



بررسی و تحلیل ارتعاش در دسته‌های ارّه موتوری بدون انجام برش

مسعود فیضی^۱، علی جعفری^{۲*}، حجت احمدی^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی پردیس کرج دانشگاه تهران

۲.*. استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی پردیس کرج دانشگاه تهران jafarya@ut.ac.ir

۳. دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی پردیس کرج دانشگاه تهران

چکیده

امروزه بیشتر کارهای کشاورزی و صنعتی به کمک ماشین‌های مختلف انجام می‌گیرد و تقریباً تمامی کاربران این گونه ماشین‌ها در معرض ارتعاشات ناشی از آن‌ها هستند. دو نوع اصلی ارتعاشات شامل ارتعاشات کل بدن و ارتعاشات دست-بازو می‌باشد. ارّه موتوری یکی از وسایل دستی سنگین است که کاربر خود را در معرض سطح بالایی از ارتعاشات دست-بازو قرار می‌دهد. در این مطالعه مقادیر شتاب ارتعاش طی آزمایشی بر روی دسته‌های جلو و عقب ارّه موتوری stihl-MS230 در سه جهت عمودی، جانبی و محوری و در سه دور موتور آرام، نامی و تند در شرایط بدون برش درخت اندازه‌گیری شد. مقادیر جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش از سیگنال‌های شتاب در حوزه زمان و مقادیر شتاب وزندار شده فرکانسی در باندهای یک سوم اکتاو در بازه فرکانسی ۶/۵ تا ۱۲۵۰ هرتز و همچنین مقادیر شتاب ارتعاش کل از سیگنال‌های حوزه فرکانس بدست آمد. نتایج نشان داد که تاثیر دور موتور و جهت بر میزان جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است. میزان کلی ارتعاش با دور شدن از دور نامی موتور افزایش یافت و این افزایش در دسته عقب بیشتر از دسته جلو بود، بنابراین خطر ابتلا به بیماری انگشت سفید در دست راست بیشتر از دست چپ خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ارّه موتوری، انگشت سفید، باندهای اکتاو، شتاب ارتعاش

مقدمه

در یک قرن گذشته، پیشرفت دانش و فناوری موجب رشد گسترده اقتصادی در اغلب کشورهای صنعتی شده است. امروزه اکثر کارهای کشاورزی و صنعتی با ماشین‌های ساده و یا پیچیده انجام می‌گیرد. ماشین‌های موجود به علت داشتن اجزای متحرک دارای ارتعاشات هستند و کاربر آنها در معرض این ارتعاشات قرار دارد. در بعضی از ماشین‌ها مانند فشرده کننده‌های بتن، غربال‌ها و سنگ شکن‌ها این ارتعاشات بصورت هدفمند ایجاد شده‌اند اما در اکثر ماشین‌ها ارتعاشات در اثر لقی بین اجزاء و همچنین نیروها و وزن‌های متعادل نشده ایجاد می‌شوند. ارتعاشات وارده به بدن انسان به دو دسته عمده ارتعاشات کل بدن و ارتعاشات دست-بازو تقسیم می‌شود. ارتعاشات کل بدن به تمامی بدن منتقل می‌شود که معمولاً از طریق تکیه‌گاه که می‌تواند پاها، نشیمنگاه، پشت و ...



باشد انجام می‌گیرد. ارتعاشات دست- بازو به دست و بازو منتقل می‌شود. این ارتعاشات معمولاً توسط کاربرانی که با وسایل دستی سنگین کار می‌کنند تجربه می‌شود (Anonymous, 1989).

ارتعاش کامل و جزئی بدن باعث کاهش سلامتی مانند درد کمر و آسیب ستون فقرات می‌گردد (Taghizadeh ali saraei, 2007). ارتعاشات وارد شده به دست- بازو موجب اختلالات عصبی، اسکلتی- عضلانی و عروقی که در مجموع تحت عنوان سندرم لرزش دست- بازو شناخته می‌شوند، می‌گردد. سطح ارتعاشات وارد شده به دست- بازو باید به عنوان یک مسئله مهم ایمنی مورد توجه قرار گیرد تا سبب جلوگیری از بوجود آمدن مشکلاتی از قبیل سندرم تونل کارپال یا پدیده رینود که هر دو جزء اختلالات لرزش دست- بازو هستند گردد (Ko Ying *et al.*, 2011). پدیده رینود عارضه‌ای عروقی است که به سفید شدن نوک انگشتان دست در اثر سرما اشاره دارد. احساس بی‌حسی، خارش، سوزن سوزن شدن و سوزش از علائم این بیماری است. بنابراین لازم است که ارتعاشات ابزارهای مختلفی که انسان با آن‌ها در ارتباط است بررسی گردد و خصوصیات این ارتعاشات و راه‌های مقابله با آن‌ها شناخته شود. استانداردهای جهانی به منظور اندازه‌گیری، بررسی و تحلیل ارتعاشات در ماشین‌های مختلف تدوین شده‌اند که ISO 2631 و ISO 5349 از جمله آن‌ها هستند.

