

مطالعات آزمایشگاهی یک میراگر ویسکوز انقباض محوری و بررسی پارامترهای مکانیک رفتاری آن

سیده شکیبا موسوی

دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
s.mousavi@iiees.ac.ir

منصور ضیایی‌فر

دانشیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
Mansour@iiees.ac.ir

کلیدواژه‌ها: میراگر ویسکوز، مکانیک رفتاری، تحریک سینوسی، تجهیزات جاذب انرژی

چکیده

در دهه‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در ارتباط با قطعات مستهلک کننده انرژی صورت گرفته که در این میان میراگرهای ویسکوز بخش عظیمی از این تحقیقات را به خود اختصاص داده‌اند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که رفتار میراگرها تنها با ثابت میرایی آن‌ها قابل بیان نیست، بلکه عواملی از قبیل سرعت و تغییر مکان اعمالی، دامنه‌ی فرکانسی، انعطاف‌پذیری غلاف پیرامونی و پیستون، تراکم‌پذیری ماده‌ی درونی میراگر، اثرات حرارتی و ... در این ثابت تأثیرگذارند. در مطالعاتی که تاکنون انجام شده، ارتباطی مؤثری بین موارد ذکر شده با مکانیک رفتاری میراگرها به‌وضوح دیده نمی‌شود.

در این مطالعه سعی بر آن است رفتار میراگر جدیدی که بهبودیافته‌ی میراگر پیشین ساخته شده در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله است، تحت آزمایش‌های چرخه‌ای بررسی شده و مشخصه‌های رفتاری میراگر نمونه استخراج و مدل رفتاری برای میراگر مزبور ارائه می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد به سبب ایده و شیوه‌ی ساخت این میراگر، افزون بر نیروی میرایی، نیروی ثانویه‌ای وجود دارد که ناشی از فشار روغن است که موجب افزایش ظرفیت نیرویی میراگر شده است که از این نیرو ثانویه می‌توان به‌عنوان فیوز عملکردی میراگر بهره برد.

مقدمه

طراحی سازه‌های مقاوم با سطح عملکردی مناسب یکی از مسائل مهم در مهندسی زلزله است. میرایی یکی از روش‌های ساده دستیابی به عملکرد بهینه در سازه‌هاست. در سازه‌های معمول که به روش الاستیک طراحی می‌شوند درصد میرایی کم است از این رو میزان انرژی تلف شده در آن‌ها بسیار پایین است. یکی از رویکردهای جدید برای کاهش خطر لرزه‌ای و افزایش میرایی در سازه‌ها، استفاده از سیستم‌های اتلاف انرژی است. وظیفه‌ی اصلی این سیستم‌ها، اتلاف انرژی به‌وسیله‌ی تجهیزاتی است که بدین منظور طراحی شده‌اند. از آنجا که عناصر جاذب انرژی در سیستم باربری ثقیل ساختمان مشارکتی ندارند، پس از وقوع زلزله به‌راحتی می‌توان تعمیر یا تعویض کردند.

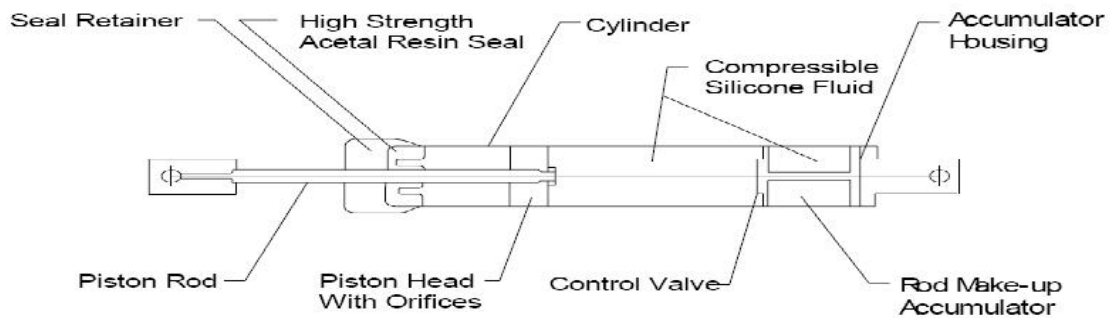
تجهیزات اتلاف انرژی مختلفی، نظیر میراگرهای اصطکاکی، میراگرهای ویسکوالاستیک و میراگرهای ویسکوز سیال و ... وجود دارد. در سال‌های اخیر، تلاش‌های فراوانی به منظور توسعه کاربرد میراگرهای ویسکوز، در سازه‌ها صورت پذیرفته است. مهم‌ترین مزیت میراگرهای ویسکوز، خارج از فاز بودن نیروی خروجی آن‌ها نسبت به فاز تنش‌های برشی و خمشی در سازه است، لذا می‌توانند به کاهش همزمان نیروهای برشی و تغییر شکل‌ها در سازه کمک کنند (Gluck et al., 1996). همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد نصب این میراگرها از طریق افزایش میرایی، قابلیت اتلاف انرژی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بهبود یافته است.

