

بررسی ارتعاشات اره موتوری در عملیات بینه‌بری گونه‌های مختلف چوب

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

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
(masoudfeyzi@tabrizu.ac.ir)

۲- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (jafarya@ut.ac.ir)

۳- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (hjahmadi@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۰۲

چکیده

در این پژوهش، اثر برش سه نوع چوب جنگلی (راش، ممرز و توسکا) بر سطح و خصوصیات ارتعاش در دسته‌های اره موتوری Stihl-MS230 بررسی شده و نتایج با هم و با تیمار شاهد (عملیات بدون برش چوب) مقایسه شدند. شتاب ارتعاشات بر روی دسته جلو و عقب اره موتوری در سه جهت عمود برهم مطابق با استاندارد (ISO 7505 (1986) اندازه‌گیری شد. مقدار جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش کلی (RMS) و شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی (A_{hw}) به ترتیب از سیگنال‌های حوزه زمان و حوزه فرکانس مطابق با استاندارد (ISO 5349 (2001) محاسبه شدند. نتایج نشان داد که تأثیر عملیات، جهت و اثر متقابل آنها بر مقدار RMS در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین، تأثیر عملیات، موقعیت، جهت و اثر متقابل آنها بر مقدار A_{hw} نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بود. هرچند که برش تمامی گونه‌ها نسبت به تیمار شاهد سبب ایجاد یک تغییر معنی‌دار در مقدار A_{hw} شد، اما بین برش چوب‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. تفاوت در مقدار RMS بین دسته‌های جلو و عقب معنی‌دار نبود، درحالی‌که شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در دسته عقب به‌طور معنی‌داری بیشتر از دسته جلو بود.

واژه‌های کلیدی: باندهای یک‌سوم اکتاو، جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش، شتاب ارتعاش وزن‌دار شده.

مقدمه

تحت عنوان سفیدی دست (پدیده رینود) مبتلا نماید. در واقع ارتعاش بالای اره موتوری، جریان گردش خون در دست کارگر را مختل کرده و در صورت کار مداوم طی سالیان دراز با این ماشین، به صورت حاد بروز کرده و در ایامی که فرد مشغول کار نیست، سیستم عروق دست وی کارایی لازم را نداشته و به دلیل نارسایی در گردش خون، دست به رنگ سفیدتری دیده می‌شود که از این رو اصطلاح سفیدی دست به آن اطلاق می‌شود (Lotfalian, 2012). اختلالات جریان خون، اعصاب حسی، حرکتی و اسکلتی عضلانی (Kazempour and Jafari, 2011)، بی‌حسی موضعی، کاهش قدرت چنگش و عملکرد در انگشتان دست، ضعیف شدن ماهیچه‌ها، درد در بازو و شانه‌ها (Selim et al., 2012)، سردرد، زودرنجی، پریشان‌حالی، فراموش‌کاری و مشکلات خواب (Sauni et al., 2010) از عوارض این بیماری به شمار می‌آیند. بررسی انجام‌شده بر روی جنگلداران ژاپنی نشان داد که شیوع عارضه سفیدی دست در میان آنها بعد از ۲، ۴، ۷ و ۱۲ سال، به ترتیب برابر با ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد بود (Futatsuka and Ueno, 1986). این بیماری از سوی وزارت کار و آژانس ملی کارمندان کشور ژاپن در میان کاربران اره موتوری به‌عنوان یک عارضه حرفه‌ای اعلام شده است (Yadama and Sakakibara, 1994). بررسی تغییرات رادیولوژیک استخوان‌های کارپال و متاکارپال و استخوان‌های دست در مواجهه با ارتعاشات اره موتوری نشان داد که بیش از ۸۵ درصد از کاربران این ماشین با تجربه بین ۷ تا ۲۰ سال کار، سابقه ابتلا به پدیده رینود دارند (Kumlin et al., 1973). همچنین پیمایشی که بر روی ۱۵۴۰ نفر از جنگل‌بانان در کبک انجام شده بود، نشان داد که مقدار شیوع پدیده رینود در کاربران اره موتوری بیش از سه برابر دیگر کارگران

قطع و تبدیل درخت از خطرناک‌ترین فعالیت‌های مربوط به کار در جنگل و برداشت چوب بوده که در مواردی به مرگ کارگران نیز منجر می‌شود (Nikooy et al., 2016) و در مجموع می‌توان گفت که قطع درخت یکی از خطرناک‌ترین عملیات صنعتی است (Jourgholami et al., 2012). در ۱۳۵ هزار هکتار از جنگل‌های شمال ایران، در طول بیست سال (۱۳۶۷-۱۳۸۷)، ۱۹۴ مورد حوادث منجر به آسیب در میان کارگران جنگل ثبت شده است که بیش از ۹۵ درصد آنها مربوط به عملیات برش، سرشاخه‌زنی و تبدیل درخت است (Nikooy et al., 2016). در جنگل‌های ایران به سبب رشد نیافتن مکانیزاسیون، عملیات قطع و تبدیل درخت به‌طور عمده به‌وسیله اره موتوری انجام می‌شود (Sarikhani, 2009). کاربران اره موتوری در معرض دود ناشی از موتور دوزمانه این ماشین (Magnusson and Nilsson, 2011)، ضایعات حاصل از برش چوب (Kauppinen et al., 2006) و پوسچر نامناسب بدن (Hagen et al., 1998, Hagen, 1990) قرار دارند. اگرچه درختان خطرآفرین، برگشت به عقب انتهای تنه درخت پس از افتادن و لگدزدن اره موتوری به‌عنوان مهم‌ترین خطرات کار با این وسیله معرفی شده‌اند (Rahimi Bitam et al., 2018)، اما با در نظر گرفتن خطرات پنهان، مهم‌ترین خطراتی که کاربران اره موتوری به‌طور مرتب در معرض آنها هستند، صدا و ارتعاش این ماشین است (Rottensteiner et al., 2012) که ارتعاش از صدا نیز مهم‌تر است (Sarikhani, 2009). کاربر اره موتوری به‌طور دائم در معرض صدای بالاتر از حد استاندارد بوده و زمان مواجهه نیز بسیار بیشتر از حد مجاز است (Ahmadi et al., 2013). ارتعاشات این ماشین، می‌تواند کاربران آن را پس از مدتی، به عارضه‌ای

