

بررسی اثر فوم و اسفنج به کار رفته در نشیمن‌گاه صندلی بر میزان ارتعاش به بدن سرنشین

ندا عسگری فرا^۱، علی ملکی^{۲*} و مجید لشگری^۳

چکیده

انتقال انرژی مکانیکی، از یک منبع مرتعش به بدن انسان، باعث کاهش بازده، ضایعات اسکلتی، اختلال در راحتی فرد، اختلال‌های فیزیولوژیکی و روانی انسان می‌گردد. نبودن سیستم‌های تعلیق در ماشین‌های کشاورزی سبب شده تا راننده این ماشین‌ها در معرض محدوده وسیعی از ارتعاش‌ها قرار گیرد. یکی از راه‌های کاهش ارتعاش‌های وارد بر سرنشین، استفاده از فوم مناسب برای نشیمن‌گاه صندلی است. در این پژوهش، میزان انتقال ارتعاش توسط فوم و اسفنج پلی‌یورتان و اثر عوامل مختلف در کاهش ارتعاش وارد بر بدن سرنشین بررسی خواهد شد. در این راستا فوم گرم، فوم سرد و اسفنج پلی‌یورتان در ضخامت‌های ۸، ۱۰، ۱۲ سانتی‌متر و جرم حجمی ۱۲/۵، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، در معرض ارتعاش قرار گرفتند. همچنین، جرم سرنشین در سه سطح ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ کیلوگرم و شتاب تحریک در سه سطح مختلف در بازه ۶-۱ متر بر مجذور ثانیه به نمونه‌ها وارد شد. شتاب‌های ورودی و خروجی ثبت گردید و تحلیل‌های تجربی با نرم‌افزار MatLab و SPSS انجام شد. نتایج نشان داد، انتقال ارتعاش فوم سرد کمتر از اسفنج و فوم گرم است (حدود ۱۰ درصد). با توجه به آنترپومتری و جرم سرنشین تراکتور در ایران (۹۰-۷۲ کیلوگرم)، استفاده از فوم سرد با جرم حجمی ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب (انتقال‌پذیری ۲۶ درصد)، ضخامت ۸-۱۰ سانتی‌متر، در بازه شتاب تحریک ۴-۳ متر بر مجذور ثانیه (انتقال‌پذیری ۱۷ درصد) با توجه به اصول ارگونومی، مناسب‌ترین انتخاب برای نشیمن‌گاه صندلی ماشین‌های با ارتعاش بالا است.

واژگان کلیدی: انتقال‌پذیری، ارتعاش، ارگونومی، صندلی، فوم پلی‌یورتان.

ارجاع: عسگری فر ن. و ملکی ع. و لشگری م. ۱۳۹۶. بررسی اثر فوم و اسفنج به کار رفته در نشیمن‌گاه صندلی بر میزان انتقال ارتعاش به بدن سرنشین. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۶(۲): ۸-۱.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

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

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک.

* نویسنده مسئول: maleki@agr.sku.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۱

مقدمه

انتقال انرژی مکانیکی، از یک منبع مرتعش به بدن انسان، منجر به اختلال‌های اسکلتی-عضلانی، اختلال در راحتی و آسایش فرد و کاهش بازده می‌شود. اختلال‌های اسکلتی-عضلانی سبب ایجاد ناراحتی عضلات و استخوان‌ها از جمله کمر، شانه، بازوها و دست‌ها می‌شود و احتمال بروز فتق دیسک و ناراحتی‌های نخاعی را افزایش می‌دهد. این عوارض یکی از عمده‌ترین عوامل از دست‌رفتن زمان کار، افزایش هزینه‌ها و آسیب‌های انسانی نیروی کار در بین رانندگان تراکتور، کامیون، جرثقیل، اتوبوس و دیگر وسایل نقلیه زمینی به شمار می‌آید و می‌تواند به دلیل مواجهه با ارتعاش صندلی باشد (Lings & Leboeuf, 2000; Yue & Mester, 2001; Bovenzi, 2005; Golmohammadi, 2006; Monazam et al., 2005)

امروزه با توجه به تفاوت ویژگی‌های آن‌تروپومتری رانندگان کشورهای مختلف و عدم سفارشی‌سازی ساخت و تولید تراکتور برای کشور خاص، به دلیل وجود صندلی‌های نامناسب بدون لحاظ اصول ارگونومی (داده‌های آن‌تروپومتری)، عارضه دردکمر و عضلات رانندگان در حال افزایش است (Daeijavad & Maleki, 2016; Koley et al., 2010). اثرهای ارتعاش بر روی بدن انسان باعث می‌شود، ماهیچه‌های فرد در تلاش برای تعدیل ارتعاش‌ها قرار گیرند (Chaffin et al., 2001). حالت نامناسب فرد حین رانندگی، می‌تواند در میزان ارتعاش منتقل شده به بدن سرنشین تأثیر بگذارد (Demec et al., 2002; Tiemessen, 2007). در تراکتورها و وسایل نقلیه دیگری که سطوح ارتعاش‌های بالا دارند، استفاده از بعضی نشیمن‌گاه‌های فومی که از نظر ارگونومی بهینه شده‌اند، ممکن است خطر مربوط به ارتعاش تمام‌بدن و اختلال‌های اسکلتی-عضلانی را در بین رانندگان کاهش دهد (Makhsous et al., 2005).

