

بررسی ضریب رفتار پل‌های بتنی با جداگرهای الاستومریک (ERB) و جداگرهای هسته سربی (LRB)

احسان دهقانی*

استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم.

پست الکترونیک:

eng_dehghani@yahoo.com

سید امید موسوی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم.

پست الکترونیک:

mousavi_1370@yahoo.com

مزایای جداگرها به‌عنوان ابزار کنترل نیروهای جانبی که به طراحان اجازه می‌دهد نیروهای زلزله وارد بر پایه‌ها و کوله‌های پل را کاهش داده و یا منحرف کنند، به خوبی به اثبات رسیده است. از طرف دیگر هدف اصلی در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بر این مینا است که رفتار سازه، در مقابل نیروهای ناشی از زلزله‌های کوچک بدون خسارت و در محدوده خطی مانده و در مقابل نیروهای ناشی از زلزله‌های شدید، ضمن حفظ پایداری کلی خود خسارت‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای را تحمل کند. با این وجود از جمله مشکلات موجود در طراحی پل‌ها، عدم صراحت آیین‌نامه‌ها برای نقش جداگرها در تعیین ضریب رفتار R است. به‌گونه‌ای که در آیین‌نامه طرح پل‌های راه و راه‌آهن در برابر زلزله (نشریه ۴۶۳) اشاره‌ای به اثر جداگرها در تعیین پارامتر R نشده است. بنابراین در این تحقیق به محاسبه ضریب رفتار پل‌های جداسازی شده با جداگرهای الاستومریک از نوع نئوپرن تپ یک و جداگرهای هسته سربی پرداخته شده است. با بررسی نتایج تحلیل مقدار ضرایب رفتار پل با جداگر هسته سربی LRB کمتر از پل با جداگر ERB است که نشان‌دهنده این است که تکیه‌گاه‌های LRB موجب می‌شوند زیرسازه کمتر وارد فاز غیرخطی شود. همچنین این ضرایب رفتار از مقدار ضرایب نشریه ۴۶۳ که در جهت طولی و عرضی به ترتیب ۳ و ۵ است، کمتر می‌باشد و نشان‌دهنده این است جداگرها ضریب رفتار کلی سازه را پایین می‌آورند. علاوه‌براین، در بررسی اثر کاهش دهانه بر دو حالت مشاهده می‌شود که تأثیر قابل توجهی بین پل‌های با دهانه‌های مختلف وجود ندارد.

واژگان کلیدی: پل‌های بتنی، جداگرهای الاستومریک، جداگرهای هسته سربی، ضریب رفتار، تحلیل استاتیکی غیرخطی.

۱- مقدمه

آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌ها به‌وجود آمده و ضمن تغییر در فلسفه‌ی طراحی سازه‌ها، فناوری‌هایی همچون کنترل لرزه‌ای غیرفعال سازه‌ها به‌کار گرفته شده است. جداسازی لرزه‌ای نیز، با هدف کاستن آسیب لرزه‌ای در طراحی و ساخت سازه‌های با اهمیت زیاد پیشنهاد شده است [۱].

تکیه‌گاه‌های جداگر در پل وسیله‌ای مکانیکی است که وظیفه آن انتقال واکنش تکیه‌گاهی و نیروهای جانبی عرشه پل به پایه‌ها می‌باشد. تأمین جداگرها، می‌تواند کارآیی لرزه‌ای آن را افزایش دهد [۲]. درباره ویژگی جداگرها باید گفت که توانایی و مزایای تکیه‌گاه‌های جداگر به‌عنوان ابزار کنترل نیروهای جانبی به طراحان اجازه می‌دهد که نیروهای زلزله وارد بر پایه‌ها و کوله‌های پل را کاهش داده و یا منحرف کنند،

پل‌ها جزء سازه‌های پر اهمیت در شریان حمل و نقل به حساب می‌آیند و با عنایت به لزوم برقرار ماندن ارتباط مناطق مختلف حادثه دیده پس از وقوع زلزله، توجه به رفتار دینامیکی این سازه‌ها در طی زلزله بسیار مهم است. با این وصف پل‌ها تحت زلزله‌های مختلف نتوانسته‌اند در سطح توقع طراحان عمل کنند. این ضعف عملکرد پل‌ها در بیشتر موارد به‌علت فلسفه طراحی ارتجاعی است که با معضل عدم توجه به جزئیات طراحی در اجرا نیز بحرانی‌تر می‌شود. با پیشرفت دانش فنی و تجربه‌ی زلزله‌های شدید، به مرور تغییراتی در

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۲، پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۱۰.

حفاظت پایه مؤثر نبودند، اما جداگرهای لرزه‌ای ضمن کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای، نیروی زلزله را بین پایه‌ها و کوله‌ها به صورت متعادل توزیع می‌کند [۴].

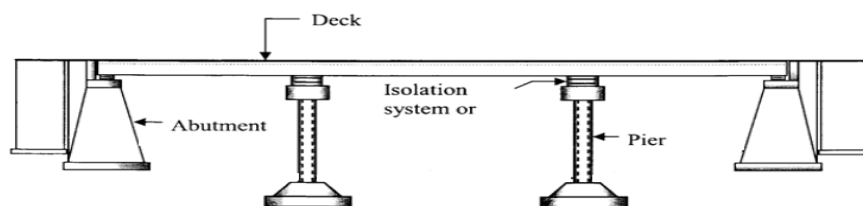
در سال ۲۰۱۲، Sazarrin و همکاران تحقیقی را با عنوان «عملکرد پل‌ها با تکیه‌گاه‌های جداسازی لرزه‌ای تحت زلزله مائوله شیلی» انجام دادند [۵]. در ۲۷ فوریه ۲۰۱۰ زلزله‌ای به شدت $M_w = 8/8$ در منطقه «مائوله» رخ داد. در این منطقه ۱۲ پل جداسازی شده وجود داشت که دوتای آنها به دستگاه‌های لرزه‌نگار مجهز بودند. اولی پل «مارگا مارگا» و دومی پل «راه‌آهن خط ۵ مترو سانتیگو» که به ترتیب به فاصله ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلومتری از مرکز زلزله قرار داشتند. عرشه پل اول متشکل از ۴ عدد شاستیر فولادی پیوسته با دال ۲۷ سانتیمتری و عرشه پل دوم شامل ۲ تیر بتن مسلح پیش تنیده است. پل مائوله شامل ۷ دهانه ۵۰ متری و یک دهانه ۳۳ متری است. شاستیرها بر روی ۳۶ عدد جداگر LRB قرار گرفته‌اند. کوله‌ها و پایه‌های P1 و P7 مستقیماً بر روی بستر سنگی قرار گرفته‌اند و در زیر سایر پایه‌ها، ۱۰ شمع-ستون به طول‌های ۱۴ تا ۳۱ متر قرار دارد. شتاب‌های ثبت شده نشان می‌دهند که شتاب‌های روی پایه نسبت به مقادیر مشابه در روی عرشه کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند که بیانگر عملکرد مطلوب سیستم جداسازی است. همچنین متوسط شتاب افقی ثبت شده در زمین‌های اطراف پل بیشتر از شتاب ثبت شده در زیر پایه‌های پل است که می‌توان علت آن را وجود شمع ستون‌های پل دانست که باعث کاهش نوسانات شده‌اند. در واقع، عمده اختلاف بین فرکانس‌های ثبت شده از زمین طبیعی و کنار پایه‌ها مربوط به فرکانس‌های قائم است که به علت وجود شمع‌ها است.

