



طراحی و ساخت میراگرهای ویسکوز با قابلیت تنظیم میرایی و تعیین مشخصات مکانیکی آنان با آزمایشات تجربی

شهریار طاوسی تفرشی^۱، منصور ضیایی فر^۲

چکیده

تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از میراگرهای ویسکوز می‌تواند نقش مؤثری در کنترل پاسخ سازه‌ها در برابر باد، انفجار و زلزله داشته باشد [۱و۲]. اکثر سازه‌ها هنگام زلزله‌های شدید با کمک شکل‌پذیری اعضا با آن مقابله می‌نمایند که سبب آسیب‌های اساسی و بعضاً غیر قابل جبرانی به اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌گردد. استفاده از میراگرها می‌تواند تغییر مکان‌ها و شتاب‌های زیاد سازه و به تبع آن نیاز به شکل‌پذیری را کاهش دهد. در این تحقیق مراحل مختلف طراحی، ساخت و آزمایشات تجربی برای تعیین مشخصه‌های مکانیکی میراگرهای ویسکوز با قابلیت تنظیم میرایی که تاکنون در کشور انجام نگرفته مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصله عملکرد قابل قبولی را برای اولین تجربه ساخت این میراگرها نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی:

رفتار غیرارتجاعی، شکل‌پذیری، میراگر ویسکوز، ضرایب غیرخطی، آزمایشات تجربی

Designing & Construction of Viscous Dampers with the Capability of Adjusting Damping and Determine Mechanical Characteristics of Them with Experiments

Shahriar Tavousi Tafreshi , Mansour Ziyaeifar

ABSTRACT

Researches have shown that using viscous dampers can have influential role in controlling response of structures against wind, explosion and earthquake. Most of structures, with the help of ductility, resist severe earthquakes which cause damages to nonstructural and structural components. Using viscous dampers can reduce large displacements and accelerations of structures and consequently reduce the ductility demand. This research studies different process of designing, construction and experiments of viscous dampers with the capability of adjusting damping for determine their mechanical characteristics. These experiments have done for the first time in country. The results show an acceptable function of these dampers.

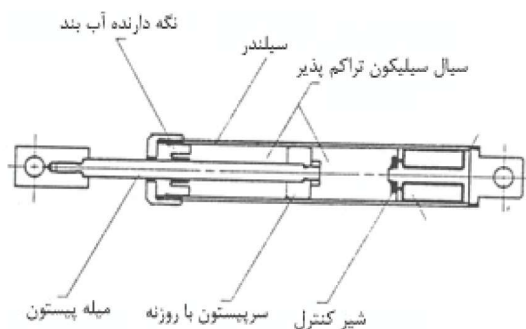
Key words:

Nonlinear Behavior, Ductility, Viscous Dampers, Nonlinear Coefficients, Experiments

۱. استادیار دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی tavousi@iiees.ac.ir

۲. استادیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله mansour@iiees.ac.ir

حرکت رفت و برگشتی سبب ایجاد اختلاف فشار زیاد و ایجاد نیرویی عظیم شده که در برابر حرکت میراگر مقاومت می‌کند.



شکل (۱): مقطع میراگر ویسکوز

۱-۲- تعیین مشخصات مکانیکی میراگر

میراگرهای ویسکوز نیرویی ایجاد می‌نمایند که همواره در برابر حرکت سازه مقاومت می‌کند. این نیرو با سرعت نسبی بین دو انتهای میراگر به صورت زیر نسبت مستقیم دارد [۵].

$$f_D = C \operatorname{sgn}(\dot{u}) |\dot{u}|^\alpha \quad (1)$$

که در آن f_D نیروی میرایی، C ضریب میرایی، $\operatorname{sgn}(\cdot)$ نشانگر علامت و جهت حرکت، α توان میرایی است که در محدوده ۰/۳ تا ۲ متغیر می‌باشد و \dot{u} نیز سرعت میراگر است.

رابطه فوق به صورت ساده‌تر به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$f_D = C \dot{u}^\alpha \quad (2)$$

مشخصات مکانیکی میراگرهای ویسکوز را می‌توان از طریق انجام آزمایشی با شرایط کنترل شده تغییر مکان (Displacement Control) به دست آورد. نیروی دینامیکی جک که به صورت سینوسی است طبق رابطه زیر می‌باشد:

$$u = u_0 \sin(\omega t) \quad (3)$$

نیروی لازم برای ثابت نگهداشتن چنین حرکتی نیز برابر خواهد بود با:

$$P = P_0 \sin(\omega t + \theta) \quad (4)$$

پس از زلزله‌های لوما پریتا (۱۹۸۹) و نورتریج (۱۹۹۴) که آسیب فراوانی به قاب‌های مقاوم در برابر بارهای لرزه‌ای - ثقلی وارد نمود، توسعه و ساخت سیستم‌های غیرفعال جذب انرژی رواج یافت [۳ و ۴]. هدف از اضافه نمودن سیستم‌های جذب انرژی به ساختمانها، هدایت انرژی زلزله به عناصری که به همین منظور طراحی شده‌اند بود تا بدین ترتیب انرژی ورودی به قاب‌های مقاوم در برابر بارهای ثقلی کاهش یابد. با قرار دادن میراگرهای ویسکوز در محل‌های مناسب می‌توان قسمت عمده‌ای از انرژی زلزله را مستهلک و اثرات زلزله را به حداقل رساند. از آنجائیکه عناصر جاذب انرژی در سیستم باربری ثقلی ساختمان مشارکتی ندارند، می‌توانند بعد از وقوع زلزله به راحتی تعمیر و یا تعویض گردند. نظر به اینکه چنین میراگرهایی در کشور موجود نبود، تصمیم به ساخت میراگرهای ویسکوز با استفاده از امکانات موجود در کشور شد. با توجه به شباهت عملکرد میراگرهای ویسکوز با کمک فنرهای اتومبیل، ابتدا از کمک فنرهای موجود برای ساخت میراگر استفاده گردید، ولی در انتها با کمک یکی از کارخانجات داخلی اقدام به ساخت نمونه‌هایی از میراگرهای ویسکوز با قابلیت تنظیم ضریب میرایی گردید.

