



دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

گرایش سازه

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان پایان نامه:

ارزیابی رفتار قاب‌های فولادی سه بعدی با مهاربند کابلی

استاد راهنما:

دکتر نادر فنائی

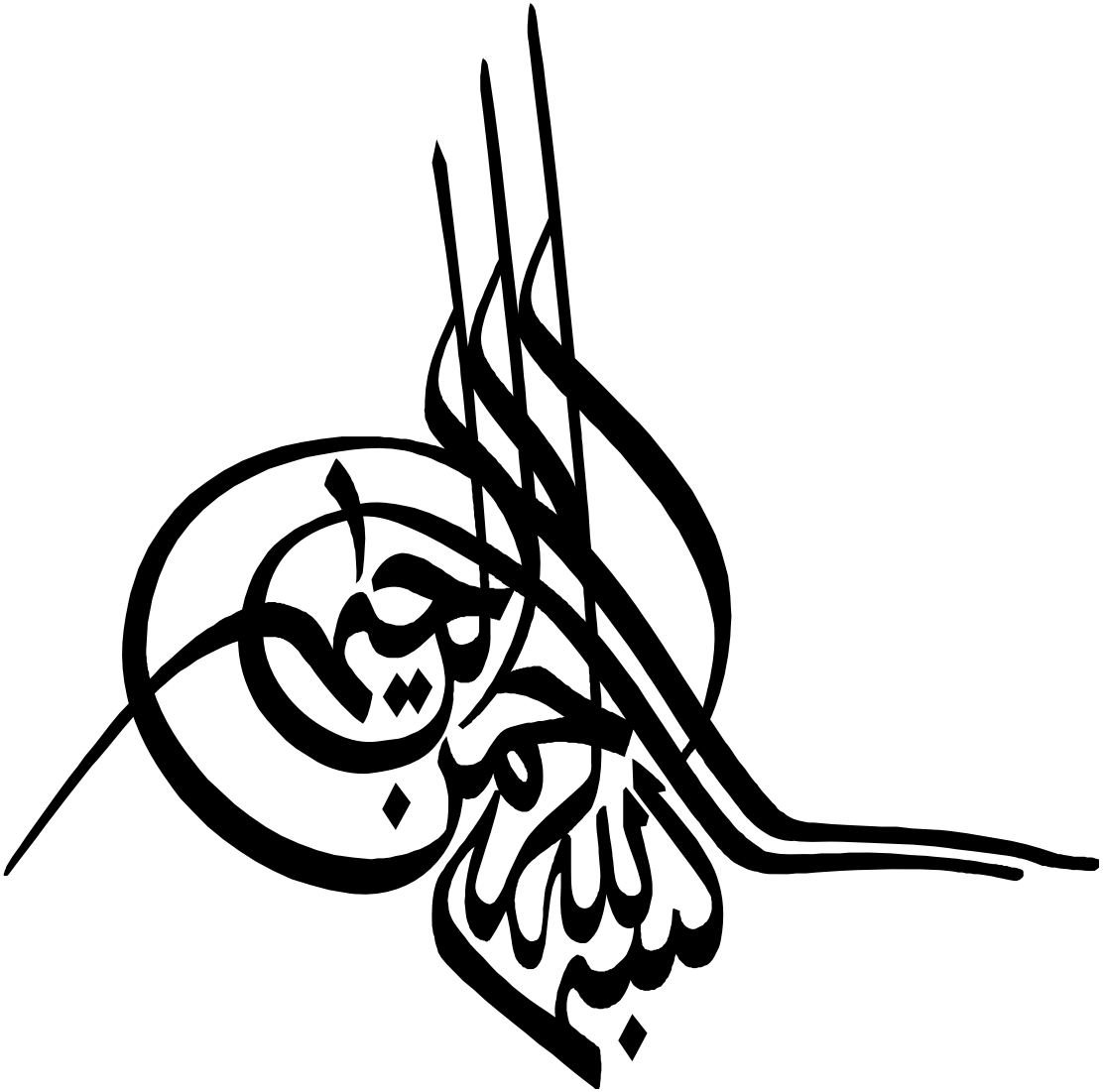
دانشجو:

سعید آقاجانی

شماره دانشجویی:

۸۸۰۷۷۲۴

اسفند ماه ۱۳۹۰



## تأیید پایان نامه کارشناسی ارشد توسط دانشجو

موضوع پایان نامه: ارزیابی رفتار قاب‌های فولادی سه بعدی با مهاربند کابلی

استاد راهنما: دکتر نادر فنائی

نام دانشجو: سعید آقاجانی

شماره دانشجویی: ۸۸۰۷۷۲۴

این جانب سعید آقاجانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه دانشکده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات انجام گرفته در این پایان‌نامه توسط شخص این جانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع استفاده شده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم مطالب مندرج در پایان نامه برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط این جانب و یا فرد دیگری در هیچ‌جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه فرمت مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو

تاریخ

## فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱. حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری به صورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲. کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیم به

پدر و مادر بزرگوارم که در کلیه مراحل زندگی، همواره مشوق و پشتیبانم، به ویژه در عرصه‌ی

کسب دانش بوده‌اند.

