

بررسی تاثیر انواع سیستم‌های کنترل سازه‌ای بر کاهش پاسخ پل‌ها

حسین نادرپور*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

پویان فخاریان، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

سلمان نوغانی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد الکترونیک، تهران، ایران

ابراهیم نورمحمدی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: amrahimi@znu.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۲/۱۰ - پذیرش: ۹۷/۰۶/۰۵

صفحه ۲۲۷-۲۳۸

چکیده

پل‌ها جزء اساسی‌ترین سازه‌هایی هستند که باید پس از وقوع زلزله دارای قابلیت استفاده باشند. بر اثر زلزله نیروی عظیمی بر عرشه‌ی پل‌ها وارد خواهد شد که در صورت عدم استهلاک مناسب آن، منجر به وارد آمدن خسارت به سازه پل‌ها می‌شود. همچنین ایجاد آسیب در سازه پل‌ها سبب مسدود شدن راه‌های دسترسی و ایجاد اختلال در عملیات امداد رسانی شده که در نتیجه افزایش تلفات جانی را به دنبال خواهد داشت. یکی از راه‌حل‌های اصلی و کارا برای کاهش میزان ارتعاشات قائم در پل‌ها، استفاده از سیستم‌های کنترل است. سیستم‌های کنترل می‌توانند با کاهش ارتعاشات قائم در پل، عمر بهره‌وری، ایمنی و قابلیت استفاده از پل را افزایش دهند. تاکنون روش‌های مختلفی برای کاهش ارتعاش بررسی شده است که رایج‌ترین آن‌ها شامل کنترل فعال، کنترل غیرفعال، کنترل نیمه فعال و سیستم‌های کنترل ارتعاش ترکیبی است. در این پژوهش به بررسی میراگرهای ویسکو الاستیک، اصطکاکی، جرمی تنظیم شونده، فلزی و جداسازهای الاستومری و لغزشی در پل‌ها پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: میراگر، ارتعاش پل، کنترل سازه، جداساز لرزه‌ای.

۱- مقدمه

روش‌هایی برای افزایش پیروی طبیعی سازه مانند دستگاه‌های جداساز لرزه‌ای و روش‌های جهت افزایش میرایی مانند میراگرهای جاری شونده ابداع شد. با این روش علاوه بر جلوگیری از آسیب قابل توجه اعضای اصلی سازه و امکان حفظ خدمت‌رسانی آن در شرایط بحرانی، صرفه‌جویی قابل توجه در هزینه و زمان مقاوم‌سازی سازه می‌شود [۱]. سیستم‌های کنترل غیرفعال از حدود چهل سال پیش مورد توجه قرار گرفته است و شامل تکیه‌گاه‌های جداساز الاستومری، میراگر اصطکاکی، میراگر فلزی، میراگر سیال

در سال‌های گذشته مهندسی سعی داشتند با افزایش مقاومت، سازه را در مقابل زلزله ایمن کنند و سعی بر این بود که سازه در ناحیه ارتجاعی نگه داشته شود. ولی این افزایش مقاومت با افزایش سختی همراه بود که باعث کاهش زمان تناوب و افزایش نیروی زلزله شده و افزایش هزینه‌های ساخت را به دنبال دارد. رویکرد مهندسی زلزله در سال‌های اخیر بهینه کردن خواص دینامیکی سازه در جهت کاهش نیروی وارد به سازه و هدایت تغییر شکل‌های غیرارتجاعی به محل‌های از پیش تعیین شده می‌باشد. به همین جهت

جرم میراگر متوازن و مایع میراگر متوازن، از جمله روش‌های کنترل غیرفعال محسوب می‌شوند.

۲-۲- سیستم فعال

در این گونه روش‌ها، پاسخ سازه توسط اعمال نیروهایی در نقاط مختلف آن به صورت همزمان و با توجه به شرایط لحظه‌ای سازه کنترل می‌شود. این سیستم‌ها همواره آماده برای شروع فعالیت و کنترل ارتعاشات می‌باشد که اصطلاحاً فعال نامیده می‌شوند. در این گونه سیستم‌ها ضمن تعیین پاسخ سازه که می‌تواند شامل شتاب، سرعت و یا تغییر مکان باشد در هر لحظه و با استفاده از یک الگوریتم مشخص، نیروی کنترل مورد نیاز تعیین می‌گردد، سپس با استفاده از یک منبع انرژی خارجی نسبت به اعمال نیروهای محاسبه شده کنترلی بر سازه اقدام شده و این کار تا زمان کاهش پاسخ سازه به حد مورد نظر ادامه می‌یابد. از مشکلات عمده این گونه سیستم‌ها هزینه زیاد اولیه مورد نیاز آنها از یک سو و نیز عملیات تعمیر و نگهداری سنگین آنها برای ایجاد امکان استفاده در هر لحظه می‌باشد. نقص دیگر این سیستم‌ها آن است که به دلیل آنکه به سازه انرژی تزریق می‌نمایند، پتانسیل ناپایدار کردن سیستم را دارا می‌باشند. مشخصاً در این نوع سیستم‌ها، چون پاسخ دائماً در حال اندازه گیری و پایش است، کارایی بیشتری نسبت به سیستم‌های غیرفعال خواهند داشت. این روش در چند سال اخیر در ژاپن و آمریکا در بسیاری از سازه‌ها به خصوص سازه‌های بلند و سازه‌هایی که بر روی زمین‌های با خاک نرم بنا شده‌اند و امکان استفاده از تکنیکی مثل جداسازی پایه در آن وجود ندارد و همچنین برای کنترل ارتعاش سازه‌ها در برابر باد استفاده شده است که عملکرد مطلوبی از خود نشان داده است و بهینه‌سازی این روش‌ها همچنان ادامه دارد. نمونه این گونه سیستم‌ها میراگرهای جرمی فعالی AMD می‌باشد.

