

طراحی، شبیه‌سازی و ارزیابی تشکجه ارگونومی صندلی برای کاهش ارتعاش منتقل شده به راننده

حمیده رئیسی وانانی^۱، علی ملکی^{۱*}، شاهین بشارتی^۱ و احسان اله حبیبی^۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲۵

۱- گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهرکرد

۲- گروه بهداشت حرفه‌ای دانشگاه اصفهان

*مستول مکاتبه maleki_ali@iran.ir

چکیده

رانندگان تراکتور در محدوده بزرگی از ارتعاشات قرار دارند، به طوری که منجر به ناراحتی آنان شده و آسیب‌های طولانی مدت یا دائمی را برای آنان بوجود می‌آورد. یکی از راه‌حل‌های این مسئله کاهش ارتعاشات منتقل شده به راننده با انتخاب مناسب تشکجه صندلی است. بر همین اساس تشکجه‌ای ارگونومی مخصوص اپراتورهای ایرانی طراحی و با تشکجه صندلی موجود مقایسه شد. هر دو مدل تشکجه در محدوده فرکانس ۳ تا ۶۶ هرتز در چهار شتاب تحریک ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر مجذور ثانیه برای سه گروه راننده با جرم‌های ۵۵، ۷۰ و ۸۵ کیلوگرم با استفاده از روش اجزای محدود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که نشیمن‌گاه تشکجه ارگونومی در محدوده شتاب‌های مورد آزمایش راحتی و آسایش بیشتری را برای راننده فراهم می‌کند و می‌تواند جایگزین مناسبی برای نشیمن‌گاه تشکجه صندلی موجود باشد. این در حالی است که بررسی شتاب نواحی تماسی بدن راننده با تکیه‌گاه صندلی نشان داد که تکیه‌گاه صندلی موجود برای راننده راحتی و آسایش بیشتری را نسبت به تشکجه ارگونومی فراهم می‌کند. بنابراین ترکیب نشیمن‌گاه تشکجه ارگونومی و تکیه‌گاه صندلی موجود می‌تواند باعث بهبود کارایی تشکجه صندلی موجود تراکتور در کاهش ارتعاشات منتقل شده به صندلی گردد.

واژه‌های کلیدی: اجزا محدود، ارتعاش، ارگونومی، تشکجه، نشیمن‌گاه

باید در طراحی نشیمن‌گاه صندلی در نظر گرفته شود (پروئل، ۱۹۸۰).

۱- مقدمه

داده‌های آنتروپومتری، اطلاعات اندازه بدن انسان هستند که با توجه به فیزیک بدنی انسان در اندازه، وزن، قدرت، شکل و ... از شخصی به شخص دیگر متفاوت هستند. داده‌های آنتروپومتری ممکن است برای کل جمعیت یک کشور یا گروه خاصی اندازه‌گیری شوند. برای طراحی ارگونومیکی ماشین‌های کشاورزی از مقادیر کرانه‌ها یا متوسط داده‌های آنتروپومتری و معمولاً از صدک‌های پنجم و نود و پنجم استفاده می‌شود. در یک طراحی مناسب ۹۰ درصد از جمعیت مطالعه شده در شمارش وارد شده و ده درصد جمعیت حذف می‌شوند. خارج از این کرانه‌ها گستره بزرگی قرار دارد که وارد کردن آن‌ها در تصمیم‌گیری اقتصادی نیست. در مقایسه داده‌های آنتروپومتری کشاورزان تانزانیا، آمریکا و هند مشخص شد که داده‌های آنتروپومتری رانندگان تراکتور یک کشور نمی‌تواند برای طراحی ماشین‌های کشاورزی در کشور دیگر مورد استفاده قرار گیرد (لینگز و لبوف-وای دی، ۲۰۰۰).

قادری و همکاران (۲۰۱۴) مطالعه‌ای به‌منظور بررسی عدم تطابق ابعاد صندلی کمباین موجود و ویژگی‌های تن سنجی از ۲۰۰

رانندگان تراکتورهای کشاورزی در معرض ارتعاش زیادی از محیط کار قرار می‌گیرند. لذا با توجه به قرار داشتن طولانی مدت راننده در صندلی، باید ارگونومی و فیزیک ساخت صندلی به گونه‌ای باشد که هماهنگی لازم را با فیزیک بدن او داشته باشد. قرار گرفتن طولانی مدت راننده روی صندلی باید به گونه‌ای باشد که راحتی و آرامش را برای راننده فراهم آورد و از خستگی‌های زودرس و عدم احساس راحتی جلوگیری نماید.

برجستگی‌های استخوان خارصه و ستیغ‌ها در طراحی و ارزیابی نشیمن‌گاه صندلی اهمیت زیادی دارند. در حالت ایستاده برجستگی‌های استخوان خارصه به وسیله عضله‌های سرینی پوشیده می‌شوند. وقتی انسان به‌طور صحیح بنشیند عضله‌های سرینی از روی برجستگی‌های خارصه کنار رفته و اجازه می‌دهند این برجستگی‌های استخوانی وزن بدن را روی پوست و مقداری چربی تحمل کنند. از طرفی چون تارهای ماهیچه‌ها حساس به فشار هستند، اعمال وزن بر روی تارهای آن‌ها باعث ایجاد درد زیادی خواهد شد و این موضوع

مربعات شتاب ارتعاشی در طول محور عمودی در ستون فقرات و برآمدگی استخوان ورکی کاهش یافت و باعث افزایش یافتن بازده کاری رانندگان شد (ماخسوس و همکاران، ۲۰۰۵). در بررسی دیگری به وسیله روش اجزای محدود، راحتی صندلی برای سرنشین وسایل نقلیه با مدل سازی قسمت های سازنده صندلی و مواد بافت انعطاف پذیر بدن تحت فشارهای تماسی در محل سطح تماس مشترک صندلی با راننده بررسی شد (گراجیکی و همکاران، ۲۰۰۹).

ضخامت و چگالی فوم به کار رفته در قسمت های تکیه گاه و نشیمن گاه صندلی در مطالعه ای به روش المان محدود در نرم افزار آباکوس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این تغییرات چگالی و ضخامت فوم به کار رفته در قسمت های صندلی (تکیه گاه و نشیمن گاه) بر حسب تغییرات فشار تماسی در سطح تماس مشترک صندلی و راننده اعمال شد (میرچسکی و همکاران، ۲۰۱۰).

