

دانشگاه تبریز

دانشگاه تبریز

دانشکده فنی مهندسی عمران

گروه سازه

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش زلزله

عنوان

## تأثیر شرایط اتصال مهاربند بر رفتار قاب‌های فولادی

استاد راهنما

دکتر سامان باقری

استاد مشاور

دکتر مجید برقیان

پژوهشگر

وحیده بابازاده

بهمن ۹۰

صلى الله عليه وسلم

تقدیم به

پدر و مادر

عزیزم

## تقدیر و تشکر

در آغاز لازم می‌دانم از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر باقری که در طول انجام پایان‌نامه از دانش و تجربیات ارزشمند ایشان بهره‌مند بوده‌ام، نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشم.

از جناب آقای دکتر برقیان که در مراحل مختلف پروژه، راهنمایی خود را از اینجانب دریغ نداشتند، کمال تشکر را دارم.

|  |            |
|--|------------|
| نام خانوادگی دانشجو: بابازاده  | نام: وحیده |
| عنوان پایان نامه: تأثیر شرایط اتصال مهاربند بر رفتار قاب‌های فولادی  |            |
| استاد راهنما: دکتر سامان باقری   |            |
| استاد مشاور: دکتر مجید برقیان  |            |
| مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی عمران گرایش: مهندسی زلزله دانشگاه: تبریز   |            |
| دانشکده: فنی - مهندسی عمران تاریخ فارغ التحصیلی: تعداد صفحه: ۱۴۷   |            |
| کلید واژه‌ها: مهاربند، اتصال، زلزله، تحلیل غیرخطی، قاب فولادی  |            |
| <p><b>چکیده:</b></p> <p>مهاربندهای ضربداری و <math>\Lambda</math> در ساختمان‌های فولادی برای مقابله با بارهای جانبی ناشی از زلزله و باد استفاده می‌شود. فرض رایج اتصال مهاربند به صورت مفصلی است، ولی در عمل با توجه به جزئیات اتصال ممکن است اندکی گیرداری حاصل شود، هم‌چنین در مهاربندهای ضربداری معمولاً یک قطر به صورت پیوسته و قطر دیگر در وسط به صورت منقطع اجرا می‌شود، به طوری که اتصال میانی قطر منقطع تا حدی مفصلی می‌باشد. هم‌چنین بار کمانشی مهاربند متأثر از ضریب طول مؤثر کمانشی مهاربند می‌باشد و ضریب لاغری نیز به نوبه خود به شرایط انتهایی مهاربند بستگی دارد، از این رو تغییر شرایط اتصال مهاربند بر روی بار کمانشی آن تأثیر می‌گذارد.</p> <p>در این پایان نامه رفتار قاب‌های فولادی دو بعدی با تعداد طبقات و دهانه‌های مختلف مهاربندی شده هم مرکز با مهاربندهای ضربداری با شرایط مختلف اتصال انتهایی و میانی مهاربند و هم‌چنین مهاربندهای <math>\Lambda</math> با شرایط مختلف اتصال به تیر و قاب بررسی می‌شود. اتصالات مهاربندهای این قاب‌ها در دو حالت حدی مفصلی کامل و صلب کامل مدل‌سازی می‌شوند. این قاب‌ها ابتدا در نرم‌افزار SAP2000.V14.1 به صورت خطی طراحی و تحلیل می‌شوند، سپس با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی هندسی P-Delta و اعمال مفاصل پلاستیک به اعضا، تحلیل غیرخطی استاتیکی (Pushover) انجام می‌شود. در ادامه تحلیل غیرخطی دینامیکی قاب‌ها با اعمال شتاب زلزله‌های مختلف انجام می‌شود. در نهایت برش پایه، توزیع نیروها و در حالت کلی رفتار قاب‌های با شرایط اتصال مختلف با هم مقایسه می‌شود تا حساسیت رفتار قاب‌های ساختمانی به شرایط مختلف اتصال مهاربندها ارزیابی شود.</p> <p>با انجام تحلیل استاتیکی خطی معلوم شد که تغییر شرایط اتصال انتهایی و میانی مهاربند ضربداری و اتصال انتهایی مهاربند <math>\Lambda</math> بر زمان تناوب، سختی و نیروهای داخلی قاب‌ها، در حوزه رفتار خطی تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. هم‌چنین تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی نیز نشان دادند، تغییر قیدهای اتصال مهاربندها، بر نقطه تسلیم و ظرفیت برشی قاب‌ها تقریباً بی‌تأثیر است، ولی تغییر ضریب طول مؤثر مهاربندها با توجه به شرایط اتصال، عامل تأثیرگذار بر رفتار قاب‌ها می‌باشد، به طوری که قاب‌های دارای مهاربند با ضریب طول مؤثر کمتر، نقطه تسلیم و ظرفیت برشی بیشتری را نسبت به سایر قاب‌هایی که ضریب طول مؤثر مهاربندهای آنها بیشتر است، دارند. با تحلیل غیرخطی تاریخچه‌زمانی نیز نتایج مشابه به دست آمد، که طبق آن تأثیر تغییر ضریب طول مؤثر مهاربند بر اثر تغییر قیدهای اتصال روی رفتار قاب‌های فولادی مهاربندی شده غالب می‌باشد.</p> |            |

