بسم الله الرحمن الرحیم

مطالعهٔ آزمایشگاهی یک نوع مهاربند کمانش‌تاب تمام فولاد (S-BRB)

استاد راهنما:

جناب آقای پروفسور اربابی

دانشجو:

معین تبرک

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

تقدیم به همسر مهربان، فداکار و صبورم

تقدیر و تشکر

در ابتدا لازم است از استاد ارجمند، جناب آقای پروفسور اربابی به دلیل تلاش‌ها و پیگیری‌هایشان برای انجام آزمایش و نیز راهنماییها و پیشنهادهای ارزنده‌اشان در مدت این ۲ سال سپاسگذاری نمایم. امیدوارم این پایان‌نامه بتواند تا حدودی جوابگوی زحمات دلسوزانهٔ استاد بزرگوارم بوده و در کل توانسته باشم حق شاگردی‌ام را به‌جا بیاورم. از خداوند متعال نیز طلب سلامتی روز افزون را برای ایشان خواستارم.

از خانواده‌ام علی‌الخصوص پدر بزرگوارم که در این مدت از هیچگونه کمکی دریغ ننمود و در تمام سختی‌ها و مشکلات بنده را مورد حمایت قرار داد، سپاسگذارم. امیدوارم از این پس بتوانم جوابگوی تمام زحمات صورت گرفته باشم.

از همسر عزیزم برای تحمل تمام کمبودها، مشکلات و دوری‌هایمان کمال تشکر را دارم و انشاالله بتوانم در ادامهٔ مسیر زندگی قدرت جوابگویی به همهٔ خوبی‌هایش را داشته باشم.

در نهایت از همه معلمان، اساتید و تمام کسانی که از ابتدا به بنده کمک نموده‌اند مخصوصاً افرادی که در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله در پیشرفت من در این مقطع تحصیلی دخیل بودند، متشکرم.

با تشکر

معین تبرک

اسفند ۱۳۸۹

چکیده

زمین‌لرزه، به عنوان یکی از حوادث طبیعی، همواره برای بشر مشکلات زیادی بوجود آورده است. به همین جهت متخصصین از دیرباز به فکر کاهش آسیب‌های وارده بوده‌اند. کشور ایران که در کمربند زلزله آلپ- هیمالیا، یکی از مناطق دارای زلزله‌های شدید در دنیا، قرار گرفته است این ضرورت را ایجاب می‌کند که ساخت و ساز در آن بصورت مقاوم و با تکنولوژی جدید باشد. مهاربندها که از ابتدایی‌ترین سیستم‌های باربر جانبی هستند برای مقابله با بارهای ناشی از زلزله و باد ابداع شده‌اند. در ابتدا از این سیستم بصورت بسیار ساده‌ای استفاده می‌گردید اما با پیشرفت علم و شناخت معایب و مسائل اقتصادی، نوع مهاربندها تغییر نمود و این تغییرات سبب بوجود آمدن پیچیدگی‌ها و مشکلات جدیدی شد.

با شناخت بیشتر رفتار و روش عملکرد مهاربندهای ساده، استفاده از این سیستم افزایش یافت. اما یکی از عمده مسائل مهاربندها مسئلهٔ کمانش آنها می‌باشد. در دههٔ 70 میلادی برای رفع این مشکل مهاربند کمانش‌تاب ابداع شد. در این نوع مهاربند یک غلاف از کمانش عضو تحت بارهای محوری جلوگیری می‌کند که این باعث افزایش باربری مهاربند می‌شود. با افزایش تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، انواع مختلفی از مهاربندهای کمانش‌تاب پیشنهاد شده است. این نوع مهاربندها تقریباً به صورت انحصاری در چند شرکت خاص آمریکایی و ژاپنی تولید شده و در دنیا توزیع می‌گردند ولی قیمت زیاد و زمان تحویل طولانی، استفاده از آن را در ایران با مشکل مواجه کرده است. از طرف دیگر به علت انحصاری بودن این محصول، جزئیات دقیق ساخت آن نیز در دسترس نیست.

هدف این پروژه معرفی نوع جدیدی از مهاربندهای کمانش‌تاب است که دارای ویژگی‌هایی از جمله سبکی، راحتی در ساخت، امکان بازبینی هسته پس از وارد شدن بار و ... نسبت به نوع معمولی می‌باشد. برای دستیابی به جزئیات و مشخصات آن، پس از انجام مطالعات اجزاء محدود، آزمایشاتی نیز بر روی ۶ نمونه با اندازهٔ ۱:۴ صورت گرفت. نتایج تست‌ها و مطالعات عددی نشان از رفتار مناسب و جذب انرژی بالای این نوع مهاربند در صورت رعایت جزئیات مناسب را دارد.

