

مروری بر تجربه طراحی و تحلیل گروهی یک چرخش سوار از منظر آموزش مهندسی

علی مقداری^۱، سید محمد جعفر ذوی الانواری^۲، حسن ایزانلو^۳، محمدصادق توحیدی نافع^۴، محمد مهدی آذریبیک^۵، محمد درختی^۶، امیررضا آسمان رفعت^۷، سجاد سلیمان زاده^۸، طاها قره باغی^۹، پارسا بهین فر^{۱۰}، سید امیرحسین سجادی^{۱۱}، حسین حسن پور^{۱۲}، محدثه لطفی^{۱۳}، کیوان نصیری^{۱۴}، حامد ناظمی^{۱۵}، محمدسجاد رضائی^{۱۶}، محمد جمشیدیان^{۱۷}، علی اسماعیلی^{۱۸}، اسماعیل عسکری^{۱۹} و سامان رضایی^{۲۰}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۱۱

DOI: 10.22047/IJEE.2022.321010.1874

چکیده: در این مقاله گروهی، قسمتی از آموزش درس دینامیک پیشرفته در قالب پروژه‌های گروهی آموزش محور انجام شده است. در این پروژه قرار است سازوکار یک چرخش سوار طراحی گردد و سپس تحلیل‌های مهندسی بر روی آن انجام شود. سامانه این چرخش سوار بایستی به گونه‌ای طراحی گردد که شتاب مطلق سر انسان حداکثر برابر با شش برابر شتاب جاذبه شود. ابتدایی‌ترین کاری که باید انجام گردد، طراحی‌های مفهومی است. همچنین تحلیل‌های مهندسی مانند تحلیل دینامیک و شبیه‌سازی حرکتی، تحلیل المان محدود برای به دست آوردن فرکانس‌های طبیعی و تعیین تغییر شکل‌های ناشی از بارگذاری نیز انجام شده است. بعد از اتمام مراحل فوق، در مورد مواد و فرایندهای ساخت نیز مطالبی بیان شده است. با توجه به این که این پروژه در قالب یک روش جدید یادگیری درس دینامیک پیشرفته در قالب نه گروه در دانشگاه صنعتی شریف انجام شده و گروه‌ها با هم رقابت کرده‌اند، در پایان از دانشجویان در مورد میزان یادگیری از این شیوه آموزش، نظرسنجی شده است.

واژگان کلیدی: آموزش گروهی، دینامیک پیشرفته، چرخش سوار، طراحی، تحلیل دینامیکی

- ۱- استاد دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. meghdari@sharif.edu
- ۲- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). seyedzolanvary@gmail.com
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد. hasanizanlo1310@gmail.com
- ۴- دانشجوی کارشناسی ارشد. astronomer496@gmail.com
- ۵- دانشجوی کارشناسی ارشد. mahdiazarbeik@yahoo.com
- ۶- دانشجوی کارشناسی ارشد. mad.derakhti@gmail.com
- ۷- دانشجوی کارشناسی ارشد. ar.aseamanrafat@gmail.com
- ۸- دانشجوی کارشناسی ارشد. corruptedgenius2@gmail.com
- ۹- دانشجوی کارشناسی ارشد. taha.g1997@gmail.com
- ۱۰- دانشجوی کارشناسی ارشد. parsa.behinfar@mech.sharif.edu
- ۱۱- دانشجوی کارشناسی ارشد. h.hassanpour6@gmail.com
- ۱۲- دانشجوی کارشناسی ارشد. sayeverything4585@gmail.com
- ۱۳- دانشجوی کارشناسی ارشد. keyvan.nasiri64@yahoo.com
- ۱۴- دانشجوی کارشناسی ارشد. h.nazemi.h1376@gmail.com
- ۱۵- دانشجوی کارشناسی ارشد. mohamadjamshidian20@gmail.com
- ۱۶- دانشجوی کارشناسی ارشد. mohammad.sajad787@gmail.com
- ۱۷- دانشجوی کارشناسی ارشد. esmaeili.a89@gmail.com
- ۱۸- دانشجوی دکتری. rezaeisaman59@gmail.com
- ۱۹- دانشجوی کارشناسی ارشد. smail.askari1996@gmail.com
- ۲۰- دانشجوی دکتری. دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

۱. مقدمه

امروزه طراحی و همچنین مدل سازی ریاضی به یکی از مهم ترین بخش های علم مهندسی تبدیل شده است و ساخت یک وسیله تفریحی با داشتن ایمنی های لازم، نیازمند آنها است. در این مقاله به طراحی و شبیه سازی یک چرخش سوار می پردازیم. امروزه استفاده از روش های عددی و حل مسائل به کمک رایانه، به عنوان بهترین ابزار مهندسی برای تحلیل و شبیه سازی معرفی می شود. استفاده از رایانه ها برای تحلیل های شتاب و حرکت لازم است زیرا سامانه در حین حرکت دارای موقعیت و عملکرد متفاوت است که باید در آن لحظه، شتاب و مشخصات دیگر مکانیکی بررسی گردد. این امر تنها با استفاده از روش های عددی امکان پذیر است. پژوهش های متعددی در زمینه طراحی این گونه تجهیزات مانند (Hunt, 2018) انجام شده است که در آن به طراحی، تحلیل و شبیه سازی یک ترن هوایی پرداخته شده است. چرخش سوار نیز از لحاظ ایجاد نیروهای زیاد وارد شده به قطعات در حین سرعت گرفتن، شبیه به ترن هوایی است، چرا که عملکرد آن مشابه پاندول است و در پایین ترین وضعیت، به دلیل داشتن سرعت بالا دارای شتاب مرکزگرای بالایی است که موجب ایجاد نیرویی با اندازه زیاد می شود. همچنین قطعات، مانند ترن هوایی تحت بار خستگی نیز هستند. طراحی بایستی به گونه ای باشد که عواملی چون نیروهای ناشی از شتاب مرکزگرا و کوریولیس در نظر گرفته شود. در پژوهش (Pendril & Modig, 2018a) نمونه ای از یک چرخش سوار صنعتی، تحلیل نیروها، شتاب و همچنین بررسی تأثیر شتاب کوریولیس بیان شده است. در این مقاله داده های شتاب و سرعت به صورت تجربی به دست آمده است و قابلیت استناد بیشتری نسبت به تحلیل های تئوری و رایانه ای دارد. انواع مختلف چرخش سوار توسط شرکت های مختلف تولید می شود. یکی از این انواع، چرخش سوار آونگیست که یک حرکت آونگی و یک حرکت چرخشی حول محور آونگ دارد. تحلیل حرکت این چرخش سوار نسبتاً ساده است، با این وجود حرکت آونگی به همراه حرکت چرخشی سبب می شود که در هر سه بعد شتاب و سرعت غیر صفر باشد (Pendril & Rohl n, 2011b). شتاب چرخش سوار در کنار لذتی که برای سرنشینان ایجاد می کند، ممکن است اثرات دیگری بر بدن افراد داشته باشد. برای طراحی چرخش سوار، این اثرات باید در نظر گرفته شوند. با توجه به بررسی های انجام شده، انسان توانایی تحمل شتاب های بالا را ندارد به طوری که یک انسان معمولی تنها می تواند برای لحظاتی شتاب نه برابر گرانش را تحمل کند. اگر فردی در این شتاب قرار گیرد، احساس می کند که نه برابر سنگین تر از حالت عادی است و خون در پاها جمع می شود و قلبش نمی تواند خونی که حالا نه برابر سنگین تر است را به مغز برساند. بنابراین شتاب نه برابر گرانش برای مدتی بیشتر از چند ثانیه، خطرناک است. شتاب های شش برابر گرانش که خواسته پروژه بود می تواند باعث ایجاد لذت در سرنشینان شود، اما از طرفی این شتاب ها نیز می تواند برای برخی از افراد خطرناک باشد و باعث گیجی و از هوش رفتن آنها شود، بنابراین باید ترتیبی اتخاذ شود تا مسافران برای مدت کوتاهی به این شتاب برسند و بلافاصله مقدار شتاب به مقداری مناسب کاهش

