

## تأثیر نوع گونه درختی بر میزان مواجهه شغلی کارگران جنگل با ارتعاش دست - بازو در کار با اره موتوری

## چکیده

این پژوهش با هدف اندازه‌گیری ارتعاش دست - بازو اپراتور اره موتوری در عملیات قطع و بینه‌بری سه گونه درختی شامل ممرز، راش و انجیلی در بخش پانم جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود انجام شد. در این پژوهش، سه اصله درخت از گونه‌های ذکرشده، اندازه‌گیری ارتعاش به‌طور هم‌زمان در سه جهت  $x$ ،  $y$  و  $z$  اره موتوری با استفاده از دستگاه ارتعاش سنج SVANTEK 106 انجام شد. نتایج نشان داد که میانگین لرزش معادل اره موتوری در درختان انجیلی در هر سه محور بیشتر از دو گونه ممرز و راش دیگر به دست آمد. مقدار لرزش کل اره موتوری در هنگام قطع درختان ممرز، راش و انجیلی در دسته عقب به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از دسته جلو به دست آمد. نتایج آزمون  $t$  نشان داد که مقدار کل لرزش اره موتوری در هنگام بینه‌بری ممرز، راش و انجیلی در دسته عقب به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از دسته جلو است. نتایج حاصل از آزمون توکی نشان داد که میانگین کل لرزش اره موتوری در انجیلی و راش به‌طور معنی‌داری بیشتر از ممرز است. نتایج نشان داد که قابلیت انتقال لرزش در راش و انجیلی در هنگام قطع و بینه‌بری در دسته‌های جلو و عقب، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ممرز است. نتایج نشان داد که مقدار دوره مواجهه روزانه در زمان دو ساعت و هم در زمان سه ساعت، در گونه انجیلی و راش به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ممرز بود (هم مرحله قطع و هم بینه‌بری). نتایج نیز نشان داد که مقدار پیش‌بینی‌گر مدت زمان ابتلا به بیماری دست سفید در زمان دو ساعت و هم در زمان سه ساعت، در گونه انجیلی و راش به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ممرز است (هم مرحله قطع و هم بینه‌بری). بنابراین، پس از تصمیم‌گیری در مورد کاهش خطر آسیب ناشی از ارتعاش در اره موتوری، باید کنترل‌های مهندسی و مدیریتی برای کنترل خطر اجرا شود.

واژگان کلیدی: ارتعاش، راش، ممرز، انجیلی، جنگل خیرود، اره موتوری.

مقداد جورغلامی<sup>۱\*</sup>

سمیه خواجوی<sup>۲</sup>

جعفر فتحی<sup>۳</sup>

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

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:

[mjgholami@ut.ac.ir](mailto:mjgholami@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱

## مقدمه

قطع درختان جنگلی و بینه‌بری تنه قطع‌شده با اره موتوری، فرآیند بریدن/حذف تنه یک درخت از کنده توسط یک فرد با استفاده از ابزار دستی موتوری است. امروزه تقریباً در هر عملیات تجاری برداشت چوب، اره‌های دستی و تبر با اره موتوری‌های جایگزین شده‌اند. اره‌های

موتوری در طول جنگ جهانی دوم به آمریکای شمالی معرفی شدند و احتمالاً مسئول یکی از اساسی‌ترین دستاوردها در بهره‌وری فناوریانه بهره‌برداری از جنگل‌ها در قرن بیستم هستند [۱]. از زمان معرفی، اره موتوری‌ها تغییرات قابل توجهی در اندازه، وزن و ویژگی‌های ایمنی داشته‌اند. مدل‌های اولیه سنگین بودند (با وزن

جلو و تا حدی به دلیل زنجیر سه فلسی برنده ایجاد می‌شود. دومی باعث ایجاد ارتعاشات به دلیل نیروهای متفاوتی می‌شود که بر برش‌هایی که در چوب نفوذ می‌کنند تأثیر می‌گذارد [۹]. این نیروها ناشی از مقاومت چوب در برابر برش است که به دلایل مختلفی مانند شکل و وضعیت برنده‌ها<sup>۵</sup> بستگی دارد [۱۰]. سطوح ارتعاش حاصل از کار زنجیر برنده در چوب به مکان (دسته جلو یا عقب) و جهت (محور x، y، z) اندازه‌گیری بستگی دارد. در پژوهشی، اهمیت دو عامل دیگر که بر سطوح ارتعاش تأثیر می‌گذارند، یعنی نیروی فشار وارد شده به اره و عمق سنج برش‌ها که تأثیر مستقیمی بر مقاومت چوب در برابر برش دارند، تأکید شد [۱۱]. نتایج بررسی‌های تجربی انجام شده نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری را بین سطوح ارتعاش و مقادیر زاویه فلس‌های زنجیر نشان داد [۱۲]. عامل دیگری که بر ارتعاشات ساطع شده از اره موتوری تأثیر می‌گذارد، نحوه کار اپراتورها با این ماشین‌ها است. این مشکل توسط [۱۳] که سطوح ارتعاش را هنگام برش کنده‌های چوب با قطرهای مختلف با دو طرف بالا و پایین تیغه آزمایش کرد، مورد مطالعه قرار گرفت. این نتایج ثابت کرد که هر دو روش کار و همچنین قطر چوب به‌طور قابل‌توجهی بر ارتعاشات تأثیر می‌گذارد. Kováč و همکاران (2018) به بررسی شرایط و ارزیابی اثرات روی کارگران ناشی از ارتعاشات و سر و صدا در مورد اره موتوری‌های حرفه‌ای در حال کار پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که ارتعاشات مکانیکی به‌طور عمده به حرکت رفت و برگشت پیستون و تا حدی به زنجیر برنده<sup>۶</sup> مربوط می‌شود. این آزمایش به‌طور کلی نشان داد که پارامترهای طراحی کمترین تأثیر را بر لرزش اره موتوری و انتشار صدا دارند. به‌طور خاص، تجزیه و تحلیل آماری فرکانس ارتعاش وزنی، تفاوتی بین انواع تیغه، انواع زنجیر برنده و نوع چوب از نظر صدا و ارتعاش روی دسته‌ها نشان نداد [۱۴].

علیرغم پیشرفت‌های فناوریانه که منجر به ایجاد طیف وسیعی از ماشین‌آلات برای برداشت چوب شد، اره موتوری اغلب در بهره‌برداری جنگل استفاده می‌شود [۱۴]. کار به شیوه نامناسب با اره موتوری مانند نگهداری بد و کمبود

۲۲/۵ کیلوگرم یا ۵۰ پوند یا بیشتر) و برای کار به دو نفر نیاز داشتند. مدل‌های امروزی سبک‌وزن هستند (کمتر از ۹ کیلوگرم یا ۲۰ پوند؛ بسیاری از آن‌ها کمتر از ۴/۵ کیلوگرم یا ۱۰ پوند)، قدرتمندتر و مصرف سوخت بیشتر، با ارتعاش کمتر و ویژگی‌های ایمنی بیشتر [۲]. مطالعات نشان داده است که ارتعاشاتی که به بدن تحمیل می‌شود دو بخش دارد: ارتعاش تمام بدن<sup>۱</sup> یا ارتعاشات قسمتی از بدن که عمدتاً دست بازو است<sup>۲</sup>. ارتعاش تمام بدن و ارتعاش دست بازو موضعی مهم هستند. تفاوت‌هایی باهم دارند. علت جدا کردن این دو این است که دست و بازو در کار خیلی مهم است و محدوده فرکانس بحرانی ارتعاش حدود ۱۵۰۰ هرتز است و برای ارتعاش در تمام بدن در ۱ تا ۸۰ هرتز است و سطح وسیعی از بدن مرتعش می‌شود. تفاوت و ماهیت جداسازی این دو بستگی به محل انتقال ارتعاش به بدن و نوسان ارتعاش دارد، ارتعاش دست بازو، تقریباً ارتعاش قطاعی یا ارتعاش اندام‌های انتهایی است [۳].