از جمله میراگرهای ویسکوز معمول، میراگرهای سیلندر پیستونی است. وجود آب‌بند رزینی در این نوع میراگرها باعث انجام بازدیدهای دوره‌ای در فواصل زمانی معینی می‌گردد که مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشد. (پزشکی ضیایی‌فر (۱۳۸۸)) در همین راستا نمونه‌ی اولیه میراگر پیشنهادی طی مطالعه‌ی فروغی کیا و ضیایی‌فر ساخته شد که ظرفیت نیرویی و دامنه‌ی تغییر مکانی آن کم بود. در ساخت دو نمونه بعدی میراگر ویسکوز، ضمن افزایش ظرفیت نیرویی و دامنه‌ی تغییر مکانی، امکان رفتار غیرخطی برای میراگر ایجاد گردید. برای بررسی رفتار میراگر نمونه و تعیین مشخصه‌های رفتاری آن، نیاز به مدل‌های ساده‌ای است که بیانگر رفتار ذاتی میراگر باشند لذا برای بررسی رفتار میراگر می‌توان از



میراگرهای ویسکوز معمول

میراگرهای ویسکوز از جمله میراگرهای غیرفعال محسوب می‌شوند که انرژی جنبشی را از طریق عبور سیال از منفذها به حرارت تبدیل می‌کنند. میراگرهای ویسکوز معمول از یک سر پیستون منفذ دار که داخل سیلندر حاوی سیالی با خاصیت ویسکوز زیاد (ترکیب سیلیکون‌ها و انواع روغن‌ها) قرار دارد، تشکیل شده‌اند (شکل ۱). سیال داخل سیلندر تقریباً تراکم پذیر است و وقتی که میراگر تحت نیروهای فشاری قرار می‌گیرد، حجم سیال داخل سیلندر در نتیجه حرکت سر پیستون کاهش می‌یابد. کاهش حجم منجر به نیروی برگشتی می‌شود. این نیرو نامطلوب بوده و معمولاً توسط میله پیستون سرتاسری وارد شده در میراگر - که به سر پیستون متصل است Δ با حرکت سمت میراگر جلوگیری می‌شود. روش دیگر جلوگیری از نیروی بازگشتی استفاده از انبار کننده است. انبار کننده حجمی از سیال را که توسط میله پیستون جابجا شده است را در محفظه انبار کننده ذخیره می‌کند. وقتی که میله به سمت عقب حرکت می‌کند، خلأ ایجاد شده سیال را بیرون می‌کشد (Oosterle 2003)

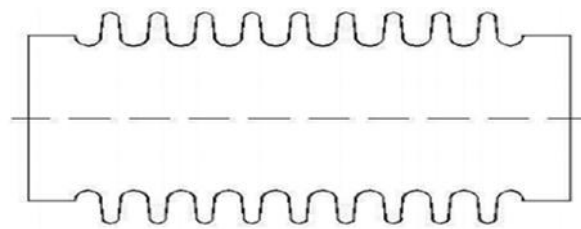


شکل ۱: مشخصات فیزیکی میراگرهای ویسکوز (Oosterle 2003)

با حرکت دو سر میراگر نسبت به همدیگر، پیستون در داخل سیلندر حرکت می‌کند و باعث می‌شود که حجم مخزن‌ها نسبت به یکدیگر تغییر کند، و سیال به‌اجبار از روزنه‌هایی که در میان سر پیستون تعبیه شده است، جابجا می‌شود تا بتواند این تغییر حجم مخازن را جبران کند و این روند، توانایی اتلاف انرژی قابل توجه در میراگرهای ویسکوز را ایجاد می‌کند. روزنه‌های این میراگرها می‌توانند به گونه‌های مشخص در بازه‌ی گوناگونی از توابع میرایی طراحی شوند. فشار عملکردی آن‌ها نیز بین ۱۳۷ تا ۶۹۰ بار است. به حداقل رساندن تغییرات ویسکوزیته سیال، باعث تثبیت عملکرد آن‌ها می‌شود و در این نوع میراگرها، نتیجه چندان از دما و نوع سیال تأثیر نمی‌پذیرد. خروجی میراگرهای سیال را می‌توان به فرم خطی تنظیم کرد، اما به‌طور معمول، توان سرعت در تابع میرایی، بین ۰/۴ تا ۰/۷، عملکرد لرزه‌ای بهتری نسبت به حالت خطی دارد. (Taylor and Constantine, (1994)

