

# تحلیل ارتعاشی مدل‌سازی فوم نشستگاه صندلی به کمک روش اجزای محدود

شهره دایی جواد  
کارشناس ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم  
دانشگاه شهرکرد  
sdaiejavad@yahoo.com

علی ملکی  
دانشیار مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه  
شهرکرد  
maleki\_ali@iran.ir

ندا عسگری فر\*  
کارشناس ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم  
دانشگاه شهرکرد  
neda.man2007@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۰۴

## چکیده

امروزه با پیشرفت صنعت، کمتر از روش‌های تحلیلی و تقریب‌های مهندسی در مسائل پیچیده صنعتی استفاده می‌شود. از این رو حل مسائل صنعتی هر روز بیش از پیش خود را وابسته به روش‌های حل عددی همچون روش اجزای محدود می‌بیند. نرم‌افزار آباکوس<sup>۱</sup> بسیاری از نقاط ضعف و اشکالات نرم‌افزارهای اجزای محدود دیگر را ندارد و سهولت در استفاده، مدل‌سازی قوی، دقت و سرعت بالای تحلیل، آن را به یک نرم‌افزار ممتاز تبدیل کرده است. جایگاه ویژه آباکوس در تحلیل مسائل مهندسی، کاربران را علاقه‌مند به آشنایی با روند انجام کار با این نرم‌افزار کرده است. از طرفی لازم است تا متخصصین با اصول اولیه و کاربردی آن آشنا شوند، لذا در دسترس بودن روش انجام مدل‌سازی در مثال‌های ارتعاشی به بیان ساده حائز اهمیت است. این مطالعه قصد دارد، روش انجام مدل‌سازی فوم نشستگاه صندلی ماشین‌های در حال ارتعاش و روش تحلیل ارتعاشی را با نرم‌افزار آباکوس بیان کند. در این راستا مراحل انجام مدل‌سازی با abq6134 شرح داده شده است. مدل‌سازی به روش اجزای محدود علاوه بر کم کردن هزینه‌های آزمایش تجربی، امکان بررسی شرایط مختلف را ایجاد می‌کند. همچنین خطای آزمایش‌ها حذف شده و دقت عملیات جبری افزایش می‌یابد. از این رو اغلب آزمایش‌های پرهزینه شبیه‌سازی شده و پس از اعتبارسنجی اولیه و تأیید مدل مورد نظر، تحلیل‌های مکانیکی، ارتعاشی، دینامیکی و حرارتی به کمک نرم‌افزار با دقت بالا انجام می‌شود.

**واژگان کلیدی:** مدل‌سازی اجزای محدود، آباکوس، مود ارتعاشی، بسامد طبیعی، فوم پلی‌یورتان

## ۱. مقدمه

این ارتعاشات اغلب سیستم اسکلتی-عضلانی و فیزیولوژی بدن را دچار اختلال می‌کنند [۱]. در مواجهه با ارتعاش تمام بدن، محدوده آسیب باتوجه به اندازه فرکانس، دامنه ارتعاش و نوع وسیله نقلیه متفاوت است [۲].

امروزه روش‌های عددی به سبب دقت و شتاب در حل مسائل پیچیده، کم و بیش در همه جنبه‌های علوم کاربرد یافته است. یکی از مواردی که سلامتی سرنشین ماشین‌آلات را در بلند مدت تهدید می‌کند، ارتعاش تمام بدن در راستای عمودی است.

در این راستا، فوم نشستگاه صندلی که خاصیت میرایی ارتعاشات را در ساختار خود دارد مورد توجه محققین قرار گرفته است [۳ و ۴].

یکی از روش‌هایی که بر پایه به‌کارگیری روش امتیازدهی عددی استوار گشته، روش المان محدود است. دقت این روش در حل مسائل پیچیده به‌ویژه در محدوده صنعت موجب شده تا کدهای تجاری و دانشگاهی بسیاری که بر مبنای روش المان محدود نوشته شده است، مورد استفاده قرار گیرند. در این میان نرم‌افزار آباکوس یکی از پیشرفته‌ترین و قوی‌ترین کدهایی است که در دانشگاه و صنعت به خوبی شناخته شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵].

فوم پلی‌یورتان به‌صورت موادی پیرالاستیک مشابه بالشتک صندلی وسایل نقلیه در نظر گرفته شد. در این مواد در صورت باربرداری هیچ‌گونه تغییرشکل ماندگار و پلاستیک در ماده رخ نمی‌دهد. نرم‌افزار آباکوس در این نوع شبیه‌سازی، ماده را ایزوتروپ با رفتار الاستیک و تحلیل غیرخطی هندسی فرض می‌کند [۶-۸]. مواد هایپرالاستیک دارای خواص فیزیکی مشابه غیرخطی فشرده بوده که غیرخطی بودن روابط تنش-کرنش در این مواد به‌صورت یک تابع پتانسیل انرژی کرنش بیان می‌شود. طبق رابطه ۱ از معادله آگدن<sup>۲</sup> در تحلیل خصوصیات غیرخطی فوم‌های نشستگاه صندلی استفاده می‌شود [۹ و ۱۰].

$$w = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{\alpha_i^2} \left[ \lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3 + \frac{1}{\beta_i} \left( (J^{e1})^{-\alpha_i \beta_i} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

همچنین ضرایب معادله مستخرج از نتایج میرچسکی و همکاران (۲۰۱۰) به‌صورت تابع انرژی کرنش مرتبه دوم ( $N=2$ ) و پارامترهای وابسته به دما به‌صورت  $\alpha_i$  و  $\mu_i$  تعریف می‌شود [۱۱].