پژوهش‌هایی نیز در ارتباط با اثر عوامل مختلف بر سطح و خصوصیات ارتعاشی این ماشین انجام شده است. متغیرهای فراوانی شامل نوع اره موتوری با توجه به نحوه نگهداری و تعمیرات، عمر کاری آن و نوع اجزای بکار رفته در آن می‌توانند در مقدار این ارتعاشات مؤثر باشند. ویژگی‌های بدنی کاربر نیز می‌تواند ارتعاشات را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین نوع چوب، خواص برشی را تحت تأثیر قرار داده و از این طریق ممکن است بر ارتعاشات تأثیر داشته باشد (Hutton et al., 1993). در پژوهشی، ارتعاشات در هنگام برش چوب‌های صنوبر سیاه‌وسفید (*Populus nigra*)، صنوبر نروژی (*Picea abies*) و راش اروپایی (*Fagus sylvatica*) بر روی سه نوع متفاوت (از نظر اندازه و توان خروجی) از اره‌موتوری‌های مدل Husqvarna اندازه‌گیری شد. جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش کلی در حالت‌های مختلف برش باهم تفاوت معنی‌دار نداشت. اما منحنی حوزه فرکانس در حالت برش چوب راش با دو نوع چوب دیگر دارای تفاوت معنی‌دار بود. شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی مربوط به برش چوب راش از دو حالت دیگر بیشتر بود. اما تفاوتی بین دو گونه دیگر چوب مشاهده نشد (Rottensteiner et al., 2012).

پژوهش‌های پیشین در ایران بر روی ارتعاشات اره موتوری‌های با اندازه‌های مختلف، نشان از سطح بالای ارتعاشات آن داشت (Feyzi et al., 2016; Feyzi et al., 2018). بررسی ارتعاشات اره موتوری در هنگام قطع و بینه‌بری درخت راش در جنگل‌های شمال ایران نشان داد که مقدار ارتعاشات در دسته عقب از دسته جلو بیشتر بوده و نیازمند اقدام سریع جهت بهبود وضعیت ارگونومیک این دسته بود (Majnounian et al., 2017). با توجه به کاربرد بالای اره موتوری در عملیات بینه‌بری در جنگل‌های ایران،

این بخش است (Therriault et al., 1982). نتایج یک پژوهش بالینی بر روی عملکرد اندام‌های فوقانی بدن بر روی کاربران اره موتوری و گروه شاهد نشان داد که احتمال وقوع بیماری‌های اسکلتی عضلانی در کاربران اره موتوری با افزایش زمان مواجهه با ارتعاشات افزایش می‌یافت (Bovenzi et al., 1991). با توجه به تأثیر ارتعاشات دست-بازو بر سلامتی انسان، عوارض بیماری سفیدی دست و بالا بودن شیوع این عارضه در بین کاربران اره موتوری، بررسی خصوصیات ارتعاشی اره موتوری به‌منظور طراحی دسته‌های ضد ارتعاش، عایق کردن دست با استفاده از دستکش‌های ضد ارتعاش و یا توصیه‌های کاری به کاربران این ماشین و حفظ سلامتی آنها، ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، پژوهشی که بر روی ۱۲ اره موتوری شامل شش اره موتوری مجهز به دسته ضد ارتعاش و شش اره موتوری مجهز به دسته صلب (بدون سیستم تعلیق) انجام شده بود، نشان داد که در اره موتوری‌های مجهز به دسته ضد ارتعاش، مقدار تکان در حدود نصف و مقدار شتاب بین یک‌سوم تا یک‌هشتم اره موتوری‌های با دسته صلب بود (Welch, 1971). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که به‌طورکلی دستگیره ضد ارتعاش اثر مثبتی در کاهش اختلالات عصبی و عروقی و همچنین کاهش ارتعاش انتقال یافته به دست دارد (Pourabdian et al., 2010). البته تمامی دسته‌ها با لاستیک نمی‌توانند نقش مؤثری در کاهش ارتعاشات داشته باشند، اما با استفاده از دسته‌های عایق مناسب می‌توان مقدار ارتعاشات را تا حد زیادی کاهش داد (Ko et al., 2011). پژوهش دیگری نشان داد که استفاده از تیغه‌های ایمن، اثر معنی‌داری در کاهش شتاب ارتعاش اره موتوری نداشت (Rottensteiner and Stampfer, 2013).

خصوصیات می‌تواند در راستای کنترل این ارتعاشات از طریق انتخاب اندازه و نوع اره موتوری مناسب و تیغه آن، انتخاب دور مناسب موتور جهت برش، طراحی و ساخت عایق مناسب با توجه به فرکانس‌های غالب ارتعاشی و ... برای هر گونه خاص چوب، مفید واقع شود.

مواد و روش‌ها

بررسی بر روی اره موتوری Stihl-MS230 با مشخصات آورده شده در جدول ۱ انجام شد.

