

بهینه‌سازی شیب زاویه نشستگاه صندلی تراکتور مسی فرگوسن به روش اجزای محدود

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
 دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
 دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

شهره دایی جواد
 علی ملکی*
 یعقوب طادی بنی

چکیده

مجموع فعالیت‌ها که توسط اپراتور بر روی صندلی تراکتور صورت می‌گیرد، راحتی راننده را تحت تأثیر قرار می‌دهد بخصوص هنگامی که توزیع فشار بحرانی در قسمت نشستگاه و ناحیه کفل‌ها باشد که در اینصورت پوسچر راننده نقش بسزایی در ایجاد راحتی ایفا می‌کند. از این رو پژوهشی جهت مدل‌سازی و بهینه‌سازی شیب زاویه نشستگاه صندلی تراکتور مسی فرگوسن به روش اجزای محدود در نرم‌افزار ABAQUS انجام گرفت و به منظور اعتبارسنجی مدل‌سازی صندلی، نتایج حاصل با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت. در این مدل‌سازی صندلی تراکتور با پنج زاویه ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه در چهار شتاب تحریک ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر مجذور ثانیه در بازه فرکانسی ۳ تا ۶۶ هرتز به ارتعاش واداشته شد و داده‌های شتاب‌های خروجی در سطوح تماس صندلی و بدن راننده در سه جرم متفاوت مربوط به رانندگان کشاورز ایرانی از نرم‌افزار اجزای محدود استخراج گردید. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس میانگین‌های اثرات فاکتورهای اصلی و متقابل بر شتاب خروجی نواحی تماسی نشان داد محدوده زوایای ۱۰ تا ۱۵ درجه برای شیب نشستگاه صندلی تراکتور مسی فرگوسن بهینه بوده است، زیرا این زوایا در تمام نواحی تماسی بدن راننده با صندلی اثر چندانی در ایجاد عدم راحتی نداشته‌اند.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی صندلی، تراکتور، روش اجزای محدود، ارتعاش، زاویه.

Optimization of Massey Ferguson Tractor Seat Angle Inclination by Finite Element Method

Sh. Daeijavad
 A. Maleki
 Y. Tadi Beni

Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
 Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
 Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Abstract

Total activity that is performed by the operator on the tractor seat, affects driver comfort, especially when the critical pressure distribution is in the region of buttocks, so driver posture plays an important role in comfort. Thus, research to model and optimize the angle of inclination of Massey Ferguson tractor seat in ABAQUS finite element software, in order to validate the seat modeling, output results were compared with experimental results. In this model the tractor seat with five angles of 0, 5, 10, 15, and 20 degrees in the four stimulation acceleration 0.5, 1, 1.5 and 2 meters per second squared in frequency range of 3- 66 Hz was forced vibration and output accelerations in the contact areas of driver's body with seat in three different mass of Iranian Agriculture drivers were obtained from the finite element software. The results of the main factors and the interaction effects in mean variance analysis table on output acceleration in contact areas showed a range of angles of 10 to 15 degrees has been optimized for Massey Ferguson tractor seat, Because these angles in all contact areas of driver's body with seat has not big effect in creating uncomfortable.

Keywords: modeling of seat, tractor, finite element method, vibration, angle.

۱-مقدمه

افراد با توجه به نوع شغل و فعالیت روزانه خود متحمل وضعیت بدنی متفاوتی می‌شوند، باید اشاره کرد که صندلی نقش بسیار مهم در جلوگیری از خستگی و بروز ناراحتی‌های اسکلتی عضلانی دارد.

امروزه بسیاری از رانندگان وسایل نقلیه حرفه‌ای از درد کمر رنج می‌برند. یکی از عوامل بالقوه در ایجاد درد کمر قرار گرفتن طولانی مدت در معرض ارتعاش تمام بدن است. در چندین بررسی بر ارتعاش بدن به این نتیجه رسیده‌اند که یک رابطه مستقیم و مثبتی بین معرض قرارگیری ارتعاش با درد کمر یا اختلالات کمری وجود دارد. افزایش خطر ابتلا به کمر درد و اختلالات کمری برای رانندگان تراکتور، کامیون، جرثقیل، اتوبوس و دیگر وسایل نقلیه زمینی گزارش شده است [۱].

مبحث راحتی راننده وسایل نقلیه که در معرض ارتعاش تمام بدن قرار گرفته است در استاندارد بین‌المللی ارتعاشات (۱۹۹۷) بیان شده است. این استاندارد با هدف ارزیابی بدن انسان در معرض ارتعاش تمامی بدن بوده که مشخص می‌کند اگر دو محیط ارتعاشی دارای شتاب‌های جرم‌دار فرکانسی یکسانی باشند آن‌گاه دو محیط دارای درجه یکسانی از عدم راحتی هستند [۲]. بعضی از مطالعات در سال‌های اخیر بر این نکته اشاره دارد که افراد در معرض ارتعاش تصادفی تمام بدن حتی با شتاب‌های جرم‌دار فرکانسی یکسان مطابق سازمان استاندارد بین‌المللی (۱۹۹۷) طیف‌های فرکانسی متفاوتی را دریافت می‌کنند [۳]. ولی با این وجود در بررسی اثر ارتعاشات بر عدم راحتی رانندگان وسایل نقلیه در بیشتر موارد به

استانداردهای بین‌المللی مراجعه می‌شود، در پیوست این استاندارد اثرات ارتعاش بر راحتی و عدم راحتی رانندگان وسایل نقلیه آمده است، طبق این راهنما نشانه‌هایی از عکس‌العمل مشابه افراد در معرض ارتعاش تمامی بدن با فرکانس‌های متفاوت در وسایل نقلیه حمل و نقل در جدول ۱ آمده است. این جدول معیارهای راحتی و عدم راحتی افراد را در معرض شتاب وزن‌دار فرکانسی در بازه ۰/۳۱۵-۲ متر بر مجذور ثانیه، نشان می‌دهد.

جدول ۱- معیارهای راحتی و عدم راحتی افراد در محیط‌های ارتعاش [۲]

واکنش فردی	شتاب وزن‌دار فرکانسی (متر بر مجذور ثانیه)
نبود عدم راحتی	< 0.315
عدم راحتی کم	$0.315 - 0.63$
عدم راحتی متوسط	$1 - 0.5$
عدم راحتی	$1.6 - 0.8$
عدم راحتی زیاد	$2.5 - 1.25$
عدم راحتی بسیار زیاد (بحرانی)	> 2

در بیشتر مطالعاتی که به هدف بررسی اثرات ارتعاش وارد بر بدن راننده وسیله نقلیه انجام شده، وجود یک مدل پیشگو مناسب از وسایل نقلیه بدون ساخت نمونه اولیه از آن از اهمیت بالایی برخوردار است، که در این راستا شبیه‌سازهای کامپیوتری برای ساخت یک مدل صحیح به کار می‌روند.

مطالعه و بررسی ارتعاش وارد بر بدن فرد در هنگام رانندگی با استفاده از شبیه‌سازی‌های ارتعاشی و مدل‌های کامپیوتری در دهه‌های اخیر، گسترش و بهبود یافته است. این مدل‌های ارتعاشی با مدل کردن واکنش بدن راننده امکان پیشگویی نیروها و تغییرمکان‌های ایجاد شده در سطح مشترک صندلی و انسان را میسر می‌سازند.

مدل‌ها و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری برای تحلیل پارامترهای فیزیکی تأثیرگذار در یک سیستم به کار گرفته می‌شوند. در این مدل‌سازی‌ها پوسچرهای^۱ مختلف (حالت بدنی شخص در محل کاری) در هنگام رانندگی مورد آزمون قرار می‌گیرد و در نتیجه‌ی آن، پوسچرهایی که باعث بهبود راحتی در نشستن می‌شوند انتخاب و مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در این راستا مدل‌های اجزای محدود از صندلی ماشین و نشستن انسان در بررسی اثر متقابل صندلی و انسان می‌تواند مورد استفاده واقع شود.

