به نام خداوند جان وخرد

۱۱۱۷۴۱

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه علوم و فنون مازندران

پایان نامهٔ

مقطع کارشناسی ارشد

رشته و گرایش:

مهندسی عمران- سازه

عنوان:

بررسی رفتار غیر ارتجاعی قابهای فولادی مهاربندی شدهٔ هم مرکز

(طراحی شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش دوم)

تحت زلزله های شدید

مرکز اطلاعات مدارک علمی

استاد راهنما: دکتر بهروز عسگریان

استاد مشاور: دکتر جواد واثقی امیری

۱۳۸۸ /۲/ ۵

دانشجو: ونن جلالی

شمارهٔ دانشجویی: ۸۲۲۴۱۱۰۱

(شهریورماه ۱۳۸۵)

۱۱۱۷۴۱

تقدیم به دایی نازنینم، مهندس **محسن قلی زاده،**

که حل هر معادله ای را مدیون او هستم؛

بسیار به من آموخت و هرگز فرصتی برای جبران نشد؛

روحش شاد !

سپاسگزاری

وقتی به راه طولانی و پر نشیب و فرازی می اندیشم که برای به سرانجام رساندن این پایان نامه، آن را بیست ماه، بی وقفه پیمودم، در کنار خود عزیزانی را می بینم که با همفکریها، کمکها، گذشتها و فداکاریهای خود، مرا گام به گام یاری نمودند. هرچند با این چند جمله، هرگز نخواهم توانست دین خود را به این یاران ادا کنم، اما وظیفهٔ خود می دانم که از یکایک این عزیزان سپاسگزاری نمایم؛ به امید روزی که بتوانم گوشه ای از این زحمات را جبران کنم.

نخست از کمکها و پشتیبانی های بی دریغ استاد راهنمای عزیز و گرانقدرم، جناب آقای دکتر **بهروز عسگریان** که همواره با راهنمایی های ارزشمند خود و با در اختیار قرار دادن منابع مورد نیاز، یاریگر گذر از تنگناهای دشوار و راهنمای لحظات گمراهی من بودند، سپاسگزاری می نمایم.

سپس از جناب آقای دکتر **جواد واثقی امیری** که با حضور خود در مقام استاد مشاور، مرا در پیمودن این راه یاری دادند، تشکر و قدردانی می نمایم.

جا دارد که بر دستان **پدرم**، این نور روشن شب شکن و **مادرم**، این الههٔ مهر و محبت، بوسه زنم که سالهای عمرم را مدیون دلسوزیها و فداکاری های آنان هستم و خواهم بود.

سپاس از همراهی ها و گذشت های **برادر** عزیزم، **دانن**، که کمکهای بجا و پرثمر او، گره از حل مشکلاتم می گشود.

تشکر و سپاسی ویژه از کمکهای مؤثر فکری و علمی دوست نازنین و فداکارم، آقای مهندس **ناصر امیر حصاری**، که بی دریغ و بی منت، همواره در حل مشکلات و در اختیار قرار دادن آنچه که نیاز داشتم، مرا یاری می دادند.

در انتها از همراهی های دیگر دوستان عزیزم، آقایان مهندسان **توحید قلی زاده**، **امیر حسین اسدیانی یکتا**، **علی گودرزی**، **ساوالان پوراکبر خیاوی** و ... که رسیدن به این سرانجام، بدون کمکهای آنان ممکن نبود، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