باید (Voshell, 2004) به منظور بهبود عملکرد ایمنی، راحتی امکانات تفریحی و کاهش هزینه‌های تحقیق و توسعه، می‌توان شبیه‌سازی را با استفاده از نرم‌افزار تجزیه و تحلیل دینامیکی سامانه مکانیکی آدامز^۱ انجام داد. در این مقاله از نرم‌افزار کد^۲ سه بعدی برای مدل‌سازی اجزای اصلی آونگ استفاده می‌شود و سپس مدل سه بعدی به نرم‌افزار شبیه‌سازی وارد می‌شود. پس از تنظیم پارامترهای فنی و توابع حرکتی اجزا موجود در مدل، می‌توان تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی را انجام داد تا شرایط حرکت و نیروی هر یک از اجزا در حین کار دستگاه به دست آید. نتایج تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی با نتایج محاسبه نظری مقایسه می‌شوند. استفاده از نمونه اولیه مجازی به جای نمونه اولیه فیزیکی، روشی موثر برای بهبود ایمنی و کاهش هزینه‌ها است (Cao et al., 2018). در پژوهشی که در (Pendril & Modig, 2018b) انجام شده است، به بررسی و تحلیل یک چرخش سوار از نوع پاندول پرداخته شده است. در این مقاله به تحلیل اندازه شتاب در راستاهای مختلف انجام شده است و سرعت زاویه‌ای، شتاب زاویه‌ای و نیروها در پایین‌ترین نقطه و بالاترین نقطه به کمک نرم‌افزار آدامز به دست آمده است. در (Pendril et al., 2019) به بررسی یک ترن داخل مسیر دایره‌ای شکل پرداخته شده است و با رسم دیاگرام آزاد برای این دستگاه و به دست آوردن نیروها در پایین‌ترین و بالاترین نقطه با فرض وجود اصطکاک، شتاب و سرعت لازم برای آن که این ترن در بالاترین نقطه سقوط نکند، به دست آمده و به عنوان یک نمونه آموزشی برای تدریس در درس فیزیک به کار رفته است. در (Xu et al., 2020) به مطالعه روش دینامیک‌های مقید اضافه^۳ برای یکی از تجهیزات چرخش سوار پاندولی پرداخته شده است. در این مقاله به بررسی کامل نیروها و گشتاورهای عکس‌العملی برای یک قطعه از چرخش سوار پرداخته شده و بیان شده است که استفاده از این روش می‌تواند سرعت طراحی را افزایش داده و کیفیت طراحی را بهبود بخشد. در پژوهش (Pendril & Eager, 2020) تاثیرات سرعت، شتاب، جرک و ارتعاش بر بدن انسان در یک ترن هوایی بیان شده است و حد تحمل بدن انسان، برای میزان مشخصی از شتاب، سرعت و جرک بررسی شده است. همچنین میزانی که باعث لذت افراد در چرخش سوار شود، مشخص شده است و مقایسه‌ای با میزان تحمل بدن خلبانان جنگنده‌ها و فضانوردان انجام شده است. در مقاله (Eager et al., 2016) به بررسی شتاب بیشینه، جرک و مشتقات مرتبه بالاتر در یک ترن شهربازی پرداخته شده است. همچنین شتاب‌های بیشینه برای یک دور مسیر ترن و تغییرات جرک مناسب برای یک دور چرخش ترن بیان شده است. در ادامه مقاله، اهمیت جرک در طراحی قطعات مکانیکی و طول عمر بیشتر قطعات بیان گردیده و همچنین بیان شده که بدن انسان و عضلات نیاز به زمان کافی برای حس شتاب خارجی و تطبیق خود با شتاب دارند لذا نباید جرک آن قدر بالا باشد که عضله‌های بدن نتوانند خود را با این تغییرات وفق دهد چرا که اگر زمان کافی به عضلات ندهیم، این تغییرات نرخ

شتاب همانند ضربه شلاق بر بدن عمل می‌کند. در (Pendrill & Rohlén, 2011a) شتاب و مسیر دوران یک چرخش سوار از نوع پاندول با استفاده از یک سنسور از نوع ممز' و یک گوشی هوشمند به صورت سه بعدی به دست آمده و در نمودارهای مجزا نشان داده شده است. در ادامه با استفاده از گوشی همراه، مسیر حرکت چرخش سوار به همراه سرعت زاویه‌ای در سه راستای مجزا به دست آمده است. همچنین ذکر شده که این سنسور تا شتاب $2g$ عملکرد مناسبی دارد و نحوه کالیبراسیون سنسور و شرایط اولیه آن بیان گردیده است. در مقاله (Pendrill, 2019) به بررسی و تحلیل بردار موقعیت، سرعت و شتاب یک چرخش سوار از نوع پاندول ستاره‌ای شکل پرداخته شده است. در (Gurri et al., 2017) به تحلیل دینامیکی یک چرخش سوار از نوع چرخش حول محور ثابت (به گونه‌ای که با طناب به محور مرکزی متصل است و حول محور مرکزی می‌چرخد) پرداخته شده است. همچنین از دو دستگاه مختصات کارترین و کروی برای تحلیل استفاده شده و این دو دستگاه با یکدیگر مرتبط شده‌اند. در (Pendrill, 2016) پیرامون دستگاه‌های مورد استفاده در شهر بازی، انواع تاب‌های گردان و تحلیل شتاب و ارتفاع آنها بررسی شده‌اند. همچنین در (Hoom, 2019) نیز به تحلیل نیرویی ترن هوایی پرداخته شد که طی آن سرعت و شتاب دستگاه و بررسی ارتعاشات سازه نیز مورد بررسی دقیق قرار گرفته است. از تحقیقات روی جنبه‌های دیگر دستگاه‌های تفریحی و پارک‌های بازی، می‌توان پژوهش روی تحلیل راهبردی و بررسی درآمد این گونه پارک‌های شامل چنین دستگاه‌هایی (Levitt, 2014) و تحقیق روی طراحی برای مواردی که از نظر آنتروپومتري نادر باشند، را نام برد (Stenzler, 2016).

۲. تعریف مسئله

در عصر حاضر یکی از پرطرفدارترین تفریحات، شهر بازی‌ها می‌باشند و البته یکی از تفریحات سالم و مهیج بوده است و امکان طرح ایده‌های جدید و جذاب در این زمینه برای کسب سودآوری بسیار گسترده وجود دارد. در نتیجه تحقیق و بررسی در این حوزه، می‌تواند حائز اهمیت باشد. آنچه که در این مقاله بررسی شده است، مدنظر داشتن شتابی است که برای ما مهیج و شادی‌بخش باشد و از لحاظ زیست‌شناختی برای مغز انسان مشکل‌ساز نباشد و آسیبی به سلامتی وارد نکند. در همین راستا ایده‌ای برای یک طرح که خواسته بالا را برآورده سازد و همین‌طور مسائلی مانند سهولت ساخت و بهینه بودن طرح و مدنظر داشتن کاهش هزینه‌ها تا حد ممکن در آن رعایت گردد، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. تجربه شتاب شش برابر گرانش برای انسان در مدت زمان خیلی کوتاهی می‌تواند باعث حس خوشی و شادی شود و احساس رضایت را در فرد ایجاد کند. به همین دلیل در شهر بازی‌ها، دستگاه‌های مختلفی برای تفریح افراد طراحی شده است که یکی از آن‌ها چرخش سوار است. در این دستگاه افراد برای لحظه‌ای به بیشینه شتابی رسیده تا احساس شادی ایجاد شود و بلافاصله شتاب

سرنشین‌ها کاهش یافته تا باعث ایجاد خطر برای آن‌ها نشود. این تغییرات زیاد و ناگهانی شتاب‌ها و نیروها و همچنین درگیر بودن جان افراد، باعث می‌شود تا از طرح‌های مطمئن و ایمن استفاده شود که تمامی استانداردهای لازم را داشته باشند. در این مقاله تلاش شده است تا یک روش نوین برای آموزش دینامیک پیشرفته ارائه شود. به این صورت که از گروه‌های مختلف دانشجویی خواسته شده تا یک چرخش سوار را به صورت کامل طراحی کنند و از نظر دینامیکی مورد بررسی و تحلیل قرار دهند. سپس نتایج هر گروه به صورت جداگانه در جداول پایانی آورده شده و از آن‌ها خواسته شده که آنچه که از این روش آموزشی یاد گرفته‌اند را شرح دهند. در ساخت یک چرخش سوار که مستقیماً با جان افراد در ارتباط است، مهم‌ترین عامل طراحی، ایمنی آن می‌باشد. در درجات بعدی، عواملی همچون هزینه ساخت، هزینه و سهولت نگهداری، وزن سازه و همچنین زیبایی آن حائز اهمیت می‌باشد. ابتدا با مراجعه به منابع موجود تلاش گردید تا اطلاعاتی در مورد چرخش سوار و حداکثر شتاب مناسب برای بدن انسان جمع‌آوری شود. سپس یک طرح در نظر گرفته شد و با تنظیم ابعاد و سرعت مفاصل، شتاب حداکثری مطلوب شش برابر گرانش برای سر سرنشینان ایجاد شد. طراحی اولیه به نحوی انجام شد که طرح در ابعاد طرح‌های قبلی باشد و سرنشینان به شتاب مطلوب برسند. در عین حال شتاب در حدی باشد که باعث آسیب دیدگی آن‌ها نگردد. پس از طراحی و مشخص شدن جرم و ممان اینرسی قطعات مختلف، برآوردی از نیروهای درگیر انجام گردید و به وسیله آنها به تحلیل تنش عضوهای بحرانی و تحلیل ضریب امنیت پرداخته شد. در نهایت با توجه به نتایج تحلیل‌ها، طرح اولیه اصلاح و تکمیل شد تا بهترین طرح ممکن به دست آید.