به خوبی به اثبات رسیده است. از این تکیه‌گاه‌ها می‌توان به نحو مؤثری در مقاوم‌سازی پل‌های موجود و یا طراحی سازه پل‌های جدید واقع در نواحی لرزه‌خیز بهره برد. تکیه‌گاه‌های جداگر مورد استفاده در جداسازی لرزه‌ای پل‌ها معمولاً در زیر عرشه پل و روی پایه‌ها و کوله‌ها قرار می‌گیرند [۳]. در شکل ۱ محل قرارگیری جداگرها در پل‌ها نمایش داده شده است.

۲- پیشینه تحقیقات

پژوهشگران مختلف، پارامترها و خصوصیات مختلف انواع جداگرها در پل‌های مختلف را مورد تحلیل و آزمایش قرار داده‌اند.

زهرایی و سامی در سال ۲۰۰۸ در تحقیقی با عنوان «رزیایی عملکرد لرزه‌ای پل‌ها با تکیه‌گاه‌های موجود انبساط حرارتی» به بررسی رفتار لرزه‌ای پل‌های جداسازی شده با تکیه‌گاه انبساط حرارتی (نئوپرن) و امکان کاربری جزئی و محدود آنها پرداختند. نتایج تحلیل نشان می‌داد که کارایی تکیه‌گاه‌های موجود انبساط حرارتی در کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای مناسب نبوده و حتی در صورت امکان لغزش لازم و تحمل کرنش‌های برشی بزرگ در آنها به هنگام زلزله، به علت الاستیک خطی بودن رفتار نیرو-تغییرمکان، میرایی و استهلاک انرژی چندانی نداشته و نمی‌توانند از سطح انرژی زلزله و نیروهای برشی وارد بر زیرسازه پل‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای بکاهند، در صورتی که سهم جداگرها در جذب و اتلاف انرژی ورودی زلزله بیش از ۵۰٪ است. براساس نتایج تحقیق نسبت کارایی نئوپرن‌ها به جداگرهای لرزه‌ای برای کاهش نیروی برشی زلزله، بین ۳۰٪ تا ۵۰٪ است. همچنین نئوپرن‌ها در کاهش جابه‌جایی سرستون‌ها و افزایش ضریب



شکل ۱- محل قرارگیری جداگرها در پل.

حرکت اصلاح یافته است. این دستاوردها نشان از رضایت بخش بودن قابل توجه فرضیات به کار گرفته شده در روش اصلاح شده و تأیید رویکرد طراحی اولیه پل‌های جداسازی شده هنگامی که عملکرد ستون الاستیک انتظار می‌رود، می‌باشد [۶].

زهرايي و خرمي نژاد در سال ۲۰۱۲ در تحقيقي با عنوان «ضريب رفتار پل‌های بتنی با سيستم جداسازی لرزه‌ای» به بررسی پارامتر ضريب رفتار، از پنج مدل که اتصال روسازه به زیرسازه توسط نشیمن‌های جداگرهای لرزه‌ای بوده، استفاده شده است، می‌پردازد. جداگرهای LRB براساس آیین‌نامه اشتو طراحی شده‌اند و پارامتر ضريب رفتار آنها محاسبه شده است. بر مبنای نتایج این تحقیق، ضريب رفتار در پل‌های جداسازی شده حدوداً نصف حالت عادی به دست آمده که ضمن توجه توصیه آیین‌نامه اشتو نشان می‌دهد زیرسازه این‌گونه پل‌ها عموماً الاستیک باقی می‌ماند. مقدار ضريب رفتار پل‌ها در حالتی که از جداساز لرزه‌ای استفاده شده است، به طور میانگین در جهت طولی و عرضی به ترتیب برابر با ۱/۶۵۲ و ۲/۲۳۲ به دست آمده است. لازم به ذکر است، این مقادیر در آیین‌نامه اشتو برای پل‌های جداسازی شده، نصف حالت جداسازی نشده، یعنی به ترتیب برابر با ۱/۵ و ۲/۵ ارائه شده است که نشان می‌دهد ضرایب رفتار پیشنهادی آیین‌نامه مناسب است. علت کاهش ضرایب رفتار در حالت جداسازی شده با استفاده از جداساز LRB با رفتار غیرخطی، نسبت به حالت جدا شده با نتوپرن با رفتار خطی آن است که اصولاً به علت فلسفه استفاده از جداسازهای لرزه‌ای، المان‌های روسازه و زیرسازه در پل‌های جداسازی شده در محدوده خطی باقی بمانند. به این معنی که لازم است ضريب رفتار این‌گونه پل‌ها نسبت به سایر مدل‌ها کمتر باشد تا المان‌های زیرسازه سختی بیشتر با جابه‌جایی کمتری داشته باشند تا در محدوده خطی باقی بمانند [۷].

والی زاده و کافی در سال ۲۰۱۳ به تحقيقي با عنوان «بررسی عکس‌العمل تکیه‌گاهی پل‌های مجهز به جداگرهای لرزه‌ای LRB در مقایسه با پل‌های مجهز به جداگر حلقوی با

عرشه پل راه‌آهن متروی سانتیگو نیز بر روی نتوپرن‌هایی به ابعاد ۶۰×۳۰×۵ سانتیمتر قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهند که شتاب‌های ثبت شده در بالای عرشه حدوداً دو برابر شتاب‌های ثبت شده در پایین پایه پل‌ها است که بیانگر عملکرد مطلوب نشیمن‌ها است. با آنکه طیف طرح استخراج شده مقادیر بزرگ‌تری نسبت به طیف طرح طراحی داشتند، به واسطه عملکرد مطلوب جداگرها پل‌ها هیچ‌گونه خسارتی ندیدند. عمده خسارت پل‌های منطقه مربوط به طول نشیمن ناکافی در کوله‌ها و پایه‌ها بود که منجر به بازنگری آیین‌نامه طراحی، با اقتباس از آیین‌نامه ژاپن شد [۵].