در مرجع [۶] یک بررسی اجزای محدود از راحتی صندلی برای سرنشینان وسایل نقلیه انجام شد، در این بررسی مدل کامل اجزای محدود از صندلی ماشین و نشستن انسان ارائه شده و در بررسی اثر متقابل صندلی و انسان مورد ارزیابی قرار گرفته است، همچنین از این مدل برای محاسبه مقادیر فشار تماسی، تنش‌های برشی تماسی و تنش‌ها در بدن استفاده شده است که می‌تواند در نشستن راحت تأثیرگذار باشد.

در مرجع [۷] اثرات دینامیکی و استاتیکی بر راحتی نشستن راننده وسیله نقلیه با روش اجزای محدود شبیه‌سازی شده است. در این مطالعه برای بررسی خصوصیات فرکانسی وابسته به فوم، ساختمان صندلی و بدن شخص از تحلیل ضمنی استفاده شده است. در این مدل‌سازی اثرات استاتیکی بدلیل تغییرمکان بزرگ ایجاد شده در بالشتک صندلی به واسطه نیروی جرم شخص نشسته مطابق با هندسه غیر خطی بوده است.

طراحی صندلی تراکتور توسط مدل‌سازی کامپیوتری و بر مبنای ملاحظات آنروپومتریک و استانداردهای موجود به طراحان کمک می‌کند تا صندلی را متناسب با نیاز جامعه طراحی کنند.

در مرجع [۸] نتایج، بیانگر این مهم است که بالشتک صندلی تراکتور ۶۰٪-۷۵٪ از جرم استاتیک بدن که وابسته به شکل و سایز بدن و نحوه‌ی استقرار در صندلی است را پشتیبانی می‌کند، در حالت دینامیکی بالشتک صندلی با نیروی بزرگ‌تری نسبت به تکیه‌گاه صندلی فشرده می‌شود، که این امر به دلیل بزرگ‌تر بودن شتاب‌ها در راستای عمودی در مقایسه‌ی با شتاب‌ها در راستای افقی است، گاهی اوقات در رانندگی ممکن است که نیروهای عمودی به بالشتک صندلی اجازه پشتیبانی آبی بیش از ۳۰٪ از جرم استاتیک را بدهند.

با توجه به مطالعات ذکر شده، طراحی صندلی تراکتورهای کشاورزی و بهبود راحتی در آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار بوده، بطوریکه این عامل در نحوه کارکرد رانندگان ماشین‌های کشاورزی نیز تأثیرگذار است، لذا در این مطالعه به بررسی تأثیر زوایای مختلف نشستگاه صندلی تراکتور برای رانندگان با آنروپومتری‌های مختلف به روش اجزای محدود پرداخته می‌شود، بطوریکه در بازه فرکانسی مشخص و در چهار شتاب تحریک، با مقایسه حالات مختلف زوایای صندلی تراکتور مسی فرگوسن مدل (۲۸۵) به زاویه یا زوایای مناسبی نائل آمد که راحتی بیشتر را برای راننده فراهم آورد.

۲- مواد و روش‌ها

در این مطالعه برای شبیه‌سازی صندلی تراکتور مسی فرگوسن از مدل‌سازی اجزای محدود در نرم‌افزار

^۱Posture

این پژوهش زوایای بیشتر از ۲۰ درجه برای نشستگاه بدلیل ایجاد بیشترین فشار بر ناحیه کفل‌ها در نظر گرفته نشده است [۱۰]، همچنین فرض بر آن است که پاهای راننده بر روی پدال‌ها واقع شده‌اند. در این پژوهش جرم‌های ۵۵، ۷۰ و ۸۵ کیلوگرم برای رانندگان ایرانی در نظر گرفته شده است.

۲-۳- مدل اجزای محدود

در این پژوهش به منظور بهینه‌سازی زوایای صندلی، تحلیل نتایج و انتخاب بهترین و نزدیک‌ترین نتایج به پوسچری که در آن راننده احساس راحتی بیشتری کند و موجب افزایش کارایی شود از آنالیز اجزای محدود استفاده شده و آنالیز مورد نظر در نرم‌افزار ABAQUS صورت گرفته است.

صندلی راننده در نرم‌افزار مذکور به همراه حالت‌های مختلف مربوط به زوایای نشستگاه صندلی با سه جرم متفاوت رانندگان شبیه‌سازی شده است. به منظور شبیه‌سازی رفتار دینامیکی صندلی تراکتور در تکیه‌گاه در محل تماس با بدن راننده و در ۴ شتاب در بازه فرکانسی ۳ تا ۶۶ هرتز از تحلیل دینامیکی صریح^۲ استفاده شده است، این نوع تحلیل ابزاری کارا برای حل گسترده‌ای از مسایل مکانیکی سازه غیرخطی است و انتخاب این نوع تحلیل در مدل‌سازی صندلی به دلیل کارایی بالای آن در تعریف تماس‌های عمومی مختلف و تغییرشکل‌های بزرگ مناسب است. در تحلیل مذکور، زمان تناوب ۰/۳ ثانیه متناسب با کم‌ترین فرکانس اعمال شده به سیستم صندلی انتخاب گردید.

در مدل‌سازی صندلی، چهار جزء از صندلی شامل نشستگاه صندلی، تکیه‌گاه صندلی، اسکلت صندلی و پایه صندلی متصل به صفحه پشتی صندلی ایجاد شدند. این اجزا همگی از نوع توپرمان^۳ بوده و به صورت تغییرشکل‌پذیر^۴ تعریف شده‌اند.

تغییرمکان‌ها به صورت جدول زمانی^۵ به سازه وارد شدند و در آخر تغییرمکان‌ها و شتاب‌های خروجی از سازه استخراج گردید. در شکل ۲ شرایط مرزی وارد بر صندلی مشخص شده است. فلش ۱ مربوط به شرایط مرزی وارد بر قسمت پشت تکیه‌گاه صندلی بود که در راستای عمودی بر اساس بیشینه تغییر مکان مقید شده است و فلش ۲ مربوط به شرایط مرزی وارد بر پایه و صفحه پشتی صندلی بوده که تغییر مکان را در همه راستاها مقید کرده است. لازم به ذکر است خصوصیات طراحی شامل شکل، ضخامت فوم‌ها، اندازه و زوایای اجزای سازنده صندلی در مدل‌سازی مطابق صندلی تراکتور مسی فرگوسن تعیین شد.

² Amplitude

³ Dynamic Explicit

⁴ Solid

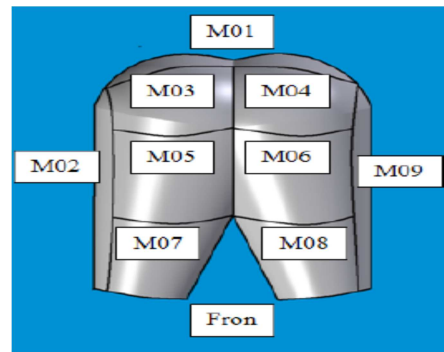
⁵ D-Deformable

ABAQUS 6-10 استفاده شده است. به منظور اعتبارسنجی مدل اجزا محدود، نتایج حاصل از شتاب‌های خروجی از شتاب‌سنج‌های نصب شده در قسمت‌های مختلف صندلی در آزمایشگاه ارگونومی با نتایج شتاب‌های حاصل از تحریکات در مدل اجزا محدود مورد مقایسه قرار گرفت.

۲-۱- محدوده توزیع فشار در نواحی تماس بدن راننده با

صندلی

توزیع فشار در محل تماس بدن شخص با سطح تماس در قسمت‌های مختلف بدن متفاوت است. برای بدست آوردن فشارهای تماسی در قسمت‌های تکیه‌گاه و نشستگاه صندلی نیاز به یک نقشه فشاری^۱ شامل سنسورهایی برای اندازه‌گیری فشار می‌باشد که در محل‌های تماس بدن راننده با صندلی نصب می‌شوند. در مرجع [۹] نتایج توزیع فشار حاصل از تماس بدن راننده با صندلی با استفاده از یک نقشه فشاری بدست آمده است که در مسئله حاضر به این داده‌ها استناد می‌شود (شکل ۱). همانطور که در شکل ۱ مشخص است نواحی تماسی بدن راننده با صندلی شامل ناحیه M01 ناحیه تماس استخوان دنبالچه، نواحی M02 و M09 بال‌های افقی از فوم نشستگاه صندلی (محل قرارگیری بافت‌های نرم بدن در قسمت کفل‌ها در هنگام نشستن)، نواحی M03 و M04 نواحی تماسی کفل‌ها، نواحی M05 و M06 نواحی تماسی در زیر ران‌ها، نواحی M07 و M08 نواحی تماسی در زیر زانوها هستند. این نواحی توسط ۲۵۶ سنسور پوشانده شده‌اند.



