

# بررسی مزایای استفاده از سیستم تعلیق نیمه فعال در واگنهای مسافری

(محور همایش: ناوگان)

وهاب فضلی کچیدی<sup>۱</sup>

## چکیده

در این مقاله ابتدا سیستم تعلیق نیمه فعال و نمونه هایی از آن که در صنایع مختلف از جمله صنایع ریلی مورد استفاده قرار می گیرد، معرفی می شوند. سپس این سیستم با سیستم تعلیق معمولی و فعال مقایسه و مزایا و معایب آن مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه سیستم تعلیق نیمه فعال با استفاده از سیال  $MR^2$  و ویژگیهای آن بررسی می شود. سپس با بررسی عملکرد آن با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی تئوری و فرمولهای مربوطه ارائه می گردد. در ادامه برای ارزیابی موارد مطرح شده در محیط Simulink نرم افزار Matlab این سیستم تعلیق شبیه سازی می شود و نتایج مورد بررسی قرار می گیرد.

**کلمات کلیدی:** سیستم تعلیق نیمه فعال، سیال MR، راحتی سفر

## مقدمه

سیستم تعلیق معمولاً وظایف کنترل ارتفاع واگن از سطح ریل، ایزوله کردن بدنه واگن از نیروهای تولید شده از طرف خط، کنترل نیروهای تماسی بین چرخ و ریل، کنترل حرکت عرضی و طولی و حفظ پایداری واگن را بر عهده دارد. همه این موارد می تواند با اضافه شدن یک سیستم کنترل الکترونیکی به صورت قابل توجهی بهبود یابد. به همین منظور از سیستم تعلیق فعال و نیمه فعال می توان

---

۱- مهندسی ماشینهای ریلی دانشگاه علم و صنعت ایران- کارشناس کنترل کیفیت، شرکت صنایع ریلی ایران خودرو  
تهران- کیلومتر ۱۴ اتوبان کرج- ابتدای آزادشهر- ساختمان سریر- شرکت صنایع ریلی ایرانخودرو (ایریکو)، تلفن: ۰۹۱۵-۱۰۴۳۶۷۳

[Fazlikechidi@yahoo.com](mailto:Fazlikechidi@yahoo.com)

۲- Magneto Rheological

استفاده کرد. برای المانهای تعلیق که به صورت الکترونیکی کنترل می شوند بحث مصرف انرژی مهم می باشد. سیستم تعلیق نیمه فعال معمولاً به انرژی کمتری نسبت به سیستم تعلیق فعال نیاز دارد ضمن اینکه مانند سیستم تعلیق فعال باعث اختلال در پایداری واگن نمی شود. سیستم تعلیق نیمه فعال به این دلیل دارای شهرت بالایی است که قابلیت اعتماد آن بالا و در حد سیستم غیر فعال و کنترل پذیری آن در حد سیستم فعال و با مصرف انرژی بسیار پایین می باشد.

مفهوم سیستم تعلیق نیمه فعال و کنترل نیمه فعال ارتعاشات، برمی گردد به مدل کارنوپ<sup>۱</sup>. سیستم تعلیق نیمه فعال توسط کارنوپ در سال ۱۹۷۰ معرفی شده است. مستهلك کننده نیمه فعال بیشتر برای سیستم تعلیق اولیه استفاده شده که در منابع زیادی به آن اشاره شده است. سیستم تعلیق نیمه فعال شامل فنر و مستهلك کننده با ضریب استهلاك متغیر می باشد. تکنولوژی سیستم تعلیق نیمه فعال در حال پیشرفت در همه صنایع از جمله صنایع ریلی می باشد و معمولاً برای جذب ارتعاشات فرکانس بالا استفاده می شود. [۱]

راحتی سفر یکی از مواردی است که در حمل و نقل ریلی، در بخش مسافری از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. سیستم تعلیق نیمه فعال حدود ۱۵ درصد راحتی سفر را افزایش می دهد. هدف از کنترل ضریب استهلاك بهبود راحتی سفر و بهبود رفتار هندلینگ وسیله نقلیه می باشد و با مصرف انرژی بسیار کم قادر به تنظیم ضریب استهلاك مورد نیاز برای جذب نیروهای وارده از خط می باشد.

المانهای تعلیق نیمه فعال به سه دسته تقسیم می شوند:

۱- المانهایی که با تغییر ضریب استهلاك موجب دفع انرژی جذب شده توسط فنر می شوند.

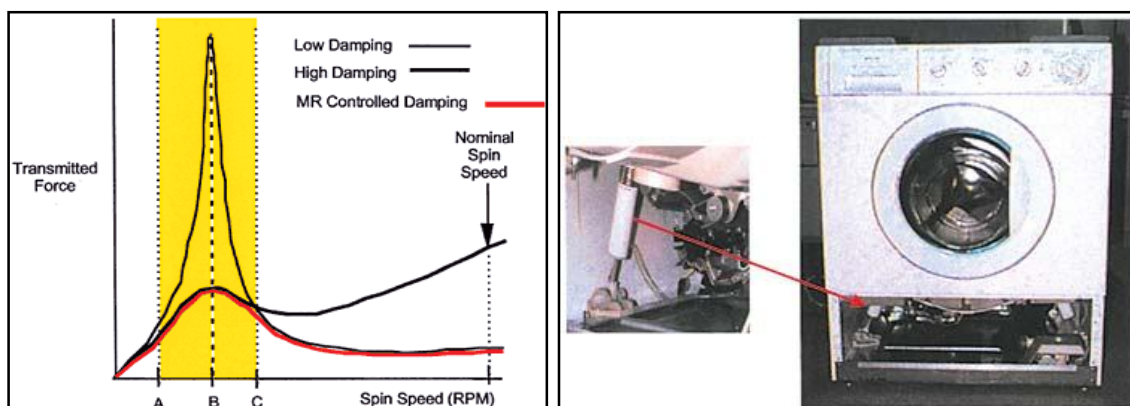
۲- المانهایی که با تغییر نیروهای وارده باعث دفع راحتتر انرژی وارده می شوند.