در سال ۲۰۱۲، Wei و Buckle به تحقيقي با عنوان «روش ساده شده برای تحلیل پل‌های جداسازی شده با زیرسازه الاستیک» پرداختند. در این تحقیق اشاره شده که جداگرهای لرزه‌ای رویکرد طراحی جدیدی برای کاهش اثر زلزله روی سازه‌ها است. منظور این است که برای کاهش تقاضای لرزه‌ای به سازه، ظرفیت آن افزایش داده می‌شود که به موجب آن از فروریختگی سازه جلوگیری می‌شود و آسیب‌های انسانی نیز کاهش می‌یابد. برای طراحی یک پل جداسازی شده، روش ساده شده‌ای برای تحلیل بر طبق راهنمای ویژه آیین‌نامه اشتو برای جداگرهای لرزه‌ای، برای طراحی اولیه و بهینه‌سازی دیگر پارامترهای طراحی آن پیشنهاد داده شده است. براساس آن، روش مبتنی بر تغییر مکان اولیه برای مدل یک درجه آزادی پل و زیرسازه الاستیک فرض شده است. در این تحقیق یک روش توسعه یافته دیگر برای زیرسازه‌های نرم و انعطاف‌پذیر توصیف شده است که همه ویژگی‌های مهم روش کلی حفظ شده است. روش اصلاح شده برای تحلیل به پل بزرگراهی دارای انحنا سه دهانه به همراه جداگرهای لرزه‌ای با طول کل ۳۶۲/۵ فوت اعمال شده است. نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAP2000 به کمک تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی برای سه سطح ۰/۴۷۵، ۱ و ۱/۴ شتاب حرکت زمین در تمام جهت‌ها مقایسه شده است. با مقایسه مشخص شد که تغییر مکان‌ها و نیروهای برشی زیرسازه به اندازه ۱۳٪ برای کمترین سطح حرکت و به اندازه ۸٪ برای بالاترین سطح

سختی اولیه متفاوت» پرداختند. در این تحقیق آمده که می‌توان از جداگرهای لرزه‌ای به نحو مؤثری در مقاوم‌سازی پل‌ها بهره برد، اما جداگرهای از نوع LRB معایبی همچون جابه‌جایی زیاد سازه در هنگام زلزله، وجود تغییرشکل‌های پیش از بارگذاری به دلیل رواداری‌های احتمالی و همچنین سختی در حمل و نقل و نصب، دارند که در اینجا با معرفی سیستم جدیدی از جداگرهای لرزه‌ای موسوم به حلقوی قصد داریم گامی در جهت بهبود عملکرد پل‌ها در هنگام وقوع زلزله برداشته باشیم. جداگرهای حلقوی از یک عدد نئوپرن با سختی و میرایی افقی ناچیز در زیر شایته‌های پل و لوله‌های فولادی توخالی در دو جهت افقی تشکیل شده است. با تحلیل ۴ پل واقعی کشور که هم‌اکنون در حال بهره‌برداری هستند در سه حالت بدون جداگر لرزه‌ای، با جداگر لرزه‌ای LRB و با جداگر حلقوی به مقایسه عملکرد پل در حالات ذکر شده و بررسی یکی از پارامترهای اصلی طراحی نظیر حداکثر نیروی تکیه‌گاهی در دو جهت طولی و عرضی پرداخته شده است که نتایج تحلیل حاصل از مثبت بودن عملکرد کلی جداگرهای حلقوی دارد و اینکه با ادامه این روند و بررسی و جایگذاری حلقه‌ها در حالات گوناگون نظیر حلقه‌های پر شده با موارد گوناگون و یا حلقه‌هایی از جنس‌های مناسب‌تر این روند را بهبود بخشید و به نتایج بهتری دست یافت [۸].

با توجه به اینکه مکانیزم کاهش نیروی زلزله در یک پل دارای تکیه‌گاه‌های جداکننده به وسیله افزایش پیوند اصلی سازه پل (اثر تغییر پیوند در طیف پاسخ) در اثر کاهش سختی جانبی پل، افزایش میرایی در اثر جاری شدن بعضی از اجزای تکیه‌گاه، توزیع و پخش نیروهای زلزله در همه تکیه‌گاه‌ها و قابلیت استهلاک انرژی زلزله ایجاد می‌شود و از طرف دیگر هدف اصلی در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بر این مبنا است که رفتار سازه، در مقابل نیروهای ناشی از زلزله‌های کوچک بدون خسارت و در محدوده خطی مانده و در مقابل نیروهای ناشی از زلزله‌های شدید، ضمن حفظ پایداری کلی خود خسارت‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای را تحمل کند. یکی از پارامترهای مهم در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، مسئله شکل‌پذیری و قابلیت استهلاک انرژی است که با ورود سازه به ناحیه غیرخطی ظاهر می‌شود.

در طراحی به روش‌های خطی (استاتیکی و دینامیکی) نیروهای لرزه‌ای به میزان ضریب رفتار R برابر، کاهش داده می‌شوند که علت آن تشکیل مفاصل پلاستیک و به دنبال آن اتلاف انرژی سازه در اثر ورود به ناحیه غیرخطی است. از جمله مشکلات موجود در طراحی پل‌ها، عدم صراحت آیین‌نامه در مورد نقش تکیه‌گاه‌های جداگرهای معمولی و لرزه‌ای در تعیین R است، به گونه‌ای که در «آیین‌نامه طرح پل‌های راه و راه‌آهن در برابر زلزله (نشریه ۴۶۳)» اشاره‌ای به اثر جداگرها در تعیین پارامتر R نشده است [۹]. از طرفی در الحاقیه آیین‌نامه اشتهو در مورد طراحی جداسازی لرزه‌ای پل‌های بزرگراهی ذکر شده که ضریب اصلاح پاسخ برای همه قسمت‌های زیرسازه، بایستی نصف مقادیر ارائه شده در حالت طراحی معمولی (بدون جداسازی) باشد، ولی مقدار R نباید کوچک‌تر از ۱/۵ در نظر گرفته شود [۱۰]. در این رابطه، کوچک گرفتن R به علت باقی ماندن سازه در حالت رفتار ارتجاعی است.

با توجه به اینکه اکثر پل‌های موجود و حتی پل‌های جدید ساخته شده در کشور به وسیله جداگرهای الاستومریک چند لایه مسلح شده با ورق‌های فولادی (نئوپرن با میرایی کم) جداسازی شده است، با این حال به تأثیر این گونه جداگرها در ضریب رفتار پل‌ها به‌طور مشخص در آیین‌نامه‌ها پرداخته نشده است. همچنین جداسازی لرزه‌ای به‌صورت یک روش کنترل غیرفعال در دهه‌های اخیر در کنار سایر تکنیک‌های مقاوم‌سازی و استهلاک انرژی سازه‌ها به‌طور مؤثری مطرح شده است. بنابراین در این تحقیق به بررسی و محاسبه ضریب رفتار پل‌های جداسازی شده با جداگرهای الاستومریک با نئوپرن‌های معمولی از نوع تیپ یک (با میرایی کم) و لرزه‌ای از نوع جداگرهای لاستیکی-سربی (LRB) پرداخته شده و همچنین با کاهش دهانه‌ها اثر این کاهش در ضریب رفتار مورد بررسی قرار گرفته است.

