

بررسی و تحلیل ارتعاش در دسته‌های ارّه موتوری بدون انجام برش

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

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 به دست آمد. نتایج نشان داد که تأثیر 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

طریق تکیه‌گاه که می‌تواند پاهای نشیمنگاه، پشت و غیره 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 et al., 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 به‌عنوان یک مسئله‌ی مهم ایمنی مورد توجه قرار گیرد تا سبب جلوگیری از به‌وجود آمدن مشکلاتی از قبیل سندرم تونل کارپال یا پدیده رینود که هر دو جزء اختلالات لرزش دست-بازو هستند گردد (Hao 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

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 فشرده‌کننده‌های بتن، غربال‌ها و سنگ‌شکن‌ها این ارتعاشات به‌صورت 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

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، کرج دانشگاه تهران

*- نویسنده مسئول: (Email: Fayzi_masoud@alumni.ut.ac.ir)

۲- استاد گروه ماشین‌های کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج دانشگاه تهران

فتلاند 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 بین ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۵ شرکت کردند. مقدار شیوع عارضه ارتعاشی فعال انگشت سفید در طول مطالعه مقطعی متقابل از ۱۳ به ۴ درصد کاهش یافت. عارضه انگشت سفید 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 (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 اژه موتوری انجام گرفت. افراد مورد مطالعه در هشت گروه براساس مجموع مدت زمان کاربری دسته‌بندی شدند. نشانه‌های موجود و تحقیقات بالینی نشان می‌دهد که کار کردن با اژه موتوری سبب سه عارضه گردش خون، اختلالات حسی و آسیب‌های ماهیچه‌ای و مفصلی می‌گردد. میزان این اختلالات با افزایش مدت زمان کار با اژه موتوری افزایش یافته بود. نتایج نشان داد که اختلالات گردش خون در افرادی که کمترین ساعات کار را با اژه 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 اژه 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 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 اژه 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 به دست آمده در جهت انتخاب و یا ایمن‌سازی اژه موتوری در خدمت محققین، مسئولین و کاربران قرار گیرد.

به‌منظور اندازه‌گیری، بررسی و تحلیل ارتعاشات در ماشین‌های مختلف تدوین شده‌اند که ISO 2631 و ISO 5349 از جمله آن‌ها هستند. در مطالعه‌ای ارتعاشات در ۱۰۰ وسیله مختلف در چهارده دسته متفاوت شامل اتومبیل‌ها، بالابرها، 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 شده 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. یک نمونه تصادفی از بخش‌هایی که دارای ترکیبی از کارگرانی که با کوبنده‌های پنوماتیک کار می‌کردند، کارگرانی که به‌طور 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 در آن ارتعاشات بر روی فرمان تراکتور چهار چرخ محرک کوچک در دو حالت بدون بار و تحت بار کامل اندازه گرفته شده بود، نشان داد که در کمتر از مدت ۲ سال، رانندگان این ماشین به عارضه انگشت سفید مبتلا می‌گردند (Gogliaa *et al.*, 2003). محققانی نیز در زمینه طراحی و توسعه دسته معلق برای کاهش ارتعاشات دست-بازو در چمن‌زن بنزینی تلاش نمودند. آن‌ها توانستند با طراحی دسته جدید به‌طور معنی‌داری، یعنی در حدود ۷۶ درصد ارتعاشات را نسبت به دسته اولیه موجود کاهش دهند (Hao *et al.*, 2011).

اژه موتوری معمولی که با یک کاربر کار می‌کند به‌طور گسترده‌ای برای قطع درختان و شاخه‌زنی 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 اژه‌های موتوری لرزش دائمی آن‌ها حین کار است (Sarikhani, 2008). مطالعه‌ای بر روی گروهی شامل ۱۴۲ کاربر اژه موتوری و ۵۶۹ نفر دیگر که با اژه 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 اژه موتوری خیلی بیشتر و نزدیک به ۴۴٪ است (Taylor *et al.*, 1971). محققان طی آزمایشی مقدار فشار پنجه دست بر روی دسته جلویی و عقبی اژه موتوری 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

