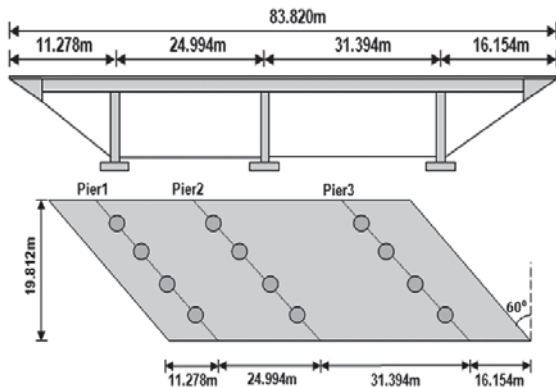
شکل ۱- شکل شماتیک عرشه پل مورب در مقایسه با پل مستقیم

کلیده‌های برشی خارجی، المان‌های فداشونده‌ای هستند که جابجایی جانبی عرشه پل را محدود می‌کنند [۳]. در طی زمین‌لرزه بعد از بسته شدن فاصله بین کلید برشی و عرشه، این المان با مستهلک کردن انرژی عرشه باعث کاهش میزان آسیب وارده به المان‌های اصلی پل، مثل ستون‌ها می‌شود. بنابراین بررسی تأثیر حضور کلید برشی در پل‌های بزرگراهی مورب دارای اهمیت به‌سزایی می‌باشد. با توجه به ضوابط طراحی لرزه‌ای کالترانس [۴]، از کلیده‌های برشی روی کوله‌ها انتظار می‌رود که نیروهای برشی ناشی از زلزله‌های کوچک و بارهای طراحی را انتقال دهند. این آیین‌نامه همچنین ظرفیت کلید

نظر گرفتن سختی و مقاومت مناسب در گام طراحی این المان‌ها می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. بنابراین، در نظر گرفتن اثر کلیدهای برشی در پل‌های بزرگراهی در رفتار دینامیکی این سازه‌ها بسیار مؤثر بوده و از منظر پدافند غیرعامل بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

۳- معرفی سازه مورد نظر

در این مطالعه، مدل عددی زیرگذر بلوار فوت هیل که به صورت شماتیک در شکل (۲) آمده است، در نرم‌افزار یادشده تهیه شده است. این سازه از نظر تورب به‌عنوان یک پل با تورب ۶۰ درجه محسوب می‌شود [۷و۶].



شکل ۲- جزئیات زیرگذر بلوار فوت هیل

این پل در زمین‌لرزه ۹ فوریه سال ۱۹۷۱ سان فرناندو دچار آسیب‌دیدگی‌های فراوان، مخصوصاً در ستون‌ها شد [۸]. سازه مورد نظر، یک پل چهار دهانه مورب می‌باشد، که در هر پایه دارای چهار ستون به ارتفاع ۵،۷۹۱ متر است. مقطع ستون‌ها به شکل دایره با قطر ۱،۲۱۹ متر است.

۴- مدل تحلیلی پل و زمین‌لرزه و انفجار

در این تحقیق، پل یادشده در نرم‌افزار OpenSEES مدل شده است. برای سازگاری بیشتر با رفتار لرزه‌ای پل مورب، عرشه پل توسط دو المان طولی موازی مدل شده است [۶]. برای مدل کردن ستون‌ها از المان‌های با رفتار غیرخطی استفاده شده است. برای ارائه رفتار، کلیدهای برشی این المان‌ها توسط چهار فنر در راستای جانبی در چهار گوشه عرشه و با فاصله یک سانتی‌متر از آن، قرار گرفته‌اند. شکل (۳) نمایانگر چگونگی قرار گرفتن این المان‌ها در چهار گوشه عرشه است. برای محاسبه مقادیر تنش تسلیم و سختی کلیدهای برشی، از بیشینه مقادیر استفاده شده در مطالعه بزرگراهی و همکاران استفاده شده است (شکل ۴) [۳].

سیستم‌های مناسب و نوین سازه‌ای است. سیستم‌هایی که قابلیت تحمل نیروهای بارهای لرزه‌ای شدید و همچنین نیروهای ناشی از انفجار را دارا است، باید دارای ۴ ویژگی مهم باشد:

الف) سختی مناسب

برای کنترل جابجایی‌های ناشی از نیروهایی که پایداری سازه را به خطر می‌اندازد، سازه باید دارای سختی مناسب باشد. خسارت در اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای مستقیماً ارتباط با تغییرشکل حاصله در ساختمان دارد. با افزایش سختی سازه می‌توان میزان این تغییر شکل را کاهش و در نتیجه، عملکرد مورد انتظار در سازه را تأمین نمود.

