

## ارزیابی ارتعاش دست- بازو در اثر قطع و بینه‌بری درختان راش با اره موتوری

باریس مجنونیان<sup>۱</sup>، میثم جباری<sup>۲</sup>، مقداد جورغلامی<sup>۳\*</sup>، رسول یاراحمدی<sup>۴</sup> و آزاده دلجویی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

<sup>۲</sup> فارغ‌التحصیل کارشناسی‌ارشد مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

<sup>۳</sup> دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کرج

<sup>۴</sup> دانشیار گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشت درمانی ایران، تهران

<sup>۵</sup> دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۲۱)

### چکیده

اره موتوری متداول‌ترین ابزار قطع و تبدیل در جنگل‌های شمال کشور محسوب می‌شود که یکی از مهم‌ترین عیوب آن، ارتعاش دائمی در حین کار است. هدف از این پژوهش، بررسی ارتعاش دست-بازو در عملیات قطع و بینه‌بری درختان راش در جنگل خیرود نوشهر در استان مازندران است. سه درخت و سه بینه از گونه راش انتخاب و با استفاده از دستگاه ارتعاش‌سنج Bruel & Kjeaar 2237، همزمان اندازه‌گیری ارتعاش دست-بازو در دسته عقب و دسته جلوی اره موتوری در سه جهت  $x$ ،  $y$  و  $z$  انجام گرفت. از شاخص‌های شدت ارتعاش معادل اره موتوری ( $a_{eq}$ )، مقدار کلی ارتعاش اره موتوری ( $a_{hv}$ )، ضریب قابلیت انتقال ارتعاش ( $T_r$ ) و دوره مواجهه روزانه ( $A(8)$ ) برای ارزیابی ارتعاش اره موتوری استفاده شد. در مرحله قطع، مقدار  $a_{eq}$  در محور  $x$  به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو محور دیگر در دسته‌های جلو و عقب به‌دست آمد ( $P = 0/010$ ) و در بینه‌بری، مقدار  $a_{eq}$  در محور  $x$  به‌طور معنی‌داری بیشتر از محور  $z$  به‌دست آمد ( $P = 0/008$ ). مقدار  $a_{hv}$  هنگام قطع درختان ( $P = 0/017$ ) و بینه‌بری ( $P = 0/013$ ) در دسته عقب به‌طور معنی‌داری بیشتر از دسته جلو به‌دست آمد. ضریب  $T_r$  در دسته عقب اره موتوری در هنگام قطع ( $2/78$ ) به‌طور معنی‌داری بیشتر از همین دسته در حالت بینه‌بری ( $2/57$ ) است ( $P = 0/011$ ). نتایج نشان داد که شدت ارتعاش در دسته عقب بیشتر از دسته جلو است که بیانگر لزوم اقدامات سریع از نظر بهبود ارگونومیک دسته عقب است.

**واژه‌های کلیدی:** ارتعاش دست-بازو، ارگونومی، بهره‌برداری، صدمات شغلی، قطع درخت.

### مقدمه

(Jourgholami et al., 2013). در بدو استفاده از اره موتوری، مدیران و کارگران جنگل شیفته افزایش جهش‌وار بهره‌وری و سرعت کار عملیات قطع و تبدیل درخت در جنگل بودند و از آنجا که اثرات سوء کار با اره موتوری بر سلامت کارگران تنها در زمان به‌نسبت طولانی خود را نشان می‌دهد، به معایب آن توجه نمی‌شد

در گذشته قطع در جنگل‌های شمال کشور بیشتر با تبر، اره دوسر دندان‌رنده‌ای و اره دستی انجام می‌گرفت، اما از دهه ۵۰ شمسی به بعد در کلیه عملیات بهره‌برداری، اره موتوری جایگزین ابزار دستی شده است (Majnounian et al., 2009;

دستگاه تنفسی و در موارد شدید، سبب سرطان پوست شود (Seixas and Ducatti, 1992; Rottensteiner & Satmpfer, 2013). مهم‌تر از آن، صدای ناهنجار موتور در حین کار بعد از مدتی ممکن است به سنگینی گوش و حتی کر شدن کارگر منجر شود (Fonseca, 2009; Potocnik & Poje, 2010; Ahmadi et al., 2013). بزرگ‌ترین عیب اهره‌های موتوری، ارتعاش دائمی آنها حین کار است که در بدن و به‌ویژه دست‌های کارگر (دست-بازو)<sup>۱</sup> ناراحتی ایجاد می‌کند و کارگر پس از مدتی، ممکن است به بیماری خاصی که سندروم دست سفید<sup>۲</sup> نام دارد، مبتلا شود (Futatsuka et al., 1985, 1994, 2000, 2005; Sutinen et al., 2006; Ying et al., 2011; Sarikhani, 2012; Rottensteiner et al., 2012; Rottensteiner & Satmpfer, 2013).

سندروم دست سفید یا سپیدانگشتی، نوعی اختلال گردش خون در دست‌هاست که بر اثر ارتعاش اهره موتوری در دست کارگر به‌وجود می‌آید و ممکن است به ازکارافتادگی دست بینجامد (Sarikhani, 2012). گرفتگی غیرعادی رگ‌های خونی موجب کاهش جریان خون به بافت‌های موضعی می‌شود و در نتیجه رنگ پوست انگشتان دست تغییر می‌کند. در ابتدا به‌علت کاهش جریان خون در رگ‌ها (عروق خونی)، انگشتان دست سفید می‌شوند. سپس به‌علت کمبود طولانی‌مدت اکسیژن در بافت، انگشتان کبود (آبی) می‌شوند. در آخر به‌علت باز شدن عروق خونی، گرگرفتگی رخ می‌دهد و انگشتان قرمز می‌شوند. این تغییر رنگ‌ها (از سفید به آبی و از آبی به قرمز) بیشتر اوقات در اثر هوای سرد رخ می‌دهد (Futatsuka et al., 1985, 1994, 2000, 2005). (Neitzel & Yost (2002) با اجرای تحقیقی در مورد لرزش اهره موتوری در حین کار برای کارگران، نتیجه گرفتند که میانگین ۹۹ لرزش کل بدن پس از

(Nikooy et al., 2012; Ahmadi et al., 2013).

