بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی ومهندسی

بخش عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش سازه

قابلیت اطمینان لرزه ای در پل کابلی با تحلیل دینامیکی غیر خطی افزاینده

استاد راهنما:

دکتر محمد جواد فدایی

استاد مشاور:

دکتر عیسی سلاجقه

مؤلف:

مهدی وجدیان

پاییز ۱۳۹۰

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش عمران

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: مهدی وجدیان

استاد راهنما: دکتر محمد جواد فدایی

استاد مشاور: دکتر عیسی سلاجقه

داور ۱: دکتر جواد سلاجقه

داور۲: دکتر حسین ابراهیمی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر مریم احتشام زاده

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

و تمام کسانی که در راه کسب علم ومعرفت همواره مشوق و راهنمایم بوده اند

تشکر و قدردانی:

به نام پروردگار یکتا، که آرامش را در ستیز گذر لحظات سخت، سر بلندی را در دور نمای مبهم آسمان رقابت وشکست را در میدان رویارویی جلوه های حیات قرار داده است، محبوبی که رأیت فتح در پهنه بیکران کیهان جزبه فرمانش برافراشته نگردد و حیرت و شکوه بی انتها جز او را نشاید.

بعد از حمد وثنای خدای بزرگ، بر خود لازم می دانم که از زحمات جناب آقای دکتر **محمد جواد فدایی** که همواره در طول انجام این پروژه از نظرات ارزشمند و راهنمایی های ایشان بهره مند بودم قدر دانی نمایم. از جناب آقایان دکتر عیسی سلاجقه، دکترسعید شجاعی و دکتر ایمان منصوری که در بررسی این پایان نامه شرکت کردند،کمال تشکر را دارم. همچنین خانواده گرامی خود که با مساعدت های بی دریغ آنها زمینه ی انجام هر چه بهتر این پروژه فراهم شد، سپاس گزاری و تشکر می نمایم .

مهدی وجدیان

پاییز ۱۳۹۰

چکیده:

با توجه به اهمیت فراوان پل ها و نیاز به بررسی رفتار این سازه ها در برابر نیروهای زلزله و همچنین روش های جدید و قدرتمند جهت آنالیز سازه ها، در این تحقیق از ساختار احتمالاتی مبتنی بر قابلیت اطمینان لرزه ای به منظور ارزیابی عملکرد لرزه ای اعضای یک پل کابلی ایستا با استفاده از آنالیز دینامیکی غیر خطی افزاینده استفاده میشود. این روش آنالیز، ابزاری کارآمد جهت تخمین تقاضا و ظرفیت در روش احتمالاتی مهندسی بر اساس عملکرد می باشد. با توجه به خاصیت غیر قابل پیش بینی و غیر قطعی زلزله و فرضیات موجود در مدل سازی پل ها و عدم قطعیت های موجود درتقاضا و ظرفیت و با توجه به پارامترهای خسارت، شدت از روش مبتنی بر قابلیت اطمینان برای بررسی این سازه ها، بر اساس سطوح عملکردی مورد نیاز استفاده می شود. در این تحقیق با هدف بررسی قابلیت اطمینان لرزه ای، یکی از پل های کابلی ایستا طراحی شده بر اساس معیار لرزه ای آیین نامه های ایران مطالعه می شود. برای این منظور، اعضای پل مدل سازی شده و تحلیل دینامیکی غیر خطی فزاینده بر روی آن ها انجام می شود. آنالیز دینامیکی غیر خطی فزاینده یک سری تحلیل دینامیکی غیر خطی است که هدف آن بررسی عملکرد سازه ای می باشد.

