

بررسی مقایسه‌ای قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتورهای رایج در ایران

مجید لشگری^{۱*} و علی ملکی^۲

چکیده

برای جلوگیری از بروز مشکلات عمده در خصوص ایمنی و سلامت شغلی رانندگان تراکتور، شناسایی منابع ارتعاش و محدود ساختن دامنه ارتعاشی آن‌ها ضروری است. در این پژوهش، تعدادی از عوامل مؤثر بر قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی در تراکتورهای گلدونی ۳۴۱، مسی‌فرگوسن ۲۸۵ و جان‌دیر ۳۱۴۰ ارزیابی شدند. فاکتورهای مورد بررسی شامل مسیر حرکت، نسبت دنده و دور موتور بود. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شدند. نتایج نشان داد که سطوح مختلف متغیرهای مسیر حرکت، نسبت دنده و دور موتور برای هر سه تراکتور در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده‌اند. این در حالی است که تغییرات دور موتور در مقایسه با نسبت دنده، روند یکنواخت‌تری در تغییرات قابلیت انتقال مؤثر صندلی نشان داد. نوع مسیر پیشروی رفتار متفاوتی را در تراکتورهای مختلف نشان داد به نحوی که مسیر زمین شخم‌خورده در تراکتورهای گلدونی و جان‌دیر بیشترین مقدار قابلیت انتقال مؤثر دامنه صندلی نسبت به دو مسیر دیگر (جاده آسفالت و روستایی) را داشتند. ولی در تراکتور مسی‌فرگوسن روند معکوسی مشاهده شد. همچنین بیشترین و کمترین مقدار قابلیت انتقال مؤثر دامنه صندلی به ترتیب با ۹۸/۲٪ و ۲۲/۶٪ مربوط به تراکتورهای گلدونی و جان‌دیر به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: انتقال ارتعاش، دور موتور، صندلی تراکتور، مسیر پیشروی.

ارجاع: لشگری م. و ملکی ع. ۱۳۹۵. بررسی مقایسه‌ای قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتورهای رایج در ایران. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۵(۲): ۳۹-۴۶.

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک.

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

* نویسنده مسئول: m-lashgari@araku.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۳

مقدمه

ارتعاشات مکانیکی در کارخانه‌ها، وسایل نقلیه و نیز در اطراف برخی از ماشین‌های صنعتی وجود دارد و کاربران آن‌ها همیشه در برابر شدت‌هایی از ارتعاش قرار می‌گیرند که سبب اختلال در آسایش، کاهش بر مهارت انجام کار و بالاخره کاهش سلامت افراد در برابر آن‌ها می‌شود. نتایج بررسی‌ها بیانگر این است که رانندگان تراکتور که با ارتعاش کل بدن بیش از حد مجاز روبرو هستند، ممکن است در درازمدت به عوارض ناشی از این مواجهه دچار شوند. در چنین مواردی نیاز به مداخله و اتخاذ تدابیر کنترلی و مدیریتی جهت حذف و کاهش ارتعاش کل بدن رانندگان برای جلوگیری از بروز مشکلات عمده از جمله وقوع اختلالات اسکلتی-عضلانی، ناراحتی و خستگی زودرس، به طور کامل ضروری است. در این راستا بررسی‌های زیادی در گذشته برای شناسایی منابع ارتعاش روی انواع مختلف تراکتور انجام شده و همچنان این موضوع مورد نظر پژوهش‌گران است.

