



University of Tehran

Assessment of hand-arm vibration levels/exposure during motor-manual tree processing with the MPTMGS5803 chainsaw model

Fereshteh Rahimi Bitam¹ | Meghdad Jourgholami² | Mehrdad Nikooy³ |
Mahmood Heidari⁴ | Petros A. Tsioras⁵

1. Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. Email: fereshtehrahimi2000@gmail.com
2. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mjgholami@ut.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. E-mail: nikooy@guilan.ac.ir
4. Department of Occupational Health, School of Health, Guilan University of Medical Sciences, Iran. Email: mheidari1360@gmail.com
5. Lab of Forest Utilization, Faculty of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, POB 227, Thessaloniki, Greece. Email: ptsioras@for.auth.gr

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article History:

Received: 25 January 2024

Revised: 27 February 2024

Accepted: 05 May 2024

Published online: 04 June 2024

Keywords:

Bucking,

Hand-arm vibration,

Musculoskeletal disorders,

Occupational safety and health,

Poplar.

Chainsaws, which are widely used in tree felling operations, create vibrations. Long-term and intense exposure to vibration may lead to the development of vascular, neurosensory, and musculoskeletal disorders in the upper limbs of chainsaw workers, known as Hand-arm vibration syndrome. This study investigates the vibration levels during tree bucking operations on poplar trees with the MPTMGS5803 chainsaw model, one of the most widely used chainsaws in forest operations in the western part of Guilan province. Simultaneous vibration measurements in three directions (x, y and z) were carried out using the SVANTEK 106A vibration meter, aiming to determine the total amount of chainsaw vibration and the daily exposure period. The results show that the highest amount of vibration was measured in the x (1.61 ± 0.62), (2.01 ± 0.90) direction and the lowest in the y (1.48 ± 0.17), (0.73 ± 0.09) direction both in the rear handle and front handle of the chainsaw. The rear handle of the chainsaw had a higher overall vibration acceleration ($3.05 \pm 0.54 \text{ m/s}^2$) compared to the front handle ($1.94 \pm 0.53 \text{ m/s}^2$). In terms of the daily exposure period, the level of vibration exposure inflicted on the chainsaw operator during a three-hour and 70 second working period amounted to 1.19 m/s^2 in the front handle and 1.87 m/s^2 in the rear handle, with both values falling within the permissible vibration range.

Cite this article: Rahimi Bitam, F., Jourgholami, M., Nikooy, M., Heidari, M., Tsioras, P.A. (2024). Assessment of hand-arm vibration levels/exposure during motor-manual tree processing with the MPTMGS5803 chainsaw model. *Journal of Forest and Wood Products*, 77 (1), 13-22. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwp.2024.371383.1281>



© The Author(s) **Publisher:** The University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwp.2024.371383.1281>



دانشگاه تهران

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

سایت نشریه: <https://jfwf.ut.ac.ir>

ارزیابی شدت ارتعاش دست-بازو در عملیات تبدیل درختان

با استفاده از اره‌موتوری مدل MPTMGS5803

فرشته رحیمی بی‌تم^۱ | مقداد جورغلامی^۲ | مهرداد نیکوی^{۳*} | محمود حیدری^۴ | پتروس سایروس^۵

۱. گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: freshhtehrahimi2000@gmail.com

۲. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mjgholami@ut.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: nikooy@guilan.ac.ir

۴. گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران. رایانامه: mheidari1360@gmail.com

۵. آزمایشگاه بهره‌برداری از جنگل، دانشکده جنگلداری و محیط‌زیست طبیعی، دانشگاه ارسطو (Aristotle)، یونان. رایانامه: ptsioras@for.auth.gr

اطلاعات مقاله

چکیده

اره‌های موتوری که به‌طور گسترده در عملیات قطع و تبدیل درختان استفاده می‌شود، ارتعاش‌های شدیدی ایجاد می‌کنند. ارتعاش طولانی‌مدت بدن کارگران ممکن است منجر به ایجاد اختلالات عروقی، حسی عصبی و اسکلتی عضلانی در اندام فوقانی کارگران اره‌موتورچی شود که به آن سندرم ارتعاش دست و بازو گفته می‌شود. اره‌موتوری MPTMGS5803 یکی از انواع اره‌موتوری پرکاربرد در جنگلکاری‌های غرب استان گیلان است که ارتعاش آن در هنگام انجام عملیات تبدیل درختان جنگلکاری در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری ارتعاش در هنگام انجام عملیات تبدیل درختان صنوبر، با استفاده از دستگاه ارتعاش‌سنج SVANTEK 106 A به‌طور همزمان، در سه جهت x ، y و z انجام و شتاب کلی ارتعاش اره‌موتوری و دوره مواجهه روزانه محاسبه شد. نتایج پژوهش نشان داد که در دسته عقب و جلوی اره‌موتوری به‌ترتیب در جهت x ($2/01 \pm 0/90$)، ($1/61 \pm 0/62$) بیشترین و در جهت y ($1/48 \pm 0/17$)، ($0/73 \pm 0/09$) کمترین مقدار شتاب ارتعاش وجود داشت. دسته عقب اره‌موتوری ($3/05 \pm 0/54$)، شتاب کلی لرزش بیشتری نسبت به دسته جلوی آن ($1/94 \pm 0/53$) داشت. نتایج حاصل از دوره مواجهه روزانه نشان داد که شدت ارتعاش وارد شده به کارگر اره‌موتورچی در مدت سه ساعت و هفتاد ثانیه کار با اره-موتوری در دسته جلو $1/19$ و در دسته عقب $1/87$ بود. با توجه به بررسی به‌دست آمده از لحاظ ارگونومیک، شتاب کلی ارتعاش این اره‌موتوری کمتر از حد مجاز بود.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵

کلیدواژه:

اختلالات اسکلتی-عضلانی،

ارتعاش دست بازو،

تبدیل،

سلامت و ایمنی شغلی،

صنوبرکاری.