ونن جلالی

۱۳۸۵/۵/۳۱

چکیده

در قابهای مهاربندی شدهٔ هم مرکز فولادی، رفتار مهاربندها پس از کمانش تحت بارهای رفت و برگشتی زلزله، شامل کاهش شدید مقاومت در محدودهٔ پس کمانشی آنهاست که این پدیده، ظرفیت باربری آنها را به شدت کاهش می دهد. به کار بردن مهاربندهای قویتر، از یک سو ممکن است سبب ایجاد سیستمهایی با ویژگی مهاربند قوی- ستون ضعیف شود و از سوی دیگر، سختی طبقه را بالا می برد و اضافه مقاومت این مهاربندها، نیروهای محوری بزرگی در ستونها ایجاد می کند. این مسئله، احتمال تشکیل مفاصل پلاستیک خمشی در ستونها و کمانش آنها را تحت بارهای محوری افزایش می دهد. با توجه به مسائل گفته شده، در این پایان نامه تلاش شده است تا رفتار قابهای مهاربندی شدهٔ هم مرکز طراحی شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش دوم در زلزله های شدید بررسی گردد و در صورت نیاز، برای بهبود رفتار لرزه ای آنها، روشی مناسب پیشنهاد شود. بدین منظور، مدلهایی با مهاربندهای ضربدری، ضربدری بزرگ، قطری فشاری، شورون هفت و شورون هشت و تعداد طبقات ۴ ، ۶ ، ۸ ، ۱۰ و ۱۲ ، به عنوان سیستم باربر جانبی ساختمانهایی با هندسه و مشخصات تعریف شده در نظر گرفته شده اند. این مدلها مطابق استاندارد ۵۱۹ ، بارگذاری ثقلی گردیده و بر اساس روش تحلیل استاتیکی معادل در آیین نامهٔ ۲۸۰۰ ، بارگذاری لرزه ای شده اند. سپس بر مبنای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران مربوط به سازه های فولادی و با رعایت الزامات و ضوابط پیوست ۲ از استاندارد ۲۸۰۰ ، اقدام به طراحی آنها شده است. آنگاه این مدلها با استفاده از نرم افزار SNAP-2DX و در نظر گرفتن رفتار پس کمانشی مهاربندها، تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچهٔ زمانی شده و نتایج تحلیل ها بررسی گردیده است. بررسی نتایج تحلیل ها، بیانگر رفتار لرزه ای نامناسب قابهای مذکور، به دلیل تشکیل و تمرکز مفاصل پلاستیک در تعداد چشمگیری از ستونهای آنها، خصوصاً ستونهای اطراف دهانهٔ مهاربندی شده، ایجاد دریفتهای میان طبقه ای بزرگ و نیز مکانیزم طبقهٔ نرم، به ویژه در طبقات فرد بالایی آنها بوده است. با انجام تحلیل دینامیکی افزایشی بر روی مدلها و بررسی نتایج آن، اطلاعاتی از نحوهٔ ورود رفتار مدلها به ناحیهٔ غیر ارتجاعی به دست آمده و در مورد روش بهبود رفتار قابها تصمیم گیری شده است. این روش، شامل تقویت ستونهای اطراف دهانهٔ مهاربندی شده با استفاده از روش طراحی ستونها بر اساس ظرفیت مهاربندها می باشد. همچنین در قابهای شورون، علاوه بر روش مذکور، تیر اتصال مهاربند نیز با روش طرح خمیری آن بر اساس ظرفیت مهاربندهای متصل به آن، تقویت می گردد. تحلیل دینامیکی غیر خطی بر روی مدلهای تقویت شده و مقایسهٔ نتایج تحلیل، قبل و بعد از تقویت مقاطع، بر این حقیقت دلالت دارند که تقویت ستونها بر اساس ظرفیت مهاربندها و همچنین تقویت تیر اتصال مهاربند در قابهای شورون، بر اساس ظرفیت مهاربندها، در بهبود رفتار قابهای مذکور کاملاً مؤثر است. این روش، با کاهش چشمگیر تعداد مفاصل پلاستیک در ستونها و توزیع خسارت در ارتفاع سازه، از تمرکز دریفتهای میان طبقه ای بزرگ، پیشگیری نموده و از بروز پدیده هایی نظیر تشکیل طبقهٔ نرم جلوگیری می کند. در حقیقت، این طرح، سبب جذب مناسب انرژی زلزله در مهاربندها شده (با ایجاد سیستم ستون یا تیر قوی- مهاربند ضعیف) و به مقاوم سازی مناسبی می انجامد.

