فصلنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک جامدات

http://jsme.iaukhsh.ac.ir

فصلنامه علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک جامدات

آنالیز مودال و ارتعاشی استند تست موتور توربوشفت با استفاده از ANSYS

مجتبی حسنلو[۱،*]، سید غلامرضا میرحسینی[۲،*]، محمود صادق زاده[۳]، احمد باقری[۴]

* نویسنده مسئول: mhasanlu@webmail.guilan.ac.ir

چکیده

امروزه مدل‌سازی بعنوان یک امر حیاتی در جهت شناخت، تجزیه و تحلیل طراحان عرصه صنعت در رفع نیازهای خود محسوب می‌شود و طراحی که براساس مقتضیات طراحی، امکانات موجود بتواند امری تسریع‌کننده در جهت تولید و بکارگیری اجزاء-ماشین، موتور ماشین‌آلات صنعتی صورت پذیرد. بنابراین طراحی یک ابزار جهت استفاده آن در هر یک از صنایع باید متناسب با مشخصات مکانیکی باشد که ابزار موردنظر متحمل آن می‌شود.. در این پژوهش براساس نوع موتور توربوشفت یک سازه‌ای برای تست و آزمایش این نوع موتور پیشنهاد، طراحی و تحلیل شده‌است که بتواند در واقعیت و عملی بکار گیرد و نیازهای ممکنه را رفع نماید. نوع آنالیزهایی که بر روی این سازه در نرم‌افزار ANSYS انجام پذیرفته‌است براساس نوع اثرگذاری دینامیکی موتور توربوشفت بر سازه اتفاق افتاده و در پایان پژوهش شکل مودها و فرکانس‌های طبیعی سازه به نمایش گذاشته شده‌است.

واژه‌های کلیدی

تحلیل دینامیکی
تحلیل مودال
توربوشفت
سازه
استند تست

تاریخ ارسال: ۱۳۹۵/۰۷/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۴

۱- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.

۲- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه ماتی مسکو، مسکو، روسیه.

۳- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

۴- استاد، دانشکده مکانیک، دانشگاه ایران، گیلان، ایران.

Winter 2017/ vol. 9/ No. 4

Journal of
Solid Mechanics
in Engineering

Journal of

Solid Mechanics in Engineering

http://jsme.iaukhsh.ac.ir

Modal Analysis Turboshaft Test Stand Motor Designed by Using ANSYS

M.Hasanlu*[1], S.GH Reza.Mirhosseini[2] , M.Sadeghzadeh[3], A.Bagheri[4]

* Corresponding Author: mhasanlu@webmail.guilan.ac.ir

Abstract:

Today, modeling is critical for cognition and analysis of designers in industry field to meet their needs and design based on design requirements and available facilities to accelerate production and development of components of industrial engines. In this study, one structure has been proposed, designed, and analyzed based on turboshaft marine engine type to test this kind of engine in order to use in reality and to meet needs. Analysis conducted on the structure in ANSYS based on turboshaft engine dynamic effects on the structure. At the end of the study, these are exibited mode shapes and natural frequencies of the structure.

Key words:
Dynamic Analysis,
Turboshaft,
Structure,
Test Stand.

1- MS Graduate Student Mechanical Engineering, University of Guilan, Iran, Rasht.
2- Department of Mechanical Engineering, MATI University, Moscow, Russia.
3- Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
4- Professor of Mechanical Engineering, University of Guilan, Iran, Rasht.

۱- مقدمه

مدل‌سازی در هر امری بیانگر توصیف رفتار سیستم در مقابل تحریکات و اغتشاشات خارجی بر سیستم های است که می‌توان با استفاده از خروجی‌های گرفته‌شده از سیستم، اطلاعاتی از این قبیل را دست یافت.

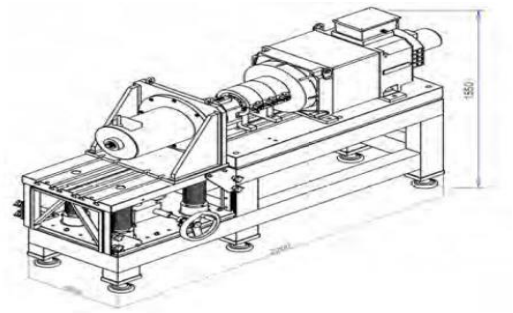
- شناخت عملکرد سیستم
- تشخیص عیوب و ایرادات طراحی
- تشخیص راندمان سیستم
- شناسایی نقاط قوت سیستم
- تصمیم‌گیری برای طراحی بهینه‌تر

حال با همه‌ی ویژگی‌های مدل‌سازی، همیشه طراحان زیادی از گذشته تا به حال تمام عزم خود را جزم نموده‌اند که مدل‌سازی خود را به واقعیت نزدیکتر، دقت طراحی بالاتر، راندمان بالاتر، عملکرد بهینه‌تری را طراحی کنند تا بتوانند با مدل‌سازی خود نهایتا به ساخت سیستم ختم شود و نیازهای خود را ارضا نمایند. در این پروژه قرار بر این است که یک سازه جهت نصب موتور توربوشفت و انجام تست موتور بر روی این سازه طراحی می‌گردد. طراحی اولیه توسط نرم‌افزار سالیدورکز[1] بعنوان یک مدل کاملا پیشنهادی جهت ارسال مدل به مرحله آنالیز مکانیکی طراحی و آماده شده‌است. مرحله دوم همان مرحله آنالیز مکانیکی مطرح می‌شود که این مرحله در نرم افزار انسیس[2] که شامل چندین نوع آنالیز و زیرمجموعه می‌باشد، شبیه‌سازی شده‌است. نهایتا جهت ارائه نمودارهای خروجی از این آنالیزها از نرم افزار تخصصی محاسباتی متلب[3] بکارگرفته‌شده‌است.

شکل ۱ یک استندی برای موتور الکتریکی تعبیه شده‌است که توانایی اندازه‌گیری پارامترهای از قبیل سرت و گشتاور، ولتاژ و جریان، توان الکتریکی، دما و راندمان می‌باشد. مشخصات فنی این استند دربرگیرنده موارد زیر می‌باشد[۱].

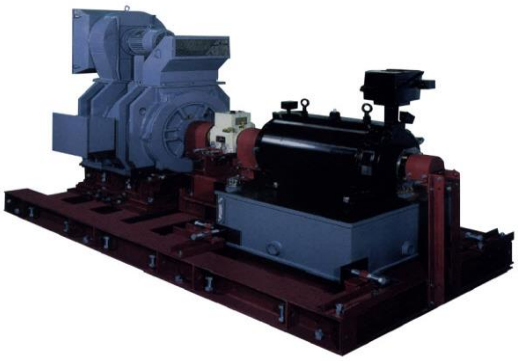
جدول (۱) مشخصات استند

پارامترها	مقادیر	
Motor / Dynamometer power	81Kw	
Torque	700 N.m	
Power Analyser	(4 Channel) 1*DC	600 A
	3*AC	300 A
Ohmeter Measuring	Rang Min	0.003 Ω
	Rang Max	300 Ω
Temperture Measurment	[0, 250] Ċ	
Weight	2500 Kg	



شکل(۱) مدل استند تست[۱].

شرکت سازنده[4] تست استند تمام دیجیتالی با جریان AC برای کاربردهای دینامومتری موردنظر ساخته‌است. این استند با انعطاف‌پذیری و کارکرد بالا به منظور طراحی‌های دقیق موتور طراحی گردیده‌است. این استند دارای ویژگی‌های منحصر به فرد و مشخصات فنی برخوردار است که در مرجع[۲] بصورت دقیق ذکر گردیده‌است.



شکل(۲) استند تست شرکت یونیکو[۲].

[1] SOLIDWORKS
[2] ANSYS
[3] MATLAB
[4] UNICO

این استند برای آزمایش موتور توسط شرکت[1] معتبر طراحی شده‌است که دارای مشخصات فنی زیر می‌باشد[۲].

جدول (۲) مشخصات فنی استند

پارامترها	مقادیر
Nominal Power Output	*11 Kw at 3000 rpm*
Energy Recovery Unit	*13 Kw*
Torque	*[-200, 200] N.m*
Speed	*[0, 500] rpm*
Intake Air Via Differential Pressure	*[0, 938] L/min*
Temperture	*Water* *4*[0, 120] $\dot{C}$*
	Oil *[0, 150] $\dot{C}$*
Exhuat Gas	*[0, 900] $\dot{C}$*
Cooling Water Flow Rate	*[0, 250]L/h*
Oil Pressure	*[0,6] bar*

این استند تست که توسط شرکت لیکوینی[2] تحت عنوان سیستم موتور الکتریکی ارتعاش- آکوستیکی و تست‌های کاربردی برای آزمایش موتورهایی که در استیج‌های مختلف در حال فعالیت‌اند طراحی گردیده‌اند. این استند از دوحالت تست الکترومکانیکی و حالت تست نویز و ارتعاش تشکیل شده اند[۳].

