



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد - گرایش مهندسی سازه

موضوع پایان نامه :

مقایسه عملکرد لرزه ای مهاربندهای کمانش تاب معمولی و مهاربندهای

کمانش تاب بهینه شده

استاد راهنما :

دکتر نادر فنائی

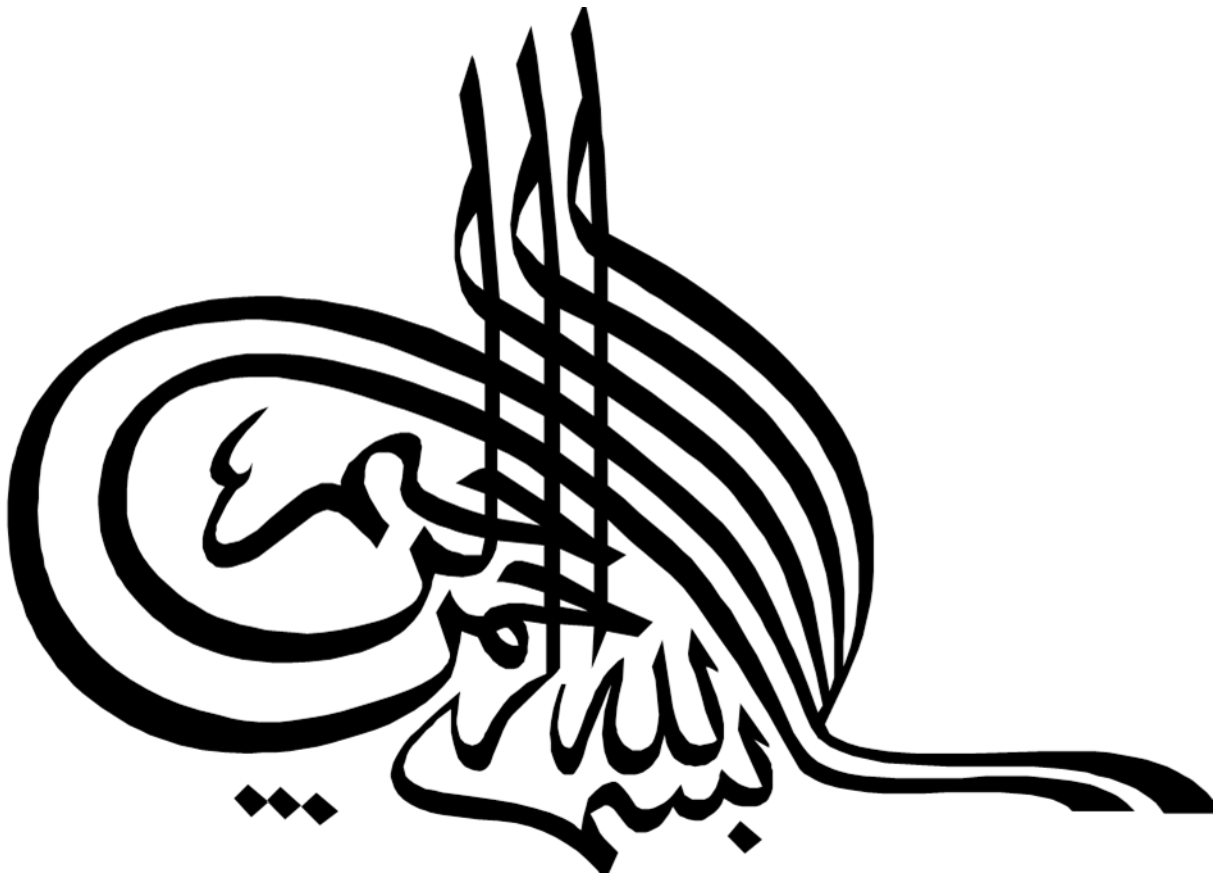
دانشجو :

ابراهیم افسردیزج

شماره دانشجویی :

۸۹۰۰۱۳۴

شهریور ۱۳۹۱



تقدیم به

پدر و مادر عزیزم  
به پاس تمامی زحماتشان،

اساتیدم  
که از بیچ کوزه راهنمایی و لکمی دریغ ننمودند،

و همه کسانی که در این مسیر یاری ام کردند.

## تأییدیه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه خانم / آقای:

را با عنوان:

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی / کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
			استاد راهنما
			استاد مشاور
			استاد مشاور
			استاد ممتحن
			استاد ممتحن
			نماینده تحصیلات تکمیلی

## اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه : مقایسه عملکرد لرزه ای مهاربندهای کمانش تاب معمولی و مهاربندهای کمانش تاب

بهینه شده

استاد راهنما : دکتر نادر فنائی

دانشجو : ابراهیم افسردیزج

اینجانب ابراهیم افسردیزج دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران-گرایش مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده، مورد تأیید می باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان، مرجع مورد استفاده اشاره شده است.

به علاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در جای دیگری ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چهارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده ام.