کلیدواژه ها: *قاب مهاربندی شدهٔ هم مرکز، مهاربندی، استاندارد ۲۸۰۰، ظرفیت مهاربند، مفصل پلاستیک، دریفت، طبقهٔ نرم، تحلیل دینامیکی غیر خطی، تحلیل دینامیکی افزایشی، رفتار پس کمانشی، بهبود رفتار لرزه ای، طراحی، طرح خمیری*

Abstract

In concentrically braced steel frames, the behavior of braces after buckling under seismic cyclic loads, including the descent of their post buckling resistance, will decrease their capacity very hard. Using the stronger braces, would be cause of creating a system with strong brace-weak column characteristic and in other hands uprising the story stiffness and additional resistance of these braces will create great axial forces in columns. This problem adds the possibility of making plastic hinges in columns and their buckling under the axial loads. By looking at previous problems, in this thesis it has been tried to survey the behavior of concentric braced frames which designed on the base of Standard No. 2800 -2nd edition- in strong earthquakes and if it is necessary for their behavior upgrading, suggest a convenient method. So models with X-braces, Split X, Diagonal, Chevron-V and Inverted-V and the 4 , 6 , 8 , 10 and 12-stories, as a lateral load resisting system for buildings with defined characteristics have been considered. They were loaded gravitational according to Standard 519 and also loaded seismically according to static analyzing method in Code 2800. Then they have been designed according to chapter tenth of Iranian Building Codes and Standards about steel structures and also orders in appendix (II) in Standard No. 2800. Then they have been analyzed in Dynamic Nonlinear analyzing (Time History) method by using of software SNAP-2DX and by considering post buckling behavior of braces and the results have been surveyed. Surveying the results of this analyzing, has showed bad seismic behavior of these frames because of forming and concentrating plastic hinges in most of the columns, specially around the braced span and occurring great inter-story drifts and Soft-story mechanism, specially in high elevation odd stories of the frame. By Incremental Dynamic Analyzing on the models and surveying its results, some facts about the way of entering of the models behavior in the inelastic region has been found and also it has been decided about the method of upgrading the frames' behavior. This method includes improving the columns around the braced span by designing them on the base of its braces' capacity. In addition to this method, in Chevron braced frames, the brace connection beam is redesigned and improved by the plastic design method on the base of braces' capacity. Dynamic Nonlinear analysis on the improved models, and comparing the results after and before this improvement, shows that strengthening the columns according to the capacity of braces and also improving the brace connection beam in Chevron frames, are completely effective in upgrading the seismic behavior of CBF's. By a large decrease in the number of plastic hinges in columns and by distributing the damage and failure in the height of frames, this method will prevent concentrating of large inter-story drifts and occurring Soft-story mechanism. In real, this method cause to a good earthquake energy absorption in braces (by making a strong column or beam-weak brace system) and results to a good strengthening.

Key Words: Concentric braced frame, Bracing, Standard No. 2800, Brace capacity, Plastic hinge, Drift, Soft story, Nonlinear dynamic analysis, Incremental dynamic analysis, Post buckling behavior, Upgrading seismic behavior, Design, Plastic design

