



## بسمه تعالی

اینجانب مسعود امینی امام تایید می نمایم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنان استفاده شده است طبق مقررات ارجاع داده شده است . این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر استفاده نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شمال می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضا دانشجو:



دانشگاه شمال

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران - سازه

عنوان پایان نامه :

بررسی کاربردی رفتارمهاربندهای کمانش ناپذیر

استاد راهنما :

دکتر جواد رزاقی

نگارش :

مسعود امینی امام

تابستان ۸۹

اینک که کار تدوین این رساله به پایان رسید خداوند بی همتا را سپاسگذارم که  
الطاف بیکران خود را مرهون اینجانب نمود تا در این راستا بتوانم خدمتی هر  
چند ناچیز به عرصه علم و دانش این کشور بنمایم.

بدین وسیله از زحمات استاد بزرگوار جناب آقای دکتر جواد رزاقی که در تمامی  
مراحل تهیه و تدوین این پایان نامه از رهنمودهای ارزنده ایشان بهره گرفتم  
کمال تشکر را نموده و از درگاه خداوند منان برای ایشان توفیق روزافزون  
خواستارم.

همچنین از اساتید گرانقدر دکتر رنجبر و دکتر سیدپور که با وجود مشغله  
فراوان بر این حقیر منت نهاده و با توصیه های ارزشمند اینجانب را در تکمیل  
این تحقیق مورد عنایت خود قرار دادند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مسعود امینی

شهریور ۱۳۸۹

هرچند این تحقیق نمی تواند گوشه ای از زحمات و مشقاتی را که در این راه متحمل شده

اند را جبران نماید اما با این وجود

تقدیم باد به :

## پدر و مادرا رجمندم

آنانکه ناتوان شدند تا توانا شوم، موهایشان سپید شد تا رو سپید شوم

و

همسر صبورم

و برادر و خواهرم

که بهترین دوستان من در زندگی هستند.

## چکیده

امروزه شناخت دقیق سیستمهای مقاوم در برابر زلزله و بررسی رفتارشان با توجه به پیشرفت صنعت ساختمان و افزایش ساختمانهای بلند مرتبه در سطح کشور، سبب استفاده بهینه از آنها در ساختمانهای مختلف می گردد. جهت مقابله با نیروهای جانبی و به ویژه نیروی زلزله سیستمهای مختلفی بکار می رود که از آن جمله می توان به مهاربندها اشاره نمود. این سیستمها بر مبنای رفتار محوری کششی فشاری تعیین می گردند. یکی از نقاط ضعف این سیستم امکان کماتش عضو فشاری و در نتیجه کاهش ظرفیت باربری آن می باشد. در سالهای اخیر با ظهور یک نوع مهاربند جدید بنام مهاربند مقاوم در برابر کماتش<sup>۱</sup> این مشکل تا حدود زیادی مرتفع شده است. این مهاربند دارای رفتار یکسان در کشش و فشار بوده و قابهای ساخته شده با آن قابلیت جذب انرژی بالایی دارند.

در این پایان نامه ابتدا با در نظر گرفتن مهاربندهای مختلف شامل مهاربندهای قطری، شکل V، شکل معکوس و ضربدری بزرگ (ترکیب V و V معکوس) در سازه های چهار تا شانزده طبقه با استفاده از نرم افزار SAP2000 و با استفاده از تحلیل استاتیکی افزایشی غیر خطی پارامترهای موثر آنها (ضریب اضافه مقاومت و ضریب کاهش نیرو در اثر شکل پذیری) محاسبه شده اند. سپس همین قابها به علت اینکه در نرم افزار SAP امکان تحلیل غیرخطی دینامیکی وجود ندارد در نرم افزار PERFORM 3-D شبیه سازی شده و با استفاده از روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی پارامترهای موثر جهت برآورد ضریب رفتار بدست آورده شده است. در پایان ضریب رفتار هر یک از قابهای مذکور به طور جداگانه با روشهای فوق تعیین شده و ضریب رفتار کلی قابهای مهاربندی با مهاربندهای مقاوم در برابر کماتش هم محور ۱۰.۲۲ پیشنهاد شده است.