با توجه به این که مناسب بودن صندلی در کاهش اثرات نامطلوب بر راننده نقش اساسی دارد و نیاز به صندلی متناسب با ابعاد رانندگان ایرانی احساس می شود، لذا هدف از این پژوهش طراحی تشکیه ارگونومی صندلی تراکتور به منظور کاهش ارتعاشات وارد بر راننده و افزایش راحتی و آسایش او در شتاب ها و فرکانس های مختلف است.

۲- مواد و روش ها

به منظور طراحی تشکیه ارگونومی برای صندلی تراکتور ابتدا ابعاد عمق، پهنای و سطح نشیمن گاه و ارتفاع تکیه گاه از طریق روابط موجود بر اساس داده های آنترپومتری رانندگان ایرانی طراحی (رستمی و همکاران، ۱۳۸۹) و مدل تشکیه در نرم افزارهای مهندسی طراحی شد. سپس برای شبیه سازی و مقایسه تشکیه ارگونومی و تشکیه صندلی موجود از مدل سازی اجزای محدود در نرم افزار ABAQUS 6-11 استفاده شد که به صورت جداگانه به شرح آنها پرداخته خواهد شد.

۲-۱- عمق و پهنای نشیمن گاه

عمق موثر صندلی در خط مرکزی سطح نشیمن گاه، فاصله لبه جلویی تا خطی که از تکیه گاه صندلی به طور عمود فرود می آید، است (شکل ۱، اقتباس از بی نام، ۱۳۸۴) که باید بر اساس طول رکبی-کپل طراحی شود تا افراد کوتاه قامت نیز بتوانند از آن استفاده کنند. حالت نامناسب زمانی است که عمق نشستن کوچکتر از ۸۰٪ یا بزرگتر از ۹۵٪ این طول باشد (گویوال و بودولایز، ۲۰۰۶).

$$0.80 PB \leq SD \leq 0.99 PB \quad (1)$$

که در آن، PB طول رکبی-کپل و SD عمق نشیمن گاه است.

راننده ایرانی انجام دادند نتایج بیانگر عدم تطابق قابل توجه ابعاد صندلی های کمباین های مختلف با ابعاد بدن رانندگان ایرانی بود.

اثر ارتعاش کل بدن بر روی اعضای تحت ارتعاش شاید در کوتاه مدت مخرب نباشد اما موجب کاهش کارایی کاربر می گردد. برای کارگرانی که روزانه، مدت زمان زیادی را تحت ارتعاش با دامنه زیاد سپری می کنند، در طولانی مدت عوارض جانبی فراوانی بوجود خواهد آمد. آستانه عوارض ناشی از ارتعاش در افراد مختلف به عواملی نظیر دامنه و فرکانس ارتعاش، خصوصیات فیزیکی فرد تحت آزمایش و ... بستگی دارد (کلوستر، ۲۰۰۴). بر طبق استانداردهای ISO 2631-1 و VDI 2057-1، فرکانس طبیعی ارتعاش بدن در حدود ۱ تا ۸۰ هرتز است و برای فرکانس های بالاتر از ۸۰ هرتز، حساسیت بدن انسان به شدت افت می کند (منسفیلد، ۲۰۰۵). لذا انجمن مهندسان خودرو (ASE) و سازمان استاندارد بین المللی (ISO) (بی نام، ۱۹۹۷) و استاندارد بریتانیا (BS) بازه ای را جهت آستانه تحریک تعریف نموده اند که در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱- آستانه شتاب مجاز ارتعاشی تحریک بدن انسان در سطوح

مختلف راحتی (بی نام-۱۹۹۷)	
سطوح مختلف راحتی کاربر	آستانه بیشینه شتاب ارتعاشی وارد بر کاربر (متر بر مجذور ثانیه)
راحت	کمتر از ۰/۳۱۵
کمی ناراحت	۰/۳۱۵ تا ۰/۶۳
کمی ناخوشایند	۰/۵ تا ۱
ناخوشایند	۰/۸ تا ۱/۶
بسیار ناخوشایند	۱/۲۵ تا ۲/۵
فوق العاده ناخوشایند	بیشتر از ۲

انجام کار به صورت نشسته به ویژه اگر صندلی نامناسب طراحی شده باشد، عامل مهمی در ایجاد کمر درد می باشد. در مطالعه ای خصوصیات آنترپومتری مرتب با صندلی ۳۰۳ زن و مرد کارمند اندازه گیری و با معیارهای ارگونومیکی، صندلی ساخته شد. صندلی ساخته شده با صندلی های قدیمی مورد مقایسه قرار گرفت. ارزیابی ها نشان دادند تفاوت معنی داری بین صندلی جدید و قبلی وجود دارد (معمدزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

در بررسی پنج طرح صندلی تراکتور، ابعاد طول و پهنای نشیمن گاه صندلی و پهنای و ارتفاع تکیه گاه آن به ترتیب محدوده های ۳۶۶-۳۵۵، ۴۷۰-۴۱۵، ۳۷۳-۳۰۰ و ۲۶۰-۳۰۰ میلی متر به دست آمد. این نتایج نشان دادند که اختلاف زیادی در اندازه صندلی های مختلف تراکتور وجود دارد. لذا برای طراحی صندلی با راحتی مناسب، بررسی داده های آنترپومتری استفاده کنندگان آن الزامی است (مهتا، ۲۰۰۶).

در مطالعه ای به منظور کاهش ارتعاش تمام بدن و آسیب اسکلتی-عضلانی، یک صندلی طراحی شد که برآمدگی ستون فقرات را حمایت می کرد. با طراحی این صندلی جدید، مقادیر ریشه میانگین

پایین کمر تامین نماید. برای تامین تکیه‌گاه کمر، باید زاویه سطح نشیمن‌گاه به سمت عقب ۳-۶ درجه شیب داشته باشد و تکیه‌گاه کمر نیز دارای زاویه‌ای باشد که به شخص اجازه تکیه زدن به آن را بدهد. زاویه میان سطح نشیمن‌گاه و تکیه‌گاه بین ۹۵-۱۰۰ تا ۱۲۰ در نظر گرفته می‌شود (موعودی، ۱۳۷۵).