از زمان معرفی اره موتوری‌ها در جنگل‌داری، مطالعات متعددی علائم و نشانه‌های مرتبط با قرار گرفتن در معرض ارتعاش را هنگام کار با آن در جنگل‌داری گزارش کرده‌اند [۴]. مترادف‌های زیادی برای بیماری‌های ناشی از ارتعاشات وجود دارد که رایج‌ترین آن‌ها به اصطلاح "بیماری انگشت سفید"<sup>۳</sup> یا سندرم رینود ثانویه<sup>۴</sup> است [۵]. بی‌حسی در دست‌ها و بازوها، سوزن سوزن شدن انگشتان و بدتر شدن درک لمسی در کارگرانی که در معرض ارتعاشات دست و بازو قرار گرفته‌اند شناسایی شده است [۶]. ارتعاشات دست و بازو باعث اختلال در خون‌رسانی به انگشتان و اعصاب محیطی دست و بازو می‌شود [۷]. کارگرانی که روزانه در معرض ارتعاشات بیش‌ازحد منتقل‌شده به سیستم دست و بازو قرار می‌گیرند ممکن است در طولانی مدت از اختلالات جریان خون در انگشتان دست و اختلالات عملکرد عصبی و حرکات دست و بازو رنج ببرند [۸]. ارتعاشات مکانیکی در اره موتوری به‌طور عمده در اثر حرکت پیستون به عقب و

<sup>1</sup> whole body vibration

<sup>2</sup> hand-arm vibration

<sup>3</sup> White finger disease

<sup>4</sup> secondary Raynaud's syndrome

<sup>5</sup> cutters

<sup>6</sup> cutting chain

راست و چپ (به ترتیب ۰/۹-۱/۰ متر بر مجذور ثانیه و اره برقی دیگر با باتری دیگر، Stihl MSA200C به ترتیب ۲/۲-۳/۲ متر بر مجذور ثانیه رأی دستگیره‌های راست و چپ را نشان داد. در نتیجه، ارتعاشات برای اره‌های برقی با باتری کمتر از اره‌های موتوری سیمی بود، اما به‌طور کلی، همه مقادیر کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در مطالعات قبلی اره‌های برقی گرماگیر بود [۷]. Khajavi و همکاران (2012) نشان دادند که میانگین مقدار لرزش معادل اره موتوری ( $a_{eq}$ ) در گونه‌ی انجیلی در هر سه محور ( $x, y, z$ ) بیشتر از گونه‌های صنوبر و توسکا است [۱۹] و به‌طور معنی‌داری در هر سه گونه، در جهت  $x$  بیشترین و جهت  $z$  کمترین مقدار لرزش وجود دارد. نتایج آزمون دانکن نشان داد، در گونه‌ی انجیلی اختلاف معنی‌داری بین سه محور ( $x, y, z$ ) وجود دارد و در گونه‌ی صنوبر و توسکا اختلاف معنی‌داری در جهت  $x$  و  $z$  وجود دارد و جهت  $y$  هم با جهت  $x$  و هم با جهت  $z$  اختلاف معنی‌داری دارد ( $0.05 < P$ ). همچنین نتایج نشان داد مقدار لرزش کل اره موتوری، قابلیت انتقال لرزش و دوره‌ی مواجهه‌ی روزانه در بینه‌بری گونه‌ی انجیلی بیشتر از گونه‌های صنوبر و توسکا است که از دلایل این تفاوت می‌توان به افزایش دانسیته، کاهش درصد رطوبت و قطر بالا درخت انجیلی اشاره کرد [۱۹]. Feyzi و همکاران (2022) تأثیر گونه‌های مختلف چوب جنگلی (راش، ممرز و توسکا) بر ارتعاشات انتقال‌یافته به دست و بازو را بررسی نمودند [۲۰] و نتیجه گرفتند که تغییر گونه چوب، می‌تواند به‌طور معنی‌داری بر میزان جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در هر سه نقطه تأثیر بگذارد. مقدار جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش از دسته به سمت بازو روند کاهشی داشت. جالب است که تفاوت‌های معنی‌داری در انتقال‌پذیری ارتعاش در فرکانس‌های مختلف مشاهده شد. این مطالعه تأیید می‌کند که اندام‌های بدن ارتعاشات با فرکانس‌های بالا را بهتر از فرکانس‌های پایین می‌رسانند. هر چند که میزان مجذور میانگین مربعات در حالت‌های برش چوب نسبت به نمونه شاهد کمتر است، اما مقدار شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی و در نتیجه خطر ابتلا به عارضه انگشت سفید در حالت‌های برش چوب بیشتر است [۲۰].

گونه‌های راش، ممرز به همراه گونه انجیلی از گونه‌های اصلی و مهم تشکیل‌دهنده تعداد و حجم در

تجهیزات ایمنی ممکن است اثرات انتشار گاز، صدا و لرزش را بدتر کند. کار یک اپراتور اره موتوری نه‌تنها با بار فیزیکی زیاد و خطر بالای تصادف مشخص می‌شود، بلکه سلامت او را از جهات دیگری نیز به خطر می‌اندازد که ارتعاشات و صدا مهم‌ترین آن‌هاست [۱۵]. استفاده از اره موتوری به تعداد زیادی از تهدیدات ارگونومیک مرتبط است. کارگران جنگل تحت تأثیر گازهای خروجی آگزوز [۱۶]، گرد و غبار چوب [۱۷] و وضعیت نامناسب بدن که باعث آسیب به کمر شده [۱۸] می‌شوند. باین‌حال، دو تهدید اغلب مستند شده در طول قطع دستی موتوری شامل قرار گرفتن در معرض سر و صدا و لرزش است.

Rottensteiner و همکاران (2012) در معرض قرارگیری ارتعاش دست و بازو را با تمرکز بر تأثیر چگالی مختلف گونه‌های درختی بررسی نمودند [۱۵]. ارتعاش در هنگام برش مقاطع صنوبر سیاه (تراکم خشک در کوره ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب)، پیسه‌آ (تراکم خشک در کوره ۳۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و راش اروپایی (تراکم خشک در کوره ۷۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب) در سه مورد اندازه‌گیری شد. مدل‌های اره برقی Husqvarna در اندازه و توان خروجی متفاوت استفاده شد. اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل ارتعاش مطابق با دستورالعمل‌های ISO 5349-1 و ISO 5349-2 انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که مقدار کلی ریشه مربع خطای وزن نشده شتاب ارتعاش بین گونه‌های درختی تفاوتی ندارد. به‌رحال، منحنی پاسخ فرکانسی راش با صنوبر و پیسه‌آ متفاوت بود. با اعمال فیلتر وزن دهی ISO 5349-1، ارتعاش وزن فرکانسی راش نسبت به صنوبر و پیسه‌آ دارای مقادیر بالاتری بود. تفاوت معنی‌داری بین صنوبر و پیسه‌آ مشاهده نشد. مقادیر ارتعاش (اندازه‌گیری شده روی دسته عقب اره موتوری) به ترتیب از  $4.06 \text{ m/s}^2$  تا  $4.92 \text{ m/s}^2$  برای صنوبر،  $4.38 \text{ m/s}^2$  تا  $5.66 \text{ m/s}^2$  برای پیسه‌آ و  $5.84 \text{ m/s}^2$  تا  $7.38 \text{ m/s}^2$  متر بر ثانیه برای راش متغیر بود [۱۵].

Neri و همکاران (2018)، لرزش ناشی از چهار مدل اره موتوری برقی (Stihl MSA160T، Stihl MSA200C، Stihl MSE220C، Stihl MSE180C) و باتری لیتیوم یونی (سیم) در عملیات بینه‌بری را اندازه‌گیری نمودند [۷]. مقادیر اندازه‌گیری شده روی اره برقی Stihl MSA160T با باتری لیتیومی، سطوح ارتعاش مشابهی را در هر دو دسته

به منظور بررسی اثرات زیان‌آور لرزش و شدت آن در عملیات بینه‌بری با اره موتوری، سه درخت و سه بینه از هرگونه مورد بررسی قرار گرفت و بنابراین، این پژوهش بر روی ۹ درخت و ۹ گرده‌بینه انجام گرفت. اره موتوری مورد استفاده در این تحقیق از کمپانی STIHL آلمان و مدل 070 بوده است. در انتخاب کارگر اره موتورچی، سعی بر آن شد که این کارگر آموزش‌دیده و ماهر بوده و دارای سابقه‌ی زیاد در بینه‌بری درختان جنگلی باشد. اندازه-گیری لرزش‌ها با استفاده از دستگاه ارتعاش سنج 106 SVANTEK صورت گرفت (شکل ۱). به‌طور هم‌زمان، مبادرت به اندازه‌گیری لرزش دست - بازو در سه جهت در دسته محور عقب و دسته محور جلوی اره موتوری شد. اندازه‌گیری در دو حالت بدون گاز<sup>۷</sup> (قبل از برش درختان) و با گاز<sup>۸</sup> (درگیر) انجام گرفت. لازم به ذکر است تمام اندازه‌گیری‌ها با سه تکرار انجام گرفتند. بر اساس استاندارد ISO ۱-۵۳۴۹، اندازه‌گیری لرزش‌ها باید در سه محور مختصاتی x، y و z صورت بگیرد و از جمع مقادیر این سه محور، لرزش کل اره موتوری<sup>۹</sup> (ahv) تعیین می‌شود (شکل ۱). ارتعاش سنج و فیلتر مکانیکی باید بر روی دسته اره موتوری از طریق وسایل چفت‌وبست کننده با رعایت استاندارد ISO ۵۳۴۹-۲ وصل شوند.

