

# تعیین و بررسی ارتعاش وارد بر صندلی راننده تراکتور ITM800

یوسف احمدی<sup>۱</sup>، بهرام قمری، کامران خیرعلی پور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام؛ [shadow98ilam@gmail.com](mailto:shadow98ilam@gmail.com)

<sup>۲</sup>استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام؛ [k.kheiralipour@ilam.ac.ir](mailto:k.kheiralipour@ilam.ac.ir)؛ [bahram021@yahoo.com](mailto:bahram021@yahoo.com)

چکیده

امروزه بیشتر کارهای کشاورزی به کمک ماشین‌های مختلف انجام می‌گیرد و تقریباً تمامی مردم در معرض ارتعاشات ناشی از این ماشین‌ها هستند. بطوریکه افزایش ارتعاشات می‌تواند منجر به بروز اختلالات بخش‌های اسکلتی-عضلانی، عصبی، گردش خون و بروز بیماری‌های شغلی ناشی از ارتعاش گردد. در این تحقیق ارتعاش صندلی تراکتور ITM800 در شرایط واقعی کاری در مزرعه مورد بررسی قرار گرفت. میزان شتاب ارتعاش منتقل شده در موقعیت صندلی تراکتور در جهت عمودی (راستای Z) در چهار سطح سرعت موتور (۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ دور بر دقیقه) در دو نسبت دنده (دنده ۱ و ۲) و در دو حالت با بار و بدون بار، بررسی گردید. بیشترین میزان (rms) شتاب ارتعاش در دور ۲۵۰۰ دور بر دقیقه در حالت با بار و در دنده ۲ به میزان ۴.۸ متر بر مجذور ثانیه رخ داد. نتایج نشان داد که اثر عامل‌های اصلی دور موتور و موقعیت دنده بر سطح ارتعاش منتشر شده از صندلی تراکتور محسوس است. لذا با افزایش سرعت موتور از ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ دور بر دقیقه و نسبت دنده از ۱ تا ۲، میانگین مقادیر (rms) شتاب ارتعاش صندلی تراکتور افزایش می‌یابد. با توجه به اطلاعات به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که اثر تغییر دور موتور بر کاهش شتاب ارتعاش وارد شده بر صندلی تراکتور بیشتر از تغییر دنده‌های مختلف جعبه‌دنده می‌باشد. بنابراین سازندگان تراکتور جهت کاهش ارتعاش صندلی در وهله نخست با اتخاذ تدابیر مهندسی، طراحی کابین راننده تراکتور و یا طراحی سیستم تعلیق صندلی راننده، ارتعاشات را تا حدودی کاهش دهند.

واژه های کلیدی: تراکتور ITM 800، ارتعاش صندلی، ارگونومی، (rms) شتاب

## Determination and Evaluation of acoustic emission of ITM 800 Tractor

Yousf Ahmadi

Bahram Ghamari and Kamran Kheiralipour

### Abstract

Today, most agricultural work is done with the help of different machines, and almost all people are exposed to the vibrations caused by these machines. The increase in vibrations can lead to disorders of the musculoskeletal, neurological, circulatory and occupational diseases caused by vibration. In this research, the vibration of the ITM800 tractor chassis was examined in real conditions on the farm. The amount of vibration acceleration transmitted in the tractor seat position in the vertical direction (Z direction) at four engine speed levels (1000, 1500, 2000 and 2500 rpm) in two gear ratios (gear 1 and 2) and in two load and no load modes. Reviewed. The highest (rms) of vibration acceleration occurred at 2500 rpm in load mode and in gear 2 at 4.8 m / s. The results showed that the effect of the main factors of engine speed and gear position on the vibration level released from the tractor seat is tangible. Therefore, with an engine speed ranging from 1,000 to 2,500 rpm and a gear ratio of 1 to 2, the average (rms) of the vibration acceleration (rms) of the tractor seat increases. According to the information obtained, it can be concluded that the effect of the engine speed change on reducing the vibration acceleration on the tractor seat is more than the change of gearboxes. Therefore, the tractor

manufacturers reduce the vibration of the chair to some extent by adopting engineering measures, designing a driver's cabin or designing a driver's suspension system.