برای محاسبات مورد نظر طراحی تشکچه ارگونومی از داده‌ها و اطلاعات آنترپومتری جامعه رانندگان تراکتورهای ایرانی استفاده شد (رستمی و همکاران، ۱۳۸۹). لذا بر اساس محاسبات انجام شده، ابعاد مورد نظر برای طراحی تشکچه به صورت زیر در نظر گرفته شدند: عمق نشیمن‌گاه ۳۷ سانتی‌متر، پهناى نشیمن‌گاه ۵۰ سانتی‌متر، زاویه نشیمن‌گاه ۵/۷ و زاویه تکیه‌گاه ۱۰۵ درجه، زاویه سطح نشیمن‌گاه به سمت عقب ۵/۷۵ درجه و زاویه میان سطح نشیمن‌گاه و تکیه‌گاه ۱۰۵ درجه (شکل ۱، α_1 و α_2). با توجه به این‌که هیچ‌گونه منبعی برای تعریف انحنای تشکچه وجود نداشت، با در نظر گرفتن انحنای بدن و استاندارد ۸۴۰۴ ملی ایران در حالت نشسته تشکچه‌های مختلفی طراحی و با تشکچه صندلی ارگونومیکی موجود مقایسه و بهترین طرح انتخاب شد.

۲-۴- مدل اجزا محدود

جهت مدل‌سازی تشکچه ارگونومی صندلی تراکتور ۴ جزء اصلی صندلی که شامل فوم تکیه‌گاه، فوم نشیمن‌گاه، پایه و ساختار بدون فوم صندلی می‌باشند، در نرم‌افزار آباکوس ترسیم شدند (شکل ۲). این اجزاء از نوع Solid بوده و به صورت اجزای شکل‌پذیر سه بعدی^۱ با تعداد ۱۵۸۲۹ المان ۴ گره‌ای مرتبه اول چهار ضلعی تعریف شده‌اند (در قسمت تعریف خواص Property Module). ساختار صندلی، خواص فولاد با مدول الاستیسیته ۲۰۰ گیگا پاسکال، ضریب پواسون ۰/۳ و چگالی ۷۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب تعریف شد.

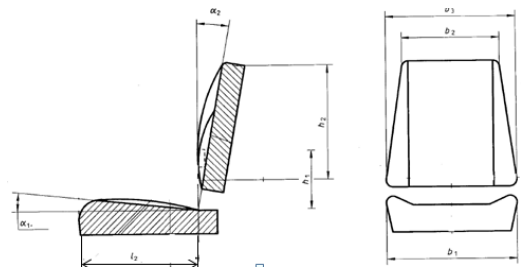
برای خاصیت هایپرلاستیک فوم از تابع پتانسیل انرژی کرنش (Ogden) استفاده شد (رابطه ۴). ضرایب معادله از پژوهش‌های انجام شده (میرچسکی و همکاران، ۲۰۱۰) به صورت تابع انرژی کرنش مرتبه دوم ($N=2$) و پارامترهای وابسته به دما به صورت (α_i) و (μ_i) تعریف شدند که ضرایب مدول برشی اولیه (μ_1) و (μ_2) به ترتیب ۱۸/۳ 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) ۰/۴ و چگالی فوم ۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شد.

$$w = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{\alpha_i} \left[\frac{1}{\beta_i} \left(J^{el} \right)^{-\alpha_i \beta_i} - 1 \right] + \hat{\lambda}_1^{\alpha_1} + \hat{\lambda}_2^{\alpha_2} + \hat{\lambda}_3^{\alpha_3} - 3 \quad (4)$$

پهناى نشیمن‌گاه باید برای حرکات جانبی کپل فضای کافی داشته باشد و با عرض کپل متناسب باشد. پهناى نشیمن‌گاه باید حداقل ۱۰٪ و حداکثر ۳۰٪ از عرض کپل بزرگتر باشد (گویوال و بودولایز، ۲۰۰۶).

$$1.1H \leq SW \leq 1.3H \quad (2)$$

در این رابطه H عرض کپل و SW پهناى نشیمن‌گاه است. پهناى نشیمن‌گاه باید به نحوی تعیین شود که برای افراد بزرگ اندام (صدک‌های بالای جامعه) مناسب باشد؛ بیشترین پهناى نشیمن‌گاه برای قسمت جلویی آن است. بر همین اساس مقدار ۷۰ میلی‌متر به عدد مورد نظر در قسمت جلو اضافه می‌شود (موعودی، ۱۳۷۵).



شکل ۱- شماتیک تشکچه صندلی: نشیمن‌گاه و تکیه‌گاه (استاندارد ملی ایران ۸۴۰۴، ۱۳۸۴)

۲-۲- ارتفاع تکیه‌گاه

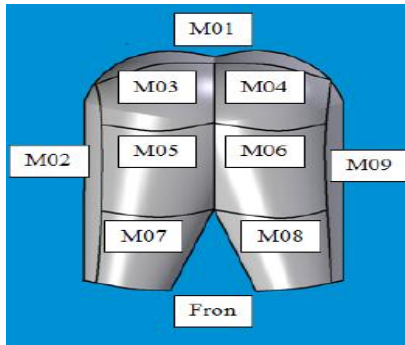
بهترین ارتفاع تکیه‌گاه صندلی وقتی بدست می‌آید که سطح بالایی آن زیر شانه و یا حداکثر بالای لبه شانه راننده باشد. معمولاً ارتفاع مناسب آن ۶۰-۸۰ درصد ارتفاع شانه است زیرا تنه و بازو حرکت راحتی خواهند داشت (شکل ۱) (گویوال و بودولایز، ۲۰۰۶).

$$0.6S \leq B \leq 0.85 S \quad (3)$$

در این رابطه S ارتفاع شانه نشسته و B ارتفاع نشیمن‌گاه است. هرچه تکیه‌گاه بلندتر باشد، در نگهداری و حمایت از وزن تنه موثرتر است اما ممکن است قابلیت حرکت شانه‌ها که از اهمیت بیشتری برخوردار است، محدود شود (چوبینه و موعودی، ۱۳۷۵).