میراگر پیشنهادی

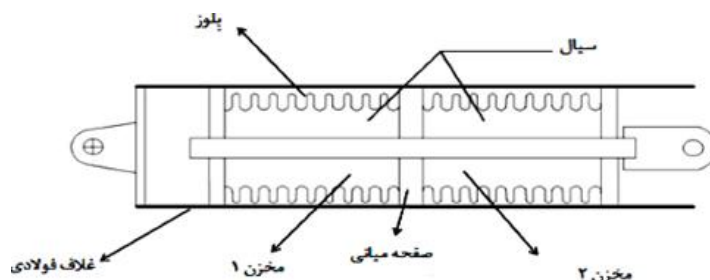
حرکت میله‌ی پیستون نسبت به سیلندر نیاز به استفاده از آب‌بند را ایجاد می‌کند، پس با جایگزینی مخازنی که خود قادر به تغییر شکل فیزیکی می‌باشند، می‌توان حرکت نسبی قطعات و نیاز به آب‌بند را از بین برد. در نتیجه به کاهش و یا حذف بازرسی‌های دوره‌ای دست‌یافت. برای این کار، قسمتی از اتصالات آکاردئونی (Expansion joint)، تحت عنوان بلاوز (Bellows) بهره گرفته شده است (شکل ۲). اتصالات آکاردئونی، تجهیزات آب‌بندی می‌باشند که بلاوز، قسمت اصلی آن‌ها است که از جنس فلز (به‌طور معمول استیل ضدزنگ) ساخته شده است و دارای قابلیت انعطاف‌پذیری به‌صورت طولی، عرضی (خارج از محور) و زاویه‌ای است. خاصیت انعطاف‌پذیری گاهی ممکن است مخرب باشد، بنابراین برای هر مورد خاص و مشخص باید متناسب با نیاز محدود شود. تحمل درجه حرارت و فشار از ویژگی‌های اصلی اتصالات آکاردئونی است و خاصیت انعطاف‌پذیری، این اتصالات در صنایع مختلفی نظیر آب، نفت، گاز، نیروگاه‌ها و ... کاربرد گسترده‌ای دارد. (فروغی کیا و ضیایی فر (۱۳۸۵))



شکل ۲: برش بلاوز، بخشی از اتصالات آکاردئونی

هدف اصلی از کاربرد بلوزها در میراگر، بهره‌گیری از قابلیت انعطاف‌پذیری محوری آن‌ها است. همچنین قابلیت تولید بلوزها در قطرهای مختلف، امکان دستیابی به ظرفیت نیرویی متنوعی را فراهم می‌آورد. برای ایجاد دو مخزن مجزا، از دو بلوز استفاده می‌شود که در میان آن‌ها صفحه‌ای فولادی قرار دارد و میله‌ای نیز از میان صفحه‌ای فولادی عبور کرده است که در دو انتها به بلوزها وصل می‌شود. نحوه قرارگیری و اتصال میله به صفحات انتهایی باعث می‌شود که نیاز به آب‌بند از بین برود. برای محافظت و جلوگیری از کمانش بلوزها در دو مخزن مجزا از یک غلاف فلزی پیرامونی بهره گرفته شده است. در شکل (۳) طرح کلی میراگر ارائه شده است.