**Keywords:** ITM 800 Tractor, Vibration of the chair, Ergonomics, accelerate rms

#### مقدمه

امروزه بیشتر کارهای کشاورزی به کمک ماشین‌های مختلف انجام می‌گیرد و تقریباً تمامی مردم در معرض ارتعاشات ناشی از این ماشین‌ها هستند. دو نوع اصلی ارتعاشات ناشی از این ماشین‌ها شامل ارتعاشات کل بدن و ارتعاشات دست-بازو می‌باشد (رئیزی استبرق، ۱۳۹۳). مسئله سلامتی انسان حین کار با ماشین‌ها یکی از بحث‌های مهم در صنعت و کشاورزی است که در حیطه ارگونومی مطرح می‌گردد. در ماشین‌های کشاورزی این مسئله پیچیده‌تر است (تقی‌زاده علی سرایی، ۱۳۸۹). رانندگان ماشین‌های کشاورزی در طول رانندگی به طور دائم در معرض ارتعاش تمام بدن قرار دارند که این مسئله ممکن است منجر به بروز اختلالات بخش‌های اسکلتی-عضلانی، عصبی، گردش خون و بروز بیماری‌های شغلی ناشی از ارتعاش می‌گردد (نصیری؛ محمدی، ۱۳۹۲). اولین علائم پزشکی این اختلالات نخستین بار در سال ۱۸۶۲ توسط دکتر موریس رینود مشاهده شد که پدیده انگشت سفید و بیماری رینود نامیده می‌شود (Barber, 1992). اندازه‌گیری ارتعاشات و تاثیر آن بر سلامتی بعد از این تاریخ قوت گرفت و در سال‌های بعد استانداردهایی در رابطه با آن‌ها تدوین شد که می‌توان به استانداردهای ISO و استانداردهای بریتانیا (BS) اشاره کرد. پی آمد این استانداردها الزام برای ساختن وسایل ایمن و عایق ارتعاش و طراحی سیستم‌های تعلیق برای بسیاری از سیستم‌ها و آموزش کاربران وسایل صنعتی است (تقی‌زاده، ۱۳۸۴). در کارهای مزرعه‌ای خستگی و ناراحتی که انسان متحمل می‌شود نه تنها به وسیله‌ی کار فیزیکی بلکه به همان اندازه با ارتعاش ایجاد می‌شود. ارتعاشات در این نوع وسایل می‌تواند به تمام بدن راننده یا کاربر تراکتورها، کمپاین‌ها، از طریق صندلی و یا به قسمت‌هایی از بدن مانند تراکتورهای دوچرخ به دست‌ها منتقل شود (تقی‌زاده، ۱۳۸۴). انسان نمونه‌های زیادی از ارتعاشات را در زندگی روزمره خود تجربه می‌کند. ارتعاشاتی که انسان با آن مواجه می‌شود بیشتر از وسایلی است که شامل موتور می‌باشد که می‌تواند از نوع الکتریکی یا از نوع احتراقی باشد (تقی‌زاده، ۱۳۸۴). اثرات ارتعاشات انتقالی به کاربر ماشین‌های کشاورزی نه تنها سلامتی کاربر را تهدید می‌کند بلکه می‌تواند به کاهش بازده کاری برای اپراتور دستگاه منجر شود (احمدی، ۱۳۹۲). این موضوع برای رانندگان تراکتور که در معرض شرایط نامناسب محیط کار و ارتعاش زیاد تراکتور و به ویژه صندلی آن قرار دارند، از اهمیت ویژه برخوردار است. متأسفانه در کشور‌های در حال توسعه و کم درآمد، ایمنی و سلامت شغلی کشاورزان کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، این موضوع به یک مسئله برای رانندگان تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی تبدیل شده است که در معرض شرایط نامناسب محیط کار از جمله ارتعاش وارد بر بدن قرار دارند. بنابراین استفاده از روش‌های اندازه‌گیری و کنترل ارتعاشات وارد بر صندلی راننده تراکتور می‌تواند مسئله مهمی باشد که باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

تقی‌زاده علی سرایی و همکاران (۱۳۸۹) ارتعاشات تراکتور دو چرخ را در وضعیت ایستگاهی در دوره‌های مختلف موتور در چهار موقعیت شاسی، دسته تراکتور دو چرخ، بازو و قفسه سینه راننده اندازه‌گیری کردند. آن‌ها گزارش نمودند که با افزایش دور موتور در چهار موقعیت مذکور، مقادیر (rms) شتاب (جذر میانگین مربعات) در سه راستای عمودی، جانبی و طولی افزایش می‌یابد. همچنین در تحقیق دیگری، تقی‌زاده علی سرایی و همکاران (۱۳۸۶) ارتعاشات صندلی تراکتور یونیورسال ۶۵۰ ام را در دوره‌های مختلف موتور بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که فرکانس غالب ارتعاش در تمامی دوره‌های موتور در صندلی تراکتور دو برابر فرکانس دور موتور یا برابر ضربات بیستون موتور در مرحله احتراق می‌باشد و یا افزایش دور موتور فرکانس ارتعاش صندلی افزایش می‌یابد.