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- مروری بر پژوهشهای گذشته ۴

۱-۳- هدف پایان نامهٔ حاضر و ضرورت انتخاب این هدف ۸

۱-۴- روش انجام پایان نامه ۹

فصل دوم: اصول و مفاهیم

۲-۱- مقدمه ۱۳

۲-۲- اهداف طراحی لرزه ای ساختمانها از دیدگاه بعضی آیین نامه ها ۱۳

۲-۲-۲- آیین نامهٔ انجمن مهندسان سازهٔ کالیفرنیا (SEAOC) ۱۶

۲-۲-۳- آیین نامهٔ ATC-40 ..... ۱۶

۲-۲-۴- آیین نامهٔ UBC 97 ..... ۱۷

۲-۳- نتیجه ۱۸

۲-۴- رفتار فولاد ۱۸

۲-۵- اصول طراحی لرزه ای ۲۰

۲-۶- رفتار چرخه ای سازه ها و منحنی هیسترزیس ۲۲

۲-۷- اثر زوال ۲۸
۲-۸- میرایی ۳۱
۲-۸-۱- انواع میرایی ۳۱
۲-۸-۱-۱- میرایی خارجی لزج ۳۱
۲-۸-۱-۲- میرایی داخلی لزج ۳۲
۲-۸-۱-۳- میرایی اصطکاک جسم ۳۲
۲-۸-۱-۴- میرایی هیسترزیس ۳۲
۲-۸-۱-۵- میرایی تشعشعی ۳۴
۲-۸-۱-۶- میرایی هیسترزیس اطراف پی ۳۵
۲-۸-۲- مقادیر میرایی برای سازه های ساختمانی ۳۵
۲-۹- مفصل و لنگر پلاستیک ۳۶
۲-۱۰- معرفی پارامترهای لرزه ای ۳۷
۲-۱۰-۱- ضریب شکل پذیری ۳۸
۲-۱۰-۲- ضریب کاهش نیروی زلزله در اثر شکل پذیری سازه ۳۹
۲-۱۰-۳- ضریب اضافه مقاومت ۴۱
۲-۱۰-۴- ضریب رفتار ساختمان ۴۲
۲-۱۰-۵- ضریب تبدیل جابجایی خطی به غیر خطی ۴۵
۲-۱۱- جمع‌بندی معیارهای طراحی و پارامترهای کنترل کننده ۴۶
۲-۱۲- سیستمهای باربر نیروهای جانبی در ساختمانها ۴۸
۲-۱۲-۱- سیستم قاب خمشی ۴۸
۲-۱۲-۲- سیستم قاب مهاربندی شده ۵۰
۲-۱۲-۲-۱- قابهای مهاربندی شدهٔ هم مرکز (CBFs) ۵۱

۲-۱۲-۲-۲- قابهای مهار بندی شدهٔ خارج از مرکز (EBFs) ۵۳
۲-۱۲-۳- سیستم دیوار برشی ۵۵
۲-۱۲-۴- سیستمهای ترکیبی (دوگانه) ۵۵
۲-۱۳- پاسخ مهاربند به نیروی محوری چرخه ای ۵۶
۲-۱۴- تأثیر لاغری مهاربند بر پاسخ چرخه ای آن ۵۹
۲-۱۵- ضریب کاهش مقاومت فشاری مهاربند ۶۲
۲-۱۶- اثرات نامطلوب ناشی از کمانش مهاربندها ۶۳
۲-۱۷- رفتار دینامیکی غیرارتجاعی انواع مهاربندهای هم مرکز ۶۴
۲-۱۷-۱- مهاربند قطری فشاری ۶۴
۲-۱۷-۲- مهاربندهای ضربدری ۶۴
۲-۱۷-۳- مهاربندهای هفت و هشت ۶۵
۲-۱۷-۴- مهاربندهای K شکل ۶۵
۲-۱۸- مکانیزم شکست ۶۶
۲-۱۸-۱- شکست کلی ۶۷
۲-۱۸-۲- شکست موضعی ۶۹

فصل سوم: مشخصات مدلهای مورد مطالعه

۳-۱- مقدمه ۷۱
۳-۲- مشخصات قابهای مهاربندی شدهٔ مورد مطالعه ۷۱
۳-۳- بارگذاری ۷۳
۳-۳-۱- بارهای ثقلی ۷۳
۳-۳-۲- بار زلزله ۷۴