واژه‌های کلیدی

مهاربند، مدل‌های رفتاری مهاربندها، مهاربندهای قطری، مهاربندهای همگرا، مهاربندهای واگرا، مهاربندهای کمانش‌تاب

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده الف

مقدمه ن

فصل اول سیستم‌های مختلف مهاربندی

۱- ۱- مقدمه ۱

۱- ۲- سیستم مهاربندهای همگرای قطری ۳

۱- ۲- ۱- تقسیم‌بندی مهاربندهای قطری ۴

۱- ۲- ۲- معایب سیستم مهاربندی کششی تنها ۱۱

۱- ۲- ۳- یک سیکل کامل غیرارتجاعی ۱۲

۱- ۲- ۴- کاهش مقاومت مهاربندهای فشاری ۱۴

۱- ۳- سیستم مهاربندهای هم‌مرکز ۱۵

۱- ۳- ۱- مهاربندهای همگرای Xشکل ۱۹

۱- ۳- ۲-رفتار سیکلی غیرارتجاعی مهاربندهای Xشکل ۲۴

۱- ۴- مهاربندهای خارج از مرکز ۲۷

۱- ۴- ۱- رفتار و شکل مهاربندهای خارج از مرکز ۳۰

۱- ۵- ضوابط طراحی لرزه‌ای CBF ۳۳

۱- ۵- ۱- ضوابط طراحیCBF در آئین‌نامهٔ AISC ۳۵

فصل دوم مهاربندهای کمانش‌تاب و مطالعات صورت گرفتهٔ اخیر در مورد آنها

۲- ۱- مقدمه ۴۴

۲- ۲- قاب‌های مهاربندی شده با مهاربندهای کمانش‌تاب ۴۷
۲- ۳- مزایای مهاربندهای کمانش‌تاب ۵۰
۲- ۴- معایب مهاربندهای کمانش‌تاب ۵۱
۲- ۵- ضوابط کمانش کلی در مهاربندهای کمانش‌تاب ۵۲
۲- ۶- مهاربندهای کمانش تاب تمام فولادی ۵۸
۲- ۶-۱- مزایای سیستم مهاربندهای کمانش‌تاب تمام فولادی ۶۱
۲- ۶-۲- معایب سیستم مهاربندهای کمانش‌تاب تمام فولادی ۶۱
۲- ۷- مطالعات اخیر در مورد مهاربندهای کمانش تاب ۶۲
۲- ۷- ۱ مطالعات و تحقیقات انجام شده بر روی مهاربندهای کمانش تاب محصور در غلاف بتنی ۶۳
۲- ۷- ۲ مطالعات و تحقیقات انجام شده بر روی مهاربندهای کمانش‌تاب تمام فولادی ۷۰

فصل سوم مدلسازی

۳- ۱- مقدمه ۸۷
۳- ۲- شکل هسته و جزئیات مهاربندها ۸۸
۳-۲- ۱- محاسبه سختی مهاربند ۹۱
۳- ۳- مصالح ۹۳
۳- ۴- مدلسازی با استفاده از نرم‌افزار المان محدود ۹۵
۳-۴- ۱- آنالیز خطی ۹۶
۳-۴- ۱- ۱- مدل سه بعدی هسته ۹۶
۳-۴- ۱- ۲- محاسبهٔ تغییرمکان تئوری و مقایسه آن با نتایج حاصل از برنامه ۱۰۹
۳-۴- ۲- آنالیز غیرخطی ۱۱۱
۳-۴- ۲- ۱- آنالیز پوش‌اُور هسته ۱۱۱
۳-۴- ۲- ۲- محاسبهٔ فاصلهٔ بین قطعات جاری شونده با اعضای محصور کنندهٔ جانبی ۱۱۴