در تحقیقی که توسط ترممان آ و همکاران (۲۰۰۴) انجام گرفت، مشخص شد که پروفیل زمین، زمان طولانی عملیات با ماشین، سرعت پیشروی ماشین کشاورزی و موقعیت نشستن راننده، جزء فاکتورهای کلیدی هستند که باعث آسیب رساندن به کمر راننده‌گان ماشین‌های کشاورزی می‌شوند.

گوگولیا<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقی که بر روی فرمان تراکتور چهار چرخ محرک کوچک انجام دادند، مشاهده کردند که در کم تر از دو سال در ده درصد کاربرهایی که با ارتعاش مواجه شده‌اند، حالت پوست پوست شدن در انگشتان روی می‌دهد.

هوستنز<sup>۵</sup> و رامون (۲۰۰۳) آزمایش‌های ارتعاش را در کابین و صندلی کمباین انجام دادند. در این مطالعات در کابین کمباین هنگام رانندگی با سرعت ۲۰ کیلومتر بر ساعت روی سطح آسفالت، فرکانس بالاتر ارتعاش در مقایسه با رانندگی کندتر روی جاده‌ی مزرعه‌ای بدست آورده شد. همچنین مشاهده شد که یک صندلی با سیستم تعلیق هوایی فرکانس‌های بالای ۴ هرتز را بهتر تقلیل می‌دهد و مکان راحت تری را برای راننده نسبت به صندلی با سیستم تعلیق مکانیکی فراهم می‌سازد.

مارسیلی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۲) ارتعاش صندلی یک تراکتور را که به سیستم تعلیق و جذب کننده شوک مجهز بود، اندازه گرفتند. آنها نتیجه گرفتند که سیستم تعلیق صندلی، شتاب ارتعاشی را در شرایط مختلف کاری به طور متوسط ۱۵ تا ۳۶ درصد کاهش می‌دهد.

راگنی<sup>۷</sup> و همکاران (۱۹۹۹) ارتعاش و صدای تعدادی از کولتیواتورهای کوچک را بررسی نمودند. شتاب انتقال یافته از دسته و تراز صدا در موقعیت گوش کاربر در طی خاکورزی مطابق با استانداردهای بین المللی اندازه‌گیری شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در هر ۱۰ درصد جمعیت مواجه شده، اختلالات عروقی دست می‌تواند بعد از سه سال استفاده مداوم از این ماشین‌ها تحت شرایط کاری معمولی ظاهر شود.

سالوک<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۲) خواص ارتعاشی تراکتور دو چرخ را در دوره‌های مختلف موتور در شرایط ایستگاهی و مزرعه‌ای مورد بررسی قرار دادند و اعلام کردند که اتصال صلب دسته تراکتور دو چرخ به شاسی باعث افزایش شتاب ارتعاشی به دست کاربر می‌شود.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های ارتعاش صندلی تراکتور *ITM800* ساخت شرکت تراکتور سازی ایران با مشخصات موجود در جدول (۱) در شرایط کاری واقعی، اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- مشخصات فنی تراکتور مورد آزمایش

Table 1: Technical specifications of ITM 800 Tractor

Type of engine	Cylinders	Weight	Cutting width (m)	Grain tank capacity (lit)	Power (hp)
Diesel	4	3190	4.25	126	82

عوامل تأثیر گذار در این پژوهش عبارتند از: دور موتور (در چهار سطح ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ دور در دقیقه)، موقعیت دنده (در دو سطح دنده ۲ و ۱) و نوع عملیات (در دو سطح با بار و بدون بار) و جهت کاهش بروز خطا، آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد. جهت اندازه‌گیری هرچه دقیق‌تر و جلوگیری از بروز خطا در این تحقیق سعی شده است با استفاده از منابع و مراجع موجود، از تجهیزات و ابزارهای اندازه‌گیری مناسب و دقیق استفاده شود. آزمون‌های این پژوهش به صورت فاکتوریل با سه تکرار در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی انجام گرفتند. عامل‌های مورد بررسی و تأثیر گذار در این پژوهش برای ارتعاش شامل دور موتور و موقعیت دنده و نوع عملیات (با بار و بدون بار) در شکل (۱) بود.

