

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

بررسی آزمایشگاهی و عددی رفتار غیرخطی
مهاربندهای Y شکل

ارائه شده برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

توسط:

سید مصطفی رسولی

اساتید راهنما:

دکتر شاهرخ مالک

مهندس سید سهیل مجیدزمانی

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
تهران

۱۳۸۷ / ۱۵ / ۱۳

پژوهشکده ساختمان و مسکن

مرداد ۸۴

۹۶۱۸۱



تاییدیه هیات داوران

آقای سید مصطفی رسولی پایان نامه کارشناسی ارشد ۶ واحدی خود را با عنوان « بررسی آزمایشگاهی و عددی رفتار غیر خطی مهاربندهای Y شکل » که در تاریخ ۸۴/۵/۱۰ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران با گرایش مهندسی زلزله پیشنهاد می کنند.

امضا	نام و نام خانوادگی	اعضای هیات داوران
	آقای دکتر شاهرخ مالک	۱- استاد راهنمای اول
	آقای مهندس سید سهیل مجیدزمانی	۲- استاد راهنمای دوم
	آقای دکتر فیاض رحیمزاده روفوئی	۳- استادان ممتحن خارجی
	آقای دکتر طارق مهدی	داخلی
	آقای دکتر علی کاوه	۴- مدیر گروه (یا نماینده گروه)

تخصصی):

کلیه حقوق اعم از چاپ، تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس
برای پژوهشکده ساختمان و مسکن محفوظ است.

بدینوسیله از زحمات جناب آقای مهندس مجیدزمانی
و کلیه دوستان و عزیزانی که در تهیه این پایان‌نامه
مرا یاری کردند و به ویژه از پرسنل پرتلاش
آزمایشگاه بخش سازه مرکز تحقیقات
سپاسگذاری می‌کنم.

با نهایت احترام این پایان نامه را
به خانواده ام و به ویژه به پدر و مادرم
تقدیم می کنم.

چکیده:

با توجه به لرزه‌خیزی کشور و لزوم استفاده از سیستم‌های لرزه‌بر در سازه، استفاده از سیستم مهاربندی در بسیاری موارد بهترین راه حل است. در این میان شناسایی رفتار دقیق مهاربندها در محدوده خطی، کمانش و پس از کمانش جهت تعیین میزان بار وارد به سازه، میزان اتلاف انرژی مهاربند و مقدار تغییر مکان نسبی طبقات در طراحی سازه‌ها در برابر زلزله، امری ضروری به نظر می‌رسد. مهاربند Y-شکل؛ که در برخی سازه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است و مزیت تأمین بازشو در سازه را دارد؛ در این پایان‌نامه به کمک مدل‌سازی نرم‌افزاری و نیز آزمایش تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. بر پایه مطالعات گذشته در مجموع رفتار این نوع مهاربند توأم با کمانش خارج از صفحه، باربری کم و عدم تقارن در رفتار فشاری و کششی معرفی شده است. در مطالعات حاضر هشت نمونه از مهاربند با مقیاس واقعی مورد آزمایش تجربی و چهارده نمونه مورد تحلیل نرم‌افزاری قرار گرفته‌اند و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. بر این اساس ابتدا محل بهینه قرارگیری نقطه وسط تعیین گردید و مشاهده شد که با حرکت این نقطه به سمت گوشه قاب از سختی و مقاومت آن کاسته خواهد شد ولی میرایی آن افزایش پیدا می‌کند. با انجام اصلاحاتی در طراحی نمونه و استفاده از تقویت‌های لازم مسئله خروج از صفحه کاملاً حل می‌شود و نیز علاوه بر بهبود باربری و متقارن‌تر شدن رفتار، می‌توان به میرایی قابل توجهی در مرحله پس از کمانش غیرخطی دست یافت و نیز از این مطالعه چنین برمی‌آید که جزئیات اتصال اعضای مهاربندی به قاب در مقاومت جانبی قاب اثر مستقیم دارد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فردانی الف