واژه‌های کلیدی: پل کابلی ایستا، تحلیل غیرخطی، قابلیت اطمینان لرزه ای

فهرست مطالب:

فصل اول: مقدمه وکلیات ۱

۱-۱ اهمیت بررسی پلهای کابلی ایستا..... ۲

۱-۲ اهداف وروش تحقیق..... ۳

۱-۳ معرفی پلهای کابلی ایستا درجهان وایران..... ۴

۱-۴ ساختار پایان نامه..... ۱۰

فصل دوم: مروری برتحقیقات گذشته ۱۱

۲-۱ تحقیقات گذشته..... ۱۲

۲-۲ پلهای موردمطالعه درتحقیقات گذشته..... ۱۵

فصل سوم: معرفی پلهای کابلی ایستا..... ۱۷

۳-۱ تاریخچه ساخت پلهای کابلی..... ۱۸

۳-۲ اجزای تشکیل دهنده پلهای کابلی..... ۲۰

۳-۳ تعداد وفواصل کابلها..... ۲۵

۳-۴ نسبت ارتفاع برج به طول دهانه میانی..... ۲۵

فصل **چهارم: تئوری تحلیل دینامیکی خطی وغیرخطی در پلهای کابلی ایستا..... ۳۱**

۴-۱ مقدمه..... ۳۲

۴-۲ رفتارهای غیرخطی درپلهای کابلی ایستا..... ۳۲

۴-۳ روش تحلیل دینامیکی غیرخطی ۳۴

۴-۴ تشکیل معادلات اضافی حرکت ۳۵

۴-۵ ارزیابی دینامیکی وبردارهای نیروی الاستیک ۳۷

۴-۶ معیارهمگرایی..... ۴۷

فصل پنجم: روش تحلیل دینامیکی فزاینده وتئوری قابلیت اطمینان لرزه ای ۴۸

۵-۱ مقدمه..... ۴۹

۵-۱-۲ نگاهی به منحنی IDA بعضی ازویژگیهای کلی..... ۵۲

۵-۱-۳ ظرفیت وحالتهای حدی درمنحنی های IDA تک..... ۵۶

۵-۱-۴ IDA چندرکوردی وخلاصه آنها..... ۵۹

۵-۱-۵ صحت مقیاس بندی وانتخاب IM..... ۶۱

۵-۱-۶ IDA درمقابل ضریب R..... ۶۲

۵-۱-۷ IDA درمقابل SPO..... ۶۲

۵-۲ تئوری روش تحلیل قابلیت اطمینان..... ۶۳

۵-۲-۱ مقدمه..... ۶۳

۵-۲-۲ تئوری وروابط..... ۶۶

۵-۲-۳ پارامترهای ظرفیت وتقاضا ۶۸

۵-۲-۴ معیارهای پذیرش..... ۷۰

۵-۲-۶ تئوری FEMA350 درتحلیل قابلیت اطمینان ۷۰

۵-۲-۷ محاسبه وارزیابی قابلیت اطمینان..... ۷۱

فصل ششم: مدل سازی وملاحظات خاص لرزه ای ۷۲

۶-۱ مشخصات پل موردمطالعه..... ۷۳

۶-۲ مدل سازی عرشه..... ۷۳

۶-۳ مدل کابل ها..... ۷۵

۶-۴ مدل پایه و برج..... ۷۶

۶-۵ مدل نئوپرن..... ۷۶

۶-۶ فرضیات مدل سازی جهت آنالیز تاریخچه زمانی غیرخطی..... ۷۷

۶-۷ تعیین سطوح عملکردی برای محاسبه سطح اطمینان..... ۸۳

۶-۸ آنالیز مودال جهت کالیبره کردن مدل..... ۸۵

فصل هفتم: ارائه نتایج وپیشنهادها..... ۸۶

۷-۱خلاصه روش IDA ۸۷

۷-۲ خلاصه تئوری قابلیت احتمال..... ۸۷

۷-۳ ارائه نتایج..... ۸۸

۷-۴ نتایج ۹۴

۷-۵ ارائه پیشنهادها..... ۹۶

۷-۶ مراجع ۱۰۰

۷-۷ پیوست ها ۱۰۳

Abstract

Regarding high importance of bridges and the necessity of investigating an the treatment of this structures against earthquake forces and existing new powerful methods of structural analysis, in this research a probability framework based on seismic reliability is used for assessment of seismic performance of a cable stayed bridge using incremental nonlinear dynamic analysis (IDA). This method of analysis is a useful tool for estimate on demand and capacity in performance based probability method of engineering. To this end, base on performance considering the unpredictable property of earthquake, and available assumptions in modelling of bridges as well as uncertainities existent in demand and capacity, a reliability based method for investigating of these structures will be used. In the propose method the performance levels are taken in to accunt, considering the damge intensity parameter.In this research, a recent buitl cable stayed bridge based on seismic criterion of Iran codes will be used. For this aim, elements of bridge will be modeled performing IDA which is a series of nonlinear dynamic analyses whose target is investigation of structural performance.

