

طراحی و مدل‌سازی تشکچه هوای صندلی تراکتور به روش اجزای محدود

حمیده رئیسی وانانی^۱، علی ملکی^{*۲} و شاهین بشارتی^۳

چکیده

در سال‌های اخیر در صنعت حمل و نقل توجه فزاینده‌ای به عوامل انسانی به‌دلیل اهمیت آن بر سلامت و ایمنی رانندگان شده است. با توجه به اینکه تراکتورها اهمیت ویژه‌ای در عملیات کشاورزی دارند، توجه به ارگونومی آن‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. بر همین اساس تشکچه‌ای ارگونومی مخصوص کاربران ایرانی طراحی شد تا بتواند ارتعاش‌های منتقل شده به بدن کاربر تراکتور را کاهش داده و سبب اصلاح وضعیت راحتی کاربر شود، مدل طراحی شده از جنس هوا با تشکچه صندلی موجود مقایسه شد. هر دو مدل تشکچه در محدوده فرکانس ۳ تا ۶۶ هرتز برای سه گروه کاربر با جرم‌های ۵۵، ۷۰ و ۸۵ کیلوگرم با روش اجزای محدود تجزیه و تحلیل شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد برای نشستگاه صندلی در محدوده مورد آزمایش، مدل طراحی شده از جنس هوا، شتاب‌های خروجی در محدوده راحتی کاربر را فراهم می‌کند، در صورتی که نتایج حاصل از شتاب‌های خروجی برای تکیه‌گاه، آسایش و راحتی بیشتری را برای صندلی موجود نشان می‌دهد. بنابراین با ترکیب تکیه‌گاه صندلی موجود و نشستگاه مدل طراحی شده می‌توان آسایش و راحتی بیشتری را برای رانندگان تراکتورهای ایرانی فراهم کرد.

واژه‌های کلیدی: اجزای محدود، ارگونومی، تراکتور، تشکچه، صندلی.

ارجاع: رئیسی وانانی ح.، ملکی ع. و بشارتی ش. ۱۳۹۳. طراحی و مدل‌سازی تشکچه هوای صندلی تراکتور به روش اجزای محدود. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۵: ۲۹-۳۹.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- دانشور گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* نویسنده مسئول: maleki.ali@iran.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۲۱

مقدمه

پیشرفت تکنولوژی طراحی و تولید تجهیزات و ادوات کشاورزی براساس خصوصیات ارگونومی و سازگار با ابعاد بدنی و تأمین ایمنی و بهداشت شغلی کشاورزان سبب افزایش راندمان و بهره‌وری در مدیریت کیفیت کشاورزی شده است. نتایج پژوهش‌های انجام شده در بخش کشاورزی نشان می‌دهد که درد نواحی پشت، شانه، بازو، دست و بیماری‌های ناشی از آسیب‌های تجمعی، بیشترین و معمول‌ترین علل می‌باشند که کشاورزان و کارگران مزارع را آزار می‌دهد. این آسیب‌ها می‌توانند باعث از کارافتادگی زود هنگام شده و در نتیجه بر درآمد کشاورزان و در نهایت بر درآمد ملی تأثیر منفی داشته باشند. راه‌های باصرفه‌ای برای جلوگیری و یا کاهش این آسیب‌ها وجود دارد که با استفاده از علم ارگونومی می‌توان به بررسی توانایی‌های ارگانیسم کشاورزان و کارگران مزارع پرداخت و ارتباطی منطقی بین کشاورزان و کاری که انجام می‌دهند ایجاد کرد (مهتا و تواری، ۲۰۰۰).

صندلی جزئی از محل کار کاربر است، طراحی صندلی می‌تواند به‌عنوان فاکتوری تعیین کننده برای اصلاح بارهای وارده بر ساختارهای بدنی و همچنین افزایش راحتی کاربر استفاده شود (سیفرت و همکاران، ۲۰۰۸). ارگونومی با بررسی اثر متقابل انسان و ماشین، در راستای افزایش کارآمدی ماشین و امنیت و آسایش کاربر گام بر می‌دارد (ماخسوس و همکاران، ۲۰۰۵). طراحی ماشین براساس با الزامات ارگونومیکی ضمن کاهش اشتباهات و جراحات کاربر (گراچیک و همکاران، ۲۰۰۹) افزایش عملکرد (میرچسکی و همکاران، ۲۰۱۰) را نیز در پی دارد. برای افزایش بهره‌وری و راحتی کاربر باید اطلاعات آنترپومتریکی جمعیت کاربرهای مربوطه را در طراحی در نظر گرفت (ناصری ۲۰۱۱). طراحی بهینه محیط کار با استفاده از اطلاعات آنترپومتریکی و سایر خصوصیات تکنیکی طراحی به دست می‌آید (نصیری و همکاران، ۱۳۸۸).

استفاده از تکیه‌گاه متمایل به عقب اثر مهمی در کاهش فشار وارد بر دیسک داشته و با افزایش زاویه تکیه‌گاه صندلی از ۹۰ به ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه، فشار وارد بر دیسک‌ها به شدت کاهش می‌یابد. استفاده از تکیه‌گاه کمر نیز همانند استفاده از صندلی دسته‌دار، فشار وارد بر دیسک‌ها را کاهش می‌دهد اما وقتی تکیه‌گاه صندلی

متمایل به عقب باشد، اثر دسته صندلی کمرنگ می‌شود (ویدام و گریفین، ۱۹۷۸).

در طراحی و ارزیابی نشیمنگاه صندلی برجستگی‌های خاصه و ستیغ‌ها مهم هستند. برجستگی‌های خاصه در حالت ایستاده با عضله‌های سرینی پوشیده می‌شوند. نشستن به طور سبب باعث می‌شود عضله‌های سرینی از روی برجستگی‌های خاصه کنار رفته و اجازه می‌دهد این برجستگی‌های استخوانی وزن بدن را روی پوست و مقداری چربی تحمل کنند (پروئل، ۱۹۸۰).

بدن انسان در شرایط زندگی روزمره تحت ارتعاشات مختلفی قرار می‌گیرد. ارتعاشات کل بدن، زمانی صورت می‌گیرد که کل بدن انسان در تماس با یک سطح مرتعش قرار گیرد. هنگامی که فردی در حالت نشسته از طریق نشیمنگاه تحت ارتعاش قرار می‌گیرد، در اصطلاح آن را ارتعاش کل بدن می‌گویند (رستمی و همکاران، ۱۳۸۹).