فصل چهارم مطالعهٔ آزمایشگاهی

۴- ۱- مقدمه ۱۱۸

۴- ۲- محدوده و هدف آزمایش ۱۱۹

۴- ۳- مشخصات کلی نمونه‌ها ۱۱۹

۴- ۴- مشخصات مصالح فولادی ۱۲۲

۴- ۵- نحوه ساخت نمونه‌ها ۱۲۶

۴- ۶- بارگذاری ۱۲۸

۴-۶-۱- بارگذاری استاندارد SAC ۱۲۸

۴-۶-۲- بارگذاری استانداردANSI/AISC 341-05 ۱۳۰

۴-۶-۳- بارگذاری استفاده شده برای مهاربندهای موجود ۱۳۱

۴- ۷- روابط مورد استفاده ۱۳۵

۴- ۸- روند ساخت و نتایج آزمایش‌ها ۱۴۰

۴-۸-۱- نمونهٔ اول(**S-BRB 1**) ۱۴۱

۴-۸-۱-۱ بررسی نتایج آزمایش نمونه شمارهٔ ۱ ۱۴۴

۴-۸-۲- نمونهٔ دوم(**S-BRB 2**) ۱۴۶

۴-۸-۲-۱ بررسی نتایج آزمایش نمونه شمارهٔ ۲ ۱۵۲

۴-۸-۳- نمونهٔ سوم(**S-BRB 3**) ۱۵۵

۴-۸-۳-۱ بررسی نتایج آزمایش نمونه شمارهٔ ۳ ۱۶۰

۴-۸-۴- نمونهٔ چهارم(**S-BRB 4**) ۱۶۳

۴-۸-۴-۱ بررسی نتایج آزمایش نمونه شمارهٔ ۴ ۱۶۷

۴-۸-۵- نمونهٔ پنجم(**S-BRB 5**) ۱۷۰

۴-۸-۵-۱ بررسی نتایج آزمایش نمونه شمارهٔ ۵ ۱۷۳

۴-۸-۶- نمونهٔ ششم(**S-BRB 6**) ۱۷۶

۴-۸-۶-۱ بررسی نتایج آزمایش نمونه شمارهٔ ۶ ۱۷۹

فصل پنجم جمع‌بندی

۵- ۱- مقدمه ۱۸۳

۵- ۲- بررسی کلی و مقایسه نتایج آزمایش‌ها ۱۸۴

۵-۲-۱- فرم گسیختگی و بررسی علل خرابی ۱۸۴

۵-۲-۲- منحنی‌های حاصله و تغییرشکل غیرالاستیک تجمعی(η) ۱۸۵

۵-۲-۳- فاکتور تطبیق مقاومت کششی(**ω**) ۱۸۹

۵-۲-۴- فاکتور تطبیق مقاومت فشاری(**β**) ۱۹۲

مراجع ۱۹۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل(۱-۱) انواع شکل‌های پایهٔ مهاربندهای هم‌مرکز ۲

شکل(۱-۲) انواع شکل‌های پایهٔ مهاربندهای خارج از مرکز ۲

شکل(۱-۳) نمونه‌ای از یک قاب با مهاربند قطری ۳

شکل(۱-۴) منحنی هیسترزیس مهاربندهای فقط کششی (TOCBF) ۴

شکل(۱-۵) مقایسهٔ نتایج مدل‌های ارائه شده برای عضو مهاربندی با نتیجهٔ آزمایشگاهی ۵

شکل(۱-۶) مشخصات مناطق مختلف در اعضای مهاربندی ۶

شکل(۱-۷) رفتار هسیترزیس مهاربندهای کوتاه، بلند و متوسط ۷

شکل(۱-۸) منحنی هیسترزیس مهاربند تحت بارگذاری سیکلی ۷

شکل(۱-۹) منحنی‌های مختلف مهاربند کششی- فشاری با لاغری متوسط:
منحنی P-δ؛ منحنی P-M ؛ منحنی P-Ø ۸