استناد: رحیمی بی‌تم؛ فرشته، جورغلامی؛ مقداد، نیکوی، مهرداد؛ حیدری، محمود؛ سایروس، پتروس (۱۴۰۳). ارزیابی شدت ارتعاش دست-بازو در عملیات تبدیل درختان با استفاده

از اره‌موتوری مدل MPTMGS5803. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۷۷ (۱)، ۲۲-۱۳. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2024.371383.1281>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfwf.2024.371383.1281>



۱. مقدمه

عملیات قطع و تبدیل درخت، فشار قابل توجهی به کارگران جنگل وارد می‌کند و یکی از خطرناک‌ترین فعالیت‌های صنعتی محسوب می‌شود [۲۵]. تجزیه و تحلیل دقیق‌تر حوادث در بخش جنگلداری نشان داده است که کار بر روی چوب بسیار خطرناک‌تر از سایر عملیات جنگلداری است [۱۰]. فناوری‌های بسیار مکانیزه و پیشرفته در خصوص قطع و تبدیل در بسیاری از کشورهای توسعه یافته وجود دارد، ولی استفاده از آن به دلایل مختلفی مانند سطح کم جنگلکاری‌ها، برداشت در مناطق کوچک و شدت کم برداشت در ایران مقدور نیست. در این شرایط، بخش مهمی از کار برداشت چوب به صورت دستی و با اره موتوری انجام می‌شود. با توجه به میزان انتشارات علمی در این زمینه، قطع و پردازش درختان با اره موتوری هنوز هم یکی از پرکاربردترین گزینه‌ها در عملیات برداشت چوب است [۱۸]. مواجهه‌های اصلی شغلی که اپراتورهای اره موتوری در معرض آن قرار دارند عبارتند از: خطرات جسمی (صدا و لرزش) [۲۲، ۳]، خطرات ارگونومیک (تلاش فیزیکی شدید، بلندکردن دستی و حمل، وضعیت بدن نامناسب، وزن بیش از حد، ساعات کار طولانی، تکرار)، خطرات حادثه (حیوانات سمی و سقوط شاخه‌ها) و گازهای ساطع شده از سیستم اگرور اره موتوری است [۱]. اگرچه درختان خطرآفرین، برگشت به عقب انتهای تنه درخت پس از افتادن و لگد زدن اره-موتوری به عنوان مهم‌ترین خطرات کار با این وسیله معرفی شده‌اند [۲۰]، اما با در نظر گرفتن خطرات پنهان، مهم‌ترین خطراتی که کاربران اره موتوری به طور مرتب در معرض آنها هستند، صدا و ارتعاش این ماشین است [۲۱]. ارتعاش نیز همانند صدا، نتیجه انتقال انرژی مکانیکی از منبع نوسان است. زمانی که از ارتعاش صحبت می‌شود، منظور نوسان با فرکانس و دامنه محسوس است. ارتعاش بسته به میزان شتاب (متر بر مجذور ثانیه)، نوسان در ثانیه (هرتز) و نوع آن (به عنوان مثال ارتعاش سینوسی) تعریف می‌شود. به طور کلی ارتعاشاتی که به بدن انسان منتقل می‌شود به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: (۱) ارتعاش تمام بدن^۱ و (۲) ارتعاش قسمتی از بدن که بیشتر ارتعاشات دست-بازو^۲ را شامل می‌شود و علت آن عمدتاً بستگی به محل انتقال ارتعاش به بدن و نوسان ارتعاش دارد. ارتعاش دست-بازو اغلب با عنوان ارتعاش قطاعی^۳ (منظور ارتعاش اندام‌های انتهایی بدن) شناخته می‌شود [۱۶].

در مطالعات همه‌گیرشناسی^۴ عوارض ناشی از ارتعاش دست-بازو شامل سندرم ارتعاش دست بازو و عوارض استخوانی است. این سندرم شامل اختلال در خون‌رسانی به دست به دلیل عکس‌العمل رفلکسی عروق به صورت تنگی ظاهر شده و باعث اختلال در تغذیه و اکسیژن‌رسانی شده و می‌تواند باعث علائم تغییرات عصبی و عروقی و نیز سندرم ارتعاشات دست-بازو و نهایتاً پدیده انگشت سفید ناشی از ارتعاش شود [۸]. قرار گرفتن در معرض ارتعاش می‌تواند اثرات مضر بر ایمنی و سلامت انسان داشته باشد. Feyzi و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر برش چوب بر ارتعاش انتقال یافته به دست و بازوی کاربر اره موتوری را ارزیابی نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که نوع گونه چوب، می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر میزان جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در هر سه نقطه؛ دسته، میچ و بازو داشته باشد [۶]. همچنین مقدار جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش از دسته به سمت بازو روند کاهشی داشت. Khajavi و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر ارتعاش اره موتوری در ایجاد بیماری دست سفید (VWF^۵) در اپراتور را از نظر ارگونومیکی در بینه‌بری درختان انجیلی، صنوبر و توسکا ارزیابی کردند [۱۳]. اندازه‌گیری شاخص حد زمانی استاندارد نشان داد که حد زمانی (ساعت) قرارگیری اپراتور در معرض ارتعاش، در مرحله بینه‌بری برای کل درختان حداکثر ۲/۵۹ ساعت است. اپراتور برای پیشگیری از بیماری دست سفید، در طول هفته باید زمان کمتری از اره موتوری استفاده کند. Majnounian و همکاران (۲۰۱۷) ارتعاش دست بازو در اثر قطع و بینه‌بری درختان راش با اره موتوری را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که شدت ارتعاش معادل در راش (در مراحل قطع و بینه‌بری) در دسته عقب به طور معنی‌داری بیشتر از دسته جلو بود. همچنین شدت ارتعاش کل و ارتعاش معادل اره موتوری در دو مرحله قطع و بینه‌بری با هم متفاوت بود [۱۵]. Feyzi

