١١٤٠٤

دانشکده فنی
گروه عمران
گرایش سازه

ارزیابی کمی آسیب پذیری لرزه ای پلهای فولادی موجود

از
مهدی ملکی

استاد راهنما
دکتر عطاءالله حاجتی مدارایی

۱۳۸۸/۶/۱۱

استاد مشاور
دکتر جوادرزاقی

بهمن ماه ۱۳۸۷

۱۱۶۰۴۲

تقدیم به دومعلّم عزیزی که وجودم از آنها وبرای آنهاست؛

پدرم ومادرم

تشکروقدردانی

خداوندمتعال راشاکرم که توفیق انجام این تحقیق را به من عطا فرمود.

صمیمانه ترین تشکرات خودرا نسبت به استادان گرانقدرآقایان دکتر مدارایی و دکتر رزاقی که با حمایتها وراهنماییهای مشفقانه وعالمانه خود درطی انجام تحقیق، به واقع راهنمای من بودند ابراز می دارم.

استادان ارجمند آقایان دکتر رنجبر ودکترصالح جلالی زحمت مطالعه وداوری این پایان نامه را تقبل فرمودند ، ازتوجه وعنایت آنها تشکر می کنم .

ازدوستان عزیزم محمود بیات وجوادپاینده به خاطرکمکهای ارزنده شان متشکرم.

ازخانواده عزیزم به خاطر تشویق ها وحمایت های همه جانبه سپاسگزاری می کنم .

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده فارسی ..... س

چکیده انگلیسی ..... ش

فصل اول- پیش گفتار

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ضرورت تحقیق و اهداف آن ۲

۱-۳- ساختارپایان نامه ۵

فصل دوم- کلیات و تاریخچه آسیب‌های وارده به پل‌ها در زلزله‌های گذشته

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- نقاط ضعف آیین‌نامه‌های طرح لرزه‌ای پل‌ها ۸

۲-۳- تاریخچه آسیب‌دیدگی پل‌ها طی زلزله‌های گذشته ۱۰

۲-۳-۱- تغییر مکان‌های لرزه‌ای ۱۰

۲-۳-۱-۱- افتادن و شکست عرشه‌ها به سبب از دست رفتن سطح اتکا ۱۰

۲-۳-۱-۲- تشدید تغییر مکان‌ها به سبب تأثیرات خاک در ساختگاه ۱۱

۲-۳-۱-۳- کوبیده شدن قسمت‌های سازه‌ای پل به یکدیگر ۱۳

۲-۳-۱-٤- مقید کننده‌های مفصل‌ها ۱۳

۲-۳-۲- آسیب‌دیدگی پایه‌های کناری (کوله‌ها) ۱٤

۲-۳-۳- آسیب‌های وارده به روسازه‌ها ۱٦

۲-۳-٤- آسیب‌دیدگی نشیمن‌گاه‌ها ۱۷

۲-۳-۵- بررسی رفتار لرزه‌ای پایه‌های پل ۱۹

۲-۳-۵-۱- کلیات ۱۹

۲-۳-۵-۲- پایه‌های بتن مسلح ۲۱

۲-۳-۵-۳-پایه‌های فولادی ۲٦

۲-۳-۵-٤- اندرکنش بین پایه‌های بتنی مسلح و فولادی ۳۰

۲-۳-٦- شکست شاهتیرها و تیرهای سرستون ۳۲

۲-۳-۷- شکست اتصالات ۳۳

۲-۳-۸- شکست فونداسیون‌ها ۳۳

۲-۳- ۹- آسیب‌های وارده به دال‌های دسترسی یا پیش‌دال‌ها ۳۵

۲-۳-۱۰- خرابی‌های قابل قبول از نظر AASHTO ۳٦

۲-۳-۱۱- خرابی‌های غیرقابل قبول از نظر AASHTO ۳٦

۲-۳-۱۲-برخی از عملکردهای مطلوب پل‌ها در زلزله‌های گذشته ۳۷

۲-۳-۱۳- اثرات تخریبی زلزله بر پل‌ها در ایران ۳۸

۲-۴- بررسی پژوهش‌های گذشته در زمینه اثر زلزله بر پل‌ها ٤۰

۲-۵- تحقیقات انجام شده در ایران ٤٤
۲-۵-۱- در زمنه اثر زلزله بر پل‌ها و تحلیل دینامیکی آنها ٤٤
۲-۵-۲- در زمینه بررسی آسیب‌پذیری پلها ٤٥
۲-٦- خلاصه فصل ٤٥
فصل سوم- روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای پل‌ها به روش کمی و مبانی نظری آنها
۳-۱- مقدمه ٤٧
۳-۲- حالات حدی طراحی و ارزیابی سازه ٤٧
۳-۲-۱- مقدمه ٤٧
۳-۲-۲- حالات حدی اعضا ٤٧
۳-۲-۳- حالات حدی سازه ٤٧
۳-۲-۳-۱- حالات حدی بهره‌برداری ٤٧
۳-۲-۳-۲- حالات حدی کنترل آسیب ٤٨
۳-۲-۳-۳- حالات حدی بقا ٤٨
۳-۳- مفاهیم آسیب‌پذیری لرزه‌ای ٤٨
۳-۳-۱- آسیب‌پذیری چیست؟ ٤٨
۳-۳-۲- نظریه آسیب‌پذیری سازه‌ای ٤٩
۳-۳-۳- ارزیابی آسیب‌پذیری ٥٠
۳-۳-٤- تفاوت میان ریسک و آسیب‌پذیری ٥٠
۳-٤- انواع روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری ٥١
۳-٤-۱- روش‌های طبقه‌بندی ٥٢
۳-٤-۲- روش‌های بازرسی و امتیازدهی ٥٢
۳-٤-۳- روش‌های نظری ارزیابی آسیب‌پذیری ٥٣
۳-٤-٤- روش‌های آزمایشگاهی ارزیابی آسیب‌پذیری ٥٤
۳-۵- تشریح روش‌های تحلیلی (نظری) ارزیابی آسیب‌پذیری ٥٤
۳-۵-۱- حرکات وارده به سازه ٥٥
۳-۵-۲- مدل‌های مکانیکی ٥٥
۳-۵-۳- شاخص‌های آسیب ٥٦
۳-۵-٤- رابطه بین شاخص آسیب و زیان وارده ٥٧
۳-٦- شاخص‌های آسیب مورد استفاده در ارزیابی نظری آسیب‌پذیری ٥٩
۳-٦-۱- مفاهیم پایه مورد استفاده در شاخص آسیب ٥٩
۳-٦-۱-۱- محاسبه شاخص آسیب سازه‌ای ٦٠
۳-٦-۱-۲- محاسبه مقادیر تجمعی پارامتر آسیب ٦١
۳-٦-۲- شاخص‌های آسیب موضعی ٦٣
۳-٦-۲-۱- شاخص‌های غیرتجمعی ٦٣
۳-٦-۲-۲- شاخص‌های تجمعی ٦٦