| صفحه | فهرست مطالب   |
|------|---|
| ۲    | فصل اول: مقدمه و بررسی منابع.....   |
| ۲    | ۱-۱ مقدمه.....  |
| ۳    | ۲-۱ تاریخچه و فلسفه طراحی مهاربندها.....                                    |
| ۴    | ۳-۱ انواع مهاربندها.....  |
| ۴    | ۱-۳-۱ معرفی.....  |
| ۷    | ۴-۱ رفتار هیستریزیس در مهاربندها.....                                       |
| ۸    | ۵-۱ عوامل تأثیرگذار بر رفتار مهاربند.....                                   |
| ۸    | ۱-۵-۱ کلیات.....  |
| ۹    | ۲-۵-۱ لاغری مهاربند.....  |
| ۹    | ۱-۲-۵-۱ دسته‌بندی مهاربندها از لحاظ لاغری.....                              |
| ۱۰   | ۲-۲-۵-۱ مهاربندهای لاغر.....  |
| ۱۲   | ۳-۲-۵-۱ مهاربندهای چاق.....   |
| ۱۲   | ۴-۲-۵-۱ مهاربندهای حد وسط.....  |
| ۱۳   | ۳-۵-۱ شرایط تکیه‌گاهی.....  |
| ۱۳   | ۱-۳-۵-۱ اتصالات مهاربندها.....  |
| ۱۷   | ۲-۳-۵-۱ تأثیر سختی اتصال میانی بر ضریب طول مؤثر مهاربندهای ضربدری.....      |
| ۱۹   | ۳-۳-۵-۱ تأثیر شرایط انتهایی بر ضریب طول مؤثر در مهاربندهای ضربدری.....      |
| ۲۰   | ۴-۳-۵-۱ تأثیر متغیر لاغری ( $\lambda$ ) بر بار کماتش مهاربندهای ضربدری..... |
| ۲۱   | ۴-۵-۱ شکل مقطع.....   |
| ۲۲   | ۶-۲ ضوابط طرح لرزه‌ای مهاربندها.....  |
| ۲۲   | ۱-۶-۱ کلیات.....  |
| ۲۲   | ۲-۶-۱ اصول کلی ضوابط طراحی لرزه‌ای و تاریخچه آنها.....                      |
| ۲۳   | ۳-۶-۱ طراحی ظرفیتی.....   |
| ۲۵   | ۴-۶-۱ بازبینی ارتقای ضوابط طراحی CBF در AISC.....                           |
| ۲۵   | ۱-۴-۶-۱ نسخه AISC-92.....   |
| ۲۶   | ۲-۴-۶-۱ نسخه AISC-97.....   |
| ۲۷   | ۳-۴-۶-۱ نسخه AISC-2001.....   |
| ۲۸   | ۵-۶-۱ مقایسه SCBF با OCBF.....  |
| ۲۸   | ۱-۵-۶-۱ طراحی مهاربند.....  |
| ۲۹   | ۲-۵-۶-۱ اتصالات مهاربندی.....   |
| ۳۰   | فصل دوم: مبانی و روش انجام تحقیق.....                                       |
| ۳۱   | ۱-۲ شرح مساله.....  |
| ۳۵   | ۲-۲ نرم‌افزار مورد استفاده.....   |
| ۳۵   | ۳-۲ فرضیات و بارگذاری.....  |

|                               |  |     |
|-------------------------------|--|-----|
| ۴-۲                           | طراحی اعضای قاب‌ها   | ۳۷  |
| ۵-۲                           | مشخصات غیر خطی   | ۴۱  |
| ۱-۵-۲                         | اثرات غیر خطی  | ۴۱  |
| ۲-۵-۲                         | باربرداری از مفاصل   | ۴۳  |
| ۶-۲                           | روش انجام تحلیل‌های غیر خطی استاتیکی   | ۴۶  |
| ۱-۶-۲                         | شرایط اولیه در تحلیل غیر خطی استاتیکی  | ۴۶  |
| ۲-۶-۲                         | کنترل بار اعمالی   | ۴۸  |
| ۳-۶-۲                         | تغییر مکان هدف   | ۴۸  |
| ۴-۶-۲                         | الگوی بار جانبی  | ۴۸  |
| ۷-۲                           | روش انجام تحلیل‌های غیر خطی دینامیکی   | ۵۲  |
| ۱-۷-۲                         | مبانی روش تحلیل غیر خطی دینامیکی   | ۵۲  |
| ۲-۷-۲                         | شرایط اولیه در تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه‌زمانی به روش انتگرال‌گیری مستقیم | ۵۲  |
| ۳-۷-۲                         | زلزله‌های انتخابی  | ۵۳  |
| ۴-۷-۲                         | روند انجام تحلیل غیر خطی دینامیکی تاریخچه‌زمانی                                | ۵۷  |
| فصل سوم: نتایج و بحث ..... ۵۹ |  |     |
| ۱-۳                           | نتایج تحلیل‌های استاتیکی خطی   | ۶۰  |
| ۲-۳                           | نتایج تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی   | ۶۱  |
| ۱-۲-۳                         | نمودارهای پوش‌اور قاب‌های با مهاربندی ضربدری                                   | ۶۱  |
| ۲-۲-۳                         | نمودارهای پوش‌اور قاب‌های با مهاربندی $\Delta$                                 | ۶۶  |
| ۳-۲-۳                         | روند تشکیل مفاصل پلاستیک در تحلیل استاتیکی غیر خطی قاب‌های با مهاربندی ضربدری  | ۶۹  |
| ۴-۲-۳                         | روند تشکیل مفاصل پلاستیک در تحلیل استاتیکی غیر خطی قاب‌های با مهاربند $\Delta$ | ۷۷  |
| ۳-۳                           | نتایج تحلیل‌های غیر خطی تاریخچه‌زمانی قاب‌ها                                   | ۸۱  |
| ۱-۳-۳                         | مقایسه برش پایه و جابه‌جایی افقی قاب‌های با مهاربند ضربدری                     | ۸۱  |
| ۲-۳-۳                         | مقایسه برش پایه و جابه‌جایی افقی قاب‌های با مهاربند $\Delta$                   | ۹۱  |
| ۳-۳-۳                         | روند تشکیل مفاصل در قاب‌های با مهاربندی ضربدری تحت تحلیل تاریخچه‌زمانی         | ۹۶  |
| ۴-۳-۳                         | روند تشکیل مفاصل در قاب‌های با مهاربندی $\Delta$ تحت تحلیل تاریخچه‌زمانی       | ۱۰۳ |
| ۵-۳-۳                         | مقایسه نیروهای داخلی قاب‌های با مهاربندی ضربدری                                | ۱۰۷ |
| ۶-۳-۳                         | مقایسه نیروهای داخلی قاب‌های با مهاربندی $\Delta$                              | ۱۰۹ |
| ۴-۳                           | تأثیر شرایط اتصال متفاوت مهاربندها در بارگذاری‌های دیگر                        | ۱۱۲ |
| ۵-۳                           | نتایج تحلیل‌های قاب‌های پنج‌دهانه  | ۱۱۳ |
| ۱-۵-۳                         | کلیات  | ۱۱۳ |
| ۲-۵-۳                         | نتایج تحلیل استاتیکی خطی قاب‌ها  | ۱۱۳ |
| ۳-۵-۳                         | نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی قاب‌های پنج‌دهانه با مهاربند ضربدری و $\Delta$    | ۱۱۴ |
| ۴-۵-۳                         | نتایج تحلیل تاریخچه‌زمانی غیر خطی قاب‌های پنج‌دهانه با مهاربند ضربدری          | ۱۱۵ |