برای کاهش ارتعاش تمام بدن و آسیب اسکلتی-عضلانی، یک صندلی طراحی شد که برآمدگی ستون فقرات را حمایت می‌کرد. با طراحی این صندلی جدید، مقادیر ریشه میانگین مربعات شتاب ارتعاشی در طول محور عمودی در ستون فقرات و برآمدگی استخوان ورکی کاهش یافت و سبب افزایش یافتن بازده کاری رانندگان شد (ماراس و کارواسکی، ۲۰۰۶). در بررسی دیگری با روش اجزای محدود، راحتی صندلی برای سرنشین وسایل نقلیه با مدل سازی قسمت‌های سازنده صندلی و مواد بافت انعطاف‌پذیر بدن فشارهای تماسی در محل سطح تماس مشترک صندلی با کاربر بررسی شد (مهتا، ۲۰۰۶).

ارتعاش کل بدن در کوتاه‌مدت روی اعضای تحت ارتعاش مخرب نخواهد بود فقط کارایی کاربر را کاهش می‌دهد. کسانی که روزانه، مدت زمان زیادی را تحت ارتعاش با دامنه زیاد سپری می‌کنند، در طولانی مدت عوارض جانبی فراوانی را دچار می‌شوند. در افراد مختلف آستانه عوارض ناشی از ارتعاش به عواملی مانند دامنه و فرکانس ارتعاش، خصوصیات فیزیکی فرد تحت آزمایش و ... بستگی دارد (مهتا، ۲۰۰۸).

براساس استانداردهای ISO2631-1 و VDI2057-1، بسامد طبیعی ارتعاش بدن در حدود ۱ تا ۸۰ هرتز است. برای بسامدهای بالاتر از ۸۰ هرتز، حساسیت بدن انسان به شدت افت می‌کند (بی‌نام، ۱۹۹۷ و بی‌نام، ۲۰۰۲). افرادی که به ارتعاش‌های کمتر از ۱ هرتز حساس هستند، دارای

در یک بررسی مدل کامل اجزای محدود از صندلی ماشین و نشستن انسان ارائه شد و اثر متقابل صندلی و انسان مورد ارزیابی قرار گرفت، همچنین از این مدل برای محاسبه مقادیر فشار تماسی، تنش‌های برشی تماسی و تنش‌ها در بدن استفاده شد که می‌تواند در نشستن راحت تأثیرگذار باشد نتایج نشان داد فشار تماسی در حالتی که پاهای شخص بر جاپایی تکیه دارند نسبت به زمانی که در حالت معلق بودند، کمتر بوده است (مهتا، ۲۰۰۶).

در مطالعه‌ای اثرات دینامیکی و استاتیکی بر راحتی نشستن کاربر وسیله نقلیه با روش اجزای محدود شبیه‌سازی شد. در این مطالعه برای بررسی خصوصیات بسامدی وابسته به فوم، ساختمان صندلی، و بدن شخص از تحلیل ضمنی^۱ استفاده شد (هاستنز و همکاران، ۲۰۰۱).

ارتفاع نشستگاه باید متناسب با ارتفاع رکبی در وضعیت نشسته تنظیم شد و به زانو امکان خمش حداکثر ۳۰ درجه نسبت به راستای عمود را بدهد.

بیشتر بررسی‌ها نشان داده‌اند که ارتفاع رکبی نشسته باید از ارتفاع نشستگاه بلندتر باشد اما نباید از ۴ سانتی‌متر بیشتر باشد تا از فشار وارده به ناحیه زیر ران کاسته شود (ماندلو و همکاران، ۲۰۰۰ و کارلت و کلرک، ۱۹۹۵).

در ایران تاکنون بررسی‌های چندانی در ارتباط با محیط کار رانندگان به خصوص رانندگان بخش کشاورزی صورت نگرفته است، در نتیجه، واردات، مونتاژ و یا تولید ماشین‌های کشاورزی موجود براساس بررسی‌های آنترپومتریک جامعه کاربران ایرانی انجام نشده است بنابراین با توجه به اینکه تراکتورهای مورد استفاده در کشور یا به طور مستقیم از کشورهای تولید کننده وارد شده‌اند یا این که در کارخانه‌های داخل بدون توجه به انجام تطبیقات لازم با جامعه کاربران داخلی مونتاژ می‌شوند، ضرورت انجام بررسی‌های هدفمند در این راستا وجود دارد.

مواد و روش‌ها

برای طراحی تشکچه هوا ابتدا از طریق روابط موجود، ابعاد عمق و پهنای سطح نشستگاه و ارتفاع تکیه‌گاه براساس داده‌های آنترپومتری رانندگان ایرانی محاسبه شد. سپس برای شبیه‌سازی و مقایسه تشکچه هوا و تشکچه صندلی

بیماری به نام، حساس به حرکت هستند (وینک، ۲۰۰۵ و منسفیلد، ۲۰۰۵). لذا انجمن مهندسان خودرو (ASE) و سازمان استاندارد بین‌المللی (ISO) و استاندارد بریتانیا (BS) بازه‌ای را برای آستانه تحریک تعریف کرده‌اند که در جدول ۱ این مقادیر بیان شده است (لیائو و دروری، ۲۰۰۰).

جدول ۱- آستانه شتاب مجاز ارتعاشی تحریک بدن انسان در سطوح مختلف راحتی (لیائو و دروری، ۲۰۰۰)

سطوح مختلف راحتی	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	۰/۶۳ تا ۱
ناخوشایند	۱ تا ۱/۶
بسیار ناخوشایند	۱/۶ تا ۲/۵
فوق‌العاده ناخوشایند	بیشتر از ۲

در پژوهشی برای بررسی ملاحظات آنترپومتریک برای ساخت صندلی تراکتور، ارتفاع ناحیه رکبی در حالت نشسته (صدک پنجم)، پهنای باسن در وضعیت نشسته (صدک نود و پنجم)، طول رکبی ران (صدک پنجم)، پهنای برآمدگی‌های خاجی شکل پشت (صدک‌ها پنجم و نود و پنجم)، ارتفاع سرشانه در وضعیت نشسته (پنجمین درصد) ۵۴۳۴ کارگر کشاورزی مرد برای طراحی ارتفاع صندلی، پهنای صندلی، عمق صندلی، پهنای تکیه‌گاه صندلی و ارتفاع تکیه‌گاه صندلی اندازه‌گیری شد. در انتها این ابعاد صندلی براساس صدک‌های ابعادی اطلاعات آنترپومتریک کارگران پیشنهاد شد: ارتفاع صندلی mm ۳۸۰، پهنای صندلی mm ۴۲۰-۴۵۰، پهنای تکیه‌گاه صندلی mm ۳۸۰-۴۰۰ (در انتهای نشیمنگاه) و mm ۲۷۰-۲۹۰ (در بالای تکیه‌گاه)، عمق صندلی mm ۱۰-۳۷۰⁺، شیب سطح نشیمنگاه صندلی ۵-۷ درجه به پشت و ارتفاع تکیه‌گاه صندلی mm ۳۵۰ (مهتا، ۲۰۰۷).