در مطالعه‌ای ارتعاشات در صد وسیله مختلف در چهارده دسته متفاوت شامل اتومبیل‌ها، بالا برها، تراکتورها، کامیون‌ها، ون‌ها و اتوبوس‌ها اندازه‌گیری و ارزیابی گردید. در هر کدام از این وسایل ارتعاشات در پنج حالت اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصل نشان داد که در بیشتر آزمایشات محور عمودی در صندلی بیشترین اندازه شتاب وزندار فرکانسی را دارد (Paddan and Griffin, 2002). مطالعه‌ای تحت عنوان برآورد اپیدمیولوژیک محلی کارکنان کارخانه کشتی‌سازی که در معرض ارتعاشات دست- بازو قرار دارند، انجام شد. نمونه تصادفی از قسمتی که دارای ترکیبی از کارگرانی که با کوبنده‌های پنوماتیک کار می‌کردند، کارگرانی که بطور پاره‌وقت در معرض ارتعاشات بودند و کارگران دیگری که با وسایل ارتعاشی سروکار نداشتند انتخاب شد. میزان شیوع بی‌حسی و احساس خارش در دست و انگشتان در سه گروه به ترتیب ۸۴، ۵۰ و ۱۷ درصد بود (Letz *et al.*, 1992). نتایج مطالعه‌ای که طی آن ارتعاشات بر روی فرمان تراکتور چهار چرخ محرک کوچک در دو حالت بدون بار و تحت بار کامل اندازه گرفته شده بود، نتیجه گرفته شد که در کمتر از مدت ۲ سال، رانندگان این ماشین به عارضه انگشت سفید مبتلا می‌گردند (Gogliaa *et al.*, 2003). محققان در زمینه طراحی و توسعه دسته معلق برای کاهش ارتعاشات دست- بازو در چمن‌زن بنزینی تلاش نمودند. آنها توانستند با طراحی دسته جدید بطور معنی‌داری، یعنی در حدود ۷۶ درصد ارتعاشات را نسبت به دسته موجود کاهش دهند (Ko Ying *et al.*, 2011).

اره موتوری معمولی که با یک کاربر کار می‌کند بطور گسترده‌ای برای قطع درختان و شاخه زنی در جنگل، قطع زنی گرده بینه در جنگل و کارخانه‌های چوب‌بری و حتی برش طولی گرده بینه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Latibari, 2006). بزرگترین عیب اره‌های موتوری لرزش دائمی آن‌ها حین کار است (Sarikhani, 2008). مطالعه‌ای بر روی گروهی شامل ۱۴۲ کاربر اره موتوری و ۵۶۹ نفر دیگر که با اره موتوری ارتباط نداشتند نشان داد که با وجود بالا بودن میزان شیوع اختلالات لرزش دست- بازو در گروه



شاهد که برابر با ۱۸٪ بود، میزان شیوع این اختلالات در کاربران ارّه موتوری خیلی بیشتر و نزدیک به ۴۴٪ است (Taylor et al, 1971). طی آزمایشی مقدار فشار پنجه دست بر روی دسته جلویی و عقبی ارّه موتوری در هنگام کار را در ۸۹ نفر از چوب‌برهای حرفه‌ای اندازه‌گیری نمودند. مقدار تغییرات در میزان فشار پنجه دست در دستگیره جلویی بیشتر از دستگیره عقبی بود. چوب‌برهایی که دارای عارضه انگشت سفید بودند فشار بیشتری را به هر دو دسته وارد می‌کردند (Farkkila et al., 1979).

یک مطالعه پیوسته که در بین کارگران جنگلداری سوموسالمی در فنلاند آغاز شده بود و به مدت ۱۹ سال ادامه یافته بود در سال ۲۰۰۶ ارائه شد. در این مطالعه گروهی متشکل از ۵۲ کارگر جنگلداری در ۱۱ بررسی مقطعی متقابل در سالهای ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۵ شرکت کردند. مقدار شیوع عارضه ارتعاشی فعال انگشت سپید در طول مطالعه مقطعی متقابل از ۱۳ به ۴ درصد کاهش یافت. عارضه انگشت سپید از ۱۷ به ۸ درصد کاهش و بی‌حسی از ۲۳ به ۴۰ درصد افزایش یافت. درد منطقه‌ای گردن در ۳۸ درصد از کارگران تشخیص داده شده و به درد کمر وابسته بود. همچنین بی‌حسی به اختلالات اسکلتی عضلانی قسمت بالایی سر وابسته بود. عوارض ارتعاش دست بازو به سندرم روتاتورکاف راست در کارگران وابسته بود (Sutinen et al, 2006).

در سال ۱۹۹۴ مقاله‌ای تحت عنوان مواجهه با ارتعاشات دست- بازو و توسعه سندرمهای لرزشی ارائه شد. این مطالعه به منظور بررسی رابطه میزان اختلالات گردش خون، اختلالات حسی و آسیب‌های ماهیچه‌ای و مفصلی با مدت زمان کاربری ارّه موتوری انجام گرفت. افراد مورد مطالعه در هشت گروه بر اساس مجموع مدت زمان کاربری دسته‌بندی شدند. نشانه‌های موجود و تحقیقات بالینی نشان می‌دهد که کار کردن با ارّه موتوری سبب سه عارضه گردش خون، اختلالات حسی و آسیب‌های ماهیچه‌ای و مفصلی می‌گردد. میزان این اختلالات با افزایش مدت زمان کار با ارّه موتوری افزایش یافته بود. نتایج نشان داد که اختلالات گردش خون در افرادی که کمترین ساعات کار را با ارّه موتوری داشتند نسبت به کسانی که با این وسیله کار نمی‌کنند اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین اختلالات حسی و آسیب‌های ماهیچه‌ای در گروه‌های خاصی تفاوت معنی‌دار را نشان می‌داد (Miyashita et al, 1994).

با توجه به اینکه ارّه موتوری وسیله‌ای است که کل وزن آن توسط دستهای کاربر با استفاده از دو دسته جلویی و عقبی تحمل می‌گردد تنها راه انتقال ارتعاشات این وسیله دستهای کاربر آن می‌باشد. بنابراین آگاهی از سطح این ارتعاشات در شرایط گوناگون و بررسی عوامل مؤثر بر آن برای تلاش در جهت حفظ سلامتی کاربر آن از اختلالات دست و بازو، لازم و ضروری می‌باشد. متأسفانه مطالعات زیادی خصوصاً در کشور ما بر روی ارتعاشات این وسیله انجام نگرفته است. بررسی ارتعاشات این وسیله می‌تواند خطراتی که کاربران آن را تهدید می‌نماید شناسایی کرده و در راه‌های مقابله با آن مورد استفاده قرار گیرد. هدف از انجام این تحقیق این است که عوامل اصلی ارتعاش در ارّه موتوری شناخته شوند و سطح ارتعاش این وسیله در دسته‌های جلو و عقب و همچنین در دوره‌های مختلف موتور و جهات سه‌گانه با هم مقایسه گردند. همچنین مشخص گردد که با تغییر هر کدام از عوامل نامبرده، مشخصات ارتعاش چگونه تغییر می‌کند و در نهایت اطلاعات بدست آمده در جهت انتخاب و یا ایمن سازی ارّه موتوری در خدمت محققین، مسئولین و کاربران قرار گیرد.