---

|          |   |       |
|----------|---|-------|
| ۱۱۷..... | نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قاب‌های پنج‌دهانه با مهاربند A | ۳-۵-۵ |
| ۱۱۹..... | روند تشکیل مفاصل در قاب‌های پنج‌دهانه با مهاربند ضربدری         | ۳-۵-۶ |
| ۱۲۰..... | روند تشکیل مفاصل در قاب‌های پنج‌دهانه با مهاربندی A             | ۳-۵-۷ |
| ۱۲۱..... | مقایسه نیروهای داخلی قاب‌های پنج‌دهانه با مهاربند ضربدری        | ۳-۵-۸ |
| ۱۲۲..... | مقایسه نیروهای داخلی قاب‌های پنج‌دهانه با مهاربند A             | ۳-۵-۹ |
| ۱۲۴..... | فصل چهارم: جمع‌بندی و پیشنهادها.....                            |       |
| ۱۲۵..... | ۱-۴ جمع‌بندی نتایج.....   |       |
| ۱۲۸..... | ۲-۴ پیشنهاد برای تحقیقات آینده.....                             |       |
| ۱۲۹..... | فهرست منابع.....  |       |



| فهرست شکل‌ها   | صفحه |
|--|------|
| شکل ۱-۱: انواع پیکربندی مهارندهای هم‌محور.....   | ۵    |
| شکل ۲-۱: انواع پیکربندی مهارندهای برون‌محور.....   | ۵    |
| شکل ۳-۱: نمونه‌هایی از گسیختگی ترد.....  | ۶    |
| شکل ۴-۱: منحنی تحلیلی مهارند تحت بارگذاری محوری سیکلیک.....                                | ۷    |
| شکل ۵-۱: منحنی‌های پوش برای مهارندها با لاغری‌های مختلف.....                               | ۹    |
| شکل ۶-۱: منحنی تحلیلی برای یک مهارند لاغر.....   | ۱۰   |
| شکل ۷-۱: رابطه نیرو - تغییر مکان برای مهارند لاغر.....                                     | ۱۱   |
| شکل ۸-۱: نمودار تحلیلی یک مهارند چاق.....  | ۱۲   |
| شکل ۹-۱: نمودار تحلیلی مهارند لوله‌ای حد وسط.....  | ۱۳   |
| شکل ۱۰-۱: اتصال میانی دو مهارند با شرایط مفصلی در کمانش خارج از صفحه.....                  | ۱۳   |
| شکل ۱۱-۱: تأمین پیوستگی و گیرداری در اتصال وسط.....  | ۱۴   |
| شکل ۱۲-۱: جزئیات اتصال میانی با یک مقطع منقطع در هر قطر از دابل نبشی.....                  | ۱۴   |
| شکل ۱۳-۱: نحوه قرارگیری ورق اتصال میانی در مقاطع دابل با یک قطر منقطع.....                 | ۱۴   |
| شکل ۱۴-۱: شرایط چرخش آزاد کمانش خارج از صفحه مهارند در ورق اتصال انتهایی.....              | ۱۵   |
| شکل ۱۵-۱: چند نمونه اتصال میانی مهارندهای ضربدری با مقطع دایره‌ای.....                     | ۱۶   |
| شکل ۱۶-۱: اتصال صفحه به قطر پیوسته مهارند ضربدری.....                                      | ۱۶   |
| شکل ۱۷-۱: صفحه اتصال پیوسته: راه‌حل پیشنهادی برای حفظ یکپارچگی اتصال.....                  | ۱۷   |
| شکل ۱۸-۱: شکل مودهای کمانشی در عضو دو سر گیردار.....                                       | ۱۸   |
| شکل ۱۹-۱: قطر مقطع کششی و فشاری مهارند.....  | ۱۸   |
| شکل ۲۰-۱: ضریب طول مؤثر در مهارندهای ضربدری بر حسب T/P.....                                | ۱۹   |
| شکل ۲۱-۱: منحنی‌های $\Pi/K$ در برابر ضریب بی‌بعد انعطاف‌پذیری انتها‌های مهارند ضربدری..... | ۲۰   |
| شکل ۲۲-۱: سیستم مهارند ضربدری با یک قطر منقطع.....   | ۲۱   |
| شکل ۲۳-۱: متغیر لاغری ( $\Lambda$ ) در برابر Pcr/Py یا PFEM/Py.....                        | ۲۱   |
| شکل ۲۴-۱: گسیختگی اتصال انتهایی مهارند.....  | ۲۴   |
| شکل ۲۵-۱: نمونه‌هایی از اتصال صحیح مهارند به ورق اتصال انتهایی.....                        | ۲۴   |
| شکل ۲۶-۱: تشکیل مفصل پلاستیک در مهارند با شرایط گیردار در اتصال انتهایی.....               | ۲۵   |
| شکل ۱-۲: مدل‌سازی اتصال میانی و انتهایی مهارند با فنر چرخشی برای در نظر گرفتن صلبیت.....   | ۳۱   |
| شکل ۲-۲: جزئیات اتصال انتهایی مهارند و اتصال میانی مهارند ضربدری.....                      | ۳۱   |
| شکل ۳-۲: اتصالات انتهایی و میانی مهارندهای ضربدری و ضرایب طول مؤثر کمانشی آنها.....        | ۳۳   |
| شکل ۴-۲: اتصال مهارندهای $\Lambda$ به قاب و تیر و ضرایب طول مؤثر کمانشی آنها.....          | ۳۴   |
| شکل ۵-۲: قاب سه‌طبقه سه‌دهانه با مهارند ضربدری و مقاطع آنها.....                           | ۳۷   |
| شکل ۶-۲: قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه با مهارند ضربدری و مقاطع آنها.....                          | ۳۷   |
| شکل ۷-۲: قاب ده‌طبقه سه‌دهانه با مهارند ضربدری و مقاطع آنها.....                           | ۳۸   |
| شکل ۸-۲: قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه با مهارند ضربدری و مقاطع آنها.....                          | ۳۹   |
| شکل ۹-۲: قاب سه‌طبقه سه‌دهانه با مهارند $\Lambda$ و مقاطع آنها.....                        | ۳۹   |
| شکل ۱۰-۲: قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه با مهارند $\Lambda$ و مقاطع آنها.....                      | ۳۹   |
| شکل ۱۱-۲: قاب ده‌طبقه سه‌دهانه با مهارند $\Lambda$ و مقاطع آنها.....                       | ۴۰   |

