بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه عمران

ارزیابی لرزه ای پل ها با استفاده از تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش آوِر)

اساتید راهنما:

دکتر هوشیار ایمانی کله سر

دکتر غلامرضا نوری

توسط:

عباس کریمی گنزق

زمستان ۱۳۸۸

ارزیابی لرزه ای پل ها با استفاده از تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش آوِر)

توسط:

عباس کریمی

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران- سازه

از

دانشگاه محقق اردبیلی

اردبیل- ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه :.....

دکتر هوشیار ایمانی (استاد راهنما و رئیس کمیته) ..... استادیار

دکتر غلامرضا نوری (استاد راهنما) ..... استادیار

دکتر هدایت الله مشعشعی (داور داخلی) ..... استادیار

دکتر حمیدرضا توکلی (داور خارجی) ..... استادیار

بهمن - ۱۳۸۸

تقدیم به :

مهربانترین ها

پدر و مادرم

تقدیر و تشکر

سپاس بیکران پروردگار یکتا را

اکنون که کار تهیه و تدوین این پایان نامه به پایان رسیده است، بر خود لازم میدانم از زحمات و راهنمایی های استاد گرامی ام جناب آقای دکتر هوشیار ایمانی که در انجام این تحقیق از راهنمایی های بی دریغ ایشان بهره جسته ام تقدیر و قدردانی کنم.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر غلامرضا نوری که از ابتدای این تحقیق تا انتهای آن متحمل زحمات اینجانب بوده است سپاسگذاری می کنم.

از اساتید گرامی جناب آقایان دکتر هدایت الله مشعشعی و دکتر حمید رضا توکلی که در جلسه دفاعیهٔ اینجانب حضور داشتند و با نظرات ارزندهٔ خود مرا آگاه می ساختند تشکر و قدردانی می نمایم.

از خانواده ی عزیز و گرامی ام مخصوصاً پدر و مادر عزیزم که در طی مراحل تحصیل و زندگی ام همواره حامی و مشوق بنده بوده اند خالصانه سپاسگذاری می کنم.

همچنین از دوستان عزیزم جناب آقایان مهندس زاهد احمدی و مهندس محمد فرجود و بقیه دوستان و سرورانی که به نحوی در به ثمر رساندن این پایان نامه یار و یاور من بوده اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

نام خانوادگی دانشجو: کریمی	**نام:** عباس
عنوان پایان نامه: ارزیابی لرزه ای پل ها با استفاده از تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش آوِر)	
استاد راهنمای اول: دکتر هوشیار ایمانی کله سر **استاد راهنمای دوم:** دکتر غلامرضا نوری	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی عمران **گرایش:** سازه **دانشگاه:** محقق اردبیلی **دانشکده:** فنی و مهندسی **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۸۸/۱۱/۱۰ **تعداد صفحات:** ۱۴۸	
کلید واژه ها: ارزیابی لرزه ای، پل، تحلیل استاتیکی غیر خطی، نقطهٔ عملکرد، سطح عملکرد	

چکیده:

پاسخ پل ها، وقتی تحت تحریک های زمین لرزه ای قرار می گیرند، می تواند به وسیلهٔ شیوه های تحلیلی مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. تا زمانی که جریان طراحی سازه ها بسوی افزایش اهمیت تحلیل استاتیکی غیر خطی (تحلیل پوش آور) پیش رود، برای آنالیز سازه ها، از روش های تحلیل استاتیکی خطی یا دینامیکی خطی استفاده می شد که با اختصاص ضرایب تعدیل در محاسبات، اثر رفتار غیرخطی سازه نیز درنظر گرفته می شد. از طرفی پل ها به عنوان مهمترین المان های سازه ای شریان های حیاتی می باشند و آثار آنها در توسعهٔ اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی یک کشور بسیار قابل توجه است. بنابراین عملکرد لرزه ای پل هایی که به روش خطی و براساس کنترل نیرو طراحی شده اند می بایست در محدودهٔ رفتار غیر خطی خود به روش کنترل تغییرمکان مورد بررسی قرار گیرند. تاکنون بیشتر کارهای انجام شده در این زمینه بر روی ساختمان ها صورت گرفته، در حالی که مشابه این مطالعه برای پل ها بسیار محدود است. بنابراین هدف این پایان نامه تحقیق دربارهٔ بسط روش تحلیل پوش آور در ارزیابی لرزه ای پل ها می باشد. در این پایان نامه عملکرد لرزه ای سه پل ساخته شده یا در دست احداث در کشورمان به وسیلهٔ تحلیل استاتیکی غیرخطی، تحت بررسی قرار گرفته اند. و نقاط عملکرد آنها براساس طیف نیاز «آیین نامهٔ طرح پلهای راه و راه آهن در برابر زلزله» ایران و نیاز لرزه ای سه زلزلهٔ مهم نورتریج، لندرز و کِیپ مِندوسینو بدست آورده شده است. سپس به جهت تعیین میزان خطای روش تحلیل پوش آور، پل های مورد نظر تحلیل دینامیکی غیر خطی شده و نتایج حاصل از دو روش تحلیلی با هم مقایسه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده و اهمیت ویژه پل ها، مشاهده می شود که دو نمونه از این سازه ها وضعیت زیاد مطلوبی ندارند و نیاز به بهسازی در این سازه ها احساس می شود. همچنین با مقایسهٔ نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی مشاهده می شود که با بالاتر رفتن پریود سازه ها، اختلاف بین نتایج حاصل از دو روش تحلیلی بیشتر می شود.