شکل ۱- ناحیه تماسی بدن با سطح نشستگاه صندلی

۲-۲- انتخاب محدوده تغییر پوسچرهای راننده در

زوایای مختلف

در این پژوهش برای بررسی میزان راحتی در پوسچرهای مختلف راننده نیاز به ایجاد تغییرات در زوایای نشستگاه داریم، زوایای انتخابی شامل ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه هستند. ذکر این نکته ضروری است در

¹ Pressure Map

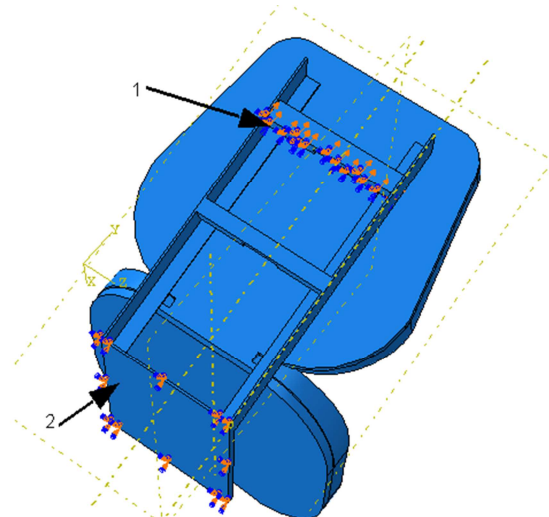
$$W = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{\alpha_i^2} [\hat{\lambda}_1^{\alpha_i} + \hat{\lambda}_2^{\alpha_i} + \hat{\lambda}_3^{\alpha_i} - 3 + \frac{1}{\beta_i} ((J^{el})^{-\alpha_i \beta_i} - 1)] \quad (1)$$

$$\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \hat{\lambda}_3 = J^{el}$$

$$\hat{\lambda}_i = (J^{th})^{-\frac{1}{3}} \lambda_i$$

J^{el} نسبت تغییر حجم تغییر شکل الاستیک و J^{th} نسبت تغییر حجم کرنش حرارتی هستند. ضریب β_i متناسب با درجه فشردگی مواد فومی بوده که وابسته به ضریب پواسون (ν_i) است. پس از انتخاب این معادله، ضرایب معادله مستخرج از مرجع [۱۱] در قسمت تعریف مواد در نرم‌افزار، بصورت تابع انرژی کرنش مرتبه دوم ($N=2$) و پارامترهای وابسته به دما بصورت (α_i) و (μ_i) تعریف شدند که ضرایب مدول برشی اولیه (μ_1) و (μ_2) به ترتیب $۱۸/۳$ و $۰/۲۱$ کیلوپاسکال و ضرایب مواد استاندارد (α_1) و (α_2) به ترتیب $۱۷/۴$ و ۲ (بدون واحد) بودند. ضرایب متناسب با درجه فشردگی مواد فومی (β_1) و (β_2) و چگالی فوم ۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شد.

در محیط مونتاژ نرم‌افزار تمامی اجزای صندلی ابتدا فراخوانی و سپس بر یکدیگر سوار شدند. شکل ۳ تصاویری از صندلی تراکتور را در نماهای مختلف نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، فنرهای صندلی به صورت المان فنر^۴ تعریف شده و مابین اسکلت صندلی و صفحه پشتی صندلی واقع شدند. در مرحله تعریف المان‌ها در این مدل‌سازی، المان‌ها به شکل چهاروجهی مرتبه اول چهارگره‌ای تعریف شدند.



شکل ۲- شرایط مرزی وارد بر صندلی: فلش شماره ۱ شرایط مرزی وارد بر قسمت پشتی صندلی و فلش شماره ۲ شرایط مرزی وارد بر پایه و صفحه پشتی صندلی

در قسمت تعریف مواد^۱ در نرم‌افزار، ویژگی‌های فولاد برای اسکلت صندلی با مدول الاستیسیته ۲۰۰ گیگاپاسکال، ضریب پواسون $۰/۳$ و چگالی ۷۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب تعریف شد.

برای قسمت نشستگاه و تکیه‌گاه صندلی جنس فوم از نوع پلی‌یورتان^۲ به صورت مواد هایپرالاستیک مشابه بالشتک صندلی وسایل نقلیه در نظر گرفته شد. مواد هایپرالاستیک دارای خواص فیزیکی مشابه غیرخطی فشرده بوده که غیرخطی بودن روابط تنش-کرنش در این مواد به صورت یک تابع پتانسیل انرژی کرنش (معادله ۱) بیان می‌شود.

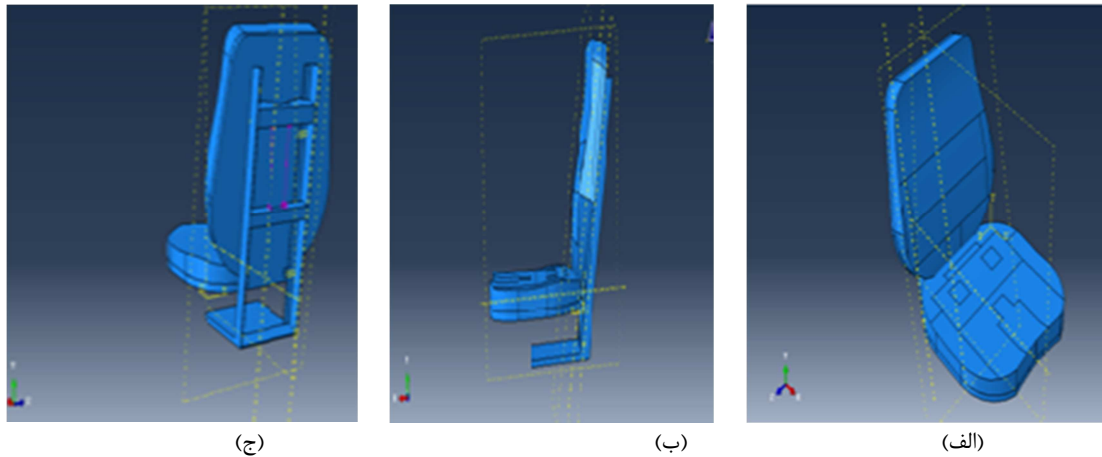
طبق معادله (۱) از معادله اگدن^۳ در تحلیل خصوصیات غیرخطی فوم‌های نشستگاه و تکیه‌گاه صندلی استفاده شده است.

درجایی که ($N=1, 2, 3$) باشد، این تابع به صورت مدل چندفرمولی مطرح می‌شود که در این مطالعه تابع انرژی کرنش مرتبه دوم ($N=2$) استفاده شده است.

μ_i ، β_i و α_i پارامترهای مواد هستند که وابسته به دما می‌باشند. λ_i ها عامل اصلی کشش و ارتجاع هستند.