ب) مقاومت مناسب

در سازه‌های مهم و راهبردی نیاز است که بعد از تهاجم، خسارات وارد به سازه به‌گونه‌ای باشد که قابلیت خدمت‌رسانی و انجام تصمیم‌گیری‌های مهم در آن سازه‌ها امکان‌پذیر بوده و سازه بتواند به عملکرد خود ادامه دهد.

در حالت کلی، ارضاء این سطح عملکرد در سازه، به‌طور مستقیم مرتبط با تأمین مقاومت لازم برای کل سازه بوده و ارضاء عملکرد آستانه فروریزش نیز در ارتباط با کفایت سختی جانبی کل سازه می‌باشد.

ج) شکل‌پذیری

به‌دلیل اینکه طراحی سازه‌ها به‌صورت الاستیک کاملاً غیراقتصادی است، سازه‌ها طوری طراحی می‌گردند که تحت بارهای شدید، وارد ناحیه غیرالاستیک شود تا بخشی از انرژی تحریک ورودی توسط سختی و مقاومت سازه، و بخشی دیگر، توسط تغییر مکان‌های غیرالاستیک سازه تحمل شود. سیستم‌های سازه‌ای باید دارای این قابلیت باشد که بتواند تغییر شکل‌های پلاستیک ناشی از انرژی ورودی را تحمل کند.

د) قابلیت جذب انرژی بالا

یک سیستم مناسب سازه‌ای باید قابلیت درصدی از جذب انرژی ورودی به سیستم را داشته باشد. هرچه مقدار جذب انرژی سازه بیشتر باشد، خسارات وارده به اعضای اصلی سازه کمتر می‌باشد. افزایش ظرفیت جذب انرژی توسط سازه باعث کاهش تغییر مکان‌ها و دامنه ارتعاش سازه می‌شود. در بعضی سازه‌ها ظرفیت جذب انرژی و میرایی خیلی پایین است (میرایی کمتر از ۰.۱٪) که باعث شده سازه تحت نیروهای شدید، دامنه ارتعاشی بزرگی را تجربه کند و خسارات عمده‌ای به اعضای اصلی سازه وارد شود.

با توجه به موارد فوق، کلیدهای برشی به‌عنوان المان‌های الحاقی به سازه اصلی پل، از نظر جذب انرژی نقش مهمی را ایفا می‌نمایند و در

آنکه مسئله مشخص و تعریف گردید ابزارها و پارامترهایی که جهت جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز می‌باشد را جمع‌آوری می‌نماییم، سپس با پردازش اطلاعات، خروجی‌های قابل قبول را جهت اقدامات بعدی به‌کار می‌گیریم. مزایای سناریوپردازی از قرار زیر می‌باشد [۱]:

- سناریوها تصاویری از آینده‌های محتمل هستند.
- سناریوها، از اطلاعات مربوط به احتمالات و روندهای متنوع (و بعضاً واگرا)، تصاویری باورپذیر و سازگار از آینده ایجاد می‌کنند.
- هدف از به‌کارگیری سناریوها، ایجاد فضایی از ممکنات است که در آن، کارایی سیاست‌های اتخاذشده در برابر چالش‌های موجود آینده در بوته آزمایش قرار می‌گیرند. سناریوها همچنین کمک می‌کنند که هم چالش‌ها و هم فرصت‌های بالقوه شناسایی شوند.
- سناریوها با کشف سیستماتیک چالش‌ها و فرصت‌های پیش رو، در خدمت تدوین راهبردها قرار می‌گیرند.
- سناریوها تنها حدسیات در مورد آینده نیستند، سناریوپردازی کمک می‌کند تا بیندیشیم چگونه در شرایط محیطی متفاوت آینده، پیروزمندانه به هدایت امور بپردازیم.

بنابراین برای این تحقیق سه سناریوی مختلف انفجار (مطابق شکل (۶)) در نظر گرفته می‌شود.

برای مقایسه نتایج، یک پل مستقیم با مشخصات سازه‌ای مشابه سازه اصلی، بدون تورب مدل شده است. برای به‌دست آوردن زمان‌های تناوب و شکل مود مدل‌ها، از تحلیل ارتعاش آزاد بهره گرفته شده است. پس از آن نیز تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی برای بررسی رفتار پل در محدوده غیرخطی به‌کار گرفته شده است.