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- عنوان تحقیق ۳

۱-۳- تعریف واژه ۳

۱-٤- بیان مسئله ۳

۱-۵- لزوم انجام تحقیق ۳

۱-٦- هدف تحقیق ٤

۱-۷- ساختار تحقیق ٤

فصل دوم: بررسی تحلیلی صدمات وارد بر پل ها بر اثر زمین لرزه

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- پیامد های استفاده از طراحی الاستیک ۷

۲-۳- دسته بندی اجمالی صدمات ۸

۲-٤- شناخت نقایص طراحی با توجه به صدمات وارد بر پل ها ۱۰

۲-٤-۱- ستونهای بتن آرمه ۱۱

۲-٤-۲- ستونهای فولادی ۱٦

۲-٤-۳- سرستونها ۱۷

۲-٤-٤- روسازه ها ۱۷

۲-٤-۵- کوله ها ۲۰

۲-٤-٦- شالوده ها ۲۱

۲-٤-۷- درزها و تکیه گاهها ۲۲

۲-۵- جمع بندی ۲۳

فصل سوم: روشهای مدل سازی و تحلیل لرزه ای پل ها

۳-۱- مقدمه ۲۵

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

۳-۲- اهداف مدل سازی و تحلیل ۲۶
۳-۳- مفاهیم رفتار لرزه ای پل ها ۲۹
۳-۳-۱- رفتار دینامیکی پل ها ۲۹
۳-۳-۱-۱- معادله حرکت ۳۰
۳-٤- مدلسازی سازه پل ٤۲
۳-٤-۱- اهداف کلی مدلسازی ٤۲
۳-٤-۲- سیستم سازه ای ٤۳
۳-٤-۳- اعضای سازه ای انفرادی ٤۵
۳-٤-٤- مدلسازی عرشه پل ٤۷
۳-۵- جمع بندی ٤۸

فصل چهارم: روشهای ارزیابی لرزه ای سازه ها براساس دستورالعملهای موجود

٤-۱- مقدمه ۵۰
٤-۲- روش بدست آوردن تغییرمکان هدف در FEMA-356 ۵۱
٤-۳- روش بدست آوردن جابجایی تقاضا در ATC-40 ۵۷
٤-۳-۱- روش طیف ظرفیت برای بدست آوردن نقطهٔ عملکرد سازه براساس آیین‌نامهٔ ATC-40 ۵۹
٤-۳-۱-۱- روش بدست آوردن β_{eff} در ATC-40 و FEMA 440 ٦۷
٤-۳-۲- روش های دیگر معرفی شده در ATC-40 برای بدست آوردن نقطهٔ عملکرد سازه ۷۱

فصل پنجم: مبانی تئوری در طراحی براساس عملکرد

۵-۱ مقدمه ۷۳
۵-۲- رفتاراعضای سازه ای با توجه به منحنی نیرو- تغییرشکل ۷۳
۵-۳- مشخصات مصالح ۷۵
۵-٤- روش بدست آوردن کرانهٔ پایین مقاومت مصالح ومقاومت موردانتظارمصالح در طراحی ۷٦

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

۵-۵- ضریب آگاهی ۷۸

۵-٦- کاربرد ضریب آگاهی در بهسازی و طراحی براساس عملکرد ۷۹

۵-۷- معیارهای پذیرش برای روش های غیرخطی ۸۰

۵-۸- معیارهای پذیرش برای سازه های بتن آرمه براساس دستورالعمل بهسازی و FEMA-356 ۸۱