## تقدیر و تشکر

پروردگار منان را به بزرگی و رحمتش سپاسگزارم، که در تمامی محظرات زندگی و در طول این تحقیق لطف او شامل حال من بوده است؛

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر فانی که دلسوزانه راهنما و مشوق من در طول انجام این تحقیق بوده اند، کمال تشکر و سپاس را دارم؛

از پدر و مادر مهربانم که زحمات زیادی را در طول زندگی برای من متحمل شده و می‌شوند، سپاسگزاری می‌نمایم؛

همچنین از دوست عزیزم آقای مهندس رسول معارزاده به خاطر راهنمایی‌هایش تشکر می‌کنم.

## چکیده

استفاده از انواع سیستم‌های مهاربندی از متداول‌ترین روش‌های تأمین سختی جانبی و مقاومت در قاب‌های فولادی می‌باشد. در سال‌های اخیر استفاده از مهاربندهای کابلی در انواع مختلف توسط محققین معرفی شده است. کابل فولادی یک عضو باربر کششی بوده و دارای مقاومت کششی بالایی است و مقاومت خوبی در برابر خوردگی، سایش و خستگی دارد. این قابلیت کابل باعث ایجاد ایده استفاده از کابل در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها شده است. مهاربند کابل- استوانه یکی از سیستم‌های مهاربندی مدرن می‌باشد که از دو کابل و یک استوانه تشکیل شده است. کابل‌ها در محل تقاطع‌شان از درون استوانه عبور می‌کنند. در این مطالعه ابتدا معادلات حاکم بر رفتار مهاربند کابل- استوانه به دست آمده است؛ سپس با مدل‌سازی عددی در نرم‌افزار ABAQUS، به ارزیابی رفتار لرزه‌ای این مهاربند پرداخته شده است. به این منظور تحلیل‌های تاریخچه زمانی بر روی قاب‌های دو، چهار و شش طبقه خمشی با و بدون مهاربند کابلی انجام شده است. بر اساس مطالعه انجام شده، برای استوانه سخت هر دو کابل همواره تحت کشش هستند. بنابراین شل شدن کابل‌ها و ضربه ناشی از آن در این مهاربند وجود ندارد. مهاربند کابل- استوانه قادر است مقاومت جانبی قاب فولادی را بدون کاهش شکل‌پذیری، افزایش دهد. علاوه بر این‌ها افزایش نیروی محوری ستون‌ها به خاطر افزودن مهاربند کابل- استوانه به طور قابل توجهی کمتر از زمانی است که مهاربند کابل ضربدری به قاب خمشی اضافه شود.

## کلمات کلیدی:

بهسازی لرزه‌ای، مهاربند کابلی، استوانه نرم، استوانه سخت، نسبت تغییر مکان جانبی

## فهرست مطالب

|    |  |
|----|--|
| ۱  | ۱- فصل اول: مقدمه و کلیات                                  |
| ۲  | ۱-۱ فرم‌های سازه‌ای در سیستم‌های مقاوم جانبی               |
| ۲  | ۱-۱-۱ مقدمه  |
| ۴  | ۲-۱-۱ سیستم‌های مقاوم جانبی                                |
| ۵  | ۲-۱ معرفی کابل‌های فولادی                                  |
| ۵  | ۱-۲-۱ مقدمه  |
| ۷  | ۲-۲-۱ خواص کابل‌های فولادی                                 |
| ۸  | ۳-۲-۱ انواع کابل‌های فولادی                                |
| ۸  | ۱-۳-۲-۱ انواع کابل‌ها از نظر جنس مصالح ساخت                |
| ۹  | ۲-۳-۲-۱ انواع کابل‌ها از نظر تاب گسیختگی مفتول فولاد مصرفی |
| ۱۰ | ۳-۳-۲-۱ انواع کابل‌ها از نظر هسته کابل                     |
| ۱۰ | ۴-۳-۲-۱ انواع کابل‌ها از نظر نوع تاب و جهت تاب             |
| ۱۰ | ۱-۴-۳-۲-۱ طبقه‌بندی کابل‌ها از نظر جهت تاب                 |
| ۱۱ | ۲-۴-۳-۲-۱ طبقه‌بندی کابل‌ها از نظر نوع تاب                 |
| ۱۲ | ۵-۳-۲-۱ انواع کابل‌ها از نظر نحوه بافت                     |
| ۱۲ | ۱-۵-۳-۲-۱ بافت سیل   |
| ۱۲ | ۲-۵-۳-۲-۱ بافت وارینگتون                                   |
| ۱۳ | ۳-۵-۳-۲-۱ بافت فیلر  |
| ۱۳ | ۴-۵-۳-۲-۱ بافت استاندارد                                   |
| ۱۴ | ۶-۳-۲-۱ انواع کابل‌های مورد استفاده در پل‌های کابلی        |
| ۱۴ | ۱-۶-۳-۲-۱ کابل‌های میله موازی                              |
| ۱۴ | ۲-۶-۳-۲-۱ کابل‌های سیم موازی                               |