مواد و روش‌ها

در این تحقیق، مطالعه بر روی اژه موتوری Stihl-MS230 که دارای اندازه متوسط بوده و مجهز به سیستم ضد ارتعاش می‌باشد انجام گرفت. مشخصات این اژه موتوری در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات اژه موتوری

Table 1. Specifications of chainsaw

Engine Type	Gasoline Engine, 2-Stroke, One Cylinder, Air-cooled
نوع موتور	موتور بنزینی، دو زمانه، تک سیلندر، هوا خنک
Displacement	40.2 cc
حجم جابجایی	
Power Output	2.5hp at 10000rpm
توان خروجی	
Carburettor Type	Diaphragm
نوع کاربراتور	دیافراگم
Fuel Mixed Ratio	Gasoline to oil: (25:1)
نسبت ترکیب سوخت و روغن	بنزین به روغن (۲۵ به ۱)
Piston diameter	40 mm
قطر پیستون	
Guide Bar Size	35 cm
طول تیغه	

با توجه به اینکه درگیری زنجیر اژه موتوری با چوب موجب تغییر ویژگی‌های ارتعاش می‌گردد و هدف ما بررسی تأثیر عوامل دور موتور و جهت و موقعیت بر میزان شتاب ارتعاش و همچنین ویژگی‌های ارتعاش ناشی از خود اژه موتوری است، آزمایشات بدون برش چوب و در موقعیت قرارگیری بدن مطابق با استاندارد ISO 7505 صورت گرفت.

جهت تنظیم دور موتور اژه موتوری از یک دورسنج الکتریکی دیجیتالی ARMA ETI-TACHO استفاده گردید. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری در محدوده ۰/۵ تا ۹۹۹۹۹ دور بر دقیقه را دارا بوده، از دقت ۰/۰۵ درصد برخوردار است و دارای قدرت تفکیک پذیری ۰/۱ دور بر دقیقه می‌باشد که با توجه به این مشخصات برای پژوهش حاضر مناسب تشخیص داده شد. برای تنظیم دور ابتدا قاب جانبی اژه باز شده و تیغه آن برداشته شد. سپس یک گیره بر روی اهرم گاز به گونه‌ای بسته شد که با سفت کردن پیچ گیره، دور موتور با فشردن بیشتر اهرم افزایش یافته و با شل کردن آن دور موتور با کاهش فشردگی اهرم گاز، کاهش یابد. افزایش و کاهش دور موتور بصورت پیوسته امکان‌پذیر است. محور دورسنج به محور میل لنگ موتور تماس داده شده و گیره



تا رسیدن به دور مورد نظر سفت می‌شد. پس از اطمینان از درست بودن میزان فشردگی اهرم، محلی برای ایجاد سوراخی کوچک بر روی اهرم مشخص می‌گردید. سپس سوراخ بر روی اهرم ایجاد می‌شد. با قرار دادن یک سنجاق ته گرد در سوراخ تعبیه شده فشردن اهرم گاز بیشتر از میزان مورد نظر امکان‌پذیر نبوده و در نتیجه ثابت نگه‌داشتن دور موتور حین انجام آزمایش ممکن گردید.

در این پژوهش از یک دستگاه اندازه‌گیری و ثبت ارتعاشات Easy-Viber استفاده گردید که دارای دو کانال ورودی ارتعاشات و یک کانال برای ارتباط با رایانه بود. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری و ثبت داده‌های ارتعاش بصورت داده‌های تغییر مکان، سرعت و شتاب در یکاهای مختلف است که برحسب نیاز شتاب انتخاب گردید. مشخصات این دستگاه در جدول ۲ آورده شده است. از آنجا که برای تحلیل ارتعاشات دست-بازو در حوزه فرکانس مطابق با استاندارد ISO 5349 به مقادیر شتاب ارتعاش در محدوده ۵ تا ۱۴۰۰ هرتز نیازمندیم، در نتیجه داده‌برداری با سرعت و محدوده فرکانسی این دستگاه در محدوده قابل قبول قرار می‌گیرد. همچنین از یک شتاب سنج پیزوالکتریک یک جهته مدل VMI-192 به‌عنوان حسگر ارتعاشات استفاده شد. این حسگر با توجه به وزن حدوداً ۵۰ گرم (در نظر گرفتن تاثیر مضاعف حسگر)، حساسیت ۱۰۰ میلی ولت به ازای یک واحد شتاب گرانش (g) و محدوده دینامیکی ۸۰g و همچنین مطابقت با دستگاه داده‌برداری برای اندازه‌گیری‌های مورد نظر مناسب تشخیص داده شد.

برای نصب حسگر بر روی دسته جلوی ارّه از یک پایه فلزی که دارای یک قسمت هلالی شکل، برای قرارگیری مناسب بر روی دسته استوانه‌ای بود استفاده شد. هلالی به یک مکعب متصل بود که در وجه‌های مختلف خود دارای سوراخ رزوه شده برای اتصال حسگر بود. توسط یک گیره، هلالی کاملاً به دسته ارّه محکم شد. همچنین برای دسته عقب از یک مکعب فلزی مشابه که به یک گیره فلزی محکم شده بود و قابلیت بسته شدن و محکم شدن بر روی دسته عقب را داشت استفاده گردید. پایه‌های حسگر بر روی دسته‌های ارّه در شکل ۱ نشان داده شده اند.