- شکل ۲-۱۲: قاب سه طبقه پنج دهانه با مهاربند  $\Lambda$  و مقاطع آنها..... ۴۱
- شکل ۲-۱۳: مفصل‌های غیرخطی اختصاص داده شده به اعضای قاب‌های با مهاربندهای ضربداری ..... ۴۲
- شکل ۲-۱۴: مفصل‌های غیرخطی اختصاص داده شده به اعضای قاب‌های با مهاربندهای  $\Lambda$ ..... ۴۳
- شکل ۲-۱۵: منحنی نیرو- تغییر مکان مفصل ..... ۴۳
- شکل ۲-۱۶: نمودار پوش اور مدل (a) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری با دو روش باربرداری از مفصل ..... ۴۴
- شکل ۲-۱۷: نمودار پوش اور مدل (b) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری با دو روش باربرداری از مفصل ..... ۴۵
- شکل ۲-۱۸: نمودار پوش اور مدل (C-1) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری با دو روش باربرداری از مفصل ..... ۴۵
- شکل ۲-۱۹: نمودار پوش اور مدل (C-2) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری با دو روش باربرداری از مفصل ..... ۴۵
- شکل ۲-۲۰: نمودار پوش اور مدل (d-1) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری با دو روش باربرداری از مفصل ..... ۴۶
- شکل ۲-۲۱: نمودار پوش اور مدل (d-2) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری با دو روش باربرداری از مفصل ..... ۴۶
- شکل ۲-۲۲: الگوهای توزیع بار جانبی ..... ۵۰
- شکل ۲-۲۳: شتاب نگاشت زلزله Northridge (زلزله شماره ۱) ..... ۵۴
- شکل ۲-۲۴: شتاب نگاشت زلزله Coyote Lake (زلزله شماره ۲) ..... ۵۴
- شکل ۲-۲۵: شتاب نگاشت زلزله Northridge (زلزله شماره ۳) ..... ۵۴
- شکل ۲-۲۶: شتاب نگاشت زلزله Chi-Chi (زلزله شماره ۴) ..... ۵۵
- شکل ۲-۲۷: شتاب نگاشت زلزله Northridge (زلزله شماره ۵) ..... ۵۵
- شکل ۲-۲۸: شتاب نگاشت زلزله Northridge (زلزله شماره ۶) ..... ۵۵
- شکل ۲-۲۹: شتاب نگاشت زلزله San Fernando (زلزله شماره ۷) ..... ۵۶
- شکل ۲-۳۰: طیف پاسخ زلزله‌های شماره ۱، ۲ و ۳ ..... ۵۶
- شکل ۲-۳۱: طیف پاسخ زلزله‌های شماره ۴، ۵، ۶ و ۷ ..... ۵۶
- شکل ۲-۳۲: مقایسه برش پایه قاب سه طبقه ضربداری در زلزله‌های شماره ۵ و ۷ با گام‌های ورودی و خروجی متفاوت ..... ۵۸
- شکل ۳-۱: نمودارهای پوش اور قاب‌های سه طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری تحت دو الگوی بار جانبی ..... ۶۲
- شکل ۳-۲: نمودارهای پوش اور قاب‌های پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری تحت دو الگوی بار جانبی ..... ۶۲
- شکل ۳-۳: نمودارهای پوش اور قاب‌های ده طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری تحت دو الگوی بار جانبی ..... ۶۳
- شکل ۳-۴: نمودارهای پوش اور قاب‌های سه طبقه سه دهانه با مهاربندی  $\Lambda$  تحت دو الگوی بار جانبی ..... ۶۶
- شکل ۳-۵: نمودارهای پوش اور قاب‌های پنج طبقه سه دهانه با مهاربندی  $\Lambda$  تحت دو الگوی بار جانبی ..... ۶۷
- شکل ۳-۶: نمودارهای پوش اور قاب‌های ده طبقه سه دهانه با مهاربندی  $\Lambda$  تحت دو الگوی بار جانبی ..... ۶۷
- شکل ۳-۷: روند تشکیل مفاصل در مدل (a) قاب سه طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۶۷
- شکل ۳-۸: روند تشکیل مفاصل در مدل (b) قاب سه طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۷۱
- شکل ۳-۹: روند تشکیل مفاصل در مدل (C-1) قاب سه طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۷۱
- شکل ۳-۱۰: روند تشکیل مفاصل در مدل (C-2) قاب سه طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۷۱
- شکل ۳-۱۱: تشکیل مفصل در مدل (d-1) قاب سه طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۷۱
- شکل ۳-۱۲: روند تشکیل مفاصل در مدل (d-2) قاب سه طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۷۱
- شکل ۳-۱۳: روند تشکیل مفاصل در مدل (a) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۷۲
- شکل ۳-۱۴: روند تشکیل مفاصل در مدل (b) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۷۲
- شکل ۳-۱۵: روند تشکیل مفاصل در مدل (C-1) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۷۲
- شکل ۳-۱۶: روند تشکیل مفاصل در مدل (C-2) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۷۳
- شکل ۳-۱۷: روند تشکیل مفاصل در مدل (d-1) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۷۳
- شکل ۳-۱۸: روند تشکیل مفاصل در مدل (d-2) قاب پنج طبقه سه دهانه با مهاربند ضربداری ..... ۷۳



|  |     |
|--|-----|
| شکل ۳-۵۷: روند تشکیل مفاصل پلاستیکدر مدل (b) قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Coyote Lake (شماره ۲) ۹۸.   | ۹۸  |
| شکل ۳-۵۸: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (c-1) قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Lake Coyote (شماره ۲)    | ۹۸  |
| شکل ۳-۵۹: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (c-2) قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Coyote Lake (شماره ۲)    | ۹۸  |
| شکل ۳-۶۰: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (d-1) قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Coyote Lake (شماره ۲)    | ۹۹  |
| شکل ۳-۶۱: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (d-2) قاب ده‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Coyote Lake (شماره ۲)     | ۹۹  |
| شکل ۳-۶۲: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (a) قاب ده‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Northridge (شماره ۵) ...    | ۹۹  |
| شکل ۳-۶۳: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (b) قاب ده‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Northridge (شماره ۵)        | ۱۰۰ |
| شکل ۳-۶۴: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (c-1) قاب ده‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Northridge (شماره ۵)      | ۱۰۰ |
| شکل ۳-۶۵: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (c-2) قاب ده‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Northridge (شماره ۵)      | ۱۰۰ |
| شکل ۳-۶۶: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (d-1) قاب ده‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Northridge (شماره ۵)      | ۱۰۱ |
| شکل ۳-۶۷: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (d-2) قاب ده‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Northridge (شماره ۵)      | ۱۰۱ |
| شکل ۳-۶۸: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (a) قاب سه‌طبقه سه‌دهانه تحت Loma Prieta (شماره ۱) ...         | ۱۰۴ |
| شکل ۳-۶۹: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (b-1) قاب سه‌طبقه سه‌دهانه تحت Loma Prieta (شماره ۱) ...       | ۱۰۴ |
| شکل ۳-۷۰: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (b-2) قاب سه‌طبقه سه‌دهانه تحت Loma Prieta (شماره ۱) ...       | ۱۰۴ |
| شکل ۳-۷۱: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (a) قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه تحت San Fernando (شماره ۷) ...       | ۱۰۴ |
| شکل ۳-۷۲: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (b-1) قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه تحت San Fernando (شماره ۷)         | ۱۰۵ |
| شکل ۳-۷۳: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (a) قاب ده‌طبقه سه‌دهانه تحت Loma Prieta (شماره ۱) ...         | ۱۰۵ |
| شکل ۳-۷۴: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (b-1) قاب ده‌طبقه سه‌دهانه تحت Loma Prieta (شماره ۱) ...       | ۱۰۶ |
| شکل ۳-۷۵: تشکیل مفصل پلاستیک در مدل (b-2) قاب ده‌طبقه سه‌دهانه تحت Loma Prieta (شماره ۸) ...             | ۱۰۶ |
| شکل ۳-۷۶: اعضا و تکیه‌گاه انتخاب‌شده برای مقایسه نیروهای داخلی و عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی ...             | ۱۰۷ |
| شکل ۳-۷۷: نیروی محوری ستون طبقه اول و میانی قاب سه‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Northridge (شماره ۳) ...      | ۱۰۸ |
| شکل ۳-۷۸: نیروی محوری مهاربند طبقه اول و میانی قاب سه‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Northridge (شماره ۳) ...   | ۱۰۸ |
| شکل ۳-۷۹: لنگر خمشی مهاربند طبقه اول و میانی قاب سه‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Northridge (شماره ۳) ...     | ۱۰۸ |
| شکل ۳-۸۰: عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی یک تکیه‌گاه از قاب سه‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله Northridge (شماره ۳) ... | ۱۰۸ |
| شکل ۳-۸۱: اعضا و تکیه‌گاه انتخاب‌شده برای مقایسه نیروهای داخلی و عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی ...             | ۱۰۹ |
| شکل ۳-۸۲: نیروی محوری ستون طبقه اول و میانی قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله San Fernando (شماره ۷) ...   | ۱۱۰ |
| شکل ۳-۸۳: نیروی محوری مهاربند طبقه اول و میانی قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله San Fernando (شماره ۷)    | ۱۱۰ |
| شکل ۳-۸۴: لنگر خمشی مهاربند طبقه اول و میانی قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله San Fernando (شماره ۷) ...  | ۱۱۰ |
| شکل ۳-۸۵: عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی یک تکیه‌گاه از قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله San Fernando (شماره ۶)  | ۱۱۰ |