جدول ۱ - مشخصات اژه موتوری

Table 1- Specifications of chainsaw Stihl-MS230

نوع موتور	موتور بنزینی، دو زمانه، تک سیلندر، هوا خنک
Engine type	Gasoline engine, 2-Stroke, One cylinder, Air-cooled
حجم جابه‌جایی	40.2 cc
Displacement	
توان خروجی	2.5hp at 10000rpm
Power output	
نوع کاربراتور	دیافرامگم
Carburettor type	Diaphragm
نسبت ترکیب سوخت و روغن	بنزین به روغن (۲۵ به ۱)
Fuel mixed ratio	Gasoline to oil: (25:1)
قطر پیستون	40 mm
Bore	
طول تیغه	35 cm
Guide bar size	

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. 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 الکترونیکی دیجیتال 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 تفکیک‌پذیری 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 شدن بیشتر اهرم گاز افزایش یافته و با شل کردن آن، دور موتور در نتیجه‌ی کاهش فشردگی اهرم گاز، کاهش یابد. افزایش و کاهش دور موتور به صورت 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

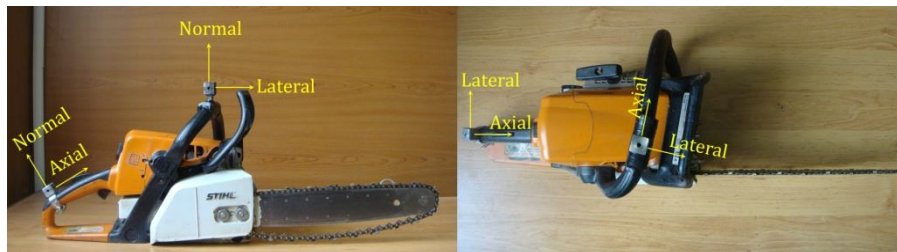
امکان‌پذیر نبوده و در نتیجه ثابت نگه‌داشتن دور موتور حین انجام آزمایش ممکن گردید.

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 به صورت داده‌های تغییر مکان، سرعت و شتاب در یکه‌های 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 شتاب‌سنج پیزوالکتریک یک جهته مدل VMI-192 به‌عنوان حسگر ارتعاشات استفاده شد. این حسگر با توجه به وزن حدوداً ۵۰ گرم (در نظر گرفتن تأثیر مضاعف حسگر)، حساسیت ۱۰۰ میلی‌ولت به‌ازای 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 اژه از یک پایه فلزی که دارای یک قسمت هلالی شکل جهت 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 اژه 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 اژه در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲ - مشخصات دستگاه داده‌برداری

Table 2- Specifications of vibration data equation system	
تفکیک پذیری طیف Spectrum resolution	0.03125 or 0.0625Hz, 0.5 or 1 Hz, 2.5 or 5 Hz
امکان انتخاب محدوده فرکانسی Selectable spectrum frequency ranges	0.5-200Hz, 0.5-3200Hz, 2.5-16000 Hz
سرعت واقعی داده‌برداری Real-time sampling rate	8.2 kHz/16.4 kHz
ظرفیت حافظه Memory space	دارد Yes
امکان انتخاب واحد Selectable vibration units	$m s^{-2}$, g, $mm s^{-1}$, $m s^{-1}$, $in s^{-1}$, mm, mils
محدوده دینامیکی Dynamic range	>80 dB



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

اژه قبل از انجام آزمایش مطابق با دفترچه راهنمای سازنده کاملاً سرویس شد و از سالم بودن تمامی اجزای آن به‌خصوص زنجیر و تیغه اطمینان حاصل شد. مطابق سفارشات سازنده مخلوط معینی از بنزین و روغن نیز برای سوخت مورد نیاز اژه 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 (۱۳۳۰۰ rpm) بود و در حالت بدون برش چوب انجام گرفت. آزمایش به‌صورت طرح کورت خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی و با پنج تکرار برای هر تیمار اجرا شد.

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 (۱) استفاده می‌شود (Barber, 1992; Anonymous, 1989).

