ستاد ملی هفته پژوهش و فناوری

دانشگاه بوعلی سینا
دانشکده مهندسی

بهینه سازی توپولوژی پارامتری ژیروسکوپ ممز در کاربرد خودرو

گروه آموزشی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

- کبری خادمی فروغ، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق کنترل
- دکترمنوچهر حسینی، استادیاردانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده مهندسی، گروه برق
- دکتر مجید غنی ئی، استادیاردانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده مهندسی، گروه برق

majidghaniee@gmail.com

manouchehr.hosseini@gmail.com

k.khademi69@gmail.com

چکیده

در سال‌های اخیر، ژیروسکوپ‌های میکروالکترومکانیکی (ممز) نقش بسزایی در توسعه سیستم‌های کنترل دینامیک وسایل نقلیه داشته‌اند که موجب افزایش ایمنی خودروها، جلوگیری از واژگونی، پایداری دینامیکی وکاهش تصادفات جاده‌ای شده است. تاکنون طراحی توپولوژی و بهینه‌سازی ژیروسکوپ در کاربردهای خودرویی آن طور که باید مورد بررسی قرار نگرفته است. یکی از روش‌های بهینه‌سازی پویای پارامترها و مسائل مختلف استفاده از الگوریتم‌های فراتکاملی می‌باشند. در این پژوهش، بکارگیری از الگوریتم ژنتیک در راستای بهنه‌سازی مشخصه‌های نوسانی ژیروسکوپ ارتعاشی کوریولیس و طراحی ساختار بهینه جهت بدست آوردن ابعاد هندسی بهینه پیشنهاد می‌شود. برای تست ژیروسکوپ بهینه شده در خودرو، از سنجش میزان خطای یاو در طی مانور تعویض خط دوگانه استفاده می‌شود.

کلمات کلیدی: ژیروسکوپ ارتعاشی کوریولیس ممز، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، خودرو

مقدمه

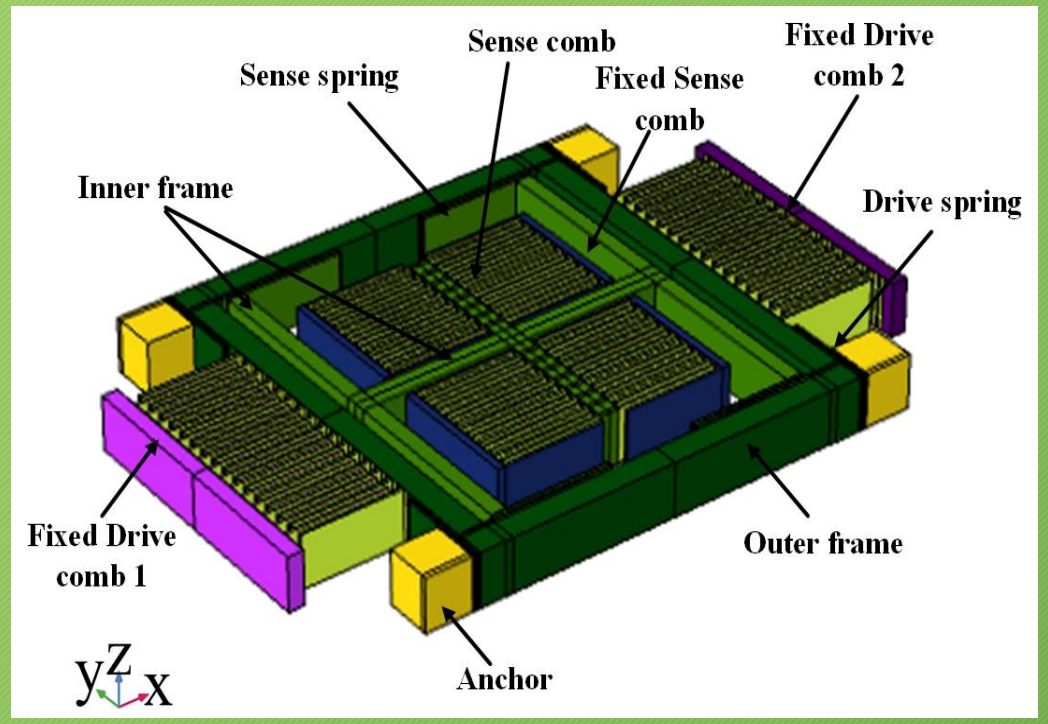
امروزه حدود ۲۰ درصد از کل هزینه‌های سیستم‌های الکترونیکی خودرو به دلیل کاربرد گسترده آنها در سیستم‌های ایمنی، راحتی و کنترل مربوط به سنسورها است. تقاضا برای سنسورها در بازار خودرو به دلیل الزامات زیست محیطی، ویژگی‌هایی که راحتی بیشتری را فراهم می‌کند، برنامه‌های پایداری الکترونیکی (ESP) و الزامات آنها در ویژگی‌های ایمنی مانند کیسه هوا در حال افزایش است. اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای حرکت اهمیت زیادی برای بهبود ایمنی و راحتی، کنترل هوشمند و پایداری دینامیکی خودروها دارد. سیستم‌های کنترل الکترونیکی خودرو از ژیروسکوپ برای اندازه‌گیری سرعت‌های زاویه‌ای پیچ، رول و یاو استفاده می‌کنند. بهینه‌سازی ژیروسکوپ‌های ممز برای بخش صنعتی بسیار مهم است زیرا می‌توان از هزینه‌های زیاد و اضافی جلوگیری کرد. علاوه بر این، بهینه‌سازی، دستگاه‌های ممز با طول عمر بیشتر و اثربخشی بهتر به ارمغان می‌آورد.