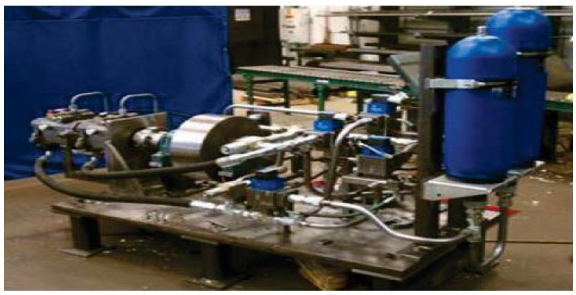
شکل(۳) استند تست شرکت لیکوینی[۳].

این استند هیدرولیکی جهت عملیات انتقالی حفاری شبیه‌سازی گردیده‌است که با استفاده از حالت شیرها انتخاب می‌گردد. اساس این عملیات انتقالی شامل کنترل سرعت شفت، کنترل فشار انتقالی، کنترل جریان خروجی می‌باشد [۳].

شکل(۴) مدل ۱ استند تست[۱].

شرکت سازنده[3] فینکس یک استند تست ترمز آبی دیناموتری طراحی و ساخته است که این استند دارای ویژگی‌های منحصربفردی از قبیل[۵]:

- ✓ سادگی و فشردگی در تنظیم کردن استند
- ✓ توانایی ذخیره‌کردن ۱۱۴ لیتر آب در یک تانک
- ✓ فعالیت پمپ استند در فرکانس‌های مختلف جهت کنترل نیرو
- ✓ دستگاه پیشرفته کنترلی شامل نرم‌افزارهایی جهت تامین داده‌های سرعت، گشتاور و قدرت



شکل(۵) استند تست شرکت فینکس [۵].

موسسه تحقیقاتی جنوب غربی[4] یک استند تست برای موتور رسوب‌گیر طراحی گردیده‌است که این استند به یک دینامومترمتصل می‌گردد. ویژگی‌های این استند تست شامل موارد زیر می‌باشد.

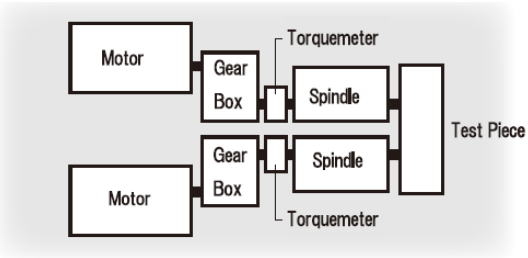
- ✓ حرکت طولی
- ✓ تراست
- ✓ نیروی شعاعی
- ✓ کنترل جریان

[1] GUNT
[2] LOCCIONI
[3] PHENIX
[4] Sout West Research Institude

- ✓ شبیه‌سازی فشار عقب نشینی[1]
- ✓ بکارگیری داده‌ها و کنترل آن

شکل(۶) استند تست موسسه تحقیقاتی جنوب غربی [۶].

استند تست محرکه الکتریکی که توسط شرکت ای-پی-سی[2] بهره‌برداری شده‌است. محرکه الکتریکی آن بصورت زیر می‌باشد.



شکل ۷- محرکه الکتریکی برای استند[۷].

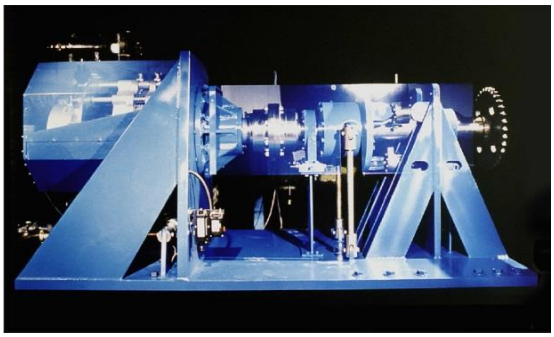
این استند تست دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد.

- ✓ تست دوام و نظارت‌های مختلف
- ✓ ذخیره انرژی توسط سیستم اصلاح‌گر
- ✓ انجام عملیات الگوبرداری
- ✓ استخراج داده‌های قابل قبول و امکان‌پذیر

قطعاتی که از طریق این استند قابل ارزیابی است عبارتند از تسمه و زنجیر می‌باشد.

جدول (۳) قطعات بکار رفته در استند

Test Piece	Belt	Chain
Max Revolutions	1200 rpm	**8000 rpm**
Max Torque	50 N.m	**220 N.m**
Torque Accuracy	0.1 %	**0.1 %**
Driving Motor	37 Kw	**220 Kw**
Load Motor	37 Kw	**220 Kw**
Temperture	100±5 Ċ	**[30, 120] ±5 Ċ**
Operation	Manual/	**Manual**
Pattern		
Measurment	Rev/ Load Torque/ Oil Temp	**Chamber Temp**
Data	PC	**Graphic Recorder**



شکل(۸) مدل ۱ استند تست [۷].

این استند برای آزمایش قطعات مختلف هواپیما توسط شرکت[3] طراحی گردیده‌است. این استند توانایی تشخیص و شناسایی میزان نیرو- ضربه پایان کار- جریان- ولتاژ- زمان- سرعت می‌باشد[۸].

شکل(۹) استند تست شرکت کیستلر[۹].

این استند تست توسط شرکت کیستلر[4] بهره‌برداری شده‌است. این استند تست توانایی آنالیزهای مکانیکی و الکتریکی می‌باشد. ویژگی‌های این استند تست را می‌توان چنین برشمرد.

- ✓ مدل‌پیش‌ساخته
- ✓ دارای ترمزهای فعال
- ✓ تولید گشتاور در محدوده‌ی ۰/۰۱ تا ۲۵۰۰۰ نیوتن متر
- ✓ دارای توانی در محدوده‌ی 2 تا 500کیلو وات

[1] Back Pressure
[2] EPC
[3] *TEST-FUCHS GmbH*
[4] *Kistler*

- ✓ سرعت فعالیت تا ۱۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه
- ✓ قدرت تحلیل با دقت بالا برای داده‌های الکترونیکی
- ✓ نرمافزارهای بکارگرفته ویژه و استاندارد
- ✓ مدیریت بهینه پروژه‌ها
- ✓ خدمات پس از فروش در سراسر جهان

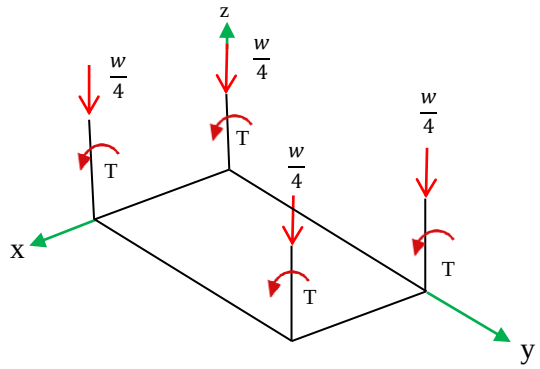
شکل(۱۰) استند تست شرکت کیستلر[۱۰] .

سازه تست استند یک سازه‌ای است که دارای چندین ستون است که قرار است موتور یا هرنوع وسیله‌ای که آزمایشات بر روی آن سازه تست استند نصب گردد. هدف از طراحی تست استند بررسی عملکرد و راندمان موتور طراحی‌شده یا تعمیرات موتور است. از آنجایی این موتور دارای قدرت و توانایی قابل ملاحظه‌ای است که می‌تواند سازه هواپیما را بسوی آسمان پرواز دهد. بنابراین برای بررسی موتور و تست و آزمایش نحوه عملکرد موتور، طراحی یک سازه استند مقاوم جهت نصب موتور بر روی آن بسیار حیاتی و با ارزش تلقی گردد. همانطور که در اشکال زیر دیده می‌شود طراحی‌های هندسی متفاوت و متنوعی براساس نوع کاربری و موتور موردنظر صورت پذیرفته‌است که می‌توان به آنها تامل نمود.

شکل(۱۱) نمونه ۱ از مدل استند جهت تعمیرات موتور[۱] .

شکل(۱۲) نمونه ۲ از مدل استند جهت تعمیرات موتور[۲] .

