بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی
گروه عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

عنوان:
ارزیابی عملکرد سیستم جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی در بهبود رفتار پل‌های شهری در برابر زلزله به همراه بررسی اقتصادی

استاد راهنما:
دکتر فریدون رضایی

نگارش:
امین‌محمد سبزعلیان

۱۰ مهر ۱۳۹۰

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

مقالات خارجی

……..……, **Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.**

مقالات داخلی

.....، گروه .....، دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

تقدیم به پدر و مادرم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند

تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم

و تقدیم به همسرم

که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود

و تقدیم به خواهرانم

که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامشم بوده است

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

ارزیابی عملکرد سیستم جداساز لاستیکی با هسته سربی در بهبود رفتار پل‌های شهری در برابر زلزله به همراه بررسی اقتصادی

نام نویسنده: امین محمد سبزعلیان

نام استاد/اساتید راهنما: دکتر فریدون رضایی

نام استاد/اساتیدمشاور: -

دانشکده: مهندسی	**گروه آموزشی: عمران**	
رشته تحصیلی: مهندسی عمران	**گرایش تحصیلی: سازه**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب: ۸۸/۰۸/۰۳	**تاریخ دفاع: ۹۰/۰۷/۱۰**	**تعداد صفحات: ۱۱۴**

چکیده:

امروزه توانایی جداسازی لرزه‌ای به عنوان ابزاری جهت کاهش نیروهای زلزله وارد بر سازه به اثبات رسیده است.در این تحقیق بعد از بررسی اجمالی بر نحوه عملکرد جداسازهای الاستومری، خواص مکانیکی و طراحی آن‌ها، چند مدل پل جهت بررسی عملکرد لرزه‌ای در دو حالت استفاده از جداساز LRB و تکیه‌گاه نئوپرن تحت تحلیل دینامیکی قرار گرفتند. پارامترهای لرزه‌ای شامل دوره تناوب اصلی، حداکثر جابجایی طولی، برش عرضی پایه، حداکثر شتاب افقی عرشه و مقادیر لنگرهای پای ستون‌ها تحت ترکیبات بار زلزله مورد بررسی و مقایسه تحت دو حالت جداسازی شده با جداساز LRB و تکیه‌گاه نئوپرن قرار گرفتند. در ادامه نیز المان‌های زیرسازه جهت بررسی تاثیر جداسازی در هزینه‌های وارد بر ساخت پل طراحی گردیدند. در انتها نیز یک مقایسه کلی بین هزینه‌های موجود در دو حالت مورد بررسی شامل هزینه خرید جداسازها و نئوپرن‌ها، هزینه‌های نظارت و محاسبات مهندسی و هزینه تعمیرات پس از وقوع زلزله انجام پذیرفت.

واژه‌های کلیدی: **جداسازی لرزه‌ای، الاستومر، جداساز لاستیکی با هسته سربی، نئوپرن، بررسی اقتصادی جداسازی، آنالیز دینامیکی**

