

بررسی عملکرد پل‌های بتنی بهسازی شده با میراگر اصطکاکی دورانی

مقاله علمی - پژوهشی

امین اسپرنیا، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پردیس، تهران، ایران

مهران غلامی*، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

حمید رحمانی سامانی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پردیس، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: M.gholami@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۵

صفحه ۸۶-۷۳

چکیده

وقوع اجتناب‌ناپذیر زلزله‌ها و تحمیل خسارت‌های فراوان جانی و مالی، به ویژه زلزله‌های ویرانگری که در سال‌های اخیر در نقاط مختلف دنیا اتفاق افتاده، تأکیدی بر لزوم یافتن راه‌حلی مناسب و مطمئن جهت مقاوم سازی سازه‌ها در برابر این پدیده طبیعی بوده است. استفاده از میراگرها به عنوان یکی از روش‌های کنترل غیر فعال سازه‌ها با توجه به رفتار مطمئن، مقاومت مطلوب و نگهداری کم هزینه مورد توجه بسیاری از مهندسين در سال‌های اخیر قرار گرفته است. علی‌رغم کاربرد نسبتاً وسیع در ساختمان‌ها استفاده از میراگر در پل‌ها هنوز متداول نشده است. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر استفاده از میراگر اصطکاکی دورانی به عنوان یک سیستم اتلاف انرژی در پل‌های بتنی به عنوان راهکاری مناسب برای بهسازی لرزه‌ای پل‌های موجود در برابر زلزله می‌باشد. در این مطالعه مدل‌سازی بر روی چهار نمونه پل، با ابعاد دهانه ۲۰ متری و ۳۰ متری و دارای سه دهانه و پنج دهانه در هر دو حالت بدون میراگر و با میراگر صورت پذیرفته است. سپس با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی میزان برش پایه و تغییر مکان حداکثر به عنوان پارامترهای اصلی که تاثیر بسزایی در خرابی پل‌ها دارند، محاسبه شده‌اند. بر اساس نتایج تغییرات نیروی برشی در پای ستون‌ها با افزایش طول دهانه از ۲۰ متر به ۳۰ متر حدود ۱۰ تا ۱۷ درصد کاهش می‌یابد. همچنین تغییر مکان عرشه پل با افزایش طول دهانه از ۲۰ متر به ۳۰ متر حدود ۸ تا ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. علاوه بر آن با افزایش تعداد دهانه‌ها از ۳ به ۵ دهانه، افزایش حداکثر ۱۱٪ در پارامترهای فوق ایجاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد لرزه‌ای پل، میراگر اصطکاکی دورانی، تحلیل تاریخچه زمانی

۱- مقدمه

می‌شود تمرکز تغییر شکل‌های غیرالاستیک و اتلاف انرژی در آنها صورت گرفته و در نهایت تقاضای اتلاف انرژی در اعضای اصلی سازه کاهش یابد. رویکرد عمومی در طراحی لرزه‌ای برای مقابله با نیروی جانبی بهره‌بردن از مجموع مقاومت و شکل‌پذیری تامین شده در سازه است. مهندسين سازه برای اکثر زلزله‌ها حساب ویژه‌ای بر روی شکل‌پذیری ذاتی سازه دارند تا بتوانند از شکست سازه جلوگیری کنند که البته مقداری از شکست (سازه‌ای، غیرسازه‌ای) اجتناب‌ناپذیر است. پل‌ها تحت زمین‌لرزه‌های قوی دستخوش تغییر شکل‌های بزرگ

پل‌ها سازه‌های بسیار مهمی در سیستم حمل‌ونقل زمینی هستند و عملکرد آنها در زمان وقوع زمین‌لرزه بسیار مهم و تاثیرگذار است. از تجربیات بدست آمده از زلزله‌های گذشته، چنین به نظر می‌رسد که بسیاری از پل‌هایی که براساس آئین‌نامه‌های قدیمی طراحی شده‌اند در برابر زلزله آسیب‌پذیر هستند. یکی از روش‌های متداول در بهسازی لرزه‌ای پل‌ها، استفاده از میراگرها می‌باشد. بکارگیری این ابزار افزایش‌دهنده میرایی بدلیل عدم حساسیت به حرارت، عوامل محیطی، رفتار مطمئن و مقاومت مطلوب مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از میراگرها باعث

(۲۰۱۷)، Mualla و Belev (۲۰۱۵ و ۲۰۱۷)، Oance و Gelmambet (۲۰۱۹) اشاره نمود. در ایران نیز اخیراً پژوهش‌هایی در این زمینه انجام شده است که می‌توان مطالعات خالقیان و تهرانی‌زاده (۱۳۸۶)، باقری و همکاران (۱۳۹۴)، عزتی و همکاران (۱۳۹۵)، بهشتی و متقی (۱۳۹۶)، سامانی و صحفی (۱۳۹۹) را برشمرد. همچنین مطالعاتی با همکاری شرکت دمپتیک به عنوان شرکت سازنده این میراگر صورت پذیرفت که از آن جمله تحقیقات Komachi و همکاران (۲۰۱۱) و Shirkhani و همکاران (۲۰۱۵) می‌باشد.

در این راستا گل‌افشانی و قلی‌زاده (۲۰۰۹) از دانشگاه صنعتی شریف کنترل ارتعاشات سکوها و دکل‌های دریایی را با استفاده از میراگرهای اصطکاکی دورانی مورد مطالعه قرار دادند. آنها عملکرد این میراگرها را در کاهش ارتعاشات تحریکی امواج به سکوها و دکل‌های دریایی بررسی کردند. همچنین برای ارزیابی پاسخ سازه‌های مجهز به میراگرهای اصطکاکی دورانی، روش تحلیل اتفاقی (تصادفی) را مورد استفاده قرار دادند و برای بررسی رفتار غیرخطی این میراگرها نیز از یک تکنیک خطی‌سازی اتفاقی (تصادفی) استفاده کردند.

واتقی و همکاران (۲۰۰۹) رفتار قاب مهاربندی خارج از مرکز که در محل‌های تلاقی کابل‌ها به میراگر اصطکاکی مجهز است را مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور و با توجه به اهمیت تعیین بار لغزشی میراگر اصطکاکی، آنها شاخص‌های عملکردی را بر مبنای تغییر مکان کف، نیروی برشی پایه و انرژی اتلافی قرار دادند. در مطالعه‌ای که توسط Jabraeil Padar (۲۰۱۶) انجام شد، عملکرد میراگر اصطکاکی دورانی برای کاهش تغییر مکان و تنش‌های ناشی از زلزله بر المان‌های پل بررسی شد. مدلسازی با استفاده از نرم افزار SAP 2000 بر روی یک پل چهار دهانه بتنی (طول هر دهانه ۱۰ متر) و به ارتفاع ۷ متر صورت پذیرفت و از تحلیل تاریخچه زمانی مربوط به زلزله‌های ال سترو و طبس استفاده گردید. نتایج نشان داد که ماکزیمم تغییر مکان برای زلزله‌های مذکور به ترتیب حدود ۲۷٪ و ۳۵٪ کاهش یافت. همچنین برش پایه به ترتیب ۲۵٪ و ۳۲٪ کاهش نشان داد.