۳- المانهایی که با تغییر ضریب فنریت باعث جذب و دفع راحتتر انرژی می شوند.

ما در این مقاله قسمت اول یعنی المانهایی که با تغییر ضریب استهلاك موجب دفع انرژی جذب شده توسط فنر می شوند را مورد بررسی قرار می دهیم.

## ۱- نمونه هایی از استفاده غیر ریلی از سیستم تعلیق نیمه فعال

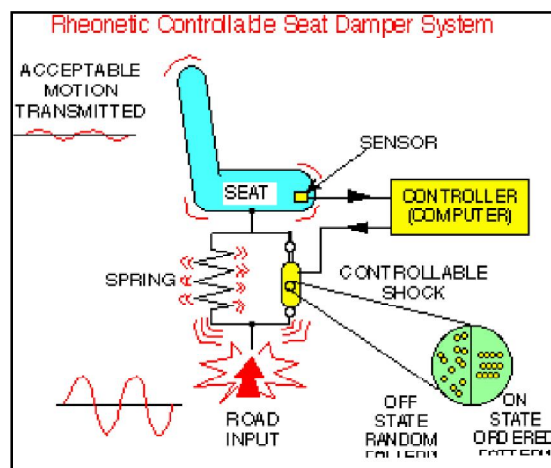
این نوع مستهلك کننده کاربردهای زیادی در صنایع مختلف دارد به طوری که امروزه در لباس شویی نیز استفاده می شود و باعث کاهش و استهلاك نیروهای ارتعاشی حاصل از اسپینینگ در حالت تشدید می شود. این نوع مستهلك کننده با توجه به سرعت عملکرد بالای آنها در دور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه لباسشویی به راحتی نیروهای ارتعاشی را مستهلك می کنند. [۲]



شکل (۱) سیستم تعلیق نیمه فعال لباسشویی و مقایسه این سیستم (رنگ قرمز) با سیستم تعلیق معمولی (رنگ مشکی) [۲]

این سیستم برای ۵ تا ۱۰ ثانیه ۱۰ وات انرژی برای اعمال نیروی مستهلک کننده ۵۰ تا ۱۵۰ نیوتن استفاده می کند و در زمانی که غیر فعال است نیروی مستهلک کننده حدود ۵ نیوتن می شود. در شکل (۱) مشاهده می شود که در صورت استفاده از این سیستم، نیروهای ارتعاشی در فرکانس تشدید راحتتر مستهلک می شوند. [۲]

نمونه دیگر استفاده از این نوع سیستم تعلیق در صندلی راننده اتومبیل و ماشینهای سنگین که در شکل (۲) مشاهده می کنید. با استفاده از این نوع سیستم تعلیق، ارتعاشات وارده از بدنه به راننده تا حد قابل توجهی کاهش و راحتی راننده افزایش می یابد. [۳]

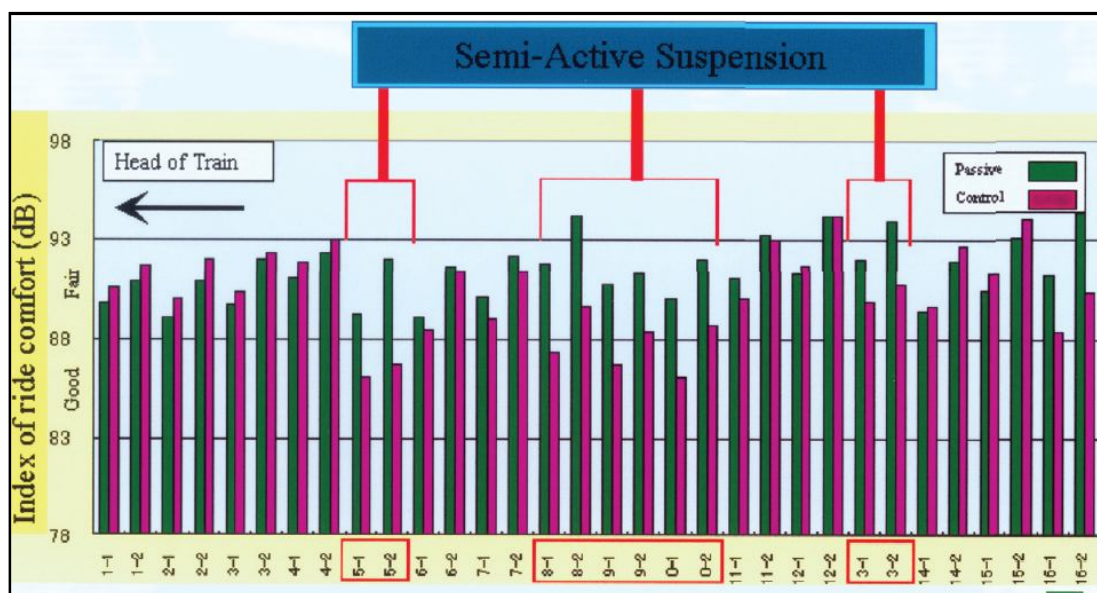


شکل (۲) نمونه استفاده از سیستم تعلیق نیمه فعال در صندلی راننده [۳]