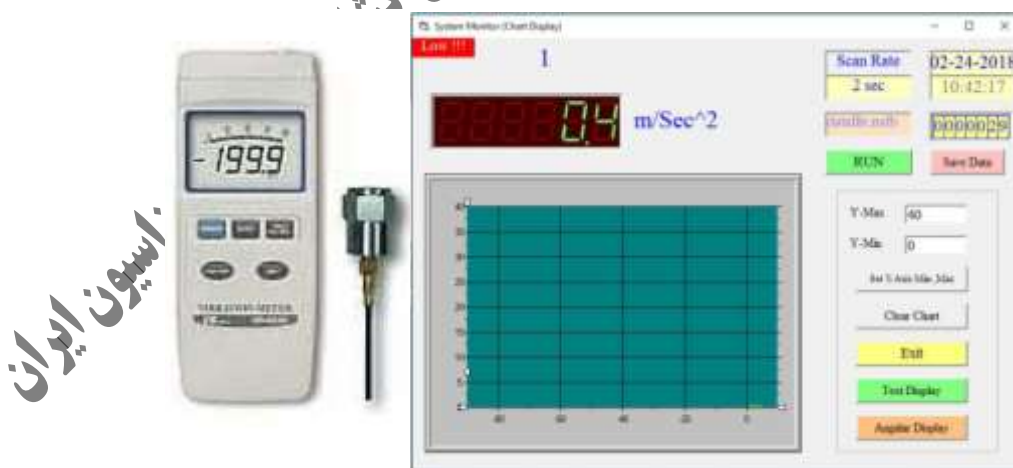


**Figure 1: Vibration measurement in two modes with load and no load**

شکل ۱: اندازه‌گیری ارتعاش در دو حالت با بار و بدون بار

برای اندازه‌گیری ارتعاش صندلی تراکتور از دستگاه Vibrationmeter مدل VB-8203 ساخت شرکت لترون تایوان استفاده شد. دستگاه دارای یک مبدل شتاب پیزوالکتریک با دامنه فرکانسی 10HZ تا 1KHZ برای تبدیل حرکت ارتعاشی به سیگنال الکتریکی بود. این دستگاه قابلیت داده برداری در فاصله زمانی ۱ ثانیه را دارا می‌باشد. دستگاه دارای یک حافظه داخلی جهت ذخیره کردن داده‌ها است. برای انتقال داده‌ها از دستگاه به کامپیوتر از یک کابل RS232 مدل USB-01 استفاده شد که خروجی دستگاه را به ورودی کامپیوتر وصل میکند. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و انجام عملیات آماری از نرم‌افزارهای Excel 2017 و Spss استفاده شد.

ارتعاش سنج مورد استفاده در این پژوهش یک جهته بوده و سنسور آن به صورت مغناطیسی امکان اتصال سریع و ثابت با سطح جسم فلزی را فراهم می‌کند.



**Figure 2: View of the vibration gauge and sensor**

شکل ۲: نمایشی از ارتعاش سنج و سنسور

از آنجایی که حسگر مورد استفاده در این آزمون نباید تحت فشار قرار گیرد و در صورت نشستن راننده روی آن، صدمه می‌بیند و لذا جهت جلوگیری از صدمه دیدن حسگر و دست یافتن به نتایج صحیح در این پژوهش لازم بود تدابیری اندیشیده شود. در این پژوهش جهت دست یافتن به اهداف مذکور سوراخی به اندازه قطر سنسور دستگاه ارتعاش سنج و کمی بیشتر روی صندلی کمابین دقیقاً در محل نشیمنگاه ایجاد گردید و یک صفحه فلزی (به اندازه سطح نشیمنگاه) طوری ساخته شد که ضخامت آن حین نشستن راننده هیچگونه تغییر شکلی پیدا نکند و صفحه با استفاده از چسپ محکم بر روی صندلی مهار شد و آزمون‌های لازم جهت استخراج سیگنال‌های ارتعاش صندلی انجام گرفت. شکل (۲)



Figure 3: How to connect the vibration meter to the driver's seat

شکل ۳: نحوه اتصال ارتعاش سنج به صندلی راننده

برای داده برداری در حالت شرایط واقعی کار (مزرعه) و در چهار دور موتور مذکور ابتدا با تنظیم گاز دستی دورهای مورد نظر، تنظیم گردید و سپس با حرکت تراکتور در حالت دنده ۱ و ۲ عملیات داده برداری در دو حالت با بار و بدون بار انجام گرفت.