اگر بسامد طبیعی سیستم با بسامد محرک برابر شود، سیستم به شدت مرتعش می‌شود و دامنه نوسان افزایش می‌یابد. به این پدیده، تشدید گفته می‌شود که باعث افزایش جابه‌جایی در سیستم در حال نوسان شده و منجر به تخریب آن می‌شود (Thomson & Dillon Dahleh, 2005). مطالعه مشکلات ناشی از صدمه‌های مکانیکی وارد بر بدن راننده و تعیین بسامد بحرانی اندام‌های مختلف از اهمیت خاصی برخوردار است؛ به ویژه، هنگامی که بسامد

ارتعاش منتقل شده به بدن، در محدوده بسامدهای طبیعی اندام‌های وی باشد (Maleki & Mohtasebi, 2014). پژوهش‌گران مقادیر ارتعاش عمودی $0.2/5, 0.5/5, 1$ و 2 را در محدوده بسامد $20-200$ Hz روی ۸ نفر راننده نشسته در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز ارتعاش بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با توجه به عامل جرم ظاهری شخص، با افزایش اندازه ارتعاش، بسامد تشدید نیم‌تنه بالایی بدن راننده از ۶ به ۴ هرتز کاهش می‌یابد (Fairley & Griffin, 1990).

ارتعاش‌های خطی روی بدن تأثیرگذار هستند و باعث ایجاد ناراحتی و درد می‌شوند؛ این در حالی است که شتاب‌های دورانی غالباً موجب ناراحتی نمی‌شوند نمی‌شوند (Griffin et al., 1982). در مواجهه با ارتعاش تمام‌بدن، محدوده آسیب با توجه به اندازه فرکانس، دامنه ارتعاش و نوع وسیله نقلیه متفاوت است (Mansfield & Griffin, 2002). گروهی از مطالعات، اثرهای فوری ارتعاش تمام‌بدن (McBride et al., 2010; Turner et al., 2011) و گروهی، اثرهای آن در بلندمدت را بررسی کردند (Machado et al., 2010; Tsai & Lin, 2011). نتایج متفاوت و گاهی متضاد، می‌تواند ناشی از تنظیمات دستگاه (بسامد و دامنه)، وضعیت فرد حین انجام دادن ارتعاش و زمان اجرای ارتعاش باشد (Lamont et al., 2011).

یکی از معیارهای مهم که به طور گسترده‌ای برای تعیین میزان ارتعاش صندلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی یا $SEAT^1$ نام دارد. قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی، نسبت ارتعاش نشیمن‌گاه صندلی را به ارتعاش پایه آن مشخص می‌کند (Van Niekerk et al., 2003). رابطه (۱) و (۲) برای محاسبه قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی استفاده می‌شود:

$$SEAT(\%) = \frac{RMS_{seat}}{RMS_{floor}} \times 100 \quad (1)$$

$$SEAT(\%) = \frac{VDV_{seat}}{VDV_{floor}} \times 100 \quad (2)$$

اصلاح فوم نشیمن‌گاه صندلی می‌تواند یکی از راه‌های کاهش ارتعاش به بدن سرنشین باشد. پلیمرها طی چهار دهه، تأثیر زیادی بر صنعت داشته و توانسته‌اند سازندگان را در رسیدن به اهداف مهمی چون جذب ارتعاش‌ها و ضربه کمک نماید (Mirmohammad Sadeghi, 2001).