## ۲- استفاده از سیستم تعلیق نیمه فعال در صنایع ریلی

ارتعاشات در اثر نامنظمی های مسیر و نیروهای آبرو دینامیکی در تونل باعث کاهش راحتی سفر در قطارهای مسافری به خصوص در قطارهای سرعت بالا می شود. قطار شینکانسن نمونه ای از این قطارها هستند که با تبدیل سیستم تعلیق معمولی به نیمه فعال این مشکل تا حد قابل توجهی حل شده است. زمانی که سرعت قطار بالا می رود و ارتعاشات وارده از خط توسط بوژی به بدنه واگن با ارتعاشاتی که مستقیماً از طریق آبرو دینامیک به قطار وارد می شود فرق دارد بنابراین برای استهلاک این ارتعاشات نیاز به

دو نوع مستهلک کننده بهینه متفاوت دارد. سیستم تعلیق نیمه فعال در شینکانسن سری ۵۰۰ و ۷۰۰ برای حل این مشکلات استفاده شده است. شکل (۳) تاثیر استفاده از سیستم تعلیق نیمه فعال بر راحتی سفر در قطار شینکانسن را نشان می دهد. [۴]



شکل (۳) تاثیر استفاده از سیستم تعلیق نیمه فعال در قطار شینکانسن بر حسب واگن (رنگ صورتی مربوط به تعلیق با مستهلک کننده نیمه فعال و رنگ سبز مربوط به تعلیق با مستهلک کننده معمولی می باشد) [۴]

### ۳- انواع مستهلک کننده تعلیق نیمه فعال

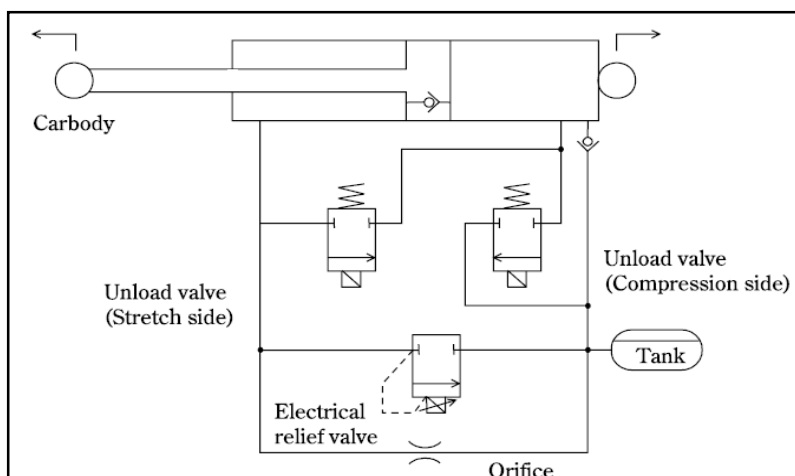
سیستم تعلیق نیمه فعال ضریب استهلاک را تغییر می دهد. در حال حاضر به دو نوع از این تعلیق می توان اشاره کرد.

#### ۳-۱- مستهلک کننده نیمه فعال با سیستم هیدرولیکی

در این نوع سیستم تعلیق با استفاده از شیر مغناطیسی سبب افزایش و کاهش میزان جریان سیال هیدرولیک در داخل مستهلک کننده می شود. کنترل این روش معمولاً سخت تر از روش بعدی می باشد ولی این روش نیز در قطارهایی مانند شینکانسن سری ۷۰۰ و ۵۰۰ بکار رفته است که باعث کاهش اثر ارتعاشات، افزایش راحتی سفر و عملکرد بهتر آن شده است. این نوع مستهلک کننده معمولاً هزینه تعمیر و نگهداری بالایی دارند و عملکرد آنها نسبت به مستهلک کننده نیمه فعال با سیال MR ضعیف تر است.

#### ۳-۲- مستهلک کننده نیمه فعال با سیال MR

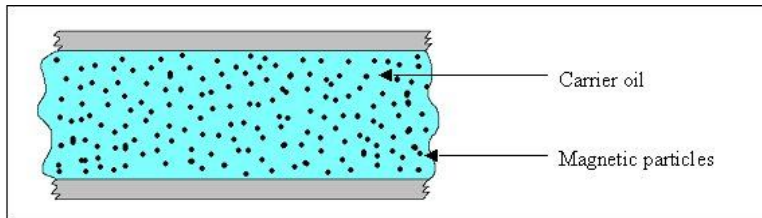
در این نوع از سیستم تعلیق با استفاده از سیال MR با تغییر جریان الکتریکی باعث تغییر ضریب استهلاک به صورت مستقل برای هر مستهلک کننده می شود. این روش سریع، ارزاتر و کنترل پذیرتر از روش قبل و هزینه ساخت، تعمیرات و نگهداری آن کمتر می باشد. در این مقاله این نوع از مستهلک کننده معرفی می شود.



شکل (۴) نمونه مستهلک کننده نیمه فعال با سیستم هیدرولیکی [۵]

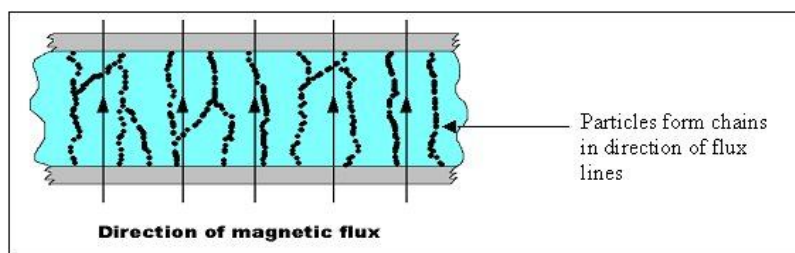
#### ۴- معرفی سیال MR

سیال MR معمولا پایه نفتی و دارای مواد مغناطیسی است که در صورت قرار گرفتن در میدان مغناطیسی ویسکوزیته آنها تغییر می کند تا نقطه ای که به سیال ویسکو الاستیک تبدیل می شود. به عبارت دیگر زمان فعال شدن سیال با میدان مغناطیسی تنش تسلیم آن با استفاده از تغییر میدان مغناطیسی قابل تغییر می باشد. ذرات مغناطیسی این سیال بسیار ریز و در ابعاد میکرو متر هستند. همانطور که در شکل (۵) می بینید این ذرات مغناطیسی در داخل آن به صورت معلق می باشند. [۶]