متداول ترین کمیت مورد استفاده برای ارتعاشات، ریشه میانگین مربعات است به این دلیل که مهمترین خواص یک ارتعاش محتوای انرژی آن است، زیرا انرژی با دامنه ارتعاش متناسب است. بنابراین یک میانگین بر اساس توان دوم ایده بهتری را از محتوای توانی هنگام مقایسه ارتعاشات خواهد داد.

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2 dt} \quad (1)$$

در رابطه بالا  $a_{rms}$  مقدار rms شتاب،  $T$  مدت زمان اندازه‌گیری و  $a$  مقدار شتاب در مدت زمان  $t$  است.

برای سیگنال‌های تصادفی و رقمی  $a_{rms}$  از رابطه (۲) محاسبه می‌شود که  $a(t_k)$  مقدار دامنه در زمان  $t_k$  و  $N$  تعداد نمونه‌گیری‌ها از  $1$  تا  $N$  می‌باشد.

$$a_{rms} = \sqrt{\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N a^2(t_k)} \quad (2)$$

با مقایسه مقادیر شتاب ارتعاشی ناشی از نتایج آزمایش‌ها با استانداردهای جدول (۲)، توصیف واکنش انسان در مقابل ارتعاش وارده به صورت محدوده‌ی راحتی و آسایش بیان می‌گردد.

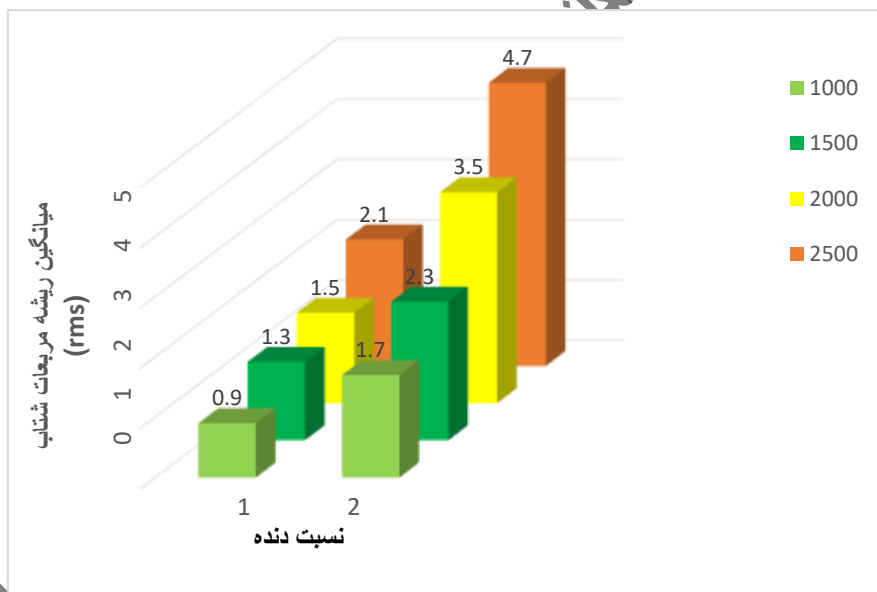
جدول ۲- توصیف واکنش انسان در مقابل ارتعاش وارده به او

**Table 2:** Describes the human response to the vibration it inflicted on him

مجموع ریشه میانگین مربعات شتاب ( $ms^{-2}$ )	توصیف واکنش انسان
کوچکتر از ۰/۳۱۵	راحتی
۰/۳۱۵ - ۰/۶۳	کمی ناراحتی
۰/۵ - ۱	تقریباً ناراحت
۰/۸ - ۱/۶	ناراحت
۱/۵ - ۲/۲۵	خیلی ناراحت
بزرگتر از ۲/۰	فوق العاده ناراحت