- شکل ۳-۸۶: نیروهای متمرکز ثقلی وارد بر مهاربند قاب سه‌طبقه سه‌دهانه ..... ۱۱۲
- شکل ۳-۸۷: نمودار نیروهای داخلی در مدل‌های مختلف قاب سه‌طبقه سه‌دهانه تحت بار ثقلی متمرکز در مهاربندها ..... ۱۱۲
- شکل ۳-۸۸: نمودار پوش‌اور قاب‌های سه‌طبقه پنج‌دهانه با مهاربندی ضربدری تحت الگوی بار جانبی مثلثی ..... ۱۱۴
- شکل ۳-۸۹: نمودار پوش‌اور قاب‌های سه‌طبقه پنج‌دهانه با مهاربندی  $\Lambda$  تحت الگوی بار جانبی مثلثی ..... ۱۱۴
- شکل ۳-۹۰: تاریخچه‌زمانی برش پایه و جابه‌جایی بام مدل (a) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۱۶
- شکل ۳-۹۱: تاریخچه‌زمانی برش پایه و جابه‌جایی بام مدل (b) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۱۶
- شکل ۳-۹۲: تاریخچه‌زمانی برش پایه و جابه‌جایی بام مدل (c-1) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۱۶
- شکل ۳-۹۳: تاریخچه‌زمانی برش پایه و جابه‌جایی بام مدل (c-2) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۱۷
- شکل ۳-۹۴: تاریخچه‌زمانی برش پایه و جابه‌جایی بام مدل (d-1) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۱۷
- شکل ۳-۹۵: تاریخچه‌زمانی برش پایه و جابه‌جایی بام مدل (d-2) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۱۷
- شکل ۳-۹۶: تاریخچه‌زمانی برش پایه و جابه‌جایی بام مدل (a) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۱۸
- شکل ۳-۹۷: تاریخچه‌زمانی برش پایه و جابه‌جایی بام مدل (b-1) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۱۸
- شکل ۳-۹۸: تاریخچه‌زمانی برش پایه و جابه‌جایی بام مدل (b-2) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۱۸
- شکل ۳-۹۹: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (a) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۱۹
- شکل ۳-۱۰۰: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (b) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۱۹
- شکل ۳-۱۰۱: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (c-2) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۰
- شکل ۳-۱۰۲: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (d-2) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۰
- شکل ۳-۱۰۳: روند تشکیل مفاصل پلاستیک در مدل (a) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۰
- شکل ۳-۱۰۴: تشکیل مفصل پلاستیک در مدل (b-1) قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۰
- شکل ۳-۱۰۵: نیروی محوری ستون طبقه اول و دوم قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۱
- شکل ۳-۱۰۶: نیروی محوری مهاربند طبقه اول و دوم قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۱
- شکل ۳-۱۰۷: لنگر خمشی مهاربند طبقه اول و دوم قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۲
- شکل ۳-۱۰۸: عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی یک تکیه‌گاه از قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۲
- شکل ۳-۱۰۹: نیروی محوری ستون طبقه اول و میانی قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۳
- شکل ۳-۱۱۰: نیروی محوری مهاربند طبقه اول و میانی قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۳
- شکل ۳-۱۱۱: لنگر خمشی مهاربند طبقه اول و میانی قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۳
- شکل ۳-۱۱۲: عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی یک تکیه‌گاه از قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi (شماره ۴) ..... ۱۲۳