در این پژوهش تلاش شده است که تأثیر نوع چوب‌های جنگلی ایرانی بر سطح و خصوصیات ارتعاشات در دسته‌های یک نوع اره موتوری در جهت‌های مختلف حین عملیات بینه‌بری بررسی شود. هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر برش چوب بر مقدار و خصوصیات ارتعاش در دسته‌های اره موتوری و نیز مقایسه اثر چوب‌های مختلف جنگلی باهم است. ممکن است نتایج این پژوهش و پژوهش‌های مشابه، نشان‌دهنده مقادیر و خصوصیات متفاوت حین برش گونه‌های مختلف چوب باشند. بررسی این

جدول ۱- مشخصات اره موتوری Stihl-MS230

Table 1. Specifications of Stihl-MS230 chainsaw

نوع موتور Engine type	اشتعال جرقه‌ای، تک سیلندر، دو زمانه، هوا خنک Spark-ignition engine, single cylinder, two stroke, air cooled
حجم جابجایی موتور Engine displacement volume	۴۰/۲ سی سی 40.2 cc
توان در دور نامی Power in nominal speed	۲/۵ اسب بخار در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه 2.5 hp in 10000 RPM
طول تیغه Guide bar	۳۵ سانتی‌متر 35 cm

شده و به کارگاه ماشین‌های کشاورزی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران در شهر کرج منتقل شد. جهت اندازه‌گیری ارتعاشات از دستگاه استحصال داده Easy-Viber، ساخت کشور سوئد استفاده شد. این دستگاه قابل حمل بوده و انرژی الکتریکی لازم آن حین داده‌برداری، از طریق باتری‌های داخلی تأمین می‌شود. همچنین، با توجه به مشخصات حسگر و هماهنگی آن با دستگاه استحصال داده، از حسگر VMI-192 استفاده شد.

چوب‌های مورد بررسی از میان رایج‌ترین چوب‌های جنگلی شمال ایران انتخاب شدند. مشخصات این چوب‌ها به‌طور خلاصه در جدول ۲ آورده شده است. از هرکدام از چوب‌های راش، ممرز و توسکا، یک قطعه از تنه اصلی به ابعاد ۲۵×۲۵×۲۰۰ سانتی‌متر در محلی که بدون گره، پیچیدگی الیاف و پوسیدگی بود، از درختان جنگل تحقیقاتی دانشگاه تهران واقع در خیرود کنار نوشهر با استفاده از اره موتوری برش داده شد. جهت حفظ رطوبت، چوب‌های برش داده شده بلافاصله در نایلون پیچیده

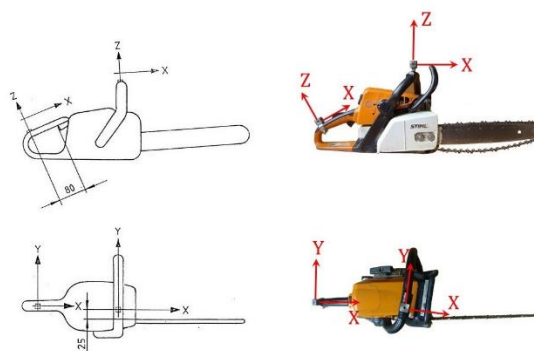
جدول ۲- مشخصات چوب‌های جنگلی مورد بررسی (Hejazi, 1969; Arastoo, 2007)

Table 2. Specifications of studied hardwoods (Hejazi, 1969; Arastoo, 2007)

فراوانی در جنگل‌های شمال ایران Frequency in northern Iranian forests	چگالی متوسط Average density	نام علمی Scientific name	نام چوب Wood name
33%	0.6752 kg.m ⁻³	<i>Fagus orientalis</i> Lipsky.	راش Beech
26%	0.7015 kg.m ⁻³	<i>Carpinus betulus</i> L.	ممرز Hornbeam
9%	0.5419 kg.m ⁻³	<i>Alnus glutinosa</i> Willd	توسکا Alder

شاهد در نظر گرفته شد. اره موتوری، بررسی و مطابق با دفترچه راهنمای سازنده تنظیم شد. جهت یکسان بودن شرایط، در تمام طول آزمایش‌ها مخزن‌های بنزین و روغن تقریباً پر بودند.

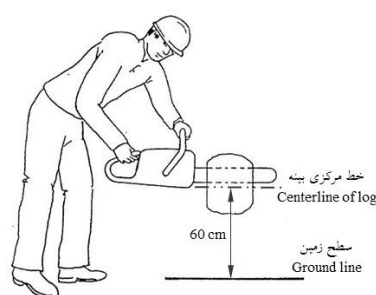
جهت و نحوه نصب حسگر بر روی دسته‌های اره موتوری در شکل ۱ و شرایط برش در شکل ۲ نشان داده شده است (ISO 7505, 1986). در جریان آزمایش‌ها، یک حالت بدون برش نیز به‌عنوان تیمار



شکل ۱- موقعیت و جهت شتاب سنج بر روی دسته‌های اره موتوری؛ چپ: استاندارد ISO 7505 (1986)، راست:

پژوهش حاضر

Figure 1. Accelerometer positions and axes on chainsaw handles; left: ISO 7505 (1986), right: current study



شکل ۲- شرایط بینه‌بری؛ چپ: استاندارد ISO 7505 (1986)، راست: پژوهش حاضر

Figure 2. Bucking condition; left: ISO 7505 (1986), right: current study

رابطه ۲ محاسبه می‌شود، نوشته شد (ISO 5349, 2001).

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (k_j a_{hj})^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه a_{hw} مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در جهت w ($m.s^{-2}$)؛ k_j عامل وزنی ژامین باند یک‌سوم اکتاو (بدون واحد) و a_{hj} جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در ژامین باند فرکانسی یک‌سوم اکتاو ($m.s^{-2}$) است.