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

مقدمه ۲

۱-۱- طرح مسأله ۳

۱-۲- هدف از تحقیق ۳

۱-۳- چکیده مطالب فصل‌ها ۴

فصل دوم: گذری بر انواع تکیه‌گاه‌های الاستومر

۲-۱- مفهوم و مکانیزم جداسازی لرزه‌ای پل‌ها ۶

۲-۲- تکیه‌گاه‌های جداکننده الاستومری چند لایه مسلح شده توسط ورق‌های فولادی ۱۰

۲-۲-۱- جداساز لاستیکی با ورقه‌های فولادی (میرایی کم) ۱۰

۲-۲-۱-۱- سختی افقی و قائم جداساز لاستیکی ۱۱

۲-۲-۱-۲- ساخت جداساز لاستیکی با ورقه‌های فولادی ۱۱

۲-۲-۱-۳- رفتار جداسازها در برابر بار جانبی و قائم ۱۲

۲-۲-۱-۴- عملکرد در برابر بارهای فشاری ۱۴

۲-۲-۱-۵- عملکرد در برابر بارهای کششی ۱۵

۲-۲-۱-۶- عملکرد در برابر بارهای فشاری و برشی ۱۵

۲-۲-۲- جداساز لاستیکی با هسته سربی ۱۶

۲-۲-۳- جداسازهای الاستومری چند لایه لاستیکی با میرایی زیاد (HDRB) ۱۸

۲-۳- نتیجه‌گیری فصل ۱۹

فصل سوم: خواص مکانیکی و طراحی جداسازهای لرزه‌ای

مقدمه ۲۱

۳-۱- خواص مکانیکی و طراحی نشیمن‌های الاستومری ۲۱

۳-۱-۱- کنترل کمانش جداساز ۲۶

۳-۱-۲- کنترل تغییرشکل نسبی برشی جداساز ۲۷

۳-۱-۳- کنترل چرخش جداساز ۲۷

۳-۲- خواص مکانیکی و طراحی نشیمن‌های لاستیکی با هسته سربی ۲۹

۳-۳- نتیجه‌گیری فصل ۳۲

فصل چهارم: خلاصه‌ای از ضوابط راهنمای جداسازی لرزه‌ای با استفاده از جداسازها

۴-۱- مقدمه ۳۴

۴-۲- ضریب شتاب ۳۴

۴-۳- گروه‌بندی لرزه‌ای ۳۴
۴-۴- ضریب محل و خاک ۳۵
۴-۵- ضریب رفتار ۳۵
۴-۶- مراحل آنالیز ۳۵
۴-۶-۱- آنالیز با استفاده از یک مد ۳۶
۴-۶-۲- آنالیز بر اساس طیف پاسخ ۳۷
۴-۶-۳- آنالیز تاریخچه زمانی ۳۷
۴-۷- جابجایی طرح برای بار زلزله و بارهای دیگر ۳۸
۴-۸- نیروهای طراحی برای گروه A ۳۸
۴-۹- نیروهای طراحی برای گروه B ۳۹
۴-۹-۱- نیروهای طراحی برای اعضای سازه‌ای ۳۹
۴-۹-۲- نیروهای طراحی برای پی ۴۰
۴-۱۰- نیروهای طراحی برای گروه C و D ۴۰
۴-۱۰-۱- نیروی طراحی اصلاح شده ۴۱
۴-۱۱- سایر ضوابط ۴۱
۴-۱۱-۱- نیروهای جانبی غیر لرزه‌ای ۴۱
۴-۱۱-۲- پایداری نیروی قائم ۴۲
۴-۱۲- آزمایش‌های لازم برای سیستم جداگر ۴۲
۴-۱۲-۱- مقدمه ۴۲
۴-۱۲-۲- نمونه آزمایشگاهی ۴۲
۴-۱۲-۳- مشخصات نمودار نیرو – تغییرمکان ۴۴
۴-۱۲-۴- بررسی صحت سیستم ۴۴
۴-۱۲-۵- مشخصات طراحی سیستم جداگر ۴۵
۴-۱۳- تکیه‌گاه‌های الاستومری ۴۶
۴-۱۳-۱- مقدمه ۴۶
۴-۱۳-۲- تعاریف ۴۶
۴-۱۳-۳- محدودیت‌های بار قائم مجاز ۴۸
۴-۱۳-۴- پایداری در برابر واژگون شدن ۴۹
۴-۱۳-۵- ساخت تکیه‌گاه الاستومری ۴۹
۴-۱۳-۵-۱- ضوابط عمومی ۴۹
۴-۱۳-۵-۲- ضوابط اضافی برای تکیه‌گاه الاستومری ۴۹
۴-۱۳-۵-۲-۱- فشار ۴۹
۴-۱۳-۵-۲-۲- ترکیب فشار و برش ۵۰
۴-۱۴- نتیجه‌گیری فصل ۵۰