|    |   |
|----|---|
| ۱۴ | ۳-۶-۳-۲-۱ کابل‌های رشته‌ای                    |
| ۱۵ | ۴-۶-۳-۲-۱ کابل‌های پرس شده هسته‌دار           |
| ۱۵ | ۷-۳-۲-۱ انواع کابل‌ها بر اساس موارد کاربرد    |
| ۱۵ | ۱-۷-۳-۲-۱ کابل‌های در حرکت                    |
| ۱۶ | ۲-۷-۳-۲-۱ کابل‌های ایستا                      |
| ۱۶ | ۳-۷-۳-۲-۱ کابل‌های شیلیاری                    |
| ۱۶ | ۴-۷-۳-۲-۱ کابل‌های قلاب شده                   |
| ۱۷ | ۴-۲-۱ ویژگی‌های رفتار کابل‌ها                 |
| ۱۷ | ۱-۴-۲-۱ مقاومت کابل‌ها                        |
| ۱۸ | ۲-۴-۲-۱ مقایسه تیر با کابل                    |
| ۲۰ | ۳-۴-۲-۱ رفتار غیر خطی کابل                    |
| ۲۳ | ۴-۴-۲-۱ اثر پیش‌تنیدگی کابل در سازه‌های کابلی |
| ۲۵ | ۵-۴-۲-۱ اثرات رفتاری کابل                     |
| ۲۶ | ۵-۲-۱ پیش‌شکل دادن کابل                       |
| ۲۷ | ۶-۲-۱ مقاومت کابل در برابر خستگی و فرسایش     |
| ۲۷ | ۷-۲-۱ اندازه‌گیری قطر کابل                    |
| ۲۸ | ۸-۲-۱ نام‌گذاری انواع کابل                    |
| ۲۸ | ۹-۲-۱ محافظت از کابل در برابر خوردگی          |
| ۲۹ | ۱-۹-۲-۱ روش‌های محافظت در برابر خوردگی        |
| ۳۰ | ۱۰-۲-۱ انواع اتصالات                          |
| ۳۳ | ۳-۱ سازه‌های کششی                             |
| ۳۳ | ۱-۳-۱ معرفی سازه‌های کششی                     |
| ۳۵ | ۲-۳-۱ سازه‌های کششی اولیه                     |
| ۳۵ | ۱-۲-۳-۱ پل سن‌لوئیس‌ری                        |

|    |   |
|----|---|
| ۳۶ | ۳-۳-۱ کاربرد سازه‌های کششی  |
| ۳۷ | ۴-۳-۱ رفتار سازه‌های کششی   |
| ۳۸ | ۵-۳-۱ مراحل مختلف رفتار سازه‌های کششی   |
| ۳۸ | ۴-۱ لزوم انجام این مطالعه   |
| ۳۹ | ۵-۱ نحوه انجام پایان‌نامه   |
| ۴۰ | ۶-۱ سازمان‌دهی مطالب پایان‌نامه   |
| ۴۲ | <b>۲- فصل دوم: کاربرد کابل فولادی در ساختمان</b>                                |
| ۴۳ | ۱-۲ مقدمه   |
| ۴۳ | ۲-۲ استفاده از کابل فولادی در سیستم باربر جانبی ساختمان                         |
| ۴۴ | ۱-۲-۲ مهاربند کابلی با میراگر اصطکاکی   |
| ۴۵ | ۲-۲-۲ سیستم کابل فعال   |
| ۴۶ | ۳-۲-۲ مهاربند کابلی ضربدری  |
| ۴۶ | ۴-۲-۲ سیستم کابل یکپارچه  |
| ۴۸ | ۵-۲-۲ مهاربند کابلی با میراگر هیستریزیس   |
| ۴۹ | ۶-۲-۲ مهاربند کابلی با میراگر دوران‌کننده مرکزی                                 |
| ۴۹ | ۷-۲-۲ مهاربند کابلی با آلیاژ حافظه‌دار شکلی                                     |
| ۵۰ | ۸-۲-۲ مهاربند کابلی با استوانه مرکزی  |
| ۵۲ | ۳-۲ استفاده از کابل فولادی در اجزاء و اعضای ساختمان                             |
| ۵۲ | ۱-۳-۲ بهسازی تیرها توسط کابل  |
| ۵۵ | ۲-۳-۲ بهسازی ستون‌ها توسط کابل  |
| ۵۵ | ۳-۳-۲ بهسازی پی و فونداسیون توسط کابل   |
| ۵۷ | ۴-۳-۲ بهسازی کف‌های سازه‌ای توسط کابل   |
| ۵۸ | ۴-۲ استفاده از کابل در ساختمان‌های بلند مرتبه                                   |
| ۵۸ | ۱-۴-۲ استفاده از کابل به منظور کنترل تغییر مکان‌های خمشی ساختمان‌های بلند مرتبه |