۲-۳- سیستم نیمه فعال^۱

محدودیت‌های موجود در سیستم‌های کنترل غیر فعال و فعال، سبب پیدایش سیستم‌های دیگری به نام سیستم‌های

لزوج، تکیه‌گاه‌های جداساز لاستیکی- سربی، تکیه‌گاه‌های جداساز پاندولی اصطکاکی، میراگرهای ویسکوالاستیک، میراگرهای جرمی تنظیم شده و میراگر مایع تنظیم شده می‌باشد [۲]. در سال ۱۳۹۵ پورزینلی و همکاران به بررسی کاهش ارتعاش قائم پل‌های معلق با استفاده از میراگرهای نیمه فعال مگنتورئولوژیک و منطق فازی پرداخت. برای این منظور، از یک میراگر مگنتورئولوژیک بزرگ مقیاس ۲۲۰۰ کیلو نیوتنی استفاده و پل معلق وینسنت توماس در آمریکا را به عنوان مثال عددی انتخاب کرد و دو مدل بهینه از نظر تعداد و موقعیت میراگر ارائه داد [۳]. در سال ۱۳۹۳ منیر و حقیقی خواه با انجام طراحی و تحلیل دینامیکی غیرخطی پل یکبار با میراگر غیرفعال xadas و بدون حضور میراگر با استفاده از نرم افزار Sap2000 انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از میراگرهای xadas در سازه باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای پل‌ها می‌شود [۴]. در ادامه انواع سیستم‌های اتلاف انرژی بررسی شده و رفتار و عملکرد سیستم‌های کنترل غیر فعال در مقاوم سازی لرزه‌ای پل‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- انواع سیستم‌های اتلاف انرژی

۲-۱- سیستم غیر فعال

سیستم‌هایی هستند که نیاز به منبع انرژی خارجی ندارند. این ابزار از نیروهایی که در پاسخ به حرکت سازه در داخل آنها ایجاد می‌شود بهره می‌گیرند. در این گونه روش‌ها، عامل کنترل‌کننده ارتعاش در محل مناسبی از سازه قرار می‌گیرد و عملاً تا قبل از تحریک سازه، به صورت غیرفعال است. با شروع تحریک (مثلاً زلزله)، سیستم کنترلی به کار افتاده و عملکرد کنترلی خود (اعم از تغییر سختی، پرپود، میرایی یا جرم) را در حین تحریک انجام می‌دهد و پس از خاتمه تحریک مجدداً به حالت غیرفعال باز می‌گردد که به دلیل جذب بخشی از انرژی ورودی به سازه، احتمالاً شاهد خرابی جزئی یا کلی در آن خواهیم بود. تکنیک‌های زیادی از جمله تکنیک معروف و مرسوم جداسازی پایه، میراگرهای اصطکاکی، میراگرهای ویسکوالاستیک، میراگرهای فلزی،