امروزه، مطالعه درباره مواد جدیدی که خواص مکانیکی و

موجبات بهبود سلامتی راننده و افزایش بازده کاری او فراهم شود. هدف از انجام این پژوهش، انتخاب فوم و اسفنج مناسب نشیمن‌گاه صندلی سرنشین به‌عنوان جاذب ارتعاش و بررسی میزان انتقال‌پذیری آن‌هاست که در این راستا، عواملی چون ضخامت، جرم حجمی، جرم سرنشین و شتاب‌تحریک بررسی شدند. همچنین، میزان انتقال ارتعاش توسط فوم و اسفنج پلی‌یورتان و اثر عوامل مختلف در کاهش ارتعاش وارد بر بدن سرنشین به منظور امکان‌سنجی جایگزینی این مواد در نشیمن‌گاه صندلی متناسب با رانندگان ایرانی بررسی خواهند شد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، فوم و اسفنج با ضخامت و جرم حجمی مختلف در معرض شتاب تحریک قرار گرفته است و میانگین شتاب‌های ورودی و خروجی با توجه به اثر عوامل مختلف بررسی خواهد شد. در این راستا تیمارهای آزمایش، نوع ماده (دو سطح)، نوع فوم (دو سطح)، ضخامت (دو سطح)، جرم حجمی (چهار سطح)، شتاب تحریک (سه سطح) و جرم سرنشین (سه سطح) هستند. اثر تیمارهای مختلف بر شتاب خروجی نمونه مورد نظر بررسی شدند. با استفاده از دستگاه تکاننده موجود در دانشگاه شهرکرد، آزمایش ارتعاشی انجام شد. با نصب یک شتاب‌سنج یک‌جهته مدل ۳۲۵۵ شرکت دیتران که در شکل ۱ مشاهده می‌شود بر روی صفحه واردکننده ارتعاش بر فوم و نصب شتاب‌سنج دیگر بر روی فوم (معادل سطح نشیمن‌گاه صندلی)، شتاب‌تحریک و شتاب‌خروجی از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. از طریق ثبت‌کننده داده‌ها^۷ مدل MC 3022 به لپ‌تاپ منتقل گردید و با نرم‌افزار Scope به صورت سیگنال‌های ارتعاشی ثبت شد. با استفاده از نرم‌افزار MatLab، ریشه میانگین مربعات شتاب، محاسبه و با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در نرم‌افزار SPSS تحلیل شدند. انتخاب محل نصب شتاب‌سنج‌ها بر حسب استانداردهای جهانی، در محلی نزدیک به نقطه مرجع نشستگاه صندلی بر روی فوم صندلی، به منظور بررسی دامنه مؤثر میزان انتقال ارتعاش وارد بر بدن سرنشین بر ساختار فوم صندلی است (Anonymous, 1997) که در شکل ۱ نشان داده شده‌است. جهت انتخاب فوم و اسفنج‌ها طبق اطلاعات موجود در زمینه نوع ماده استفاده‌شده در

میرایی مناسب داشته باشند، مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته‌است (Alebouyeh & Fereydoun, 2014). طراحی مناسب صندلی می‌تواند به‌عنوان عاملی تعیین‌کننده برای اصلاح بارهای وارد بر بدن و کاهش عدم‌راحتی باشد (Mehta & Tewari, 2000). یکی از پلیمرهای مورد استفاده در نشیمن‌گاه صندلی، پلی‌یورتان^۱ (PU) است که اولین بار توسط اتو بایر^۲ در سال ۱۹۳۷ در آلمان کشف شد. فوم پلی‌یورتان قابلیت عایق‌بندی و جذب انرژی خوبی دارد که برای کاهش ارتعاش وارد بر بدن راننده استفاده می‌شود (Barikani, 2004).

پیوند یورتانی از واکنش افزایشی بین یک گروه ایزوسیانات^۳ و یک ترکیب دارای هیدروژن فعال، مثل پلی‌آل^۴ در حضور ماده پفزا^۵ تشکیل می‌شود. فوم‌های انعطاف‌پذیر طبق فرایند VPF^۶ از اختلاط مقدار کافی آب و ایزوسیانات تشکیل می‌شود که وجود دی‌اکسید کربن در فرایند، مواد مورد نظر را به شکل فوم تبدیل می‌کند (Amiri, 2011). طبق تعریف استاندارد DIN7726 آلمان (Anonymous, 1982) فوم، توده‌ای است که از ساختار سلولی باز یا بسته تشکیل شده و چگالی اولیه، کمتر از حالت شبکه‌ای‌شده آن است. تزریق فوم‌های پلی‌یورتان طبق استاندارد DIN با شماره ۱-۱۸۱۵۹ انجام می‌گیرد (DIN, ۱۹۹۱) و در اروپا پیش‌نویس استاندارد DIN EN با شماره ۱-۱۴۳۱۵ در دسترس است (Anonymous, 2002). در فوم‌های سلول‌باز، حفره‌ها پیوسته و در فوم‌های سلول‌بسته فاز گاز ناپیوسته است. پلیمرهایی که در ساخت این فوم‌ها استفاده می‌شوند، گرماترم، مانند پلی‌استایرن (یونولیت) یا پلی‌اتیلن (پلی‌فوم)، و گرماسخت، مانند پلی‌یورتان هستند (Barikani, 2005; Liebscher & Redenbach, 2013).

با توجه به مطالعه‌های انجام‌شده، طراحی صندلی ماشین‌های با ارتعاش بالا و بهبود راحتی در آن‌ها اهمیت زیادی دارد؛ به طوری که این عامل در نحوه کارکرد راننده تأثیرگذار است. به همین جهت، انتخاب فوم پلی‌یورتان یا فوم مشابه مناسب برای کاهش ارتعاش وارد بر بدن و در نهایت یک مدل بهینه فوم نشیمن‌گاه لازم است تا

- 1- Polyurethane
- 2- Otto Bayer
- 3- Isocyanate
- 4- Polyol
- 5- Blowing agents
- 6- variable pressure foaming

تحلیل جدول واریانس میزان انتقال‌پذیری اسفنج نشان داد که برای هر سه عامل اصلی انتقال‌پذیری در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار است و برای اثرهای برهم‌کنش آن‌ها انتقال‌پذیری معنی‌دار نیست. تحلیل واریانس برای میزان انتقال‌پذیری فوم‌گرم نشان داد که اثر هر سه عامل اصلی، اثر برهم‌کنش ضخامت و جرم سرنشین در سطح احتمال ۹۹ درصد و اثر برهم‌کنش شتاب تحریک و جرم سرنشین معنی‌دار است و برای اثر برهم‌کنش ضخامت و شتاب تحریک و اثر برهم‌کنش هر سه عامل انتقال‌پذیری معنی‌دار نیست.