با افزایش شاخص جرم بدنی فشار میانگین توزیع شده بین باسن و بالشتک به صورت خطی افزایش می‌یابد. در نتیجه با افزایش وزن کاربر فشار تماسی بین بدن کاربر و صندلی افزایش خواهد یافت. همچنین نشان دادند که هرچه شیب تکیه‌گاه صندلی کمتر باشد فشار وارده به باسن افزایش می‌یابد (کویجت اورز و همکاران، ۲۰۰۳).

مجموعه باشد. از طرفی دیگر اگر عمق صندلی به صورت قابل توجهی کوچکتر از طول رکبی ران باشد، رانها به صورت بهینه استقرار نمی یابند (اوبورن، ۱۹۹۶). عدم هماهنگی زمانی ایجاد خواهد شد که عمق صندلی کمتر از ۸۸٪ تا بیشتر از ۹۵٪ طول رکبی ران باشد. رابطه ۲ محدوده تناسب بهینه را معرفی می کند (دیانت و همکاران، ۲۰۱۳):

$$0.80 \text{ BPL} \leq SD \leq 0.95 \text{ BPL} \quad (۲)$$

که در این رابطه SD طول صندلی و BPL معرف طول رکبی ران است.

ارتفاع تکیه گاه صندلی^۳

زمانی که ارتفاع شانه (ارتفاع زوائد اخروی شانه) بلندتر از لبه بالایی تکیه گاه باشد کاربر می تواند به آسانی بالا تنه و بازوهایش را حرکت دهد، پس این اندازه باید براساس صدک پنجم ارتفاع شانه جمعیت کاربرها یا براساس کوتاه ترین ارتفاع شانه موجود طراحی شود (پارسلز و همکاران، ۱۹۹۹ و کلاستر، ۲۰۰۴). برای شناسایی محدوده تناسب ارتفاع تکیه گاه صندلی معرفی کردند (هلندر، ۱۹۹۷ و بیلمن، ۲۰۰۲).

$$0.6 \text{ SHH} \leq BH \leq 0.8 \text{ SHH} \quad (۳)$$

که در این رابطه BH ارتفاع تکیه گاه صندلی و SHH ارتفاع شانه است.

پهنای تکیه گاه صندلی^۴

برای حفظ وضعیت قرارگیری بهتر کاربر و کمک به چرخش پایدار لگن خاصره، پهنای تکیه گاه صندلی در انتهای نشستگاه باید ترجیحاً بزرگتر از پهنای آن در بالای تکیه گاه باشد (پارسلز و همکاران، ۱۹۹۹). پس پهنای سطح تکیه گاه در قسمت نشستگاه را براساس صدک نود و پنجم یا بزرگترین پهنای باسن (در وضعیت نشسته) در نظر می گیرند (نصیری و همکاران، ۱۳۸۸ و پارسلز و همکاران، ۱۹۹۹). بدین منظور رابطه ۴ را می توان در نظر گرفت.

پهنای پشت صندلی

برای حفظ وضعیت قرارگیری بهتر اپراتور و کمک به چرخش پایدار لگن خاصره، پهنای پشتی صندلی در

موجود از مدل سازی اجزای محدود در نرم افزار آباکوس ۶-۱۱ استفاده شد که به تفصیل به هر یک پرداخته خواهد شد.

پهنای سطح نشستگاه^۱

برای راحتی و پایداری بیشتر در نشستن، پهنای سطح نشستگاه باید به اندازه ای باشد که فرد با بزرگترین پهنای باسن را در خود جای دهد (گویوال و بودولایز، ۲۰۰۶). پهنای صندلی باید حداقل ۱۰٪ (برای سازگاری با پهنای باسن) و حداکثر ۳۰٪ (برای مقاصد اقتصادی) بزرگتر از پهنای باسن باشد (رابطه ۱) (هلندر، ۱۹۹۷ و پائولا کارکیس و همکاران، ۱۹۹۸):

$$1.10 \text{ HW} \leq \text{SW} \leq 1.30 \text{ HW} \quad (۱)$$

که در این رابطه SW پهنای سطح نشستگاه و HW پهنای باسن است.

طول نشستگاه^۲

برای استفاده بهینه از تکیه گاه صندلی و تکیه انحناء کمر به آن، بدون اینکه فشاری به سطح ناحیه رکبی وارد شود، پژوهشگران زیادی گزارش کرده اند که طول سطح نشستگاه بایستی براساس صدک پنجم طول رکبی ران طراحی گردد (پارسلز و همکاران، ۱۹۹۹ و آقا، ۲۰۱۰) و حداقل ۵ سانتی متر کوتاه تر از طول رکبی صدک پنجم مجموعه باشد. از طرفی دیگر اگر طول صندلی به صورت قابل توجهی کوچکتر از طول رکبی ران باشد، رانها به صورت بهینه استقرار نمی یابند (اوبورن، ۱۹۹۶). عدم هماهنگی زمانی ایجاد خواهد شد که طول صندلی کمتر از ۸۸٪ تا بیشتر از ۹۵٪ طول رکبی ران باشد. رابطه ۲ محدوده تناسب بهینه را معرفی می کند (دیانت و همکاران، ۲۰۱۳).

عمق نشستگاه

برای استفاده بهینه از پشتی صندلی و تکیه انحناء کمر به آن، بدون اینکه فشاری به سطح ناحیه رکبی وارد شود، پژوهشگران زیادی گزارش کرده اند که عمق سطح نشستگاه باید براساس صدک پنجم طول رکبی ران طراحی شود (پارسلز و همکاران، ۱۹۹۵ و آقا، ۲۰۱۰) و حداقل ۵ سانتی متر کوتاه تر از طول رکبی صدک پنجم

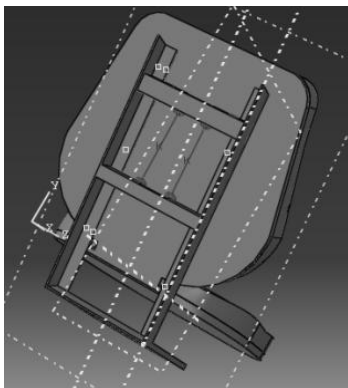
3- Backrest height

4- Backrest width

1- Seat width

2- Seat depth

فولاد با مدول الاستیسیته ۲۰۰ گیگاپاسکال، ضریب پواسون ۰/۳ و چگالی ۷۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب تعریف شد.