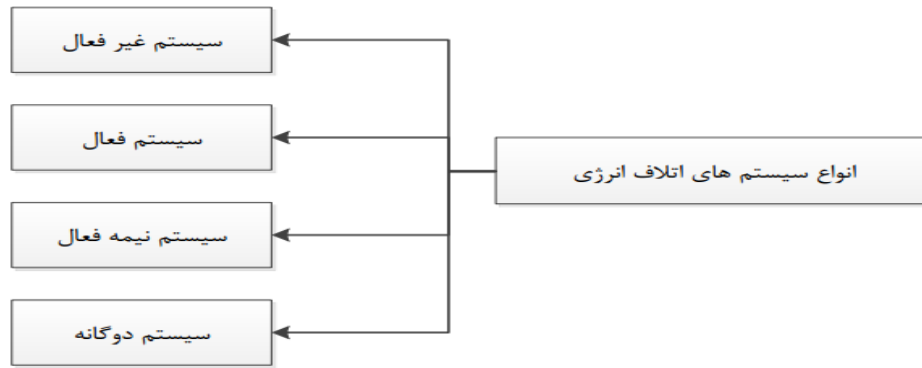
^۱Semi-active Energy Dissipation

کنترل نیمه فعال شده است. در سیستم‌های کنترل نیمه فعال، با صرف انرژی بسیار کم، ضریب میرایی و یا سختی وسیله کنترلی متناسب با نیروی وارده به سازه در هر لحظه تغییر می‌کند و موجب کاهش هر چه بیشتر ارتعاشات سازه می‌شود. سازگاری با شرایط مختلف بارگذاری و مصرف انرژی پایین از مزیت‌های عمده این سیستم‌ها می‌باشد. این‌ها دستگاه‌ها قابل کنترلی هستند که نسبت به سیستم‌های کنترل فعال نیازمند انرژی به مراتب کمتری هستند. در این سیستم‌ها انرژی به داخل سیستم تزریق نمی‌شود و بنابراین پایداری در تمام مراحل باقی خواهد ماند. سیستم‌های نیمه فعال از دستگاه‌های غیرفعال موثرتر هستند، هرچند که هزینه‌های اضافی برای شیرهای قابل کنترل، سیستم کنترل کامپیوتری، سنسورها و نگهداری را می‌طلبند. در عین حال اگرچه تاثیر آن‌ها از سیستم‌های فعال کمتر است، ولی هزینه بسیار پایین اجرا و نگهداری، تعبیه این سیستم‌ها را بسیار قابل توجه ساخته است.

۴-۲- سیستم دوگانه^۲

این روش شامل دو سیستم کنترل فعال و غیرفعال به صورت توأم می‌باشد که در ابتدای تحریک، کاهش ارتعاشات توسط سیستم غیرفعال صورت گرفته و پس از اتلاف تأخیر زمانی، سیستم فعال نیز وارد عمل می‌شود و در اینجا سیستم غیرفعال ممکن است به فعالیت ادامه داده و یا در صورت عدم نیاز به آن، از دور خارج شود. این سیستم‌ها با جذب و استهلاک درصد بالایی از انرژی ورودی به سازه، شرایط ایمن و پایداری را نسبت به ساختمان‌های مشابه فراهم می‌کنند، و بجای افزایش شکل‌پذیری عناصر سازه‌ای، تکیه بر مستهلک نمودن انرژی لرزه ای دارند [۵].

^۲Hybrid system



شکل (۱) دسته بندی انواع سیستم های انرژی

۳- انواع میراگرها

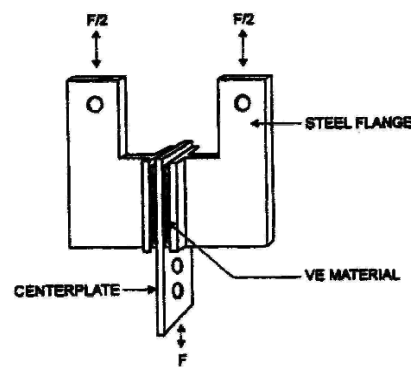
۳-۱- میراگرهای ویسکوالاستیک

این میراگر متشکل از مواد ویسکوالاستیک قرار گرفته در بین صفحات فلزی می باشد. مواد ویسکوالاستیک موادی هستند که رفتار آنها تحت تغییر شکل ها به صورت ترکیبی از رفتار جامد الاستیک و مایع ویسکوز می باشد. هنگامی که صفحه میانی حرکت می کند لایه های مواد ویسکوالاستیک تحت تغییر شکل برشی قرار می گیرند [۶].

تحت یک بارگذاری سینوسی تنش در ماده ویسکوالاستیک به صورت زیر بیان می شود:

$$\sigma = \gamma_0 (G'' \sin \omega t + G' \cos \omega t) \quad (1)$$

در رابطه فوق γ_0 بیانگر حداکثر کرنش، G' مدول ذخیره برشی و G'' مدول از دست رفتگی می باشد. این پارامترها بیان کننده قابلیت مواد ویسکوالاستیک در استهلاک انرژی می باشند.



شکل (۲) ساختار میراگر ویسکوالاستیک

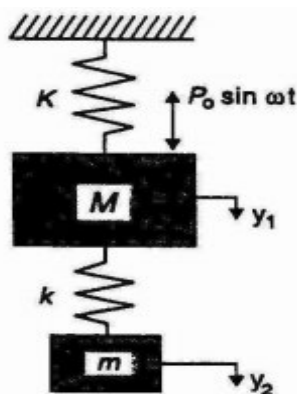
۲-۳- میراگر اصطکاکی

در این میراگرها از مکانیسم اصطکاک موجود بین سطوح لغزشی به منظور استهلاک انرژی استفاده می‌شود. اتصالات پیچی شیاردار، میراگر پال و میراگر سومیتومو از جمله میراگرهای اصطکاکی می‌باشند که در طی سال‌ها تکامل یافته و در برخی پروژه‌ها به منظور مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۷].

