

## شبیه سازی آداپتور و ایزولاتور بین ماهواره و ماهواره بر با استفاده از دمپ‌های هوشمند با سیالات مگنتولوژیک

حامد صفارزاده<sup>۱</sup>، محمد حسن جوارشکیان<sup>۲</sup>، علی اسماعیلی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی ارشد هوافضا دانشگاه دانشگاه فردوسی مشهد، hamed.saffarzadeh@gmail.com

<sup>۲</sup>دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد، javareshkian@um.ac.ir

<sup>۳</sup>دانشجوی ارشد مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد، aliesmaeli30316@yahoo.com

چکیده: تجهیزات فضایی با توجه به هزینه، حساسیت و دقت بالا در عملکرد آنها نیاز به مراقبت‌های خاص و فراهم کردن شرایط ایمن برای آنها ضروری است. بحرانی‌ترین زمان برای این وسایل زمان پرتاب تا استقرار در محل مورد نظر برای انجام عملیات می‌باشد. از جمله تجهیزاتی که نیاز به مراقبت بالا در این زمان دارند، می‌توان ماهواره‌ها، فرستنده‌های رادیویی، تلسکوپ‌های فضایی که به عنوان محموله‌های فضایی می‌باشند نام برد. در سفینه‌های فضایی یا ماهواره‌برها بنا به اهمیت موضوع ایزولاتورها کاربرد فراوانی دارند که به عنوان آداپتور بین ماهواره و ماهواره‌بر نیز مورد استفاده می‌باشد تا بتوان ارتعاشات ناخواسته و مضر را به حداقل برسانند. از جمله سیستم‌های کنترلی ارتعاشات در این آداپتورها سیستم کنترلی فعال و نیمه فعال می‌باشد در این مقاله به سیستم کنترلی نیمه فعال پرداخته می‌شود زیرا نسبت به سیستم فعال قابلیت اطمینان بیشتری دارند و از تطبیق پذیری بالایی در شرایط کاری مختلف برخوردار است و می‌تواند ارتعاشات غیر مفید ایزولاتورها را به خوبی جذب کند و با صرف انرژی بسیار کم قابل بکارگیری می‌باشد به همین دلیل امروزه مورد توجه و پیشرفت زیادی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی - آداپتور بین ماهواره و ماهواره بر، ایزولاتور، دمپ هوشمند، سیال مگنتولوژیک، سیستم کنترلی نیمه فعال

(Shock Ring Isolator) می‌باشد که معمولاً بالا و پایین محموله

قرار می‌گیرند. این سیستم از چند لایه صفحه فلزی که مانند فنر عمل می‌کنند تشکیل شده و قابلیت دمپ بالای پاسخ‌های دینامیکی و تضعیف ارتعاشات دارد همچنین اتصالات مرکب داخلی آن مانع انتقال شوک‌های ارتعاشی می‌شود.

دو جاذب ارتعاشی قبلی با توجه به کارآمدی خوب دارای نواقصی بودن، به عنوان مثال نمونه اول در جذب ارتعاشات متوسط ضعیف عمل می‌کرد و مدل حلقه‌ای نمی‌تواند ارتعاشات را در تمام جهت‌ها جذب و در بارهای کششی قابلیت ندارد. بنابراین نیاز به سیستم کارآمدتری می‌باشد تا بتواند نواقص گفته شده را برطرف کند. با کمک سیستم‌های دمپ و فنر می‌توان موارد بالا را تکمیل کرد ولی چون پاسخ‌های دینامیکی در محدوده‌های مختلفی می‌باشند نیاز به سیستمی می‌باشد که بتوان در شرایط مختلف عملکرد یکسانی داشته باشد. یکی از جدیدترین روش‌هایی که این نیاز را برطرف می‌کند ایزولاتوری با سیستم کنترلی فعال یا نیمه فعال می‌باشد.

از جمله جدیدترین سیستم‌ها، سیستم کنترلی فعال برای که برای ماهواره بر آراین توسط گروه EADS مورد مطالعه قرار گرفته و برای ماهواره بر ASTRIUM شبیه سازی شده است این نوع ایزولاتور به صورت دو حلقه می‌باشد که توسط بیست و

### ۱- مقدمه

برای کاهش بارهای دینامیکی نسبت به محموله‌های گوناگون می‌توان روش‌های مختلف یا ترکیبی از آنها را استفاده کرد. از جمله عمومی‌ترین آنها می‌توان:

تغییر فرکانس طبیعی با میزان سختی سازه

افزایش میزان میرایی سازه توسط مستهلک کننده‌ها ( این

تأثیر فقط برای شرایط هارمونیک می‌باشد)

افزایش جاذب‌های ارتعاشی ( فقط برای ارتعاش‌های کوچک

در محدوده فرکانسی کوچکتر از ۲۰۰ Hz) را نام برد.