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

در این رابطه k_j فاکتور وزنی برای زامین باند ۱/۳ اکتاو؛ a_{hj} شتاب اندازه‌گیری شده در زامین باند ۱/۳ اکتاو ($m s^{-2}$) 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 (۳) محاسبه می‌گردد (ISO 5349, 2001).

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

که در آن RMS value، مقدار جذر میانگین مربعات ($m s^{-2}$)؛ T ، بازه

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 به دست می‌آید (Taylor, 2009). هر کدام از این توابع هارمونیک نشان‌دهنده ارتعاش قسمت خاصی از ارّه موتوری هستند که با فرکانس خاصی در حال ارتعاش است.

سیگنال شتاب در حوزه فرکانس برای دسته جلو ارّه موتوری در دور موتور آرام (۲۸۰۰ دور بر دقیقه) 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.

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 از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

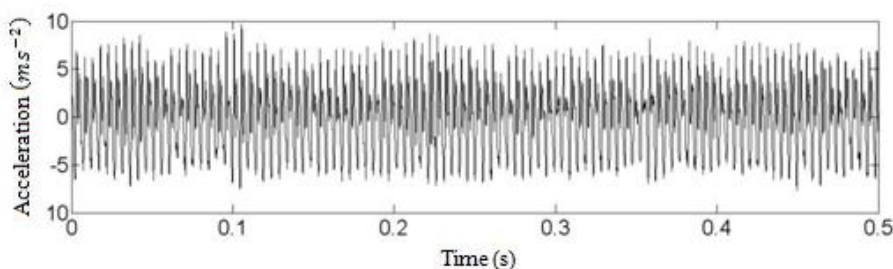
$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (3)$$

که در آن a_{hv} شتاب کلی ارتعاشات ($m s^{-2}$)؛ a_{hwx} شتاب وزن‌دار شده در جهت X ($m s^{-2}$)؛ a_{hwy} شتاب وزن‌دار شده در جهت Y ($m s^{-2}$) و a_{hwz} شتاب وزن‌دار شده در جهت Z ($m s^{-2}$) 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 به کار گرفته شد.

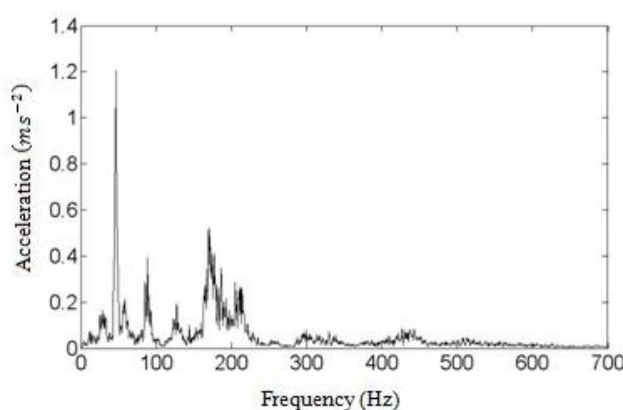
نتایج و بحث

سیگنال شتاب در حوزه زمان برای دسته جلو ارّه موتوری در دور آرام به‌عنوان 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



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

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



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

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

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 اژه موتوری 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 اژه موتوری که در واقع راستای جانبی دسته جلو می‌باشد شده است. در دور نامی، موتور از بالاترین تعادل برخوردار است. در این دور، ارتعاشات در راستای طولی اژه موتوری کاهش می‌یابد، اما میزان ارتعاشات ناشی از ضربات موتور به قوت خود باقی مانده و در نتیجه مقدار آن بیشتر از مقدار ارتعاش در راستای طولی اژه موتوری می‌گردد. 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. بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در دسته عقب در دور آرام و در راستای عمودی می‌باشد. دلیل این مطلب را می‌توان برآیند 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.

$$f = 2800 / 60 = 46.67 \text{ Hz} \quad (4)$$

با نگاهی به شکل ۳، قله غالب در فرکانس ۴۶/۵ هرتز قابل تشخیص است. قله‌ای که در این فرکانس مشاهده می‌گردد، نشان‌دهنده 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 اژه موتوری ناشی از ضربات احتراق در سیلندر آن می‌باشد. این نتیجه در مطالعه بر روی ماشین‌های دیگر نیز مشاهده شده است (Hao et al., 2011; Taghizadeh Ali Saraei et al., 2010).