۵-۹- ترکیبات بار مورد استفاده در تحلیل استاتیکی غیرخطی ۸۵

فصل ششم: معرفی سازه های مورد مطالعه و تحلیل استاتیکی غیر خطی آنها

٦-۱- مقدمه ۸۸

٦-۲- مشخصات پل های مورد مطالعه ۸۹

٦-۲-۱- پل اول ۸۹

٦-۲-۲- پل دوم ۹۱

٦-۲-۳- پل سوم ۹۳

٦-۳- نحوهٔ مدل سازی پل ها ۹٦

٦-٤- بارگذاری ۹۸

٦-۵- اهداف عملکردی ۹۹

٦-٦- بارهای جانبی ۱۰۲

٦-۷- اثر P-Δ ۱۰۲

٦-۸- مدلسازی پی و اندرکنش خاک و سازه ۱۰۳

٦-۹- تعریف مفاصل پلاستیک ۱۰۳

٦-۱۰- محل مفاصل پلاستیک ۱۰٤

٦-۱۱- تعریف ترکیبات بار جهت تحلیل استاتیکی غیر خطی ۱۰٦

٦-۱۱-۱- ترکیبات بار ثقلی ۱۰٦

٦-۱۱-۲- ترکیبات بار جانبی ۱۰٦

٦-۱۲- تعیین نقطهٔ کنترل ۱۰۷

فهرست مطالب

عنوان صفحه

٦-١٣- تحلیل استاتیکی غیر خطی ١٠٩

٦-١٣-١- منحنی های ظرفیت پل های مورد مطالعه ١٠٩

٦-١٣-٢- مقایسهٔ منحنی های ظرفیت سازه ها برای ترکیبات دارای بار ثقلی متفاوت ١١١

٦-١٣-٣- تعیین نقطه عملکرد سازه ها به روش طیف ظرفیت ١١٢

٦-١٣-٣-١- تعیین نقطهٔ عملکرد بر اساس طیف آیین نامه ١١٢

٦-١٣-٣-٢- تعیین نقطهٔ عملکرد بر اساس نیاز لرزه ای زلزله های مختلف ١٢٠

٦-١٣-٤- بررسی مفاصل پلاستیک ایجاد شده در سازه ها ١٣٠

فصل هفتم: تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه ها، جمع بندی و نتیجه گیری

٧-١- مقدمه ١٣٤

٧-٢- تحلیل دینامیکی غیرخطی ١٣٤

٧-٢-١- مقایسهٔ نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیر خطی و تحلیل دینامیکی غیر خطی ١٤١

٧-٣- نتایج حاصل از تحلیل و ارزیابی لرزه ای سازه ها براساس وضعیت نقاط عملکرد، مفاصل پلاستیک و مقایسه نتایج حاصل از دو روش تحلیلی ١٤٣