اهدانامه ب

چکیده ج

فهرست مطالب د

فهرست جدولها ز

فهرست شکلها ح

فهرست عکسها ی

فهرست نمودارها ل

فصل اول - مقدمه ۱

۱-۱ معرفی مهاربند Y شکل ۴

۲-۱ مزایا و معایب ۶

۳-۱ شکلهای رایج استفاده از مهاربند Y شکل ۶

۴-۱ معرفی فصلهای پایان نامه ۱۰

فصل دوم - سابقه علمی موضوع ۱۴

فصل سوم - مطالعات نظری ۲۱

۱-۳ ملاحظات مدلسازی ۲۲

۱-۱-۳ معرفی نرم افزار ۲۲

۲-۱-۳ جزئیات ساخت و تحلیل مدل ۲۳

۲۸	..... مشخصات مصالح	۳-۱-۳
۲۹	..... تجلیلهای الاستیک و کمانش ارتجاعی	۲-۳
۳۱	..... نتایج تحلیل ارتجاعی مدل‌های مورد بررسی	۱-۲-۳
۳۶	..... تجلیلهای غیر ارتجاعی	۳-۳
۳۹	..... کمانش غیر خطی	۱-۳-۳
۵۳	..... بررسی رفتار غیر خطی در یک حلقه بارگذاری	۲-۳-۳
۵۸	..... تحلیل غیر خطی نمونه‌های آزمایش شده تجربی	۴-۳
۵۹	..... مدل ۱۶۰۰	۱-۴-۳
۶۱	..... مدل ۱۱۰۰-۱	۲-۴-۳
۶۵	..... مدل ۱۱۰۰ تقویت شده	۳-۴-۳
۶۷	..... مدل ۱۱۰۰-۵	۴-۴-۳
۷۰	..... مدل ۱۱۰۰-۶	۵-۴-۳
۷۳	..... مدل ۱۱۰۰-۷	۶-۴-۳
۷۵	..... مقایسه نتایج	۷-۴-۳

فصل چهارم - مطالعات آزمایشگاهی ۷۷

۷۹	..... مشخصات <i>Set Up</i> و نحوه انجام آزمایشها	۱-۴
۸۱	..... انواع بارگذاری جانبی	۱-۱-۴
۸۳	..... نحوه انجام آزمایش	۲-۱-۴
۸۳	..... کمیت‌های مورد نیاز و ابزارهای اندازه گیری	۲-۴
۸۵	..... تجهیزات مورد استفاده در <i>Set Up</i>	۳-۴
۸۸	..... نمونه‌های آزمایش شده	۴-۴
۸۸	..... نمونه ۱۶۰۰	۱-۴-۴
۹۶	..... نمونه ۱۱۰۰-۱	۲-۴-۴
۹۹	..... نمونه ۱۱۰۰-۲	۳-۴-۴
۱۰۲	..... نمونه ۱۱۰۰-۳	۴-۴-۴

۱۰۵	..... نمونه ۴-۱۱۰۰	۵-۴-۴
۱۰۹	..... نمونه ۵-۱۱۰۰	۶-۴-۴
۱۱۴	..... نمونه ۶-۱۱۰۰	۷-۴-۴
۱۲۰	..... نمونه قاب بدون مهاربند	۸-۴-۴
۱۲۲	..... مقایسه نتایج	۹-۴-۴
۱۲۳	..... استفاده از مهاربند به صورت جفت متقارن	۵-۴
۱۲۴	..... مقایسه دو نوع آرایش مختلف بکارگیری مهاربند γ در ساختمانهای چند طبقه	۶-۴
۱۲۶	..... بررسی آماری نتایج	۷-۴
۱۳۰	..... فصل پنجم - مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی	
۱۳۱	..... عوامل تولید خطا در تحلیل نرم‌افزاری و آزمایش	۱-۵
۱۳۳	..... مقایسه نتایج تجربی و تحلیلی	۲-۵
۱۴۰	..... فصل ششم - بحث و نتیجه‌گیری	
۱۴۵	..... منابع و مآخذ	
۱۴۸	..... ضمیمه	