فصل پنجم: طرح مسئله و آنالیز

۵-۱- مقدمه ۵۲
۵-۲- مدل‌سازی پل‌ها و آنالیز ۵۳
۵-۲-۱- مقدمه ۵۳
۵-۲-۲- نرم‌افزار و مدل‌سازی ۵۴
۵-۲-۲-۱- مدل‌سازی پل‌های جداسازی شده ۵۵
۵-۲-۲-۲- مدل‌سازی پل جداسازی نشده ۵۵
۵-۲-۳- آنالیز دینامیکی طیفی چند مودی ۵۶
۵-۲-۳-۱- تعیین پارامترهای مؤثر در طیف طرح استاندارد ۵۷
۵-۲-۳-۲- بارگذاری ۶۱
۵-۲-۴- بررسی جداساز LRB ۶۳
۵-۳- فاز اول تحقیق (بررسی تأثیر طول و تعداد دهانه بر روی عملکرد و اقتصاد پل) ۶۶
۵-۳-۱- جزئیات پل‌ها و آنالیز ۶۷
۵-۴- فاز دوم تحقیق (بررسی تأثیر نوع خاک بر روی عملکرد لرزه‌ای پل) ۷۰
۵-۴-۱- مدل سازی پل و شرح ۷۰

فصل ششم: ارائه نتایج

۶-۱- ارائه نتایج و تفسیر، فاز اول ۷۲
۶-۱-۱- مقدمه ۷۲
۶-۱-۲- دوره تناوب اصلی سازه ۷۲
۶-۱-۳- حداکثر جابجایی طولی ۷۴
۶-۱-۴- برش عرضی پایه ۷۶
۶-۱-۵- برش طولی پایه ۷۷
۶-۱-۶- حداکثر شتاب افقی عرشه ۷۸
۶-۱-۷- بررسی تغییرات طول و تعداد دهانه ۷۸
۶-۱-۸- طراحی اجزاء زیر سازه ۸۱
۶-۱-۹- طراحی جداسازهای LRB و نئوپرن‌ها ۸۵
۶-۱-۱۰- بررسی اقتصادی ۸۷
۶-۱-۱۰-۱- مقدمه ۸۷
۶-۱-۱۰-۲- بررسی اقتصادی کاربرد جداساز لرزه‌ای از نظر کاهش ابعاد زیرسازه ۸۷
۶-۱-۱۰-۳- بررسی اقتصادی از نظر هزینه جداگرها ۸۸
۶-۱-۱۰-۴- بررسی اقتصادی از نظر ساخت واجراء پل‌های دارای جداساز ۸۸
۶-۱-۱۰-۵- هزینه‌های طراحی و محاسبات مهندسی ۸۹
۶-۱-۱۰-۶- هزینه خسارات پس از وقوع زلزله ۹۰
۶-۱-۱۰-۷- جمع‌بندی بررسی اقتصادی ۹۰