امضا :

تاریخ :

## مالکیت حق چاپ و تکثیر

حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هر گونه کپی برداری به صورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست. هم چنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## تقدیر و تشکر

خداوند متعال را قدردانم که تمام تلاش های انجام شده در جهت انجام این پایان نامه جز با توکل و یاری او ممکن نبود .

در این جا بر خود لازم می دانم از تمامی کسانی که مرا در این امر مهم یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم، از جمله جناب آقای دکتر نادر فنائی که به عنوان استاد راهنما، در این مسیر از هیچ گونه راهنمایی و کمکی دریغ ننمودند.

هم چنین از آقای مهندس ساسان عزت شعار ثانوی به خاطر راهنمایی هایشان تشکر می نمایم.

## چکیده :

به دلیل عملکرد لرزه ای بسیار مناسب، مهاربندهای کمانش تاب جایگزین مهاربندهای مرسوم شده‌اند. مهاربندهای کمانش تاب به دلیل داشتن رفتار هیستریزیس متقارن، قابلیت جذب انرژی بالایی را دارا می‌باشند. اما وقتی که هسته این مهاربندها جاری می‌شود، سختی این مهاربندها تا حد زیادی کاهش پیدا می‌کند و به عبارت دیگر سختی غیر الاستیک این مهاربندها کم است.

کاهش طول هسته «قطعه جاری شونده» منجر به افزایش اضافه مقاومت سازه و نیز سختی غیر الاستیک می‌شود و سختی غیر الاستیک کم مهاربندهای کمانش تاب قبلی را جبران می‌کند. مهاربند کمانش تاب بهینه شده نوع جدیدی از مهاربندهای کمانش تاب می‌باشد که در آن طول قطعه جاری شونده نسبت به مهاربندهای کمانش تاب مرسوم کاهش یافته و هم چنین به جای اینکه این قطعه در وسط مهاربند قرار گیرد در یکی از دو انتهای مهاربند قرار گرفته و مانند یک فیوز سازه ای عمل می‌کند و اگر پس از زلزله های شدید نیاز به جایگزینی باشد کافی است که فیوز آسیب دیده را با یک فیوز جدید جایگزین کرد (فقط در انتهای مهاربند) و لزومی ندارد که کل مهاربند جایگزین شود و این در صورتی است که این مهاربندها هنوز به طور رسمی در آیین نامه ها شناخته نشده اند و در زمینه عملکرد و پاسخ لرزه ای این مهاربندها در برابر شتابنگاشت های واقعی زلزله، تحقیقی جامع بر اساس تحلیل های دقیق دینامیکی غیر خطی صورت نگرفته است. یکی از مهمترین پارامترهای لرزه ای سازه ها در برابر نیروهای زلزله، ضریب رفتار می‌باشد که در حقیقت بیانگر توانایی سیستم سازه ای در جذب و استهلاک انرژی ناشی از زلزله و ایجاد تغییر شکل های فرا ارتجاعی بدون فروریزش کلی سازه می‌باشد.

در این مطالعه به تعیین ضریب رفتار و ضریب اضافه مقاومت سیستم های مهاربندی کمانش تاب مرسوم و سیستم مهاربندی کمانش تاب بهینه شده و نیز مقایسه نتایج آن ها پرداخته شده است. برای این منظور از تحلیل های استاتیکی غیر خطی و دینامیکی خطی و دینامیکی افزایشی، IDA، تحت ۱۷ رکورد مهم زلزله های



دنیا از جمله دو زلزله مهم ایران (طبس و بم) استفاده شده است و مطالعه روی قاب های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه با استفاده از نرم افزار Opensees انجام شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده می توان گفت که ضریب رفتار و اضافه مقاومت سیستم مهاربندی کمانش تاب بهینه شده از نوع مرسوم آن بالاتر بوده و عملکرد لرزه ای بهتری را از خود نشان می دهد و برخی از معایب مهاربندهای کمانش تاب مرسوم را برطرف می کند.