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) - ضریب رفتار q برای سازه‌های مختلف در آئین‌نامه Eurocode ۱۸
- جدول (۱-۳) - نتایج آزمون کشش مصالح فولادی ۲۸
- جدول (۲-۳) - مقادیر بار کماتش ارتجاعی در مودهای مختلف برای مدل‌های پنجگانه ۳۳
- جدول (۱-۴) - تغییرات سختی وتري نمونه ۱۶۰۰ قبل و بعد از کماتش ۹۲
- جدول (۲-۴) - تغییرات میرایی نمونه ۱۶۰۰ در چرخه‌های بارگذاری ۹۳
- جدول (۳-۴) - تغییرات سختی وتري نمونه ۱۱۰۰-۱ قبل و بعد از کماتش ۹۸
- جدول (۴-۴) - تغییرات میرایی نمونه ۱۱۰۰-۱ در چرخه‌های بارگذاری ۹۹
- جدول (۵-۴) - تغییرات سختی وتري نمونه ۱۱۰۰-۳ قبل و بعد از کماتش ۱۰۴
- جدول (۶-۴) - تغییرات میرایی نمونه ۱۱۰۰-۳ در چرخه‌های بارگذاری ۱۰۴
- جدول (۷-۴) - تغییرات سختی وتري نمونه ۱۱۰۰-۴ قبل و بعد از کماتش ۱۰۷
- جدول (۸-۴) - تغییرات میرایی نمونه ۱۱۰۰-۴ در چرخه‌های بارگذاری ۱۰۸
- جدول (۹-۴) - تغییرات سختی وتري نمونه ۱۱۰۰-۵ قبل و بعد از کماتش ۱۱۳
- جدول (۱۰-۴) - تغییرات میرایی نمونه ۱۱۰۰-۵ در چرخه‌های بارگذاری ۱۱۳
- جدول (۱۱-۴) - تغییرات سختی وتري نمونه ۱۱۰۰-۶ قبل و بعد از کماتش ۱۱۸
- جدول (۱۲-۴) - تغییرات میرایی نمونه ۱۱۰۰-۶ در چرخه‌های بارگذاری ۱۱۹
- جدول (۱۳-۴) - تغییرات سختی وتري قاب بدون مهاربند چرخه‌های بارگذاری ۱۲۱
- جدول (۱-۵) - اختلاف نتایج مدل تحلیلی نسبت به نمونه‌های آزمایشگاهی ۱۳۷

فهرست شکلها

- شکل (۱-۱) - انواع قابهای مهاربندی شده به وسیله مهاربند γ شکل ۳
- شکل (۲-۱) - انواع مهاربند γ شکل و موارد کاربرد آن از لحاظ معماری ۳
- شکل (۳-۱) - نمای عمومی مهاربند γ شکل ۵
- شکل (۴-۱) - استفاده از مهاربند γ شکل به صورت جفت متقارن ۵
- شکل (۵-۱) - طراحی عضو کوچکتر مهاربندی به صورت الاستیک با سختی محوری کم ۹
- شکل (۱-۳) - مدل شماتیک نمونه‌ها ۲۲
- شکل (۲-۳) - ابعاد اندازه‌گیری شده از Box ناودانی جهت مدلسازی ۲۴
- شکل (۳-۳) - مقایسه روش بار فزاینده و روش تکرار نیوتن رافسون ۲۶
- شکل (۴-۳) - نمودار تنش - کرنش برگشتی در مواد با رفتار ایزوتروپیک و سینماتیک ۲۷
- شکل (۵-۳) - ابعاد نمونه مورد استفاده در آزمون کشش ۲۸
- شکل (۶-۳) - مقایسه بین دو روش حل عددی کمانش ۳۰
- شکل (۷-۳) - نمای مدل‌های مورد بررسی ۳۲
- شکل (۸-۳) - مود اول کمانش ارتجاعی مدل ۱۶۰۰ ۳۴
- شکل (۹-۳) - مود دوم کمانش ارتجاعی مدل ۱۶۰۰ ۳۴
- شکل (۱۰-۳) - مود سوم کمانش ارتجاعی مدل ۱۶۰۰ ۳۵
- شکل (۱۱-۳) - مسائل دارای تغییر شکلهای بزرگ ۳۸
- شکل (۱۲-۳) - توزیع کرنش پلاستیک قبل از کمانش در مدل ۲۲۰۰ ۴۲
- شکل (۱۳-۳) - کرنش پلاستیک بعد از کمانش و تشکیل مفصل پلاستیک در مدل ۲۲۰۰ ۴۳
- شکل (۱۴-۳) - توزیع کرنش پلاستیک قبل از کمانش در مدل ۱۶۰۰ ۴۵
- شکل (۱۵-۳) - کرنش پلاستیک بعد از کمانش و تشکیل مفصل پلاستیک در مدل ۱۶۰۰ ۴۶
- شکل (۱۶-۳) - توزیع کرنش پلاستیک قبل از کمانش در مدل ۱۱۰۰ ۵۰
- شکل (۱۷-۳) - کرنش پلاستیک بعد از کمانش و تشکیل مفصل پلاستیک در مدل ۱۱۰۰ ۵۰
- شکل (۱۸-۳) - تصویر مفصل مدل شده در نرم‌افزار ۱۴۹
- شکل (۱۹-۳) - مدل ۱۶۰۰ قبل از کمانش ۱۴۹
- شکل (۲۰-۳) - مدل ۱۶۰۰ بعد از کمانش ۱۵۰
- شکل (۲۱-۳) - توزیع کرنش پلاستیک قبل از کمانش در مدل ۱۶۰۰ ۱۵۰
- شکل (۲۲-۳) - کرنش پلاستیک بعد از کمانش و تشکیل مفصل پلاستیک در مدل ۱۶۰۰ ۱۵۱
- شکل (۲۳-۳) - توزیع کرنش پلاستیک قبل از کمانش در مدل ۱۱۰۰-۱ ۱۵۱
- شکل (۲۴-۳) - کرنش پلاستیک بعد از کمانش و تشکیل مفصل پلاستیک در مدل ۱۱۰۰-۱ ۱۵۲