۳- جداگرهای الاستومریک و جداگرهای هسته

سربی

برش پایه در هنگام تشکیل اولین مفصل پلاستیکی (C_s) نیز ضریب اضافه مقاومت نامیده می‌شود (Ω). با در نظر گرفتن رفتار کلی یک سازه متعارف (شکل)، مقدار مقاومت ارتجاعی مورد نیاز که برحسب ضریب برش پایه (C_{eu}) تعریف شده عبارت است از:

$$C_{eu} = \frac{V_e}{W} \quad (1)$$

در این رابطه، W وزن موثر سازه و V_e حداکثر برش پایه است. در صورتی که سازه کلاً در محدوده ارتجاعی بماند.

$$\Omega = \frac{C_y}{C_s} \quad (2)$$

$$R_\mu = \frac{C_{eu}}{C_y} \quad (3)$$

$$R = R_\mu \times \Omega \quad (4)$$

با توجه به اینکه به دست آوردن C_{eu} همواره مشکل بوده است، تاکنون پژوهشگران برجسته زیادی روی ضریب R_μ و ارتباط آن با ضریب شکل‌پذیری کلی سازه μ تحقیق کرده‌اند. ضریب شکل‌پذیری کلی سازه μ با ایده‌آل ساختن منحنی رفتار کلی سازه به منحنی ارتجاعی-خمیری (الاستوپلاستیک) کامل به صورت خارج قسمت حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی به تغییر مکان جانبی نسبی تسلیم تعریف می‌شود.

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (5)$$

در این ارتباط رابطه‌های نیومارک و هال، مربوط به ارتباط ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری R_μ با ضریب شکل‌پذیری کلی سازه μ آورده شده است.

۴-۱- نیومارک و هال

در سال ۱۹۸۲ رابطه‌ای را برای سیستم‌های ارتجاعی-خمیری یک درجه آزاد پیشنهاد کردند که در نهایت به روابط ۶ تا ۸ ختم شد.

تکیه‌گاه‌های الاستومریک مسلح شده با ورق فولادی (ERB^1) از نوع لاستیک نئوپرن تیپ یک، در این تکیه‌گاه‌ها لاستیک طبیعی یا مصنوعی با ورق‌های فولادی مسلح می‌شود، به این صورت که صفحات فولادی و لاستیک یک در میان روی هم قرار می‌گیرند.

جداگرهای لاستیکی-سربی (LRB^2)، از نوع جداگرهای لاستیکی شبیه به جداگرهای الاستومریک چند لایه هستند، ولی یک هسته سربی دارند که به منظور اضافه کردن میرایی و استهلاک انرژی به وسیله‌ی تغییر شکل پلاستیک هسته به این جداگر قرار گرفته‌اند.

۴- محاسبه ضریب رفتار

با وجود اینکه ضرایب رفتار تعیین شده در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای در نظر دارند رفتار هیستریک، شکل‌پذیری، مقاومت افزون، میرایی و ظرفیت استهلاک انرژی را در محاسبه این ضریب وارد عمل کنند، مقادیر این ضریب در غالب آیین‌نامه‌ها عمدتاً براساس مشاهدات عملکرد سیستم سازه‌ای در زلزله‌های قوی گذشته، بر مبنای قضاوت مهندسی است [۱۱].

روش‌های محاسبه ضریب رفتار را می‌توان به دو گروه کلی روش‌های پژوهشگران آمریکایی و روش‌های پژوهشگران اروپایی تقسیم‌بندی کرد. عموماً روش‌های آمریکایی، مبانی تئوری ساده‌تری نسبت به روش‌های اروپایی دارند و به همین علت کاربردی‌تر هستند. یکی از مهمترین روش‌ها، روش «ضریب شکل‌پذیری یانگ» است. این روش برای محاسبه ضریب رفتار R ، توسط پروفیسور یانگ ارائه شده است [۱۲]. در این روش، ابتدا بیشینه برش پایه سازه هنگامی که سازه در محدوده خطی باقی می‌ماند، محاسبه می‌شود. ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری (R_μ) نسبت برش پایه سازه در حالت الاستیکی (C_{eu}) به برش پایه در تراز گسیختگی (C_y) تعریف می‌شود. همچنین نسبت برش پایه در تراز گسیختگی سازه به

¹ Elastomeric Rubber Bearing

² Lead Rubber Bearing

$$K_{eff} = \frac{GA}{T_r} \quad (9)$$

$$K_v = \frac{E_c A}{T_r} \quad (10)$$

$$T \leq 0.03 \rightarrow R_\mu = 1 \quad (6)$$

$$0.12 \leq T \leq 0.5 \rightarrow R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad (7)$$

$$T \geq 1 \rightarrow R_\mu = \mu \quad (8)$$

جدول ۱- مشخصات پل مورد نظر.

تعداد دهانه‌ها	۵
طول دهانه‌ها	۲۵ متر
عرض پل	۸/۸ متر
نوع عرشه	تیر-دال
ضخامت دال	۲۰ سانتی‌متر
تعداد شاهتیرها	۵
نوع شاهتیرها	بتنی
فواصل شاهتیرها	۱/۸ متر
ابعاد جان شاهتیرها	۱/۲ × ۰/۲۲ متر
ابعاد بال شاهتیرها	۰/۵ × ۰/۲ متر
تعداد ستون‌های هر پایه	۲
ارتفاع پایه‌ها	۷/۰۵ متر
ابعاد هر ستون	دایره به قطر ۱/۲ متر
میلگردهای طولی هر ستون	33 φ 25
میلگردهای عرضی هر ستون	φ12 @ 5 cm
ابعاد تیرسرستون	۱/۶ × ۱/۳ متر
میلگردهای طولی تیرسرستون در بالا	8 φ 30
میلگردهای طولی تیر سرستون در پایین	8 φ 30
دیافراگم عرضی در کنار دهانه‌ها	۱/۴۵ × ۰/۶ متر
دیافراگم عرضی در وسط دهانه‌ها	۱/۳ × ۰/۳ متر
نوع پی	عمیق (گیردار فرض شده)
نوع کوله	بسته
اتصال کوله به عرشه	غلتنکی فرض شده

برآورد R_μ در زمان تناوب‌های بین ۰/۰۳ و ۰/۱۲ ثانیه و نیز بین ۰/۵ و ۱ ثانیه با میان‌بایی بین مقادیر حدی که در رابطه‌های فوق آمده است، انجام می‌شود [۱۳].