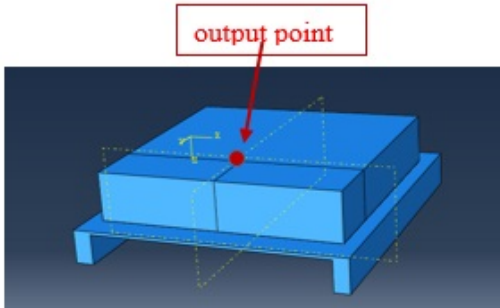
برای تحلیل ارتعاشی سیستم، پاسخ فرکانسی آن بررسی می‌شود. پاسخ فرکانسی اندازه طیف خروجی یک سیستم یا یک وسیله در پاسخ به محرک است، و برای مشخص کردن ویژگی‌های دینامیکی سیستم به‌کار می‌رود. بررسی مودهای ارتعاشی سیستم نشستگاه صندلی ماشین‌آلات و شناسایی بسامد طبیعی سیستم و تحلیل ارتعاشی آن نیازمند بینش عمیق و حل معادلات پیچیده ارتعاشی است که با استفاده از نرم‌افزار آباکوس قابل محاسبه است.

در نتیجه لازم است تا متخصصین با اصول اولیه و کاربردی نرم‌افزار آباکوس آشنا شوند. براین مبنای در ادامه مراحل مدل‌سازی فوم نشستگاه صندلی و سیستم شیکر<sup>۳</sup> موجود برای اعمال ارتعاش ورودی، محاسبه مقادیر بارهای وارده، چگونگی اعمال بارها، تحلیل و طراحی سازه و همچنین استفاده عملی از نتایج طراحی، شرح داده می‌شود. در ادامه تحلیل ارتعاشی مدل حاضر در این مقاله انجام خواهد شد.

## ۲. مواد و روش

برای مدل‌سازی با نرم‌افزار آباکوس در مرحله اول، کاربر یک پارت<sup>۴</sup> در قسمت مازول پارت<sup>۵</sup> ایجاد کرده و متناسب با اندازه ابعاد مدل مورد نظر سایز صفحه شطرنجی محیط اسکچ<sup>۶</sup> و اطلاعات اولیه مدل را انتخاب و طرح هندسی مورد نظر را رسم می‌کند.

برای تعیین سایز صفحه متناسب با اندازه‌های مدل مورد نظر سایز دانه‌بندی صفحه شطرنجی مشخص می‌شود. طرح اولیه فوم در ابعاد طول و عرض ۰/۴ و ضخامت ۰/۰۸ متر در این محیط وارد شد. اجزاء همگی از نوع توپرمانند<sup>۷</sup> بوده و چون نمونه‌ها قابلیت ارتجاعی دارند، به‌صورت قابل انعطاف سه بعدی<sup>۸</sup> تعریف شدند. سپس خواص مواد در قسمت مازول ویژگی<sup>۹</sup> تعریف می‌شود.

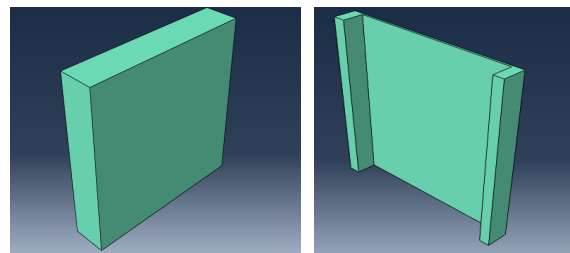


شکل ۲. فراخوانی مدل و قرار دادن اجزاء در محل مناسب

قبل از تحلیل دینامیک حالت پایدار به منظور اعمال نیروی سرنشین از تحلیل استاتیکی استفاده شده است. همچنین بازه فرکانس تحریک در نظر گرفته شده در این تحلیل، فرکانس‌های یک سوم اکتاوباند در محدوده ۱/۳-۳۲۷۶۸ هرتز است. نوع تحلیل دینامیکی حالت پایدار Direct در نظر گرفته شد که این نوع تحلیل برای اعمال شتاب سینوسی به فوم مورد استفاده است.

سپس در ماژول برهم کنش<sup>۱۷</sup> قیدهای تای<sup>۱۸</sup> باید در مدل مونتاژ شده با ایجاد گزینه قید<sup>۱۹</sup> اعمال شد [۱۴]. تکنیک تای قیدی است که برای قرار دادن دو سطح روی همدیگر تعریف می‌شود. دلیل استفاده از این قید در مدل حاضر ثابت شدن فوم مورد نظر روی دستگاه شیکر و جدا نشدن آن در زمان اعمال نیرو به فوم است. چون دو سطح فلزی و فوم از نظر ساختار متفاوت بوده و مش‌بندی یکسانی ندارند، لذا این قید برای حرکت نکردن دو قطعه نسبت به هم در نظر گرفته شده است. برای اعمال قیود، ابتدا صفحه روی دستگاه شیکر و صفحه زیرین فوم با نام مشخص، به نرم‌افزار معرفی شده و با استفاده از گزینه تماس سطح به سطح<sup>۲۰</sup> عملیات انجام می‌شود که در شکل ۳ نشان داده شده است. علاوه بر اعمال قید، ضریب اصطکاک بین دو صفحه مورد نظر در قسمت ویژگی تعامل<sup>۲۱</sup> ثبت می‌شود که در این مدل برای نوع تماس<sup>۲۲</sup>، ۰/۳ فرض شد.