۳-۳- میراگر جرمی تنظیم شونده

هدف از به‌کارگیری این سیستم‌ها همانند میراگرهایی که تاکنون بررسی شد کاهش انرژی وارده به اجزای سازه می‌باشد. اصول پایه این سیستم، بر اساسی جاذب‌های ارتعاش دینامیکی کلاسیک می‌باشد. مفهوم جدید میراگرهای جرم تنظیم شونده در کاربردهای سازه‌ای را می‌توان با استفاده از ضربه‌گیرهای ارتعاش دینامیکی بیان نمود.

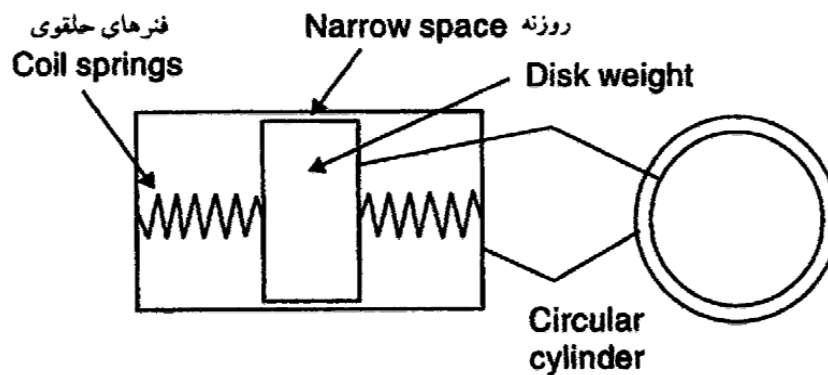
ضربه‌گیر شامل یک جرم کوچک m با سختی فنر k می‌باشد که به جرم اصلی M با سختی فنر K متصل شده است. تحت یک بارگذاری هارمونیک ساده در صورتی که فرکانس طبیعی ضربه‌گیر با فرکانس تحریک برابر شود جرم اصلی M کاملاً پایدار می‌ماند [۸]. بیشتر پیشرفت‌های اخیر در میراگرهای جرمی تنظیم شونده محدود به کاربرد جذب‌کننده‌های دینامیکی سیستم‌های مکانیکی می‌شود که در آن فرکانس کار سیستم مکانیکی در وضعیت تشدید با فرکانس طبیعی سیستم است، ولیکن در چندین پروژه ساختمانی از جمله Center point در سیدنی استرالیا، مرکز Citicrop نیویورک و برج John Hancock در بوستون بکار رفته است.



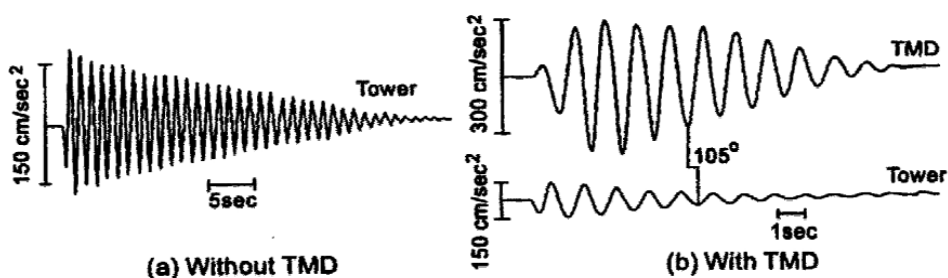
شکل (۳) ضربه‌گیر نامیرا و جرم اصلی تحت تحریک هارمونیک

۱-۳-۳- کاربرد میراگر جرمی تنظیم شونده در مقاوم سازی لرزه ای برج پل Funad

پس از آنکه برج پل عابر پیاده Funade تحت آزمایش تونل باد قرار گرفت مشاهده شد که سرعت باد معادل ۱۰ متر بر ثانیه سبب ایجاد پدیده تشدید در این پل می‌شود. وزن معادل سیستم SDOF برج برابر ۸/۸۹ تن و فرکانس پایه آن برابر ۰/۸۳۵ هرتز می‌باشد. به منظور مقابله با این پدیده از سیستم کنترل غیر فعالی TMD استفاده شده است. سیستم TMD بکار رفته در این پل از یک سیلندر دایره‌ای، یک وزنه دیسکی به وزن ۹۷/۴ کیلوگرم با ضریب اصطکاک $\mu=0.12\%$ و فنرهای لوله‌ای تشکیل شده است. میرایی TMD از عبور هوا از میان فضای باریک بین وزنه دیسکی و سیلندر نتیجه می‌شود. تنظیم دقیق ضرایب میرایی با ایجاد تغییر در تعداد سوراخ‌های دیسک حاصل می‌شود [۹].