**کلمات کلیدی:** مهاربند کمانش تاب ، مهاربند کمانش تاب بهینه شده، تحلیل دینامیکی افزایشی ، ضریب رفتار، ضریب اضافه مقاومت، کاهش طول هسته.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل ۱- مقدمه و کلیات .....	۲
۱-۱- مقدمه .....	۲
۲-۱- انواع سیستم های مهاربندی سازه ها .....	۴
۱-۲-۱- مهاربندهای هم مرکز (همگرا) .....	۵
۲-۲-۱- مهاربندهای خارج از مرکز (واگرا) .....	۶
۳-۱- مهاربندهای کمانش تاب .....	۸
۱-۳-۱- کلیات .....	۸
۲-۳-۱- معرفی BRB .....	۹
۳-۳-۱- اجزای تشکیل دهنده BRB .....	۱۱
۴-۳-۱- روابط پایداری مهاربندهای کمانش تاب تحت نیروی فشاری .....	۱۵
۵-۳-۱- مروری بر کارهای آزمایشگاهی و تحلیلی .....	۲۱
۱-۵-۳-۱- آزمایشهای رفت و برگشت دینامیکی اعضاء تک .....	۲۱
۲-۵-۳-۱- آزمایش و تحلیل دینامیکی قاب .....	۲۹
۳-۳-۱- طراحی لرزه ای قاب های BRBF .....	۳۶
۱-۶-۳-۱- ضوابط آیین نامه AISC Seismic Provisions 2005 .....	۳۶
۲-۶-۳-۱- روند طراحی قاب های BRB .....	۳۹
۴-۱- لزوم انجام این مطالعه .....	۴۰
۵-۱- نحوه انجام پایان نامه .....	۴۲
۶-۱- سازماندهی مطالب پایان نامه .....	۴۳
فصل ۲- کاهش طول قطعه تسلیم شونده در مهاربندهای کمانش تاب .....	۴۶
۱-۲- مقدمه .....	۴۶
۲-۲- معرفی BRB کاهش طول یافته و رفتار مکانیکی آن .....	۴۶
۳-۲- معرفی قسمت های مختلف مهاربند پیشنهادی میرقادری و شمشادیان .....	۵۲

۵۴	۴-۲	روند طراحی مهاربند پیشنهادی
۵۸	۵-۲	اصلاح معیار انتخاب طول تسلیم شونده در روند طراحی مهاربند پیشنهادی
۵۹	۶-۲	تاریخچه کاهش طول قطعه جاری شونده در مهاربندهای کمانش تاب
۵۹	۱-۶-۲	تحقیقات ترمبلی و همکاران
۶۰	۱-۶-۲-۱	نمونه ها
۶۴	۲-۶-۲-۲	پروتکل های بارگذاری
۶۵	۳-۶-۲-۱	نتایج
۶۸	۲-۶-۲	تحقیقات دی سارنو و مانفردی
۷۱	۳-۶-۲	مطالعات میر قادری و اهل حق
۷۶	۳	<b>فصل ۳- معرفی روش تحلیل دینامیکی افزایشی</b>
۷۶	۱-۳	مقدمه
۷۶	۱-۳-۱	روش استاتیکی خطی
۷۷	۲-۳-۱	روش دینامیکی خطی
۷۷	۳-۳-۱	روش استاتیکی غیر خطی (بار افزون)
۷۸	۴-۳-۱	روش دینامیکی غیرخطی
۷۹	۲-۳	تحلیل دینامیکی افزایشی
۸۲	۱-۳-۲	معیار شدت لرزه ای (IM)
۸۳	۲-۳-۲	معیار شدت خسارت (DM)
۸۳	۳-۳-۲	ضریب مقیاس (SF)
۸۴	۴-۳-۲	انتخاب رکوردهای زلزله
۸۵	۵-۳-۲	نحوه مقیاس کردن شتابنگاشت ها
۸۶	۳-۳	تعیین حالت حدی خرابی
۸۹	۴-۳	خصوصیات یک منحنی IDA
۹۱	۵-۳	خلاصه سازی منحنی های IDA
۹۴	۴	<b>فصل ۴- معرفی مدل های مورد مطالعه</b>
۹۴	۱-۴	مقدمه
۹۴	۲-۴	سازه های مورد بررسی
۹۵	۳-۴	مشخصات هندسی سازه ها

- ۹۷-۴-۴ بارگذاری ..... ۹۷
- ۹۷-۴-۴-۱ بارگذاری ثقلی ..... ۹۷
- ۹۷-۴-۴-۲ بارگذاری جانبی ( اثر نیروی زلزله ) ..... ۹۷
- ۹۸-۴-۴-۱-۲ محاسبه برش پایه ..... ۹۸
- ۹۹-۴-۴-۲-۲ توزیع برش پایه در ارتفاع ساختمان ..... ۹۹
- ۱۰۰-۴-۵ مدلسازی، بارگذاری، تحلیل و طراحی در نرم افزار ETABS ..... ۱۰۰
- ۱۰۰-۴-۶ کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقه ..... ۱۰۰
- ۱۰۱-۴-۷ کنترل ضوابط ویژه طراحی لرزه ای ..... ۱۰۱
- ۱۰۱-۴-۷-۱ کنترل مقاومت ستون ها ..... ۱۰۱
- ۱۰۲-۴-۷-۲ کنترل ضوابط مربوط به تیرهای دهانه مهاربندی شده ..... ۱۰۲
- ۱۰۲-۴-۸ روش های مدلسازی ویژگی های غیر خطی هندسی و مصالح ..... ۱۰۲
- ۱۰۶-۴-۹ معرفی نرم افزار OpenSees ..... ۱۰۶
- ۱۰۷-۴-۹-۱ انواع مدل های رفتاری مصالح فولادی در برنامه ..... ۱۰۷
- ۱۱۰-۴-۹-۲ انواع مدل های مقاطع در برنامه ..... ۱۱۰
- ۱۱۱-۴-۹-۳ انواع المان های موجود در برنامه ..... ۱۱۱
- ۱۱۲-۴-۹-۴ انواع الگوریتم های حل مسائل غیر خطی موجود در برنامه ..... ۱۱۲
- ۱۱۳-۴-۱۰-۱ مدلسازی قابهای دو بعدی در نرم افزار OpenSees ..... ۱۱۳
- ۱۱۳-۴-۱۰-۱-۱ فرضیات مدل سازی در نرم افزار OpenSees ..... ۱۱۳
- ۱۱۳-۴-۱۰-۱-۱-۱ مدل سازی تیرها و ستون ها ..... ۱۱۳
- ۱۱۴-۴-۱۰-۱-۲ مدل سازی مهاربند ..... ۱۱۴
- ۱۱۶-۴-۱۰-۱-۳ تعریف جرم در سازه ..... ۱۱۶
- ۱۱۶-۴-۱۰-۱-۴ مدلسازی میرایی ..... ۱۱۶
- ۱۱۸-۴-۱۰-۲ تبدیل سیستم مختصات کلی و جزئی المان ها ..... ۱۱۸
- ۱۱۹-۴-۱۱-۱ کنترل صحت مدلسازی و کارکرد نرم افزار OpenSees ..... ۱۱۹
- ۱۱۹-۴-۱۱-۱-۱ مقایسه زمان تناوب مود اول و دوم سازه های طراحی شده در نرم افزار ETABS و مدلسازی شده در نرم افزار OpenSees ..... ۱۱۹
- ۱۱۹-۴-۱۱-۲ مقایسه سختی الاستیک سازه های طراحی شده در نرم افزار ETABS و مدلسازی شده در نرم افزار OpenSees ..... ۱۲۰