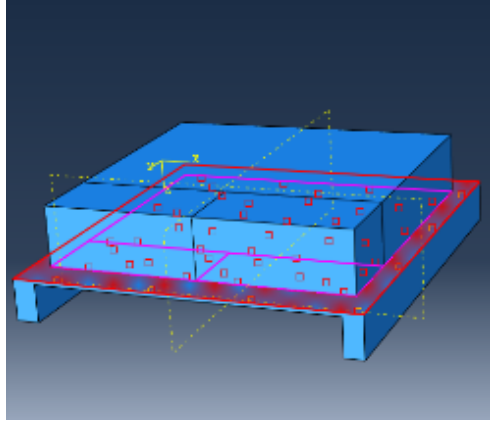
با استفاده از معادله آگدن، رابطه ۱، ضرایب مدول برشی اولیه  $\mu_1$  و  $\mu_2$  به ترتیب ۱۸۳۰۰ و ۲۱۰ پاسکال، ضرایب مواد استاندارد  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  به ترتیب ۱۷/۴ و ۲- (بدون واحد) و ضرایب متناسب با درجه فشردگی مواد فومی  $\beta_1$  و  $\beta_2$  به عدد ۰/۴ در قسمت تنظیمات مواد هایپرلاستیک در ضرایب معادله آگدن وارد شد. در هر نمونه هایپرلاستیک باید دانسیته فوم متناسب با نمونه مورد نظر ثبت شود [۱۲ و ۱۳]. پس از وارد کردن خصوصیات فوم و دستگاه شیکر مدل شده، مانند شکل ۱، مدل رنگی می‌شود که نشانه صحیح بودن خصوصیات و هم‌خوانی داشتن اطلاعات ورودی است. ویژگی‌های مواد برای دستگاه شیکر نیز با ایجاد یک ماده<sup>۱۰</sup> جدید بیان می‌شود.



شکل ۱. مدل تعریف شده در خروجی محیط ویژگی<sup>۱۱</sup>

در مرحله ماژول مونتاژ<sup>۲</sup>، ابتدا مدل ترسیم شده را فراخوانی کرده و سپس قیدهای هندسی بین صفحات فوم به مدل اعمال شد. برای دریافت نمودار خروجی لازم است یک نقطه روی فوم مشخص شود که این کار با پارتیشن‌بندی فوم و نام‌گذاری نقطه مورد نظر به نقطه خروجی<sup>۱۳</sup> امکان‌پذیر است. پس از ایجاد قید سطح به سطح<sup>۱۴</sup> اجزاء مدل مانند شکل ۲ روی هم قرار می‌گیرد.

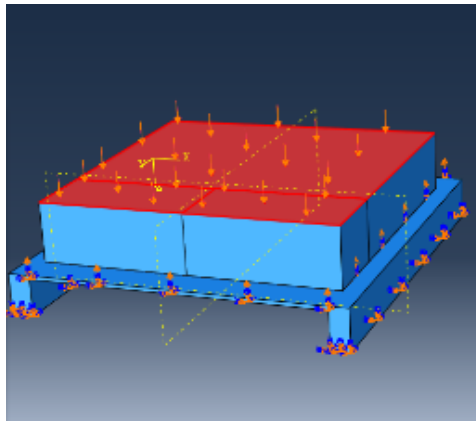
در مرحله ماژول گام<sup>۱۵</sup> نوع تحلیل و بازه بسامدی مورد نظر انتخاب می‌شود. در این مدل، به دلیل وجود آنالیز غیرخطی و ارتعاشی از تحلیل دینامیک حالت پایدار<sup>۱۶</sup> استفاده شد.



شکل ۳. اعمال قیود در ماژول برهم کنش

لرزان (برای اعمال ارتعاش مورد نظر به فوم نشستگاه صندلی) با اعمال شتاب سینوسی در جهت Z- معرفی خواهد شد. از منوی ابزار<sup>۲۵</sup> با استفاده از گزینه‌ی دامنه<sup>۲۶</sup> مقادیر شتاب تحریک و بسامد به صورت جدول‌های دو ستونه ثبت شد، در جدول ۱ قابل مشاهده است. معرفی شرایط مرزی مدل در شکل ۵ نشان داده شده است.

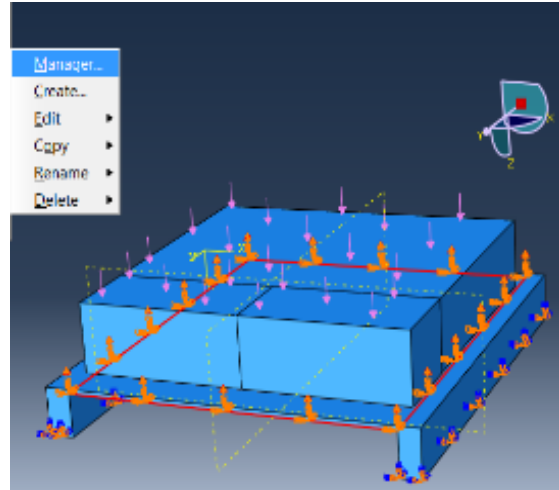
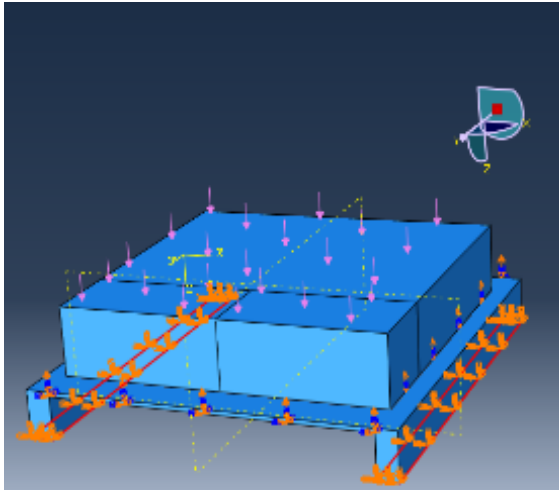
در محیط تعریف نیرو روی فوم، نیروها به صورت فشار<sup>۲۳</sup> با مقدار عددی وزن سرنشین تقسیم بر مساحت روی فوم، اعمال شد، که در شکل ۴ قابل مشاهده است. لازم به ذکر است، جرم سرنشین در این مدل سازی ۷۵ کیلوگرم فرض شد. با استفاده از گزینه شرایط مرزی<sup>۲۴</sup>، شرایط مرزی مورد نیاز بیان می‌شود که در این مدل برای دستگاه شیکر پایه‌های ثابت و صفحه‌ی