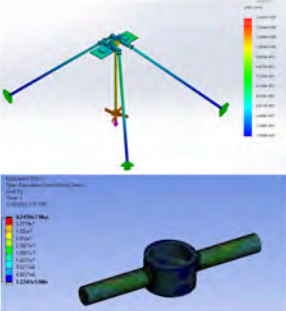
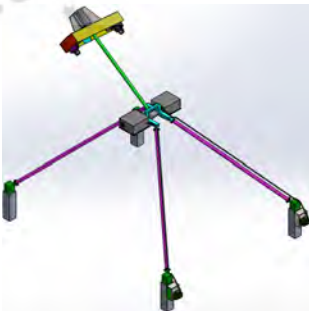
۳. روش تحقیق

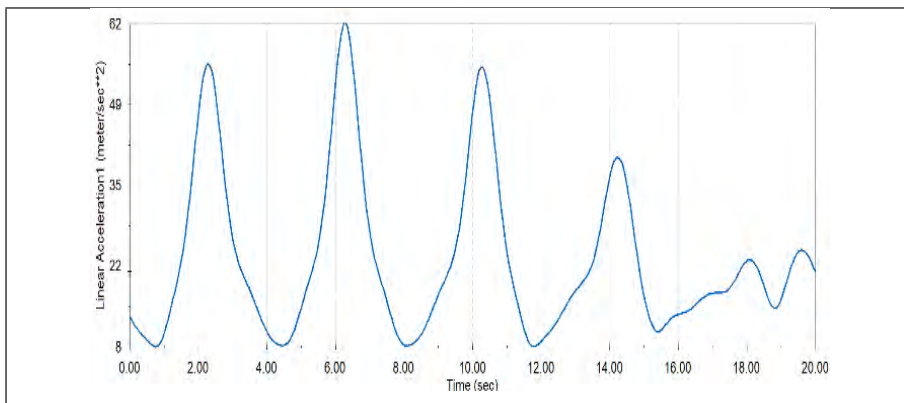
هدف از این پروژه طراحی یک چرخش سوار به ظرفیت دو نفر، برای شهر بازی است. از پارامترهای خواسته شده در طرح، آن است که شتاب سر مسافری به شش برابر شتاب گرانش برسد و همچنین وزن کل سازه تا حد امکان کمینه باشد. مزایا و معایب این چرخش سوار با توجه به هدف پروژه، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در این پروژه ابتدا با بررسی طرح‌های موجود و استفاده از آنها، مدل کلی چرخش سوار در نرم‌افزار سالیدورک ایجاد شده است. سپس به تحلیل سینماتیکی این چرخش سوار با استفاده از نرم‌افزارهای رایج برای بررسی سرعت و شتاب پرداخته شده است. در ادامه تحلیل سینتیک مسئله برای بررسی گشتاورهای وارد بر موتور و نیروهای وارد بر قطعات انجام شده است و با وارد کردن مدل ایجاد شده در قسمت سیمسکیپ، دینامیک چند جسم نرم‌افزار متلب و اعمال ورودی‌های سامانه به نحوی که شتاب سر مسافری به مقدار مطلوب برسد، مقدار نیروهای قیدی در مفاصل پیدا شد. سپس به تحلیل تنش، خستگی و فرکانس طبیعی قطعات پرداخته شده است و جنس ماده مورد نیاز برای ساخت این چرخش سوار بیان شده است. همچنین می‌توان با مدل سازی قطعات ثابت سامانه در نرم‌افزار انسیس و اعمال نیروهای قیدی به دست آمده در قسمت قبل، مقدار تنش‌های

ایجاد شده در اعضای ثابت چرخش سوار و ضریب اطمینان را پیدا کرد و در صورت عدم تأمین مقدار ضریب اطمینان (استاتیکی یا دینامیکی)، قطر و ابعاد آنها را تغییر داد و روند دوباره تکرار شده است. قطعات دوار نیز با اعمال ورودی در نرم افزار آدامز تحلیل شده اند و تنش بیشینه در تمامی زمان ها به دست آمده است تا ضریب اطمینان این بخش از سامانه نیز به دست آید. در انتها چرخش سواری برای استفاده چهار نفر با وزن تقریبی ۲/۵ تن با قطعات فلزی از جنس فولاد «CK15»، ضریب اطمینان خستگی ۳/۵ و ضریب اطمینان استاتیکی ۷ طراحی شد. محل های قرارگیری بلبرینگ ها و نیز موتورهای مورد نیاز نیز تعبیه شده است که طراحی بلبرینگ ها و همچنین انتخاب موتور از هدف های این پروژه نبوده و از هدف پروژه خارج است. در انتهای کار، همه موارد دوباره مورد بررسی قرار گرفت تا بهترین طرح ممکن ارائه شود. همچنین با مقایسه نتایج خروجی از دو نرم افزار مختلف و با دو روش متفاوت، نتایج اعتبارسنجی شده اند.

۴. نتایج تحقیق

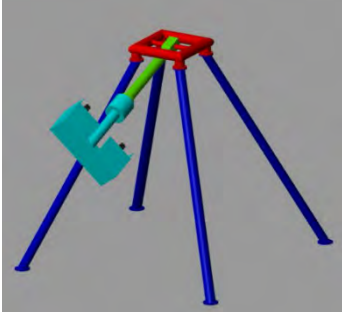

نتایج فعالیت گروه ها در جدول ۱ الی ۹ به طور خلاصه مندرج شده است
جدول ۱. نتایج گروه ۱

نرم افزارهای مورد استفاده	مشخصات فیزیکی سازه
<ul style="list-style-type: none"> نرم افزار سالیدورک: طراحی و شبیه سازی دینامیکی نرم افزار متلب سیمولینک: شبیه سازی دینامیکی نرم افزار انسیس: تحلیل المان محدود 	<ul style="list-style-type: none"> جرم کل سازه به انضمام ستون های تقویتی پایه و تمام تجهیزات برقی و جانبی ۱۱۵۰۰ کیلوگرم می باشد. این سامانه دارای ۲ گیربکس ساده و یک گیربکس از نوع خورشیدی و دارای ۳ موتور الکتریکی است.
مشخصات مواد سازه	مشخصات حرکتی سازه
<p>فلزات مناسب برای ساخت قطعات بحرانی سامانه CK۴۵ و MO۴۰ می باشد. که مدول یانگ هر دو تقریباً 210×10^9 و حد تسلیم آن دو به ترتیب 650 MPa و 700 MPa می باشد.</p>	<ul style="list-style-type: none"> بیشینه شتاب سر مسافر در اجرای ترچکتوری 2 m/sec^2 بیشینه جرم سر مسافر در اجرای ترچکتوری 3 sec^2 بیشینه سرعت سر مسافر در اجرای ترچکتوری 18 m/sec
تحلیل تنش سازه	طراحی سازه
	