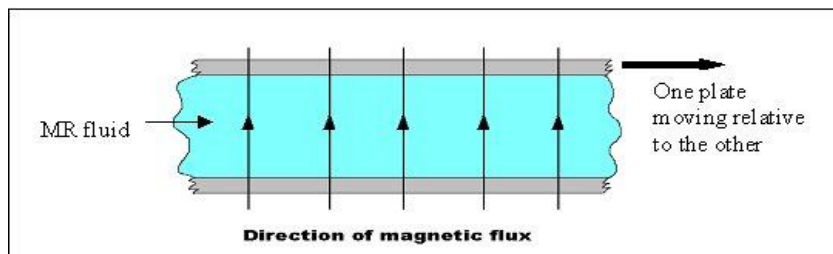
شکل (۵) ذرات مغناطیسی معلق در سیال MR [۶]

زمانی که میدان مغناطیسی برقرار می شود مواد مغناطیسی با ابعاد  $0.1$  تا  $10$  میکرو متر در راستای میدان مغناطیسی قرار می گیرند. زمانی که سیال در بین دو قطب و معمولا در طولهای  $0.5$  تا  $2$  میلی متر شکل گرفتند این زنجیر شکل گرفته از حرکت سیال عمود بر مسیر شار مغناطیسی جلوگیری به عمل می آورد. به این ترتیب ویسکوزیته سیال افزایش می یابد. [۶]

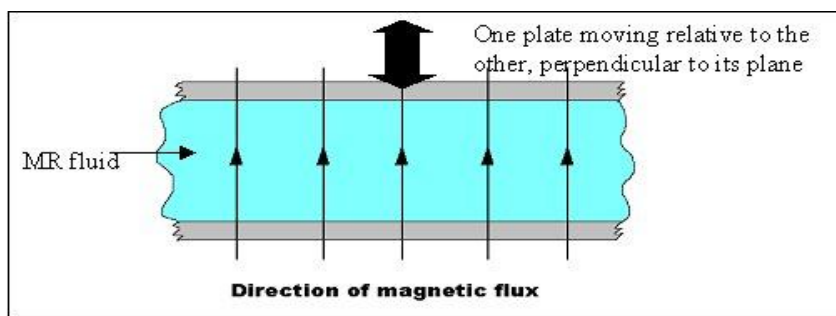


شکل (۶) جهت گیری مواد مغناطیسی در اثر میدان مغناطیسی در سیال MR [۶]

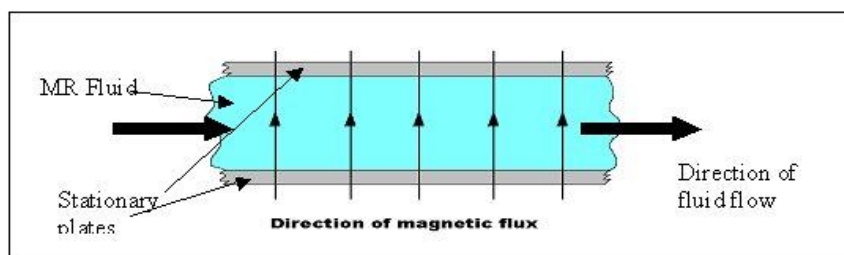
عملکرد و کاربرد سیال MR به سه حالت برشی، فشاری و جریانی می باشد.



شکل (۷) استفاده از سیال MR در کاربردهای برشی [۶]



شکل (۸) استفاده از سیال MR در کاربردهای فشاری [۶]

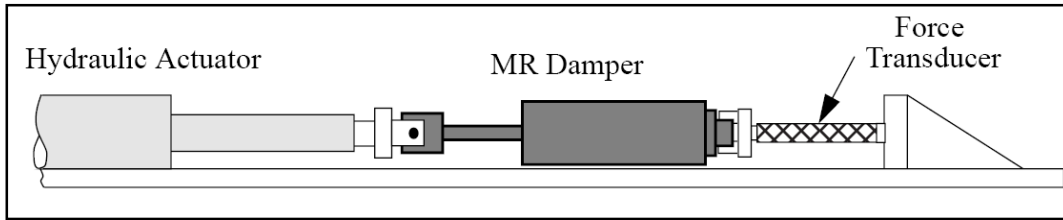


شکل (۸) استفاده از سیال MR در کاربردهای جریانی [۶]

کاربرد این سه نوع بسیار زیاد است. برای مستهلک کننده ارتعاشات معمولاً از روش جریانی استفاده می کنند. مدل برشی معمولاً در کلاچها و ترمزهایی که نیاز به کنترل گشتاور پیچشی می باشد استفاده می شود و مدل فشاری در مواردی که نیروی فشاری بسیار زیاد ولی جابجایی بسیار کم می باشد استفاده می شود. با معرفی این سه مدل سیال MR کاربرد وسیعی در بخشهای مختلف پیدا کردند. لازم به ذکر است تغییر ویسکوزیته در این نوع مستهلک کننده ها در میلی ثانیه اتفاق می افتد. [۶]

## ۵- مدل آزمایشگاهی مستهلک کننده MR [۷]

برای بحث روی مدل آزمایشگاهی مستهلک کننده MR نیاز به ارائه یک مدل می باشد که می تواند دقیقاً مدل واقعی را شبیه سازی کند. شکل (۹) نمونه ای از این مدل را نشان می دهد.