شکل ۴. اعمال نیروی فشاری مربوط به سرنشین روی فوم

جدول ۱. مقادیر شتاب تحریک و بسامد ثبت شده در منوی ابزار نرم افزار آباکوس

بسامد (هرتز)	شتاب تحریک (متر بر مجذور ثانیه)	بسامد (هرتز)	شتاب تحریک (متر بر مجذور ثانیه)
۲۵۶	۰/۱۹۳	۱/۳	۰/۰۳۵
۳۲۲/۵	۰/۱۰۹	۱/۶	۰/۰۳۵
۴۰۶/۴	۰/۱۸۶	۲	۰/۰۳۳
۵۱۲	۰/۱۰۱	۲/۵	۰/۰۳۳
۶۴۵/۱	۰/۰۷۶	۳/۲	۰/۰۲۴
۸۱۲/۷	۰/۱۲۲	۴	۰/۰۴۹
۱۰۲۴	۰/۱۱۷	۵	۰/۰۴۵
۱۲۹۰/۲	۰/۰۵۱	۶/۳	۰/۰۵۳
۱۶۲۵/۵	۰/۰۳۹	۸	۰/۰۶۸
۲۰۴۸	۰/۰۳	۱۰/۱	۰/۱۲۹
۲۵۸۰/۳	۰/۰۲۴	۱۲/۷	۰/۱۱
۳۲۵۱	۰/۰۱۹	۱۶	۰/۱۸۳
۴۰۹۶	۰/۰۵۳	۲۰/۲	۰/۳۸
۵۱۶۰/۶	۰/۰۳۱	۲۴/۴	۰/۳۵۹
۶۵۰۲	۰/۰۱۹	۳۲	۰/۵۳۷
۸۱۹۲	۰/۰۳۶	۴۰/۳	۰/۲۱۲
۱۰۳۲۱/۳	۰/۰۲۸	۵۰/۸	۰/۲۹۸
۱۳۰۰۴	۰/۰۱۱	۶۴	۰/۳۷۴
۱۶۳۸۴	۰/۰۱۱	۸۰/۶	۰/۶۲
۲۰۶۴۲/۵	۰/۰۰۹	۱۰۱/۶	۰/۲۵۵
۲۶۰۰۸	۰/۰۰۸	۱۲۸	۰/۲۹
۳۲۷۶۸	۰/۰۰۹	۱۶۱/۳	۰/۲۱۶
		۲۰۳/۲	۰/۱۳۶



شکل ۵. اعمال شرایط مرزی برای صفحه زیرین فوم و پایه‌های دستگاه شیکر

دانه‌ها در عین داشتن تحلیل نتایج منطقی، در زمان حل مسأله صرفه‌جویی شود. برای تعیین تعداد و اندازه المان‌ها متناسب با مدل مورد نظر باید نتایج همگرا شود. تست همگرایی نتایج یعنی تغییر اندازه المان‌ها تا جایی که نتایج به دست آمده از مدل‌های متوالی بسیار به هم نزدیک شده و با افزایش و کاهش تعداد المان‌ها (افزایش و کاهش تراکم مش) به سمت یک نتیجه واحد همگرا شود [۱۵ و ۱۶]. برای تعیین مش‌بندی مناسب، مدل با اندازه المان‌های مختلف، مش‌بندی شده و داده‌های بیشینه شتاب خروجی در فوم نشستگاه صندلی با هم مقایسه شد.

در مرحله مش‌بندی، برای بالا بردن دقت تحلیل نرم افزار، مدل مورد نظر به المان‌های با اندازه مناسب تقسیم می‌شود. برای این کار ابتدا با استفاده از گزینه دانه بندی قطعه<sup>۲۷</sup> و انتخاب مدل مورد نظر پنجره دانه‌بندی نمایان می‌شود که با انتخاب اندازه مناسب مش، دقت نرم‌افزار با توجه به زمان مناسب برای حل مسأله تعریف می‌شود. المان‌ها به شکل چهار وجهی مرتبه اول به صورت چهارگانه‌ای آزاد<sup>۲۸</sup> تعریف شد که در نرم‌افزار با علامت اختصاری C3D4 مشخص شده است. برای تشخیص اندازه مناسب برای المان‌ها باید تست همگرایی نتایج<sup>۲۹</sup> انجام شود، تا با انتخاب اندازه مناسب

جدول ۲. نتایج تست همگرایی نتایج در فوم نشستگاه صندلی

اندازه المان‌ها	تعداد المان‌های شیکر	تعداد المان‌های فوم	بیشینه اندازه شتاب ( $m/s^2$ )
۰/۰۴	۱۰۹۸	۱۷۳۴	$۰/۷۹ \times ۱۰^۴$
۰/۰۳	۲۴۵۴	۳۹۵۷	$۲/۷۶ \times ۱۰^۴$
۰/۰۲	۵۶۴۳	۱۱۱۰۹	$۳/۶۴ \times ۱۰^۴$
۰/۰۱	۲۳۸۹۹	۷۷۴۱۳	$۳/۷۲ \times ۱۰^۴$
۰/۰۰۵	۱۴۵۷۸۳	۸۵۱۵۴۳	$۳/۷۳ \times ۱۰^۴$

است، به طوری که برای اندازه المان‌های کوچک‌تر از ۰/۰۱، تغییر کمی در مقادیر شتاب وجود دارد. لذا مقادیر کوچک‌تر در این جدول قید نشده است. بنابراین برای صرفه‌جویی در

مطابق جدول ۱ ملاحظه می‌شود که برای اندازه المان‌های ۰/۰۲ به المان‌های کوچک‌تر، مقادیر شتاب به هم نزدیک شده است و نتایج بعدی تقریباً مستقل از اندازه المان‌ها

زمان حل مسئله از اختلاف ناچیز بین نتایج مش‌ها صرف‌نظر کرده و اندازه‌ها مان‌ها برای مدل ۰/۰۲ فرض شد.