نمونه اولیه طی مطالعه‌ی فروغی کیا و ضیایی فر ساخته شده است. نمونه ساخته شده دارای ظرفیت نیرویی پایین، در حدود ۵۰ کیلو نیوتن است و دامنه‌ی تغییر مکانی برابر ۳۰ میلی‌متر است. رفتار نمونه اولیه به صورت خطی است. همچنین انتقال نیرو بین دو بخش میراگر با استفاده از ۴ میله است. قطر نمونه نیز برابر ۴۰۰ میلی‌متر است. در نمونه‌ی بعدی، بجای میله‌های فولادی از غلافی فلزی استفاده شده است که ضمن کاهش احتمال کمانش، دارای نقش هدایت‌کننده حرکت نیز است. نمونه بعدی ساخته شده (پزشکی و ضیایی ۱۳۸۸) دارای دامنه‌ی تغییر مکانی ۶۵ میلی‌متر و قطر ۲۴۰ میلی‌متر است. نمونه‌ی جدید ساخته شده که بهبود یافته‌ی میراگر قبلی است دارای دامنه‌ی تغییر مکانی ۱۵۰ میلی‌متر و ظرفیت نیرویی ۵۰۰ کیلو نیوتن می‌باشد. که با توجه به ایده و نحوه‌ی ساخت دارای مقدار قابل توجهی اصطحکاک انقباضی است.



شکل ۳: طرح کلی میراگر

الگوی بارگذاری و پیکر بندی آزمایش

الگوی بارگذاری آزمایش‌ها به صورت کنترل تغییر مکانی و تحریک سینوسی در دامنه و فرکانس‌های مختلف می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های موجود در شرایط بارگذاری، دامنه‌ی حداکثر آزمایش‌ها ۱۲۰ میلی‌متر انتخاب شده است. سپس، نمونه تحت فرکانس‌های بارگذاری مختلفی قرار گرفته است و پاسخ‌ها ثبت شده‌اند. کلیه مراحل آزمایش‌ها در قاب عکس العمل صورت گرفته است، که در شکل (۴) نمایش داده شده است. برای اعمال بارگذاری از یک محرک ۵۰۰ کیلو نیوتنی استفاده شده است. بخشی از آزمایش‌های انجام شده که برای مدل سازی میراگر انتخاب شده‌اند در جدول (۱) آورده شده است که منحنی نیرو-تغییر مکان آن‌ها در شکل (۵) قابل مشاهده است.

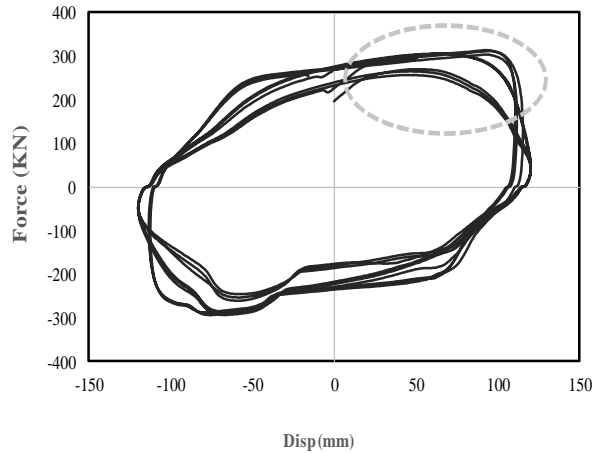


شکل (۴): پیکر بندی آزمایش

جدول (۱): آزمایش‌های انتخابی برای مدلسازی رفتاری میراگر

نیرو ثبت شده (KN)	جابجایی اعمالی (mm)	فرکانس زاویه‌ای (rad/s)	فرکانس (HZ)
۲۳۰	۱۲۰	۰/۶۲۸	۰/۱
۲۴۲	۱۲۰	۰/۷۸۵	۰/۱۲۵
۲۹۰	۱۲۰	۱/۰۴۷	۰/۱۶۷
۳۱۰	۱۲۰	۱/۵۷	۰/۲۵





شکل (۵): منحنی نیرو-تغییر مکان آزمایش‌های انتخابی

با توجه به بخشی از نمودار که در داخل نقاط خط چین قرار دارد فرض رفتار غیرخطی برای میراگر مورد بررسی صحیح است. اما در این مطالعه با مدل رفتاری میراگر با فرض رفتار خطی آن، مدل‌سازی شده است.