برای عامل جرم سرنشین بر روی اسفنج‌ها در سه سطح ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ کیلوگرم در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار شد که رفتار دو سطح ۹۰ و ۱۰۵ مشابه و با سطح ۷۵ کیلوگرم متفاوت شد. برای فوم‌ها در سه سطح ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ کیلوگرم، میزان انتقال‌پذیری در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار و رفتار مشابه در هر سه سطح مشاهده شد. با توجه به شکل ۲، انتقال‌پذیری مواد مختلف را در سه سطح جرم سرنشین می‌توان مقایسه کرد. انتقال ارتعاش اسفنج برای سرنشین با جرم ۹۰ و ۱۰۵ کیلوگرم، به ترتیب حدود ۲۹ و ۳۴ درصد و انتقال ارتعاش فوم‌سرد برای جرم ۷۵ کیلوگرم حدود ۳۵ درصد گزارش شد که نشان می‌دهد، در جرم‌های بالاتر انتقال‌پذیری اسفنج کمتر از انواع فوم است.

با افزایش جرم سرنشین، آرایش حفره‌های فوم و اسفنج به کار رفته تغییر کرده است. این امر باعث تغییر ضرایب ویسکوالاستیک این مواد شده است و به همین جهت، با توجه به تغییر میرایی مواد، میزان انتقال ارتعاش تغییر یافته است. از طرفی، خواص ماکروسکوپی فوم تحت تأثیر ساختار فوم است. مقاومت پلی‌یورتان در برابر ارتعاش‌ها و ضربه بالاست. وجود سلول‌های بسته موجب استحکام و پایداری ابعادی ساختار فوم شده و وجود سلول‌های باز موجب بروز خواص برگشت‌پذیری و جلوگیری از افت ساختار در مقابل استحکام فشاری، مشاهده رفتار جذب و اتلاف انرژی در آن می‌شود. نتایج مطالعه با یافته‌های مطالعات دیگر هم‌خوانی دارد. وجود تخلخل در فوم، باعث افزایش جذب انرژی (میرایی بیشتر) می‌شود. همچنین، نمونه اسفنجی، میرایی بیشتری نسبت به نمونه اسفنج‌نشده دارد؛ چون عامل اسفنج‌کننده با ایجاد حفره در ساختار نمونه‌ها، باعث افزایش قدرت جذب ارتعاش در محل حفره‌ها می‌شود (Tham et al., 2011).

نشستگاه صندلی تراکتور و وسایل نقلیه با ارتعاش‌های بالا، محدوده کلی شرایط انتخاب شدند. ویژگی‌های فوم و اسفنج پلی‌یورتان، از قبیل چگالی و ضخامت، بیشتر بر اساس استانداردهای مورد استفاده در شرکت معتبر DOW بودند که هر ساله پژوهش‌های وسیعی را در زمینه مواد پلیمری فوم‌مانند و غالباً فوم نشستگاه صندلی انجام می‌دهد و اطلاعات خروجی آزمایش‌ها را در قالب گزارش فنی منتشر می‌کند. به همین جهت، با توجه به موجودی بازار و در دسترس بودن فوم و اسفنج پلی‌یورتان با ویژگی‌های گوناگون، سطوح مختلف تیمارهای آزمایشی تعیین شدند.

هر نمونه فوم و اسفنج بر روی دستگاه تکانه‌دار قرار داده شده و به آن ارتعاش وارد شد. فوم‌گرم با جرم حجمی ۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب و با فرض ثابت بودن جرم حجمی در ضخامت‌های ۶، ۸ و ۱۰ سانتی‌متر انتخاب شد. با تغییر دور موتور دستگاه، شتاب‌های تحریک ۲/۵، ۳ و ۴ متر بر مجذور ثانیه و سه سطح جرم سرنشین ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ کیلوگرم در نظر گرفته شد. در مرحله بعد با فرض ثابت بودن ضخامت فوم‌ها در ۸ سانتی‌متر، جرم حجمی ۴۰ و ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب (که به ترتیب فوم‌گرم و فوم‌سرد هستند) برای شتاب تحریک ۳/۵، ۴/۵ و ۶ متر بر مجذور ثانیه، در نظر گرفته شد. در این پژوهش، همچنین آزمایش بر روی اسفنج‌ها در ۴ جرم حجمی ۱۲/۵، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ با ضخامت ثابت ۱۲ سانتی‌متر در شتاب تحریک ۱، ۴ و ۶ متر بر مجذور ثانیه انجام شد. برای هر نوع فوم و اسفنج سه تکرار نمونه آزمایش شد.