۳-٦-۲-۳- شاخص‌های آسیب ترکیبی ٦۹
۳-٦-۳- شاخص‌های آسیب کلی ۷۰
۳-٦-۳-۱- شاخص‌های کلی به دست آمده از میانگین‌گیری وزن‌دار ۷۰
۳-٦-۳-۲- شاخص‌های کلی به دست آمده از پارامترهای مودی ۷۱
۳-٦-٤- نرخ آسیب‌پذیری لرزه‌ای پل از دیدگاه FHWA-95 ..... ۷۱
۳-۷- ارزیابی کمی آسیب‌پذیری لرزه‌ای پل‌های دال و تیر ۷۱
۳-۷-۱- مقدمه ۷۱
۳-۷-۲- متدولوژی- نظریه اولیه ۷۲
۳-۷-۳- شاخص پهنای نشیمن‌گاه ۷۳
۳-۷-۳-۱- پل‌های تک‌دهانه با تکیه‌گاه‌های ساده و پل‌های چند دهانه پیوسته ۷۳
۳-۷-۳-۲- پل‌های چند دهانه باتکیه‌گاه‌های ساده ۷۵
۳-۷-٤- شاخص آسیب نشیمن‌گاه ۷۵
۳-۷-٤-۱- پل‌های تک دهانه با تکیه‌گاه‌های ساده و پل‌های چند دهانه پیوسته ۷۵
۳-۷-٤-۲- پل‌های چند دهانه با تکیه‌گاه‌های ساده ۷٦
۳-۷-۵- شاخص آسیب ستون ۷۷
۳-۷-۵-۱- پل‌های سرتاسری (پیوسته) ۷۸
۳-۷-۵-۲- پل‌های چند دهانه با تکیه‌گاه‌های ساده ۷۸
۳-۷-٦- شاخص آسیب کلی سازه ۷۹
۳-۷-٦-۱- پل‌های تک دهانه با تکیه‌گاه‌های ساده ۷۹
۳-۷-٦-۲- پل‌های سرتاسری ۸۰
۳-۷-٦-۳- پل‌های چند دهانه با تکیه‌گاه‌های ساده ۸۰
۳-۷-۷- روش ساده‌سازی شده دیگر جهت تعیین شاخص آسیب کلی ۸۰
۳-۷-۸- شاخص طبقه‌بندی یا غربال ۸۱
۳-۸- روش ارزیابی تفصیلی مطابق با FHWA-95 ..... ۸۲
۳-۸-۱- جمع‌آوری اطلاعات در خصوص پل موردنظر ۸۳
۳-۸-۲- بازرسی محلی ۸٤
۳-۸-۳- ارزیابی کمی اجزای پل ۸٤
۳-۹- خلاصه فصل ۸٦

فصل چهارم- معرفی پل مورد مطالعه و مدل‌سازی توسط نرم افزار

٤-۱- مقدمه ۸۸
٤-۲-طرح مطالعات ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی پل‌های شهر تهران ۸۸
٤-۳- معرفی پل حافظ- طالقانی و ضرورت انجام مطالعه موردی ۸۹
٤-۳-۱- مقدمه ۸۹
٤-۳-۲- مصالح به کار رفته در ساخت پل ۹٦
٤-۳-۳- سیستم عرشه (تابلیه) پل ۹٦

٤-٣-٤- سیستم پایه‌ها، تیر سرستون ٩٧
٤-٣-٥- اتصالات ١٠٠
٤-٣-٦- بالشتک‌های الاستومری ١٠٠
٤-٣-٧- فونداسیون‌ها و مشخصات ژئوتکنیکی ١٠٠
٤-٣-٨- مشاهدات کیفی و بررسی‌های میدانی ١٠١
٤-٤- مدل‌سازی پایه های پل مورد مطالعه ١٠٢
٤-٤-١- مقدمه ١٠٢
٤-٤-٢- مبانی مدل‌سازی سازه‌ای ١٠٢
٤-٤-٢-١- کلیات ١٠٢
٤-٤-٢-٢- انتخاب زوش مدل‌سازی تحلیلی ١٠٣
٤-٤-٢-٢-١- مدل‌های با پارامترهای متمرکز ١٠٥
٤-٤-٢-٢-٢- مدل‌های اجزای سازه‌ای ١٠٥
٤-٤-٢-٢-٣- مدل‌های عناصر محدود ١٠٥
٤-٤-٢-٣- هندسه سازه ١٠٧
٤-٤-٢-٤- مدلسازی شرایط تکیه گاهی ١٠٩
٤-٤-٢-٥- شبیه‌سازی مصالح سازه ١١٠
٤-٤-٢-٥-١- مقدمه ١١٠
٤-٤-٢-٥-٢- مدل‌های هیسترزیس ساده ١١٠
٤-٤-٢-٥-٣- مدل‌های هیسترزیس کاهش‌یابنده ١١٢
٤-٤-٣- نرم‌افزار مورد استفاده در تحقیق ١١٣
٤-٤-٤- تحلیل‌های انجام شده در خصوص مدل های ساخته شده ١١٥
٤-٤-٥- تشریح جزئیات مدل‌سازی سازه ١١٥
٤-٤-٥-١- مدل مصالح ١١٥
٤-٤-٥-٢- مدل‌سازی پایه‌ها ١١٧
٤-٤-٦- مدلسازی عرشه اورتوتروپیک جهت بررسی شاخص های آسیب نشیمن گاه ١١٨
٤-٤-٦-١- معرفی عرشه اورتوتروپیک ١١٨
٤-٤-٦-٢- عرشه پل مورد مطالعه وتهیه مدل مناسب ١٢٠
٤-٤-٦-٣- مدلسازی تیرهای عرضی ١٢١
٤-٤-٦-٤- مدلسازی تکیه گاه های الاستومری ١٢١
٤-٤-٦-٤-١- تعیین سختی محوری الاستومر ١٢٢
٤-٤-٦-٤-٢- تعیین سختی برشی الاستومر ١٢٢
٤-٤-٦-٤-٣- تخمین ظرفیت برشی تکیه گاه الاستومری ١٢٣
٤-٤-٦-٥- مدلسازی کوله ١٢٣
٤-٤-٧- معرفی بارهای وارده به سازه ١٢٤
٤-٤-٧-١- مقدمه ١٢٤

