فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، تابستان ۱۴۰۱، صص.۶۰-۳۹

مروری بر تجربهٔ طراحی و تحلیل گروهی یک چرخش‌سوار از منظر آموزش مهندسی

علی مقداری[۱]، سید محمدجعفر ذوی الانواری[۲]، حسن ایزانلو[۳]، محمدصادق توحیدی نافع[۴]، محمدمهدی آذربیک[۵]، محمد درختی[۶]، امیررضا آسمان‌رفعت[۷]، سجاد سلیمان‌زاده[۸]، طاها قره‌باغی[۹]، پارسا بهین‌فر[۱۰]، سید امیرحسین سجادی[۱۱]، حسین حسن‌پور[۱۲]، محدثه لطفی[۱۳]، کیوان نصیری[۱۴]، حامد ناظمی[۱۵]، محمدسجاد رمضانی[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 مقالهٔ گروهی، قسمتی از آموزش درس دینامیک پیشرفته در قالب پروژه‌های گروهی آموزش‌محور انجام شده است. در این پروژه قرار است سازوکار یک چرخش‌سوار طراحی گردد و سپس تحلیل‌های مهندسی بر روی آن انجام شود. سامانه این چرخش‌سوار 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 شیوهٔ آموزش، نظرسنجی شده است.

واژگان کلیدی: آموزش گروهی، دینامیک پیشرفته، چرخش‌سوار، 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. hassanizanlo1310@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.asemanrafat@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. ahsajjadi@yahoo.com
۱۲- دانشجوی کارشناسی ارشد. h.hassanpour6@gmail.com
۱۳- دانشجوی کارشناسی ارشد. sayeverything4585@gmail.com
۱۴- دانشجوی کارشناسی ارشد. keyvan.nasiri64@yahoo.com
۱۵- دانشجوی کارشناسی ارشد. h.nazemi.h1376@gmail.com
۱۶- دانشجوی کارشناسی ارشد. mohammad.sajad787@gmail.com
۱۷- دانشجوی کارشناسی ارشد. mohamadjamshidian20@gmail.com
۱۸- دانشجوی دکتری. esmaeili.a89@gmail.com
۱۹- دانشجوی کارشناسی ارشد. smail.askari1996@gmail.com
۲۰- دانشجوی دکتری. rezaeisaman59@gmail.com
دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

۱. مقدمه

امروزه طراحی و همچنین مدل‌سازی ریاضی به یکی از مهم‌ترین بخش‌های علم مهندسی تبدیل شده است و ساخت یک وسیله تفریحی با داشتن ایمنی‌های لازم، نیازمند آنها است. در این مقاله به طراحی و شبیه‌سازی یک چرخش‌سوار می‌پردازیم. امروزه استفاده از روش‌های عددی و حل مسائل به کمک رایانه، به عنوان بهترین ابزار مهندسی برای تحلیل و شبیه‌سازی معرفی می‌شود. استفاده از رایانه‌ها برای تحلیل‌های 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 روش‌های عددی امکان‌پذیر است. پژوهش‌های متعددی در زمینه طراحی این‌گونه تجهیزات مانند (Hunt, 2018) انجام شده است که در آن به طراحی، تحلیل و شبیه‌سازی یک ترن هوایی پرداخته شده است. چرخش‌سوار نیز از لحاظ ایجاد نیروهای زیاد واردشده به قطعات در حین سرعت گرفتن، شبیه به ترن هوایی است، چراکه عملکرد آن مشابه پاندول است و در پایین‌ترین وضعیت، به دلیل داشتن سرعت بالا دارای شتاب مرکزگرای بالایی است که موجب ایجاد نیرویی با اندازهٔ زیاد می‌شود. همچنین قطعات، مانند ترن هوایی تحت بار خستگی نیز هستند. طراحی بایستی به‌گونه‌ای باشد که عواملی چون نیروهای ناشی از شتاب مرکزگرا و کوریولیس در نظر گرفته شود. در پژوهش (Pendrill & Modig, 2018a) نمونه‌ای از یک چرخش‌سوار صنعتی، تحلیل نیروها، شتاب و همچنین بررسی تأثیر شتاب کوریولیس بیان شده است. در این مقاله داده‌های شتاب و سرعت به‌صورت تجربی به دست آمده است و قابلیت استناد بیشتری نسبت به تحلیل‌های تئوری و رایانه‌ای دارد. انواع مختلف چرخش‌سوار توسط شرکت‌های مختلف تولید می‌شود. یکی از این انواع، چرخش‌سوار آونگیست که یک حرکت آونگی و یک حرکت چرخشی حول محور آونگ دارد. تحلیل حرکت این چرخش‌سوار نسبتاً ساده است، با این وجود حرکت آونگی به همراه حرکت چرخشی سبب می‌شود که در هر سه بعد شتاب و سرعت غیر صفر باشد (Pendrill & Rohl n, 2011b). شتاب چرخش‌سوار در کنار لذتی که برای سرنشینان ایجاد می‌کند، ممکن است اثرات دیگری بر بدن افراد داشته باشد. برای طراحی چرخش‌سوار، این اثرات باید در نظر گرفته شوند. با توجه به بررسی های انجام‌شده، انسان توانایی تحمل شتاب‌های بالا را ندارد به طوری که یک انسان معمولی تنها می‌تواند برای لحظاتی شتاب نه برابر گرانش را تحمل کند. اگر فردی در این شتاب قرار گیرد، احساس می‌کند که نه برابر سنگین تر از حالت عادی است و خون در پاها جمع می‌شود و قلبش نمی‌تواند خونی که حالا نه برابر سنگین‌تر است را به مغز برساند. بنابراین شتاب نه برابر گرانش برای مدتی بیشتر از چند ثانیه، خطرناک است. شتاب‌های شش برابر گرانش که خواسته پروژه بود می‌تواند باعث ایجاد لذت در سرنشینان شود، اما از طرفی این شتاب‌ها نیز می‌تواند 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