دانستن این موضوع که بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در چه فرکانسی رخ می‌دهد، 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 (Hao 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 براساس 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 درمی‌یابیم که مقادیر شتاب ارتعاش در سه جهت مختلف در هر سه دور موتور در دسته جلو با هم در سطح ۱٪

جدول ۳- تجزیه واریانس RMS شتاب ارتعاش
Table 3- ANOVA results of RMS acceleration

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

** : significant at level 1%

** : معنی‌دار در سطح ۱٪

جدول ۴ ناشی از بالا بودن شتاب ارتعاش در همین باند فرکانسی می‌باشد. تعداد قللهایی 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 دوره‌های آرام و تند مقدار بزرگترین قله در دسته عقب بزرگتر از دسته جلو می‌باشد ولی 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 دوره‌های آرام و تند ارتعاشات ناشی از عدم تعادل موتور تأثیر بیشتری بر روی دسته عقب گذاشته است.

با استفاده از مقادیر شتاب ارتعاش در باندهای ۱/۳ اکتاو و ضرایب وزنی مناسب مطابق با استاندارد ISO 5349 میزان شتاب ارتعاش وزن دار 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 به دست آوردن زمان ابتلای 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.

در مقابل کمترین مقدار شتاب ارتعاش در دور آرام در جهت محوری است که در دوره‌های نامی و تند دارای بیشترین مقدار است. در دوره‌های نامی و تند با توجه به اینکه زنجیر در حال گردش است و نیز با عنایت به این موضوع که راستای زنجیر زاویه‌ای کوچک 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 شده‌اند که ناشی از بالا رفتن فرکانس ضربات احتراق موتور است. این نتیجه در مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی ارتعاشات تراکتور دو چرخ در حالت حمل و نقل انجام شده بود نیز مشاهده گردید (Ahmadian, 2012).

بر روی دسته عقب، در دور تند و در راستای محوری میزان شتاب ارتعاش در باند فرکانسی با مرکز ۴۰۰ هرتز دارای اختلاف بزرگی 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 مقادیر سایر نمودارها هماهنگی دارد، می‌توان اظهار داشت که بالا رفتن میزان RMS شتاب ارتعاش در این تیمار در