٤-٤-٧-٢- بارهای بهره‌برداری ١٢٥
٤-٤-٧-٣- بارهای ناشی از زمین‌لرزه ١٢٥
٤-٤-٧-٤- بارهای متفرقه ١٢٥
٤-٥- خلاصه فصل ١٢٥
فصل پنجم- تشریح تحلیل‌های انجام شده و مبانی نظری آنها
٥-١- مقدمه ١٢٨
٥-٢- تحلیل ارتعاش آزاد و تعیین ویژگی‌های ارتعاشی سازه ١٢٨
٥-٢-١- مقدمه ١٢٨
٥-٢-٢- روش عددی به کار رفته جهت آنالیز مودال ١٢٨
٥-٢-٣- نتایج و پس‌پردازش اطلاعات خروجی ١٢٩
٥-٣- انجام تحلیل غیرخطی استاتیکی تحت تغییرمکان جانبی یکنوا روی پایه‌ها ١٣٢
٥-٣-١- مقدمه ١٣٢
٥-٣-٢- جزئیات انجام تحلیل ١٣٣
٥-٤- انجام تحلیل‌استاتیکی برروی مدل کلی پل مورد مطالعه ١٣٧
٥-٥- انجام تحلیل‌های غیرخطی دینامیکی (تاریخچه زمانی) ١٣٩
٥-٥-١- مقدمه ١٣٩
٥-٥-٢- مبانی روش‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی ١٤٠
٥-٥-٢-١- معادلات تعادل دینامیکی ١٤١
٥-٥-٢-٢- روش‌های انتگرال‌گیری مستقیم و ویژگی‌های آنها ١٤٢
٥-٥-٢-٣- روش Newmark-β ١٤٥
٥-٥-٣- ماتریس میرایی ١٤٧
٥-٥-٤- شتابنگاشت‌های مورد استفاده در تحلیل دینامیکی ١٥٠
٥-٦- خلاصه فصل ١٥٤
فصل ششم- نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، مقایسه آنها و ارزیابی کمی آسیب‌پذیری
٦-١- مقدمه ١٥٦
٦-٢- تحلیل حساسیت سازه به نسبت میرایی ١٥٦
٦-٣- نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی ١٥٨
٦-٣-١- تاریخچه زمانی تغییر مکان جانبی و برش پایه پایه ها ١٥٨
٦-٣-٢- رفتار هیسترزیس جانبی پایه های پل ١٦٥
٦-٣-٣- رفتار پایه‌ها، پایداری لرزه‌ای آنها و تأثیر مؤلفه قائم زلزله ١٧١
٦-٣-٤- رفتار لرزه‌ای پل موردمطالعه و عملکرد نشیمن‌گاه‌ها ١٧٤
٦-٤- ارزیابی آسیب‌پذیری به طریقه کمی و ارائه شاخص‌های آسیب ١٧٧
٦-٤-١- محاسبه شاخص‌های آسیب ١٧٧
٦-٤-١-١- شاخص تقاضای شکل‌پذیری تغییر مکانی ١٧٧
٦-٤-١-٢- شاخص آسیب ترکیبی Park & Ang ١٧٩

٦-٤-١-٣- شاخص پهنای نشیمن گاه ١٨١
٦-٤-١-٤- شاخص آسیب نشیمن گاه ١٨١
٦-٦- خلاصه فصل ١٨٢
فصل هفتم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات
٧-١- مقدمه ١٨٤
٧-٢- جمع‌بندی نتایج ١٨٤
٧-٢-١- تشریح اهم عناوین در خصوص آسیب‌پذیری لرزه‌ای ١٨٤
٧-٢-١-١- کمبود شکل‌پذیری پایه های میانی سازه ١٨٤
٧-٢-١-٢- تفاوت خرابی درپایه های پل ١٨٥
٧-٢-١-٣- آسیب‌دیدگی دستگاه‌های تکیه‌گاهی و مسلح نبودن نئوپرن‌ها ١٨٥
٧-٢-١-٤- آسیب‌دیدگی رویه آسفالتی و افزایش بارهای مرده ١٨٥
٧-٢-١-٥- اتمام عمر خستگی و لزوم بازرسی‌های دقیق جهت بررسی ترک‌ها ١٨٥
٧-٢-١-٦- آسیب‌دیدگی پایه‌های کناری و ناتوانی در تأمین صلبیت طولی ١٨٦
٧-٢-١-٧- الگوی مشابه آسیب‌دیدگی پل مورد مطالعه با چندین پل فلزی دیگر ١٨٦
٧-٣- رئوس کارهای تحقیقاتی آینده ١٨٦
٧-٣-١- مقدمه ١٨٦
٧-٣-٢- پیشنهادات برای تحقیقات آتی ١٨٦
مراجع ١٨٩