در پایان، داده‌های به‌دست‌آمده از سیگنال‌های حوزه زمان و حوزه فرکانس در نرم‌افزار آماری SAS به‌صورت طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت مقایسه مقادیر میانگین نیز از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس مقادیر جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش کلی (RMS) و شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی (A_{hw}) در جدول ۳ آورده شده است. اثر مستقل عملیات در هر دو مورد در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تفاوت مقدار RMS بین حالت‌های بدون برش و برش چوب راش با حالت‌های برش چوب‌های ممرز و توسکا معنی‌دار بوده است. اما حالت‌های بدون برش و برش راش باهم و حالت‌های برش ممرز و برش توسکا باهم تفاوت معنی‌دار نداشتند. از طرفی در مقدار A_{hw} تنها بین حالت بدون برش با برش هر سه نوع چوب تفاوت معنی‌دار بود و بین برش چوب‌های مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

آزمایش‌ها در چهار عملیات شامل سه حالت برش چوب (سه گونه چوب) و یک حالت بدون برش (تیمار شاهد)، بر روی دودسته (جلو و عقب)، در سه جهت عمود برهم و در پنج تکرار انجام شد. با توجه به اینکه بستن هر چوب مطابق با شرایط آزمایش، کاری وقت‌گیر و طاقت‌فرسا بود، آزمایش‌ها به‌صورت طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲۰ آزمایش انجام شد.

پس از انجام آزمایش‌ها، داده‌های جمع‌آوری‌شده به رایانه منتقل شدند. این داده‌ها سیگنال‌های شتاب ارتعاش در حوزه زمان بودند. برای توصیف بزرگی ارتعاشات از جذر میانگین مربعات (RMS) استفاده می‌شود. جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش با استفاده از رابطه ۱ از سیگنال‌های حوزه زمان به دست آمد.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad \text{رابطه (۱)}$$

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

با استفاده از نرم‌افزار مخصوص دستگاه استحصال داده، سیگنال‌های شتاب ارتعاش در حوزه فرکانس نیز به دست آمد. سپس در نرم‌افزار MATLAB برنامه‌ای جهت استخراج مقادیر جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در باندهای یک‌سوم اکتاو و نیز شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی (Frequency-Weighted Vibration Acceleration) که بر اساس استاندارد بین‌المللی مربوطه مطابق با

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس جذر میانگین مربعات ارتعاش و شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی
Table 5. ANOVA results of Root Mean Square (RMS) and Frequency-Weighted Vibration Acceleration (A_{hw})

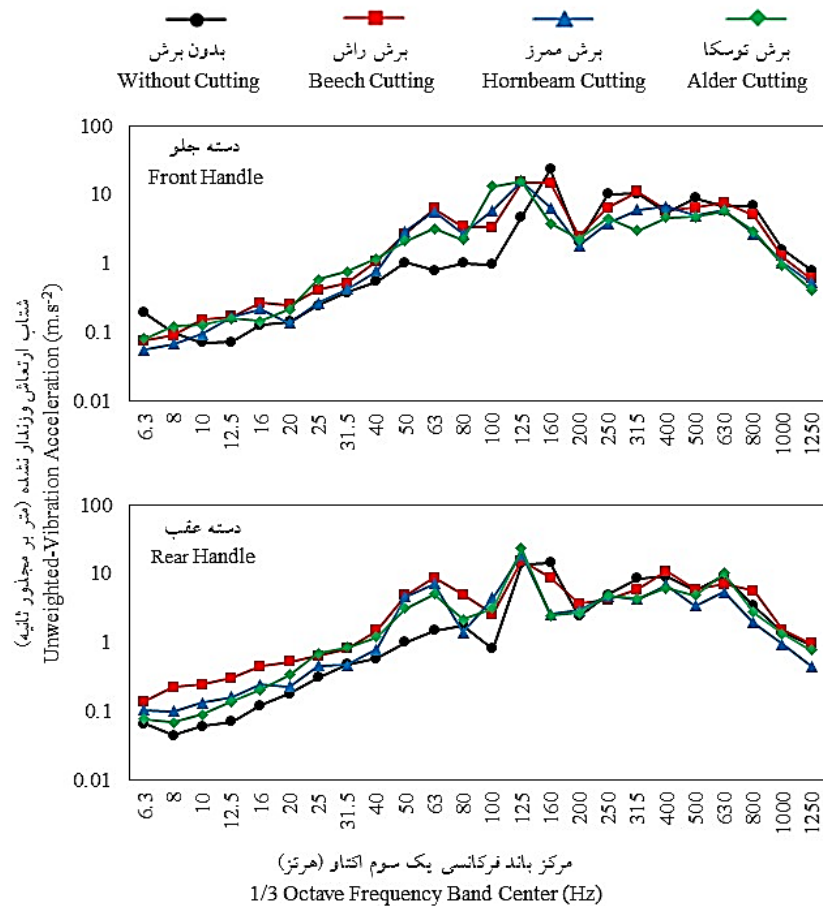
میانگین مربعات Mean square		درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییرات Source of variation
RMS	A_{hw}		
27.7847**	2.6529**	3	عملیات Operation
1.7543	0.0781	16	خطای اصلی Main error
3.3900 ^{ns}	0.9090**	1	موقعیت Position
16.0024**	0.7477**	2	جهت Axis
67.6091**	0.4763**	3	عملیات × موقعیت Operation × Position
62.2238**	0.5959**	6	عملیات × جهت Operation × Axis
819.3973**	6.1395**	2	موقعیت × جهت Position × Axis
61.2375**	0.8596**	6	عملیات × موقعیت × جهت Operation × Position × Axis
1.4160	0.0527	80	خطای فرعی Error

** : Significant at 1% level; ns: non-significant.

** : معنی‌دار در سطح یک درصد، ns: عدم معنی‌داری.

فرکانس‌های پایین کم بوده و به تدریج با افزایش فرکانس، افزایش می‌یابد تا در فرکانس‌های نزدیک به فرکانس ضربات احتراق موتور به بیشینه خود می‌رسد. سپس با افزایش فرکانس، روند کاهشی در مقدار شتاب ارتعاش مشاهده می‌شود.