مقدمه

هدف از این پژوهش بررسی امکان دستیابی به عملکرد بالای ژیروسکوپ ممز در دینامیک عرضی خودرو است که با اندازه‌گیری دقیق نرخ انحراف و بهینه‌سازی سیستم ژیروسکوپ ممز فراهم می‌گردد.

۱- بهینه‌سازی مشخصه‌های نوسانی فرکانس، دمپینگ و جرم بخش‌های درایو(تحریک) و سنس(تشخیص) ژیروسکوپ ممز به منظور بهبود معیارهای عملکردی آن در کاربردهای خودرویی با توجه به مانور تعویض خط دوگانه

۲- بازسازی ژیروسکوپ بهینه جهت دستیابی به ابعاد هندسی و ساختار آن، بررسی تحلیل شکل مدها، پاسخ فرکانسی و تحلیل حساسیت

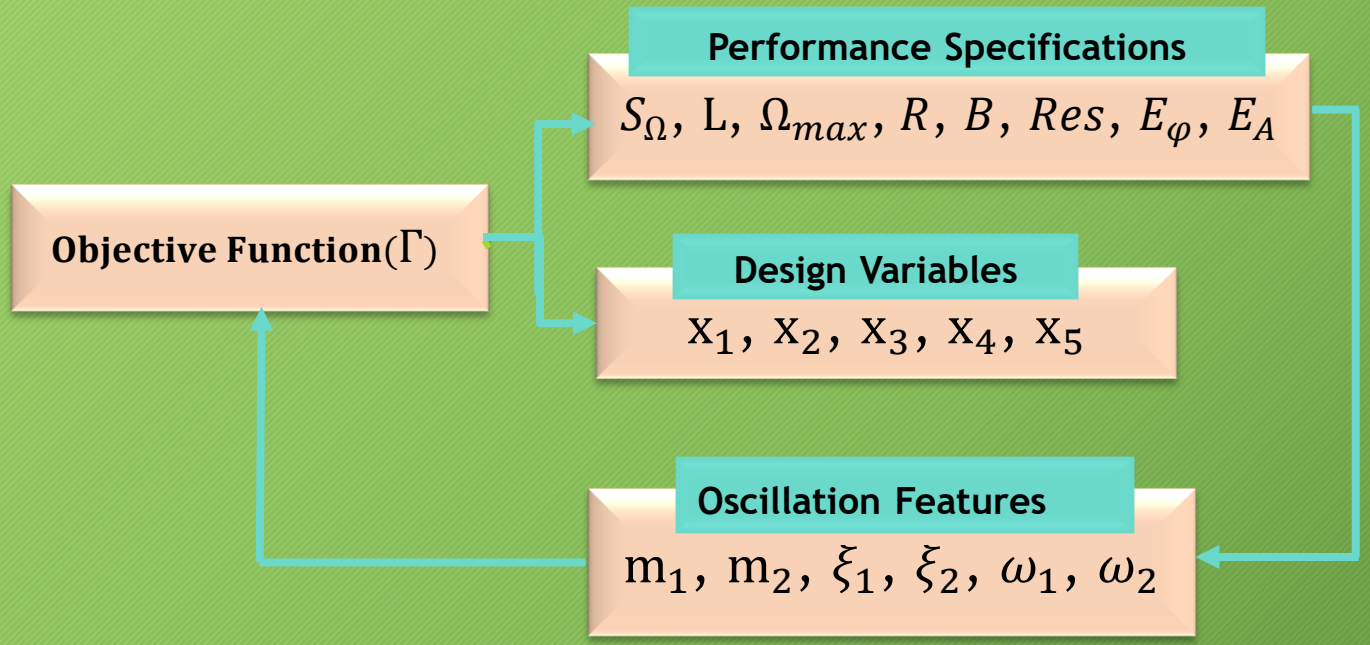


شکل ۱- شماتیک کلی از ساختار ژیروسکوپ

روش انجام تحقیق

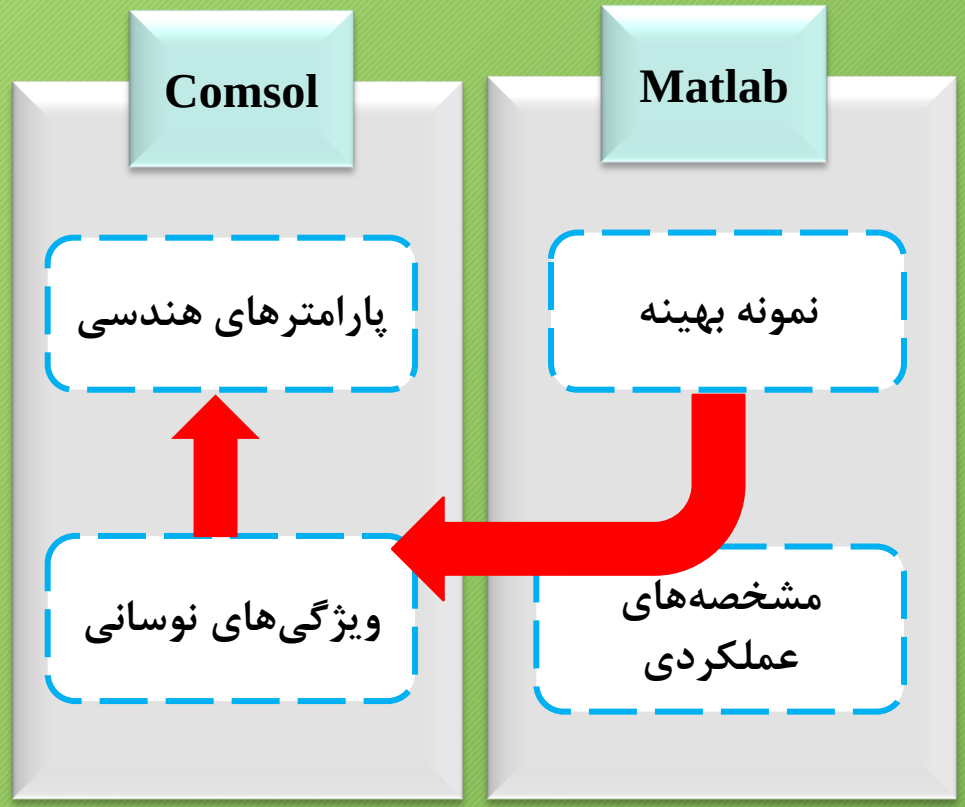
تابع هدف ژیروسکوپ براساس مشخصه‌های عملکردی آن و با استفاده از ضرایب وزنی تعریف می‌شود که باید به حداقل برسد:

$$\begin{cases} \Gamma = a_1 * S_{\Omega}^{-1} + a_2 * L^{-1} + a_3 * \Omega_{max}^{-1} + a_4 * R^{-1} + a_5 * B + a_6 * Res + a_7 * E_{\varphi} + a_8 * E_A \\ \{1 \le x_1 \le 29\}, \{1 \le x_2 \le 2\}, \{1 \le x_3 \le 35\}, \{1 \le x_4 \le 5\}, \{1 \le x_5 \le 80\} \\ \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\} \epsilon N \end{cases}$$