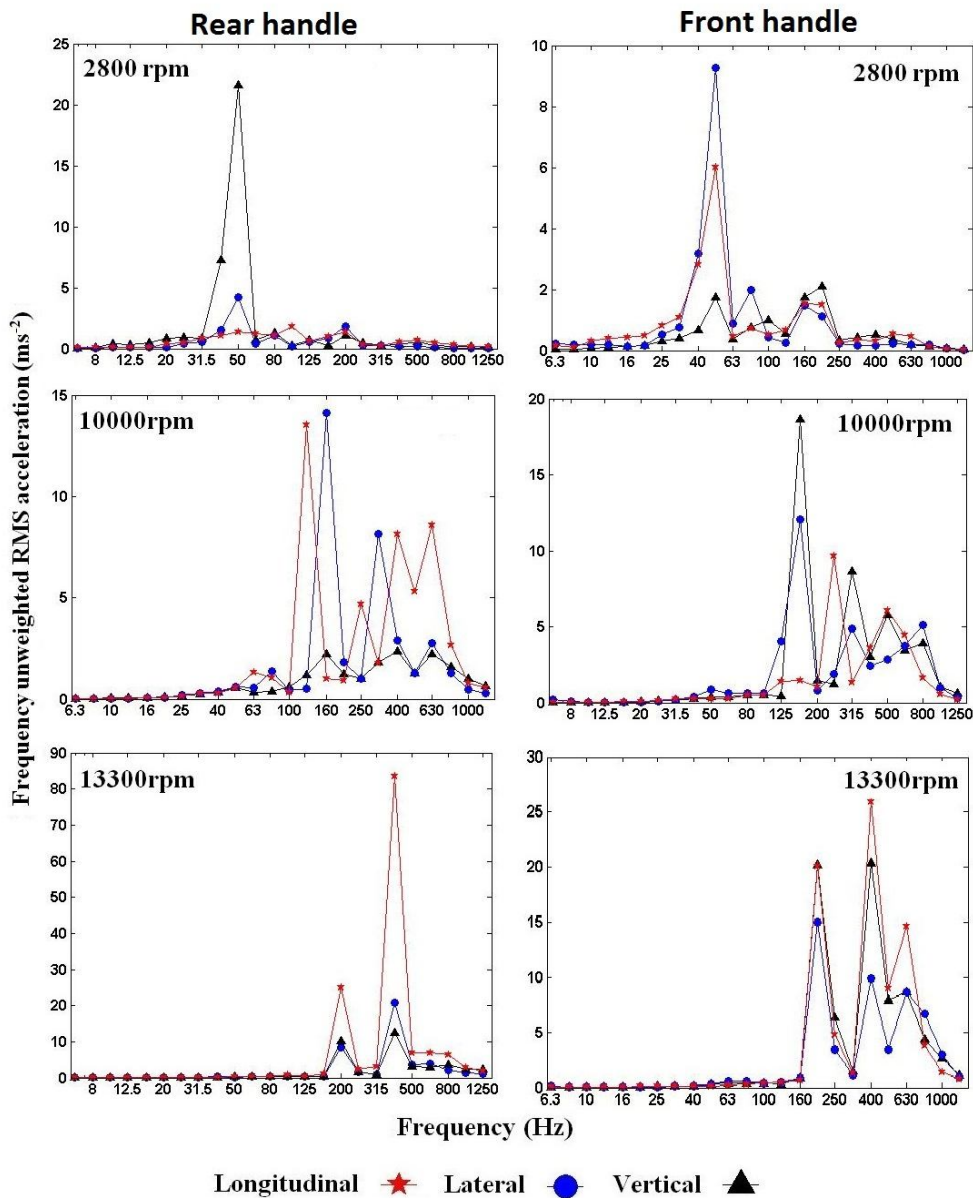
جدول ۴ - مقایسه دانکن میانگین‌های RMS شتاب ارتعاش در دورها و جهت‌های مختلف در سطح ۱٪

Table 4- 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
دسته جلو Front handle	عمودی Vertical	4.644 ^s	24.003 ^c	36.894 ^b
	جانبی Lateral	13.048 ^e	20.752 ^d	24.586 ^c
	محوری Longitudinal	9.166 ^f	15.133 ^e	45.529 ^a
دسته عقب Rear handle	عمودی Vertical	28.863 ^b	6.166 ^d	20.024 ^c
	جانبی Lateral	6.474 ^d	18.840 ^c	27.623 ^b
	محوری Longitudinal	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



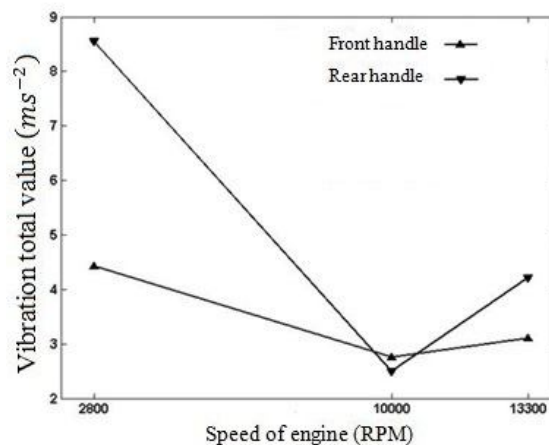
شکل ۴- طیف‌های باند ۱/۳ اکتاو شتاب ارتعاش
 Fig.4. Vibration acceleration in 1/3 octave band

فرض کنیم، با در نظر گرفتن بیشترین ارتعاشات ناشی از این وسیله، محاسبات زیر که مطابق با استاندارد ISO 5349 صورت گرفته است نشان می‌دهد که در مدت زمانی کمتر از ۷ سال، عارضه انگشت سفید در ۱۰٪ از کاربران پدیدار خواهد شد.