در این پژوهش از چهار شاخص مقدار کلی لرزش اره موتوری، قابلیت انتقال لرزش، دوره‌ی مواجهه روزانه و پیش‌بینی‌گر مدت زمان ابتلا به بیماری دست سفید برای تبیین وضعیت لرزش اره موتوری استفاده شد: برای محاسبه مقدار کلی لرزش اره موتوری ( $a_{hv}$ ) بر اساس استاندارد ISO ۵۳۴۹-۱، از رابطه ۱ استفاده شد.

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hvx}^2 + a_{hvy}^2 + a_{hvw}^2} \quad (1)$$

جنگل‌های هیرکانی شمال ایران هستند که در عملیات مدیریت جنگل نیز دارای نقش اساسی هستند. یکی از فعالیت‌های مهم، عملیات قطع و تبدیل این گونه‌ها با استفاده از اره موتوری است که در نتیجه نوع گونه چوبی و دانسیته آن می‌تواند بر ارتعاش دست - بازو و سلامتی کارگران در جنگل اثرگذار باشد، بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر نوع گونه درختی (ممرز، راش و انجیلی) بر میزان مواجهه شغلی کارگران جنگل با ارتعاش دست - بازو در کار با اره موتوری در جنگل آموزشی - پژوهشی خیرود انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد پژوهش

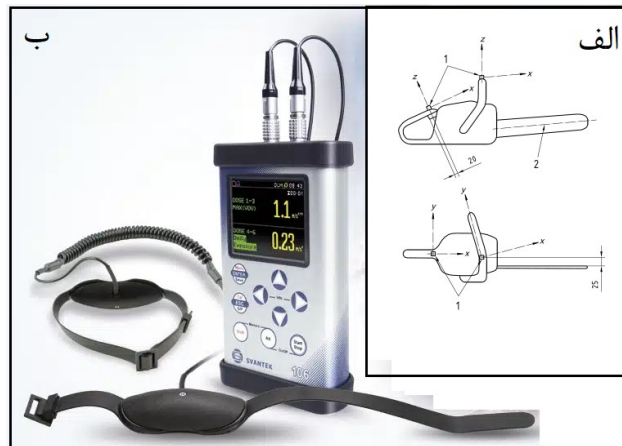
این پژوهش در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود به مساحت ۹۰۰۰ هکتار انجام شده که با هفت بخش در ۷ کیلومتری شرق نوشهر واقع شده است. بخش پاتم پارسل ۱۰۲ با شیب ۷۰ درصد، منطقه مورد مطالعه حاضر را تشکیل می‌دهد. این تحقیق در قطعه ۱۰ سری یک پاتم جنگل آموزشی خیرود در حوزه آبخیز شماره ۴۵ در فاصله ۱۵ کیلومتری شرق نوشهر انجام شده است. مساحت پارسل ۴۸ هکتار، ارتفاع از سطح دریا پارسل مورد مطالعه ۳۳۰ تا ۴۸۰ متر، میزان بارندگی سالیانه ۱۲۷۹ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. سنگ مادر آهکی مربوط به دوره ژوراسیک، تیپ خاک قهوه‌ای جنگلی و تیپ غالب جنگل ممرزستان همراه با سایر گونه‌هاست. در این سری از دوره بهره‌برداری ۱۳۸۴-۱۳۸۵ برداشت چوبی به دلیل وجود دام متوقف و تنها طرح حفاظتی اجرا شده است. شیوه جنگل‌شناسی گذشته سری، تک‌گزینی بوده است. قطر متوسط درختان ۳۵ سانتی‌متر و متوسط ارتفاع ۲۲/۶۰ متر است. از تاریخ ۱ لغایت ۴ آذر ۱۳۹۵ بارش برف سنگین به ارتفاع بیش از ۱۰۰ سانتی‌متر در منطقه تحقیق به زمین نشست. گونه‌های درختی مهم در این بخش شامل ممرز، راش و انجیلی است که بعد از خسارات ناشی از برف نشانه‌گذاری و قطع شده‌اند.

### روش پژوهش

<sup>7</sup> Idling

<sup>8</sup> Full load

<sup>9</sup> Vibration total value (ahv)



شکل ۱- (الف) جهت اندازه‌گیری و مثال در مورد استقرار شتاب سنج‌ها روی دسته اره موتوری (عدد ۱= شتاب سنج، ۲= خط وسط تیغه؛ ابعاد به میلی‌متر است)؛ (ب) دستگاه ارتعاش سنج SVANTEK 106

ارتعاشات معادل هشت ساعت استفاده می‌شود (رابطه ۳).

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (3)$$

که 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 استاندارد ISO ۵۳۴۹، مدت زمان مواجهه‌ای که طی یک هفته، ۱۰ درصد کارگران اره موتوری به بیماری دست سفید مبتلا می‌شوند، از رابطه ۴ قابل برآورد می‌باشد:

$$D_y = 31.8[A(8)]^{-1.06} \quad (4)$$

که در این رابطه،  $D_y$  مدت زمان مواجهه با ارتعاش (سال) و  $A(8)$  مقدار کلی ارتعاشات در هشت ساعت (متر بر مجذور ثانیه) است.

در بسیاری از موارد نیازمند محاسبه یک حد زمانی خواهیم بود، در نظر گرفتن این حد زمانی به ما این امکان را خواهد داد تا ارزیابی اثرات ایجادشده بر کارگر استفاده‌کننده از ابزار بر اساس این واحد ارزیابی شود (رابطه ۵).

که در این رابطه  $a_{hv}$  شتاب کلی لرزش-های اره موتوری (متر بر مجذور ثانیه)،  $a_{hvx}$  شتاب وزن‌دار شده اره موتوری در محور  $x$  (متر بر مجذور ثانیه)،  $a_{hvy}$  شتاب وزن‌دار شده اره موتوری در محور  $y$  (متر بر مجذور ثانیه) و  $a_{hvz}$  شتاب وزن‌دار شده اره موتوری در محور  $z$  (متر بر مجذور ثانیه) هستند.

برای محاسبه‌ی قابلیت انتقال لرزش، از متداول‌ترین روش، بر اساس رابطه ۲ استفاده شد:

$$T_r = \frac{Z_{out}}{Z_{in}} \quad (2)$$

که در این رابطه،  $T_r$  قابلیت انتقال (بدون واحد)،  $Z_{out}$  میزان لرزش 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 لرزش‌های ناشی از کار با اره موتوری قرار دارند، تعریف می‌شود. برای مقایسه بهتر مواجهه‌های روزانه که در طول مدت‌زمان‌های متفاوت اتفاق می‌افتد، از شاخص مقدار کلی

<sup>1</sup> - Transmitted vibration coefficient (Tr)

<sup>1</sup> - Daily exposure duration (A(8))

مقایسه میانگین‌های آماری، از آزمون‌های  $t$  و  $F$  و به‌منظور بررسی روابط همبستگی، ضریب پیرسون ( $r$ ) مورد استفاده قرار گرفت. کلیه آنالیزهای آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام پذیرفتند. با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 23 کلیه آنالیزهای آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

مقدار لرزش معادل اره موتوری ( $a_{eq}$ ) در حالت بدون گاز و در حالت با گاز (درگیر)

مقدار میانگین کلی لرزش اره موتوری در حالت بدون گاز در دسته جلو (۲/۲۵ متر بر مجذور ثانیه) و دسته عقب (۲/۳۹ متر بر مجذور ثانیه) است که بر اساس آزمون  $t$  تفاوت معنی‌داری ندارند ( $P < 0.05$ ).

$$t_{\max} = \left( \frac{A(8)}{\alpha_{hv}} \right)^2 \times 8h \quad (5)$$

که در این رابطه،  $t_{\max}$  حداکثر حد زمانی در معرض قرارگیری با ارتعاش (ساعت)،  $A(8)$  مقدار کلی ارتعاشات در هشت ساعت (متر بر مجذور ثانیه) و  $\alpha_{hv}$  مقدار کلی لرزش اره موتوری است.