٧-٤- پیشنهادات ١٤٥

مراجع ١٤٦

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل (۲-۱)، نمودار اندرکنش نیروی محوری– لنگر خمشی ستون در روش طرح الاستیک و روش مقاومت نهایی ۱۱
شکل (۲-۲)، خرابی خمشی ستونهای پل هانشین (زلزلهٔ کوبه ۱۹۹۵، ژاپن) ۱۲
شکل (۲-۳)، تشکیل مفصل پلاستیک درمحل شروع ماهیچه در ستونی از پل میشن-گاتیک (زلزلهٔ نورتریج ۱۹۹٤) ۱۳
شکل (۲-٤)، شکست برشی در مفصل پلاستیک زیر ماهیچه درستونی از پل میشن-گاتیک (زلزلهٔ نورتریج ۱۹۹٤) ۱٤
شکل (۲-۵)، شکست برشی ستون های پل وو- شی (زلزلهٔ چی چی ۱۹۹۹، تایوان) ۱۵
شکل (۲-٦)، ترکهای برشی ایجاد شده در ستونهای پل شی- وی (زلزلهٔ چی چی ۱۹۹۹، تایوان) ۱٦
شکل (۲-۷)، توزیع لنگر در یک پایه تک ستونه در روش طرح الاستیک ۱۷
شکل (۲-۸)، جدا شدن روسازه از تکیه گاه در اثر خروج از مرکزیت ناشی از تورّب پایه ها ۱۸
شکل (۲-۹)، عدم کفایت طول نشیمنگاهی و سقوط روسازهٔ پل نیشینومیاکو (زلزلهٔ کوبه ۱۹۹۵، ژاپن) ۱۹
شکل (۲-۱۰)، فروافتادن دهانه های پل شی- وی بدلیل تورب زیاد به دنبال حرکت دسته جمعی دهانه های ساده در راستای طولی (زلزلهٔ چی چی ۱۹۹۹، تایوان) ۲۰
شکل (۲-۱۱)، دوران کوله در اثر نشست خاکریز پشت کوله و صدمه دیدن شمعها ۲۱
شکل (۲-۱۲)، نمونه ای از دوران کوله طی زلزلهٔ کاستاریکا، ۱۹۹۱ ۲۱
شکل (۲-۱۳)، خرد شدن مهار های بتنی و سقوط روسازه پل شی- وی (زلزلهٔ چی چی ۱۹۹۹، تایوان) ۲۲
شکل (۳-۱)، مراحل تحلیل لرزه ای پل ۲۷
شکل (۳-۲)، سطوح مختلف مدلسازی جهت تحلیل لرزه ای ۲۸
شکل (۳-۳)، مدل پاسخ دینامیکی عرضی پل ۳۰
شکل (۳-٤)، مدل ساده جرم برای قاب عرضی تک ستونه پل ۳٤
شکل (۳-۵)، مدلهای پاسخ ایده آل غیر الاستیک ستون ۳٤
شکل (۳-٦)، پل چند قابی ۳٦
شکل (۳-۷)، سختی های مختلف پایه برای تغییرمکان جانبی ۳٦
شکل (۳-۸)، طول مؤثر ستون ۳۸
شکل (۳-۹)، سختی مؤثر مقاطع بتنی ترک خورده ۳۹
شکل (۳-۱۰)، اتلاف هیسترتیک و سختی مؤثر برای پاسخ چرخه ای (cyclic response) ٤۰
شکل (۳-۱۱)، میرایی های مختلف در اعضای پل ٤۱
شکل (۳-۱۲)، نحوه مدل عرشه پل ٤۸

فهرست اشکال

عنوان | صفحه

شکل (۳-۱۳)، سطح مقطع عرشه پل ۴۸

شکل (٤-١)، روند تشکیل مفاصل پلاستیک در هنگام تحلیل پوش آور ۵۱

شکل (٤-٢)،(a) منحنی پوش آور با سختی پس از تسلیم مثبت؛(b) منحنی پوش آور با سختی پس از تسلیم منفی ۵۶

شکل (٤-٣)، یک نمونه منحنی پوش آور ۵۷

شکل (٤-٤)، «منحنی طیف ظرفیت» و «منحنی طیف تقاضا با میرایی های متفاوت» در دستگاه مختصات جابجایی طیفی شتاب طیفی (فرمت ADRS) ۵۸

شکل (٤-٥)، «منحنی طیف ظرفیت» و «منحنی طیف تقاضا با میرایی های متفاوت» همراه با یکدیگر در دستگاه مختصات جابجایی طیفی- شتاب طیفی (فرمت ADRS) ۵۸

شکل (٤-٦)، منحنی طیف پاسخ الاستیک با میرایی ٪۵ ۶۰

شکل (٤-٧)، منحنی ظرفیت (پوش آور) ۶۰

شکل (٤-٨)، روند تبدیل طیف پاسخ استاندارد به فرمت ADRS ۶۲

شکل (٤-٩)، روند تبدیل منحنی ظرفیت به فرمت ADRS ۶۴

شکل (٤-١٠)، منحنی طیف ظرفیت و طیف پاسخ همراه با یکدیگر در فرمت ADRS ۶۴

شکل (٤-١١)، روش یافتن جابجایی معادل بصورت تقریبی از روی منحنی طیف ظرفیت و طیف تقاضا ۶۵

شکل (٤-١٢)، تقریب دو خطی منحنی طیف ظرفیت ۶۵

شکل (٤-١٣)، روش بدست آوردن نقطهٔ عملکرد از روی منحنی طیف ظرفیت دندانه دار ۶۶

شکل (٤-١٤)، مفاهیم تصویری پارامترهای مؤثر در محاسبهٔ β_{eff} ۶۸

شکل (٤-١٥)، منحنی های طیف تقاضای کاهش یافته پس از اعمال ضرایب کاهش طیفی درهر مرحله ۷۰