شکل ۱- ساختار صندلی تراکتور شامل تکیه‌گاه و نشستگاه، فنرها، پایه و صفحه تکیه‌گاه صندلی

برای خاصیت هایپرالاستیک فوم از تابع پتانسیل انرژی کرنش اگدن استفاده شد (رابطه ۵). ضرایب معادله به‌صورت تابع انرژی کرنش مرتبه دوم ($N=2$) و پارامترهای وابسته به دما به‌صورت (α_i) و (μ_i) تعریف شدند که ضریب‌های مدول برشی اولیه (μ_1) و (μ_2) به ترتیب ۱۸/۳ و ۰/۲۱ کیلوپاسکال و ضریب‌های 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 مترمکعب درنظر گرفته شد (استاندارد بین‌المللی، ۱۹۹۷ و مهتا، ۲۰۰۶).

$$w = \sum_{i=1}^N \frac{2\mu_i}{\alpha_i^2} \left[\frac{1}{\beta_i} \left((J^{el})^{-\alpha_i \beta_i} - 1 \right) \right] \quad (5)$$

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

برای مدل‌سازی فوم صندلی از خاصیت هایپرالاستیک مواد پلی‌اورتان استفاده شد (مهتا، ۲۰۰۶). تحلیل به کار گرفته شده در این پژوهش از نوع دینامیکی صریح^۳ بود که ابزاری کارا برای حل گسترده‌ای از مسائل مکانیکی

انتهای نشستگاه باید ترجیحاً بزرگ‌تر از پهنای آن در بالای پشتی باشد (پارسلز و همکاران، ۱۹۹۹). پس پهنای سطح پشتی در قسمت نشستگاه را براساس صدک نود و پنجم یا بزرگ‌ترین پهنای باسن (در وضعیت نشسته) درنظر می‌گیرند (نصیری و همکاران، ۱۳۸۸ و پارسلز و همکاران، ۱۹۹۹). بدین منظور رابطه ۴ را می‌توان درنظر گرفت:

$$1.1 HW \leq BWU \leq 1.3 HW \quad (4)$$

که در این رابطه BWU پهنای تکیه‌گاه در ناحیه نشستگاه و HW پهنای باسن در وضعیت نشسته است. برای محاسبات مورد نظر در طراحی تشکچه ارگونومی از داده‌ها و اطلاعات انترپومتری جامعه رانندگان ایرانی تراکتور که به‌صورت تصادفی از ۲۵۰ نفر در رده سنی ۲۰ تا ۶۰ سال انتخاب شده‌اند استفاده شد تراکتورهای بررسی شده مسی فرگوسن ۲۸۵، مسی فرگوسن ۳۹۹، والترا و نیوهلند بودند (رستمی و همکاران، ۱۳۸۹). لذا براساس محاسبات انجام شده، ابعاد مورد نظر برای طراحی تشکچه به‌صورت زیر درنظر گرفته شدند.

عمق نشستگاه ۳۷ سانتی‌متر، پهنای نشستگاه ۵۰ سانتی‌متر، ارتفاع تکیه‌گاه ۳۴ سانتی‌متر، حداقل پهنای تکیه‌گاه ۴۴ سانتی‌متر، زاویه سطح نشستگاه به سمت عقب ۵/۷۵ درجه و زاویه میان سطح نشستگاه و تکیه‌گاه ۱۰۵ درجه براساس استاندارد ملی ایران ۸۴۰۴ (۱۳۸۴). با توجه به اینکه هیچ‌گونه منبعی برای تعریف انحنای تشکچه وجود نداشت، با درنظر گرفتن انحنای بدن در حالت نشسته و استاندارد ملی ایران ۸۴۰۴ (۱۳۸۴)، تشکچه‌های مختلفی طراحی و با تشکچه ارگونومیکی موجود مقایسه و بهترین طرح انتخاب شد.

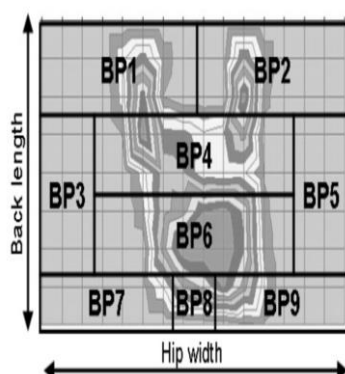
مدل اجزای محدود

چهار جز اصلی صندلی که شامل تکیه‌گاه صندلی، فوم نشستگاه صندلی، پایه صندلی و ساختار بدون فوم صندلی هستند برای مدل‌سازی تشکچه ارگونومی صندلی تراکتور در نرم‌افزار آباکوس ترسیم شد (شکل ۱). این اجزاء از نوع Solid بوده و به‌صورت اجزای شکل‌پذیر سه‌بعدی^۱ با تعداد ۱۵۸۲۹۴ المان ۴ گره‌ای مرتبه اول چهارضلعی تعریف شده‌اند. در قسمت تعریف خواص^۲ ساختار صندلی، خواص

^۳ Dynamic Explicit

1- 3D-Deformable
2- Property Module

نواحی بال‌های عمودی از فوم تکیه‌گاه صندلی است (زینک و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل ۳- نقشه فشاری ناحیه تماسی بدن با سطح تکیه‌گاه صندلی (زینک و همکاران، ۲۰۰۶)

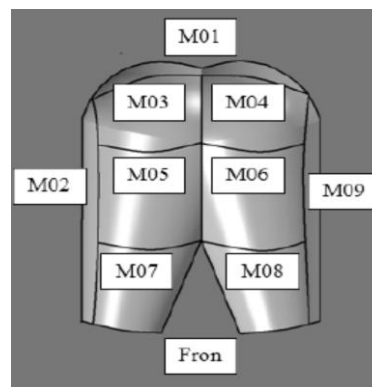
مدل تشکچه ارگونومی طراحی شده و مدل صندلی تراکتور موجود در فرکانس‌های (۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۶، ۲۲، ۳۳، ۶۶ هرتز) و برای جرم متفاوتی (۵۵، ۷۰ و ۸۵ کیلوگرم) از رانندگان ایرانی تجزیه و تحلیل شدند. نتایج حاصل از شتاب‌های نواحی مختلف نشستگاه و تکیه‌گاه صندلی در فشارهای تماسی متفاوت برای هر دو مدل به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در نرم‌افزار آماری SPSS ویرایش ۲۰ ارزیابی و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل واریانس شتاب‌های خروجی