### روش تجزیه و تحلیل آماری

بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> و همگن بودن داده‌ها نیز از طریق آزمون لون انجام شد. برای بررسی تفاوت معنی‌دار بین مقدار ارتعاش کل اره موتوری در قطرهای مختلف درختان و گرده‌بینه از آنالیز واریانس و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد. برای

جدول ۴-۱- مشخصات آماری لرزش معادل اره موتوری (متر بر مجذور ثانیه) در محورهای مختلف  $x$ ،  $y$  و  $z$  در دسته جلو و عقب

دسته عقب			دسته جلو			آماره
$z$	$y$	$x$	$z$	$y$	$x$	
۱/۲۴	۱/۵۱	۱/۳۷	۱/۱۸	۱/۴۱	۱/۲۹	میانگین (متر بر مجذور ثانیه)
$\pm 0.06$	$\pm 0.09$	$\pm 0.07$	$\pm 0.05$	$\pm 0.07$	$\pm 0.04$	خطای معیار (متر بر مجذور ثانیه)

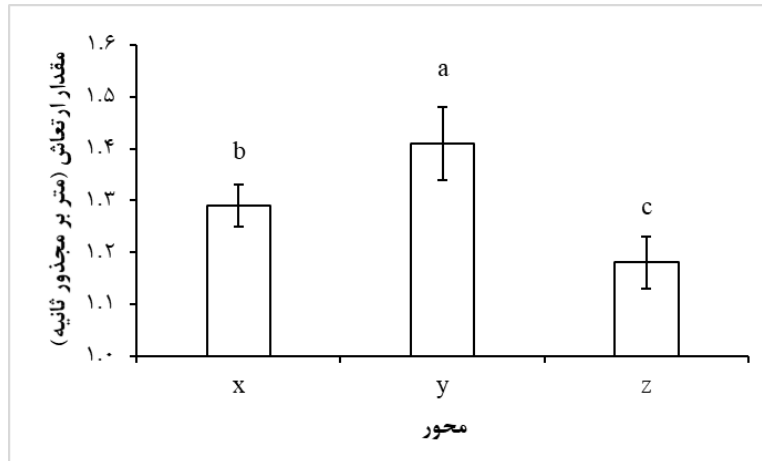
<sup>1</sup> Index of vibration equal value ( $\hat{a}_{eq}$ )

<sup>2</sup> Kolomogorov-Smirnov test

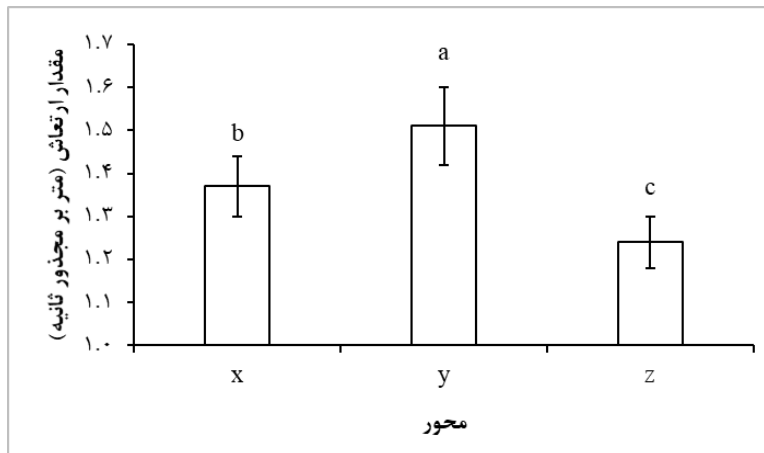
<sup>1</sup> Levene's test

بر اساس آزمون F، در دسته عقب نیز مقدار لرزش معادل اره موتوری در محور Y به طور معنی داری از محورهای X و Z بیشتر است ( $P < 0/05$ ؛ شکل ۲).

نتایج آزمون F نشان داد که در دسته جلو اره موتوری، مقدار لرزش معادل در محور Y به طور معنی داری بیش تر از دو محور دیگر می باشد ( $P < 0/05$ ؛ شکل ۱). علاوه بر این



شکل ۱- مقدار لرزش معادل اره موتوری در دسته جلو در محورهای X، Y و Z بر اثر سه تکرار. پارها نشان دهنده خطای معیار میانگین و حروف نامشابه انگلیسی اشاره به معنی داری مقایسه میانگین ها بین محورهای مختلف اره موتوری دارد ( $P < 0/05$ ).



شکل ۲- مقدار لرزش معادل اره موتوری در دسته عقب در محورهای X، Y و Z بر اثر سه تکرار. حروف نامشابه انگلیسی اشاره به معنی داری مقایسه میانگین ها بین محورهای مختلف اره موتوری دارد ( $P < 0/05$ ).

آمد. نتایج حاصل از آزمون F نشان می دهد که در گونه ممرز، مقدار لرزش معادل اره موتوری در محور X و Y به طور معنی داری بیش تر از محور Z در دسته جلو است. همچنین، مقدار لرزش معادل در دسته عقب در محور X به طور معنی داری بیش تر از محور Y و محور Y نیز به طور معنی داری بیش تر از محور Z است. در مورد سایر گونه ها نیز چه در دسته جلو و چه عقب، مقدار لرزش معادل اره

### لرزش معادل در حالت با گاز (درگیر) در مرحله قطع درختان

مشخص های آماری مقدار لرزش معادل (aeq) در سه محور و در حالت درگیر برای سه گونه ممرز، راش و انجیلی در مرحله قطع در جدول ۲ آمده است. بر این اساس، میانگین لرزش معادل اره موتوری در درختان انجیلی در هر سه محور بیش تر از دو گونه دیگر به دست

در محور X دسته عقب به طور معنی داری بیش تر از دسته جلو حاصل شد ( $t = 0/13; P < 0/05$ ). در گونه انجیلی نیز مقدار میانگین لرزش معادل اره موتوری در محور X در دسته های عقب و جلو دارای اختلاف معنی داری در سطح ۹۵ درصد می باشد ( $t = 0/07$ ).

موتوری در محور X به طور معنی داری بیش تر از محور Y (در بیش تر موارد) و Z (در تمامی موارد) است. همچنین بر اساس آزمون t، میانگین لرزش معادل اره موتوری در ممز در محور X دسته عقب به طور معنی داری بیش تر از دسته جلو است ( $t = 0/14; P < 0/05$ ). در ارتباط با گونه راش نیز میانگین لرزش معادل اره موتوری

جدول ۲- مشخصه های آماری لرزش معادل اره موتوری در محورهای مختلف X، Y و Z در دسته جلو و عقب در مرحله قطع درختان

گونه	آماره	دسته جلو			دسته عقب		
		X	Y	Z	X	Y	Z
ب. ک	میانگین (متر بر مجذور ثانیه)	<sup>a</sup> ۲/۹۴	<sup>a</sup> ۲/۸۲	<sup>b</sup> ۲/۱۶	<sup>a</sup> ۳/۲۱	<sup>b</sup> ۲/۸۵	<sup>c</sup> ۲/۲۹
	خطای معیار (متر بر مجذور ثانیه)	± ۰/۰۷	± ۰/۰۹	± ۰/۰۴	± ۰/۰۹	± ۰/۱۱	± ۰/۰۸
ج. ک	میانگین (متر بر مجذور ثانیه)	<sup>a</sup> ۴/۲۳	<sup>b</sup> ۳/۸۲	<sup>c</sup> ۳/۱۳	<sup>a</sup> ۴/۵۱	<sup>b</sup> ۳/۸۹	<sup>c</sup> ۳/۲۶
	خطای معیار (متر بر مجذور ثانیه)	± ۰/۲۵	± ۰/۲۳	± ۰/۱۷	± ۰/۲۱	± ۰/۲۴	± ۰/۱۵
د. ک	میانگین (متر بر مجذور ثانیه)	<sup>a</sup> ۴/۲۸	<sup>ab</sup> ۳/۸۹	<sup>b</sup> ۳/۴۴	<sup>a</sup> ۴/۵۱	<sup>a</sup> ۴/۲۲	<sup>b</sup> ۳/۶۱
	خطای معیار (متر بر مجذور ثانیه)	± ۰/۳۱	± ۰/۲۹	± ۰/۲۳	± ۰/۲۸	± ۰/۳۱	± ۰/۲۷

محور X و Y به طور معنی داری بیش تر از محور Z در دسته جلو است. همچنین، مقدار لرزش معادل در دسته عقب در محور X به طور معنی داری بیش تر از محور Z است. در مورد سایر گونه ها نیز چه در دسته جلو و چه عقب، مقدار لرزش معادل اره موتوری در محور X به طور معنی داری بیش تر از محور Y (در بیش تر موارد) و Z (در تمامی موارد) است. همچنین بر اساس آزمون t، میانگین لرزش معادل اره موتوری در راش در محورهای X ( $t = 0/18$ ) و Z ( $t = 0/18$ ) (= دسته عقب به طور معنی داری بیش تر از دسته جلو است) ( $P < 0/05$ ). در ارتباط با گونه انجیلی نیز مقدار میانگین لرزش معادل اره موتوری در محور X در دسته های عقب و جلو دارای اختلاف معنی داری در سطح ۹۵ درصد می باشد ( $t = 0/12$ ).