1 Property
2 Poly-urethane
3 Ogden

4 Spring elemen

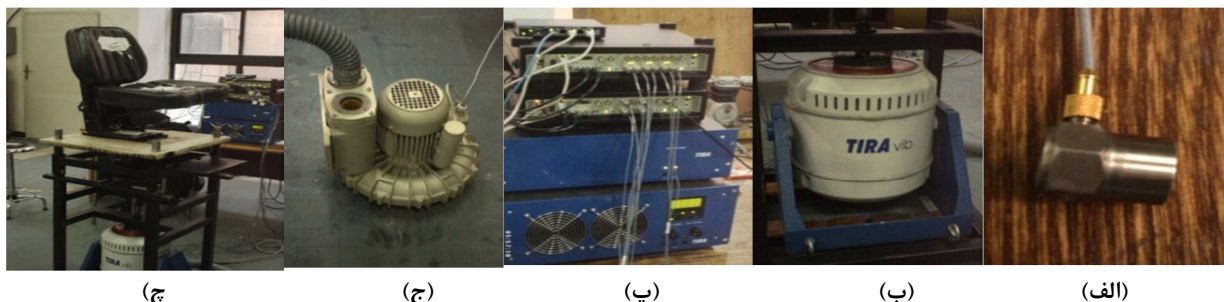


شکل ۳- نماهای مختلف صندلی تراکتور: (الف) نمای جلوی صندلی تراکتور، (ب) نمای جانبی صندلی تراکتور، (ج) نمای پشتی صندلی تراکتور

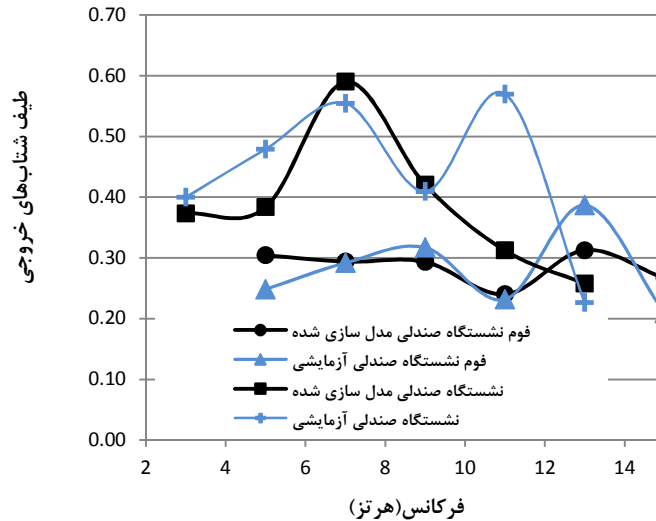
۳- اعتبارسنجی مدل اجزای محدود با توجه به نتایج آزمایشگاهی

برای انجام آزمون عملی بر صندلی تراکتور مسی فرگوسن، نیاز است این صندلی در محدوده فرکانسی مشخص با اعمال شتاب تحریک تراکتور به ارتعاش واداشته شود [۱۲] که برای این منظور صندلی تراکتور مسی فرگوسن توسط یک لرزاننده هیدروالکتریکی در فرکانسها و شتابهای مختلف به ارتعاش واداشته شد. شتابهای خروجی حاصل از شتابهای تحریک صندلی توسط دستگاه اندازه‌گیری ارتعاش ثبت گردید. این دستگاه دارای قسمت‌هایی چون شتاب سنج یک جهتی مدل (DJB Type A/120/V Serial No. 2784, 2785, 2786 & 2787)، دستگاه لرزاننده (مدل TIRA5220)، تقویت کننده، کمپرسور هوا و نرم افزار پردازش سیگنال PULSE Lab Shop Ver.8 ساخت شرکت Brüel & Kjær می‌شد که قابلیت اندازه‌گیری و اعمال ارتعاش در محدوده فرکانسی ۰-۴۰۰۰ هرتز را دارا بود (شکل ۴). شتابسنج‌های دستگاه اندازه‌گیری ارتعاش بر ساختار بدون فوم صندلی و بر فوم‌های تکیه‌گاه و فوم نشستگاه صندلی نصب شدند که علت انتخاب این قسمت‌ها برای

نصب شتابسنج‌ها بر حسب استانداردهای جهانی به منظور بررسی دامنه مؤثر انتقال‌پذیری بر ساختار بدون فوم صندلی (صندلی استاندارد) و ساختار فومی صندلی بوده است [۲]. به منظور اعتبارسنجی مدل اجزای محدود صندلی راننده، نتایج شتابهای خروجی حاصل از شتابهای تحریک در دو صندلی مدل‌سازی شده و صندلی آزمایشی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج طیف شتابهای خروجی حاصل از شتاب تحریک ۱/۵ متر بر مجذورثانیه بر صندلی تراکتور در بازه فرکانسی ۳ تا ۱۵ هرتز در دو صندلی آزمایشگاهی و مدل‌سازی شده در نرم‌افزار اجزا محدود در قسمت‌های نشستگاه بدون فوم و فوم نشستگاه صندلی راننده در شکل ۵ نشان داده شده است، همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود روند افزایش و کاهش طیف شتابهای خروجی در دو وضعیت صندلی آزمایشی و صندلی مدل‌سازی شده در محدوده فرکانسی تقریباً یکسان است و اختلاف اندک مشاهده شده میان داده‌های شتاب در دو وضعیت که در جدول ۲ گزارش شده است می‌تواند بدلیل خطاهای آزمایشی در نحوه کالیبره کردن دستگاه شتابسنج باشد.



شکل ۴- قسمت‌های مختلف دستگاه اندازه‌گیری ارتعاش و ثبت آن: (الف) شتابسنج یک جهتی، (ب) دستگاه لرزاننده، (پ) تقویت کننده، (ج) کمپرسور هوا و (ج) صندلی آزمایشی



شکل ۵- طیف شتاب های خروجی در قسمت های فوم‌های نشستگاه و نشستگاه بدون فوم در شتاب تحریک ۱/۵ متر برمجذور ثانیه

جدول ۲- درصد خطا در داده‌های شتاب خروجی از نشستگاه صندلی آزمایشی و صندلی مدل‌سازی شده

درصد خطا در نشستگاه صندلی	فرکانس (هرتز)	شتاب تحریک (متر بر مجذور ثانیه)
۰	۳	
۶/۷۱	۵	
۱/۵۹	۷	
۱۶/۴۰	۹	۱/۵
۰	۱۱	
۹/۵۴	۱۳	
۲۲/۷۰	۱۵	

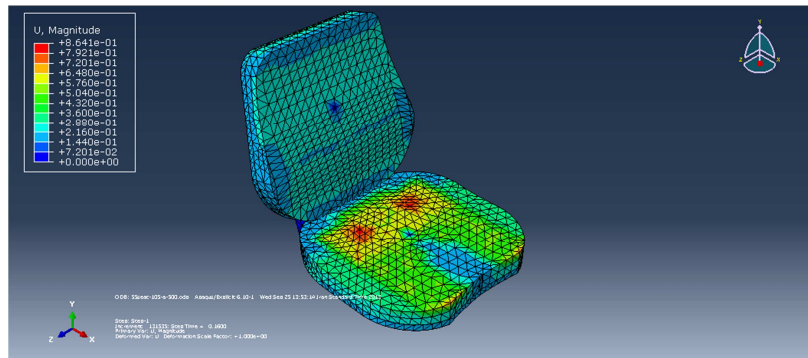
نتایج به دست آمده از تحلیل‌های آماری به منظور مقایسه زوایای نشستگاه صندلی از نقطه نظر راحتی، بررسی و زوایای بهینه مشخص شد.

۴-۱- بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی اجزای محدود

مناطق تماسی بدن راننده با صندلی به ۹ ناحیه اصلی برای نشستگاه صندلی تقسیم شدند (شکل ۱)، از این رو پس از مدل‌سازی اجزای محدود در نرم‌افزار، مناطقی با فشارهای بحرانی از میان این نواحی مشخص شدند. این نواحی در شکل ۶ با کانتورهای رنگی متفاوت مشخص شده‌اند و شامل ناحیه پشت کفل‌ها، ناحیه بحرانی پشت کفل‌ها (با فشار تماسی و تغییر مکان بیشتر نسبت به سایر نقاط پشت کفل‌ها) و ناحیه استخوان دنبالچه برای قسمت نشستگاه می‌باشند.

۴- نتایج و بحث

با توجه به اهداف این مطالعه، تجزیه و تحلیل آماری نتایج در بررسی شتاب‌های خروجی در محدوده مشخصی از زوایا برای نشستگاه صندلی تراکتور در محدوده‌ای از شتاب‌های تحریک و فرکانس، برای سه جرم متفاوت از رانندگان ایرانی که در نرم‌افزار اجزای محدود Abaqus برای هر حالت مدل‌سازی شده بود با استفاده از نرم‌افزار SPSS و ویرایش ۲۰ انجام گرفت این تجزیه و تحلیل آماری به منظور استخراج میانگین تیمارهای مختلف آزمایش و بررسی وجود اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها صورت گرفته است. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.