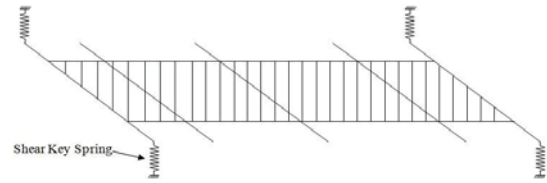
اغلب سازه‌ها دارای بیش از یک درجه آزادی هستند اما بسیاری از آن‌ها را می‌توان با دقت کافی به سازه‌های یک درجه آزادی تبدیل نمود (سازه یک درجه آزادی معادل). طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار، بر مبنای سازه یک درجه آزادی انجام می‌شود. عناصر اصلی، مواجه با فشار مستقیم انفجار، نظیر قاب‌های صفحه‌ای یک طبقه، دیوارهای طره‌ای، تیرها و دال‌های قابل معادل‌سازی با سازه یک درجه آزادی هستند. در شکل (۷)، نمونه‌ای از روش معادل‌سازی سازه یک درجه آزادی نشان داده شده است.

با توجه به زمان خیلی کوتاه تأثیر انفجار بر سازه، معادله تعادل دینامیکی سیستم یک درجه آزادی به‌صورت زیر می‌باشد.

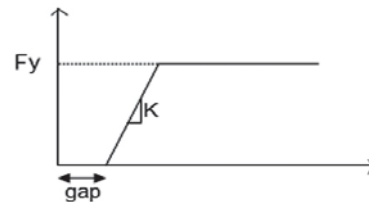
$$MY+KY=F(t) \quad (2)$$

با توجه به زمان خیلی کوتاه تأثیر انفجار بر سازه، تابع زمان- انفجار را می‌توان مشابه نیروی ضربه به‌صورت مثلثی مدل کرد که مقدار آن (مقدار بیشینه) F_m در مدت t می‌باشد. در نتیجه، نیروی تابع زمان برابر خواهد شد با:

$$f(t) = f_m \left(1 - \frac{t}{td}\right) \quad (3)$$

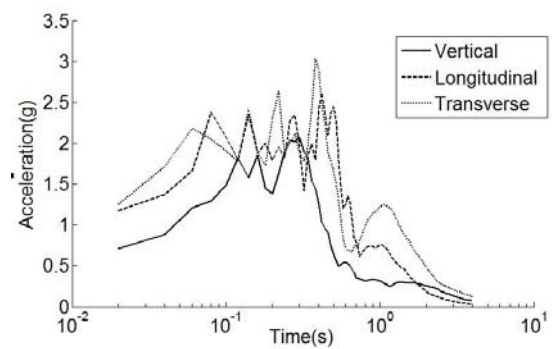


شکل ۳- چیدمان کلیدهای برشی در مدل عددی



شکل ۴- رفتار شوماتیک کلید برشی

برای بررسی رفتار پل‌های مدل‌شده در طی زمین لرزه، سه مؤلفه شتاب نگاشت زلزله سان فرناندو در تاریخ ۹ فوریه ۱۹۷۱ که در ایستگاه سد پاکویما ثبت شده‌اند را به مدل وارد می‌کنیم. شکل (۵)، طیف پاسخ هر سه مؤلفه این زمین‌لرزه را نمایش می‌دهد. برای تصحیح اثر فاصله محل سازه تا محل ثبت شتاب نگاشت، مقادیر بیشینه سه مؤلفه به ترتیب به مقادیر ۱,۰۱۷، ۱,۰۷۶ و ۰,۷۶ برابر شتاب گرانش مقیاس شده‌اند [۶].



شکل ۵- طیف پاسخ زمین لرزه سان فرناندو

جهت بررسی رفتار سازه مورد نظر تحت اثر انفجار، سناریوهای مختلفی از انفجار برای اعمال به سازه مورد نظر ارائه می‌گردد. سناریونویسی یعنی تجزیه و تحلیل اطلاعات، فکر کردن و نوشتن در باره رخداد‌های احتمالی و بحث درباره آینده می‌باشد. سناریونویسی تکنیک پیچیده‌ای است که به زمان و تلاش قابل توجهی نیاز دارد. فکر کردن درباره احتمالات آینده بسیار حائز اهمیت است. پس از

ضربه انفجار تقریباً مساوی سطح زیر نمودار بارگذاری است که به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$i = 1/2 f_m t_d \quad (4)$$

در نتیجه، رابطه تعادل دینامیکی سازه یک درجه آزادی برای بار انفجاری با مقدار بشینه f_m و زمان تداوم t_d به صورت زیر می‌باشد.

$$MY + KY = f_m \left(1 - \frac{t}{t_d} \right) \quad (5)$$

با حل معادله حرکت سیستم یک درجه آزادی، مقادیر تغییر مکان و سرعت به صورت زیر در می‌آیند:

$$Y(t) = \frac{f_m}{k} (1 - \cos \omega t) + \frac{f_m}{k} \left(\frac{\sin \omega t}{\omega} - t \right) \quad (6)$$

$$\dot{y}(t) = \frac{dy}{dt} = \frac{f_m}{k} \left[\omega \sin \omega t + \frac{1}{t_d} (\cos \omega t - 1) \right] \quad (7)$$

که در روابط فوق، ω فرکانس زاویه‌ای طبیعی ارتعاش است که با توجه به زمان تناوب T ارتعاش سازه به دست می‌آید.