۶-۲- ارائه نتایج و تفسیر، فاز دوم ۹۶
۶-۲-۱- مقدمه ۹۶
۶-۲-۲- دوره تناوب اصلی سازه ۹۶
۶-۲-۳- حداکثر جابجایی طولی ۹۷
۶-۲-۴- برش عرضی پایه ۹۸
۶-۲-۵- برش طولی پایه ۹۹
۶-۲-۶- حداکثر شتاب افقی عرشه ۹۹
فصل هفتم: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۷-۱- جمع‌بندی نهایی ۱۰۴
۷-۱-۱- مقدمه ۱۰۴
۷-۱-۲- نتیجه‌گیری نهایی ۱۰۵
۷-۱-۲-۱- بخش اول نتیجه‌گیری ۱۰۵
۷-۱-۲-۲- بخش دوم نتیجه‌گیری ۱۰۷
۷-۲- افق‌های باز تحقیق ۱۰۸
ضمیمه ۱۰۹
مراجع ۱۱۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- جداسازی چند لایه با میرایی کم ۱۰
شکل ۲-۲- تأثیر ورقه‌های فولاد بر روی سختی قائم جداساز ۱۲
شکل ۲-۳- توزیع نیرو در جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی ۱۴
شکل ۲-۴- جداساز لاستیکی با هسته سربی ۱۶
شکل ۲-۵- رفتار مکانیکی جداساز لاستیکی – سربی ۱۸
شکل ۳-۱- معرف ضریب شکل ۲۳
شکل ۳-۲- تغییر مکان افقی ۲۵
شکل ۳-۳- نمایش پارامترهای مورد نیاز در کنترل چرخش جداساز ۲۷
شکل ۳-۴- مراحل طراحی جداساز لاستیکی با میرایی زیاد و جداساز لاستیکی با ورقه‌های فولادی ۲۸
شکل ۳-۵- رفتار دو خطی جداساز لاستیکی به هسته سربی ۲۹
شکل ۳-۶- نمودار طراحی جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی ۳۱
شکل ۵-۱- اثر تغییر میرایی بر طیف طرح ۵۸
شکل ۵-۲- طیف پاسخ مرکب ۶۰
شکل ۵-۳- نمای بارگذاری کامیون ۴۰۰ کیلو نیوتنی ۶۲
شکل ۵-۴- پلان بارگذاری کامیون ۴۰۰ کیلو نیوتنی ۶۳
شکل ۵-۵- چرخه هیسترزیس جداساز LRB ۶۶
شکل ۵-۶- مقطع عرضی عرشه ۶۷
شکل ۵-۷- نمونه‌ای از پل مدل‌سازی شده در SAP 2000 ..... ۶۹
شکل ۶-۱- تکیه‌گاه نئوپرن پس از زلزله ۹۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱- گروه‌بندی لرزه‌ای ۳۴
جدول ۴-۲- ضریب خاک برای گروه‌های خاک ۳۵
جدول ۴-۳- ضریب میرایی ۳۶
جدول ۵-۱- پارامترهای مربوط به ضریب بازتاب پل (B) ۵۷
جدول ۵-۲- ضریب تأثیر میرایی آیین‌نامه‌های AASHTO و UBC ۵۹
جدول ۵-۳- ضریب رفتار R ۶۱
جدول ۵-۴- مشخصات جداساز LRB جهت تعیین سختی مؤثر ۶۴
جدول ۵-۵- طراحی اجزاء داخلی جداساز LRB ۶۵
جدول ۵-۶- مشخصات مقطع عرضی عرشه ۶۸
جدول ۶-۱- دوره تناوب مد اصلی پل‌ها در حالات مختلف ۷۳
جدول ۶-۲- حداکثر جابجایی طولی ستون‌های پایه‌های میانی پل بر حسب میلی‌متر ۷۵
جدول ۶-۳- حداکثر جابجایی طولی عرشه پل برحسب میلی‌متر ۷۵
جدول ۶-۴- طراحی جداسازهای LRB به کار رفته در پل‌ها بر حسب کیلو نیوتن و میلی‌متر بر اساس حداکثر جابجایی نسبی افقی جداساز ۸۶
جدول ۶-۵- طراحی نئوپرن به کار رفته در پل‌ها بر حسب نیوتن و میلی‌متر ۸۶
جدول ۶-۶- هزینه‌های ناشی از استفاده تکیه‌گاه نئوپرن در پل‌های مورد بررسی ۹۲
جدول ۶-۷- هزینه‌های ناشی از استفاده جداساز LRB در پل‌های مورد بررسی ۹۳
جدول ۶-۸- افزایش هزینه‌های ناشی از استفاده LRB به جای نئوپرن به میلیون تومان ۹۴
جدول ۶-۹- دوره تناوب مد اصلی پل‌های چهارم و ششم بر حسب ثانیه ۹۶