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

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

با توجه به این نمودار می‌توان گفت که با کار کردن تحت این شرایط، کاربر این اژه موتوری بهتر است که دور موتور را در نزدیکی دور نامی نگه دارد تا دیرتر به عارضه انگشت سفید مبتلا گردد. اگر مدت زمان مواجهه روزانه با ارتعاشات این وسیله را برابر با دو ساعت



شکل ۵- شتاب ارتعاش کل

Fig.5. Vibration total value

نتیجه‌گیری

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 دوره‌های آرام و تند به میزان قابل توجهی از دسته جلو بیشتر است اما در دور نامی به میزان اندکی در دسته جلو بیشتر از دسته عقب است.

۱- در بین اجزای تشکیل‌دهنده اژه 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.

References

- Ahmadian, H. 2012. Measurement, analysis and evaluation of apower tiller vibration on transportation mode. Department of agro technology. College of abouraihan. University of Tehran, Tehran. (In Farsi).
- Anonymous. 1989. Human vibration. Bruel & Kjar CO. Online publication. Naerum.
- Barber, A. 1992. Handbook of noise and vibration control. Elsevier. 6th edition.
- Farkkila, M., I. Pyykko, O. Korhonen, and J. Starck. 1979. Hand grip forces during chain saw operation and vibration white finger in lumberjacks. British Journal of Industrial Medicine 36 (4): 336-341.
- Goglia, V., Z. Gospodaric, S. Kosutic, and D. Filipovic. 2003. Hand-transmitted vibration from the steering wheel to drivers of a small four-wheel drive tractor. Applied Ergonomics 34 (1): 45-49.
- Hao, K. Y., O. L. Ean, and Z. M. Ripin. 2011. The desigen and development of suspended handles for reducing hand-arm vibration in petrol driven grass trimmer. International Journal of Industrial Ergonomics 41: 459-470.
- 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.
- 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, and P. Pace. 1992. A cross sectional epidemiological survey of shipyard workers exposed to hand-arm vibration. Journal of Industrial Medicine 49 (1): 53-62.
- Miyashita, K., K. Miyamoto, M. Kuroda, S. Takeda, and H. Iwata. 1994. Hand-arm vibration exposure and the development of vffiration syndrome. Nagoya Jornal of Medical Science 57: 43-48.
- Paddan, G. S., and M. J. Griffin. 2002. Evaluation of whole-body vibration in vehicles. Journal of

- Sound and Vibration 253: 195-213.
14. Sarikhani, N. 2008. Forest exploitation. University of Tehran press. (In Farsi).
 15. Sutinen, P., E. Toppila, J. Starck, A. Brammer, J. Zou, and I. Pyykko. 2006. Hand arm vibration syndrome with use of anti-vibration chain saws: 19-year follow-up study of forestry workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 79: 665-671.
 16. Taghizadeh Ali Saraei, A., T. Tavakoli, and B. Ghobadiyan. 2007. Investigation the seat vibration of 650M universal tractor. *Iranian Journal of Agriculture Science* 4: 571-580. (In Farsi).
 17. Taghizadeh Ali Saraei, A., T. Tavakoli, and B. Ghobadiyan. 2010. Vibration analysis of two-wheel tractors at station. *Iranian Journal of Biosystem Engineering* 1: 27-35. (In Farsi).
 18. Taylor, L. J. 2009. *The vibration analysis Handbook*. Elsevier. Electronic publication.
 19. Taylor, W., J. Person, R. L. Kell, and G. D. Keighley. 1971. Vibration syndrome in Forestry Commission chain saw operators. *British Journal of Industrial Medicine* 28: 83-89.