<p>نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر</p>	

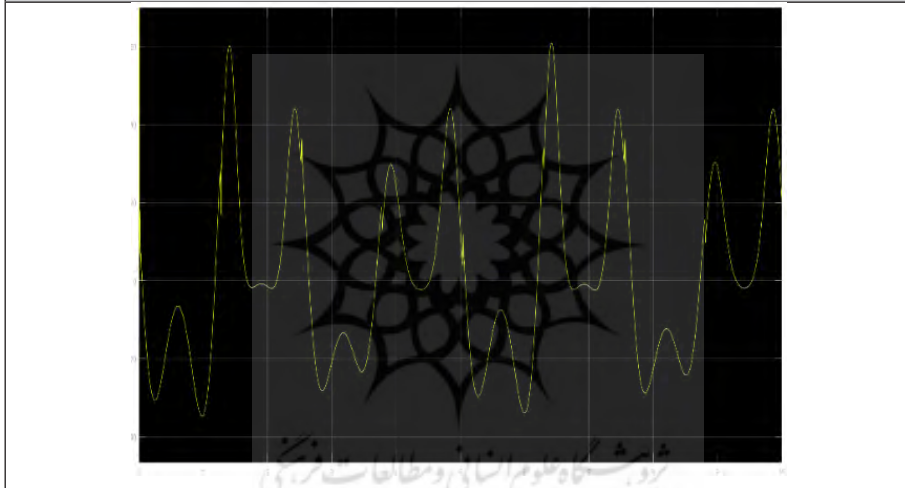


جدول ۲. نتایج گروه ۲

مشخصات فیزیکی سازه	نرم افزارهای مورد استفاده	
<ul style="list-style-type: none"> - ارتفاع سازه: ۸ متر - طول بازو نوسان کننده: ۶/۸ متر - قطر سازه: ۱۱ متر - مساحت کف: ۸۱ متر - ارتفاع صندلی از زمین: ۲ متر 	<ul style="list-style-type: none"> - نرم افزار سالیدورک: - طراحی مدل سازه - نرم افزار متلب: - تحلیل حرکت (تحلیل سینماتیک و دینامیک) سامانه - نرم افزار متلب سیمولینک: - شبیه سازی حرکت سامانه - نرم افزار آباکوس: - تحلیل تنش های وارد بر اعضا، محاسبه مقاومت و عمر اعضا و همچنین یافتن اعضای بحرانی سازه 	
مشخصات حرکتی سازه		
<ul style="list-style-type: none"> - سرعت حداکثر فرد: ۱۲ متر بر ثانیه - شتاب حداکثر فرد: ۶۰ متر بر مجذور ثانیه (مطابق با خواسته مسئله) 		
مشخصات مواد سازه		
Property	Value	Units
Elastic Modulus	1.9e+11	N/m ²
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus	7.5e+10	N/m ²
Mass Density	8000	kg/m ³
Tensile Strength	517017000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	206807000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.8e-05	/K
Thermal Conductivity	16	W/(m·K)
Specific Heat	500	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

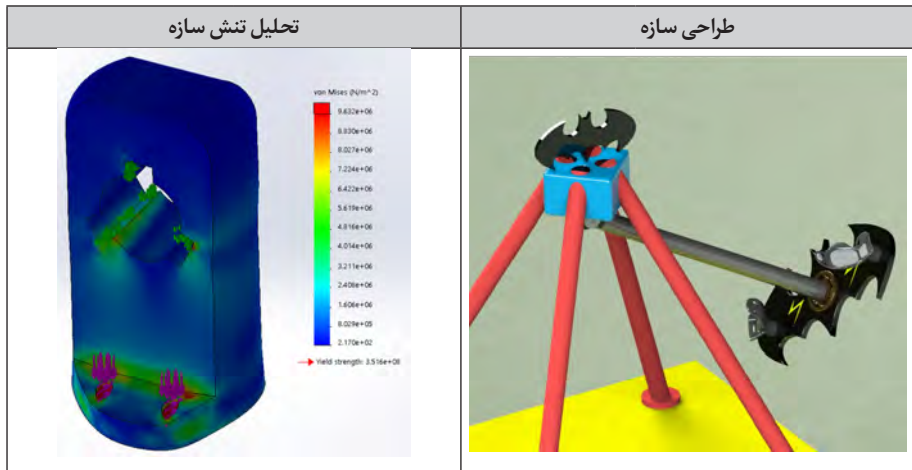
تحلیل حرکتی سازه	طراحی سازه
	

نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر

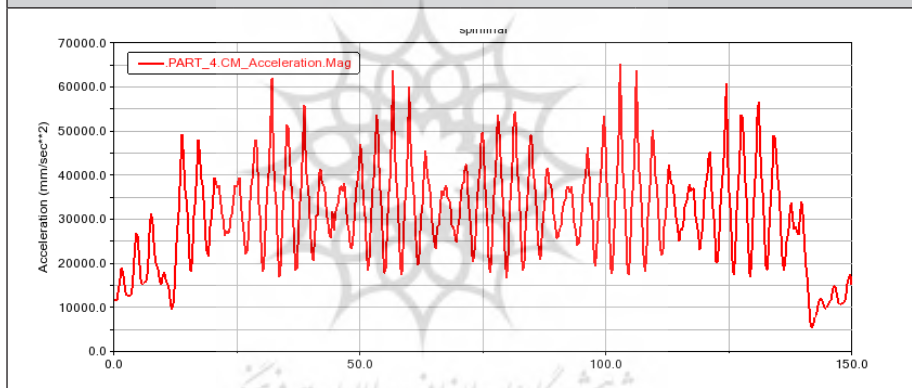


جدول ۳. نتایج گروه ۳

مشخصات ماده سازه	مشخصات فیزیکی سازه
۱۰۲۰ AISI	۶۴۶۱kg
۲۰۰۰۰ N/mm ^۲	۵۸۸ kg. m ^۲
۷۹۰۰ kg/m ^۳	۱۲,۱۹ m
۱۱m*۱۱m	۶,۴ m/s ^۲
-	۲۲ m/s
نرم افزارهای مورد استفاده	
- نرم افزار سالیدورک: طراحی سه بعدی و تحلیل تنش	
- نرم افزار آدامز: برای تحلیل سینماتیکی و همچنین اندازه گیری نیروی مفصل ها	