¹ Whole body vibration

² Hand arm vibration

³ Segmental vibration

⁴ Epidemiology

⁵ Vibration white finger

و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر گونه‌های چوب بر ارتعاشات اره‌موتوری در حین عملیات تبدیل را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد اثر گونه‌های چوبی بر شتاب ارتعاش معنی‌دار بود، در حالی که هیچ تأثیر معنی‌داری از این عامل بر مقدار کلی ارتعاش مشاهده نشد [۷]. در حالی که، به دلیل افزایش شتاب ارتعاش در فرکانس‌های پایین‌تر، فرآیند قطع مقدار کلی ارتعاش را بالا برد. نتایج این مطالعه تأثیر فرآیند قطع را بر سطوح و ویژگی‌های ارتعاشات ناشی از اره‌موتوری نشان داد [۷].

Stampfer و Rottensteiner (۲۰۱۳) در تحقیقی با هدف بررسی ارتعاش بدن کارگر در هنگام استفاده از اره‌موتوری مجهز به نوار ایمنی Kesper ارائه کردند به گونه‌ای که ارتعاشات وارده به کارگر با دو نوع اره‌موتوری با و بدون نوار ایمنی ثبت شد و نتایج نشان داد که جذر میانگین مربعات ارتعاش در محور x بیشترین شتاب برای دسته جلو و جهت z برای دسته عقب بود. برای تمام اندازه‌گیری‌ها، ارتعاش در دسته عقب بیشتر از ارتعاش دسته جلو بود. تفاوت در ارتعاش بین اره‌های مجهز به نوار ایمنی Kesper یا با نوار معمولی از نظر آماری معنی‌دار نبود [۲۲]. Dos Santos Depoi و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با عنوان لرزش دست-بازو در شرایط عملیاتی مختلف با اره‌موتوری نشان دادند که برای هر دو مجموعه قطع (متشکل از زنجیره دندان مربعی از انواع نیمه‌اسکنه‌ای و اسکنه‌ای) بالاترین سطوح ارتعاش در محور X رخ داده است [۴]. بعد از پردازش داده‌ها، مقادیر شتاب ناشی از قرار گرفتن در معرض ارتعاش دست-بازو نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین محورهای y و z وجود دارد [۴]. Landekić و همکاران (۲۰۲۰) تحقیقی با هدف سطوح ارتعاش اره‌های موتوری با ساعات کار بالا را مورد بررسی قرار دادند، برای ارزیابی ارتعاشات ساطع شده، از مقدار کلی ارتعاشات معادل ۸ ساعت ($A(8)$) استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که قرار گرفتن در معرض ارتعاش روزانه ($A(8)$) تحت تأثیر سال‌های استفاده از اره‌موتوری قرار نمی‌گیرد [۱۴]. Färkkilä و همکاران (۱۹۸۸) کارگران جنگلداری در معرض ارتعاش را مورد بررسی قرار دادند، نتایج مطالعه آنها نشان داد که شیوع بیماری دست سفید ناشی از ارتعاش، مورورشدن دست‌ها، نشانه‌هایی از درد و گزگز شدن مچ دست، سردرد و سرگیجه با قرار گرفتن در معرض ارتعاش در جنگلداری و بخش قابل توجهی از بی‌حسی گزارش شده پلی‌نوروپاتی حسی حرکتی در میان کارگران جنگلداری نادر است. افزایش ارتعاش به مچ دست هم مرتبط بود [۵].