همچنین Shrestha و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی استفاده از میراگر اصطکاکی دورانی برای کنترل تغییر مکان یک پل چند دهانه ساده تحت بار زلزله پرداختند. در این مطالعه تحلیل عددی برای آنالیز سازه بکار گرفته شد و نتایج حاکی از آن بود که میراگر تاثیر قابل توجهی در کنترل تغییر مکان پایه‌ها و

غیرخطی در مفصل پلاستیک پایه‌ها می‌شوند و این جابه‌جایی‌ها باعث خسارات سازه‌ای مانند برخورد عرشه پل به پایه‌های جناحین یا سقوط عرشه از روی تکیه‌گاه می‌شود. امروزه در راستای صنعتی‌سازی سازه‌ها و برای صرفه‌جویی اقتصادی و همچنین ایمنی کافی، به جای استفاده از روش‌های معمول طراحی، برای ساخت‌وساز جدید و یا مقاوم‌سازی انواع سازه‌ها در مقابل نیروهای جانبی از انواع سیستم‌های استهلاک انرژی استفاده می‌گردد، اما متأسفانه در ایران هنوز این سیستم‌ها جایگاه واقعی خود را پیدا نکرده‌اند. یکی از این نوع سیستم‌ها میراگر اصطکاکی دورانی می‌باشد که اخیراً مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است. این تحقیق در راستای توسعه استفاده از میراگر اصطکاکی دورانی برای بهبود عملکرد پل‌ها در برابر زلزله انجام شده است.

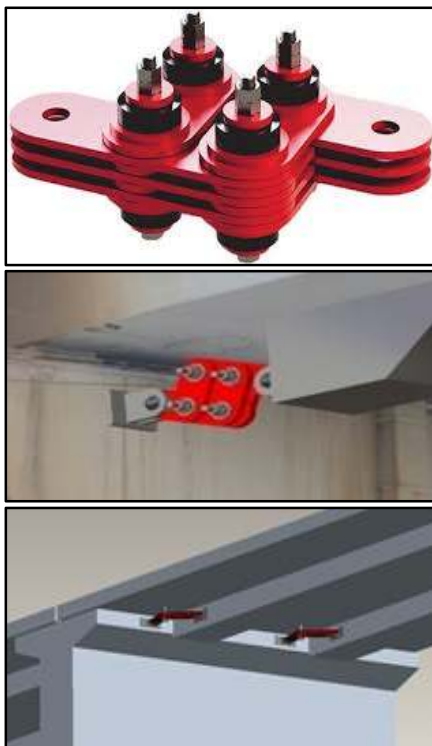
۲- پیشینه تحقیق

موضوع بکارگیری میراگر در سازه‌ها مدت زیادی است که در سراسر دنیا متداول شده است. این موضوع اولین بار توسط Pall و همکاران (۱۹۸۲) مطرح گردید. آنها تئوری طراحی لرزه‌ای سازه‌های قابی مجهز به میراگرهای اصطکاکی را مطرح نمودند و در ابتدا به فکر ابداع وسیله‌ای جهت مستهلک کردن انرژی ورودی لرزه‌ای به سازه از طریق اصطکاک افتادند.

در طراحی میراگرهای اصطکاکی جهت کنترل سازه‌ها در برابر زلزله، مهمترین فاکتور تعیین مقدار بار لغزشی میراگر می‌باشد. در این راستا Filiatrault و Cherry (۱۹۹۰) با مطالعه پارامتریک بر روی فرکانس طبیعی، مقدار فرکانس زلزله و بار لغزشی میراگر اصطکاکی، یک روش طراحی برای توزیع یکسان انرژی اتلافی بر روی همه میراگرهای اصطکاکی و به حداقل رساندن مجموع جابجایی‌های نرمال میراگر ارایه دادند. میراگر اصطکاکی دورانی ابتدا توسط Belev و Mualla (۲۰۰۲) معرفی شد. عملکرد این میراگر به منظور بهسازی ساختمان‌های موجود و ساخت ساختمان‌های جدید بر مبنای شکل‌پذیری می‌باشد. لذا اهمیت بررسی این میراگر در مناطق لرزه‌خیز حائز اهمیت است. تمام آزمایش‌هایی که روی این میراگر در دانشگاه‌های دانمارک و تایوان انجام شد بیانگر کارایی مناسب میراگر تحت رویداد لرزه‌ای بوده است.

پس از آن مطالعات متعددی در بررسی تاثیر این نوع میراگر در سازه‌ها توسط مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌های معتبر در دنیا صورت پذیرفته که می‌توان به مطالعه Wang و همکاران

می‌باشد که این امر باعث می‌شود در طول زمان آلودگی‌های موجود در شرایط کارگاهی بر روی سطوح لغزش قرار گرفته و در لحظه‌ی وقوع زمین‌لرزه عملکرد این میراگر را دچار اختلال نماید. نتایج آزمایش میراگرها به طور معمول، حتی در صورت انتخاب و آزمایش یک میراگر پس از سال‌ها، تحت شرایط ایده‌آل انجام می‌پذیرد که این امر باعث می‌شود نتایج آزمایشگاهی با آنچه در واقعیت با گذر زمان اتفاق می‌افتد متفاوت باشد. در میراگرهای اصطکاکی دورانی به علت مکانیزم دورانی و محفوظ ماندن سطح لغزش در طول زمان این نقیصه برطرف شده است. مطابق شکل میراگر اصطکاکی دورانی به دلیل عملکرد دورانی خود دارای صفحات لغزش محفوظ می‌باشند و این بدان معنی است که صفحات لغزش در قبل و در هنگام دوران و بعد از آن همواره یکسان و محفوظ هستند و این ناحیه در تمام حالت مابین دو صفحه لغزش قرار خواهد داشت، این در حالی است که در میراگرهای اصطکاکی همواره بخشی از ناحیه لغزش غیر محفوظ بوده و مابین صفحات لغزش قرار نمی‌گیرد. این ویژگی در میراگرهای اصطکاکی دورانی باعث می‌شود احتمال نفوذ گرد و خاک و مواد زائد به ناحیه لغزش از بین برود و عملکرد قابل اطمینان در طول عمر سازه قابل پیش‌بینی باشد.



شکل ۱. میراگر اصطکاکی دورانی و نحوه استفاده از آن در پل‌ها

نیروهای وارده به اعضا دارد. بکارگیری میراگر اصطکاکی برای بهسازی پلها توسط جعفرزاده (۱۳۹۵) بررسی شد. در این تحقیق حالات مختلف از پل‌ها با هندسه‌های مختلف و همچنین میراگرها با ظرفیت‌های متفاوت و زلزله‌ها با ویژگی‌های متغیر استفاده شد و دو آیتم تغییرمکان و برش پایه به عنوان مهمترین معیارهای مقایسه پاسخ‌های لرزه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

در مطالعه حاضر مدلسازی میراگر اصطکاکی دورانی در چهار نمونه پل با مشخصات هندسی متفاوت انجام شده و تاثیر این سیستم در کاهش پاسخ لرزه‌ای بررسی می‌شود. مدل سازی در نرم‌افزار ^۱CSI Bridge انجام و تحلیل تاریخچه زمانی بر روی نمونه‌های در نظر گرفته شده صورت پذیرفته است. سپس میزان برش پایه و جابه‌جایی‌های ماکزیمم به عنوان پارامترهای اصلی که تاثیر بسزایی در خرابی پل‌ها دارند، محاسبه و تاثیر بکارگیری میراگر مورد بررسی قرار گرفته است.

۳- میراگر اصطکاکی دورانی

نمایی از این نوع میراگر و نحوه بکارگیری آن در پلها در شکل (۱) مشاهده می‌شود. اجزای اصلی این میراگر صفحه مرکزی (عمودی)، دو صفحه عرضی (افقی) و دو لایه اصطکاکی است که در بین این صفحات قرار می‌گیرد و صفحه مرکزی به وسط تیر با یک مفصل متصل می‌شود. این اتصال مفصلی به منظور افزایش مقدار چرخش نسبی صفحات مرکزی و جانبی و به منظور افزایش شکل‌پذیری سازه و افزایش اتلاف انرژی می‌باشد. این میراگر بسیار ساده بوده و در انواع مختلف سیستم‌های مهاربندی قابل استفاده می‌باشد. زمانی که یک نیروی خارجی سازه قابی را تحریک می‌کند، شاکتیر شروع به تغییرمکان افقی ناشی از این نیرو می‌نماید. نیروی اصطکاکی بین سطوح اصطکاکی صفحات فولادی افزایش یافته و لایه اصطکاکی در مقابل حرکت از خود مقاومت نشان می‌دهد. این روند حرکتی با تغییر جهت ادامه خواهد داشت و انرژی را اتلاف می‌کند.