۲- میراگرهای ویسکوز

در شکل (۱) مقطع یک میراگر ویسکوز نشان داده شده است. یک پیستون مرکزی در محفظه‌ای پر از سیال حرکت می‌کند. پیستون با حرکت خود سیال را به منافذ پیرامون و درونی خود وارد می‌کند. سرعت سیال در این ناحیه بسیار بالاست. لذا تقریباً تمام انرژی فشاری بالا دست جریان تبدیل به انرژی جنبشی می‌شود. هنگامی که سیال بعداً در سمت دیگر سر پیستون به حجم کامل خود برمی‌گردد، سرعت آن کاهش می‌یابد و انرژی جنبشی آن از دست رفته و به حالت متلاطم درمی‌آید. این

یا K_1 را شیب خط نشان داده شده در شکل (۷) در نظر گرفت، به همین ترتیب می‌توان نشان داد:

$$P_i = K_2 u_0 \quad (14)$$

مقادیر θ ، u_0 ، P_0 ، P_i ، W_d می‌توانند مستقیماً از طریق آزمایش اندازه‌گیری شوند و یا از اطلاعات تجربی به دست آیند که با استفاده از روابط (۷) تا (۱۴) مشخصات مکانیکی میراگر به دست می‌آید.

۳- ساخت نمونه اول میراگر ویسکوز

در نمونه اول از قطعات کمک فنر اتومبیل پیکان استفاده گردید. در این رابطه به وسیله دو کمک فنر مستعمل، میراگر ساخته شد. ابتدا با بریدن غلاف کمک فنرها، میله و پیستون آنها جدا گردیدند. سپس این دو پیستون به هم متصل شده و میله پیستونها نیز از دو طرف به پیستون‌ها وصل گردیدند. سپس غلاف یکی از کمک فنرها روی مجموعه میله و پیستون‌ها قرار گرفت و دو انتهای کمک فنرهای اولیه به غلاف جوش شدند. در مرحله بعد روغن به داخل میراگر ریخته و قطعات آب‌بندی دو انتهای کمک فنرها نیز به بدنه مجموعه متصل شدند. با آزمایش اولین نمونه ساخته شده مشخص گردید که اولاً نمی‌توان نیروی یکنواختی در کشش و فشار از آن انتظار داشت. ثانیاً به دلیل اصطکاک زیاد پیستون و میله پیستونها با غلاف و قطعات آب‌بندی انتظار رفتار عمدتاً ویسکوز از آن در سطوح نیروئی حدود ۶۰ تا ۷۰ کیلوگرم که مدنظر بودند عملی نخواهد بود. دلایل اصلی این عملکرد هم محور نبودن میله‌ها با یکدیگر و نیروی اصطکاک زیاد مابین میله‌ها و قطعات آب‌بندی (کاسه نمدها) بوده است. در واقع به دلیل رواداریهای کم و حساسیت زیاد در ساخت کمک فنرهای اتومبیل، باز و بسته کردن مجدد آنها برای ساخت میراگر سبب ایجاد مسائل مطروحه گردیده است. از اینرو تصمیم گرفته شد با کمک شرکت ایندامین، نمونه اولیه میراگرهای ویسکوز ساخته شود. میراگرهای ویسکوز موجود معمولاً دارای یک میله بوده و به دلیل ثابت بودن فضای داخلی میراگر، روغن مطابق شکل (۱) در اثر

$$P = P_0 \sin \omega t \cos \theta + P_0 \cos \omega t \sin \theta \quad (5)$$

که دامنه نیرو و θ زاویه فاز می‌باشد. انرژی تلف شده در یک سیکل با محاسبه سطح حلقه نیرو - تغییر مکان طبق رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$W_d = \pi P_0 u_0 \sin \theta \quad (6)$$

با معرفی مقادیر زیر:

$$K_1 = \frac{P_0}{u_0} \cos \theta \quad K_2 = \frac{P_0}{u_0} \sin \theta \quad (7)$$

و جایگذاری در رابطه (۵) می‌توان نوشت.

$$P = K_1 u_0 \sin \omega t + K_2 u_0 \cos \omega t \quad (8)$$

یا

$$P = K_1 u + \frac{K_2}{\omega} \dot{u} \quad (9)$$

اولین عبارت معرف نیروی ذخیره شده (شبه فنر) میراگر است که با تغییر مکان هم فاز بوده و آن را سختی ذخیره شده می‌نامند. دومین عبارت معرف نیروی میرایی است که با سرعت هم فاز و با تغییر مکان ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد. مقدار K_2 را سختی کاهش یافته می‌نامند. بنابر این مقدار ثابت میرایی، C ، از رابطه زیر به دست خواهد آمد.

$$C = \frac{K_2}{\omega} \quad (10)$$

با کمک روابط (۶) و (۷) می‌توان نوشت:

$$K_2 = \frac{W_d}{\pi u_0^2} \quad (11)$$

و

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{K_2 u_0}{P_0} \right) \quad (12)$$

با کمک رابطه (۵) می‌توان اختلاف فاز را به این صورت نوشت:

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{P_i}{P_0} \right) \quad (13)$$

که P_i مختصات نیرو در تغییر مکان صفر می‌باشد. همچنان که از رابطه (۸) پیداست، نیرو در حداکثر تغییر مکان برابر $K_1 u_0$ می‌باشد که با توجه به آن می‌توان

با حالت‌های مختلف شیر (کاملاً باز و در زوایای ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه نسبت به محور شیر) و فرکانسهای بالا (۳ تا ۱۰ هرتز) انجام شد.