شکل (۴) سیستم کنترل غیر فعال قرار گرفته بر روی پل Funade



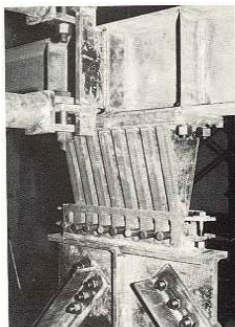
شکل (۵) ارتعاش آزاد میرا با و بدون TMD

۳-۴ - مقاوم سازی لرزه ای پل ها با استفاده از میراگرهای فلزی

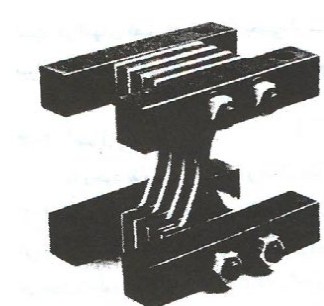
یکی از روش های استهلاک انرژی استفاده از تغییر شکل های غیر الاستیک فلزات می باشد. میراگرهای فلزی وسایلی هستند که تحت بارگذاری های تناوبی از خود رفتار هیستریک نشان می دهند و سبب استهلاک انرژی به سبب تغییر شکل های غیر الاستیک می شوند.

(Skinner et al (1975), Kelly et al (1972) اولین کسانی بودند که به بررسی های آزمایشگاهی به منظور کاربرد میراگرهای فلزی در سازه ها پرداختند.

طی سال های بعد پیشرفت های قابل ملاحظه ای در ساخت و کاربرد میراگرهای فلزی روی داد و نمونه های جدید میراگرهای فلزی شامل میراگرهای ورق مثلثی و X شکل ساخته شدند. این میراگرها از صفحات فلزی تشکیل می شوند که با قرار گرفتن المان های صلب در دو انتهای صفحات تغییر شکل های پلاستیک در این صفحات روی می دهد. این میراگرها در انتهای بادبند (k معکوس) قرار می گیرند و سبب افزایش سختی و میرایی سیستم به طور همزمان می شوند به همین دلیل این میراگرها ADAS نامیده می شوند که مخفف Added Damping And Stiffness می باشد [۱۰].

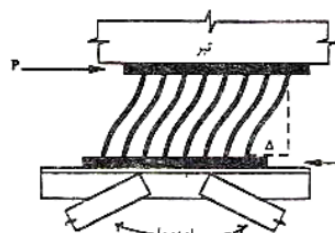
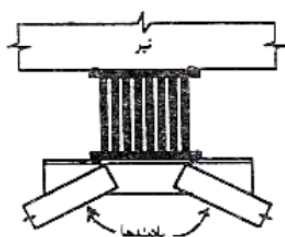


ب) میراگر ورق مثلثی



الف) میراگر X شکل

شکل (۶) میراگرهای ADAS



شکل (۷) نحوه عملکرد المان ADAS در هنگام بارگذاری جانبی

۵-۳- مقاوم‌سازی لرزه‌ای پل‌ها با استفاده از روش کنترل غیر فعال جداسازی لرزه‌ای

یکی از سیستم‌های کنترل غیرفعال جداسازهای لرزه‌ای می‌باشند. با کاربرد این سیستم‌ها زمان تناوب سازه افزایش یافته و در نتیجه شتاب پاسخ بازه نسبت به ارتعاش ناشی از زمین‌لرزه کاهش می‌یابد. همچنین با کاربرد این وسایل میرایی سازه نیز افزایش می‌یابد، در اثر عواملی فوق خسارات ناشی از زلزله بر سازه به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد.

۱-۵-۳- جداسازهای الاستومری

ساده‌ترین شکل جداسازهای الاستومری، تکیه‌گاه‌های الاستومری هستند که اغلب به شکل استوانه‌ای و یا مکعبی می‌باشند که از لاستیک ساخته می‌شوند. هنگامی که این جداسازها در کوله‌ها و یا پایه‌ها مورد استفاده قرار گیرند علاوه بر ایجاد تکیه‌گاه برای بارهای قائم به عنوان سیستم جداساز لرزه‌ای در برابر بارهای جانبی وارد به سازه عمل می‌کنند. تکیه‌گاه‌های جداساز لرزه‌ای به منظور تأمین انعطاف‌پذیری بیشتر دارای ضخامت بیشتری نسبت به تکیه‌گاه‌های الاستومری مورد استفاده در پل‌ها که به منظور امکان ایجاد حرکات ناشی از تنش‌های حرارتی بکار می‌روند می‌باشند. به کار بردن صفحات فلزی در میان لایه‌های لاستیک سبب افزایش ظرفیت باربری قائم و بهبود پایداری تکیه‌گاه تحت بارهای افقی می‌شود. ضخامت کلی لایه لاستیکی در میزان تغییر مکان جانبی حداکثر و زمان تناوب ارتعاش مؤثر می‌باشد [۱۱ و ۱۲].

