

بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی میراگر صفحه‌ای اتصال شیاردار اصلاح شده

محمد المحمد البکار - پژوهشگر پسادکتر

فرهاد بهنام فر - استاد میزبان

چکیده

در این تحقیق نوع جدیدی از میراگر فولادی تسلیم شونده پیشنهاد شده است که به آن میراگر صفحه‌ای اتصال شیاردار گفته می‌شود. سیستم پیشنهادی با ایجاد یک فیوز جدید از طریق ایجاد شیارهایی در صفحه‌ای اتصال مرکزی در قاب مهاربندی شده‌ی ضربدری عمل می‌کند. برای ارزیابی عددی رفتار میراگر از نرم‌افزار المان محدود ABAQUS بهره گرفته شد. نتایج بررسی تجربی و عددی اولیه نشان داد که قاب مهاربندی شده‌ی ضربدری مجهز به این میراگر در نسبت دررفت ۱/۵٪ به ظرفیت نهایی خود رسیده و سپس به تدریج دچار افت مقاومت می‌گردد. براین اساس، دو روش برای اصلاح رفتار میراگر ارائه شده است. پس از معرفی جزئیات میراگر پیشنهادی، ویژگی‌های اصلی سیستم و پارامترهای طراحی لرزه‌ای بر اساس نتایج عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به این منظور، دو نمونه آزمایشگاهی طراحی و ساخته شده‌اند. نمونه اول، قاب مجهز به میراگر با ضخامت متغیر است، در حالی که نمونه دوم، قاب با میراگر با طول نوار متغیر است. بدین منظور ورق میراگر نمونه اول به چهار بخش تقسیم شد. به دو بخش بالایی و پایینی یک ضخامت مشخص اختصاص و به بخش میانی ورق نیز ضخامت دیگری اختصاص یافته است. ضخامت این دو بخش از میراگر به گونه‌ای تنظیم می‌شود که دررفت افقی و عمودی تقریباً یکسان باشد. همچنین، این تأثیر به گونه‌ای است که میراگر می‌تواند با تغییر در طول نوارهای فولادی در صفحه‌ی میانی خود، رفتار خود را تنظیم کند. بنابراین، نمونه دوم که دارای طول‌های مختلفی از نوار فولادی است، مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش، طول نوارهای فولادی در بخش میانی ورق میراگر در مقایسه با بخش‌های بالایی و پایینی کوتاه‌تر و به نسبت معکوس دررفت‌های افقی و قائم در نظر گرفته می‌شود. بررسی‌ها و مطالعات عددی و آزمایشگاهی انجام شده نشان داد که ایده استفاده از میراگر پیشنهادی به منظور افزایش شکل‌پذیری و بهبود عملکرد قاب ضربدری، بسیار موثر است. با توجه به نتایج آزمایشگاهی، یافته‌ها نشان دادند که سیستم مورد بررسی یک فیوز قابل تنظیم با مقاومت قابل توجه و رفتار یکنواخت در برابر نیروهای کششی و فشاری ناشی از زلزله می‌باشد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که سیستم اصلاح‌شده توانایی تحمل دررفت نسبی قابل توجهی را دارد. مقدار نسبت دررفت حدود ۴٪ در نیروی جانی برابر با $0.85P_{max}$ و حدود ۵٪ در نیروی جانی برابر با $0.65P_{max}$ مشاهده شد. میراگر مورد بررسی ظرفیت اتلاف انرژی بالایی را داراست، به گونه‌ای که ضریب شکل‌پذیری آن به مقدار ۸ می‌رسد که در این حالت سیستم میراگر شیاردار قادر است تا ۲۸ چرخه کامل را قبل از شروع خرابی تحمل کند. علاوه بر این، حداکثر نسبت میرایی معادل برای سیستم اصلاح‌شده به ۰/۴۷ می‌رسد. قابل ذکر است که پارامترهای طراحی لرزه‌ای سیستم پیشنهادی بر اساس دستورالعمل FemaP695 محاسبه شده است. براساس نتایج آزمایشگاهی، محاسبات پارامترهای طراحی لرزه‌ای نشان داد که میانگین ضریب رفتار قاب ضربدری مجهز به میراگر پیشنهادی حدود ۶/۴ به دست آمده است. همچنین، میانگین ضریب اضافه مقاومت تقریباً ۱/۹ و میانگین ضریب بزرگ‌نمایی تغییر مکان سازه حدود ۵/۳ است. تمامی این مقادیر از مقادیر پیش‌بینی شده برای قاب همگرای فولادی ویژه بیشتر هستند. نتایج نشان داد که پارامترهای طراحی لرزه‌ای سیستم اصلاح‌شده در هر دو روش اصلاح، تطابق نزدیکی با یکدیگر دارند.