## فصل ۵- کاربرد روش تحلیل دینامیکی افزایشی در محاسبه ضریب رفتار سازه ها ..... ۱۲۳

- ۱-۵- ضریب رفتار سازه ها ..... ۱۲۳
- ۱-۱-۵- تاریخچه و سیر تکامل ضریب رفتار ..... ۱۲۳
- ۲-۵- مبانی و روشهای محاسبه ضریب رفتار ..... ۱۲۶
- ۱-۲-۵- روش های محققان آمریکایی (روش های کاربردی) ..... ۱۲۷
- ۱-۱-۲-۵- روش ضریب شکل پذیری ..... ۱۲۷
- ۲-۱-۲-۵- روش طیف ظرفیت ..... ۱۳۰
- ۲-۲-۵- روش های محققان اروپایی (روش های تحلیلی) ..... ۱۳۲
- ۳-۵- عوامل مؤثر بر  $R_{\mu}$  در سیستمهای چند درجه آزادی ..... ۱۳۳
- ۴-۵- عوامل مؤثر بر ضریب اضافه مقاومت ..... ۱۳۵
- ۵-۵- کاربرد روش تحلیل دینامیکی افزایشی در تعیین ضریب رفتار ..... ۱۳۷
- ۱-۵-۵- تحلیل استاتیکی غیر خطی مدل های مورد مطالعه ..... ۱۳۸
- ۱-۱-۵-۵- تعیین تغییر مکان هدف ..... ۱۳۸
- ۲-۱-۵-۵- الگوی توزیع بار جانبی ..... ۱۳۹
- ۳-۱-۵-۵- نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی مدل های مورد مطالعه ..... ۱۴۱
- ۲-۵-۵- تحلیل دینامیکی افزایشی مدل های مورد بررسی ..... ۱۵۰
- ۱-۲-۵-۵- شتابنگاشت های انتخاب شده ..... ۱۵۰
- ۲-۲-۵-۵- دسته منحنی های IDA ..... ۱۵۱
- ۳-۵-۵- محاسبه ضریب رفتار با استفاده از نتایج تحلیل دینامیکی افزایشی ..... ۱۶۰
- ۱-۳-۵-۵- محاسبه ضریب اضافه مقاومت ..... ۱۶۰
- ۲-۳-۵-۵- محاسبه ضریب شکل پذیری ..... ۱۶۲
- ۳-۳-۵-۵- ضریب تنش مجاز  $Y$  ..... ۱۶۳
- ۴-۳-۵-۵- نتایج ..... ۱۶۳
- ۵-۳-۵-۵- بررسی نتایج ..... ۱۷۲
- ۶-۳-۵-۵- خلاصه سازی نتایج و اصلاح داده های دارای پراکندگی زیاد ..... ۱۷۶
- ۶-۵- بررسی رفتار مهاربند کمانش تاب کاهش طول یافته و مرسوم ..... ۱۷۸
- ۱-۶-۵- مقیاس کردن شتاب نگاشت ها ..... ۱۷۹
- ۲-۶-۵- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی ..... ۱۸۰
- ۳-۶-۵- تغییر شکل های ماندگار ..... ۱۸۰