با توجه به تاثیرپذیری مستقیم نیروی اصطکاک از ضریب اصطکاک، برای داشتن رفتار مناسب میراگر لازم است سطح اصطکاک عاری از هر گونه مواد زائد باشد. از این رو ایجاد شرایط مطلوب برای اصطکاک بسیار پر اهمیت بوده و لازم است صفحات اصطکاک به صورت محصور بر روی هم قرار داشته باشند. صفحات لغزش در میراگرهای اصطکاکی به دلیل ماهیت عملکرد این نوع میراگرها در معرض شرایط محیطی

۴- روش انجام مطالعه و مدل‌سازی

در این پژوهش چهار مدل پل با طول و تعداد دهانه‌های متفاوت به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

- پل ۳ دهانه - هر دهانه ۲۰ متر (B1)
- پل ۵ دهانه - هر دهانه ۲۰ متر (B2)
- پل ۳ دهانه - هر دهانه ۳۰ متر (B3)
- پل ۵ دهانه - هر دهانه ۳۰ متر (B4)

پل‌های مذکور ابتدا مدل شده و سپس با روش تحلیل دینامیکی تاریخیچه زمانی تحلیل شده‌اند. مطابق راهنمای بهسازی لرزه‌ای پل‌ها (۱۳۹۰) در این روش باید حداقل سه مجموعه متمایز تاریخیچه زمانی شتاب برای ساختگاه پل به صورت همساز با ویژگی‌های لرزه‌خیزی، لرزه زمین‌ساختی و ژئوتکنیکی لرزه‌ای ساختگاه پل تهیه گردد. بنابراین حداقل سه تحلیل دینامیکی تاریخیچه زمانی باید برای مدل پل صورت گیرد. هر مجموعه تاریخیچه زمانی شتاب حرکت زمین باید مشتمل بر مؤلفه‌های مورد نظر حرکات انتقالی زمین باشد. پاسخ بیشینه هر کمیت تقاضای مورد نظر باید از مجموعه نتایج این سه تحلیل برای ارزیابی استفاده شود. در صورتی که تحلیل برای حداقل ۷ مجموعه تاریخیچه زمانی حرکت زمین صورت گیرد، استفاده از میانگین مقادیر پاسخ کمیت مورد نظر حاصل از ۷ تحلیل مذکور برای ارزیابی کمی به عنوان تقاضای کمیت مورد نظر مجاز می‌باشد. تحلیل‌های تاریخیچه زمانی خطی یا غیرخطی با استفاده از شتاب‌نگاشت انجام می‌پذیرند. بر اساس بند ۲-۵-۲ آیین نامه طراحی پل‌های راه و راه آهن در برابر زلزله (۱۳۸۷) شتاب‌نگاشت‌هایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا و در هنگام وقوع زلزله بوده و دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- شتاب‌نگاشت‌ها متعلق به زلزله‌هایی باشند که شرایط زلزله طرح را ارضا کنند و در آنها اثر بزرگا، فاصله از گسل و سازوکار چشمه لرزه‌زا در نظر گرفته شده باشند.

- ساختگاه شتاب‌نگاشت‌ها به‌لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی و لایه‌های خاک تا حد امکان با زمین محل ساختگاه مشابهت داشته باشند.

برای نیل به این منظور از پارامتر متوسط سرعت موج برشی در لایه‌های مختلف تا عمق ۳۰ متری از تراز پایه Vs استفاده شده تا سرعت موج برشی در محدود خاک مورد نظر

قرار گیرد. بدین ترتیب در انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها، با توجه به جدول ۲ آیین نامه مذکور و شرایط خاک پل مورد مطالعه (نوع II) مقدار سرعت موج برشی (Vs) حداقل ۳۷۵ متربرثانیه و حداکثر ۷۵۰ متربرثانیه انتخاب شده است. فرضیات دیگر در انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها به صورت ذیل صورت گرفته است:

- بزرگای زلزله بین ۵ تا ۸ ریشتر
- فاصله افقی تا گسل بین ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر
- فاصله متعامد تا گسل بین ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر
- مدت زمان حرکت شدید زلزله بین ۱۰ تا ۳۰ ثانیه

مدت زمان حرکت شدید در شتاب‌نگاشت‌ها باید زمانی حداقل برابر ۱۰ ثانیه و یا ۳ برابر زمان تناوب اصلی سازه مورد نظر، هر کدام که بیشتر است، باشد. در جدول (۱) مشخصات رکوردهای زلزله انتخاب شده مشاهده می‌گردد.

مشخصات هندسی

نمای جانبی نمونه‌ای از پل‌های مورد مطالعه در شکل (۲) مشاهده می‌شود. عرض کل عرشه برای پل‌ها با احتساب پیاده‌روها و یک مسیر عبور در هر یک از مسیرهای رفت و برگشت پل مطابق شکل (۳) جمعاً برابر با ۱۲/۱۰ متر می‌باشد. روکش سواره‌رو شامل ۱۰ سانتی‌متر آسفالت به همراه عایقکاری و روکش پیاده‌روها از بتنی مسلح در نظر گرفته شده است. هریک از پایه‌های پل (پایه‌های میانی) از نوع قابی شکل و متشکل از ۳ ستون و سرستون می‌باشد. خاکرزهای شیب راه‌های ابتدایی و انتهایی به صورت کوله باز احداث گردیده که با درز انبساط با بعد کافی از سازه پل مجزا گردیده است. سازه عرشه این پل شامل ۶ عدد شاتیر طولی از نوع بتنی پیش‌ساخته بصورت مرکب با دال بتنی درجای فوقانی کف عرشه می‌باشد. ارتفاع تیرها ۱۴۰ سانتی‌متر، عرض زیرین تیرها ۵۰ سانتی‌متر و بعد جان ۲۲ سانتی‌متر منظور شده است. سازه عرشه پل در امتداد طولی به صورت یکسره در نظر گرفته شده است. تیرهای پیش‌ساخته بتنی بر تکیه‌گاه‌های الاستومری بر سرستون پایه‌ها استقرار یافته‌اند. در امتداد عرضی حرکت انتقالی عرشه با تعبیه برشگیرهای عرضی بر سرستون‌ها و مابین تیرهای اصلی، مقید گردیده است. ستون‌ها از نوع بتنی مسلح و با اتصال یک پارچه به شالوده و سرستون طراحی شده‌اند. ستون‌ها دارای مقطع دایروی، به قطر ۱/۲۰ متر می‌باشند.

هر پایه، متشکل از سه ستون و تیر سرستون، تشکیل یک قاب در امتداد عرضی می‌دهد. ارتفاع میانگین ستون‌ها ۶ متر منظور شده‌اند. جزییات قاب عرضی پایه‌ها در شکل (۴) ارایه شده است. ضخامت دال بتنی عرشه از دال بتنی و برابر ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. مشخصات مصالح مصرفی نیز به طور خلاصه مطابق جدول (۲) می‌باشد.