در این رابطه $a_1 \cdots a_8$ ضرایب وزنی، x_1 عرض قاب درایو، x_2 عرض فنر سنس، x_3 طول فنردرایو، x_4 عرض فنر درایو، x_5 طول فنر سنس، S_Ω فاکتور مقیاس، L خطی بودن، Ω_{max} دامنه عملیاتی، R دامنه دینامیکی، B خطای بایاس، Res تفکیک‌پذیری، E_φ برای فاز خطای دینامیکی و E_A برای دامنه خطای دینامیکی تعریف می‌شود و این هشت مشخصه عمکردی تابعی از شش ویژگی نوسانی ژیروسکوپ (m_1 جرم قاب درایو، m_2 جرم قاب سنس، ξ_1 دمپینگ درایو، ξ_2 دمپینگ سنس، ω_1 فرکانس طبیعی درایو، ω_2 فرکانس طبیعی سنس) است.

روش انجام تحقیق



مدل ژیروسکوپ متشکل از دو بخش است: مدل فیزیکی، مدل کنترلی

۱- در بخش فیزیکی، یک نمونه پارامترهای هندسی اولیه ارائه شده برای ژیروسکوپ ارتعاشی کوریولیس ممز (سلوک۲۰۱۹) را براساس مدل 3D-CAD در نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی می‌کنیم.

۲- پارامترهای معلوم مانند دامنه شتاب هارمونیک اولیه، تغییرات ظرفیت خازنی و غیره را برای نمونه اولیه بدست آورده و در روابط مشخصه‌های عملکردی قرار می‌دهیم.

۳- شش ویژگی نوسانی ژیروسکوپ (جرم، دمپینگ و فرکانس‌های درایو و سنس) را به عنوان متغیر بهینه‌سازی (متغیر طراحی) در نظر می‌گیریم.

۴-روابط هشت مشخصه‌ی عملکردی ژیروسکوپ را در تابع هدف قرار می‌دهیم و با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیوسته بهینه‌سازی را انجام می‌دهیم.

۵- در بخش کنترلی، خروجی ژیروسکوپ را تحت مانور تعویض خط دوگانه برای پاسخ بهینه بدست آمده، در نرم‌افزار متلب محاسبه می‌کنیم. در نهایت راه حل بهینه پیشنهادی راه حلی است که کمترین خطای نرخ یاو را با توجه به نرخ یاو ایده‌آل معرفی شده در استاندارد ISO 3888-1 داشته باشد.