Taghizadeh et al. (2007) در پژوهش خود ارتعاشات صندلی تراکتور یونیورسال ۶۵۰ام و تأثیر آن بر راننده در پنج سطح دور موتور را در راستای عمودی بررسی کردند. نتیجه آزمایش‌ها نشان داد که فرکانس غالب ارتعاش در تمامی دورهای موتور در صندلی تراکتور دو برابر فرکانس دور موتور یا برابر با ضربات پیستون موتور در مرحله توان است و با افزایش دور موتور فرکانس ارتعاش صندلی افزایش می‌یابد. همچنین مقادیر جذر میانگین مربعات شتاب و اندازه دوز ارتعاش نیز اندازه‌گیری شد که نتایج نشان‌دهنده نسبت مستقیم این پارامترها با دور موتور بود. در پژوهش Abdollahpour et al. (2012) تأثیر فشار باد لاستیک‌های جلو و عقب بر مقدار ارتعاش وارد بر بدن راننده در تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ در سه حالت حمل گاوآهن برگرداندار سه خیش و حرکت در مزرعه، انجام عملیات شخم با گاوآهن برگرداندار و در حالت حرکت در جاده آسفالت بررسی شد. آزمایش‌ها در سه سطح فشار باد کم (۶۰ کیلوپاسکال)، متداول (۱۰ کیلوپاسکال)، و زیاد (۱۴۰ کیلوپاسکال)، انجام شد. در این پژوهش مقادیر جذر میانگین مربعات شتاب، اندازه دوز ارتعاش و قرارگیری در برابر ارتعاش روزانه اندازه‌گیری و محاسبه شدند. نتایج برای سه فشار باد مورد آزمایش نشان داد که مقدار کمینه دوز ارتعاش در فشار باد متداول رخ می‌دهد و

برای مقادیر بیشتر و کمتر از این مقدار افزایش ارتعاش بدنه و صندلی و در نهایت افزایش دوز ارتعاش پدید می‌آید. همچنین بیشینه مقدار دوز ارتعاش در سطح فشار کم مشاهده شد. در این آزمایش‌ها بیشینه مقدار امکان قرارگیری روزانه در برابر ارتعاش مربوط به فشار باد متداول بود.

Jahanbakhshi et al. (2012) در پژوهشی، ارتعاش تراکتور ITM ۲۴۰ در حالت حمل و نقل در جاده خاکی مرزعه‌ای را بررسی کردند. سیگنال‌های شتاب ارتعاش منتقل شده در موقعیت صندلی و بدنه تراکتور در جهت عمودی در سه نسبت دنده و در سه سطح دور موتور اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش وارده در جهت عمود بر صندلی و بدنه تراکتور با افزایش سرعت دورانی موتور و دنده افزایش یافت. میزان تغییرات جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در اثر تغییرات سرعت دورانی موتور بیشتر از تغییر دنده بود. همچنین با مقایسه مقادیر جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش به دست آمده با استانداردهای ایزو ۲۶۳۱ نشان داد سطح آسایش راننده هنگام رانندگی با تراکتور ITM ۲۴۰ بسیار ناراحت‌کننده است.

در پژوهشی که از سوی Nasiri et al. (2013) انجام شد پارامترهای مربوط به ارتعاش تمام بدن مانند شتاب ریشه مجموع مربعات، شتاب معادل کلی، میزان دوز ارتعاش و فاکتور قله به صورت مجزا در سه جهت (x ، y و z) در سه تراکتور مسی فرگوسن مدل ۱۶۵ و در ۳ حالت مختلف انتقال، شخم زدن زمین و بارگیری تریلی خاک با تراکتور و در وضعیت‌های کاری با دنده‌های مختلف بر اساس رهنمودهای استاندارد ایزو ۲۶۳۱ اندازه‌گیری شده و با میزان مجاز مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در تمام موقعیت‌های اندازه‌گیری شده، میزان مواجهه با ارتعاش کل بدن بیش از میزان مجاز بوده و ریسک بروز اختلالات ناشی از آن وجود دارد. بیشترین میزان مواجهه با ارتعاش در حالت انتقال با تریلی خالی، و بیشترین میزان فاکتور قله نیز برای حالت انتقال بدون تریلی با دنده سه به دست آمد. همچنین بالاترین مقدار دوز ارتعاش برای حالت انتقال با تریلی خالی با دنده چهار به دست آمد. در تمام حالت‌های اندازه‌گیری شده میزان مواجهه با ارتعاش در جهت y نسبت به دو جهت x و z بیشتر بود.