عامل تاثیرگذار بر روی سازه استند، گشتاوری است که موتور از خود تولید می‌کند که خواه بصورت شفت یا روتور و استاتور این گشتاور نمود پیدا می‌کند خواه بصورت نیروی پیشرانش بر سازه اعمل می‌شود. حال در این پروژه گشتاور یک موتور توربوشفت بوسیله یک شفت تولید می‌شود و بعنوان اصلی‌ترین وظیفه یک موتور تلقی می‌گردد. بنابراین همانطور که در شکل زیر می‌بینیم هم وزن و هم گشتاور خروجی بعنوان بارگذاری موثر از سوی موتور بر سازه تست استند مطرح می‌گردد.



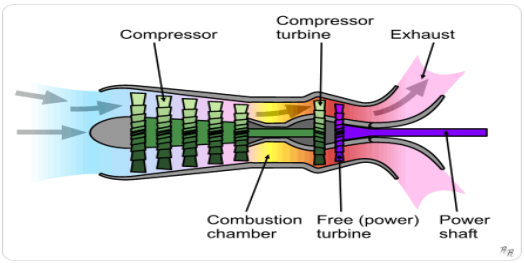
شکل(۱۳) اثر وزنی و دینامیکی موتور توربوشفت بر روی سازه

۲- اصول کار توربوشفت

موتورهای توربوشفت بصورت ۲ شفته هستند. شفت اول که شامل کمپرسور، محفظه احتراق و توربین فشار بالا[۱] می‌شود. شفت کمپرسور یا شفت مولدگاز[۲] نامیده می‌شود. شفت دوم شامل توربین فشار پایین[۳] است. توان مکانیکی را

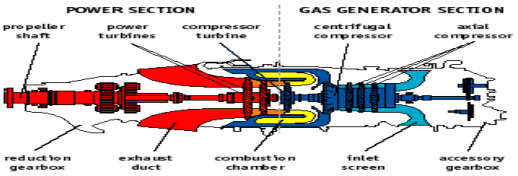
[۱] *High Pressure Turbine*
[۲] *Gas Generator Shaft*
[۳] *Low Pressure Turbine*

به جعبه‌دنده منتقل می‌کند تا پس از کاهش دور به مصرف برسد. این شفت، شفت توان[۱] نامیده می‌شود. همه توان تولیدشده به وسیله توربین فشار بالا، صرف چرخاندن کمپرسور و ایجاد هوای فشرده می‌شود و از نیروی این شفت، مولد گاز نامیده می‌شود، توان تولیدی توسط کمپرسور فشار پایین به مصرف‌کننده منتقل می‌شود.



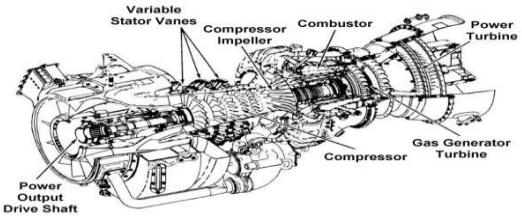
شکل(۱۴) اصول کار توربوشفت[۳] .

از موتورهای توربو شفت میتوان برای چرخاندن ملخ هلیکوپتر یا به عنوان یک موتور توربین گازی برای تولید نیرو جهت استفاده در واحد تولید قدرت انواع ماشین‌آلات استفاده کرد. به عنوان مثال برای چرخاندن فن یک تونل باد یا استفاده جای موتور دیزلی در بعضی تانکها (مثلاً تانک آبرامز m-1-a-1 آمریکایی از یک موتور توربین گازی به نام Atg-1500 با توان ۱۵۰۰ اسب بخار استفاده می‌کند یا در مدل جدیدتر M-1-a-2 از موتور توربین گازی Lv100-5 محصول مشترک هانی ول و جنرال‌الکتریک استفاده می کند). موتور توربوشفت، نوعی موتور توربینی و از نظر نحوه‌ی کار بسیار شبیه به موتور توربوپراپ است، ولی سرعت چرخش ملخ موتور توربوشفت از سرعت چرخش ملخ موتور توربوپراپ بسیار کمتر است. در موتور توربوشفت، هدف، تولید قدرت زیاد در دور کم است. از این موتور معمولاً در هلی‌کوپتر و کشتی استفاده می‌شود.



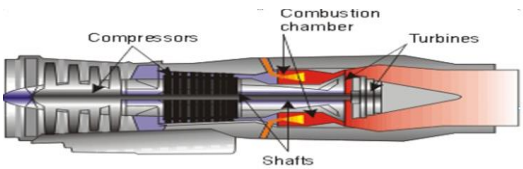
شکل(۱۵) نمایش بخش‌های مختلف توربوشفت [۱]

هلی‌کوپتر و کشتی مانند ملخ موتور توربوپراپ وظیفه‌ی تولید نیروی جلوبرنده را به عهده دارد ؛ ولی با سرعت چرخش بسیار کمتر. گاز خروجی از موتور توربوشفت هیچ نقشی در تولید نیرو ندارد. افزودن ملخ به موتور و استفاده از تمام انرژی گازهای خروجی برای چرخاندن آن باعث افزایش دبی جرمی موتور و در پی آن افزایش بازده در سرعتهای پایین می‌شود (مثل موتور توربوفن).



شکل(۱۶) نمایی از توربوشفت[۵] .

تقریبا تمام بالگردهایی که امروزه ساخته می‌شوند، از توربوشفت نیرو می‌گیرند. توربوشفت از بسیاری قسمتهای توربوجت استفاده میکند. یک تفاوت اساسی بین توربوشفت و سایر موتورها این است که توربین تنها به کمپرسور متصل نیست. البته همانند توربوپراپ در اکثر موتورهای توربوشفت چند طبقه از توربینهای مجزا از کمپرسور، وجود دارند که انرژی آنها از طریق شفتی مجزا به جعبه‌دنده جهت تغییر به گشتاور مناسب انتقال می‌یابد و بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور نمونه تیغه‌های روتور بالگرد را می‌چرخاند. از طرفی بالگردها در ارتفاعی بسیار پایین‌تر از هواپیماها جایی که گرد و خاک، ماسه و دیگر آشغالهای ریز به راحتی می‌توانند به داخل موتور مکیده شوند، کار می‌کنند. جهت برطرف‌کردن این مشکل، بیشتر موتورهای توربوشفت به یک دستگاه تجزیه‌ی ذره‌ها که جریان ورودی را صاف کرده و قبل از رسیدن آن به کمپرسور، گرد و خاک را بیرون می‌ریزد، مجهزند.



شکل(۱۷) نمایش شماتیک شفت و توربین توربوشفت [۶] .

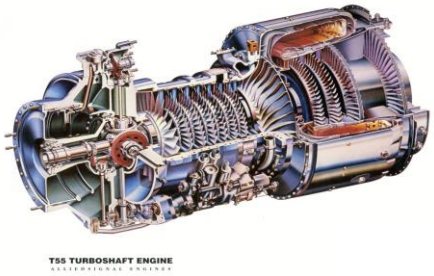
[۱] Power Shaft

مزایا

در سرعتهای فروصوت (تقریباً بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ متر بر ثانیه) بسیار کارآمد و پربازده است.

معایب

محدوده سرعت آن کوچک است، کمی پر سر و صدا و دارای سیستم انتقال قدرت پیچیده می‌باشد. اختراع موتورهای توربوشفت یکی از پیامدهای تکنولوژی موتورهای جت بود. بدین طریق که با قراردادن یک توربین در پشت موتور جت می‌توان از آن نیروی دورانی لازم را برای چرخاندن ملخ یک هلی‌کوپتر به دست آورد. زمانیکه اینگونه موتورها بسرعت با قدرت مشابه بوده و می تواند جایگزین آن گردد. به لحاظ همین ملاحظات بود که موتورهای توربوشفت برای طراحان هلی‌کوپتر جاذبه بخصوصی پیدانمود در نتیجه از سال ۱۹۶۰ به بعد تمامی هلی‌کوپترهای نظامی و پیشرفته به موتورهای توربوشفت مجهز شدند.



شکل(۱۸) مدل واقعی توربوشفت[۷] .

۲-۱- نرم افزار انسیس

انسیس به عنوان یکی از نرم افزار تحلیل از بین نرم افزارهای تحلیلی مطرح است. این نرم افزار یک نرم افزار چندگانه است و قابلیت تحلیل مسائل گوناگون و متنوع مهندسی از قبیل حرارت، سیالات، مغناطیس، الکترواستاتیک، الکتریسیته، سازه، ارتعاشات، استاتیک و ... را دارد. این نرم‌افزار همچنین قابلیت ایجاد ارتباط بین هر یک از موارد ذکر شده را نیز داراست.