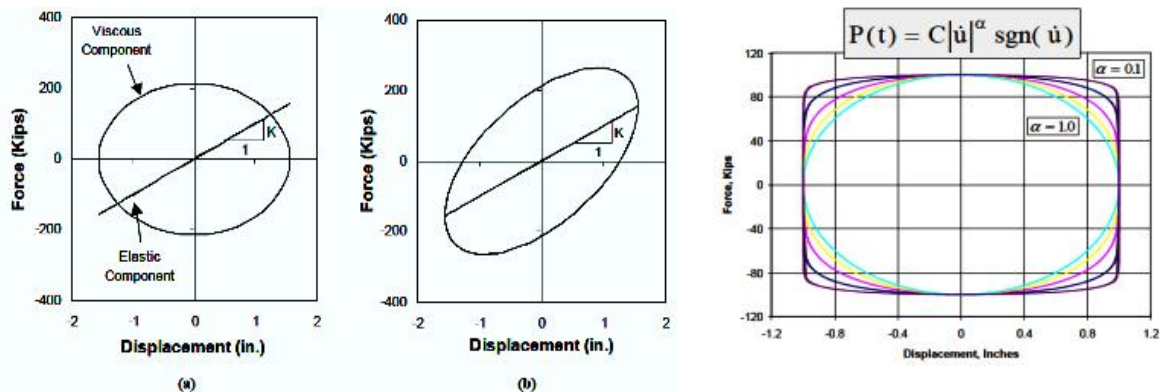
مدل‌سازی میراگر ویسکوز

نیروی میرایی در میراگرهای ویسکوز با سرعت اعمال بار بر دو انتهای آن نسبت دارد. مقدار این نیرو از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$P_D = C \times \text{sgn}(\dot{u}(t)_D) \times |\dot{u}(t)_D|^\alpha \quad (1)$$

در این رابطه عبارت $\dot{u}(t)_D$ سرعت جابجایی اعمال شده به دو سر میراگر، ضریب C ضریب میرایی و α توان میرایی است. حلقه‌های هیستریک در شکل (۶) برای میراگرهای ویسکوز غیرخطی از بیضی برای حالت خطی ($\alpha = 1$) تا حالت مستطیلی ($\alpha = 0$) حرکت می‌کند. بنابراین برای نیرو و دامنه تغییر مکان داده شده (ماکزیمم جابجایی و نیرو یکسان باشد)، انرژی اتلاف شده در هر سیکل برای میراگر ویسکوز غیرخطی بزرگ‌تر از میراگر ویسکوز خطی است. (Symans, FEMA451)

در میراگرهای ویسکوز با توجه به مطالعات کنستانتینو و سیمانس در سال ۱۹۹۲ منحنی نیرو جابجایی آن از یک شیب مایل برخوردار است که بسته به فرکانس بار وارده این شیب تغییر می‌کند. همانطور که در شکل (۸) قسمت (b) نشان داده شده است این پدیده ناشی از وجود یک مؤلفه سختی است که رفتار نیرو جابجایی سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. (Constantinou and Symons, 1992)



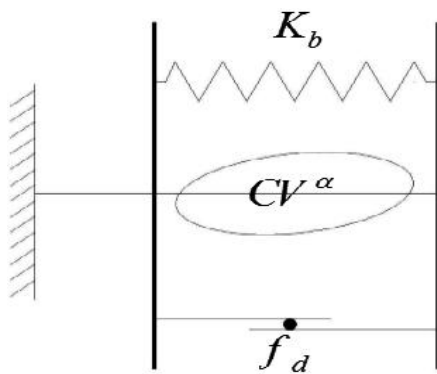
شکل ۷: نمودار نیرو Δ جابجایی برای میراگر ویسکوز

شکل ۶: نیرو-تغییر مکان میراگر ویسکوز غیرخطی

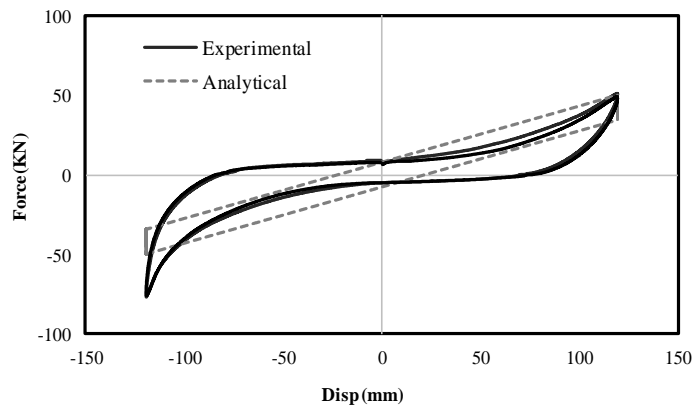
بررسی رفتاری مکانیکی میراگر پیشنهادی

نخست برای بررسی رفتار مکانیکی میراگر پیشنهادی، بارگذاری سینوسی ۴۰ ثانیه به میراگر اعمال می‌شود. چون سرعت بارگذاری بسیار پایین است، نباید رفتار ناشی از ویسکوزیته در میراگر دیده شود. طی این آزمایش میزان نیروی اصطکاک اولیه موجود در سیستم به دست می‌آید.