(Van Niekerk et al., 2003). رابطه‌های (۱) و (۲) برای محاسبه قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی استفاده می‌شوند:

$$SEAT(\%) = \frac{RMS_{seat}}{RMS_{floor}} \times 100 \quad (۱)$$

$$SEAT(\%) = \frac{VDV_{seat}}{VDV_{floor}} \times 100 \quad (۲)$$

که در رابطه‌های بالا، RMS و VDV به ترتیب بیانگر جذر میانگین مربعات شتاب و اندازه دوز ارتعاش هستند. در صورتی که قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی بیشتر از ۱۰۰ درصد به دست آید، نشان‌دهنده این است که صندلی تراکتور نه فقط در تقلیل ارتعاش وارد به راننده ضعیف بوده بلکه سبب تقویت آن نیز شده است. چنین وضعیتی سبب کاهش میزان آسایش راننده خواهد شد (Mansfield, 2001). این در حالی است که در تراکتورهای بدون سامانه تعلیق و کابین، چنین موضوعی مورد قبول نیست. صندلی‌های مورد استفاده در تراکتورهای رایج کشور دارای طرح‌های مختلفی هستند. سامانه تعلیق صندلی در بیشتر این تراکتورها به صورت مکانیکی است. این سامانه‌ها مجهز به انواع فنرهای مارپیچ^۲ و تخت^۳ هستند که در برخی از سامانه‌ها از میراکننده ویسکوز^۴ نیز استفاده شده است. پس هدف از این بررسی اندازه‌گیری و مقایسه قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی سه نوع تراکتور متداول در ایران تحت شرایط مختلف کاری است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های ارتعاشی سه تراکتور رایج در کشور در شرایط واقعی اندازه‌گیری و ثبت شدند. مشخصات تراکتورها در جدول ۱ آورده شده‌اند. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل، برپایه طرح کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شدند. فاکتورهای مورد بررسی شامل دور موتور در پنج سطح ۱۰۰۰، ۱۳۰۰، ۱۶۰۰، ۱۹۰۰ و ۲۱۰۰ دور بر دقیقه، نسبت‌های مختلف دنده در چهار سطح پارک، یک، دو و سه و مسیر حرکت در سه سطح حرکت در مسیر آسفالت، حرکت در مسیر روستایی و حرکت در زمین شخم‌خورده بودند.

Fereydooni et al. (2012) ارتعاش وارد به راننده را در خصوص سه تراکتور کشاورزی اندازه‌گیری و تحلیل کردند. تراکتورهای یونیورسال ۶۵۰ مسی فرگوسن ۲۸۵ و ۲۹۹ در این پژوهش استفاده شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که سطوح مختلف دور موتور تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر ارتعاش وارد بر راننده دارد. همچنین براساس نتایج این پژوهش مشخص شد که ارتعاش وارد به راننده در حالت حرکت در مسیر شخم‌خورده کمتر از حرکت در مسیر شخم‌نخورده است.

Vaghela & Jain et al. (2013) در پژوهشی ارتعاش وارد به شاسی و صندلی یک تراکتور کوچک با توان ۸/۷ کیلووات را اندازه‌گیری کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که ارتعاش منتقل شده به صندلی تراکتور با افزایش سرعت پیشروی، افزایش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش سرعت پیشروی، ارتعاش شاسی با کاهش روبرو بوده است.

بدیهی است علاوه بر شناسایی منابع ارتعاش در ماشین‌ها، جستجوی راهکاری برای کاهش ارتعاش وارد بر کاربر گام بعدی است. پژوهش‌هایی نیز برای دستیابی به چنین نتیجه‌ای انجام شده است. در مورد تأثیر وجود پشتی صندلی (Hinze et al., 2013)، زاویه استقرار پشتی صندلی (Paddan & Griffin, 1998)، ضخامت و سفتی فوم صندلی (Kolic et al., 2005)، جنس ماده مورد استفاده در صندلی (Marul & Karabulut, 2012) و ... در سال‌های اخیر بررسی‌هایی انجام شده است.

تراکتورهای رایج کشور اغلب بدون سامانه تعلیق بوده و به همین دلیل عامل کاهنده ارتعاش باید بین اتاق و شاسی و یا بین صندلی و شاسی نصب شود. از آنجایی که تعداد زیادی از این تراکتورها نیز فاقد کابین هستند پس فقط رهیافت مؤثر در جهت کاهش ارتعاش وارد بر راننده تراکتور، کاهش ارتعاش صندلی نسبت به شاسی است. یکی از معیارهای مهم که به‌طور گسترده‌ای برای تعیین میزان ارتعاش صندلی استفاده می‌شود، قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی یا SEAT^۱ نام دارد. قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی معیاری برای توصیف قابلیت جداسازی ارتعاش صندلی است. این معیار در حقیقت نسبت ارتعاش نشیمنگاه صندلی را به ارتعاش پایه آن مشخص می‌کند