سازه بر اساس روش رایلی تعریف شده است. بر طبق این روش ماتریس میرایی از روی ماتریس سختی و جرم سازه ساخته می‌شود. بطوریکه دو ضریب α و β تابعی از دوره تناوب سازه محاسبه می‌شوند و سپس ماتریس میرایی از حاصل جمع $\alpha K + \beta M$ بدست می‌آید. مقدار میرایی در هر دو مد برابر با ۵ درصد در نظر گرفته شده است. در جدول (۳) نحوه محاسبه ضرایب ماتریس جرم و سختی ارایه شده است. به عنوان نمونه نتایج تحلیل برای برش پایه ناشی از رکورد زلزله پارکفیلد برای پل B1 در حالت بدون میراگر و با میراگر مطابق شکل (۹) می‌باشد. در جدول (۴) نتایج نیروی برشی پای ستون‌ها در پل B1 در حالت بدون میراگر و با میراگر تحت هفت زلزله پارکفیلد، سن فرناندو، لایورمور، کالوگینا، بورا پیک، کالفت ولی، سرپل‌ذهاب آورده شده است. در این جدول ابتدا میزان درصد کاهش نیروی برشی در پای هر ستون و سپس میانگین درصد کاهش در هر پایه ارایه شده است.

به منظور نشان دادن میزان کاهش نیروی برشی پای ستون‌ها بعد از استفاده از میراگر به بررسی نتایج در شکل (۱۰) پرداخته شده است. در این شکل مقایسه درصد کاهش نیروی برشی پای ستون تحت اثر زلزله‌های انتخابی مشاهده می‌شود که می‌توان نتیجه گرفت، در زلزله‌های متفاوت این مقدار متغیر بوده و تاثیر میراگر به فرکانس ناشی از زلزله مرتبط است. در مجموع میانگین کاهش نیروی برشی برای زلزله‌های فوق حدود ۲۰٪ می‌باشد. از نمودار شکل (۱۰) و اطلاعات جدول (۴) می‌توان نتیجه گرفت که در پل‌های سه دهانه با افزایش طول دهانه از ۲۰ متر به ۳۰ متر میانگین درصد کاهش نیروی برشی در پای ستون‌ها حدود ۱۰ درصد افزایش یافته است. همچنین در پل‌های پنج دهانه با افزایش طول دهانه از ۲۰ متر به ۳۰ متر میانگین درصد کاهش نیروی برشی در پای ستون‌ها حدود ۱۷ درصد افزایش یافته است. در پل‌های ۲۰ متری با افزایش تعداد دهانه از ۳ دهانه به ۵ دهانه، میانگین درصد کاهش نیروی برشی در پای ستون‌ها حدود ۹ درصد افزایش یافته است. همچنین در پل‌های ۳۰ متری با افزایش تعداد دهانه از ۳ دهانه به ۵ دهانه، میانگین درصد کاهش نیروی برشی در پای ستون‌ها کمتر از یک درصد افزایش یافته است.

مدل‌سازی میراگر اصطکاکی دورانی

میراگر مورد استفاده در این پژوهش از نوع اصطکاکی دورانی می‌باشد. به منظور مدل‌سازی این نوع میراگر از مشخصات میراگر اصطکاکی دورانی شرکت دمپتک استفاده شده است. به منظور تعریف پارامترهای مورد استفاده در مدل‌سازی از نتایج آزمایشگاهی انجام شده توسط موآلا و همکاران بر روی میراگرهای اصطکاکی دورانی شرکت مذکور با ظرفیت ۱۵۰۰ کیلونیوتن استفاده شده است. شکل (۵) آماده‌سازی آزمایش این نوع میراگر را نشان می‌دهد. مطابق شکل‌های (۶) و (۷) نمودار هیستریزس میراگر اصطکاکی دورانی ۱۵۰۰ کیلونیوتن به نرم‌افزار معرفی می‌گردد. تعداد میراگرهای مورد استفاده و محل قرار گیری آنها برای پل‌های سه دهانه (B1, B3) ۲ عدد مطابق شکل (۸) و برای پل‌های ۵ دهانه (B2, B4) ۴ عدد می‌باشد. محل قرار گیری میراگرهای دورانی در پل‌های سه دهانه به این صورت می‌باشد که یک میراگر میان عرشه و ستون وسط از پایه اول و میراگر دیگر نیز به همان ترتیب میان عرشه و ستون وسط پایه دوم قرار گرفته است. برای پل‌های پنج دهانه نیز دو عدد میراگر بصورت قرینه یکدیگر و میان عرشه و ستون وسط از پایه اول و دو عدد میراگر به صورت قرینه یکدیگر میان عرشه و ستون وسط پایه چهارم استفاده شده است.

تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی و تفسیر نتایج

مطابق راهنمای نرم‌افزار CSi Bridge در سازه‌هایی که از عناصر غیرخطی به صورت موضعی (نظیر میراگر و جداساز) استفاده می‌شود، برای انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، بهتر است از روش مودال استفاده شود. همچنین ماتریس میرایی

برش پایه و تغییر مکان با استفاده از روش آنالیز تاریخیچه زمانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان دادند که میراگرهای اصطکاکی دورانی ابزارهایی مناسب برای کنترل رفتار دینامیکی پل‌ها می‌باشند. عملکرد این نوع میراگرها به عواملی از جمله جانمایی، فرکانس تنظیمی، تعداد میراگرها و درصد میرایی آنها بستگی دارد که برای داشتن عملکردی بهتر باید با روش‌های مختلف بهینه‌سازی شوند. همچنین عملکرد میراگرها بستگی زیادی به محتوای فرکانسی زمین‌لرزه وارده دارد و رفتار میراگرهای اصطکاکی دورانی تحت زلزله‌های مختلف یکسان نیست. با توجه به تحلیل انجام شده برای پاسخ‌های مختلف پل بطور خلاصه نتایج حاصل از این مطالعه عبارتند از:

- تغییرات نیروی برشی در پای ستون‌ها با افزایش طول دهانه از ۲۰ متر به ۳۰ متر منجر به کاهش این نیرو شده است که میزان آن در پل‌های سه دهانه حدود ۱۰ درصد و در پل‌های ۵ دهانه حدود ۱۷ درصد می‌باشد. در نتیجه با افزایش طول دهانه میزان اثرگذاری میراگر اصطکاکی دورانی افزایش یافته است.
- تغییرات نیروی برشی در پای ستون‌ها با افزایش تعداد دهانه از ۳ دهانه به ۵ دهانه منجر به افزایش این نیرو شده است که میزان آن در پل‌های با دهانه ۲۰ متری حدود ۹ درصد و در پل‌های با دهانه ۳۰ متری کمتر از یک درصد می‌باشد. در نتیجه با افزایش تعداد دهانه میزان اثرگذاری میراگر اصطکاکی دورانی افزایش یافته است.
- تغییرات تغییر مکان عرشه پل با افزایش طول دهانه از ۲۰ متر به ۳۰ متر کاهش یافته که میزان آن در پل‌های سه دهانه حدود ۱۵ درصد و در پل‌های ۵ دهانه حدود ۴ درصد بوده است. می‌توان نتیجه گرفت با افزایش طول دهانه میزان اثرگذاری میراگر اصطکاکی دورانی افزایش یافته است.
- تغییرات تغییر مکان عرشه پل با افزایش تعداد دهانه از ۳ دهانه به ۵ دهانه منجر به افزایش این مقدار شده است که میزان آن در پل‌های ۲۰ متری کمتر از یک درصد و در پل‌های ۳۰ متری حدود ۱۱ درصد بوده است. می‌توان نتیجه گرفت با افزایش تعداد دهانه میزان اثرگذاری میراگر اصطکاکی دورانی افزایش یافته است.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش طول دهانه میزان درصد کاهش برش پای ستون‌ها افزایش پیدا کرده است و با افزایش تعداد دهانه این مقدار کاهش داشته است.