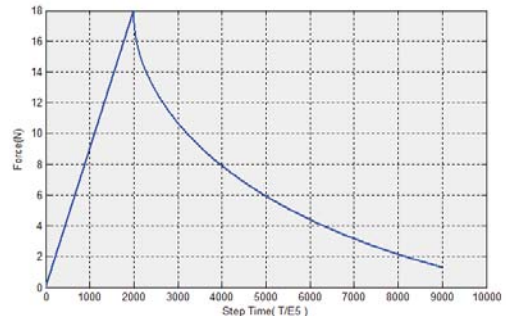
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (8)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (9)$$

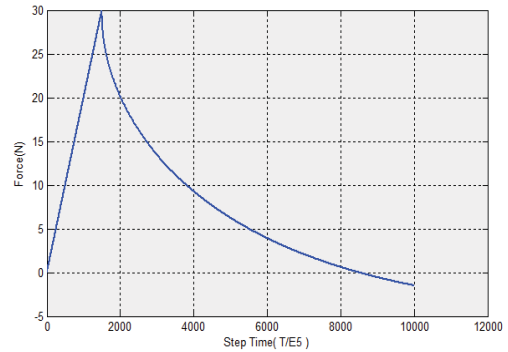
از آنجایی که دوران عرشه در پل‌های مورب بسیار حائز اهمیت بوده و این دوران سبب سقوط عرشه از روی کوله‌ها و در نتیجه، آسیب جدی پل می‌گردد، در این مطالعه با استفاده از مدل اجزاء محدود سازه پل مورب به بررسی تأثیر حضور کلید برشی در کاهش دوران عرشه پل در هنگام رخداد زمین‌لرزه و انفجار می‌پردازیم.

۵- تحلیل ارتعاش آزاد

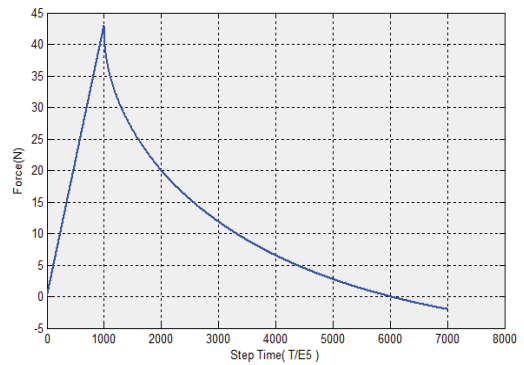
پس از تحلیل ارتعاش آزاد، زمان‌های تناوب طبیعی پل مستقیم و مورب به دست آمدند که در جدول (۱) آورده شده است. شکل نمود اصلی پل مستقیم، همانند پل مورب دوران عرشه حول محور عمود بر صفحه عرشه می‌باشد. شکل‌های مودی پل مستقیم و مورب در شکل (۸) آورده شده است.