دلایل برتری نرم‌افزار انسیس نسبت به سایر نرم افزارهای تحلیل‌عبارتنداز:

انجام آنالیز در زمینه های گوناگون از قبیل : جامدات، سیالات، انتقال حرارت، الکترومغناطیس، الکترواستاتیک، الکترونیک و دینامیک.

- ✓ توانایی آنالیز توامان مانند آنالیز سیالاتی- جامداتی
- ✓ توانایی بهینه‌سازی مدل‌های طراحی‌شده.
- ✓ قابلیت برنامه نویسی به کمک زبان برنامه‌نویسی نرم افزار برای توسعه امکانات جدید.
- ✓ قابلیت تهیه گزارش و خروجیهای مختلف به صورت فیلم, عکس.
- ✓ توانایی تشخیص پارامترهای مختلف و بررسی میزان اهمیت هرکدام از آنها در رسیدن به جواب نهایی طراحی‌ها.
- ✓ امکان برقراری ارتباط با نرم افزارهای دیگر نظیر کتیا[1] – سالیدورکز- پرو اینجینیر[2]

انسیس نرم‌افزار قدرتمند و شبیه‌ساز سهل‌الاستفاده‌ای می‌باشد که قدرت توانایی یک طراحی معتبر و استاندارد را به طراحان و مهندسین می‌دهد تا ایده‌هایشان را برروی صفحه کامپیوترهایشان پیاده کنند. در این نرم‌افزار از سیستم کارآمد و سهل‌العمل اتوماسیون پایگاه داده‌ها استفاده می گردد و باعث کاربری بسیار آسان این نرم‌افزار گردیده که به گفته سازنده نرم‌افزار می‌تواند به قدری قدرتمند باشد که برای ۳۲ سال آینده جهت حل مشکلات طراحی موثر، مفید و قابل اعتماد واقع گردد. با به کار بردن این نرم‌افزار مهندسین قادر به طراحی و تولید محصولاتی با کیفیت بهتر در زمانی کمتر خواهند بود. این نرم‌افزار مهندسین و طراحان را قادر می‌سازد تا به راحتی بهینه‌سازی ساختاری، حرارتی، دینامیکی، تعادل وزنی و عملکردی و همچنین شبیه‌سازی‌های مُد ارتعاشی و ضریب اطمینان و ایمنی را در طرح‌هایشان به صورت مرحله به مرحله اعمال کنند[۸] .

[1] CATIA
[2] ProEngineering

۲-۲- روش المان محدود

روش اجزاءمحدود یا روش المان‌محدود[۱] روشی است عددی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل جزئی و نیز حل معادله‌های انتگرالی. کاربرد عملی اجزاءمحدود معمولا با نام تحلیل اجزاءمحدود خوانده می‌شود اساس کار این روش یا حذف کامل معادلات دیفرانسیل یا ساده‌سازی آنها به معادلات دیفرانسیل معمولی، که با روشهای عددی مثل اویلر حل می‌شوند، می‌باشد. در حل معادلات دیفرانسیل جزئی مسئله مهم این است که به معادله ساده‌ای که از نظر عددی پایداراست، به این معنا که خطا در داده‌های اولیه و در حین حل آنقدر نباشد که به نتایج نامفهوم منتهی شود، برسیم. روشهایی با مزایا و معایب مختلف برای این امر وجود دارد، که روش اجزاءمحدود یکی از بهترین آنهاست. این روش در حل معادلات دیفرانسیل جزئی روی دامنه‌های پیچیده (مانند وسائل نقلیه و لوله‌های انتقال نفت)، یا هنگامی که دامنه متغیر است، یا وقتی که دقت بالا در همه جای دامنه الزامی نیست و یا اگر نتایج همبستگی و یکنواختی کافی را ندارند، بسیار مفید می‌باشد. به عنوان مثال در شبیه-سازی المان‌محدود یک تصادف در قسمت جلوی ماشین، نیازی به دقت بالای نتایج در عقب ماشین نیست، همچنین در شبیه‌سازی و پیش‌بینی هوا روی کره زمین، هوای روی خشکی‌ها اهمیت بیشتری از هوای روی دریاها دارند[۹].

۳- مدل‌سازی

در این بخش بعنوان اصلی‌ترین بحث، آنالیز مکانیکی استند که شامل آنالیز مودال می‌باشد. از آنجایی که اثر خروجی موتور توربوشفت بصورت گشتاور از سوی شفت پروانه می‌باشد. بنابراین از لحاظ فیزیکی گشتاور بر ۴ پایه استند اعمال می‌شود و از طرفی نیروی وزن نیز بصورت نیروی عمود بر ۴ پایه اعمال می‌گردد.ولی تنها داده‌هایی که می‌توان در اختیار داشت میزان سرعت دورانی هست که از سوی این اجزاء در حال تولید می‌باشد.

- دور هسته موتور[۲]
- شفت متصل به پروانه[۳]
- توربین[۴]

بنابراین با توجه به مشخصات دینامیکی که از سوی موتور توربوشفت در اختیار داریم.

جدول (۴) مشخصات دینامیکی موتور توربوشفت

پارامتر	مقدار
Power (Kw)	۱۶۱۱
w_m (rpm	۳۰۲۵۷
w_t (rpm)	۱۵۶۰۰
w_s (rpm)	۲۶۰۰
Motor Mass (kg)	۹۳۰

برای طراحی با قابلیت اطمینان بالاتر دو حالت را در نوع اثرگذاری دینامیکی موتور توربوشفت بر سازه استند درنظرگرفته‌شده‌است.

حالت اول

در این حالت دور یا سرعت دورانی هسته موتور را بصورت ایده‌آل فرض می‌کنیم.

حالت دوم

در این حالت ۷۰ درصد دور هسته موتور در نظر می-گیریم. از آنجایی که رابطه بین توان و دور بدین صورت بیان می‌شود.

آنگاه می‌توان میزان گشتاور یا T محاسبه نمود و آنگاه این میزان T را بر ۴ پایه تست استند بطور یکسان اعمال

$$w = w_m \qquad (۲)$$

نمود میزانW که در این رابطه بیان می‌شود همان مقدار دور هسته موتور می‌باشد. یعنی

$$P = T.w \qquad (۱)$$

[۱] Finite Element Method

[۲] w_m

[۳] w_s

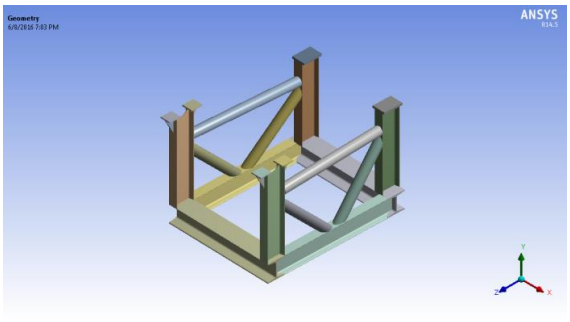
[۴] w_t

جدول (۵) مشخصات مکانیکی سازه

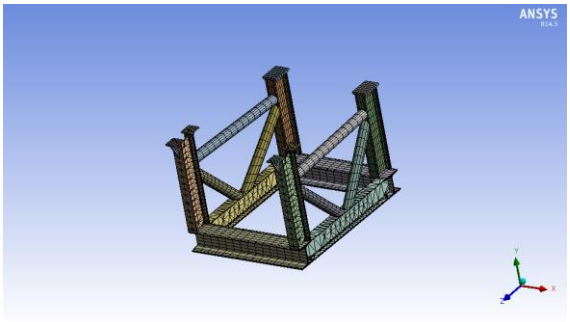
خواص مکانیکی		مقادیر
Density		7860
Ultimate Strength Tension		400 (Mps)
Yield Strength	Tension	250 (MPa)
	Shear	145 (MPa)
Modulus of Elasticity		200 (GPa)
Modulus of Rigidity		77.2 (GPa)
Coefficient of Thermal Expansion		$11.7\frac{10^{-6}}{C^0}$
Ductility Percent Elongation		in 50 21 mm

۴- شبیه‌سازی

مدل بصورت زیر با نرم‌افزار سالید ورکز[۱] طراحی گردید و در نرم افزار انسیس – ورک بنچ[۲] وارد شده‌است.