۳-۴- تحلیل و طراحی ۷۴

فصل چهارم: پاسخ لرزه ای مدلها به زلزله های شدید

۴-۱- مقدمه ۷۹
۴-۲- تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچهٔ زمانی ۷۹
۴-۲-۱- شتابنگاشتهای به کار رفته در تحلیل ۷۹
۴-۲-۲- به مقیاس در آوردن شتابنگاشت ۸۲
۴-۲-۳- مدلسازی قابها و انجام تحلیل ۸۵
۴-۲-۳-۱- معرفی برنامهٔ SNAP-2DX ۸۵
۴-۲-۳-۲- فایل داده های ورودی به برنامهٔSNAP-2DX ۸۶
۴-۲-۳-۳- مدلسازی قابها ۸۷
۴-۲-۳-۳-۱- مدلسازی تیرها و ستونها با المان تیر- ستون ۸۷
۴-۲-۳-۳-۱-۱- ویژگیهای المان تیر- ستون ۸۷
۴-۲-۳-۳-۱-۲- مقدار برخی از پارامترهای مهم ورودی ۹۲
۴-۲-۳-۳-۲- مدلسازی مهاربندها، با المان خرپایی کمانش کننده (مدل جین) ۹۳
۴-۲-۳-۳-۲-۱- ویژگیهای مدل جین ۹۳
۴-۲-۳-۳-۲-۲- مقدار برخی از پارامترهای مهم ورودی ۹۶
۴-۲-۳-۳-۳- مدلسازی اتصالات مفصلی تیرها و ستونها ۹۷
۴-۲-۳-۴- فایل های خروجی برنامهٔSNAP-2DX ۹۷
۴-۲-۴- بررسی نتایج تحلیل ۹۸
۴-۲-۴-۱- نمودار تغییر مکان بام (تراز n-ام) در مدت زمان زلزله ۹۸
۴-۲-۴-۲- نمودار برش پایه برحسب تغییر مکان نسبی طبقهٔ اول ۱۰۳

۴-۲-۴-۳- نمودار بیشترین تغییر مکان نسبی طبقات..... ۱۰۸
۴-۲-۴-۴- موقعیت مفاصل پلاستیک..... ۱۱۲
۴-۳- نتیجه گیری ۱۲۰

فصل پنجم: تحلیل دینامیکی افزایشی

۵-۱- مقدمه ۱۲۳
۵-۲- تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA)..... ۱۲۳
۵-۲-۱- انجام تحلیل دینامیکی افزایشی بر روی مدلها..... ۱۲۵
۵-۲-۲- بررسی نتایج تحلیل IDA..... ۱۲۶
۵-۳- نتیجه گیری ۱۳۲

فصل ششم: بهبود رفتار لرزه ای غیر ارتجاعی قابها

۶-۱- مقدمه ۱۳۵
۶-۲- طراحی ستونها بر اساس ظرفیت مهاربندها..... ۱۳۵
۶-۳- تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچهٔ زمانی ۱۳۸
۶-۳-۱- بررسی نتایج تحلیل ۱۳۸
۶-۴- طرح خمیری تیر اتصال مهاربند در قابهای شورون ۱۵۰
۶-۵- بررسی تغییر رفتار لرزه ای قابهای شورون با تیر اتصال تقویت شده..... ۱۵۱
۶-۵-۱- بررسی نتایج تحلیل ۱۵۲
۶-۶- نتیجه گیری..... ۱۶۳

فصل هفتم: نتیجه گیری و ارائهٔ پیشنهاد

۷-۱- جمع بندی نتیجه گیریها ۱۶۵

۷-۲- پیشنهادهایی برای پژوهشهای آینده ۱۶۸

منابع و مراجع

فهرست پیوست ها

پیوست ۱: ادامهٔ جداول مقاطع طرح شده برای مدلها..... ۱۷۳

پیوست ۲: ادامهٔ نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچهٔ زمانی..... ۱۸۳

پیوست ۳: ادامهٔ نتایج تحلیل دینامیکی افزایشی..... ۲۲۴

پیوست ۴: ادامهٔ جداول مقاطع به کار رفته در مدلها، پس از طرح تقویت..... ۲۵۷

پیوست ۵: ادامهٔ نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی مدلهای تقویت شده..... ۲۶۷

پیوست ۶: نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی قاب شورون هشت با تیر تقویت شده..... ۳۰۸

پیوست ۷: نمونه ای از فایل ورودی به برنامهٔ SNAP-2DX..... ۳۱۹

فهرست جدول های متن

فصل اول

.....