فهرست شکلها

فصل دوم- کلیات و تاریخچه آسیب‌های وارده به پل‌ها در زلزله‌های گذشته صفحه

شکل۲-۱- نمایش لنگرهای ارتجاعی درقاب ۹
شکل۲-۲- نمایش نحوه فروافتادگی دهانه‌های مورب ۱۱
شکل۲-۳- افتادگی یکی از عرشه‌های پل Nishinomiya-ko در کوبه به علت عدم کفایت نشیمن‌گاه ۱۲
شکل۲-٤- فروافتادگی زیرگذر مورب Gavin Canyon در زمین‌لرزه Northridge ۱۲
شکل۲-۵- قطع شدن اتصال دیافراگم به شاهتیر فولادی قاب ۳۵۱ بزرگراه Hanshin ۱۲
شکل۲-٦- فروریزش تمامی ۱۷ قاب از پل Hagashi-Nada از مسیر شماره ۳ بزرگراه Hanshin ۱۳
شکل۲-۷- تخریب سیستم تکیه‌گاهی شمعی کوله در اثر دوران ناشی از زلزله ۱۵
شکل۲-۸- تخریب کوله به علت روانگرایی ۱٦
شکل۲-۹- کمانش مهاربندی‌های روسازه فولادی پایه ۲۰۹ از بزرگراه Hanshin در کوبه ۱۷
شکل۲-۱۰- تکیه‌گاه فلزی که در زلزله کوبه منجر به جابجایی و لهشدگی شاهتیر فولادی شده است ۱۸
شکل۲-۱۱- تخریب نشیمن‌گاه پل Nishinomiya-ko در زمین‌لرزه کوبه ۱۸
شکل۲-۱۲- مدل‌های تحلیلی پل‌های مستقیم، مورب و خمیده ارائه شده توسط Watanabe و همکاران ۱۹
شکل۲-۱۳- نمودار اندرکنش نیروی محوری و لنگرخمشی ستون ۲۰
شکل۲-۱٤- شکست ستون‌های تقاطع پنج مسیر ۲۱۰ در زمین‌لرزه San Fernando ۲۱
شکل۲-۱۵- تخریب کامل و غیرشکل‌پذیر زیرسازه بتن مسلح نگهدارنده روسازه فولادی درکوبه ۲۲
شکل۲-۱٦- برشی درمیانه یکی از پایه‌های بتن مسلح نگهدارنده روسازه فولادی در بزرگراه Hanshin ۲۳
شکل۲-۱۷- شکست ستون‌های پل عبوری از کانال Bull Creek Canyon در بالاتراز نقطه مورد انتظار ۲٤
شکل۲-۱۸- شکست یکی از ستون‌های پل مسیر ۱۱۸ زیرگذر Mission-Gothic درزلزله Northridge ۲٤
شکل۲-۱۹- شکست ستون به علت ضعف در محصورشدگی بتن ۲٦
شکل۲-۲۰- وقوع شکست کلی درستون جعبه‌ای فولادی – کوبه ۲٦
شکل۲-۲۱- نمای نزدیک از ستون فروریخته- کوبه ۲۷
شکل۲-۲۲- شکست درز جوش درستون مجاور ستون فروریخته- کوبه ۲۷
شکل۲-۲۳- وقوع کمانش پافیلی در پای پایه جدارنازک مدورفولادی ۲۸
شکل۲-۲٤- سازکار کمانش پافیلی در پایه‌های مدور جدار نازک فولادی ۲۸
شکل۲-۲۵- وقوع ترک ترد در اتصال تیر به ستون یک پایه از نوع قابی ۲۹
شکل۲-۲٦- وقوع ترک ترد در یک قاب پرتال یک ستون فولادی ساخته شده در ژاپن ۳۰
شکل۲-۲۷- مدل سیستم پل پیوسته متشکل از پایه‌های فولادی و بتن مسلح ۳۱
شکل۲-۲۸- مقایسه پاسخ پایه های فولادی و بتن مسلح ۳۱
شکل۲-۲۹- اثر سختی شاهتیرها روی پاسخ پایه‌های فولادی و بتنی مسلح ۳۱
شکل۲-۳۰- اندرکنش پایه‌های مجاور پل مورد نظر ۳۲
شکل۲-۳۱- آسیب وارده به درز اجرایی و تیرسرستون در پل بزرگراه ۱۳۵ Tehuacan ۳۲
شکل۲-۳۲- فروریزش پل Cypress در زمین‌لرزه Loma Prieta ۳۳
شکل۲-۳۳- مودهای خرابی پی‌های گسترده و شمعی پل‌ها ۳۵