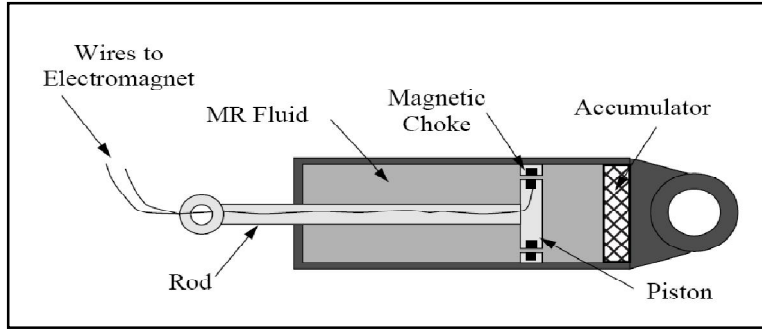
شکل (۹) مدل آزمایشگاهی برای تست مستهلک کننده MR [۷]

برای اینکار یک جک دو طرفه ساخت نوپک برای تحریک مستهلک کننده استفاده می شود. این جک با قطر  $3/8$  سانتیمتر و کورس  $30/5$  سانتیمتر است و با تفلون کاملاً فیت شده تا از اثرات غیر خطی در اثر اصطکاک جلوگیری گردد. برای کنترل جک از یک سرووالو استفاده شده است که دارای سوپاپ دینامیکی با فرکانس  $0$  تا  $45$  هرتز می باشد. برای اندازه گیری جابجایی از یک سیستم اندازه گیری  $LVDT^1$  و برای اندازه گیری نیرو از یک لودسل در رنج  $\pm 4540$  نیوتن استفاده می شود.

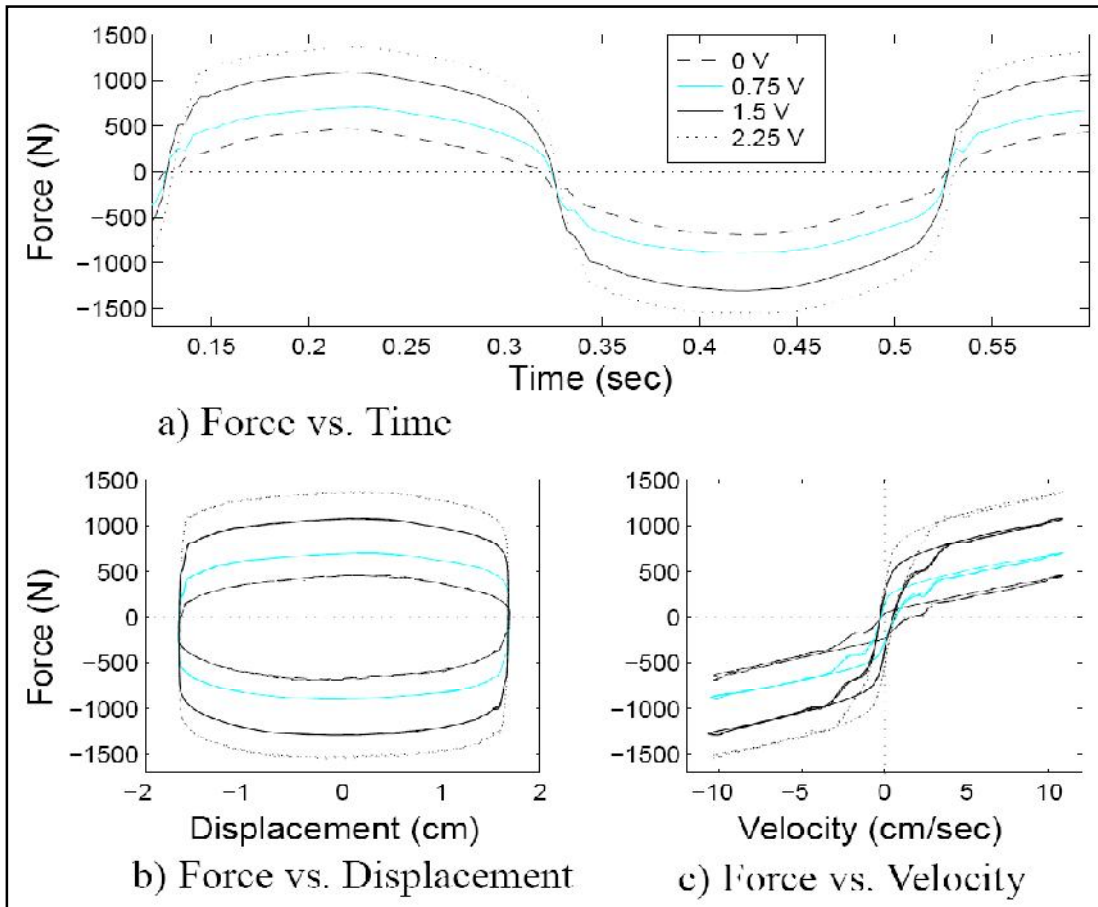
مستهلک کننده MR نمونه آزمایشی با اوریفیس ثابت و با استفاده از سیال MR ساخته شده است. این سیال شامل آهن مغناطیس شده در سایز میکرون می باشد که چگالی آن  $3/28$  گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد. حدود  $50$  میلی لیتر از سیال MR برای این کار مورد استفاده قرار گرفته است. کورس این مستهلک کننده حدود  $\pm 2/5$  سانتیمتر می باشد. همانطور که در شکل (۱۰) مشخص است کل حجم سیال که در معرض میدان مغناطیسی قرار می گیرد کم می باشد (حدود  $0.3$  میلی لیتر و میدان مغناطیسی در قسمت اوریفیس عبور سیال شدت مورد نظر را داراست. میدان مغناطیسی می تواند از صفر تا  $200$  کیلو آمپر بر متر برای جریان صفر تا یک آمپر در کویل الکترو مغناطیس که مقاومت آن حدود  $4$  اهم است ایجاد شود. کل اندوکتانس سیال MR حدود  $40$  میلی هانری است. از زمان برقراری ولتاژ سیال به  $6/5$  میلی ثانیه زمان نیاز دارد تا به تعادل مغناطیسی مورد نظر برسد و می تواند نیرویی حدود  $3000$  نیوتن ایجاد کند و بین دمای  $40$  تا  $150$  این تعادل را حفظ می کند. یک سری تستهای اولیه برای اندازه گیری پاسخ مستهلک کننده در وضعیت بارهای مختلف انجام می شود. در هر تست جک هیدرولیک با یک سیگنال سینوسی و با یک فرکانس ثابت انجام می شود پس اعمال ولتاژهای مختلف  $0$ ،  $0/75$ ،  $1/5$  و  $2/25$  ولت و نمونه برداری با فرکانس  $256$  هرتز نتایج به صورت شکل (۱۱) می باشد. پاسخ مستهلک کننده برای تحریک  $2/5$  هرتز سینوسی با دامنه  $1/5$  سانتیمتر می باشد. ولتاژهای ذکر شده منجر به جریان  $0$ ،  $0/25$ ،  $0/5$ ،  $0/75$  آمپر می شود