در جدول (۵) نتایج تغییر مکان ستون‌ها برای هر پایه در پل B1 در حالت بدون میراگر و با میراگر تحت هفت زلزله پارکفیلد، سن فرناندو، لایورمور، کالوگینا، بوراه پیک، کالفنت ولی، سرپل‌ذهاب آورده شده است. در این جدول ابتدا میزان درصد کاهش تغییر مکان هر ستون و سپس میانگین درصد کاهش در هر پایه ارائه شده است.

به‌منظور نشان دادن میزان کاهش تغییر مکان ستون‌ها بعد از استفاده از میراگر به بررسی نتایج در شکل (۱۱) پرداخته شده است. این شکل درصد کاهش تغییر مکان ستون در پل ۲۰ متری تحت اثر زلزله‌های انتخابی را مقایسه نموده است که مشابه نیروی برشی پای ستون‌ها می‌توان نتیجه گرفت در زلزله‌های متفاوت این مقدار متغیر بوده و تاثیر میراگر به فرکانس ناشی از زلزله مرتبط است.

می‌توان نتیجه گرفت که در پل‌های سه دهانه با افزایش طول دهانه از ۲۰ متر به ۳۰ متر میانگین درصد کاهش تغییر مکان ستون‌ها حدود ۱۵ درصد افزایش یافته است. همچنین در پل‌های پنج دهانه با افزایش طول دهانه از ۲۰ متر به ۳۰ متر میانگین درصد کاهش تغییر مکان ستون‌ها حدود ۴ درصد افزایش یافته است. در پل‌های ۲۰ متری با افزایش تعداد دهانه از ۳ دهانه به ۵ دهانه درصد کاهش نیروی برشی در پای ستون‌ها کمتر از یک درصد افزایش یافته است. همچنین در پل‌های ۳۰ متری با افزایش تعداد دهانه از ۳ دهانه به ۵ دهانه میانگین درصد کاهش تغییر مکان ستون‌ها حدود ۱۱ درصد افزایش یافته است.

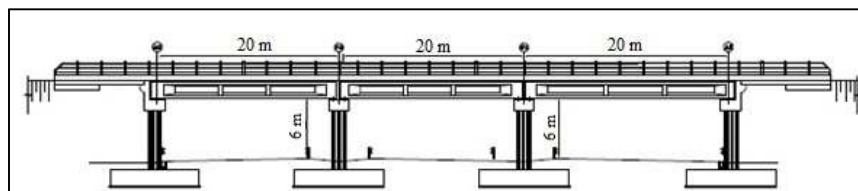
در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش طول دهانه میزان درصد کاهش تغییر مکان ستون‌ها افزایش پیدا کرده است و با افزایش تعداد دهانه این مقدار کاهش داشته است.

۸- نتایج

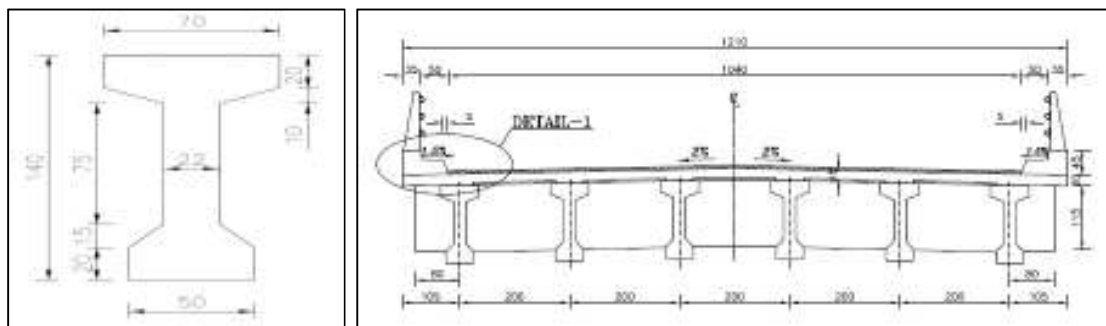
در این مطالعه عملکرد لرزه‌ای پل بتنی با بکار بردن میراگرهای اصطکاکی دورانی بررسی شد. چهار نمونه پل با تعداد و ابعاد دهانه‌های مختلف مدلسازی شده و دو پارامتر

جدول ۱. مشخصات رکوردهای انتخاب شده

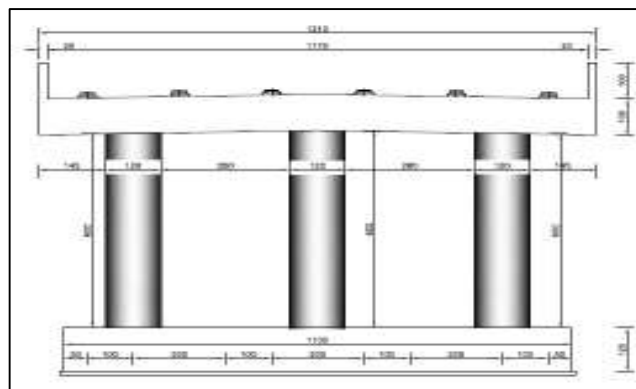
ردیف	نام زلزله	نام ایستگاه	نوع گسل	سال وقوع	بزرگا	فاصله افقی تا گسل	سرعت موج برشی	حداکثر شتاب زلزله (PGA)
۱	Parkfield	Cholame - Shandon Array #12	strike slip	۱۹۶۶	۶.۱۹	۱۷.۶۴	۴۰۸.۹۳	گرم ۰.۰۶۳
۲	San Fernando	Castaic - Old Ridge Route	Reverse	۱۹۷۱	۶.۶۱	۱۹.۳۳	۴۵۰.۲۸	گرم ۰.۳۲۰
۳	Livermore-01	Del Valle Dam (Toe)	strike slip	۱۹۸۰	۵.۸	۲۳.۹۲	۴۰۳.۳۷	گرم ۰.۲۵۶
۴	Coalinga-01	Parkfield - Fault Zone 11	Reverse	۱۹۸۳	۶.۳۶	۲۷.۱	۵۴۱.۷۳	گرم ۰.۰۸۷
۵	Borah Peak, ID-02	CEM	Normal	۱۹۸۳	۵.۱	۲۱.۰۳	۴۷۱.۵۳	گرم ۰.۰۲۵
۶	Chalfant Valley-01	Lake Crowley - Shehorn Res.	strike slip	۱۹۸۶	۵.۷۷	۲۴.۳۷	۴۵۶.۸۳	گرم ۰.۰۵۱
۷	Sarepolzahab	SPZ	strike slip	۲۰۱۸	۷.۳	۳۹	۶۱۹	گرم ۰.۰۶۹



شکل ۲. نمای جانبی پل ۳ دهانه ۲۰ متری



شکل ۳. عرض تابلیه



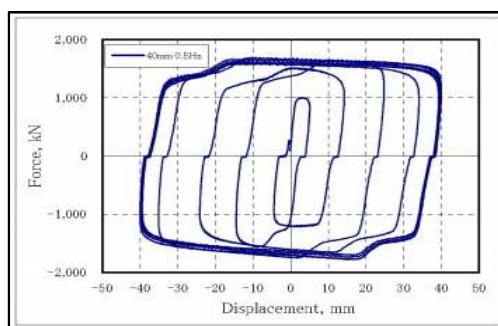
شکل ۴. جزئیات قاب عرضی پایه‌ها

جدول ۲. مشخصات مصالح مصرفی پل مورد مطالعه

مشخصات	مصالح مصرفی	ردیف
آرماتورها از نوع AIII با مقاومت جاری شدن ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع	فولاد	۱
رده مقاومتی C25	بتن	۲