شکل۲-۳٤- جزئیات اجرایی پیش دال یادال دسترسی ۳٦
شکل۲-۳۵- تغییرمکان قابل ملاحظه پایین ستون پل بالا بالا در زلزله منجیل ۳۹
شکل۲-۳٦- نمودار کلی فرآیند مقاوم سازی لرزه ای برای پل‌ها ٤۲
شکل۲-۳۷- نیروهای وارده به نشیمن‌گاه ها ناشی از بارگذاری عرضی ٤۲
فصل سوم- روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای پل‌ها به روش کمی و مبانی نظری آنها
شکل۳-۱- مدل‌های یک درجه آزادی مورد استفاده توسط Bruneau و Dicleli برای ارزیابی رفتار لرزه‌ای ... ٥٦
شکل۳-۲- تأثیر توان m در رابطه ۳-۳ برنرخ تغییرات شاخص آسیب نسبت به پارامتر آسیب ٦۱
شکل۳-۳- روش‌های مختلف تعیین نقطه تسلیم درسازه‌هایی که نقطه تسلیم مشخصی ندارند ٦٤
شکل۳-٤- تعریف تنزل پیشنهاد شده توسط Banon و همکاران ٦٥
شکل۳-۵- برشی رابطه بین تعداد سیکل‌های بارگذاری و شکل‌پذیری ٦۸
شکل۳-٦- نشیمن گاه های لغزشی ثابت ۷۲
شکل۳-۷- تغییرمکان لغزشی برحسب شتاب حداکثر زمین (g٪) به عنوان تابعی از مقادیر مختلف ψ ۷٤
شکل۳-۸- روش ارزیابی کلی یک پل جهت انجام مقاوم سازی ۸۳
فصل چهارم- معرفی پل مورد مطالعه و مدل‌سازی پایه های آن
شکل٤-۱- برخی ازپل های فلزی ساخت شرکت نوبلزپیلمن درشهرتهران ۸۹
شکل٤-۲- موقعیت پل مورد بررسی دراین تحقیق ۹۰
شکل٤-۳- پلان پل حافظ- طالقانی ۹۲
شکل٤-٤- برش طولی ونمایش ارتفاع پایه ها درپل حافظ- طالقانی ۹۲
شکل٤-۵- نمای جنوبی پل ۹۳
شکل٤-٦- سیستم دال ارتوتروپیک عرشه ۹۳
شکل٤-۷- نمایی ازپایه های پل ۹۳
شکل٤-۸- اتصال پایه به کف ستون ۹٤
شکل٤-۹- دیواره انتهایی (کوله) ۹٤
شکل٤-۱۰- نحوه اتکای شاهتیرها روی تیرسرستون ۹٤
شکل٤-۱۱- اتصال تیرسرستون به پایه ۹۵
شکل٤-۱۲- برش شاهتیر به صورت ذوزنقه وعبورتیرهای عرضی ۹۵
شکل٤-۱۳- اتصال پیچی شاهتیرها درمیانه دهانه ها ۹۵
شکل٤-۱٤- بالشتک های الاستومری که دچار مشکل می باشند ۹٦
شکل٤-۱۵- نمای ایزومتریک عرشه ۹۷
شکل٤-۱٦- جزییات وضعیت موجودپایه شماره ۱ ..... ۹۸
شکل٤-۱۷- جزییات وضعیت موجودپایه شماره ۳ ..... ۹۹
شکل٤-۱۸- روند تحلیل لرزه ای اجزای پل به منظورطراحی یا ارزیابی آسیب پذیری ۱۰٤
شکل٤-۱۹- تشریح مراحل سعی وخطا درتحلیل سازه اجزای پلها ۱۰۵
شکل ٤-۲۰ – المان های سازه ای مناسب برای مدلسازی اجزای مختلف سازه پل ها ۱۰۷
شکل٤-۲۱- مشخصات ابعادی مدلهای موردمطالعه ۱۰۸

شکل٤-٢٢- مدل سازی یکی از پایه های میانی ١٠٩
شکل٤-٢٣- جزئیات مدلسازی پایه‌ها ١٠٩
شکل٤-٢٤- خصوصیات مدل های هیستریزیس ساده ١١١
شکل٤-٢٥- خصوصیات مدل های هیستریزیس کاهش یابنده ١١٣
شکل٤-٢٦- دوقانون سخت شوندگی مصالح در ANSYS ١١٦
شکل ٤-٢٧ - الف- درنظرگرفتن اثربوشینگر ب- سطح تسلیم دردوحالت دوبعدی وسه بعدی..... ١١٦
شکل ٤- ٢٨ – منحنی تنش – کرنش دوخطی مصالح مربوط به فولاد (ST-52) ١١٧
شکل ٤-٢٩- المان *Shell 181* ١١٧
شکل٤-٣٠- سیستم یک عبورگاه چهارعنصری معمول درپل ها ١١٩
شکل ٤-٣١ – سیستم دال ارتوتروپیک : الف – مقطع نرم پیچشی ، ب- مقطع سخت پیچشی..... ١١٩
شکل٤-٣٢- سیستم عرشه ارتوتروپیک به کاررفته درپل موردمطالعه ١٢٠
شکل٤-٣٣- مدلسازی عرشه مورد مطالعه..... ١٢٠
شکل٤-٣٤- نمایش مدلسازی تیرهای عرضی..... ١٢١
شکل٤-٣٥- مدل رفتاری المان COMBIN ١٢٢
شکل٤-٣٦- نمای کلی ازمدلسازی انجام گرفته ١٢٤

فصل پنجم- تشریح تحلیل‌های انجام شده و مبانی نظری آنها

شکل٥-١- نمایش شکل مودهای ارتعاشی مدل شماره ١ به دست آمده ازتحلیل ارتعاش آزاد ١٣٠
شکل٥-٢- مقایسه درصد مشارکت تجمعی مودهای ارتعاشی درسه جهت ZوX,Y..... ١٣٢
شکل٥-٣- نمودارهای برش پایه- تغییرمکان درپایه ها ١٣٣
شکل٥-٤- کانتورهای تنش مدل شماره ٣..... ١٣٥
شکل٥-٥- کانتورهای تنش مدل شماره ٢..... ١٣٦
شکل٥-٦- کانتورهای تنش مدل شماره ١..... ١٣٧
شکل٥-٧- نمایش بارهای زنده به صورت گسترده یکنواخت..... ١٣٨
شکل٥-٨- نمودارلنگرخمشی شاهتیرها..... ١٣٨
شکل٥-٩- ترسیم خیز شاهتیرها..... ١٣٨
شکل٥-١٠- نمایش بیشینه دوران شاهتیرها..... ١٣٩
شکل٥-١١- پایداری ودقت انواع روش های انتگرال گیری مستقیم..... ١٤٣
شکل٥-١٢- درصدافزایش دوره تناوب وکاهش دامنه برای سه روش عددی..... ١٤٤
شکل٥-١٣- روش تکرار نیوتن- رافسون وخطای ناشی ازآن..... ١٤٥
شکل٥-١٤- میرایی ریلی ومحدوده صحت فرض مساوی بودن مجموع میرایی های αو β ١٤٩
شکل ٥- ١٥- شتابنگاشت زمین لرزه Imperial Valley درElcentro ی کالیفرنیا - ١٩٤٠ میلادی ١٥١
شکل ٥- ١٦- شتابنگاشت زمین لرزه طبس - ١٣٥٧ شمسی ١٥٢
شکل ٥- ١٧- شتابنگاشت زمین لرزه منجیل - ١٣٦٩ شمسی ١٥٣

