

بررسی و تحلیل ارتعاشی مودال فنر لول و فنر تخت با استفاده از نرم افزار آباکوس

سید محمدرضا حسینی علی آباد^{۱*}، میلاد فراهانی علوی^۲، ولی الله شیخ لاری^۳، علیرضا یاوری^۴

۱- گروه مهندسی مکانیک، مازندران

۲- گروه مهندسی مکانیک، همدان

۳- گروه مهندسی مکانیک، تهران

۴- گروه مهندسی مکانیک، اردبیل

* نویسنده رابط: engineerhosseini997@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش، ۸ مود ارتعاشی برای فنر لول و ۸ مود ارتعاشی برای فنر تخت جهت تحلیل در نرم‌افزار آباکوس انتخاب شد. در بخش شرایط مرزی، فنر لول را در نقاط اتصال به هاب فنر ثابت کردیم و فنر تخت را هم در ناحیه اتصال به شاسی متصل نموده‌ایم که نتایج بدست آمده از تحلیل بدین صورت است که فنر لول با توجه به تغییر شکل انجام گرفته، توانایی ارتعاش را داشته و همچنین می‌تواند شکل اصلی خود را حفظ نماید؛ و فنر تخت نیز طبق تحلیل صورت گرفته، توانایی ارتعاش را نداشته و فقط می‌توان آن را به گونه‌ای یک رابط دانست.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت مقاله: تیر ماه ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش مقاله: مرداد ماه ۱۳۹۹

واژگان کلیدی

تحلیل ارتعاشی مودال

فنر لول

فنر تخت

آباکوس

نحوه ارجاع به این مقاله:

س. م. حسینی علی آباد، م. فراهانی علوی، و. شیخ لاری، ع. یاوری، بررسی و تحلیل ارتعاشی مودال فنر لول و فنر تخت با استفاده از نرم افزار آباکوس، ماهنامه رهیافتی در مدیریت نفت و گاز، دوره ۱، شماره ۳، ص. ۱۳ – ۱، ۱۳۹۹.

۱. مقدمه

در طراحی سیستم تعلیق خودروها، اختلاف بین وزن فنربندی شده و وزن فنربندی نشده، در حد معینی محاسبه می‌شود تا تعادل نسبی بین ارتعاشات هر قسمت پدید آید [۱].

وزن قسمت‌هایی از خودرو که روی فنرها قرار دارد، وزن فنربندی شده و وزن قسمت‌هایی از خودرو که زیر فنرها قرار دارند، وزن فنربندی نشده نامیده می‌شود. به عبارت دیگر، وزن محورهای نوسان کننده، چرخ‌ها، ترمزها، اهرم‌بندی فرمان و چیزهایی که بین جاده و فنر قرار دارد، وزن فنربندی نشده و بقیه قسمت‌ها، وزن فنربندی شده هستند [۱].

بدین ترتیب، وزن اتاق و بار آن به فنرها منتقل می‌شود. وقتی خودرو به مانعی می‌رسد، فنرها فشرده می‌شوند. در این موقع، فاصله شاسی با محور کاهش پیدا می‌کند و انرژی در فنرها ذخیره می‌شود. به محض عبور چرخ از روی مانع، انرژی ذخیره شده آزاد می‌شود و بدنه شاسی را به نوسان در می‌آورد. هر چه فنر خشک‌تر باشد، انرژی ذخیره شده زیاد و در پی آن نوسانات هم زیاد خواهد بود [۱].

فنر مناسب، فنری است که به سرعت ضربات جاده را جذب کند و با همین سرعت هم به حالت عادی برگردد. چنین فنری وجود ندارد، زیرا فنر ارتجاعی یا نرم که به سرعت ضربات را جذب کند، دارای ارتعاشات زیادی پس از حذف نیرو است و به سرعت مستهلک نمی‌شود. از طرف دیگر، یک فنر سخت، آرامش خودرو را می‌کاهد؛ بنابراین، بهترین حالت که آرامش خودرو را افزایش داده، نوسانات آن زودتر کاهش یابد، فنر نرمی است که ارتعاشات آن به وسیله ارتعاش گیر کنترل شود [۱].

در این مقاله، در وهله نخست، به تشریح مروری بر مطالعات پیشین پرداخته شده، سپس تئوری فنر لول و فنر تخت بیان گردیده و در خاتمه این دو فنر از طریق نرم‌افزار کتیا طراحی و توسط نرم‌افزار آباکوس، تحلیل ارتعاشی مودال صورت گرفته است.