در سفینه‌های فضایی یا ماهواره‌برها بنا به اهمیت موضوع ایزولاتورهای مختلف کاربرد دارند تا بتوان ارتعاشات ناخواسته و مضر را به حداقل برسانند. در ماهواره‌برها عموماً از ایزولاتورهای سافت راید یونیفلکس ( Soft Ride UniFlex ) استفاده می‌شود.

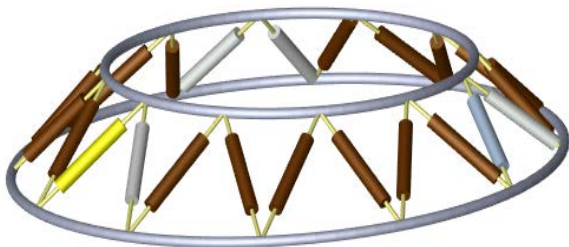
این مدل به خوبی ارتعاشات را کاهش می‌دهد و اهمیت بالای آن در نسوز بودن و تحمل دماهای بالا می‌باشد و قابلیت بازگشت به حالت اولیه تحت بارهای فشاری و کششی زیاد می‌باشد. اما امکان جذب ارتعاشات در محدوده متوسط، هارمونیک و کوتاه را ندارد نوع دیگر از ایزولاتورها جاذب‌های ارتعاشی حلقه‌ای

پایداری بیشتر، کار در محدوده دمایی بالاتر، پاسخ سریع برای ارتعاشات در ایزولاتورها و قدرت دمپ مختلف بر حسب نیاز ایجاد کند.

## ۲- شرح مسئله و موضوع:

هدف این تحقیق بررسی قابلیت استفاده از آداپتور هوشمند بین ماهواره و ماهواره بر با دمپر با سیال مگنتولوژیک و سیستم کنترلی نیمه فعال می‌باشد. در این مقاله این آداپتور توسط نرم افزار متلب (MATLAB) شبیه سازی شده است. نمای کامل ساختار سیستم ایزولاتور هوشمند در شکل (۱) مشاهده می‌شود.

شکل ۱ شماتیک آداپتور هوشمند حمل بار نیمه فعال



دمپر ام.آر.مورد استفاده در این ایزولاتور شبیه سازی شده مدل (RD-1005-1) می‌باشد. ارزیابی عملکرد دمپر ام.آر. در سیستم‌های کنترلی ارتعاشات برای بکارگیری در ابزارهای مختلف دارای مزایای بسیاری می‌باشد. مدل ریاضی پیشنهادی توسط اسپنسر و همکارانش {۳} مطابق با این مطالعه می‌باشد. در ابتدا یک سیستم یک درجه آزادی را در نظر گرفته و میزان تحمل نیرو فشاری و کششی و همچنین ضریب دمپر را برای ولتاژهای مختلف بررسی کرده و با نتایج تجربی موجود در مقاله {۳} مقایسه خواهد شد سپس با شبیه سازی آداپتور به تحلیل شش درجه آزادی و به مقایسه آن با سیستم غیر فعال که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گرفت با کنترلر می‌پردازیم.

## ۳- مدل سازی و شبیه سازی آداپتور هوشمند

### ۳-۱ شبیه سازی دمپر مگنتولوژیک یک درجه آزادی

مدل رایج برای دمپر مگنتولوژیک مدل بوک-ون می‌باشد که بیشتر برای مدل سازی سیستم های هیستریک استفاده می‌شود. اما این روش پیش بینی درستی برای نرخ نیرو در سرعت های کم ندارد. به همین دلیل برای پیش بینی بهتر مدل بوک ون تصحیح شد و به صورت زیر بیان شد.