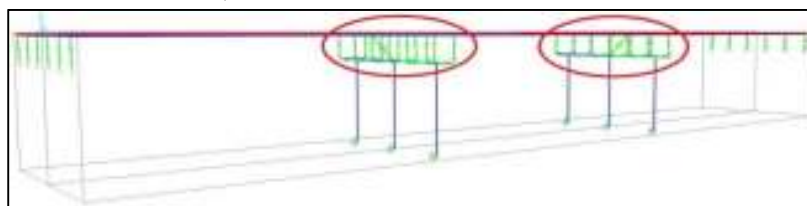
شکل ۵. آزمایش میراگر اصطکاکی دورانی ۱۵۰۰ کیلونیوتن شرکت دمپتک



شکل ۶. نمودار هیستریزس میراگر اصطکاکی دورانی ۱۵۰۰ کیلونیوتن



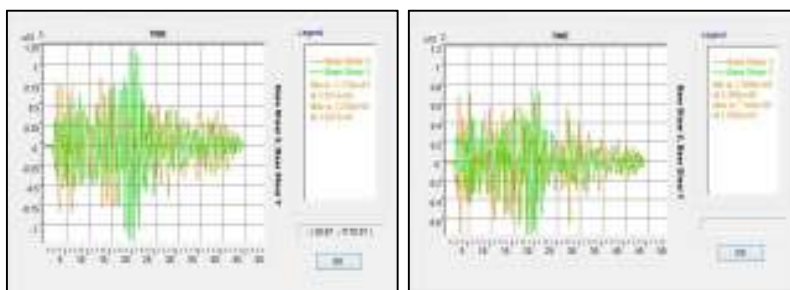
شکل ۷. تعریف مشخصات میراگر مورد استفاده در نرم افزار



شکل ۸. محل قرارگیری میراگرهای پل سه دهانه

جدول ۳. ضرایب ماتریس جرم، ماتریس سختی و ضریب ترک خوردگی مورد استفاده در تحلیل

ردیف	نوع پل	دوره تناوب مود اول (ثانیه)	دوره تناوب مود دوم (ثانیه)	ضریب ماتریس جرم	ضریب ماتریس سختی	ممان اینرسی مقطع	ممان اینرسی مقطع ترک خورده	ضریب ترک خوردگی
۱	B1 بدون میراگر	۰.۹۲۳	۰.۷۷	۰.۰۴۱۹۷۹۳	۰.۰۵۹۰۶۶۷۴۵	۰.۱۰۰۵	۰.۰۳۴	۰.۳۳۸
۲	B2 بدون میراگر	۱.۰۵	۰.۸۶۴	۰.۰۴۷۳۹۸۱	۰.۰۵۲۲۴۶۶۰۴	۰.۱۰۰۵	۰.۰۳۴	۰.۳۳۸
۳	B3 بدون میراگر	۱.۱۱۴	۰.۹۳۱	۰.۰۵۰۷۱۵۶	۰.۰۴۸۸۹۹۷۵۶	۰.۱۰۰۵	۰.۰۳۷	۰.۳۶۸
۴	B4 بدون میراگر	۱.۲۵۶	۱.۰۴۶	۰.۰۵۷۰۷۱۱	۰.۰۴۳۴۴۰۴۸۷	۰.۱۰۰۵	۰.۰۳۷	۰.۳۶۸
۵	B1 با میراگر	۰.۷۹	۰.۷۵	۰.۰۳۸۴۷۴	۰.۰۶۴۹۳۵۰۶۵	۰.۱۰۰۵	۰.۰۳۴	۰.۳۳۸
۶	B2 با میراگر	۰.۹۲	۰.۷۶۵	۰.۰۴۱۷۶۸۵	۰.۰۵۹۳۴۷۱۸۱	۰.۱۰۰۵	۰.۰۳۵	۰.۳۴۸
۷	B3 با میراگر	۰.۹۶۴	۰.۹۰۷	۰.۰۴۶۷۳۱۶	۰.۰۵۳۴۴۷۳۵۴	۰.۱۰۰۵	۰.۰۳۸	۰.۳۷۸
۸	B4 با میراگر	۱.۱۱	۰.۹۳۱	۰.۰۵۰۶۳۲۵	۰.۰۴۸۹۹۵۵۹	۰.۱۰۰۵	۰.۰۳۹	۰.۳۸۸



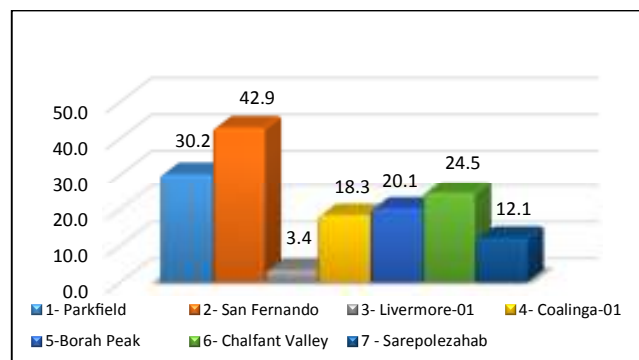
شکل ۹. برش پایه زلزله Parkfield الف) بامیراگر (ب) بدون میراگر

جدول ۴. برش پایه‌های پل B1 بدون میراگر و با میراگر

نام زلزله	شماره پایه	شماره ستون	نیروی برشی پایین ستون بدون میراگر (تن)	نیروی برشی پایین ستون با میراگر (تن)	درصد کاهش	میانگین درصد کاهش	میانگین درصد کاهش
Parkfield	پایه ۱	P1	۱۴۹.۵	۱۰۴.۵	۳۰.۲	۳۰.۷	۳۰.۷
		P2	۱۷۱.۴	۱۱۷.۶	۳۱.۴		
		P3	۱۴۹.۵	۱۰۴	۳۰.۴		
	پایه ۲	P1	۱۴۹.۵	۱۰۴.۱	۳۰.۴	۳۰.۶	
		P2	۱۷۱.۴	۱۱۷.۶	۳۱.۴		
		P3	۱۴۹.۵	۱۰۴.۵	۳۰.۱		
San Fernando	پایه ۱	P1	۱۵۸.۲	۹۰.۳	۴۲.۹	۴۳.۷	۴۳.۸
		P2	۱۸۱.۴	۹۹.۹	۴۴.۹		
		P3	۱۵۸.۲	۸۹.۷	۴۳.۳		
	پایه ۲	P1	۱۵۸.۲	۸۹.۸	۴۳.۳	۴۳.۸	
		P2	۱۸۱.۴	۱۰۰.۰	۴۴.۹		
		P3	۱۵۸.۲	۸۹.۹	۴۳.۲		
Livermore	پایه ۱	P1	۸۰.۵	۷۷.۸	۳.۴	۵.۴	۵.۳