### ۳. نتایج و بحث

نرم‌افزار آباکوس با استفاده از تکنیک‌های حل مسأله و به کاربردن معادلات مربوطه، برنامه تعریف شده برای مدل را اجرا می‌کند. زمانی که تمامی اقدامات لازم برای تعریف مدل انجام شد، کاربر وارد محیط انجام کار<sup>۳۰</sup> شده و با نام مشخص مدل مورد نظر را جهت شروع حل، ثبت<sup>۳۱</sup> می‌کند. در طول زمانی که نرم‌افزار به تحلیل مدل می‌پردازد، کاربر می‌تواند روند تحلیل و اطلاعات مربوط به بازه‌های زمان را در طول روند کار از طریق گزینه مانیتور<sup>۳۲</sup> مشاهده کند. پس از اتمام تحلیل، نتایج مسأله به صورت عددی، نموداری و انیمیشن بیان می‌شود. نتایج خروجی از طریق دکمه نتیجه<sup>۳۳</sup> و گزینه داده<sup>۳۴</sup> قابل نمایش است.

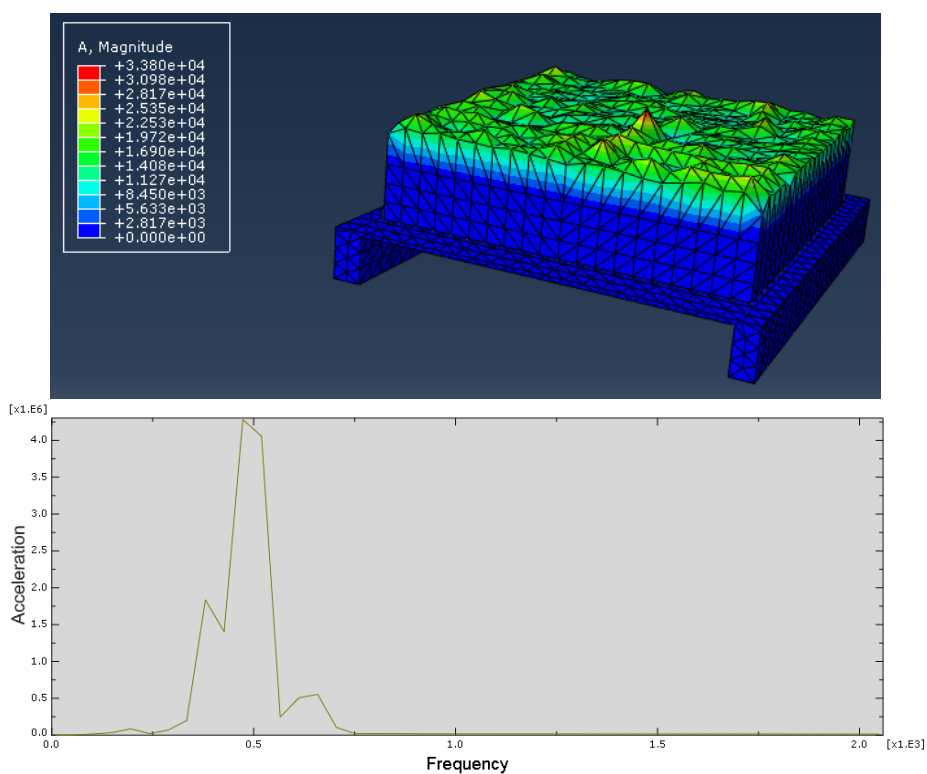
گزینه خروجی<sup>۳۵</sup>، خروجی برحسب پارامترهای تعریف شده برای مدل مورد نظر مثلاً استخراج نمودار جابه‌جایی برحسب بسامد و گزینه تاریخچه خروجی<sup>۳۶</sup> برای بیان نمودار انرژی جنبشی و ... استفاده می‌شود. نتایج استخراج شده با استفاده از دستور داده<sup>۳۵</sup> به صورت نمودار پارامترهای مختلف بر حسب بسامد، همچنین گام‌ها / قاب‌ها<sup>۳۷</sup> فرکانس‌های مختلف ارتعاشی را برای مدل مورد نظر نشان می‌دهد [۱۷-۱۹].