۵- مطالعه پل مورد نظر

۵-۱- مدل به کار رفته در تحقیق

در این تحقیق یک مدل پل آماده و به کار گرفته شده در داخل کشور مورد تحلیل قرار گرفته است. در این پل ۵ دهانه از جداگرهای الاستومریک از نوع نئوپرن تیپ یک استفاده شده بود. در این بخش، پل را با همان مشخصات نئوپرن و یک‌بار دیگر با جداگر LRB تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفته شده تا ضرایب رفتار دو حالت محاسبه شود و مقایسه صورت گیرد. در شکل ۲ مدل پل نمایش داده شده است. مشخصات پل نیز در جدول ۱ ارایه شده است.

۵-۲- مدل‌سازی نرم‌افزاری

برای مدل‌سازی از نرم‌افزار SAP 2000 V16 استفاده شده است [۱۴]. این نرم‌افزار قابلیت مدل‌سازی انواع سازه‌ها با المان‌های مختلف نظیر المان‌های تیر، پوسته، ورق، فنرهای خطی و غیرخطی و همچنین انجام انواع تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی به صورت خطی و غیرخطی را دارد. برای مدل‌سازی پایه‌ها، دیافراگم‌ها، شاهتیرها و تیر سرستون از المان Frame و برای مدل‌سازی دال عرشه از المان Shell استفاده شده است. همچنین برای مدل‌سازی جداگرهای الاستومریک با نئوپرن از المان فنر خطی Linear استفاده می‌شود که در این المان برای تعریف نئوپرن نیاز به محاسبه سختی برشی (رابطه ۹) و سختی قائم نئوپرن (رابطه ۱۰) است:

در روابط قبل A سطح جداگر، G مدول برشی جداگر، T_R ضخامت کل لایه‌های لاستیک و E_C مدول فشاری لحظه‌ای

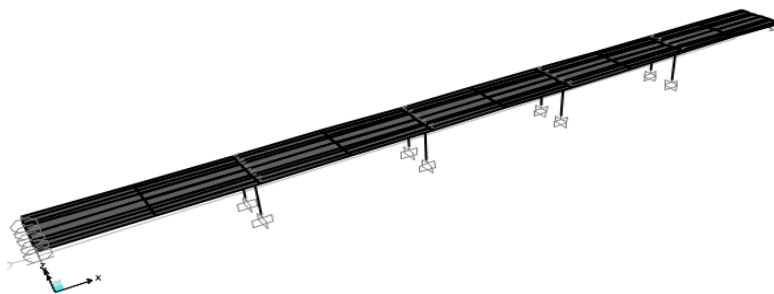
لایه لاستیکی به دست می‌آید. بنابراین برای جداگرهای مستطیلی از رابطه زیر تعیین می‌شود [۱۰]:

$$S = \frac{BL}{2t_i(B+L)} \quad (12)$$

الاستومر می‌باشد که برای جداگرهای مستطیلی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E_c = 4GS^2 \quad (11)$$

S ضریب شکل است که براساس ابعاد تکیه‌گاه الاستومریک تعیین می‌شود که در تعریف آن در آیین‌نامه آشتو آمده که از تقسیم مساحت سطح لایه‌های الاستومر بر سطح جانبی یک



شکل ۲- مدل شماتیک پل مورد نظر.

مقادیر نیروی تسلیم F_y و نیروی حداکثر F_{max} و همچنین تغییرمکان‌های متناظر این نیروهای جداگر می‌باشد. سختی قائم هم طبق فرمول که قبلاً اشاره شد، محاسبه می‌شود. مشخصات جداگرهای الاستومریک و هسته سربی مورد نظر به ترتیب در جداول ۲ و ۳ آمده است.

در رابطه (۱۲)، B و L عرض و طول نئوپرن و t_i ضخامت یک لایه لاستیک است.

برای مدل‌سازی جداگر هسته سربی LRB از المان فنر غیرخطی Multilinear Plastic به صورت غیرخطی استفاده می‌شود. در این المان برای تعریف سختی برشی منحنی دو خطی جداگر رسم می‌شود که برای رسم آن نیاز به وارد کردن

جدول ۲- مشخصات هندسی و پارامترهای تحلیلی جداگر ERB.

B (cm)	L (cm)	H (cm)	t_i (mm)	T_r (cm)	t_s (mm)	n	S	G (kN/m ²)	K_{eff} (kg/m)	K_v (kg/m)
20	40	5.2	8	3.7	3	4	8.33	1000	220403.9	61174334

جدول ۳- مشخصات هندسی و پارامترهای تحلیلی جداگر LRB.

D (cm)	T_R (cm)	d_{lead} (cm)	d_y (mm)	F_y (kN)	d_{max} (mm)	F_{max} (kN)	G_{elasto} (kN/m ²)	K_{s1} (kN/mm)	K_v (kN/mm)
50	10	11	8	106	83	162	400	1.94	1164

بارهای جانبی فزاینده است. در این روش، بار جانبی ناشی از زلزله، استاتیکی و به تدریج به صورت فزاینده به سازه اعمال می‌شود تا آنجا که تغییرمکان در یک نقطه‌ی خاص (نقطه‌ی کنترل) تحت اثر بار جانبی، به مقدار مشخصی برسد و یا سازه فرو ریزد.

۵-۳- روش تحلیل و بارگذاری

یکی از روش‌های محاسبه پارامترهای مؤثر در رفتار لرزه‌ای و مطالعه پاسخ سازه‌ها در محدوده غیرخطی و غیرارتجاعی، روش تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه‌ها تحت

چنانچه از نمودارها مشاهده می‌گردد ظرفیت تغییرمکان در پل با LRB در جهت X و Y به ترتیب ۳۰ و ۵۶/۸ سانتیمتر و برای پل با ERB در جهت X و Y به ترتیب ۲۶/۵ و ۳۱ سانتیمتر می‌باشد که نشان‌دهنده ظرفیت تحمل تغییرمکان بیشتر پل با جداگرهای LRB می‌باشد.

همچنین با محاسبه مساحت زیرمنحنی نمودارها مشاهده می‌شود که این مقدار برای پل با جداگرهای LRB در جهت طولی و عرضی به ترتیب ۱۰۶۵۸۳ و ۳۴۰۳۷۹ و برای پل با جداگرهای ERB در جهت طولی و عرضی به ترتیب ۸۷۲۹۴ و ۱۷۴۴۷۳ می‌باشد. سطح زیرمنحنی نمودار پل با LRB به‌طور قابل ملاحظه‌ای از پل با ERB در هر دو جهت طولی و عرضی بیشتر می‌باشد که این نشان‌دهنده جذب انرژی بیشتر پل با LRB می‌باشد. این جذب انرژی ناشی از جداگرها و رفتار غیرخطی مفاصل پلاستیک اعضای پل می‌باشد.