## فهرست جداول

## صفحه

|  |     |
|--|-----|
| جدول ۱-۲: نوع اتصال انتهایی و میانی مهاربندهای ضربدری و ضرایب طول مؤثر درون و برون صفحه آنها.....                | ۳۴  |
| جدول ۲-۲: مشخصات زلزله‌های انتخابی .....   | ۵۳  |
| جدول ۱-۳: زمان تناوب اصلی و سختی جانبی مدل‌های مختلف قاب سه‌طبقه سه‌دهانه با مهاربند ضربدری .....                | ۶۰  |
| جدول ۲-۳: زمان تناوب اصلی و سختی جانبی مدل‌های مختلف قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه با مهاربند ضربدری .....               | ۶۰  |
| جدول ۳-۳: زمان تناوب اصلی و سختی جانبی مدل‌های مختلف قاب ده‌طبقه سه‌دهانه با مهاربند ضربدری .....                | ۶۰  |
| جدول ۴-۳: زمان تناوب اصلی و سختی جانبی مدل‌های مختلف قاب سه‌طبقه سه‌دهانه با مهاربند $\Delta$ .....              | ۶۱  |
| جدول ۵-۳: زمان تناوب اصلی و سختی جانبی مدل‌های مختلف قاب پنج‌طبقه سه‌دهانه با مهاربند $\Delta$ .....             | ۶۱  |
| جدول ۶-۳: زمان تناوب اصلی و سختی جانبی مدل‌های مختلف قاب ده‌طبقه سه‌دهانه با مهاربند $\Delta$ .....              | ۶۱  |
| جدول ۷-۳: مقادیر مطلق و نسبی برش پایه هنگام تشکیل اولین مفصل و ماکزیمم آن در قاب‌های سه‌طبقه سه‌دهانه ...        | ۶۴  |
| جدول ۸-۳: مقادیر مطلق و نسبی برش پایه هنگام تشکیل اولین مفصل و ماکزیمم آن در قاب‌های پنج‌طبقه سه‌دهانه ...       | ۶۴  |
| جدول ۹-۳: مقادیر مطلق و نسبی برش پایه هنگام تشکیل اولین مفصل و ماکزیمم آن در قاب‌های ده‌طبقه سه‌دهانه .....      | ۶۴  |
| جدول ۱۰-۳: مقادیر مطلق و نسبی پایه هنگام تشکیل اولین مفصل و ماکزیمم آن در قاب‌های سه‌طبقه سه‌دهانه .....         | ۶۸  |
| جدول ۱۱-۳: مقادیر مطلق و نسبی برش پایه هنگام تشکیل اولین مفصل و ماکزیمم آن در قاب‌های پنج‌طبقه سه‌دهانه .....    | ۶۸  |
| جدول ۱۲-۳: مقادیر مطلق و نسبی برش پایه هنگام تشکیل اولین مفصل و ماکزیمم آن در قاب‌های ده‌طبقه سه‌دهانه ...       | ۶۸  |
| جدول ۱۳-۳: نتایج تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی قاب‌های سه‌طبقه سه‌دهانه ضربدری تحت زلزله‌های مختلف .....            | ۸۷  |
| جدول ۱۴-۳: نتایج تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی قاب‌های پنج‌طبقه سه‌دهانه ضربدری تحت زلزله‌های مختلف .....           | ۸۸  |
| جدول ۱۵-۳: نتایج تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی قاب‌های ده‌طبقه سه‌دهانه ضربدری تحت زلزله‌های مختلف .....            | ۸۹  |
| جدول ۱۶-۳: نتایج تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی قاب‌های سه‌طبقه سه‌دهانه با مهاربند $\Delta$ تحت زلزله‌های مختلف ... | ۹۲  |
| جدول ۱۷-۳: نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی قاب‌های پنج‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله‌های مختلف .....         | ۹۳  |
| جدول ۱۸-۳: نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی قاب‌های ده‌طبقه سه‌دهانه تحت زلزله‌های مختلف .....          | ۹۴  |
| جدول ۱۹-۳: زمان تناوب اصلی و سختی جانبی مدل‌های مختلف قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه با مهاربند ضربدری .....              | ۱۱۳ |
| جدول ۲۰-۳: زمان تناوب اصلی و سختی جانبی مدل‌های مختلف قاب سه‌طبقه پنج‌دهانه با مهاربند $\Delta$ .....            | ۱۱۳ |
| جدول ۲۱-۳: مقادیر برش پایه در قاب‌های سه‌طبقه پنج‌دهانه با مهاربند ضربدری .....                                  | ۱۱۵ |
| جدول ۲۲-۳: مقادیر برش پایه در قاب‌های سه‌طبقه سه‌دهانه با مهاربند $\Delta$ .....                                 | ۱۱۵ |
| جدول ۲۳-۳: نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی قاب‌های سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi .....           | ۱۱۶ |
| جدول ۲۴-۳: نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی قاب‌های سه‌طبقه پنج‌دهانه تحت زلزله Chi-Chi .....           | ۱۱۸ |

فصل اول

## مقدمه و بررسی منابع

## ۱-۱ مقدمه

به طور کلی در مناطق لرزه‌خیز، از نظر اقتصادی مناسب و میسر نیست که طراحی ساختمان‌های معمول به‌گونه‌ای باشد که این سازه‌ها در زلزله‌های شدید، در محدوده الاستیک باقی بمانند [۱]. هم‌اکنون طرح لرزه‌ای با صرفه ایجاب می‌نماید که از رفتار جاذب انرژی در محدوده تغییر شکل‌های غیرارتجاعی در مقابل زلزله‌های شدید استفاده شود [۲]. طراحی لرزه‌ای سازه‌ها معمولاً بر این اساس صورت می‌گیرد که اعضای در سازه باشند که در زلزله‌های شدید، رفتار غیرارتجاعی از خود نشان داده و انرژی لرزه‌ای را جذب نمایند [۳]. این مساله در سازه‌ای فولادی به جهت شکل‌پذیر بودن مصالح و قابلیت جذب انرژی مناسب آنها، باعث شده تا عملکرد آنها بهتر و اقتصادی‌تر شود.

بنا به دلایل سختی و مقاومت زیاد، محبوبیت مهاربندهای X-شکل در استفاده بیشتر شده است، ولی بیشتر تحقیقات و مطالعات در بررسی رفتار و مدل‌سازی مهاربندهای تک قطری متمرکز شده است [۴] و اطلاعات فنی و مهندسی موجود در آیین‌نامه‌ها و ادبیات فنی، رفتار لرزه‌ای و متغیرهای غیرارتجاعی (K) ضریب طول مؤثر کمانشی، R ضریب رفتار،  $C_d$  ضریب تغییر شکل پلاستیک و ... مهاربندهای X-شکل را بر مبنای رفتار و عملکرد مهاربندی قطری در نظر می‌گیرد. در حالی که این رفتار و معیارها برای هر دو نوع شکل مهاربندی متفاوت از هم بوده و بسته به مقدار سختی انتقالی و سختی خمشی که مهاربند مکمل (کششی) برای مهاربند فشاری تامین می‌کند، منحنی هیستریزس جذب انرژی کاملاً تغییر می‌یابد. رفتار سیکیلی سیستم مهاربندی X-شکل، علاوه بر این که به رفتار مهاربندهای انفرادی بستگی دارد، به طور جدی به اندرکنش میان دو عضو مهاربندی که به هم متصل‌اند نیز وابسته است [۴، ۵]. نوع و مقدار سختی که توسط اتصال وسط فراهم می‌شود، تأثیر مستقیم در رفتار مهاربند می‌گذارد.

استفاده از قابلیت جذب انرژی مهاربند فشاری در قاب‌های مهاربندی همگرا، علاوه بر مزیت‌های اقتصادی، می‌تواند عملکرد لرزه‌ای مطمئن‌تر و شکل‌پذیری را در زلزله‌های شدید تضمین نماید. با کمانش مهاربند، خمش در آن ایجاد می‌شود و در نهایت منجر به تشکیل مفصل پلاستیک در محل لنگر ماکزیمم (در وسط عضو) می‌شود. به وجود آمدن کمانش غیرارتجاعی باعث می‌شود که مهاربند فشاری به منبع مهمی برای جذب انرژی لرزه‌ای تبدیل شود. به عبارت دیگر از مهم‌ترین عوامل و متغیرهایی که بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده تأثیر می‌گذارد، اثر مهاربند فشاری است که منحنی هیستریزس جذب انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۶].