حروف نامشابه انگلیسی اشاره به اختلاف معنی دار بین محورهای مختلف در هر دسته اره موتوری در سطح ۹۵ درصد با استفاده از آزمون F دارد. همچنین علامت \* اشاره به معنی دار بودن اختلاف در سطح ۹۵ درصد بین دو دسته عقب و جلو در محورهای یکسان، با استفاده از آزمون t دارد.

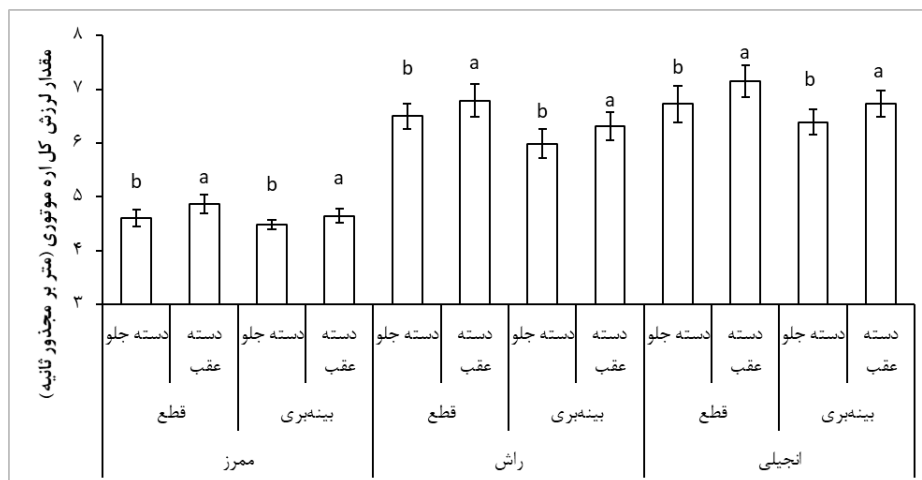
مشخصات آماری مقدار لرزش معادل (aeq) در سه محور و در حالت درگیر برای سه گونه ممز، راش و انجیلی در مرحله بینه در جدول ۳ مندرج شده است. بر این اساس، میانگین لرزش معادل اره موتوری در بینه های انجیلی در هر سه محور بیش تر از دو گونه دیگر به دست آمد. نتایج حاصل از آزمون F نشان می دهد که برای نمونه، در گرده بینه های ممز، مقدار لرزش معادل اره موتوری در

جدول ۳- مشخصه های آماری لرزش معادل اره موتوری در محورهای مختلف X، Y و Z در دسته جلو و عقب در مرحله بینه بری

گونه	آماره	دسته جلو			دسته عقب		
		X	Y	Z	X	Y	Z
ب. ک	میانگین (متر بر مجذور ثانیه)	<sup>a</sup> ۲/۸۷	<sup>a</sup> ۲/۷۴	<sup>b</sup> ۲/۱۲	<sup>a</sup> ۳/۰۲	<sup>ab</sup> ۲/۷۹	<sup>b</sup> ۲/۱۸
	خطای معیار (متر بر مجذور ثانیه)	± ۰/۰۹	± ۰/۱۲	± ۰/۰۵	± ۰/۱۱	± ۰/۰۷	± ۰/۰۹
ج. ک	میانگین (متر بر مجذور ثانیه)	<sup>a</sup> ۳/۹۱	<sup>ab</sup> ۳/۶۰	<sup>b</sup> ۲/۷۶	<sup>a</sup> ۴/۱۰	<sup>b</sup> ۳/۷۱	<sup>c</sup> ۳/۰۳
	خطای معیار (متر بر مجذور ثانیه)	± ۰/۱۹	± ۰/۲۲	± ۰/۲۵	± ۰/۳۱	± ۰/۲۴	± ۰/۱۶
د. ک	میانگین (متر بر مجذور ثانیه)	<sup>a</sup> ۴/۰۹	<sup>b</sup> ۳/۷۴	<sup>c</sup> ۳/۱۹	<sup>a</sup> ۴/۲۹	<sup>ab</sup> ۳/۹۶	<sup>b</sup> ۳/۳۴
	خطای معیار (متر بر مجذور ثانیه)	± ۰/۳۲	± ۰/۲۱	± ۰/۲۸	± ۰/۲۶	± ۰/۱۹	± ۰/۲۳

درختان ممرز، راش و انجیلی در دسته عقب به طور معنی-داری بیش تر از دسته جلو به دست آمد ( $P < 0/05$ ;  $0/08$ ). نتایج آزمون t نشان داد که مقدار کل لرزش  $t =$  (شکل ۳). درختان ممرز، راش و انجیلی در دسته عقب به طور معنی داری بیش تر از دسته جلو است ( $P < 0/05$ ;  $t = 0/04$ ) (شکل ۳).

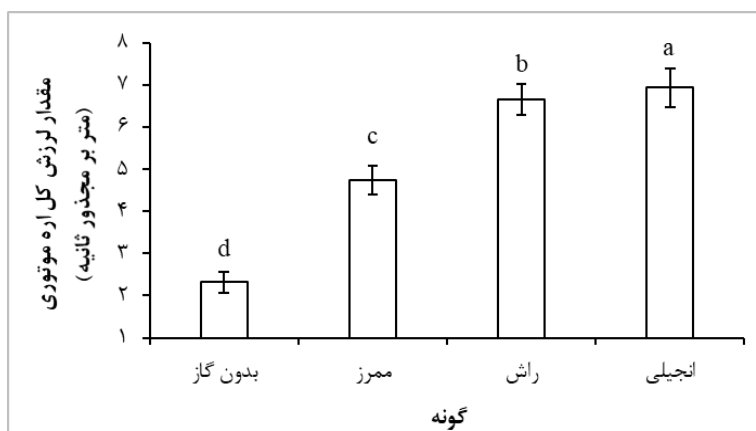
حروف نامشابه انگلیسی اشاره به اختلاف معنی دار بین محورهای مختلف در هر دسته اره موتوری در سطح ۹۵ درصد با استفاده از آزمون F دارد. همچنین علامت \* اشاره به معنی دار بودن اختلاف در سطح ۹۵ درصد بین دو دسته عقب و جلو در محورهای یکسان، با استفاده از آزمون t دارد. مقدار لرزش کل اره موتوری در هنگام قطع



شکل ۳- مقدار لرزش کل اره موتوری ( $a_{hv}$ ) در دسته های جلو و عقب به هنگام قطع و بینهبری درختان سه گونه ممرز، راش و انجیلی. پارها نشان دهنده خطای معیار میانگین هستند.

نتایج حاصل از آزمون توکی نشان داد که میانگین کل لرزش اره موتوری در ممرز به طور معنی داری بیش تر از حالت بدون گاز به دست آمد ( $P < 0/05$ ).

نتایج حاصل از آزمون توکی نشان داد که میانگین کل لرزش اره موتوری در انجیلی و راش به طور معنی داری بیش تر از ممرز است (در سطح معنی داری ۹۵ درصد؛



شکل ۴- مقدار لرزش کل اره موتوری ( $a_{hv}$ ) در حالت درگیر و بدون گاز. حروف نامشابه انگلیسی اشاره به معنی داری اختلاف بر اثر آزمون توکی در سطح معنی داری ۹۵ درصد دارند.

## قابلیت انتقال لرزش

میانگین قابلیت انتقال لرزش در دسته عقب در تمامی گونه‌ها بیش‌تر از دسته جلو به دست آمد (جدول ۴). بر اساس آزمون  $t$ ، قابلیت انتقال لرزش در ممرز در دسته عقب در هنگام قطع به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از آن در مرحله بینه‌بری است ( $t = 0.08, P < 0.05$ ). در راش نیز قابلیت انتقال لرزش در دسته عقب از موتوری به هنگام

قطع به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از بینه‌بری است ( $t = 0.05P < 0.05$ ). به‌علاوه، قابلیت انتقال لرزش در راش در دسته جلو به هنگام قطع به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از هنگام بینه‌بری است ( $t = 0.12; P < 0.05$ ). نتایج آزمون توکی نشان داد که قابلیت انتقال لرزش در راش و انجیلی در هنگام قطع و بینه‌بری در دسته‌های جلو و عقب، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ممرز است ( $P < 0.05$ ).