با کمک نرم‌افزار SAP، مساحت زیرمنحنی ناشی از سهم جداگرها و رفتار غیرخطی اعضای سازه به تفکیک به‌دست می‌آید. برای پل‌های با جداگرهای LRB، مساحت زیرمنحنی مجموع جداگرها در جهت طولی و عرضی به ترتیب ۵۵۰۸۲ و ۲۶۶۸۵۴ و همچنین مساحت زیرمنحنی ناشی از رفتار غیرخطی اعضا در جهت طولی و عرضی به ترتیب ۵۱۵۰۱ و ۷۵۵۲۵ می‌باشد. برای پل‌های با جداگرهای ERB، مساحت زیرمنحنی مجموع جداگرها در جهت طولی و عرضی به ترتیب ۲۶۸۲۳ و ۹۷۰۵۳ و همچنین مساحت زیرمنحنی ناشی از رفتار غیرخطی اعضا در جهت طولی و عرضی به ترتیب ۶۰۴۷۱ و ۷۷۴۲۰ می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به‌طور کل، اثر جداگرها در جذب انرژی مشهود است. همچنین سهم جداگرهای LRB در جذب انرژی بیشتر از جداگرهای ERB می‌باشد.

همان‌طور که از جداول مشاهده می‌شود پل‌های جداسازی شده با LRB ضریب رفتار کمتری نسبت به ERB دارند و همچنین در هر دو حالت این مقادیر از مقدار ذکر شده در حالت عادی که در آیین‌نامه برای جهت‌های X و Y به ترتیب ۳ و ۵ آمده کمتر است. مقادیر ضریب رفتار و ضریب

با توجه به اینکه در آیین‌نامه آشتو اثر همزمان بار زنده و زلزله لحاظ نمی‌گردد، برای تحلیل غیرخطی بارهای جانبی فقط بار مرده به‌عنوان بار ثقلی در نظر گرفته شده و قبل از اعمال بارهای جانبی به سازه وارد شده است. بار مرده شامل بار آسفالت، پیاده‌رو و زنده‌ها است که مجموع آن برابر kg/m^2 ۳۱۶/۶ می‌باشد.

در تحلیل استاتیکی غیرخطی، ویژگی‌های غیرخطی اعضای پل با تعریف و اختصاص مفاصل پلاستیک برای اعضای قاب خمشی صورت می‌گیرد. برای هر پایه در بالا و پایین آن مفصل پلاستیک اندرکنشی نیروی محوری خمشی P-M2- M3 و برای تیرهای سرستون مفاصل پلاستیک خمشی M3 براساس FEMA356 تعریف می‌شود [۱۵].

پس از تحلیل، نمودار نیرو- تغییرمکان سازه‌ها برای هر جهت در هر دو حالت رسم می‌شود تا ضرایب رفتار محاسبه شود.

۵-۴- محاسبه ضریب رفتار

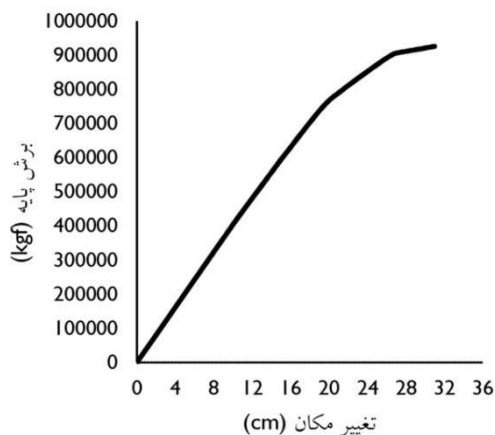
منحنی برش پایه در برابر تغییرمکان مرکز ثقل عرشه را تا ظرفیت تغییرمکان می‌توان برابر نقطه عملکردی در نظر گرفت. این نقطه عملکرد، تغییرمکان نقطه‌ی عملکرد تا سطح عملکرد ایمنی جانی^۳ (LS) می‌باشد. سطح عملکرد جانی به این مفهوم است که سازه تحت زلزله‌ی طرح دارای مقاومت کافی برای عملکرد ایمنی جانی باشد. این سطح عملکرد براساس مقدار دوران مفاصل پلاستیک اعضا از جداول FEMA 356 محاسبه می‌شود. در اشکال ۳ تا ۶ منحنی‌های پوش‌آور پل‌های دو حالت، در دو جهت طولی و عرضی ارائه شده است.

پس از این، ضریب رفتار پل‌ها به روش شکل‌پذیری یانگ محاسبه شده است. در جداول ۴ و ۵ مقادیر ضریب رفتار و اجزای تشکیل‌دهنده آن به ترتیب در دو جهت طولی و عرضی آورده شده است.

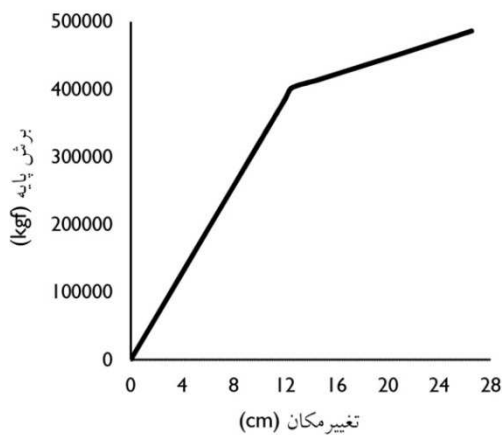
³⁻ Life Safety

جاری شدن سرب در ابتدای رفتار سازه، رفتار غیرخطی زیرسازه را کاهش می‌دهد و سهم بیشتری از رفتار غیرخطی و جذب انرژی توسط جداگر LRB تأمین می‌شود.

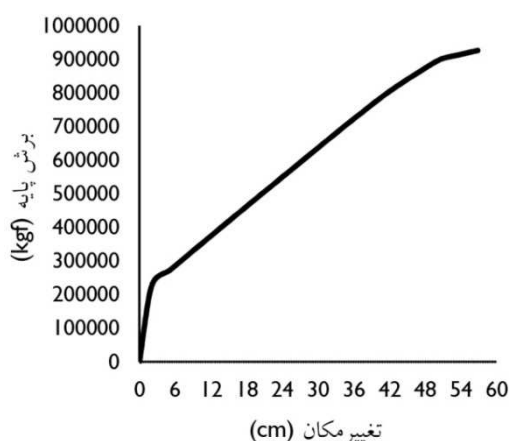
کاهش بر اثر شکل‌پذیری در پل‌هایی با جداگر LRB نشان می‌دهد، در زیرسازه این‌گونه پل‌ها تقاضای شکل‌پذیری کمتری نسبت به حالت با ERB وجود دارد. این نتیجه می‌تواند به دلیل وجود هسته سربی در جداگر LRB باشد که با



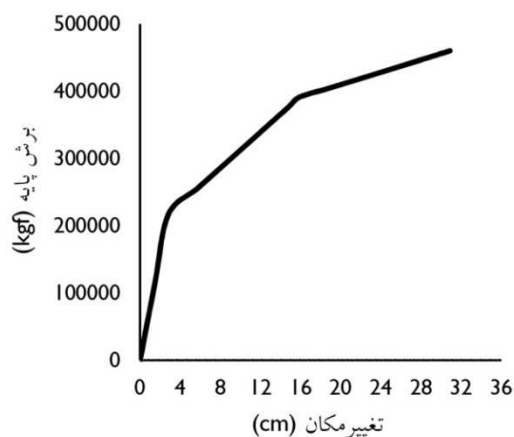
شکل ۴- منحنی پوش‌آور پل با ERB در جهت عرضی.