- شکل (۳-۲۵) - تصویر مدل ۱۱۰۰ تقویت قبل از تحلیل ۱۵۲
- شکل (۳-۲۶) - تصویر مدل ۱۱۰۰ تقویت بعد از تحلیل ۱۵۳
- شکل (۳-۲۷) - تغییر مکان داخل صفحه بعد از کمانش در مدل ۱۱۰۰-۵ ۱۵۳
- شکل (۳-۲۸) - تشکیل مفصل پلاستیک در عضو بلندتر در مدل ۱۱۰۰-۵ ۱۵۴
- شکل (۳-۲۹) - مدل ۱۱۰۰-۶ قبل از کمانش ۱۵۴
- شکل (۳-۳۰) - تغییر شکل پلاستیک بعد از کمانش و تشکیل مفصل پلاستیک در مدل ۱۱۰۰-۶ ۱۵۵
- شکل (۳-۳۱) - تغییر مکان خارج از صفحه قاب پس از کمانش در مدل ۱۱۰۰-۷ ۱۵۵
- شکل (۳-۳۲) - کرنش پلاستیک بعد از کمانش و تشکیل مفصل پلاستیک در مدل ۱۱۰۰-۷ ۱۵۶
- شکل (۴-۱) - محل قرارگیری جابه‌جایی سنجها بر روی نقشه کلی نمونه‌ها ۱۵۷
- شکل (۴-۲) - محل قرارگیری کرنش‌سنجها بر روی قاب و اعضای مهاربندی ۱۵۷
- شکل (۴-۳) - نقشه اجرایی نمونه ۱۶۰۰ ۱۵۸
- شکل (۴-۴) - محاسبه میرایی به روش کلاف ۹۳
- شکل (۴-۵) - نقشه اجرایی نمونه ۱۱۰۰-۱ ۱۵۸
- شکل (۴-۶) - نقشه اجرایی نمونه ۱۱۰۰-۵ ۱۵۹
- شکل (۴-۷) - نقشه اجرایی نمونه ۱۱۰۰-۶ ۱۵۹
- شکل (۴-۸) - دو نوع آرایش متفاوت در استفاده از مهاربند y شکل ۱۲۵
- شکل (۴-۹) - نمایش پارامترهای لازم در فرمول (۴-۲) بر روی شکل قاب ۱۲۷