## کلمات کلیدی

مهاربند مقاوم در برابر کماتش، تحلیل تاریخچه زمانی، تحلیل استاتیکی غیر خطی، ضریب اضافه مقاومت، ضریب کاهش نیرو و ضریب رفتار.

---

<sup>1</sup> Buckling Restrained Brace (BRB)

## فهرست مطالب

فصل اول	۱
مقدمه و کلازات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ انواع سربستم های متداول در ساختمانهای اسکلت فولادی	۳
۳-۱ انواع قابهای مهاربندی	۴
۱-۳-۱ مهار بندی های هم محور	۶
۲-۳-۱ مهار برون محور	۸
۳-۳-۱ مهاربند زانوئی	۱۱
۴-۱ مهاربندهای دروازه ای ( مهاربندی با اعضای کششی خارج از محور(OBF))	۱۳
۵-۱ دیوار برشی	۱۴
۶-۱ بادبندهای کمانش ناپذیر (BRB)	۱۶
۱-۶-۱ تاریخچه	۱۶
۲-۶-۱ مبانی	۱۸
۳-۶-۱ اجزای سازنده مهاربند کمانش ناپذیر	۲۲
۴-۶-۱ مزایا و معایب بادبند BRB	۲۷
۵-۶-۱ روابط پایدار بادبندهای کمانش تاب تحت رهروی فشاری	۲۹
۶-۶-۱ سختی طبقه	۳۴
۷-۱ مروری بر مطالعات انجام شده بر روی بادبندهای کمانش ناپذیر	۳۵
۱-۷-۱ آزمایشهای رفت و برگشتی و دینامیکی اعضاء تک:	۴۱
۱-۱-۷-۱ نتایج آزمایشات	۴۳

۵۰	۲-۱-۷-۱ آزمایش رفت و برگشتی قاب دارای مهاربند مقاوم در برابر کمانش (کمانش تاب):
۵۳	فصل دوم.....
۵۳	تاریخچه و اهمیت ضربه رفتار.....
۵۴	۱-۲ مقدمه:.....
۵۵	۲-۲ تاریخچه وسره تکامل ضربه رفتار:.....
۵۷	۳-۲ مباری و روش های محاسبه ضربه رفتار.....
۵۸	۱-۳-۲ روش های کاربردی:.....
۵۸	۱-۱-۳-۲ روش ضربه شکل پذیری.....
۶۱	۲-۱-۳-۲ روش طیف ظرفیت.....
۶۳	۲-۳-۲ روش های تحلیلی.....
۶۴	۱-۲-۳-۲ روش تئوری ضربه شکل پذیری:.....
۶۵	۲-۲-۳-۲ روش پاسخ غیو خطی سرهستم یک درجه آزادی:.....
۶۶	۳-۲-۳-۲ روش انرژی.....
۶۷	۴-۲ ضربه کاهش در اثر شکل پذیری $R_{\mu}$ .....
۶۹	۱-۴-۲ عوامل موثر بر $R_{\mu}$ در سرهستم های یک درجه آزادی.....
۶۹	۱-۱-۴-۲ نوع مصالح.....
۶۹	۲-۱-۴-۲ زمان تناوب سرهستم.....
۶۹	۳-۱-۴-۲ میوایی.....
۶۹	۴-۱-۴-۲ بارگذاری.....
۷۰	۵-۱-۴-۲ اثر $p - \Delta$ :.....
۷۰	۶-۱-۴-۲ مدل رهو - تغییو شکل:.....
۷۰	۷-۱-۴-۲ خاک منطقه.....