شکل (٤-١٦)، مختصات نقطهٔ طیفی فرض شده (d_{pi}) و بدست آمده (d_i) در منحنی طیف ظرفیت ۷۰

شکل (۵-۱)، سه نوع منحنی نیرو- تغییرشکل ۷۳

شکل (۵-۲)، منحنی نیرو- تغییرشکل برای اعضای با قابلیت شکل پذیری زیاد ۷۵

شکل (۵-۳)، منحنی نیرو- تغییرشکل برای اعضای با قابلیت شکل پذیری متوسط ۷۵

شکل (۵-٤)، منحنی نیرو- تغییرشکل برای اعضای با قابلیت شکل پذیری کم ۷۵

شکل (۵-۵)، مقاومت مورد انتظار، اسمی و طراحی در نمودار لنگر- دوران ۷۶

شکل (۵-۶)، معیارهای پذیرش برای اعضای اصلی (P=Primary) و اعضای غیراصلی (S=Secondary) ۸۰

شکل (۵-۷)، نمودار بار- جابجایی در المان های بتنی براساس FEMA-356 ۸۱

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (٦-١)، پلان سازه ای عرشهٔ پل تقاطع راه آهن	٨٩
شکل (٦-٢)، نمای عمومی پل تقاطع راه آهن	٩٠
شکل (٦-٣)، مقطع عرضی پل تقاطع راه آهن	٩٠
شکل (٦-٤)، مقطع ستون و سر ستون بکار رفته در پایهٔ پل تقاطع راه آهن	٩٠
شکل (٦-٥)، مقاطع شاهتیرهای استفاده شده در پل تقاطع راه آهن	٩١
شکل (٦-٦)، پلان پل سیستان	٩١
شکل (٦-٧)، مقطع عرضی پل سیستان	٩١
شکل (٦-٨)، نمای عمومی پل سیستان (بین پایه های P4 تا P7)	٩٢
شکل (٦-٩)، مقطع ستون و سر ستون بکار رفته در پایهٔ پل سیستان	٩٢
شکل (٦-١٠)، مقاطع شاهتیرهای استفاده شده در پل سیستان	٩٢
شکل (٦-١١)، مقطع عرضی پل وندیار	٩٣
شکل (٦-١٢)، پلان عمومی پل وندیار	٩٣
شکل (٦-١٣)، جزئیات پایهٔ P1 پل وندیار	٩٤
شکل (٦-١٤)، جزئیات پایه های P2 ، P3 و P4 پل وندیار	٩٥
شکل (٦-١٥)، جزئیات کوله های پل وندیار	٩٦
شکل (٦-١٦)، مقاطع شاهتیرهای استفاده شده در پل وندیار	٩٦
شکل (٦-١٧)، مدل پل تقاطع راه آهن در نرم افزار SAP2000	٩٧
شکل (٦-١٨)، مدل پل سیستان در نرم افزار SAP2000	٩٧
شکل (٦-١٩)، مدل پل وندیار در نرم افزار SAP2000	٩٧
شکل (٦-٢٠)، نحوهٔ استقرار بار نوع اول بر روی عرشهٔ پل	٩٩
شکل (٦-٢١)، محل های بحرانی تشکیل مفاصل پلاستیک در پایه پل ها	١٠٤
شکل (٦-٢٢)، محل تشکیل مفاصل پلاستیک در ستونها	١٠٤
شکل (٦-٢٣)، نمونه ای از مفاصل اعمالی به پایه های پل سیستان در جهت قاب عرضی	١٠٥
شکل (٦-٢٤)، مفاصل اعمالی به پایه های پل سیستان در نمای سه بعدی	١٠٥
شکل (٦-٢٥)، منحنی های ظرفیت پل تقاطع راه آهن در جهت طولی	١٠٩
شکل (٦-٢٦)، منحنی های ظرفیت پل تقاطع راه آهن در جهت عرضی	١١٠