نتایج تجزیه واریانس سطوح شتاب خروجی نواحی تماسی بدن کاربر با نشستگاه صندلی تراکتور در جدول ۲ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که میانگین‌های اثرات نوع صندلی و جرم کاربر بر مقادیر شتاب خروجی در تمام نواحی تماسی نشستگاه و بسامد به جز استخوان دنباله همچنین میانگین‌های اثرات برهم‌کنش جرم کاربر و مدل صندلی، بسامد و مدل صندلی بر مقادیر شتاب خروجی در نواحی تماسی دارای سطح معنی‌داری ۵٪ بود. نتایج تجزیه واریانس سطوح شتاب خروجی برای نواحی تماسی بدن کاربر با تکیه‌گاه صندلی تراکتور نیز در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج بیان می‌کند که میانگین‌های اثرات بسامد بر مقادیر شتاب خروجی در

سازه‌های غیرخطی است. برای طراحی فنرها در نرم‌افزار از المان‌های فنری^۱ استفاده شد و نقاط اتصال فنرها مابین صفحه تکیه‌گاه صندلی و اتصال دهنده صندلی به تراکتور در نظر گرفته شد (شکل ۲)، همچنین سختی فنرها با استفاده از معادلات طراحی اجزا ۳/۰ نیوتون بر متر در نظر گرفته شد.



شکل ۲- نواحی تماسی بدن با سطح نشستگاه صندلی (ناصری، ۲۰۱۱)

محدوده توزیع فشار در نواحی تماس بدن کاربر با صندلی
توزیع فشار در محل تماس بدن شخص با سطح تماس در قسمت‌های مختلف صندلی متفاوت است. در محل تماس بدن کاربر با سطح نشستگاه به ۹ ناحیه تقسیم شدند و میزان فشار هر ناحیه متناسب با وزن کاربر محاسبه شدند. شکل ۲ ناحیه تماسی بدن با سطح نشستگاه را نشان می‌دهد. این نواحی شامل ناحیه M01 ناحیه تماس استخوان دنباله، 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 (ناصری، ۲۰۱۱).

نواحی تماس بدن کاربر با سطح تکیه‌گاه صندلی توسط یک نقشه فشاری در محل تماس کمر به ۹ ناحیه متفاوت تقسیم شده است (شکل ۳). این نواحی شامل BP1 و BP2 نواحی پشت شانه‌ها، BP4 ناحیه بالای پشت کمر، BP6 ناحیه میانی و پایینی کمر، BP8 ناحیه بالای استخوان دنباله و BP7 و BP9 نواحی بالای لگن‌ها و BP3 و BP5

تماسی معنی‌دار نشده است. بررسی نتایج آنالیز واریانس مدل صندلی نشان داد که میانگین‌های نوع صندلی به جز ناحیه بالای کمر در دیگر نواحی اختلاف معنی‌داری در شتاب خروجی نشان می‌دهد.

تمام نواحی تماسی در سطح ۵٪ معنی‌دار است همچنین میانگین‌های اثرات برهم‌کنش مدل صندلی و بسامد بر مقادیر شتاب خروجی در تمام نواحی تماسی در سطح ۵٪ معنی‌دار بوده ولی میانگین‌های اثرات برهم‌کنش جرم کاربر و مدل صندلی، مقادیر شتاب خروجی در نواحی

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس شتاب‌های سطوح مختلف عامل‌های مدل صندلی، جرم کاربر و بسامد در نواحی مختلف نشستگاه صندلی

میانگین مربعات نواحی مختلف تماسی بدن با نشستگاه صندلی					درجه آزادی	منابع تغییر
بال‌های افقی	زیر کفل‌ها	زیر زانو‌ها	زیر ران‌ها	بحرانی زیر کفل‌ها (تماس کفل‌ها)		
۰/۰۶۱*	۱/۴۵۶*	۰/۸۸۶*	۰/۹۴۷*	۳/۶۷۹*	۲	جرم کاربر
۰/۰۵۶*	۰/۱۹۱*	۰/۰۸۵*	۰/۰۹۴*	۰/۹۱۱*	۱۲	بسامد
۲/۷۶۸*	۸۶/۸۲۵*	۴۳/۱۷۷*	۴۴/۸۲۰*	۲۱۲/۳۹۹*	۱	نوع صندلی
۰/۰۷۴*	۱/۶۰۳*	۰/۸۷۳*	۰/۹۹۲*	۳/۷۱۱*	۲	جرم کاربر × نوع صندلی
۰/۱۶۴*	۰/۳۹۲*	۰/۰۶۴*	۰/۱۰۶*	۱/۰۶۲*	۱۲	نوع صندلی × بسامد
۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰	۲۳۳	خطا
-	-	-	-	-	۳۱۱	جمع کل

* و ns به ترتیب سطوح معناداری ۵٪ و عدم معنی‌داری

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس شتاب‌های سطوح مختلف عامل‌های مدل صندلی، جرم کاربر، بسامد در نواحی مختلف تکیه‌گاه صندلی

نواحی تماسی بدن با تکیه‌گاه				درجه آزادی	منابع تغییر
پشت شانه‌ها	بالای لگن	میانی و پایینی کمر	بالای کمر		
۰/۱۲۷ ^{ns}	۰/۰۸۴ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۲	جرم کاربر
۴/۲۹۶*	۳/۴۵۴*	۰/۷۴۱*	۰/۳۶۲*	۱۲	بسامد
۲۹/۲۹۹*	۲۰/۳۶۲*	۰/۶۵۰*	۰/۱۵۷ ^{ns}	۱	نوع صندلی
۰/۱۶۲ ^{ns}	۰/۱۲۶ ^{ns}	۰/۰۱۸ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۲	جرم کاربر × نوع صندلی
۴/۲۶۷*	۲/۷۷۹*	۰/۸۲۰*	۰/۳۷۸*	۱۲	نوع صندلی × بسامد
۰/۶۰۱	۰/۴۵۲	۰/۱۰۶	۰/۰۵۴	۲۳۳	خطا
-	-	-	-	۳۱۱	جمع کل