میانگین مقادیر برآیند شتاب ارتعاش وزن‌دار نشده (برآیند سه جهت) در مراکز فرکانسی باند یک‌سوم اکتاو در دسته‌های جلو و عقب اره موتوری در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به‌طور کلی مقادیر شتاب ارتعاش در



شکل ۳- نمودار میانگین مقادیر برآیند شتاب ارتعاش در مراکز باندهای یک سوم اکتاو

Figure 3. The mean of vibration acceleration total value, as a function of frequency, in 1/3rd octave bands

وزن دار شده فرکانسی شده است، اما این افزایش در دسته عقب، بیشتر از دسته جلو بوده است. جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش بین دسته‌های جلو و عقب تفاوت معنی‌داری نداشت (۱۷/۵۰ و ۱۷/۱۷ متر بر مجذور ثانیه به ترتیب برای دسته جلو و عقب). اما در مقدار شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی بین دسته‌های جلو و عقب تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (۱/۷۶ و ۱/۹۳ متر بر مجذور ثانیه به ترتیب برای دسته جلو و عقب). میانگین شتاب ارتعاش وزن دار نشده (برآیند سه جهت) در شکل ۴ نشان داده شده است.

مقادیر میانگین شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی در عملیات مختلف در دسته‌های جلو و عقب در جدول ۴ آورده شده است. در هر دو دسته بیشترین مقدار مربوط به حالت برش چوب راش و بعد از آن به ترتیب چوب‌های ممرز و توسکا بوده و کمترین مقدار نیز مربوط به حالت بدون برش است. شتاب ارتعاش در حالت‌های برش چوب در دسته عقب از مقدار متناظر آن در دسته جلو بیشتر است، اما در حالت بدون برش، در دسته جلو بزرگ‌تر از دسته عقب است. به عبارتی برش چوب، در هر دو دسته سبب افزایش معنی‌داری در مقدار شتاب ارتعاش

جدول ۴- میانگین شتاب ارتعاشات وزن‌دار شده فرکانسی در دسته‌های جلو و عقب در عملیات مختلف

Table 6. Average of Frequency-Weighted Vibration Acceleration in front and rear handles during different operations

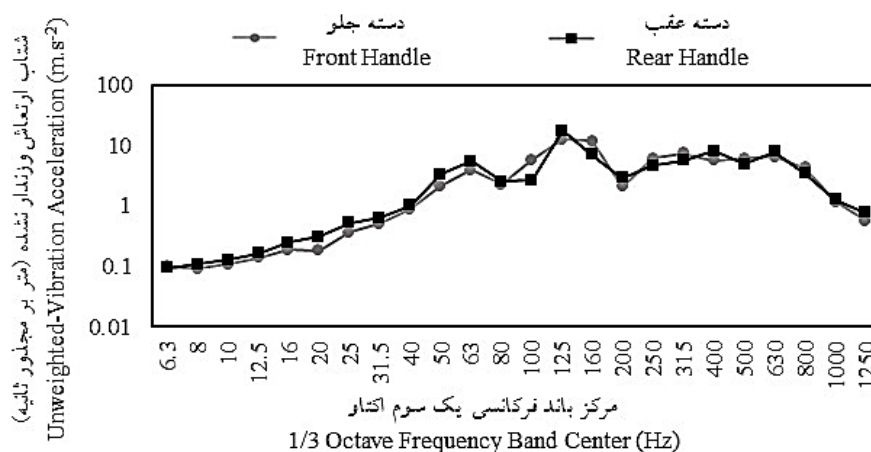
عملیات (مقادیر برحسب متر بر مجذور ثانیه هستند)				موقعیت
Operation (Values are in $m.s^{-2}$)				Position
برش توسکا	برش ممرز	برش راش	بدون برش	
Alder cutting	Hornbeam cutting	Beech cutting	Without cutting	
1.80172 ^C	1.86016 ^C	1.87693 ^C	1.50475 ^D	دسته جلو Front handle
2.07619 ^B	2.08470 ^B	2.26410 ^A	1.31484 ^E	دسته عقب Rare handle

میانگین‌هایی که باهم دارای یک حرف مشترک هستند، اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد ندارند.

Any means that have at least one common letter are not significantly different at the 5% level.

شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در دسته جلو به- ترتیب در راستای محور Z (عمود بر دسته) و راستای محور Y (راستای محوری دسته) ظاهر شده است. درحالی‌که بیشترین مقدار جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش و شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در دسته عقب هر دو در راستای محور Y (راستای جانبی دسته) رخ افتاده است. به‌هر حال بیشترین مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده در هر دو دسته در راستای جانبی اره موتوری (راستای محورهای Y نشان داده شده در شکل ۴) بود.

همان‌طور که می‌توان مشاهده کرد، تفاوت آشکاری در مقادیر شتاب ارتعاش در مراکز فرکانسی باندهای یک‌سوم اکتاو بین دسته‌های جلو و عقب وجود ندارد و تقریباً هر دو دسته الگوی یکسانی را دنبال می‌کنند. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل موقعیت و جهت می‌توان گفت که ارتعاشات در جهت‌های مختلف در دو دسته رفتار یکسانی نداشته است که با توجه به اختلاف زاویه و راستایی که بین دو دسته وجود دارد این مسئله قابل انتظار است. بیشترین مقدار جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش و



شکل ۴- نمودار میانگین مقادیر برآیند شتاب ارتعاش در مراکز باندهای یک‌سوم اکتاو

Figure 4. The mean of vibration acceleration total value, as a function of frequency, in 1/3rd octave bands