برای بررسی انتقال ارتعاش به سرنشین، گاهی لازم است با تغییر میزان ارتعاش از کم به زیاد، میزان جابه‌جایی در بسامدهای مختلف بررسی شده و نتایج آن در قالب نمودار مقایسه شود. ماژول تجسم<sup>۳۸</sup> مدل شبیه‌سازی شده را متناسب با تنش، کرنش، شتاب، جابه‌جایی و حجم به صورت

کاتوره‌های رنگی نمایش می‌دهد، همچنین محدوده میزان تغییرات را به صورت عددی مشخص می‌کند. هر فرکانس ارتعاشی یک شکل از مدل مورد نظر را نشان می‌دهد، جدول ۳ مقادیر فاکتورهای مختلف در دو فرکانس را نشان می‌دهد. برای بررسی ارتعاش ۴۵ فرکانس تحریک در تحلیل در نظر گرفته شد که در تحلیل ارتعاشی سیستم، مقادیر شتاب و دامنه ارتعاشی اغلب مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرد. نتایج نشان داد، در فرکانس ۴۷۳ هرترز، مقدار پیک اول ارتعاشی نمایان شده است. همچنین روند انجام کار در محیط تجسم و رسم نمودارهای مختلف بر حسب بسامد، در شکل‌های ۶ تا ۹ نشان داده شده است که همین نتیجه را تأیید می‌کنند. در نتیجه بیشترین مقدار ارتعاش عمودی در این بسامد به سرنشین وارد می‌شود که همان بسامد تشدید سیستم ارتعاشی موجود است. اندام‌های مختلف بدن، بسامدهای طبیعی منحصر به فرد داشته و می‌توان هر اندام را یک سیستم ارتعاشی جداگانه فرض کرد. وقتی اندام‌های بدن در معرض ارتعاش تمام بدن قرار می‌گیرند، اگر بسامد ارتعاش ورودی با بسامد طبیعی سیستم برابر شود، تخریب ناشی از تشدید ارتعاش رخ می‌دهد و سبب بروز اختلالات اسکلتی-عضلانی می‌شود. با توجه به شکل‌های ۶ تا ۹ و بررسی مقدار بیشینه پیک ارتعاشی هر نمودار، مدل حاضر در فرکانس ۴۷۳ هرترز (فرکانس تحریکی که در بازه در نظر گرفته شده برای تحلیل وارد شده است) بیشترین مقدار شتاب ارتعاشی، دامنه ارتعاشی، انرژی و تنش را دارد که مقادیر آنها در جدول ۲ مشاهده می‌شود. نقطه پیک دامنه در ارتعاش ماشین عبارت است از حداکثر جابه‌جایی ارتعاشی که ماشین در یک مدت زمان مشخص به آن دست پیدا می‌کند.

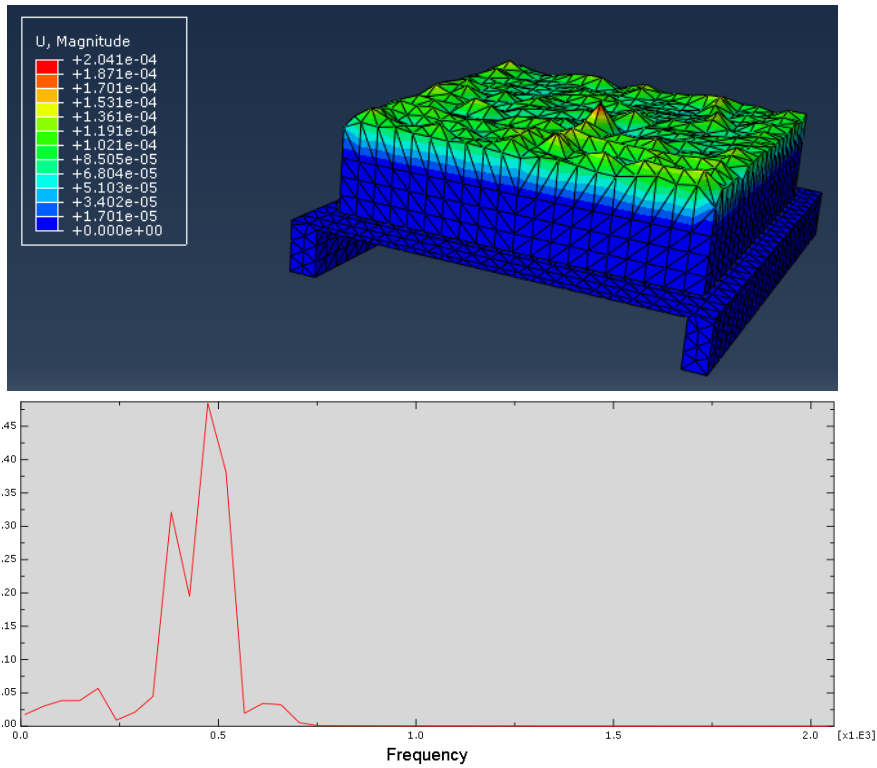
جدول ۳. مقادیر فاکتورهای مختلف مدل (کمیات خروجی نرم افزار آباکوس) در فرکانس اول و فرکانس دوم

factor	First		Second	
	frequency	magnitude	frequency	magnitude
Acceleration(m/s <sup>2</sup> )	473.182	4.28121E+006	519.5	4.05553E+006
Displacement(m)	473.182	0.48434	519.5	0.380642
Strain Energy(J)	473.182	131816	519.5	65327.6
Kinetic Energy(J)	473.182	65908.3	519.5	32664.3
Stress(mises)(N/m <sup>2</sup> )	473.182	776797.3	519.5	952541