شکل ۶- صندلی مدل سازی شده در نرم افزار ABAQUS با کانتورهای رنگی مشخص شده در هر ناحیه تماسی

تمام نواحی تماسی و میانگین‌های اثرات متقابل جرم راننده و فرکانس، فرکانس و زاویه نشستگاه بر مقادیر شتاب خروجی در تمام نواحی تماسی به غیر از دو ناحیه معنی‌دار بوده، اما میانگین‌های اثرات متقابل شتاب تحریک و فرکانس، جرم راننده و شتاب تحریک، شتاب تحریک و زاویه نشستگاه بر مقادیر شتاب خروجی در هیچ یک از نواحی معنی‌دار نبوده است.

۴-۲- نتایج تجزیه و تحلیل سطوح شتاب در نواحی تماسی بدن راننده با صندلی

در این بخش، نتایج تجزیه واریانس سطوح شتاب خروجی برای نواحی تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی ارائه شده است. این نتایج که در جدول ۳ نشان داده شده است، بیان می‌کند. میانگین‌های اثرات زاویه نشستگاه، جرم راننده و فرکانس بر مقادیر شتاب خروجی در تمام نواحی تماسی در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده است، در حالی که میانگین اثر شتاب تحریک بر مقادیر شتاب خروجی در هیچ یک از نواحی معنی‌دار نبوده است. همچنین میانگین‌های اثرات متقابل زاویه تکیه‌گاه و جرم راننده بر مقادیر شتاب خروجی در

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس میانگین‌های شتاب خروجی در نواحی تماسی بدن با نشستگاه صندلی

نواحی تماسی بدن با نشستگاه صندلی						درجه آزادی	منابع تغییر
بال‌های افقی نشستگاه	زیر کفل‌ها	زیر زانو‌ها	زیر ران‌ها	بحرانی زیر کفل‌ها	استخوان دنبالچه		
۱/۷۴۵°	۹/۵۵۴°	۹/۵۴۸°	۶/۶۰۴°	۱۹/۵۷۵°	۱۴/۳۱۵°	۲	جرم راننده
۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{ns}	۰/۰۲۹ ^{ns}	۰/۱۹۹ ^{ns}	۳	شتاب تحریک
۱/۶۷۳°	۹/۵۲۴°	۶/۱۴۹°	۹/۰۴۷°	۱۸/۳۹۹°	۱۵/۶۲۹°	۱۲	فرکانس
۰/۲۰۵°	۱۲/۲۶۰°	۳/۵۰۲°	۱/۷۶۴°	۵۷/۱۰۵°	۵/۸۳۷°	۴	زاویه نشستگاه
۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۱/۰۰۷ ^{ns}	۶	جرم راننده×شتاب تحریک
۰/۰۲۷°	۰/۱۷۴ ^{ns}	۰/۱۳۷°	۰/۱۳۷°	۰/۳۶۴ ^{ns}	۰/۱۹۷°	۲۴	جرم راننده×فرکانس
نواحی تماسی بدن با نشستگاه صندلی						درجه آزادی	منابع تغییر
بال‌های افقی نشستگاه	زیر کفل‌ها	زیر زانو‌ها	زیر ران‌ها	بحرانی زیر کفل‌ها	استخوان دنبالچه		
۰/۰۲۰°	۰/۳۹۱°	۰/۱۸۶°	۰/۴۵۳°	۱/۲۰۷°	۰/۱۹۹°	۸	جرم راننده×زاویه نشستگاه
۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۲۳۵ ^{ns}	۳۶	شتاب تحریک×فرکانس
۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۲۰ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{ns}	۰/۰۲۶ ^{ns}	۱۲	زاویه نشستگاه×شتاب تحریک
۰/۰۰۸°	۰/۱۳۶ ^{ns}	۰/۰۴۶ ^{ns}	۰/۱۴۱°	۰/۷۶۴°	۰/۲۷۷°	۴۸	زاویه نشستگاه×فرکانس
۰/۰۰۴	۰/۱۳۵	۰/۰۴۱	۰/۰۵۱	۰/۳۷۳	۰/۱۰۴	۲۴۲۴	خطا
-	-	-	-	-	-	۳۲۰۴	جمع کل

* و ^{ns} به ترتیب سطوح معناداری ۵٪ و (not significant) عدم معنی‌داری را نشان می‌دهند.

۴-۲-۱- اثرات اصلی فاکتورها بر مقادیر شتاب نواحی

تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی

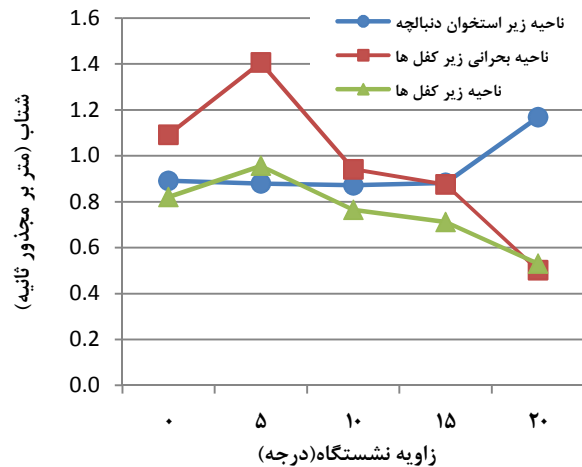
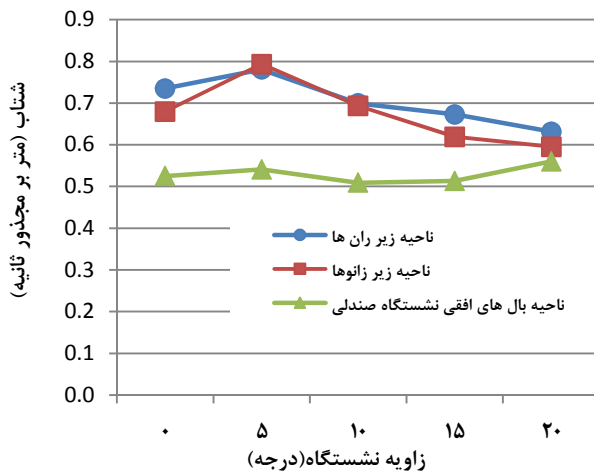
۴-۲-۱-۱- اثر زاویه نشستگاه بر شتاب نواحی تماسی

بدن راننده با نشستگاه صندلی

بررسی نتایج واریانس نشان‌دهنده این بود که میانگین‌های اثر زاویه نشستگاه بر مقادیر شتاب نواحی تماسی معنی‌دار بوده است. در شکل ۷ مشاهده می‌شود که در ناحیه زیر استخوان دنبالچه با افزایش زوایا از ۰ تا ۵ درجه، شتاب تقریباً ثابت بوده و با افزایش زوایا از ۱۵ تا ۲۰ درجه شتاب در این ناحیه افزایش شدیدی داشته بطوریکه در زاویه ۲۰ درجه، شتاب در محدوده منطقه عدم راحتی (جدول ۲) قرار می‌گیرد. در ناحیه بحرانی زیر کفل‌ها، ناحیه زیر کفل‌ها، ناحیه زیر ران‌ها و ناحیه زیر زانو‌ها با افزایش زوایا در محدوده ۵ تا ۲۰ درجه، شتاب کاهش یافته است. در ناحیه بال‌های افقی نشستگاه، شتاب

محدوده زوایای نشستگاه تقریباً ثابت بوده و تنها در زاویه ۲۰ درجه افزایش اندکی داشته است.

بطور کلی در تمامی نواحی تماسی نشستگاه، شتاب در محدوده ۵ تا ۱۵ درجه تقریباً ثابت و در سطح پایینی قرار دارد به این ترتیب این محدوده زوایا، محدوده مناسبی برای انتخاب زوایای نشستگاه است که در مباحث بعدی بهترین زوایا در این محدوده مشخص خواهد شد. قابل ذکر است زاویه ۲۰ درجه به دلیل افزایش شدید شتاب در قسمت زیر استخوان دنبالچه نمی‌تواند زاویه مناسبی برای نشستگاه باشد، زیرا ناحیه استخوان دنبالچه از لحاظ ارگونومی ناحیه حساس و آسیب‌پذیری بوده و شتاب بالا در این ناحیه خطرناک و آسیب‌رسان است.