2- Helical Spring
3- Flat or Leaf Spring
4- Viscous Damper

1- Seat Effective Amplitude Transmissibility

اندازه‌گیری سیگنال‌های ارتعاشی تراکتورها استفاده شدند در جدول ۲ آورده شده‌اند. شکل ۱ نیز یکی از تراکتورهای مورد آزمون در حال حرکت در زمین شخم‌خورده و موقعیت استقرار دو حسگر شتاب‌سنج را نشان می‌دهد. با توجه به این موضوع که جرم یکی از مهم‌ترین متغیرها در سامانه ارتعاشی است برای فراهم کردن شرایطی یکسان برای تمامی آزمایش‌ها، از یک راننده به وزن ۷۸ کیلوگرم استفاده شد.

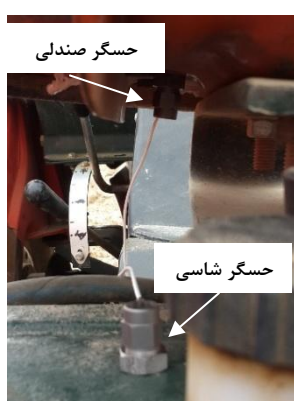
جدول ۲- مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری ارتعاش

نام تجهیزات	حساسیت	مدل	شرکت سازنده
شتاب‌سنج	100 mV/g	3255A2	DYTRAN
سامانه جمع‌آوری	-	MC3022	BSWA

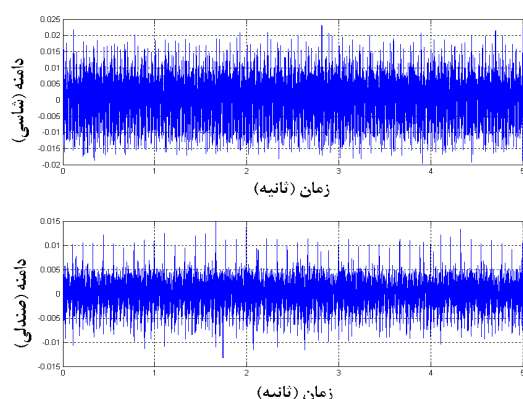
جدول ۱- مشخصات تراکتورها مورد آزمایش

نوع تراکتور	برند	مدل	توان (اسب بخار)
تراکتور باغی	گلدونی	۳۴۱	۴۱
تراکتور کشاورزی	مسی‌فرگوسن	۲۸۵	۷۵
تراکتور کشاورزی	جان‌دیر	۳۱۴۰	۹۷

اندازه‌گیری سیگنال‌های ارتعاشی تولید شده با تراکتور در دو موقعیت شاسی و صندلی تراکتور انجام شد. برای اندازه‌گیری ارتعاش شاسی تراکتور، یک شتاب‌سنج روی شاسی و در نزدیکی پایه صندلی راننده قرار داده شد. همچنین برای اندازه‌گیری ارتعاش صندلی، شتاب‌سنج دیگری روی نشیمنگاه صندلی قرار داده شد. برای اطمینان از انتقال سیگنال‌های ارتعاشی به شتاب‌سنج‌ها، از پایه‌های آهن‌ربایی برای نصب هر دو حسگر شتاب‌سنج استفاده شد. مشخصات تجهیزاتی که در این پژوهش برای



شکل ۱- وضعیت زمین شخم‌خورده (راست) و موقعیت حسگرها (چپ)



شکل ۲- نمونه سیگنال ارتعاشی شاسی (بالا) و صندلی (پایین)

برای فراخوانی سیگنال‌ها از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. پس از انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری اطلاعات به دست آمده، داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل آماری شدند. در شکل ۲ نمونه‌ای از سیگنال ارتعاشی مربوط به شاسی تراکتور و صندلی آن نشان داده شده است. در این پژوهش، رابطه ۱ برای محاسبه قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس میانگین‌های اثرات اصلی و برهم‌کنش عملیات، نسبت دنده و دور موتور بر قابلیت

انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتورها در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که از جدول ۳ مشخص است، به استثناء اثر متقابل مسیر حرکت، نسبت دنده و دور موتور بر قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتور گلدونی که اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد، اثر سایر منابع تغییر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ را نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و برهم‌کنش متغیرهای مختلف بر قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتورها

منابع تغییر	گلدونی		مسی فرگوسن		جان‌دیر	
	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات
مسیر حرکت	۲	۹۰۳/۶۱۴**	۲	۱۶۲/۶۱۵**	۲	۸۶۱/۹۴۶**
نسبت دنده	۳	۵۹۶/۸۹۴**	۴	۳۸۴/۶۲۵**	۴	۱۵۹۰/۵۷۳**
دور موتور	۴	۳۴۳۶/۷۸۹**	۴	۳۱۹۷/۹۳۶**	۴	۱۳۱۰/۴۵۴**
مسیر × دنده	۴	۳۵۲/۶۹۰**	۶	۳۵/۹۵۱**	۶	۱۰۷/۰۳۳**
مسیر × دور	۸	۱۰۳۵/۳۱۴**	۸	۶۶۹/۰۲۷**	۸	۱۰۴۹/۴۱۷**
دنده × دور	۱۲	۱۰۴/۶۲۹**	۱۶	۲۷۸/۱۳۶**	۱۶	۷۵/۹۵۶**
مسیر × دنده × دور	۱۶	۲۶/۸۷۲ ^{ns}	۲۴	۴۸/۷۱۷**	۲۴	۱۰۴/۱۰۰**
خطا	۹۴	۲۷/۹۵۱	۱۳۰	۱۲/۰۴۰	۱۳۰	۵/۰۷۸
کل	۱۴۴		۱۹۵		۱۹۵	

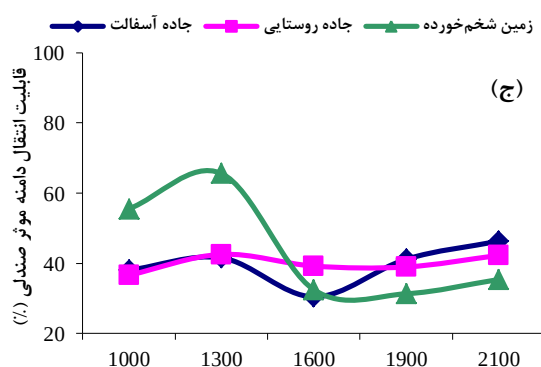
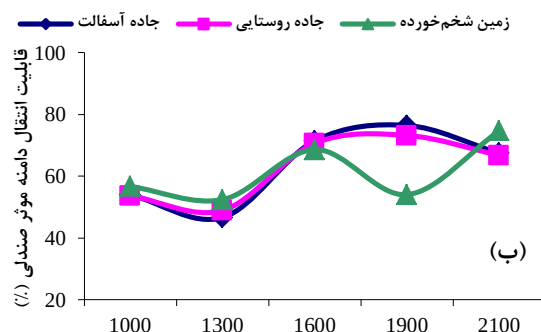
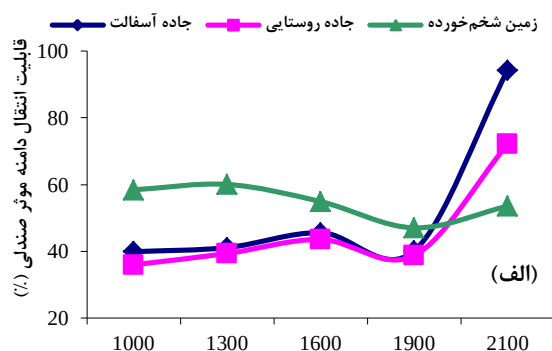
** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، ^{ns} عدم معنی‌داری

نوع مسیر پیشروی تراکتور بر قابلیت انتقال مؤثر صندلی نیز تأثیر متفاوتی داشته است. به نحوی که در جاده‌های روستایی این عامل در تراکتورهای جان‌دیر و گلدونی دارای کمترین مقدار و در زمین شخم خورده دارای بیشترین مقدار بوده است. در صورتی‌که این عامل در تراکتور مسی فرگوسن روند متفاوتی را نشان داده است و به طور تقریبی در هر سه نوع جاده دارای روند یکسان و ثابتی است. نکته مهم این که در دو تراکتور جان‌دیر و گلدونی متوسط دامنه تغییرات این پارامتر برای شرایط مختلف بین ۴۰ تا ۵۰ درصد بوده در صورتی که تراکتور مسی فرگوسن با افزایش حدود ۱۰ درصد، مقادیر ۶۰ تا ۷۰ درصد را به خود اختصاص داده که نشان دهنده ناکارآمد بودن سیستم تعلیق این تراکتور در جذب ارتعاشات منتقل شده به نشیمنگاه صندلی آن است.