۱۸۵.....	منحنی های هیستریزیس	۴-۶-۵
۱۸۸.....	نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات	۶
۱۸۸.....	نتایج	۶-۱
۱۹۰.....	پیشنهاداتی برای کارهای آینده	۶-۲
۱۹۲.....	جداول مقاطع به کار رفته در مدل ها	پیوست ۱
۲۰۶.....	شتابنگاشت های مورد استفاده در پایان نامه	پیوست ۲
۲۱۳.....	فهرست مراجع	۲۱۳

## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ انواع مهاربند های همگرا .....	۶
شکل ۲-۱ انواع قاب‌های مهاربندی شده واگرا .....	۷
شکل ۳-۱ ۱ کمانش عضو فشاری مهاربندهای هم مرکز .....	۸
شکل ۴-۱ مقایسه رفتار چرخه ای مهاربند کمانش تاب با مهاربند هم مرکز معمولی .....	۹
شکل ۵-۱ اشکال مختلف سطح مقطع BRB .....	۱۰
شکل ۶-۱ فضای خالی خارجی میان ورقه های وصله در ناحیه اتصال و مکانیزم محصورشدگی .....	۱۳
شکل ۷-۱ نمایش اجزای تشکیل دهنده BRB .....	۱۴
شکل ۸-۱ تورم غلاف فلزی به دلیل مقاومت نامناسب ملات .....	۱۵
شکل ۹-۱ مدلی از یک BRB که تحت نیروی فشاری قرار دارد.....	۱۷
شکل ۱۰-۱ انواع حفاظ فولادی به کاربرده شده توسط واتاناب به عنوان مکانیسم مقاوم در مقابل کمانش.....	۱۸
شکل ۱۱-۱ قاب مهاربندی شده آزمایش شده توسط واتاناب .....	۱۸
شکل ۱۲-۱ منحنی کمانش الاستیک مهاربندهای آزمایش شده توسط واتاناب .....	۲۰
شکل ۱۳-۱ مقاطع BRB های آزمایش شده در دانشگاه برکلی .....	۲۳
شکل ۱۴-۱ دستگاه آمایش تک محوری .....	۲۳
شکل ۱۵-۱ تاریخچه بارگذاری اعمالی SAC (بالا)، نمودار نیروتغییر مکان نمونه ۲-۹۹ (پایین) .....	۲۵
شکل ۱۶-۱ بارگذاری خستگی با تناوب-پایین (بالا) نمودار نیرو تغییر مکان نمونه ۲-۹۹ (پایین) .....	۲۶
شکل ۱۷-۱ تاریخچه بارگذاری اعمالی SAC (بالا) نمودار نیرو تغییر مکان نمونه ۳-۹۹ (پایین) .....	۲۷
شکل ۱۸-۱ تاریخچه تغییر مکان بدست آمده از زلزله ۱۹۹۴ نورتریچ (بالا) نمودار نیرو تغییر مکان نمونه ۳-۹۹ (پایین) .....	۲۸
شکل ۱۹-۱ پلان یک ساختمان سه طبقه و قاب آزمایشی .....	۳۱
شکل ۲۰-۱ تاریخچه تغییر مکان طبقه سوم .....	۳۲
شکل ۲۱-۱ نحوه توزیع ماکزیمم تغییر مکان طبقه بام .....	۳۳
شکل ۲۲-۱ تاریخچه برش پایه در آزمایش ها .....	۳۴
شکل ۲۳-۱ نحوه توزیع ماکزیمم برش پایه طبقه در نمونه قاب CFT/BRB .....	۳۴
شکل ۲۴-۱ نمودار برش طبقه تغییر- شکل جانبی .....	۳۵
شکل ۱-۲ امکان استفاده از BRB بهینه شده به شکل مهاربندی X .....	۴۸