جدول ۲- مشخصات دستگاه داده‌برداری

Table 2. Specifications of data equation system

Spectrum resolution	0.03125 or 0.0625Hz, 0.5 or 1 Hz, 2.5 or 5 Hz
تفکیک پذیری طیف	
Selectable Spectrum frequency ranges	0.5-200Hz, 0.5-3200Hz, 2.5-16000 Hz
امکان انتخاب محدوده فرکانسی	
Real-time sampling rate	8.2 kHz/ 16.4 kHz
سرعت واقعی داده برداری	
Memory space	Yes
ظرفیت حافظه	دارد
Selectable vibration units	ms^{-2} , g, mms^{-1} , ms^{-1} , ins^{-1} , mm, mils
امکان انتخاب واحد	
Dynamic range	>80 dB
محدوده دینامیکی	

اره قبل از انجام آزمایش مطابق دفترچه راهنمای سازنده کاملاً سرویس شد و از سالم بودن تمامی اجزای آن به خصوص زنجیر و تیغه اطمینان حاصل شد. مطابق سفارشات سازنده مخلوط معینی از بنزین و روغن نیز برای سوخت مورد نیاز اره تأمین گردید. در تمام طول آزمایشات مخزن بنزین و روغن تقریباً پر بود. آزمایش مطابق استاندارد ISO 7505 در سه جهت مشخص بر روی دسته‌ها و در سه دور موتور شامل دور آرام (۲۸۰۰ rpm)، دور نامی (۱۰۰۰۰ rpm) و دور تند که ۱/۳۳ برابر دور نامی (rpm) ۱۳۳۰۰ بود، و در حالت بدون برش چوب انجام گرفت. آزمایش بصورت طرح کرت خورد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی و با پنج تکرار برای هر تیمار اجرا شد.



شکل ۱- پایه‌های حسگر بر روی دسته جلو و عقب و جهت‌های اندازه‌گیری ارتعاشات

Fig.1. Adapters on the handles of chainsaw and axis of vibration measurement



داده‌های اندازه‌گیری شده حاوی سیگنال‌های شتاب ارتعاش در حوزه زمان بودند. برای توصیف ارتعاشات معمولاً از ریشه میانگین مربعات (RMS) استفاده می‌شود. برای محاسبه RMS شتاب ارتعاش از رابطه زیر استفاده می‌شود (Barber, 1992; Anonymous, 1989).

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

که در آن $RMSvalue$ ، مقدار جذر میانگین مربعات (ms^{-2})؛ T ، بازه زمانی اندازه‌گیری شده (s)؛ $a(t)$ شتاب اندازه‌گیری شده در بازه زمانی کوتاه dt (ms^{-2}) و dt ، دیفرانسیل زمان (s) است.

برای کسب اطلاعات بیشتر از داده‌های اندازه‌گیری شده، داده‌ها توسط تبدیل سریع فوریه از حوزه زمان به سیگنال‌های در حوزه فرکانس تبدیل شدند. این کار توسط دستگاه اندازه‌گیری ارتعاشات مورد استفاده انجام شد. سپس با استفاده از سیگنال‌های حوزه فرکانس، مقادیر شتاب ارتعاش در مراکز فرکانسی باندهای ۱/۳ اکتاو در بازه فرکانسی ۶/۳ تا ۱۲۵۰ هرتز مورد محاسبه قرار گرفت. با استفاده از رابطه زیر میزان شتاب وزندار شده در هر سه جهت محاسبه گردید.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (k_j a_{hj})^2} \quad (2)$$

در این رابطه k_j ، فاکتور وزنی برای j زمین باند ۱/۳ اکتاو؛ a_{hj} ، شتاب اندازه‌گیری شده در j زمین باند ۱/۳ اکتاو (ms^{-2}) و n ، تعداد باندهای ۱/۳ اکتاو مورد استفاده است. فاکتورهای وزنی k_j در استاندارد ISO 5349 آورده شده است. (ISO 5349, 2001).

مقدار کلی ارتعاشات برابر با ریشه مجموع مربعات ارتعاشات اندازه‌گیری شده در سه جهت نامبرده می‌باشد و طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد (ISO 5349, 2001).

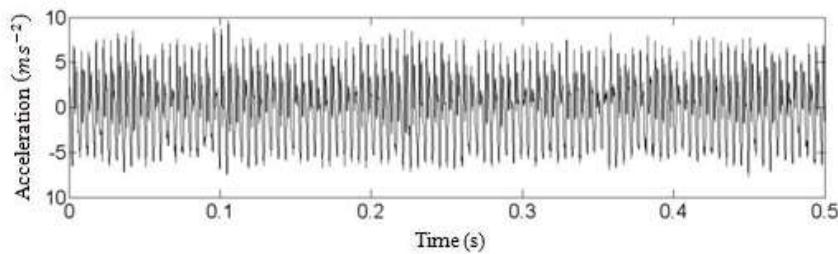
$$a_{hw} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (3)$$

که در آن a_{hw} ، شتاب کلی ارتعاشات (ms^{-2})؛ a_{hwx} ، شتاب وزندار شده در جهت X (ms^{-2})؛ a_{hwy} ، شتاب وزندار شده در جهت Y (ms^{-2}) و a_{hwz} ، شتاب وزندار شده در جهت Z (ms^{-2}) است.

پارامترهای تعریف شده با استفاده از سیگنال‌های حوزه زمان و فرکانس و همچنین طیف‌های باند ۱/۳ اکتاو مورد محاسبه قرار گرفت و آزمون تجزیه واریانس و آزمون چند دامنه‌ای دانکن در نرم افزار آماری SAS برای مقایسه میانگین‌ها در مورد مقادیر RMS شتاب ارتعاش بکار گرفته شد.