فصل ششم- نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، مقایسه آنها و ارزیابی کمی آسیب‌پذیری

شکل٦-١- مقایسه تغییرمکان بالای پایه شماره ١ برای سه نسبت میرایی ٢،٥ و١٠ درصد ١٥٧

شکل٦-٢- مقایسه برش پایه، پایه شماره ١ برای سه نسبت میرایی ٢، ٥و١٠ درصد ١٥٧
شکل٦-٣- تاریخچه زمانی تغییرمکان عرضی بالای پایه ٣ ..... ١٥٩
شکل٦-٤- تاریخچه زمانی تغییرمکان عرضی بالای پایه ٢ ..... ١٦٠
شکل٦-٥- تاریخچه زمانی تغییرمکان عرضی بالای پایه ١. ..... ١٦١
شکل٦-٦- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پایه ٣..... ١٦٢
شکل٦-٧- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پایه ٢..... ١٦٣
شکل٦-٨- تاریخچه زمانی برش پایه عرضی پایه ١..... ١٦٤
شکل٦-٩- نمودارهای هیسترزیس برش پایه – تغییر مکان عرضی پایه شماره ٣..... ١٦٦
شکل٦-١٠- نمودارهای هیسترزیس برش پایه – تغییر مکان عرضی پایه شماره ١..... ١٦٧
شکل٦-١١- نمودارهای هیسترزیس برش پایه – تغییر مکان عرضی پایه شماره ٢..... ١٦٨
شکل٦-١٢- تاریخچه زمانی انرژی مستهلک شده توسط پایه شماره ٣ و مقادیر انرژی استهلاک یافته ١٦٩
شکل٦-١٣- تاریخچه زمانی انرژی مستهلک شده توسط پایه شماره ٢ و مقادیر انرژی استهلاک یافته ١٧٠
شکل٦-١٤- تاریخچه زمانی نیروی محوری ستون و مقایسه با بار بحرانی پایه شماره ٣..... ١٧٢
شکل٦-١٥- تاریخچه زمانی نیروی محوری ستون و مقایسه با بار بحرانی پایه شماره ٢..... ١٧٣
شکل٦-١٦- تاریخچه زمانی تغییرطول فنرمعادل نشیمن گاه الاستومری پایه شماره ١..... ١٧٥
شکل٦-١٧- تاریخچه دوران تکیه گاهی عرشه درمحل نشیمن گاه روی پایه شماره ١..... ١٧٦
شکل٦-١٨- نمودار میله‌ای مقادیر تقاضای شکل پذیری برای پایه شماره ٣ ..... ١٧٧
شکل٦-١٩- نمودار میله‌ای مقادیر تقاضای شکل پذیری برای پایه شماره ٢..... ١٧٨
شکل٦-٢٠- نمودار میله‌ای مقادیر تقاضای شکل پذیری برای پایه شماره ١..... ١٧٨
شکل٦-٢١- شاخص آسیب Park & Ang برای پایه شماره ٣..... ١٧٩
شکل٦-٢٢- شاخص آسیب Park & Ang برای پایه شماره ٢..... ١٨٠
شکل٦-٢٣- شاخص آسیب Park & Ang برای پایه شماره ١..... ١٨٠
شکل٦-٢٤- نمودارمیله ای شاخص پهنای نشیمن گاه دربحرانی ترین پایه (پایه شماره١) ١٨١
شکل٦-٢٥- نمودارمیله ای شاخص آسیب نشیمن گاه دربحرانی ترین پایه (پایه شماره١)..... ١٨٢

فهرست جدولها

فصل سوم : روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای پل‌ها به روش کمی و مبانی نظری آنها صفحه

جدول ۳ – ۱- اجزایی از پل که نسبت های ظرفیت به تقاضای لرزه ای آنهاباید محاسبه شود..... ۸۵