فصل دوم

جدول ۲-۱: نمونه ای از سطح ایمنی قابل درخواست توسط کارفرما ۱۷

فصل سوم

جدول ۳-۱: پیش فرض های محاسبات بارگذاری..... ۷۲

جدول ۳-۲: مقادیر بارهای گسترده ثقلی بر اساس استاندارد ۵۱۹ ..... ۷۴

جدول ۳-۳: مشخصات فولاد نرمهٔ مصالح..... ۷۵

جدول ۳-۴: برخی از پارامترهای مهم به کار رفته در طراحی اعضا ۷۵

جدول ۳-۵: مقاطع طرح شده برای قاب ۴ طبقه با مهاربند ضربدری ۷۶

جدول ۳-۶: مقاطع طرح شده برای قاب ۴ طبقه با مهاربند ضربدری بزرگ ۷۶

جدول ۳-۷: مقاطع طرح شده برای قاب ۴ طبقه با مهاربند قطری فشاری ۷۶

جدول ۳-۸: مقاطع طرح شده برای قاب ۴ طبقه با مهاربند شورون هفت 76

جدول ۳-۹: مقاطع طرح شده برای قاب ۴ طبقه با مهاربند شورون هشت ۷۷

فصل چهارم

جدول ۴-۱ : ضرایب بدست آمده برای اصلاح رکوردها در سازه های دارای یک مهاربندی در دهانه میانی.. ۸۴

جدول ۴-۲ : مقدار برخی پارامترهای مهم جهت تحلیل، برای بعضی مقاطع تیر و ستون ۹۳

جدول ۴-۳ : مقدار برخی پارامترهای مهم جهت تحلیل، برای بعضی مقاطع مهاربندی ۹۷

فصل پنجم

.....

فصل ششم

جدول ۶-۱ : مقاطع طرح شده برای قاب ۴ طبقه با مهاربند ضربدری ۱۳۷

جدول ۶-۲ : مقاطع طرح شده برای قاب ۴ طبقه با مهاربند ضربدری بزرگ ۱۳۷

جدول ۶-۳ : مقاطع طرح شده برای قاب ۴ طبقه با مهاربند قطری فشاری ۱۳۷

جدول ۶-۴ : مقاطع طرح شده برای قاب ۴ طبقه با مهاربند هفت ۱۳۸

جدول ۶-۵ : مقاطع طرح شده برای قاب ۴ طبقه با مهاربند هشت ۱۳۸

فصل هفتم

.....

فهرست شکل های متن

فصل اول

.....

فصل دوم

شکل ۲-۱ : منحنی واقعی تنش-کرنش فولاد ۱۹

شکل ۲-۲ : منحنی ایده آل تنش-کرنش فولاد ۱۹

شکل ۲-۳ ..... ۲۰

شکل ۲-۴ : مدلهای نوع مسینگ. (الف) مدل دو خطی.(ب) مدل سه خطی. (ج) مدل رامبرگ- اسگود..... ۲۳

شکل ۲-۵ : مدلهای تنزلی. (الف) مدل دو خطی تنزلی کلاف و جانسون. (ب) مدل سه خطی تاکدا..... ۲۴

شکل ۲-۶ : مدلهای نوع لغزشی. (الف) مدل دو خطی مضاعف توسط تاناباشی کانتا و ایوان. (ب) مدل نوع لغزشی. ۲۵

شکل ۲-۷ : رفتار هیسترزیس فولاد.(الف) رفتار حقیقی.(ب) مدل الاستیک پلاستیک.(ج) مدل دو خطی.(د) مدل بوشینگر. ۲۷

شکل ۲-۸ : (الف) منحنی هیسترزیس ایده آل.(ب) منحنی هیسترزیس دارای زوال سختی.(ج) منحنی هیسترزیس دارای زوال مقاومت. ۲۷