نتایج و بحث

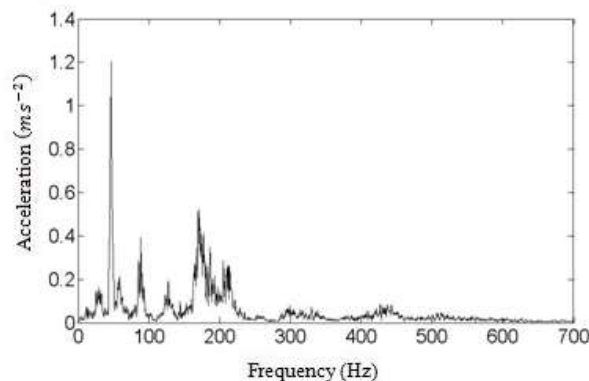
سیگنال شتاب در حوزه زمان برای دسته جلو از موتور در دور موتور آرام به عنوان نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که از این شکل پیداست مقادیر شتاب ارتعاش جهت وضوح بیشتر تنها در طول مدت نیم ثانیه نشان داده شده است. اطلاعات زیادی از این نمودار نمی‌توان کسب کرد. چرا که تنها مقادیر شتاب ارتعاش در فواصل زمانی در آن مشخص است و هیچ اطلاعاتی از مقادیر فرکانس‌های ارتعاشی و نیز میزان شتاب ارتعاش در هر کدام از آنها در دسترس نیست. این سیگنال از بینهایت تابع هارمونیک تشکیل شده است که این توابع از طریق تبدیل فوریه و تبدیل سیگنال حوزه زمان به حوزه فرکانس بدست می‌آید (Taylor, 2009). هر کدام از این توابع هارمونیک نشان دهنده ارتعاش قسمت خاصی از از موتور هستند که با فرکانس خاصی در حال ارتعاش است.



شکل ۲- سیگنال شتاب در حوزه زمان برای دسته جلو در جهت عمودی در دور موتور آرام

Fig.2 acceleration- time spectra in front handle in vertical axes and idle speed of engine

سیگنال شتاب در حوزه فرکانس برای دسته جلو از موتور در دور موتور آرام (2800rpm) در شکل ۳ نشان داده شده است. مقادیر شتاب در فرکانس‌های بالای ۷۰۰ هرتز به دلیل کوچک بودن و نیز به هدف وضوح بیشتر نمودار حذف شده‌اند.



شکل ۳- سیگنال شتاب در حوزه فرکانس برای دسته جلو در جهت عمودی در دور موتور آرام

Fig.3. frequency spectra in front handle in vertical axis and idle speed of engine



با توجه به اینکه دور موتور برابر با ۲۸۰۰ دور در دقیقه است و موتور تک سیلندر و دو زمانه می‌باشد، در هر دور موتور یک احتراق اتفاق می‌افتد. در نتیجه فرکانس ضربات احتراق بصورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$f = 2800 / 60 = 46.67 \text{ Hz}$$

با نگاهی به شکل ۳، قله غالب در فرکانس ۴۶.۵ هرتز مشخص می‌گردد. قله‌ای که در این فرکانس مشاهده می‌گردد، نشان دهنده ارتعاشات حاصل از ضربات احتراق موتور می‌باشد که از ارتعاشات حاصل از اجزای دیگر، دامنه بزرگتری دارد. در سیگنال‌های شتاب ارتعاش حوزه فرکانس در سایر دورهای موتور و سایر جهت‌ها در هر دو موقعیت، یک قله در فرکانسی مطابق با دور موتور وجود داشت که بیانگر این مطلب است که بخش اعظم ارتعاشات از موتور ناشی از ضربات احتراق در سیلندر آن می‌باشد. این نتیجه در مطالعه بر روی ماشین‌های دیگر نیز مشاهده شده است (Ko Ying et al, 2011; Taghizadeh ali saraei *et al.*, 2010).

دانستن این موضوع که بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در چه فرکانسی اتفاق می‌افتد، برای طراحی دسته در ابزارها بسیار مفید است. چرا که دسته باید به طریقی طراحی گردد که فرکانس طبیعی آن از فرکانس غالب وسیله مورد نظر دور باشد (Ko Ying et al, 2011).

برای بررسی تأثیر دور موتور و جهت بر میزان ارتعاشات از پارامتر ریشه میانگین مربعات (RMS) شتاب ارتعاش استفاده شده است. نتایج تجزیه واریانس این پارامتر بر اساس دور موتور و جهت در جدول ۳ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اثرات اصلی دور موتور و جهت و اثر متقابل آنها در هر دو دسته جلو و عقب، همگی در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای بررسی برهمکنش تأثیر دور موتور و جهت نیز در سطح ۱٪ انجام شد که در جدول ۴ نشان داده شده است.

با مشاهده جدول ۴ در می‌یابیم که مقادیر شتاب ارتعاش در سه جهت مختلف در هر سه دور موتور در دسته جلو با هم در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌دار دارند. در دور آرام موتور، بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در راستای جانبی ظاهر شده است در حالی که در دور نامی بیشترین مقدار در جهت عمودی و در دور تند در جهت محوری اتفاق افتاده است. در دور آرام زنجیر از موتور ثابت است و موتور دارای تعادل خوبی در حین کار نیست. به همین دلیل ارتعاشات ناشی از حرکات جانبی میل‌لنگ و پیستون سبب بروز بیشترین شتاب ارتعاش در راستای طولی از موتور می‌باشد که در واقع راستای جانبی دسته جلو می‌باشد شده است. در دور نامی موتور از بالاترین تعادل برخوردار است، ارتعاشات در راستای طولی از موتور کاهش یافته و میزان ارتعاشات ناشی از ضربات موتور به قوت خود باقی بوده و در نتیجه از نظر مقدار از ارتعاش در راستای طولی از موتور پیش می‌افتند. باید به این نکته توجه نمود که راستای رفت و برگشت پیستون در راستای عمودی دسته جلو می‌باشد. در دور تند با بالا رفتن دور موتور و سرعت زنجیر، تعادل زنجیر بر روی ریل تعبیه شده برای آن بر روی تیغه کمتر شده و سبب افزایش ارتعاشات در راستای عمود بر صفحه تیغه یعنی در