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۶-۱- درصد افزایش دوره تناوب اصلی پل‌ها در حالت استفاده از LRB به جای نئوپرن ۷۴
نمودار ۶-۲- حداکثر جابجایی طولی سرستون‌های پایه میانی و عرشه بر حسب میلی‌متر ۷۶
نمودار ۶-۳- برش عرضی پایه پل‌ها بر حسب تن باکاربرد LRB و نئوپرن ۷۷
نمودار ۶-۴- برش طولی پایه پل‌ها بر حسب تن باکاربرد LRB و نئوپرن ۷۷
نمودار ۶-۵- شتاب افقی عرشه پل‌ها بر حسب متر بر مجذور ثانیه با کاربرد LRB و نئوپرن ۷۸
نمودار ۶-۶- مقایسه مقادیر زمان تناوب اصلی پل‌ها و تأثیر تغییرات تعداد و طول دهانه‌ها ۷۹
نمودار ۶-۷- مقایسه مقادیر حداکثر جابجایی طولی عرشه و تأثیر تغییرات تعداد و طول دهانه‌ها ۷۹
نمودار ۶-۸- مقایسه مقادیر حداکثر برش عرضی پایه و تأثیر تغییرات تعداد و طول دهانه‌ها ۸۰
نمودار ۶-۹- مقایسه مقادیر حداکثر شتاب افقی عرشه و تأثیر تغییرات تعداد و طول دهانه‌ها ۸۰
نمودار ۶-۱۰- مقادیر لنگرهای پای ستون در پل اول بر حسب تن متر ۸۲
نمودار ۶-۱۱- مقادیر لنگرهای پای ستون در پل دوم بر حسب تن متر ۸۲
نمودار ۶-۱۲- مقادیر لنگرهای پای ستون در پل سوم بر حسب تن متر ۸۳
نمودار ۶-۱۳- مقادیر لنگرهای پای ستون در پل چهارم بر حسب تن متر ۸۳
نمودار ۶-۱۴- مقادیر لنگرهای پای ستون در پل پنجم بر حسب تن متر ۸۴
نمودار ۶-۱۵- مقادیر لنگرهای پای ستون در پل ششم بر حسب تن متر ۸۴
نمودار ۶-۱۶- مقادیر نیروی محوری ستون‌ها بر حسب تن ۸۵
نمودار ۶-۱۷- هزینه تمام‌شده خرید و نصب تکیه‌گاه‌ها بر حسب میلیون تومان ۹۲
نمودار ۶-۱۸- میزان کاهش ابعاد پی‌ها در اثر جداسازی بر حسب متر مربع ۹۳
نمودار ۶-۱۹- میزان افزایش هزینه‌ها در حالت استفاده از جداساز LRB به جای نئوپرن به میلیون تومان ۹۴
نمودار ۶-۲۰- مقادیر حداکثر جابجایی‌های طولی عرشه بر حسب سانتی‌متر ۹۷
نمودار ۶-۲۱- برش عرضی پایه برحسب تن ۹۸
نمودار ۶-۲۲- برش طولی پایه برحسب تن ۹۹
نمودار ۶-۲۳- حداکثر شتاب افقی عرشه بر حسب متر بر مجذور ثانیه ۱۰۰
نمودار ۶-۲۴- مقادیر لنگرهای پای ستون در پل چهارم بر حسب تن متر ۱۰۰
نمودار ۶-۲۵- مقادیر لنگرهای پای ستون در پل ششم بر حسب تن متر ۱۰۱
نمودار ۶-۲۶- مقادیر نیروی محوری ستون‌ها بر حسب تن ۱۰۱

دانشگاه بوعلی سینا

فصل اول:

مقدمه

مقدمه

از نظر تاریخی پل‌های بزرگراهی پیشرفته در دهه ۳۰ میلادی برای اولین بار ساخته شدند، و ساخت این پل‌ها در دهه ۸۰ به اوج خود رسید. زلزله‌های گذشته، از جمله زلزله سانفرناندو[1] (۱۹۷۱)، نورث‌ریج[2] (۱۹۹۴) و کوبه[3] (۱۹۹۵) به خوبی نشان دادند که پل‌های طرح شده در برابر زلزله‌های متوسط و بزرگ آسیب‌پذیر هستند [۱۸].

تا آن زمان طراحی پل‌ها بر اساس معیار افزایش مقاومت یا افزایش ظرفیت جذب انرژی (شکل‌پذیری) اجزای آن بوده است. ولی تخریب عرشه‌ها و فرو ریزش آن و انهدام پایه‌ها به خوبی ثابت کرد که این معیار به تنهایی جهت تضمین ایمنی پل‌ها و عملکرد مناسب آنها در هنگام زلزله کفایت نمی‌کند.

از طرفی دیگر این فلسفه طراحی بر پایه عدم فروپاشی پل استوار است. یعنی وقوع یک زلزله متوسط یا کوچک ممکن است موجب فروپاشی کل پل نشود ولی خسارت‌های قابل توجهی به پل وارد می‌آورد.

برای کاهش این خسارت‌های وارده به پل‌ها مطالعات زیادی صورت گرفته است و راه حل‌های مختلفی ارائه گردیده است و جداسازی لرزه‌ای به عنوان یکی از راه‌حل‌ها ارائه گردیده است.