بررسی عددی مقدار قابلیت انتقال مؤثر صندلی بیانگر این موضوع است که تراکتور جان‌دیر در وضعیت دنده سه پیشروی، کمترین و تراکتورهای مسی فرگوسن و گلدونی به ترتیب در وضعیت دنده‌های یک و سه بیشترین ارتعاش شاسی را به صندلی منتقل می‌کنند.

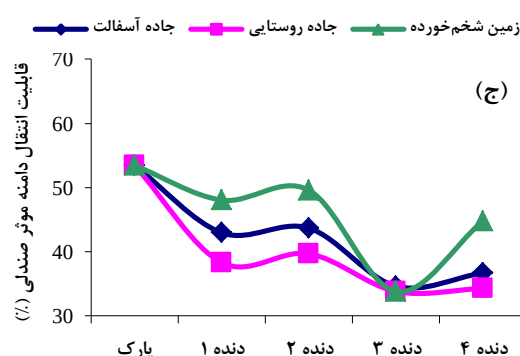
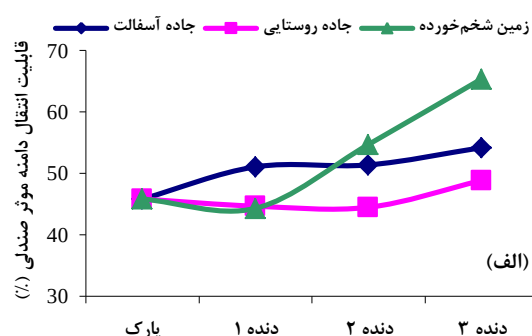
شکل ۳ قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتورها را در نسبت‌های مختلف دنده برای مسیرهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تراکتورهای مختلف، این پارامتر با تغییر دنده، روند متفاوتی دارد به نحوی که با افزایش نسبت دنده در تراکتور گلدونی روند افزایشی، در تراکتور مسی فرگوسن تغییرات یکنواخت و در تراکتور جان‌دیر روند کاهشی را نشان می‌دهد که این عامل می‌تواند ناشی از پارامترهای سیستم تعلیق این تراکتورها، مانند جرم تراکتور، ضریب‌های میرایی و سختی آن باشد. وزن پایین تراکتور و انتخاب نامناسب ضریب‌های سختی و میرایی تراکتور گلدونی سبب افزایش ضریب انتقال این وسیله شده است. حال آنکه وزن سنگین و سیستم تعلیق مناسب تراکتور جان‌دیر باعث شده تا افزایش دنده نه فقط سبب افزایش این پارامتر نشده بلکه کاهش آن را نیز به همراه داشته و سبب افزایش کارایی ارتعاشی آن در سرعت‌های پیشروی بالاتر شده است.

نوع سیستم انتقال قدرت و جعبه دنده عامل مؤثر دیگری بر میزان تغییرات این پارامتر است. جعبه دنده‌های سنکرونیزه دارای عملکردی نرم و روان در دورهای بالاتر بوده، پس ارتعاشات کمتری در این دنده‌ها تولید کرده و سبب تقویت ارتعاشات منتقل شده به شاسی تراکتور نمی‌شوند.



شکل ۴- قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتور گلدونی (الف)، مسی فرگوسن (ب) و جان‌دیر (ج) برای نوع مسیر حرکت در نسبت‌های مختلف دور موتور

تغییرات عامل دور موتور در تراکتور مسی فرگوسن بر قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی روند کاملاً متفاوتی نسبت به دو تراکتور دیگر داشته است. به نحوی که از دور ۱۰۰۰ الی ۱۳۰۰ روند کاهشی و در دورهای بالاتر از ۱۳۰۰ این مقدار روند افزایش داشته است. نکته قابل تأمل، تفاوت بارز رفتار این پارامتر در زمین شخم خورده نسبت به دو مسیر دیگر در دور ۱۹۰۰ است، به نحوی که با افزایش دور موتور از ۱۶۰۰ به ۲۱۰۰ روند کاملاً کاهشی داشته است. دلیل این پدیده را می‌توان ناشی از اثرات برهم‌کنش ارتعاشات موتور و سیستم انتقال قدرت تراکتور دانست.