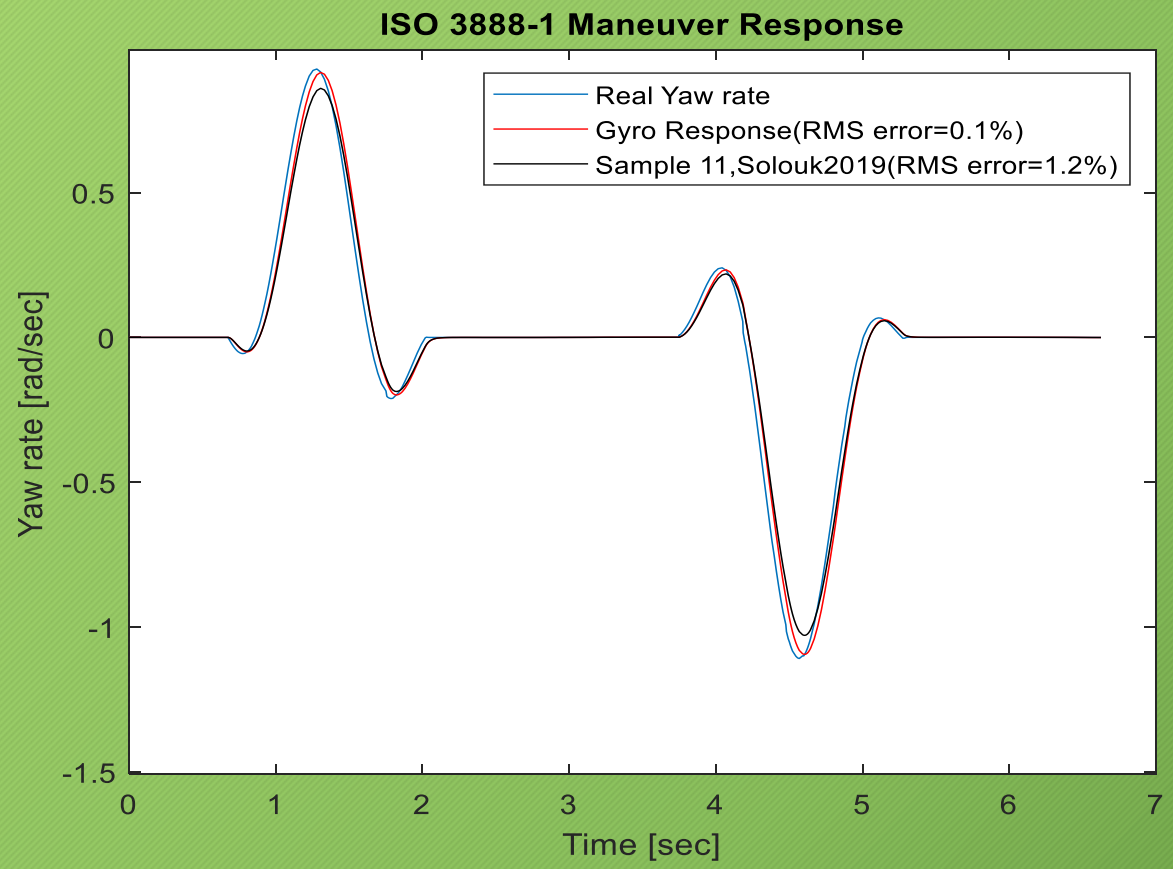
فرضیه‌ها

ژیروسکوپ ارتعاشی کوریولیس ممز در مرکز ثقل خودرو (دوچرخه دو درجه آزادی) قرار گرفته است.

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، با روش الگوریتم ژنتیک مشخصه‌های نوسانی(جرم، فرکانس و میرایی) بهینه برای یک ژیروسکوپ ارتعاشی کوریولیس ممز با هدف کاربرد در سیستم دینامیک عرضی خودرو بدست آمد. پیکربندی ژیروسکوپ مورد بررسی بر مبنای ساختار دو جرمی، دارای سازوکار تشخیص و تحریک الکترواستاتیکی است که از فنربندی سنجاقی و ناودانی به ترتیب برای تحریک و تشخیص بهره می‌گیرد.

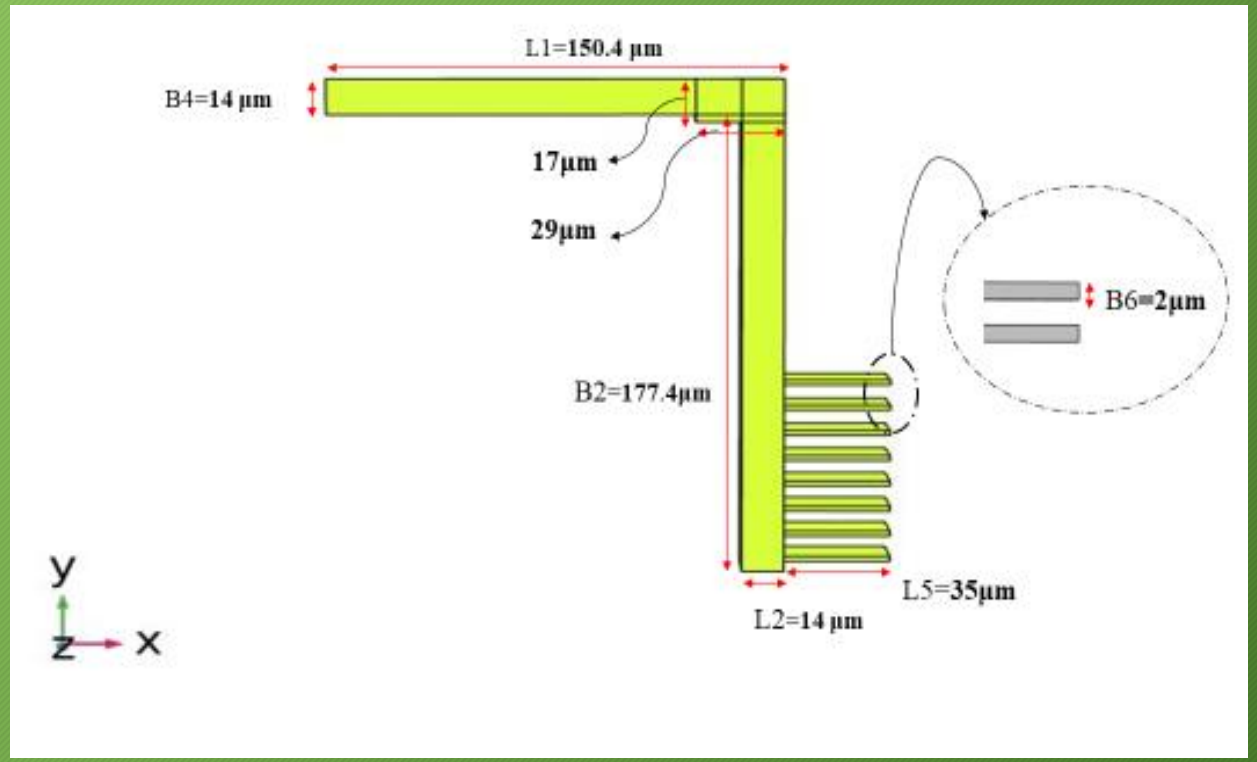
تحت زاویه فرمان تعریف شده درمانور تعویض خط دوگانه خطای یاو در مقایسه با نتایج ارائه شده در مقاله مرجع (سلوک ۲۰۱۹) به میزان ۱٪ بهبود یافته است که تاثیر بهینه‌سازی انجام شده بر روی عملکرد خودرو را نشان می‌دهد.



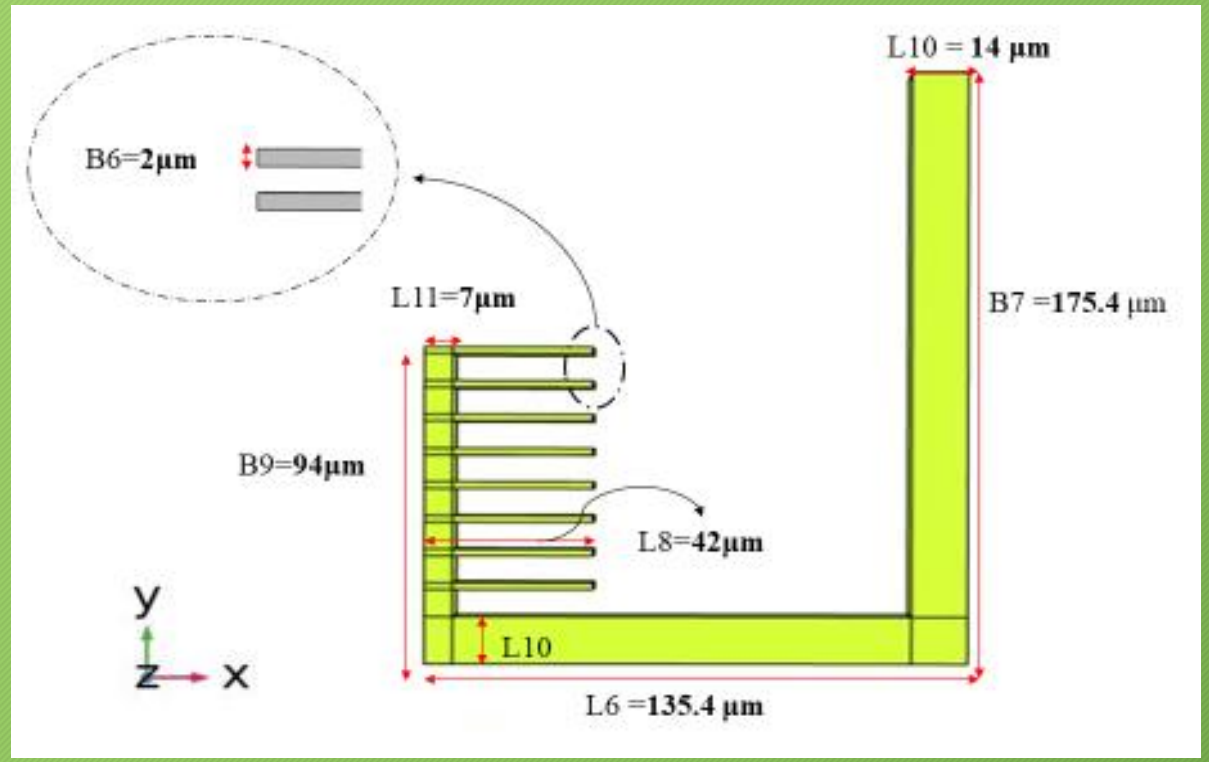
شکل۲- پاسخ بهینه (قرمز)، نمونه۱۱(سیاه) و پاسخ ایده‌آل(آبی)

بحث و نتیجه گیری

برای مقادیر بهینه‌ی فرکانس و دمپینگ و جرم مدهای تحریک و تشخیص ژیروسکوپ بازسازی ساختار ژیروسکوپ انجام شده تا ابعاد هندسی بهینه برای ساخت ژیروسکوپ به منظور استفاده در صنعت خودروسازی بدست آید.

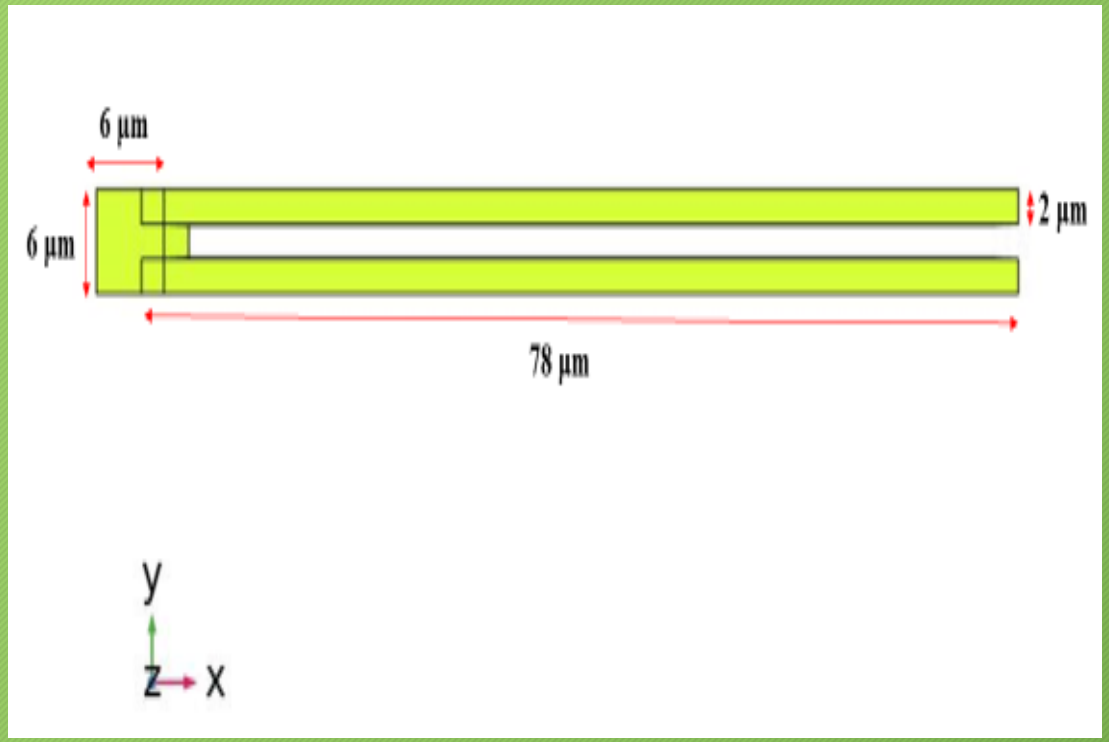


شکل۳- ابعاد شانه و فریم بخش درایو برای پاسخ بهینه

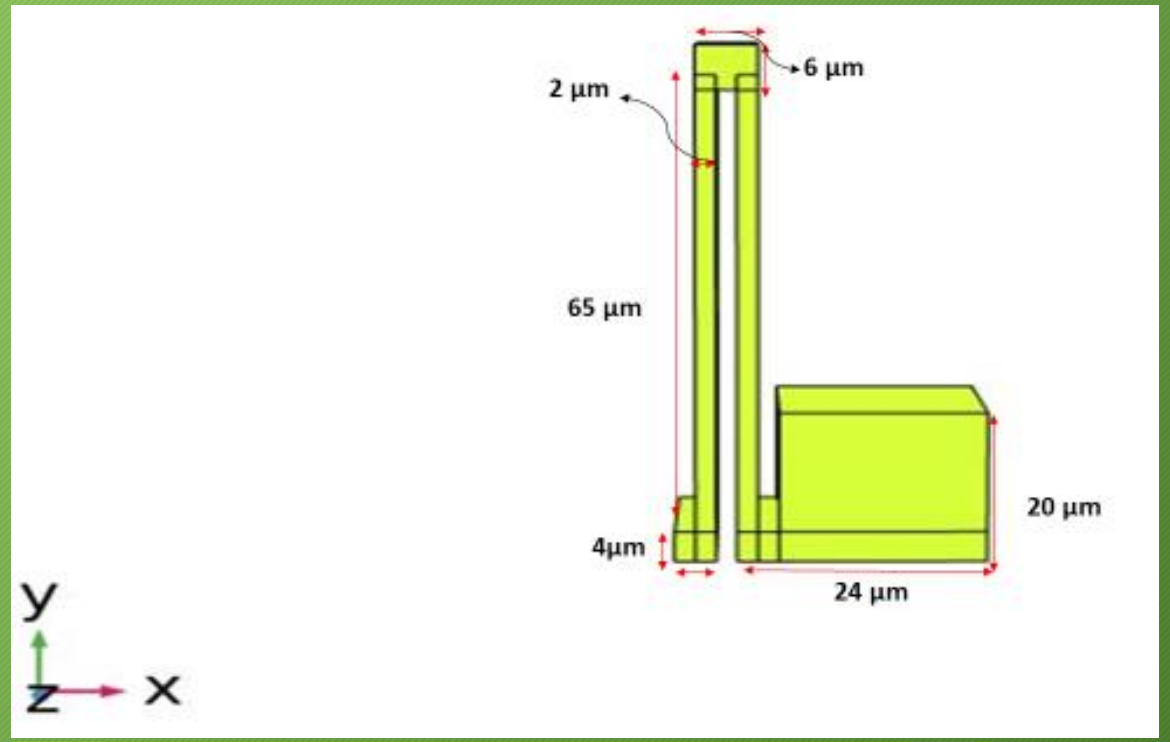


شکل۴- ابعاد شانه و فریم بخش سنس برای پاسخ بهینه

بحث و نتیجه گیری



شکل۶- ابعاد فنر بخش تشخیص برای پاسخ بهینه



شکل۵- ابعاد فنر بخش تحریک برای پاسخ بهینه

تقدیر و تشکر

از اساتید گرامی و فرهیخته جناب آقای دکتر منوچهر حسینی و جناب آقای دکترمجید غنی ئی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پژوهش را بر عهده گرفتند، سپاسگزارم.

منابع

- Solouk, M. R., Shojaeefard, M. H., & Dahmardeh, M. (2019). Parametric topology optimization of a MEMS gyroscope for automotive applications. Mechanical Systems and Signal Processing, 128, 389-404.
- Apostolyuk, V. (2016). Coriolis vibratory gyroscopes (pp. 15-19). Cham: Springer.
- Din, H., Iqbal, F., & Lee, B. (2020). Sensitivity Analysis of Single-Drive, 3-axis MEMS Gyroscope Using COMSOL Multiphysics. Micromachines, 11(12), 1030.
- Giannini, D., Braghin, F., & Aage, N. (2020). Topology optimization of 2D in-plane single mass MEMS gyroscopes. Structural and Multidisciplinary Optimization, 62(4), 2069-2089.
- .Acar, C. and A. Shkel (2008). MEMS vibratory gyroscopes: structural approaches to improve robustness, Springer Science & Business Media.
- Xing, H., Hou, B., Lin, Z., & Guo, M. (2017). Modeling and compensation of random drift of MEMS gyroscopes based on least squares support vector machine optimized by chaotic particle swarm optimization. Sensors, 17(10), 2335.
- Bécsi, T., Aradi, S., Fehér, Á., & Gáldi, G. (2017). Autonomous vehicle function experiments with low-cost environment sensors. Transportation Research Procedia, 27, 333-340.
- Aziz, S. (2020). Applications of MEMS Sensors in Automotive Industry (No. 3337). EasyChair.