یابد .(Voshell, 2004) به منظور بهبود عملکرد ایمنی، راحتی امکانات تفریحی و کاهش هزینه‌های تحقیق و توسعه، می‌توان شبیه‌سازی را با استفاده از نرم‌افزار تجزیه‌وتحلیل دینامیکی سامانه مکانیکی آدامز[1] انجام داد. در این مقاله از نرم‌افزار کد[2] سه‌بعدی برای مدل‌سازی اجزای اصلی آونگ استفاده می‌شود و سپس مدل سه‌بعدی به نرم‌افزار شبیه‌سازی وارد می‌شود. پس از تنظیم پارامترهای فنی و توابع حرکتی اجزا موجود در مدل، می‌توان تجزیه‌وتحلیل شبیه‌سازی را انجام داد تا شرایط حرکت و نیروی هر یک از اجزا در حین کار دستگاه به دست آید. نتایج تجزیه‌وتحلیل 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 (Pendrill & Modig, 2018b) انجام شده است، به بررسی و تحلیل یک چرخش‌سوار 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 (Pendrill 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 [3] برای یکی از تجهیزات چرخش‌سوار پاندولی پرداخته شده است. در این مقاله به بررسی کامل نیروها و گشتاورهای عکس‌العملی برای یک قطعه از چرخش‌سوار 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 (Pendrill & 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 چرخش‌سوار شود، مشخص شده است و مقایسه‌ای با میزان تحمل بدن خلبانان جنگنده ها و فضانوردها انجام شده است. در مقالهٔ (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 چراکه اگر زمان کافی به عضلات ندهیم، این تغییرات نرخ

1- ADAMS 2- CAD 3- Redundant constrained dynamics

شتاب همانند ضربه شلاق بر بدن عمل می‌کند. در (Pendrill & Rohlén, 2011a) شتاب و مسیر دوران یک چرخش‌سوار از نوع پاندول با استفاده از یک سنسور از نوع ممز[1] و یک گوشی هوشمند به‌صورت سه‌بعدی به دست آمده و در نمودارهای مجزا نشان داده شده است. در ادامه با استفاده از گوشی همراه، مسیر حرکت چرخش‌سوار به همراه سرعت زاویه‌ای در سه راستای مجزا به دست آمده است. همچنین ذکر شده که این سنسور تا شتاب ۲g عملکرد مناسبی دارد و نحوه کالیبراسیون سنسور و شرایط اولیه آن بیان گردیده است. در مقالهٔ (Pendrill, 2019) به بررسی و تحلیل بردار موقعیت، سرعت و شتاب یک چرخش‌سوار از نوع پاندول ستاره‌ای‌شکل پرداخته شده است. در (Gurri et al., 2017) به تحلیل دینامیکی یک چرخش‌سوار 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 کارتزین و کروی برای تحلیل استفاده شده و این دو دستگاه با یکدیگر مرتبط شده‌اند. در (Pendrill, 2016) پیرامون دستگاه‌های مورد استفاده در شهربازی، انواع تاب‌های گردان و تحلیل شتاب و ارتفاع آنها بررسی شده‌اند. همچنین در (Hoorn, 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 آنتروپومتری نادر باشند، را نام برد (Stenzler, 2016).

۲. تعریف مسئله

در عصر حاضر یکی از پرطرفدارترین تفریحات، شهربازی‌ها 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 گستره 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 مدت‌زمان خیلی کوتاهی می‌تواند باعث حس خوشی و شادی شود و احساس رضایت را در فرد ایجاد کند. به همین دلیل در شهربازی‌ها، دستگاه‌های مختلفی برای تفریح افراد طراحی شده است که یکی از آن‌ها چرخش‌سوار است. در این دستگاه افراد برای لحظه‌ای به بیشینه شتابی رسیده تا احساس شادی ایجاد شود و بلافاصله شتاب

1- MEMS

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 چرخش‌سوار را به‌صورت کامل طراحی کنند و از نظر دینامیکی مورد بررسی و تحلیل قرار دهند. سپس نتایج هر گروه به‌صورت 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 چرخش‌سوار که مستقیماً با جان افراد در ارتباط است، مهم‌ترین عامل طراحی، ایمنی آن می‌باشد. در درجات بعدی، عواملی همچون هزینهٔ 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 چرخش‌سوار 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 آسیب‌دیدگی آن‌ها نگردد. پس از طراحی و مشخص شدن جرم و ممان اینرسی قطعات مختلف، برآوردی از نیروهای درگیر انجام گردید و به وسیلهٔ 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