شکل(۱۹) مدل سازه استند طراحی‌شده



شکل(۲۰) مدل مش‌بندی شده سازه با نرم‌افزار

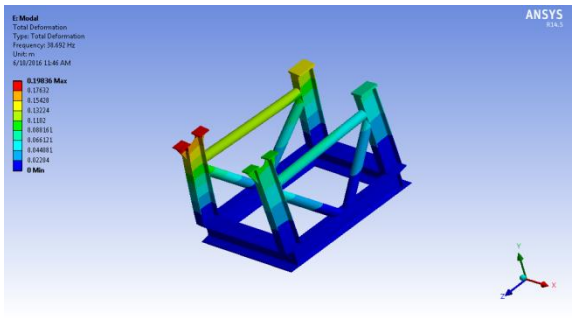
[۱] ANSYS -Wrokbench

۴-۱- آنالیز مودال

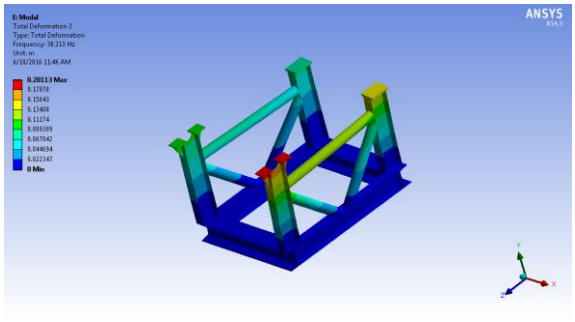
در این بخش و بخش‌های بعدی که به بحث آنالیز مودال پرداخته‌شده‌است براین اساس است که آنالیز مودال در دو حالت برای مدل صورت پذیرفته‌است.

آنالیز مودال برای زمانی که موتور در حالت خاموش هست و تنها اثر بارگذاری، وزن موتور خواهد بود.

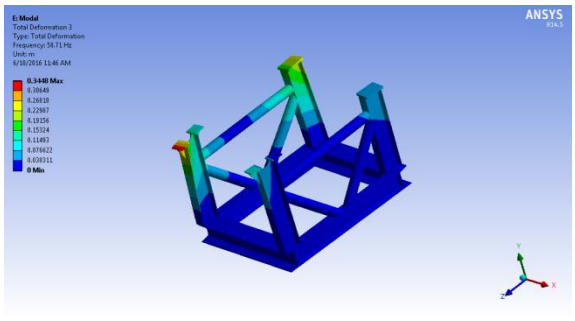
آنالیز مودال برای زمانی هست که موتور در حالت کار می‌باشد و اثر دینامیکی موتور بصورت گشتاور بر اثر وزن موتور اضافه خواهد شد.در پایان این نکته حائز اهمیت است که برای طراحی مطمن‌تر ۲۰ مود ارتعاشی در دو حالت مذکور استخراج شده است.