فهرست عکس‌ها

- عکس (۱-۱) - بریده شدن جوش در نزدیکی اتصال به علت وصله شدن اعضا در این محل ۸
- عکس (۲-۱) - کمانش خارج از صفحه مهاربند در زلزله بیم ۸
- عکس (۳-۱) - استفاده از این نوع مهاربند به صورت جفت متقارن در یک دهانه ۸
- عکس (۱-۴) - نمای کلی از *Set Up* آزمایش‌ها ۷۹
- عکس (۲-۴) - تصویر تکیه‌گاه ثابت و نحوه اتصال آن به کف قوی ۸۶
- عکس (۳-۴) - تکیه‌گاههای جانبی برای مهار حرکت خارج از صفحه تیر ۸۷
- عکس (۴-۴) - تکیه‌گاه مفصلی مورد استفاده در آزمایشگاه ۱۶۰
- عکس (۵-۴) - جک هیدرولیکی و نحوه اتصال آن به قاب ۸۸
- عکس (۶-۴) - نمای نمونه ۱۶۰۰ قبل از آزمایش ۱۶۰
- عکس (۷-۴) - نمای نمونه ۱۶۰۰ بعد از آزمایش ۱۶۰
- عکس (۸-۴) - محل تشکیل مفصل پلاستیک در نمونه ۱۶۰۰ ۱۶۱
- عکس (۹-۴) - نمای نمونه ۱۱۰۰-۱ قبل از آزمایش ۱۶۱
- عکس (۱۰-۴) - نمای نمونه ۱۱۰۰-۱ بعد از آزمایش ۱۶۲
- عکس (۱۱-۴) - نمای نمونه ۱۱۰۰-۱ در انتهای آزمایش ۱۶۲
- عکس (۱۲-۴) - جزئیات اجرای ورق تقویت بر روی نمونه ۱۱۰۰-۲ ۱۶۳
- عکس (۱۳-۴) - محل شکستگی نمونه ۱۱۰۰-۲ ۱۶۳
- عکس (۱۴-۴) - جزئیات اصلاح اتصال ۱۱۰۰-۳ ۱۶۳
- عکس (۱۵-۴) - کمانش موضعی در نمونه ۱۱۰۰-۳ ۱۶۴
- عکس (۱۶-۴) - آثار رفتار غیرخطی اعضای مهاربندی در نمونه ۱۱۰۰-۴ ۱۶۴
- عکس (۱۷-۴) - نمونه ۱۱۰۰-۴ بعد از آزمایش ۱۶۴
- عکس (۱۸-۴) - آثار جاری شدگی در ورق تقویت عضو بلندتر مهاربندی در نمونه ۱۱۰۰-۵ ۱۶۵
- عکس (۱۹-۴) - جاری شدگی ورق تقویت در حد فاصل بین جوشهای منقطع ۱۶۵
- عکس (۲۰-۴) - نمونه ۱۱۰۰-۵ در پایان آزمایش ۱۱۲
- عکس (۲۱-۴) - مراحل اولیه کمانش قاب در نمونه ۱۱۰۰-۶ ۱۱۷
- عکس (۲۲-۴) - جاری شدگی در عضو کوچک مهاربندی در نمونه ۱۱۰۰-۶ ۱۶۵
- عکس (۲۳-۴) - جاری شدگی در انتهای عضو بلندتر در نمونه ۱۱۰۰-۶ ۱۶۶
- عکس (۲۴-۴) - نمونه ۱۱۰۰-۶ در پایان آزمایش ۱۶۶
- عکس (۲۵-۴) - آزمایش قاب بدون مهاربند ۱۶۷

- عکس (۴-۲۶) - تصویر مدل نرم‌افزاری قاب بدون مهاربند در حداکثر تغییر مکان جانبی ۱۶۲
- عکس (۵-۱) - شکستگی ناشی از خستگی در نمونه ۶-۱۱۰۰ در پایان آزمایش ۱۳۹
- عکس (۵-۲) - کرنش‌های پلاستیک ایجاد شده و عدم شکستگی در مدل نرم‌افزاری ۶-۱۱۰۰ ۱۳۹