شکل ۳- منحنی پوش‌آور پل با ERB در جهت طولی.



شکل ۶- منحنی پوش‌آور پل با LRB در جهت عرضی.



شکل ۵- منحنی پوش‌آور پل با LRB در جهت طولی.

جدول ۴- پارامترهای ضریب رفتار پل‌ها در جهت طولی.

X	T	Δ_{max} (cm)	R_{μ}	Ω	R
ERB	۱/۳۱	۲۶/۵	۲/۱۲	۱/۲۱	۲/۵۷
LRB	۰/۸۹	۳۰	۱/۸۹	۱/۱۸	۲/۲۳

جدول ۵- پارامترهای ضریب رفتار پل‌ها در جهت عرضی.

Y	T	Δ_{max} (cm)	R_{μ}	Ω	R
ERB	۱/۱۷	۳۱	۱/۶۲	۲/۶۲	۴/۲۵
LRB	۰/۶۱	۵۶/۸	۱/۵۴	۲/۵۶	۳/۹۵

۵-۵- اثر کاهش دهانه‌های پل بر ضریب رفتار

همان‌طور که قبلاً در مشخصات پل اشاره شد، پل مورد نظر ۵ دهانه بود و حال در این بخش ضرایب رفتار و پارامترهای آن براساس تغییرمکان سطح عملکرد LS پل‌ها در اثر کاهش دهانه‌ها به ۲، ۳، ۴ و ۵ دهانه در هر دو حالت با جداگرهای ERB و LRB بررسی می‌شود که در جداول ۶ تا ۹ آمده است.

جدول ۶- پارامترهای ضریب رفتار پل با ERB در اثر کاهش دهانه‌ها در جهت طولی.

دهانه ۵	۱/۳۱	۲/۱۲	۱/۲۱	۲/۵۷
دهانه ۴	۱/۳۶	۱/۹۶	۱/۱۹	۲/۳۳
دهانه ۳	۱/۴۴	۲/۱۱	۱/۲۱	۲/۵۴
دهانه ۲	۱/۶۷	۲/۱۰	۱/۲۰	۲/۵۲

جدول ۷- پارامترهای ضریب رفتار پل با ERB در اثر کاهش دهانه‌ها در جهت عرضی.

دهانه ۵	۱/۱۷	۱/۶۲	۲/۶۲	۴/۲۵
دهانه ۴	۱/۲۱	۱/۶۲	۲/۶۲	۴/۱۶
دهانه ۳	۱/۲۸	۱/۶۲	۲/۶۳	۴/۲۶
دهانه ۲	۱/۴۹	۱/۶۱	۲/۷۰	۴/۳۵

جدول ۸- پارامترهای ضریب رفتار پل با LRB در اثر کاهش دهانه‌ها در جهت طولی.

دهانه ۵	۰/۸۹	۱/۸۹	۱/۱۸	۲/۲۳
دهانه ۴	۰/۹۳	۱/۸۹	۱/۱۷	۲/۲۲
دهانه ۳	۰/۹۸	۱/۹۲	۱/۱۷	۲/۲۵
دهانه ۲	۱/۱۳	۱/۸۶	۱/۱۳	۲/۱۰

جدول ۹- پارامترهای ضریب رفتار پل با LRB در اثر کاهش دهانه‌ها در جهت عرضی.

دهانه ۵	۰/۶۱	۱/۵۴	۲/۵۶	۳/۹۵
دهانه ۴	۰/۶۳	۱/۴۰	۲/۵۷	۳/۵۹
دهانه ۳	۰/۶۷	۱/۴۱	۲/۵۷	۳/۶۱
دهانه ۲	۰/۷۸	۱/۵۰	۲/۲۸	۳/۴۲

همان‌طور که در جداول مشاهده می‌شود تغییراتی چندانی در مقادیر ضریب رفتارها در اثر کاهش دهانه‌ها ایجاد

نمی‌شود و مانند قبل ضرایب رفتار پل‌های با جداگرهای LRB کمتر از ERB می‌باشد.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به جداول و شکل‌های ارائه شده نتایج زیر را می‌توان بر شمرد:

۱- مقدار ضرایب رفتار پل با جداگر LRB در جهت X و Y به ترتیب ۲/۲۳ و ۳/۹۵ و مقدار ضریب رفتار پل با جداگر ERB در جهت X و Y به ترتیب ۲/۵۷ و ۴/۲۵ به دست آمد که ضریب رفتار با جداگر هسته سربی LRB کمتر از جداگر ERB است که نشان‌دهنده این است که تکیه‌گاه‌های LRB موجب می‌شوند زیرسازه کمتر وارد فاز غیرخطی شود.

۲- همچنین این ضرایب رفتار از مقدار ضرایب آیین‌نامه طرح پل‌های راه و راه‌آهن در برابر زلزله (نشریه ۴۶۳) که در جهت X و Y به ترتیب ۳ و ۵ است کمتر بوده و نشان‌دهنده این است جداگرها موجب کاهش رفتار غیرخطی اعضای سازه شده و ضریب رفتار کلی سازه را پایین می‌آورند. این موضوع بایستی در ویرایش‌های جدید آیین‌نامه طرح پل‌های ایران در نظر گرفته شود.

۳- این ضرایب رفتار به ضرایب رفتار اشاره شده در آیین‌نامه آشتو که نصف حالت بدون جداگر است، نزدیک هستند. این موضوع نشان‌دهنده رویکرد صحیح‌تر این آیین‌نامه نسبت به پل‌های با جداسازی لرزه‌ای است.

۴- علت کاهش ضرایب رفتار در حالت جداسازی شده LRB نسبت به حالت عادی به فلسفه استفاده از جداسازهای لرزه‌ای بر می‌گردد که المان‌های روسازه و زیرسازه در پل‌های جداسازی شده در محدوده خطی باقی بمانند. رفتار خطی (یا کمی غیرخطی) زیرسازه موجب کاهش ضریب رفتار کلی سازه می‌شود.

۵- مقادیر ضریب رفتار و ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری در پل‌هایی با جداگر LRB نشان می‌دهد، در زیرسازه این‌گونه پل‌ها تقاضای شکل‌پذیری کمتری نسبت به حالت با ERB وجود دارد، که در عوض نیاز به تأمین

۸- اثر جذب انرژی ناشی از مجموع جداگر در پل با جداگرهای LRB، در جهت طولی و عرضی به ترتیب ۵۱/۷ و ۷۸/۴ درصد و در پل با جداگرهای ERB در جهت طولی و عرضی به ترتیب ۳۰/۱ و ۵۵/۶ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده اثر بیشتر جداگرهای LRB می‌باشد. این تأثیر به دلیل جاری شدن هسته‌های سربی که موجب افزایش میرایی سازه می‌شود، می‌باشد.