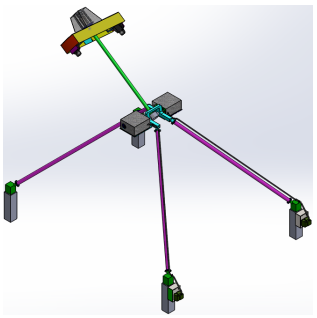
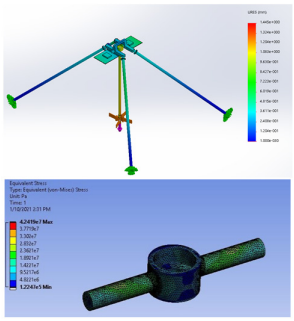
هدف از این پروژه طراحی یک چرخش‌سوار به ظرفیت دو نفر، برای شهربازی است. از پارامترهای خواسته‌شده در طرح، آن است که شتاب سر مسافرین به شش برابر شتاب گرانش برسد و همچنین وزن کل سازه تا حد امکان کمینه باشد. مزایا و معایب این چرخش‌سوار با توجه به هدف پروژه، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در این پروژه ابتدا با بررسی طرح‌های موجود و استفاده از آنها، مدل کلی چرخش‌سوار در نرم‌افزار سالیدورک ایجاد شده است. سپس به تحلیل سینماتیکی این چرخش‌سوار 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 واردکردن مدل ایجادشده در قسمت سیمسکیپ، دینامیک چند جسم نرم‌افزار متلب و اعمال ورودی‌های سامانه به نحوی‌که شتاب سر مسافرین 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 چرخش‌سوار بیان شده است. همچنین می‌توان با مدل‌سازی قطعات ثابت سامانه در نرم‌افزار انسیس و اعمال نیروهای قیدی به‌دست‌آمده در قسمت قبل، مقدار تنش‌های

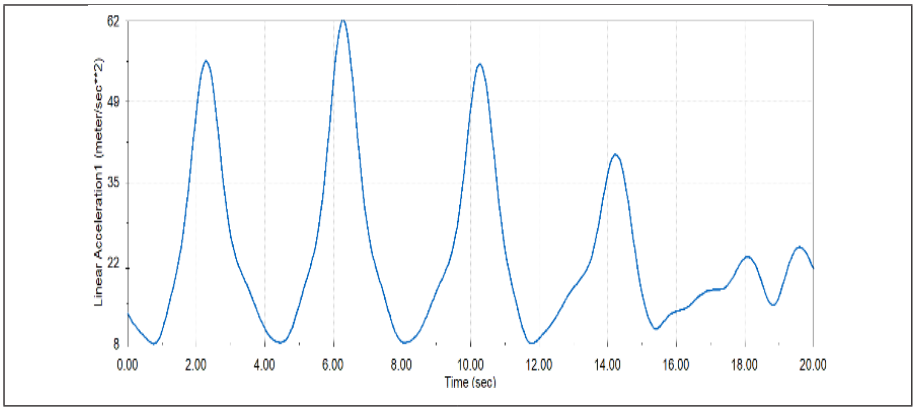
ایجادشده در اعضای ثابت چرخش‌سوار و ضریب اطمینان را پیدا کرد و در صورت عدم‌تأمین مقدار ضریب اطمینان (استاتیکی یا دینامیکی)، قطر و ابعاد آنها را تغییر داد و روند دوباره تکرار شده است. قطعات دوار نیز با اعمال ورودی در نرم‌افزار آدامز تحلیل شده‌اند و تنش بیشینه در تمامی زمان‌ها به دست آمده است تا ضریب اطمینان این بخش از سامانه نیز به دست آید. در انتها چرخش‌سواری برای استفادهٔ 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. محل‌های قرارگیری بلبرینگ‌ها و نیز موتورهای مورد نیاز نیز تعبیه شده است که طراحی بلبرینگ‌ها و همچنین انتخاب موتور از هدف‌های این پروژه نبوده و از هدف پروژه خارج است. در انتهای کار، همهٔ موارد دوباره مورد بررسی قرار گرفت تا بهترین طرح ممکن ارائه شود. همچنین با مقایسه نتایج خروجی از دو نرم‌افزار مختلف و با دو روش متفاوت، نتایج اعتبارسنجی شده‌اند.

۴. نتایج تحقیق

نتایج فعالیت گروه‌ها در جدول ۱ الی ۹ به‌طور خلاصه مندرج شده است

جدول ۱. نتایج گروه ۱

مشخصات فیزیکی سازه	نرم‌افزارهای مورداستفاده
- جرم کل سازه به انضمام ستون‌های تقویتی پایه و تمام تجهیزات برقی و جانبی ۱۱۵۰۰ کیلوگرم می‌باشد. - این سامانه دارای ۲ گیربکس ساده و یک گیربکس از نوع خورشیدی و دارای ۳ موتور الکتریکی است.	- نرم‌افزار سالیدورک:طراحی و شبیه‌سازی دینامیکی - نرم‌افزار متلب سیمولینک: شبیه‌سازی دینامیکی - نرم‌افزار انسیس:تحلیل المان محدود
مشخصات حرکتی سازه	**مشخصات مواد سازه**
- بیشینه شتاب سر مسافر در اجرای ترجکتوری ۶۲ m/sec^۲ - بیشینه جرک سر مسافر در اجرای ترجکتوری ۶۵/sec^۳ - بیشینه سرعت سر مسافر در اجرای ترجکتوری ۱۸m/sec	فلزات مناسب برای ساخت قطعات بحرانی سامانه CK۴۵ و MO۴۰ می‌باشد. که مدول یانگ هر دو تقریباً ۲۱۰E۹ و حد تسلیم آن دو به ترتیب ۶۵۰MPa و ۷۰۰MPa می‌باشد.
طراحی سازه	**تحلیل تنش سازه**
	
نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر	

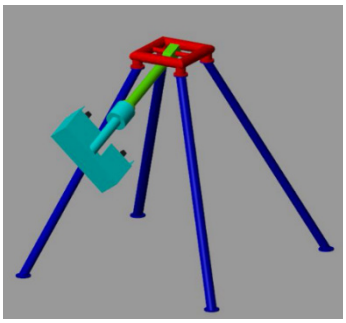
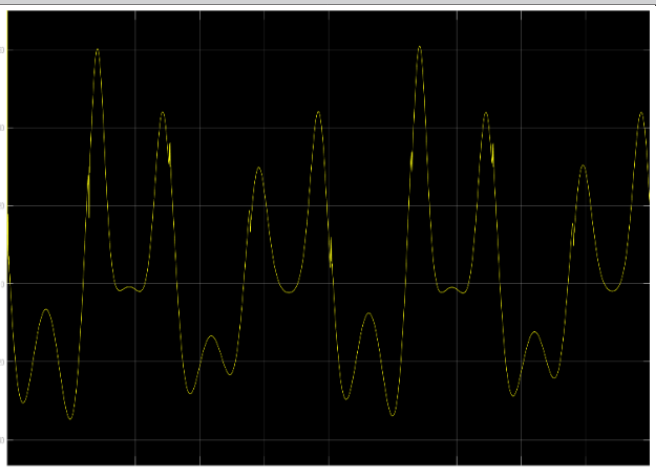


جدول۲. نتایج گروه ۲

مشخصات فیزیکی سازه	نرم‌افزارهای مورداستفاده
ـ ارتفاع سازه: ۸ متر ـ طول بازو نوسان‌کننده: ۶/۸ متر ـ قطر سازه: ۱۱ متر ـ مساحت کف: ۸۱ متر ـ ارتفاع صندلی از زمین: ۲ متر	ـ نرم‌افزار سالیدورک: طراحی مدل سازه ـ نرم‌افزار متلب: تحلیل حرکت (تحلیل سینماتیک و دینامیک) سامانه ـ نرم‌افزار متلب سیمولینک: شبیه‌سازی حرکت سامانه ـ نرم‌افزار آباکوس: تحلیل تنش‌های وارد بر اعضا، محاسبهٔ مقاومت و عمر اعضا و همچنین یافتن اعضای بحرانی سازه
مشخصات حرکتی سازه	
ـ سرعت حداکثر فرد: ۱۲ متر بر ثانیه ـ شتاب حداکثر فرد: ۶۰ متر بر مجذور ثانیه (مطابق با خواستهٔ مسئله)	

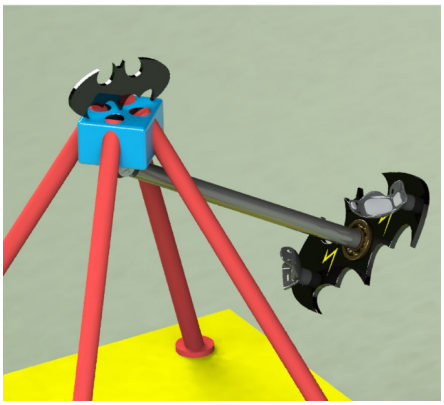
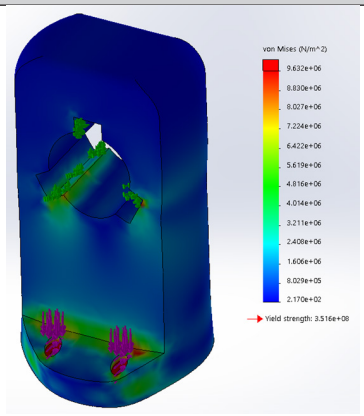
مشخصات مواد سازه

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

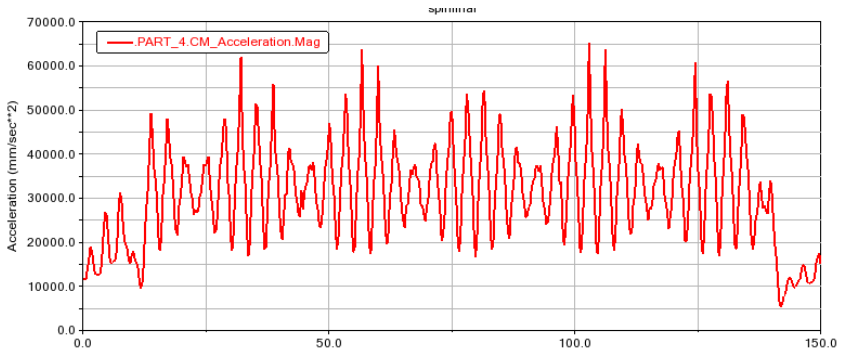
طراحی سازه	تحلیل حرکتی سازه
	
نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر	
	

جدول۳. نتایج گروه ۳

مشخصات فیزیکی سازه		مشخصات ماده سازه	
ـ جرم	۶۴۶۱kg	ـ جنس	۱۰۲۰ AISI
ـ ممان اینرسی)قسمت چرخان)	۵۸۸ kg. m^2	ـ مدول یانگ	۲۰۰۰۰۰ N/mm^2
ـ ارتفاع کل	۱۲٫۱۹ m	ـ چگالی	۷۹۰۰ kg/m^3
ـ شتاب حداکثر	۶٫۴ m/s^2	ـ سطح مورد نیاز	۱۱m*۱۱m
ـ سرعت حداکثر	۲۲ m/s		
نرم‌افزارهای مورداستفاده			
ـ نرم‌افزار سالیدورک: طراحی سه‌بعدی و تحلیل تنش			
ـ نرم‌افزار آدامز: برای تحلیل سینماتیکی و همچنین اندازه‌گیری نیروی مفصل‌ها			