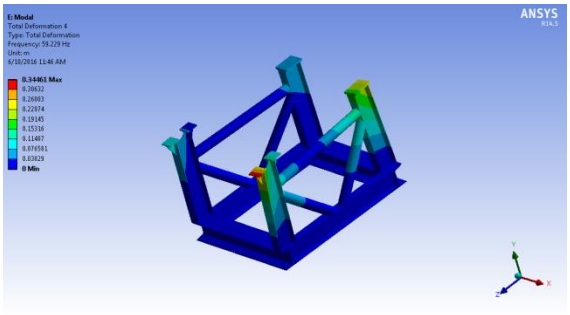
شکل(۲۱) شکل‌مود اول در اثر وزن موتور



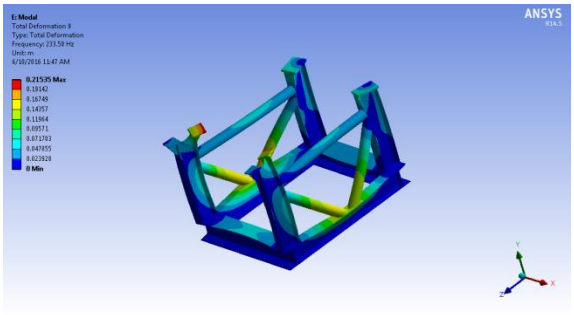
شکل(۲۲) شکل‌مود دوم در اثر وزن موتور



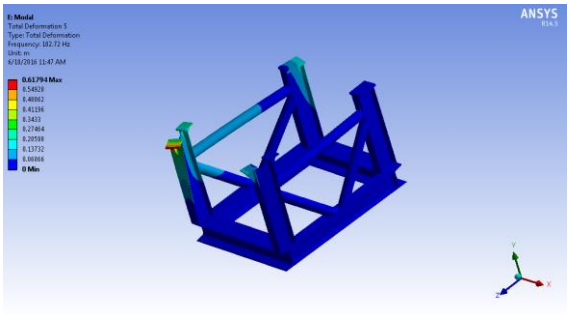
شکل(۲۳) شکل‌مود سوم در اثر وزن موتور



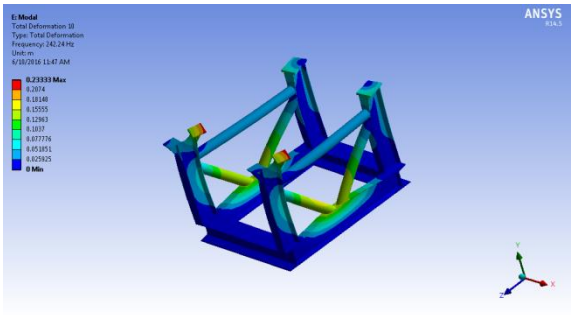
شکل(۲۴) شکل‌مود چهارم در اثر وزن موتور



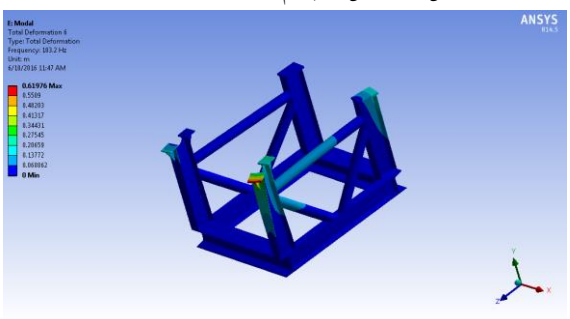
شکل(۲۹) شکل‌مود نهم در اثر وزن موتور



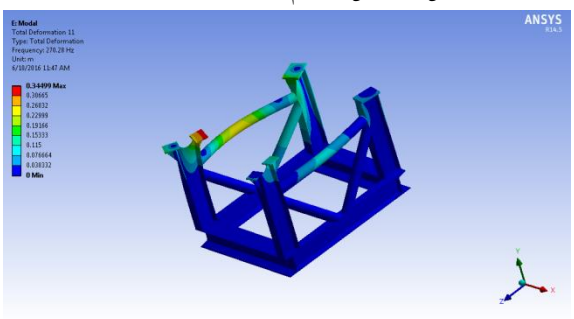
شکل(۲۵) شکل‌مود پنجم در اثر وزن موتور



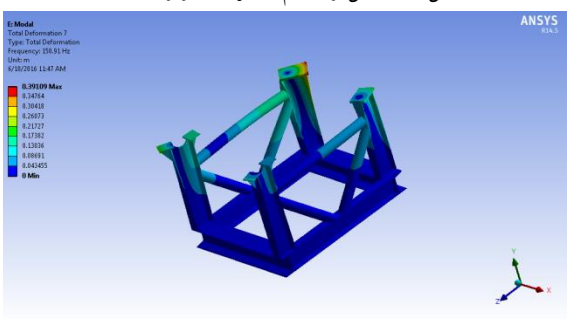
شکل(۳۰) شکل‌مود دهم در اثر وزن موتور



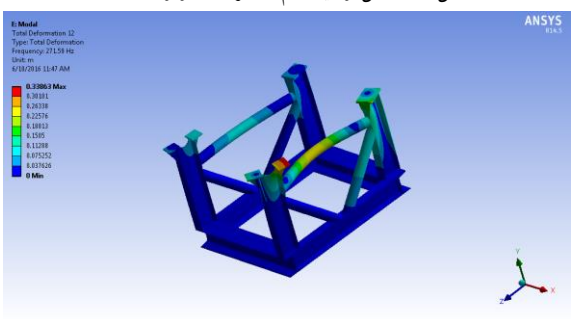
شکل(۲۶) شکل‌مود ششم در اثر وزن موتور



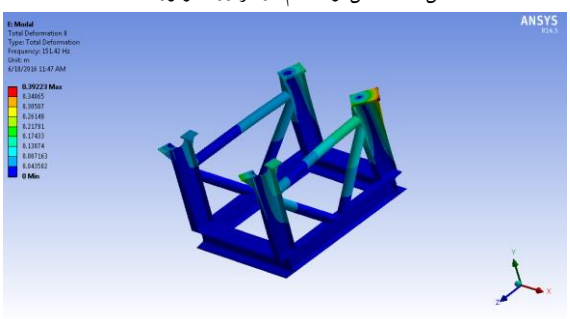
شکل(۳۱) شکل‌مود یازدهم در اثر وزن موتور



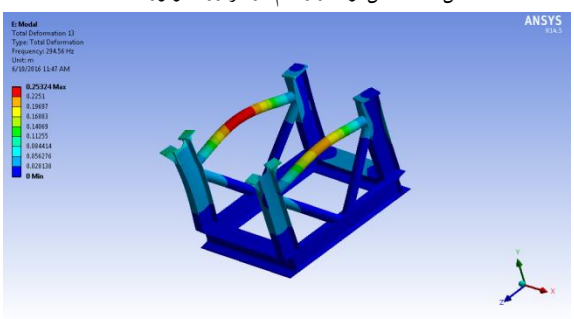
شکل(۲۷) شکل‌مود هفتم در اثر وزن موتور



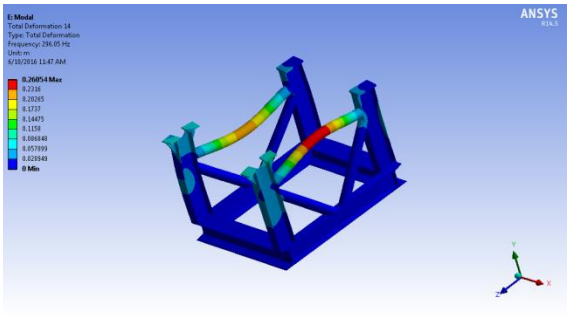
شکل(۳۲) شکل‌مود دوازدهم در اثر وزن موتور



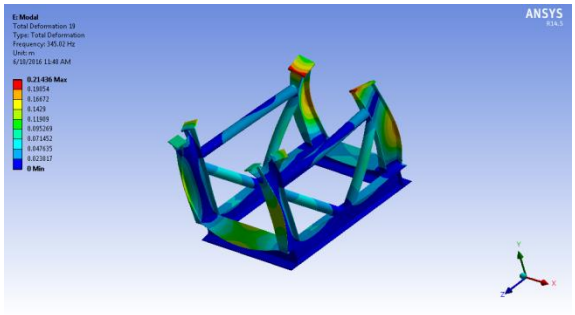
شکل(۲۸) شکل‌مود هشتم در اثر وزن موتور



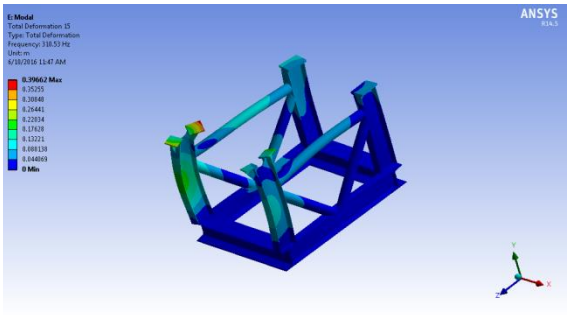
شکل(۳۳) شکل‌مود سیزدهم در اثر وزن موتور



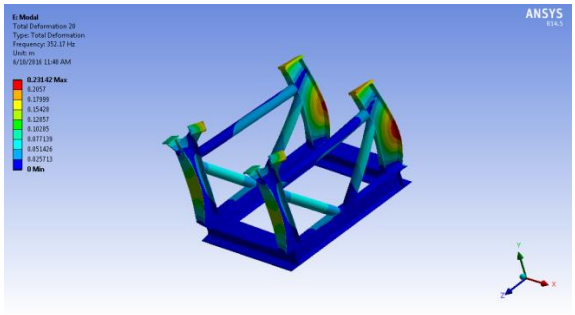
شکل(۳۴) شکل‌مود چهاردهم در اثر وزن موتور



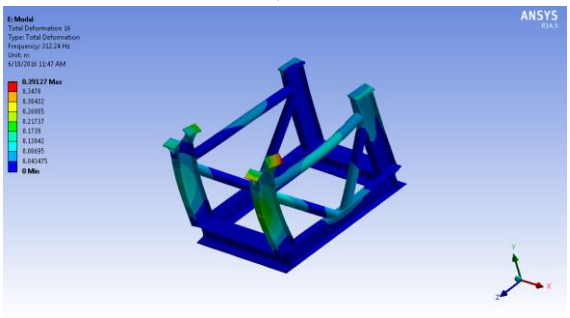
شکل(۳۹) شکل‌مود نوزدهم در اثر وزن موتور



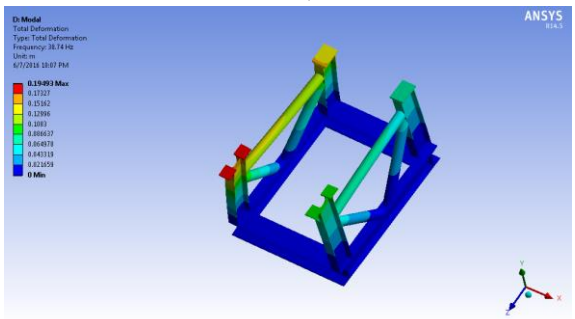
شکل(۳۵) شکل‌مود پانزدهم در اثر وزن موتور



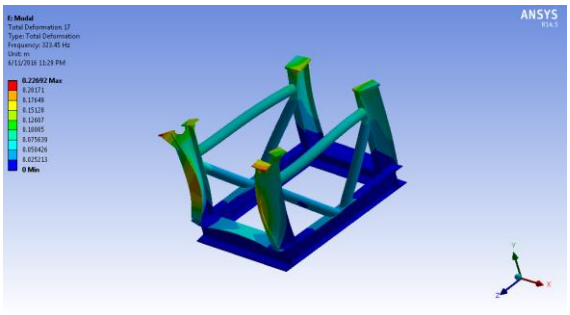
شکل(۴۰) شکل مود بیستم استند در اثر وزن موتور



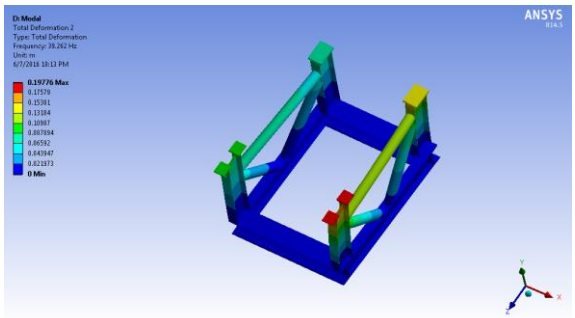
شکل(۳۶) شکل‌مود شانزدهم در اثر وزن موتور



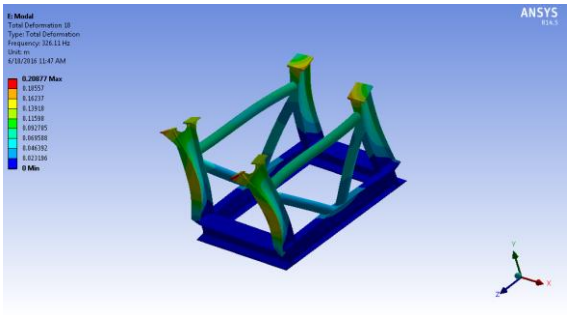
شکل(۴۱) شکل‌مود اول در اثر دینامیک موتور



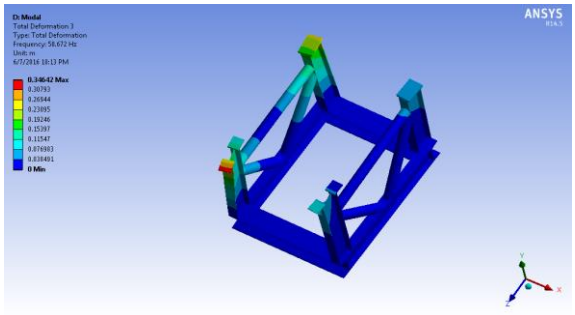
شکل(۳۷) شکل‌مود هفتدهم در اثر وزن موتور



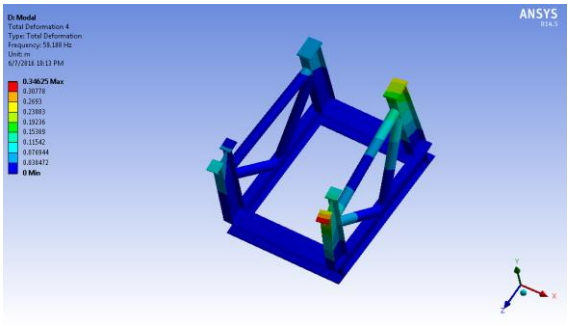
شکل(۴۲) شکل‌مود دوم در اثر دینامیک موتور