۹- در نمودارهای پوش‌آور پل با جداگر LRB مشاهده می‌شود که این نمودارهای غیرخطی تقریباً به صورت حالت سه خطی می‌باشند و پس از مدت کوتاهی از شروع افزایش تغییرمکان وارد ناحیه غیرخطی می‌شوند که این موضوع به دلیل جاری شدن هسته سربی می‌باشد. سرب دارای مقاومت برشی کم و سختی برشی اولیه زیاد می‌باشد که این خصوصیات سرب باعث می‌شود پل با جداگر دارای اتلاف انرژی بالا در برابر بارهای لرزه‌ای قوی باشد.

۱۰- در بررسی اثر کاهش دهانه‌ها در دو حالت مشاهده می‌شود که تأثیر قابل توجهی بین پل‌های با دهانه‌های مختلف وجود ندارد.

ضوابط ویژه شکل‌پذیری برای اتلاف انرژی در المان‌های زیرسازه ندارند، زیرا شکل‌پذیری و اتلاف انرژی توسط سیستم جداساز لرزه‌ای تأمین می‌شود.

۶- با توجه به منحنی‌های پوش‌آور در هر دو حالت و در هر دو جهت مشاهده می‌شود که در پل با جداگرهای LRB ظرفیت تحمل تغییرمکان بیشتری نسبت به پل‌های با جداگرهای ERB وجود دارد. چنانچه مشاهده گردید در پل با LRB در جهت X و Y به ترتیب ۳۰ و ۵۶/۸ سانتیمتر و برای پل با ERB در جهت X و Y به ترتیب ۲۶/۵ و ۳۱ سانتیمتر می‌باشد. این اختلاف در جهت عرضی بیشتر می‌باشد.

۷- با محاسبه سطح زیرمنحنی نمودارهای پوش‌آور پل در هر دو حالت با جداگرهای LRB و ERB مشاهده می‌شود که سطح زیرمنحنی نمودار پل با LRB به‌طور قابل ملاحظه‌ای از پل با ERB در هر دو جهت طولی و عرضی بیشتر می‌باشد که این نشان‌دهنده جذب انرژی بیشتر پل با LRB می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رفت این استهلاک انرژی توسط هسته سربی تأمین می‌شود.

مراجع

- [۱] راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها، (۱۳۸۹). "نشریه شماره ۵۲۳"، معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی اجرایی.
- [۲] طلاحونی، ش. (۱۳۹۰). "طراحی پل (پل بتن مسلح، فولادی و پیش تنیده)"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ نهم.
- [۳] زهرائی، س. م. (۱۳۸۵). "آشنایی با جداسازهای لرزه‌ای و تأثیر آن بر عملکرد پل‌ها"، تهران، پژوهشکده حمل و نقل، چاپ اول.
- [۴] زهرائی، س. م.، سامی، ح. (۱۳۸۷). "ارزیابی عملکرد لرزه‌ای پل‌ها با تکیه‌گاه‌های موجود انبساط حرارتی"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال ۵ شماره ۴.
- [5] Sarrazin, M., Moroni, O., Neira, C., & Venegas, B. (2013). Performance of bridges with seismic isolation bearings during the Maule earthquake, Chile. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 47, 117-131.
- [6] Wei, C., & Buckle, I. (2012). A Simplified Method of Analysis of Isolated Bridges with Yielding Substructures. In *Structures Congress 2012* (pp. 559-570). ASCE.
- [7] زهرائی، س. م.، خرمی نژاد، ا. (۱۳۹۱). "ضریب رفتار پل‌های بتنی با سیستم جداسازی لرزه‌ای"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال سوم، شماره ۳.
- [8] کافی، م. ع.، ولی‌زاده، س. ع. (۱۳۹۲). "بررسی عکس‌العمل تکیه‌گاهی پل‌های مجهز به جداگرهای لرزه‌ای LRB در مقایسه با پل‌های مجهز به جداگر حلقوی با سختی اولیه متفاوت" چهارمین کنفرانس علمی زلزله و سازه.
- [9] آیین‌نامه طرح پل‌های راه و راه‌آهن در برابر زلزله، (۱۳۸۷). "نشریه شماره ۴۶۳"، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، چاپ اول.

[10] American Association of State Highway, Transportation Officials, Subcommittee on Bridges, Structures Staff, American Association of State Highway, & Transportation Officials. Subcommittee on Bridges. (2010). *Guide Specifications for Seismic Isolation Design*. AASHTO.

[۱۱] تسنیمی، ع.ع، معصومی، ع.ع. (۱۳۸۵). "محاسبه ضریب رفتار قاب خمشی بتن مسلح"، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ اول.

[12] Uang, C. M.. (1992). Establishing R and Cd Factors for building seismic provisions. *ASCE, 117(1)*, 19-28..

[13] Newmark, N. M., & Hall, W. J. (1982). Earthquake spectra and design. *Earthquake Engrg. Res. Inst, El Cerrito, calif.*

[14] SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures. (2013). *Computers and Structures, User manual, Ver. 16, Berkeley, California.*

[15] FEMA356. (2000) Prestandard and Commentry for the Seismic Rehabilitation of Buildings. *Federal Emergency Management Agency, ASCE.*

E. Dehghani*

Assistant Professor, Faculty of
Engineering,
University of Qom.

e-mail: ng_dehghani@yahoo.com

S. O. Mousavi

MSc Student, Faculty
of Engineering,
University of Qom.

e-mail: mousavi_1370@yahoo.com

Study of the Modification Factor of Concrete Bridges with Elastomeric Rubber Bearing (ERB) and Lead Rubber Bearing (LRB)

By examining the results of the analysis of the modification factor of the bridge with LRB isolators for x and y, respectively 2.32 and 3.95 and modification factor of bridge isolators ERB to x and y, respectively 2.57 and 4.25 was calculated. So modification factor of the bridge with LRB isolators for x and y is less than ERB isolators that represents the LRB bearings will cause that substructure is less inside nonlinear phase. Also the modification factor is less than the factor of "Publication 463" –it is in the x and y respectively 3 and 5- that indicates isolators reduce the nonlinear behavior of structural parts and lower general modification factor of the structure. The modification factor of isolators of bridge is less than the amount listed in the code. Although there is no significant difference but it less of it can be a reason for further investigation and as well as selected and proposed new factors for bridge with isolators in the codes. In addition, the effect of reduction in the spans can be seen in two cases that there is no significant effect in various spans of bridge.

Keywords: Concrete bridge, Elastomeric rubber bearing, Lead rubber bearing, Modification factor, Non-linear static analysis.

* Corresponding author