فصل چهارم : معرفی پل مورد مطالعه و مدل‌سازی پایه های آن

جدول٤ – ۱- ابعاد هندسی مدل های مورد مطالعه..... ۱۰۸

فصل پنجم : تشریح تحلیل‌های انجام شده و مبانی نظری آنها

جدول ٥-۱- **مقادیر مشخصه مدل شماره ۱ مربوط به تحلیل ارتعاش آزاد**..... ۱۳۱

جدول٥-۲- مقادیر تخمینی ضرایب شکل‌پذیری پایه‌ها در پل مورد مطالعه ۱۳٤

چکیده

ارزیابی کمی آسیب پذیری لرزه ای پلهای فولادی موجود

مهدی ملکی

با توجه به وقوع زمین لرزه‌های متعدد و آسیب‌دیدگی سازه‌ها به ویژه شریان‌های حیاتی، به کارگیری انواع روش‌های مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای در چنددهه اخیر توسعه‌ای روزافزون یافته است. آنچه مسلم است قبل از انجام مراحل مقاوم‌سازی، توجّه خاصی را باید به رویه ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه به عنوان فاز مطالعاتی معطوف داشت. در این بین پل‌ها به عنوان سازه‌هایی استراتژیک و مهم که عمدتاً هزینه قابل توجهی را از اعتبارات ملی جهت طراحی و اجرا به خود اختصاص می‌دهند اهمیتی دوچندان دارند. عدم تخریب پل و خارج نشدن از بهره‌برداری پس از یک زمین‌لرزه شدید از بسیاری تلفات جانی و اقتصادی پس از حادثه خواهد کاست. با استفاده از تجربیات زلزله‌های گذشته خصوصاً در ژاپن و ایالات متحده و آسیب‌دیدگی شدید پل‌هایی که قبل از دهه ۱۹۷۰ طرح و ساخته شدند همواره سعی آیین‌نامه‌های طرح لرزه‌ای این بوده است تا با تکیه بر فلسفه‌های جدید طراحی در طرح پل‌های جدید از تخریب و آسیب‌دیدن شدید آنها جلوگیری شود. طی ۳ دهه اخیر روند ایجاد روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ها به طریقه کمی و عددی با به کارگیری ابزار تحلیل، پیشرفتی چشم‌گیر نشان می‌دهد. این روش‌ها در کنار روش‌های کیفی و بازدیدهای بصری وادواری، اطلاعات مفیدی در خصوص تشریح میزان آسیب‌دیدگی و معرفی انواع شاخص‌های آسیب ارائه می‌دهند. هدف از این تحقیق تشریح برخی از این روش‌ها و استفاده از مدل‌های آسیب جهت بررسی قابلیت آسیب‌دیدگی لرزه‌ای پل‌های فولادی در کشور می باشد. پس از معرفی چند تکنیک در تعیین میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌های فولادی، در طی یک مطالعه موردی پل فلزی تقاطع حافظ- طالقانی شهرتهران به طور تفصیلی مورد مطالعه قرار می گیرد. این پل که در اوایل دهه ۱۳۶۰ توسط یک شرکت بلژیکی برای یک دوره موقت ۵ ساله احداث گردید، به علل مختلف تاکنون درحال بهره‌برداری بوده است. پس از انجام بازبینی‌های محلی و مروری بر سایر مطالعات انجام شده، مدل کامپیوتری پایه های پل تهیه شده، طی تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، رفتار لرزه‌ای آنها با چندشتاب نگاشت زلزله با محتوای فرکانسی متفاوت شبیه‌سازی گردید. در مرحله بعد پایه‌های پل موردمطالعه ،مورد ارزیابی تحلیلی قرار گرفتند.نتیجه آن که پل مورد مطالعه در صورت وقوع زلزله هایی با شدّت های بالاعملکرد مطلوب از خود نشان نداده و خروج آن از بهره برداری محتمل است. به علاوه پایه های پل، شکل پذیری کافی را طی زلزله های متوسط و شدید دارا نیستند .

کلید واژه: ارزیابی کمی، آسیب پذیری لرزه ای، پلهای فولادی موجود، شاخص آسیب

Abstract

Quantitative Methods for Seismic Vulnerability Evaluation of Steel Bridges

M. Maleki

In recent years, typical seismic retrofitting methods for rehabilitating and improving the structural behaviour of vulnerable structures to earthquake have been developed extensively. Before defining the retrofitting stages, we must generally evaluate the seismic vulnerability and determine critical components of the structures that especially have located in seismic regions. Generally, the assessment procedures of structures are classified to categories of qualitative and quantitative methods. In 30 last years numerical methods especially finite element procedures for simulating the structures and also the abilities of modern computers in hardware and software parts have developed, therefore quantitative methods have improved. In this study some of these analytical methods are described and used to diagnosis the seismic vulnerability of structural members in steel bridges. As a case study, a typical orthotropic deck bridge with non-reinforced elastomeric bearing pads in Tehran as a seismic area was selected and modeled in detail with ANSYS program. With performing numerous structural analyses such as free vibration, pushover static and several nonlinear dynamic analyses with some scaled earthquake time histories and different frequency contents, it is revealed that when moderate to severe earthquakes occur, the bridge substructure will suffer from damages in some regions such as piers and bearings. Using results of nonlinear time history analyses, several damage indices are calculated and with analytical comparison between the bridge elements, the critical members in the selected bridge are determined. Finally by information obtained from field investigations and results that inferred from quantitative assessment .To sum up, the considered bridge in the case of powerful earthquakes did not show a desired performance and it is possible to exit it from utilization .

Key Word: Quantitative Methods, Seismic Vulnerability Evaluation, Steel Bridges

فصل اول :

پیش گفتار

۱-۱- مقدمه :

با قرارگرفتن ایران در بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا که به عنوان آخرین وجوانترین نواحی کوهزایی جهان شناخته شده است پدیده‌های دگرشکلی به اشکال گوناگون درآن متظاهر می‌گردند. بازشدن دریای سرخ ودرنتیجه حرکت پهنه عربستان به سوی ایران و جابجایی بستر اقیانوس هند در نواحی عمان و حرکت به سوی شمال- شمال خاوری و حرکت دیگرصفحات لیتوسفری پیرامون ایران موجب فراهم آمدن شرایطی گردیده است که هرچندگاه با آزاد شدن انرژی ناشی از تمرکزتنش‌ها درراستای گسل‌های فعّال، شاهد زمین‌لرزه‌های ویرانگردرمیهنمان باشیم. هنوز از فاجعه زمین‌لرزه بم و تلفات چندین هزار نفری آن مدّت مدیدی نمی‌گذرد. با مراجعه به سوابق زلزله‌خیزی ایران چه با آمار زلزله های ثبت شده اخیر و چه ازروی نوشتارهای تاریخی و بررسی‌های باستان شناسی تا چند هزار سال قبل از میلاد مسیح درنقاط مختلف کشورعلاوه برتلفات بیش از ۱۵۰ هزار نفری سده اخیر با تأثیر روانی- اجتماعی و خسارات مالی فراوان حاصل از تخریب شهرهایی چون ری و تهران، تبریز، منجیل، طبس و ... خواهیم رسید. همچنین با مروردادەهای گذشته درمی‌یابیم که هیچ نقطه از این سرزمین مصون از امواج زمین‌لرزه نبوده است. با رشدروزافزون جمعیت وتداوم اجتناب‌ناپذیر این پدیده طبیعی، خطرناشی ازآن افزایش یافته و همه اندیشمندان را درمقابله جدی با آن تردیدی نیست. علاوه بر اثرتخریبی مستقیم زلزله، خطرات القایی متعدد دیگری نیز مانندروانگرایی، رانش و زمین‌لغزه‌ها میهن ما را تهدید می‌نماید [۱].