بحث

مقدار شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی در دسته‌های اره موتوری بررسی شده در این پژوهش، در شرایط کاری متفاوت و نیز جهت‌های مختلف، بین ۰/۴۵۸ تا ۳/۲۸۵ متر بر مجذور ثانیه بود. به‌طور کلی مقدار شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی در این پژوهش، بسیار کمتر از مقادیر به‌دست‌آمده در پژوهش انجام‌شده بر روی اره موتوری‌های با حجم موتور بین ۸۱ تا ۱۲۲ سی‌سی (Hutton et al., 1993) و نیز کم‌تر از مقدار شتاب ارتعاش به‌دست‌آمده از پژوهش انجام‌شده بر روی مدل‌های مختلف اره موتوری Husqvarna بود (Rottensteiner and Srampfer, 2013). همچنین مقدار ارتعاشات در این مدل از اره موتوری نسبت به اره موتوری Stihl-070 که اندازه بزرگ‌تری دارد بسیار کمتر بود (Feyzi et al., 2018). با توجه به اینکه مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی و نه مقدار جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش کلی در ابتدای کاربر به عارضه سفیدی دست مؤثر است، از این‌رو خطر ابتلای کاربران اره موتوری بررسی شده در این پژوهش به عارضه سفیدی دست تا حد فراوانی کم‌تر است. با این وجود، بازهم مقدار شتاب ارتعاشات این وسیله زیاد به نظر می‌رسد که در پژوهش‌های قبلی نیز به این مسئله اشاره شده است (Feyzi et al., 2016). به‌علاوه در جنگل جهت قطع درخت، به‌طور معمول از اره موتوری‌های بزرگ‌تری استفاده می‌شود که احتمال بالا بودن سطح ارتعاش آنها زیاد است.

همان‌طور که نتایج نشان داد، با برش چوب مقدار شتاب ارتعاش وزن دار شده فرکانسی به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. با نگاهی به نمودارهای رسم شده در این پژوهش درمی‌یابیم که مقدار شتاب ارتعاش در حالت‌های برش چوب نسبت به حالت بدون برش، در

برخی از مراکز فرکانسی افزایش یافته و در برخی دیگر کاهش یافته است. آنچه قابل توجه به‌نظر می‌رسد این است که تقریباً در تمامی مراکز فرکانسی زیر ۱۲۵ هرتز (به‌خصوص در فرکانس‌های بین ۵۰ تا ۱۰۰ هرتز)، مقدار شتاب ارتعاش با برش چوب افزایش یافته است و کاهش مقدار شتاب ارتعاش، بیشتر در فرکانس‌های بالاتر از ۱۲۵ هرتز رخ داده است. به-عبارتی، برش چوب در مواردی سبب شده که مقداری از ارتعاشات با فرکانس بالا در اثر درگیری اره با چوب میرا شوند، اما در عوض ارتعاشات با فرکانس‌های پایین افزایش یابند. هرچند که مقادیر شتاب ارتعاش در فرکانس‌های پایین نسبت به فرکانس‌های بالا کم‌تر است، به دلیل حساسیت بیشتر اندام‌های بدن نسبت به ارتعاشات در فرکانس‌های پایین، ضرایب وزنی آورده‌شده در استاندارد ISO 5349 برای فرکانس‌های پایین بیشتر از فرکانس‌های بالا است و همین عامل سبب شده است که مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در حالت‌های برش چوب از حالت بدون برش بیشتر باشد.

بیشترین مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در دسته جلو در حالت بدون برش در جهت عمود بر دسته (جهت Z) ظاهر شده بود که با نتیجه پژوهش انجام شده بر روی اره‌های موتوری Husqvarna مطابقت داشت (Rottensteiner and Srampfer, 2013). درحالی‌که در حالت برش هر سه نوع چوب، بیشترین مقدار شتاب ارتعاش مربوط به راستای محوری دسته (Y) بود. مقایسه نتایج مربوط به A_{hw} با نتایج مربوط به RMS، نشان می‌دهد که در عملیات مختلف، روند تغییرات در مقدار شتاب ارتعاش در جهت‌های گوناگون، در فرکانس‌های مختلف متفاوت بوده است. نتایج همین تجزیه و تحلیل در دسته عقب نشان داد که در حالت بدون برش چوب، A_{hw} در

راستای عمود بر دسته بسیار کم بوده و با برش چوب افزایش معنی‌داری در آن به وجود می‌آید.

همان‌طور که در بخش نتایج اشاره شد، مقدار RMS در دسته‌های جلو و عقب باهم تفاوت معنی‌دار نداشتند؛ یعنی بزرگی ارتعاشات در این دسته‌ها تفاوت چندانی نداشت؛ هرچند که در دسته جلو به مقدار اندکی از دسته عقب بیشتر بود. با این وجود، مقدار A_{hw} (عامل مهم در ابتلا به عارضه سفیدی دست) در دسته عقب به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر از دسته جلو بود که با نتایج پژوهش‌های پیشین مطابقت داشت (Majnounian et al., 2017). نگاهی به نمودار آورده شده در شکل ۴ آشکار می‌سازد که هرچند در مقادیر شتاب ارتعاش در مراکز باندهای یک‌سوم اکتاو، تفاوت چندانی بین دسته‌ها وجود ندارد؛ این مقادیر در فرکانس‌های پایین در دسته عقب بیشتر از دسته جلو هستند. با توجه به بزرگ‌تر بودن عامل وزن در فرکانس‌های پایین، مقدار A_{hw} در دسته عقب از دسته جلو بزرگ‌تر شده است. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های قبلی نیز هماهنگ بود (Rottensteiner and Srampfer, 2013).