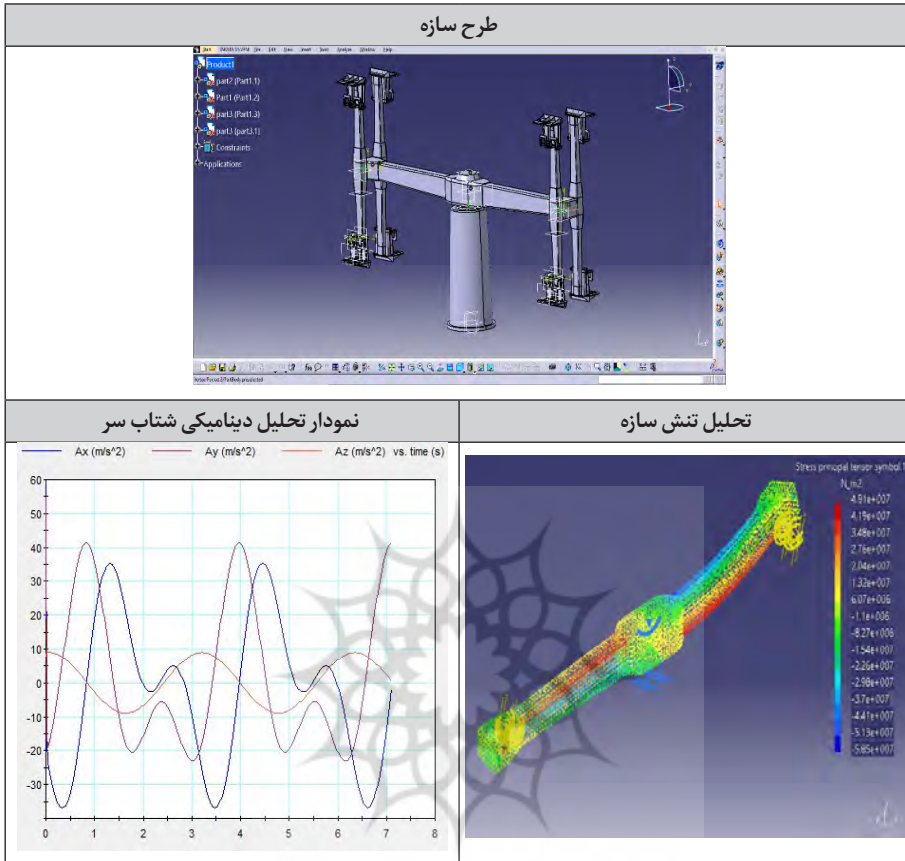


نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر



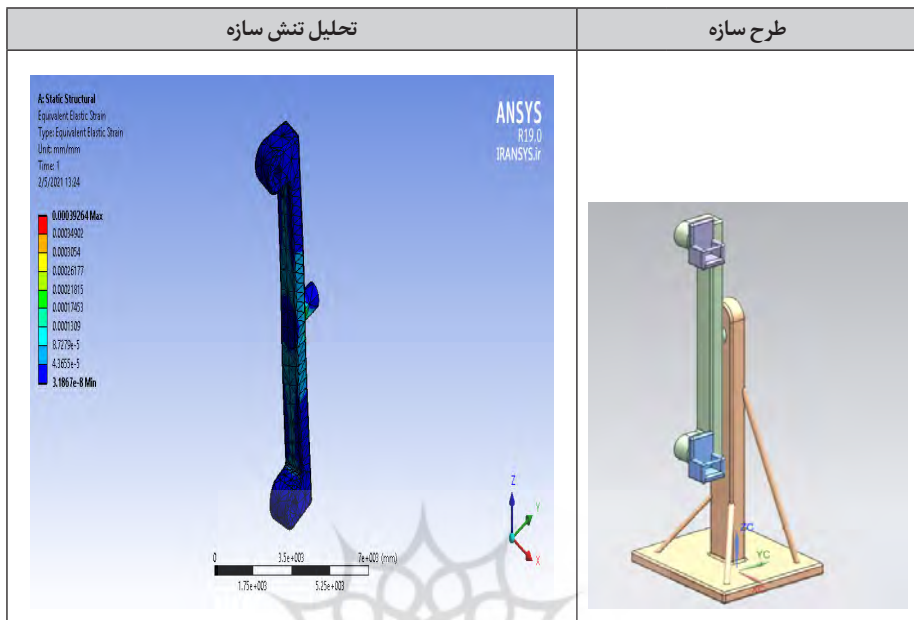
جدول ۴. نتایج گروه ۴

مشخصات ماده سازه	مشخصات فیزیکی سازه
<ul style="list-style-type: none"> - جنس سازه از فولاد st-۵۲ - ASTM A ۶-۹۴ - آلیاژ جنس متشکل از ۰/۲ درصد کربن، ۰/۵۵ درصد سیلیسیم، ۱/۶ درصد منگنز، ۰/۰۳۵ درصد فسفر و ۰/۰۳۵ درصد گوگرد 	<ul style="list-style-type: none"> - جرم سازه در بازه بین ۳۰ تا ۳۵ تن - شتاب حداکثر ۵/۱۴ متر بر مجذور ثانیه
نرم افزارهای مورد استفاده	
<ul style="list-style-type: none"> - نرم افزار کتیا: برای مدل سازی، محاسبه جرم و اینرسی ها و نیروهای مستخرج، تحلیل تنش ها و کرنش و تحلیل ارتعاشاتی و مد شیپ های سازه - نرم افزار سیم وایز: تحلیل های سینماتیکی و نیرو و گشتاورهای مورد نیاز جهت رسیدن به خواسته های سینماتیکی 	

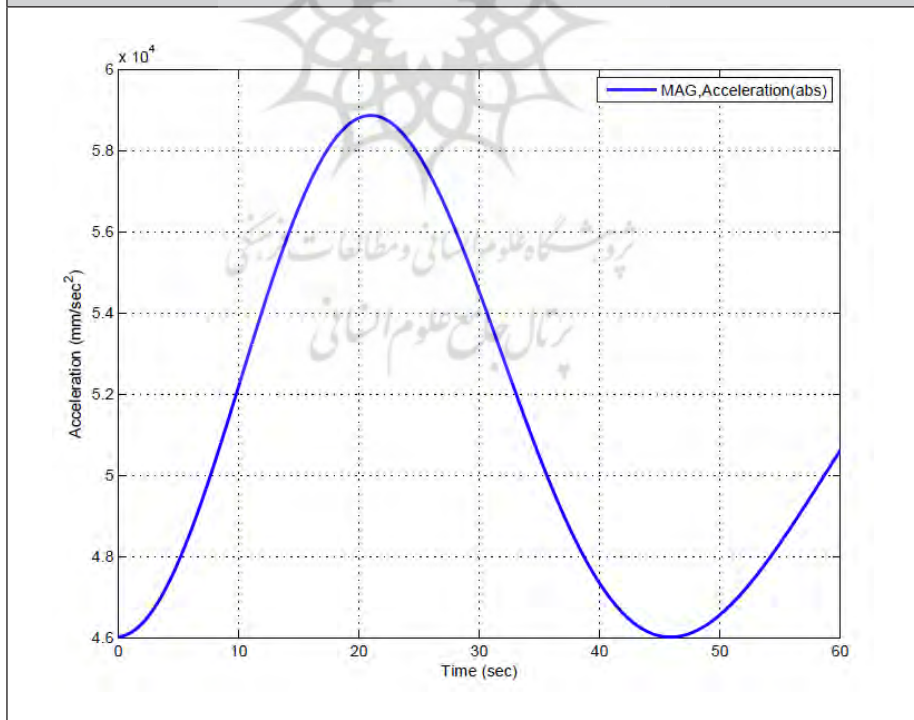


پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران
جدول ۵. نتایج گروه ۵

مشخصات ماده سازه	مشخصات حرکتی سازه
جنس: فولاد ASTM A۳۶	شتاب حداکثر: 59012 mm/s^2
استحکام تسلیم کششی: $2,35E+08$	
استحکام نهایی کششی: $3,75E+08 - 5E$	
نرم افزارهای استفاده شده	
<ul style="list-style-type: none"> - نرم افزار زمینس؛ تحلیل دینامیکی، استخراج سرعت ها و شتاب ها، به دست آوردن نیروها در مفصل - نرم افزار متلب؛ صحت سنجی نتایج به دست آمده در NX با استفاده از حل تحلیلی مسئله و به دست آوردن نمودارهای سرعت و شتاب - نرم افزار انسیس؛ انتخاب جنس، تحلیل تنش و به دست آوردن ضریب اطمینان های استاتیکی و خستگی 	



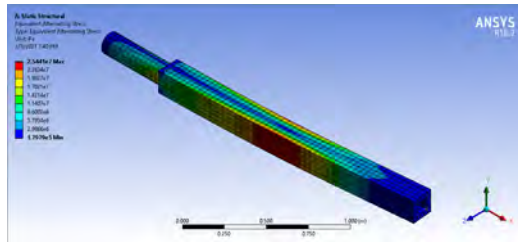
نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر



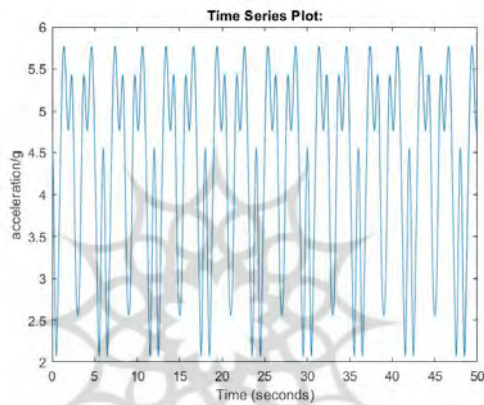
جدول ۶. نتایج گروه ۶

مشخصات ماده سازه	مشخصات فیزیکی سازه
۰٫۳	- جرم: ۲۰۲۵/۳۳ کیلوگرم
۲۱۰۰۰ N/mm ^۲	- حجم: ۰/۲۶
۷۸۵۰ Kg/m ^۳	- حداکثر سرعت خطی: ۱۲ متر بر ثانیه
	- حداکثر شتاب خطی: ۵/۷۵ متر بر مجذور ثانیه
	- حداکثر چرخ: ۶/۹۷۴ متر بر مکعب ثانیه
نرم افزارهای استفاده شده	
<p>- نرم افزار متلب:</p> <p>در روابط سینماتیکی که به طور دستی وارد شده اند، شماتیک ساده سازه و تنها طول لینک ها در نظر گرفته شد. همچنین بر اساس مدل سازی انجام گرفته در سالیدورک و ایجاد لینک بین متلب و سالیدورک، تحلیل ها با شرایط مرزی اصلی مسئله صورت گرفتند. (پایه ثابت و دوران با سرعت ثابت در سه راستای مستقل)</p> <p>- نرم افزار آباکوس:</p> <p>فرکانس های طبیعی قطعات در کل سازه و همچنین به طور جداگانه استخراج گردید و فرضیات مدل سازی به صورت زیر بودند:</p> <p>محور اول: یک سرگیردار رابط محور اول و دوم: تمام سوراخ ها با پیچ بسته شده اند و ثابت اند محور دوم: تنها امکان چرخش حول محور در راستای طول خود را دارد رابط محور دوم و سوم: یک سرگیردار محور سوم: محل پیچ ها ثابت فرض شده اند</p> <p>- نرم افزار انسیس:</p> <p>برای کاهش حجم محاسبات و بهینه سازی مطلوب، با فرض صلب بودن قطعات، قطعات یک سرگیردار فرض شده و نیروهای سر آزاد به همراه نیروی حاصل از شتاب مرکز جرم به قطعه وارد گردیدند و نتایج جداگانه مورد بررسی قرار گرفتند.</p> <p>- نرم افزار کتیا:</p> <p>با مشاهده نمونه های مشابه تلاش گردید تا تعدادی از این قطعات با هندسه ای ساده تر در محیط کتیا مدل سازی شوند.</p> <p>- نرم افزار سالیدورک:</p> <p>با مشاهده نمونه های مشابه تلاش گردید تا تعدادی از این قطعات با هندسه ای ساده تر در محیط سالیدورک مدل سازی شوند.</p>	
طرح سازه	
	