در بیشتر بررسی‌های صورت گرفته، تنها اثرات نیروهای محوری در شرایط تسلیم مهاربندها در نظر گرفته شده، ولی به خمش به وجود آمده و تشکیل مفصل پلاستیک ناشی از تغییرشکل غیرارتجاعی، توجه نشده است. نتایج تحلیل‌های عددی در رفتار پس از کمانش مهاربندها نشان می‌دهد که تغییرشکل محوری پلاستیک در مفصل تشکیل شده، نقش اساسی در مشخصات بار-تغییرشکل مهاربند دارد و باید اندرکنش پلاستیک برای ترکیب خمش و تغییرشکل محوری در نظر گرفته شود [۷].

از آنجا که جهت نیروهای زلزله را نمی‌توان از قبل پیش‌بینی کرد، هر ساختمان باید در دو جهت متعامد مجهز به سیستم لرزه بر باشد؛ منظور از سیستم لرزه‌بر، یک سیستم سازه‌ای است که در برابر نیروهای افقی دوجبهته توان مقاومت داشته باشد [۸]. از انواع سیستم‌های لرزه‌بر در ساختمان‌های فولادی می‌توان به مهاربند، قاب خمشی، دیوار برشی و سیستم‌های مختلط اشاره کرد.

هدف از این تحقیق بررسی رفتار قاب‌های فولادی با شرایط مختلف اتصال میانی و انتهایی مهاربندهای ضربداری و همچنین اتصال انتهایی مهاربند  $\Delta$  است تا با مقایسه مدل‌های مختلف، حساسیت رفتار قاب‌های ساختمانی فولادی به شرایط مختلف اتصال مهاربندها ارزیابی شود.

این پایان‌نامه در چهار فصل ارائه می‌شود. در فصل اول مباحث کلی مربوط به مهاربندها و اتصالات آنها و همچنین ضوابط آیین‌نامه‌ای پیرامون طراحی مهاربندها آمده است. در فصل دوم تمامی فرضیاتی که برای طراحی و تحلیل‌های لازم در نظر گرفته شده، ارائه گردیده است و همچنین در مورد نرم‌افزار مورد استفاده و امکانات آن در رابطه با موضوع و گزینه‌های انتخابی توضیح داده شده است. در فصل سوم نیز تمام نتایج مربوط به تحلیل‌های خطی و غیرخطی استاتیکی و دینامیکی قاب‌های با مهاربند ضربداری و مهاربند  $\Delta$  و تفسیر آنها بیان شده است. نهایتاً در فصل چهارم کلیه نتایج جمع‌بندی شده و برای تحقیقات آینده پیشنهاداتی ارائه شده است.

## ۲-۱ تاریخچه و فلسفه طراحی مهاربندها

استفاده از قاب‌های بادبندی شده جهت مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر باد به نخستین دهه‌های قرن ۱۹ برمی‌گردد که در آنها قاب‌های بادبندی شده به همراه سازه‌های بنایی و همچنین قاب‌های خمشی استفاده می‌گردید. از نخستین سازه‌های بادبندی شده، می‌توان به پل‌ها و ساختمان‌های صنعتی قرن ۱۹ میلادی اشاره کرد [۹].

مقاومت قاب‌های بادبندی شده در برابر بارهای جانبی عمدتاً توسط نیروهای محوری ایجاد شده در اعضا صورت می‌گیرد. نخستین نوع بادبندها، بادبندهای زانویی و ضربداری بودند که اعضا فقط در کشش عمل می‌کردند و توسط پوشش ضد حریق پوشانده شده بودند [۹].

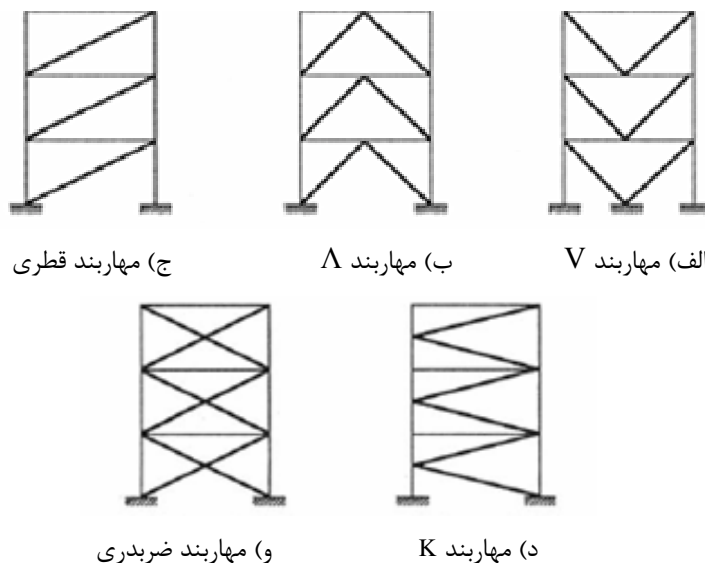
سیستم‌های کامل‌تر مهاربندی در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی، با دسترسی به رکوردهای دقیق‌تر زلزله عرضه شد. از آن پس سیستم‌های مهاربندی به نحو گسترده‌ای در مناطق لرزه خیز به کار گرفته شدند. دلیل این شیوع، صرفه جویی در مصالح و کنترل بهتر تغییر مکان‌های جانبی این سیستم نسبت به قاب‌های خمشی بود. مزیت آخر در زلزله سال ۱۹۷۱ سن فرناندو کاملاً احساس گردید. در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ CBFها (Concentric Braced Frames) قبل از پدید آمدن مهاربندهای واگرا، عمدتاً برای تأمین مقاومت جانبی در برابر نیروی ناشی از زلزله استفاده می‌شدند. پیش از این تنها استفاده مهاربندهای همگرا مقاومت در برابر باد بود. در اوایل دهه ۶۰، قوانین طراحی این نوع مهاربندها در برابر باد، جهت طراحی آنها در برابر زلزله نیز به کار گرفته شد [۹].