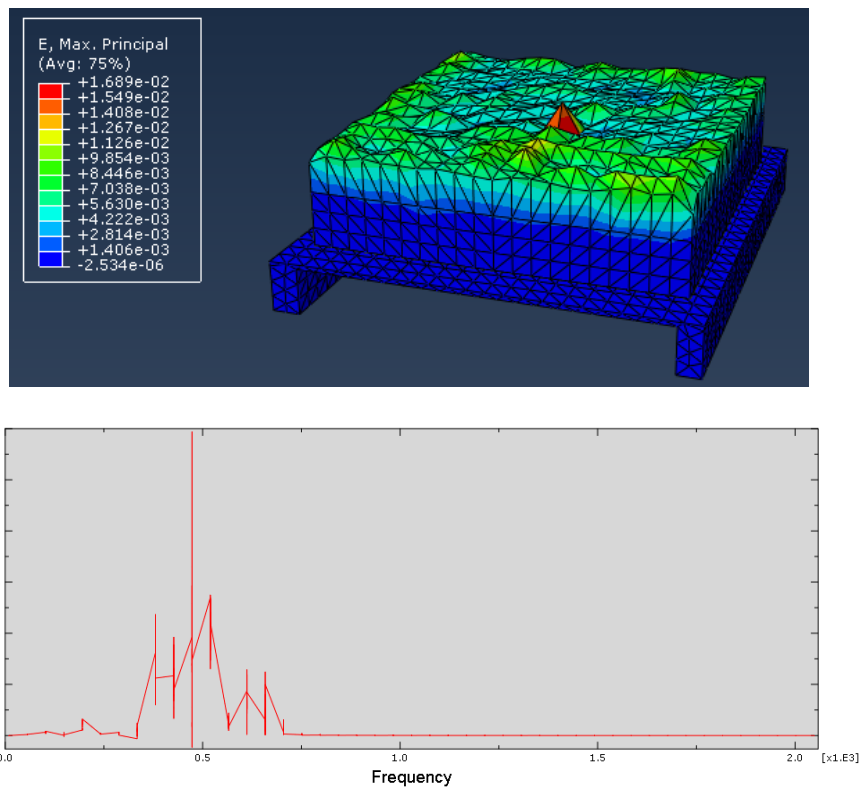


شکل ۶. کانتور شتاب ارتعاشی و پاسخ نرم افزار در نقطه خروجی به صورت نمودار شتاب (m/s<sup>2</sup>)-بسامد

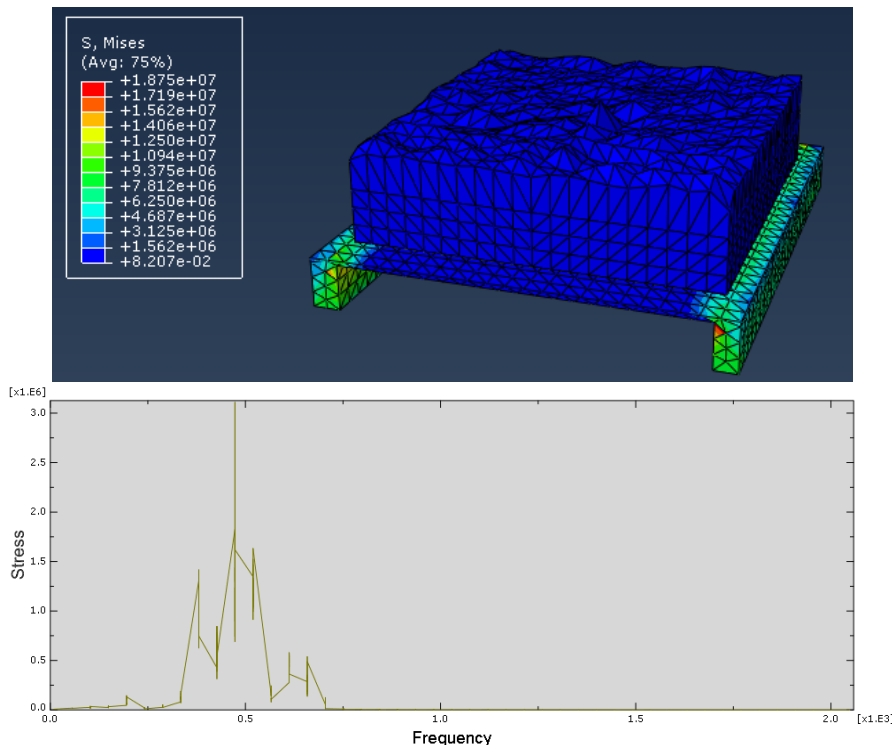




شکل ۷. کانتور جابه‌جایی ارتعاشی و پاسخ نرم‌افزار در نقطه خروجی به صورت نمودار جابه‌جایی (m) - بسامد



شکل ۸. کانتور کرنش ارتعاشی و پاسخ نرم‌افزار در نقطه خروجی به صورت نمودار کرنش - بسامد



شکل ۹. کانتور تنش ارتعاشی و پاسخ نرم افزار در نقطه خروجی به صورت نمودار تنش (N/m<sup>2</sup>)-بسامد

#### ۴. نتیجه گیری

این مقاله امکان مدل سازی فوم صندلی و دستگاه وارد کننده ارتعاش به آن با استفاده از روش اجزای محدود را با جزئیات توضیح داده است، به طوری که بتوان با عدم وجود فوم با ضخامت و دانسیته های متفاوت در شرایط مختلف نشستگاهی فوم نشستگاه ماشین آلات را شبیه سازی ارتعاشی کرده و شتاب تحریک خروجی های منطقی و عملی از سیستم دریافت کرد.

۱. با استفاده از مدل سازی اجزای محدود می توان در طراحی فوم، فرمولاسیون مواد تشکیل دهنده آن را تغییر داده، شرایط عملی را به کمک نرم افزار شبیه سازی کرده و اثر آن بر ارتعاشات منتقله از صندلی به بدن سرنشین را بررسی کرد.
۲. با استفاده از پیک ارتعاشی موجود در نمودار شتاب ارتعاشی بر حسب بسامد می توان بسامد تشدید سیستم را یافته و آن را کنترل کرد. در این صورت تخریب ناشی

از تشدید ارتعاش برای سرنشین به میزان قابل توجهی کاهش خواهد یافت.