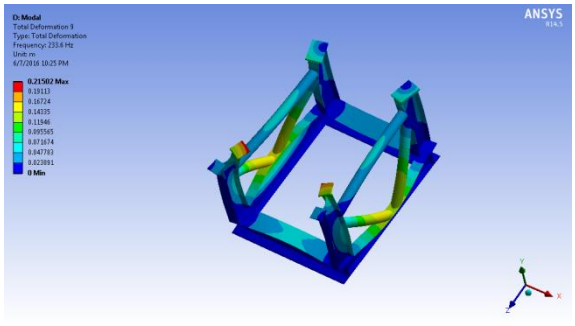
شکل(۳۸) شکل‌مود هجدهم در اثر وزن موتور



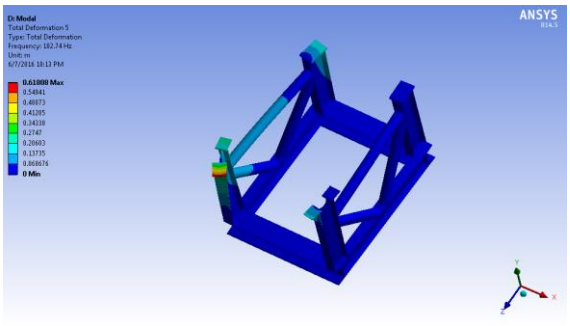
شکل(۴۳) شکل‌مود سوم در اثر دینامیک موتور



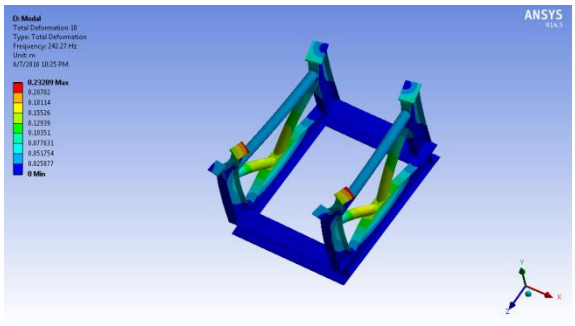
شکل(۴۴) شکل‌مود چهارم در اثر دینامیک موتور



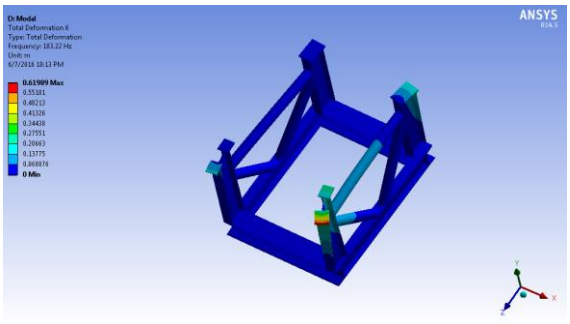
شکل(۴۹) شکل‌مود نهم در اثر دینامیک موتور



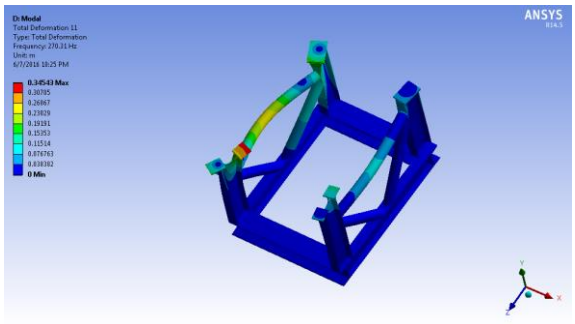
شکل(۴۵) شکل‌مود ششم در اثر دینامیک موتور



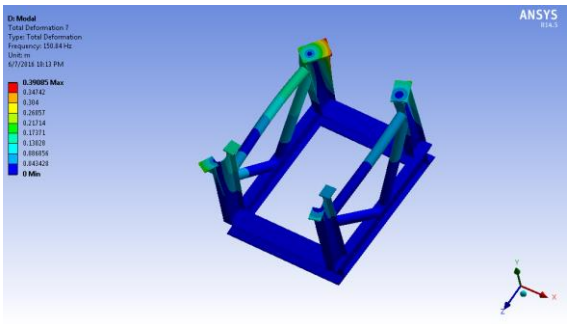
شکل(۵۰) شکل‌مود دهم در اثر دینامیک موتور



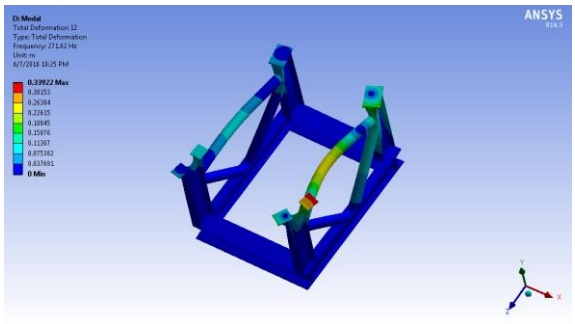
شکل(۴۶) شکل‌مود ششم در اثر دینامیک موتور



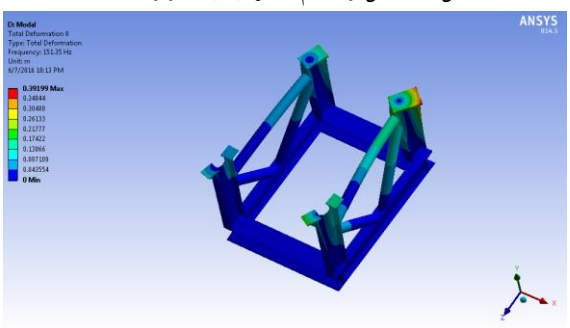
شکل(۵۱) شکل‌مود یازدهم در اثر دینامیک موتور



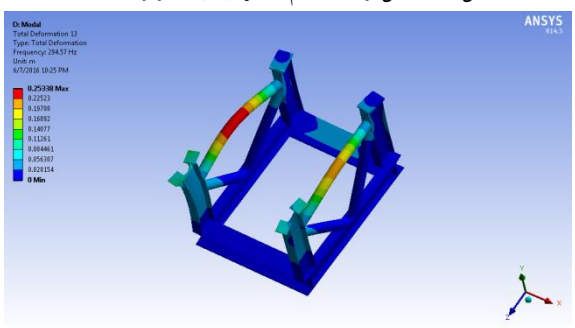
شکل(۴۷) شکل‌مود هفتم در اثر دینامیک موتور



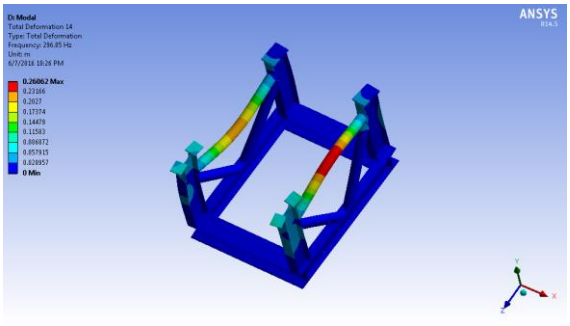
شکل(۵۲) شکل‌مود دوازدهم در اثر دینامیک موتور



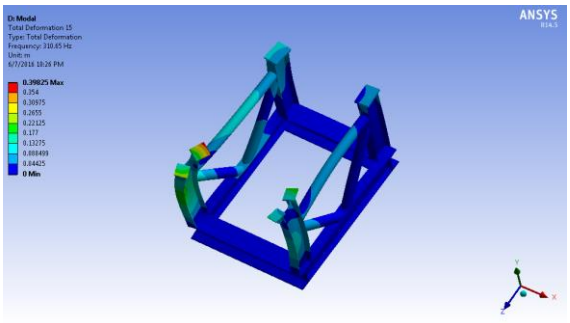
شکل(۴۸) شکل‌مود هشتم در اثر دینامیک موتور



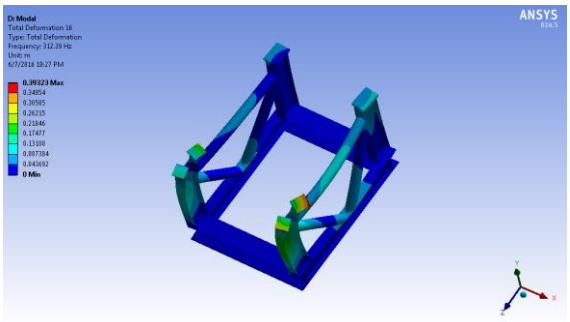
شکل(۵۳) شکل‌مود سیزدهم در اثر دینامیک موتور