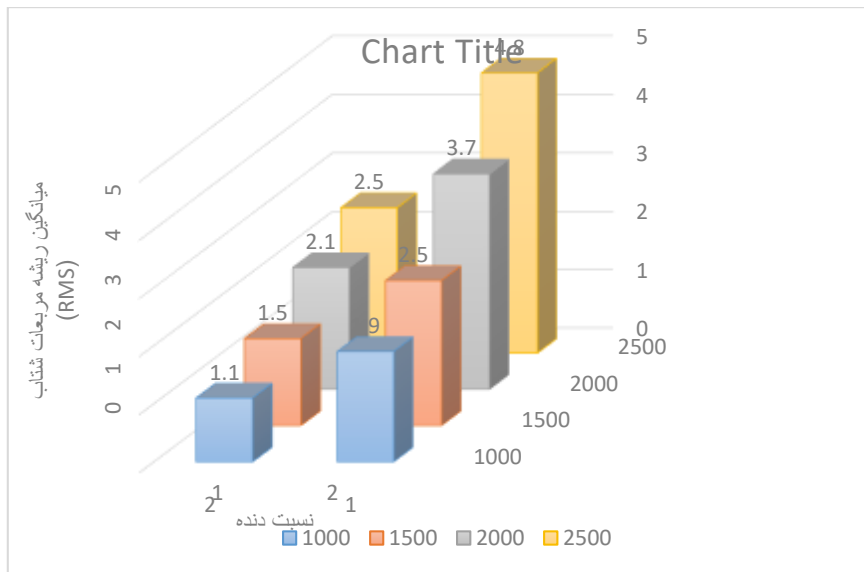
### نتایج و بحث

مقادیر (rms) شتاب ارتعاش صندلی (جهت Z) در حوزه زمان به ازای سرعت‌های مختلف دوران موتور در نسبت دنده در دو سطح (دنده ۲ و ۴) و در دو حالت (با بار و بدون بار) در شکل (۴) و (۵) آورده شده است.



**Figure 4:** Changes in acceleration values in the time domain, vibration on the driver's seat relative to gear ratio and engine times in unladed states

شکل ۴: تغییرات مقادیر شتاب در حوزه زمان، ارتعاش وارده بر صندلی راننده به ازای نسبت دنده و دورهای مختلف موتور در حالت بدون بار



**Figure 5: Changes in acceleration values in the time domain, vibration on the driver's seat relative to gear ratio and engine times in load state**

شکل ۵: تغییرات مقادیر شتاب در حوزه زمان ارتعاش وارده بر صندلی راننده به ازای نسبت دنده و دوره‌های مختلف موتور در حالت بار

مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت موتور از ۱۰۰۰ به ۲۵۰۰ دور بر دقیقه و نسبت دنده از ۱ تا ۲، مقادیر (rms) شتاب ارتعاش صندلی تراکتور افزایش می‌یابد که علت آن می‌تواند افزایش تعداد دورهای احتراق و ضربات پیستون و نیروهای اینرسی موتور در واحد زمان، افزایش سرعت پیشروی و اثرات سطح مزرعه باشد. در تحقیقات مشابهی که در شرایط کاری مختلف بر روی تراکتور و تیلر انجام شد، دیوانگان و تواری<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) و سالوخ و همکاران (۱۹۹۵) نیز به نتایج مشابهی رسیدند. مقادیر میانگین (rms) شتاب ارتعاش ایجاد شده توسط سرعت‌های مختلف موتور بیشتر از دنده‌های مختلف جعبه‌دنده می‌باشد که علت اصلی آن افزایش تعداد کورس احتراق و ضربات پیستون در واحد زمان که عامل اصلی تولید ارتعاش است، می‌باشد. از طرف دیگر علت افزایش شتاب ارتعاش با تغییر دنده از ۱ تا ۲ می‌تواند افزایش سرعت پیشروی و اثرات سطح مزرعه باشد.