الف) سناریوی اول

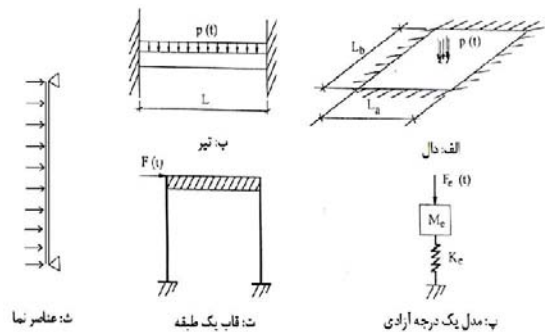


ب) سناریوی دوم



ج) سناریوی سوم

شکل ۶- سناریوهای انفجار مختلف در نظر گرفته شده



ش: عناصر نما

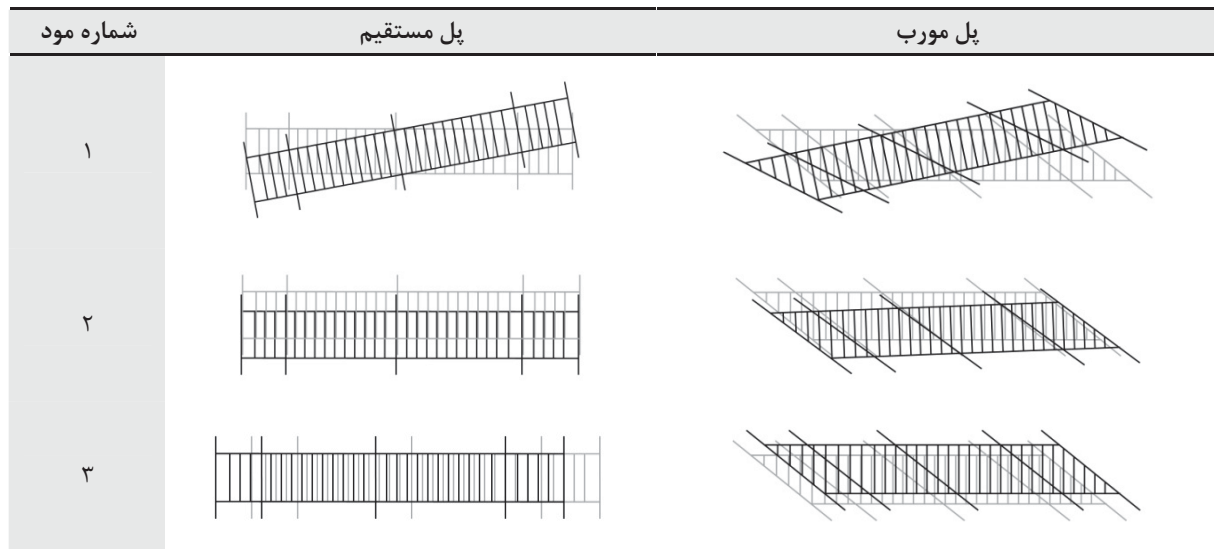
ت: قاب یک طبقه

پ: مدل یک درجه آزادی

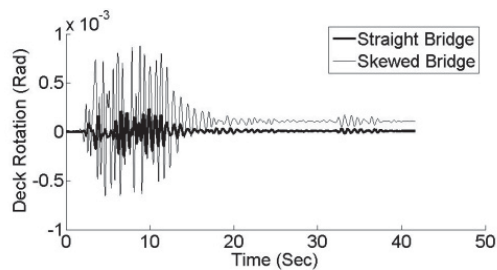
شکل ۷- معادل سازی مدل‌های چند درجه آزادی با یک درجه آزادی

جدول ۱- زمان تناوب

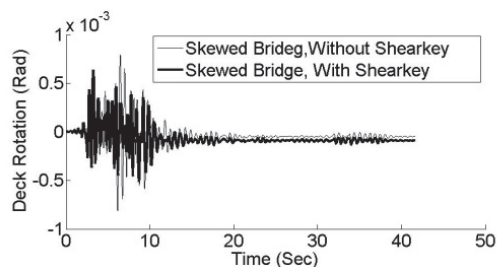
| پل مستقیم | | | پل مورب | | |
|-----------|------------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|
| شماره مود | شکل مود | زمان تناوب(ثانیه) | شماره مود | شکل مود | زمان تناوب(ثانیه) |
| ۱ | دوران عرشه | ۰,۵۲۴ | ۱ | دوران عرشه | ۰,۵۴۳ |
| ۲ | جانبی | ۰,۳۵۹ | ۲ | موازی پایه | ۰,۳۹۷ |
| ۳ | طولی | ۰,۳۵۲ | ۳ | عمود بر پایه | ۰,۳۸۶ |



شکل ۸- شکل‌های مود طبیعی پل مستقیم و مورب [۲]



شکل ۹- دوران عرشه در پل مستقیم و مورب



شکل ۱۰- دوران عرشه در پل مورب در حالت حضور و عدم حضور کلید برشی

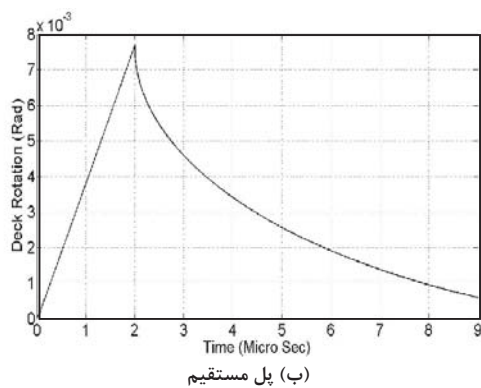
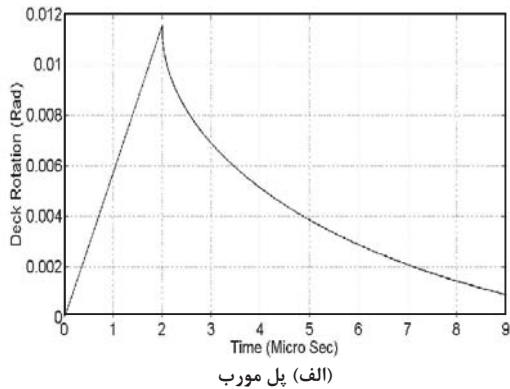
۶- تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

جهت بررسی رفتار غیرخطی پل و کلیدهای برشی، از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی استفاده شده است. به‌عنوان تحریک، ورودی از شتاب نگاشت مقیاس‌شده زمین‌لرزه سان فرناندو که در بخش ۳ ذکر شد، انتخاب شده است. چهار فنر با رفتار دو خطی در چهار گوشه عرشه، برای ارائه رفتار کلیدهای برشی قرار گرفته‌اند. نتایج تحلیل به‌صورت تاریخچه زمانی در ادامه آمده است.