تحلیل تنش سازه

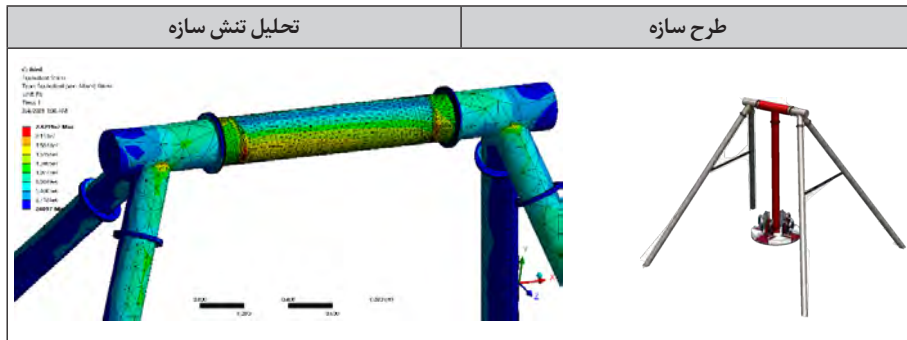


نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر

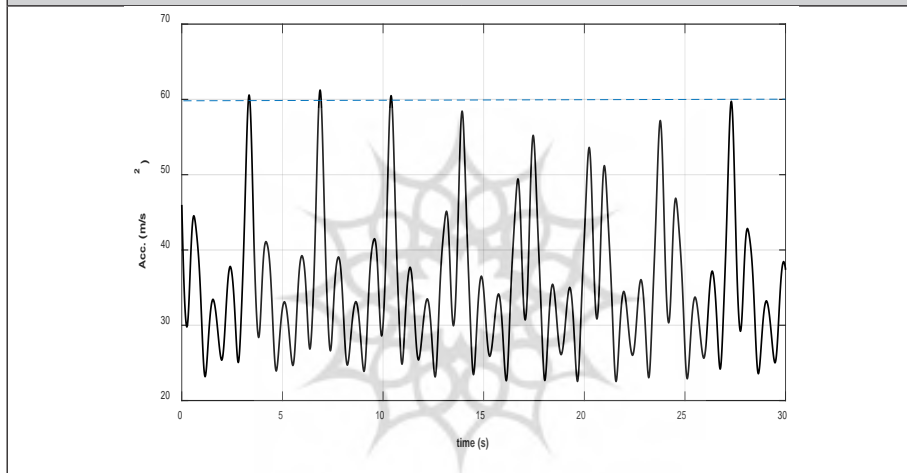


جدول ۷. نتایج گروه ۷

مشخصات ماده سازه	مشخصات فیزیکی سازه
<p>تنش تسلیم آن $\sigma_y = 320 \text{ MPa}$ و مدول یانگ آن $E = 200 \text{ GPa}$ و چگالی آن $\rho = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ می باشد.</p>	<p>جرم کلی سامانه تقریباً ۲/۵ تن به دست آمد که جنس تمام قطعات (به جز صندلی و دیگر اجزای دیسک) همگی از جنس فولاد CK15 هستند که به وفور در ایران یافت می شود و قیمت مناسبی دارد.</p>
نرم افزارهای استفاده شده	
<p>نرم افزار سالیدورک: ابتدا مدل سازی در نرم افزار سالیدورک انجام شد که تمامی جنس اجزا در این نرم افزار به قطعات داده شد (ممان اینرسی و مرکز جرم را خودبه خود محاسبه می کند).</p> <p>نرم افزار متلب: سپس با وارد کردن فایل به نرم افزار متلب، مدل سازی دینامیکی انجام شد</p> <p>نرم افزار انسیس: سپس نیروها استخراج شده و به قسمت ثابت (تکیه گاه) اعمال شده و با نرم افزار انسیس تحلیل تنش استاتیکی و خستگی برای قطعات ثابت انجام شده است.</p> <p>نرم افزار آدامز: در انتها نیز برای تحلیل تنش قسمت های دوار و متحرک، از نرم افزار آدامز استفاده شده است.</p>	

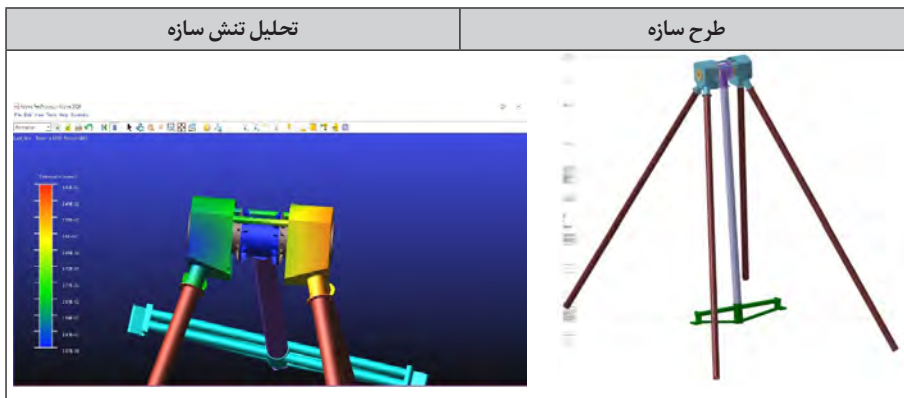


نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر

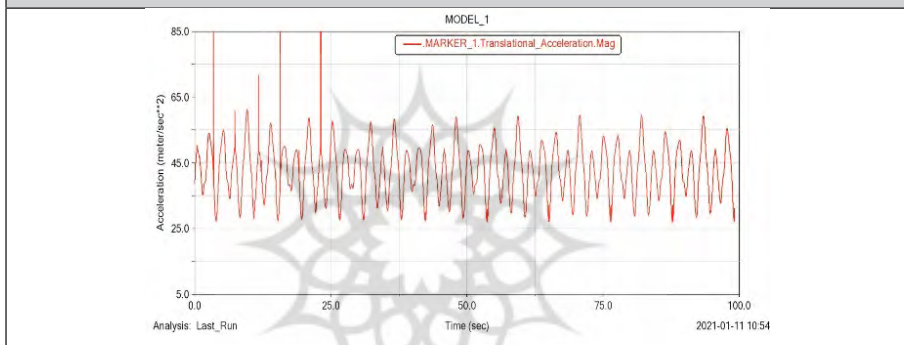


جدول ۸. نتایج گروه ۸

مشخصات ماده سازه	مشخصات فیزیکی سازه
<ul style="list-style-type: none"> - ضریب پواسون: ۰٫۲۹ - مدول یانگ: $۲۰۰۷E+11 (N/M^۲)$ - چگالی: $۷۸۰۱۰ (kg/m^۳)$ 	<ul style="list-style-type: none"> - ارتفاع: ۱۵ متر - وزن: $۱۱,۵۲۷,۶۴۸۱۴۵۹۸۲۹ kg$
نرم افزارهای استفاده شده	مشخصات حرکتی سازه
<ul style="list-style-type: none"> - نرم افزار کتیا: برای مدل سازی. - نرم افزار آپکس: برای مش بندی، تحلیل المان محدود - نرم افزار آدامز: برای تحلیل دینامیکی و تحلیل خستگی. - نرم افزار متلب و سیمولینک: برای طراحی کنترل گر 	<ul style="list-style-type: none"> - بیشترین شتاب سر مسافر: $۶/۲$ برابر شتاب g - بیشترین سرعت زاویه ای حس شده توسط مسافر: $۸/۳$ (rad/s) - بیشترین نیروی وارد شده به بلبرینگ ها: ۶۰۰۰۰ نیوتن - بیشترین سرعت زاویه ای چرخان: $۵/۱$ (rad/s) - بیشترین شتاب زاویه ای چرخان: ۱ (rad/s^۲)



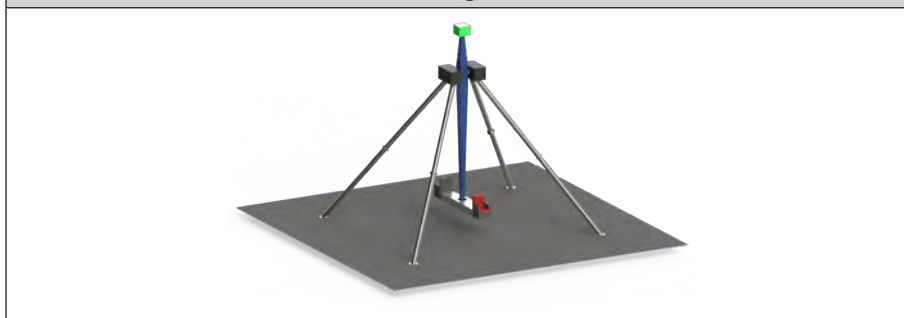
نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر

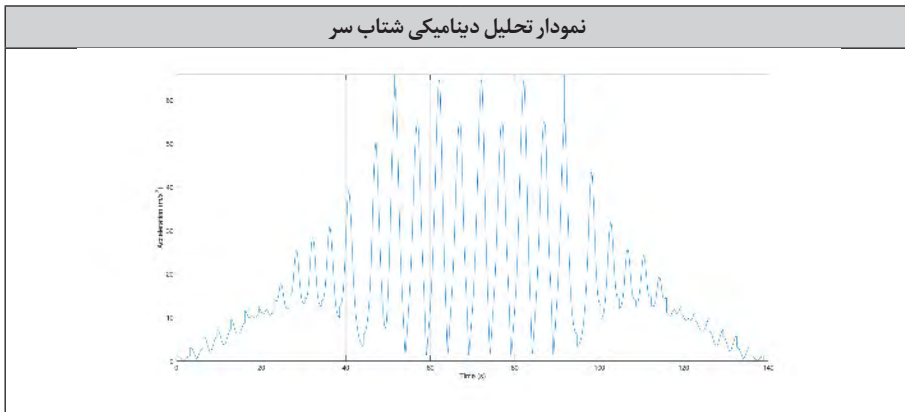


جدول ۹. نتایج گروه ۹

نرم افزارهای استفاده شده	مشخصات فیزیکی سازه
- نرم افزار سالیدورک:	- جرم کلی سازه: ۸/۷ تن
- طراحی در نرم افزار سالیدورک	- جنس بدنه: فولاد ساختمانی
- نرم افزار متلب:	- جنس صندلی ها: کامپوزیت
- مدل سازی دینامیکی در متلب	- وزن هر صندلی: ۷۵ کیلوگرم

طرح سازه





۵. بحث

در این قسمت نتایجی که گروه‌های مختلف از این روش جدید آموزشی برای یادگیری دینامیک پیشرفته بیان کرده‌اند به صورت خلاصه بیان می‌شود. یکی از موارد مثبت به دست آمده از این پروژه و طراحی، آشنایی کامل و لمس کردن و به کار بردن مفهوم تریید آف است. به این طریق که برای اینکه سامانه مقاومت بیشتری در مقابل بارهای وارده داشته باشد، برای قطعات به عنوان مثال باید سطح مقطع را افزایش داد که این کار موجب افزایش فلز مصرفی و قیمت تمام شده می‌شود یا برای چرخاندن همان قطعه و جابه‌جا کردن آن توسط موتورهای الکتریکی، نیازمند انرژی الکتریکی بیشتری است. همچنین به دلیل افزایش جرم، نیمسال شتاب که با یکدیگر مؤلفه نیرو را می‌سازند، کاهش می‌یابد که یک عامل منفی برای رسیدن به شتاب مطلوب یا همان شش برابر گرانش است. بنابراین این کار نیازمند چندین تحلیل در زمینه‌های مختلف و نیازمند فرایند سعی و خطا است. در طراحی و انجام این پروژه آشنایی مفید و مناسبی از کار با نرم‌افزارهای طراحی و تحلیل همچون متلب، سالیدورک و همچنین آباکوس پیدا کرده و نیز به پیوند آموخته‌های درس دینامیک پیشرفته با یک مسئله علمی و عملی در طراحی و انجام یک پروژه صنعتی کمک شایانی شد. در انجام این پروژه به تفاوت میان تئوری علمی و پروژه صنعتی پی بردیم و با محدودیت‌ها و چالش‌های آن روبه‌رو شدیم. برای انجام این پروژه از نرم‌افزارهای مختلفی مثل سالیدورک و آدامز استفاده شد. استفاده از این نرم‌افزارها در کنار به‌کارگیری دانش تئوری به تقویت مهارت‌های کار با نرم‌افزارها می‌انجامد چرا که یادگیری متناسب با نیاز انجام می‌شود و چون برای طراحی لازم است که این مهارت‌ها بلافاصله بعد از یادگیری در عمل پیاده‌سازی شوند، بهتر در ذهن تثبیت می‌شوند. علاوه بر این پروژه نیاز به دانش در زمینه‌های مختلفی مانند دینامیک، طراحی اجزا و مقاومت مصالح داشت که این موضوع کمک می‌کند آموخته‌های قبلی مرور شوند و در عمل به کار برده شوند. انجام پروژه‌های این چنینی، علاوه بر یادگیری به افزایش مهارت

کار گروهی و اعتماد به نفس در به‌کارگیری دانش مهندسی مکانیک در پروژه‌های عملی کمک می‌کند. از دیگر تجربه‌ها، مسئله مربوط به انتخاب جنس است که با توجه به نوع ساختار طرح، اتصالات و همین‌طور روش ساخت قطعات، علاوه بر استحکام جنس باید خواصی مانند قابلیت شکل‌دهی، ماشین‌کاری، جوشکاری و همین‌طور موجود بودن در بازار در ابعاد موردنیاز طرح نیز در نظر گرفته شوند. از دیگر مسائل این است که برای کاهش مراحل سعی و خطا، جهت دستیابی به ابعاد و جنس نهایی، الگوبرداری از نمونه‌های مشابه برای حدس اولیه می‌تواند بسیار کارآمد و مناسب باشد. به دلیل نبود قیده‌های زیاد در صورت مسئله، برای حل آن ایده‌های متفاوتی بررسی شدند و با توجه به اینکه اطلاعات زیادی از قسمت‌های عملی انجام‌شده این طرح در واقعیت، در دسترس نبود، این ایده‌ها چالش زیادی داشت و تا رسیدن به طرح نهایی و همچنین به دست آوردن ابعاد و اندازه‌های مناسب، جنس و غیره زمان زیادی صرف شد تا نتایج مطلوب حاصل شوند. در این راه به دلیل استفاده از نرم‌افزارهای گوناگون و ترکیب نتایج آن‌ها با یکدیگر، دید تازه‌ای در حل مسائل مهندسی به دست آمد که باعث شد در میزان یادگیری از این نرم‌افزارها، عمق بیشتری به دست آید که مطمئناً برای آینده مفید خواهد بود. این طرح علاوه بر پوشش دادن دینامیک پیشرفته و ایجاد فرصت مناسب برای اعتبارسنجی اطلاعات آموخته‌شده و پیاده‌سازی شده با نرم‌افزارهای تجاری، ابعاد مهم‌تری از مسئله را نیز شامل می‌شود و حتی می‌توان گفت که اگر زمان و افراد بیشتری به آن اختصاص داده شود، موضوعی بسیار همه‌جانبه و کاربردی است که تلاش و انرژی یک گروه را می‌طلبد. از جمله این ابعاد می‌توان به در نظر گرفتن خستگی و عمر قطعات و همه این‌ها با حصول کمترین هزینه و مطلوبات مسئله اشاره کرد که ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر داشته و تلاش برای بهبود هر یک از موارد بر حوزه دیگر نیز تأثیرگذار است و ایجاد تعادل میان چالش‌ها در عین سختی‌هایی که به دنبال داشت بسیار آموزنده بود. انجام پروژه‌ای از نوع طراحی اجزا که همراه با نیروهای دینامیکی است، به نوع خود برای دانشجوی نیمسال اول کارشناسی ارشد جدید است و استفاده هم‌زمان از نرم‌افزارهای گوناگون مانند متلب، انسیس و آدامز برای تحلیل، تجربه بسیار جالبی بود. در این پروژه برای اولین بار با استفاده از نرم‌افزار آدامز، تحلیل تنش قطعات دینامیکی را انجام دادیم که پاسخ بسیاری از سؤالاتی را که در دوران کارشناسی در دروسی مانند طراحی اجزا و مقاومت مصالح وجود داشت، به نوعی به دست آمد. با پرس‌وجو از بازار، فولادهایی که در بازار ایران یافت می‌شود، شناسایی شد که برای استفاده در سازه‌هایی این‌چنینی بسیار مناسب است و با هزینه کم در دسترس است. در اعمال ورودی به سامانه سعی بر این شد که تا حد امکان گشتاور موتور کم باشد و از پاسخ سقوط آزاد سامانه استفاده شد که برای استفاده و به دست آوردن آن پاسخ نیاز بود حل دینامیک معکوس انجام شود که به نوع خود ایده جالبی در به دست آوردن پاسخ سامانه به صورت تحلیلی بود. برای پیشنهاد می‌توان این کار با یک درس مانند طراحی اجزا ترکیب شود تا طراحی بلبرینگ‌ها، جوش‌ها و پیچ‌ها انجام