در ادامه تحقیق، بررسی عددی و کالیبراسیون نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی پرداخته شده است. همچنین، معادله رفتار هیستریزس قاب ضربدری مجهز به میراگر شیاردار اصلاح شده استخراج گردیده است. تحلیل عددی با استفاده از روش اجزاء محدود و نرم افزار آباکوس، با در نظر گرفتن رفتارهای غیرخطی نظیر سخت شوندگی مصالح، تغییر شکل های بزرگ، آسیب نرم و خستگی کم دامنه انجام گرفته است. تحلیل ها شامل بررسی منحنی بار-تغییر مکان یک طرفه، منحنی های چرخه ای و ویژگی های رفتاری میراگر اصلاح شده، از جمله سختی اولیه، ظرفیت تسلیم و حداکثر مقاومت قاب مجهز به این میراگر می باشد. مقایسه نتایج تحلیلی به دست آمده از مدل های اجزاء محدود و تجربی نشان می دهد که روش اجزاء محدود با دقت مناسب رفتار چرخه ای نمونه های میراگر شیاردار را مدل سازی کرده است. در واقع، یک تطابق بسیار خوب مشاهده شد که در آن مقاومت و سختی با دقت کامل پیش بینی گردید. علاوه بر این، نتایج تحلیل عددی به وضوح نشان می دهد که مدل های اجزاء محدود، قابلیت مدل سازی ویژگی های زوال رفتار مواد و ترک خوردگی را دارد. علاوه بر این، برای به دست آوردن معادله تحلیلی منحنی یک طرفه تغییر مکان-نیرو، نقاط کلیدی سیستم به دقت محاسبه شدند. این منحنی از سه بخش تشکیل شده است: ناحیه الاستیک، ناحیه سخت شوندگی و ناحیه افت مقاومت. نتایج نشان داد که این منحنی با دقت بسیار بالا مشخصات رفتاری سیستم مانند سختی اولیه و مقاومت تسلیم و حداکثر را پیش بینی می کند. منحنی بار-تغییر مکان چرخه ای سیستم بر اساس منحنی بار-تغییر مکان یک طرفه به دست آمده است. مقایسه نتایج آزمایش و مدل تحلیلی نشان می دهد که مدل تحلیلی با دقت بسیار خوبی توانایی شبیه سازی رفتار چرخه ای میراگر شیاردار پیشنهادی را دارد. بر اساس نتایج محاسبات، سختی اولیه مدل تحلیلی با مقادیر آزمایشگاهی به طور میانگین کمتر از ۱۱٪ اختلاف دارد. ظرفیت تسلیم تحلیلی نیز با مقادیر بدست آمده از آزمایش به طور میانگین کمتر از ۹٪ تفاوت نشان می دهد. اختلاف ظرفیت حداکثر بین نتایج مدل تحلیلی و آزمایشگاهی به طور میانگین کمتر از ۴٪ است. این موضوع حاکی از دقت بسیار بالای مدل تحلیلی در تعیین خصوصیات رفتاری سیستم پیشنهادی می باشد.

کلمات کلیدی: میراگر صفحه ای اتصال شیاردار اصلاح شده، قاب مهاربندی شدهی ضربدری، آزمایش چرخه ای، اجزاء محدود غیر خطی، اتلاف انرژی، شکل پذیری. ضریب رفتار، مدل تحلیلی، معادله رفتار هیستریزس.