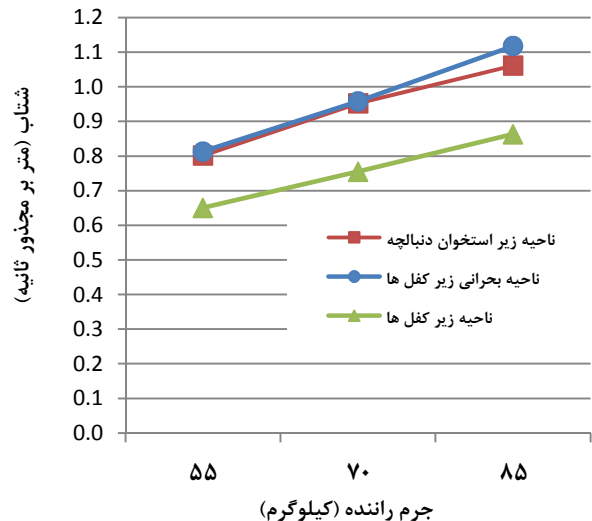
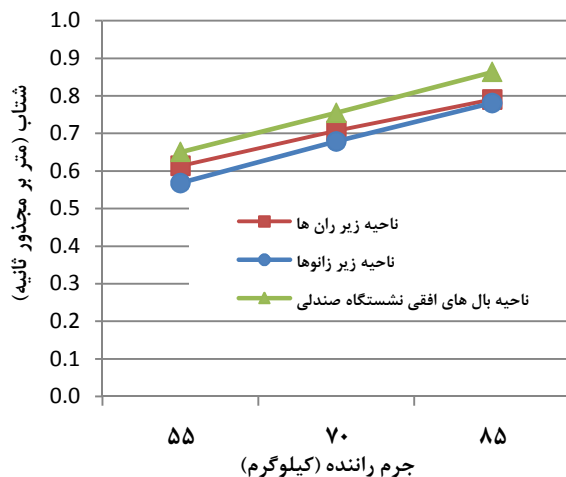
شکل ۷- میانگین‌های اثر زاویه نشستگاه بر مقادیر شتاب نواحی تماسی نشستگاه صندلی (چپ و راست)

در تمامی نواحی تماسی، شتاب افزایش یافته است و این عامل ممکن است بدین علت باشد که با افزایش جرم راننده، فشار تماسی بدن در ناحیه نشستگاه افزایش یافته و موجب افزایش تغییر مکان و در نهایت افزایش شتاب شده است.

۴-۲-۱-۲- اثر جرم راننده بر شتاب نواحی تماسی بدن

راننده با نشستگاه صندلی

بررسی نتایج تحلیل واریانس نشان‌دهنده این بود که جرم راننده بر مقادیر شتاب نواحی تماسی معنی‌دار بوده است. در شکل ۸ مشاهده می‌شود با افزایش جرم

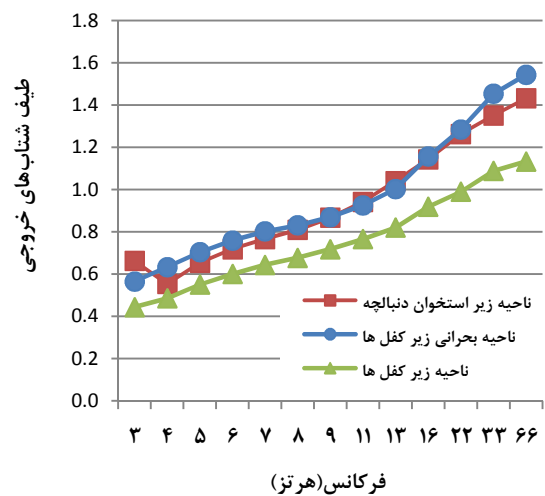
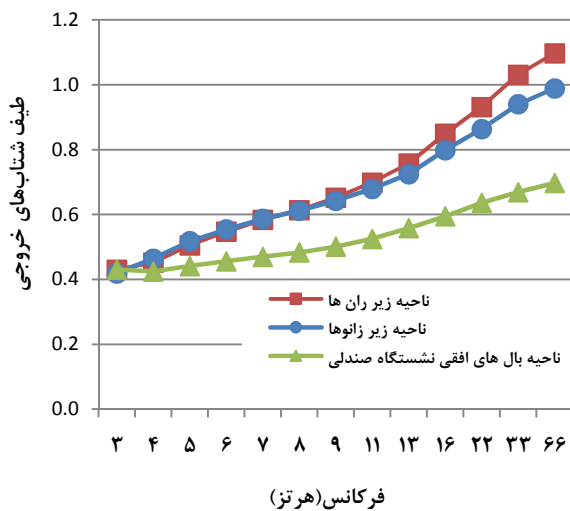


شکل ۸- میانگین های اثر جرم راننده بر مقادیر شتاب نواحی تماسی نشستگاه صندلی (چپ و راست)

محدوده شتاب منطقه عدم راحتی رسیده است و این گویای این نکته است که این محدوده فرکانسی برای این ناحیه مناسب نیست. بدین ترتیب محدوده فرکانسی ۱۳ تا ۶۶ هرتز برای ناحیه زیر کفل ها، محدوده فرکانسی ۱۶ تا ۶۶ هرتز برای نواحی زیر ران ها و زیر زانوها با افزایش شتاب در این نواحی، شرایط عدم راحتی را برای راننده ایجاد می کنند.

۴-۲-۱-۳- اثر فرکانس بر شتاب نواحی تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی

بررسی نتایج واریانس نشان دهنده این بود که میانگین های اثر فرکانس بر مقادیر شتاب نواحی تماسی معنی دار بوده است. در شکل ۹ مشاهده می شود، با افزایش فرکانس از ۳ تا ۶۶ هرتز شتاب تقریباً در تمامی نواحی افزایش داشته است. در ناحیه زیر استخوان دنبالچه و ناحیه بحرانی زیر کفل ها، شتاب در محدوده فرکانس ۸ تا ۶۶ هرتز به



شکل ۹- میانگین های اثر فرکانس بر مقادیر شتاب نواحی تماسی نشستگاه صندلی (چپ و راست)

۴-۲-۲- اثرات متقابل فاکتورها بر مقادیر شتاب نواحی

تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی

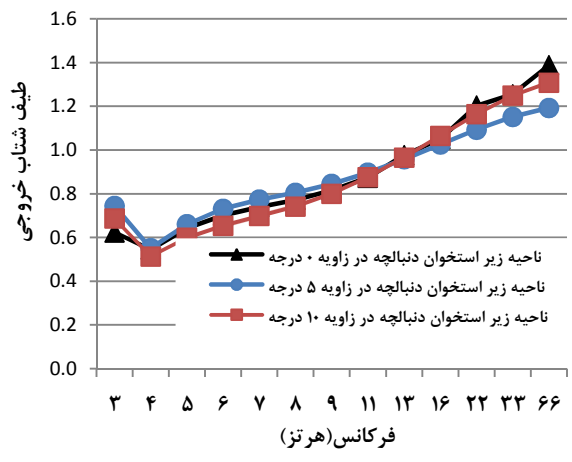
۴-۲-۱-۱- اثر متقابل زاویه نشستگاه و فرکانس بر

شتاب نواحی تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی

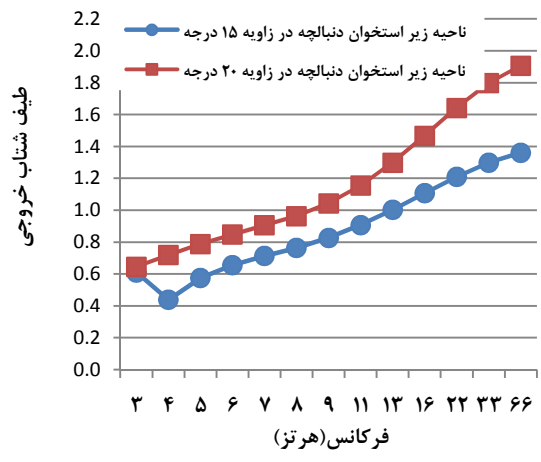
با توجه به بررسی نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که میانگین های اثر متقابل زاویه نشستگاه و فرکانس بر مقادیر شتاب در نواحی تماسی نشستگاه به جز ناحیه زیر کفل ها و ناحیه زیر زانوها، معنی دار بوده است.