۲. مروری بر مطالعات پیشین

جعفرپور و همکاران [۲] بر روی بررسی شکست در فنر لول خودرو تحقیق و پژوهش انجام داده‌اند. این محققان، فرآیندهای معمول بررسی شکست شامل بررسی‌های ترکیب شیمیایی، شکست‌نگاری چشمی و همچنین شکست‌نگاری میکروسکوپی نوری و الکترونی بر روی قطعه منهدم گردیده را انجام داده‌اند که نتایج بدست آمده حاکی از شکست خستگی با جوانه‌زنی ترک در منطقه نزدیک به سطح ناشی از غیریکنواختی ریزساختار میکروسکوپی است که به پارامترهای متعددی از جمله کیفیت مواد اولیه مورد استفاده، عیوب حاصل از ساخت و ... وابسته است. در خاتمه، جهت جلوگیری از بروز شکست‌های مشابه، محققان این مقاله راهکارهایی همچون:

- ۱) تنظیم و دقت در ترکیب شیمیایی فولاد فنر مورد استفاده به منظور جلوگیری از تمرکز عناصر مختلف.
- ۲) انجام عملیات حرارتی مناسب جهت حل کردن کاربیدهای عناصر آلیاژی و یا تهیه فولادهای فنر با کاربیدهای کمتر.
- ۳) انجام عملیات ساچمه‌زنی به صورت یکنواخت و کنترل شده.
- ۴) انجام مناسب عملیات تنش‌زدایی بعد از فرآیند سرد پیچی جهت کاهش تنش‌های پسماند باقیمانده در قطعه.

پیشنهاد داده‌اند.

حضرتی آشتیانی و آزادی [۳] به روش جدید مدلسازی عملکرد فنرهای تخت در نرم‌افزارهای چند جسمی پرداختند. این محققان بیان نمودند که تا به حال روش‌های متنوعی جهت بررسی رفتار، طراحی و تخمین عمر این فنرها ارائه گردیده است. این روش‌ها عموماً با ساده‌سازی‌های مختلفی روی شرایط واقعی صورت می‌گیرد. یکی از روش‌های جدیدی که با پیشرفت پردازنده‌ها و نرم‌افزارهای اجزاء محدود ارائه گردیده است، مدلسازی اصطکاک بین لایه‌ها، مد نظر قرار دادن هندسه فنر و تغییر شکل‌های فنر زیر بار وارده است. این محققان فنری که برای مدلسازی در نرم‌افزار ADAMS انتخاب نمودند، از نوع فنرهای دوزنقه‌ای است که روی دو تکیه‌گاه خود روی دو محور می‌لغزد. سپس به بررسی اجمالی برخی روش‌های مدلسازی عملکرد فنرهای تخت (مدلسازی تغییر شکل فنر، مدلسازی اندر کنش لایه‌ها و مدلسازی تماس انتهای آزاد فنر با تکیه‌گاه) پرداختند و هدف این محققان از مدلسازی‌ها، بررسی تاثیر فنرهای تخت بر دینامیک و عملکرد خودرو بود.

پنهانه و همکاران [۴] به بررسی ماکروسکوپی شکست فنر تخت کامیون ولوو مدل FM^۹ که تحت بارگذاری متناوب قرار دارد، پرداختند. این محققان با بیان اینکه یکی از عمده‌ترین انواع شکست در فنرهای تخت، شکست در اثر خستگی می‌باشد. همچنین این محققان به

بررسی فاکتورهای متالورژیکی و تکنولوژیکی بر خواص مکانیکی فنرهای تخت تاثیر عواملی چون حضور ناخالصی، ساختار نامناسب، سطح دگربره و همچنین عوامل دیگری همچون سطوح اکسیدی، حرارت دهی جهت عملیات کارگرم، عیوب ناشی از شکل دهی گرم فولاد بر شکست این نوع فنرها نیز پرداختند. وجود ترکهای ریز سطحی در فنرهای تخت که تحت بارگذاری سیکلی قرار دارند، می توان دوام و پایداری آن را در معرض خطر قرار دهد. طبق آزمایشاتی که انجام دادند، نتایج حاصل، وجود ناخالصیها، سطوح، عملیات حرارتی و کوئنچ، ترکهای ریز سطحی و فرآیند تولید نقش اساسی در شکست فنرهای تخت دارند و همچنین این محققان اذعان داشتند که می توان با فرآیندهای اصلاح سطح و پولیش سطحی از شکست فنرهای تخت تا حدودی جلوگیری نمود.

