

ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Transmitted vibrations to the wrist and arm of a chainsaw operator: The effect of wood cutting process

Masoud Fezyi<sup>1\*</sup>, Ali Jafari<sup>2</sup>, Hojat Ahmadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup> Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 2019-03-15

Accepted: 2022-03-9

### ABSTRACT

**Introduction:** Due to the non-developed mechanization situation, chainsaw is a widely used tool in Iranian forests. This tool can trigger unwelcome disorders (e.g., white finger syndrome) due to the transmitted vibrations from its handle to the body members. Characterizing these vibrations can result in minimizing the intensity of these disorders. This study aims to investigate the effect of different hardwood species (Beech, Hornbeam, and Alder) on the vibrations transmitted to the wrist and arm.

**Material and Methods:** Experiments are conducted during four operations including Beech-, Hornbeam-, and Alder-cross-cutting and without cutting as the control sample. Vibration accelerations in three directions of a local Cartesian coordinate system are measured at three points including chainsaw handle, operator's arm and wrist. Using the time and frequency spectra of vibration accelerations, root mean square (RMS), total vibration acceleration, total vibration transmissibility, and frequency-weighted vibration acceleration are calculated based on ISO 5349 (2001) and ISO 10819 (2013) standards. The calculated parameters were statistically analyzed in SAS.

**Results:** The results showed that variations in wood species could significantly affect the RMS at all three points. The RMS magnitude decreases from handle towards the arm. Interestingly, a significant variation in vibration transmissibility is observed in different frequencies. This study confirms that body organs can damp the high-frequency vibrations better than the low frequency ones.

**Conclusion:** Although the RMS for cutting operations is less than the control sample, frequency-weighted vibration acceleration and consequently the risk of white finger syndrome is higher in cutting regimes. Furthermore, some vibration accelerations (below 40 Hz for wrist and below 25 Hz for arm) are amplified during transmission despite significant damping in total vibrations.

**Keywords:** Chainsaw, Hand-arm system, One/third octave frequency bands, Vibration acceleration

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Fezyi M, Jafari A, Ahmadi H. Transmitted vibrations to the wrist and arm of a chainsaw operator: The effect of wood cutting process. *J Health Saf Work*. 2022; 12(2): 309-323.

## 1. INTRODUCTION

Forestry machines have been significantly improved in recent decades; however, chainsaw plays a key role in forests for important operations such as tree felling, delimiting, log bucking, and pruning. In Iran, non-developed mechanization is assigned as a reason behind this wide utilization. In addition to fatal or nonfatal risks, exhaust gases of

engine, wood dust, poor body posture, and above all of these, excessive noise and vibration create poor ergonomic conditions for chainsaw operators. Previous studies reported that chainsaw exposes its own operator to high level of hand-arm vibration. Hand-arm vibration can cause fatigue, pain, cyanosis, and in more severe cases, entail Raynaud's phenomenon (White Finger Syndrome). Vibration

\* Corresponding Author Email: [masoudfeyzi@tabrizu.ac.ir](mailto:masoudfeyzi@tabrizu.ac.ir)

control is more achievable with identifying the main reasons of vibration and possibly its level and characteristics in different conditions. In addition, the analysis of the vibration transmission from handle to the body organs clarifies the body response to the vibration. Since the interaction between the chain and wood can affect the chainsaw vibration; hence, the wood species can change both the level and the characteristics of chainsaw vibration. In this study, the effect of Iranian hardwood species on the transmitted vibration from chainsaw handle to the wrist and arm of an operator is investigated. The results of this research can be used in chainsaw vibration control such as the design of anti-vibration handles and gloves.

**2. MATERIAL AND METHODS**

The Stihl-MS230 chainsaw is selected for this study. This chainsaw is equipped with anti-vibration system and has a guide bar with a length of 35 cm. The chainsaw is adjusted according to its manufacturer guidance. The fuel and lubricating oil tanks are approximately full throughout all tests.

Beech (*Fagus orientalis* Lipsky.), Hornbeam (*Carpinus betulus* L.), and Alder (*Alnus glutinosa* Willd) are the most frequent species in Iranian forests which cover around 68% of the forests. For each wood species, a log with 25×25×200 cm<sup>3</sup> dimensions are cut from tree trunk and used for the experiments.