برای تکیه‌گاه لاستیکی با سطح مقطع A ، مدول برشی G ، ارتفاع h ، تنش برشی مجاز ν ، ضریب شکل S و مدول حجمی k سختی افقی و زمان تناوب ارتعاش یا استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند [۱۳]:

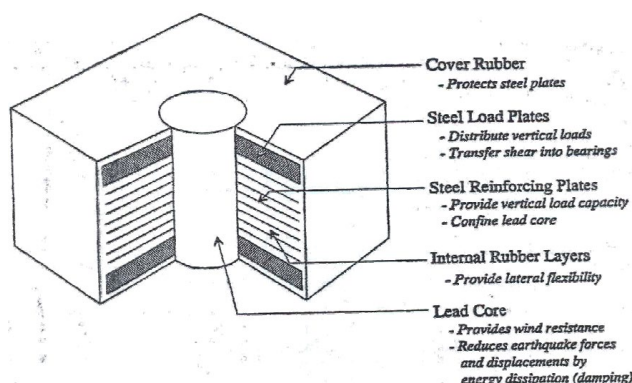
$$k = \frac{GA}{h} \quad (۲)$$

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{sh\gamma A'}{Ag}} \quad (۳)$$

در روابط فوق A' مقدار همپوشانی سطوح فوقانی و تحتانی تکیه‌گاه‌ها در تغییر مکان حداکثر می‌باشد.

مشکل استفاده از تکیه‌گاه‌های پلاستیکی خالصی ایجاد تغییر شکل‌های زیاد در طی زلزله و در نتیجه به مخاطره افتادن پایداری سازه می‌باشد. راه‌حل مقابله با این مشکل به کار بردن وسایلی و یا مکانیزم‌های اتلاف انرژی به همراه تکیه‌گاه‌های جداساز لرزه‌ای می‌باشد. یکی از کارآمدترین روش‌های اتلاف انرژی در تکیه‌گاه‌های جداساز لرزه‌ای قرار دادن یک هسته سربی در مرکز تکیه‌گاه الاستومری می‌باشد. علت اصلی استفاده از سرب، تسلیم‌شدگی سرب در اثر تنش‌های برشی نسبتاً کم (در حدود ۱۰ MPa) می‌باشد که سبب می‌شود سرب به‌صورت یک جامد الاستیک-پلاستیک رفتار کند [۱۴].

یکی دیگر از خواص سرب آن است که در دمای معمولی تغییر شکل‌های پلاستیک همانند نورد گرم عمل نموده و خصوصیات مکانیکی سرب به‌طور پیوسته توسط فرآیندهای توأم بازیافت، دوباره کریستالی شدن و رشد دانه‌ها به حالت اولیه برمی‌گردد که این عامل سبب می‌شود که سرب مقاومت خوبی در برابر خستگی از خود نشان دهد. از این رو استفاده از هسته سربی علاوه بر افزایش ظرفیت باربری قائم تکیه‌گاه سیب استهلاک انرژی چشمگیری در برابر بارهای شدید لرزه‌ای می‌شود.

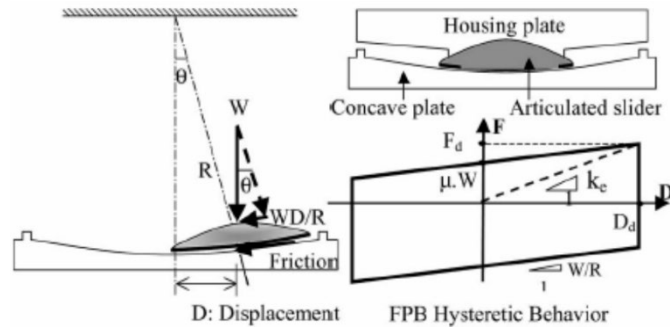


شکل (۸) ساختار تکیه‌گاه الاستومری

۲-۵-۳- جداسازهای لغزشی

تکیه‌گاه‌های جداساز لغزشی به واسطه ایجاد امکان حرکت روسازه بر روی یک سطح کم اصطکاک که اغلب از جنس فولاد ضدزنگ -PTIFE می‌باشد سیب استهلاک انرژی و کاهش نیروهای انتقالی از روسازه به زیر سازه پل می‌شوند. میزان حداکثر اصطکاک بین سطوح لغزشی سیب ایجاد محدودیت در مقدار نیروی حداکثر انتقالی از طریق تکیه‌گاه‌ها می‌شود. وجود این سطوح اصطکاک سیب استهلاک انرژی می‌شود. مسئله‌ای که در تکیه‌گاه‌های لغزشی ساده باید مورد توجه قرار گیرد عدم وجود نیرویی است که سبب بازگرداندن تکیه‌گاه به وضعیت اولیه قبل از تغییر مکان شود. این نیرو با به کار بردن فنر به همراه تکیه‌گاه لغزشی و یا ساخت سطح لغزش بصورت منحنی می‌تواند ایجاد شود [۱۵].