راستای محوری دسته جلو شده است. اما همانطور که می‌بینیم مقدار شتاب ارتعاش در دسته جلو در هر سه راستا با بالا رفتن دور موتور بیشتر شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس RMS شتاب ارتعاش

Table 2. ANOVA for RMS acceleration

Source of variation منبع تغییر	Degree-of-freedom درجه آزادی	Mean square میانگین مربعات	
		Front handle دسته جلو	Rear handle دسته عقب
Speed دور	2	2704.345**	6000.964**
Main error خطای اصلی	12	2.085	2.206
Axis جهت	2	55.696**	2880.243**
Speed*Axis دور*جهت	4	343.657**	4000.024**
Error خطای فرعی	24	2.59	4.402
**significant at level 1%		**معنی‌دار در سطح ۱٪	

بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در دسته عقب در دور آرام در راستای عمودی می‌باشد، دلیل این مطلب را می‌توان بر ایند ارتعاشات ناشی از عدم تعادل موتور و نیز ارتعاشات ناشی از ضربات احتراق دانست. در حالی که در دورهای نامی و تند شتاب ارتعاش در این راستا از کمترین مقدار برخوردار است. در مقابل کمترین مقدار شتاب ارتعاش در دور آرام در جهت محوری است که در دورهای نامی و تند دارای بیشترین مقدار است. در دورهای نامی و تند با توجه به اینکه زنجیر در حال گردش است و نیز با عنایت به این موضوع که راستای زنجیر زاویه‌ای با راستای محوری دسته عقب می‌سازد شاید بتوان میزان ارتعاشات بالا در این راستا را توجیه نمود. از طرفی میزان ارتعاش ناشی از لرزش زنجیر در دور تند، به دلیل دور بودن زنجیر از دسته عقب تأثیر چندانی بر روی میزان ارتعاشات در راستای جانبی این دسته نداشته و همچنان میزان ارتعاش در راستای محوری بزرگترین مقدار را به خود اختصاص داده است.

نمودارهای مقدار RMS شتاب ارتعاش در مراکز فرکانسی باندهای ۱/۳ اکتاو در بازه فرکانسی ۶/۳ تا ۱۲۵۰ هرتز در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که در نمودارها قابل رؤیت است، با بالا رفتن دور موتور قله‌ها به سمت راست نمودارها یعنی به سمت فرکانس‌های بالاتر کشیده شده اند که ناشی از بالا رفتن فرکانس ضربات احتراق موتور است. این نتیجه در مطالعه‌ای که به منظور بررسی ارتعاشات تراکتور دو چرخ در حالت حمل و نقل انجام شده بود نیز مشاهده گردید (Ahmadian, 2012)



جدول ۴- مقایسه دانکن میانگین‌های RMS شتاب ارتعاش در دورها و جهت‌های مختلف در سطح ۱٪

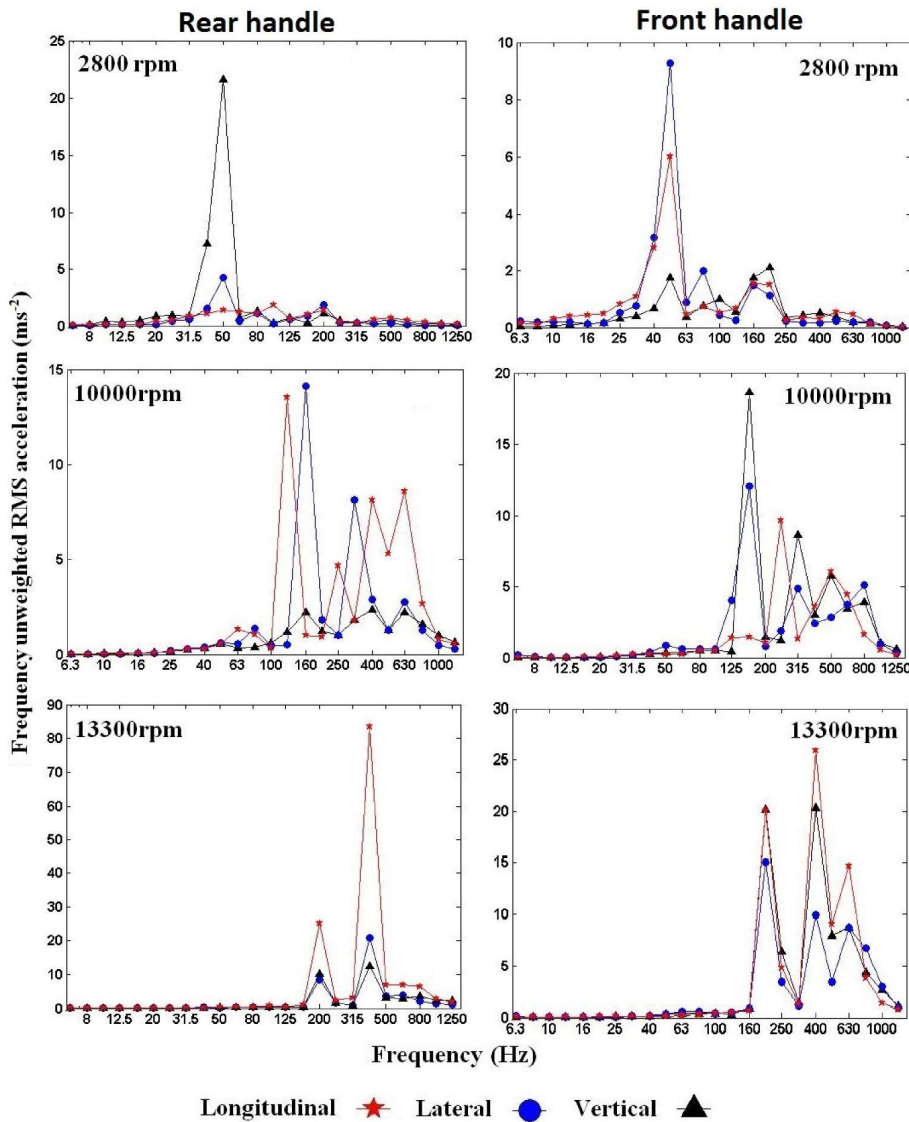
Table 3. the Duncan-test between the effects of different levels of speeds and axis on the RMS acceleration at level 1%