مرحله قطع و تبدیل درختان به‌عنوان یکی از خطرناک‌ترین فعالیت‌های بهره‌برداری جنگل همواره سبب بروز حوادثی برای کارگران قطع بوده است. عملیات قطع و تبدیل درختان در جنگل فعالیتی با ریسک بالاست که نیاز به مطالعه این فرآیند از دیدگاه ارگونومیک الزامی است. همچنین بخش مهمی از کار برداشت چوب به‌صورت دستی یا با اره‌موتوری انجام می‌شود. تنوع استفاده از اره‌های مختلف در عرصه‌های جنگلکاری شده همراه با اثرات ارگونومیک موضوعی است که کمتر در مطالعات پژوهشی مربوط به این وسیله قطع دیده می‌شود. مطالعات مربوط به اثرات ارگونومی اره‌موتوری به‌خصوص ارتعاش در ایران عموماً بر روی مدل‌های مختلف اره‌موتوری اشتهیل انجام شده و سایر اره‌های مورد استفاده برای قطع و تبدیل کمتر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. اره‌موتوری MPTMGS5803 نوعی از اره‌موتوری است که به دلیل ارزان‌تر بودن نسبت به سایر اره‌موتوری‌ها در عملیات برداشت چوب در جنگلکاری‌های استان گیلان، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعاتی که در ایران انجام شده موضوع ارگونومیک این نوع اره‌موتوری مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین اکثر مطالعات انجام شده در جنگل‌های طبیعی بوده و امروزه استراحت جنگل، آن‌ها را به حاشیه برده است. بنابراین این مطالعه، با هدف بررسی ارتعاش در حین عملیات تبدیل درختان با اره‌موتوری MPTMGS5803 در غرب استان گیلان انجام شده است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه در جنگل‌های سری دو تنیان در حومه شهرستان صومعه‌سرا بین طول جغرافیایی $32^{\circ}13'49''$ و عرض جغرافیایی $33^{\circ}37'37''$ - $37^{\circ}26'71''$ انجام شد. این سری از نظر ارتفاعی بین ۱۴۰۰-۱۰۰ متر از سطح دریا با اکثریت سطح ارتفاعی ۳۰۰ متر واقع است. میزان متوسط بارش ماهیانه و سالیانه منطقه به ترتیب ۴۶/۸۲ میلی‌متر و ۹۸۹/۷ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۲۱/۳ درجه سانتی‌گراد، حداکثر دما در مردادماه با ۳۱/۷ درجه سانتی‌گراد و حداقل دما در بهمن ماه برابر با ۱۱/۷ درجه سانتی‌گراد است [۲]. اندازه‌گیری ارتعاش در عملیات تبدیل درختان در جنگلکاری‌های صنوبر انجام شد. برای جلوگیری از اثرات ویژگی‌های

جمعیت شناسی^۱ کارگران و تأثیر آن‌ها بر مطالعه، از یک اره‌موتورچی ثابت برای این مطالعه استفاده شد. در انتخاب کارگر مورد مطالعه تلاش شد تا مقادیر میانگین ویژگی‌های دموگرافیک کارگران از جمله سن (۴۱ سال) و تجربه کاری در منطقه (۱۶ سال) مد نظر قرار گیرد [۹]. اره‌موتوری MPTMGS5803 برای این مطالعه در نظر گرفته شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات فنی اره‌موتوری MPTMGS5803 مورد استفاده در این مطالعه

نوع اره‌موتوری	مشخصات اره‌موتوری
MPTMGS5803	وزن خالص (کیلوگرم)
	حجم باک سوخت (لیتر)
	حجم باک روغن (لیتر)
	طول تیغه (سانتی‌متر)
	جایجایی سیلندر (سی‌سی)
	توان خروجی (کیلووات)
	۷ کیلوگرم و ۵۷۰ گرم
	۰/۵۵
	۰/۲۶
	۴۵
	۵۸
	۲/۳

۲-۱. اندازه‌گیری ارتعاش

اندازه‌گیری ارتعاش در هنگام انجام عملیات تبدیل گرده‌بینه‌های صنوبر با قطر حدود ۴۰ سانتی‌متر دپو شده در کنار جاده، با استفاده از دستگاه ارتعاش‌سنج SVANTEK 106 A ساخت کشور لهستان که مطابق با استاندارد ISO 8041:2005 و مناسب و ایده‌آل استاندارد ISO 5349 و ISO 2631-1,2&5 و ISO 2631-5 است، انجام گرفت (شکل ۱). اندازه‌گیری ارتعاش به‌طور همزمان، در سه جهت x ، y و z انجام گرفت. تجزیه‌وتحلیل ارتعاش در محدوده $1/3$ اکتاو و محدوده فرکانسی $0/4$ تا 2500 هرتز و با ۳ تکرار صورت گرفت [۱۵].



شکل ۱. اندازه‌گیری ارتعاش با استفاده از دستگاه ارتعاش‌سنج SVANTEK 106 A

در این مطالعه، مقدار کل لرزش اره‌موتوری (a_{hv}) از طریق رابطه ۱ محاسبه شد، که در آن a_{hv} : شتاب کلی لرزش‌های اره‌موتوری (متر بر مجذور ثانیه)، a_{hwz} : شتاب وزن‌دار شده اره‌موتوری در محور z (متر بر مجذور ثانیه)، a_{hwxy} : شتاب وزن‌دار شده اره‌موتوری در محور y (متر بر مجذور ثانیه) و a_{hwz} : شتاب وزن‌دار شده اره‌موتوری در محور z (متر بر مجذور ثانیه) است.

¹ Demographic

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

دومین شاخص مورد استفاده در این مطالعه دوره مواجهه روزانه، زمانی است که در طول روز یکی از دست‌ها یا هر دو در معرض لرزش‌های ناشی از کار با اره‌موتوری قرار دارند برای محاسبه دوره مواجهه روزانه، براساس مطالعات زمان‌سنجی، میزان در معرض ارتعاش روزانه کارگران در طول روز محاسبه، ۳ ساعت و ۷۰ ثانیه به‌دست آمد. برای مقایسه بهتر مواجهه‌های روزانه که در طول مدت زمان‌های متفاوت اتفاق می‌افتد، از شاخص مقدار کلی ارتعاشات معادل هشت ساعت استفاده شد (رابطه ۲). مقدار کلی ارتعاشات معادل هشت ساعت A(8) از رابطه ۲ به‌دست آمد که در آن A(8): مقدار کلی ارتعاشات معادل هشت ساعت، T: مدت زمان روزانه مواجهه با ارتعاش (برحسب ثانیه) و T₀: مدت زمان مرجع (برابر با ۲۸۸۰۰ ثانیه) است.