در شکل (۱۱) قسمت a تاثیر تغییرات میدان مغناطیسی بر نیروی مستهلک کننده به خوبی مشخص است. در ولتاژ صفر مستهلک کننده یک مستهلک کننده ویسکوز و با افزایش ولتاژ این نیروی مستهلک کننده افزایش می یابد. از تصویر c مشاهده می شود که نیروی تولید شده توسط مستهلک کننده در سرعت صفر دقیقاً صفر نیست و این به خاطر آکومولاتوری است که در مستهلک کننده MR تعبیه می شود و در داخل آن از نیتروژن با فشار  $300$  Psi پر شده است. این آکومولاتور از ایجاد پدیده کاپیتاسیون در سیال در طی عملکرد عادی جلوگیری می کند. همچنین با توجه به تصویر b آکومولاتور باعث ایجاد توازی با شیب ملایم و پهنسازی عمودی ملایمتر می شود. برای بدست آوردن یک مدل موثرتر سختی مرتبط با آکومولاتور باید به حساب آید.

مورد جالب دیگر در پاسخ نیرو بر حسب سرعت می باشد در سرعتهای بالا (مثبت یا منفی) یک روند خطی را داراست ولی در سرعت پایین به خصوص زمان تغییر علامت این روند غیر خطی و با شیب تند تغییر می کنند.



شکل (۱۰) مدل ساخته شده مستهلک کننده MR [۷]

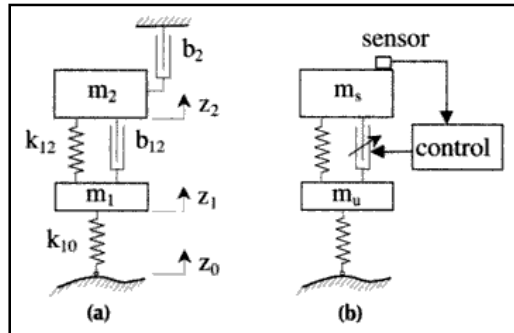


شکل (۱۱) نیروهای اندازه گیری شده برای تحریک سینوسی با فرکانس ۲/۵ هرتز و دامنه ۱/۵ سانتیمتر [۷]



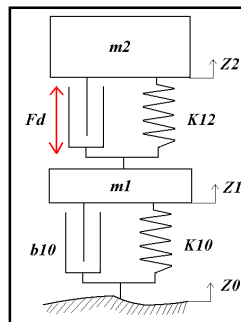
## ۶- تئوری سیستم تعلیق نیمه فعال [۸] و [۹]

مفهوم اولیه کنترل نیمه فعال و فعال بر اساس کار کارنوپ می باشد. هدف اصلی از این نوع سیستم تعلیق راحتی سفر است. این کار معادل کاهش جرم فنر بندی می باشد. به عبارت دیگر در مدل کارنوپ بین جرم فنر بندی شده و فضا یک مستهلک کننده قرار می گیرد نیروی استهلاک این مستهلک کننده مجازی ارتعاشات جرم فنر بندی شده را کاهش می دهد. (شکل (۱۲))



شکل (۱۲) (a) مدل ایده ال کارنوپ (b) مدل واقعی کارنوپ [۹]

این مدل را می توان به مدل شکل (۱۳) ساده سازی کرد و معادله (۱) را بدست آورد. در این فرمولها  $m_2$  جرم واگن،  $m_1$  جرم فنر بندی نشده،  $F_d$  نیروی مستهلک کننده نیمه فعال بین دو جرم،  $K_{12}$  ضریب سختی فنر بین دو جرم،  $b_{10}$  و  $K_{10}$  مشخصات مسیر حرکت واگن،  $Z_1$  و  $Z_2$  جابه جایی جرمهای ذکر شده و  $Z_0$  تحریک وارده از مسیر می باشد.