شکل ۱- شتاب‌سنج یک‌جهته (راست بالا) و نحوه قرارگرفتن آن روی دستگاه تکانه‌دار (چپ). ثبت‌کننده سیگنال (راست پایین)

نتایج و بحث

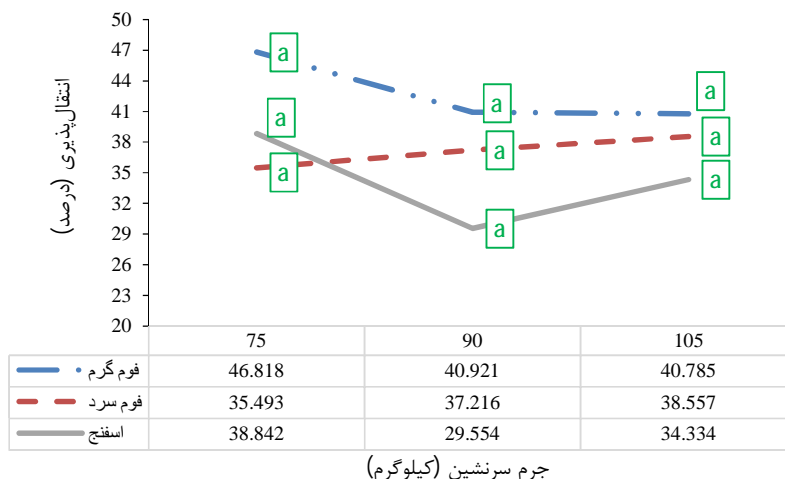
با بررسی جدول ۱ تحلیل واریانس، سطح معنی‌داری و میانگین مربعات شتاب خروجی و ورودی برای انتقال‌پذیری فوم و اسفنج با توجه به عوامل مختلف و برهم‌کنش آن‌ها به دست آمد.

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس عوامل ضخامت، جرم حجمی، شتاب تحریک و اثرهای متقابل آن‌ها بر میزان انتقال ارتعاش فوم گرم و

اسفنج

عامل	درجه آزادی	انتقال پذیری	
		اسفنج	فوم گرم
ضخامت	۲	-	۳۵۶/۸۷۸ *
جرم حجمی	۳	۱۷۱۶/۰۵۴ **	-
شتاب تحریک	۲	۵۱۹/۴۲۹ *	۲۷۴/۲۳۹ ^{NS}
جرم سرنشین	۲	۶۵۵/۷۸۳ *	۵۸/۹۲۸ ^{NS}
ضخامت و شتاب تحریک	۴	-	۲۲۱/۴۹۷ ^{NS}
جرم حجمی و شتاب تحریک	۶	۳۶۵/۲۰۱ ^{NS}	-
ضخامت و جرم سرنشین	۴	-	۱۰۳۶/۹۹۹ **
جرم حجمی و جرم سرنشین	۶	۶۰۷۶/۶۷۰ ^{NS}	-
شتاب تحریک و جرم سرنشین	۴	۱۱۹۵/۳۰۰ ^{NS}	۳۷۵/۶۹۴ **
شتاب تحریک، جرم سرنشین و ضخامت	۸	-	۱۴۳/۱۱۴ ^{NS}
شتاب تحریک، جرم سرنشین و جرم حجمی	۶	۸۲۵/۴۱۷ ^{NS}	-
خطا	۲۱، ۶۱، ۶۵	۸۳۷۲/۴۴۲	۹۶/۰۷۴

** و * به ترتیب سطوح معناداری ۱٪ و ۵٪، و ^{NS} عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.



شکل ۲- انتقال پذیری فوم و اسفنج برای جرم سرنشین در سه سطح ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ کیلوگرم

معنی‌داری را نشان نداد. شکل ۳، میزان انتقال پذیری عامل شتاب تحریک را برای فوم و اسفنج نشان می‌دهد. در شتاب تحریک ۳/۴ متر بر مجذور ثانیه، میزان انتقال پذیری فوم سرد ۱۷ درصد به دست آمده است؛ این در حالی است که این مقدار برای فوم گرم در شتاب تحریک ۳ متر بر مجذور ثانیه ۴۷ درصد و برای اسفنج در شتاب تحریک ۳/۸ متر بر مجذور ثانیه ۳۰ درصد به دست آمد. با توجه به نمودارهای ارائه شده، نکته حایز اهمیت تغییرهای قابل ملاحظه میزان انتقال پذیری ارتعاش در فوم