در منحنی دو نوع رفتار دیده می‌شود، رفتار اصطکاکی که باعث می‌شود منحنی رفت و برگشت با یکدیگر اختلاف فاز داشته باشند و همچنین نیرویی هم‌فاز با تغییر مکان وجود دارد که ناشی از فنریت پلوزهاست. مقدار نیرو در تغییر مکان صفر، در کشش و فشار در چرخه‌های مختلف به‌طور متوسط $7/6$ کیلو نیوتن است که در نمونه‌ی ساخته‌شده قبلی این مقدار $1/25$ کیلو نیوتن برآورد شده است، که می‌توان از این نیروی اصطکاک به‌عنوان فیوز بهره برد که مانع از حرکت میراگر تحت ارتعاشات محیطی شود. رفتار ناشی از فنریت پلوزها به‌صورت غیرخطی است اما برای ساده‌سازی، ضریب فنریتی به‌صورت ثابت و خطی در نظر گرفته شده است. با استفاده از این ضریب که معادل $0/35$ کیلو نیوتن بر میلی‌متر است، منحنی رفتاری مدل‌سازی شده از اصطکاک و فنریت پلوزها در کنار منحنی رفتاری آزمایشگاهی 40 ثانیه در شکل (۸) مشاهده می‌شود. تاکنون چنین نتیجه‌گیری شده است، که برای مدل‌سازی رفتار میراگر باید اصطکاک، سختی پلوزها را در نظر گرفت. در صورتی که هسته‌ی میراگر را بدون این موارد، یعنی اثر اصطکاک، سختی پلوزها در نظر گرفت، می‌توان مدلی به‌صورت شکل زیر ارائه کرد. سختی پلوزها به‌صورت موازی با هسته‌ی میراگر قرار دارد زیرا تغییر مکان آن با هسته‌ی میراگر یکسان است. سختی پلوزها همواره مقدار ثابتی فرض شده است، بنابراین می‌توان مقدار نیروی سختی پلوزها را محاسبه کرد.

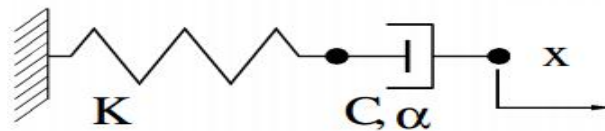


شکل ۹: مدل‌سازی اولیه میراگر نمونه آزمایش اصطکاکی 40 ثانیه



شکل ۸: منحنی نیرو- تغییر مکان آزمایشگاهی و تحلیلی میراگر

در شکل (۹) K_b سختی پلوزها، f_d نیروی اصطکاک اولیه است. برای بررسی دقیق‌تر، مناسب‌ترین مدل ریاضی برای بیان رفتار میراگر، مدل ماکسول مطابق شکل (۱۰) است. برای به دست آوردن مقدار تقریبی میرایی می‌توان از برازش خطی به منحنی نیرو- سرعت آزمایش استفاده کرد. طی این بررسی میزان نیروی اصطکاک اولیه موجود در سیستم نیز قابل محاسبه است که میزان آن با افزایش فرکانس افزایش یافته است. در بررسی دقیق‌تر، پس از کسر نیروهای ناشی از سختی پلوزها و نیروی اصطکاک اولیه، از نیروی کلی ثبت‌شده در آزمایشگاه، برای نیروی باقی‌مانده که تحت عنوان نیروی ویسکوز میراگر معرفی می‌شود، با حل معادله و به دست آوردن پارامترهای مدل ماکسول، منحنی ایده آل مناسبی بر منحنی آزمایشگاهی تطبیق داده شده است.



شکل ۱۰: مدل رفتاری ماکسول (Castellano et al., 2004)