شکل(۱-۱۰) مقطع عرضی نمونه‌های مورد مطالعه توسط Uriz و همکاران ۹

شکل(۱-۱۱) مقایسهٔ نتیجهٔ آزمایشگاه و مدل ارائه شده توسط Urizو همکاران ۱۰

شکل(۱-۱۲) مدل هندسی مهاربند ۱۲

شکل(۱-۱۳) مشخصات نسبت ظرفیت کمانشی مهاربندها تحت بارهای سیکلی ۱۴

شکل(۱-۱۴) قاب‌های مهاربند شدهٔ همگرا درAISC ۱۷

شکل(۱-۱۵) انواع قاب‌های مهاربندی هم‌مرکز ۱۸

شکل(۱-۱۶) اتصال پیوستهٔ مهاربند در وسط ۲۰

شکل(۱-۱۷) اتصال مفصلی مهاربند در وسط ۲۰

شکل(۱-۱۸) منحنی هیسترزیس مهاربندهای Xشکل کششی تنها ۲۲

شکل(۱-۱۹) رفتار سیکلی غیرارتجاعی مهاربندهای Xشکل ۲۴

شکل(۱-۲۰) تمرکز تغییرشکل خمشی در یک قطعه ۲۵

شکل(۱-۲۱) عوامل مؤثر در سختی قاب‌های EBF ۲۹
شکل(۱-۲۲) انواع قاب با مهاربند خارج از مرکز ۳۰
شکل(۱-۲۳) نمونهٔ اتصال تیر به ستون در مهاربندهای خارج از مرکز ۳۲
شکل(۱-۲۴)مقایسهٔ مقادیر بار کمانشی طراحی برای مهاربندهای مختلف ۳۶
شکل(۱-۲۵) فاصلهٔ مورد نظر برای کمانش خارج از صفحهٔ در Gusset plate ۴۲
شکل(۲-۱) طرح کلی مهاربندهای کمانش‌تاب ۴۵
شکل(۲-۲) نتایج آزمایش‌ها بر روی مهاربندهای کمانش‌تاب ۴۶
شکل(۲-۳) منحنی‌های رفتاری عضو مهاری ۴۸
شکل(۲- ۴) نیروها در سیستم کمانش‌تاب (Tani & Kihara) ۵۲
شکل(۲- ۵) نیرو و تغییرشکل در مهاربند کمانش‌تاب(.Watanabe et al) ۵۵
شکل(۲- ۶) ضوابط کمانش کلی در مهاربند کمانش‌تاب(.Watanabe et al) ۵۶
شکل(۲- ۷) شکل عمومی مهاربندهای کمانش تاب تمام فولادی ۵۸
شکل(۲-۸) مدل‌های رفتاری در نظر گرفته شده در تحقیق عسگریان و امیرحصاری ۶۴
شکل(۲-۹) نحوهٔ قرار گیری مهاربند در قاب، نمونهٔ۱:۴(سمت راست) و نمونهٔ۱:۲(سمت چپ) ۶۵
شکل(۲-۱۰) نمونهٔ ۱:۴ با هستهٔ صلیبی شکل ۶۶
شکل(۲-۱۱) نمونهٔ ۱:۲ با هستهٔ مستطیل شکل ۶۶
شکل(۲-۱۲) فرم خرابی و کمانش هسته در نمونهٔ بدون عضو محصور کننده ۶۸
شکل(۲-۱۳) فاصلهٔ مورد نیاز در انتهای ناحیهٔ صلیبی شکل ۶۹
شکل(۲-۱۴) جزئیات نمونه‌های مورد مطالعه توسط Kim و Park ۷۰
شکل(۲-۱۵) محل قرارگیری کرنش سنج‌ها ۷۱
شکل(۲-۱۶) نتایج بارگذاری نمونه‌های Kimو Park ۷۲
شکل(۲-۱۷) نسبت مقومتی β در نمونه‌های Kimو Park ۷۳
شکل(۲-۱۸) دو نوع مهاربند استفاده شده در آزمایش Mazzolani و همکارانش در سازهٔ اول ۷۵
شکل(۲-۱۹) منحنی هیسترزیس نمونه‌های ۱ و ۲ در آزمایش Mazzolaniو همکارانش در سازهٔ اول ۷۶

شکل(۲-۲۰) سه نوع مهاربند استفاده شده در آزمایش Mazzolaniو همکارانش در سازۀ دوم ۷۸
شکل(۲-۲۱) منحنی هیسترزیس نمونه‌های ۳، ۴ و ۵ در آزمایش Mazzolani و همکارانش در سازۀ دوم ۷۹
شکل(۲-۲۲) نمونۀ مورد مطالعه توسطKorzekwa و Tremblay ۸۱
شکل(۲-۲۳) منحنی‌های هیسترزیس عددی و آزمایشگاهی برای نمونۀS1-2 (Korzekwa و Tremblay) ۸۳
شکل(۲-۲۴) تغییرشکل‌های ماندگار خارج از صفحه در پایان آنالیز و آزمایش(Korzekwa و Tremblay) ۸۴
شکل(۲-۲۵) نیروهای کششی ایجاد شده در هر پیچ در حین آنالیز عددی(Korzekwa و Tremblay) ۸۴
شکل(۲-۲۶) نمودار تاریخچه-زمانی نیروی محوری در اعضای محصور کننده حین آنالیز عددی(Korzekwa و Tremblay) ۸۵
شکل(۲-۲۷) نمودار تاریخچه-زمانی انرژی مستهلک شده حین آنالیز عددی(Korzekwa و Tremblay) ۸۵
شکل (۳-۱) شکل کلی هسته S-BRB ۸۸
شکل (۳-۲) قسمت‌های مختلف S-BRB ۸۹
شکل (۳-۳) مهاربند S-BRBو نحوۀ تشکیل قسمتهای مختلف آن ۹۰
شکل (۳-۴) قسمتهای مختلف هسته ۹۱
شکل(۳-۵) منحنی تنش-کرنش بدست آمده در آزمایش اربابی و کریمی ۹۳
شکل (۳-۶) منحنی ساده شدۀ تنش-کرنش استفاده شده در مدلسازی‌های عددی ۹۴
شکل (۳- ۷) جزئیات هستۀ S-BRB ۱۰۲
شکل(۴-۱) فرم کلی نمونه‌های S-BRB ۱۲۰
شکل(۴-۲) شمای کلی اجزاء مورد استفاده در S-BRB ۱۲۱
شکل(۴-۳) ابعاد نمونه‌های مورد استفاده در تست کشش ۱۲۲
شکل(۴-۴) نمونه‌های تست کشش در حین آزمایش ۱۲۲
شکل(۴-۵) نمونه‌های تست کشش پس از آزمایش ۱۲۳
شکل(۴-۶) منحنی تنش- کرنش برای ۳ نمونه تست کشش انجام شده ۱۲۳
شکل(۴-۷) منحنی تنش- کرنش ساده شدۀ ۵ خطی ۱۲۴
شکل(۴-۸) انحناء بوجود آمده در هسته پس از برش ۱۲۶