شکل ۲-۹ : تنزل بر اثر بار رفت و برگشتی . (الف) تنزل مقاومت. (ب) تنزل سختی. ۲۹

شکل ۲-۱۰ : رفتار سازه ها تحت بار دوره ای . (الف) رفتار نامناسب. (ب) رفتار مناسب. ۳۱

شکل ۲-۱۱ : چرخه هیسترزیس بار- تغییر مکان ۳۳

شکل ۲-۱۲: تیر دوسر مفصل تحت اثر بار افزایشی ۳۶

شکل ۲-۱۳: منحنی نیرو- جابجایی وسط دهانهٔ تیر مزبور ۳۶

شکل ۲-۱۴: نمودار تغییرات کرنش در یک مقطع تحت اثر خمش ۳۷

شکل ۲- ۱۵ ..... ۳۸

شکل ۲-۱۶ : طیف بازتاب ارتجاعی و غیر ارتجاعی با شکل پذیری ثابت ۴۱

شکل ۲-۱۷ : تعریف پارامترهای غیرخطی ۴۳

شکل ۲-۱۸: کاهش مقاومت جانبی سیستم خمشی با اضافه کردن مهاربندی ۴۷

شکل ۲-۱۹ : شکلهای مختلف و معمول مهاربندهای هم مرکز ۵۳

شکل ۲-۲۰ : شکلهای مختلف و معمول مهاربندهای خارج از مرکز ۵۴

شکل ۲-۲۱ : عملکرد توأم قاب و دیوار برشی، الف) سیستم دوگانه، ب) تغییر شکل قاب خمشی، پ) تغییر شکل دیوار برشی، ت) نسبت سهم باربری دیوار برشی و قاب خمشی در ارتفاع ۵۶

شکل ۲-۲۲ : منحنی هیسترزیس نمونهٔ یک مهاربند تحت بارگذاری محوری چرخه ای ۵۷

شکل ۲-۲۳ : تاریخچه زمانی یک قاب با مهاربند ضربدری لاغر ۶۰

شکل ۲-۲۴ : انواع مکانیزمهای شکست در نظر گرفته شده توسط پیلازو و مازولانی ۶۸

فصل سوم

شکل ۳-۱ : پلان ساختمان های مورد مطالعه ۷۲

شکل ۳-۲ : نمای تعدادی از قابهای مورد بررسی با مهاربندهایی به شکلهای: الف) ضربدری، ب) ضربدری بزرگ، پ) قطری فشاری، ت) شورون هفت، ث) شورون هشت ۷۳

فصل چهارم

شکل ۴-۱ : شتابنگاشت زلزلهٔ السنترو ۸۱

شکل ۴-۲ : شتابنگاشت زلزلهٔ ناغان ۸۱

شکل ۴-۳ : شتابنگاشت زلزلهٔ طبس ۸۱

شکل ۴-۴ : طیف شتاب‌های اصلاح نشده برای قاب ۴ طبقه با مهاربندی ضربدری ۸۳

شکل ۴-۵ : طیف شتاب‌های اصلاح شده برای قاب ۴ طبقه با مهاربندی ضربدری ۸۳

شکل ۴-۶ : رابطهٔ لنگر با دوران و انحناء در المان تیر-ستون ۸۸

شکل ۴-۷ : رابطهٔ لنگر با نیروی محوری در المان تیر-ستون با کد شکل ۲..... ۹۰

شکل ۴-۸ : قرارداد علامت برای نیروهای انتهایی المان تیر- ستون : الف) مختصات محلی عضو ، ب) مختصات کلی سازه ۹۱

شکل ۴-۹: مدل رفتاری هیسترزیس به کار رفته در المان خرپایی کمانش پذیر..... ۹۴

شکل ۴-۱۰ : قرارداد علامت برای نیروهای انتهایی المان خرپایی : الف) مختصات محلی عضو ، ب) مختصات کلی سازه..... ۹۶

شکل ۴-۱۱ : نمودار تغییر مکان بام بر حسب زمان برای قاب ۴ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۰۰

شکل ۴-۱۲ : نمودار تغییر مکان بام بر حسب زمان برای قاب ۶ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۰۰