Key word: cable stayed bridge, nonlinear analysis, seismic reliability

Shahid Bahonar University of Kerman

Faculty of Engineering

Department of Civil Engineering

Seismic Reliabity analysis of Cable bridges incremental nonlinear Dynamic method

Supervisor:

Dr. Mohammad Javad Fadaee

Advisor:

Dr. Eysa Salajeghe

Prepared by:

Mehdi Vajdian

A Thesis Submitted as a Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of science in Civil Engineering (M. Sc.)

December 2011

فصل اول:

مقدمه و کلیات

۱-۱ اهمیت بررسی پل های کابلی ایستا

موفقیت انسان در مهندسی سازه اکثراً در دهانه های بزرگترین پل های جهان آشکار می شود. امروزه پل معلق، یک دهانه تقریباً ۲۰۰۰ متری و در نقطه مقابل پل ترکه ای (ایستا) می تواند دارای ۱۰۰۰ متر طول دهانه داشته باشد.

دو نوع پل با عملکرد کششی (پل های معلق و کابلی) و با عملکرد فشاری (پل ها قوسی و طاقی) از جمله مواردی هستندکه بیشتر مورد توجه انسان بوده اند. بعد از جنگ جهانی دوم تحول عظیم در طراحی و ساخت پل های با دهانه های بزرگ ایجاد شد که سه نوع مهم و اساسی آن، پل هایی از نوع پیش تنیده، پل های کابلی ایستا و پل های معلق می باشد. پل های کابلی ایستا به ویژه به طور عمومی افزایش پیدا کرده اند و در دهه ی اخیر در آمریکا، ژاپن، اروپا حتی در کشور های درحال توسعه همچون ایران گسترش پیدا کرده است. تعداد زیادی از پل های ایستای بزرگ در مناطق فعال لرزه ای شبیه ژاپن و آمریکا و کالیفرنیا اجرا شده اند و تا کنون تجربه یک لرزش قوی را داشته اند و مقادیر پاسخ لرزه ای آنها کمیاب هستند که همین امر باعث می شود که سازه های فوق نیاز به مدل کردن دقیق داشته باشند. سه روش در مهندسی برای مطالعه رفتار دینامیکی موجود است: وارد کردن تست های لرزش در پل واقعی، تست لرزش مدل و تحلیل کامپیوتری. روش آخری به سرعت اهمیت پیدا کرده است.

پیشرفت روز افزون تکنولوژی پردازش داده ها در علوم رایانه ای امکان تحلیل های فزاینده را فراهم ساخته است. همین موضوع باعث شده است که تحلیل ها از حالت استاتیکی و الاستیک شروع و به تحلیل های دینامیکی ارتجاعی و پس از آن تحلیل های استاتیکی غیر خطی و در نهایت تحلیل دینامیکی غیر خطی پشرفت کنند. در تحلیل دینامیکی غیر خطی لازم است که چند رکورد مختلف برای هر بار مطالعه اجرا شود که غالباً به علت حجیم بودن کار، از این روش برای کنترل طراحی های انجام شده، استفاده می شود. با شباهت بین عبور از روش آنالیز استاتیکی خطی به آنالیز استاتیکی غیر خطی، این ایده بوجود آمد که از روش آنالیز دینامیکی خطی به روش آنالیز دینامیکی افزاینده سوق پیدا کنیم، به صورتی که بار لرزه ای مقیاس شود و به تدریج افزایش یابد. مفاهیم این روش در سال ۱۹۷۷ توسط Bertero بسط پیدا کرده و در سال های اخیر روش طراحی بر اساس ظرفیت و تقاضا که توسط Allin Cornell توسعه داده شده مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است که با توجه به