شکل(۴-۹) بارگذاری استاندارد SAC ۱۲۹

شکل(۴-۱۰) قسمت‌های جاری‌شونده در S-BRB ۱۳۰

شکل(۴-۱۱) بارگذاری مهاربندهای کمانش‌تاب مطابق استاندارد AISC 2005 ۱۳۱

شکل(۴-۱۲) مشخصات قاب فرضی ۱۳۲

شکل(۴-۱۳) بار وارده به S-BRBبا $\delta_{bm}=2.5_{cm}$ ۱۳۳

شکل(۴-۱۴) بار وارده به S-BRBبا $\delta_{bm}=0.9_{cm}$ ۱۳۴

شکل(۴-۱۵) چرخهٔ هیسترزیس شماتیک درiامین سیکل ۱۳۶

شکل(۴-۱۶) روند محاسبهٔ ω^{*} ۱۳۷

شکل(۴-۱۷) نمودار شماتیک پارامترهای محاسباتی در مهاربندهای کمانش‌تاب ۱۳۸

شکل(۴-۱۸) نمونه شماره ۱ قبل از آزمایش ۱۴۱

شکل(۴-۱۹) نمونه شماره ۱ در حین انجام آزمایش ۱۴۲

شکل(۴-۲۰) نمونه شماره ۱ بعد از آزمایش و نحوهٔ خرابی‌اش ۱۴۲

شکل(۴-۲۱) بار تغییرمکانی اعمال شده(بالا)؛ منحنی هیسترزیس(وسط)؛ و انرژی هیسترزیس جذب شده(پائین)؛ در نمونهٔ شمارهٔ ۱ ۱۴۳

شکل(۴-۲۲) مقادیر ω برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 1 ۱۴۵

شکل(۴-۲۳) مقادیر β برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 1 ۱۴۵

شکل(۴-۲۴) مقادیر $\omega\beta$برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 1 ۱۴۵

شکل(۴-۲۵) استفاده از قطعات تقویتی ناحیهٔ اتصالی در نمونهٔ دوم ۱۴۶

شکل(۴-۲۶) شیارهای ایجاد شده در نمونهٔ دوم ۱۴۶

شکل(۴-۲۷) نمونهٔ دوم قبل از انجام آزمایش ۱۴۷

شکل(۴-۲۸) فاصله موجود بین نمونه و فک دستگاه ۱۴۷

شکل(۴-۲۹) قسمت اتصالی نمونهٔ دوم پس از آزمایش اول ۱۴۸

شکل(۴-۳۰) فرم خرابی نمونهٔ دوم پس از آزمایش دوم ۱۴۸

شکل(۴-۳۱) بار تغییرمکانی اعمال شده(بالا)؛ منحنی هیسترزیس(وسط)؛ و انرژی هیسترزیس جذب شده(پائین)؛ در آزمایش اول نمونهٔ شمارهٔ ۲ ۱۴۹

شکل(۴-۳۲) بار تغییرمکانی اعمال شده(بالا)؛ منحنی هیسترزیس(وسط)؛ در آزمایش دوم نمونهٔ شمارهٔ ۲ ۱۵۰

شکل(۴-۳۳) بار تغییرمکانی اعمال شده(بالا)؛ منحنی هیسترزیس(وسط)؛ و انرژی هیسترزیس جذب شده(پائین)؛ در آزمایش دوم نمونهٔ شمارهٔ ۲ ۱۵۲

شکل(۴-۳۴) مقادیر ω برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 2 ۱۵۳

شکل(۴-۳۵) مقادیر β برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 2 ۱۵۴

شکل(۴-۳۶) مقادیر βωبرای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 2 ۱۵۴