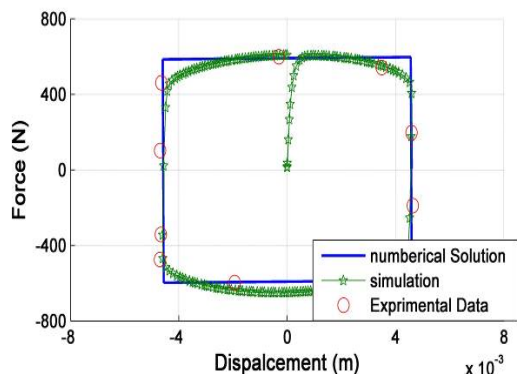
چهار پایه که مانند فنر- دمپر عمل می‌کند متصل شده اند داخل این پایه ها توده‌ای از فیزو الکتریک می باشد که با تحریک توسط ولتاژ بالا قابلیت ایجاد نیروی کششی یا فشاری دارند که بنا به نیاز توسط یک سیستم کنترلی این ولتاژ به هر پایه انتقال داده می‌شود {۱}. این سیستم با توجه به تغییر در نیروی دمپ قابلیت کار در شرایط مختلفی را دارد بنابراین مورد توجه زیادی قرار گرفته از طرفی این سیستم نیاز به یک سیستم کنترلی و تامین کننده ولتاژ خیلی بالا در حدود ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ ولت می باشد برای فیزو الکتریک ها می باشد و یک سیستم کنترلی فعال می‌باشد. طی چند سال اخیر سیستم کنترلی نیمه فعال مورد استفاده زیادی قرار گرفته که ما در اینجا با استفاده از این سیستم و دمپ‌های هوشمند یک آداپتور برای ماهواره برها ارایه می کنیم که این سیستم همانند سیستم ایزولاتور توسط فیزو الکتریک ها می باشد با این تفاوت که بجای پایه های متشکل از فیزو الکتریک ها از دمپر با سیالات مگنتولوژیک (Magnetorheologic) و سیستم کنترلی نیمه فعال که سبک تر، نیاز به تجهیزات جانبی کمتر و قابلیت بیشتری دارد استفاده می‌شود.

ایزولاتور می‌تواند برای کنترل ارتعاشات سیستم‌های در حال حرکت مورد استفاده قرار گیرد. تاثیر کنترل ارتعاشات بر روی ایزولاتورها ضروری می‌باشد. تکنیک کنترل ارتعاشات به صورت کلی به سیستم های غیر فعال، فعال و نیمه فعال تقسیم می‌شود. سیستم نیمه فعال با توجه به مزایا و کارایی بالاتر در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است. این مدل با پسخور ورودی ارتعاشات قابلیت تطابق پذیری بر حسب میزان انرژی پراکندگی بر مستهلک کننده را دارد و بر حسب نیاز خصوصیات عملکردی مختلفی پیدا می‌کند. در عین حال با صرف انرژی خیلی کمتر و زمان واکنش پایین تر نسبت به سیستم های فعال دارد.

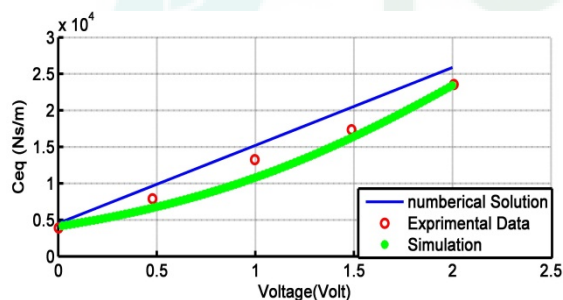
سیال مگنتولوژیک معمولاً از ذراتی مانند آهن یا کبالت که خاصیت مغناطیسی در ابعاد میکرو یا نانو همراه با سیالی مانند روغن سیلیکونی یا روغن طبیعی با درصد مشخص ترکیب شده، تشکیل می‌شوند که این ذرات دارای قطبیت مغناطیسی و بصورت همگن و معلق بوده می باشند. هنگامی که جریان مغناطیسی بر سیال وارد می‌شود ذرات بصورت زنجیری پیوسته شده و سیال را بصورت یک ماده نیمه جامد تبدیل کرده و رفتاری مانند ماده ویسکوپلاستیک از خود نشان می‌دهد مانند سیال‌های ای.آر. (Electororhologic). این تغییرات ویسکوزیته قابل کنترل بوده و به سیال در دمپرها این قابلیت را می‌دهد که

تأثیر آن باعث افزایش ویسکوزیته شده در نتیجه نیروی استهلاک زیاد می‌گردد.

در شکل (۳) تغییرات ضریب استهلاک نسبت به جریان الکتریکی و فرکانس در یک دامنه ثابت خوبی نمایان می‌باشد.