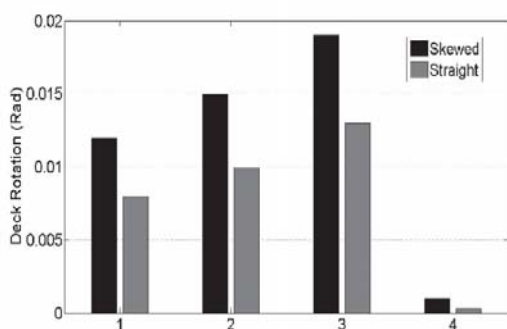
شکل (۹) به مقایسه میزان دوران عرشه پل مورب و پل مستقیم که با شرایط و خصوصیات سازه‌ای مشابه پل مورب مدل شده است، پرداخته است. مشاهده می‌شود که عرشه پل مستقیم به میزان قابل توجهی نسبت به عرشه پل مورب، دوران داشته است.

در شکل (۱۰) میزان دوران عرشه پل مورب در حالت حضور و عدم حضور کلید برشی مقایسه شده است. همان‌گونه که از شکل قابل برداشت است، کلید برشی می‌تواند دوران عرشه را تا حد ۳۰ درصد کاهش دهد.

معرفی شده در بخش سوم می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود در همه حالات، دوران عرشه در حالتی که عرشه پل مورب است، بیشتر از حالت عرشه مستقیم می‌باشد. لازم به ذکر است که در این شکل، در هیچ‌یک از مدل‌ها اثر کلید برشی لحاظ نشده است. حال برای در نظر گرفتن اثر حضور کلید برشی در دوران عرشه پل تحت اثر زلزله و انفجار، به مقایسه دوران عرشه در حالت حضور و عدم حضور کلید برشی می‌پردازیم.

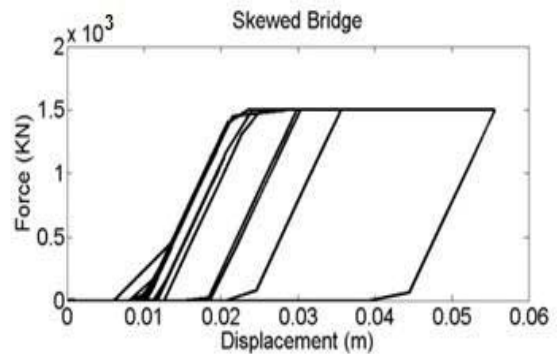
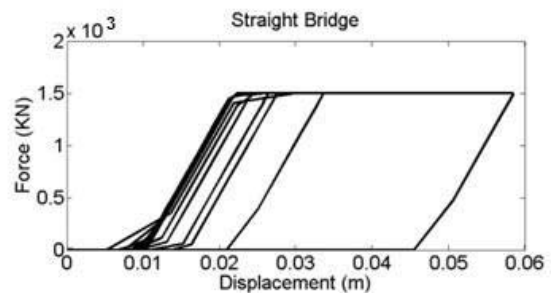


شکل ۱۲- دوران عرشه پل تحت اثر انفجار سناریوی اول



شکل ۱۳- مقایسه دوران عرشه پل مستقیم و مورب تحت انفجار و زمین‌لرزه

در شکل (۱۱)، رفتار هیسترسیس کلید برشی در پل مورب و مستقیم نشان داده شده است. همانگونه که از شکل قابل مشاهده است، تقاضای جابجایی کلید برشی در پل مستقیم بیشتر از پل مورب می‌باشد. دلیل این امر، راستای قرارگیری این المان‌ها در پل مورب می‌باشد. کلیدهای برشی در جهت عمود بر راستای طولی عرشه قرار دارند، که در پل مورب فقط مؤلفه جانبی جابجایی گوشه عرشه را محدود می‌کنند؛ اما در پل مستقیم، کل جابجایی جانبی گوشه‌های عرشه توسط کلیدهای برشی محدود می‌شود. به همین دلیل تقاضای جابجایی کلید برشی در پل مستقیم، همانگونه که از شکل (۱۱) قابل استنباط است، بیشتر از پل مورب است.



شکل ۱۱- رفتار هیسترسیس کلید برشی در پل مستقیم و مورب

در ادامه، جهت بررسی و مقایسه رفتار پل بزرگراهی مورب و مستقیم تحت اثر انفجار، با اعمال سناریوهای معرفی شده در بخش سوم، پاسخ سازه‌های مورد نظر را استخراج می‌نماییم. همانطور که مشاهده می‌گردد دوران عرشه تحت اثر انفجار با سناریوی اول در پل مورب حدود ۱/۵ برابر پل مستقیم است. برای مقایسه رفتار عرشه در تحت سناریوهای دیگر شکل (۱۲) آورده شده است.