با توجه به وابستگی میزان نیروی میرایی به سرعت نوسان (Thomson & Dillon Dahleh, 2005)، تغییر شتاب تحریک باعث تغییر خواص میرایی مواد مورد آزمایش می‌شود که باعث بروز تأثیر معنی‌داری در نتایج آزمایش شده است. انتقال پذیری اسفنج‌ها در سه سطح شتاب تحریک معنی‌دار نبوده است و در سطوح مختلف رفتار مشابهی داشتند. سطوح مختلف فوم گرم از نظر میزان انتقال پذیری رفتار معنی‌دار را نشان داد؛ این در حالی است که فوم سرد در سطوح مختلف شتاب ورودی رفتار

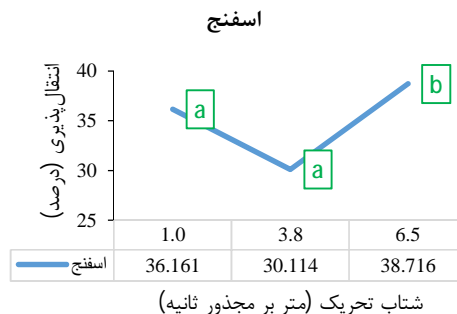
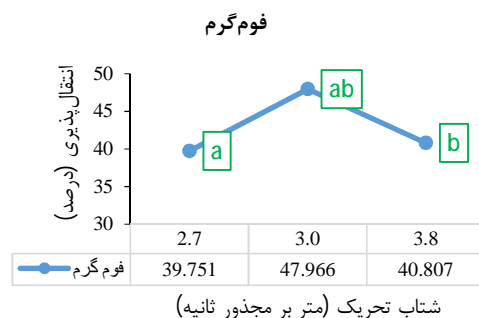
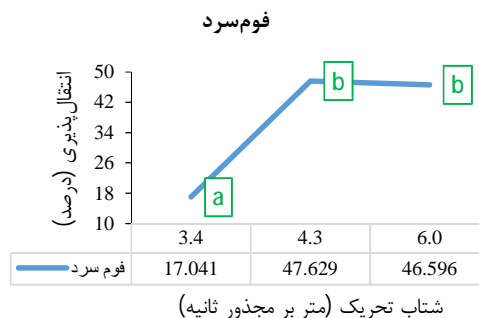
ضخامت ۶ و ۸، رفتاری مشابه و با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر، رفتاری متفاوت برای انتقال‌پذیری وجود دارد. انتقال‌پذیری با توجه به عامل ضخامت، در فوم گرم معنی‌دار شد. همچنین، میزان انتقال‌پذیری برای اسفنج با ضخامت ۱۲ سانتی‌متر ۳۴/۷۱۶ درصد و برای فوم سرد با ضخامت ۸ سانتی‌متر ۳۷/۰۸۹ درصد به‌دست آمد. میزان انتقال‌پذیری فوم گرم در سه سطح مختلف ضخامت فوم در شکل ۴ نشان داده شده‌است.

با افزایش عامل ضخامت، میزان انتقال ارتعاش کمتر می‌شود. با ثابت فرض کردن ضخامت ۸ سانتی‌متر، فوم سرد عملکرد بهتری نسبت به فوم گرم دارد؛ اما بین سه سطح بررسی‌شده، ضخامت ۱۰ سانتی‌متر برای فوم گرم مناسب‌ترین درصد انتقال‌پذیری را داشت. با افزایش جرم حجمی از ۲۰ به ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب برای اسفنج، میزان انتقال ارتعاش کمتر می‌شود؛ به‌طوری که در جرم حجمی ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب میزان انتقال‌پذیری حدود ۲۵ درصد است که مطلوب به نظر می‌رسد.

Mircheski *et al.* (2010) راحتی فوم پلی‌یورتان با ضخامت‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ سانتی‌متر را بررسی کردند. با افزایش ضخامت، راحتی صندلی بهبود می‌یابد، که محتوای نتایج آن‌ها با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. میزان انتقال ارتعاش از اسفنج با توجه به عامل جرم حجمی در شکل ۵ مشاهده می‌شود. Loganathan & Shivanand (2015) اثر جرم حجمی و ضخامت مرکزی فوم پلی‌یورتان را بر میزان جذب انرژی ارتعاشی بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد، با افزایش جرم حجمی مرکزی، میزان جذب انرژی افزایش می‌یابد. این نتیجه درباره اثر ضخامت مرکزی هم صدق می‌کند.

اسفنج‌ها در ۴ جرم حجمی ۱۲/۵، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب از نظر انتقال‌پذیری معنی‌دار نیستند. اسفنج‌ها با جرم حجمی ۱۲/۵، ۲۰ و ۳۰ هم‌سطح شده و اسفنج‌ها با جرم حجمی ۱۲/۵، ۳۰ و ۵۰ در زیرمجموعه دیگری قرار گرفتند. انتقال‌پذیری فوم گرم با جرم حجمی ۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب، ۴۲/۸۴۱ درصد و فوم سرد با جرم حجمی ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، ۳۷/۰۸۹ درصد به‌دست آمد.