با توجه به مرجع [۱۳] در فرکانس ۶۶ هرتز ناراحتی در قسمتی از بدن در تماس با نشستگاه صندلی افزایش یافته است که این مطلب با افزایش شتاب در فرکانس ۶۰ هرتز در قسمت نشستگاه صندلی و نزدیک شدن شتاب به شتاب منطقه عدم راحتی در این مطالعه مطابقت دارد.

شتاب در محدوده ۶ تا ۶۶ هرتز به محدوده شتاب منطقه عدم راحتی رسیده است و این نکته بیانگر این است که انتخاب زاویه ۲۰ درجه برای نشستگاه، موجب افزایش انتقال‌پذیری ارتعاش در ناحیه استخوان دنباله شده و ایمنی را برای این ناحیه به حداقل ممکن می‌رساند.



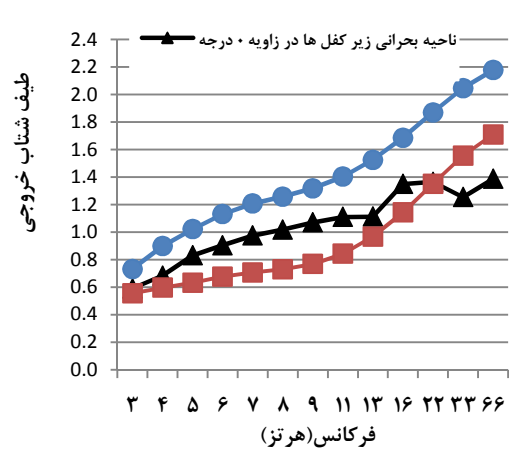
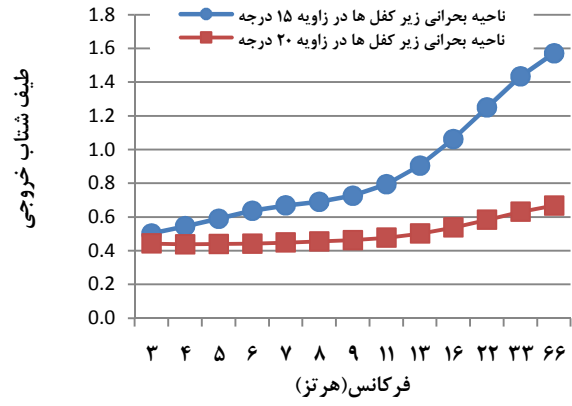
در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود شتاب در ناحیه زیر استخوان دنباله در محدوده فرکانسی ۴ تا ۶۶ هرتز برای تمامی زوایای نشستگاه در حال افزایش بوده است. همان‌طور که مشخص است شتاب برای زوایای ۰ تا ۱۵ درجه در محدوده فرکانسی ۹ تا ۶۶ هرتز و برای زاویه ۲۰ درجه



شکل ۱۰- میانگین‌های اثر متقابل زاویه نشستگاه و فرکانس بر مقادیر شتاب نواحی تماسی نشستگاه صندلی (چپ و راست)

ایمنی رسیده است. لذا زوایای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه نشستگاه صندلی برای ناحیه بحرانی زیر کفل‌ها، راحتی بیشتری نسبت به زوایای دیگر فراهم می‌کنند.

در شکل ۱۱ مشخص است شتاب در ناحیه بحرانی زیر کفل‌ها در زوایای ۰ و ۵ درجه در فرکانس‌های پایین به شتاب بحرانی منطقه عدم ایمنی رسیده است (جدول ۳) و در زوایای ۱۰ و ۱۵ درجه در محدوده فرکانس ۱۱ تا ۶۶ هرتز شتاب این ناحیه به منطقه عدم



شکل ۱۱- میانگین‌های اثر متقابل زاویه نشستگاه و فرکانس بر مقادیر شتاب نواحی تماسی نشستگاه صندلی (چپ و راست)

۴-۲-۲-۲-۲-۲ اثر متقابل زاویه نشستگاه و جرم راننده بر شتاب نواحی تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی

با توجه به بررسی نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که میانگین‌های اثر متقابل زاویه نشستگاه و جرم راننده بر مقادیر شتاب در نواحی تماسی نشستگاه معنی‌دار بوده است. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود شتاب در محدوده ۱۰ تا ۱۵ درجه برای سه جرم ۵۵، ۷۰ و ۸۵ کیلوگرم برای بیشتر تمامی نواحی در سطح پایینی و استاندارد قرار داشته است، نکته قابل توجه در نمودارهای شتاب، افزایش سطح شتاب با افزایش جرم بوده، بخصوص در جرم ۸۵ کیلوگرم مشاهده می‌شود سطوح شتاب در بیشتر نواحی در محدوده منطقه عدم راحتی قرار داشته است.

به طور کلی بررسی اثر متقابل زاویه نشستگاه و فرکانس بر شتاب نواحی تماسی نشستگاه نشان می‌دهد که انتخاب محدوده زوایای ۱۰ تا ۱۵ درجه، انتخاب مناسبی برای نشستگاه صندلی است، زیرا این زوایا در تمام نواحی به عنوان زوایای بهینه مطرح شده و انتقال‌پذیری ارتعاش در این زوایا نسبت به سایر زوایا در بیشتر نواحی تماسی کمتر بوده است، به عبارت دیگر این زوایا ایمنی بیشتری را برای راننده در نواحی تماسی با نشستگاه فراهم می‌کنند.

جدول ۴- نتایج اثر متقابل زاویه نشستگاه و جرم راننده بر شتاب نواحی تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی

جرم راننده (کیلوگرم)	نواحی تماسی	میانگین مربعات شتاب‌های خروجی (متر بر مجذور ثانیه) در زوایای نشستگاه صندلی (درجه)				
		۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰
۵۵	استخوان دنبالچه	۰/۹۸۹	۰/۷۶۱	۰/۷۸۵	۰/۶۸۱	۰/۷۳۹
	بحرانی زیر کفل‌ها	۰/۴۶۵	۰/۷۵۹	۰/۸۰۳	۱/۱۷۵	۰/۷۶۵
	زیر ران‌ها	۰/۵۹۲	۰/۵۶۹	۰/۶۱۷	۰/۶۷۷	۰/۵۸۶
	زیر زانو‌ها	۰/۵۳۰	۰/۴۶۵	۰/۵۹۹	۰/۶۸۴	۰/۵۶۳
	زیر کفل‌ها	۰/۴۸۴	۰/۶۲۶	۰/۶۶۵	۰/۸۲۰	۰/۶۵۶
	بال‌های افقی نشستگاه	۰/۴۶۳	۰/۴۷۴	۰/۴۷۱	۰/۴۹۵	۰/۴۶۳
۷۰	استخوان دنبالچه	۱/۱۷۶	۰/۸۸۲	۰/۸۷۵	۰/۸۷۹	۰/۹۴۹
	بحرانی زیر کفل‌ها	۰/۵۰۱	۰/۸۷۵	۰/۹۳۷	۱/۴۰۶	۱/۰۷۲
	زیر ران‌ها	۰/۶۶۹	۰/۶۷۴	۰/۶۹۹	۰/۷۵۰	۰/۷۴۴
	زیر زانو‌ها	۰/۵۴۹	۰/۶۵۸	۰/۶۹۵	۰/۷۶۲	۰/۶۸۵
	زیر کفل‌ها	۰/۵۳۲	۰/۷۱۲	۰/۷۶۲	۰/۹۵۵	۰/۸۱۳
	بال‌های افقی نشستگاه	۰/۵۶۴	۰/۵۱۴	۰/۵۱۰	۰/۵۴۰	۰/۵۳۲
۸۵	استخوان دنبالچه	۱/۳۳۹	۱/۰۰۳	۰/۹۸۱	۰/۹۷۷	۰/۹۸۶
	بحرانی زیر کفل‌ها	۰/۵۴۰	۰/۹۹۱	۱/۰۸۳	۱/۶۳۷	۱/۳۳۹
	زیر ران‌ها	۰/۶۳۳	۰/۷۴۸	۰/۷۸۲	۰/۹۱۴	۰/۸۷۵
	زیر زانو‌ها	۰/۶۶۲	۰/۷۳۳	۰/۷۸۶	۰/۹۳۴	۰/۷۹۰
	زیر کفل‌ها	۰/۵۷۴	۰/۷۹۶	۰/۸۶۵	۱/۰۹۲	۰/۹۸۹
	بال‌های افقی نشستگاه	۰/۶۰۳	۰/۵۵۲	۰/۵۴۶	۰/۵۸۸	۰/۵۸۱

فرکانس، فرکانس و زاویه نشستگاه بر مقادیر شتاب خروجی در تمام نواحی تماسی به غیر از دو ناحیه معنی‌دار بوده است.