- شکل ۲-۲ بار بحرانی کمانش در مقابل موقعیت سطح مقطع ضعیف ..... ۴۹
- شکل ۳-۲ مدل شماتیک BRB بهینه شده در قیاس با مدل شماتیک BRB معمولی ..... ۴۹
- شکل ۴-۲ اعضای کنترل شده با تغییر مکان (D.C.) و اعضای کنترل شده با نیرو (F.C.) در مهاربندهای EBF (شکل سمت چپ) و BRB بهینه شده (شکل سمت راست) ..... ۵۱
- شکل ۵-۲ جزئیات نمونه ای از BRB کاهش طول یافته ..... ۵۱
- شکل ۶-۲ هسته مهاربند پیشنهادی ..... ۵۲
- شکل ۷-۲ طول تسلیم نشونده ..... ۵۲
- شکل ۸-۲ مکانیزم مقید کننده متشکل از دو ورق گاست و ورقهای پر کننده ..... ۵۳
- شکل ۹-۲ قاب مورد آزمایش با مهاربند دارای غلاف پر شده با بتن، ابعاد به میلی متر هستند ..... ۶۰
- شکل ۱۰-۲ BRB های تست شده، (a) پر شده با بتن، (b) تمام فولادی ..... ۶۱
- شکل ۱۱-۲ جزئیات هسته نمونه های BRB مورد آزمایش ترمبلی ..... ۶۲
- شکل ۱۲-۲ جزئیات آرایش پیچ ها در نمونه های BRB ..... ۶۳
- شکل ۱۳-۲ بارگذاری شبه استاتیکی (a)، بارگذاری دینامیکی (b) ..... ۶۵
- شکل ۱۴-۲ پاسخ بار-تغییر مکان نمونه های (a) C1-1، (b) C2-1T، (c) S1-1، (d) S1-2، (e) S2-1 ..... ۶۷
- شکل ۱۵-۲ طرح شماتیک مهاربند قطری به کار رفته شامل قسمت مقید در برابر کمانش و قسمت مقطع توخالی فولادی ..... ۶۹
- شکل ۱۶-۲ پاسخ بدست آمده برای دو نمونه از مهاربندهای مورد تحلیل ..... ۷۱
- شکل ۱۸-۲ اتصال مهاربند با استفاده از ورق میانگذر ..... ۷۳
- شکل ۱۷-۲ تنش های فون میزز در مدل المان محدود مهاربند متوازن ..... ۷۲
- شکل ۱۹-۲ منحنی هیستریزیس مهاربند متوازن ..... ۷۳
- شکل ۱-۳ نحوه توزیع نیروی جانبی در روش تحلیل استاتیکی غیر خطی ..... ۷۷
- شکل ۲-۳ منحنی تک رکورده IDA ..... ۸۰
- شکل ۳-۳ دسته منحنی های IDA برای سازه سه طبقه (همین پایان نامه) ..... ۸۱
- شکل ۴-۳ تعیین نقطه ظرفیت سازه روی منحنی IDA ..... ۸۲
- شکل ۵-۳ نمودارهای IDA تک رکورده برای یک ساختمان مهاربندی تحت چهار رکورد زلزله مختلف [۲۴] ..... ۹۰
- شکل ۶-۳ صدکهای آماری منحنی های IDA ..... ۹۲
- شکل ۱-۴ پلان سازه ها و محل قرار گیری مهاربندها ..... ۹۶
- شکل ۲-۴ مدل رفتاری مصالح الاستیک ..... ۱۰۸
- شکل ۳-۴ مدل رفتاری مصالح الاستو-کاملاً پلاستیک ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۴ مدل رفتاری مصالح Steel01 ..... ۱۰۹
- شکل ۵-۴ مدل رفتاری مصالح Steel02 ..... ۱۰۹



- شکل ۴-۶ مدل رفتاری مصالح هیسترتیک ..... ۱۱۰
- شکل ۴-۷ مدل مقطع الیافی ..... ۱۱۱
- شکل ۵-۱ ایده آل سازی رفتار غیر خطی واقعی به صورت نمودار دو خطی الاستوپلاستیک ..... ۱۲۸
- شکل ۵-۲ منحنی طیف ظرفیت ..... ۱۳۱
- شکل ۵-۳ طیف نیروی وارده به سازه ..... ۱۳۲
- شکل ۵-۴ منحنی بار افزایشی قاب ۳ طبقه با مهاربندهای BRB هشتی متداول ..... ۱۴۱
- شکل ۵-۵ منحنی بار افزایشی قاب ۶ طبقه با مهاربندهای BRB هشتی متداول ..... ۱۴۲
- شکل ۵-۶ منحنی بار افزایشی قاب ۹ طبقه با مهاربندهای BRB هشتی متداول ..... ۱۴۲
- شکل ۵-۷ منحنی بار افزایشی قاب ۱۲ طبقه با مهاربندهای BRB هشتی متداول ..... ۱۴۳
- شکل ۵-۸ منحنی بار افزایشی قاب ۳ طبقه با مهاربندهای BRB قطری متداول ..... ۱۴۳
- شکل ۵-۹ منحنی بار افزایشی قاب ۶ طبقه با مهاربندهای BRB قطری متداول ..... ۱۴۴
- شکل ۵-۱۰ منحنی بار افزایشی قاب ۹ طبقه با مهاربندهای BRB قطری متداول ..... ۱۴۴
- شکل ۵-۱۱ منحنی بار افزایشی قاب ۱۲ طبقه با مهاربندهای BRB قطری متداول ..... ۱۴۵
- شکل ۵-۱۲ منحنی بار افزایشی قاب ۳ طبقه با مهاربندهای BRB هشتی بهینه شده ..... ۱۴۵
- شکل ۵-۱۳ منحنی بار افزایشی قاب ۶ طبقه با مهاربندهای BRB هشتی بهینه شده ..... ۱۴۶
- شکل ۵-۱۴ منحنی بار افزایشی قاب ۹ طبقه با مهاربندهای BRB هشتی بهینه شده ..... ۱۴۶
- شکل ۵-۱۵ منحنی بار افزایشی قاب ۱۲ طبقه با مهاربندهای BRB هشتی بهینه شده ..... ۱۴۷
- شکل ۵-۱۶ منحنی بار افزایشی قاب ۳ طبقه با مهاربندهای BRB قطری بهینه شده ..... ۱۴۷
- شکل ۵-۱۷ منحنی بار افزایشی قاب ۶ طبقه با مهاربندهای BRB قطری بهینه شده ..... ۱۴۸
- شکل ۵-۱۸ منحنی بار افزایشی قاب ۹ طبقه با مهاربندهای BRB قطری بهینه شده ..... ۱۴۸
- شکل ۵-۱۹ منحنی بار افزایشی قاب ۱۲ طبقه با مهاربندهای BRB قطری بهینه شده ..... ۱۴۹
- شکل ۵-۲۰ دسته منحنی IDA برای قاب ۳ طبقه با مهاربندی هشتی BRB متداول ..... ۱۵۲
- شکل ۵-۲۱ دسته منحنی IDA برای قاب ۶ طبقه با مهاربندی هشتی BRB متداول ..... ۱۵۳
- شکل ۵-۲۲ دسته منحنی IDA برای قاب ۹ طبقه با مهاربندی هشتی BRB متداول ..... ۱۵۳
- شکل ۵-۲۳ دسته منحنی IDA برای قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی هشتی BRB متداول ..... ۱۵۴
- شکل ۵-۲۴ دسته منحنی IDA برای قاب ۳ طبقه با مهاربندی قطری BRB متداول ..... ۱۵۴
- شکل ۵-۲۵ دسته منحنی IDA برای قاب ۶ طبقه با مهاربندی قطری BRB متداول ..... ۱۵۵
- شکل ۵-۲۶ دسته منحنی IDA برای قاب ۹ طبقه با مهاربندی قطری BRB متداول ..... ۱۵۵
- شکل ۵-۲۷ دسته منحنی IDA برای قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی قطری BRB متداول ..... ۱۵۶
- شکل ۵-۲۸ دسته منحنی IDA برای قاب ۳ طبقه با مهاربندی هشتی BRB بهینه شده ..... ۱۵۶
- شکل ۵-۲۹ دسته منحنی IDA برای قاب ۶ طبقه با مهاربندی هشتی BRB بهینه شده ..... ۱۵۷