به‌طور کلی با توجه به افزایش معنی‌دار A_{hw} در اثر برش چوب، خطر ابتلا به عارضه سفیدی دست در هنگام برش چوب بیشتر است. از این‌رو باید با توجه به ارتعاشات اره موتوری، ابزارهای میراکننده ارتعاش و عایق‌های ارتعاشی بر اساس ارتعاشات این ماشین در حالت برش چوب طراحی شوند. با توجه به نقش مهم موتور در ارتعاشات و نیز با مقایسه نتایج این پژوهش با تحقیقات قبلی می‌توان گفت که در صورت امکان، از اره‌های با موتور کوچک‌تر استفاده شود. به‌علاوه بیشینه ارتعاشات در فرکانس‌های منطبق بر دور موتور ایجاب می‌نماید که برای برش از دور موتورهایی که موتور ارتعاش کمتری دارد استفاده

شود. همچنین موتور اره موتورهایی که دور نامی بالاتری دارند ارتعاشاتی با ضریب تأثیری به‌مراتب کمتر به دست کاربر وارد می‌کنند. چراکه موتور به‌عنوان عامل اصلی ارتعاشات، ارتعاشاتی در فرکانس‌های بالاتر تولید می‌کند که با توجه به عامل وزنی کوچک‌تر، تأثیر کمتری در ابتلا به عارضه سفیدی دارند. طراحان باید در جهت میرا کردن ارتعاشات موتور تک سیلندر اره موتوری و نیز دستکش‌های عایق ارتعاش تلاش نمایند. با توجه به اینکه مقادیر شتاب ارتعاش در فرکانس‌های زیر ۱۲۵ هرتز که اتفاقاً تأثیر بسزایی در ابتلا به عارضه سفیدی دست دارند افزایش یافته است، می‌توان توصیه کرد که بر روی میرا کردن و عایق کردن ارتعاشات در این فرکانس‌ها توجه بیشتری شود. تفاوت مقادیر شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در دسته‌های جلو و عقب در اثر برش چوب باید در طراحی دسته‌های ضدارتعاش و دستکش‌های عایق موردتوجه قرار گیرد. در پایان، به مدیران جنگل‌ها و کاربران اره موتوری توصیه می‌شود که ارتعاشات این وسیله و تأثیر آن بر سلامتی کاربر جدی گرفته شده و در جهت تأمین و استفاده از ابزارهایی مانند دستکش‌های عایق ارتعاش اهتمام ورزند. هرچند که ممکن است ارتعاشات این ماشین به‌خصوص در اندازه‌های کوچک آن، خیلی بالا به نظر نرسد، اما تأثیرات مخرب آن بر سلامتی و پیشبرد عارضه سفیدی دست آشکار است. در صورت امکان، اره موتوری‌های با حجم موتور بزرگ‌تر با اره موتوری‌های با حجم موتور کوچک‌تر و نیز مجهز به سیستم ضد ارتعاش جایگزین شوند. به کاربران توصیه می‌شود در مواقع غیرضروری مانند زمان گرم کردن موتور، از نگاه داشتن اره موتوری در دست‌ها خودداری کنند. به‌ویژه که در این مواقع به دلیل کارکردن موتور در دور پایین (دور آرام)، هم موتور از تعادل بالایی

مختلف را در هنگام قطع گونه‌های مختلف درخت در جنگل‌های مختلف و نیز حین دیگر عملیات تبدیل درخت اندازه‌گیری کرد. در کنار ثبت ارتعاشات، اگر مدت زمان اشتغال فرد در روز به هرکدام از مراحل کاری نیز ثبت شود؛ با استفاده از روش‌های گفته شده در استانداردهای بین‌المللی، می‌توان مدت‌زمانی که طی آن درصد مشخصی از کاربران این ماشین به عارضه سفیدی دست مبتلا می‌شوند را نیز پیش‌بینی کرد.

References

- Ahmadi, M., M. Jourgholami, B. Majnounian & R. Yarahamdi, 2013. Investigation on the ergonomic aspects of the noise caused by chainsaw in bucking operation (Case study: Kheyroud forest research station). *Iranian Journal of Forest* 5(1):1-10. (In Persian).
- Arastoo, S. 2007. Economical and practical foundations of forest management. University of Tehran press, Tehran, 360p. (In Persian).
- Bovenzi, M., A. Zadini, A. Franzinelli, & F. Borgogni, 1991. Occupational musculoskeletal disorders in the neck and upper limbs of forestry workers exposed to hand-arm vibration, *Ergonomics*, 34(5):547-562.
- Feyzi, M., A. Jafari & H. Ahmadi, 2016. Investigation and analysis the vibration of handles of chainsaw without cutting, *Journal of Agricultural Machinery*, 6(1):90-101. (In Persian).
- Feyzi, M. and A. Jafari and H. Ahmadi. 2018. The effect of operation and engine speed on chainsaw vibration. *Journal of Agricultural Machinery*, 8(2):263-277. (In Persian).
- Futatsuka, M. & T. Ueno, 1986. A follow-up study of vibration-induced white finger due to chain-saw operation, *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 12(4):304-306.
- Hagen, K. B., 1990. Biomechanical analysis of spinal load in motor-manual cutting, *International Journal of Forest Engineering*, 2(1):39-41.
- Hagen, K. B., P. Magnus & K. Vetlesen, 1998. Neck/shoulder and low-back disorders in the forestry industry: relationship to work

برخوردار نبوده و ارتعاشات بیشتری دارد و هم ارتعاشات حاصل از ضربات احتراق موتور به دلیل فرکانس پایین‌تر تأثیر بیشتری در ابتلا به عارضه سفیدی دست دارد.

در این پژوهش، هدف اصلی بررسی تأثیر برش چوب بر ارتعاشات اره موتوری بود. به همین دلیل پژوهش به صورت آزمایشگاهی بر روی چوب‌های با مقطع برابر انجام شد. در پژوهش‌های آینده می‌توان مقدار ارتعاشات اره موتوری‌های با توان و اندازه‌های