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

برای اندازه‌گیری درصد رطوبت چوب مورد نظر، ابتدا از انتها و وسط چوب‌ها به اندازه ۵×۵ سانتی‌متر به تعداد ۳ عدد برش تهیه شد. برای وزن کردن نمونه‌ها از ترازوی دیجیتال استفاده شد. وزن تر نمونه‌ها با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شد. سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌های تهیه شده، داخل آون با دمای ۱۰۰±۲ درجه سلسیوس قرار داده شد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، وزن نمونه‌های خشک با استفاده از ترازوی دیجیتال به‌دست آمد.

با به‌دست آمدن اندازه وزن نمونه خشک و تر، درصد رطوبت با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد که در آن MC: درصد رطوبت، W_m: وزن چوب تر (گرم) و W_{OD}: وزن چوب خشک (گرم) است [۱۱]. جرم مخصوص چوب هم با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد که در آن D: جرم مخصوص چوب (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، m: جرم چوب (گرم) و v: حجم چوب (سانتی‌متر) است [۱۲].

$$\%MC = \frac{W_m - W_{OD}}{W_{OD}} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$D = \frac{m}{v} \quad \text{رابطه (۴)}$$

از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها، از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و تی مستقل برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون لون برای بررسی همگنی واریانس داده‌ها و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. حد مواجهه شغلی (OEL) با ارتعاش دست-بازو برای مدت زمان‌های کاری مختلف روزانه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مقادیر حد مجاز مواجهه شغلی با ارتعاش دست-بازو [۲۴].

مدت زمان مواجهه روزانه با ارتعاش (ساعت)	شتاب وزن یافته فرکانسی ($a_{hv(rms)} (m/s^2)$) حد مواجهه شغلی (OEL)
۰/۲۵ (۱۵ دقیقه)	۲۸/۲۸
۰/۵ (۳۰ دقیقه)	۲۰
۱	۱۴/۱۴
۲	۱۰
۴	۷/۰۷
۶	۵/۷۷
۸	۵

حدود مجاز مواجهه شغلی به غلظت آلاینده‌های هوا برد مواد شیمیایی اشاره دارد و شرایطی را بیان می‌کند که اگر کارگران به‌طور مداوم و به‌شکل روزانه در طول مدت زمان کاری خود با آن مواجهه داشته باشند، تقریباً همه آنها از تأثیرات زیان‌آور این

مواد مصون خواهند ماند. این حد مجاز از رابطه ۵ به دست آمد که در آن $a_{hv(OEL)}$: حد مجاز مواجهه با شتاب ارتعاش (متر بر مجذور ثانیه) و T_v : مدت زمان مواجهه (ساعت) است.

$$a_{hv(OEL)} = \left(\frac{8}{T_v}\right) \frac{1}{2} \quad \text{رابطه ۵}$$

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

این پژوهش نخستین بار با هدف اندازه‌گیری ارتعاشات دست-بازو در عملیات تبدیل درختان در اره‌موتوری MPTMGS5803 در جنگلکاری‌های صنوبر استان گیلان انجام گرفت. نتایج این پژوهش، تفاوت شتاب ارتعاش در سه جهت x ، y و z اره‌موتوری را نشان داد. مقدار درصد رطوبت و جرم مخصوص خشک چوب‌های مورد مطالعه به ترتیب $44/93 \pm 3/21$ درصد و $0/58$ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. مقایسه میانگین درصد رطوبت و جرم مخصوص نمونه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد.

کار در جنگل شامل قرار گرفتن در معرض طیف وسیعی از خطرات ایمنی و سلامتی است. کارگران شاغل در قطع و پردازش انواع چوب در معرض سطح ارتعاش قابل توجهی قرار دارند عوامل اصلی تأثیرگذار بر سطوح ارتعاش اره‌موتوری عمدتاً نیروهای دینامیکی موتور، حالت‌های اره، قطعات متحرک نامتعادل، شوک به دندان‌های زنجیر، بلبرینگ و مکانیسم‌های دیگر و همچنین در تعامل بین اپراتور، ماشین و چوب در حال پردازش است [۱۱]. نتایج این پژوهش تفاوت شتاب ارتعاش در سه جهت x ، y و z اره‌موتوری را نشان داد. نتایج نشان داده شده در جدول ۳ آمار توصیفی مربوط به دسته جلوی اره‌موتوری در محورهای x ، y و z را نشان می‌دهد. در جهت x ($1/61 \pm 0/62$) بیشترین و جهت y ($0/73 \pm 0/09$) کمترین مقدار شتاب ارتعاش مشاهده شد (جدول ۳). جدول ۳ آمار توصیفی مربوط به اره‌موتوری مورد مطالعه محورهای دسته جلو در محورهای x و y و z را نشان می‌دهد. در دسته جلوی این اره‌موتوری در جهت x ($1/61 \pm 0/62$) بیشترین مقدار به دست آمد که همسو با نتایج مطالعات قبلی است (۴، ۱۲، ۲۲). و در جهت y ($0/73 \pm 0/09$) کمترین مقدار شتاب ارتعاش مشاهده شد. دلیل مهم در مورد بیشتر بودن ارتعاش در جهت x ممکن است مسیر گردش زنجیر و اسپراکت باشد؛ به‌ویژه در هنگام درگیر بودن در چوب، شدت ارتعاش را زیاد خواهد کرد [۱۵].