سرد در افزایش شتاب تحریک است که می‌تواند بر میزان انتقال‌پذیری ارتعاش نقش مؤثری داشته باشد. (Alebouyeh & Fereydoun 2014) نشان دادند، جاذب‌های ارتعاشی به شکل اسفنج و فوم سرد استفاده می‌شوند تا حفره‌های موجود در ساختار آن‌ها قدرت جذب ارتعاش را افزایش دهد. از طرفی، وجود حفره‌ها در ساختار جاذب، محل تمرکز تنش است و باعث آسیب‌دیدن آن هنگام انجام دادن بارهای کششی و ضربه‌ای می‌شود.



شکل ۳- انتقال‌پذیری فوم و اسفنج در سطوح مختلف شتاب تحریک

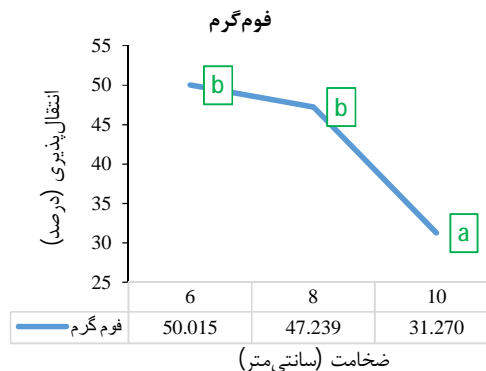
فوم‌ها در دو نوع فوم گرم با سه ضخامت ۶، ۸ و ۱۰ سانتی‌متر و فوم سرد با ضخامت ۸ سانتی‌متر از نظر معنی‌داری بررسی شدند. برای فوم گرم در دو سطح

سپاس‌گزاری

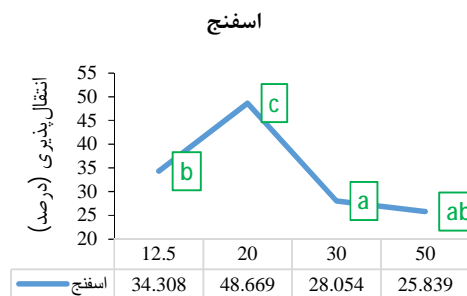
نویسندگان از کلیه حمایت‌های مالی، اداری و آزمایشگاهی دانشگاه شهرکرد و آقای مهندس محمد عسگری‌فر برای انجام آزمایش‌های ارتعاشی تشکر و قدردانی می‌کنند.

منابع

1. Alebouyeh, A. R. and Fereydoun, A. 2014. The effect of silica and hydroxyapatite interlayer nanoparticles on the thermal and mechanical tensile strengths of polypropylene and polypropylene sponge. *Journal of Science and Technology of Polymer*, 27(5): 439-423. (In Farsi).
2. Amiri M. S. 2011 Foam puffer factors—environmentally friendly. The publisher of the German International Cooperation Organization. Naghshavar print. 208 p. (In Farsi)
3. Anonymous. 1982. Schaumstoffe; Begriffe und Einteilung. DIN 7726. Edition. Berlin: Beuth.
4. 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.
5. Anonymous. 2002. Warmedam stoffe fur Gebaudeander Verwendungsstelle hergestellte Warmedammung aus Polyurethan (PUR) – Spritzschaum – Teil 1: Spezifikation fur das Schaumsystem vor dem Einbau, Entwurf. DIN EN 14315-1. Berlin: Beuth.
6. Barikani M. 2004. Polyurethane. *Polymer and Petrochemical Research Institute of Iran*. 336 p. (In Farsi).
7. Barikani M. 2005. Polyurethane Hard Foam. *Iranian Polymer Society*. 52. (In Farsi).
8. Bovenzi M. 2005. Health effects of mechanical vibration. *Giornale Italiano Di Medicina Del Lavoro Ed Ergonomia*, 27(1): 58-64.
9. Chaffin, D. Anderson, B. and Gunnar, B. J. 2001. *Occupational biomechanics*. John Wiley & Sons Inc.
10. Daeijavad, Sh. and Maleki, A. 2016. Proper farm tractor seat angles for the right posture using FEM. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124: 318-324.
11. Demec, M. Lukic, J. and Milic, K. 2002. Some aspects of the investigation of random vibration influence on ride comfort. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1): 109-129.
12. Fairley, T. E. and Griffin, M. J. 1990. The apparent mass of the seated human body in the fore-and aft lateral directions. *Journal of Sound and Vibration*, 139: 299-306.
13. Golmohammadi R. 2006. *Noise and vibration engineering*. 3rd ed. Hamadan, Iran. 544 p. (In Farsi).



شکل ۴- انتقال‌پذیری فوم گرم برای ضخامت در سه سطح ۶، ۸، و ۱۰ سانتی‌متر



شکل ۵- انتقال‌پذیری اسفنج برای جرم حجمی در چهار سطح ۵/۱۲، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که انتقال ارتعاش در فوم سرد کمتر از اسفنج و فوم گرم است. با استفاده از فوم سرد با شرایط بهینه در نشیمن‌گاه تراکتور می‌توان از ورود ارتعاش به بدن سرنشین تا حدودی جلوگیری کرد.