شکل ۳- قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتور گلدونی (الف)، مسی فرگوسن (ب) و جان‌دیر (ج) برای نوع مسیر حرکت در نسبت‌های مختلف دنده

در شکل ۴ قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتورها در نسبت‌های مختلف دور موتور برای مسیرهای مختلف نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ مشخص است که تغییرات عامل دور موتور در تراکتورهای گلدونی (بجز دور موتور ۲۱۰۰) و جان‌دیر تأثیر یکسان و یکنواختی بر مقدار قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی داشته است یا به عبارتی می‌توان گفت تغییرات این عامل در دامنه دور موتور تراکتور کم بوده است و عوامل نوع دنده و نوع مسیر پیشروی تراکتور بیشترین تأثیر معنی‌داری بر تغییرات قابل انتقال دامنه داشته‌اند.

حرکت در جاده‌های روستایی نسبت به دو زمین شخم خورده و جاده آسفالت کارایی بالاتری در میزان کاهش ارتعاشات دارد. جدول ۴ نیز گستره قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتورها را در شرایط مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تراکتور گلدونی با ۹۸/۲ درصد در تیمار جاده آسفالت، دنده یک، دور موتور ۲۱۰۰ بیشترین مقدار و تراکتور جان‌دیر با ۲۲/۶ درصد در تیمار جاده آسفالت، دنده سه، دور موتور ۱۶۰۰ کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است.



شکل ۵- قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتورها در مسیرهای مختلف حرکت

نکته قابل بررسی در این نمودارها قابلیت حذف ارتعاشات موتور تراکتورهای گلدونی و جان‌دیر با میراکننده‌های موجود در دسته موتور این تراکتورها بوده است. در حالیکه نتایج نشان دهنده عدم کارایی و یا انتخاب نامناسب ضربه‌های میرایی این قطعات در تراکتور مسی‌فرگوسن است که می‌توان با انتخاب صحیح این پارامترها ارتعاشات منتقل شده به شاسی تراکتور را کاهش داد. شکل ۵ متوسط قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتورها در مسیرهای مختلف حرکت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود و در مباحث قبلی هم به آن اشاره شد تراکتور جان‌دیر در مجموع دارای کمترین میزان قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی در هر سه مسیر پیشروی بوده و تراکتور مسی‌فرگوسن بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که هر دو تراکتور جان‌دیر و مسی‌فرگوسن روند تغییرات یکنواختی در مواجهه با مسیرهای مختلف را داشته اند اما تراکتور گلدونی بر خلاف دو تراکتور دیگر، در جاده روستایی دارای کمترین مقدار قابلیت انتقال مؤثر صندلی نسبت به دو سطح دیگر مسیر پیشروی در بین تیمارهای خود بوده است که می‌تواند ناشی از انتخاب پارامترهای سیستم تعلیق آن بوده و بیانگر این نکته است که این تراکتور برای

جدول ۴- گستره قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی تراکتورها

نوع تراکتور	گستره SEAT	وضعیت وقوع
گلدونی ۳۴۱	بیشترین	جاده آسفالت، دنده یک، دور موتور ۲۱۰۰
	کمترین	جاده روستایی، پارک، دور موتور ۱۰۰۰
مسی‌فرگوسن ۲۸۵	بیشترین	جاده آسفالت، دنده یک، دور موتور ۱۹۰۰
	کمترین	جاده آسفالت، دنده دو، دور موتور ۱۳۰۰
جان‌دیر ۳۱۴۰	بیشترین	زمین شخم‌خورده، دنده چهار، دور موتور ۱۳۰۰
	کمترین	جاده آسفالت، دنده سه، دور موتور ۱۶۰۰

نتیجه‌گیری

قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی، یکی از عوامل تعیین کننده و مؤثر در بررسی میزان ارتعاشات منتقل شده به راننده تراکتور است. افزایش این عامل بیانگر نا کارآمد بودن پارامترهای سیستم تعلیق تراکتور و کاهش آن ناشی از انتخاب مؤثر و صحیح این پارامترها است. پس با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان به این نکته اشاره کرد که برخلاف عامل دور موتور، عامل دنده پیشروی تراکتور تأثیر