A single-axial accelerometer (model VMI-192) and a portable easy-viber data acquisition system are used for sensing and collecting vibration acceleration data, respectively.

The vibration accelerations are measured during four operations (cutting three types of woods and without cutting condition as control sample), three locations (chainsaw handle and operator’s wrist and arm), and three orthogonal axes (axial, vertical, and lateral) over each test with five repetitions. The experiments are conducted in split plot design with 180 measurement samples. Operations are performed based on ISO 7505 (1986) standard and vibrations are measured based on ISO 5349 (2001) standard.

After field experiments, time and frequency spectra of vibration acceleration are transmitted to a computer for post-processing purposes. RMS, total vibration acceleration, total vibration transmissibility, and frequency-weighted vibration acceleration are calculated using respectively equations (1) to (4) as follows:

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

Where RMS is root mean square (m/s<sup>2</sup>), T is the measurement time (s), a is the vibration acceleration (m/s<sup>2</sup>), and t is the time (s).

$$A_{total} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \tag{2}$$

Where, A<sub>total</sub> is total vibration acceleration (m/s<sup>2</sup>) and Ai is vibration acceleration in i direction (m/s<sup>2</sup>).

$$Tr_{total-i} = \frac{\sqrt{A_{x-i}^2 + A_{y-i}^2 + A_{z-i}^2}}{\sqrt{A_{x-Handle}^2 + A_{y-Handle}^2 + A_{z-Handle}^2}} \tag{3}$$

Where, Tr<sub>total-i</sub> is total vibration transmissibility (non-dimension parameter), A<sub>j-i</sub> is the vibration acceleration in j direction and at i location, and A<sub>j-handle</sub> is vibration acceleration in j direction and at handle location.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (k_j a_{hj})^2} \tag{4}$$

Where, a<sub>hw</sub> is frequency-weighted vibration acceleration (m/s<sup>2</sup>), a<sub>hj</sub> is the RMS in the j<sub>th</sub> one-third octave band (m/s<sup>2</sup>), and k<sub>j</sub> is the weighting factor for j<sub>th</sub> one-third octave band (non-dimension parameter).

Finally, to evaluate the effect of different conditions on calculated vibration parameters, statistical analyses are carried out in SAS.

**3. RESULTS AND DISCUSSION**

The results of ANOVA analysis for RMS are summarized in Table 1. These results indicate that operation and axis can affect the RMS significantly (p<0.01) in chainsaw handle and the operator’s wrist and arm.

The mean of total vibration acceleration in different operations and locations are illustrated in Fig. 1. One can clearly see that the vibration acceleration in control sample is more than that in wood-cutting operations. The interaction between chain and wood can decrease the magnitude of vibration. Since the risk of white finger syndrome depends on frequency-weighted vibration acceleration, lower vibrations in wood-cutting cases do not represent a subsidence in this syndrome. Surprisingly, the frequency-weighted vibration acceleration is minimum for control sample. In fact, the interaction between chain and wood decreases the vibration acceleration in high frequencies; however, it increases the

Table 1. Results from ANOVA analysis for RMS vibration acceleration.

Source of variation	Degrees of freedom	Mean square		
		Handle	Wrist	Arm
<b>Operation</b>	3	68.2481**	0.1849**	0.1219**
<b>Main error</b>	16	2.0548	0.0442	0.0056
<b>Axis</b>	2	335.3894**	4.1904**	0.0403**
<b>Operation*Axis</b>	6	7.0788**	0.0701 <sup>ns</sup>	0.0148 <sup>*</sup>
<b>Error</b>	32	1.8335	0.0341	0.0048

<sup>\*</sup>Significant at level 5%, <sup>\*\*</sup>Significant at level 1%, <sup>ns</sup> non-significant

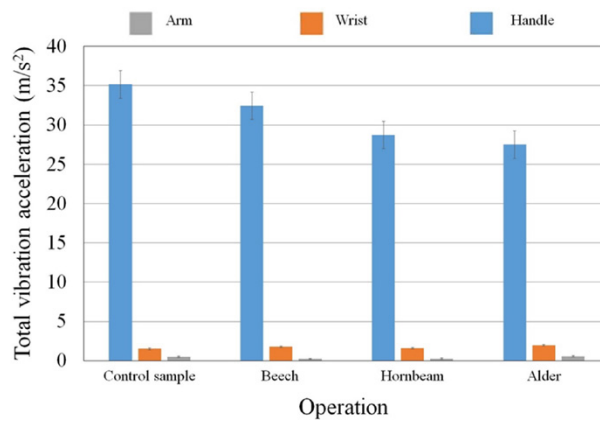


Fig. 1. The mean of total vibration acceleration in different operations and locations.