شکل ۲ تغییرات نیرو بر حسب جابجایی و اعتبار سنجی



شکل ۳ تغییرات ضریب دمپر با ولتاژ

مقایسه نتایج بدست آمده از شبیه سازی دمپر مگنتولوژیک بصورت یک درجه آزادی و تطابق با نتایج تجربی صحت مدلسازی را تایید می‌کند تا از آن بتوان در شبیه سازی آدابتور هوشمند استفاده نمود.

### ۳-۲ شبیه سازی سیستم آدابتور هوشمند

شبیه سازی آدابتور هوشمند با سیال مگنتولوژیک در دو قسمت مکانیکی و الکتریکی-کنترلی صورت می‌گیرد.

### ۳-۲-۱ شبیه سازی مکانیکی

شکل (۴) مدل شبیه‌سازی شده آدابتور را نشان می‌دهد. که شامل بلوکهای زمین (Ground)، حلقه پایینی (Bottom Ring)، زیرسیستم لینکهای، و حلقه بالایی (Top Links) است. ورودیهای سیستم شامل حرکت لینک پایین و ولتاژ است. این ولتاژ توسط کنترلر محاسبه می‌شود. در زیر سیستم بیست و چهار عدد لینک MR مدل شده است، شکل (۴). هر لینک توسط یک مفصل کروی (Spherical) به حلقه پایین و به وسیله-

اسپنسر، مدل بوک-ون بهبود یافته را برای سرعت های پایین ارائه کرد. در این حالت سفتی انباره با  $k_1$  و میرایی ویسکوز که در سرعت های بالا  $c_0$  نمایش داده می شود. تصحیح خطا در سرعت های پایین با وارد کردن ترم اصطکاک  $c_1$  انجام می پذیرد و در آخر  $k_0$  سفتی را در سرعت های بالا کنترل می کند و  $x_0$  جابه جایی اولیه فنر  $k_1$  است. با در نظر گرفتن قسمت بالایی سیستم در ولتاژ ثابت، در حالیکه نیرو در طرف دیگر میله صلب متعادل است می‌توان نوشت: {۳}

$$c\dot{y}(t) = \alpha z(t) + k_0 x(t) - y(t) + c_0 [\dot{x}(t) - \dot{y}(t)] \quad (1)$$

که در آن یک  $y(t)$  متغیر داخلی و  $z(t)$  یک متغیر اضافی است

$$z(t) = -\gamma |\dot{x}(t) - \dot{y}(t)| z(t) |z(t)|^{n-1} \quad (2)$$

$$-\beta |\dot{x}(t) - \dot{y}(t)| |z(t)|^n + A[\dot{x}(t) - \dot{y}(t)]$$

$$\dot{y}(t) = \frac{1}{(c_0 - c_1)} \{ \alpha z(t) + c_0 \dot{x}(t) + k_0 [x(t) - y(t)] \}$$

نیرو نهایی سیستم با جمع کردن دو قسمت بالایی و پایینی در رابطه (۷) تعیین می‌شود.

$$s(t) = \alpha z(t) + c_0 [\dot{x}(t) - \dot{y}(t)] + k_0 [x(t) - y(t)] + k_1 [x(t) - x_0(t)] \quad (3)$$

جهت اعمال کنترل بهینه می‌بایست میدان مغناطیسی بر حسب جواب‌های گرفته شده به طور پیوسته تغییر می‌کند. برای این منظور وابستگی پارامترهای مدل سازی به میدان مغناطیسی مورد نیاز است. براساس نتایج آزمایشگاهی نشان داده می‌شود مقدار مقاومت سیال در حالت پایدار و میرایی ویسکوز با ولتاژ اعمالی رابطه خطی دارند و عموماً دینامیک سیال مگنتوریولوژیک در فاز عبور معادل ریولوژیک با فیلتر مرتبه ۱ نمایش داده می‌شود. که در آن ولتاژ اعمالی به محرک جریان است.