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (٦-٢٧)، منحنی های ظرفیت پل سیستان در جهت طولی	١١٠
شکل (٦-٢٨)، منحنی های ظرفیت پل سیستان در جهت عرضی	١١٠
شکل (٦-٢٩)، منحنی های ظرفیت پل وندیار در جهت طولی	١١١
شکل (٦-٣٠)، منحنی های ظرفیت پل وندیار در جهت عرضی	١١١
شکل (٦-٣١)، روش بدست آوردن یکی از نقاط منحنی طیف تقاضای منفرد	١١٣
شکل (٦-٣٢)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع راه آهن در جهت طولی – سطح خطر١	١١٤
شکل (٦-٣٣)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع راه آهن در جهت طولی – سطح خطر٢	١١٤
شکل (٦-٣٤)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع راه آهن در جهت عرضی – سطح خطر١	١١٥
شکل (٦-٣٥)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع راه آهن در جهت عرضی – سطح خطر٢	١١٥
شکل (٦-٣٦)، نقطهٔ عملکرد پل سیستان در جهت طولی – سطح خطر١	١١٦
شکل (٦-٣٧)، نقطهٔ عملکرد پل سیستان در جهت طولی – سطح خطر٢	١١٦
شکل (٦-٣٨)، نقطهٔ عملکرد پل سیستان در جهت عرضی – سطح خطر١	١١٧
شکل (٦-٣٩)، نقطهٔ عملکرد پل سیستان در جهت عرضی – سطح خطر٢	١١٧
شکل (٦-٤٠)، نقطهٔ عملکرد پل وندیار در جهت طولی – سطح خطر١	١١٨
شکل (٦-٤١)، نقطهٔ عملکرد پل وندیار در جهت طولی – سطح خطر٢	١١٨
شکل (٦-٤٢)، نقطهٔ عملکرد پل وندیار در جهت عرضی – سطح خطر١	١١٩
شکل (٦-٤٣)، نقطهٔ عملکرد پل وندیار در جهت عرضی – سطح خطر٢	١١٩
شکل (٦-٤٤)، روند تعیین نقطهٔ عملکرد سازه بر اساس نیاز لرزه ای یک زلزلهٔ مشخص	١٢٠
شکل (٦-٤٥)، زوج شتابنگاشت زلزلهٔ Northridge	١٢٢
شکل (٦-٤٦)، زوج شتابنگاشت زلزلهٔ Landers	١٢٣
شکل (٦-٤٧)، زوج شتابنگاشت زلزلهٔ Cape Mendocino	١٢٣
شکل (٦-٤٨)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع راه آهن، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر یک، زلزلهٔ Northridge	١٢٤
شکل (٦-٤٩)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع راه آهن، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر یک، زلزلهٔ Landers	١٢٤
شکل (٦-٥٠)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع راه آهن، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر یک، زلزلهٔ Cape Mendocino	١٢٥

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل (٦-٥١)، نقطهٔ عملکرد پل سیستان، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر یک، زلزلهٔ Northridge ١٢٥

شکل (٦-٥٢)، نقطهٔ عملکرد پل سیستان، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر یک زلزلهٔ Landers ١٢٥

شکل (٦-٥٣)، نقطهٔ عملکرد پل سیستان، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر یک زلزلهٔ Cape Mendocino ١٢٦

شکل (٦-٥٤)، نقطهٔ عملکرد پل وندیار، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر یک، زلزلهٔ Northridge ١٢٦

شکل (٦-٥٥)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع وندیار، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر یک، زلزلهٔ Landers ١٢٦

شکل (٦-٥٦)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع وندیار، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر یک، زلزلهٔ Cape Mendocino ١٢٧

شکل (٦-٥٧)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع راه آهن، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر دو، زلزلهٔ Northridge ١٢٧

شکل (٦-٥٨)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع راه آهن، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر دو، زلزلهٔ Landers ١٢٧

شکل (٦-٥٩)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع راه آهن، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر دو، زلزلهٔ Cape Mendocino ١٢٨

شکل (٦-٦٠)، نقطهٔ عملکرد پل سیستان، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر دو، زلزلهٔ Northridge ١٢٨

شکل (٦-٦١)، نقطهٔ عملکرد پل سیستان، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر دو، زلزلهٔ Landers ١٢٨

شکل (٦-٦٢)، نقطهٔ عملکرد پل سیستان، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر دو، زلزلهٔ Cape Mendocino ١٢٩

شکل (٦-٦٣)، نقطهٔ عملکرد پل وندیار، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر دو، زلزلهٔ Northridge ١٢٩

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل (٦-٦٤)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع وندیار، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر دو، زلزلهٔ Landers ١٢٩

شکل (٦-٦٥)، نقطهٔ عملکرد پل تقاطع وندیار، در دو جهت طولی و عرضی، برای نیاز لرزه ای سطح خطر دو، زلزلهٔ Cape Mendocino ١٣٠

شکل (٧-١)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل تقاطع راه آهن در جهت طولی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Northridge ١٣٥

شکل (٧-٢)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل تقاطع راه آهن در جهت عرضی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Northridge ١٣٥

شکل (٧-٣)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل تقاطع راه آهن در جهت طولی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Landers ١٣٥

شکل (٧-٤)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل تقاطع راه آهن در جهت عرضی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Landers ١٣٦

شکل (٧-٥)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل تقاطع راه آهن در جهت طولی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Cape Mendocino ١٣٦

شکل (٧-٦)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل تقاطع راه آهن در جهت عرضی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Cape Mendocino ١٣٦

شکل (٧-٧)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل سیستان در جهت طولی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Northridge ١٣٧

شکل (٧-٨)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل سیستان در جهت عرضی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Northridge ١٣٧

شکل (٧-٩)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل سیستان در جهت طولی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Landers ١٣٧

شکل (٧-١٠)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل سیستان در جهت عرضی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Landers ١٣٨

شکل (٧-١١)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل سیستان در جهت طولی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Cape Mendocino ١٣٨

شکل (٧-١٢)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل سیستان درجهت عرضی، تحت شتابنگاشت زمین‌لرزهٔ Cape Mendocino ١٣٨

شکل (٧-١٣)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل وندیار در جهت طولی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Northridge ١٣٩

شکل (٧-١٤)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل وندیار در جهت عرضی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Northridge ١٣٩

شکل (٧-١٥)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل وندیار در جهت طولی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Landers ١٣٩

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل (۷-۱۶)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل وندیار در جهت عرضی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Landers ۱۴۰
شکل (۷-۱۷)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل وندیار در جهت طولی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Cape Mendocino ۱۴۰
شکل (۷-۱۸)، تاریخچهٔ زمانی جابجایی پایهٔ پل وندیار در جهت عرضی، تحت شتابنگاشت زمین لرزهٔ Cape Mendocino ۱۴۰
شکل (۷-۱۹)، تغییرات جابجایی نسبی بر اساس ارتفاع پایه ها در جهت طولی ۱۴۲
شکل (۷-۲۰)، تغییرات جابجایی نسبی بر اساس ارتفاع پایه ها در جهت عرضی ۱۴۳
شکل (۷-۲۱)، میزان خطای بوجود آمده بر اساس ارتفاع پایه ها در دو جهت طولی و عرضی ۱۴۳

فهرست جداول

عنوان | صفحه

جدول (٤-١)، مقادیر تقریبی C_0 براساس دستورالمعل بهسازی وFEMA-356 | ٥٣
جدول (٤-٢)، جدول تعیین T_s | ٥٤
جدول (٤-٣)، ضریب اصلاح C_m براساس دستوالعمل بهسازی و FEMA-356 | ٥٤
جدول (٤-٤)، شتاب مبنای طرح (A) در مناطق مختلف کشور | ٥٥
جدول (٤-٥)، ضریب اصلاح C_2 براساس دستورالعمل بهسازی و FEMA-356 | ٥٥
جدول (٤-٦)، مقادیر حداقل مجاز SR_A و SR_V براساس آیین نامهٔ ATC-40 | ٦٧
جدول (٤-٧)، تعیین نوع تیپ سازه براساس آیین نامهٔ ATC-40 | ٦٨
جدول (٤-٨)، تعیین ضریب اصلاح میرایی براساس آیین نامهٔ ATC-40 | ٦٩
جدول (٥-١)، ضرایب تبدیل کرانهٔ پایین مقاومت به مقاومت موردانتظار در FEMA-356 | ٧٧
جدول (٥-٢)، ضرایب تبدیل کرانهٔ پایین مقاومت به مقاومت موردانتظار در دستورالعمل بهسازی | ٧٧
جدول (٥-٣)، تعیین ضریب κ براساس FEMA-356 | ٧٨
جدول (٥-٤)، تعیین ضریب κ براساس دستورالعمل بهسازی | ٧٩
جدول (٥-٥)، کاربرد ضریب آگاهی κ در محاسبهٔ ظرفیت اعضای کنترل شونده توسط نیرو و تغییرشکل در تحلیل های غیرخطی | ٧٩
جدول (٥-٦)، پارامترها و معیارهای پذیرش در مدلسازی رفتار تیرهای بتن مسلح در آنالیز استاتیکی غیرخطی براساس دستورالعمل بهسازی | ٨٢
جدول (٥-٧)، پارامترها و معیارهای پذیرش در مدلسازی رفتار ستون های بتن مسلح در آنالیز استاتیکی غیرخطی براساس دستورالعمل بهسازی | ٨٣
جدول (٥-٨)، پارامترها و معیارهای پذیرش در مدلسازی رفتار اتصالات تیر- ستون های بتن مسلح در آنالیز استاتیکی غیرخطی براساس دستورالعمل بهسازی | ٨٤
جدول (٥-٩)، ترکیبات بار محتمل مورد استفاده در تحلیل استاتیکی غیرخطی | ٨٦
جدول (٦-١)، تغییرمکان و تلاشهای ایجاد شده در پایه های پل سیستان تحت بار جانبی در جهت طولی | ١٠٨
جدول (٦-٢)، تغییرمکان و تلاشهای ایجاد شده در پایه های پل سیستان تحت بار جانبی در جهت عرضی | ١٠٨
جدول (٦-٣)، تغییرمکان و تلاشهای ایجاد شده در پایه های پل وندیار تحت بار جانبی در جهت طولی | ١٠٨
جدول (٦-٤)، تغییرمکان و تلاشهای ایجاد شده در پایه های پل وندیار تحت بار جانبی در جهت عرضی | ١٠٨
جدول (٦-٥)، مشخصات شتابنگاشتهای بکاربرده شده جهت ارزیابی لرزه ای پل ها | ١٢٢