طراحی سازه	تحلیل تنش سازه
	

نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر

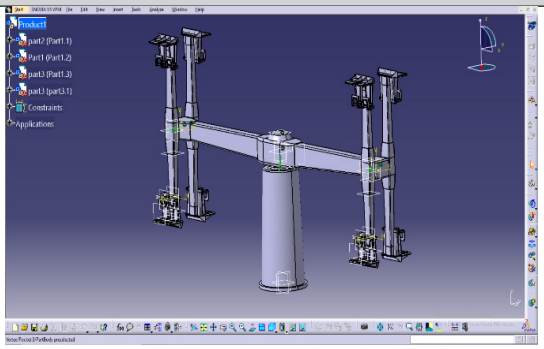


جدول۴. نتایج گروه ۴

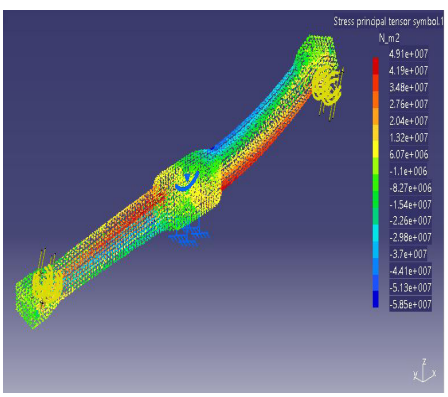
مشخصات فیزیکی سازه	مشخصات ماده سازه
- جرم سازه در بازه بین ۳۰ تا ۳۵ تن - شتاب حداکثر۵/۱۴ متر بر مجذور ثانیه	- جنس سازه از فولاد st-۵۲ - ASTM A ۶-۹۴ - آلیاژ جنس متشکل از ۰/۲ درصد کربن،۰/۵۵درصد سیلسیوم،۱/۶درصد منگنز،۰/۰۳۵درصد فسفر و۰/۰۳۵درصد گوگرد
نرم‌افزارهای مورداستفاده	
- نرم‌افزار کتیا: برای مدل‌سازی، محاسبه جرم و اینرسی‌ها و نیروهای مستخرج، تحلیل تنش‌ها و کرنش و تحلیل ارتعاشاتی و مد شیپ‌های سازه - نرم‌افزار سیم وایز[1] تحلیل‌های سینماتیکی و نیرو و گشتاورهای مورد نیاز جهت رسیدن به خواسته‌های سینماتیکی	

1- Sim-Wise 4d

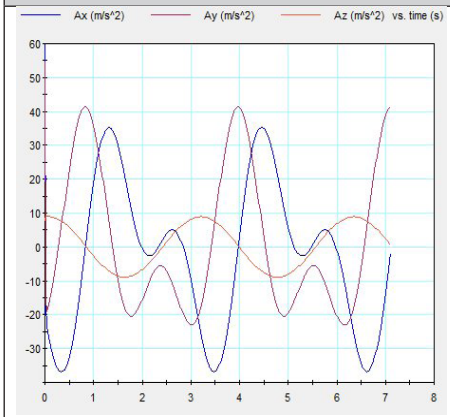
طرح سازه



تحلیل تنش سازه



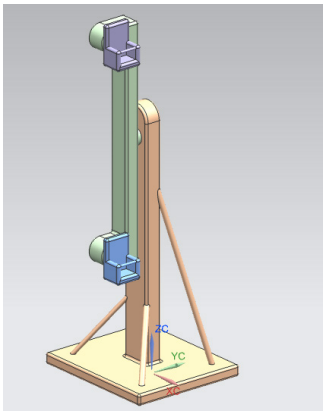
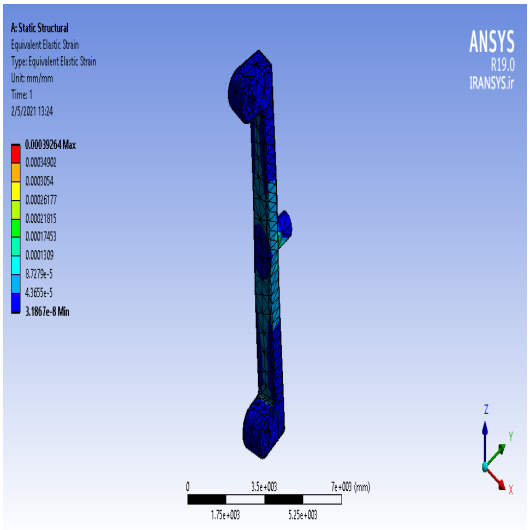
نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر



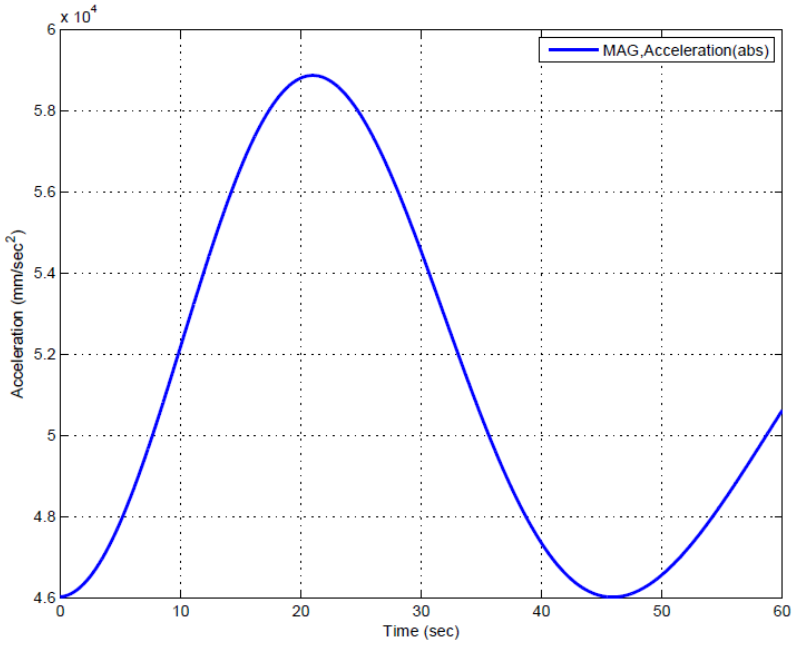
جدول۵. نتایج گروه ۵

مشخصات حرکتی سازه	مشخصات ماده سازه
شتاب حداکثر: ۵۹۰۱۲mm/s^2	ـ جنس: فولاد ASTM A۳۶ ـ استحکام تسلیم کششی: ۲٫۳۵E+۰۸ ـ استحکام نهایی کششی: ۳٫۷۵E+۰۸-۵E
نرم‌افزارهای استفاده‌شده	
ـ نرم‌افزار زیمنس[1]: تحلیل دینامیکی، استخراج سرعت‌ها و شتاب‌ها، به دست آوردن نیروها در مفصل ـ نرم‌افزار متلب: صحت سنجی نتایج به‌دست‌آمده در NX با استفاده از حل تحلیلی مسئله و به دست آوردن نمودارهای سرعت و شتاب ـ نرم‌افزار انسیس: انتخاب جنس، تحلیل تنش و به دست آوردن ضریب اطمینان‌های استاتیکی و خستگی	

1- . Siemens NX

طرح سازه	تحلیل تنش سازه
	

نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر



جدول۶. نتایج گروه ۶

مشخصات فیزیکی سازه	مشخصات ماده سازه
ـ جرم: ۲۰۲۵/۳۳ کیلوگرم ـ حجم: ۰/۲۶ ـ حداکثر سرعت خطی: ۱۲ متر بر ثانیه ـ حداکثر شتاب خطی: ۵/۷۵ متر بر مجذور ثانیه ـ حداکثر جرک: ۶/۹۷۴ متر بر مکعب ثانیه	ـ ضریب پواسون ۰٫۳ ـ مدول یانگ $۲۱۰۰۰۰ N/mm^۲$ ـ چگالی $۷۸۵۰ Kg/m^۳$

نرم‌افزارهای استفاده شده

ـ نرم‌افزار متلب:

در روابط سینماتیکی که به طور دستی وارد شده‌اند، شماتیک ساده سازه و تنها طول لینک‌ها در نظر گرفته شد. همچنین بر اساس مدل‌سازی انجام‌گرفته در سالیدورک و ایجاد لینک بین متلب و سالیدورک، تحلیل‌ها با شرایط مرزی اصلی مسئله صورت گرفتند. (پایه ثابت و دوران با سرعت ثابت در سه راستای مستقل)

ـ نرم‌افزار آباکوس:

فرکانس‌های طبیعی قطعات در کل سازه و همچنین به طور جداگانه استخراج گردید و فرضیات مدل‌سازی به‌صورت زیر بودند:

محور اول: یک سر گیردار

رابط محور اول و دوم: تمام سوراخ‌ها با پیچ بسته شده‌اند و ثابت‌اند

محور دوم: تنها امکان چرخش حول محور در راستای طول خود را دارد

رابط محور دوم و سوم: یک سر گیردار

محور سوم: محل پیچ‌ها ثابت فرض شده‌اند

ـ نرم‌افزار انسیس:

برای کاهش حجم محاسبات و بهینه‌سازی مطلوب، با فرض صلب بودن قطعات، قطعات یک سر گیردار 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.

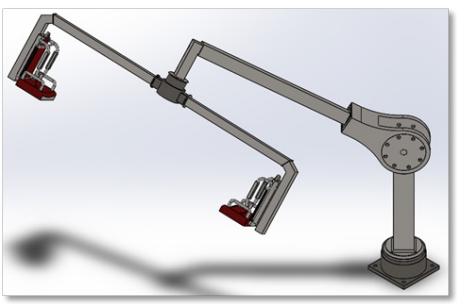
ـ نرم‌افزار کتیا:

با مشاهده نمونه‌های مشابه تلاش گردید تا تعدادی از این قطعات با هندسه‌ای ساده‌تر در محیط کتیا مدل‌سازی شوند.

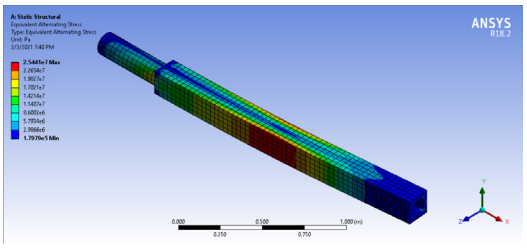
ـ نرم‌افزار سالیدورک:

با مشاهده نمونه‌های مشابه تلاش گردید تا تعدادی از این قطعات با هندسه‌ای ساده‌تر در محیط سالیدورک مدل‌سازی شوند.

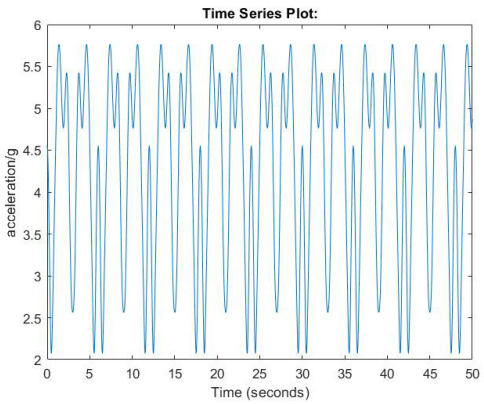
طرح سازه



تحلیل تنش سازه



نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر



جدول۷. نتایج گروه ۷

مشخصات فیزیکی سازه	مشخصات ماده سازه
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 CK۱۵ هستند که به وفور در ایران یافت می‌شود و قیمت مناسبی دارد.	تنش تسلیم آن $S_y = ۳۲۵MPa$ و مدول یانگ آن $E = ۲۰۰GPa$ و چگالی آن $\rho = ۷۸۰۰\frac{kg}{m^۳}$ می‌باشد.