Investigation and analysis the vibration of handles of chainsaw without cutting

M. Feyzi^{1*} - A. Jafari² - H. Ahmadi²

Received: 26-11-2013

Accepted: 25-01-2014

Introduction: Nowadays most of the agricultural and industrial tasks are performed using different machines and almost any people are exposed to the vibration of these machines. Just as sound can be either music to the ear or irritating noise, human vibrations can either be pleasant or unpleasant. Whole-body vibration and hand-arm vibration are two main types of unpleasant vibration. The hand-arm transmitted vibration can cause complex vascular, neurological and musculoskeletal disorder, collectively named as hand-arm vibration syndrome. The chainsaw is a portable machine, powered by a two-stroke engine. This machine is used by tree surgeons to fell trees, remove branches, and other activities such as prune trees. The chainsaw exposes own operators to high level of hand-arm vibration which can lead to problems such as vibration white finger syndrome and Raynaud's phenomenon. White finger syndrome affects the nerves, blood vessels, muscles, and joints of the hand, wrist and arm. It is clear that before trying to control the vibrations, the level of vibrations should be identified. Therefore, an investigation on the vibration level of this machine is crucial.

Materials and Methods: The Stihl-MS230 chainsaw was selected in this study. The size of this type of chainsaw is middle and it is equipped with anti-vibration system. According to the ISO-7505 standard, vibration must be measured at three speed level of engine. First at idling speed, second at nominal speed and third at 133% of the nominal speed or maximum speed of engine whichever is less (Racing). So 2800, 10000, and 13300 RPM Engine speed were selected. One of the employed accessories was ARMA ETI-TACHO tachometer which had been fabricated in Taiwan. The vibrations were measured and analyzed using the portable data acquisition system (Easy Viber). During the measurements, data acquisition system was powered by internal batteries. The vibrations were sensed by the piezoelectric accelerometer (VMI-192). The accelerometer mounted on an adapter inserted between the handle and accelerometer. The experiments were conducted in split plot completely randomized design. Ninety tests in two handles, three speeds of engine, three perpendicular axes and five repeats were conducted. The vibration acceleration at various conditions was measured and the root mean square of vibration acceleration was calculated based on acceleration-time spectrum. To investigate the characteristics of vibration in different speeds, the vibration spectrums in time domain were converted to spectrums in frequency domain. The frequency weighted RMS acceleration at $1/3^{\text{rd}}$ octave bands from 6.3Hz to 1250Hz and the vibration total value was calculated from frequency spectrum. To analyze the obtained data, SAS software was used. Furthermore, the Duncan's multiple range tests were used to compare the RMS values.

Results and Discussion: Main source of vibration of chainsaw was single cylinder engine. The acceleration spectra of employed chainsaw had peaks in frequencies in accordance with the speed of engine. These peaks in 2800 rpm, 10000 rpm and 13300 rpm speeds of engine occurred in 46.5Hz, 166.5Hz and 221.5Hz, respectively. To achieve a safe design for handle of portable tools, identifying the frequency which leads to the maximum value of vibration acceleration is very useful. To avoid the resonance phenomenon, the natural frequency of handle must be far from dominant frequency of engine. The results of ANOVA showed that the RMS acceleration in different axes and different speeds were significant at 1% level. The maximum value of vibration acceleration, at idling engine speed, occurred in the lateral axis. In addition, the mentioned variable was maximized in normal and axial axes at nominal and racing speeds, respectively. The total value of vibration was increased when the speed of engine moving away from nominal speed. This increase in rear handle is very larger than front handle. The total value of vibration was maximized under rear handle and idling engine speed conditions. So the exposure to white finger disorder in right hand of operator is more probable. Total daily duration of exposure was assumed to be equal to 2h. According to the international standard (ISO 5349), 10% of the users can expect developing the symptoms of white finger syndrome less than seven years.

Conclusions: In chainsaw, strokes caused by combustion are the main source of vibration. On the front handle, the maximum value of vibration acceleration, at 2800, 10000 and 13300 RPM engine speed, occurred in the lateral, normal and axial axes respectively. The vibration acceleration value was maximized under rear handle and racing engine speed conditions caused by large value of vibration acceleration at 400Hz center of

1- M.Sc. Graduated of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Professor of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, University of Tehran, Karaj, Iran

(* - Corresponding Author Email: Fayzi_masoud@alumni.ut.ac.ir)

1/3rd octave bands. The total value of vibration in idling and racing engine speeds, on rear handle are more than front handle significantly but in nominal engine speed, on rear handle is less than front handle.

Keywords: Chainsaw, Octave bands, Vibration acceleration, White finger