شود. در گام نخست، برای پیدا کردن دید واقعی به چنین مسئله‌ای، به دنبال شرکت‌هایی گشتیم که سابقه طراحی دستگاه‌های مورد استفاده در شهرسازی‌ها را داشته‌اند. البته پیدا کردن اطلاعات چنین شرکت‌هایی چندان کار راحتی نبود، اما خوشبختانه توانستیم با یکی از این شرکت‌ها ارتباط برقرار کنیم و مصاحبه‌ای با مهندسین این شرکت داشته باشیم. طی این مصاحبه، دید اولیه مناسبی به ابعاد مختلف چنین پروژه‌ای پیدا کردیم و از سختی‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری صفر تا صد انجام چنین پروژه‌ای تا حد خوبی آگاه شدیم. همچنین جهت انجام این پروژه نیاز بود به یادگیری و تقویت یادگیری پیشین نرم‌افزارهای مختلف آدامز، متلب، اپکس و راه‌های ارتباط بین این نرم‌افزارها، جهت اجرای یک پروژه چندبعدی که بسیار نزدیک به پروژه‌های مختلف دنیای صنعتی است، انجام شود. از سوی دیگر، مرور روابط دروس دینامیک و دینامیک پیشرفته نیز جهت انتخاب مسیر درست برای حصول به خواسته‌های مسئله (انتخاب پارامترهای مؤثر جهت تصحیح سرعت و شتاب چرخش سوار و غیره) منجر به تقویت نگاه کاربردی به دروس مهندسی مکانیک شد.

۶. نتیجه‌گیری

کار گروهی در این پروژه، باعث یادگیری تعاملی اعضای گروه از دانش یکدیگر و خلق ایده‌های جدید برای رفع موانع موجود در راه انجام پروژه (تغییرات لازم در مش‌بندی، انتخاب نرم‌افزارهای جدید و غیره) بود، این نکته با توجه به انجام پروژه در ایام همه‌گیری کرونا، به ایجاد دوستی‌های جدید بین دانشجویانی که فرصت دیدار رودررو پیدا نکرده بودند، نیز کمک شایانی کرد، اتفاق مثبتی که می‌تواند در عرصه‌های مختلف تحصیل و کار نتایج طولانی مدتی را هم در پی داشته باشد.

References

- Cao, Z., Cao, S., Zhang, Y., Zhao, L., & Zhang, K. (2018). Analysis of dynamic pendulum dynamics of amusement facilities based on ADAMS. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 439(3), 032014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/439/3/032014>.
- Eager, D., Pendrill, A. M., & Reistad, N. (2016). Beyond velocity and acceleration: Jerk, snap and higher derivatives. *European Journal of Physics*, 37(6). <https://doi.org/10.1088/0143-0807/37/6/065008>.
- Gurri, P., Amat, D., Espar, J., Puig, J., Jimenez, G., Sendra, L., & Pardo, L. C. (2017). Pendulum dynamics in an amusement park. *European Journal of Physics*, 38(3), 035005. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aa6139>.
- Hoon, H. E. Van Den. (2019). Analysis of dynamic loads induced by spinning gondolas on a roller coaster.
- Hunt, K. (2018). Design analysis of roller coasters. <https://digital.wpi.edu/concern/etds/s1784k881?locale=en>.
- Levitt, J. (2014). Strategic analysis-six flags entertainment corporation repository citation final project a project submitted in partial fulfillment of the requirements for the MBA degree MGMT 6800 Professor Boyd. https://scholarsarchive.jwu.edu/mba_student/31.
- Pendrill, A. M. (2016). Rotating swings – a theme with variations. *Physics Education*, 51(1). <https://doi.org/10.1088/0031-9120/51/1/015014>.
- Pendrill, A. M. (2019). Mathematics, measurement and experience of rotations around three axes. *European Journal*

- of Physics, 40(1). <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aace22>.
- Pendrill, A. M., & Eager, D. (2020). Velocity, acceleration, jerk, snap and vibration: forces in our bodies during a roller coaster ride. *Physics Education*, 55(6). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aba732>.
 - Pendrill, A. M., Eriksson, M., Eriksson, U., Svensson, K., & Ouattara, L. (2019). Students making sense of motion in a vertical roller coaster loop. *Physics Education*, 54(6), 065017. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab3f18>.
 - Pendrill, A. M., & Modig, C. (2018a). Pendulum rides, rotations and the coriolis effect. *Physics Education*, 53(4), 45017. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac3cb>.
 - Pendrill, A. M., & Rohlén, J. (2011a). Acceleration and rotation in a pendulum ride, measured using an iPhone 4. *Physics Education*, 46(6), 676-681. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/46/6/001>.
 - Stenzler, P. M. (2016). A retrospective study of amusement ride restraint and containment systems: identifying design challenges for statistically rare anthropometric cases. <https://doi.org/10.25777/hdcd-x768>.
 - Voshell, M. (2004). High acceleration and the human body. Ohio State University, August, 1-28.
 - Xu, G., Zhao, P., Li, Y., & Li, Z. (2020). Study of redundant constrained dynamics analysis method for suspension amusement equipment. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 82(4), 29-40.

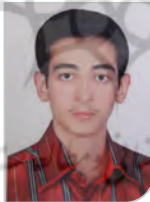
سید محمدجعفر ذوی الانواری:
دانشجوی دکتری مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف، زمینه‌های پژوهشی
ایشان کنترل، هوش مصنوعی و
رباتیک می باشد



علی مقداری: استاد بازنشسته
دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی شریف. ایشان
رئیس دانشگاه آزاد اسلامی
واحد بین الملل فرشتگان
می باشند.



محمدصادق توحیدی نافع:
دانشجوی کارشناسی ارشد،
مهندسی مکانیک دانشگاه
صنعتی شریف، زمینه‌های
پژوهشی ایشان دینامیک،
ارتعاشات، آکوستیک، رباتیک و
بیومکانیک می باشد.



حسن ایزانلو: دانشجوی
کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف، زمینه‌های پژوهشی
ایشان هوش مصنوعی، پردازش
سیگنال، طراحی و تحلیل
المان محدود می باشد.



محمد درختی: دانشجوی
کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف



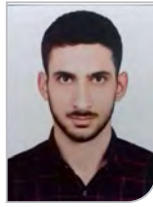
محمد مهدی آذریک: دانشجوی
کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف، زمینه‌های پژوهشی
ایشان رباتیک، مکترونیک و
بیومکانیک می باشد.





امیررضا آسمان رفعت:

دانشجوی کارشناسی ارشد،
مهندسی مکانیک دانشگاه
صنعتی شریف و عضو آزمایشگاه
رباتیک اجتماعی و شناختی



سجاد سلیمان زاده فرد:

دانشجوی کارشناسی ارشد،
مهندسی مکانیک دانشگاه
صنعتی شریف، زمینه پژوهشی
ایشان کنترل هوشمند
می باشد.



طاها قره باغی: دانشجوی

کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف



پارسا بهین فر: دانشجوی

کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف، زمینه های پژوهشی
ایشان مواد صنعتی هوشمند و
یادگیری ماشین می باشد.



سید امیرحسین سجادی:

دانشجوی کارشناسی ارشد،
مهندسی مکانیک دانشگاه
صنعتی شریف، زمینه های
پژوهشی ایشان دینامیک،
کنترل غیرخطی، کنترل فازی و
کنترل مقاوم می باشد.



حسین حسن پور: دانشجوی

کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف



محدثه لطفی: دانشجوی

کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف



کیوان نصیری: دانشجوی

کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف، زمینه های پژوهشی
ایشان کنترل، دینامیک و
ارتعاشات می باشد.



حامد ناظمی: دانشجوی

کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف



محمدسجاد رمضانی: دانشجوی

کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف

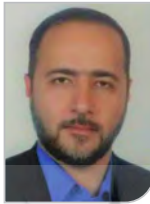
◀ علی اسماعیلی: دانشجوی
دکتری مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی شریف،
زمینه‌های پژوهشی ایشان،
کنترل، بیومکانیک و
مکاترونیک می‌باشد.



◀ محمد جمشیدیان: دانشجوی
کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف، زمینه‌های پژوهشی
ایشان کنترل، کنترل فازی،
بینایی ماشین و ربات‌های
انعطاف پذیر می‌باشد.



◀ سامان رضایی: دانشجوی
دکتری مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی شریف



◀ اسماعیل عسکری: دانشجوی
کارشناسی ارشد، مهندسی
مکانیک دانشگاه صنعتی
شریف