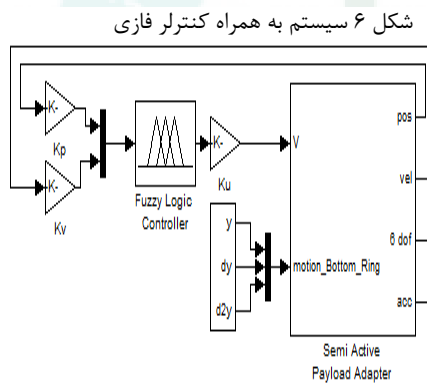
شکل (۲) تغییرات نیرو نسبت به جابجایی در ولتاژهای مختلف و دقت را نسبت به نتایج تجربی نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود به افزایش جریان الکتریکی که مستقیم به سیم پیچ دمپر اعمال می‌گردد منجر به افزایش میدان مغناطیسی و

ی یک مفصل یونیورسال (Universal) به حلقه‌ی بالایی متصل شده است. در زیر سیستم MR Link خود دمپر MR مدل شده است، شکل (۵). نیروی دمپر تابعی از تغییر طول دمپر، سرعت دمپر و ولتاژ اعمالی به آن است.

### ۳-۲-۲ قسمت کنترلی و الکتریکی

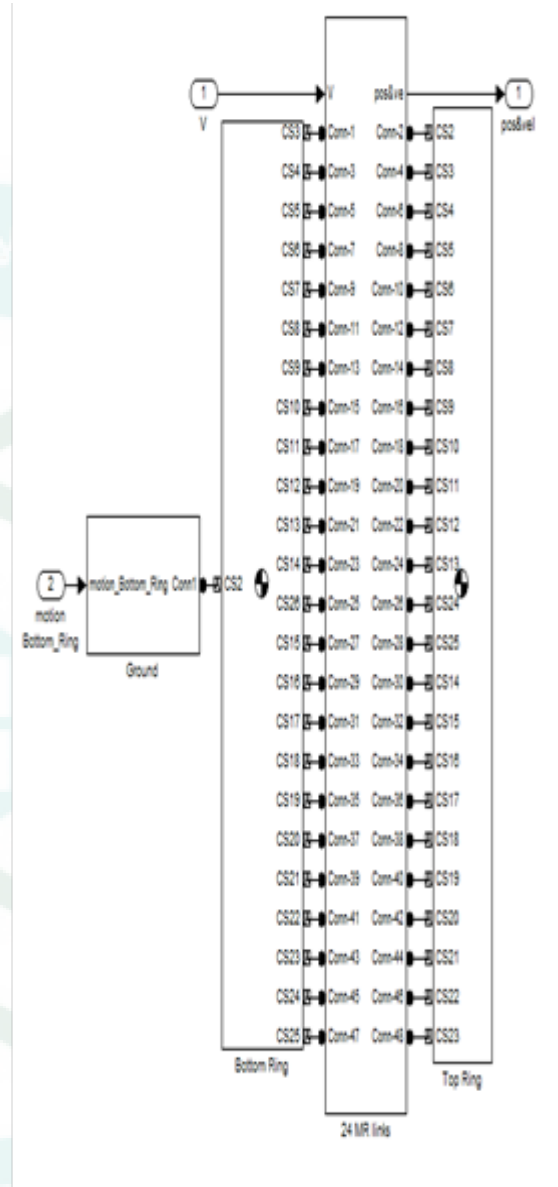
یکی از قسمت‌های اصلی سیستم بخش کنترلی آن است. وظیفه‌ی این بخش محاسبه‌ی ولتاژ اعمالی بر سیم پیچ است. این ولتاژ باعث می‌شود که میدان مغناطیسی در سیم پیچ ایجاد شود. میدان مغناطیسی ایجاد شده باعث تغییر ویسکوزیته‌ی سیال می‌شود. ولتاژ بایستی به گونه‌ای محاسبه شود تا در کمترین زمان ممکن ارتعاشات دمپ شود و دامنه نوسانات سینوسی کاهش یابد. در این مقاله از سیستم کنترلی فازی {۴و۵} استفاده شده است. شکل (۶)

آداپتور طراحی شده دارای ۶ درجه آزادی و ۲۴ عدد لینک است. هدف ثابت ماندن حلقه‌ی بالایی با وجود اعمال اغتشاش به حلقه‌ی پایینی است. برای این کار از ۶ درجه آزادی به عنوان فیدبک استفاده گردیده تا ولتاژ اعمالی به ۲۴ لینک محاسبه شود.