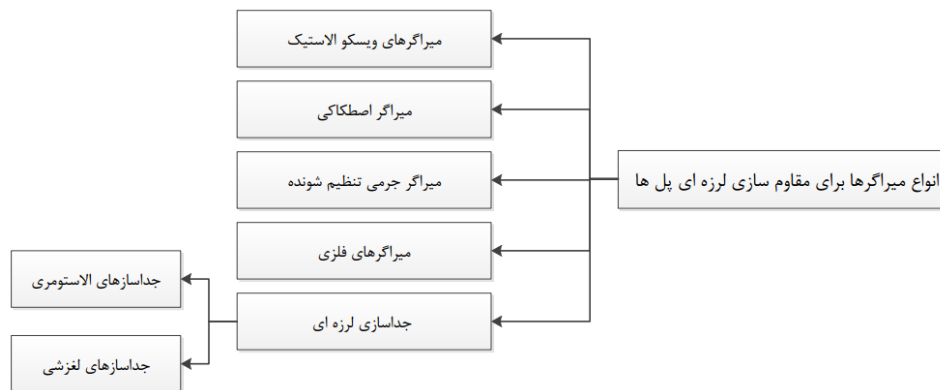
تکیه‌گاه‌های با سطح لغزش منحنی تکیه‌گاه‌های پاندول اصطکاکی (FPB) نامیده می‌شوند. این تکیه‌گاه‌ها با به کار گرفتن ویژگی‌های یک پاندولی ساده سبب افزایش زمان تناوب سازه می‌شوند.



شکل (۹) ساختار تکیه‌گاه پاندول لغزشی

این تکیه‌گاه‌ها شامل یک سطح کروی مقعر می‌باشند که قسمت فوقانی تکیه‌گاه بر روی آن قرار می‌گیرد. در سطوح تماس دو قسمت تکیه‌گاه یکی از سطوح به وسیله مواد PTFE (پلی تترافلور اتیلن) پوشیده می‌شود. سطح مقعر و سطح قطعه فوقانی به منظور هم‌پوشانی و لغزشی بهتر، دارای شعاع انحنا یکسان می‌باشد. ابعاد تکیه‌گاه‌ها با توجه به تغییر مکان حداکثر مورد انتظار در طراحی تعیین می‌شوند [۱۶].

اولین سازه پلی که به وسیله تکیه‌گاه‌های FPB جداسازی لرزه‌ای شد. پل رودخانه American در Folsom کالیفرنیا می‌باشد.



شکل (۱۰) دسته بندی انواع میراگرها

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ذکر شده نتیجه می‌شود که شیوه‌های کنترل غیر فعال به نحو مؤثری سبب بهبود رفتار لرزه‌ای پل‌ها و در نتیجه کاهش چشمگیر خسارات حاصل از زلزله می‌شوند. یکی از مزایای مقاوم سازی پل‌ها با استفاده از شیوه‌های کنترل غیر فعال کاهش در هزینه‌ها و مدت زمان عملیات اجرایی مقاوم سازی نسبت به شیوه‌های رایج مقاوم سازی (همانند استفاده از ژاکت بتنی یا فولادی و یا تقویت مقاطع موجود) می‌باشد. کاهش در مدت زمان عملیات اجرایی سبب کاهش در هزینه‌های جانبی ناشی از انحراف مسیرهای عبوری از پل و ایجاد اختلال کمتر در ترافیک عبوری می‌باشد. از دیگر مزایای استفاده از شیوه‌های کنترل غیرفعال عدم ایجاد تغییرات چشمگیر در معماری پل‌ها می‌باشد.

در بررسی‌های انجام شده مشاهده شد که سیستم‌های کنترل غیر فعال جداساز لرزه‌ای و میراگرهای ویسکوز در مقاوم سازی و ساخت بسیاری از پل‌ها در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند درحالی‌که برخی سیستم‌های کنترل غیرفعال از جمله میراگر اصطکاکی در مقاوم سازی پل‌ها استفاده نشده است.