قابلیت بیان در قالب احتمالاتی می تواند برای تعیین تراز اطمینان و بهبود عملکرد سازه ها مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۲ اهداف و روش تحقیق

افزایش روز افزون پل های کابلی ایستا در سال های اخیر بحث های رفتار دینامیکی این گونه سازه ها و پاسخ آنها در برابر بارهای محیطی خصوصاً لرزه ای را حائز اهمیت می نماید. امروزه با پیشرفت علم مهندسی سازه، طراحی لرزه ای اینگونه سازه ها گاهی به کمک نرم افزارهای اجزا محدود امکان پذیر بوده و در جهت طرح و تحلیل لرزه ای منطقی مناسب می باشد به طوریکه ممکن است تحت بار لرزه ای تا چندین برابر بار ثقلی، تنش در اجزای سازه ایجاد شود. پلهای ایستا به دلیل داشتن ابعاد بزرگ و انعطاف پذیری زیاد از پریودهای بالایی برخوردار هستند. همین مساله این پلها را از سایر سازه ها متمایز نموده وبر روی رفتار دینامیکی آنها تاثیر می گذارد.

از دیگاه مهندسی سازه در پل های کابلی ایستا ویژگی های قابل تأملی از جمله رفتار غیر خطی در دهانه های بزرگ این گونه سازه ها وجود دارد. در آیین نامه های راه و پل در کشورهایی همچون ژاپن و آمریکا این گونه سازه ها برای زلزله، باد، بار ترافیک، بارش، تحلیل و طراحی می شود. اما رفتار غیر خطی این سازه ها در زلزله های بزرگ نیازبه بررسی دقیق تر دارد و اثر بارگذاری لرزه ای بر روی آنها را پر نگ تر می کند. به هر جهت استفاده صحیح از پل های کابلی در مناطق لرزه خیز، مستلزم آگاهی کافی از اثر زلزله بر اینگونه سازه ها می باشد. مؤثر بودن یا نبودن بار گذاری زلزله و درجه تأثیر آن بر طراحی سازه خود مستلزم تحلیل های دقیق و همه جانبه این سازه ها تحت اثر بارهای لرزه ای و شناخت و برآورد صحیح آنها می باشد.یکی از مواردی که در مورد پل های کابلی مورد بررسی قرار نگرفته است، قابلیت اطمینان لرزه ای پل های کابلی ایستا می باشد.

این تحقیق به منظور بررسی رفتار پل کابلی ایستا در حالت های الاستیک و غیر الاستیک تا مرحله خرابی سازه و محاسبات سطوح اطمینان با استفاده از تئوری قابلیت اطمینان سازه انجام گرفته است.

۱-۳ معرفی چند پروژه مهم پل های کابلی ایستا

۱-۳-۱ پل (Oresund) بین سوئد و دانمارک

این پل ترکیبی از جاده و راه آهن بادهانه مرکزی ۴۹۰ متردر شکل(۱-۱) قابل مشاهده می باشد. عرشه آن متشکل از یک دال ۲۳/۵ متری ودو شاه تیر فلزی خرپائی به ابعاد ۱۰/۵×۱۳/۵ متر می باشد. راه ماشین روی آن از۴ باندتشکیل شده است. اطلاعات بیشتر را در مرجع شماره [۱] می توانید ببینید.

شکل۱-۱: پل Oresund بین سوئد و دانمارک

۱-۳-۲ پل (Tatara) در ژاپن

یکی از بزرگترین پل های کابلی ایستای جهان در شکل(۱-۲) دیده می شود. دهانه مرکزی آن ۸۹۰ متر، دهانه کناری ۲۷۰ متر و ۳۲۰ متربه صورت نامتقارن میباشد. پهنای عرشه ۳۱ متر، دکل های آن ۲۱۷ متر ارتفاع دارند. پل تاتارا در ناحیه زلزله خیز بالا ساخته شده است و دوره تناوب پل ۷/۲۶ ثانیه است که به یک نوسان طولی مربوط می شود [۲].