- ۲-۴-۲ عوامل مؤثر بر  $R_{\mu}$  در سیستم های چند درجه آزادی ..... ۷۱
- ۲-۴-۲-۱ نوع سازه مقاوم ..... ۷۱
- ۲-۴-۲-۲ هندسه سازه ..... ۷۱
- ۲-۴-۲-۳ مشارکت مدل های بالاتر ..... ۷۱
- ۲-۴-۳ ارزیابی روابط ارائه شده برای  $R_{\mu}$  ..... ۷۲
- ۲-۴-۳-۱ روابط  $R_{\mu}$  برای سیستم های یک درجه آزادی ..... ۷۲
- ۲-۴-۳-۱-۱ رهمارک و هال ..... ۷۲
- ۲-۴-۳-۱-۲ لای و عتجز ..... ۷۳
- ۲-۴-۳-۱-۳ رخیل و رهمارک ..... ۷۴
- ۲-۴-۳-۱-۴ رخیل، هئالگو و کروز ..... ۷۶
- ۲-۴-۳-۱-۵ ارطس و هئالگو ..... ۷۷
- ۲-۴-۳-۱-۶ نصر و کراونکلر ..... ۷۷
- ۲-۴-۳-۱-۷ رابطه تسو ..... ۷۸
- ۲-۴-۳-۱-۸ رابطه میواندا ..... ۷۹
- ۲-۴-۳-۱-۹ رابطه فایفر، ویدیک و فیشینگر ..... ۸۰
- ۲-۴-۳-۲ روابط  $R_{\mu}$  برای سیستم های چند درجه آزادی ..... ۸۱
- ۲-۴-۳-۲-۱ رابطه تاکاوا، هوانگ و شینوزوکا ..... ۸۱
- ۲-۴-۳-۲-۲ رابطه هوانگ و جاو ..... ۸۱
- ۲-۵-۲ ضریب اضافه مقاومت: ..... ۸۲
- ۲-۵-۱ عوامل مؤثر بر اضافه مقاومت: ..... ۸۲
- ۲-۵-۱-۱ مقاومت واقعی مصالح در مقابل مقاومت اسمی ..... ۸۲
- ۲-۵-۱-۲ بیشتر بودن ابعاد اعضا از مقادیر مورد نیاز طراحی ..... ۸۳

- ۳-۱-۵-۲ در نظر نگرفتن اثر مقاومت اجزاء غیرسازه ای ..... ۸۳
- ۴-۱-۵-۲ استفاده از مدل‌های ساده شده و محافظه کارانه در تحلیلها: ..... ۸۳
- ۵-۱-۵-۲ باز توزیع نیروهای جانبی: ..... ۸۳
- ۶-۱-۵-۲ توزیع بار واقعی در مقابل توزیع بار آیین نامه ..... ۸۳
- ۲-۵-۲ روشهای محاسبه ضریب اضافه مقاومت: ..... ۸۴
- ۱-۲-۵-۲ روش محاسبه ضریب اضافه مقاومت با استفاده از آنالیز استاتیکی غیرخطی: ..... ۸۴
- ۱-۱-۲-۵-۲ نحوه ترسیم منحنی SPO: ..... ۸۴
- ۲-۱-۲-۵-۲ تعریف نقاط حدی ..... ۸۴
- ۲-۲-۵-۲ ضریب اضافه مقاومت با استفاده از آنالیزهای دینامیکی افزایشی غیرخطی: ..... ۸۵
- ۶-۲ ضوابط و ضریب رفتار پیشنهادی آیین نامه AISC برای قابهای BRBF: ..... ۸۶
- فصل سوم ..... ۸۸
- معرفی مشخصات مدل ها ..... 88
- ۱-۳ مقدمه: ..... ۸۹
- ۲-۳ معرفی مدل ها: ..... ۸۹
- ۳-۳ بارگذاری: ..... ۹۱
- ۱-۳-۳ بارگذاری ثقلی ..... ۹۱
- ۲-۳-۳ بارگذاری جانبی ..... ۹۱
- ۴-۳ طراحی: ..... ۹۳
- ۵-۳ بارگذاری و طراحی قابها در نرم افزار ETABS ver. 9. 6. 0 ..... ۹۳
- ۶-۳ انتخاب شتاب نگاشتها ..... ۹۴
- ۲-۶-۳ همپای کردن شتاب نگاشتهای انتخابی ..... ۹۷