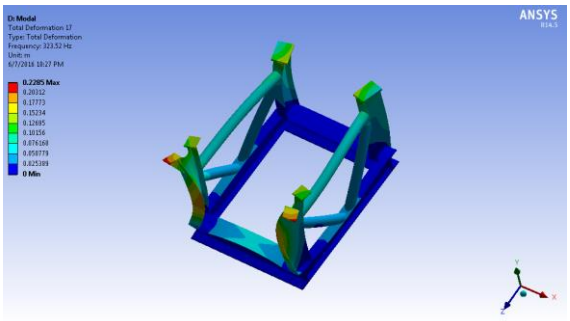
شکل(۵۴) شکل‌مود چهاردهم در اثر دینامیک موتور



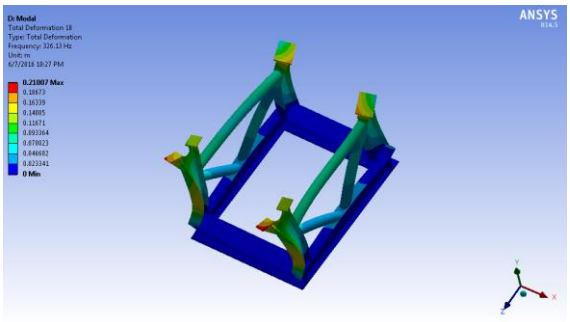
شکل(۵۵) شکل‌مود پانزدهم در اثر دینامیک موتور



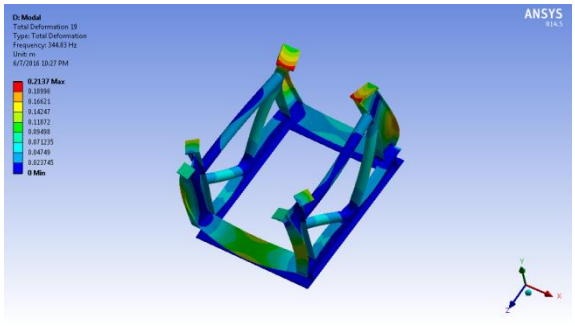
شکل(۵۶) شکل‌مود شانزدهم در اثر دینامیک موتور



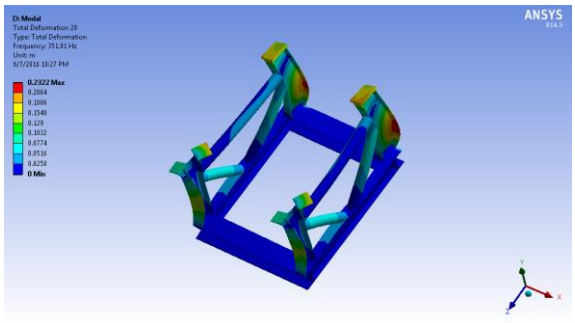
شکل(۵۷) شکل‌مود هفدهم در اثر دینامیک موتور



شکل(۵۸) شکل‌مود هجدهم در اثر دینامیک موتور



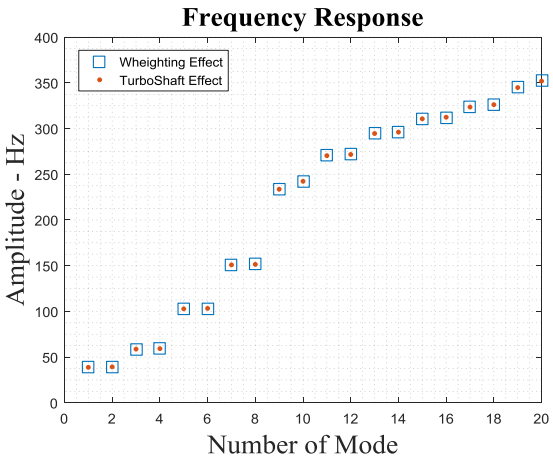
شکل(۵۹) شکل‌مود نوزدهم در اثر دینامیک موتور



شکل(۶۰) شکل‌مود بیستم در اثر دینامیک موتور

۴-۲- فرکانس طبیعی

در بخش نمودارهای ترسیم شده داده‌هایی می‌باشند که از نرم‌افزار انسیس- ورک بنچ استخراج شده و با استفاده از نرم‌افزار متلب رسم شده‌است. با توجه به گویا بودن توضیحات روی نمودارها از بیان توضیحات اضافی خودداری شده‌است.



شکل(۶۱) فرکانس طبیعی سازه در اثر وزن و دینامیک موتور

نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیری بعمل‌آمده برگفته از داده‌های خروجی از نرم‌افزار ANSYS می‌باشد که می‌توان بصورت زیر فهرست و اشاره نمود.

- ✓ پایه‌های استند تست با مقطع I شکل انتخاب شده است که این نوع مقطع خود بعنوان افزایش تحمل‌پذیری ۴ پایه در برابر اغتشاش می‌باشد و همانطوری که می‌دانیم مقطع I شکل در میان مقاطع مختلف بیشترین ممان اینرسی را برخوردار می‌باشد.
- ✓ انتخاب نوع ماده خود بعنوان یکی دیگر از عوامل است که در این سازه فولاد بکارگرفته شده‌است.
- ✓ انتخاب میله‌های توخالی برای پایه‌ها باعث تجزیه نیروها و انتقال نیرو از موتور به پایه سازه استند می-باشد.
- ✓ بدیهی است زمانی که تنها اثر وزنی موتور بر سازه بررسی می‌شود مقادیر تنش و کرنش و جابجایی اعضای سازه کمتر از زمانی است که اثر دینامیکی موتور بر اثر وزنی سازه اضافه و اعمال می‌گردد.
- ✓ نحوه مش‌بندی پایه‌های جلوی سازه با ۲ پایه عقبی سازه متفاوت است که آن هم بدلیل وجود ناچ در ۲ پایه جلو هست که این دو ناچ خود باعث بوجودآمدن تمرکز تنش در سازه می‌گردد و باعث تغییر دو نوع مش‌بندی ۲ پایه می‌گردد.

مراجع

[1] Loccioni, Amber Electric Motors Vibro-Accoustic and Functional Testing System, [Brochure], Italy, Angeli di Rosora, Ancona.
[2] IMC, Modularly Expandable EC-Motor Test Stand for Driving Dynamic and Steering System Components, [Application Note], Berlin, Germany.
[3] M.Wang, P.Danzl, C.Larish, V.Mahulkar, D.Piyab Ongkan, P.Brenner, A Hydraulic Test Stand for demonstrating to operation of Eaton's Energy Recovery System (ERS), Eaton Corporation, 7945 Wallace Road Eden Praire, MN, 55344, 10th International Fluid Power Conference, Dresden, 2016.
[4] B.Kozik, G.Budzik, M.Cieplak, Universal Test Stand for Research of Aeronautical Multi-Power Path Gear Demonstrators, Journal of KONES Power Train and Transport, Vol.19,No.3, 3, 2012.
[5] TEST-FUCHS GmbH/Test Fuchs Strasse 1-51, A-3812 Gross-Siegharts, Motors Spindle Test Stand, [Brochure], Germany.
[6] Phenix Technology, Water Brake Dynamometers Test Stand, [Brochure], USA.
[7] S.R.Harrington, Multiple Electrical Motor Test Stand, National Technical Systems Test System Integration, Albuquerque NM 87113, 505-345-9499.
[8]Koller Solutions Machinen-und Anglagenbau GmbH, Test Stand for Downhole Motors, [Brochure], Celle, Germany.
[9] Southwest Research Institute, Mud Motor and Top Drive Drawer 28510, San Antonio, Texas 78228-0510.
[10] Kistler Group, Test Stand System for Electrical Motors and Gearing at Laboratory (R&D) Production (EOL) and Quality Assurance (QA), [brochure], S.I.Instrument, 256 Sout Rd.Hilton Sout Australia 5033 Ph(08)8352 5511.
[11] http://en.avia.pro/blog/oao-klimov.
[12]https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Klimov_VK-1_jet_engine_from_MiG-15bis_(c-n_1B01524)_front_3-4_view_starboard_side.jpg.
[13]https://en.wikipedia.org/wiki/Turboshaft
[14]http://www.turbokart.com/about_pw100.htm
[15]http://www.aviationexplorer.com/Aircraft_Engines.html.
[16]http://freemansgarage.com/blog/?p=117
[17]http://www.helifreak.com/showthread.php?t=742103
[۱۸] جمشیدی نیما، آموزش طراحی اجزا، و مقاومت مصالح به کمک نرم‌افزار ANSYS، بهاره جوانبخت،انتشارات نشر آفرنگ، چاپ پنجم، زمستان ۹۲، ISBN: 978-600-5060-01-0.
[۱۹] محمودزاده کنی ایرج، وزیری آستانه علی، روش اجزاء محدود در تحلیل ارتعاشات، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۰، ISBN:978-964-03-6257-0