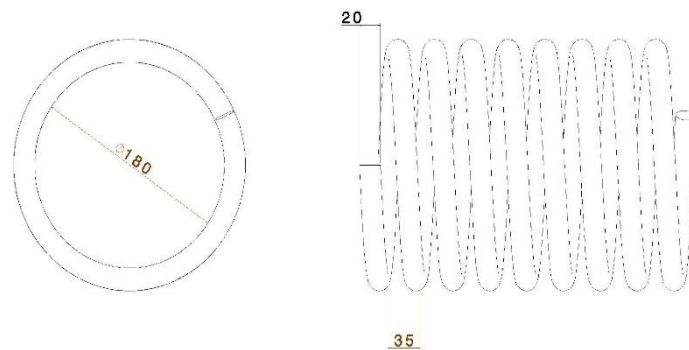
۳. فنر لول^۱ (مارپیچ)

این نوع فنرها از یک مفتول که به صورت مارپیچ در آمده ساخته می شوند، فنرهای مارپیچ دارای قابلیت ارتجاعی خوبی بوده و توان جذب انرژی را در محدوده فرکانسی زیادی دارند. این فنرها نمی توانند نیروهای جانبی را تحمل کنند و فقط نیروهایی که در راستای محور پیچانشان باشد، را جذب می کنند. به همین دلیل در سیستم های تعلیقی که از این فنرها استفاده می شود باید مکانیزم هایی برای جذب نیروهای عرضی و طولی در نظر گرفته شود [۵].

حال برای اینکه بتوانیم سختی یک فنر لول (مارپیچ) را بدست آوریم از رابطه ذیل استفاده می نمایم:

$$k = \frac{d^4 * G}{64 R^3 * N} \quad (1)$$

جهت درک بهتر رابطه فوق، مثالی مطابق با ابعاد فنر لول طراحی شده از طریق نرم افزار کتیا ذکر خواهیم نمود.



شکل ۱: ابعاد فنر لول



شکل ۲: طراحی سه بعدی فنر لول توسط نرم افزار کتیا

مثال: یک فنر مارپیچ مطابق با شکل ۲ از جنس فولاد ($G = 210 \text{ Mpa}$) دارای ۸ حلقه با قطر 180 mm می باشد. و شعاع حلقه های این فنر نیز 10 mm می باشد. حال طبق رابطه ۱، سختی فنر را محاسبه می نماییم:

$$k = \frac{(0/18)^4 * 210 * 10^3}{64(0/01)^3 * 8} = 430946/87 \text{ N/m}$$

از این رو فنرهای مارپیچ، به دلیل امکان ایجاد تغییر طول های بیشتر نسبت به فنرهای شمسی آسایش و راحتی بیشتری نسبت به این فنرها برای سرنشینان خودرو فراهم می نمایند.

مزایای فنر مارپیچ به شرح ذیل می باشد [۶]:

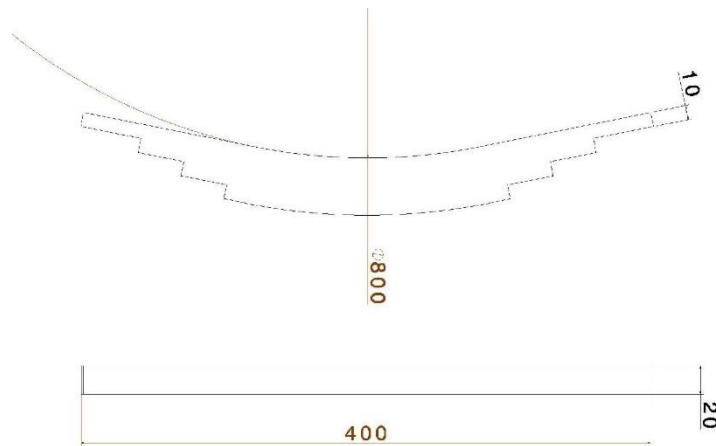
- (۱) اشغال کردن فضای کم
- (۲) خاصیت فنریت و ضربه گیری مطلوب
- (۳) داشتن وزن کم
- (۴) عدم نیاز به تعمیرات و نگهداری