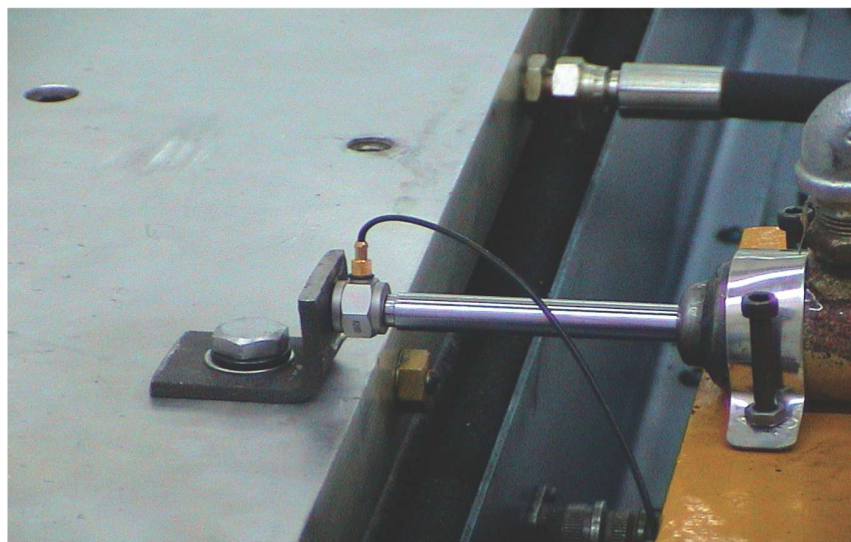
دامنه حداکثر تغییر مکان (سینوسی) ۲۵ میلیمتر و آزمایش‌ها با حالت‌های مختلف شیر (کاملاً باز و در زوایای ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه نسبت به محور شیر) و فرکانسهای پایین (۰/۲ تا ۳ هرتز) انجام شد.

(۴) نشان داده شده است. به یکی از دو انتهای میله میراگر نیروسنج و به انتهای دیگر آن شتاب سنج متصل گردید. انتهای میله میراگر که متصل به نیروسنج بود توسط یک نبشی به میز لرزان مطابق شکل (۵) اتصال یافت.

آزمایشات متعددی با فرکانس‌ها و دامنه‌های مختلف حرکتی و همچنین با حالت‌های مختلف باز و یا بسته بودن شیر کنترلی در دو گروه به شرح زیر انجام گرفت. دامنه حداکثر تغییر مکان (سینوسی) ۶ میلیمتر و آزمایشات



شکل (۴) : نحوه اتصال میراگر به میز لرزان

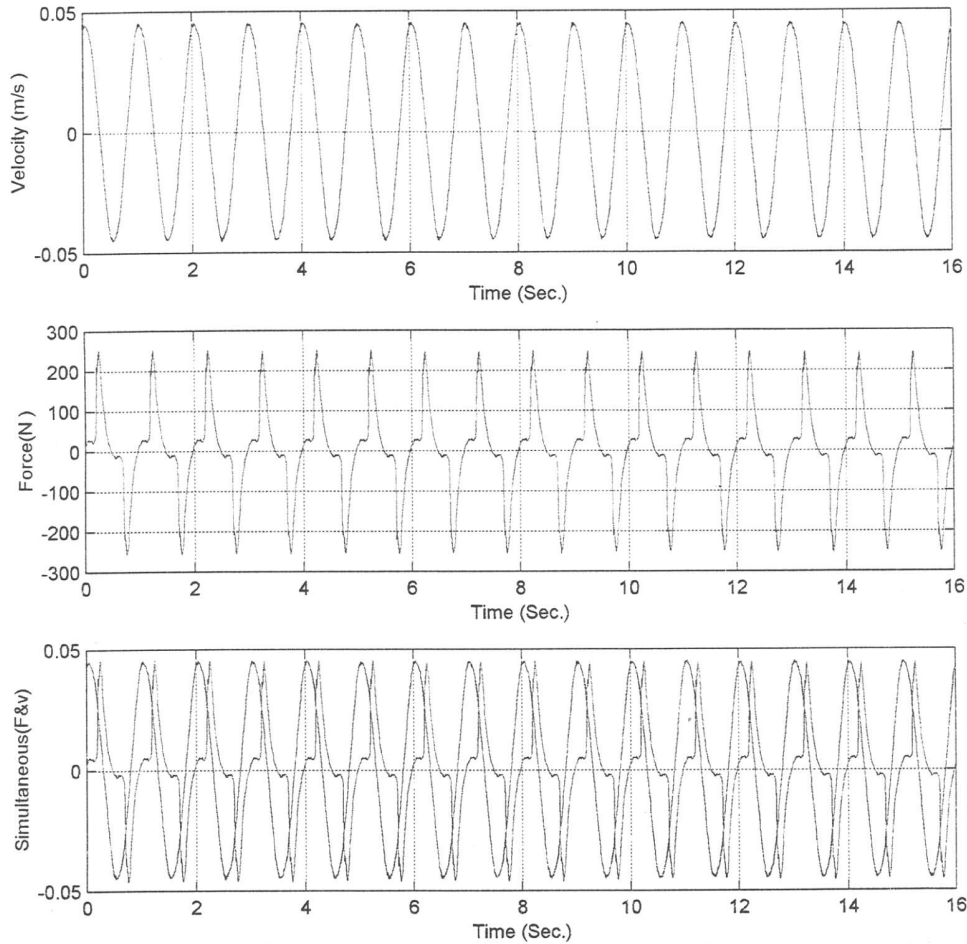


شکل (۵) : نحوه اتصال میله میراگر به میز لرزان از طریق نبشی

۴-۱-۱- نتایج آزمایش

نتایج حاصل از آزمایشات به صورت نمودارهای سرعت و نیرو بر حسب زمان حاصل گردیدند. به عنوان مثال منحنی‌های تاریخچه زمانی سرعت، نیرو برای فرکانس ۱ هرتز و شیر کاملاً باز (زاویه صفر نسبت

به محور شیر) در شکل (۶) آورده شده است. همانطور که در شکل مزبور نشان داده شده است، نیرو نمی‌تواند به طور کامل با مؤلفه سرعت همراهی نماید که دلیل اصلی آن می‌تواند مسئله اصطکاک باشد.