جدول ۳. میانگین، حداکثر، حداقل، انحراف معیار و اشتباه معیار دسته‌های جلو در محورهای (x و y و z) در اره‌موتوری MPTMGS5803

محورهای اره‌موتوری			مشخصات آماری	محورهای دسته	نوع اره‌موتوری
X	Y	Z			
۱/۶۱ ^a	۰/۷۳ ^b	۰/۷۶ ^b	میانگین	محور دسته جلو	MPTMGS5803
۲/۳۲	۰/۸۴	۰/۸۲	حداکثر		
۱/۱۵	۰/۶۴	۰/۶۷	حداقل		
۰/۶۲	۰/۰۹	۰/۰۷	انحراف معیار		
۰/۳۶	۰/۰۵	۰/۰۴	اشتباه معیار		

حروف متفاوت در جدول نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها است

جدول ۴ آمار توصیفی مربوط به دسته عقب اره‌موتوری در محورهای x و y و z را نشان می‌دهد. در دسته عقب این اره‌موتوری در جهت x ($2/01 \pm 0/90$) بیشترین و در جهت y ($1/48 \pm 0/17$) کمترین مقدار شتاب ارتعاش وجود دارد (جدول ۴) که مشابه نتایج Stempski و همکاران (۲۰۱۰) (۲۳) بود اما در محور y تفاوت وجود داشت. نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد، بین شتاب ارتعاش محورهای x و y و z در دسته عقب این اره‌موتوری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($\alpha=0/49$). Stempski و همکاران (۲۰۱۰) با مطالعه بر روی زوایای مختلف و سطوح ارتعاش اره‌موتوری Husqvarna نشان دادند که سطوح ارتعاش اندازه‌گیری شده روی دسته جلو در جهت x و z و در دسته عقب در جهت x و y بالاترین مقدار را نشان می‌دهد [۲۳]. به‌طور معنی‌داری دسته عقب این مدل از اره‌موتوری ($3/05 \pm 0/54$)، شتاب کلی لرزش بیشتری نسبت به دسته جلوی آن

داشت که این نتیجه همسو با نتایج Majnounian و همکاران (۲۰۱۷) است [۱۵] و دلیل احتمالی آن، سیستم تقلیل نیرویی است که در دسته عقب اره‌های موتوری بکار گرفته می‌شود [۲۲]. Majnounian و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه ارزیابی ارتعاش دست-بازو در اثر قطع و بینه‌بری درختان راش با اره‌موتوری STIHL 070 با طول تیغه ۹۰ سانتی‌متر، شدت ارتعاش معادل اره‌موتوری را در محور x بیشتر از دو محور دیگر در دسته‌های جلو و عقب به دست آوردند [۱۵]. Dos Santos و Depoi (۲۰۲۲) مطالعه‌ای با عنوان لرزش دست-بازو در شرایط عملیاتی مختلف با اره‌موتوری نشان دادند که برای هر دو مجموعه قطع (متشکل از زنجیره دندان مربعی از انواع نیمه‌اسکنه‌ای و اسکنه‌ای) بالاترین سطوح ارتعاش در محور X رخ داده است. بعد از پردازش داده‌ها، مقادیر شتاب ناشی از قرار گرفتن در معرض ارتعاش دست-بازو نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین محورهای y و z وجود دارد [۴].

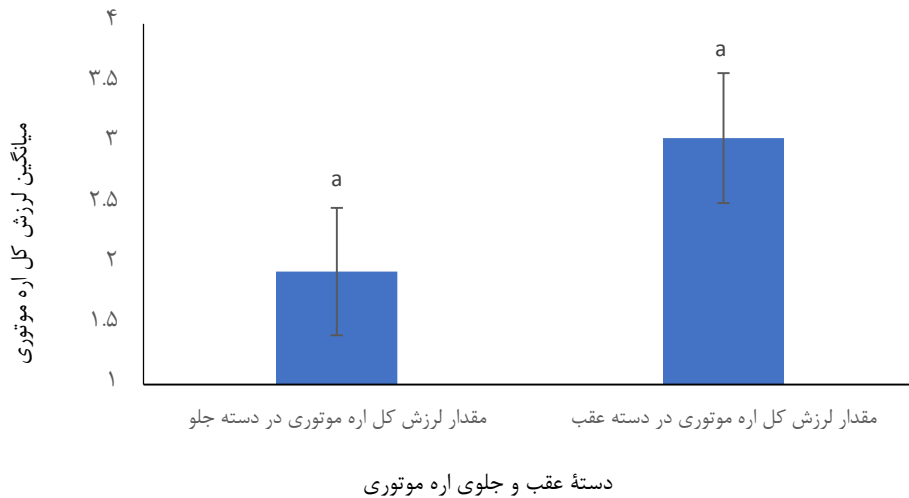
جدول ۴. میانگین، حداکثر، حداقل، انحراف معیار و اشتباه معیار دسته‌های عقب در محورهای (X و Y و Z) در اره‌موتوری MPTMGS5803