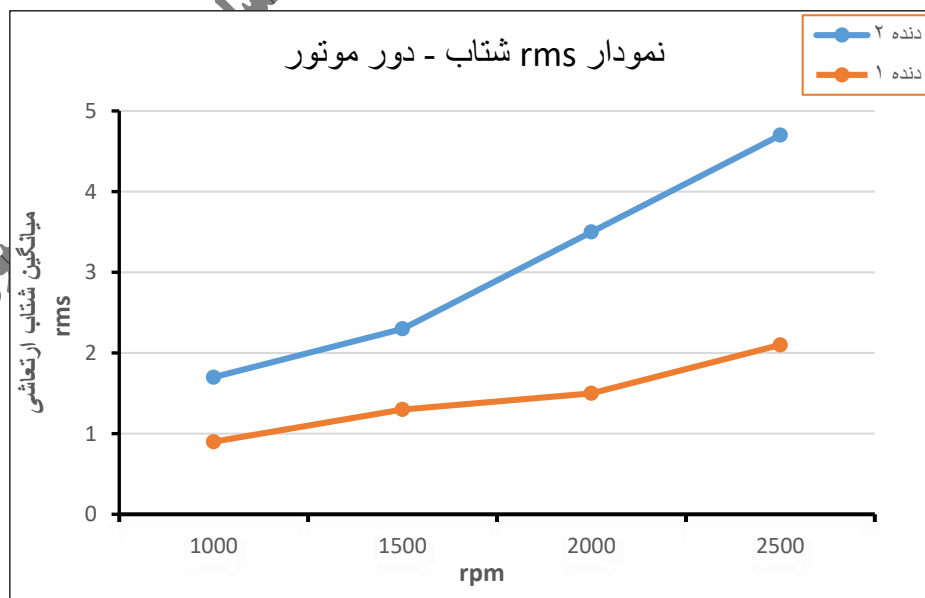


Figure 6: Vibration acceleration values for different engine speeds in unloaded mode

شکل ۶: مقادیر شتاب ارتعاش به ازای سرعت‌های مختلف موتور در حالت بدون بار

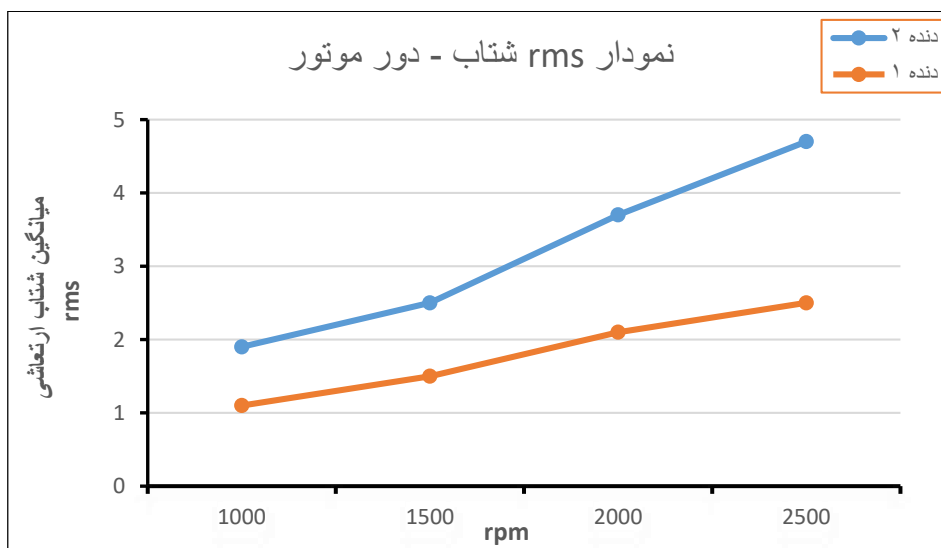


Figure 7: Vibration acceleration values for different engine speeds in load mode

شکل ۷: مقادیر شتاب ارتعاش به ازای سرعت‌های مختلف موتور در حالت با بار

همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر (rms) شتاب با افزایش دور موتور روند صعودی دارد. که علت آن می‌تواند به دلیل ناهمواری‌های سطح زمین، افزایش تعداد کورس‌های پیستون باشد. در سرعت‌های دورانی بالاتر فرکانس دورانی موتور افزایش یافته که موجب افزایش (rms) ارتعاشی وارده بر صندلی راننده تراکتور می‌گردد.

#### نتیجه گیری

با تحلیل اطلاعات به دست آمده، مشاهده گردید اثر عامل‌های اصلی دور موتور و موقعیت دنده بر سطح ارتعاش منتشر شده از صندلی تراکتور محسوس است. با افزایش سرعت موتور از ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ دور بر دقیقه و نسبت دنده از ۱ تا ۲، میانگین مقادیر (rms) شتاب ارتعاش صندلی تراکتور افزایش می‌یابد. با توجه به اطلاعات به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که اثر تغییر دور موتور بر کاهش شتاب ارتعاش وارد شده بر صندلی تراکتور بیشتر از تغییر دنده‌های مختلف جعبه‌دنده می‌باشد. همچنین با مقایسه مقادیر میانگین شتاب ارتعاشی (rms) به دست آمده با استانداردهای بیان شده در جدول (۲) نشان داده شده، سطح آسایش راننده تراکتور هنگام رانندگی با تراکتور ITM800 در حالت فوق العاده ناراحت می‌باشد. اثرات ارتعاش باعث کاهش سلامتی مانند اختلال در سیستم عصبی، ایجاد درد مفاصل، آسیب به ستون فقرات و سایر ضایعات در بدن می‌شود. بنابراین سازندگان تراکتور جهت کاهش ارتعاش صندلی در وهله نخست با اتخاذ تدابیر مهندسی و طراحی کابین راننده تراکتور و یا طراحی سیستم تعلیق صندلی راننده، ارتعاشات را تا حدودی کاهش دهند.