شکل (۶): منحنی‌های تاریخچه زمانی سرعت، نیروی وارده، سرعت-نیرو بطور همزمان برای فرکانس ۱ هرتز و شیر باز

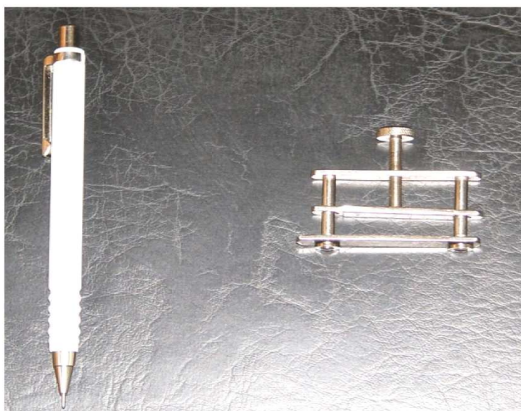
کاهش یافته است. همچنین منحنی‌های نیرو در برابر تغییر مکان برای تمامی حالات رسم گردیده است. به عنوان نمونه در فرکانس‌های پایین (۱ هرتز) سطح زیر منحنی بسیار کوچک و لاغر است و بالعکس در فرکانس‌های بالاتر به طور مثال ۵ و ۸ هرتز سطح زیر منحنی بزرگتر و حجیم تر شده که به دلیل وجود افزایش سرعت در اعمال تغییر مکان است.

مقدار تقریبی ضریب میرایی می‌تواند با تقسیم سرعت حداکثر بر مقدار حداکثر نیرو به دست آید. نتایج حاصل یعنی تغییرات مقدار میرایی بر حسب تغییرات فرکانس برای دو حالت شیر باز و بسته (زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور شیر) و دامنه حداکثر ۶ میلی‌متر در اشکال (۷) و (۸) آورده شده است. همانطور که از اشکال (۷) و (۸) پیداست با افزایش فرکانس مقدار میرایی

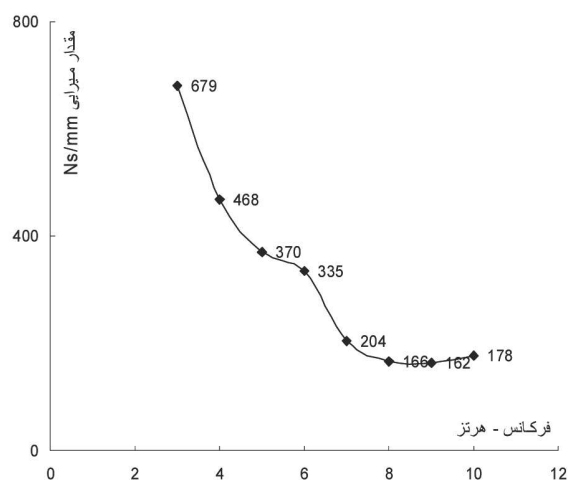
غیرقابل اعتماد می‌ساخت. در عمل به نظر می‌آید که میراگر بیشتر به صورت اصطکاکی عمل نموده و ویسکوزیته روغن وارد عمل نشده است. یکی از دلایل این امر، می‌تواند پایین بودن ویسکوزیته روغن و وجود منافذ در پیستون بوده باشد.

۵- ساخت نمونه سوم میراگر ویسکوز

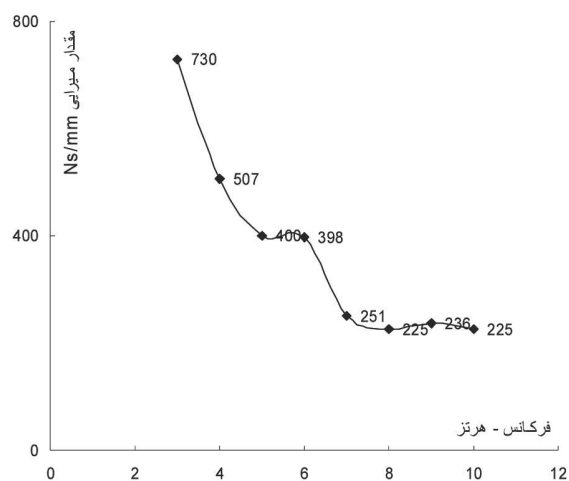
با توجه به ایرادات موجود در نمونه قبلی، این بار میراگر جدیدی با طول سیلندر کوتاه تر ساخته و بدون منافذ در پیستون ساخته شد. در نمونه جدید طول سیلندر ۱۵ سانتیمتر و پیستون نیز از جنس آلومینیوم و با قطری نزدیک به قطر سیلندر ساخته شده است. همچنین تصمیم گرفته شد که کنترل جریان روغن توسط لوله‌های پلاستیکی و بست‌های قابل تنظیم صورت گیرد. سیستم بست قابل تنظیم در شکل (۹) نشان داده شده است. برای مشاهده عبور جریان روغن در داخل میراگر، از شیلنگ لاستیکی شفاف ولی با مقاومت بالا در برابر فشار کمک گرفته شد و نیز برای هواگیری میراگر از سوزن و سرنگ پزشکی استفاده گردید. میراگر ساخته شده در شکل (۱۰) نشان داده شده است. پس از آماده شدن میراگر، این بار با استفاده از جک هیدرولیکی (actuator) ۱۰ تن آزمایشگاه سازه که قابلیت ایجاد نیروی رفت و برگشتی با دامنه‌های مختلف را دارا می‌باشد، آزمایش انجام گرفت.



شکل (۹): سیستم بست قابل تنظیم در نمونه سوم میراگر

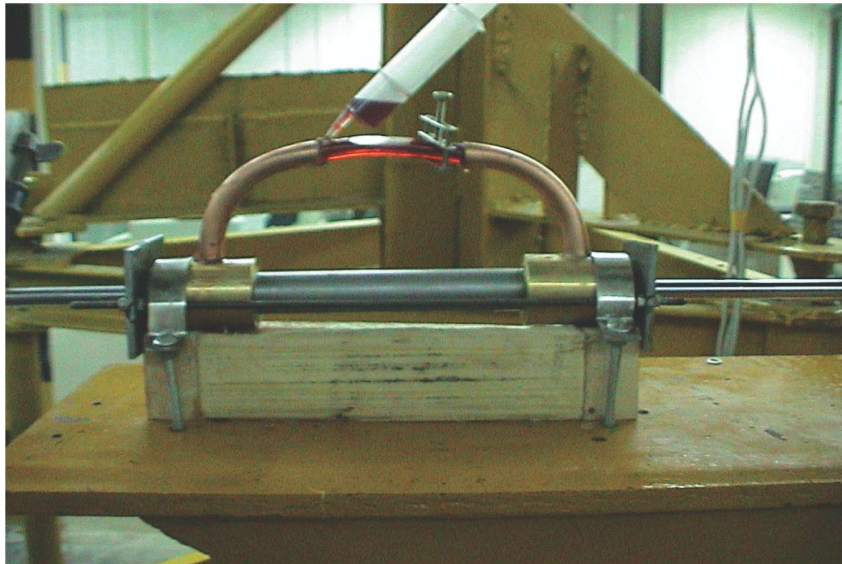


شکل (۷): تغییرات مقدار میرایی برحسب تغییرات فرکانس برای شیر باز و دامنه ۶ میلیمتر