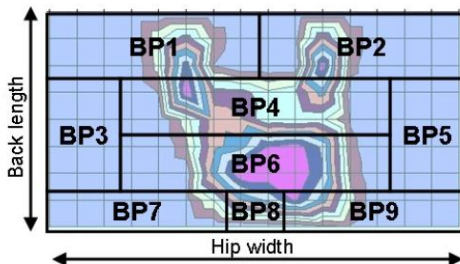
۲-۳- سطح نشیمن‌گاه

هدف از شکل دادن سطح نشیمن‌گاه، فراهم آوردن شرایط لازم برای پخش مناسب فشار در زیر کپل است. از نظر ارگونومی بهتر است سطح نشیمن‌گاه تاحدی صاف باشد و در برابر هوا نفوذپذیر باشد تا تهویه به خوبی انجام شود و تاحدی خشن و زبر باشد تا به ثبات و پایداری فرد بر روی نشیمن‌گاه کمک کند (چوبینه و موعودی، ۳۷۵). نکته بسیار مهم در مسائل مربوط به طراحی صندلی، تاثیر آن بر ناحیه پایین کمر است. وقتی فرد از حمایت کننده کمری استفاده می‌کند، توصیه می‌شود تکیه‌گاه حمایت مناسبی را از ناحیه پایین کمر به عمل آورد و در ضمن خمیدگی مقعری را برای قسمت



شکل ۳- نواحی تماسی بدن با سطح نشیمن‌گاه صندلی (ناصری، ۲۰۱۱)

مطابق با مطالعه زنک و همکاران (۲۰۰۶) نواحی تماس بدن راننده با سطح تکیه‌گاه صندلی توسط یک نقشه فشاری در محل تماس کمر به ۹ ناحیه متفاوت تقسیم شده است (شکل ۴). این نواحی شامل BP1 و BP2 نواحی پشت شانه‌ها، BP4 ناحیه بالای پشت کمر، BP6 ناحیه میانی و پایینی کمر، BP8 ناحیه بالای استخوان دنبالچه و BP7 و BP9 نواحی بالای لگن‌ها و BP5 و BP3 نواحی بال‌های عمودی از فوم تکیه‌گاه صندلی است.



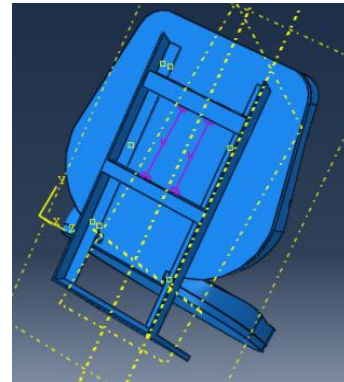
شکل ۴- نقشه فشاری در ناحیه تماسی بدن با سطح تکیه‌گاه صندلی (زنک و همکاران، ۲۰۰۶)

مدل تشکیچه ارگونومی طراحی شده و مدل صندلی موجود در محدوده‌ای از فرکانس‌ها (۳-۶۶ هرتز) و در چهار شتاب تحریک (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر مجذور ثانیه)، برای جرم متفاوتی (۵۵، ۷۰ و ۸۵ کیلوگرم) از رانندگان ایرانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نشیمن‌گاه صندلی به شش ناحیه تقسیم شد. این نواحی شامل ناحیه استخوان دنبالچه، زیر زانو، زیر ران‌ها، زیر کفل‌ها، بال‌های افقی نشیمن‌گاه و ناحیه بحرانی زیر کفل‌ها می‌شد و در تحلیل تکیه‌گاه صندلی نواحی بالای لگن، میانی و پایینی کمر، بالای کمر و شانه‌ها در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از شتاب‌های نواحی مختلف نشیمن‌گاه و تکیه‌گاه صندلی در فشارهای تماسی متفاوت برای هر دو مدل به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در نرم‌افزار آماری SPSS ویرایش ۲۰ ارزیابی و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد.

در این رابطه α_i و β_i ، پارامترهای خواص مواد وابسته به دما هستند. λ_i ها عامل اصلی کشش و ارتجاع، J^{el} نسبت تغییرحجم تغییرشکل الاستیک و ضریب β_i متناسب با درجه فشردگی مواد فومی است که وابسته به ضریب پواسون (ν_i) می‌باشد.

برای مدل سازی فوم صندلی از خاصیت هایپرالاستیک مواد پلی‌اورتان (گراچیک و همکاران، ۲۰۰۹) استفاده شد. تحلیل به کار گرفته شده در این پژوهش از نوع دینامیکی صریح^۲ بود که ابزاری کارا برای حل گسترده‌ای از مسایل مکانیکی سازه‌های غیر خطی است. جهت طراحی فنرها در نرم‌افزار از المان‌های فنری^۳ استفاده شد و نقاط اتصال فنرها مابین صفحه تکیه‌گاه صندلی و اتصال دهنده صندلی به تراکتور در نظر گرفته شد (شکل ۲).



شکل ۲- ساختار صندلی تراکتور شامل تکیه‌گاه و نشیمن‌گاه، فنرها، پایه و صفحه تکیه‌گاه صندلی

۲-۵- محدوده توزیع فشار در نواحی تماس بدن راننده با صندلی

توزیع فشار در محل تماس بدن شخص با سطح تماس در قسمت‌های مختلف صندلی متفاوت است. مطابق با پژوهش ناصری (۲۰۱۱) محل تماس بدن راننده با سطح نشیمن‌گاه به نه ناحیه تقسیم شد و میزان فشار هر ناحیه متناسب با وزن راننده محاسبه شد. شکل سه ناحیه تماسی بدن با سطح نشیمن‌گاه را نشان می‌دهد. این نواحی شامل ناحیه M01 ناحیه تماس استخوان دنبالچه، نواحی M02 و M09 بال‌های افقی از فوم نشیمن‌گاه 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.