۹۸	.....	۷-۳ خصوصیات نرم افزار Perform-3D
۹۸	.....	۱-۷-۳ رابطه نیرو- تغییر مکان
۹۹	.....	۲-۷-۳ بارگذاری سریکلر
۹۹	.....	۳-۷-۳ لوپ هیستریک:
۱۰۰	.....	۴-۷-۳ المانهای مورد استفاده در Perform3-D
۱۰۱	.....	۵-۷-۳ تکرک حل نرم افزار Perform-3D
۱۰۱	.....	۶-۷-۳ گام زمانی در آنالیز زمانی غیر خطی نرم افزار Perform-3D
۱۰۲	.....	۷-۷-۳ انرژی در نرم افزار Perform-3D
۱۰۲	.....	۸-۷-۳ محاسبه انرژی های غیر الاستیک و کرنش:
۱۰۴	.....	۹-۷-۳ فرضیات تحلیل دینامیکی و مدلسازی در نرم افزار Perform-3D
۱۰۶	.....	فصل چهارم
۱۰۶	.....	محاسبه ضریب رفتار
۱۰۷	.....	۱-۴ مقدمه:
۱۰۸	.....	۲-۴ روش اول (استاتیکی افزایشی غیر خطی)
۱۰۹	.....	۱-۲-۴ تغییر مکان هدف:
۱۱۰	.....	۱-۱-۲-۴ تعیین تغییر مکان هدف:
۱۱۱	.....	۲-۲-۴ الگوی توزیع بار جانبی:
۱۱۱	.....	۱-۲-۲-۴ توزیع بار ثابت:
۱۱۲	.....	۲-۲-۲-۴ توزیع بار متغیر
۱۱۳	.....	۳-۴ نحوه محاسبه ضریب رفتار
۱۱۳	.....	۱-۳-۴ تحلیل استاتیکی افزایش غیر خطی و رسم منحنی ظرفیت (SPO):

- ۱۱۳..... $R_s$  مقاومت افزون ۲-۳-۴
- ۱۱۴..... $R_{\mu}$  محاسبه ضریب کاهش نیرو در اثر شکل پذیری ۳-۳-۴
- ۱۱۴..... محاسبه ضریب تنش مجاز  $Y$ : ۴-۳-۴
- ۱۱۵..... نتایج: ۵-۳-۴
- ۱۱۵..... قابهای چهار طبقه: ۱-۵-۳-۴
- ۱۱۸..... قابهای شش طبقه: ۲-۵-۳-۴
- ۱۲۱..... قابهای هشت طبقه: ۳-۵-۳-۴
- ۱۲۴..... قابهای ده طبقه: ۴-۵-۳-۴
- ۱۲۷..... قابهای دوازده طبقه: ۵-۵-۳-۴
- ۱۳۰..... قابهای چهارده طبقه: ۶-۵-۳-۴
- ۱۳۴..... قابهای شانزده طبقه: ۷-۵-۳-۴
- ۱۳۹..... روش دوم(دینامیکی افزایشی غیر خطی). ۴-۴
- ۱۳۹..... $R_s$  ضریب مقاومت ۱-۴-۴
- ۱۴۰..... نقاط حدی در نظر گرفته شده برای آنالیز دینامیکی غیر خطی: ۲-۴-۴
- ۱۴۰..... $R_{\mu}$  محاسبه ۳-۴-۴
- ۱۴۱..... ضریب تنش مجاز  $Y$ : ۴-۴-۴
- ۱۴۱..... نتایج تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی: ۵-۴-۴
- ۱۴۱..... قابهای چهار طبقه: ۱-۵-۴-۴
- ۱۴۲..... قابهای شش طبقه: ۲-۵-۴-۴
- ۱۴۳..... قابهای هشت طبقه: ۳-۵-۴-۴
- ۱۴۳..... قابهای ده طبقه: ۴-۵-۴-۴
- ۱۴۴..... قابهای دوازده طبقه: ۵-۵-۴-۴