۳. یکی از موارد مهم در مدل سازی، تست همگرایی نتایج با تغییر اندازه مش است که دقت انجام تحلیل ها را مشخص می کند. گسسته سازی مدل هندسی در مازول مش انجام می شود، به طوری که متناسب با مسأله مورد نظر برای هر قسمت، یک المان انتخاب شده و با استفاده از المان های مناسب کل مدل هندسی مش بندی می شود.

#### سپاسگزاری

نویسندگان از جناب آقای مهندس رضا ابراهیمی، مهندس محمد عسگری فر و کلیه حمایت های مالی، اداری و آزمایشگاهی دانشگاه شهرکرد تشکر و قدردانی می کنند.

- [1] Makhsous, M., R. Hendrix, Z. Crowther, E. Nam, and F. Lin. "Reducing Whole-Body Vibration and Musculoskeletal Injury with a New Car Seat Design." *Ergonomics*, Vol.48, No.9, 2005, pp.1183-1199.
- [2] Mansfield, N. J., and Michael J. GRIFFIN. "Effects of Posture and Vibration Magnitude on Apparent Mass and Pelvis Rotation during Exposure to whole-Body Vertical Vibration." *Journal of Sound and Vibration*, Vol.253, No.1, 2002, pp.93-107.
- [3] Woods, G., "Flexible Polyurethane Foams. Chemistry and Technology." Applied Science. London and New Jersey, 1969
- [4] Jin, H., Wei-Yang, L., Simon, S., Hinnerichs, T.D., and Neilsen, M.K., "Full-field Characterization of Mechanical Behavior of Polyurethane Foams." *International Journal of Solids and Structures*. Vol.44, No.21, 2007, pp.6930-6944.
- [5] Khalkhali, A., "Finite Element Analysis Using ABAQUS." Cultural-Artistic Institute Dibagaran Tehran, (In Persian), 2010.
- [6] Mills, N.J., Masso-Moreu, Y., "Finite Element Analysis (FEA) Applied to polyethylene Foam Cushions in Package Drop Tests." *Packaging Technology and Science*, Vol.18, No.1, 2005, pp.29-38.
- [7] Smardzewski, J., Grbac, I., and Prekrat, S., "Nonlinear Mechanics of Hyper Elastic Polyurethane Furniture Foams." *Drvna Industrija*, Vol.59, No.1, 2005, pp.23-28.
- [8] Schrodtt, M., Benderoth, G., K"uhhorn, A., and Silber, G., "Hyperelastic Description of Polymer Soft Foams at Finite Deformations." *Technische Mechanik*, Vol.25, No.3-4, 2005, pp.162-173.
- [9] Ogden, R.W., "Non-linear elastic deformations." Dover. New York. USA, 1997.
- [10] Ogden, R.W., Saccomandi, G., and Sgura, I., "Fitting Hyperelastic Models to Experimental Data." *Computational Mechanics*, Vol.34, No.6, 2004, pp.484-502.
- [11] Mircheski, I., Kandikjan, T., and Simonovski, P., "Virtual Testing and Experimental Verification of Seat Comfort in Driver, S Seat for Passenger Automobile." *Ss Cyril & Methodius University. Faculty of Mechanical Engineering, Republic of Macedonia, Karpos II – bb. 1000 Skopje*, 2010.
- [12] Anonymous. *ABAQUS User Manual Version 6.8. Fitting of Elastomeric Foam Test Data, in Section 3.1.5.*, 2008.
- [13] Pinto da Silva, F., Marangon Beretta, E., Cavalli Prestes, R., and Kindlein Junior W., "Design and Milling Manufacture of Polyurethane Custom Contoured Cushions for Wheelchair Users." *Australasian Medical Journal*, Vol.4, No.9, 2011, pp.500-506.
- [14] Anonymous. *ABAQUS User Manual Version 6.11. 2011. Defining Tied Contact in Abaqus/Standard*, 2011.
- [15] Pilafkan, R., Zakavi, J., and Bakhshi, S., "Frequency Analysis of Rectangular Holed FG Plates Using Three Dimensional Elasticity Theory and Meshless Method." *Modares Mechanical Engineering*, Vol.14, No.16, 2014, pp.134-142. (In Persian).
- [16] Tajik, A., "Mesh Convergence in ABAQUS Software." *Journal of Manufacturing Engineering*, Vol.45, 2013, pp.107-115. (In Persian).
- [17] Ebrahimi, E., "Strategy of Process Modeling and Structural Analysis Seat Using the Software ABAQUS." *Wood and Paper Industries magazine*, Vol.2, 2011, pp.171-190. (In Persian).
- [18] Tang, Ch.Y. Chan, W., and Pont Tsui Ch., "Finite Element Analysis of Contact Pressures between Seat Cushion and Human Buttock-Thigh Tissue." *Engineering*, Vol.2, 2010, pp.720-726.
- [19] Thomas, O., Touzé, C., and Luminais, E., "Nonlinear Vibrations of Free-Edge Thin Spherical Shells: Experiments on a 1:1:2 Internal Resonance." Springer, 2007.

1. ABAQUS
2. Ogden
3. Shaker
4. Part
5. Part Module
6. Sketch
7. Solid
8. 3D-Deformable
9. Property Module
10. Material
11. Property
12. Assembly Module
13. Output Point
14. Face to Face
15. Step Module
16. Steady State Dynamics
17. Interaction Module
18. Tie
19. Constraint
20. Surface to Surface Contact
21. Interaction Property
22. Contact
23. Pressure
24. Boundary Conditions
25. Tools
26. Amplitude
27. Seed Part Instance
28. Free
29. Convergence
30. Job
31. Submit
32. Monitor
33. Result
34. XYData
35. ODB Field Output
36. ODB History Output
37. Steps/Frams
38. Visualization