۴. فنر تخت^۲

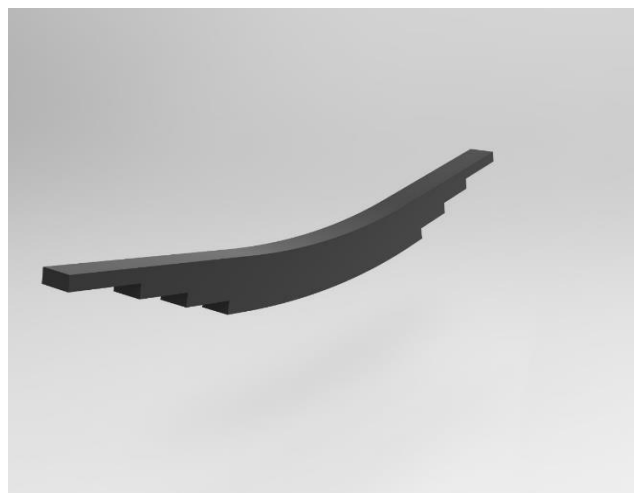
این فنرها از قدیمی ترین فنرهای استفاده شده در وسایل نقلیه می باشند و قدمت استفاده از آنها به قرون وسطی و درشکه برمی گردد. اما به دلیل اشغال فضای زیاد و روی آوردن خودروهای سواری جدید به سیستم های تعلیق مستقل، امروزه از این فنربندی در خودروهای سواری استفاده نمی شود و بیشتر در خودروهای سنگین مورد استفاده قرار می گیرند [۵].

به دلیل این که بار وارد به این فنرها از نوع برشی می باشد، برای افزایش مقاومت برشی، آنها را به صورت لایه لایه می سازند و هر چه تعداد لایه ها بیشتر باشد تحمل تنش برشی آنها بیشتر می گردد. همچنین به دلیل اینکه دو تکیه گاه در دو انتهای این فنرها قرار می گیرد و نیروی چرخ در وسط به آنها وارد می شود، باید بار خمشی را نیز تحمل کنند. که این مسئله موجب می شود ماکزیمم نیروی خمشی در وسط قرار گرفته و طراح را مجبور به قرار دادن لایه های بیشتر در وسط به منظور تقویت تحمل بار خمشی می کند [۵].

در شکل ۳، ابعاد فنر تخت و در شکل ۴، طراحی فنر تخت به صورت سه بعدی را نشان می دهد.



شکل ۳: ابعاد فنر تخت



شکل ۴: طراحی سه بعدی فنر تخت توسط نرم افزار کتیا

مزایای فنر تخت به شرح ذیل می باشد:

- ۱) انتقال نیروهای طولی، عرضی و عمودی از چرخ به بدنه خودرو و بالعکس. بنابراین دیگر نیاز به بازوهای انتقال نیروی طولی و عرضی نبوده و قیمت خودرو کاهش می یابد [۶].
- ۲) ایجاد فنری سخت با تحمل بار بیشتر با اضافه کردن لایه های فنر (جهت استفاده در وانت ها و کامیون ها)

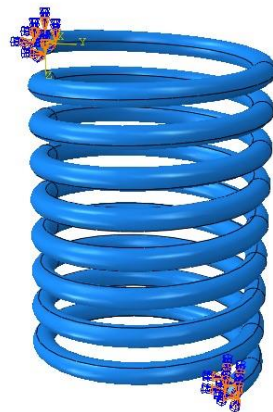
۵. جنس

جنس استفاده گردیده جهت تحلیل در نرم افزار آباکوس، فولاد می باشد.

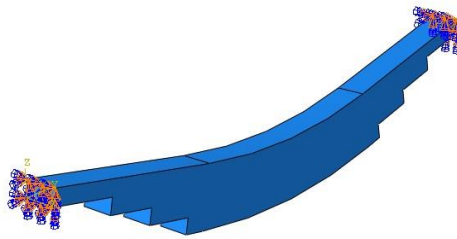
۷۶۰۰ Kg/m ^۳	چگالی
۲۰۷ Gpa	مدول الاستیسیته
۰,۳	ضریب پواسون

۶. شرایط مرزی

مطابق اشکال زیر، فنر لول را در نقاط اتصال به هاب فنر ثابت نموده‌ایم و همچنین فنر تخت را نیز در ناحیه اتصال به شاسی متصل کرده‌ایم. شایان ذکر است، ۸ مود ارتعاشی جهت تحلیل انتخاب گردید.



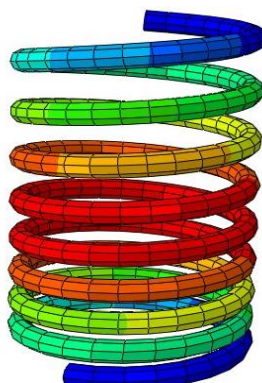
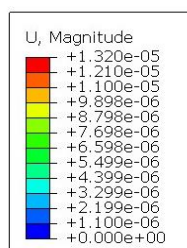
شکل ۵: شرایط مرزی در فنر لول



شکل ۶: شرایط مرزی در فنر تخت

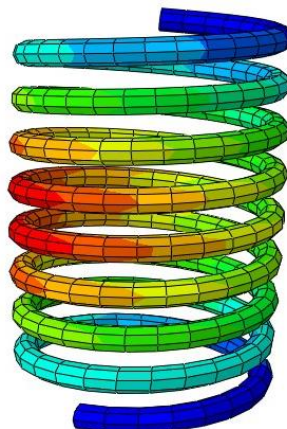
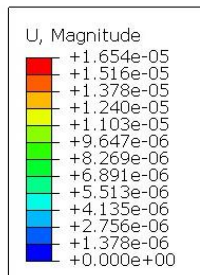
۷. بحث بر روی نتایج

با توجه به شرایط مرزی اعمال شده و جواب‌های بدست آمده از نرم افزار آباکوس برای فنر لول مطابق اشکال زیر می‌باشد.



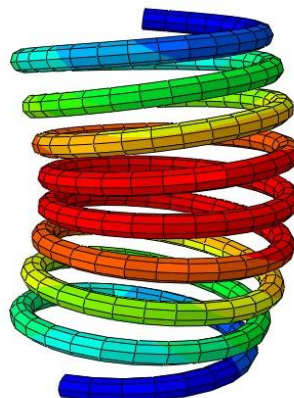
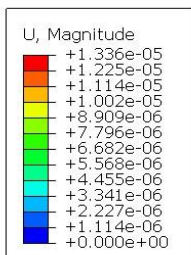
Z
Y X
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Tue Oct 29 18:58:13 Iran Standard Time 2019
Step: Step-1
Mode 1; Value = 1.25644E-07 Freq = 5.64145E-05 (cycles/time)
Primary Var: U, Magnitude

شکل ۷: شکل مود اول فنر لول



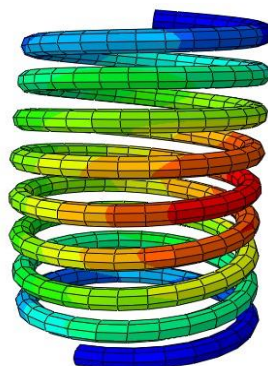
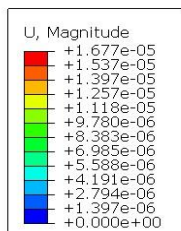
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Tue Oct 29 18:58:13 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 2: Value = 1.48928E-07 Freq = 6.14199E-05 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۸: شکل مود دوم فنر لول



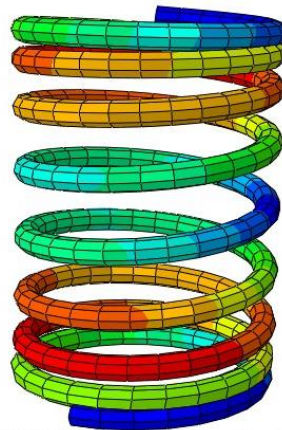
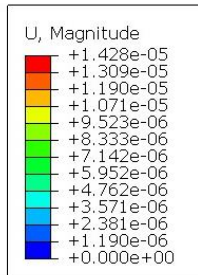
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Tue Oct 29 18:58:13 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 3: Value = 2.05631E-07 Freq = 7.21713E-05 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۹: شکل مود سوم فنر لول



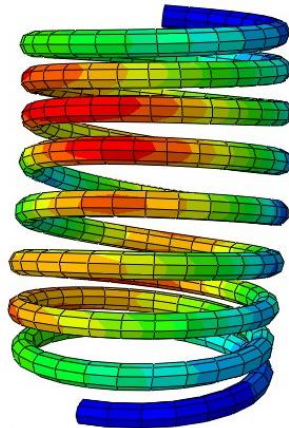
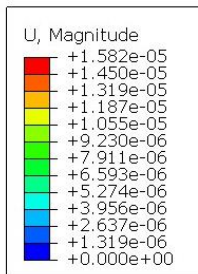
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Tue Oct 29 18:58:13 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 4: Value = 2.11307E-07 Freq = 7.31605E-05 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۱۰: شکل مود چهارم فنر لول



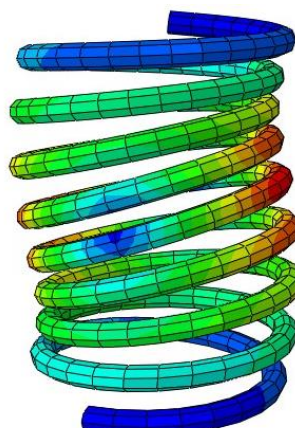
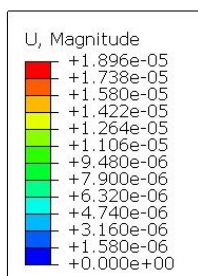
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Tue Oct 29 18:58:13 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 5: Value = 4.90165E-07 Freq = 1.11427E-04 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۱۱: شکل مود پنجم فنر لول



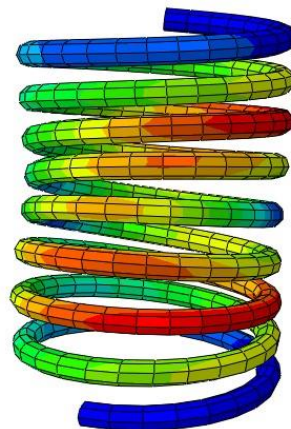
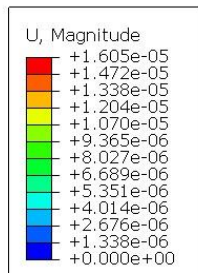
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Tue Oct 29 18:58:13 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 6: Value = 5.28922E-07 Freq = 1.15749E-04 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۱۲: شکل مود ششم فنر لول



ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Tue Oct 29 18:58:13 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 7: Value = 5.62875E-07 Freq = 1.19406E-04 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۱۳: شکل مود هفتم فنر لول

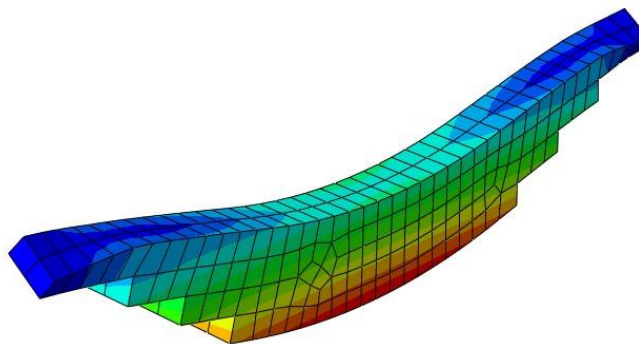
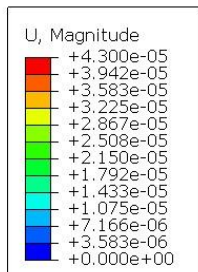


ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Tue Oct 29 18:58:13 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 8: Value = 6.31580E-07 Freq = 1.26484E-04 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۱۴: شکل مود هشتم فنر لول

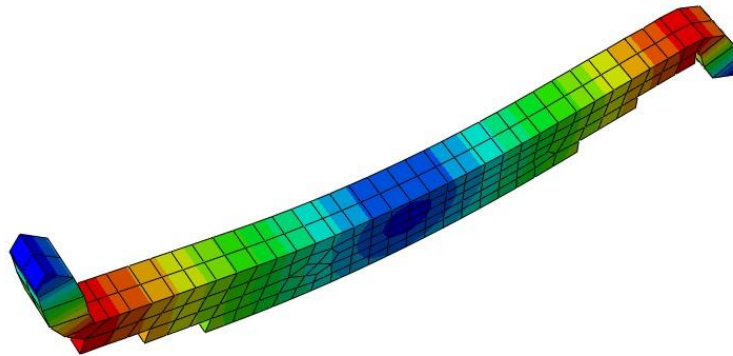
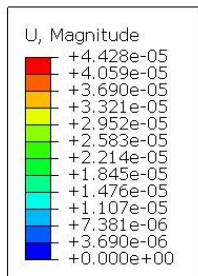
با توجه به جواب‌های بدست آمده از نرم‌افزار آباکوس، فنر لول در اعمال فرکانس‌های طبیعی عملکرد خوبی را از خود نشان داده و اینکه حالت اصلی خودش را حفظ کرده و می‌توان گفت با توجه به مشخصات فولاد، فنر لول به دلیل حالت ظاهری آن توانایی ارتعاش را دارا می‌باشد.

جواب‌های بدست آمده از نرم‌افزار آباکوس برای فنر تخت مطابق اشکال زیر می‌باشد.



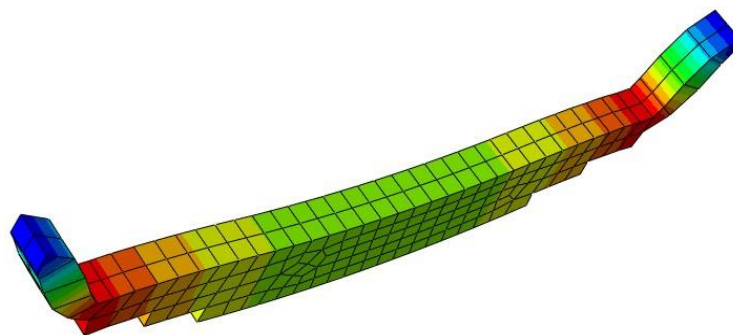
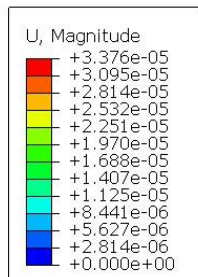
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Sat Nov 02 21:09:03 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 1: Value = 8.74791E-06 Freq = 4.70730E-04 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۱۵: شکل مود اول فنر تخت



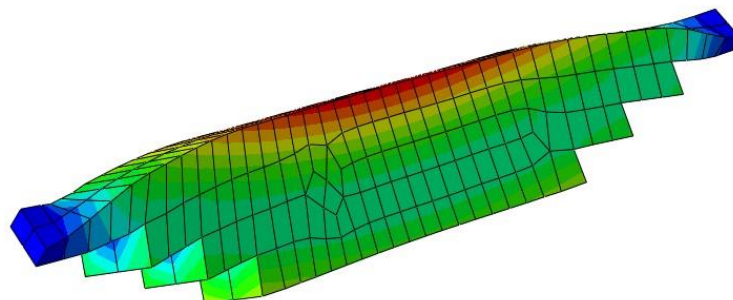
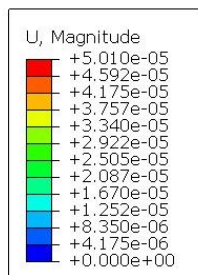
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Sat Nov 02 21:09:03 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 2: Value = 3.19820E-05 Freq = 9.00063E-04 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۱۶: شکل مود دوم فنر تخت



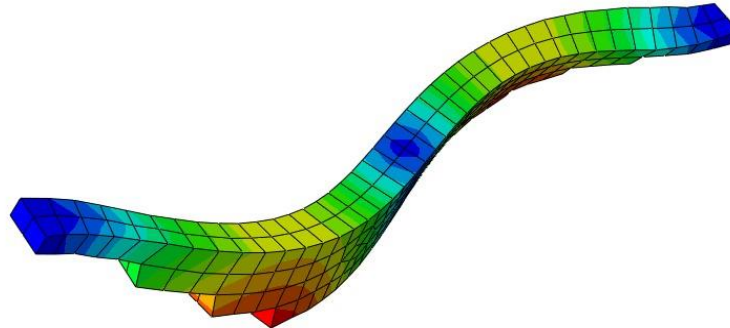
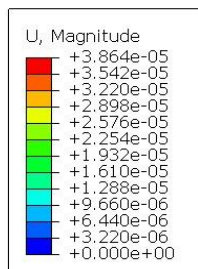
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Sat Nov 02 21:09:03 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 3: Value = 1.06424E-04 Freq = 1.64188E-03 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۱۷: شکل مود سوم فنر تخت



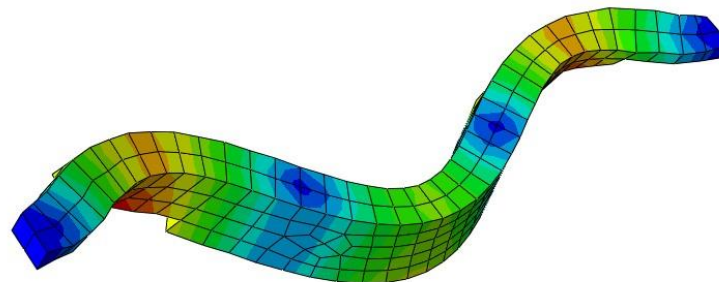
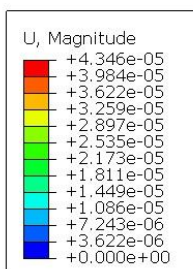
ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Sat Nov 02 21:09:03 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 4: Value = 3.61060E-04 Freq = 3.02419E-03 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۱۸: شکل مود چهارم فنر تخت



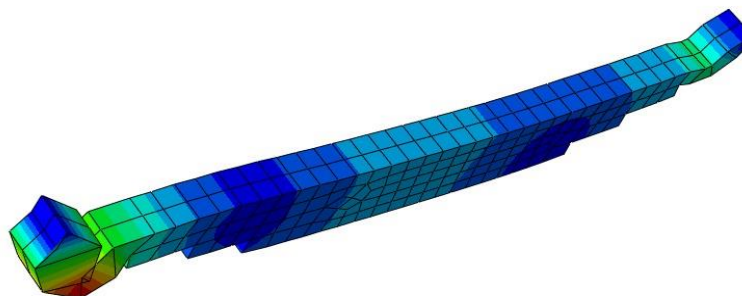
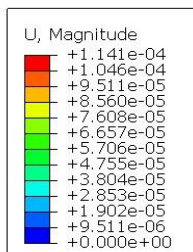
Z ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Sat Nov 02 21:09:03 Iran Standard Time 2019
 Y Step: Step-1
 X Mode 5: Value = 5.43907E-04 Freq = 3.71178E-03 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۱۹: شکل مود پنجم فنر تخت



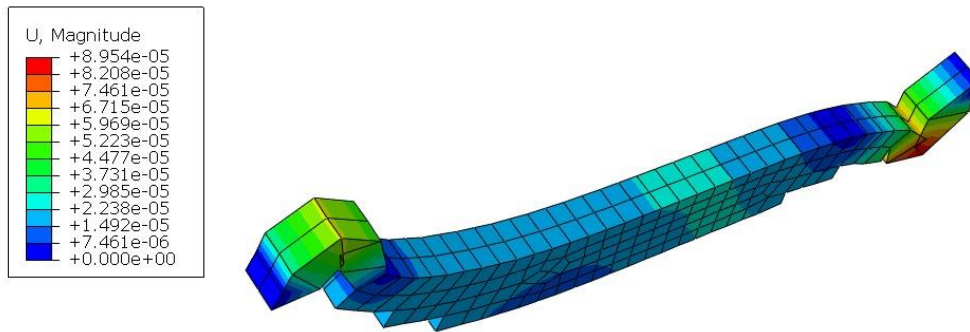
Z ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Sat Nov 02 21:09:03 Iran Standard Time 2019
 Y Step: Step-1
 X Mode 6: Value = 2.50378E-03 Freq = 7.96376E-03 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۲۰: شکل مود ششم فنر تخت



Z ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Sat Nov 02 21:09:03 Iran Standard Time 2019
 Y Step: Step-1
 X Mode 7: Value = 2.66558E-03 Freq = 8.21705E-03 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۲۱: شکل مود هفتم فنر تخت



ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2017x Sat Nov 02 21:09:03 Iran Standard Time 2019
 Step: Step-1
 Mode 8: Value = 2.98135E-03 Freq = 8.69014E-03 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude

شکل ۲۲: شکل مود هشتم فنر تخت

با توجه به جواب‌های بدست آمده از نرم‌افزار آباکوس می‌توان گفت فنر تخت ارتعاش ضعیفی داشته و حالت اصلی خود را از دست داده و در واقع توانایی ارتعاش را نداشته و امکان شکستن و تغییر حالت آن بیشتر از فنر لول می‌باشد.

۸. نتیجه گیری

و در انتها می‌توان گفت فنر تخت با توجه به تحلیل صورت گرفته فوق، توانایی ارتعاش را نداشته و فقط می‌توان آن را به گونه‌ای یک رابط دانست اما فنر لول با توجه به جواب‌های بدست آمده و تغییر شکل‌های انجام گرفته می‌توان گفت توانایی ارتعاش را داشته و شکل اصلی خود را می‌تواند حفظ نماید.

پانویس‌ها

۱. Coil Spring

۲. Leaf Spring

فهرست علائم

k	سختی فنر، N/m
d	قطر مفتول فنر
G	مدول برش
R	شعاع میانگین فنر
N	تعداد حلقه‌ها

منابع و مراجع

- [۱] محمدی بوساری، م. امینیان، ش. تکنولوژی شاسی و بدنه، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، تهران، چاپ دوازدهم، ۱۳۹۱.
- [۲] جعفرپور، م. شریف جواهریان، ش. اصغرزاده، ح. بررسی شکست در فنر لول خودرو، هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مواد و متالوژی و دوازدهمین کنفرانس مشترک انجمن مهندسی متالوژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران، تهران، ۱۷ و ۱۸ مهر ماه ۱۳۹۷.
- [۳] حضرتی آشتیانی، ا. آزادی، ش. روش جدید مدلسازی عملکرد فنرهای تخت در نرم‌افزارهای چند جسمی، دومین کنفرانس بین‌المللی پیشرفت‌های اخیر در مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، مهر ۱۳۸۸.
- [۴] پهنانه، ف. فرهنگ، ح. فرح منش، ک. شکست نگاریماکروسکوپی و واکاوی علل شکست فنر تخت کامیون ولوو مدل FM۹، چهاردهمین همایش علمی دانشجویی مهندسی مواد و متالوژی ایران، دانشگاه شهرکرد، مهر ماه ۱۳۹۶.
- [۵] امرالهی بیوکی، ح. محمودی کلیبر، م. تکنولوژی شاسی و بدنه، انتشارات ساد، چاپ اول ۱۳۸۹.
- [۶] سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، تعمیرات سیستم تعلیق، فرمان و ترمز خودرو، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، چاپ سوم ۱۳۹۸.