شکل ۴-۱۳ : نمودار تغییر مکان بام بر حسب زمان برای قاب ۸ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۰۱

شکل ۴-۱۴ : نمودار تغییر مکان بام بر حسب زمان برای قاب ۱۰ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۰۱

شکل ۴-۱۵ : نمودار تغییر مکان بام بر حسب زمان برای قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۰۲

شکل ۴-۱۶ : نمودار برش پایه بر حسب دریفت طبقهٔ اول برای قاب ۴ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۰۵

شکل ۴-۱۷ : نمودار برش پایه بر حسب دریفت طبقهٔ اول برای قاب ۶ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۰۶

شکل ۴-۱۸ : نمودار برش پایه بر حسب دریفت طبقهٔ اول برای قاب ۸ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۰۶

شکل ۴-۱۹ : نمودار برش پایه بر حسب دریفت طبقهٔ اول برای قاب ۱۰ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۰۷

شکل ۴-۲۰ : نمودار برش پایه بر حسب دریفت طبقهٔ اول برای قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۰۷

شکل ۴-۲۱ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۴ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۱۰

شکل ۴-۲۲ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۶ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۱۰

شکل ۴-۲۳ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۸ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۱۱

شکل ۴-۲۴ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۱۰ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۱۱

شکل ۴-۲۵ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۱۲

شکل ۴-۲۶ : نمادهای به کار رفته برای نمایش تسلیم خمشی و کمانشی اعضا ۱۱۴

شکل ۴-۲۷ : موقعیت مفاصل پلاستیک تشکیل شده در قاب ۴ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۱۵

شکل ۴-۲۸ : موقعیت مفاصل پلاستیک تشکیل شده در قاب ۶ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۱۵

شکل ۴-۲۹ : موقعیت مفاصل پلاستیک تشکیل شده در قاب ۸ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۱۶

شکل ۴-۳۰ : موقعیت مفاصل پلاستیک تشکیل شده در قاب ۱۰ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۱۶

شکل ۴-۳۱ : موقعیت مفاصل پلاستیک تشکیل شده در قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۱۷

فصل پنجم

شکل ۵-۱ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۸ طبقه با مهاربندی هشت تحت زلزلهٔ السنترو با مقیاسهای متفاوت..... ۱۲۶

شکل ۵-۲ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۸ طبقه با مهاربندی هشت تحت زلزلهٔ ناغان با مقیاسهای متفاوت..... ۱۲۷

شکل ۵-۳ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۸ طبقه با مهاربندی هشت تحت زلزلهٔ طبس با مقیاسهای متفاوت..... ۱۲۷

شکل ۵-۴ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۱۰ طبقه با مهاربندی هشت تحت زلزلهٔ السنترو با مقیاسهای متفاوت..... ۱۲۸

شکل ۵-۵ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۱۰ طبقه با مهاربندی هشت تحت زلزلهٔ ناغان با مقیاسهای متفاوت..... ۱۲۸

شکل ۵-۶ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۱۰ طبقه با مهاربندی هشت تحت زلزلهٔ طبس با مقیاسهای متفاوت..... ۱۲۹

شکل ۵-۷ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی هشت تحت زلزلهٔ السنترو با مقیاسهای متفاوت..... ۱۲۹

شکل ۵-۸ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی هشت تحت زلزلهٔ ناغان با مقیاسهای متفاوت..... ۱۳۰

شکل ۵-۹ : نمودار بیشترین دریفت طبقات برای قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی هشت تحت زلزلهٔ طبس با مقیاسهای متفاوت..... ۱۳۰

فصل ششم

شکل ۶-۱ : دیاگرام نیروهای عضوی یک قاب، در روش طراحی ستون بر اساس ظرفیت مهاربندها ۱۳۶

شکل ۶-۲ : نمودار تغییر مکان بام بر حسب زمان برای قاب ۴ طبقه با مهاربندی ضربدری تحت زلزله های : الف) السنترو ، ب) ناغان ، پ) طبس ۱۳۹