$$F = C \left(\dot{x} - \frac{\dot{F}}{K} \right)^\alpha \quad (2)$$

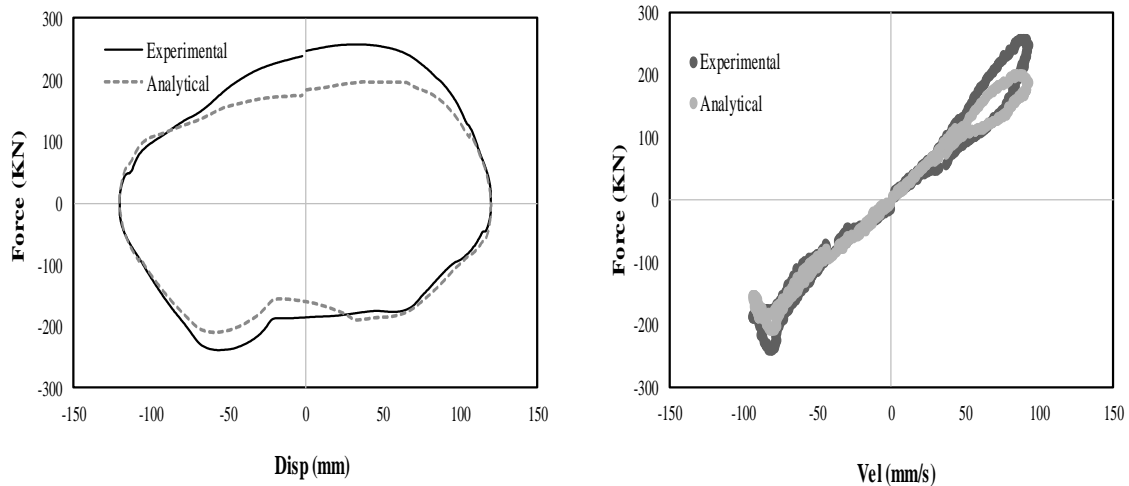
که در رابطه‌ی (۲)، F نیروی میراگر برحسب کیلو نیوتن، C ضریب میرایی (کیلو نیوتن.ثانیه بر میلی‌متر)، K سختی (کیلو نیوتن بر میلی‌متر) ، توان سرعت است. نتایج حاصل مدل‌سازی رفتاری میراگر با مدل ماکسول در جدول (۲) آماده است. در ادامه با استفاده از نتایج جدول منحنی نیرو- تغییر



مکان برای آزمایش با فرکانس ۰.۱۲۵ هرتز در مقایسه با منحنی ایده آل آورده شده است.

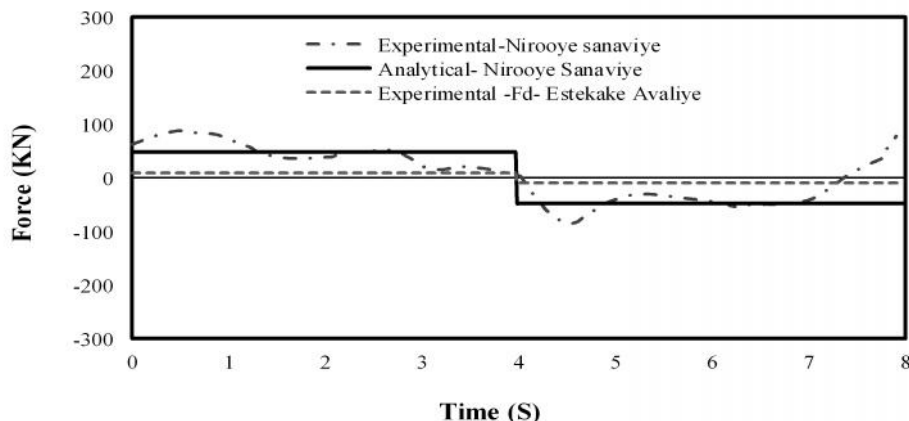
جدول ۲: نتایج مدل سازی ماکسول

f (HZ)	S (rad / sec)	$C 2$ (N . sec/ mm)	k (N / mm)	f_d (KN)
۰/۱	۰/۶۲۸	۲۲۰۰	۶۰۰۰	۸/۱۵۸
۰/۱۲۵	۰/۷۸۵	۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۹/۵۱۸
۰/۱۶۷	۱/۰۴۷	۱۹۵۰	۱۸۰۰۰	۱۴/۰۴
۰.۲۵	۱/۵۷	۱۸۰۰	۵۰۰۰۰	۱۷/۱۴



شکل ۱۱: نمودار نیرو-جابجایی، نیرو-سرعت فرکانس ۰.۱۲۵ هرتز، مدل سازی شده با مدل ماکسول

از مقایسه منحنی آزمایشگاهی با منحنی ایده آل نیروی ویسکوز میراگر دریافت می شود، افزون بر نیروی میرایی نیروی ثانویه ای وجود دارد که به سبب ایده و نحوه ی ساخت میراگر، بدون صرف هزینه باعث افزایش ظرفیت نیرویی میراگر شده است می گردد. بررسی ها نشان می دهد که این نیرو ناشی از فشار روغن و در ارتباط مستقیم با تغییر مکان بلوزها است که میزان نیروی ثانویه به طور متوسط ۴۵ کیلو نیوتن برآورده شده است که در نمودار برای فرکانس ۰.۱۲۵ هرتز در شکل (۱۲) قابل مشاهده است.