شکل (۸): تغییرات مقدار میرایی برحسب تغییرات فرکانس برای شیر بسته و دامنه ۶ میلیمتر

از آنجائیکه نتایج حاصله نشان می‌دهند که باز و بسته بودن شیر به اندازه‌ای که مورد تصور بوده است در مقادیر میرایی تأثیری نداشته است، تصمیم گرفته شد که در طرح بعدی از نوع دیگری از شیر برای باز و بسته کردن جریان روغن استفاده به عمل آید. مسئله مهم دیگری که از بررسی نتایج آزمایشات حاصله برای این نمونه از میراگر به دست آمد، میزان بالای اصطکاک میله با کاسه نمد است که در مجموع اعداد به دست آمده برای ضریب میرایی را



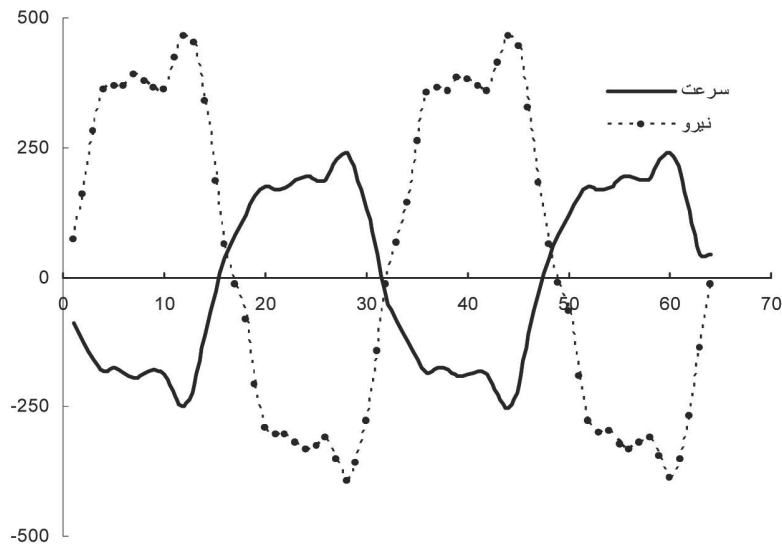
شکل (۱۰) : نمونه سوم میراگر ویسکوز

۱-۵- برنامه آزمایش

برای انجام آزمایش نمونه مزبور روی قاب عکس العمل آزمایشگاه قرار گرفت. در طی چند آزمایش اولیه مشخص شد که در محل تماس سیلندر به قطعه برنجی نشتی روغن وجود دارد. برای رفع مشکل قرار شد با پیش تنیدگی طولی در قطعات میراگر، امکان نشت روغن از بین برود. بدین منظور دو ورق فولادی به ابعاد ۷۰ در ۷۰ میلیمتر و ضخامت ۵ میلیمتر آماده و با ایجاد سوراخی به قطر ۲۷ میلیمتر در وسط آن امکان نصب آن بر روی میراگر فراهم آمد. سپس این دو قطعه در دو انتهای نمونه قرار داده شده و توسط دو محور موازی با محور میراگر به یکدیگر متصل گردیدند. پس از آن با سفت کردن پیچ‌های دو انتها این میله‌ها، نیروی پیش تنیدگی به میراگر وارد نموده و نیروی ایجاد شده سیلندر و قطعه برنجی را به یکدیگر محکم و مسئله نشت روغن را منتفی نمود. همچنین تصمیم گرفته شد که در این نمونه از روغن با ویسکوزیته بالاتر (موتور W40) استفاده به عمل آید. آماده‌سازی شرایط لازم آزمایشات مختلفی در محدوده دامنه حداکثر ۱۵ تا ۵۰ میلیمتر و فرکانسهای ۱/۰ تا ۴ هرتز صورت گرفت.

۱-۱-۵- نتایج آزمایش

از آنجائی که جک هیدرولیکی مورد استفاده توانایی اندازه گیری و ثبت هم زمان نیرو و تغییر مکان را داشت، این بار نتایج آزمایشات انجام گرفته به راحتی به صورت منحنی‌های تغییر مکان، سرعت و نیرو قابل حصول بودند. در این سری از آزمایشات نشان داده شد که سرعت و بار وارده هم زمانی کاملی ندارند که اصطکاک عامل اصلی آن می‌باشد. به عنوان نمونه در شکل (۱۳) که مربوط به آزمایش میراگر با دامنه ۲۰ میلیمتر و فرکانس ۲ هرتز می‌باشد، عدم هم زمانی کامل منحنی‌های سرعت و نیرو نشان داده شده است. در سایر آزمایشات نیز نتایج مشابهی که حاکی از رفتار اصطکاکی در این میراگر است مشاهده گردیده است. دلایل اصلی وجود اصطکاک در این میراگر دو عامل مجزا تشخیص داده شد. اول آنکه میله اصلی میراگر که به پیستون متصل بود از دو شافت مجزا تشکیل شده بود که در محل پیستون به آن اتصال یافته بود و این امر سبب شده بود که سیستم میله و پیستون در عمل در یک خط مستقیم قرار نداشته باشند و پیستون با جداره سیلندر اصطکاک پیدا کند. عامل دوم که شاید مهم تر نیز بود مسئله اصطکاک بالای میله اصلی با کاسه نمدی در سر میراگر بود.