۱۴۵..... : ۶-۵-۴-۴ قابهای چهارده طبقه

۱۴۶..... : ۷-۵-۴-۴ قابهای شانزده طبقه

۱۴۹..... : ۵-۴ نتایج

۱۵۵..... فصل پنجم

۱۵۵..... نتیجه گوی

۱۵۶..... : ۱-۵ نتیجه گوی

۱۵۹..... : ۲-۵ پیشنهادات برای کارهای آینده

۱۶۰..... منابع

## فهرست جداول

جدول ۱-۱	مقادیر $\Omega_0$ .....	۸
جدول ۲-۱	خصوصیات هندسی و حفظ نمونه های مورد آزمایش توسط واتاناب.....	۳۲
جدول ۱-۲	ثابت های و برای محاسبه از رابطه لای و بگزر.....	۷۴
جدول ۲-۲	مقادیر $T^*$ و $R^*$ در رابطه ریخ، هیلگو و کروزر.....	۷۶
جدول ۳-۲	مقادیر A و B رابطه نصر.....	۷۸
جدول ۴-۲	مقادیر ضریب رفتار پیشنهادی AISC برای قابهای مهاربندی شده با مهاربندهای مقاوم در برابر کمانش (کمانش تاب).....	۸۷
جدول ۱-۳	مقادیر برش پای و میزان برش پای.....	۹۳
جدول ۱-۴	مقادیر حدی و ضریب شکل پذیری قابهای چهار طبقه.....	۱۱۷
جدول ۲-۴	ضریب کاهش نیرو در اثر شکل پذیری و مقاومت افزون.....	۱۱۷
جدول ۳-۴	ضریب رفتار قابهای چهار طبقه.....	۱۱۸
جدول ۴-۴	مقادیر حدی و ضریب شکل پذیری قابهای شش طبقه.....	۱۲۰
جدول ۵-۴	ضریب کاهش نیرو در اثر شکل پذیری و مقاومت افزون.....	۱۲۰
جدول ۶-۴	ضریب رفتار قابهای شش طبقه.....	۱۲۱
جدول ۷-۴	مقادیر حدی و ضریب شکل پذیری قابهای هشت طبقه.....	۱۲۳
جدول ۸-۴	ضریب کاهش نیرو در اثر شکل پذیری و مقاومت افزون.....	۱۲۳
جدول ۹-۴	ضریب رفتار قابهای هشت طبقه.....	۱۲۴
جدول ۱۰-۴	مقادیر حدی و ضریب شکل پذیری قابهای ده طبقه.....	۱۲۶
جدول ۱۱-۴	ضریب کاهش نیرو در اثر شکل پذیری و مقاومت افزون.....	۱۲۶
جدول ۱۲-۴	ضریب رفتار قابهای ده طبقه.....	۱۲۷
جدول ۱۳-۴	مقادیر حدی و ضریب شکل پذیری قابهای دوازده طبقه.....	۱۲۹

- جدول ۴-۱۴ ضربه کاهش نیرو در اثر شکل پذیری و مقاومت افزون ..... ۱۳۰
- جدول ۴-۱۵ ضربه رفتار قابهای دوازده طبقه ..... ۱۳۰
- جدول ۴-۱۶ مقادیر حدی و ضربه شکل پذیری قابهای چهارده طبقه ..... ۱۳۳
- جدول ۴-۱۷ ضربه کاهش نیرو در اثر شکل پذیری و مقاومت افزون ..... ۱۳۳
- جدول ۴-۱۸ ضربه رفتار قابهای چهارده طبقه ..... ۱۳۳
- جدول ۴-۱۹ مقادیر حدی و ضربه شکل پذیری قابهای شانزده طبقه ..... ۱۳۶
- جدول ۴-۲۰ ضربه کاهش نیرو در اثر شکل پذیری و مقاومت افزون ..... ۱۳۷
- جدول ۴-۲۱ ضربه رفتار قابهای شانزده طبقه ..... ۱۳۷
- جدول ۴-۲۲ برش پای الاستیک و برش پای نهایی قاب چهار طبقه ..... ۱۴۱
- جدول ۴-۲۳ ضربه رفتار قاب چهار طبقه ..... ۱۴۱
- جدول ۴-۲۴ برش پای الاستیک و برش پای نهایی ..... ۱۴۲
- جدول ۴-۲۵ ضربه رفتار قاب شش طبقه ..... ۱۴۲
- جدول ۴-۲۶ برش پای الاستیک و برش پای نهایی ..... ۱۴۳
- جدول ۴-۲۷ ضربه رفتار قاب هشت طبقه ..... ۱۴۳
- جدول ۴-۲۸ برش پای الاستیک و برش پای نهایی ..... ۱۴۴
- جدول ۴-۲۹ ضربه رفتار قاب ده طبقه ..... ۱۴۴
- جدول ۴-۳۰ برش پای الاستیک و برش پای نهایی ..... ۱۴۵
- جدول ۴-۳۱ ضربه رفتار قاب دوازده طبقه ..... ۱۴۵
- جدول ۴-۳۲ برش پای الاستیک و برش پای نهایی ..... ۱۴۶
- جدول ۴-۳۳ ضربه رفتار قاب چهارده طبقه ..... ۱۴۶
- جدول ۴-۳۴ برش پای الاستیک و برش پای نهایی ..... ۱۴۷
- جدول ۴-۳۵ ضربه رفتار قاب شانزده طبقه ..... ۱۴۷