نام زلزله	شماره پایه	شماره ستون	نیروی برشی پایین ستون	نیروی برشی پایین ستون	درصد کاهش	میانگین درصد کاهش	میانگین درصد کاهش
			بدون میراگر (تن)	با میراگر (تن)			
	پایه ۱	P2	۹۲.۴	۸۴.۸	۸.۲	۵.۳	
		P3	۸۰.۷	۷۷.۰	۴.۵		
		P1	۸۰.۷	۷۷.۰	۴.۵		
	پایه ۲	P2	۹۲.۴	۸۴.۸	۸.۲		
		P3	۸۰.۵	۷۷.۸	۳.۳		
		P1	۸۰.۷	۷۷.۰	۴.۵		
Coalinga	پایه ۱	P1	۱۲۶.۷	۱۰۳.۶	۱۸.۳	۱۹.۰	۱۹.۰
		P2	۱۴۵.۲	۱۱۵.۶	۲۰.۴		
		P3	۱۲۶.۶	۱۰۳.۲	۱۸.۵		
	پایه ۲	P1	۱۲۶.۶	۱۰۳.۲	۱۸.۵		
		P2	۱۴۵.۲	۱۱۵.۶	۲۰.۴		
		P3	۱۲۶.۷	۱۰۳.۶	۱۸.۳		
Borah Peak, ID	پایه ۱	P1	۱۱۹.۰	۹۵.۰	۲۰.۱	۲۱.۶	۲۱.۶
		P2	۱۳۶.۳	۱۰۳.۹	۲۳.۸		
		P3	۱۱۸.۹	۹۴.۱	۲۰.۸		
	پایه ۲	P1	۱۱۸.۹	۹۴.۲	۲۰.۸		
		P2	۱۳۶.۳	۱۰۳.۹	۲۳.۸		
		P3	۱۱۹.۰	۹۵.۱	۲۰.۱		
Chalfant Valley	پایه ۱	P1	۱۴۶.۴	۱۱۰.۵	۲۴.۵	۲۶.۳	۲۶.۳
		P2	۱۶۷.۹	۱۱۹.۲	۲۹.۰		
		P3	۱۴۶.۵	۱۰۹.۴	۲۵.۳		
	پایه ۲	P1	۱۴۶.۵	۱۰۹.۵	۲۵.۳		
		P2	۱۶۷.۹	۱۱۹.۲	۲۹.۰		
		P3	۱۴۶.۴	۱۱۰.۵	۲۴.۵		
Sarepoleshab	پایه ۱	P1	۲۴۱.۱	۲۱۱.۹	۱۲.۱	۱۲.۵	۱۲.۵
		P2	۲۷۶.۵	۲۴۰.۴	۱۳.۱		
		P3	۲۴۱.۲	۲۱۱.۲	۱۲.۴		
	پایه ۲	P1	۲۴۱.۲	۲۱۱.۲	۱۲.۴		
		P2	۲۷۶.۵	۲۴۰.۳	۱۳.۱		
		P3	۲۴۱.۱	۲۱۲.۰	۱۲.۱		
Average	پایه ۱	P1	۱۴۵.۹	۱۱۳.۳	۲۲.۳	۲۳.۳	۲۳.۳
		P2	۱۶۷.۳	۱۲۵.۹	۲۴.۷		
		P3	۱۴۵.۹	۱۱۲.۷	۲۲.۸		
	پایه ۲	P1	۱۴۵.۹	۱۱۲.۷	۲۲.۸		
		P2	۱۶۷.۳	۱۲۵.۹	۲۴.۷		
		P3	۱۴۵.۹	۱۱۳.۳	۲۲.۳		

شکل ۱۰. درصد کاهش نیروی برشی پای ستون اول در پل B1 بر اساس هر زلزله



جدول ۵. تغییر مکان پایه‌های پل B1 بدون میراگر و با میراگر

نام زلزله	شماره پایه	شماره ستون	تغییر مکان بدون میراگر (سانتیمتر)	تغییر مکان با میراگر (سانتیمتر)	درصد کاهش	میانگین درصد کاهش
Parkfield	پایه ۱	P1	۸,۶	۴,۷	۴۵,۰	۴۷,۴
		P2	۸,۶	۴,۵	۴۷,۴	
		P3	۸,۵	۴,۳	۴۹,۹	
	پایه ۲	P1	۸,۵	۴,۳	۴۹,۹	۴۷,۴
		P2	۸,۶	۴,۵	۴۷,۴	
		P3	۸,۶	۴,۷	۴۵,۱	
San Fernando	پایه ۱	P1	۵,۱	۲,۵	۵۱,۸	۴۵,۴
		P2	۵,۱	۲,۷	۴۷,۲	
		P3	۵,۲	۳,۳	۳۷,۳	
	پایه ۲	P1	۵,۲	۳,۳	۳۷,۳	۴۵,۴
		P2	۵,۱	۲,۷	۴۷,۱	
		P3	۵,۱	۲,۵	۵۱,۹	
Livermore	پایه ۱	P1	۱۲	۶,۲	۴۸,۴	۵۰,۰
		P2	۱۲	۶,۰	۴۹,۶	
		P3	۱۲,۱	۵,۸	۵۲,۰	
	پایه ۲	P1	۱۲,۱	۵,۸	۵۲,۰	۵۰,۰
		P2	۱۲	۶,۰	۴۹,۶	
		P3	۱۲	۶,۲	۴۸,۴	
Coalinga	پایه ۱	P1	۸,۵	۶,۷	۲۱,۴	۱۵,۲
		P2	۸,۷	۷,۳	۱۶,۳	
		P3	۸,۸	۸,۱	۷,۷	
	پایه ۲	P1	۸,۸	۸,۱	۷,۷	۱۵,۲
		P2	۸,۷	۷,۳	۱۶,۳	
		P3	۸,۵	۶,۷	۲۱,۵	

نام زلزله	شماره پایه	شماره ستون	تغییر مکان بدون میراگر (سانتیمتر)	تغییر مکان با میراگر (سانتیمتر)	درصد کاهش	میانگین درصد کاهش
Borah Peak, ID	پایه ۱	P1	۹,۵	۵,۲	۴۵,۰	۴۲,۶
		P2	۹,۶	۵,۳	۴۴,۴	
		P3	۹,۶	۵,۹	۳۸,۳	
	پایه ۲	P1	۹,۶	۵,۹	۳۸,۳	۴۲,۶
		P2	۹,۶	۵,۳	۴۴,۴	
		P3	۹,۵	۵,۲	۴۵,۱	
Chalfant Valley	پایه ۱	P1	۵,۵	۴,۴	۲۰,۳	۱۴,۵
		P2	۵,۵	۴,۸	۱۳,۴	
		P3	۵,۶	۵,۰	۹,۸	
	پایه ۲	P1	۵,۶	۵,۰	۹,۸	۱۴,۵
		P2	۵,۵	۴,۸	۱۳,۴	
		P3	۵,۵	۴,۴	۲۰,۳	
Sarepolezahab	پایه ۱	P1	۲۰,۲	۱۰,۱	۵۰,۲	۴۶,۰
		P2	۲۰,۲	۱۱,۰	۴۵,۸	
		P3	۲۰,۳	۱۱,۸	۴۲,۰	
	پایه ۲	P1	۲۰,۳	۱۱,۸	۴۲,۰	۴۶,۰
		P2	۲۰,۲	۱۱,۰	۴۵,۸	
		P3	۲۰,۲	۱۰,۱	۵۰,۲	
Average	پایه ۱	P1	۹,۹	۵,۷	۴۰,۳	۷۴,۶
		P2	۱۰,۰	۵,۹	۳۷,۷	
		P3	۱۰,۰	۶,۳	۳۳,۹	
	پایه ۲	P1	۱۰,۰	۶,۳	۳۳,۹	۷۸,۵
		P2	۱۰,۰	۵,۹	۳۷,۷	
		P3	۹,۹	۵,۷	۴۰,۴	

۷- پی نوشتها

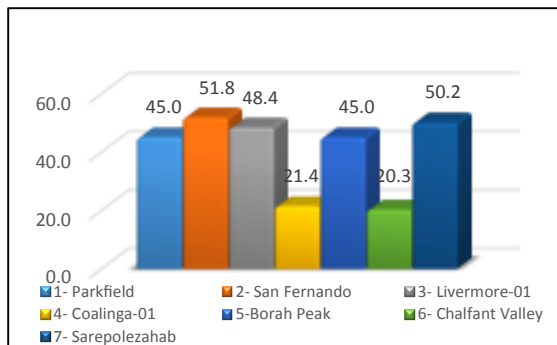
1. Csi Bridge V20.02

۸- مراجع

خالقیان، ف.، تهرانی‌زاده، م.، (۱۳۸۶)، "طراحی یک نوع میراگر اصطکاکی جدید همراه با لنت ترمز"، مجله علمی پژوهشی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (JSEE)، دوره ۹، شماره ۴.