اهره موتوری نوعی اهره است که اغلب توسط یک موتور دوزمانه کار می‌کند و زنجیر برنده آن در روی ریلی که تیغه نامیده می‌شود، به حرکت در می‌آید. از این وسیله برای قطع درختان یا عملیات برش و تبدیل چوب استفاده می‌شود. اولین مدل‌های اهره موتوری ساخته‌شده بسیار سنگین بودند، به‌طوری که در طراحی آنها، چرخ‌هایی نیز برای حمل‌ونقل در نظر گرفته شده بود. همچنین یک فرد به‌تنهایی نمی‌توانست از آن استفاده کند و باید دو نفر با همکاری یکدیگر آن را به‌کار می‌گرفتند (Sarikhani, 2012; Ahmadi et al., 2016). بعد از جنگ جهانی دوم، بهبود در طراحی موتور و همچنین پیشرفت در صنایع آلومینیوم سبب شد وزن این ماشین‌ها بسیار کاهش یابد و امکان استفاده انفرادی نیز فراهم شود. به همین جهت افزایش روزافزون بازده کار قطع و تبدیل درخت که نظیرش تا آن موقع دیده نشده بود، میسر شد (Neitzel & Yost, 2002). تحقیقات نشان می‌دهند که استفاده از روش‌های قطع با اهره موتوری، کارایی گروه قطع را افزایش می‌دهد و این روش قطع در مناطق کوهستانی (مانند جنگل‌های شمال کشور) برترین روش قطع است (Han & Renzie, 2005; Majnounian et al., 2009; Nikooy et al., 2010; Jourgholami et al., 2014). به‌طور کلی می‌توان گفت شیب‌های به‌نسبت تند، وجود درختان قطور، استفاده از روش‌های قطع گزینشی، افزایش تولید و همچنین کاهش هزینه‌ها دلایل اصلی کاربرد اهره موتوری به‌جای تبر و اهره‌های دستی در جنگل‌های شمال است (Ahmadi et al., 2016).

از جمله معایب اهره موتوری این است که چون موتور در مجاورت کارگر و با دست او هدایت می‌شود، ممکن است گازهای متصاعدشده از اگزوز موتور، سبب مسمومیت‌های شدید تنفسی شده و روغن‌های خارج‌شده از اهره موتوری نیز سبب تحریک و سوزش

<sup>1</sup>. Hand-arm vibration

<sup>2</sup>. White finger syndrome

### - منطقه پژوهش

این تحقیق در پارسل ۳۲۰ بخش گرازبن جنگل آموزشی پژوهشی خیرود شهرستان نوشهر استان مازندران انجام گرفت. برای اندازه‌گیری‌ها، درختانی که در بخش گرازبن جنگل خیرود در سال ۱۳۹۲ نشانه‌گذاری شده بودند، انتخاب شدند، زیرا در این سال، تنها در بخش گرازبن این جنگل عملیات قطع صورت می‌گرفت. مساحت پارسل ۳۲۰ بخش گرازبن، ۴۲/۲ هکتار و موجودی حجمی و تعداد در هکتار آن به ترتیب ۴۵۰ سیلو و ۲۶۶ اصله است. ارتفاع این پارسل از سطح دریا ۱۱۶۰ تا ۱۳۸۰ متر و بارندگی منطقه ۱۵۳۲ میلی‌متر است (Jourgholami & Khorramizadeh, 2015).

### - شیوه اجرای پژوهش

این پژوهش بر روی گونه‌های راش انجام گرفت که مهم‌ترین گونه‌های صنعتی جنگل‌های شمال ایران محسوب می‌شود و ۱۷/۶ درصد سطح کل، ۲۳/۶ درصد تعداد و ۳۰ درصد حجم کل درختان جنگلی شمال را تشکیل می‌دهد. به‌منظور بررسی تأثیرات زیان‌آور ارتعاش و شدت آن در عملیات قطع و بینه‌بری با اهر موتوری، سه درخت و سه بینه از گونه‌های راش انتخاب و بررسی شد (جدول ۱).

وزن‌گیری ۳/۵۵ m.s<sup>-2</sup> بود، درحالی‌که میانگین وزنی لرزش دست ۵/۴۵ m.s<sup>-2</sup> بود.

با وجود ماشین‌آلات و ابزار فراوان در محیط‌های صنعتی و توسعه فناوری و افزایش کاربرد ماشین در امور تولید، همچنان کارگران در معرض مخاطرات مختلف قرار دارند (Nikooy et al., 2012; Ahmadi et al., 2013). این موضوع هنگامی که شرایط بیرونی و سخت جنگل را در نظر بگیریم، امری بسیار پراهمیت از نظر کمیت و کیفیت خواهد بود (Sarikhani, 2012). در خصوص ارتعاش دست-بازو در عملیات قطع و بینه‌بری در اثر عملیات بهره‌برداری در جنگل‌های شمال ایران تاکنون در داخل کشور مطالعات پژوهش‌محور و کاربردی انجام نگرفته است و هنوز جنبه‌های علمی و کاربردی زیادی با توجه به تراکم نوع عملیات در جنگل قابل بحث و بررسی است و این پژوهش را می‌توان اولین نمونه در این زمینه دانست. هدف این پژوهش، بررسی شدت ارتعاش دست-بازو در عملیات قطع و استحصال (بینه‌بری) گونه‌های راش (*Fagus orientalis* Lipsky.) در جنگل‌های شمال و آزمون این فرضیه است که شدت ارتعاش دست-بازو در دو مرحله قطع و بینه‌بری از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری است.