بخش اعظم وزن سازه پل‌ها در روسازه (عرشه) آن است. جداسازی لرزه‌ای باعث کاهش انتقال ارتعاشات از زمین به روسازه شده و در نتیجه عمدتاً سازه در محدوده ارتجاعی باقی می‌ماند. به عبارت دیگر اعضاء در محدوده ظرفیت الاستیک خود عمل می‌کنند.

[1] San Bernardino
[2] Northridge
[3] kube

۱-۱- طرح مسأله

در پل‌ها به علت بزرگ بودن تغییر شکل‌ها و دوران‌های عرشه، برای ایجاد اتصال مفصلی از دستگاه‌های تکیه‌گاهی استفاده می‌شود. این دستگاه‌ها علاوه بر تحمل عکس‌العمل‌های وارده، امکان تغییر مکان و دوران روسازه را نیز فراهم می‌کنند [۲۳].

دستگاه‌های تکیه‌گاهی از دیدگاه‌های مختلفی قابل تقسیم‌بندی می‌باشند. این تکیه‌گاه‌ها از نظر جنس به سه گروه بتنی، فلزی و الاستومری تقسیم می‌شوند، که از این میان نوعی از تکیه‌گاه الاستومری موسوم به LRB موضوع مورد بحث این تحقیق می‌باشد.

۱-۲- هدف از تحقیق

تکیه‌گاه‌های الاستومری از سال ۱۹۵۰ در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند و برای اولین بار در سال ۱۸۵۸ در یک پل راه‌آهن در استرالیا به کار رفته‌اند. در سال‌های اخیر در کشور ما استفاده از تکیه‌گاه‌های الاستومری در پل‌ها رواج پیدا کرده است و همین امر لزوم به انجام مطالعات بیشتر در زمینه اثر این جداسازها بر روی عملکرد لرزه‌ای پل‌ها را به اثبات می‌رساند.

تا کنون مطالعات بسیاری در زمینه عملکرد لرزه‌ای جداسازهای لرزه‌ای انجام گرفته است. و تقریباً تمامی این مطالعات حاکی از اثر مطلوب جداسازی بر عملکرد لرزه‌ای پل‌ها دارند. ولی تحقیقات اندکی در مورد توجیه اقتصادی استفاده از این سیستم در پل ها وجود دارد که از آنها نظرات مختلفی برمی‌آید. لذا در این تحقیق ضمن بررسی تأثیر جداساز لرزه‌ای LRB روی عملکرد لرزه‌ای پل‌ها، جداسازی از دیدگاه توجیه اقتصادی بررسی می‌گردد.

۱-۳- چکیده مطالب فصل‌ها

در این پایان‌نامه به بررسی سیستم جداساز لرزه‌ای LRB در بهبود رفتار پل‌ها در برابر زلزله به همراه بررسی اقتصادی آن پرداخته می‌شود. چکیده مطالب فصل‌ها به شرح زیر می‌باشد:

در فصل دوم به مفهوم و مکانیزم جداسازی لرزه‌ای در پل ها و همچنین معرفی انواع تکیه‌گاه‌های الاستومری و تشریح ساختار آن‌ها و همچنین عملکرد تحت اثر بارهای مختلف پرداخته می‌شود.

در فصل سوم، خواص مکانیکی و طراحی جداسازهای لرزه‌ای بررسی خواهد شد.

در فصل چهارم، خلاصه‌ای از راهنمای جداسازی لرزه‌ای آیین‌نامه آشتو که ضوابط طراحی بر اساس جداسازی لرزه‌ای را توضیح می‌دهد، ارائه می‌شود.

در فصل پنجم، به طور کلی کلیه پارامترهایی که در آنالیز دینامیکی استفاده شده‌اند، معرفی خواهند شد. همچنین طرح مسأله ومدل‌سازی کامپیوتری و فرضیات در نظر گرفته شده در این بخش ارائه خواهند شد.

در فصل ششم، نتایج آنالیزهای انجام شده به همراه تفسیر نتایج ارائه خواهند شد.

در فصل هفتم، جمع‌بندی و خلاصه نتیجه‌گیری به علاوه پیشنهادات برای کارهای تحقیقاتی آینده ارائه می‌گردد.