#### تقدیر و تشکر

از استاد فرهیخته جناب آقای دکتر قمری و همچنین استاد خوش اخلاق آقای دکتر خیرعلی پور کمال تشکر دارم. از دوستان عزیز آقایان مهندس جواد سلیمان زاده و مهندس صادق صمدی بخاطر زحماتشان سپاسگذارم.



1. **Taghizadeh Ali Seraei, A., Tavakoli Hashtejin, D., Ghobadian, B.** Analysis and Evaluation of Vibration of Two-Shaft Tractors in Stationary Condition, Iranian Journal of Biological Engineering, Vol. 41, No. 1, 2010. (Persian).
2. **Nasiri, A., Mohammadi, A., Beheshti, M., Azam, K., Hajizadeh R.** Evaluation of Exposure of Motorists of the Messier Ferguson Model 165 with Whole Body Vibration, Journal of Health and Safety, Vol. 3, No. 3, Autumn 2013. (Persian).
3. **Taqizadeh A.,** 2005. Investigation of the Effect of Vibration of Two-wheeler Tractor on User, Master's Degree, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (Persian).
4. **Ahmadi A.,** Design and Evaluation of the Performance of the Semi-Active Suspension of the Cap of the Tractor, Agricultural Machinery Journal, Volume 5, Issue 1, First Semester, pp. 172-183. 2013. (Persian).
5. **raeesi estbargh, A.,** Analysis and Vibration Analysis of Two-Wheeled Tractors and Its Reductions, First National Conference on Agriculture, Environment and Food Security, March 2015, Jiroft University. (Persian).
6. **Jahanbakhshi, A., Ghamari, B., & Heidarbeigi, K.** Analysis and Evaluation of the Vibrational and Pollution Condition of John Deere Combine Model 1055I, Master's Degree, BSc Mechanics Engineering, Ilam University, Iran, (2016). (Persian).
7. **Barber A.,** (1992) (Ed.)<sup>(Eds.)</sup> HandBook of Noise and Vibration Control, Elsevier electronic publication.
8. **Marsili, A., L. Ragni and G. Vassalini.** 1998. Vibration and noise of a tracked forestry vehicle. *Journal of Agricultural Engineering Research*.70:295-306.
9. **Tewari, V.K., Dewangan, K.N. and Subrata, K.** (2004) Operators Fatigue in Field Operation of Hand Tractors. *Biosystems Engineering* 89 (1), 1-11.
10. **ISO 2631-1.** (1997) Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, ISO International standard.
11. **ISO 5349-E.** (1986) Mechanical vibration- Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand transmitted vibration, ISO International standard.
12. **ISO 8041-E.** (1993) Human response to vibration- measuring instrumentation, ISO International standard.
13. **Barber T. S.** (1978) a survey of tractor seating and postural requirements. *Note No. DN/E/922/02005.* NIAE, Silsoe, England.
14. **Dewangan K.N., and Tewari V.K.** (2009a) Characteristics of hand-transmitted vibration of a hand tractor used in three operational mode. *international journal of industerial ergonomics* 39: 239-245
15. **Dewangan K.N., and Tewari V.K.** (2009b) Vibration energy absorption in the hand-arm system of hand tractor operator. *Biosystems Engineering* 3: 445-454.
16. **Futatsuka M., Maeda S., Inaoka T., Nagano M., Shono M., Miyakita. T.** (1998) Whole body vibration and health effects in the agricultural machinery drivers. *Industrial Health* 36:127-132.
17. **Goglia V., Gospodarc Z., Filipovic D., Djukic I.** (2006) influence on operator's health of hand-transmitted vibrations from handles of a single-axle tractor. *Ann Agric Environ Med* 13: 33-38.
18. **Haptics, E.** (2003) Kane's equations for haptic display of multi body systems. Vol. 3(2). Available online at [www.haptics-e.org](http://www.haptics-e.org)
19. **Horton, D. N. L., Crolla D. A.** (1986) Theoretical analysis of a semi-active suspension fitted to an off-road vehicle. *Vehicle System Dynamics*.15:351-372.