|     |  |
|-----|--|
| ۶۰  | ۲-۴-۲ استفاده از کابل در ساختمان‌های معلق                                    |
| ۶۱  | ۳-۴-۲ استفاده از کابل به جای دیوار برشی                                      |
| ۶۳  | ۵-۲ نمونه‌های اجرا شده استفاده از کابل در ساختمان                            |
| ۶۵  | ۳- فصل سوم: معادلات حاکم بر رفتار مهاربند کابل - استوانه نرم                 |
| ۶۶  | ۱-۳ روابط حرکت و تغییرشکل استوانه نرم  |
| ۷۳  | ۲-۳ تأثیر ابعاد استوانه نرم در رفتار مهاربند کابل - استوانه                  |
| ۸۳  | ۳-۳ نمودارهای هیستریزس ایده‌آل قاب با مهاربند کابل - استوانه نرم             |
| ۱۱۲ | ۴- فصل چهارم: معادلات حاکم بر رفتار مهاربند کابل - استوانه صلب               |
| ۱۱۳ | ۱-۴ روابط حرکت استوانه صلب   |
| ۱۲۲ | ۲-۴ اثرات پیش‌تینیدگی کابل‌ها  |
| ۱۲۶ | ۳-۴ تأثیر ابعاد استوانه صلب در رفتار مهاربند کابل - استوانه                  |
| ۱۲۶ | ۱-۳-۴ تأثیر طول استوانه  |
| ۱۲۸ | ۲-۳-۴ تأثیر قطر داخلی استوانه  |
| ۱۳۰ | ۴-۴ محاسبه $\delta_{sr}$   |
| ۱۳۴ | ۵-۴ نیروی تماسی استوانه و کابل‌ها  |
| ۱۳۸ | ۵- فصل پنجم: ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب خمشی با مهاربند کابل - استوانه فولادی |
| ۱۳۹ | ۱-۵ مقدمه  |
| ۱۳۹ | ۲-۵ معرفی مدل‌ها   |
| ۱۴۰ | ۱-۲-۵ بارگذاری   |
| ۱۴۰ | ۱-۱-۲-۵ بارگذاری ثقلی  |
| ۱۴۱ | ۲-۱-۲-۵ بارگذاری جانبی   |
| ۱۴۱ | ۱-۲-۱-۲-۵ محاسبه برش پایه  |
| ۱۴۲ | ۲-۲-۵ مدل‌سازی، بارگذاری، تحلیل و طراحی در نرم‌افزار ETABS                   |
| ۱۴۳ | ۳-۲-۵ کنترل تغییرمکان جانبی نسبی طبقه  |

|     |  |
|-----|--|
| ۱۴۴ | ۴-۲-۵ مقاطع به کار رفته در قاب‌های خمشی                |
| ۱۴۵ | ۳-۵ مدل‌سازی قاب‌های دو بعدی در نرم‌افزار Abaqus       |
| ۱۴۵ | ۱-۳-۵ مقدمه  |
| ۱۴۸ | ۲-۳-۵ مدل مصالح مورد استفاده جهت مدل‌سازی فولاد        |
| ۱۴۹ | ۳-۳-۵ تعریف جرم غیر سازه‌ای قاب                        |
| ۱۵۰ | ۴-۵ کنترل صحت مدل‌سازی در نرم‌افزار Abaqus             |
| ۱۵۲ | ۵-۵ تأثیر صلبیت استوانه در رفتار مهاربند کابل- استوانه |
| ۱۵۴ | ۶-۵ نتایج تحلیل‌های لرزه‌ای                            |
| ۱۵۴ | ۱-۶-۵ زمان تناوب اصلی سازه‌ها                          |
| ۱۵۵ | ۲-۶-۵ منحنی هیستریزیس قاب‌ها                           |
| ۱۶۱ | ۳-۶-۵ توزیع نسبت تغییرمکان طبقات در ارتفاع قاب‌ها      |
| ۱۶۵ | ۴-۶-۵ نیروی فشاری ستون‌های مجاور بادبندها              |
| ۱۷۰ | ۵-۶-۵ تنش در کابل‌های مهاربندی                         |
| ۱۷۴ | ۶- فصل ششم: نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات               |
| ۱۷۵ | ۱-۶ نتایج  |
| ۱۷۷ | ۲-۶ پیشنهاداتی برای کارهای آینده                       |
| ۱۷۸ | مراجع  |