باقری، س.، حدیدی، ع. و بسطامی، ن.، (۱۳۹۴)، "تعیین مشخصه بار لغزش میراگرهای اصطکاکی در طبقات مختلف قاب‌های ساختمانی بر اساس شکل پذیری هدف"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۵، شماره ۲، تابستان.

عزتی، ر. سعید منیر، ح. و قدرتی امیری، غ.ر.، (۱۳۹۵)، "بررسی آزمایشگاهی عملکرد میراگر جدید هیبرید اینرسی دورانی اصطکاکی و



شکل ۱۱. درصد کاهش تغییر مکان پایه ستون اول در پل B1

بر اساس هر زلزله

- A. Shirkhani, I. Mualla, N. Shabakhty, S. R. Mousavi, (2015), "Behavior of Steel Frames with Rotational Friction Dampers by Endurance Time Method", Journal of Construction Steel Research, Vol. 107, pp. 211-222.
- B. Shrestha, H. Hao, Z. H. Ibrahim, K. Bi, (2016), "On the Effectiveness of Rotational Friction hinge Damper to Control Responses of Multi-Span Simply Supported Bridge to Non-Uniform Ground Motions", Advances in Structural Engineering, Vol. 19, Issue. 10.
- G. Wang, Y. Y. Wang, J. Yuan, Y. Yang, D. Wang, (2017), "Arc-Surfaced Frictional Damper for Vibration Control in Container Crane", Hindawi Shock and Vibration.
- <http://www.damptech.com>
- I. Mualla, B. Belev, (2002), "Performance of steel frames with a new friction damper device under earthquake excitation" Journal of Engineering Structures, Vol. 24, pp. 365-371.
- I. Mualla, B. Belev, (2017), "Overview of Recent Projects Implementing Rotational Friction Dampers", 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile.
- I. S. Oance, S. Gelmambet, (2019), "Effect of Number and Position of Rotational Friction Dampers on Seismic Response of Steel Frame", Sciendo, Ovidius University Annals Series: Civil Engineering, Year 21.
- I. Mualla, B. Belev, (2015), "Analysis, Design and Applications of Rotational Friction Dampers for Seismic Protection", Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, Vol. 62, pp. 335-346.
- Jabraeil Padar, (2016), "Seismic monitoring bridge decks with rotational friction dampers" Specialty Journal of Architecture and Construction, Vol. 2 (3), pp. 78-91.
- J. Vaseghi, S. Navaei, B. Navayinia, F. Roshantabari (2009), "A Parametric Assessment of Friction Damper in Eccentric Braced Frame" Journal of Engineering and Technology; Vol. 58, pp. 208-212.
- Y. Komachi, M. R. Tabeshpour, A. A. Golareshani, I. Mualla, (2011), "Retrofit of Resaalat Jacket Platform (Persian Golf) using Friction Damper Device", Journal of Zhejiang University- Science A (Applied physics & Engineering), Vol. 12(9), pp. 680-691.
- مقایسه با میراگر اینرسی دورانی ویسکوز"، مجله سازه و فولاد، دوره ۱۲، شماره ۲۰، پاییز و زمستان، ص. ۲۳-۳۰.
- بهشتی اول، س. ب. و متقی، ل.، (۱۳۹۶)، "اثر خطر زلزله منطقه بر انتخاب روش بهسازی یک قاب بتن آرمه معیوب"، مجله مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۴۹، شماره ۳.
- قلی زاده، س. و مروج نکو، م.، (۱۳۹۶)، "عملکرد لرزه‌ای پیکربندی جدیدی از میراگر اصطکاکی دورانی در مهاربندهای ضربدری"، مجله مهندسی عمران و محیط زیست امیرکبیر، سال چهل و نهم، شماره زمستان ۴، ص. ۶۶۴-۶۵۳.
- قلعه نوی، م.، کریمی پور، ا. آزاددرمیان، ج.، (۱۳۹۸)، "بررسی مقایسه‌ای تاثیر میراگرهای اصطکاکی دورانی، ویسکوالاستیک، TADAS، بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها"، مجله مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۷، شماره ۵۹ زمستان، ص. ۸۷-۱۰۷.
- ذبیحی سامانی، م. و صفی، م.، (۱۳۹۹)، "ارزیابی تاثیر نسل‌های مختلف توابع تحریک زمان‌دوام در ساختمان‌های فولادی مجهز به میراگرهای جدید اصطکاکی دورانی"، مجله مهندسی سازه و ساخت - نشریه انجمن مهندسی سازه ایران.
- فرزاد جعفرزاده، ف.، (۱۳۹۵)، "بهسازی لرزه‌ای پل‌های بزرگراهی بر اساس استهلاک انرژی به کمک میراگر اصطکاکی"، پایان‌نامه ارشد رشته عمران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- نشریه شماره ۵۱۱ سازمان برنامه و بودجه، (۱۳۹۰)، "راهنمای بهسازی لرزه‌ای پل‌ها"، معاونت نظارت راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی.
- نشریه شماره ۴۶۳ سازمان برنامه و بودجه، "آیین نامه طراحی پل‌های راه و راه‌آهن در برابر زلزله"، (۱۳۸۷)، معاونت نظارت راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی.
- A. Filiatrault, S. Cherry, (1990), "Seismic design spectra for friction-damped structures" Journal of Structural Engineering; Vol. 116. pp. 334-55.
- A. Golareshani, A. Gholizad, (2009), "Friction damper for vibration control in offshore steel jacket platforms" Journal of Constructional Steel Research Vol. 65, pp. 180-187.
- A. Pall, C. Marsh, (1982), "Response of friction damped braced frames", Journal of Structural Engineering; Vol. 108, pp. 1313-23.

Investigation on the Performance of Improved Concrete Bridges with Rotary Friction Dampers

*Amin Esparnia, M.Sc., Grad., Civil Engineering Dept., Islamic Azad University,
Pardis Branch, Tehran, Iran.*

*Mehran Gholami, Assistant Professor, Housing & Urban Development Research Center,
Tehran, Iran.*

*Hamid Rahmani Samani, Assistant Professor, Civil Engineering Dept., Islamic Azad
University, Pardis Branch, Tehran, Iran.*

E-mail: M.gholami@bhrc.ac.ir

Received: July 2022- Accepted: November 2022

ABSTRACT

The inevitable occurrence of earthquakes and the infliction of great human and financial losses, especially devastating earthquakes that have occurred in recent years in different parts of the world, has emphasized the need to find a suitable and reliable solution to strengthen structures against this natural phenomenon. The use of dampers as one of the methods of passive control of structures due to reliable behavior, optimal strength and low maintenance has been considered by many engineers in recent years. Despite its relatively widespread use in buildings, the use of dampers in bridges is not common yet. The purpose of this study is to investigate the effect of using rotary friction dampers as an energy dissipation system in concrete bridges as a suitable solution to improve the seismicity of existing bridges against earthquakes. In this study, modeling has been performed on four bridge samples, with span dimensions of 20 meters and 30 meters and with three and five spans. Using time history analysis, the amount of base shear and maximum displacement has been calculated as the main parameters that have a significant impact on the failure of the stairs. According to the results, the shear force changes decrease by about 10 to 17% with increasing the span length from 20 m to 30 m. Moreover, the displacement of the bridge deck decreases about 4 to 15% by increasing the span length from 20 meters to 30 meters. In addition, by increasing the number of bridge spans from 3 to 5, a maximum increase of 11% is created in the above parameters.

Keywords: Bridge Seismic Performance, Rotational Friction Damper, Time History Analysis