فهرست نمودارها

- نمودار (۱-۱) - تغییرات سختی مهاربند در حالتی که عضو کوچکتر سختی محوری کم دارد ۱۰
- نمودار (۱-۲) - چرخه‌های بارگذاری غیرخطی شماتیک در مهاربندهای همگرا [۹] ۱۶
- نمودار (۱-۳) - نمودار تغییر مکان داخل صفحه مدل ۲۲۰۰ ۴۰
- نمودار (۲-۳) - تغییر مکان خارج از صفحه مدل ۲۲۰۰ ۴۱
- نمودار (۳-۳) - تغییر مکان داخل صفحه در مقابل بار در مدل ۱۹۰۰ ۴۳
- نمودار (۴-۳) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار در مدل ۱۹۰۰ ۴۴
- نمودار (۵-۳) - تغییر مکان داخل صفحه در مقابل بار در مدل ۱۶۰۰ ۴۴
- نمودار (۶-۳) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار در مدل ۱۶۰۰ ۴۵
- نمودار (۷-۳) - تغییر مکان داخل صفحه در مقابل بار در مدل ۱۲۵۰ ۴۷
- نمودار (۸-۳) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار در مدل ۱۲۵۰ ۴۷
- نمودار (۹-۳) - تغییر مکان داخل صفحه در مقابل بار در مدل ۱۱۰۰ ۴۸
- نمودار (۱۰-۳) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار در مدل ۱۱۰۰ ۴۸
- نمودار (۱۱-۳) - تغییرات بار کمانش غیرارجاعی به ازای نسبت‌های مختلف l/d ۵۱
- نمودار (۱۲-۳) - تغییرات مقدار تغییر مکان داخل صفحه قاب در هنگام کمانش ۵۱
- نمودار (۱۳-۳) - سختی قبل از کمانش قاب و سختی‌های اولیه و ثانویه بعد از کمانش ۵۲
- نمودار (۱۴-۳) - تغییرات نسبت سختیهای غیرخطی به سختی اولیه قاب ۵۲
- نمودار (۱۵-۳) - چرخه رفتاری مدل ۲۲۰۰ ۵۳
- نمودار (۱۶-۳) - چرخه رفتاری مدل ۱۹۰۰ ۵۴
- نمودار (۱۷-۳) - چرخه رفتاری مدل ۱۶۰۰ ۵۵
- نمودار (۱۸-۳) - چرخه رفتاری مدل ۱۲۵۰ ۵۵
- نمودار (۱۹-۳) - چرخه رفتاری مدل ۱۱۰۰ ۵۶
- نمودار (۲۰-۳) - نسبت تغییرات سختی فشاری به سختی کششی ۵۷
- نمودار (۲۱-۳) - تغییرات انرژی مستهلک شده در یک چرخه در نمونه‌های مختلف ۵۷
- نمودار (۲۲-۳) - تغییرات حداکثر تغییر مکان مثبت و منفی در مدل‌های مختلف ۵۸
- نمودار (۲۳-۳) - حلقه‌های بارگذاری مدل ۱۶۰۰ ۵۹
- نمودار (۲۴-۳) - تغییرات سختی وتری در مدل ۱۶۰۰ در حلقه‌های بارگذاری ۶۰
- نمودار (۲۵-۳) - پوش بارگذاری در مدل ۱۶۰۰ ۶۱
- نمودار (۲۶-۳) - حلقه‌های بارگذاری مدل ۱۱۰۰-۱ ۶۲
- نمودار (۲۷-۳) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار در مدل ۱۱۰۰-۱ ۶۳