نتایج نمودارهای شتاب نواحی تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی در محدوده زوایای ۰ تا ۲۰ درجه نشان داد شتاب در محدوده ۵ تا ۱۵ درجه تقریباً ثابت و در سطح پایینی قرار دارد، به این ترتیب این محدوده زوایا، محدوده مناسبی برای انتخاب زوایای نشستگاه صندلی است.

نتایج نشان داد زاویه ۲۰ درجه عامل افزایش شدید شتاب در ناحیه زیر استخوان دنبالچه بوده است لذا این زاویه برای شیب نشستگاه صندلی توصیه نمی‌شود.

تحلیل میانگین‌های اثرات متقابل زاویه نشستگاه بر فاکتورهای جرم راننده و فرکانس نشان داد که انتخاب محدوده زوایای ۱۰ تا ۱۵ درجه، انتخاب مناسبی برای نشستگاه صندلی است، زیرا این زوایا در تمام نواحی تماسی به عنوان زوایای بهینه مطرح شده و انتقال‌پذیری ارتعاش در این زوایا نسبت به سایر زوایا در بیشتر نواحی تماسی کمتر بوده است، به عبارت دیگر این زوایا ایمنی بیشتری را برای راننده در هر سه جرم (۵۵، ۷۰ و ۸۵ کیلوگرم) در نواحی تماسی با نشستگاه فراهم می‌کنند.

بررسی اثر جرم راننده بر شتاب نواحی تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی گویای این مهم بود که با افزایش جرم در تمامی نواحی تماسی، شتاب افزایش یافته است و این عامل ممکن است بدین علت

بطور کلی نتیجه می‌شود رانندگان با محدوده جرمی ۵۵ تا ۷۰ کیلوگرم در معرض شتاب کمتری نسبت به رانندگان با محدوده جرمی ۷۰ تا ۸۵ کیلوگرم هستند.

۵- نتیجه‌گیری

بررسی نتایج تغییرمکان‌های خروجی حاصل از فشارهای تماسی بدن راننده با صندلی نشان داد، ناحیه پشت کفل‌ها، ناحیه بحرانی پشت کفل‌ها (ناحیه مرکزی کفل‌ها) و ناحیه استخوان دنبالچه در قسمت نشستگاه صندلی به واسطه بیشترین فشار تماسی با صندلی بیشترین تغییرمکان را داشته‌اند.

اعتبارسنجی مدل اجزای محدود ارائه شده برای صندلی تراکتور در این مطالعه توسط نتایج آزمایشگاهی انجام گرفت و نتایج بدست آمده صحت مدل مورد نظر را تأیید کرد، در نتیجه این مدل می‌تواند مبنای مناسبی برای طراحی صندلی‌های جدید تراکتور با قابلیت راحتی بیشتر برای راننده کشاورز باشد.

بررسی نتایج تجزیه واریانس شتاب خروجی در نواحی تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی نشان داد میانگین‌های اثرات زاویه نشستگاه، جرم راننده و فرکانس بر مقادیر شتاب خروجی در تمام نواحی تماسی در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده است، همچنین میانگین‌های اثرات متقابل زاویه نشستگاه و جرم راننده بر مقادیر شتاب خروجی در تمام نواحی تماسی و میانگین‌های اثرات متقابل جرم راننده و

[10] Zenk R., Mergl Ch., Hartung J., Sabbah O., Bubb H., Objectifying the Comfort of Car Seats, SAE Technical Paper Series, World Congress: Detroit, Michigan, April 3-6, 2006.

[11] Mircheski I., Kandikjan T., 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, Karpos II - bb, 1000 Skopje, Republic of Macedonia, 2010.

[۱۲] ملکی، ع.، محتسبی، س. (۱۳۸۹)، شبیه‌سازی و ارزیابی مدل ارتعاشی بدن انسان و صندلی تراکتور، هفتمین کنفرانس مهندسی پزشکی ایران، ۱۳ و ۱۲ آبان.

[13] Whitham E., Griffin M.J., The effects of vibration frequency and direction on the location of areas of discomfort caused by whole-body vibration, Applied Ergonomics 9:231-239, 1978.

باشد که با افزایش جرم راننده، فشار تماسی بدن در ناحیه نشستگاه افزایش یافته و موجب افزایش تغییر مکان و در نهایت افزایش شتاب شده است.

تحلیل اثر فرکانس بر شتاب نواحی تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی نشان داد با افزایش فرکانس از ۳ تا ۶۶ هرتز شتاب تقریباً در تمامی نواحی افزایش داشته است و در ناحیه زیر استخوان دنبالچه و ناحیه بحرانی زیر کفل‌ها، شتاب در محدوده فرکانس ۸ تا ۶۶ هرتز به محدوده شتاب منطقه عدم راحتی رسیده است لذا این محدوده فرکانسی برای این ناحیه مناسب نیست، همچنین محدوده فرکانسی ۱۳ تا ۶۶ هرتز برای ناحیه زیر کفل‌ها، ناحیه ۱۶ تا ۶۶ هرتز برای نواحی زیر ران‌ها و زیر زانو‌ها با افزایش شتاب در این نواحی، شرایط عدم راحتی و عدم ایمنی برای راننده را ایجاد می‌کنند.

بررسی نتایج اثر متقابل جرم راننده و فرکانس بر شتاب نواحی تماسی بدن راننده با نشستگاه صندلی مشخص کرد که شتاب مناطق با افزایش جرم و فرکانس، افزایش یافته و انتقال‌پذیری ارتعاش در بدن رانندگانی با جرم ۸۵ کیلوگرم بیشتر از رانندگان با جرم ۵۵ و ۷۰ کیلوگرم بوده است.

۷- سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد انجام شد؛ بدین وسیله مراتب تشکر و سپاس خود را اعلام می‌داریم.

۶- منابع

- [1] Boggs C. M., Field study to evaluate driver fatigue on air-inflated truck cushions, Master of Science thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA, 2004.
- [2] International Standard 2631-1, Mechanical Vibration and Shock—Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration—Part 1: General Requirements, ISO, Geneva, 1997.
- [3] Maeda S., Mansfield N.J., Shibata N., Evaluation of subjective responses to whole-body vibration exposure: Effect of frequency content, International Journal of Industrial Ergonomics 38:509–515, 2008.
- [4] Wei L., Griffin M.J., The influence of seat cushion inclination on subject apparent mass and seat transmissibility, United Kingdom Group Meeting, 1998.
- [5] Andersson G.B.J., Loads on the spine during sitting", In: The Ergonomics of Working Postures. Taylor and Francis, London, 1986.
- [6] Gruzicic M., Pandurangan B., Arakere G., Bell W.C. He T., Xie X., Seat-cushion and soft-tissue material modeling and a finite element investigation of the seating comfort for passenger-vehicle occupants, Materials and Design 30: 4273–4285, 2009.
- [7] Siefert A., Pankoke S., Wolfel H. P., Virtual optimization of car passenger seats: Simulation of static and dynamic effects on drivers' seating comfort International Journal of Industrial Ergonomics 38 :410–424, 2008.
- [8] Pywell J.F." Automotive seat design affecting comfort and safety, Society of Automotive Engineers, Technical Paper Series 930108, 1993.
- [9] Naseri A., A Thesis. Interface pressure and vibration comfort evaluation of an air-cushion suspension seat, Concordia University, 2011.