فهرست جداول

عنوان | صفحه

جدول (٦-٦)، ضرایب مقیاس بدست آمده برای پل های تحت بررسی ۱۲۸
جدول (٦-٧)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل تقاطع راه آهن در جهت طولی برای زلزلهٔ سطح خطر۱ ۱۳۰
جدول (٦-٨)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل تقاطع راه آهن در جهت عرضی برای زلزلهٔ سطح خطر۱ ۱۳۰
جدول (٦-٩)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل تقاطع راه آهن در جهت طولی برای زلزلهٔ سطح خطر۲ ۱۳۰
جدول (٦-١٠)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل تقاطع راه آهن در جهت عرضی برای زلزلهٔ سطح خطر۲ ۱۳۰
جدول (٦-١١)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل سیستان در جهت طولی برای زلزلهٔ سطح خطر۱ ۱۳۱
جدول (٦-١٢)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل سیستان در جهت عرضی برای زلزلهٔ سطح خطر۱ ۱۳۱
جدول (٦-١٣)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل سیستان در جهت طولی برای زلزلهٔ سطح خطر۲ ۱۳۱
جدول (٦-١٤)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل سیستان در جهت عرضی برای زلزلهٔ سطح خطر۲ ۱۳۱
جدول (٦-١٥)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل وندیار در جهت طولی برای زلزلهٔ سطح خطر۱ ۱۳۱
جدول (٦-١٦)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل وندیار در جهت عرضی برای زلزلهٔ سطح خطر۱ ۱۳۱
جدول (٦-١٧)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل وندیار در جهت طولی برای زلزلهٔ سطح خطر۲ ۱۳۱
جدول (٦-١٨)، وضعیت مفاصل پلاستیک در پل وندیار در جهت عرضی برای زلزلهٔ سطح خطر۲ ۱۳۲
جدول (٧-١)، تغییر مکان پایهٔ پل تقاطع راه آهن در جهت طولی، در دو روش تحلیلی و میزان خطای بوجود آمده ۱٤۱
جدول (٧-٢)، تغییر مکان پایهٔ پل تقاطع راه آهن در جهت عرضی، در دو روش تحلیلی و میزان خطای بوجود آمده ۱٤۱
جدول (٧-٣)، تغییر مکان پایهٔ پل سیستان در جهت طولی، در دو روش تحلیلی و میزان خطای بوجود آمده ۱٤۱
جدول (٧-٤)، تغییر مکان پایهٔ پل سیستان در جهت عرضی، در دو روش تحلیلی و میزان خطای بوجود آمده ۱٤۲
جدول (٧-٥)، تغییر مکان پایهٔ پل وندیار در جهت طولی، در دو روش تحلیلی و میزان خطای بوجود آمده ۱٤۲
جدول (٧-٦)، تغییر مکان پایهٔ پل وندیار در جهت عرضی، در دو روش تحلیلی و میزان خطای بوجود آمده ۱٤۲

فصل اول

«کلیات»