۵- مراجع

- [۱] ا. بیات و ف. دانشجو، "بررسی عملکرد میراگر جرمی تنظیم شونده غیرفعال در کاهش ارتعاشات عرشه ی پل هاتحت عبور بار ترافیکی،" *مجله علمی پژوهشی عمران مدرس*، ۱۳۹۵.
- [2] M. C. Constantinou, T. T. Soong, and G. F. Dargush, *Passive Energy Dissipation System for Structural Desing and Retrofit*. 1998.
- [۳] س. پورزینلی، آ. بهار، و س. پورزینلی، "کنترل نیمه فعال ارتعاش قائم پل های معلق در برابر زلزله با استفاده از میراگرهای مگنتورئولوژیک و منطق فازی،" *مهندسی عمران شریف*، ۱۳۹۵.
- [۴] ح. سعید منیر و ر. حقیقی خواه، "کاربرد میراگر غیرفعال xadas در بهبود لرزه ای پل،" *اولین کنفرانس ملی علوم مهندسی، ایده های نو*، ۱۳۹۳.
- [۵] م. صافی و م. آل بهبهانی، "میراگرهای نوین و کاربردهای آن (پیزوسرامیک ها)،" *کنفرانس بین المللی عمران معماری و توسعه پایدار شهری*، ۲۰۱۵.
- [6] J.-S. Hwang and Y.-S. Tseng, "Design formulations for supplemental viscous dampers to highway bridges," *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 34, no. 13, pp. 1627–1642, Nov. 2005.
- [7] S. R. Hoseini Vaez, H. Naderpour, and P. Fakharian, "Influence of Period Elongation on Dynamic Response of Base-Isolated Buildings having FPS Isolators," in *Proceeding of the Second National Conference on Disaster Management, June, 2012*, pp. 19–20.
- [۸] ا. بطهایی، م. رضانی، و س. ا. ک. قربانی تنها، "کنترل ارتعاشات پل کالج در برابر زلزله با استفاده از الگوریتم ژنتیک و میراگرهای جرمی تنظیم شونده چندگانه،" *مجله علمی پژوهشی عمران مدرس*، ۱۳۹۴.
- [9] C. Seim, "The seismic retrofit of the golden gate bridge," in *Proceedings of the First PRC-US Workshop on Seismic Analysis and Design of Special Bridges. Technical Report MCEER*, 2003, pp. 3–4.
- [10] S. Maleki, "Seismic energy dissipation with shear connectors for bridges," *Eng. Struct.*, vol. 28, no. 1, pp. 134–142, Jan. 2006.
- [11] S. R. Hoseini Vaez, H. Naderpour, S. M. Kalantari, and P. Fakharian, "Proposing the Optimized Combination of Different Isolation Bearings Subjected to Near-Fault Ground Motions," in *15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), September, 2012*, pp. 24–28.
- [12] N. Makris and J. Zhang, "Seismic Response Analysis of a Highway Overcrossing Equipped with Elastomeric Bearings and Fluid Dampers," *J. Struct. Eng.*, vol. 130, no. 6, pp. 830–845, Jun. 2004.
- [13] A. Kasalanati and M. C. Constantinou, "Experimental Study of Bridge Elastomeric and Other Isolation and Energy Dissipation Systems with Emphasis on Uplift Prevention and High Velocity

Near-Source Seismic Excitation,” 1999.

- [14] M. Dicleli and M. Y. Mansour, “Seismic retrofitting of highway bridges in Illinois using friction pendulum seismic isolation bearings and modeling procedures,” *Eng. Struct.*, vol. 25, no. 9, pp. 1139–1156, Jul. 2003.
- [15] M. Dicleli, M. Y. Mansour, and M. C. Constantinou, “Efficiency of Seismic Isolation for Seismic Retrofitting of Heavy Substructured Bridges,” *J. Bridg. Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 429–441, Jul. 2005.

[۱۶] م. ح. شعبانی و ش. مالک، “شیوه های کنترل غیر فعال به منظور بهسازی لرزه ای پلها،” سمینار کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ۱۳۸۴.

Evaluating the Influence of Various Structural Control Systems on Bridge Response Reduction

Bridges are the most fundamental structures to be utilized after the earthquake. Bridges may be classified by how the forces of tension, compression, bending, torsion, and shear are distributed through their structure. Most bridges will employ all of the principal forces to some degree, but only a few will predominate. The separation of forces may be quite clear. In a suspension or cable-stayed span, the elements in tension are distinct in shape and placement. In other cases the forces may be distributed among a large number of members, as in a truss. A large force is applied to bridge deck due to the earthquake which leads to structural damage if it is not dissipated. The damage in bridges also blocks available roads and causes discontinuance in relief operation which leads to more casualties. Using control systems is one of the major ways to reduce vertical vibrations in bridges. Controlling systems can increase efficiency, safety, and utilization of bridges. Various methods have been evaluated for reducing the vibrations so far in which the most common ones include active, passive, semi-active and hybrid systems. This study is aimed to evaluate viscoelastic, frictional, metal, and tuned mass dampers and elastomeric and sliding isolation in bridges.

Keywords: Damper, bridge vibration, structural control, seismic isolator.