²Dynamic Explicit

³Spring Element

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تجزیه و تحلیل واریانس شتاب‌های خروجی

نتایج تجزیه واریانس سطوح شتاب خروجی نواحی تماسی بدن راننده با نشیمن‌گاه صندلی تراکتور در جدول ۲ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهند که اثرات نوع صندلی، فرکانس و جرم راننده بر مقادیر شتاب خروجی در تمام نواحی تماسی نشیمن‌گاه در سطح یک درصد معنی‌دار است. همچنین اثرات برهم‌کنش جرم راننده و مدل صندلی، فرکانس و مدل صندلی و فرکانس و جرم بر مقادیر شتاب خروجی در بعضی از نواحی تماسی داری سطح معنی‌داری پنج درصد بود. شایان ذکر است که بررسی نتایج آنالیز واریانس شتاب‌های تحریک بر هر دو مدل صندلی و تشکچه ارگونومی نشان داد که میانگین‌های شتاب تحریک در نواحی مختلف تکیه‌گاه مدل‌ها، اختلاف معنی‌داری در شتاب خروجی نشان ندادند. این در حالی است که شتاب نواحی میانی و پایینی کمر در وضعیت ناخوشایند قرار داشتند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس شتاب‌های سطوح مختلف عامل‌های مدل صندلی، جرم راننده، فرکانس و شتاب تحریک در نواحی مختلف

نشیمن‌گاه صندلی						درجه آزادی	منابع تغییر
میانگین مربعات نواحی مختلف تماسی بدن با نشیمن‌گاه صندلی							
بال‌های افقی	زیر کفل‌ها	زیر زانو‌ها	زیر ران‌ها	بحرانی زیر کفل‌ها	استخوان دنبالچه		
۲۴۱/۳۱۳**	۴/۲۲۱**	۳۰/۵۹۵**	۲۶/۶۹۳**	۹۹/۴۶۷**	۳۶/۲۸۸**	۱	مدل صندلی
۰/۹۹۸**	۰/۰۱۲**	۰/۰۹۹**	۰/۹۶۴**	۰/۲۸۳**	۰/۰۷۳**	۱۲	فرکانس
۳/۷۵۲**	۰/۰۷۲**	۱/۱۵۹**	۶/۱۶۲**	۱/۵۵۷**	۰/۵۵۸**	۲	جرم راننده
۰/۹۸۰**	۰/۰۱۰*	۰/۰۵۳*	۰/۱۲۲*	۰/۲۸۳*	۰/۰۷۰**	۱۲	نوع صندلی×فرکانس
۳/۶۸۵*	۰/۰۶۳*	۰/۶۴۷*	۰/۲۷۱*	۱/۵۱۸*	۰/۵۳۳*	۲	جرم راننده×نوع صندلی
۰/۰۱۶**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۱۶*	۰/۰۰۵*	۰/۰۰۲*	۲۴	جرم راننده×فرکانس
۰/۰۰۶۰۹	۰/۰۰۲۶۱	۰/۰۰۵۶۷	۰/۰۰۴۷۵	۰/۰۰۱۵۹	۰/۰۰۰۲۳	۲۳۴	خطا

* و ** به ترتیب سطوح معناداری ۵٪ و ۱٪

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس شتاب‌های سطوح مختلف عامل‌های مدل صندلی، جرم راننده، فرکانس و شتاب تحریک در نواحی مختلف

تکیه‌گاه صندلی				درجه آزادی	منابع تغییر
میانگین مربعات نواحی مختلف تماسی بدن با تکیه‌گاه صندلی					
بالای لگن	میانی و پایین کمر	بالای کمر	پشت شانه‌ها		
۱۱/۸۷۵*	۲۵/۶۲۳**	۴/۱۴۵**	۱۴/۳۳۰*	۱	مدل صندلی
۰/۰۲۲*	۰/۱۲۰**	۰/۰۱۹**	۰/۰۶۷**	۱۲	فرکانس
۰/۲۸۰**	۰/۵۴۱**	۰/۰۹۰**	۰/۴۱۷**	۲	جرم راننده
۰/۰۹۵**	۰/۰۸۴**	۰/۰۱۴**	۰/۰۷۱**	۱۲	نوع صندلی×فرکانس
۰/۱۷۵**	۰/۳۶۶**	۰/۰۶۳**	۰/۳۰۹**	۲	جرم راننده×نوع صندلی
۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۱ ^{ns}	۲۴	جرم راننده×فرکانس
۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۲۳۴	خطا

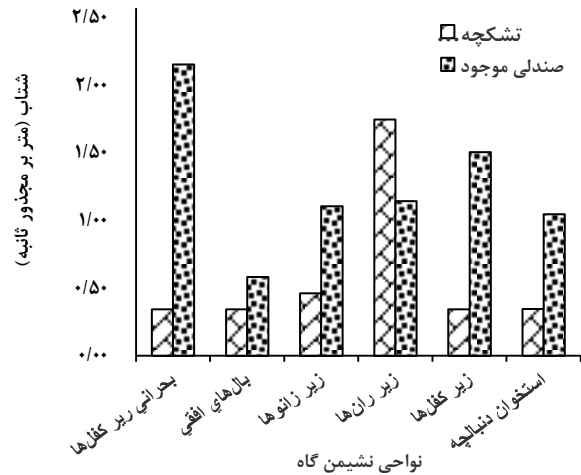
می‌دهد که شتاب خروجی در ناحیه تماسی استخوان دنبالچه، ناحیه زیر کفل‌ها و ناحیه بال‌های افقی مدل تشکچه ارگونومی نسبت به صندلی موجود کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. این کاهش شتاب به‌خصوص در ناحیه زیر کفل‌ها که یکی از نواحی مهم در کاهش میزان خستگی راننده است، مشاهده می‌شود. با توجه به شکل ۵ شتاب ناحیه بحرانی زیر کفل‌ها در تشکچه ارگونومی کاهش

۳-۲- میانگین‌های سطوح عامل‌های اصلی بر شتاب

نواحی نشیمن‌گاه

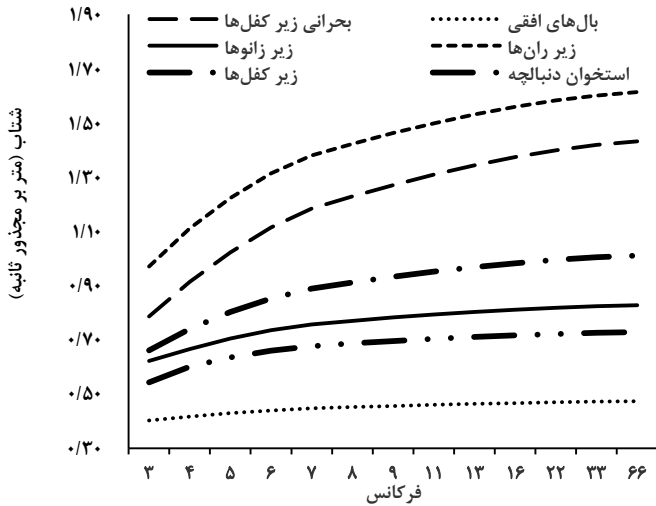
با توجه به بررسی نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که اثر مدل صندلی بر مقادیر شتاب نواحی تماسی معنی‌دار بود. شکل ۵ نشان

چشم‌گیری نسبت به صندلی موجود نشان می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود که تنها شتاب خروجی تشکچه ارگونومی در ناحیه زیر ران‌ها در محدوده بسیار ناخوشایند قرار دارد و می‌توان با کمی تغییر در ناحیه ران‌ها این مشکل را برطرف کرد.



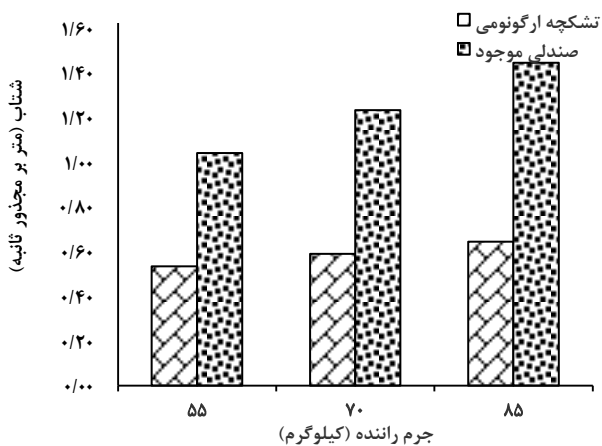
شکل ۵- میانگین‌های اثر مدل صندلی بر مقادیر شتاب نواحی نشیمن‌گاه تشکچه ارگونومی و صندلی موجود

شکل ۶ میانگین اثر فرکانس بر مقادیر شتاب نواحی تماسی نشیمن‌گاه صندلی را در تمام نواحی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بجز دو ناحیه زیر ران‌ها و منطقه بحرانی زیر کفل‌ها در دیگر مناطق شتاب خروجی در محدوده کمی ناخوشایند و پایین‌تر هستند. نتایج بیان می‌کنند که زیر ران‌ها نیاز به بازنگری و اصلاح دارد. نکته قابل توجه این است که اگر چه شتاب منطقه بحرانی زیر کفل‌ها نیز در منطقه ناخوشایند قرار دارد ولیکن چون فرکانس بحرانی این بخش از بدن در محدود زیر ۱۰ هرتز است بنابراین در وضعیت بحرانی و اضطراری نیست. ویدام و گریفین (۱۹۷۸) نیز نتیجه گرفته بودند که در فرکانس‌های بالا میزان شتاب خروجی در محدوده ناخوشایند و بسیار ناخوشایند است. این امر مشابه نتایج این پژوهش بوده به‌طوری‌که دامنه طیف شتاب در فرکانس ۶۶ هرتز به بیشترین مقدار رسیده است و شرایط عدم راحتی را برای راننده در نشیمن‌گاه صندلی ایجاد کرده است.



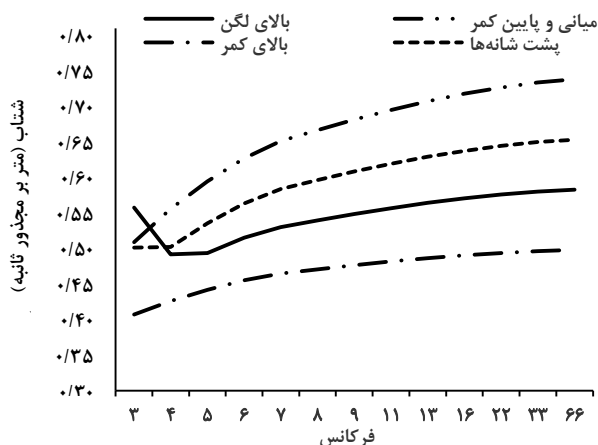
شکل ۶- میانگین‌های اثر فرکانس بر مقادیر شتاب نواحی تماسی نشیمن‌گاه

شکل ۷ میانگین‌های اثر جرم راننده بر مقادیر شتاب خروجی تشکچه ارگونومی و صندلی موجود را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای هر سه جرم راننده میزان شتاب خروجی تشکچه ارگونومی به مقدار قابل ملاحظه‌ای از صندلی موجود کمتر بوده و سطح شتاب را از محدود بسیار ناخوشایند به محدوده کمی ناراحت کاهش داده است. همچنین همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود میانگین‌های اثر جرم راننده بر مقادیر شتاب نواحی تماسی تمام نقاط به جز در ناحیه بال‌های افقی نشیمن‌گاه که می‌تواند به دلیل تمرکز کمتر جرم باشد، معنی‌دار بوده است. افزایش جرم در تمامی نواحی تماسی، باعث افزایش شتاب خروجی شده است که به دلیل افزایش فشار تماسی بدن در ناحیه نشیمن‌گاه با افزایش جرم بوده که منجر به افزایش تغییر مکان و در نهایت افزایش شتاب شده است.