در شکل (۱۳)، ستون‌های اول، دوم و سوم مربوط به سه سناریوی معرفی شده جهت بررسی انفجار، و ستون چهارم مربوط به زلزله

کلید برشی در پل مورب می‌تواند تا حدود ۳۰ درصد دوران عرشه را کاهش دهد، که به موجب آن، آسیب‌های وارده به پایه‌ها و ستون‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین، کلید برشی می‌تواند نقش اساسی در کاهش آسیب‌های وارده به پل مورب را در هنگام زمین لرزه ایفا کند. تقاضای جابجایی کلید برشی در پل مستقیم بیشتر از پل مورب است. البته این تفاوت قابل توجه نیست.

با اعمال سناریوهای مختلف انفجار به مدل‌ها مشاهده می‌شود که در این حالت نیز دوران عرشه در پل مورب بیشتر از پل مستقیم می‌باشد. همچنین حضور کلید برشی، تأثیر زیادی در کاهش دوران عرشه و در نتیجه، کاهش خسارات وارد به سازه پل در هر دو حالت پل مستقیم و مورب دارد.

با توجه به نتایج مشاهده‌شده، طراحی بهتر و بهینه‌تر کلیدهای برشی می‌تواند تا حد زیادی انرژی عرشه را مستهلک کرده و در کاهش آسیب‌های وارد به پل، مؤثر واقع شود.

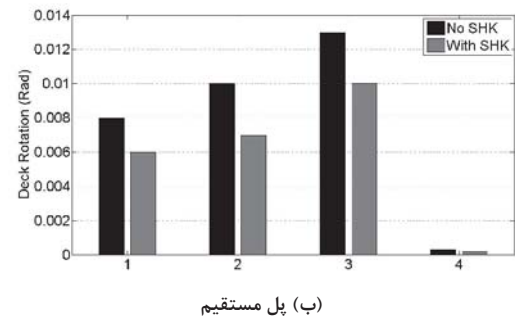
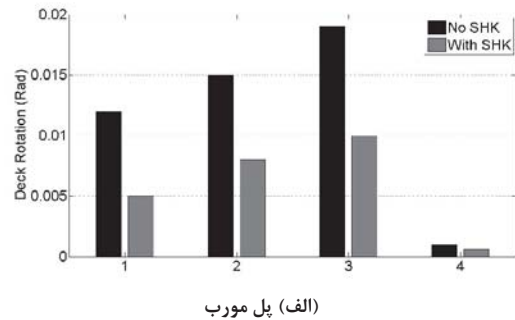
با توجه به اینکه در برخی از مطالعات، اثر کلید برشی در روند مدل‌سازی در نظر گرفته نمی‌شود، در این مطالعه مشاهده شد که این فرض فاصله زیادی بین پاسخ مدل‌ها و واقعیت ایجاد می‌نماید. بنابراین در نظر گرفتن کلیدهای برشی در روند مدل‌سازی، به‌ویژه در حالت پل با عرشه مورب، بسیار مهم و غیر قابل انکار می‌باشد.

از آنجایی که پل مورب در حین زمین‌لرزه و انفجار، دوران بیشتر و در نتیجه، تخریب بیشتری را تجربه می‌نماید، پیشنهاد می‌گردد، تا حد امکان از پل با عرشه مستقیم و همچنین به انضمام کلیدهای برشی با کارایی مناسب استفاده گردد، تا در زمان وقوع انفجار، آسیب کمتری به سازه وارد شده و سازه از بهره‌برداری خارج نگردد و آسیب‌های ثانویه وقوع انفجار که ناشی از خارج شدن پل‌ها از سرویس‌دهی است، به حداقل برسد.

در نظر گرفتن کلیدهای برشی در گام طراحی پل‌ها و همچنین ارائه روش‌های نوین جهت طراحی این المان‌ها به‌صورت اختصاصی موجب بهبود رفتار دینامیکی این سازه‌ها تحت اثر انفجار شده که از مهم‌ترین عوامل از منظر پدافند غیرعامل می‌باشد.

مراجع

۱. فروزنده، مجتبی؛ رهگذر، محمدعلی؛ پاپان‌نامه کارشناسی ارشد، بررسی عملکرد ابنیه حیاتی در صنعت نفت تحت اثر انفجار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، (۱۳۹۲).
۲. فروغی‌مقدم، سید محمدجواد؛ کلانتری، افشین؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تقاضای لرزه کلید برشی در پل‌های بزرگراهی مورب و پیشنهاد یک سازوکار جدید برای کنترل نحوه شکست آنها، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، (۱۳۹۰).