Speed of engine		2800 rpm	10000 rpm	13300 rpm
Front handle دسته جلو	Vertical عمودی	4.644 ^G	24.003 ^C	36.894 ^B
	Lateral جانبی	13.048 ^E	20.752 ^D	24.586 ^C
	Longitudinal محوری	9.166 ^F	15.133 ^E	45.529 ^A
Rear handle دسته عقب	Vertical عمودی	28.863 ^B	6.166 ^D	20.024 ^C
	Lateral جانبی	6.474 ^D	18.840 ^C	27.623 ^B
	Longitudinal محوری	4.563 ^D	21.902 ^C	99.510 ^A

میانگین‌های موجود در هر موقعیت که دارای حرف مشترک هستند در سطح ۱٪ با هم اختلاف معنی‌دار ندارند.

Any means that have at least one common letter are not significantly different at the 1% level

در دور تند در دسته عقب در راستای محوری میزان شتاب ارتعاش در باند فرکانسی با مرکز ۴۰۰ هرتز دارای اختلاف معنی‌داری با سایر مقادیر در همان نمودار و در نمودارهای دیگر می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار شتاب ارتعاش در این موقعیت، دور موتور و جهت در دیگر فرکانس‌ها با سایر مقادیر نمودار هماهنگی دارد، می‌توان اظهار داشت که بالا رفتن میزان RMS شتاب ارتعاش در این تیمار در جدول ۴ ناشی از بالا بودن شتاب ارتعاش در همین باند فرکانسی می‌باشد. تعداد قله‌هایی که در باندهای فرکانسی شامل مضارب فرکانس دور موتور اتفاق افتاده‌اند در دور نامی بیشتر از دو دور دیگر است و این تأییدی بر متعادل بودن موتور در دور نامی می‌باشد. همچنین در دورهای آرام و تند مقدار بزرگترین قله در دسته عقب بزرگتر از دسته جلو می‌باشد و لی در دور نامی برعکس است. این مطلب را می‌توان بدین صورت که در دور نامی احتراق موتور، بزرگترین سهم را در ارتعاشات دارد و دسته جلو به موتور و متعلقات آن نزدیکتر است توضیح داد در حالی که در دورهای آرام و تند ارتعاشات ناشی از عدم تعادل موتور تأثیر بیشتری بر روی دسته عقب گذاشته است.



شکل ۴- طیف‌های باند ۱/۳ اکتاو شتاب ارتعاش

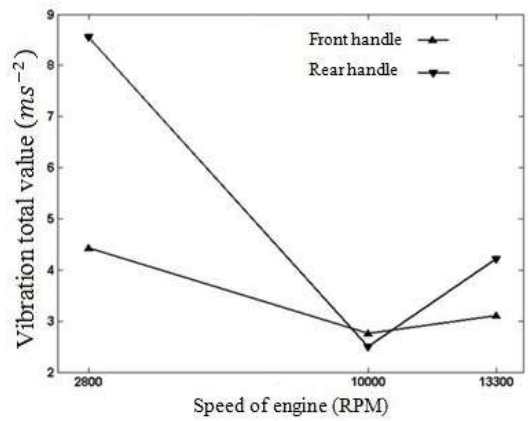
Fig.4. vibration acceleration in one-third octave band

با استفاده از مقادیر شتاب ارتعاش در باندهای ۱/۳ اکتاو و ضرایب وزنی مناسب مطابق با استاندارد ISO 5349 میزان شتاب ارتعاش وزندار شده در هر جهت محاسبه گردیده و مقادیر میانگین آن‌ها در پنج تکرار محاسبه شده است. با استفاده از این مقادیر، میزان شتاب ارتعاش کل (معادل سه جهت) یعنی a_{hv} محاسبه گردیده و در شکل ۵ نشان داده شده است. بیشترین مقدار شتاب ارتعاش کل که معیاری برای بدست آوردن زمان ابتدای کاربر به عارضه انگشت سفید می‌باشد در دور آرام موتور در دسته عقب اتفاق افتاده است. همانطور که مشاهده می‌شود این مقدار در دوره‌های آرام و تند در دسته عقب خیلی بیشتر از دسته جلو می‌باشد،

اما در دور نامی این مقدار در دسته جلو بیشتر است. با توجه به این نمودار می‌توان گفت که با کار کردن تحت این شرایط، کاربر این ارّه موتوری بهتر است که دور موتور را در نزدیکی دور نامی نگه دارد تا دیرتر به عارضه انگشت سفید مبتلا گردد. در صورت قرار گرفتن در معرض بیشترین ارتعاشات ناشی از این وسیله، طبق محاسبات زیر که مطابق با استاندارد ISO 5349 صورت گرفته است کاربر در کمتر از مدت ۷ سال با فرض روزانه ۲ ساعت کار با این وسیله به عارضه انگشت سفید مبتلا خواهد شد.

$$A(8)_{\max} = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = a_{hv(\max)} \sqrt{\frac{T}{T_0}} = 8.55 \sqrt{\frac{2}{8}} = 4.275 m/s^2$$

$$D_{y(\min)} = 31.8 [A(8)_{(\max)}]^{-1.06} = 31.8 [4.275]^{-1.06} = 6.8 \text{ years}$$