شکل(۴-۳۷) استفاده از قطعات تقویتی با طول بیشتر در نمونهٔ سوم ۱۵۵

شکل(۴-۳۸) نمونه شماره ۳ قبل از آزمایش ۱۵۶

شکل(۴-۳۹) فرم خرابی ظاهری در نمونه سوم پس از آزمایش ۱۵۷

شکل(۴-۴۰) فرم خرابی نمونه سوم پس از بازکردن ۱۵۸

شکل(۴-۴۱) بار تغییرمکانی اعمال شده(بالا)؛ منحنی هیسترزیس(وسط)؛ و انرژی هیسترزیس جذب شده(پائین)؛ در نمونهٔ شمارهٔ ۳ ۱۶۰

شکل(۴-۴۲) مقادیر ω برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 3 ۱۶۱

شکل(۴-۴۳) مقادیر β برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 3 ۱۶۲

شکل(۴-۴۴) مقادیر βωبرای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 3 ۱۶۲

شکل(۴-۴۵) جزئیات قطعه تقویتی استفاده شده در S-BRB 4 ۱۶۳

شکل(۴-۴۶) قطعه تقویتی استفاده شده در S-BRB4 ۱۶۳

شکل(۴-۴۷) نمونه شماره ۴ قبل از آزمایش ۱۶۴

شکل(۴-۴۸) نمونه شماره ۴ در حین انجام آزمایش ۱۶۴

شکل(۴-۴۹) فرم خرابی نمونه شماره ۴ ۱۶۵

شکل(۴-۵۰) بار تغییرمکانی اعمال شده(بالا)؛ منحنی هیسترزیس(وسط)؛ و انرژی هیسترزیس جذب شده(پائین)؛ در نمونهٔ شمارهٔ ۴ ۱۶۶

شکل(۴-۵۱) مقادیر ω برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 4 ۱۶۸

شکل(۴-۵۲) مقادیر β برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 4 ۱۶۸
شکل(۴-۵۳) مقادیر βωبرای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 4 ۱۶۹
شکل(۴-۵۴) منحنی بدون بُعد نمونه S-BRB 4 ۱۶۹
شکل(۴-۵۵) نمونه شماره ۵ قبل از آزمایش ۱۷۱
شکل(۴-۵۶) نمونه شماره ۵ در حین آزمایش ۱۷۲
شکل(۴-۵۷) نمونه شماره ۵ پس از انجام آزمایش ۱۷۲
شکل(۴-۵۸) بار تغییرمکانی اعمال شده(بالا)؛ منحنی هیسترزیس(وسط)؛ و انرژی هیسترزیس جذب شده(پائین)؛ در نمونهٔ شمارهٔ ۵ ۱۷۴
شکل(۴-۵۹) مقادیر ω برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 5 ۱۷۶
شکل(۴-۶۰) مقادیر β برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 5 ۱۷۶
شکل(۴-۶۱) مقادیر βωبرای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 5 ۱۷۶
شکل(۴-۶۲) نمونه شماره ۶ قبل از آزمایش ۱۷۷
شکل(۴-۶۳) نمونه شماره ۶ در حین آزمایش ۱۷۸
شکل(۴-۶۴) نمونه شماره ۶ پس از آزمایش ۱۷۸
شکل(۴-۶۵) بار تغییرمکانی اعمال شده(بالا)؛ منحنی هیسترزیس(وسط)؛ و انرژی هیسترزیس جذب شده(پائین)؛ در نمونهٔ شمارهٔ ۶ ۱۸۰
شکل(۴-۶۶) مقادیر ω برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 6 ۱۸۲
شکل(۴-۶۷) مقادیر β برای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 6 ۱۸۳
شکل(۴-۶۸) مقادیر βωبرای تغییرمکان‌های مختلف نمونه S-BRB 6 ۱۸۳
شکل(۵-۱) منحنی‌های نیرو-تغییرمکان برای نمونه‌های مختلف مهاربندهای کمانش‌تاب مورد آزمایش ۱۸۶
شکل(۵-۲) انرژی هیسترزیس جذب شده (E_h) در نمونه‌های مختلف ۱۸۷
شکل(۵-۳) حداکثر مقادیر تغییرشکل غیرالاستیک تجمعی η در نمونه‌های مختلف ۱۸۸
شکل(۵-۴) نمودار ω در برابر تغییرشکل مهاربند ۱۹۰
شکل(۵-۵) نمودار βدر برابر تغییرشکل مهاربند ۱۹۲

فهرست تصاویر

عنوان **صفحه**

تصویر(۱-۱) نمونه‌ای از یک ساختمان مهاربندی شده ۱

تصویر(۱-۲) ساختمان‌های اجرا شده با مهاربندهای خارج از مرکز ۳۱

تصویر(۲-۱) نحوهٔ قرارگیری مهاربندها و دستگاهها در آزمایش Mazzolaniو همکارانش در سازهٔ اول ۷۵