- شکل ۳۰-۵ دسته منحنی IDA برای قاب ۹ طبقه با مهاربندی هشتی BRB بهینه شده ..... ۱۵۷
- شکل ۳۱-۵ دسته منحنی IDA برای قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی هشتی BRB بهینه شده ..... ۱۵۸
- شکل ۳۲-۵ دسته منحنی IDA برای قاب ۳ طبقه با مهاربندی قطری BRB بهینه شده ..... ۱۵۸
- شکل ۳۳-۵ دسته منحنی IDA برای قاب ۶ طبقه با مهاربندی قطری BRB بهینه شده ..... ۱۵۹
- شکل ۳۴-۵ دسته منحنی IDA برای قاب ۹ طبقه با مهاربندی قطری BRB بهینه شده ..... ۱۵۹
- شکل ۳۵-۵ دسته منحنی IDA برای قاب ۱۲ طبقه با مهاربندی قطری BRB بهینه شده ..... ۱۶۰
- شکل ۳۶-۵ مقایسه مقادیر ضریب رفتار قاب ها ( طراحی به روش تنش مجاز ) ..... ۱۷۳
- شکل ۳۷-۵ مقایسه مقادیر ضریب رفتار قاب ها ( طراحی به روش حالت حدی نهایی ) ..... ۱۷۴
- شکل ۳۸-۵ مقایسه مقادیر ضریب اضافه مقاومت قاب ها ..... ۱۷۴
- شکل ۳۹-۵ مقایسه مقادیر ضریب شکل پذیری قاب ها ..... ۱۷۵
- شکل ۴۰-۵ شتاب طیفی رکورد های مقیاس شده به روش استاندارد ۲۸۰۰ به همراه شتاب طیفی استاندارد ۲۸۰۰ ایران ..... ۱۸۰
- شکل ۴۱-۵ تاریخچه دریافت های نسبی طبقات قاب شش طبقه با مهاربندی قطری تحت زلزله کوبه ..... ۱۸۱
- شکل ۴۲-۵ تغییر مکان جانبی نسبی بین طبقه ای باقیمانده برای قاب ۶ طبقه الف) مهاربندی شورون معکوس ب) مهاربندی قطری، تحت زلزله چی چی تایوان ..... ۱۸۲
- شکل ۴۳-۵ تغییر مکان جانبی نسبی بین طبقه ای باقیمانده برای قاب ۶ طبقه الف) مهاربندی شورون معکوس ب) مهاربندی قطری، تحت زلزله کوبه ..... ۱۸۳
- شکل ۴۴-۵ تغییر مکان جانبی نسبی بین طبقه ای باقیمانده برای قاب ۶ طبقه الف) مهاربندی شورون معکوس ب) مهاربندی قطری، تحت زلزله بم ..... ۱۸۴
- شکل ۴۵-۵ حلقه تنش-کرنش مهاربند BRB قطری کاهش طول یافته تحت زلزله چی چی تایوان ..... ۱۸۵
- شکل ۴۶-۵ حلقه تنش-کرنش مهاربند BRB شورون معکوس کاهش طول یافته تحت زلزله چی چی تایوان ..... ۱۸۶
- شکل پ ۱-۲ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۱ ..... ۲۰۷
- شکل پ ۲-۲ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۲ ..... ۲۰۷
- شکل پ ۳-۲ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۳ ..... ۲۰۷
- شکل پ ۴-۲ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۴ ..... ۲۰۸
- شکل پ ۵-۲ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۵ ..... ۲۰۸
- شکل پ ۶-۲ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۶ ..... ۲۰۸
- شکل پ ۷-۲ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۷ ..... ۲۰۹
- شکل پ ۸-۲ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۸ ..... ۲۰۹