بیشتری بر میزان انتقال ارتعاش به صندلی تراکتور را داشته است که نتیجه عدم امکان حذف ارتعاشات سیستم انتقال قدرت تراکتورها در مقایسه با ارتعاشات موتور این وسایل است. نکته مهم دیگر این است که اگرچه این وسایل برای کار در زمین‌های کشاورزی و زمین‌های شخم خورده طراحی شده‌اند ولی به تمهیدات کاهش ارتعاش در زمین‌های کشاورزی کمتر توجه شده است و قابلیت انتقال دامنه مؤثر صندلی بیشتری نسبت به سایر مسیرها

7. Marul, M. and Karabulut, A. 2012. Vibration effects examination of cushions used on tractor driving seat. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 42(4): 31-40.
8. Nasiri, P. Alimohammadi, A. Beheshti, M. H. Azam, K. and Hajizadeh, R. 2013. Exposure evaluation of driver whole body vibration of MF165 tractor. *Journal of Work Hygiene and Safty*, 3(3): 55-66. (In Farsi).
9. Paddan, G. S and Griffin, M. J. 1998. The transmission of translational seat vibration to the head-1. Vertical seat vibration. *Journal of Biomechanics*, 21(3): 191-197.
10. Taghizadeh Alisaraei, A. Tavakoli Hashjin, T. and Ghobadiyan, B. 2007. Investigation of seat vibration of U650 tractor. *Iran Agricultural Science*, 571-580. (In Farsi).
11. Vaghela, G. J. and Jain, K. K. 2013. Vibration characteristics of mini tractor (8.7 kW) on tar Macadam. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(2): 203-208.
12. Van Niekerk, J. L. Pielemeier, W. J. and Greenberg, J. A. 2003. The use of seat effective amplitude transmissibility (SEAT) values to predict dynamic seat comfort. *Journal of Sound and Vibration*, 260(5): 867-888.

همچون جاده‌های روستایی و آسفالت دارند که اصلاح و انجام پژوهش‌های بیشتری روی آن لازم است.

با توجه به این که تراکتورهای کشاورزی تحت شرایط مختلف کاری استفاده می‌شوند، سامانه تعلیق صندلی مجهز به فنر و میراکننده دارای ضریب‌های ثابت با عملکرد مطلوبی در تمامی شرایط همراه نخواهد بود. به همین جهت، سامانه تعلیق پویا که دارای ضریب‌های فنری و میرایی متغیر هستند مورد توجه پژوهشگران و تأمین‌کنندگان صندلی است. استفاده از سامانه تعلیق پویا در صندلی تراکتورهای رایج کشور که بدون سامانه تعلیق هستند و ارتعاش وارد بر کاربر باید در صندلی میرا شود مهم است و انجام پژوهش‌هایی در این زمینه ضروری است.

منابع

1. Abdollahpour, S. Zare, M. R. and Raoufat, M. H. 2012. Effect study of tire pressure on driver seat vibration of MF399 tractor. Seventh national conference of agricultural machinery and mechanization. Shiraz. (In Farsi).
2. Fereydooni, M. Lorestani, A. N. Rabbani, H. and Javadikia, P. 2012. Measurement and analysis of vibration of operator in Universal 650, Massey Ferguson 285 & MF 299 tractors. *International Journal of Mechanics and Applications*, 2(5): 88-92.
3. Hinz, B. Seidel, H. Menzel, G. and Bluthner, R. 2002. Effects related to random whole-body vibration and posture on a suspended seat with and without backrest. *Journal of Sound and Vibration*, 253(1): 265-282.
4. Jahanbakhshi, A. Akhounzade, A. and Yeganeh, R. 2012. Effect study of engine speed and gear ratio on seat and chassis vibration of ITM240 Tractor. First national conference of development of architecture, electronic and mechanical engineering. (In Farsi).
5. Kolich, M. Essenmacher, S. D. and McEvoy, J. T. 2005. Automotive seating: the effect of foam physical properties on occupied vertical vibration transmissibility. *Journal of Sound and Vibration*, 281(1): 409-416.
6. Mansfield, J. N. 2001. Localized vibration at the automotive seat-person interface. The 2001 International Congress and Exhibition of Noise Control Engineering, The Hague, The Netherlands, INCE: 49.134, 27-30 August 2001.