جدول ۴- قابلیت انتقال لرزش (بدون واحد) در دسته جلو و عقب از موتوری

بینه‌بری		قطع		
دسته عقب	دسته جلو	دسته عقب	دسته جلو	
۱/۹۳ <sup>b</sup>	۱/۹۱	۲/۰۳ <sup>a</sup>	۱/۹۱	ممرز
۲/۵۶ <sup>b</sup>	۲/۵۱	۲/۸۱ <sup>a</sup>	۲/۷۲	راش
۲/۷۶	۲/۶۵ <sup>b</sup>	۲/۸۹	۲/۸۳ <sup>a</sup>	انجیلی
۲/۴۰	۲/۳۳	۲/۴۹	۲/۵۵	میانگین کل درختان

در انجیلی در مرحله قطع به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از مرحله بینه‌بری هم در زمان دو ساعت ( $t = 0.10; P < 0.05$ ) و هم سه ساعت بود ( $t = 0.08; P < 0.05$ ). نتایج آزمون توکی نشان داد ( $P < 0.05$ ) که مقدار دوره مواجهه روزانه در زمان دو ساعت و هم در زمان سه ساعت، در گونه انجیلی و راش به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ممرز بود (هم مرحله قطع و هم بینه‌بری).

حروف نامشابه انگلیسی اشاره به معنی‌دار بودن اختلاف در سطح ۹۵ درصد بین مرحله قطع و بینه‌بری در ساعت‌های یکسان، با استفاده از آزمون  $t$  دارد.

حروف نامشابه انگلیسی اشاره به معنی‌دار بودن اختلاف در سطح ۹۵ درصد بین مرحله قطع و بینه‌بری در دسته‌های یکسان، با استفاده از آزمون  $t$  دارد.

## دوره مواجهه روزانه

برای محاسبه دوره مواجهه روزانه از شاخص مقدار کلی ارتعاشات استفاده شد و فرض بر آن شد که هر کارگر از موتوری روزانه دو تا سه ساعت در معرض لرزش قرار دارد و در نتیجه مقدار دوره مواجهه روزانه در جدول ۵ محاسبه شد. بر اساس آزمون  $t$ ، مقدار دوره مواجهه روزانه

جدول ۵- دوره مواجهه روزانه از موتوری در مراحل قطع و تبدیل

بینه‌بری		قطع		
سه ساعت	دو ساعت	سه ساعت	دو ساعت	
۲/۷۹	۲/۳۲	۲/۹۳	۲/۳۷	ممرز
۳/۷۱	۳/۰۴	۴/۰۲	۳/۳۳	راش
۴/۰۵ <sup>b</sup>	۳/۲۷ <sup>b</sup>	۴/۲۵ <sup>a</sup>	۳/۴۳ <sup>a</sup>	انجیلی
۳/۵۲	۲/۸۸	۳/۷۴	۳/۰۴	میانگین کل درختان

سفید مبتلا می‌شوند، از رابطه ۴ و بر اساس فرضیات دو و سه ساعت استفاده شد (جدول ۶). بر این اساس هرچه مقدار ساعت مواجهه کارگر از موتوری در یک روز بیش‌تر شود و هم‌چنین مقدار لرزش کل از موتوری

## بیش‌بینی‌گر مدت زمان ابتلا به بیماری دست

## سفید

برای محاسبه مدت زمان مواجهه‌ای که طی یک هفته، آن ۱۰ درصد کارگران از موتوری به بیماری دست

حروف نامشابه انگلیسی اشاره به معنی دار بودن اختلاف در سطح ۹۵ درصد بین مرحله قطع و بینه‌بری در ساعت‌های یکسان، با استفاده از آزمون t دارد.

### حد زمانی

حد زمانی بر اساس رابطه ۵ محاسبه شد (جدول ۷) و بر این اساس، یک کارگر اره موتورچی به‌طور متوسط برای هر سه گونه در هرروز حداکثر می‌تواند ۱/۸۹ ساعت در مرحله قطع با اره موتوری کار کند و این مدت زمان در هنگام کار در مرحله بینه‌بری بیش‌تر از قطع می‌باشد (۲/۵۴ ساعت).

افزایش یابد، کارگر در طول هفته می‌بایستی مدت زمان کم‌تری از اره استفاده نماید. نتایج آزمون t نشان‌دهنده این موضوع است که مقدار پیش‌بینی گر مدت زمان ابتلا به بیماری دست سفید در زمان دو ساعت در هرروز و در مرحله بینه‌بری در راش و انجیلی، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از مرحله قطع است ( $P < 0.05$ ). نتایج آزمون توکی نیز نشان داد ( $P < 0.05$ ) که مقدار پیش‌بینی گر مدت زمان ابتلا به بیماری دست سفید در زمان دو ساعت و هم در زمان سه ساعت، در گونه انجیلی و راش به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ممرز است (هم مرحله قطع و هم بینه‌بری).

جدول ۶- پیش‌بینی گر مدت زمان ابتلا به بیماری دست سفید بر اثر کار با اره موتوری در مراحل قطع و تبدیل

گونه	قطع		بینه‌بری	
	دو ساعت	سه ساعت	دو ساعت	سه ساعت
ممرز	۱۲/۷۲	۱۰/۳۱	۱۳/۲۱	۱۰/۶۱
راش	۸/۸۹ <sup>b</sup>	۷/۲۷	۹/۷۶ <sup>a</sup>	۷/۸۲
انجیلی	۸/۴۹ <sup>b</sup>	۶/۹۳	۹/۰۴ <sup>a</sup>	۷/۲۳
میانگین کل درختان	۹/۸۱	۷/۹۲	۱۰/۴۰	۸/۳۱

جدول ۷- حداکثر حد زمانی (ساعت) در معرض قرارگیری با ارتعاش در کار با اره موتوری در مراحل قطع و بینه‌بری

بینه‌بری	قطع	
۲/۹۴	۲/۴۸	ممرز (ساعت)
۲/۴۷	۱/۹۳	راش (ساعت)
۲/۴۱	۱/۲۱	انجیلی (ساعت)
۲/۵۴	۱/۸۹	میانگین کل درختان (ساعت)

هنگام قطع درختان غالب جنگل‌های شمال (ممرز، راش و انجیلی) و در حالت آزاد (بدون قطع درخت) انجام گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار میانگین لرزش معادل اره موتوری در حالت بدون گاز در دسته جلو و دسته عقب تفاوت معنی‌داری ندارند. Feyzi و همکاران (2022) نیز به این نتیجه رسیدند که در حالت بدون گاز، مقدار لرزش معادل اره موتوری در دسته جلو و عقب از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ندارد [۲۰]. یکی از دلایل این نتیجه این است که احتمالاً در زمان بدون گاز، سازندهی اره موتوری به این موضوع دقت کرده که مقدار لرزش در دو دسته تفاوت معنی‌داری نداشته باشد. امروزه یکی از استانداردهای لازم برای ساخت اره موتوری، عدم اختلاف

در یک قرن گذشته، پیشرفت دانش و فناوری سبب رشد گسترده اقتصادی در اغلب کشورهای صنعتی شده است. امروزه اکثر کارهای رشته جنگلداری با ماشین‌های ساده و یا پیچیده انجام می‌پذیرد. ماشین‌های موجود به علت داشتن اجزای متحرک دارای ارتعاشات هستند و کاربر آن‌ها در معرض این ارتعاشات قرار دارد. در جنگل‌های صنعتی شمال کشور، به دلیل داشتن شیب‌های به‌نسبت زیاد، درختان قطور و به‌علاوه استفاده از روش‌های قطع گزینشی، امروزه عمده ابزار قطع و تبدیل درختان، اره موتوری است [۱] و بزرگ‌ترین عیب اره‌های موتوری، لرزش دائمی آن‌ها است؛ بنابراین این پژوهش با هدف اندازه‌گیری ارتعاشات بر روی دسته‌های اره موتوری در