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: کابل و اجزاء تشکیل دهنده آن ۵
- شکل ۲-۱: انواع کابل فولادی از نظر نوع تاب و جهت تاب ۱۲
- شکل ۳-۱: انواع بافت کابل‌های فولادی ۱۳
- شکل ۴-۱: موارد اصلی کاربرد کابل‌ها ۱۷
- شکل ۵-۱: مقایسه نحوه باربری تیر و کابل ۱۸
- شکل ۶-۱: نحوه پخش تنش در سطح تیر و کابل ۱۹
- شکل ۷-۱: توزیع نیروی داخلی در طول تیر و کابل ۱۹
- شکل ۸-۱: چندضلعی تعادل برای کابل آویزان از دو نقطه A و B ۲۱
- شکل ۹-۱: کابل آویزان از دو نقطه A و B، با بارهای متمرکز P و 2P و منحنی بار- تغییرشکل ۲۲
- شکل ۱۰-۱: نحوه اندازه‌گیری قطر کابل ۲۷
- شکل ۱۱-۱: نام‌گذاری انواع کابل‌های فولادی ۲۸
- شکل ۱۲-۱: روش‌های متداول ایجاد حلقه انتهایی ۳۱
- شکل ۱۳-۱: اجرای صحیح بست‌های U شکل ۳۲
- شکل ۱۴-۱: سوکت‌های باز و بسته ۳۲
- شکل ۱-۲: میراگر اصطکاکی برای مهاربند فقط کششی Pall ۴۴
- شکل ۲-۲: میراگر اصطکاکی Bellev و Mualla ۴۵
- شکل ۳-۲: سیستم بادبند با سختی متغیر ۴۵
- شکل ۴-۲: بهسازی دیوار بنایی با مهاربند کابلی ۴۶
- شکل ۵-۲: تقویت ساختمان بتنی توسط مهاربند DCS ۴۷
- شکل ۶-۲: طرح کلی مهاربند DCS ۴۸
- شکل ۷-۲: سیستم میراگر هیستریزیس Phocas و Pocanschi ۴۹

- شکل ۲-۸: سیستم مهاربندی کابلی با میراگر دوران کننده مرکزی ۴۹
- شکل ۲-۹: مهاربندی کابلی با آلیاژ حافظه دار شکلی ۵۰
- شکل ۲-۱۰: سیستم مهاربندی کابلی با استونه مرکزی ۵۱
- شکل ۲-۱۱: رابطه بار- تغییر مکان برای مهاربند کابل- استوانه ۵۱
- شکل ۲-۱۲: عضو استوانه‌ای در مهاربند کابل- استوانه ۵۲
- شکل ۲-۱۳: قاب فولادی با مهاربند کابل- استوانه در تغییر مکان جانبی الف (40mm ب) حد نهایی قاب ۵۲
- شکل ۲-۱۴: بهسازی تیر توسط کابل ۵۳
- شکل ۲-۱۵: مقاوم سازی برشی تیرهای بتنی با استفاده از کابل‌های فولادی ۵۴
- شکل ۲-۱۶: بهسازی پی توسط کابل ۵۷
- شکل ۲-۱۷: بهسازی دال یک طرفه توسط کابل ۵۸
- شکل ۲-۱۸: کنترل تغییر مکان خمشی ساختمان‌های بلند با استفاده از کابل ۵۹
- شکل ۲-۱۹: استفاده از کابل‌های فولادی در ساختمان‌های معلق ۶۰
- شکل ۲-۲۰: شکل (۲-۲۰): پلان ساختمان‌های با بادبند کابلی به جای دیوار برشی ۶۱
- شکل ۲-۲۱: آرایش کابل‌ها در پل‌های کابلی ۶۲
- شکل ۲-۲۲: جایگزینی کابل با دیوار برشی در نمای خارجی ساختمان ۶۲
- شکل ۲-۲۳: نمای ساختمان Minneapolis Federal Reserve Bank ۶۴
- شکل ۳-۱: مبدأ مختصات قاب با مهاربند کابل- استوانه نرم ۶۷
- شکل ۳-۲: دسته منحنی‌های روابط (۳-۱) در تغییر مکان‌های جانبی مختلف ۷۰
- شکل ۳-۳: تصویر استوانه بسیار نرم روی صفحه قاب در تغییر مکان‌های جانبی مختلف قاب ۷۲
- شکل ۳-۴: تصویر استوانه بسیار نرم روی صفحه قاب در حالت اولیه و تغییر مکان جانبی  $\delta_s$  ۷۲
- شکل ۳-۵: منحنی‌های ابعاد استوانه‌های با  $\delta_s = c$  ۷۵
- شکل ۳-۶: استوانه‌هایی با ابعاد مختلف و  $\delta_s$  ثابت ۸۱
- شکل ۳-۷:  $\delta_s$  تابعی از ابعاد استوانه ۸۲
- شکل ۳-۸: طول کابل‌ها در مهاربندی کابل- استوانه ۸۳