شکل (۱۳) مدل ساده سازی شده [۹]

$$m_1 \ddot{z}_1 + k_{10}(z_1 - z_0) + b_{10}(\dot{z}_1 - \dot{z}_0) - k_{12}(z_2 - z_1) + F_d = 0 \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{z}_2 + k_{12}(z_2 - z_1) - F_d = 0$$

در مدل شکل (۱۲) بخش a مدل مجازی می باشد که مستهلک کننده  $b_2$  برای جرم فنر بندی شده به عنوان مستهلک کننده نیمه فعال در نظر گرفته می شود. نیروی ایده ال  $F_d$  به صورت فرمول (۲) می باشد:

$$F_d = -b_2 \dot{z}_2 \quad (2)$$

اگر این نیرو توسط یک سیستم تولید نیروی فعال تولید شود این پروسه به عنوان سیستم تعلیق فعال تلقی می شود. برای سیستم نیمه فعال این نیرو به نیروی تولیدی توسط ادوات تولید کننده این نیرو محدود می شود و برای نرخ مستهلک کننده نیمه فعال

مناسب و نزدیک به مقدار مورد انتظار تنظیم می شود. برای یک مستهلک کننده خطی واقعی ضریب استهلاک نیمه فعال بین دو مقدار ماکزیمم و مینیمم به صورت زیر تنظیم می شود:

$$b_{max} \text{ if } b_{max} < b_{act} \quad (3)$$

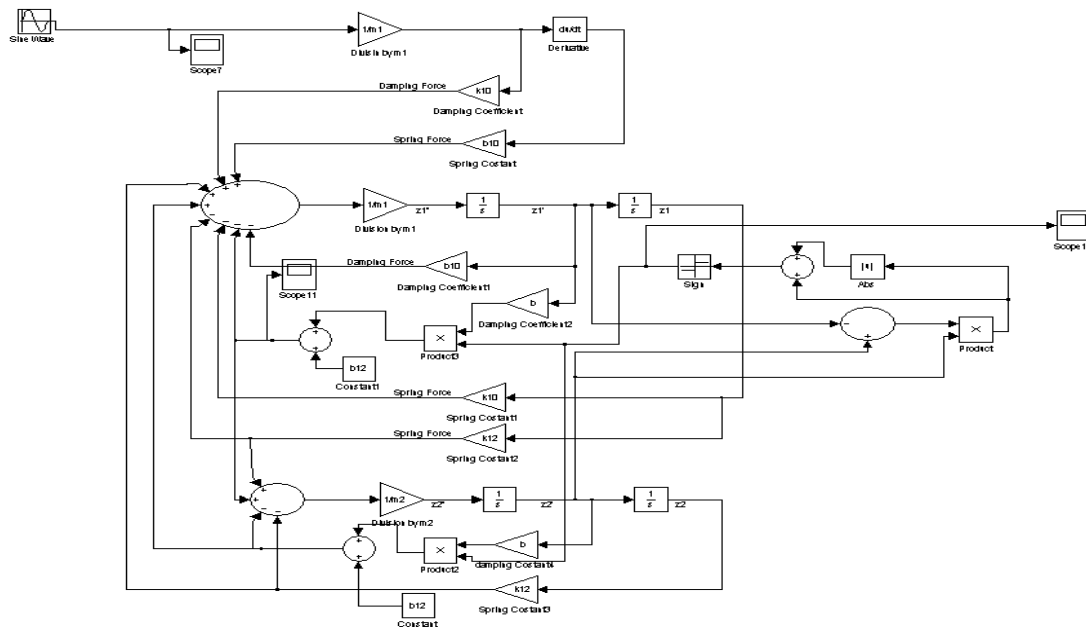
$$b_{semi-active} = b_{act} \text{ if } b_{min} < b_{act} < b_{max} \quad b_{act} = \frac{F_{act}}{(\dot{z}_2 - \dot{z}_1)}, \quad F_{act} = F_d$$

$$b_{min} \text{ if } b_{act} < b_{min}$$

یکی از مشکلات در بکارگیری از این نوع سیستم تعلیق استفاده از سنسور مناسب می باشد. اندازه گیری مستقیم سرعت جرم فنر بندی شده امکان پذیر نیست. بنابراین شتاب اندازه گیری و بعد از فیلتر کردن مناسب از آن انتگرالگیری می شود.