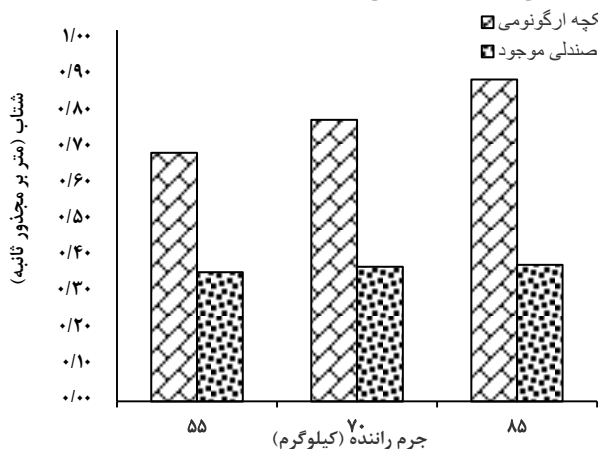
شکل ۷- میانگین‌های اثر جرم راننده بر مقادیر شتاب خروجی نشیمن‌گاه تشکچه ارگونومی و صندلی موجود

افزایش فرکانس، دامنه اسپکتروم شتاب خروجی در محدوده کمی ناخوشایند باقی مانده است. از طرفی در فرکانس‌های بیشتر از ۱۳ هرتز افزایش مقدار شتاب آهنگ ثابت بسیار ناچیزی داشته و تغییر زیادی در مقدار شتاب خروجی مشاهده نمی‌شود (نصیری و همکاران، ۱۳۸۸). لذا می‌توان با تغییرات اندکی در طراحی تکیه‌گاه محدوده راحتی و آسایش راننده را بهینه‌سازی نمود.

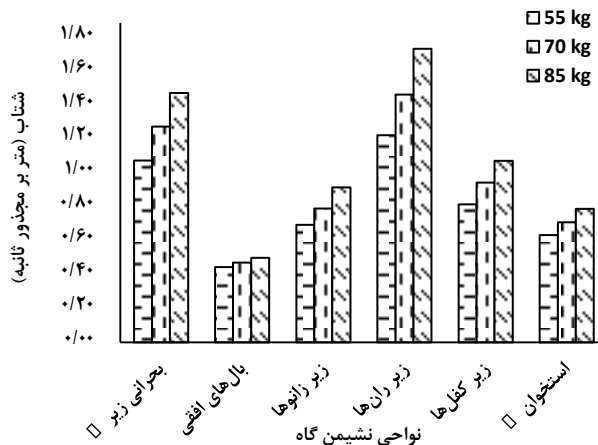


شکل ۱۰- میانگین‌های اثر فرکانس بر مقادیر شتاب نواحی تماسی تکیه‌گاه

شکل ۱۱ میانگین‌های اثر جرم راننده بر مقادیر شتاب نواحی تماسی تکیه‌گاه صندلی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تشکچه ارگونومی، افزایش جرم راننده باعث افزایش شتاب خروجی شده است در صورتی که این افزایش در صندلی موجود تغییر چندانی نداشته است. با این وجود باید در نظر داشت که در محدوده جرم‌های مورد آزمایش، سطح راحتی و آسایش راننده در محدوده کمی ناخوشایند است. هم‌چنین بررسی شتاب‌های جرم ۸۵ کیلوگرم که بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده بودند، نشان داد که محدوده راحتی و آسایش راننده، در تمامی نواحی تکیه‌گاه، بجز ناحیه پشت شانه‌ها که در محدوده ناخوشایند قرار داشت، مناطق دیگر همگی در محدوده کمی ناخوشایند قرار داشتند.



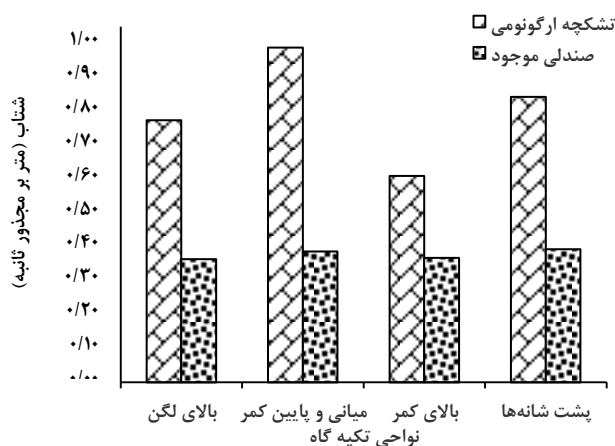
شکل ۱۱- میانگین‌های اثر جرم راننده بر مقادیر شتاب خروجی تکیه‌گاه تشکچه ارگونومی و صندلی موجود



شکل ۸- میانگین‌های اثر جرم راننده بر شتاب نواحی تماسی نشیمن‌گاه

۳-۳- میانگین‌های سطوح عامل‌های اصلی بر شتاب نواحی تکیه‌گاه

بررسی نتایج واریانس نشان‌دهنده معنی‌داری میانگین‌های اثر مدل صندلی بر مقادیر شتاب نواحی تماسی تکیه‌گاه است. با توجه به شکل ۹، در تمام نواحی، صندلی موجود کمترین شتاب خروجی را نسبت به تشکچه ارگونومی به خود اختصاص داد که بیانگر مناسب‌تر بودن تکیه‌گاه صندلی موجود نسبت به تشکچه ارگونومی در میزان انتقال شتاب به بدن راننده است. و لیکن این نکته را باید در نظر داشت که اگرچه به نظر می‌رسد صندلی موجود از نظر میزان انتقال ارتعاش در تکیه‌گاه مناسب‌تر از تشکچه ارگونومی است، اما چون تشکچه ارگونومی بر اساس خصوصیات آنترپومتری رانندگان ایرانی طراحی شده است، از دیدگاه ارگونومی با تغییراتی می‌تواند برای راننده مناسب باشد.



شکل ۹- میانگین‌های اثر مدل صندلی بر مقادیر شتاب نواحی تکیه‌گاه تشکچه ارگونومی و صندلی موجود

شکل ۱۰ میانگین‌های تأثیر فرکانس تحریک بر مقادیر شتاب نواحی تماسی تکیه‌گاه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با وجود

۴- نتیجه گیری نهایی

مناسبی برای صندلی موجود باشد. بررسی شتاب‌های نواحی تماسی بدن راننده با تکیه‌گاه نیز نشان داد که تکیه‌گاه صندلی موجود راحتی و آسایش بیشتری را برای راننده فراهم می‌کند. در نتیجه ترکیب نشیمن‌گاه تشکچه ارگونومی و تکیه‌گاه صندلی موجود با اصلاحات کمی (متناسب با آنتروپومتری رانندگان ایرانی) می‌تواند راحتی و آسایش راننده را نسبت به صندلی موجود بهبود بخشد.