- ۸۴ شکل ۹-۳: منحنی هیستریزیس ایده‌آل قاب خمشی
- ۸۴ شکل ۱۰-۳: منحنی هیستریزیس ایده‌آل قاب ساده با مهاربند کابل-استوانه
- ۸۶ شکل ۱۱-۳: منحنی هیستریزیس ایده‌آل قاب ساده با مهاربند کابلی ضربدری
- ۸۷ شکل ۱۲-۳: حالت ۱-۱،  $\delta_{cable} \leq \delta_y$  و  $\delta_s = 0$
- ۸۹ شکل ۱۳-۳: حالت ۲-۱،  $\delta_{cable} > \delta_y$  و  $\delta_s = 0$
- ۹۰ شکل ۱۴-۳: حالت ۱-۲،  $0 < \delta_s < \delta_y$  و  $\delta_s + \delta_{cable} \leq \delta_y$
- ۹۲ شکل ۱۵-۳: حالت ۲-۲،  $0 < \delta_s < \delta_y$ ،  $\delta_s + \delta_{cable} > \delta_y$  و  $2\delta_y > \delta_{cable} + 2\delta_s$
- ۹۳ شکل ۱۶-۳: حالت ۳-۲،  $0 < \delta_s < \delta_y$ ،  $\delta_s + \delta_{cable} > \delta_y$  و  $2\delta_y = \delta_{cable} + 2\delta_s$
- ۹۵ شکل ۱۷-۳: حالت ۴-۲،  $0 < \delta_s < \delta_y$ ،  $\delta_s + \delta_{cable} > \delta_y$  و  $\delta_{cable} + 2\delta_s > 2\delta_y > \delta_{cable}$
- ۹۶ شکل ۱۸-۳: حالت ۵-۲،  $0 < \delta_s < \delta_y$ ،  $\delta_s + \delta_{cable} > \delta_y$  و  $2\delta_y = \delta_{cable}$
- ۹۸ شکل ۱۹-۳: حالت ۶-۲،  $0 < \delta_s < \delta_y$ ،  $\delta_s + \delta_{cable} > \delta_y$  و  $2\delta_y < \delta_{cable}$
- ۹۹ شکل ۲۰-۳: حالت ۱-۳،  $\delta_s = \delta_y$  و  $2\delta_y > \delta_{cable}$
- ۱۰۱ شکل ۲۱-۳: حالت ۲-۳،  $\delta_s = \delta_y$  و  $2\delta_y = \delta_{cable}$
- ۱۰۲ شکل ۲۲-۳: حالت ۳-۳،  $\delta_s = \delta_y$  و  $2\delta_y < \delta_{cable}$
- ۱۰۴ شکل ۲۳-۳: حالت ۱-۴،  $\delta_s + \delta_{cable} = \delta_u$  و  $2\delta_y > \delta_{cable}$
- ۱۰۶ شکل ۲۴-۳: حالت ۲-۴،  $\delta_s + \delta_{cable} = \delta_u$  و  $2\delta_y = \delta_{cable}$
- ۱۰۸ شکل ۲۵-۳: حالت ۳-۴،  $\delta_s + \delta_{cable} = \delta_u$  و  $2\delta_y < \delta_{cable}$
- ۱۰۹ شکل ۲۶-۳: مقاومت جانبی قاب مهاربندی شده بصورت تابعی از  $\delta_s$  برای حالاتی که  $\delta_{cable} < \delta_y$  می‌باشد
- ۱۱۰ شکل ۲۷-۳: مقاومت جانبی قاب مهاربندی شده بصورت تابعی از  $\delta_s$  برای حالاتی که  $\delta_{cable} \geq \delta_y$  می‌باشد
- ۱۱۰ شکل ۲۸-۳: تغییر شکل حد خرابی قاب مهاربندی شده بصورت تابعی از  $\delta_s$
- ۱۱۴ شکل ۱-۴: مبدأ مختصات قاب با مهاربند کابل - استوانه صلب
- ۱۱۶ شکل ۲-۴: نمودار جسم آزاد استوانه صلب
- ۱۱۹ شکل ۳-۴: منحنی‌های  $P - \delta$  قاب مفصلی با مهاربندهای کابلی ضربدری و کابل - استوانه
- ۱۲۰ شکل ۴-۴: منحنی  $\epsilon - \delta$  کابل‌ها در مهاربندهای کابلی ضربدری و کابل - استوانه