دانشگاه بوعلی سینا

فصل دوم:

گذری بر انواع تکیه‌گاه‌های الاستومر

۲-۱- مفهوم و مکانیزم جداسازی لرزه‌ای[1] پل‌ها

توانایی و مزایای تکیه‌گاه‌های جداگر بعنوان 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 این تکیه‌گاه‌ها می‌توان به نحو موثری در مقاوم‌سازی پل‌های موجود و یا طراحی سازه پل‌های جدید واقع در نواحی لرزه‌خیز بهره برد. هزینه اضافی تکیه‌گاه‌های جداکننده نسبت به تکیه گاه‌های معمولی اغلب با صرفه‌جویی در هزینه مقاوم سازی زیرسازه و یا ساخت پل جبران می‌شود. این صرفه‌جویی به علت کاهش میزان نیروی زلزله به علت استفاده از این تکیه‌گاه‌ها می‌باشد. البته کوشش‌هایی نیز برای ساخت جداکننده‌های لرزه‌ای ارزان قیمت در کشور انجام می‌گیرد که با به ثمر رسیدن آن، هزینه اضافی فوق نیز کاهش یافته و یا از بین خواهد رفت. تکیه‌گاه‌های جداگر مورد استفاده در جداسازی لرزه‌ای پل‌ها معمولاً در زیر عرشه و روی پایه‌ها و کوله‌ها قرار می‌گیرند.

مکانیزم کاهش نیروی زلزله در یک پل دارای تکیه‌گاه‌های جداکننده می‌تواند بوسیله یک یا چند مورد از عوامل زیر بوجود آید:

۱- افزایش پریود اصلی سازه پل (اثر تغییر پریود در طیف پاسخ) در اثر کاهش سختی جانبی پل که نیروها را کاهش داده، ولی تغییر مکان‌ها را افزایش می‌دهد.

۲- افزایش میرایی که تغییر مکان‌ها را کاهش داده و ممکن است نیروها را نیز کاهش دهد. افزایش میرایی می‌تواند در اثر جاری شدن بعضی از اجزاء تکیه‌گاه مانند هسته سربی و یا بوسیله نیروهای اصطکاکی موجود در سطوح لغزش تکیه‌گاه‌ها بوجود آید.

۳- توزیع و پخش نیروهای زلزله در همه تکیه‌گاه‌ها؛ افزایش انعطاف‌پذیری جانبی یک پل، منجر به افزایش تغییر مکان افقی روسازه پل تحت بارهای جانبی می‌شود. به‌کار بردن

[1] Seismic Isolation

تکیه‌گاه‌های جداکننده در پل‌ها، انعطاف‌پذیری جانبی و پریود ارتعاش پل را در هنگام زلزله افزایش می‌دهد که این امر با افزایش تغییر مکان‌های جانبی روسازه پل همراه می‌باشد.

در شرایط بار بهره‌برداری، تغییر مکان روسازه باید در حدود مجاز نگه داشته شود. تکیه‌گاه‌های جداکننده تحت بار زلزله نیز تغییر مکان روسازه نسبت به زیر سازه را کنترل می‌کنند. با افزایش میرایی جداکننده‌ها می‌توان از تغییر مکان زیاد جلوگیری نمود.

شتاب اکثر زلزله‌ها معمولاً دارای زمان تناوب غالبی در حدود ۰/۱ تا ۱ ثانیه می‌باشد و حداکثر شدت آن در محدوده زمان تناوبهای ۰/۲ تا ۰/۶ ثانیه است. بنابراین چون امکان تشدید پاسخ سازه‌هایی که زمان تناوب طبیعی آنها در محدوده ۰/۱ تا ۱ ثانیه است، در مقابل زلزله وجود دارد، این سازه‌ها در محدوده‌های تناوبی فوق آسیب‌پذیرترند.