- نمودار (۳-۲۸) - تغییرات سختی وتري در مدل ۱-۱۱۰۰ در حلقه‌های بارگذاری ۶۳
- نمودار (۳-۲۹) - پوش بارگذاری در مدل ۱-۱۱۰۰ ۶۴
- نمودار (۳-۳۰) - حلقه‌های بارگذاری مدل ۱۱۰۰ تقویت شده ۶۵
- نمودار (۳-۳۱) - تغییرات سختی وتري در مدل ۱۱۰۰ تقویت شده ۶۶
- نمودار (۳-۳۲) - پوش بارگذاری در مدل ۱۱۰۰ تقویت شده ۶۷
- نمودار (۳-۳۳) - حلقه‌های بارگذاری مدل ۵-۱۱۰۰ ۶۸
- نمودار (۳-۳۴) - تغییرات سختی وتري در مدل ۵-۱۱۰۰ در حلقه‌های بارگذاری ۶۹
- نمودار (۳-۳۵) - پوش بارگذاری در مدل ۵-۱۱۰۰ ۶۹
- نمودار (۳-۳۶) - حلقه‌های بارگذاری مدل ۶-۱۱۰۰ ۷۱
- نمودار (۳-۳۷) - تغییرات سختی وتري در مدل ۶-۱۱۰۰ در حلقه‌های بارگذاری ۷۱
- نمودار (۳-۳۸) - پوش بارگذاری در مدل ۶-۱۱۰۰ ۷۲
- نمودار (۳-۳۹) - حلقه‌های بارگذاری مدل ۷-۱۱۰۰ ۷۳
- نمودار (۳-۴۰) - تغییرات سختی وتري در مدل ۷-۱۱۰۰ در حلقه‌های بارگذاری ۷۴
- نمودار (۳-۴۱) - پوش بارگذاری در مدل ۷-۱۱۰۰ ۷۵
- نمودار (۳-۴۲) - مقایسه پوش بارگذاری در تمام مدل‌های تحلیل شده ۷۶
- نمودار (۴-۱) - نحوه بارگذاری نمونه‌ها ۸۳
- نمودار (۴-۲) - تغییر مکان خارج از صفحه نقطه همگرایی و بار در نمونه ۱۶۰۰ ۹۰
- نمودار (۴-۳) - پوش بارگذاری در نمونه ۱۶۰۰ ۹۰
- نمودار (۴-۴) - حلقه‌های بارگذاری نمونه ۱۶۰۰ ۹۱
- نمودار (۴-۵) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار نمونه ۱۶۰۰ ۱۶۸
- نمودار (۴-۶) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل داخل صفحه در نمونه ۱۶۰۰ ۱۶۸
- نمودار (۴-۷) - طیف پاسخ هاووزنر برای نسبت‌های میرایی ۵ و ۱۰ درصد [۲۰] ۹۵
- نمودار (۴-۸) - تغییر مکان خارج از صفحه و بار در نمونه ۱-۱۱۰۰ ۹۷
- نمودار (۴-۹) - پوش بارگذاری نمونه ۱-۱۱۰۰ ۱۶۸
- نمودار (۴-۱۰) - چرخه‌های بارگذاری نمونه ۱-۱۱۰۰ ۹۸
- نمودار (۴-۱۱) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار نمونه ۱-۱۱۰۰ ۱۶۹
- نمودار (۴-۱۲) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل داخل صفحه در نمونه ۱-۱۱۰۰ ۱۶۹
- نمودار (۴-۱۳) - تغییر مکان خارج از صفحه و بار در نمونه ۲-۱۱۰۰ ۱۰۰
- نمودار (۴-۱۴) - چرخه‌های بارگذاری نمونه ۲-۱۱۰۰ ۱۰۰
- نمودار (۴-۱۵) - پوش بارگذاری نمونه ۲-۱۱۰۰ ۱۶۹
- نمودار (۴-۱۶) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار در نمونه ۲-۱۱۰۰ ۱۷۰
- نمودار (۴-۱۷) - تغییر مکان خارج از صفحه و بار در نمونه ۳-۱۱۰۰ ۱۰۲