- جدول ۴-۴۵ مقادیر ضریب رفتار و انحراف معیار و ضریب تغییرات قابهای قطری ..... ۱۵۱
- جدول ۴-۴۶ مقادیر ضریب رفتار و انحراف معیار و ضریب تغییرات قابهای V شکل ..... ۱۵۱
- جدول ۴-۴۷ مقادیر ضریب رفتار و انحراف معیار و ضریب تغییرات قابهای V شکل معکوس... ۱۵۲
- جدول ۴-۴۸ مقادیر ضریب رفتار و انحراف معیار و ضریب تغییرات قابهای X شکل ..... ۱۵۳
- جدول ۴-۴۹ مقادیر ضریب رفتار و انحراف معیار و ضریب تغییرات قابهای قطری ..... ۱۵۳
- جدول ۴-۵۰ مقادیر ضریب رفتار و انحراف معیار و ضریب تغییرات قابهای V شکل ..... ۱۵۳
- جدول ۴-۵۱ مقادیر ضریب رفتار و انحراف معیار و ضریب تغییرات قابهای V شکل معکوس... ۱۵۴
- جدول ۴-۵۲ مقادیر ضریب رفتار و انحراف معیار و ضریب تغییرات قابهای X شکل ..... ۱۵۴



## فهرست اشکال

### فصل اول

- شکل ۱-۱ مهاربند برون محور ..... ۹
- شکل ۲-۱ مهار بند زانویی ..... ۱۱
- شکل ۳-۱ مهاربند دروازه ای ..... ۱۴
- شکل ۵-۱ رفتار شماتیک عضو مهاری ..... ۱۶
- شکل ۶-۱ ارایه روش جلوگیری از کمانش ستونها، ثبت شده توسط سربدهارا ..... ۱۷
- شکل ۷-۱ مهاربند کمانش ناپذیر در ارتفاع طبقات و جزئیات مهاربندی ..... ۲۱
- شکل ۸-۱ مقایسه رفتار مهاربند معمولی و BRB ..... ۲۲
- شکل ۹-۱ اجزای سازنده مهاربند کمانش ناپذیر ..... ۲۳
- شکل ۱۰-۱ مصالح جداکننده در مقطع ..... ۲۵
- شکل ۱۱-۱ برخی از اشکال BRB بدون ملات ..... ۲۵
- شکل ۱۲-۱ تورم غلاف فلزی BRB بدلیل انتخاب نادرست ..... ۲۶
- شکل ۱۳-۱ مقایسه نمودار ظرفیت CBF,EBF,BRB ..... ۲۶
- شکل ۱۴-۱ کمانش در مودهای بالاتر در هسته فولادی ..... ۲۹
- شکل ۱۵-۱ مدلی از یک BRB که تحت رهروی فشاری قرار دارد ..... ۲۹
- شکل ۱۶-۱ انواع حفاظ فولادی استفاده شده توسط واتاناب بعنوان مکاره‌سیم مقاوم در برابر کمانش ..... ۳۱
- شکل ۱۷-۱ قاب بادبندی شده آزمایش شده توسط واتاناب ..... ۳۲
- شکل ۱۸-۱ منحنی کمانش الاستیک بادبند های آزمایش شده توسط واتاناب ..... ۳۳
- شکل ۱۹-۱ موقعیت بادبند در مدل ..... ۳۴
- شکل ۲۰-۱ مقاطع BRB آزمایش شده در دانشگاه برکلی ..... ۴۲
- شکل ۲۱-۱ دستگاه آزمایش تک محوری ..... ۴۳