شکل ۱۲: منحنی نیروی ثانویه میراگر از مقایسه منحنی آزمایشگاهی و مدل سازی ماکسول، فرکانس ۰.۱۲۵ هرتز

نتیجه گیری

نمونه میراگر ساخته شده، طی آزمایش ها به حداکثر نیروی ۳۱۰ کیلو نیوتن در فرکانس ۰.۲۵ هرتز رسید که مقداری قابل توجه و کاربردی برای میراگرهای ویسکوز است و با افزایش میزان ویسکوزیته ی سیال می توان به مقادیر نیرویی بیشتری دست یافت. باید توجه داشت میراگر مورد



آزمایش دارای رفتاری غیرخطی است و از مزایای آن محسوب می‌شود. همچنین با توجه به نحوه طراحی آن، نیاز به ساخت قطعات با دقت بسیار بالا نیست و آببندی مخازن آن به وسیله جوش بین قطعات حاصل می‌شود.

بررسی‌ها نشان داد به سبب ایده و نحوه ساخت میراگر افزون بر نیروی میرایی، نیروی ثانویه‌ای وجود دارد که باعث افزایش ظرفیت نیرویی میراگر شده و می‌توان از آن به‌عنوان فیوز عملکردی میراگر بهره برد و به فناوری بسیار مطلوبی با هزینه‌های پایین‌تر در مقایسه با نمونه‌های خارجی دست یافت.

طی این مطالعه میراگر بهبودیافته‌ای که دارای مقدار قابل توجهی نیروی اصطکاک اولیه در مقایسه با نمونه پیشین است، به صورت نمونه‌ای کاربردی ساخته شد و مورد آزمایش قرار گرفت. امید است با توسعه‌ی ساخت آن بخشی از نیازهای کاربردی کشور در راستای تجهیزات اتلاف انرژی فراهم گردد.

تشکر قدردانی

مؤلفین کمال تشکر و قدردانی خود را از شرکت ارتعاش صنعت آریا بابت ساخت نمونه میراگر و همچنین از مجموعه‌ی آزمایشگاه سازه پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله که در مراحل مختلف آزمایش یاری‌رسان بوده‌اند، ابراز می‌دارند.

مراجع

پزشکی ح (۱۳۸۸) مطالعات آزمایشگاهی بر روی یک میراگر ویسکوز غیرخطی کنترل‌پذیر برای سازه‌های جداسازی از پایه در حوزه‌ی نزدیک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

فروغی کیا ب (۱۳۸۵) پیشنهاد، ساخت و آزمایش یک میراگر ویسکوز کنترل‌پذیر با مشخصه‌های نوین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

Castellano, Gabriella M, Colato GP and Infanti Samuele (2004) ,USE OF VISCOUS DAMPERS AND SHOCK TRANSMISSION UNITS IN THE SEISMIC PROTECTION OF BUILDINGS IN THE SEISMIC PROTECTION OF BUILDINGS , *13th World Conference on Earthquake Engineering* ,Vancouver, B.C., Canada , Paper No. 2172

Constantinou MC and Symons MD (1992) Experimental and Analytical Investigation of Seismic Response of Structure with Supplemental Fluid Viscous Damper. Technical Report NCEER-92-0032

Gluck N, Reinhorn AM, Gluck J and Levy R (1996) Design of supplemental dampers for control of structures. ASCE Journal of Structural Engineering 122: 1394-1399

Oesterle MG (March 2003)USE OF INCREMENTAL DYNAMIC ANALYSIS TO ASSESS THE PERFORMANCE OF STEEL MOMENT RESISTING FRAMES WITH FLUID VISCOUS DAMPERS. s.l. : Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE in CIVIL ENGINEERING

Symans MD, Seismic Protective Systems: Passive Energy Dissipation, Rensselaer Polytechnic Institute. Presentation of Instructional Material Complementing FEMA 451, Design examples. Passive Energy Dissipation 15-6

Taylor DP, Consstantinou MC (1994) Test Methodology and Procedures for Fluid Viscous Dampers Used in Structures to Dissipated Seis.ic Energy , Technical Report, Taylor Devices