۱-۲- ضرورت تحقیق واهداف آن :

آثار تخریبی زلزله همیشه فقط به ساختمان‌ها منجر نمی‌شود. پل‌ها نیز به عنوان سازه‌هایی که دراثرزمین‌لرزه مورد تحریک لرزه‌ای قرارمی‌گیرند درمعرض خطر قرار دارند. همانطور که می‌دانیم حفظ راه و راه‌آهن به عنوان شریان‌های حیاتی یک کشور از اهمیت بالایی برخوردار است، به ویژه در بحران‌ها و حوادث غیرمترقبه نظیر زلزله که پل اصلی‌ترین و حساس‌ترین جزء یک راه می‌باشدو بقیه بخش‌ها را نسبت به زلزله آسیب‌پذیر می‌نماید و چنانچه آسیب ببیند جایگزین ساختن آن دراولین روزهای وقوع زلزله کارساده‌ای نیست. علاوه برخسارات مستقیم ناشی ازآسیب‌دیدگی پل‌ها، خسارات غیرمستقیم مالی وجانی که براثرمختل شدن عملکرد این شریان‌ها وارد خواهد شد به مراتب بزرگ‌تر و وسیع‌تر بوده و حتی ممکن است ابعاد فاجعه‌باری به خود بگیرد. در مورد راه‌های ارتباطی، پیش‌بینی این خسارات غیرمستقیم که ناشی از فقدان دسترسی به خدمات اضطراری و مختل شدن عملیات امداد و نجات و اطفاء حریق، به خصوص در ساعات و روزهای اولیه پس از وقوع زلزله و نیزوقفه درسیستم حمل‌ونقل دردرازمدت می‌گردد، چندان مشکل نخواهد بود. به این ترتیب، اهمیت بررسی رفتار لرزه‌ای پل‌ها

به عنوان گلوگاه‌های این شریان‌ها، که در ضمن جزء آسیب‌پذیرترین و درعین حال پرهزینه‌ترین ابنیه فنی راه‌ها هستند به خوبی روشن می‌شود. با توجه به اینکه در طراحی تعداد زیادی از پل‌های موجود، اثرات تخریبی زمین‌لرزه درنظرگرفته نشده است یا اینکه دانش طراحی لرزه‌ای بخصوص در مراحل طراحی مفهومی، در زمان ساخت این پل‌ها ناکافی بوده است، بروز خسارات وسیع در پل‌های موجود بر اثروقوع یک زلزله نسبتاً شدید دور از انتظار نخواهد بود. وقوع شکست و خرابی های متعدد طی زلزله‌های گذشته در سرتاسر جهان نظیر San Fernando (۱۹۷۱)، Loma Prieta (۱۹۸۹) و Northridge (۱۹۹٤) در ایالات متحده و زلزله Hyogoken – Nanbu (۱۹۹۵) در کوبه ژاپن مؤید آسیب‌پذیری این سازه‌ها در برابر زلزله است.

از آنجا که درقرن گذشته زمین‌لرزه‌هایی که در ایران به وقوع پیوسته است اکثراً در محدوده شهرهای بزرگ نبوده است و همچنین از آن سو که پل ها توسط نهادهای دولتی و تحت نظارت بهتری نسبت به ساختمان‌های معمولی طراحی و اجرا می‌گردند خوشبختانه تاکنون شاهد خرابی و آسیب‌دیدگی پل‌های درون‌شهری و برون‌شهری در ایران نبوده‌ایم. اما بررسی این پل‌ها به ویژه در سطح تهران مشخص کرده است در صورت وقوع زمین‌لرزهای نسبتاً شدید، آسیب‌دیدگی این پل‌ها دوراز انتظار نیست.

بر اساس تحقیقات صورت گرفته درمورد آسیب‌پذیری لرزه‌ای درسطح شهرتهران توسط ستاد بحران ٦ پل از پل‌های موجود در پایتخت دراثروقوع چنین زلزله‌هایی فروریخته و ٥ پل دیگر پایداری لازم برای مقاومت با این پدیده طبیعی را ندارند.

با توجه به مطالب فوق، بهسازی رفتار لرزه‌ای پل‌های موجود را می‌توان ازجمله اقدامات بسیارمؤثردرکاهش هزینه‌ها و تلفات ناشی از زلزله درنظرگرفت. مقاوم‌سازی لرزه‌ای شامل دو گام اساسی بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌های موجود و سپس بررسی روش‌های ارتقای رفتار لرزه‌ای می‌باشد. این بررسی‌ها علاوه بر کاربردشان برای مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌ای موجود، با مشخص کردن نقاط ضعف سازه، وسیله مؤثری در جهت افزایش دانش طراحی لرزه‌ای و بهبود کیفیت طراحی و اجرای سازه‌های جدید فراهم می‌آورند.

قبل از اینکه روش‌های مقاوم‌سازی لرزه‌ای را برای یک سازه به کار بریم باید دانست که سازه درکدام قسمت و با چه کیفیتی آسیب‌پذیر است. جهت تشخیص این آسیب‌پذیری نیزروش‌های گوناگونی وجود دارد که در کل به دو دسته روش‌های کیفی و کمی تقسیم‌بندی می‌گردند. در روش‌های کمی که در این تحقیق موردنظر می‌باشند نمونه‌ای از پل‌های انتخاب شده مورد ارزیابی تحلیلی قرارداده می‌شود. روش‌های کمی مختلف برای اجزای پل موردنظر به کار می‌روند و نتایج ارزیابی‌ها با یکدیگر مقایسه می‌گردند. به این ترتیب با توجه به میزان تلاش لازم برای نیل به نتیجه، روش مناسب برای کاربرد به منظور ارزیابی