شکل (۱۳): تاریخچه زمانی نیرو - سرعت

۶- ساخت نمونه چهارم میراگر ویسکوز

نشان داده شده است بهره گرفته شد. در این میراگر نیز برای اتصال قطعات در جهت طولی از مکانیزم پیش تنیدگی گفته شده در نمونه قبلی استفاده به عمل آمد. برای هواگیری میراگر اینبار از یک سوراخ بر روی لوله مسی در مسیر عبور روغن که توسط یک مغزی قابل بسته شدن بود استفاده گردید. شکل (۱۵) میراگر فوق را نشان می‌دهد.

در این نمونه برای کاهش اصطکاک ناشی از هم محور نبودن میله‌های میراگر، میله پیستون به صورت یک تکه ساخته شد. همچنین از کاسه نمدهای جدید که اصطکاک را در تئوری از ۶ کیلوگرم برای هر کاسه نمدها به حدود ۲ کیلوگرم می‌رساند استفاده شد. همچنین برای کنترل جریان روغن در درون لوله پلاستیکی از مکانیزم دستی با قابلیت تنظیم دوطرفه که در شکل (۱۴)



شکل (۱۵): نمونه چهارم میراگر ویسکوز



شکل (۱۴): مکانیزم تنظیم جریان روغن

۱-۶- برنامه آزمایش

در این آزمایش به علت عدم دسترسی به جک ۱۰ تنی از جک ۵۰ تنی استفاده به عمل آمد. این بار برای کنترل بهتر جریان روغن مکانیزم تنظیم کننده بصورت ۷ شکل روی لوله پلاستیکی قرار داده شده تا بتوان با ثابت نگهداشتن یکی از پیچها، دهانه طرف دیگر را باز و بسته نمود. همچنین برای جلوگیری از حرکات نامحسوس افقی میراگر بر روی نشیمن گاه خود، دو قطعه فولادی مثلثی شکل ساخته و از طریق آنها میراگر به پایه خود متصل گردید. در شکل شماره (۱۷) اتصال میراگر به نشیمن گاه از طریق قطعه مثلثی شکل نشان داده شده است.

آزمایشات انجام گرفته شده بر روی این نمونه با توجه به تجارب آزمایشات قبلی در فرکانسهای مختلف ۰/۱ تا ۱/۵ هرتز و با دامنه‌های حرکتی ۱۵ تا ۳۰ میلیمتر و حالت‌های مختلف مکانیزم تنظیم کننده جریان روغن صورت پذیرفت. علت انتخاب دامنه حرکت حداکثر ۳۰ میلیمتر کوتاه بودن میله میراگر در نمونه چهارم میراگر بود که به علت انتخاب میله یک تکه به وجود آمده بود. همچنین افزایش فرکانس میراگر بیشتر از ۱/۵ هرتز نیز سبب بالا رفتن نیروی میراگر از حد مورد نیاز در آزمایش سازه‌های جدا سازی شده جرمی می‌شد که از انجام آزمایش با فرکانس بالاتر صرفنظر گردید.

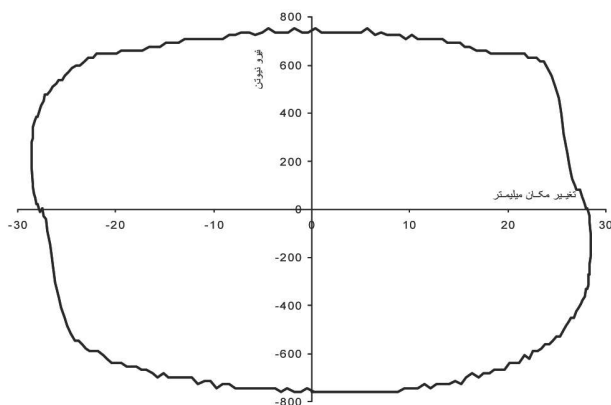
۱-۱-۶- نتایج آزمایش

آزمایشات فرکانس پایین (۰/۱ هرتز) برای تعیین نیروی

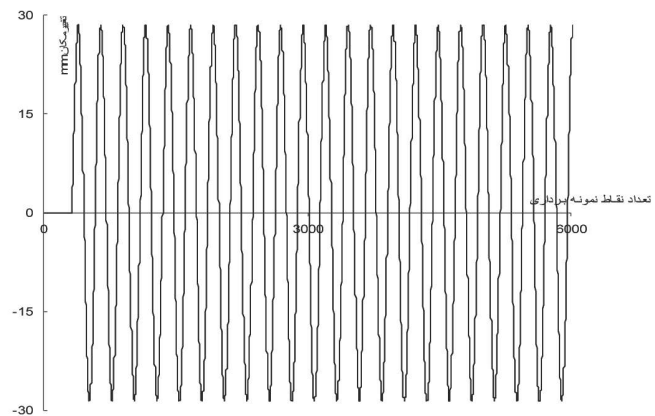
اصطکاک صورت گرفت زیرا که به علت زمان زیاد حرکت رفت و برگشتی و سرعت پایین عملاً تنها نیروی ایجاد شده در میراگر همان نیروی اصطکاک خواهد بود. نتایج حاصله نشان داد که نیروی اصطکاک در حدود ۱/۵ کیلوگرم می‌باشد که با توجه به نیروی مورد تقاضای میراگر که در حدود ۵۰ کیلوگرم است می‌توان از آن صرفنظر نمود. در نتیجه می‌توان این میراگر را با تقریب قابل قبولی بعنوان یک میراگر ویسکوز فرض نمود.

۷- تعیین ظرفیت میراگر ساخته شده

برای هر آزمایش نمودارهای تغییر مکان و نیرو بر حسب زمان به دست آمده‌اند که با رسم منحنی نیرو بر حسب تغییر مکان و محاسبه سطح زیر منحنی آن برای یک سیکل کامل می‌توان انرژی جذب شده در آن سیکل را به دست آورد [۶]. حال با استفاده از روابط (۱۰) و (۱۳)، مقدار ضریب میرایی و زاویه فاز تعیین می‌گردد. به عنوان نمونه برای باز شدگی دهانه مکانیزم تنظیم کننده جریان روغن به میزان ۱۵ میلیمتر و برای فرکانس ۰/۵ هرتز منحنی تغییر مکان بر حسب زمان در شکل (۱۶) و منحنی نیرو - تغییر مکان در شکل (۱۷) آورده شده است. مقدار انرژی جذب شده و مقادیر ضریب میرایی و اختلاف فاز با استفاده از روابط (۱۰) و (۱۳) برای باز شدگی شیر به میزان ۱۵ میلیمتر و فرکانس‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ هرتز محاسبه گردیدند که در ادامه نمونه‌ای از این محاسبات آورده شده است.