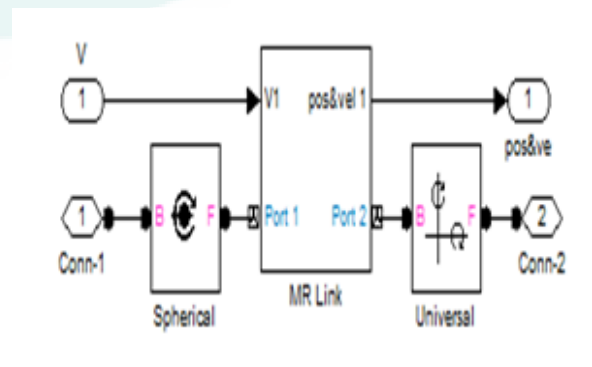


### ۴ - نتیجه‌گیری

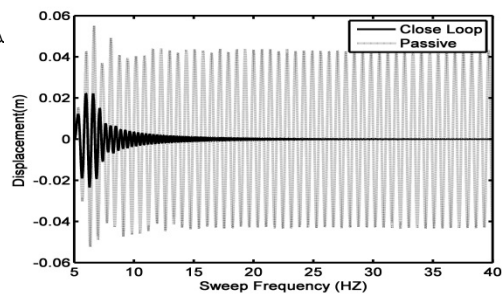
در نمودارها زیر سرعت و شتاب حلقه بالایی بر حسب فرکانس در دو راستای عرضی و طولی (مختصات X, Y) تحریک رسم شده است. ورودی سیستم یک موج سینوسی است که فرکانس آن از 5 Hz تا 40 Hz به صورت خطی تغییر می‌کند. در هر نمودار ارتعاشات سیستم هنگامی که کنترلر فعال است و همچنین در شرایطی که کنترلر غیر فعال (ولتاژ صفر) است، نشان داده شده است. دیده می‌شود که سیستم پیشنهادی به خوبی توانسته است ارتعاشات سیستم را کاهش دهد. لازم به ذکر می‌باشد به دلیل تقارن تغییرات سرعت و شتاب در راستای Z همانند راستای X می‌باشد.



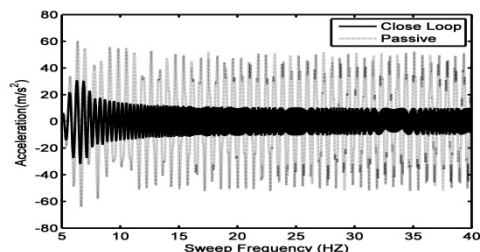
شکل ۴ مدل‌سازی سیستم در Matlab-Simulink



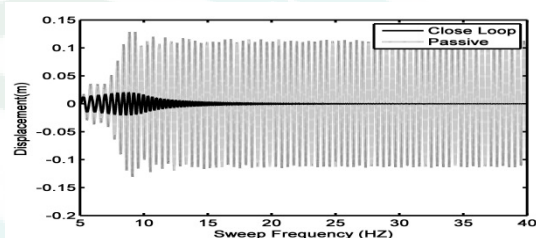
شکل ۵ زیرسیستم 24 MR Links



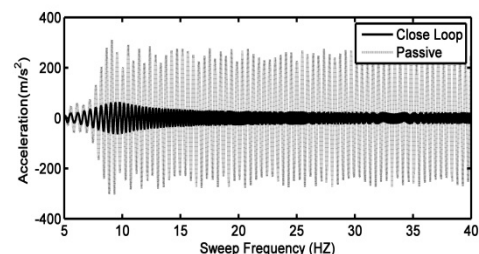
شکل ۷ جابجایی نسبت به تغییرات فرکانس در راستای طولی (X)



شکل ۸ شتاب نسبت به تغییرات فرکانس در راستای طولی (X)



شکل ۹ جابجایی نسبت به تغییرات فرکانس در راستای عرضی (Y)



شکل ۱۰ شتاب نسبت به تغییرات فرکانس در راستای عرضی (Y)

## مراجع

1. LPDR-RP-0001-ASTBRE, Iss 1, 16.02.2007 LPDRS study Executive Summary Report
2. Spencer B F Jr, Dyke S J, Sain M K and Carlson D 1997 "Phenomenological model of a magnetorheological damper" J. Eng. Mech. 123:230-8
3. W H Liao and C Y Lai, "Harmonic analysis of a magnetorheological damper for vibration control", Smart Mater. Struct. 11 (2002) 288-296 PII: S0964-1726(02)34308-8
4. Claudia Mara Dias Wilson and Makola M. Abdullah, "Structural vibration reduction using self-tuning fuzzy control of MR dampers", Bulletin of Earthquake Engineering, 2010, Volume 8, Number 4,
5. Yeesock Kim, Reza Langari, Stefan Hurlebaus, "Semiactive nonlinear control of a building with a magnetorheological damper processing system" Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 23, Issue 2, February 2009, Pages 300-315