محورهای اره‌موتوری		مشخصات آماری		محورهای دسته	نوع اره‌موتوری
X	Y	Z			
۲/۰۱ ^a	۱/۴۸ ^a	۱/۶۴ ^a	میانگین		
۲/۸۶	۱/۶۸	۱/۷۱	حداکثر	محور دسته عقب	MPTMGS5803
۱/۰۶	۱/۳۷	۱/۵۵	حداقل		
۰/۹۰	۰/۱۷	۰/۰۸	انحراف معیار		
۰/۵۲	۰/۱۰	۰/۰۴	اشتباه معیار		

به‌طور معنی‌داری دسته عقب این مدل از اره‌موتوری (۳/۰۵±۰/۵۴)، شتاب کلی لرزش بیشتری نسبت به دسته جلوی آن داشت. مقایسه میانگین دسته جلو و عقب این اره‌موتوری با استفاده از آزمون تی مستقل نشان داد که بین شتاب کلی لرزش دو دسته جلو و عقب این اره‌موتوری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($\alpha=0/06$). شکل ۲، مقایسه میانگین (مقدار لرزش کلی اره‌موتوری) در دو دسته جلو و عقب این اره موتوری را نشان می‌دهد. Feyzi و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر برش چوب بر ارتعاش انتقال‌یافته به دست و بازوی کاربر اره‌موتوری STIHL-MS230 را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد شتاب ارتعاش بر روی دسته از ۲۵ متر بر مجذور ثانیه تجاوز نموده است [۶]. اره‌موتوری مورد مطالعه در این پژوهش از نظر ارگونومی و ایمنی، گزینه مناسبی برای برداشت و قطع چوب‌آلات در جنگل است که این اره‌موتوری از نظر ایمنی و ارتعاش کمتر، مشابه اره-موتوری مورد مطالعه در پژوهش Poje و همکاران (۲۰۱۸) است که اره موتوری‌های برقی شارژی و بنزینی را در درختان جوان صنوبر از نظر کارایی و ایمنی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که اره‌موتوری‌های برقی شارژی انتخاب بهتری نسبت به اره‌موتوری‌های بنزینی برای استفاده در مقیاس کوچک در جنگل هستند. اره‌موتوری‌های برقی شارژی کارایی بهتر، مصرف انرژی کمتر و اره‌موتورچی‌ها کمتر در معرض صدا و لرزش دست-بازو قرار می‌گیرند [۱۹]. Miyashita و همکاران (۱۹۹۴) تأثیر ارتعاش دست-بازو را در ۶ گروه از کارگران اره‌موتورچی در جنگل‌های ژاپن مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اگر تعداد ساعات کار با اره‌موتوری توسط اپراتور بیش‌تر از ۲۰۰۰ ساعت در سال شود، اختلالات گردش خون در دست وی ایجاد می‌شود و اگر مقدار ساعت کار در سال بیش از ۴۰۰۰ ساعت شود، وی دچار اختلالات ماهیچه‌ای نیز خواهد شد. آنها پیشنهاد کردند که حداکثر ساعت کاری برای یک کارگر اره‌موتورچی در سال تعیین شود [۱۷]. کارگران شاغل در قطع و پردازش انواع چوب در معرض سطح ارتعاش قابل توجهی قرار دارند. عوامل اصلی که بر سطوح ارتعاش اره‌موتوری تأثیر می‌گذارند، عمدتاً نیروهای دینامیکی موتور، حالت‌های اره، قطعات متحرک نامتعادل، شوک به دندان‌های زنجیر، بلبرینگ و مکانیسم‌های دیگر و همچنین در تعامل بین اپراتور، ماشین و چوب در حال پردازش است [۱۱] که از دلایل تفاوت نتایج در مطالعات مختلف است.

نتایج حاصل از دوره مواجهه روزانه نشان داد، کارگر اره‌موتورچی که در مدت‌زمان سه ساعت و هفتاد ثانیه با اره‌موتوری کار

می‌کند، شدت ارتعاش وارد شده به وی در این اره‌موتوری هم در دسته جلو ۱/۱۹ و در دسته عقب ۱/۸۷ متر بر مجذور ثانیه است.



شکل ۲. مقدار لرزش کل اره‌موتوری (ah_v) در دسته‌های جلو و عقب اره‌موتوری MPTMGS5803

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

اره‌موتوری مورد مطالعه در این پژوهش یکی از اره‌موتوری‌های رایج در جنگلکاری‌های غرب استان گیلان است و مورد استفاده کارگران در جنگل قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه مطالعات قبلی تأکید کردند که بحث ارتعاش، بحث مهمی است به‌همین دلیل ارتعاش این اره‌موتوری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که در دسته جلوی این اره‌موتوری در جهت x بیشترین و در جهت y کمترین شتاب ارتعاش و بیشترین مقدار شتاب ارتعاش در دسته عقب این اره‌موتوری در جهت x و z است. همچنین در دو دسته این اره‌موتوری، دسته عقب آن، شتاب کلی لرزش بیشتری نسبت به دسته جلوی آن دارد. نتایج نهایی مطالعه نشان داد که مطابق با نتایج مطالعات قبلی، ارتعاش اره‌موتوری مورد مطالعه کم بوده و حدمجاز مواجهه با شتاب ارتعاش این اره‌موتوری ۸/۱۳ متربرمجذورثانیه به‌دست آمد که با توجه به ارتعاش به‌دست آمده، ارتعاش این اره‌موتوری کمتر از حد مجاز است و از جنبه ارگونومیکی ارتعاش قابل توصیه است. برای کاهش آسیب‌ها و بیماری‌های ناشی از ارتعاشات اره‌موتوری پیشنهاد می‌شود از اره‌موتوری مورد مطالعه در این پژوهش در عملیات قطع درختان در صنوبرکاری استفاده شود. مطالعه ارتعاش دست-بازو در سایر اره‌های موتوری مورد استفاده در منطقه همراه با تأثیر قطر درختان و گونه‌های درختی مانند توسکا، کاج تدا و... بر روی این متغیر پیشنهاد می‌شود.