شکل (۱۷): منحنی نیرو - تغییر مکان - فرکانس ۰/۵ هرتز



شکل (۱۶): منحنی تغییر مکان - فرکانس ۰/۵ هرتز

۷-۱- مشخصات مکانیکی میراگر

مشخصه‌های میراگر بر اساس سه حالت مختلف بازشدگی سیستم تنظیم جریان روغن و در فرکانسهای ۰/۵ تا ۱/۵ هرتز به دست آمده است.

الف- باز شدگی ۱۵ میلیمتر

در این مورد با توجه به آزمایش انجام گرفته مقادیر حداکثر دامنه ارتعاش یعنی u_0 ، مقدار حداکثر نیرو اعمالی یعنی P_0 و سطح زیر منحنی نیرو-تغییرمکان برای آزمایش تحت فرکانس ۰/۵ هرتز به ترتیب زیر به دست آمده‌اند.

$$W_D = 72266$$

$$u_0 = 28.5 \text{ mm}$$

$$P_0 = 765 \text{ N}$$

حال می‌توان نوشت:

$$K_2 = \frac{W_D}{\pi u_0^2} = \frac{72266}{\pi 28.5^2} = 28.32 \text{ N/mm}$$

و بدین ترتیب ضریب میرایی برابر خواهد بود با:

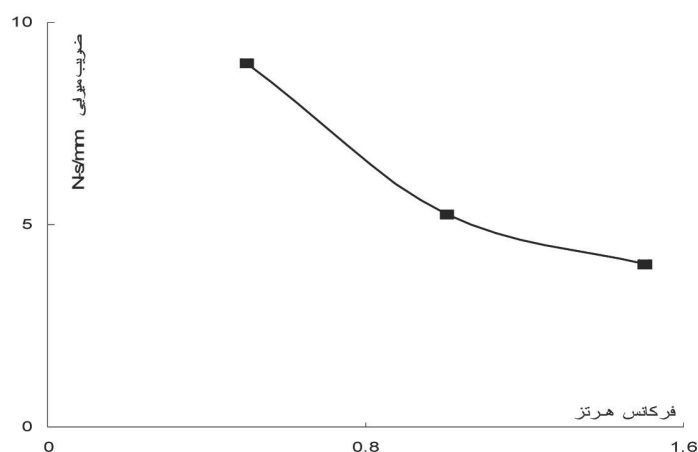
$$C = \frac{K_2}{\omega} = \frac{28.32}{3.14} = 9.02 \text{ N-S/mm}$$

همچنین خواهیم داشت:

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{K_2 u_0}{P_0} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{28.32 \times 28.5}{765} \right) \cong 90 \text{ deg ree}$$

که باتوجه به اختلاف فاز تقریباً برابر ۹۰ درجه می‌توان نتیجه گرفت که مقدار سختی ذخیره شده K_1 برابر صفر است. این نتیجه دور از انتظار نیست به دلیل اینکه میله میراگر از دو طرف امتداد داشته و مکانیزم ذخیره روغن (Accumulator) از سیستم میراگر حذف شده است. در این صورت به علت غیر قابل تراکم بودن روغن، نیروی فنری در سیستم ذخیره نمی‌گردد.

نتایج مربوط به ضریب میرایی برای سایر آزمایشات در شکل (۱۸) نشان داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود مقدار میرایی میراگر با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد که دلیل آن شاید عدم دقت دستگاهی در برآورد نیروهای کوچک خصوصاً در سرعتهای پایین (که مقدار نیروها کوچک است) باشد. البته مسئله اصطکاک نیز هنوز عامل موثری قلمداد می‌گردد زیرا که نسبت نیروی اصطکاک به کل نیرو در سرعتهای پایین (که نیروی ویسکوز کوچک است) قابل ملاحظه است. در نهایت می‌توان میراگر ساخته شده را به عنوان یک میراگر ویسکوز با ضریب میرایی متوسط ۶/۰ N-S/mm طبقه‌بندی نمود.



شکل (۱۸): تغییرات ضریب میرایی میراگر بر حسب افزایش فرکانس

ب و ج - مشخصات مکانیکی میراگر با بازشدگی ۱۶ و ۱۷ میلیمتر

به دست آمده نشان می‌دهد که ضریب میرایی تا محدوده ۱۶ میلیمتر متناسباً تغییر کرده و در مجموع کوچک است ولی پس از آن با ورود به محدوده بازشدگی ۱۵ میلیمتر به شدت ضریب میرایی تغییر کرده و بزرگ می‌شود. این پدیده نشان می‌دهد که مکانیزم کنترل جریان روغن در محدوده ۱۵ میلیمتری به سرعت به سمت بستن کامل جریان روغن در لوله پلاستیکی نزدیک می‌شود.

مطابق روش انجام شده در بخش قبل، برای میراگر با بازشدگی ۱۶ و ۱۷ میلیمتر نیز مشخصات مکانیکی محاسبه و در جداول (۱) و (۲) ارائه شده‌اند. برای میراگر با بازشدگی‌های ۱۶ و ۱۷ میلیمتر نیز می‌توان به ترتیب میرایی متوسط ۱ و ۰/۴۷ N-S/mm در نظر گرفت. نتایج

جدول (۱): مشخصات مکانیکی میراگر با بازشدگی ۱۶ میلیمتر

فرکانس	W_D N-mm	u_0 mm	P_0 N	K_2 N/mm	$N-S/mm$	C
۰/۵ هرتز	۱۰۲۲۰	۲۸/۵	۱۱۰	۴/۰	۱/۲۷	
۱/۰ هرتز	۹۷۸۰	۲۳	۱۲۵	۵/۸۸	۰/۹۴	
۱/۵ هرتز	۶۸۸۰	۱۷/۲	۱۲۴	۷/۴	۰/۷۹	