نرم‌افزارهای استفاده شده

- نرم‌افزار سالیدورک:

ابتدا مدل‌سازی در نرم‌افزار سالیدورک انجام شد که تمامی جنس اجزا در این نرم‌افزار به قطعات داده شد (ممان اینرسی و مرکز جرم را خودبه‌خود محاسبه می‌کند).

- نرم‌افزار متلب:

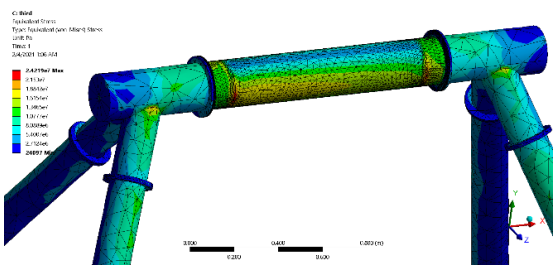
سپس با واردکردن فایل به نرم‌افزار متلب، مدل‌سازی دینامیکی انجام شد

- نرم‌افزار انسیس:

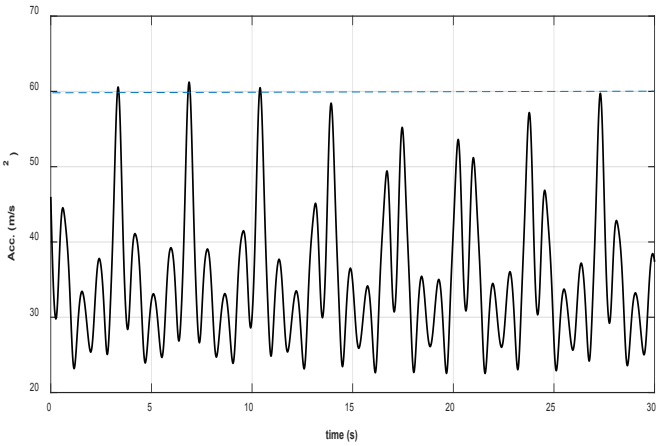
سپس نیروها استخراج شده و به قسمت ثابت (تکیه‌گاه) اعمال شده و با نرم‌افزار انسیس تحلیل تنش استاتیکی و خستگی برای قطعات ثابت انجام شده است.

- نرم‌افزار آدامز:

در انتها نیز برای تحلیل تنش قسمت‌های دوار و متحرک، از نرم‌افزار آدامز استفاده شده است.

طرح سازه	تحلیل تنش سازه
	

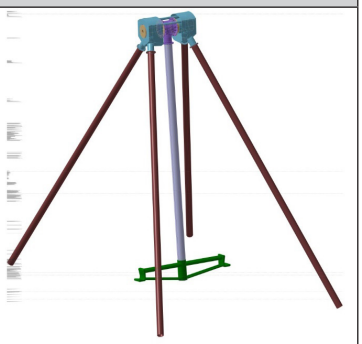
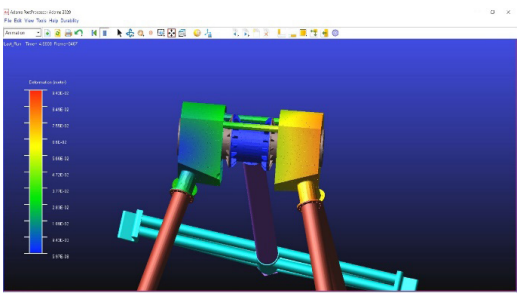
نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر



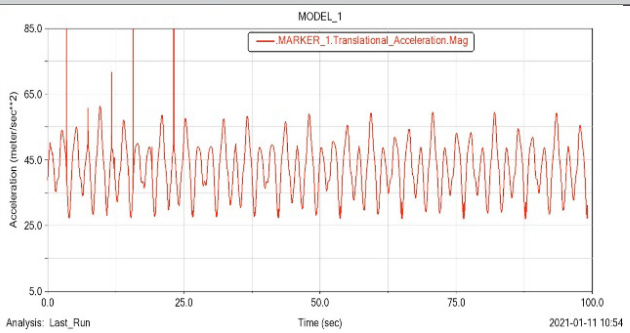
جدول۸. نتایج گروه ۸

مشخصات فیزیکی سازه	مشخصات ماده سازه
ـ ارتفاع: ۱۵ متر ـ وزن: ۱۱,۵۲۷,۶۴۸۱۴۵۹۸۲۹ kg	ـ ضریب پواسون: ۰,۲۹ ـ مدول یانگ: (N/M^۲) ۲.۰۷E+11 ـ چگالی: (kg/m^۳) ۷۸۰۱.۰
مشخصات حرکتی سازه	**نرم‌افزارهای استفاده‌شده**
ـ بیشترین شتاب سر مسافر: ۶/۲ برابر شتاب g ـ بیشترین سرعت زاویه‌ای حس‌شده توسط مسافر: ۸/۳ (rad/s) ـ بیشترین نیروی واردشده به بلبرینگ‌ها: ۶۰۰۰۰ نیوتن ـ بیشترین سرعت زاویه‌ای چرخان: ۵/۱ (rad/s) ـ بیشترین شتاب زاویه‌ای چرخان: ۱(rad/s^۲)	ـ نرم‌افزار کتیا: برای مدل‌سازی. ـ نرم‌افزار اپکس[1]: برای مش‌بندی، تحلیل المان محدود ـ نرم‌افزار آدامز: برای تحلیل دینامیکی و تحلیل خستگی. ـ نرم‌افزار متلب و سیمولینک: برای طراحی کنترل‌گر