Table 2. Results from ANOVA analysis of total vibration transmissibility.

Source of variation	Degrees of freedom	Mean square	
		From handle to wrist	From handle to arm
<b>Operation</b>	3	0.00064**	0.00017**
<b>Error</b>	16	0.00010	0.00001

vibration acceleration in low-frequency domain. Wood-cutting operation affects the vibration more noticeably in high-frequency domain and therefore, lower RMS values are resulted. Since the weighting factors for low frequencies are more than those for high frequencies, the frequency-weighted vibration acceleration increases in wood-cutting operations.

In all operations, the vibration acceleration at handle is more than 25 m/s<sup>2</sup> while it is less than 2 m/s<sup>2</sup> and 1 m/s<sup>2</sup> at wrist and arm, respectively. The vibration acceleration is damped more than 92% and 96% from chainsaw handle towards the operator wrist and his arm, respectively. Since the amount of vibration acceleration at the wrist and arm are lower, the analysis and comparison for transmissibility is somewhat difficult (see Fig. 1). Hence, ANOVA analyses for total vibration

transmissibility are summarized in Table 2. As it can be seen, operation type significantly affects the total vibration transmissibility (p<0.01). The vibration acceleration transmissibility from the handle to the wrist and arm are shown in Fig. 2 for different one-third octave band centers. It is clearly observed that the transmissibility depends on the frequency, significantly. It is not clear to find a specific pattern in transmissibility; however, it is clear that its value in low frequencies for control sample is more than that for wood-cutting regimes. As shown in Fig. 2, transmissibility in some low frequencies (below 40 Hz and 25 Hz for wrist and the arm respectively) is more than 1. This signifies the amplifications in vibration acceleration and confirms that the body organs as more sensitive to the low-frequency vibrations.

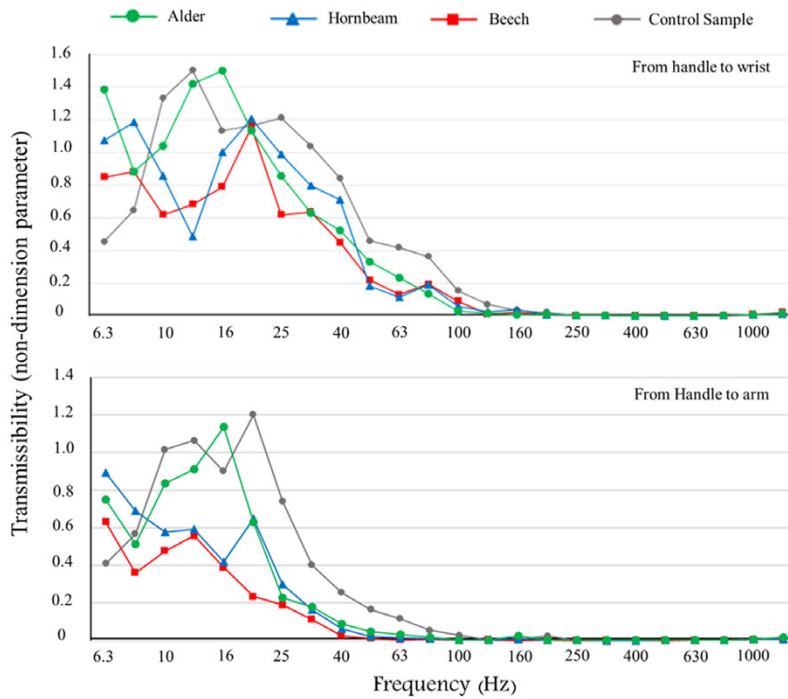


Fig. 2. Transmissibility from chainsaw handle to the operator's wrist and arm at the frequency center of one-third octave bands.