با توجه به اینکه با افزایش جرم حجمی و ضخامت، اثر مطلوبی مشاهده شد، بررسی شرایط بهینه برای فوم صندلی حایز اهمیت است.

با توجه به آناتومی و جرم بدن سرنشین تراکتور در ایران که به طور متوسط در بازه ۹۰-۷۲ کیلوگرم است، استفاده از فوم سرد با جرم حجمی ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، ضخامت ۸ سانتی‌متر، در بازه شتاب تحریک ۴-۳ متر بر مجذور ثانیه با توجه به اصول ارگونومی، مناسب‌ترین انتخاب است.

26. Mirmohammad Sadeghi, G. 2001. Flexible polyurethane sponge. Dolphin Publisher .124 p. (In Farsi).
27. Monazam, M. R. Nasiri, P. Azam, K. and Nasirloo, E. 2012. The effect of whole body vibration at a frequency of 25-20 Hz and mental health of Tehran University of Medical Sciences. *Journal of Occupational Health and Safety*, 2(2): 23-30. (In Farsi).
28. Thomson, W. T. and Dillon Dahleh, M. 2005. *Theory of vibration with applications* 5th Edition. Pearson Education Asia Limited and Tsinghua University Press. 518 p.
29. Tiemessen, I. J. 2007. An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers. A systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37: 245-256.
30. Tsai, C. and Lin, J. 2011. The effect of whole body vibration stimulus using varying oscillation amplitudes on lower body power. *Medicine & science in sports & exercise*, 43(5): 799.
31. Turner, A. Sanderson, M. and Attwood, L. 2011. The acute effect of different frequencies of whole-body vibration on countermovement jump performance. *Journal of strength and conditioning research*, 25(6): 1592-1597.
32. Van Niekerk, J. L. Pielemeier, W. J. and Greenberg, J. A. 2003. The use of seat effective amplitude transmissibility values to predict dynamic seat comfort. *Journal of Sound and Vibration*, 260(5): 783-789.
33. Yue, Z. and Mester J. 2001. A model analysis of internal loads, energetic, and effects of wobbling mass during the whole-body vibration. *Biomechanics*, 35: 639-647.
14. Griffin, M. J. Whitham, E. M. Parsons, K. C. 1982. Vibration and Comfort: translational seat vibration. *Ergonomics*, 25: 603-630.
15. Koley, Sh. Sharma, L. and Kaur, S. 2010. Effects of occupational exposure to whole-body vibration in tractor drivers with low back pain in punjab. *Anthropologist*, 12(3): 183-187.
16. Liebscher, A. and Redenbach, C. 2013. Statistical Analysis of the local strut thickness of open cell foams. The topic of this paper was presented at the S4G Conference. June 25-28, 2012 in Prague, Czech Republic. *Image Anal Stereol*, 32: 1-12.
17. Lings, S. and Leboeuf-Yde, C. 2000. Whole-body vibration and low back pain: a systematic critical review of the epidemiological literature 1992–1999. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 73(5): 290-297.
18. Loganathan, S. B. and Shivanand, H. K. 2015. Effect of core thickness and core density on low velocity impact behavior of sandwich panels with polyurethane foam core. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 3: 164-170.
19. Machado, A. García-López, D. González-Gallego, J. and Garatachea, N. 2010. Whole-body vibration training increases muscle strength and mass in older women: a randomized-controlled trial. *Medicine & science in sports*, 20(2): 200-207.
20. Makhsous, M. Hendrix, R. Crowther, Z. Nam, E. and Lin, F. 2005. Reducing whole-body vibration and musculoskeletal injury with a new car seat design. *Ergonomics*, 48(9): 1183-1199.
21. Maleki A., and Mohtasebi S. S. 2014. Natural frequency analysis of tractor operator's body parts. *Journal of Research Rehabilitation Science*, 10(2): 250-268. (In Farsi).
22. Mansfield, N. J. and Griffin, M. J. 2002. Effects of posture and vibration magnitude on apparent mass and pelvis rotation during exposure to whole-body vertical vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1): 93-107.
23. McBride, J. Nuzzo, J. Dayne, A. Israetel, M. Nieman, D. and Triplett N. 2010. Effect of an acute bout of whole body vibration exercise on muscle force output and motor neuron excitability. *Journal of strength and conditioning research*, 24(1): 184-189.
24. Mehta, C. R. and Tewari, V. K. 2000. Seating discomfort for tractor operators - a critical review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25: 661-674.
25. Mircheski, I. Kandikjan, T. and Simonovski, P. 2010. Virtual testing and experimental verification of seat comfort in driver's seat for passenger automobile. Ss Cyril & Methodius University, Faculty of Mechanical Engineering, and Republic of Macedonia. Karpos II - bb, 1000 Skopje.