شکل ۱۴- مقایسه دوران عرشه در حالت حضور و عدم حضور کلید برشی

همانطور که در شکل (۱۴) مشاهده می‌گردد، حضور کلید برشی، تأثیر چشمگیری در کاهش دوران عرشه پل - خواه در حالت مستقیم و خواه در حالت مورب - دارد. از آنجایی که کلید برشی حرکت عرشه را در راستای جانبی محدود نموده و با رفتار غیرخطی که از خود نشان می‌دهد انرژی عرشه را مستهلک می‌نماید، در هنگام بارگذاری انفجار با جابجایی عرشه و حرکت به‌سوی کلید برشی، این المان به‌صورت فیوز رفتار نموده و با مستهلک نمودن انرژی عرشه، دوران آن را کاهش می‌دهد. کاهش دوران عرشه در واقع کاهش خسارات واردشده به آن بوده و عدم خروج سازه از سرویس‌دهی، از دیدگاه پدافند غیرعامل بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه عددی نشان می‌دهد که پل مورب در مقایسه با پل مستقیم دارای انعطاف‌پذیری بیشتری می‌باشد. مود اول پل مستقیم نیز به‌صورت دوران عرشه حول محور عمود بر صفحه مشاهده شد، که دلیل آن، عدم انطباق مرکز جرم و مرکز سختی پل می‌باشد. این عدم انطباق، به‌دلیل نامتقارن بودن پل مستقیم استفاده شده در این مطالعه است.

این مطالعه نشان می‌دهد که پل مورب دارای دوران بسیار بزرگتر از پل مستقیم می‌باشد، که رفتار این نوع از پل را در مقایسه با پل مستقیم متمایز می‌کند. دلیل این امر، مشخصات هندسی پل مورب است که در آن، توزیع نامتقارن سختی و جرم مشهود است.

3. Bozorgzadeh, A., Megally, S. H., Restrepo, J. I., and Ashford, S. A.; "Seismic response and capacity evaluation of exterior sacrificial shear keys in bridge abutment". Structural Systems Research Rep. SSRP-2004/14, Dept. of Structural Engineering, University of California, San Diego, La Jolla, California, (2004).
4. California Department of Transportation (CALTRANS); "Seismic design criteria Version 1.4". Sacramento, Calif, (2006), <http://www.dot.ca.gov>
5. McKenna, F., and Fenves, G.; "The OpenSEES command language manual. Version 1.2", Pacific Earthquake Engineering Center, Univ. of California, Berkeley, Calif. (2001), <http://opensees.berkeley.edu>
6. J.Y Meng ,and E.M. Lui.; "Refined Stick Model for Dynamic Analysis of Skew Highway bridges". Journal of Bridge Engineering, ASCE; 7(3): pp.1-11, (2002).
7. J.Y Meng , H Ghasemi, and E.M. Lui.; "Analytical and experimental study of skew bridge model". Elsevier Ltd., J. Engineering Structures, 26, pp.1127-1142, (2004).
8. Jennings P.C., Housner G.W., Hudson D.E., Trifunac M.D., Frazier G.A., Wood J.H., Scott R.F., Iwan W.D., Brady A.G.; "Engineering features of the San Fernando earthquake of February 9,1971". Report No. EERL 71-02, Pasadena, California, (1971).

The Study of Rotation of Concrete Highway Bridges with Shear Key with a Passive Defense Approach

S. M. J. Foroghi Moghadam¹

S. M. Ghazi MirSaeid²

Abstract

A large number of bridges have been affected and damaged in the recent earthquakes. Among them skewed Highway bridges with their principal mode commonly as rotation of deck with large displacement at deck corners, considerably stand out. Therefore, the effect of presence of shear keys will be much clearer in this type of bridges. Lateral displacement of corners as well as deck rotation and seismic demand of external shear keys in skewed bridge versus straight bridge are investigated in this study. Dynamic behavior of these structures subjected to blast, and presentation of new design methods are very important in passive defense. Then dynamic behavior of the bridge subjected to three blast scenarios is monitored.

To achieve this, a finite element model of an existing bridge structure with shear key, is developed in the structural analysis software Open System for Earthquakes Engineering Simulation (Open SEES). It is concluded that shear keys can dissipate energy of the deck and reduce deck rotation, in this type of bridges.

Key Words: *Concrete Highway Bridge, Passive Defense, Shear Key, Blast, Seismic Demand*

1- MS in Earthquake Engineering, International center for Seismology and Earthquake Engineering, Tehran (MJ.Moghadam66@gmail.com)
- Writer in Charge

2- Instructor and Academic member of Imam Hossein Comprehensive University