تصویر(۲-۲) شکل مدهای خرابی نمونه‌های ۱و ۲ درآزمایش Corteو همکارانش در سازهٔ اول ۷۶

تصویر(۲-۳) نحوهٔ قرارگیری مهاربندها و دستگاهها درآزمایش Mazzolani و همکارانش در سازهٔ دوم ۷۷

تصویر(۲-۴) مدل سه‌بعدی المان محدود نمونهٔS1-2 (Korzekwa و Tremblay) ۸۱

تصویر(۲-۵) گسترش مدهای کمانشی هسته تحت بارهای فشاری در پایان هر سیکل (Korzekwa و Tremblay) ۸۳

تصویر(۳-۱) تنش معادل با مش‌بندی‌های مختلف در مدل اولیه ۹۸

تصویر (۳-۲) تمرکز تنش در مدل اولیه با مش‌بندی ۰/۳ ۱۰۰

تصویر(۳-۳) تنش معادل با مش‌بندی ۰/۳ و اضافه کردن انحناءهایی به مدل اولیه با شعاع ۱ سانتیمتر ۱۰۱

تصویر(۳-۴) تنش در نمونه‌های مورد مطالعه با شعاع‌های انحناء مختلف ۱۰۴

تصویر(۳-۵) آنالیز خطی با استفاده از ۴ انحناء اضافی در قسمت نگهدارندهٔ وسط ۱۰۷

تصویر(۳-۶) تنش معادل در لبه‌ها با به کار بردن دو نوع شعاع انحناء مجزا ۱۰۸

تصویر(۳-۷) منحنی نیرو-تغییرمکان حاصل از مدل دوبُعدی با استفاده از المان‌های صفحه‌ایی ۱۱۲

تصویر(۳-۸) مقادیر تنش و تغییرمکان در مدل دوبُعدی هسته تحت کشش ۴ سانتیمتر ۱۱۲

تصویر(۳-۹) توزیع تنش و کرنش در قسمت تبدیلی تحت کشش ۴ سانتیمتر ۱۱۳

تصویر(۳-۱۰) شکل تغییرمکان هسته در مقدار گپ‌های مختلف ۱۱۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول(۱-۱) تغییرات ضوابط CBF در آئین‌نامهٔ AISC ۴۳