- شکل ۱-۲۲ تاریخچه بارگذاری SAC (بالا) نمودار رهو تغییر مکان نمونه ۲-۹۹ (پایین) ..... ۴۵
- شکل ۱-۲۳ بارگذاری خستگی با تناوب پایین (بالا) نمودار رهو تغییر مکان نمونه ۲-۹۹ (پایین) ..... ۴۶
- شکل ۱-۲۴ تاریخچه بارگذاری اعمالی SAC (بالا) نمودار رهو تغییر مکان نمونه ۳-۹۹ (پایین) ..... ۴۷
- شکل ۱-۲۵ تاریخچه تغییر مکان بدست آمده از زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج (بالا) نمودار رهو تغییر مکان نمونه ۳-۹۹ (پایین) ..... ۴۸
- شکل ۱-۲۶ تاریخچه تغییر مکان بدست آمده از زلزله ۱۹۴۰ ال سنترو (بالا) نمودار رهو تغییر مکان (پایین) ..... ۹۹-۳ ..... ۴۹
- شکل ۱-۲۷ طرح قاب با بادبند کمانش تاب ..... ۵۰
- شکل ۱-۲۸ تاریخچه بارگذاری رفت و برگشتی اعمالی به قاب با بادبند کمانش تاب ..... ۵۱
- شکل ۱-۲۹ نمودار رهو تغییر مکان قاب (راست) بادبند حالت اول (چپ) ..... ۵۲
- شکل ۱-۳۰ نمودار رهو تغییر مکان قاب حالت دوم ..... ۵۲
- فصل دوم

- شکل ۲-۱ کاربرد ضریب R در کاهش رولزهای طیفی ارتجاعی به تراز رهوهای طراحی ..... ۵۶
- شکل ۲-۲ رفتار غیو خطی سازه ..... ۶۰
- شکل ۲-۳ منحنی طیف ظرفیت ..... ۶۱
- شکل ۲-۴ طیف رهوی وارده ..... ۶۳
- شکل ۲-۵ مدل ساده شده با ظرفیت با توزیع پلاستیک ..... ۶۴
- شکل ۲-۶ روش رهومارک ..... ۶۵
- شکل ۲-۷-۱ تئوری شکل پذیری ..... ۶۷
- شکل ۲-۷-۲ تعادل انرژی ..... ۶۷
- شکل ۲-۸ طیف خطی و غیو خطی با ضریب شکل پذیری ثابت ..... ۶۸
- شکل ۲-۹ ضریب کاهش مقاومت در اثر شکل پذیری A- رهومارک و هال B- لای و بگگز ..... ۷۴

شکل ۲-۱۰ ضریب کاهش مقاومت در اثر شکل پذیری زئومارک و ریئل ..... ۷۶

شکل ۲-۱۱ ضریب کاهش مقاومت در اثر شکل پذیری A-ریئل، هیلگو و کروزر B-ریئل و ارطیس ..... ۷۷

شکل ۲-۱۲ ضریب کاهش مقاومت در اثر شکل پذیری A-نصر و کراوینگر B- و همکاران ..... ۸۰