### مواد و روش‌ها

جدول ۱- مشخصات قطر درختان و قطر گرده‌بینه‌ها در محل برش

ضریب تغییرات (درصد)	خطای معیار (سانتی‌متر)	کمینه (سانتی‌متر)	بیشینه (سانتی‌متر)	میانگین (سانتی‌متر)	
۱۳/۳	± ۵/۲	۵۸/۰	۷۵/۰	۶۸/۳	درخت
۱۷/۱	± ۶/۱	۵۰/۰	۷۰/۰	۶۲/۰	گرده‌بینه

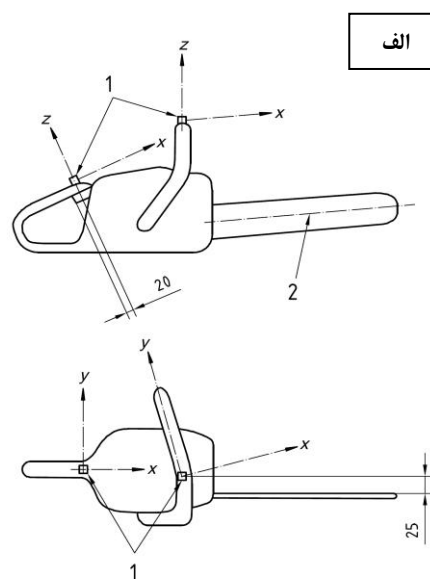
دستگاه ارتعاش‌سنج Bruel & Kjar 2237 صورت گرفت (شکل ۱). همزمان، اندازه‌گیری ارتعاش دست-بازو در دسته‌محور عقب و دسته‌محور جلوی اهر موتوری (Goglia et al., 2011; Rottensteiner et al., 2012; Rottensteiner & Satmpfer, 2013) در سه جهت

اهر موتوری استفاده‌شده در این تحقیق، ساخت کارخانه STIHL آلمان و مدل ۰۷۰ با طول تیغه ۹۰ سانتی‌متر بود. در انتخاب اهر موتوری، سعی شد کارگر آموزش‌دیده و ماهر باشد؛ سابقه این کارگر در بینه‌بری درختان جنگلی ۱۸ سال است. ارتعاش‌ها با استفاده از

انجام گرفت (Rottensteiner et al., 2012; Bovenzi, 2008; Rottensteiner & Satmpfer, 2013). شایان ذکر است که تمام اندازه‌گیری‌ها با سه تکرار انجام گرفتند. در این پژوهش از استانداردهای ISO ۵۳۴۹-۱ و ISO ۵۳۴۹-۲ استفاده شد (Bovenzi et al., 2011; Rottensteiner et al., 2012; Fayzi et al., 2013).



انجام گرفت (Rottensteiner et al., 2012; Rottensteiner & Satmpfer, 2013). مرور منابع نشان می‌دهند که برای اندازه‌گیری و مقایسه ارتعاش اهرهای موتوری، باید ارتعاش ایجادشده از آنها را در سه جهت افقی، عمودی و مورب بررسی کرد (شکل ۱) و در نهایت با ترکیب این سه جهت، ارتعاش هر دستگاه را اندازه‌گیری و محاسبه کرد



شکل ۱- (الف) جهت اندازه‌گیری و مثال در مورد استقرار ارتعاش‌سنج‌ها روی دسته اهر موتوری (عدد ۱ = شتاب‌سنج، ۲ = خط وسط تیغه؛ ابعاد به میلی‌متر است)؛ (ب) اندازه‌گیری ارتعاش‌ها با استفاده از دستگاه ارتعاش‌سنج Bruel & Kjar 2237

شده و آزمایش‌ها آغاز شد. در تمام طول مدت آزمایش، مخزن روغن و مخزن سوخت تقریباً پر بودند. همچنین در تمام مدت زمان اندازه‌گیری، تمام قطعات مربوط به اهر موتوری و همچنین اهر موتوری از نظر عملکرد، کنترل شدند تا صحت نتایج افزایش یابد.

#### شاخص‌های بررسی شده

در این پژوهش از چهار شاخص شدت ارتعاش معادل اهر موتوری ( $a_{eq}$ )، مقدار کلی ارتعاش اهر موتوری ( $a_{hv}$ )، ضریب قابلیت انتقال ارتعاش ( $T_r$ ) و دوره مواجهه روزانه ( $A(8)$ ) برای تبیین وضعیت ارتعاش اهر موتوری استفاده شد. برای محاسبه مقدار

پیش از شروع آزمایش‌ها، مخزن سوخت و مخزن روغن اهر موتوری پر و موتور آن روشن شد. موتور چند دقیقه در دور آرام روشن ماند؛ در این دور، کلاچ گریز از مرکز غیرفعال بود و در نتیجه زنجیر در روی تیغه اهر بی‌حرکت بود و اهر موتور برای گرم شدن موتور روشن ماند. سپس برای چند دقیقه دیگر، موتور در دورهای بالاتر که سبب فعال شدن کلاچ گریز از مرکز و به حرکت در آمدن زنجیر و در نتیجه فعال شدن پمپ روغن زنجیر می‌شود، به منظور روغن‌کاری کامل زنجیر و رسیدن موتور به وضعیت عادی کار روشن ماند. سپس موتور خاموش شد، مخزن روغن و بنزین از نو پر

مدت دوره مواجهه روزانه محاسبه شد.

### - روش تحلیل

نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگن بودن داده‌ها با آزمون لون<sup>۱</sup> بررسی شد. برای بررسی معنی‌داری تفاوت بین شدت ارتعاش کل آره موتوری در قطرهای مختلف درختان و گروه‌بینه از آنالیز واریانس (ANOVA)<sup>۲</sup>، برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی<sup>۳</sup> و برای بررسی روابط همبستگی از ضریب پیرسون ( $r$ ) استفاده شد. کلیه آنالیزهای آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. برای انتخاب بهترین مدل آماری برازش داده‌شده بین قطر (درخت یا گرده‌بینه) و شدت ارتعاش کل آره موتوری، از مدل‌های رگرسیونی بهره گرفته شد و در نهایت از معیارهای ضریب تبیین تعدیل‌شده ( $R^2_{adjusted}$ ) و درصد خطای نرمال‌شده ( $NMPE$ ) برای دستیابی به بهترین مدل رگرسیونی تک‌متغیره استفاده شد.

### نتایج

#### - شدت ارتعاش معادل آره موتوری

نتایج آزمون F در مرحله قطع راش نشان می‌دهد (جدول ۲) که شدت ارتعاش معادل آره موتوری در محور  $x$  به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو محور دیگر در دسته‌های جلو و عقب است ( $F = ۷/۳۳$ ;  $P = ۰/۰۱۰$ ). در مرحله بینه‌بری نیز شدت ارتعاش معادل آره موتوری در محور  $x$  به‌طور معنی‌داری بیشتر از محور  $z$  به‌دست آمد ( $F = ۴/۱۹$ ;  $P = ۰/۰۰۸$ ). همچنین براساس آزمون  $t$ ، میانگین ارتعاش معادل آره موتوری در مرحله قطع در محور  $x$  دسته عقب به‌طور معنی‌داری بیشتر از دسته جلو حاصل شد ( $t = ۰/۶۷$ ;  $P = ۰/۰۴۱$ ). براساس آزمون  $t$  نیز میانگین

کلی ارتعاش آره موتوری ( $a_{hv}$ ) براساس استاندارد ISO ۵۳۴۹-۱، از رابطه ۱ استفاده شد.