* و ns به ترتیب سطوح معناداری ۵٪ و عدم معنی‌داری

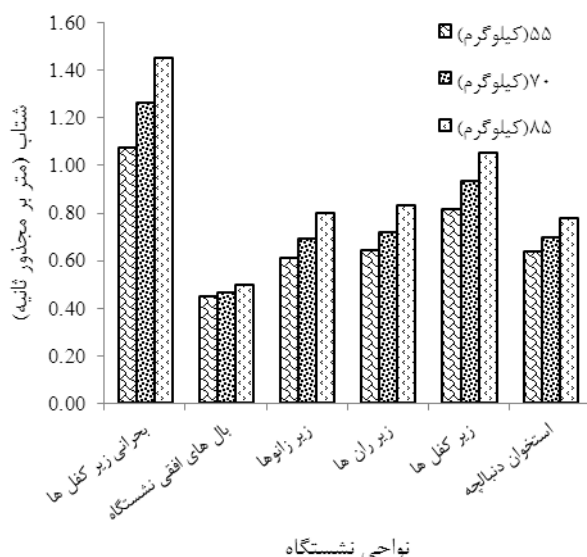
کفل‌ها مشاهده می‌شود. با توجه به شکل، شتاب ناحیه زیر کفل‌ها در تشکچه هوا کاهش چشم‌گیری نسبت به صندلی موجود نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود شتاب خروجی تشکچه هوا در تمامی نواحی در محدوده کمی ناراحت قرار دارد که محدوده مناسبی برای کاربر است.

میانگین اثر بسامد بر مقادیر شتاب نواحی تماسی نشستگاه صندلی در شکل ۵ در تمام نواحی نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود بجز ناحیه بحرانی زیر کفل‌ها در دیگر مناطق شتاب خروجی در محدوده کمی ناخوشایند و پایین‌تر هستند. با توجه به نتایج نیاز به بازنگری و

میانگین‌های سطوح عامل‌های اصلی بر شتاب نواحی نشستگاه

در این پژوهش نشستگاه صندلی به شش ناحیه تقسیم شد. این نواحی شامل ناحیه بال‌های افقی نشستگاه، زیر کفل‌ها، استخوان دنبالچه، زیر زانو‌ها، زیر ران‌ها و ناحیه بحرانی زیر کفل‌ها بود. با توجه به بررسی نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که میانگین‌های اثر مدل صندلی بر مقادیر شتاب نواحی تماسی معنی‌دار بود. شکل ۴ نشان می‌دهد که شتاب خروجی در تمامی نواحی تماسی مدل تشکچه هوا نسبت به صندلی موجود کاهش زیادی داشته است. این کاهش شتاب به خصوص در ناحیه بحرانی زیر

می شود افزایش جرم در تمامی نواحی تماسی، سبب افزایش شتاب خروجی است که به دلیل افزایش فشار تماسی بدن در ناحیه نشستگاه با افزایش جرم بوده که سبب افزایش تغییر مکان و در نهایت افزایش شتاب شده، همچنین میانگین های اثر جرم کاربر بر مقادیر شتاب نواحی تماسی تمام نقاط معنی دار بوده است.

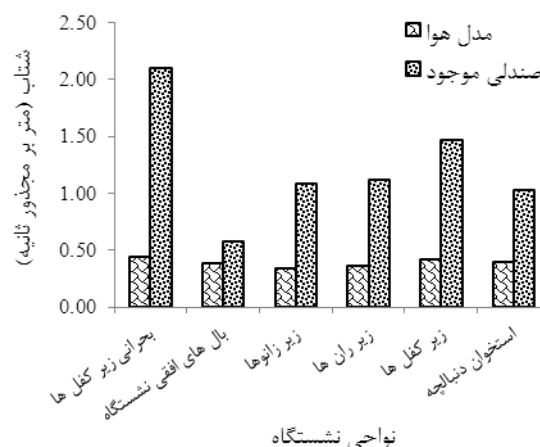


شکل ۶- میانگین های اثر جرم راننده بر مقادیر شتاب خروجی نواحی نشستگاه

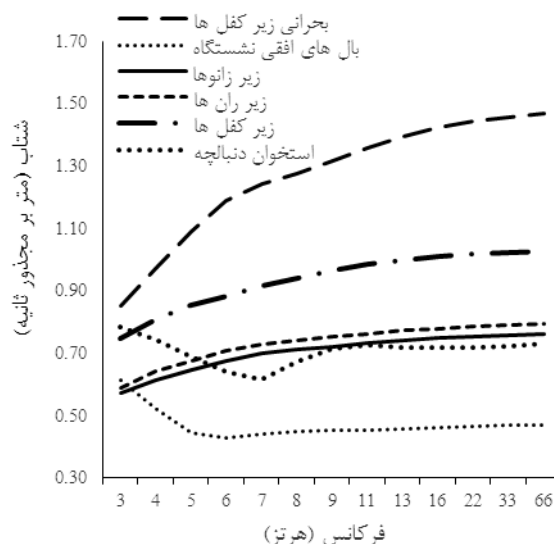
بررسی نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد که میانگین های اثر جرم کاربر بر مقادیر شتاب نواحی تماسی به این دلیل که درصد کمی از جرم کاربر به تکیه گاه منتقل می شود، معنی دار نبوده است. شکل ۷ میانگین های اثر جرم کاربر بر مقادیر شتاب نواحی تماسی تکیه گاه صندلی را نشان می دهد. جرم ۸۵ کیلوگرم در تمامی نواحی تکیه گاه، شتاب خروجی بیشتری را دارد. مناطق پشت شانه ها و ناحیه بالای لگن در محدوده کمی ناخوشایند و مناطق بالای کمر و ناحیه میانی و پایینی کمر در محدوده کمی ناراحت قرار دارند.

بررسی نتایج واریانس در تحلیل تکیه گاه صندلی نواحی بالای لگن، میانی و پایینی کمر، بالای کمر و شانه ها، نشان دهنده معنی داری میانگین های اثر مدل صندلی بر مقادیر شتاب نواحی تماسی تکیه گاه بجز در ناحیه بالای کمر است. با توجه به شکل ۸، در تمام نواحی، صندلی موجود کمترین شتاب خروجی را نسبت به تشکچه هوا به خود اختصاص داد که بیانگر این است که میزان انتقال

اصلاح در ناحیه بحرانی زیر کفل ها مشاهده می شود. در بررسی ای ناراحتی های ایجاد شده در بدن در محدوده بسامدی بررسی شد (ویدام و گریفین، ۱۹۷۸). نتایج نشان داد که در بسامدهای بالا میزان شتاب خروجی در محدوده ناخوشایند و بسیار ناخوشایند است که مشابه با نتایج این پژوهش است. دامنه اسپکتروم شتاب در بسامد ۶۶ هرتز به بیشترین مقدار رسیده است و شرایط عدم راحتی را برای کاربر در نشستگاه صندلی ایجاد کرده است.