شکل۱-۲ : پل Tatara در ژاپن

۱-۳-۳ پل (Migashi) در کوبه ژاپن

این پل در شهر کوبه ساخته شده و یکی از شلوغترین پل های جهان می باشد که در شکل(۱-۳) تصویری از آن به خوبی مشخص شده است. دهانه اصلی پل ۴۸۵ مترو دهانه های کناری ۲۰۰ مترمی باشد. شاه تیر اصلی خرپائی با ارتفاع ۹ متر انتخاب شده است. برج های آن فلزی و H شکل وارتفاع آن ۱۴۶/۵ متر می باشد. در هفدهم ژوئن ۱۹۹۵ زلزله ای به اندازه ۷/۲ ریشتر اتفاق افتاد و پل فوق عملکرد نسبتاً خوبی از خود نشان داد [۳].

شکل۱-۳ : پلMigashi درکوبه ژاپن

۱-۳- ۴ پل (Millau Viaduct)در جنوب شرقی فرانسه

این پل با شش دهانه ی ۳۵۰ متری ودودهانه ی ۲۴۰متری و دو برج با ارتفاع ۲۳۵متری ساخته شده که درشکل(۴) قابل رویت است. این پل بزرگترین پل جهان از لحاظ ارتفاع می باشد[۴].

شکل۱-۴: پل Millau Viaduct در جنوب شرقی فرانسه

۱-۳-۵ معرفی چند پل کابلی مهم در ایران

پل کابلی شهید بهرامی که در سال ۲۰۰۶ به طول ۶۷۴ متر به پهنای ۱۴ متر و دهانه مرکزی ۱۵۰ مترساخته شده که در شکل(۱-۵) سازه ی فوق را مشاهده می کنید[۴] .

شکل۱-۵: پل کابلی شهید بهرامی

پل کابلی تبریزکه در شکل(۱-۶) نشان داده شده سال ۲۰۰۷ با طول ۱۱۳ متر و ۳۲ متر پهنای عرشه ساخته شد. عرشه از جنس بتن و پیش ساخته باکسی شکل و پایه های این پل به صورت H شکل می باشد[۴] .

شکل۱-۶: پل کابلی تبریز

پل لالی در شکل(۱-۷) واقع در مسجد سلیمان وبالادست سد گتوند قرار داردوبر روی رودخانه ی کارون در حال ساخت است. طول کل پل۴۶۰متر وپهنای آن۱۷/۵مترو بزرگترین پل کابلی ایران می باشد. دهانه ی این پل ۲۵۶متر می باشد . بعد از پل لالی پل هشتم اهواز با دهانه ی۲۱۲متر قابل ذکر است[۴] .

شکل۱-۷: پل کابلی لالی

پل هشتم اهوازدر شکل(۱-۸) یکی از پروژه های بزرگ ایران و در خاور میانه می باشد که در این پایان نامه به عنوان موضوع تحقیق مورد بررسی قرار می گیرد. این پل که بر روی رودخانه کارون می باشد به طول ۷۱۲ متر و پهنای ۲۰ متر، با دهانه مرکزی ۲۱۲ متر و دهانه های کناری ۲۲۵متر، از بتن وباکس فولادی ساخته شده است. ازتفاع دکل ها ۸۱ متر و مجموع طول کابل ها ۴۱۶ متر می باشد.

شکل۱-۸: پل هشتم اهواز

در پایان این بخش ده پل ایستای مهم جهان که تعداد عمده آنها در چین ساخته شده است در جدول ۱- ۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که تا سال ۲۰۰۸ رکورد جهان از لحاظ طول دهانه ی مرکزی مربوط به پل تاتارا با دهانه ی ۸۹۰ متر بود، اما در سال های بعد پل هایی با دهانه ی بیش از ۱۰۰۰متر ساخته شد[۵].