جدول (۲): مشخصات مکانیکی میراگر با بازشدگی ۱۷ میلیمتر

فرکانس	W_D N-mm	u_0 mm	P_0 N	K_2 N/mm	$N-S/mm$	C
۰/۵ هرتز	۴۸۶۰	۲۸/۵	۵۲	۱/۹	۰/۶۱	
۱/۰ هرتز	۴۴۵۰	۲۳	۶۰	۲/۶۸	۰/۴۳	
۱/۵ هرتز	۳۰۷۰	۱۷	۵۳	۳/۳۸	۰/۳۶	

۸- تعیین مشخصات غیرخطی میراگر

روابط ارائه شده در بخش قبلی برای میراگرهای ویسکوز خطی قابل استفاده می‌باشد. حال اگر میراگر دارای مشخصه‌های غیرخطی مطابق رابطه (۲) باشد، برای تعیین مقدار توان میرایی و ضریب میرایی غیرخطی آن می‌توان با تبدیل رابطه (۲) به مختصات لگاریتمی رابطه زیر را نوشت:

$$\log(f_D) = \log C + \alpha \log(\dot{u}) \quad (15)$$

ضریب α شیب خط مستقیمی خواهد بود که از انترپولاسیون مقادیر $\log(f_D)$ و $\log(\dot{u})$ بدست خواهد آمد و مقدار ضریب میرایی غیرخطی را می‌توان با گرفتن آنتی‌لگاریتم از مقدار $\log C$ به دست آورد. این روش به عنوان مثال در مراجع [۷] و [۸] به کار گرفته شده است.

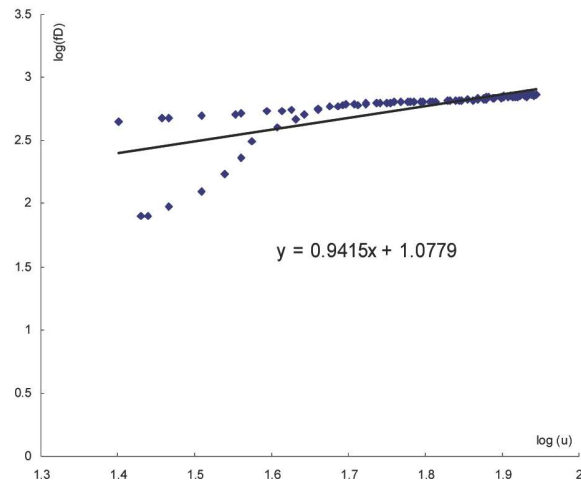
۸-۱- محاسبه ضریب غیرخطی میراگر

به عنوان نمونه تعیین ضریب غیرخطی میراگر با باز شدگی ۱۵ میلیمتر در اینجا آورده شده است. با استفاده از رابطه (۱۵) و برای فرکانسهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ هرتز این ضریب به دست آمده است. بدین منظور با توجه به اطلاعات ثبت شده و رسم منحنی‌های لگاریتمی نیرو بر حسب سرعت و با برازش خطی این اطلاعات، می‌توان ضریب α را به دست آورد. شکل (۱۹) منحنی مربوطه را برای فرکانس ۰/۵ هرتز نشان می‌دهد. ضریب غیر خطی میراگر برای فرکانسهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ هرتز به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۶ و ۰/۹۱ به دست آورده شده است. با توجه به نزدیکی اعداد فوق به عدد ۱ می‌توان با تقریب قابل قبولی فرض نمود که میراگر ساخته شده به صورت خطی عمل می‌نماید. در ضمن به عنوان مثال ضریب میرایی غیرخطی C برای

مراجع

- 1- Soong TT, Spencer BF. Supplemental energy dissipation: state of the art and state of the practice. *Engineering Structures*, 2002; 24: 243-259.
- 2- Constantinou MC, Symans MD. Experimental and analytical investigation of seismic response of structures with supplemental fluid viscous dampers. *Report No. NCEER-92-0032*, National Center for Earthquake Engineering Research, *State University of New York*, Buffalo, 1992.
- 3- Soong TT, Dargush GF. *Passive energy dissipation systems in structural engineering*. London; Wiley, 1997.
- 4- Hanson RD, Soong TT. *Seismic design with supplement energy dissipation devices*. EERI Monograph No.8, Oakland (CA): Earthquake Engineering Research Institute, 2001.
- 5- Constantinou MC. Principles of friction, yielding steel and fluid viscous dampers: Properties and design. *Passive and active structural vibration control in civil engineering*, Springer, Berlin, 1994; 209- 240.
- 6- Makris N, Constantinou MC. Viscous dampers: testing, modeling and application in vibration and seismic isolation. *NCEER Report 90-0028*. State university of New York at Buffalo, NY, 1990.
- 7- Terenzi G. Dynamics of SDOF Systems with Nonlinear Viscous Damping. *J. Engineering Mechanics*. 1999; 956-963.
- 8- Pekcan G, Mander JB, Chen SS. Fundamental considerations for the design of non-linear viscous dampers. *Earthquake Eng. Struct. Dyn* 1999; 28: 1405-1425.

حالت ۵/ هرتز برابر $C=10^{1.0779}$ خواهد بود که مقداری مساوی با ۱۱/۹۶ N-S/mm را به دست می‌دهد که در مشابهت با ضریب $C=9.02$ به دست آمده از طریق روش قبلی است.



شکل (۱۹): منحنی لگاریتمی نیرو بر حسب سرعت (فرکانس ۵/ هرتز)

۹- نتیجه گیری

در این تحقیق میراگر ویسکوز با قابلیت تنظیم جریان روغن طراحی و ساخته شد که گرچه عملکرد مکانیزم تنظیم جریان روغن آن مطلوب نبود، ولی تجربه خوبی در طراحی و ساخت میراگرهای ویسکوز به حساب می‌آید. تجربه طراحی، ساخت و آزمایشات انجام شده بر روی این میراگرها در تحقیقات آینده می‌تواند برای ساخت میراگرهای قابل کنترل به کار گرفته شود.