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvw}^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$a_{hv}$  شتاب کلی ارتعاش‌های آره موتوری (متر بر مجذور ثانیه)،  $a_{hvx}$  شتاب وزن‌دار شده آره موتوری در محور  $x$  (متر بر مجذور ثانیه)،  $a_{hvy}$  شتاب وزن‌دار شده آره موتوری در محور  $y$  (متر بر مجذور ثانیه) و  $a_{hvw}$  شتاب وزن‌دار شده آره موتوری در محور  $z$  (متر بر مجذور ثانیه) است. برای محاسبه ضریب قابلیت انتقال ارتعاش، از روش Stikeleather براساس رابطه ۲ استفاده شد (Stikeleather, 1991):

$$T_r = \frac{Z_{out}}{Z_{in}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$T_r$  قابلیت انتقال (بدون واحد)،  $Z_{out}$  میزان ارتعاش خروجی (متر بر مجذور ثانیه) و  $Z_{in}$  میزان ارتعاش ورودی (متر بر مجذور ثانیه) است.

دوره مواجهه روزانه به‌صورت کلی زمانی که در طول روز یکی از دست‌ها یا هر دو در معرض ارتعاش‌های ناشی از کار با آره موتوری قرار دارند، تعریف می‌شود. برای مقایسه بهتر مواجهه‌های روزانه که در طول مدت زمان‌های متفاوت اتفاق می‌افتد، از شاخص مقدار کلی ارتعاشات معادل هشت ساعت استفاده می‌شود (رابطه ۳).

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه،  $T$  مدت زمان روزانه مواجهه با ارتعاش (برحسب ثانیه) و  $T_0$  مدت زمان مرجع (برابر با ۲۸۸۰۰ ثانیه) را نشان می‌دهد. در این پژوهش برای محاسبه دوره مواجهه روزانه براساس استانداردهای یادشده، فرض شد که هر کارگر آره موتوری روزانه دو تا سه ساعت در معرض ارتعاش قرار دارد و در نتیجه

<sup>1</sup>. Levene's test

<sup>2</sup>. Analyze of Variance

<sup>3</sup>. Tukey's test

ارتعاش معادل اره موتوری در مرحله بینه‌بری در محوره‌های  $x$  ( $t = 0/041$ ;  $P = 0/021$ ) و  $z$  ( $t = 0/16$ ;  $P = 0/041$ ) دستة عقب به‌طور معنی‌داری بیشتر از دستة جلو بود.

جدول ۲- مشخصات آماری ارتعاش معادل اره موتوری ( $aeq$ ) متر بر مجذور ثانیه) در محوره‌های مختلف  $x$ ،  $y$  و  $z$  در دستة جلو و عقب در مراحل قطع و بینه‌بری راش

دستة عقب			دستة جلو			آماره	
$z$	$y$	$x$	$z$	$y$	$x$		
۳/۲۳ <sup>c</sup>	۳/۹۳ <sup>b</sup>	۴/۴۷ <sup>*a</sup>	۳/۱۱ <sup>c</sup>	۳/۷۹ <sup>b</sup>	۴/۲۰ <sup>*a</sup>	میانگین (متر بر مجذور ثانیه)	۳
± 0/12	± 0/25	± 0/27	± 0/14	± 0/27	± 0/29	خطای معیار (متر بر مجذور ثانیه)	
۶/۴	۱۰/۹	۱۰/۵	۷/۷	۱۲/۱	۱۲/۰	ضریب تغییرات (درصد)	
۳/۰۱ <sup>*c</sup>	۳/۶۸ <sup>b</sup>	۴/۰۸ <sup>*a</sup>	۲/۷۹ <sup>*b</sup>	۳/۵۷ <sup>ab</sup>	۳/۸۶ <sup>*a</sup>	میانگین (متر بر مجذور ثانیه)	۴
± 0/11	± 0/28	± 0/29	± 0/21	± 0/26	± 0/24	خطای معیار (متر بر مجذور ثانیه)	
۶/۵	۱۳/۲	۱۲/۲	۱۳/۳	۱۲/۸	۱۰/۸	ضریب تغییرات (درصد)	

حروف a، b و c بیانگر اختلاف معنی‌دار بین محوره‌های مختلف در هر دستة اره موتوری در سطح ۹۵ درصد با استفاده از آزمون F است. همچنین علامت \* بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف در سطح ۹۵ درصد بین دو دستة عقب و جلو در محوره‌های یکسان، با استفاده از آزمون t است.

#### شدت کل ارتعاش اره موتوری

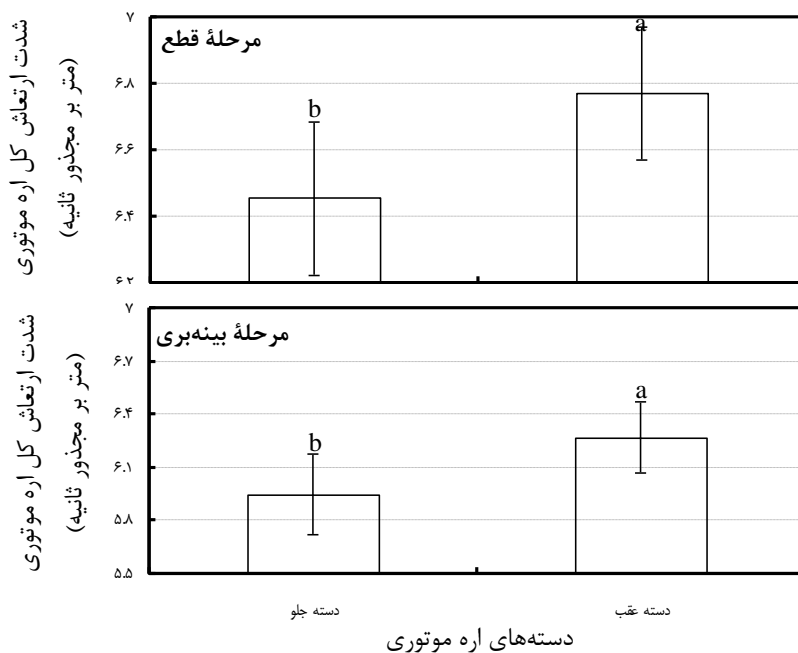
نتایج آزمون t نشان می‌دهد که شدت کل ارتعاش اره موتوری در هنگام قطع درختان راش ( $P=0/017$ )؛  $t=0/06$  و بینه‌بری گرده‌بینه‌های راش ( $P=0/013$ )؛  $t=0/12$  در دستة عقب به‌طور معنی‌داری بیشتر از دستة جلو بود (شکل ۲).