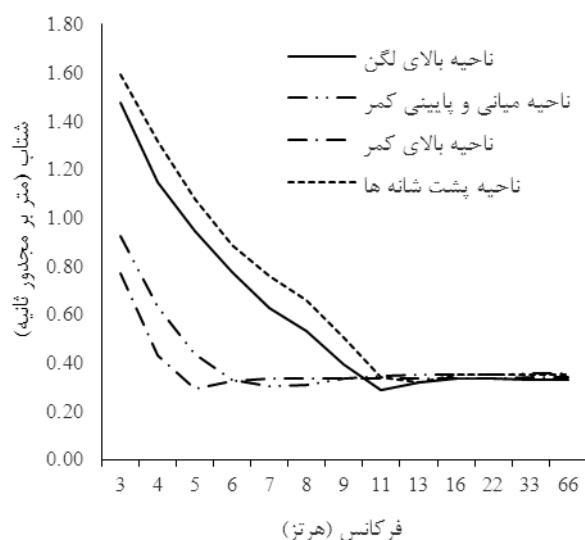
شکل ۴- میانگین های اثر مدل صندلی بر مقادیر شتاب نواحی نشستگاه تشکچه هوا و صندلی موجود



شکل ۵- میانگین های اثر فرکانس بر مقادیر شتاب نواحی تماسی نشستگاه

شکل ۶ میانگین های اثر جرم کاربر بر مقادیر شتاب نواحی تماسی نشستگاه را نشان می دهد. همان طور که مشاهده

میانگین‌های تأثیر بسامد تحریک بر مقادیر شتاب نواحی تماسی تکیه‌گاه در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش بسامد، دامنه اسپکتروم شتاب خروجی در محدوده کمی ناراحت قرار دارد که این منطقه مناسبی برای کاربر است. از طرفی در بسامدهای بیشتر از ۱۳ هرتز افزایش مقدار شتاب آهنگ ثابت بسیار ناچیزی داشته و تغییرات زیادی در مقدار شتاب خروجی مشاهده نمی‌شود (نصیری و همکاران، ۱۳۸۸).

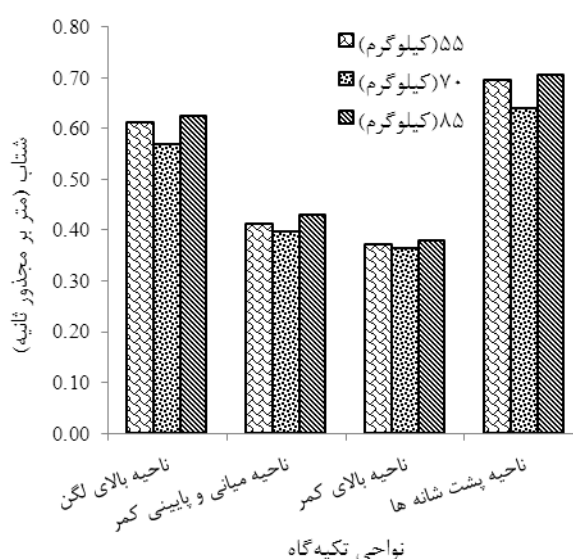


شکل ۹- میانگین‌های اثر فرکانس بر مقادیر شتاب نواحی تماسی تکیه‌گاه

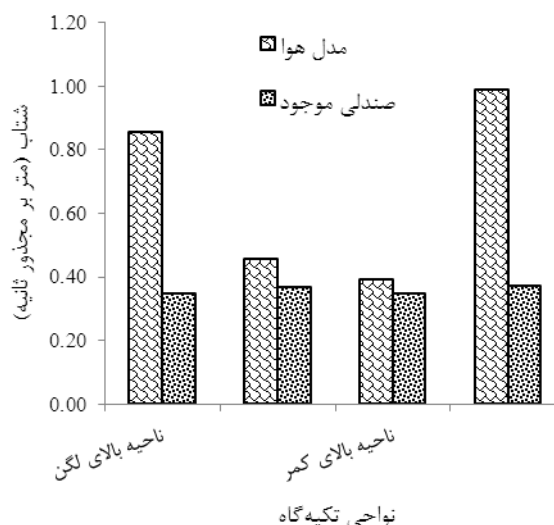
نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده روی اثرات مدل صندلی بر شتاب نواحی تماسی بدن کاربر با نشستگاه تشکچه ارگونومی نتایج نشان داده شد که تشکچه طراحی شده از هوا محدوده آسایش و راحتی بیشتری را برای کاربر نسبت به صندلی موجود فراهم کند و می‌تواند جایگزین مناسبی برای صندلی موجود باشد. از سوی دیگر بررسی شتاب‌های نواحی تماسی بدن کاربر با تکیه‌گاه نشان داد که تکیه‌گاه صندلی موجود راحتی و آسایش بیشتری را برای کاربر فراهم می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب نشستگاه تشکچه هوا و تکیه‌گاه صندلی موجود با اصلاحاتی مختصر می‌تواند راحتی و آسایش کاربر را نسبت به صندلی موجود بهبود بخشد.

شتاب به بدن کاربر در تکیه‌گاه صندلی موجود نسبت به تشکچه هوا مناسب‌تر است که می‌تواند ناشی از کم بودن مقدار وزن توزیع شده کاربر روی تکیه‌گاه در مقایسه با نشستگاه دانست که باعث عدم کارایی خواص میرایی تشکچه طراحی شده و کاهش مقدار انتقال پذیری تشکچه را به همراه داشته است. ولی این نکته را باید در نظر داشت که اگرچه به نظر می‌رسد صندلی موجود از نظر میزان انتقال ارتعاش در تکیه‌گاه مناسب‌تر از تشکچه هوا است، اما چون تشکچه هوا براساس خصوصیات آنترپومتری رانندگان ایرانی طراحی شده است، از دیدگاه ارگونومی با تغییراتی می‌تواند برای کاربر مناسب باشد.