ایمی مناسب‌تر است. در ادامه یک انحناء بر روی فلس‌های راننده ایجاد شدند و بعدها یک طراحی مناسب برای خارک‌های محدودکننده عمق نیز شکل گرفت. زنجیره‌هایی که امروزه ساخته می‌شوند علاوه بر تخصص مناسب برای کارهای مختلف، دارای لرزش کمتر و ضد لگزدن می‌باشند [۲۱]. استفاده از لوازم حفاظت فردی نظیر کفش و دستکش ضد ارتعاش می‌تواند به همراه سایر روش‌ها اهمیت داشته باشد. برخلاف محدودیت‌های استفاده از لوازم حفاظت فردی در مقابل سایر عوامل مخاطره‌زا از این روش می‌توان در کنترل ارتعاش، بدون مقاومت کارگر یا ایجاد عوارض و حتی بدون محدودیت در انجام کار استفاده نمود. اتصال دسته اره موتوری به واشرهای پلاستیکی یا فنرها می‌تواند به میرایی و کاهش ارتعاش کمک کند [۱۹، ۱۰]. لرزش اره موتوری در مرحله بینه‌بری و قطع درختان در راش و انجیلی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ممرز به دست آمد. از آنجایی که میانگین قطر درختان هر سه گونه و هم‌چنین میانگین قطر گرده-بینه‌های موردبررسی تقریباً برابر بود، بنابراین این اختلاف به نوع چوب این گونه‌ها ارتباط دارد. مرور منابع نشان می‌دهد که چوب انجیلی تراکم بیش‌تری نسبت به چوب راش و چوب راش نیز تراکم بیش‌تری نسبت به ممرز دارد. چوب انجیلی بسیار سخت و با وزن مخصوص بالا است و درجه سختی آن بین ۶ تا ۹ است و این در حالی است که درجه سختی چوب راش بین ۳ تا ۶ و ممرز بین ۱/۵ تا ۳ است [۱۰، ۱۹، ۱۵]. دامنه ارتعاش بالاتر انجیلی احتمالاً به دلیل ویژگی‌های میرایی پایین‌تر از تراکم چوب بالاتر است. با این حال، از آنجایی که رزونانس چوب تحت تأثیر پارامترهای مختلفی غیر از چگالی و مدول الاستیسیته است، می‌توان فرض کرد که تفاوت‌ها در منحنی‌های فرکانس پاسخ به دلیل تفاوت‌های ساختاری در گونه‌های چوب است [۱۵]. به‌عبارت‌دیگر، با افزایش وزن مخصوص چوب و زیاد شدن مقدار ماده چوبی در واحد حجم، مقاومت مکانیکی چوب به‌ویژه در نیروهای برشی، کششی، فشاری، خمشی و سختی نیز زیادتر می‌شود [۱۹، ۱۵، ۲۶]. هم‌چنین، عوامل متعددی مانند شرایط رویشگاه، پهنای دایره رویش، ضخامت دیواره سلولی و نسبت چوب آغاز به چوب پایان بر دانسیته چوب مؤثر استنتاج این پژوهش

معنی‌دار بین لرزش دسته جلو و عقب اره در حین انجام کار است. هم‌چنین از آنجایی که بین محورهای مختلف اره موتوری، لرزش دارای تفاوت معنی‌داری است، در نتیجه این فرضیه به اثبات رسید که لازم است که اندازه‌گیری‌های لرزش در سه محور و هم‌زمان انجام شود. نتایج این پژوهش نشان داد که در دسته جلو و عقب اره موتوری، مقدار لرزش معادل در محور  $y$  به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از دو محور دیگر می‌باشد. Feyzi و همکاران (2022) نیز به نتیجه‌ای مشابه با این پژوهش رسیدند و بیان نمودند که در بیش‌تر تکرارهای بررسی‌شده، مقدار لرزش معادل اره موتوری در محور  $y$  بیش‌تر از دو محور دیگر است [۲۰]. پاسخ به این یافته نیازمند پژوهش‌های آتی و ریزتر بر این موضوع است و هنوز توسط پژوهش‌گران دلیل این تفاوت روشن نشده است. به‌طور کلی نتایج این تحقیق حاکی از این موضوع است که مقدار لرزش معادل در تمامی گونه‌ها در دسته عقب به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از دسته جلو اره موتوری است که هم‌سو با یافته‌های دیگر پژوهش‌گران است [۱۵، ۲۰]. ضروری است در پژوهش‌های آتی به دنبال راه‌حلی برای کاهش مقدار لرزش در دسته عقب اره موتوری بود. برای نمونه، Bayat و همکاران (2016) به این نتیجه رسیدند که استفاده از دسته‌های محرک، سبب میرا کردن لرزش شده و از این طریق می‌توان مقدار لرزش اره موتوری را کاهش داد [۳]. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود که کارگران اره موتوری، با انجام حرکات ورزشی در دستی که دسته عقب اره موتوری با آن در تماس است، به تقویت عضلات آن دست بپردازند. مواجهه با ارتعاش شغلی نباید از این حدود مواجهه مجاز فراتر رود. کل زمانی که ارتعاش طی یک روز کاری به‌صورت پیوسته یا متناوب به دست منتقل می‌شود، مقدار RMS مد نظر است. معمولاً ارتعاش در یک محور بیشتر از دو محور دیگر می‌باشد. اگر در یک یا چند محور میزان ارتعاش از "کل مدت مواجهه مجاز روزانه" تجاوز کند، از حد مجاز مواجهه شغلی نیز تجاوز کرده است، لیکن معیار مقایسه مقادیر برآیند سه جهت خواهد بود. طراحان زنجیر یک انحناء در فلس‌های اتصال زنجیر در بین فلس‌های برنده ایجاد کردند. این انحناء به‌منظور حرکت روان خارک محدودکننده بر روی سطح برنده ایجاد شد که در واقع ابداع نسل اول زنجیرهای با

خطر بیماری لرزش در اپراتورهای اره موتوری‌ها کمک کرده‌اند [۲۴،۲۳،۲۲].

### نتیجه‌گیری

یکی از وسایلی که کاربر آن در معرض ارتعاشات شدید قرار دارد، اره موتوری است که برای قطع درختان در عملیات قطع، سرشاخه زنی و بینه‌بری مورد استفاده قرار می‌گیرد. باید توجه نمود که در جنگل‌های شمال ایران به دلایل مختلف، مکانیزاسیون قطع و تبدیل همچنان در مراحل اولیه توسعه باقی‌مانده، 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 اپراتور خود وارد می‌کند؛ بنابراین این پژوهش با هدف اندازه‌گیری ارتعاشات بر روی دسته‌های اره موتوری در هنگام قطع درختان غالب جنگل‌های شمال (ممرز، راش و انجیلی) و در حالت آزاد (بدون قطع درخت) انجام گرفت. نتایج نشان داد که مقدار لرزش اره موتوری در هنگام قطع و بینه‌بری انجیلی و راش بیش‌تر از ممرز است که از دلایل این تفاوت می‌توان به تفاوت در چگالی و درجه سختی این دو چوب و نیز سن دیر زیستی آن‌ها اشاره کرد. هم‌چنین نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار لرزش اره موتوری در محورهای مختلف متفاوت است. ابزارهایی مانند اره موتوری منبع ارتعاشی رایج هستند و ارتعاش دست و بازو بدون توجه به نوع منبع تغذیه‌ای که استفاده می‌کند، می‌تواند رخ دهد. بنابراین، پس از تصمیم‌گیری در مورد کاهش خطر آسیب ناشی از ارتعاش در اره موتوری، باید کنترل‌های مهندسی و مدیریتی برای کنترل خطر اجرا شود که شامل روش‌های جایگزین برای انجام کار، ابزارهای جایگزین با لرزش کم، بهبود سیستم‌های نصب موتور، تغییر در طراحی زنجیر، گرم کردن دسته‌ها، آموزش استفاده صحیح از ابزار برای کنترل قرار گرفتن در معرض ارتعاش، شناسایی نیروهای وارد شده به ابزار در حین برش، آگاهی از الزامات نگهداری و زمان نیاز به تعویض یا سرویس تیغه‌ها، تیز نگه‌داشتن زنجیر و کشش مناسب، محدود کردن زمان قرار گرفتن در معرض، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی و نظارت بر سلامت است.

نشان داد که مقدار لرزش کل معادل اره موتوری در دو مرحله قطع و بینه‌بری باهم متفاوت است. یکی از عمده دلایل آن می‌تواند به نوع ایستادن و استفاده از اره در هنگام برش مربوط باشد. در هنگام قطع درخت، کارگر اره موتورچی در تعادل و تسلط کم‌تری (به دلیل خطر ناشی از مرحله قطع) نسبت به حالت استحصال چوب است، بنابراین لرزش وارده به دست وی به دلیل عدم تعادل و مسلط در حالت قطع بیش‌تر از بینه‌بری است. نتایج نشان داد که میانگین قابلیت انتقال لرزش در دسته عقب در تمامی گونه‌ها بیش‌تر از دسته جلو به دست آمد. در نتیجه لازم است در اقدام عاجل، اقدام به بهبود ارگونومیکی دسته عقب اره موتوری در جهت کاهش ارتعاش‌های وارده شود. برای محاسبه دوره مواجهه روزانه از شاخص مقدار کلی ارتعاشات استفاده شد و در نتیجه مقدار دوره مواجهه روزانه که نمایانگر مقدار لرزش وارده به هر شخص در هر روز است، در گونه‌های مختلف محاسبه شد. بر این اساس، مقدار کلی ارتعاشات در حالتی که فرد سه ساعت با اره موتوری کار کند، به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از حالتی است که دو ساعت با اره کار کند. هم‌چنین در زمانی که فرد بر روی انجیلی کار می‌کند، لرزش کل بیش‌تری به وی نسبت به دیگر گونه‌ها وارد می‌شود.