نتایج آزمون t نشان می‌دهد که میانگین کل ارتعاش اره موتوری در دستة جلو در حالت قطع ( $6/46$  متر بر مجذور ثانیه)، به‌طور معنی‌داری بیشتر از حالت بینه‌بری ( $5/95$  متر بر مجذور ثانیه) بود ( $t = 0/23$ ;  $P = 0/019$ )، درحالی که در دستة عقب تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ( $P = 0/17$ ).

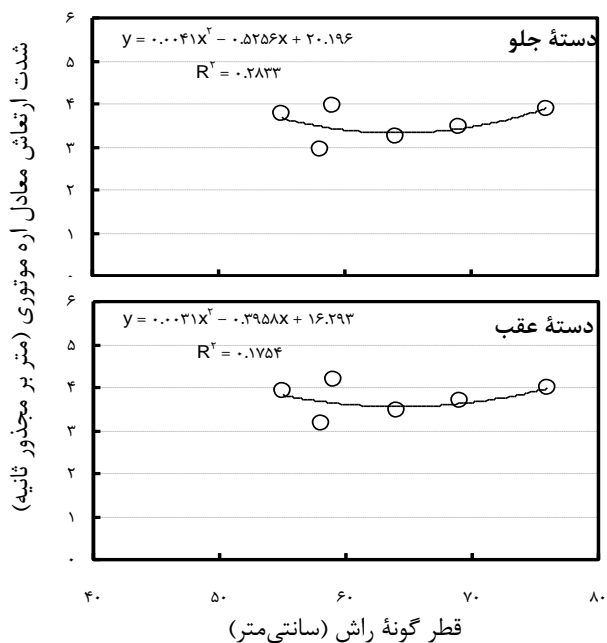
#### رابطه بین قطر گونه‌ها و ارتعاش معادل اره

##### موتوری ( $aeq$ )

از آنجا که دست‌کم پنج نمونه برای اجرای آزمون همبستگی لازم است (Rottensteiner & Stampfer, 2013)، در اینجا، منظور از همبستگی، همبستگی بین درختان (سه درخت) و بینه‌های راش (سه گرده‌بینه) با شدت ارتعاش معادل اره موتوری است. بهترین رابطه برازش‌داده‌شده بین قطر گونه راش و میانگین ارتعاش معادل اره موتوری سه محور  $x$ ،  $y$  و  $z$  در دستة جلو براساس مقدار  $NMPE$  (۳۳/۷ درصد) و  $R^2_{adj}$  (۰/۲۸۳۳) به‌صورت چندجمله‌ای به‌دست آمد ( $P=0/11$ )؛ شکل ۳). این رابطه برای دستة عقب نیز به‌صورت چندجمله‌ای حاصل شد (۳۶/۸ درصد  $R^2_{adj} = 0/1754$ ;  $NMPE = 0/17$ ;  $P = 0/17$ ).



شکل ۲- میانگین شدت ارتعاش کل اره موتوری ( $a_{Hv}$ ) در دسته‌های جلو و عقب به‌هنگام قطع درختان و بینه‌بری گرده‌بینه‌های راش. بارها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین هستند.



شکل ۳- میانگین شدت ارتعاش معادل اره موتوری ( $a_{eq}$ ) گونه راش در سه محور دسته جلو (شکل بالا) و دسته عقب (شکل پایین)

Mallinowska-Borowska et al., 2012; Rottensteiner et al., 2012). با وجود این، بزرگ‌ترین عیب این وسیله، ارتعاش زیاد آن است (Mallinowska-Borowska et al., 2012; Sarikhani, 2012; Rottensteiner & Satmpfer, 2013). این پژوهش نخستین بار با هدف اندازه‌گیری ارتعاشات دسته‌های اهره موتوری در هنگام قطع گونه‌ی صنعتی راش در کشور انجام گرفت.

از جمله یافته‌های مهم این پژوهش، تفاوت شدت ارتعاش در سه جهت  $x$ ،  $y$  و  $z$  اهره موتوری است. در این پژوهش شدت ارتعاش اهره موتوری در جهت  $x$  بیشتر از دیگر جهت‌ها به دست آمد که همسو با نتایج دیگر پژوهش‌هاست (Stempski et al., 2010; Rottensteiner & Satmpfer, 2013) و تأییدکننده این مسئله است که باید در مطالعات آتی، ارتعاش اهره موتوری در هر سه جهت بررسی شود. یک دلیل مهم در مورد بیشتر بودن ارتعاش در جهت  $x$  ممکن است مسیر گردش زنجیر و اسپراکت باشد که به‌ویژه در هنگام درگیر بودن در چوب، شدت ارتعاش را زیاد خواهد کرد. نتایج نشان داد که شدت ارتعاش کل در مرحله قطع بیشتر از مرحله بینه‌بری است. در مرحله قطع، استفاده کمتر از پره‌های اتکای اهره موتوری، سبب افزایش چشمگیر ارتعاش خواهد شد؛ عمل بسیار مهم دیگر مربوط به ساختمان چوب درخت در محل کنده است که به‌طور معمول الیاف در این قسمت درهم‌تنیده‌اند و پیچ‌خوردگی زیادی دارند که موجب افزایش ارتعاش در مرحله قطع نسبت به مرحله بینه‌بری می‌شود.

به‌طور کلی نتایج این تحقیق حاکی از این است که شدت ارتعاش معادل در راش (در مراحل قطع و بینه‌بری) در دسته عقب به‌طور معنی‌داری بیشتر از دسته جلو است که همسو با یافته‌های دیگر پژوهشگران است (Mirbod et al., 1992; Pitts, 2004; Stempski et al., 2010; Goglia et al., 2011; Rottensteiner & Satmpfer, 2013) و دلیل

#### - ضریب قابلیت انتقال ارتعاش ( $T_r$ )

براساس آزمون  $t$ ، ضریب قابلیت انتقال ارتعاش در دسته عقب اهره موتوری در هنگام قطع راش (۲/۷۸) به‌طور معنی‌داری بیشتر از حالت بینه‌بری (۲/۵۷) بود ( $t = 0.04$ ;  $P = 0.011$ )، درحالی که در دسته جلو تفاوت معنی‌داری بین حالت قطع (۲/۷۰) و بینه‌بری (۲/۴۹) مشاهده نشد ( $P < 0.05$ ).

#### - دوره مواجهه روزانه ( $A(8)$ )

اگر فرد در یک روز، دو ساعت با اهره موتوری مبادرت به قطع درختان راش کند، شدت ارتعاش وارد به وی در یک روز ۳/۳۱ متر بر مجذور ثانیه خواهد بود و اگر سه ساعت کار کند، این مقدار ۴/۰۵ متر بر مجذور ثانیه خواهد بود. این اعداد به‌ترتیب برای مرحله بینه‌بری ۳/۰۶ متر بر مجذور ثانیه (در حالت دو ساعت کار) و ۳/۷۴ متر بر مجذور ثانیه (در حالت سه ساعت کار) به‌دست آمد.

#### بحث

در بیشتر کشورهای جهان، کار در جنگل را جزو شغل‌های سنگین و پرخطر می‌دانند که سبب آسیب‌های زیاد به کارگران جنگل می‌شود (Malinowska-Borowska et al., 2012; Nikooy et al., 2012). امروزه پیشرفت‌های اقتصادی و صنعتی و توسعه مکانیزاسیون سبب شده که کارگران جنگل، بیشتر فعالیت‌های عملیات قطع و بینه‌بری را با ماشین‌های ساده یا پیچیده انجام دهند. ماشین‌های موجود به‌علت داشتن اجزای متحرک، اغلب دارای ارتعاش‌اند و کاربر هنگام استفاده از آنها در معرض این ارتعاشات قرار دارد. متداول‌ترین وسیله قطع در جنگل‌های کشور اهره موتوری است (Nikooy et al., 2012; Sarikhani, 2012; Jourgholami et al., 2014) که هنوز در عملیات قطع و تبدیل در جهان نیز کاربرد گسترده‌ای دارد (Sutinen et al., 2006; Ying et al., 2011; )



نتایج این پژوهش نشان داد که شدت ارتعاش کل و ارتعاش معادل اره موتوری در دو مرحله قطع و بینه‌بری با هم متفاوت است که همسو با یافته دیگر پژوهشگران است (Mallinowska-Borowska et al., 2012; Rottensteiner & Satmpfer, 2013). یکی از دلایل اصلی آن، نوع ایستادن و استفاده از اره در هنگام برش مربوط است. در هنگام قطع درخت سرپا، کارگر اره موتورچی با توجه به وضعیت درخت و اینکه همزمان باید موقع افتادن درخت، امکان کنار کشیدن و احیاناً فرار خود را نیز در نظر بگیرد، در تعادل و تسلط کمتری نسبت به حالت بینه‌بری که درخت به‌صورت افتاده روی زمین قرار دارد است، بنابراین ارتعاش وارد بر دست وی به‌دلیل عدم تعادل و تسلط، در حالت قطع بیشتر از بینه‌بری است.

روابط بین قطر گرده‌بینه‌ها و درختان راش و ارتعاش معادل اره موتوری به‌صورت چندجمله‌ای صعودی درآمد؛ یعنی با افزایش قطر گونه، شدت ارتعاش افزایش یافت که در تأیید یافته‌های دیگر پژوهشگران، مبنی بر وجود رابطه مثبت بین ارتعاش و افزایش قطر است (Skarzynski, 2007). مرور منابع نشان می‌دهد که افزایش قطر درختان سبب افزایش ضخامت پوست آنها (Pausas, 1997; Moreira et al., 2007) و در نتیجه تغییر ارتعاش اره موتوری می‌شود. از آنجا که محدودیت‌های زمانی و مالی سبب شد که این پژوهش تنها در سه قطر متفاوت انجام گیرد، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، تأثیر طبقات قطری مختلف بر شدت ارتعاش اره موتوری بررسی شود. از سوی دیگر به‌دلیل اینکه هدف این پژوهش، بررسی ارتباط بین قطر گونه‌ها با شدت ارتعاش اره موتوری نبود، در پژوهش‌های آتی با این هدف، پیشنهاد می‌شود تعداد نمونه‌ها افزایش یابد تا بتوان معنی‌دار بودن روند تغییرات را با استفاده از آزمون‌های آماری بررسی کرد. نتایج نشان داد که ارتعاش دست-بازو در مراحل قطع و بینه‌بری در دسته عقب بیشتر از دسته

احتمالی آن، سیستم تقلیل نیرویی<sup>۱</sup> است که در دسته عقب اره‌های موتوری به‌کار گرفته می‌شود (Pitts, 2004; Rottensteiner & Satmpfer, 2013). در پژوهش‌های آینده باید در پی راه‌حلی برای کاهش شدت ارتعاش در دسته عقب اره موتوری بود. یکی از دلایل افزایش بیش از حد ارتعاش اره موتوری هنگام استفاده در عملیات قطع و بینه‌بری، ممکن است کند بودن دندان‌های برنده زنجیر اره موتوری باشد، به‌طوری که در پژوهش‌هایی به این نتیجه دست یافتند که ارتعاش اره موتوری در هنگام کند بودن دندان‌ها، ۷/۵ درصد بیشتر از زمان تیز بودن دندان‌هاست (Brusl, 1978). وسایل ضدارتعاش از دهه ۱۹۷۰ میلادی در جهان معرفی شده‌اند و کاربرد دارند و سبب کاهش شدت ارتعاش وارد بر کاربر اره موتوری می‌شوند (Welch, 1971; Starck, 1984; Koskimies et al., 1990; Rottensteiner et al., 2012; Rottensteiner & Satmpfer, 2013). برای مثال، یکی از وسایل ضدارتعاش مرسوم، دستکش‌های ضدارتعاش است که با وجود کاهش اندک ارتعاش وارد بر کاربر، سبب گرم نگه داشتن دست‌های کاربر می‌شود که اگرچه تأثیر مثبتی در جریان خون در دست‌ها دارد، ولی سبب عرق کردن دست و در نتیجه کاهش تسلط اره موتورچی به‌هنگام استفاده از اره می‌شود که خود عاملی منفی در نتیجه کار و حتی افزایش سوانح است که باید لحاظ شود (Griffin, 1998; Pinto et al., 2001; Rottensteiner & Satmpfer, 2013). در همین زمینه Ying et al. (2011) به این نتیجه رسیدند که استفاده از دسته‌های متحرک، سبب کم کردن ارتعاش می‌شود و از این طریق می‌توان شدت ارتعاش اره موتوری را کاهش داد. همچنین پیشنهاد می‌شود که کارگران اره موتورچی، با اجرای حرکات ورزشی در دستی که دسته عقب اره موتوری با آن در تماس است، به تقویت عضلات آن بپردازند.

<sup>1</sup>. Dampening system

جلو است. در نتیجه باید اقدام عاجلی با هدف بهبود ارگونومیکی دسته عقب اره موتوری در زمینه کاهش ارتعاش‌ها انجام گیرد.

برای محاسبه دوره مواجهه روزانه از شاخص مقدار کلی ارتعاشات استفاده شد و در نتیجه مقدار دوره مواجهه روزانه که نمایانگر شدت ارتعاش وارد به هر شخص در هر روز است، محاسبه شد. بر این اساس، شدت کلی ارتعاشات در صورت سه ساعت کار با اره موتوری، به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو ساعت کار است. همین یافته باید راهنمای مدیران اجرایی طرح‌های جنگلداری را در سازماندهی و مدیریت زمان کار کارگران اره موتورچی در جنگل و صنایع چوب باشد تا کارگران اره موتورچی در طول روز به‌طور متناوب و با زمان‌های استراحت یا استفاده از دو نیروی اره موتورچی برای کار متناوب به‌کار گرفته شوند و در نتیجه سلامت نیروی کار، حفظ شود و کارگران اره موتورچی به بیماری دست سفید مبتلا

نشوند.

باید توجه داشت که در جنگل‌های شمال ایران به دلایل مختلف، مکانیزاسیون قطع و تبدیل همچنان در مراحل اولیه توسعه باقی مانده و اره موتوری اولین و تنها ابزار در عملیات بهره‌برداری جنگل و قطع و تبدیل درختان است. این وسیله در هنگام کار ارتعاشات زیادی به دست و بازوی کاربر خود وارد می‌کند. نتایج این پژوهش نشان داد که شدت ارتعاش اره موتوری در هنگام قطع بیشتر از حالت بینه‌بری است و مقادیر ضریب انتقال ارتعاش، ارتعاش کل و ارتعاش معادل اره موتوری در دسته عقب بیشتر از دسته جلو است که اقدامات عاجل از نظر بهبود ارگونومیک دسته عقب اره موتوری را الزامی می‌کند. در پایان پیشنهاد می‌شود از مدل‌های جدیدتر اره موتوری که دسته با واشر پلاستیکی یا فنر به بدنه متصل شده است و همچنین وسایل فردی جدید مانند دستکش‌های ضدارتعاش استفاده شود.

## References

- Ahmadi, M., Jourgholami, M., Majnounian, B., & Yarahamdi, R. (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.
- Ahmadi, M., Jourgholami, M., Majnounian, B., & Yarahamdi, R. (2016). Comparison of Noise Exposure Levels on Chainsawers in Motor-manual Tree Felling (Case Study: Hyrcanian Forest). *Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources)*, 68(4), 729-740.
- Bovenzi, M. (2008). A follow up study of vascular disorders in vibration-exposed forestry workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 81, 401-408.
- Bovenzi, M., Pinto, I., Picciolo, F., Mauro, M., & Ronchese, F. (2011). Frequency weightings of hand-transmitted vibration for predicting vibration-induced white finger. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 37(3), 244-252.
- Brusl, H. (1978). Vibration assessment on pneumatic picks. *Sichere Arbeit*, 3, 31-33.
- Fayzi, M., Jafari, A., & Ahmadi, H. (2013). Investigation the vibration of chainsaw by simulating cutting tree, *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(10), 904-908.
- Fonseca, A. (2009). *Hearing assessment of forest loggers*. M.Sc Thesis, Agricultural and Mechanical College, Louisiana State University, 105 pp.
- Futatsuka, M., Shono, M., Sakakibara, H., & Quoc Quan, P. (2005). Hand arm vibration syndrome among quarry workers in Vietnam. *Journal of Occupational Health*, 47, 165-170.

- Futatsuka, M., Ueno, T., & Sakurai, T. (1985). Follow up study of vibration induced white finger in chain saw operators. *British Journal of Industrial Medicine*, 42(4), 267-271.
- Futatsuka, M., Ueno, T., & Yamada, S. (1994). Vibration exposure and prevention in Japan. *Nagoya Journal of Medical Science*, 57, 195-202.
- Futatsuka, M., Yoshiharu, F., & Uchino, M. (2000). A follow up study on the consequences of VWF patients in worker using chain saws in Japanese national forest. *Journal of Occupational Health*, 42, 192-195.
- Goglia, V., Zgela, J., Suchomel, J., & Dukic, I. (2011). Exposure to hand-arm transmitted vibration at forest nursery and thinning. *Human Resources Management & Ergonomics*, 5(1), 1-10.
- Griffin, M.J. (1998). Evaluating the effectiveness of gloves in reducing the hazards of hand-transmitted vibration. *Occupational and Environmental Medicine*, 55(5), 340-348.
- Han, H.S., & Renzie, C. (2005). Effect of ground slope, stump diameter and species on stump height for fellerbuncher and chainsaw felling. *International Journal of Forest Engineering*, 16(2), 81-88.
- Jourgholami, M., & Khorramizadeh, A. (2015). Industrial round-wood losses associated with motor-manual tree felling and bucking (Case study: Kheyroud forest). *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 6(1), 67-78.
- Jourgholami, M., Majnounian, B., & Zargham, N. (2013). Performance, capability and costs of motor-manual tree felling in Hyrcanian hardwood forest. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 34(2), 283-293.
- Jourgholami, M., Majnounian, B., & Zargham, N. (2014). Capability and Costs of Motor-manual Delimiting and Bucking (Case Study: Kheyroud Forest). *Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources)*, 67(2), 187-199.
- Koskimies, K., Farkkila, M., Pyykko, I., Jantti, V., Aatola, S., Starck, J., & Inaba, R. (1990). Carpal tunnel syndrome in vibration disease. *British Journal of Industrial Medicine*, 47, 411-416.
- Majnounian, B., Jourgholami, M., Zobeiri, M., & Fegghi, J. (2009). Assessment of Forest Harvesting Damage to Residual Stands and Regenerations - a Case Study of Namkhaneh District in Kheyroud Forest. *Environmental Sciences*, 7(1), 33-44.
- Malinowska-Borowska, J., Harazin, B., & Zielinski, G. (2012). Measuring coupling forces woodcutters exert on saws in real working conditions. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18(1), 77-83.
- Mirbod, S.M., Yoshida, H., Nagata, C., Inaba, R., Komura, Y., & Iwata, H. (1992). Hand-arm vibration syndrome and its prevalence in the present status of private forestry enterprises in Japan. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 64(2), 93-99.
- Moreira, F., Duarte, I., Catry, F., & Acácio, V. (2007). Cork extraction as a key factor determining postfire cork oak survival in a mountain region of southern Portugal. *Forest Ecology and Management*, 253(1-3), 30-37.
- Neitzel, R., & Yost, M. (2002). Task-based assessment of occupational vibration and noise exposures in forestry workers. *AIHA journal*, 63, 617-627.
- Nikooy, M., Naghdi, R., & Nouroozi, Z. (2012). Analysis of forest logging work accident Case study, West forest of Guilan province. *Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources)*, 64(4), 475-486.
- Nikooy, M., Rashidi, R., & Kochehi, G. (2010). Residual trees injury assessment after selective cutting in broadleaf forest in Shafaroud. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 8(2), 173-179.

- Pausas, J.G. (1997). Resprouting of *Quercus suber* in NE Spain after fire. *Journal of Vegetation Science*, 8, 703-706.
- Pinto, I., Stacchini, N., Bovenzi, M., Paddan, G.S., & Griffin, M.J. (2001). *Protection effectiveness of antivibration gloves: Field evaluation and laboratory performance assessment*. Paper presented to the 9<sup>th</sup> international conference on hand-arm vibration, June 5-8, Nancy.
- Pitts, P. (2004). *Hand-arm vibration emission of chainsaws- comparison with vibration exposure*. Health and Safety Laboratory, United Kingdom, 53 pp.
- Potocnik, I., & Poje, A. (2010). Noise pollution in forest environment due to forest operations. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31(2), 137-148.
- Rottensteiner, C., & Stampfer, K.B. (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., Tsioras, P., & Stampfer, K.B. (2012). Wood density impact on hand-arm vibration. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(2), 303-312.
- Sarikhani, N. (2012) *Forest utilization*. Third edition. Tehran University Press.
- Seixas, F., & Ducatti, F.A. (1992). Evaluation of job rotation effects on chainsaw operators. *Journal of Forest Engineering*, 6(2), 59-63.
- Skarżyński, J. (2007). *Effects of wood diameter on vibrations on chain saw handles during crosscutting*, Technical Report of Polish Environmental Ministry, 5 pp [in Polish].
- Starck, J. (1984). High impulse acceleration levels in hand-held vibratory tools, an additional factor in the hazards associated with the hand-arm vibration syndrome. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 10(3), 171-178.
- Stempski, W., Jablonski, K., & Wegner, J. (2010). Relations between top-plate filling angle values of cutting chains and chain saw vibration levels. *ACTA Scientiarum Polonorum*, 9(2), 31-39.
- Stikeleather, L.F. (1991). *Seat vibration and ride comfort*. In *Human Factors: A series of Quality Instructional Material*, ASAE Publisher, USA, 22 pp.
- Sutinen, P., Toppila, E., Starck, J., Brammer, A., Zou, J., & Pyyköö, I. (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.
- Welch, R. (1971). Vibration in chain saws. *Australian Forestry*, 35(4), 215-225.
- Ying, H., Ooi Lu, E., & ZaidiMohd, R. (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.



## Assessment of hand-arm vibration caused by chainsaw in beech tree felling and bucking operations

B. Majnounian<sup>1</sup>, M. Jabbari<sup>2</sup>, M. Jourgholami<sup>3\*</sup>, R. Yarahmadi<sup>4</sup>, and A. Deljouei<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

<sup>2</sup> M.Sc. of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

<sup>3</sup> Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

<sup>4</sup> Associate Prof., Department of Occupational Health, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, I. R. Iran

<sup>5</sup> Ph.D. student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 28 December 2015, Accepted: 21 April 2016)

### Abstract

Nowadays, one of the most popular tools to cut and process the trees in northern forests of Iran is chainsaw. One of its most important defects is constant vibration during operation. The aim of this study was to investigate the hand-arm vibration in beech tree cutting and bucking in Kheyroud forest, Nowshahr, Mazandaran Province. Three beech trees and bucks were selected and hand-arm vibration was measured by using vibrometer Bruel & Kjeaar 2237 in the back and front handles of chainsaw in three directions  $x$ ,  $y$ , and  $z$ . The index of vibration equal value ( $a_{eq}$ ), vibration total value ( $a_{hv}$ ), transmitted vibration coefficient ( $Tr$ ) and daily exposure duration ( $A(8)$ ) were used to explain the chainsaw vibration. In cutting stage, the value of  $a_{eq}$  on the  $x$ -axis was significantly higher than the two others in front and back handles ( $P= 0.010$ ) and in bucking stage, the value of  $a_{eq}$  on  $x$ -axis is significantly more than  $z$ -axis, ( $P= 0.008$ ). The value of  $a_{hv}$  during logging ( $P= 0.017$ ) and bucking ( $P=0.013$ ) in the back handle is significantly higher than front handle.  $Tr$  coefficient in the back handle of chainsaw while cutting (2.78) was significantly higher than the same handle in bucking (2.75) mode ( $P= 0.011$ ). The results showed that the values of  $Tr$ ,  $a_{eq}$  and  $a_{hv}$  in the back handle is more than front one, hence it needs immediate operation to improve it ergonomically.

**Keywords:** Tree felling, Ergonomics, Logging, Occupational injuries, Hand-arm vibration.