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



شکل ۸- میانگین‌های اثر مدل صندلی بر مقادیر شتاب نواحی تکیه‌گاه تشکچه ارگونومی و صندلی موجود

منابع

۱. بی نام. ۱۳۸۴. استاندارد ملی ایران ۸۴۰۴ ماشین های خاکبرداری- صندلی کاربر- ابعاد و الزامات. ۱۵ ص.
۲. رستمی م. جوادی ا. شاکر م. مهدی نیا ع. و حیدری سلطان آبادی م. ۱۳۸۹. بررسی ارگونومیکی برخی از اجزای تراکتورهای متداول و جدید در ایران. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) ۲۴ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹. ۱۷ ص.
۳. شهرپاری احمدی م. ۱۳۸۶. روانشناسی عوامل انسانی. انتشارات زرباف اصل، تهران. ۲۸۰ ص.
۴. نصیری پ. ماری اریاد ح. جهانگیری م. ریسمانچیان م. و کریمی ع. ۱۳۸۸. پاسخ انسان به ارتعاش. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. ۴۰۶ ص.
5. Agha S. R. 2010. School furniture match to students' anthropometry in the Gaza Strip. *Ergonomics*, 53(3): 344-354.
6. Anonymous. 2002. VDI 2057-1 Human Exposure to Mechanical Vibrations - Whole-body Vibration. 39 p.
7. Bellmann M. A. 2002. Perception of Whole Body Vibration: From Basic Experiments to Effects of Seat and Steering Wheel Vibrations on Passengers Comfort Inside Vehicles. Dissertation in doctor of Philosophy. University of Oldenburg, Germany. 209 p.
8. Corlett E. N. and Clark T. S. 1995. The Ergonomics of Workspace and Machines: A Design Manual, 2nd edition. London: Taylor and Francis. 144 p.
9. Dianat I. Sorkhi N. Pourhossein A. Alipour A. Asghari and Neck M. 2013. shoulder and low back pain in secondary schoolchildren in relation to schoolbag carriage: Should the recommended weight limits be gender-specific? *Applied Ergonomics*. 1-6.
10. Gouvali M. K. Boudolos K. 2006. Match between school furniture dimensions and children's anthropometry. *Applied Ergonomics*. 37(6): 765-773.
11. Grujicic M. Mattressdurangan B. Xie X. Gramopadhye A. K. Wagner D. Ozen M. 2009. Musculoskeletal computational analysis of the influence of car-seat design/adjustments on long-distance driving fatigue. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 40(3): 345-355.
12. Helander M. 1997. Anthropometry in workstation design. In: Helander M. (Ed.), A Guide to the Ergonomics of Manufacturing. Taylor & Francis, London. pp. 17-28.
13. Hostens I. Papaioannou G. Spaepen A. and Ramon H. 2001. Buttock and back pressure distribution tests on seats of mobile agricultural machinery. *Applied Ergonomics*. 32(4): 347-355.
14. International Standard 2631-1. 1997. Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration-Part 1: General Requirements, ISO. Geneva. 38 p.
15. Klooster S. J. 2004. Vibration Suppression and Safety Seat Mation Design of a Hyper Active Seat. Thesis in Master of Science in Mechanical Engineering, Georgia institute of technology, USA. 132 p.
16. Kuijt-Evers L. F. M. Krause F. Vink P. 2003. Aspects to improve cabin comfort of wheel loaders and excavators according to operators. *Applied Ergonomics*, 34(3): 265-272.
17. Liaoa M. H. and Drury C. G. 2000. Posture, discomfort and performance in a VDT task. *Ergonomics*. 43(3): 345-359.
18. Makhsoos M. Hemdrix R. Crowtherk Z. Namand E. and Lin F. 2005. Reducing whole-body vibration and musculoskeletal injury with a new car seat design. *Ergonomics*. 48(9): 1183-1199.
19. Mansfield N. J. 2005. Human Response to Vibration. CRC Press, USA. 248 p.
20. Marras W. S. Karwowski. W. 2006. The Occupational Ergonomics Handbook: Interventions, Controls, and Applications in Occupational Ergonomics, 2nd ed. Boca Raton FL: CRC Press. 520 p.
21. Mehta C. R. Gite L. P. Pharade S. C. Majumder J. and Pandey M. M. 2008. Review of anthropometric considerations for tractor seat design. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 38(5-6): 546-554.
22. Mehta C. R. Tewari V. K. 2000. Seating discomfort for tractor operators - a critical review. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 25(6):661- 674.
23. Mehta C. R. Tiwari P. S. Rokade S. Pandey M. M. Pharade S. C. Gite L. P. and Yadav S. B. 2007. Leg strength of Indian operators in the operation of tractor pedals. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 37 (4): 283-289.
24. Mehta C. R. 2006. Ergonomic assessment of existing tractor seats. Technical Report (RPF III), Central Institute of Agricultural Engineering, Bhopal, India. 24 p.
25. Mircheski I. Kandikjan T. and Simonovski P. 2010. Virtual testing and experimental verification of seat comfort in driver's seat for passenger automobile. *Cyrril & Methodius University, Faculty of Mechanical Engineering, Karpos II*, 1000 Skopje, Republic of Macedonia. 36(2): 7- 20
26. Mondelo P. Gegori E. and Barrau P. 2000. *Ergonomi'a 1: Fundamentos*, third ed. Alfaomega Gupo Editor - UPC, Me' xico.

27. Naseri A. 2011. Interface pressure and vibration comfort evaluation of an air-cushion suspension seat. Concordia University: 148 p.
28. Osborne D. J. 1996. Ergonomics at Work: Human Factors in Design and Development, third ed. John Wiley & Sons, Chichester. 462 p.
29. Parcels C. Stommel M. and Hubbard R. P. 1999. Mismatch of classroom furniture and student body dimensions: empirical findings and health implications. *Journal of Adolescent Health*. 24(4): 265-273.
30. Poulakakis G. and Marmaras N. 1998. A model for the ergonomic design of office. In: Scott P. A., Bridger R. S., Charteris J. (Eds.), *Proceedings of the Ergonomics Conference in Cape Town: Global Ergonomics*. Elsevier Ltd. pp. 500-504.
31. Purell W. F. H. 1980. The human factor in farm and industrial equipment design. *ASAE Distinguished Lecture Series*. 6: 30.
32. Siefert A. Pankoke S. Wolfel H. P. 2008. Virtual optimisation of car passenger seats: Simulation of static and dynamic effects on drivers' seating comfort. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 38(5-6): 410-424.
33. Vink P. 2005. *Comfort and design. Principles and good practice*. CRC Press: Hoboken.
34. Whitham E. and Griffin M. J. 1978. The effects of vibration frequency and direction on the location of areas of discomfort caused by whole-body vibration. *Applied Ergonomics*. 9 (4): 231-239.
35. Zenk R. Mergl C. H. Hartung J. Sabbah O. and Bubb. H. 2006. Objectifying the comfort of car seats. *Standard of American Engineers. Technical paper series*, World congress: Detroit, Michigan, April 3-6. p. 13.