۵. منابع

- [1] Ålander, T., Antikainen, E., Raunemaa, T., Elonen, E., Rautiola, A., & Torkkell, K. (2005). Particle emissions from a small two-stroke engine: effects of fuel, lubricating oil, and exhaust aftertreatment on particle characteristics. *Aerosol Science and Technology*, 39(2), 151-161.
- [2] Anonymous, 2007. Forest Management Plan of Tanyan district (Section 2). Published by General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Guilan Province, Rasht, 79 p. (In Persian)
- [3] De Jesus, A.T., Fiedler, N.C., do Carmo, F.C.D.A., & Juvanhol, R.S. (2020). Exposure of operators to chainsaw vibration in forest harvesting. *Floresta*, 50(3), 1653-1659.
- [4] Dos Santos Depoi, J., Brandelero, C., Werner, V., Schlosser, J.F., Russini, A., & de Vargas, F. (2022). Hand-arm vibration in different operating conditions with a chainsaw. *Floresta*, 52(1), 074-082.

- [5] Färkkilä, M., Pyykkö, I., Jäntti, V., Aatola, S., Starck, J., & Korhonen, O. (1988). Forestry workers exposed to vibration: a neurological study. *Occupational and Environmental Medicine*, 45(3), 188-192.
- [6] Feyzi, M., Jafari, A., & 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 (In Persian)
- [7] Feyzi, M., Jafari, A., & Ahmadi, H. (2023). The effect of wood species on chainsaw vibrations during bucking operations. *International Journal of Forest Engineering* 34(177), 1-9.
- [8] Golmohammadi, R. (2017). OEL assessment guideline for noise and vibration, Daneshjou press, Hamedan.
- [9] Groover M.P. (2007). Work systems and methods, measurement, and management of work. Upper Saddle River (NJ), Pearson Prentice Hall: 778 p.
- [10] International Labor Organization (ILO). (1991). Occupational Safety and Health in Forestry; Report II; Forestry and Wood Industries Committee, Second Session: Geneva, Switzerland.
- [11] International Organization for Standardization UNI EN ISO 11681-1. (2011). Machinery for Forestry—Portable Chain-Saw Safety Requirements and Testing—Part 1: Chain-Saws for Forest Service; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- [12] Khajavi, S., Jourgholami, M., Majnounian, B., & 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)
- [13] Khajavi, S., Jourgholami, M., Majnounian, B., & Moradpour, P. (2020). Ergonomic evaluation of the effect of chainsaw on Vibration White Finger disease (VWF) in the operator. *Forest and Wood Products*, 72(4), 289-299 (In Persian)
- [14] Landekić, M., Bačić, M., Pandur, Z., & Šušnjar, M. (2020). Vibration levels of used chainsaws. *Forests*, 11(2), 249.
- [15] Majnounian, B., Jabari, M., Jourgholami, M., YarAhmadi, R., & Deljouei, A. (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)
- [16] Majnounian, B., Abdi, E., & Foshat, M. (2015). Ergonomy in Forestry and Wood Industry, Jihad University, Tehran.
- [17] Miyashita, K., Miyamoto, K., Kuroda, M., Takeda, S., & Iwata, H. (1994). Hand-arm vibration exposure and the development of vibration syndrome. *Nagoya Journal of Medical Science*, 57, 43-48.
- [18] Naghdi, R., Nikooy, M., Mohammadi Limaie, S., & Shormage, Y. (2010). Evaluation of felling productivity in Shafarood forest (Guilan province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(3), 425-417 (In Persian).
- [19] Poje, A., Potočnik, I., & Mihelič, M. (2018). Comparison of electric and petrol chainsaws in terms of efficiency and safety when used in young spruce stands in small-scale private forests. *Small-scale Forestry*, 17(3), 411-422.
- [20] Rahimi, F., Nikooy, M., & Ghajar, I. (2018). Ranking the dangers of working with chainsaw during felling operation. *Forest Research and Development*, 4(3), 401-413. (In Persian)
- [21] Rottensteiner, C., P. Tsioras., & K. Stampfer. (2012). Wood Density Impact on Hand-Arm Vibration. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(2), 303-312.
- [22] Rottensteiner, C., & Stampfer, K. (2013). Evaluation of operator vibration exposure to chainsaws equipped with a Kesper safety bar. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28(2), 193-200.
- [23] Stempski, W., Jabłoński, K., & Wegner, J. (2010). Relations between top-plate filling angle values of cutting chains and chainsaw vibration levels. *Acta Scientiarum Polonorum*, 9(2), 31-39.
- [24] The group of writers. (2022). Occupational exposure limits, Environment and Work Health Center, Ministry of Health, Treatment and Medical Education, Iran.
- [25] Yovi, E.Y., & Yamada, Y. (2019) Addressing Occupational Ergonomics Issues in Indonesian Forestry: Laborers, Operators, or Equivalent Workers. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 40(2), 351-363.