1- MSC Apex

طرح سازه	تحلیل تنش سازه
	

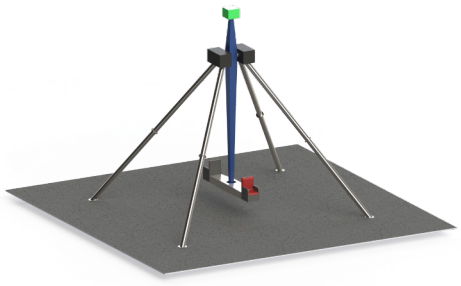
نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر



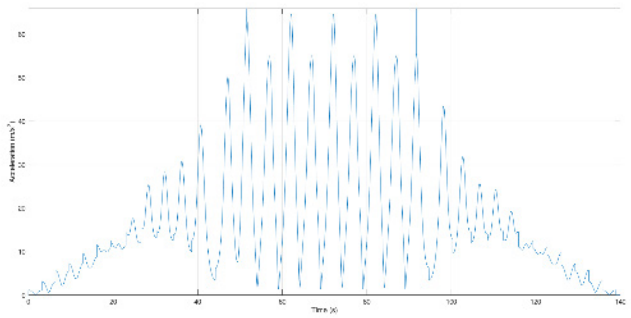
جدول۹. نتایج گروه ۹

مشخصات فیزیکی سازه	نرم‌افزارهای استفاده‌شده
- جرم کلی سازه: ۸/۷ تن - جنس بدنه: فولاد ساختمانی - جنس صندلی‌ها: کامپوزیت - وزن هر صندلی: ۷۵ کیلوگرم	- نرم‌افزار سالیدورک: - طراحی در نرم‌افزار سالیدورک - نرم‌افزار متلب: - مدل‌سازی دینامیکی در متلب

طرح سازه



نمودار تحلیل دینامیکی شتاب سر



۵. بحث

در این قسمت نتایجی که گروه‌های مختلف از این روش جدید آموزشی برای یادگیری دینامیک پیشرفته بیان کرده‌اند به‌صورت خلاصه بیان می‌شود. یکی از موارد مثبت به‌دست‌آمده از این پروژه و طراحی، آشنایی کامل و لمس کردن و به کار بردن مفهوم ترید 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 تمام‌شده می‌شود یا برای چرخاندن همان قطعه و جابه‌جاکردن 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 مسئلهٔ علمی و عملی در طراحی و انجام یک پروژهٔ صنعتی کمک شایانی شد. در انجام این پروژه به تفاوت میان تئوری علمی و پروژهٔ 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 این‌چنینی، علاوه بر یادگیری به افزایش مهارت

کار گروهی و اعتمادبه‌نفس 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 قیدهای 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 پیاده‌سازی‌شده 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 حوزهٔ 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 استفادهٔ هم‌زمان از نرم‌افزارهای گوناگون مانند متلب، انسیس و آدامز برای تحلیل، تجربهٔ بسیار جالبی بود. در این پروژه برای اولین‌بار 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 هزینهٔ 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 ایدهٔ جالبی در به دست آوردن پاسخ سامانه به‌صورت 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 پیداکردن دید واقعی به چنین مسئله‌ای، به دنبال شرکت‌هایی گشتیم که سابقهٔ طراحی دستگاه‌های مورد استفاده در شهربازی‌ها را داشته‌اند. البته پیداکردن 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 اولیهٔ 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 پروژهٔ 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 چرخش‌سوار 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 طولانی‌مدتی 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.
- Hoorn, 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/aaee22.
- 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.

علی مقداری: استاد بازنشسته دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف. ایشان رئیس دانشگاه آزاد اسلامی واحد بین‌الملل فرشتگان می‌باشند.

سید محمدجعفر ذوی‌الانواری: دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف، زمینه‌های پژوهشی ایشان کنترل، هوش مصنوعی و رباتیک می‌باشد

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

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

محمدمهدی آذربیک: دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف، زمینه‌های پژوهشی ایشان رباتیک، مکاترونیک و بیومکانیک می‌باشد.

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

امیررضا آسمان رفعت: دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف و عضو آزمایشگاه رباتیک اجتماعی و شناختی

سجاد سلیمان‌زاده فرد: دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف، زمینه پژوهشی ایشان کنترل هوشمند می‌باشد.

طاها قره‌باغی: دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

پارسا بهین‌فر: دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف، زمینه‌های پژوهشی ایشان مواد صنعتی هوشمند و یادگیری ماشین می‌باشد.

سید امیرحسین سجادی: دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف، زمینه‌های پژوهشی ایشان دینامیک، کنترل غیرخطی، کنترل فازی و کنترل مقاوم می‌باشد.

حسین حسن‌پور: 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، زمینه‌های پژوهشی ایشان کنترل، دینامیک و ارتعاشات می‌باشد.

حامد ناظمی: دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

محمدسجاد رمضانی: دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

محمد جمشیدیان: دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف، زمینه‌های پژوهشی ایشان کنترل، کنترل فازی، بینایی ماشین و ربات های انعطاف‌پذیرمی‌باشد.

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

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

سامان رضایی: دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف