پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- مهندسی زلزله

کنترل پیچش سازه نامتقارن با استفاده از میراگرهای اصطکاکی

دانشجو

جمال الدین برزویی

استاد راهنما

دکتر عبدالرضا سروقدمقدم

۱۳۸۲

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به:

روح پدرم مهندس داریوش برزویی که عشق و علاقه به تلاش و کوشش و عمران و سازندگی را از کودکی درون من نهاد و پر کشید.

تقدیم به:

مادرم که هر چه دارم از اوست.

با تشکر فراوان از استاد ارجمند و عزیز جناب آقای دکتر سروقدمقدم که همواره الگویی مناسب از تلاش بـرای دانشجویان بوده و از او درس پشتکار را آموختیم و بدون شک این پایان نامه نتیجه زحمت ها و راهنمایی هـای ایشان بوده است. از دوست عزیز جناب آقای مهندس منصوری که همواره با صبر و بردباری مرا در ایـن مطالعـه همراهی کرده، نهایت تشکر را دارم.

اعضاء هیئت داوران:

استاد راهنما: دکتر عبدالرضا سروقدمقدم **امضاء**

استاد مشاور :- **امضاء**

استاد مدعو (خارجی): دکتر قناد **امضاء**

استاد مدعو(داخلی): دکتر امید بهار **امضاء**

مدیرتحصیلات تکمیلی: دکتر زعفرانی **امضاء**

چکیده

زلزله های گذشته نشانگر آسیب پذیری زیاد سازه های نامتقارن در بارهای زلزله می باشند. آیین نامه ها راهکارهایی را برای طراحی سازه های نامتقارن ارائه داده اند ولی تخریب سازه های طراحی شده بر اساس آیین نامه در زلزله های گذشته و همچنین تحقیقات متعدد انجام شده در زمینه ضوابط کنترل پیچش در آیین نامه ها حاکی از نیاز به بهبود این ضوابط برای عملکرد مناسب تر سازه نامتقارن در زلزله ها دارد. استفاده از روش های نوین برای کنترل پیچش سازه نامتقارن می تواند در این رابطه مفید واقع گردد. یکی از تجهیزاتی که در دهه اخیر کاربرد فراوانی را در زمینه کنترل پاسخ سازه داشته است میراگرهای اصطکاکی می باشد. میراگرهای اصطکاکی به دلیل اثر همزمان استهلاک انرژی و سختی حاصل از مهاربند متصل به میراگر گزینه ای مناسب برای کنترل پیچش در سازه نامتقارن می باشد. پارامترهای موثر در کنترل پیچش سازه نامتقارن عبارتند از: بار لغزشی میراگرهای اصطکاکی- مرکز بار لغزشی میراگرهای اصطاکی- چیدمان میراگرهای اصطکاکی- مهاربند متصل به میراگرهای اصطکاکی- نوع خروج از مرکزیت سازه نامتقارن(سختی- جرمی- دو طرفه)- مقدار خروج از مرکزیت دو طرفه و نسبت فرکانس پیچشی به جانبی سازه نامتقارن.

هدف از این مطالعه رسیدن به تعادل پیچشی ضعیف (تغییر مکان یکسان دو لبه) و تعادل پیچشی قوی (حداقل دوران مرکز سطح) می باشد. برای این منظور سازه نامتقارن با خروج از مرکزیت سختی و مقاومت و جرم در یک راستا و سازه با خروج از مرکزیت دو طرفه و سازه نامتقارن با مقادیر مختلف نسبت فرکانس پیچشی به جانبی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای ارزیابی رسیدن به تعادل پیچشی تحلیل تاریخچه زمانی توسط برنامه OpenSees برای سازه نامتقارن مجهز به میراگرهای اصطکاکی با مقادیر مختلف بار لغزشی، خروج از مرکزیت بار لغزشی، نسبت سختی مهاربند متصل به میراگر به قاب چیدمان مختلف میراگرهای اصطکاکی، مقادیر مختلف شدت زلزله با فرض توزیع خطی بار لغزشی بین میراگرهای اصطکاکی تحت هفت شتابنگاشت انجام شده است و پارامترهای بهینه و روال تغییرات پارامترهای بهینه اثرگذار در کنترل پیچش سازه نامتقارن ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی

تعادل پیچشی- ساختمان نامتقارن- میراگر اصطکاکی- خروج از مرکزیت سختی- خروج از مرکزیت جرمی- فرکانس پیچشی به جانبی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱ تعاریف اولیه، اصول تئوری ومروری بر مطالعات گذشته ۱
۱-۱.فرضیات اصلی تحقیق ۲
۱-۲.بررسی مطالعات گذشته در زمینه کنترل پیچش سازه های نامتقارن ۲
۱-۳.بررسی رفتار و معادلات میرایی در سازه ها ۸
۱-۴.سیستم های کنترل کننده سازه ۱۱
۱-۵.انواع میراگره....ا ۱۲
۱-۶.مشخصات میراگرهای اصطکاکی ۱۵
فصل ۲ مدلسازی و شتابنگاشت های مورد استفاده ۲۰
۲-۱.مدل های تحلیلی ۲۱
۲-۲.مدلسازی ۲۹
۲-۳.مدلسازی میراگر اصطکاکی ۳۲
۲-۴.مشخصات رکورد زلزله های مورد استفاده ۳۵
۲-۵.روند بررسی تعادل پیچش سازه نامتقارن در این مطالعه ۳۷
۲-۶.شاخص های پاسخ ۳۸
فصل ۳ کنترل پیچش سازه با خروج از مرکزیت سختی با استفاده از میراگرهای اصطکاکی ۴۰
۳-۱.مقدمه ۴۱
۳-۲.کنترل پیچش سازه با خروج از مرکزیت سختی بدون در نظر گرفتن سختی مهاربند ۴۱
۳-۲-۲.مدل کردن میراگر اصطکاکی در مهاربند صلب ۴۵
۳-۳.کنترل پیچش سازه با خروج از مرکزیت سختی و مقاومت با در نظر گرفتن اثر مهاربندها ۴۸
فصل ۴ کنترل پیچش سازه با خروج از مرکزیت جرمی با استفاده از میراگرهای اصطکاکی ۷۷
۴-۱.مقدمه ۷۸
۴-۲.ایجاد خروج از مرکزیت جرمی ۷۸
۴-۳.تعیین ممان اینرسی جرمی پلان ۷۹
۴-۴.نتایج تحلیل ۸۱
۴-۵.نتایج ۹۳
فصل ۵ خروج از مرکزیت دو طرفه استفاده ۹۴
۵-۱.مقدمه ۹۵
۵-۲.کنترل پیچش سازه با خروج از مرکزیت دو طرفه و میراگر اصطکاکی در یک راستا ۹۵
۵-۳.مقایسه ۱۱۱
۵-۴.نتایج ۱۱۴
فصل ۶..اثر تغییر نسبت فرکانس پیچشی به جانبی برای به دست آوردن تعادل پیچشی در سازه نامتفارن با استفاده از میراگرهای اصطکاکی استفاده ۱۱۶
۶-۱.مقدمه ۱۱۷

۶-۲.نتایج تحلیل..... ۱۱۸
۶-۳.نتایج..... ۱۳۵
فصل ۷ جمع بندی و نتیجه گیری استفاده..... ۱۳۶
۷-۱.مقدمه..... ۱۳۷
۷-۲.کنترل پیچش سازه با خروج از مرکزیت سختی – جرمی- مقاومت با استفاده از میراگرهای اصطکاکی..... ۱۳۸
۷-۳.کنترل پیچش سازه با خروج از مرکزیت دو طرفه با استفاده از میراگرهای اصطکاکی ۱۴۰
۷-۴.اثر تغییر نسبت فرکانس پیچشی به جانبی برای به دست آوردن تعادل پیچشی در سازه نامتفارن با استفاده از میراگرهای اصطکاکی..... ۱۴۲
فصل ۸ پیشنهادات برای مطالعات بعدی استفاده..... ۱۴۳

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۱-۱: پاسخ سه سیستم ($\zeta = 0.01 - 0.05 - 0.1$) به ارتعاش توسط نیروی سینوسی با فرکانسω_n ۹
شکل ۱-۲: تخمین ضریب میرایی با استفاده از نمودار فرکانس- پاسخ ۱۰
شکل ۱-۳ : نمودار نیرو-جابه جایی ۱۰
شکل ۱-۴: سیستم یک درجه آزاد با اصطکاک کلومب ۱۱
شکل ۱-۵: نمودار هیسترزیس برای اصطکاک کلومب ۱۱
شکل ۱-۶: نمودار هیسترزیس برای میراگر ویسکو الاستیک ۱۲
شکل ۱-۷: نمودار هیسترزیس میراگر ویسکوز ۱۳
شکل ۱-۸: میراگر اصطکاکی پال [۳۸] ۱۴
شکل ۱-۹: جزئیات اتصالات پیچ و حفره[۳۹] ۱۴
شکل ۱-۱۰: جزئیات میراگر اصطکاکی پیچشی [۴۱] ۱۵
شکل ۱-۱۱: نمودار هیسترزیس انواع میراگرها[۳۸] ۱۶
شکل ۱-۱۲: دیافراگم سازه همراه با مدلسازی عناصر مقاوم جانبی [۲] ۱۷
شکل ۱-۱۳: دو مد اول یک سازه نامتقارن [۴۲] ۱۹
شکل ۲-۱: پلان سازه مورد مطالعه ۲۱
شکل ۲-۲: منحنی ساده شده نیرو- تغییر مکان ۲۳
شکل ۲-۳: پلان سازه نامتقارن ۲۶
شکل ۲-۴: نمودار نیرو – تغییر مکان برای قاب های در راستای محور A, B ۲۶
شکل ۲-۵: نمودار نیرو – تغییر مکان برای قاب های در راستای محور C,D ۲۷
شکل ۲-۶: منحنی هیسترتیکی ماده Steel 01 درحالت بدون سخت شوندگی و سخت شونده ۲۹
شکل ۲-۷: مقاطع تیر و ستون در مدل مورد مطالعه ۳۰
شکل ۲-۸: تجمیع مصالح از پیش تعریف شده برای تعریف مقطع جدید ۳۱
شکل ۲-۹: تجمیع مصالح و مقطع از پیش تعریف شده برای تعریف مقطع جدید ۳۱
شکل ۲-۱۰: نحوه ی مدلسازی المان مجموع مهاربند و میراگر اصطکاکی ۳۲
شکل ۲-۱۱: نمودار نیرو- تغییر مکان برای مصالح هیسترتیکی ۳۳
شکل ۲-۱۲: نمودار نیرو- تغییر مکان برای مصالح هیسترتیکی در مدل مورد مطالعه ۳۳
شکل ۲-۱۳: توزیع بار لغزشی بین میراگرهای اصطکاکی بر اساس خروج از مرکزیت بار لغزشی ۳۴
شکل ۲-۱۴: طیف پاسخ شتابنگاشت های ۱-۷ ..... ۳۶
شکل ۲-۱۵: طیف میانگین پاسخ هفت شتابنگاشت ۳۷
شکل ۳-۱: پلان سازه مورد مطالعه ۴۲
شکل ۳-۲: منحنی های دوران مرکز جرم- بار لغزشی در مدل های ۲-۷ ..... ۴۳
شکل ۳-۳: اختلاف تغییر مکان دو لبه-بار لغزشی در مدل های ۲-۷ ..... ۴۳

شکل ۳-۴: مکان یابی میراگرهای اصطکاکی در مدل های ۲-۷ (برای تعا دل پیچشی قوی) ۴۴
شکل ۳-۵: مکان یابی میراگرهای اصطکاکی در مدل های ۲-۷ (برای تعدل پیچشی ضعیف) ۴۴
شکل ۳-۶: نمودار نیرو- تغییر مکان برای مصالح هیسترتیکی در حالت میراگر متصل به مهاربند صلب ۴۵
شکل ۳-۷: دوران-بار لغزشی در مدل های ۲-۷ (تعادل پیچشی قوی) ۴۶
شکل ۳-۸: اختلاف تغییر مکان دو لبه- بار لغزشی در مدل های ۲-۷ (تعادل پیچشی ضعیف) ۴۶
شکل ۳-۹: مکان یابی میراگرهای اصطکاکی در مدل های ۲-۷ (برای تعادل پیچشی قوی) ۴۷
شکل ۳-۱۰: مکان یابی میراگرهای اصطکاکی در مدل های ۲-۷ (برای تعادل پیچشی ضعیف) ۴۷
شکل ۳-۱۱: پاسخ سازه به ازای بارهای لغزشی مختلف به تفکیک مدل های ۱-۷ (برای تعادل پیچشی ضعیف) ۵۲
شکل ۳-۱۲: پاسخ سازه به ازای مدل های ۲-۷ به تفکیک بارهای لغزشی ۰/۵ تن تا ۴۰ تن (برای تعادل پیچشی ضعیف) ۵۵
شکل ۳-۱۳: بار لغزشی بهینه برای خروج از مرکزیت های مختلف سختی و مقاومت بر اساس RATIO1 (تعادل پیچشی ضعیف) ۵۶
شکل ۳-۱۴: خروج از مرکزیت بهینه بار لغزشی به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی برای مدل شماره ۲-۷ (تعادل پیچشی ضعیف) ۵۶
شکل ۳-۱۵: نمودار بار لغزشی- استهلاک انرژی ۵۷
شکل ۳-۱۶: نمودار بار لغزشی-پاسخ ۵۸
شکل ۳-۱۷: نمودار بار لغزشی-پاسخ برای مدل ۲ و ۳ و ۴ ..... ۵۸
شکل ۳-۱۸: نمودار بار لغزشی-پاسخ برای مدل ۵ و ۶ و ۷ ..... ۵۹
شکل ۳-۱۹: نسبت بهینه R1 به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی در مدل های ۲-۷ (تعادل پیچشی ضعیف) ۶۰
شکل ۳-۲۰ :نسبت بهینه R2 به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی در مدل های ۲-۷ (تعادل پیچشی ضعیف) ۶۰
شکل ۳-۲۱: پاسخ سازه به ازای بارهای لغزشی مختلف به تفکیک مدل های ۱-۷ (برای تعادل پیچشی قوی) ۶۵
شکل ۳-۲۲: بهینه ترین پاسخ سازه به ازای مدل های ۲-۷ به تفکیک برای بارهای لغزشی ۰/۵ تن تا ۴۰ تن (برای تعادل پیچشی قوی) ۶۷
شکل ۳-۲۳: بار لغزشی بهینه برای خروج از مرکزیت های مختلف سختی و مقاومت بر اساس RATIO 2 (تعادل پیچشی قوی) ۶۷
شکل ۳-۲۴: بار لغزشی بهینه برای خروج از مرکزیت های مختلف سختی و مقاومت (تعادل پیچشی قوی) ۶۸
شکل ۳-۲۵: نسبت بهینه R1 به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی در مدل های ۲-۷ (تعادل پیچشی قوی) ۶۸
شکل ۳-۲۶: نسبت بهینه R2 به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی در مدل های ۲-۷ (تعادل پیچشی قوی) ۶۹
شکل ۳-۲۷: پاسخ سازه به ازای مقادیر مختلف نسبت سختی مهاربند به قاب در مدل های ۲-۷ به تفکیک خروج از مرکزیت سختی و مقاومت (تعادل پیچشی ضعیف) ۷۱
شکل ۳-۲۸: پاسخ سازه به ازای مقادیر مختلف نسبت سختی مهاربند به قاب در مدل های ۲-۷ به تفکیک شدت زلزله (تعادل پیچشی ضعیف) ۷۲
شکل ۳-۲۹: پاسخ سازه به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی به ازای شدت زلزله های مختلف برای نسبت سختی مهاربند به قاب ۶ در مدل های ۲-۷ (تعادل پیچشی ضعیف) ۷۳
شکل ۳-۳۰: پاسخ سازه به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی به ازای شدت زلزله های مختلف برای نسبت سختی مهاربند به قاب ۶ در مدل های ۲-۷ (تعادل پیچشی قوی) ۷۴
شکل ۳-۳۱: پاسخ سازه به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی برای نسبت سختی مهاربند به قاب ۳-۷ به تفکیک شدت زلزله در مدل شماره ۶ (تعادل پیچشی ضعیف) ۷۵

شکل ۳-۳۲:: پاسخ سازه به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی برای نسبت سختی مهاربند به قاب ۳-۷ به تفکیک شدت زلزله در مدل شماره ۶ (تعادل پیچشی قوی)..... ۷۵
شکل ۴-۱: پلان سازه با خروج از مرکزیت جرمی..... ۷۸
شکل ۴-۲: منحنی تغییراتI_{CM} بر حسبe_m به ازای مقادیر مختلفλ..... ۸۰
شکل ۴-۳: دوران مرکز سطح سازه به ازای بارهای لغزشی و خرو ج از مرکزیت های مختلف بار لغزشی به تفکیک خروج از مرکزیت جرم و نسبت سختی مهاربند به قاب ۲و۴..... ۸۶
شکل ۴-۴: نمودار بار لغزشی بهینه برای تعادل پیچشی قوی و ضعیف برای مدل های ۱-۵ به ازای نسبت سختی مهاربند به قاب۴،۳،۲..... ۸۸
شکل ۴-۵: نمودار نسبت سختی مهاربند به قاب بهینه برای تعادل پیچشی قوی و ضعیف برای مدل های ۱-۵..... ۸۹
شکل ۴-۶:نمودار مرکز بهینه بار لغزشی به ازای نسبت سختی مهاربند به قاب(۴،۳،۲) برای مدل های ۱-۵ برای تعادل پیچشی قوی و ضعیف..... ۸۹
شکل ۴-۷: مقادیر بهینه شاخص R1,R2 به ازای نسبت سختی مهاربند به قاب(۴،۳،۲) برای مدل های ۱-۵ برای تعادل پیچشی قوی..... ۹۱
شکل ۴-۸: بهینه ترین پاسخ سازه به ازای بارهای لغزشی مختلف برای مدل شماره ۲..... ۹۲
شکل ۵-۱: پلان سازه با خروج از مرکزیت دو طرفه و میراگر اصطکاکی در یک جهت..... ۹۵
شکل ۵-۲: دوران مرکز هندسی دیافراگم به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی برای خروج از مرکزیت دو طرفه..... ۹۸
شکل ۵-۳: دوران مرکز هندسی دیافراگم به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی برای خروج از مرکزیت دو طرفه..... ۱۰۰
شکل ۵-۴: بهینه ترین پاسخ سازه (دوران مرکز هندسی دیافراگم) به ازای مقادیر مختلف خروج از مرکزیت دو طرفه با استفاده از میراگرهای اصطکاکی..... ۱۰۱
شکل ۵-۵: بهینه ترین پاسخ سازه (دوران مرکز هندسی دیافراگم) با مقادیر مختلف خروج از مرکزیت دو طرفه با استفاده از میراگرهای اصطکاکی نسبت به سازه بدون میراگر اصطکاکی..... ۱۰۲
شکل ۵-۶: بهینه ترین پاسخ سازه (دوران مرکز هندسی دیافراگم)با خروج از مرکزیت emy=5% به ازای مقادی مختلف خروج از مرکزیت در جهت X با استفاده از میراگرهای اصطکاکی نسبت به سازه بدون میراگر اصطکاکی..... ۱۰۳
شکل ۵-۷: مرکز بهینه بار لغزشی برای مقادیر مختلف بار لغزشی برای خروج از مرکزیت دو طرفه (به تفکیک خروج از مرکزیت در جهت Y)..... ۱۰۴
شکل ۵-۸: دوران مرکز سطح سازه به ازای بارهای لغزشی و خرو ج از مرکزیت های مختلف بار لغزشی به تفکیک خروج از مرکزیت جرم و سختی..... ۱۰۶
شکل ۵-۹: نسبت بهینه R1 به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی به ازای خروج از مرکزیت ثابت در راستای X به ازای مقادیر مختلف خروج از مرکزیت در راستای Y..... ۱۰۷
شکل ۵-۱۰: نسبت بهینه R1 به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی به ازای خروج از مرکزیت ثابت در راستای Y به ازای مقادیر مختلف خروج از مرکزیت در راستای X..... ۱۰۸
شکل ۵-۱۱:نسبت بهینه R2 به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی به ازای خروج از مرکزیت ثابت در راستای X به ازای مقادیر مختلف خروج از مرکزیت در راستای Y..... ۱۰۹
شکل ۵-۱۲: نسبت بهینه R2 به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی به ازای خروج از مرکزیت ثابت در راستای Y به ازای مقادیر مختلف خروج از مرکزیت در راستای X..... ۱۱۰
شکل ۵-۱۳: بهینه ترین پاسخ سازه (دوران مرکز هندسی دیافراگم) به ازای مقادیر مختلف خروج از مرکزیت دو طرفه با استفاده از میراگرهای اصطکاکی در دو راستا نسبت به سازه بدون میراگر اصطکاکی..... ۱۱۱

شکل ۵-۱۴: مقایسه مقادیر شاخص RATIO 2 به ازای مقادیر مختلف خروج از مرکزیت دو طرفه بین سازه مجهز به میراگر اصطکاکی در یک راستا و دو راستا ۱۱۲
شکل ۵-۱۵: مقایسه مقادیر شاخص RATIO 2 به ازای مقادیر مختلف خروج از مرکزیت دو طرفه بین سازه مجهز به میراگر اصطکاکی در یک راستا و سازه مجهز به میراگر اصطکاکی در یک راستا و مهاربند در جهت عمود ۱۱۳
شکل ۶-۱: ممان اینرسی جرمی بر حسب خروج از مرکزیت جرمی به ازای مقادیر مختلف نسبت فرکانس ۱۱۸
شکل ۶-۲: پاسخ سازه به ازای خروج از مرکزیت جرمی (۰٪، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪، ۲۵٪) به ازای مقادیر بار لغزشی مختلف به تفکیک $\Omega = 0.5,0.6,1.4,1.5$ ۱۱۹
شکل ۶-۳: پاسخ سازه به ازای مقادیر مختلف Ω به ازای مقادیر بار لغزشی مختلف به تفکیک خروج از مرکزیت جرمی (۰٪، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪، ۲۵٪) ۱۲۲
شکل ۶-۴: پاسخ بهینه به ازای مقادیر مختلف نسبت فرکانس و خروج از مرکزیت ۱۲۳
شکل ۶-۵: مرکز بهینه بار لغزشی به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی– خروج از مرکزیت به تفکیک نسبت فرکانس ۱۲۵
شکل ۶-۶: پاسخ سازه به ازای خروج از مرکزیت جرمی (۰٪، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪، ۲۵٪) به ازای مقادیر بار لغزشی مختلف به تفکیک $\Omega = 0.5,0.6,1.4,1.5$ ۱۲۷
شکل ۶-۷: پاسخ سازه به ازای مقادیر مختلف Ω به ازای مقادیر بار لغزشی مختلف به تفکیک خروج از مرکزیت جرمی (۰٪، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪، ۲۵٪) ۱۲۹
شکل ۶-۸: پاسخ بهینه به ازای مقادیر مختلف نسبت فرکانس و خروج از مرکزیت ۱۳۱
شکل ۶-۹: مرکز بهینه بار لغزشی به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی– خروج از مرکزیت به تفکیک نسبت فرکانس ۱۳۲
شکل ۶-۱۰: مرکز بهینه بار لغزشی به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی– خروج از مرکزیت به تفکیک خروج از مرکزیت ۱۳۴
شکل ۷-۱: نمودار بار لغزشی-پاسخ برای سازه با خروج از مرکزیت کم ۱۳۸
شکل ۷-۲: نمودار بار لغزشی-پاسخ برای سازه با خروج از مرکزیت زیاد ۱۳۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: ضریب B بر اساس ضریب میرایی ۲۲
جدول ۲-۲: مقدار ضریب C_0 ..... ۲۴
جدول ۲-۳: مقادیر ضریب C_2 ..... ۲۵
جدول ۲-۴: مشخصات مدل های ۱تا ۷ ..... ۲۸
جدول ۲-۵: مقاطع تیرها و ستون ها (مدل ۱- ۷) ۲۸
جدول ۲-۶: مشخصات زلزله های مورد استفاده در تحلیل تاریخچه زمانی ۳۵
جدول ۳-۱: مقادیر برای طراحی سیستم میراگر در یک سازه نامتقارن ۷۰
جدول ۴-۱: مشخصات مدل های ۱تا ۵ ..... ۸۱
جدول ۵-۱: مشخصات زلزله های دو جهته مورد استفاده در تحلیل تاریخچه زمانی ۹۶
جدول ۶-۱: بار لغزشی بهینه به ازای خروج از مرکزیت های مختلف در سازه نرم و سخت پیچشی ۱۳۰

مقدمه

نتایج حاصل از زلزله های گذشته آسیب پذیری ساختمان های نامتقارن تحت بارهای زلزله را نشان داده است. بررسی هایی که پس از زلزله ۱۹۸۵ مکزیک انجام شده است نشان داده است که ۵۰٪ خرابی ها به طور مستقیم و یا غیر مستقیم در نتیجه عدم تقارن سازه از نظر مقاومت، سختی، جرم می باشد.[۱] ملاحظات معماری و عدم تقارن در توزیع اعضای اصلی و غیر اصلی و همچنین عدم در نظر نگرفتن اثر اعضای تاثیر گذار در سختی سازه مانند میانقاب ها از عوامل اصلی خروج از مرکزیت سختی می باشند. علاوه بر ملاحظات معماری، توزیع نامتقارن بارهای مرده و زنده نیز از عوامل اصلی خروج از مرکزیت جرمی می باشد.

با توجه به ارتباط مستقیم میزان خسارت و عملکرد سازه با تغییر شکل در ساختمان های شکل پذیر، روش های طراحی بر اساس تغییر مکان به عنوان ابزار اصلی طراحی بر اساس عملکرد مطرح می باشند اما با مطالعه این روش ها مشخص می باشد که پس از تعیین تغییر شکل مجاز سازه و تعیین نیروهای جانبی وارد بر سازه و تعیین نیروهای جانبی وارد بر سازه بر اساس تغییر شکل این روش ها عموماً همچنان از دستورهای روش های طراحی بر اساس نیرو برای توزیع نیرو در طبقات و بین المان های جانبی استفاده می کنند. این در حالی است که این دستورات بر اساس رفتار خطی سازه بنا نهاده شده است و ثانیا فرض اصلی آن ها مشخص بودن نحوه توزیع سختی بر اساس هندسه اعضا می باشد. اما بسیاری از اعضا که امروزه در ساختمان ها و سازه ها به کار می رود سختی المان تابع مقاومت می باشد و در روال طراحی دستخوش تغییر می شوند. این امر سبب کاهش کارایی دستورات فعلی آیین نامه ها و کاهش همگرایی سیکل های طراحی سازه ها می گردد. [۱]

جمال‌الدین برزویی

فصل اول

تعاریف اولیه، اصول تئوری

و

مروری بر مطالعات گذشته

۱–۱. فرضیات اصلی تحقیق

مطالعه انجام گرفته به منظور بررسی کنترل پیچش سازه نامتقارن با استفاده از میراگرهای اصطکاکی بر اساس فرضیات اصلی زیر می باشد:

۱- سازه به صورت یک طبقه و با دیافراگم صلب می باشد.

۲- از تاثیر مولفه های دورانی حرکت زمین و مولفه قائم زلزله صرفنظر شده است.

۳- توزیع بار لغزشی میراگرهای اصطکاکی به صورت خطی می باشد.

۴- حداکثر بار لغزشی میراگر اصطکاکی ۱۵٪ (به دلیل تاثیر عوامل محیطی) کمتر از نیروی لازم برای کمانش مهاربند انتخاب شده است. بنابر این قبل از کمانش مهاربند لغزش رخ می دهد.

۵- شتابنگاشتها از نوع حوزه دور هستند.

۶- اعضاء باربر جانبی در محدوده ظرفیت شکل پذیری دارای رفتار چرخه ای پایدار باشند.

۷- از عدم قطعیت در توزیع سختی و مقاومت صرف نظر شده و چنین فرض می شود که اثرات این موارد با تشدید لنگر پیچشی طراحی با خروج از مرکزیت اتفاقی آیین نامه قابل تخمین است.

۱–۲. بررسی مطالعات گذشته در زمینه کنترل پیچش سازه های نامتقارن

در این قسمت نخست خلاصه ای از مطالعات کلی در زمینه پیچش سازه های نامتقارن ارائه شده و سپس مطالعاتی که در زمینه کنترل پیچش با استفاده از تجهیزات کنترلی نظیر میراگر می باشد با تفصیل بیشتری ارائه می شود.

۱–۲–۱. مروری بر مطالعات عمومی بر روی پیچش سازه های نامتقارن

بررسی مطالعات انجام شده در زمینه سازه نامتقارن نشان از روند کند پیشرفت در زمینه فهم عملکرد سازه نامتقارن به ویژه در حالت غیر خطی تحت بارگذاری زلزله دارد. علت را می توان در وابستگی پاسخ های زلزله به پارامترهای مختلف و شکل مدل های مورد بررسی و فرضیات اولیه جستجو کرد. در حالت غیر خطی علاوه بر پارامترهای موثر در عملکرد سازه نامتقارن در حالت خطی نظیر سختی المان ها، نسبت فرکانس پیچشی به جانبی، خروج از مرکزیت جرمی، میرایی و.. عواملی مانند مقاومت اعضای سازه، شکل مدل هیسترزیس و محل قرارگیری آن ها در عملکرد سازه نامتقارن تحت زلزله موثر می باشد.

مسئله مهم در بررسی سازه های نامتقارن تعمیم نتایج به دست آمده برای سازه یک طبقه به سازه چند طبقه می باشد که با توجه به پیچیده بودن عملکرد سازه نامتقارن و دخیل بودن پارامترهای مختلف در پاسخ سازه چند طبقه اکثر قریب به اتفاق محققان از مدل های یک طبقه برای بررسی عملکرد پیچشی سازه های نامتقارن استفاده کرده اند. بر اساس بررسی های *Chopra and Delalera* (۱۹۹۶) نتایج سازه یک طبقه نامتقارن قابل تعمیم به سازه های چند طبقه منظم در ارتفاع با محل قرارگیری مشابه مراکز می باشد. *[۳]*

در اواخر دهه ۱۹۵۰ بوسیله کارهای *Housner & Outien (Rutenberg and De stefano 1997)* نشان داده شد که در روش آنالیز استاتیکی که در آن نیروهای لرزه ای به شکل بارهای ثابت در مرکز جرم طبقات سازه قرار داده می شوند. حداکثر

نیروها برای طراحی ساختمان های نامتقارن متداول با خروج از مرکزیت سختی به میزان قابل توجهی دست پایین می باشد. همچنین آن ها نشان دادند که روش استاتیکی معادل که متداول ترین روش طراحی در بین مهندسین می باشد با افزایش خروج از مرکزیت دقت و اعتبار خود را از دست می دهد. *[۴]* اما مدت زمانی بعد این روش ها به وسیله *Rosenblueth* و همکارانش *(Bustamante & Rosenblueth 1960)* اصلاح شدند. آن ها دو مفهوم ضریب تشدید دینامیکی و خروج از مرکزیت دینامیکی و خروج از مرکزیت استاتیکی (فاصله مرکز جرم از مرکز سختی) را معرفی کردند. خروج از مرکزیت دینامیکی برابر با نسبت لنگر پیچشی به برش پایه سازه تعریف شد. با کالیبراسیون نتایج آنالیزهای استاتیکی با آنالیزهای دینامیکی به ویژه آنالیزهای دینامیکی طیفی میزان خروج از مرکزیت طراحی برای سمت نرم سازه افزایش و برای سمت سخت کاهش داده شد. *[۵]*

Housner & Outinen در سال ۱۹۹۰ با استفاده از آنالیز دینامیکی به مقایسه حداکثر تنش در سازه های متقارن و نامتقارن پرداختند سپس این تنش ها با تنش های حاصل از روش استاتیکی معادل آیین نامه ها مورد مقایسه قرار گرفت. آن ها نتیجه گرفتند که حداکثر تنش در روش استاتیکی معادل کمتر از مقدار واقعی آن محاسبه می شود و به میزان قابل توجهی بستگی به سختی نسبی المان های باربر جانبی دارد.*[۶]*

Tso & Zhu در سال ۱۹۹۲ به بررسی تحلیلی نحوه توزیع مقاومت در بین عناصر باربر جانبی در سیستم هایی می پردازند که بر اساس آیین نامه های لرزه ای سازه های متقارن طراحی شده و مقاومت آن با ضریب افزایش مقاومت تشدید شده است. ضریب مقاومت به کار رفته در این روش به فاصله المان های جانبی از مرکز سختی، سختی پیچشی سازه و خروج از مرکیت سازه بستگی دارد.همچنین در این مطالعه تاثیر این ضرایب بر چگونگی توزیع مقاومت المان ها و برتری های این روش طراحی نسبت به آیین نامه ملی کانادا ارائه شدند.*[۶]*

Goel در سال ۱۹۹۲ به بررسی کارایی ضوابط پیچشی در آیین نامه ها پرداختند برای این منظور آن ها از سازه یک طبقه استفاده کردند و شکل پذیری نیاز و میزان تغییر شکل را در دو حالت متقارن و نامتقارن مورد مقایسه قرار دادند. آن ها نتیجه گرفتند که برای به دست آوردن توزیع شکل پذیری مناسب در سازه می بایست خروج از مرکزیت طراحی آیین نامه ها بر اساس ضریب رفتار *R* اصلاح شود.*[۸]*

De stefano, Faella & Ramasco در سال ۱۹۹۲ طیف پاسخ غیر خطی برای سیستم های نامتقارن ارائه کردند. این طیف پاسخ بر مبنای آنالیز سازه دو درجه آزادی با خروج از مرکزیت و با اعمال حداثر شکل پذیری مورد انتظار محاسبه شد. *[۹]*

Tom Paulay (1997) به بررسی رفتار پیچشی ساختمان های یک طبقه شکل پذیر با استفاده از تحلیل مکانیسم آن ها در حد نهایی پرداخته است. او روش فعلی آیین نامه ها که مبتنی بر بررسی اثرات پیچشی به وسیله آنالیزهای خطی می باشد را نامناسب دانسته است. *[۱۱و۱۰]*

Humar & Kumar در سال ۲۰۰۴ به وسیله مدل یک طبقه نامتقارن در یک جهت با سه المان نامتقارن و دو المان در جهت دیگر به ارزیابی آیین نامه های NSZ4203-1992 NBCC1995, UBC1997, NEHRP1997 و آیین نامه مکزیک پرداختند. آن ها نتیجه گرفتند که دستورات همه این آیین نامه ها برای طراحی سمت نرم محافظه کارانه می باشند در حالی که در طرای سمت سخت دستورات پیچشی بعضی از این آیین نامه ها سبب طراحی المان با حاشیه اطمینان مناسب نمی گردد. *[۱۲و۱۳]*

در سال ۱۹۸۹ *Sadek & Tso* با توجه به همبستگی نامناسب بین پاسخ غیرالاستیک پیچشی و خروج از مرکزیتهای مبتنی بر توزیع نامتقارن سختی پیشنهاد کردند تا از پارامتر خروج از مرکزیت مقاومت به جای پارامتر خروج از مرکزیت

سختی که در آیین‌نامه‌ها متداول است استفاده شود. آنها نشان دادند بعلت اینکه این پارامتر بر اساس توزیع مقاومت المانها مورد محاسبه قرار می‌گیرد ارتباط و همبستگی مناسب‌تری با پاسخ غیرالاستیک پیچشی سازه ها دارد.*[۱۴]*

بر اساس مطالعات ذکر شده می توان نتیجه گرفت روش های پیشنهادی آیین نامه ها برای طراحی سازه های نامتقارن دارای نواقص زیادی می باشند و نیاز به ارائه روش های جدید برای کنترل پیچش سازه نامتقارن می باشد.

در سالهای ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ *Moghadam & Tso* نیز پاسخ ساختمانهای چند طبقه با خروج از مرکزیت جرمی، با قابهای خمشی شکل پذیر را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که در ساختمانهای نرم پیچشی چند طبقه، پیچش سبب می‌شود تا تغییر مکان سمت سخت افزایش و تغییر مکان سمت نرم کاهشمی یابد و بصورت بر عکس در ساختمانهایِ با سختی پیچشی زیاد تغییر مکان سمت سخت کاهش و تغییر مکان سمت نرم افزایش می‌یابد.*[۱۵و۱۶]*

در سال ۲۰۰۶ عظیمی نژاد و سروقد مقدم در مطالعات خود رفتار سازه‌های نامتقارن را در تحریک زمین‌لرزه حوزه نزدیک مورد مطالعه قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که تحریک حوزه نزدیک پاسخ پیچشی سازه‌های نامتقارن را نسبت به تحریک حوزه دور کاهش می‌دهد.*[۱۷]*

۱-۲-۲. مروری بر مطالعات پیچش سازه های نامتقارن با استفاده از تجهیزات کنترلی

۱-۲-۲-۱. میراگرهای ویسکوز

استفاده از روشهای نوین طراحی سازه ها منجر به استفاده از سیستمهای غیر فعال الحاقی مختلفی نظیر جداگرهای پایه و انواع میراگرها در ساختمانها شده است. میراگرهای مورد مطالعه شامل انواع میراگرها ویسکوز، ویسکوالاستیک، اصطکاکی و جاری شونده بوده اند که هر کدام به طریقی انرژی اعمالی به سازه را جذب می کنند.

هر چند که هدف اولیه سیستمها میراگر الحاقی کاهش کلی پاسخ سازه ها در برابر زمین لرزه می باشد ولی تحقیقات نشان داده است که به علت وجود نامتقارنی در سازه ها، توزیع مناسب این تجهیزات می تواند علاوه بر کاهش کلی پاسخ، اثرات نامتقارنی را حداقل برساند. به همین دلیل از دهه ۱۹۹۰ تحقیقات گسترده ای بر روی کنترل پیچشی سازه های نامتقارن با استفاده از انواع میراگرهای الحاقی صورت گرفته است که در ادامه مروری بر آنها صورت می پذیرد.

در سال ۱۹۹۸ *Goel* اثر میراگرهای ویسکوز الحاقی را بر پاسخ سازه های نامتقارن مورد بررسی قرار داده است. مدل مورد بررسی او مدل الاستیک یک طبقه با خروج از مرکزیت یکطرفه سختی بوده است. پارامترهای کنترل کننده سیستم شامل زمان تناوب جانبی در جهت نامتقارنی، خروج از مرکزیت سختی، نسبت فرکانس پیچشی به جانبی غیرهمبسته، نسبت بعد دیافراگم در دو جهت و ضرایب میرایی رایلی می‌باشند. همچنین پارامترهای ضریب میرایی، خروج از مرکزیت میرایی و شعاع ژیراسیون میرایی نیز به عنوان پارامترهای کنترل کننده میراگر مورد بررسی قرار گرفته اند. پاسخهایی که *Goel* مورد مطالعه قرارداد تغییر مکان سخت نرم و سخت سازه بوده که نسبت به تغییر مکان حالت متقارن نرمالیزه شده اند. نتایجی که از این تحقیق بدست نشان می دهد که قراردادن مرکز میرایی در سمت مخالف مرکز سختی موجب حداکثر کاهش در طرف نرم (طرف بحرانی) می‌شود ولی لزوماً حداکثر کاهش در سمت سخت ایجاد نمی‌شود. از طرفی هر چقدر شعاع ژیراسیون میراگرها بیشتر باشد پاسخ در هر دو سمت نرم و سخت کاهش می یابد. از آنجا که خروج از مرکزیت میرایی به هر سمت باشد، پاسخ در آن سمت کاهش میابد بنابراین باید شعاع ژیراسیون و خروج از مرکزیت میرایی هر دو حداکثر باشند که پاسخ در یک طرف بیشترین کاهش را داشته باشد. ولی چون بیشینه کردن هر دو امکان پذیر نیست لازم است تعداد کمی میراگرها

در فاصله حداکثر (دو سمت) گذاشته شود و با توجه به نیروی میراگر محل مرکز میرایی جابجا شود. از طرفی برای افزایش شعاع ژیراسیون میرایی در جهت عمود بر حرکت نیز میراگر قرارداده شود. .[۱۸]

Goel در تحقیق دیگری در سال ۲۰۰۰ پاسخهای سازه یکطبقه نامتقارن دارای میراگر ویسکوز الحاقی را تحت اثر شتابنگاشت مورد بررسی قرار داده است. سازه دارای خروج از مرکزیت یکطرفه سختی و مقاومت بوده و رفتار آن بصورت الاستیک فرض شده است. در این تحقیق نتیجه گیری شده که پارامترهای مودی نظیر زمان تناوب و ضریب شرکت مودی در اثر تغییر توزیع پلانی میراگرها تغییرات اندکی دارند، در صورتیکه ضریب بزرگنمایی دینامیکی و درصد میرایی مودی به توزیع پلانی میراگرها بسیار وابسته اند. بطوریکه مقدار میرایی مود اول با افزایش فاصله مرکز میرایی از مرکز جرم در سمت مخالف مرکز سختی افزایش یافته و از آنجا که تغییر مکان سمت نرم توسط مود اول کنترل می شود، این توزیع از میراگرها موجب بیشترین کاهش در تغییر مکان سمت نرم می شود.[۱۹]

در سال ۲۰۰۱ *Goel & Booker* اثر میراگرهای ویسکوز الحاقی را بر پاسخ غیرالاستیک سازه های نامتقارن مورد بررسی قراردادند. مدل مورد بررسی آنها سازه یک طبقه با خروج از مرکزیت یک طرفه بوده که مرکز جرم در وسط دیافراگم قرار داشته است. در تحلیلها از حالت سختی متناسب با مقاومت استفاده شده و مقاومت به گونه ای به اعضا تخصیص داده شده است که تغییر مکان تسلیم تمام المانها در یک جهت مشخص یکسان باشد. پاسخهایی که در حالت غیرالاستیک در نظر گرفته شده اند شامل تغییر مکان سمت سخت و نرم و انرژی هیسترتیک سمت سخت و نرم بوده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد میراگرهای الحاقی برای کاهش تغییرمکان، شکل‌پذیری و تقاضای استهلاک انرژی هیسترتیک بسیار مؤثر هستند، هر چند مقدار کاهش بستگی به توزیع میراگرها دارد. از طرفی با توزیع درست میراگرها تغییر شکل و شکل‌پذیری در المانهای سمت نرم قابل کاهش یافتن به همان مقدار متناظر سیستم متقارن است. قرار گرفتن محل مرکز میرایی در سمت مخالف مرکز سختی و با فاصله‌ای برابر با فاصله مرکز سختی و مرکز جرم موجب ایجاد کمترین تغییر شکل و شکل پذیری در المانهای این سمت می‌شود.[۲۰]

در سال ۲۰۰۳ *Lin & Chopra* با بررسی پاسخ سیستم یک طبقه غیرمتقارن دارای میراگرهای ویسکوالاستیک غیرخطی و مقایسه آن با سیستم معادل که دارای میراگرهای ویسکوز خطی می‌باشند، به این نتیجه رسیدند که با سیستم معادل می‌توان پاسخهای تغییر مکان سمت سخت و نرم و چرخش پلان را با دقت خوبی تعیین نمود. هر چند که مقدار نیروی ماکزیمم در میراگرهای ویسکوالاستیک غیرخطی با دقت خوبی از روی مدل معادل قابل تعیین نمی‌باشند. آنها همچنین روشی را جهت طراحی سیستم میراگر الحاقی غیرخطی بیان نمودند که معیارهای طراحی مورد نظر را تأمین می‌کند. [۲۱]

Petti & De Iuliis در سال ۲۰۰۸ روش جدیدی را جهت توزیع بهینه میراگرهای ویسکوز برای کنترل پاسخهای پیچشی ساختمانهای نامتقارن در پلان ارائه داده اند. در ابتدا اثرات توزیع پلانی میراگرها بر روی پارامترهای پیچشی ساختمان در حالت دینامیکی با استفاده از آنالیز مودال در فضای حالت تعیین شده اند. نتایج بدست آمده نشان داده که قرار گرفتن مرکز میرایی در سمت لبه نرم نقش یک متعادل کننده سختی را بین لبه ها ایجاد می کند که در تحقیقات قبلی نیز به آن اشاره شده است. این محققان سپس با بررسی معادلات در فضای لاپلاس و با تعریف تابع انتقال سعی در تعیین یک توزیع بهینه از میراگرها در پلان داشته اند. روش ارائه شده توسط این افراد منجر به تعیین توزیع مناسب میراگر برای سازه های با خروج از مرکزیت کم (کمتر از*0.3*) شده است. نتایج بررسیهای پارامتریک این محققان نشان داده است که برای خروج از مرکزیتهای زیاد درصورتیکه کلیه میراگرها در سمت نرم سازه باشند بهترین حالت کنترل تغییر مکان پیچشی پدید می آید. ولی این توزیع برای خروج از مرکزیتهای کم حتی ممکن است موجب افزایش پاسخها نیز گردد. از طرفی در صورتیکه مرکز

میرایی در سمت سخت سازه باشد بدترین حالت از لحاظ کنترل پیچش بدست می آید. همچنین طبق بررسیهای این محققان تاثیر افزایش شعاع ژیراسیون میرایی به اندازه توزیع مناسب میراگرها نمی باشد.[۲۲]

۱-۲-۲-۲. میراگرهای اصطکاکی

بعد از معرفی اولین میراگر اصطکاکی در سال ۱۹۸۲ توسط *Pall & Marsh 1982* تلاش ها برای ارائه روش های طراحی سازه مجهز به میراگر و بررسی عملکرد سازه مجهز به میراگر اصطکاکی و ابداع میراگرهای اصطکاکی نوین آغاز شد.

Filiatrault & Cherry در سال ۱۹۸۷ مطالعاتی را انجام دادند که هدف از این مطالعات تخمین عملکرد قاب های فولادی مهاربندی شده توسط میراگرهای اصطکاکی تحت بارهای زلزله شبیه سازی شده می باشد. [۲۳]

Mualla & Belev در سال ۲۰۰۲ به بررسی عملکرد قاب فولادی با میراگر اصطکاکی جدید ابداع شده توسط آقای موالا پرداخته اند. [۲۵]

Aydin و همکاران در سال ۲۰۰۷ مطالعاتی را در زمینه ی توزیع بهینه ی میراگرها در پلان برای مقاوم سازی سازه را انجام دادند. [۲۶]

با گسترش تحقیقات در زمینه بررسی عملکرد سازه مجهز به میراگر اصطکاکی تلاش ها برای معرفی روش های طراحی سازه مجهز به میراگر اصطکاکی آغاز شد. *Scholl* در سال ۱۹۹۳ مطالعاتی را در زمینه ی اصول طراحی برای میراگرهای الحاقی انجام داد که در ابتدا سوالات تعیین کننده برای طراحی یک سازه مجهز به میراگر را به صورت زیر ارائه نمود:

-۱-آیا ساختمان برای الحاق میراگر مناسب است؟

-۲-چه مقدار میرایی باید به سازه اضافه شود؟

-۳-آرایش و توزیع میراگرها در سازه به چه صورت باید باشد؟

-۴-چه نوع میراگری باید استفاده شود؟

برای بررسی عملکرد سازه مجهز به میراگر اصطکاکی شاخص جابه جایی نسبی طبقه را پیشنهاد نمود. در نهایت او نتیجه گرفت برای ساختمان هایی با ۵٪ میرایی ذاتی ۱۰٪-۲۰٪ میرایی حاصل از میراگر در کاهش پاسخ و همچنین از نظر اقتصادی توجیه پذیر است. برای ۱٪ تا ۲٪ میرایی ذاتی ۱۰٪ میرایی الحاقی مقدار پاسخ را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. همچنین توزیع میراگر در یک سازه باید به صورتی باشد که باعث توزیع متقارن سختی در پلان، توزیع متقارن سختی در ارتفاع و افزایش نا معینی شود. [۲۶]

Cherry & Filiatrault در سال ۱۹۹۳ مطالعاتی را در زمینه ی کنترل پاسخ لرزه ای ساختمان ها با استفاده از میراگرهای اصطکاکی انجام دادند که در نهایت روشی برای تخمین بار لغزشی ارائه دادند. [۲۷]

Yoamin & Cherry در سال ۲۰۰۰ مطالعاتی را در زمینه ی طراحی سازه ها ی با میراگرهای اصطکاکی با استفاده از روش بار جانبی انجام دادند. [۲۸]

Morsechi و همکاران در سال ۲۰۰۲ مطالعه ای را با هدف پیداکردن پارامترهای اصلی میراگرهای اصطکاکی (بار لغزشی-سختی مهاربند) با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام دادند. [۲۹]

Lopez , Garcia در سال ۲۰۰۱ روش ساده برای طراحی آرایش بهینه میراگرها در سازه های چند درجه آزاد پیشنهاد داد. کارایی روش برای زمانی است که اعضا خطی می مانند. اساس روش ارائه شده به طوری است که میراگرها طوری قرار بگیرند که بیشترین تاثیر را داشته باشند. در هر مرحله میراگرها به سازه اضافه شده و مشخصات سازه به دست می آید.