- شکل پ ۲-۹ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۹ ..... ۲۰۹
- شکل پ ۲-۱۰ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۱۰ ..... ۲۱۰
- شکل پ ۲-۱۱ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۱۱ ..... ۲۱۰
- شکل پ ۲-۱۲ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۱۲ ..... ۲۱۰
- شکل پ ۲-۱۳ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۱۳ ..... ۲۱۱
- شکل پ ۲-۱۴ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۱۴ ..... ۲۱۱
- شکل پ ۲-۱۵ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۱۵ ..... ۲۱۱
- شکل پ ۲-۱۶ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۱۶ ..... ۲۱۲
- شکل پ ۲-۱۷ نمودار شتاب - زمان رکورد شماره ۱۷ ..... ۲۱۲

## فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ خصوصیات هندسی هسته و حفاظ نمونه های آزمایش شده توسط واتاناب	۱۹
جدول ۲-۱ مقاطع استفاده شده در قاب آزمایشی تسای	۳۲
جدول ۳-۱ مقایسه تغییر مکان پایه محاسبه شده و اندازه گیری شده	۳۳
جدول ۴-۱ مقایسه برش پایه اندازه گیری شده و محاسبه شده	۳۵
جدول ۵-۱ ماکزیمم نیروی محوری اندازه گیری شده و محاسبه شده در مهاربند	۳۶
جدول ۶-۱ ضرایب طراحی و پارامترهای لرزه ای BRBF	۳۷
جدول ۱-۲ مشخصات نمونه های تست شده	۶۴
جدول ۲-۲ شکل پذیری مهاربندها تحت رکوردهای مختلف	۷۰
جدول ۱-۴ مقادیر ضرایب $\alpha$ و $\beta$ برای دسته اول مدل های تحت بررسی (BRB متداول)	۱۱۷
جدول ۲-۴ مقادیر ضرایب $\alpha$ و $\beta$ برای دسته دوم مدل های تحت بررسی (BRB بهینه شده)	۱۱۷
جدول ۳-۴ مقایسه زمان تناوب مود اول و دوم سازه های دسته اول (BRBF متداول) دوبعدی طراحی شده در ETABS و مدل سازی شده در OpenSees به صورت دو بعدی	۱۱۹
جدول ۴-۴ مقایسه زمان تناوب مود اول و دوم سازه های دسته اول (BRBF بهینه شده) دوبعدی طراحی شده در ETABS و مدل سازی شده در OpenSees به صورت دو بعدی	۱۲۰
جدول ۵-۴ مقایسه سختی الاستیک سازه های دو بعدی طراحی شده (۹ طبقه)	۱۲۱
جدول ۱-۵ برش پایه نظیر رخ دادن اولین تسلیم در قاب های با مهاربندی BRB متداول	۱۴۹
جدول ۲-۵ برش پایه نظیر رخ دادن اولین تسلیم در قاب های با مهاربندی BRB بهینه شده	۱۵۰
جدول ۳-۵ مشخصات رکوردهای استفاده شده در تحلیل دینامیکی افزایشی	۱۵۱
جدول ۴-۵ ضرایب اضافه مقاومت، شکل پذیری و ضریب رفتار قاب ۳ طبقه با مهاربندی هشتی BRB متداول	۱۶۴
جدول ۵-۵ ضرایب اضافه مقاومت، شکل پذیری و ضریب رفتار قاب ۶ طبقه با مهاربند هشتی BRB متداول	۱۶۵
جدول ۶-۵ ضرایب اضافه مقاومت، شکل پذیری و ضریب رفتار قاب ۹ طبقه با مهاربند هشتی BRB متداول	۱۶۵
جدول ۷-۵ ضرایب اضافه مقاومت، شکل پذیری و ضریب رفتار قاب ۱۲ طبقه با مهاربند هشتی BRB متداول	۱۶۶
جدول ۸-۵ ضرایب اضافه مقاومت، شکل پذیری و ضریب رفتار قاب ۳ طبقه با مهاربند قطری BRB متداول	۱۶۶
جدول ۹-۵ ضرایب اضافه مقاومت، شکل پذیری و ضریب رفتار قاب ۶ طبقه با مهاربند قطری BRB متداول	۱۶۷