- شکل ۴-۵: نمودار جسم آزاد قاب با مهاربند کابل - استوانه صلب ۱۲۱
- شکل ۴-۶: تأثیر پیش‌تنیدگی کابل بر منحنی  $P-\delta$  بادی‌بند کابل - استوانه ۱۲۴
- شکل ۴-۷: تأثیر پیش‌تنیدگی کابل‌ها روی منحنی‌های  $\varepsilon-\delta$  کابل‌ها در مهاربند کابل - استوانه ۱۲۵
- شکل ۴-۸: منحنی  $P-\delta$  مهاربندهای کابل - استوانه با استوانه‌هایی با ابعاد متقارن نسبت به خط ۱۲۶
- $$y = \left( \frac{h_c}{l_b} \right) x$$
- شکل ۴-۹: تأثیر طول استوانه در منحنی  $P-\delta$  ۱۲۷
- شکل ۴-۱۰: تأثیر طول استوانه در منحنی  $\varepsilon-\delta$  ۱۲۸
- شکل ۴-۱۱: تأثیر قطر داخلی استوانه در منحنی  $P-\delta$  ۱۲۹
- شکل ۴-۱۲: تأثیر قطر داخلی استوانه در منحنی  $\varepsilon-\delta$  ۱۲۹
- شکل ۴-۱۳: منحنی‌های ابعاد استوانه‌های با  $\delta_{sr}=c$  ۱۳۱
- شکل ۴-۱۴: منحنی‌های  $\delta-\frac{P}{AE}$  برای استوانه‌هایی با  $\delta_{sr}=80\text{mm}$  ۱۳۲
- شکل ۴-۱۵: منحنی‌های  $\varepsilon-\delta$  برای استوانه‌هایی با  $\delta_{sr}=80\text{mm}$  ۱۳۲
- شکل ۴-۱۶: نمودار جسم آزاد عناصر مهاربند کابل - استوانه صلب تحت تغییر مکان جانبی ۱۳۴
- شکل ۴-۱۷: زاویه بین کابل بیرون استوانه و داخل استوانه به صورت تابعی از تغییر مکان جانبی قاب ۱۳۶
- شکل ۴-۱۸: نیروی تماسی بین کابل‌ها و استوانه به صورت تابعی از تغییر مکان جانبی قاب ۱۳۷
- شکل ۵-۱: پلان ساختمان‌های مورد مطالعه ۱۴۰
- شکل ۵-۲: سیستم‌های سازه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته ۱۴۶
- شکل ۵-۳: شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده قرار گرفته در تحلیل لرزه‌ای ۱۴۷
- شکل ۵-۴: تغییر مکان جانبی قاب با مهاربند کابل استوانه ۱۵۰
- شکل ۵-۵: منحنی‌های  $P-\delta$  با استفاده از روابط تئوری و مدل‌سازی عددی ۱۵۱
- شکل ۵-۶: منحنی‌های  $\varepsilon-\delta$  با استفاده از روابط تئوری و مدل‌سازی عددی ۱۵۱
- شکل ۵-۷: منحنی‌های  $P-\delta$  برای استوانه صلب و استوانه با سختی یک‌هزارم فولاد ۱۵۳
- شکل ۵-۸: منحنی‌های  $\varepsilon-\delta$  برای استوانه صلب و استوانه با سختی یک‌هزارم فولاد ۱۵۳



- شکل ۵-۹: منحنی‌های هیستریزیس قاب‌های ۲ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۵۶
- شکل ۵-۱۰: منحنی‌های هیستریزیس قاب‌های ۲ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۵۶
- شکل ۵-۱۱: منحنی‌های هیستریزیس قاب‌های ۴ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۵۷
- شکل ۵-۱۲: منحنی‌های هیستریزیس قاب‌های ۴ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۵۸
- شکل ۵-۱۳: منحنی‌های هیستریزیس قاب‌های ۶ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۵۹
- شکل ۵-۱۴: منحنی‌های هیستریزیس قاب‌های ۶ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۶۰
- شکل ۵-۱۵: نسبت تغییرمکان طبقات قاب‌های ۲ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۶۲
- شکل ۵-۱۶: نسبت تغییرمکان طبقات قاب‌های ۲ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۶۲
- شکل ۵-۱۷: نسبت تغییرمکان قاب‌های ۴ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۶۳
- شکل ۵-۱۸: نسبت تغییرمکان طبقات قاب‌های ۴ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۶۳
- شکل ۵-۱۹: نسبت تغییرمکان طبقات قاب‌های ۶ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۶۴
- شکل ۵-۲۰: نسبت تغییرمکان طبقات قاب‌های ۶ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۶۴
- شکل ۵-۲۱: نسبت نیروی فشاری ستون‌های مجاور بادبند در قاب‌های ۲ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۶۶
- شکل ۵-۲۲: نسبت نیروی فشاری ستون‌های مجاور بادبند در قاب‌های ۲ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۶۷
- شکل ۵-۲۳: نسبت نیروی فشاری ستون‌های مجاور بادبند در قاب‌های ۴ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۶۷
- شکل ۵-۲۴: نسبت نیروی فشاری ستون‌های مجاور بادبند در قاب‌های ۴ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۶۸
- شکل ۵-۲۵: نسبت نیروی فشاری ستون‌های مجاور بادبند در قاب‌های ۶ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۶۸
- شکل ۵-۲۶: نسبت نیروی فشاری ستون‌های مجاور بادبند در قاب‌های ۶ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۶۹
- شکل ۵-۲۷: ماکزیمم تنش کابل‌های مهاربندی قاب‌های ۲ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۷۰
- شکل ۵-۲۸: ماکزیمم تنش کابل‌های مهاربندی قاب‌های ۲ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۷۰
- شکل ۵-۲۹: ماکزیمم تنش کابل‌های مهاربندی قاب‌های ۴ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۷۰
- شکل ۵-۳۰: ماکزیمم تنش کابل‌های مهاربندی قاب‌های ۴ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۷۰
- شکل ۵-۳۱: ماکزیمم تنش کابل‌های مهاربندی قاب‌های ۶ طبقه برای  $PGA=0.35g$  ۱۷۱
- شکل ۵-۳۲: ماکزیمم تنش کابل‌های مهاربندی قاب‌های ۶ طبقه برای  $PGA=0.50g$  ۱۷۱