شکل ۵- شتاب ارتعاش کل

Fig.5. Vibration total value

نتیجه گیری کلی

- ۱- در بین اجزای تشکیل دهنده ارّه موتوری، ضربات ناشی از احتراق بزرگترین سهم را در میزان ارتعاشات دارد.
- ۲- بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در دسته جلو در دور آرام در راستای جانبی، در دور نامی در راستای عمودی و در دور تند در راستای محوری می‌باشد.
- ۳- بزرگترین میزان شتاب ارتعاش در دسته عقب و در دور تند اتفاق افتاده است که ناشی از ارتعاشات بزرگ در باند فرکانسی ۱/۳ اکتاو با مرکز ۴۰۰ هرتز می‌باشد.
- ۴- میزان کلی ارتعاشات در دسته عقب در دورهای آرام و تند به میزان قابل توجهی از از دسته جلو بیشتر است اما در دور نامی به میزان اندکی در دسته جلو بیشتر از دسته عقب است.

فهرست منابع

- Ahmadian, H. 2012. Measurement, Analysis and Evaluation of a power tiller Vibration on transportation mode. MSC Thesis. University of Tehran.
- Anonymous. 1989. Human vibration. Bruel & Kjar CO. Online publication. Denmark.
- Barber, A. 1992. Handbook of Noise and vibration control. By Elsevier Science Publisher LTD. 6th edition.
- Farkkila, M., I. Pyykko, O. Korhonen, J. Starck. 1979. Hand grip forces during chain saw operation and vibration white finger in lumberjacks. British Journal of Industrial Medicine. 36: 336-341.
- Gogliaa, V., Z. Gospodaric, S. Kossuticb, D. Filipovic. 2003. Hand-transmitted vibration from the steering wheel to drivers of a small four-wheel drive tractor. Applied Ergonomics. 34: 45-49.
- ISO 2631-1. 1997. Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration. ISO International standard.
- ISO 5349-1. 2001. Mechanical vibration — Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. ISO International standard.
- ISO 7505. 1986. Forestry Machinery- Chain saws- Measurement of hand-transmitted vibration. ISO International standard.
- Ko Ying, H., E. Ooi Lu, R. Zaidi Mohd. 2011. The design and development of suspended handles for reducing hand-arm vibration in petrol driven grass trimmer. Journal of Industrial Ergonomics. 41: 459-470.
- Latibari, A. 2006. Wood-cutting technology. College of Science - Applied ministry of Jihad-e Agriculture. (in farsi).
- Letz, R., M. Cherniack, F. Gerr, D. Hershman, P. Pace. 1992. A cross sectional epidemiological survey of shipyard workers exposed to hand-arm vibration. Journal of Industrial Medicine. 49: 53-62.
- Miyashita, K., K. Miyamoto, M. Kuroda, S. Takeda, H. Iwata. 1994. Hand-Arm Vibration Exposure and The Development Of Vffiration Syndrome. Nagoya J. Med. Sci. 57: 43-48.
- Paddan, G.S., M.J. Griffin. 2002. Evaluation of whole-body vibration in vehicles. Journal of Sound and Vibration. 253: 195-213.
- Sarikhani, N. 2008. Forest exploitation. University of Tehran press. (in farsi).
- Sutinen, P., E. Toppila, J. Starck, A. Brammer, J. Zou, I. Pyykko. 2006. Hand arm vibration syndrome with use of anti-vibration chain saws: 19-year follow-up study of forestry workers. Int Arch Occup Environ Health. 79: 665-671.
- Taghizadeh ali saraei, A., T. Tavakoli, B. Ghobadiyan. 2007. Investigation the seat vibration of 650M universal tractor. Iranian Journal of Agriculture Science 4: 571-580. (in farsi).
- Taghizadeh ali saraei, A., T. Tavakoli, B. Ghobadiyan. 2010. Vibration analysis of two-wheel tractors at station. Iranian Journal of Biosystem Engineering 1:27-35. (in farsi).
- Taylor, L.J. 2009. The vibration analysis Handbook. Elsevier electronic publication.
- Taylor, W., J. Person, R. L. Kell, G. D. Keighley. 1971. Vibration syndrome in Forestry Commission chain saw operators. Brit. J. Induser. 28: 83-89.



Investigation and analysis the vibration of handles of chainsaw without cutting

Masoud Fayzi¹, Ali Jafari^{2*}, Hojat Ahmadi³

1. MSc. Alumnus of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tehran,
karaj, Iran

2*.full professor of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tehran,
karaj, Iran jafarya@ut.ac.ir

3. Associate professor of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tehran,
karaj, Iran

Abstract

Nowadays most of the agricultural and industrial tasks are performing through different machines and almost any people are exposed to vibration of these machines. Whole-body vibration and hand-arm vibration are two main types of this vibration. The chainsaw is one of hand-held tools that expose own operators to high levels of hand-arm vibration. In this research the vibration acceleration signals for evaluation were obtained in an experiment using a Stihl-MS230 chainsaw in the lateral, longitudinal and vertical directions on the front and rear handle of chainsaw. Tests performed at three levels of engine speed (2800, 10000 and 13300 rpm) without cutting wood. The vibration acceleration at various conditions was measured and the root mean square of vibration acceleration was calculated from acceleration- time spectrum. Then the frequency weighted RMS acceleration at 1/3rd octave bands from 6.3Hz to 1250Hz and the vibration total value was calculated from frequency spectrum. Results showed that the RMS acceleration in different axes and different speeds was significant at 1% level. Main source of vibration of chainsaw was single cylinder engine. The total value of vibration was increased when the speed of engine moving away from nominal speed and this increasing in rear handle is very larger than front handle, so the probability of expose to white finger disorder in right hand of operator is more than other hand.

Key words: chainsaw, octave bands, vibration acceleration, white finger