امروزه قوانین جدید کار و استانداردهای جدید نیز بر این موضوع دلالت دارند که قوانین و دامنه‌های مربوط به کار با ابزار و وسایل باید در دو حداکثر روزانه و هفتگی تعریف شوند. برای نمونه اگر فردی حداکثر می‌تواند در یک روز ۶ ساعت با اره موتوری کار کند، نباید به وی اجازه داد که این ۶ ساعت را به‌صورت مداوم در تمام روزهای غیر تعطیل هفته کار کند. هم‌چنین یکی از راهکارهای مرسوم در کارخانه‌ها چوب و ادارات و مؤسسات جنگل، استفاده ترکیبی از کارگران است. بدین‌صورت که اره موتورچی فردی با شغل ثابت از نظر موقعیت شغلی نبوده و وی پس از مدتی مشخص به کارهای دفتری یا کارهای سبک‌تر، تغییر وضعیت می‌دهد. از نظر تاریخی، انتشار ارتعاش اره موتوری بسیار بالا بود. پیشرفت‌های فناوری به‌کار رفته توسط تولیدکنندگان بزرگ، انتشار ارتعاشات را در دهه‌های گذشته تا حد زیادی کاهش داده است. به‌عنوان مثال، بهبود سیستم‌های نصب موتور، تغییر در طراحی زنجیر، گرم کردن دسته‌ها و غیره همگی به کاهش

- [1] Greene, W.D. and McNeel, J.F., 1991. Productivity and cost of sawhead feller-bunchers in the South. *Forest Products Journal*, 41(3): 21–26.
- [2] Jourgholami, M. and Majnonian, B., 2010. The study of bucking operation efficiency in short and long logs method (Case study: Namkhaneh District in Kheyroud Forest). *Iranian Journal of Forest*, 2(1): 1-12. (In Persian).
- [3] Bayat, R., Aliabadi, M., Golmohammadi, R. and Shafiee Motlagh, M., 2016. Assessment of Exposure to Hand-Arm Vibration and its Related Health Effects in Workers Employed at Stone Cutting Workshops of Hamadan City. *Journal of Occupational Hygiene Engineering*. 2(4): 25-32. (In Persian).
- [4] Taylor, W., Pearson, J., Kell, R.L. and Keighley, G.D., 1971. Vibration syndrome in Forestry Commission chainsaw operators. *British Journal of Industrial Medicine*, 28: 83–89.
- [5] Tambić Bukovac, L. and Šenjug Perica, M., 2017. Raynaudov sindrom. *Paediatrica Croatica*, 61: 38–42.
- [6] Brammer, A.J., and Pyykkö, I., 1987. Vibration-induced neuropathy: Detection by nerve conduction measurements. *Work, Environment & Health*, 13: 317–322.
- [7] Neri, F., Laschi, A., Foderi, C., Fabiano, F., Bertuzzi, L. and Marchi, E., 2018. Determining noise and vibration exposure in conifer cross-cutting operations by using li-ion batteries and electric chainsaws. *Forests*, 9: 1–13.
- [8] Forouharmajd, F., Yadegari, M., Ahmadvand, M., Forouharmajd, F. and Pourabdian, S., 2017. Hand-arm Vibration Effects on Performance, Tactile Acuity, and Temperature of Hand. *Journal of Medical Signals and Sensors*, 7: 252–260.
- [9] Wojcik, K., 2007. Analysis of processing operation time and it's percent share in timber harvesting with the chainsaws, *Annals of Warsaw Agricultural University*, 50: 71-77.
- [10] Kováč, J., Krilek, J., Dvořák, J. and Beňo, P., 2014. Noise and Vibration of Chainsaws (in Slovak), *Technická univerzita vo Zvolene*, 2014.
- [11] Sowa, J.M., 1998. Analysis of threats caused by vibrations to chainsaw operators (in Polish). *Zast. Ergon.* 1, 2, 3, 189-196.
- [12] Fragassa, C., 2017. Material selection in machine design: the change of cast iron for improving the high quality in woodworking, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 231(1): 18-30.
- [13] Skarżyński J., 2007. Effects of wood diameter on vibrations on chainsaw handles during crosscutting (in Polish), *Techn. Roln. Ogrod. Leśn.* 5.
- [14] Kováč, J., Krilek, J., Dado, M. and Beňo, P., 2018. Investigating the Influence of Design Factors on Noise and Vibrations in the case of Chainsaws for Forestry Work. *FME Transactions*, 46: 513-519.
- [15] Rottensteiner, C., Tsioras, P. and Stampfer, K. 2012. Wood Density Impact on Hand-Arm Vibration, *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(2), 303-312.
- [16] Yovi, E., Takimoto, Y., Ichihara, K. and Matsubara, C., 2005. A study of workload and work efficiency in timber harvesting by using chainsaw in pine plantation forest in Java Island: clear cutting operation, *Applied Forest Science*, 14(1): 17-26.
- [16] Magnusson, R. and Nilsson, C., 2011. The influence of oxygenated fuels on emissions of aldehydes and ketones from a two-stroke spark ignition engine. *Fuel*, 90(3): 1145–1154.

- [17] Koskimies, K., Pyykko, I., Starck, J. and Inaba, R., 1992. Vibration Syndrome among Finnish Forest Workers between 1972 and 1990. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 64(4): 251–256.
- [18] Hagen, K. B., Magnus, P. and Vetlesen, K., 1998. Neck/shoulder and low-back disorders in the forestry industry: relationship to work tasks and perceived psychosocial job stress. *Ergonomics*, 41(10): 1510–1518.
- [19] Khajavi, S., Jourgholami, M., Majnounian, B. and Moradpour, P., 2019. Evaluation of the effect of chainsaw vibration on user's hand and arm during log bucking operations. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 9(4): 471-483. (In Persian).
- [20] Feyzi, M., Jafari, A. and Ahmadi, H., 2022. Transmitted vibrations to the wrist and arm of a chainsaw operator: The effect of wood cutting process. *Journal of Health and Safety at Work*, 12(2): 309-323.
- [21] Jourgholami, M., 2010. Forest exploitation booklet. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 108 p. (In Persian).
- [22] Lima, R.C.A., Minette, L.J., Simões, D., Rocha, Q.S., Miyajima, R.H., Fritz, G.F., Schettino, S., Soranso, D.R., Nascimento, G.S.P. and Vieira, M.P.L., 2023. Measurement Time in the Evaluation of Whole-Body Vibration: The Case of Mechanized Wood Extraction with Grapple Skidder. *Forests*, 14(8): 1551.
- [23] Singh, A., Samuel, S., Yash, K.D. and Harwinder, S., 2023. Whole-body vibration: Characterization of seat-to-head transmissibility for agricultural tractor drivers during loader operation, *Smart Agricultural Technology*, 4: 100164.
- [24] Staněk, L. and Mergl, V., 2022. Whole Body Vibrations during Fully Mechanized Logging. *Forests*, 13(4): 630.

## The effect of tree species on the occupational exposure in forest workers caused by hand-arm vibration using chainsaw

### Abstract

This research was conducted with the aim of measuring the hand-arm vibration of the chainsaw operator during the cutting and bucking operations of three tree species, including hornbeam, beech, and Persian ironwood, in the Patom section of Kheyroud Educational and Research Forest. In this research, three tree trunks of the mentioned species were measured simultaneously in three x, y and z directions of a chainsaw using a SVANTEK 106 vibration meter. The results showed that the average vibration equivalent to a chainsaw in all three axes in the Persian ironwood was higher than the other two species of hornbeam and beech. The amount of vibration of the whole chainsaw during the cutting of hornbeam, beech and Persian ironwood trees in the rear handle was significantly higher than the front handle. The results of the t-test showed that the total amount of vibration of the chainsaw during sawing of hornbeam, beech and Persian ironwood in the rear handle is significantly higher than the front handle. The results of Tukey's test showed that the average total chainsaw vibration in Persian ironwood and beech is significantly higher than hornbeam. The results showed that the vibration transmission coefficient in beech and Persian ironwood during cutting and bucking in the front and rear handles is significantly more than the measured amount of hornbeam. The results showed that the amount of daily exposure time in both two hours and three hours was significantly higher in Persian ironwood and beech species than hornbeam (both cutting and bucking stage). The results also showed that the predictive value of the duration of white hand disease in both two hours and three hours, in the Persian ironwood and beech species is significantly higher than hornbeam (both cutting and bucking stage). Therefore, after deciding to reduce the risk of damage caused by vibration in chainsaws, engineering and management controls should be implemented to control the risk.

**Keywords:** vibration, beech, hornbeam, Persian ironwood, Kheyroud forests, chainsaw.

**M. Jourgholami\***  
**S. Khajavi<sup>2</sup>**  
**J. Fathi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>2</sup> Ph.D. student of forest engineering, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> MSc., Faculty of Natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:  
[mjgholami@ut.ac.ir](mailto:mjgholami@ut.ac.ir)

Received: 2024/03/27

Accepted: 2024/05/10