## فهرست جداول

|     |  |
|-----|--|
| ۱۰  | جدول ۱-۱: مقادیر تاب گسیختگی مفتول‌های فولادی                          |
| ۱۳۳ | جدول ۱-۴: $\varepsilon_{sr}$ برای استوانه‌هایی با $\delta_{sr} = 80mm$ |
| ۱۴۴ | جدول ۱-۵: مقاطع به کار رفته در قاب خمشی ۲ طبقه                         |
| ۱۴۴ | جدول ۲-۵: مقاطع به کار رفته در قاب خمشی ۴ طبقه                         |
| ۱۴۵ | جدول ۳-۵: مقاطع به کار رفته در قاب خمشی ۶ طبقه                         |
| ۱۴۸ | جدول ۴-۵: مساحت کابل‌های مهاربندی                                      |
| ۱۴۹ | جدول ۵-۵: میرایی قاب‌های مورد مطالعه قرار گرفته                        |
| ۱۵۵ | جدول ۶-۵: زمان تناوب اصلی قاب‌های مورد مطالعه                          |
| ۱۶۹ | جدول ۷-۵: نسبت نیروی فشاری ستون‌های مجاور بادبندها                     |
| ۱۷۳ | جدول ۸-۵: میانگین تنش در کابل‌های مهاربندی                             |

## نمادهای مورد استفاده قرار گرفته شده در این پایان نامه

$\Delta$ : افزایش طول کابل

$\alpha_R$  و  $\alpha_L$ : زاویه بین کابل درون استوانه با بیرون استوانه برای مهاربند چپ و مهاربند راست

$\delta$ : تغییر مکان جانبی نسبی طبقه

$\delta_{cable}$ : تغییر مکان جانبی نسبی طبقه، که در آن کابل مهاربندی ضربدری به حد گسیختگی می‌رسد

$\delta_{sv}$  و  $\delta_{sh}$ : تغییر مکان جانبی نسبی طبقه، که در آن یکی از کابل‌های مهاربندی کابل-استوانه بسیار نرم به خط راست تبدیل می‌شود-

شود، زمانی که استوانه افقی و قائم باشد

$\delta_{ss}$ : تغییر مکان جانبی نسبی طبقه، که در آن یکی از کابل‌های مهاربندی کابل-استوانه بسیار نرم به خط راست تبدیل می‌شود

$\delta_{sr}$ : تغییر مکان جانبی نسبی طبقه، که در آن یکی از کابل‌های مهاربندی کابل-استوانه صلب به خط راست تبدیل می‌شود

$\delta_u$ : تغییر مکان جانبی نسبی طبقه، که قاب خمشی به حد خرابی می‌رسد

$\delta_y$ : تغییر مکان جانبی نسبی طبقه، که قاب خمشی به حد جاری شدن می‌رسد

$\varepsilon$ : کرنش کابل

$\varepsilon_{sr}$ : کرنش کابل فعال در تغییر مکان جانبی  $\delta_{sr}$

$\theta$ : دوران استوانه صلب

$\sigma$ : تنش کابل

$\varphi_B$ : قطر کابل

$\varphi_p$ : قطر داخلی استوانه

$A$ : سطح مقطع کابل

$C_L$ : مهاربند کابلی که از گوشه راست پایین به گوشه چپ بالا می‌رود. در متن پایان نامه از "مهاربند چپ" یا "کابل چپ" استفاده

شده است

$C_R$ : مهاربند کابلی که از گوشه چپ پایین به گوشه راست بالا می‌رود. در متن پایان نامه از "مهاربند راست" یا "کابل راست"

استفاده شده است

$E$  : ضریب ارتجاعی

$F_R$  و  $F_L$  : نیرو در کابل چپ و کابل راست

$F_{cable}$  : نیروی جانبی طبقه ناشی از مهاربند کابلی، در لحظه‌ای که کابل به مقاومت نهایی خود می‌رسد

$F_p$  : نیروی پیش‌تنیدگی کابل

$F_y$  : نیروی جانبی طبقه که قاب خمشی به حد جاری شدن می‌رسد

$Q_L$  و  $Q_R$  : نیروی تماسی بین استوانه صلب با کابل چپ و کابل راست

$P$  : برش طبقه و یا ماکزیمم نیروی فشاری ستون‌ها

$h_c$  : ارتفاع ستون

$l_b$  : طول تیر

$l_e$  : طول هر یک از قسمت‌های خارج از استوانه کابل

$l_i$  : طول کابل داخل استوانه

$l_p$  : طول استوانه

$l_t$  : طول کلی کابل

$x$  : برابر است با طول استوانه، زمانی که استوانه افقی باشد؛ برای حالتی که استوانه قائم باشد برابر با قطر داخلی استوانه منهای

قطر کابل می‌باشد

$y$  : برابر است با قطر داخلی استوانه منهای قطر کابل، زمانی که استوانه افقی باشد؛ برای حالتی که استوانه قائم باشد برابر با طول

استوانه می‌باشد