جدول(۲-۱) اطلاعات بارگذاری مربوط به آزمایش اربابی و کریمی ۶۷

جدول(۲-۲) خصوصیات مربوط به هرکدام از نمونه‌ها ۷۱

جدول(۲-۳) تغییرشکل‌های تجمعی بدست آمده در آزمایش‌های Kimو Park ۷۴

جدول(۳-۱) مقادیر منحنی تنش-کرنش ساده شده برای استفاده در مدلسازی‌های عددی ۹۴

جدول(۳-۲) مقادیر تنش و تغییرمکان با تغییر اندازهٔ المان‌ها ۹۹

جدول(۳-۳) تغییر مقادیر تنش و تغییرمکان با استفاده از شعاع‌های انحناء مختلف ۱۰۵

جدول(۳-۴) مقادیر بدست آمده برای گپ‌های مختلف ۱۱۷

جدول(۴-۱) جزئیات مربوط به وزن قطعات به کار گرفته شده ۱۲۱

جدول(۴-۲) نتایج حاصله از تست کشش و محاسبات ۱۲۴

جدول(۴-۳) نقاط مربوط به منحنی تنش- کرنش ساده شده ۱۲۵

جدول(۴-۴) حداکثر پاسخ‌های نمونه S-BRB1 ۱۴۴

جدول(۴-۵) حداکثر پاسخ‌های نمونه S-BRB2 ۱۵۲

جدول(۴-۶) حداکثر پاسخ‌های نمونه S-BRB3 ۱۶۱

جدول(۴-۷) حداکثر پاسخ‌های نمونه S-BRB4 ۱۶۷

جدول(۴-۸) حداکثر پاسخ‌های نمونه S-BRB5 ۱۷۵

جدول(۴-۹) حداکثر پاسخ‌های نمونه S-BRB6 ۱۸۱

جدول(۵-۱) مقادیر ضرایب معادلهٔ ω ۱۸۹

جدول(۵-۲) مقادیر ضرایب معادلهٔ β ۱۹۳

مقدمه

قاب‌های خمشی در حین زلزله‌های بزرگ تغییرمکان‌های جانبی زیادی می‌دهند. به همین دلیل توجه ویژه‌ای در طراحی برای محدودکردن جابجایی‌های نسبی طبقات لازم است بطوری که پتانسیل خرابی به علت رفتار غیرخطی هندسی و شکل‌پذیری اتصالات تیر به ستون کاهش پیدا کند[1] تا از خرابی بیش از اندازهٔ اعضای غیرسازه‌ای اجتناب گردد. به دلایل بالا ونیز مسائل اقتصادی، مهندسان بطور فزاینده‌ای از قاب‌های فولادی مهاربندی شدهٔ هم‌محور به عنوان سیستم‌های سازه‌ای مقاوم در برابر بارهای جانبی استفاده کرده‌اند. با این وجود خرابی‌های متعدد قاب‌های مهاربندی شدهٔ هم‌محور در زلزله‌های گذشته مانند زلزله‌های Mexico 1985[2]، Loma Prieta 1989 [3]، Northridge 1994[4,5] و یا Hyogo-ken Nanbu 1995[6,7,8] نگرانی‌هایی را در مورد ظرفیت تغییرشکل نهایی این نوع سازه بوجود آورده است.

دلایل متعددی برای عملکرد نامناسب قاب‌های مهاربند شدهٔ متعارف بیان گردیده است. به عنوان مثال مهاربندهای منفرد اغلب فقط محدودیت شکل‌پذیری یا ظرفیت استهلاک انرژی را تحت بارهای سیکلی دارا می‌باشند[9] و یا اینکه بسیاری از دیتایل‌های اتصالات متداول مستعد رفتار ترد هستند. مهاربندها به دلیل رفتار غیرمتقارن در کشش و فشار و همچنین نشان دادن مقاومت قابل توجه در محدودهٔ غیرارتجاعی دارای رفتاری پیچیده می‌باشند.

این رفتار پیچیده در نتیجهٔ تفاوت‌های مهم میان توزیع نیروهای داخلی و تغییرمکان‌های قابل پیش‌بینی بر اساس روش‌های طراحی مرسوم در مدل‌های رفتاری الاستیک و روند واقع‌گرایانه‌تر تحلیل غیرخطی است[10,11].

پیامد این اختلاف‌ها در رفتار دو چیز است :

اغلب مهاربندهای انتخابی برای بعضی طبقات بسیار قوی‌تر از مقدار مورد نیاز می‌باشند درصورتیکه مهاربندها در دیگر طبقات دارای ظرفیت بسیار نزدیک به مقدار مورد نیاز هستند. توزیع نیروهای طراحی در تیرها و ستون‌ها اغلب اختلاف زیادی با زلزلهٔ حقیقی محتمل دارند. این اختلاف‌ها در محاسبات به متمرکز شدن خرابی زلزله در طبقات ضعیف می‌انجامد. محل تمرکز خرابی‌ها حتی بیشتر از ظرفیت شکل‌پذیری در مهاربندهای مرسوم و اتصالاتشان می-باشد. بعلاوه کمانش جانبی در مهاربندهای معمولی ممکن است سبب خرابی‌های قابل توجه در اعضای غیرسازه ای گردد.

در واکنش به این مشاهدات و نگرانی‌ها، طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده در دههٔ 90به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر یافت و مفهوم قاب‌های با مهاربند ویژه مطرح گردید[12,13]. از میان پیکربندی‌های جدید، به طور قابل ملاحظه‌ای، تحقیقات برای بهبود عملکرد قاب‌های مهاربندی شدهٔ هم محور معمولی صورت گرفت[11]. همچنین از مهاربندهای ویژه‌ای که دارای رفتار ترکیبی[14]، فلز جاری شونده[15]، به کارگیری مواد با عملکرد بالا[16] و یا از اصطکاک و میرایی ویسکوز[17] بهره می بردند، استفادهٔ فراوان گردید.

امروزه یکی از اعضای مقاوم جانبی‌ایی که مورد توجه فراوان قرار گرفته، مهاربندهای کمانش‌تاب است. این مهاربند دارای شکل‌های مختلفی است که انواع مهم آن را می‌توان به اعضای محصور شده در پانل بتنی، مهاربندهای کمانش-تاب محصور شده توسط غلاف بتنی و یا مهاربندهای کمانش‌تاب تمام فولادی تقسیم‌بندی نمود. نوع تمام فولادی به جهت مزایای فراوان نسبت به انواع دیگر، در فصل دوم به آنها اشاره شده است، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است اما به دلیل جدید بودن آن، مسائل مورد بررسی زیادی در این زمینه وجود دارد که در این تحقیق بعضی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار و شبیه‌سازی رفتار عددی آنها بررسی خواهد شد.

معین تبرک