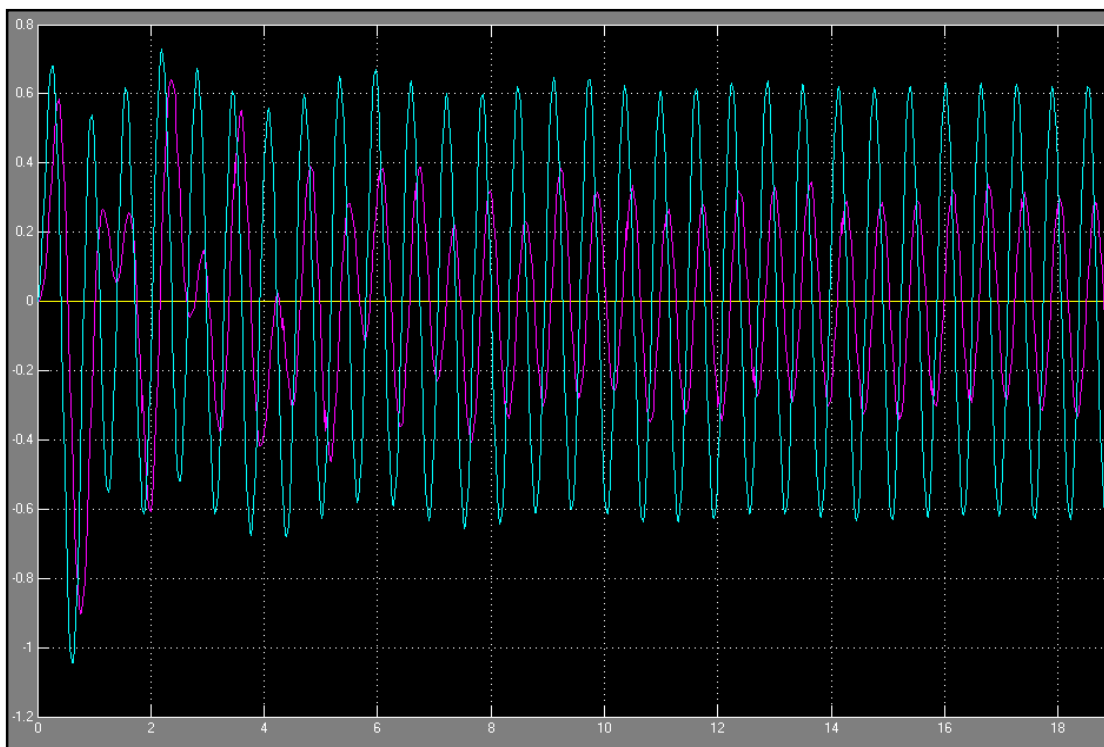
### ۷- شبیه سازی سیستم تعلیق نیمه فعال

با استفاده از محیط Simulink نرم افزار Matlab مدل معرفی شده برای شرایط نزدیک به واگن مسافری صنایع ریلی ایران خودرو و تحریک سینوسی برای مدل با تعلیق معمولی و نیمه فعال شبیه سازی می شود و نتایج مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل (۱۳) مدل ایجاد شده در محیط Simulink نرم افزار Matlab برای سیستم تعلیق نیمه فعال

با توجه به نمودار شتاب بر حسب زمان نمودار شکل (۱۴)، مشاهده می شود مقادیر شتاب برای سیستم با تعلیق نیمه فعال کمتر از سیستم با تعلیق معمولی می باشد لذا استفاده از سیستم تعلیق نیمه فعال باعث افزایش راحتی سفر و بهبود رفتار هندلینگ می شود.



شکل (۱۴) نمودار شتاب برحسب زمان (رنگ سبز برای سیستم با تعلیق معمولی و رنگ صورتی برای سیستم با تعلیق نیمه فعال)

## ۸- نتیجه گیری

با توجه به مقاله ارائه شده به راحتی می توان ادعا کرد در صنایع روز دنیا که مرتبط با راحتی انسان است، از قبیل لوازم خانگی مانند لباسشویی، خودروهای ریلی، جاده ای و کشاورزی و ... از سیستم تعلیق فعال و نیمه فعال زیاد استفاده می شود. در این بین معمولاً در صنایع سنگین مانند صنایع ریلی سیستم تعلیق نیمه فعال به دلیل هزینه ساخت و تعمیرات و مصرف انرژی پایین و عدم اختلال در پایداری دینامیکی وسیله نقلیه ریلی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. به این ترتیب استفاده از این نوع سیستم تعلیق می تواند موجب افزایش راحتی مسافر و بهبود رفتار هندلینگ و در نتیجه افزایش تقاضا برای سفرهای ریلی شود. به نظر می رسد این تکنولوژی در آینده در ساخت واگنهای مسافری داخلی برای رسیدن به اهداف ذکر شده مورد توجه قرار گیرد.

## ۹- مراجع

- [1]- A.Fotouhi, A.Yousefi-Koma “Semi active train bogie suspension using skyhook damper”  
The 13<sup>th</sup> international congress on sound and vibration, Austria, 2006  
[2]- J. David Carlson, Lord Corp “Controlling Vibration with Magnetorheological Fluid  
Damping” February 1, 2002, Sensors Magazine

- [3]- Farid Golnaraghi “Active and Passive NVH” Canada Research Chair, Intelligent Mechatronics and Materials Systems, Department of Mechanical Engineering, Waterloo University, 2003
- [4]- Sasaki, Kimiaki, Vehicle Noise & Vibration Senior Researcher, “Semi-Active Suspension System” Railway Technology Avalanche, No. 1, January 1, 2003
- [5]- Kimaki Sasaki, Senior Engineer, Vehicle Control G., Vehicle Technology department Div., Technological Development Dept., “A Lateral Semi-Active Suspension of Tilting Train” QR of RTRI, Vol. 41, No. 1, Mar. 2000
- [6]- From Wikipedia, the free encyclopedia, “Magnetorheological Fluid”
- [7]- B.F.Spencer, S.J.Dyke, M.K.Sain, J.D.Carlson “Phenomenological model of a magnetorheological damper” ASCE, March 1996
- [8]- D.Karnopp, M.J.Crosby, R.A.Harwood “Vibration control using Semi-Active force generator” ASME, May 1974
- [9]- Michel Valasek, Willi Kortum “Semi-Active Suspension System II” CRC Press LLC, 2002
- [10]- P.De Man, P.Lemerle, P.Mistrot, J-Ph. Verschueren, A.Preumont “An investigation of a Semi-active suspension for fork lift truck”
- [11]- Yongjun Shen, Shaopu Yang, Cunzhi Pan, Haijun Xing “Semi-Active control of hunting motion of locomotive based on magnetorheological damper” ICIC International, China, 2006
- [12]- Sasaki, Kimiaki “Semi-Active Suspension System” Railway Technology Avalanche, No.1, January 2003
- [13]- Michele Ieluzzi, Patrizio Turco, Mauro Montiglio “Development of a heavy truck Semi-Active suspension control” Control Engineering Practice, 2006