#### فصل سوم

شکل ۳-۱ پلان ساختمان و نحوه چیدمان بادبندها ..... ۹۰

شکل ۳-۲ انواع قاب با مهاربندی و ارتفاع مختلف مورد بررسی ..... ۹۰

شکل ۳-۳ شتابنگاشت COYOTELK\_HVR150(PGA=0.0395) ..... ۹۵

شکل ۳-۴ شتابنگاشت IMPVALLH-CAL225(PGA=0.1282) ..... ۹۵

شکل ۳-۵ شتابنگاشت KOCAELI-ATK000(PGA=0.1084) ..... ۹۵

شکل ۳-۶ شتابنگاشت LYTLECR\_CLN090(PGA=0.03307) ..... ۹۶

شکل ۳-۷ شتابنگاشت NORTH\_R\_GLP177(PGA=0.3572) ..... ۹۶

شکل ۳-۸ شتابنگاشت SUPERST\_B-CAL225(PGA=0.1798) ..... ۹۶

شکل ۳-۹ شتابنگاشت TABAS\_DAY-LN(PGA=0.3279) ..... ۹۷

شکل ۳-۱۰ نمودار زهرو تغییر مکان مورد استفاده در PERFORM ..... ۹۹

شکل ۳-۱۱ حلقه های هیستریزیس با کاهش سختی و بدون کاهش سختی ..... ۱۰۰

شکل ۳-۱۲ رابطه زهرو تغییر مکان برای المان ساده ..... ۱۰۳

#### فصل چهارم

شکل ۴-۱ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب چهار طبقه با مهاربند قطری ..... ۱۱۵

شکل ۴-۲ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب چهار طبقه با مهاربند V معکوس ..... ۱۱۶

شکل ۴-۳ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب چهار طبقه با مهاربند V ..... ۱۱۶

شکل ۴-۴ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب چهار طبقه با مهاربند X (ترکیب ۷ و ۸) ..... ۱۱۷

شکل ۴-۵ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب شش طبقه با مهاربند قطری ..... ۱۱۸

- شکل ۴-۶ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب شش طبقه با مهاربند V معکوس ..... ۱۱۹
- شکل ۴-۷ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب شش طبقه با مهاربند V ..... ۱۱۹
- شکل ۴-۸ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب شش طبقه با مهاربند X (ترکیب ۷ و ۸) ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۹ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب هشت طبقه با مهاربند قطری ..... ۱۲۱
- شکل ۴-۱۰ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب هشت طبقه با مهاربند V معکوس ..... ۱۲۲
- شکل ۴-۱۱ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب هشت طبقه با مهاربند V ..... ۱۲۲
- شکل ۴-۱۲ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب هشت طبقه با مهاربند X ..... ۱۲۳
- شکل ۴-۱۳ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب ده طبقه با مهاربند قطری ..... ۱۲۴
- شکل ۴-۱۴ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب ده طبقه با مهاربند V معکوس ..... ۱۲۵
- شکل ۴-۱۵ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب ده طبقه با مهاربند V ..... ۱۲۵
- شکل ۴-۱۶ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب ده طبقه با مهاربند X (ترکیب ۷ و ۸) ..... ۱۲۶
- شکل ۴-۱۷ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب دوازده طبقه با مهاربند قطری ..... ۱۲۷
- شکل ۴-۱۸ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب دوازده طبقه با مهاربند V معکوس ..... ۱۲۸
- شکل ۴-۱۹ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب دوازده طبقه با مهاربند V ..... ۱۲۸
- شکل ۴-۲۰ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب دوازده طبقه با مهاربند X (ترکیب ۷ و ۸) ..... ۱۲۹
- شکل ۴-۲۱ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب چهارده طبقه با مهاربند قطری ..... ۱۳۱
- شکل ۴-۲۲ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب چهارده طبقه با مهاربند V معکوس ..... ۱۳۱
- شکل ۴-۲۳ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب چهارده طبقه با مهاربند V ..... ۱۳۲
- شکل ۴-۲۴ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب چهارده طبقه با مهاربند X (ترکیب ۷ و ۸) ..... ۱۳۲
- شکل ۴-۲۵ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب دوازده طبقه با مهاربند قطری ..... ۱۳۴
- شکل ۴-۲۶ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب شانزده طبقه با مهاربند V معکوس ..... ۱۳۵
- شکل ۴-۲۷ نمودار برش پای - تغییر مکان قاب شانزده طبقه با مهاربند V ..... ۱۳۵