مهمترین ویژگی جداکننده‌های لرزه‌ای در این است که با انعطاف‌پذیری زیاد خود، زمان تناوب طبیعی سازه را افزایش می‌دهند. این پدیده افزایش زمان تناوب سازه موجب می‌گردد که از عمل تشدید یا از نزدیک شدن به آن اجتناب شود و در نهایت، پاسخ سازه کاهش یابد. اما لایه‌های عمیق خاک نرم می‌تواند فرکانس پایین حرکات زلزله را تشدید نماید. منطقه بستر دریاچه قدیمی در مکزیکوسیتی مثالی از این مورد است. در چنین حالاتی سازه‌های انعطاف‌پذیری که میرایی متوسطی داشته باشند، به جای کاهش پاسخ سازه باعث افزایش آن می‌شوند. در این حالت تمهیدات لازم به منظور افزایش میرایی بعنوان بخشی از سیستم جداکننده لرزه‌ای می‌تواند نقش مهمی در جلوگیری از وقوع رویدادهای غیر قابل پیش‌بینی داشته باشد.

همانطور که گفته‌شد، یکی از خصوصیات مهم تکیه‌گاه‌های جداکننده در پل‌ها قابلیت استهلاک انرژی زلزله می‌باشد. بعنوان مثال در یک تکیه‌گاه لاستیکی استهلاک انرژی بوسیله تغییر شکل پلاستیک هسته سربی انجام می‌شود و در یک تکیه‌گاه از نوع اصطکاکی، انرژی توسط کار نیروهای اصطکاکی موجود بین سطوح لغزشی مستهلک می‌گردد.

در مورد روسازه‌های واقع بر تکیه‌گاه‌های جداکننده، همه تکیه‌گاه‌ها می‌توانند در تحمل و انتقال نیروهای جانبی شرکت کنند. اصلاح توزیع بار جانبی بین تکیه‌گاه‌ها روش مقاوم‌سازی موثری است که می‌تواند با استفاده صحیح از تکیه‌گاه‌های جداکننده بدست آید.

بعضی از سیستم‌های جداسازی رفتار صرفاً نرم شونده دارند و تقریباً رابطه نیرو – تغییر مکان دو خطی از خود نشان می‌دهند، مانند تکیه‌گاه‌های لاستیکی – سربی، تکیه‌گاه‌های پاندول اصطکاکی و یا سیستم‌های دوگانه شامل سطوح لغزش با فنرهای بازگرداننده. برای تحلیل غیر خطی چنین سیستم‌هایی با استفاده از قطعات هیسترزیس (برای هر تکیه‌گاه یک قطعه) می‌توان پاسخ تکیه گاه را در همه محدوده‌های تغییر مکان، با دقت بدست آورد. از نقطه نظر انرژی، المان‌های هیسترزیس برای چنین تکیه‌گاه‌هایی مناسب هستند، زیرا مکانیزم استهلاک انرژی یا مکانیزم ناشی از تسلیم سرب و یا ناشی از اصطکاک کولمب (لغزشی) می‌باشد و به دقت با استهلاک انرژی حاصل از مدل المان دو خطی مطابقت دارد. لکن بعضی از سیستم‌های جداکننده مانند لاستیک با میرایی زیاد، رفتار نرم شونده – سخت شونده دارند. برای چنین سیستم‌هایی، مدل ساده دوخطی رابطه نیرو – تغییر مکان را در محدوده تغییر مکان‌های زیاد به درستی نشان نمی‌دهد. برای تحلیل سیستم جداگر تحت زلزله‌های خیلی قوی، مدل باید رفتار لاستیک را در کرنش‌های بزرگ در نظر بگیرد. تکیه‌گاه‌های الاستومری اگر بطور صحیح و بخوبی طراحی و ساخته شوند در کرنش‌های بزرگ سختی بیشتری از خود نشان می‌دهند که این پدیده ناشی از کریستالیزه شدن کرنشی در لاستیک می‌باشد. اگرچه اکثر پروژه‌های طراحی شده تا امروز فقط با اتکا بر سیستم‌های نرم شونده – سخت شونده بوده است، تمایل به استفاده از زلزله‌های طرح بزرگتر احتمالا" منجر به بهره‌گیری از سیستم‌های نرم‌شونده – سخت‌شونده خواهد شد تا عملکرد قابل قبولی در محدوده‌های گسترده‌تر شدت‌های زلزله فراهم شود. یک سیستم صرفاً نرم شونده که برای زلزله‌های خیلی بزرگ، بهینه طراحی شده باشد، تحت زلزله‌های متوسط معمول، نسبتاً سخت می‌باشد که باعث افزایش شتاب در سطح روسازه