- tasks and perceived psychosocial job stress, *Ergonomics*, 41(10):1510-1518.
- Hejazi, R. 1969. Wood technology and wood industries. Tehran university publication. Tehran. (In Persian).
- Hutton, S. G., N. Paris & R. Brubaker, 1993. The vibration characteristics of chain saws and their influence on vibration white finger disease, *Ergonomics*, 36(8):911-926.
- ISO 7505, 1986. Forestry machinery- chain saws- measurement of hand-transmitted vibration, *International Organization of Standardization*, 10 pp.
- ISO 5349, 2001. Mechanical vibration- measurement and evaluation of human exposure to hand transmitted vibration, *International Organization of Standardization*, 32 pp.
- Jourgholami, M., B. Majnounian & N. Zargham, 2012. Production and Costs of motor-manual tree felling in Hyrcanian forest, *Iranian Journal of Natural Resources*, 65(3):285-297. (In Persian).
- Kauppinen, T., R. Vincent, T. Liukkonen, M. Grzebyk, A. Kauppinen, I. Welling, P. Arezes, N. Black, F. Bochmann, F. Campelo, M. Costa, G. Elsigan, R. Goerens, A. Kikemenis, H. Kromhout, S. Miguel, D. Mirabelli, R. McEneany, B. Pesch, N. Plato, V. Schlunssen, J. Schulze, R. Sonntag, V. Verougstraete, M. A. De Vicente, J. Wolf, M. Zimmermann, K. Husgafvel-Pursiainen, & K. Savolainen, 2006. Occupational exposure to inhalable wood dust in the member states of the European Union, *Annals of Occupational Hygiene Journal*, 50(6):549-561.
- Kazempour, M. & M. J. Jafari, 2011. The study of correlation between Raynaud

- disease and Hand Arm Vibration in the workers of an industrial unit. Proceedings of 7th National Congress of Occupational Health and Safety, Qazvin, Iran. (In Persian).
- Ko, Y. H., O. L. Ean & Z. M. Ripin, 2011. The design and development of suspended handles for reducing hand-arm vibration in petrol driven grass trimmer, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(5):459-470.
 - Kumlin, T., M. Wiikeri & P. Sumari, 1973. Radiological changes in carpal and metacarpal bones and phalanges caused by chain saw vibration, *British Journal of Industrial Medicine*, 30(1):71-73.
 - Lotfalian, M. 2012. Logging. Aeizh publisher, Tehran, 488p. (In Persian).
 - Magnusson, R. & C. Nilsson, 2011. The influence of oxygenated fuels on emissions of aldehydes and ketones from a two-stroke spark ignition engine. *Fuel*, 90(3):1145-1154.
 - Majnounian, B., M. Jabbari, M. Jourgholami, R. Yarahmadi & A. Deljouei, 2017. Assessment of hand-arm vibration caused by chainsaw in beech tree felling and bucking operations, *Iranian Journal of Forest*, 9(3):301-313. (In Persian).
 - Nikooy, M., Z. Nourozi & R. Naghdi, 2016. Survey of felling and bucking operation's safety in Shafaroud watershed, *Journal of Forest Research and Development*, 1(3):209-219. (In Persian).
 - Pourabdian, S., E. Habibi, M. Sadegi & M. Rismanchian, 2010. Effect of anti vibration handle use on hand grinding machine vibration. *Journal of Health System Research*, 6(1):124-133. (In Persian).
 - Rahimi Bitam, F., M. Nikooy & E. Ghajar, Ranking the dangers of working with chainsaw during felling operation, *Journal of Forest Research and Development*, 4(3):401-413. (In Persian).
 - Rottensteiner, C. & K. Stampfer, 2013. Evaluation of operator vibration exposure to chainsaws equipped with a Kesper safety bar, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28(2):193-200.
 - Rottensteiner, C., P. Tsioras & K. Stampfer, 2012. Wood Density Impact on Hand-Arm Vibration, *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(2):303-312.
 - Sarikhani, N., 2009. Forest exploitation. University of Tehran Press, Tehran, 728 p. (In Persian).
 - Sauni, R., P. Virtema, R. Paakkonen, E. Toppila, I. Pyykko & J. Uitti, 2010. Quality of life (EQ-5D) and hand-arm vibration syndrome, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 83(2):209-216.
 - Selim, A. A., K. Sobh & S. M. Fathy, 2012. Hand-arm vibration syndrome clinical and neuro-physiological studies, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(6):292-299.
 - Theriault, G., L. D. Guire, S. Gingras & G. Laroche, 1982. Raynaud's phenomenon in forestry workers in Quebec, *Canadian Medical Association Journal*, 126(12):1404-1408.
 - Welch, R., 1971. Vibration in chain saws, *Australian Forestry*, 35(4):215-225.
 - Yadama, S. & H. Sakakibara, 1994. Research into hand-arm vibration syndrome and its prevention in japan, *Nagoya Journal of Medical Science*, 57(Suppl.):3-17.

The investigation of chainsaw vibrations in bucking operation on different wood species

M. Feyzi^{*1}, A. Jafari² and H. Ahmadi³

1- Ph.D. Student of Biosystems Engineering, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, I. R. Iran. (masoudfeyzi@tabrizu.ac.ir)

2- Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (jafarya@ut.ac.ir)

3- Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran. (hjahmadi@ut.ac.ir)

Received: 23.12.2018

Accepted: 19.04.2019

Abstract

In the present study, the effects of three type of Iranian hardwoods (Beech, Hornbeam, and Alder) on the vibration level and characteristics of Stihl-MS230 chainsaw were analyzed and the results were compared together and to the control sample (without cutting). The vibration acceleration on front and rear handles of chainsaw were measured in three perpendicular axes based on ISO 7505 (1986) standard. The total root mean square (RMS) acceleration and frequency-weighted vibration acceleration (A_{hw}) were obtained from acceleration-time spectrum and acceleration-frequency spectrum respectively in accordance with guidelines of ISO 5349 (2001). The results indicated that the effect of operational mode, axis, and interaction between them on the RMS acceleration were statistically significant ($p < 0.01$). Also, the effect of operational mode, position, axis, and interaction between them on the A_{hw} were significant ($p < 0.01$). However, A_{hw} values of different woods were not found statistically different ($p > 0.05$). Analysis of RMS acceleration revealed no significant difference between handles ($p > 0.05$). While, frequency-weighted vibration acceleration of rear handle was significantly more than that of front handle ($p < 0.01$).

Keywords: Frequency-weighted vibration acceleration, One third octave frequency bands, Root mean square vibration acceleration.

* Corresponding author

Tel: +989365564491