- نمودار (۴-۱۸) - چرخه‌های بارگذاری نمونه ۱۱۰۰-۳ ۱۰۳
- نمودار (۴-۱۹) - پوش بارگذاری نمونه ۱۱۰۰-۳ ۱۷۰
- نمودار (۴-۲۰) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار نمونه ۱۱۰۰-۳ ۱۷۰
- نمودار (۴-۲۱) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل داخل صفحه در نمونه ۱۱۰۰-۱ ۱۷۱
- نمودار (۴-۲۲) - تغییر مکان خارج از صفحه و بار در نمونه ۱۱۰۰-۴ ۱۰۶
- نمودار (۴-۲۳) - پوش بارگذاری نمونه ۱۱۰۰-۴ ۱۷۱
- نمودار (۴-۲۴) - چرخه‌های بارگذاری نمونه ۱۱۰۰-۴ ۱۰۷
- نمودار (۴-۲۵) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار نمونه ۱۱۰۰-۴ ۱۷۱
- نمودار (۴-۲۶) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل داخل صفحه در نمونه ۱۱۰۰-۱ ۱۷۲
- نمودار (۴-۲۷) - چرخه‌های بارگذاری نمونه ۱۱۰۰-۵ ۱۱۰
- نمودار (۴-۲۸) - پوش بارگذاری نمونه ۱۱۰۰-۵ ۱۷۲
- نمودار (۴-۲۹) - تغییر مکان خارج از صفحه و بار در نمونه ۱۱۰۰-۵ ۱۱۲
- نمودار (۴-۳۰) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار نمونه ۱۱۰۰-۵ ۱۷۲
- نمودار (۴-۳۱) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل داخل صفحه در نمونه ۱۱۰۰-۱ ۱۷۳
- نمودار (۴-۳۲) - چرخه‌های بارگذاری نمونه ۱۱۰۰-۶ ۱۱۶
- نمودار (۴-۳۳) - پوش بارگذاری نمونه ۱۱۰۰-۶ ۱۷۳
- نمودار (۴-۳۴) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل بار نمونه ۱۱۰۰-۶ ۱۷۳
- نمودار (۴-۳۵) - تغییر مکان خارج از صفحه در مقابل داخل صفحه در نمونه ۱۱۰۰-۱ ۱۷۴
- نمودار (۴-۳۶) - تغییر مکان خارج از صفحه و بار در نمونه ۱۱۰۰-۶ ۱۱۸
- نمودار (۴-۳۷) - چرخه‌های بارگذاری در قاب آزمایش شده ۱۲۰
- نمودار (۴-۳۸) - پوش بارگذاری قاب بدون مهاربند ۱۲۱
- نمودار (۴-۳۹) - پوش بارگذاری تمام آزمایش‌ها ۱۲۲
- نمودار (۴-۴۰) - نمودار پوش نمونه ۱۱۰۰-۱ به صورت جفت متقارن ۱۲۳
- نمودار (۴-۴۱) - نمودار پوش نمونه ۱۶۰۰ به صورت جفت متقارن ۱۲۴
- نمودار (۵-۱) - مقایسه نمودار پوش بارگذاری آزمایش و تحلیل در مدل ۱۶۰۰ ۱۲۴
- نمودار (۵-۲) - مقایسه نمودار پوش بارگذاری آزمایش و تحلیل در مدل ۱۱۰۰-۱ ۱۲۴
- نمودار (۵-۳) - مقایسه نمودار پوش بارگذاری آزمایش و تحلیل در مدل ۱۱۰۰ تقویت شده ۱۲۴
- نمودار (۵-۴) - مقایسه نمودار پوش بارگذاری آزمایش و تحلیل در مدل ۱۱۰۰-۵ ۱۲۴
- نمودار (۵-۵) - مقایسه نمودار پوش بارگذاری آزمایش و تحلیل در مدل ۱۱۰۰-۶ ۱۲۴
- نمودار (۵-۶) - مقایسه نمودار پوش بارگذاری آزمایش و تحلیل در قاب بدون مهاربند ۱۲۴

فصل اول

مقدمه

یکی از راههای تأمین ایستایی سازه‌ها در برابر بارهای جانبی استفاده از مهاربندی^۱ می‌باشد. با مهاربندی کردن قابهای سازه‌ای و افزایش سختی جانبی، می‌توان تغییر مکان نسبی طبقات را که از موارد مهم کنترل کننده طراحی می‌باشد، در حد مجاز آئین‌نامه‌ای تأمین نمود.

در قابهای مهاربندی شده، تیرها و ستونهای غیر متصل به مهاربندی بار ثقلی سازه را تحمل می‌کنند و وظیفه تحمل بارهای جانبی به عهده سیستم مهاربندی شامل مهاربندها، تیرها و ستونهای متصل به آنها گذاشته می‌شود. البته در سیستمهای ترکیبی یا دوگانه^۲ علاوه بر مهاربندها، تمامی اعضای قابهای خمشی نیز در تحمل بارهای جانبی مؤثرند.

از عوامل تعیین کننده در انتخاب نوع و میزان استفاده از سیستم مهاربندی در سازه، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱]:

۱- مقدار برش پایه در ساختمان که معلول وزن سازه، مقدار خطر نسبی زلزله در منطقه، نوع

خاک در ساختگاه، مقدار میرایی سازه و ... می‌باشد.

۲- میزان سختی سازه و نیز شکل‌پذیری^۳ مورد نیاز.

۳- طرح معماری سازه که عبارتست از مکانیابی قرارگیری بازشوها^۴، میزان فضای مورد نیاز

اتاقها، تأمین نور کافی، ارتفاع طبقات، کاربری هر یک از طبقات و غیره.

۴- تغییر مکان نسبی طبقات^۵ و نیز تغییر مکان کلی تراز بام در اثر بارهای جانبی شامل بار باد

و بار زلزله.

1- Bracing
2- Dual System
3- Ductility
4- Opening
5- Story Drift