بررسی اثرات عامل‌های شتاب، فرکانس و جرم راننده بر شتاب نواحی تماسی بدن راننده با نشیمن‌گاه تشکچه ارگونومی نشان داد که تشکچه طراحی شده محدود آسایش و راحتی بیشتری را برای راننده نسبت به صندلی موجود فراهم می‌کند و می‌تواند جایگزین

منابع مورد استفاده

- بی نام. ۱۳۸۴. ماشین‌های خاکبرداری - صندلی کاربر - ابعاد و الزامات. استاندارد ملی ایران - ۸۴۰۴-۱۳۸۴.
- چوبینه ع. و م. الف. موعودی. ۱۳۷۵. انسان، آنتروپومتری، ارگونومی و طراحی. انتشارات کتاب ماد (وابسته به نشر مرکز).
- رستمی م.، الف. جوادی م. شاکر، ع. مهدی نیا و م. حیدری سلطان آبادی. ۱۳۸۹. بررسی ارگونومیکی برخی از اجزای تراکتورهای متداول و جدید در ایران. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) ۲۴ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹.
- موعودی م. ۱۳۷۵. مهندسی آنتروپومتری. معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران.
- معتمدزاده م.، م. حسن بیگی، ع. چوبینه و ح. محبوب. ۱۳۸۸. طراحی و سخت صندلی ارگونومیک منطبق با ابعاد بدنی کارمندان ایرانی. مجله علمی، پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی زنجان. دوره ۱۷. شماره ۶۸. پاییز ۱۳۸۸. صفحات ۴۵ تا ۵۲.
- نصیری پ.، ح. ماری ارپاد، م. جهانگیری، م. ریسمانچیان و ع. کریمی. ۱۳۸۸. پاسخ انسان به ارتعاش. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
- Anonymous. 1997. **Mechanical Vibration and Shock: Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration—Part 1: General Requirements**. International Standard 2631-1:1997. ISO, Geneva.
- Ghaderi, E., A. Maleki and I. Dianat. 2014. **Design of Combine Harvester Seat Based on Anthropometric Data of Iranian Operators**. International Journal of Industrial Ergonomics, 44(6), 810-816.
- Gouvali, M. and K. Boudolos. 2006. **Mattressch Between School Furniture Dimensions and Children's Anthropometry**, Applied Ergonomics, 37:765-773.
- Grujicic, M., B. Mattressdurangan, X. Xie., A. K. Gramopadhye, D. Wagner, and M. Ozen. 2009. **Musculoskeletal Computational Analysis of the Influence of Car-seat Design/adjustments on Long-distance Driving Fatigue**. International Journal of Industrial Ergonomics. 40:345-355.
- Klooster, S. J. 2004. **Vibration Suppression and Safety Seat Motion Design of a Hyper Active Seat**. Thesis in Master of Science in Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, USA.
- Lings, S., and C. Leboeuf-Yde. 2000. **Whole-body Vibration and Low Back Pain: a Systematressic Critical Review of the Epidemiological Literature 1992-1999**. International Arch Occupational and Environmental Health 73(5):290-7.
- Makhsous, M., R. Hemdrix., Z. Crowtherk., E. Namand, and F. Lin. 2005. **Reducing Whole-body Vibration and Musculoskeletal Injury with a New Car Seat Design**. Ergonomics. 48(9):1183 - 1199.
- Mansfield, N. j. 2005. **Human Response to Vibration**. CRC Press, USA.
- Mehta, C. R. 2006. **Ergonomic Assessment of Existing Tractor Seats**. Technical Report (RPF III), Central Institute of Agricultural Engineering, Bhopal, India.

- Mircheski, I., T. Kandikjan, and P. Simonovski. 2010. **Virtual Testing and Experimental Verification of Seat Comfort in Driver's Seat for Passenger Automobile.** Cyrill & Methodius University, Faculty of Mechanical Engineering, Karpos II, 1000 Skopje, Republic of Macedonia
- Naseri A. 2011. **Interface Pressure and Vibration Comfort Evaluation of an Air-cushion Suspension Seat.** Concordia University.
- Purell, W. F. H. 1980. **The Human Factor in Farm and Industrial Equipment Design.** American Society of Agricultural Engineering Distinguished Lecture Series No, 6.
- Whitham, E. and M. J. Griffin. 1978. **The Effects of Vibration Frequency and Direction on the Location of Areas of Discomfort Caused by Whole-body Vibration.** Applied Ergonomics. 9:231-239.
- Zenk, R., C. H. Mergl, J. Hartung, O. Sabbah, and H. Bubb. 2006. **Objectifying the Comfort of Car Seats.** Standard of American Engineers. Technical Paper Series, World Congress: Detroit, Michigan, April 3-6.

Design, Simulation and Evaluation of an Ergonomic Seat Cushion for Decreasing Transmitted Vibration to the Driver

H. Reisi Vanani¹, A. Maleki^{2*}, Sh. Besharati³ and E.A. Habibi⁴

Received: 27 Jul 2015 Accepted: 15 Mar 2016

¹Mechanical Engineering of Biosystems, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

²Faculty of Occupational Health, University of Esfahan, Esfahan, Iran

*Corresponding author: maleki_ali@iran.ir

Abstract

Tractor operators get exposed in a wide range of vibrations, so that they lead to discomfort and long term or permanent disorders. One solution for this problem is decreasing transmitted vibration to the driver by selecting a suitable seat cushion. Therefore, an ergonomic seat cushion was designed for Iranian operators especially and compared with the available seat. Both of seat cushions were analyzed in the frequency range of 3 to 66 Hz in four excited vibrations of 5.0, 1, 5.1 and 2 m/s² for three groups of drivers with masses of 55, 70 and 85 kg by using finite element method. The results of this study showed that the ergonomic seat-pan cushion can provide more comfort and convenience for the driver in excited vibrations range and this seat cushion can be a suitable alternative to the available seat-pan cushion. However, the investigation of the output vibration magnitude on the seat backrest regions showed that the available seat backrest provides more comfort and convenience for the driver in comparison with the ergonomic seat cushion. Therefore, the combination of the ergonomic seat-pan cushion and the available seat backrest can improve the efficiency of the available seat cushion of the tractor to reduce transmitted vibrations to the driver.

Keywords: Finite Element Method, Vibration, Ergonomic, Seat Cushion, Seat-Pan