قبل از دهه ۷۰ مطالعات زیادی در زمینه پاسخ قاب‌های بادبندی شده در محدوده غیرارتجاعی در برابر بارگذاری زلزله انجام گرفت که اکثراً شامل مهاربندهای با مقطع دایره‌ای و برای استفاده در صنایع نفت به صورت سازه‌های دریایی بود. تحقیقات بسیار مهمی در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ میلادی روی رفتار غیرخطی اجزای سیستم مهاربندی انجام گرفت که بسیاری از آیین‌نامه‌های امروزی بر آن اساس استوار است. آیین‌نامه‌های مختلف طراحی، تحلیل و جزئیات مهاربندهای همگرا کم‌کم از اوایل دهه ۷۰ در آمریکا به وجود آمد (ICBO1970, 1976 & SEAOC 1974). از میان آیین‌نامه‌های جدید که همین جزئیات را با تکامل بیشتری در خود دارند، می‌توان به AISC 2005 و FEMA2006 اشاره نمود [۹].

### ۳-۱ انواع مهاربندها

#### ۱-۳-۱ معرفی

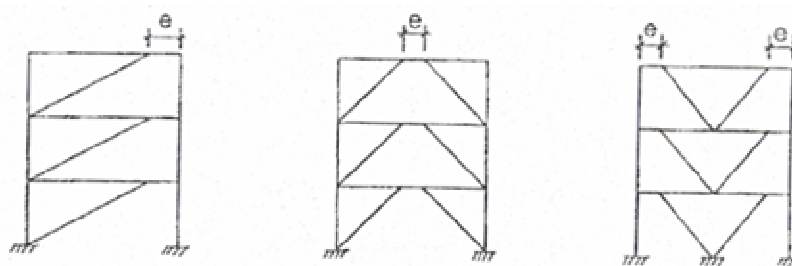
سیستم‌های مهاربندی به صورت همگرا یا واگرا هستند که می‌توانند به صورت ضربدری، ۷، ۸، قطری و غیره به کار روند. برخلاف قاب‌های خمشی، مهاربندهای همگرا با سختی ارتجاعی بسیار بالا در برابر بارهای جانبی مقاومت می‌کنند. این سختی ارتجاعی بالا با معرفی اعضای قطری در سیستم‌های مهاربندی تأمین می‌شود که در آنها نیروهای جانبی به صورت یک نیروی محوری داخلی و مقادیر کوچک خمشی گرفته می‌شود. اعضای قطری و همچنین اتصالات آنها در واقع هسته‌های یک سیستم مهاربندی همگرا می‌باشند [۹]. در شکل (۱-۱) چند نمونه از مهاربندهای همگرا و در شکل (۲-۱) چند نمونه از مهاربندهای واگرا نشان داده شده است.



الف) مهاربند V      ب) مهاربند  $\Lambda$       ج) مهاربند قطری

د) مهاربند K      و) مهاربند ضربدری

شکل ۱-۱: انواع پیکربندی مهاربندهای همگرا [۱۰]



الف) مهاربند برون محور V      ب) مهاربند برون محور  $\Lambda$       ج) مهاربند برون محور قطری

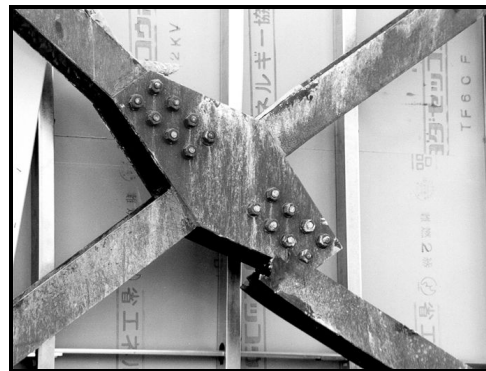
شکل ۲-۱: انواع پیکربندی مهاربندهای واگرا [۱۰]

### ۲-۳-۱ مزایا و معایب کلی سیستم‌های مهاربندی همگرا

موارد زیر به مزایای مهاربندهای همگرا اشاره دارد:

- طراحی تیرها عمدتاً تحت بارهای وزنی انجام می‌شود، بنابراین اندازه تیرها در طبقات یکسان خواهد بود که این امر سهولت فراوانی را در طراحی و اجرا فراهم می‌سازد [۸].
- سختی جانبی و مقاومت موردنیاز می‌تواند با کمترین مقدار فولاد برای سازه تأمین شود و طراحی و مدل‌سازی با کمترین خطا و به سادگی انجام می‌پذیرد [۱۱].
- از نظر ساخت به جهت مفصلی بودن اتصالات، هزینه و زمان ساخت کاهش می‌یابد [۱۱].
- به خاطر هندسه مهاربندهای همگرا، این نوع سیستم عمل خرابایی را به‌طور کامل با اعضایی که تحت بارهای محوری هستند، ایجاد کرده و با تأمین سختی و مقاومت جانبی زیاد، از متداول‌ترین سیستم‌های باربر جانبی است [۹].

- قابلیت تعمیرپذیری در صدمات شدید را دارد و نیز می‌تواند یک سیستم باربر مکمل با عملکرد مناسب به صورت مختلط را ایجاد نماید.
- سیستم‌های مهاربند همگرا دارای معایبی نیز می‌باشند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
  - رفتار کاهنده در حلقه هیستریزس دارد.
  - از نظر معماری برای ایجاد باز شو محدودیت دارد.
  - شکل پذیری آن کم است و در نتیجه آن قابلیت جذب نیروی زلزله آن نیز کم می‌باشد و در اثر بالا بودن سختی، باعث افزایش ارتعاش سازه می‌شود [۸].
  - نامعینی ذاتی سیستم کم است و احتمال گسیختگی نابهنگام اعضای مهاربندی تحت بارهای سیکی و یا گسیختگی ترد اتصالات وجود دارد.
  - به علت ظرفیت محدود برای بازتوزیع تقاضای غیرارتجاعی در ارتفاع سازه، تمایل به تشکیل طبقه نرم در سازه‌های چند طبقه دارد [۱۱].
- زلزله‌های شدید گذشته نشان داده‌اند که سیستم مهاربندی همگرا، گرچه یک سیستم مناسب در مقابل بار جانبی و زلزله می‌باشد، ولی ممکن است عملکرد خوبی نداشته باشند و رفتار ایده‌آل آنها حاصل نشود، مگر این‌که سایر اعضای قاب و اتصالات آنها مطابق الزامات لرزه‌ای طرح شده باشد و رفتار پایدار و ایمن آنها در برابر مکانیسم‌های شکست طراحی نشده (مثل کمانش موضعی)، تثبیت شده باشد [۲]. نمونه‌هایی در زلزله‌ها وجود داشته که در آنها تیرها، ستون‌ها، اتصالات جوشی و پیچی دچار خرابی شده‌اند و یا یکی از مکانیسم‌های شکست ترد در خود مهاربند اتفاق افتاده است، که در نهایت با چنین رفتار غیرالاستیک کنترل نشده مهاربندها، شکست کلی سازه به وجود آمده است. شکل (۱-۳) یکی از این شکست‌ها را نشان می‌دهد [۱۲].



شکل ۱-۳: نمونه‌هایی از گسیختگی ترد [۱۲]