#### 4. CONCLUSIONS

Wood-cutting operation can affect the value and also characteristics of vibrations in chainsaw handle. Root mean square of vibration acceleration in wood-cutting regimes is less than that in control sample. The interaction between chain and wood can damp the vibrations; however, frequency-weighted vibration acceleration and consequently the risk of white finger syndrome increases in

wood-cutting conditions. Body organs better damp the vibrations in high frequencies. Vibration acceleration amplifies during transmission from handle to the wrist and the arm in low frequencies. The behavior of transmissibility in different one-third octave bands is similar to the weighting factor in ISO 5349 (2001), and this confirms that the body organs are more sensitive to the low-frequency vibrations.

## تأثیر برش چوب بر ارتعاش انتقال یافته به دست و بازوی کاربر اژه موتوری

مسعود فیضی<sup>۱\*</sup>، علی جعفری<sup>۲</sup>، حجت احمدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

<sup>۲</sup> گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۸

### مکیده

**مقدمه:** به دلیل وضعیت رشدنیافته مکانیزاسیون، اژه موتوری یکی از ابزارهای پرکاربرد در جنگل‌های ایران است. این ابزار، به واسطه ارتعاشات انتقال یافته از طریق دسته به اعضای بدن، می‌تواند موجب ایجاد اختلالات ناخواسته (مانند سندرم انگشت سفید) گردد. شناسایی این ارتعاشات می‌تواند موجب به حداقل رساندن شدت این اختلالات گردد. این مطالعه هدف بررسی تأثیر گونه‌های مختلف چوب جنگلی (راش، ممرز و توسکا) بر ارتعاشات انتقال یافته به میچ و بازو را دنبال می‌کند.

**روش کار:** آزمایش‌ها در چهار عملیات شامل برش مقطعی راش، ممرز و توسکا و حالت بدون برش به‌عنوان تیمار شاهد انجام شد. شتاب ارتعاشات در سه جهت تعریف شده در سیستم مختصات دکارتی در سه نقطه شامل دسته اژه موتوری، میچ و بازوی کاربر اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های حوزه زمان و فرکانس شتاب ارتعاشات، جذر میانگین مربعات (RMS)، برآیند شتاب ارتعاش، انتقال پذیری کلی ارتعاش و شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی بر اساس استانداردهای (ISO 10819 (2013) و ISO 5349 (2001)، محاسبه شدند. پارامترهای محاسبه شده در نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد 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 انتقال پذیری ارتعاش در فرکانس‌های مختلف مشاهده شد. این مطالعه تأیید می‌کند که اندام‌های بدن ارتعاشات با فرکانس‌های بالا را بهتر از فرکانس‌های پایین میرا می‌کنند.

**نتیجه‌گیری:** هرچند که میزان جذر 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. همچنین، شتاب ارتعاش در برخی از فرکانس‌ها (زیر ۴۰ هرتز برای میچ و زیر ۲۵ هرتز برای بازو) حین انتقال، با وجود میرایی معنی‌دار در ارتعاشات کلی، تقویت شده است.

**کلمات کلیدی:** اژه موتوری، باندهای فرکانسی یک‌سوم اکتاو، سیستم دست-بازو، شتاب ارتعاش

\* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: [masoudfeyzi@tabrizu.ac.ir](mailto:masoudfeyzi@tabrizu.ac.ir)

## مقدمه

مطالعات قبلی حاکی از بالا بودن سطح ارتعاش در دسته‌های اژه موتوری و شیوع فراوان عارضه‌های ارتعاشی و یا خطر ابتلا به آن بین کاربران اژه موتوری می باشد. پیمایشی که بر روی ۱۵۴۰ نفر از جنگلبانان در کبک انجام شده بود نشان داد که میزان شیوع پدیده رینود در کاربران اژه موتوری ۳۰/۵ و در سایر افراد ۸/۷ درصد است (۱۳). در مطالعه دیگری، مقایسه کاربران اژه موتوری با کارگران بخش تعمیر و نگهداری نشان داد که میزان شیوع دردهای بالاتنه، عارضه‌های ماهیچه‌ای-تاندونی و سندرم تونل کارپال در میان کاربران اژه موتوری به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه شاهد است. میزان وقوع بیماری‌های اسکلتی-عضلانی با افزایش میزان مواجهه با ارتعاشات افزایش می‌یافت. همچنین عملکرد اندام‌های فوقانی در کاربران اژه موتوری دچار اختلال شده بود (۱۴). شناخت عوامل تأثیرگذار در هر پدیده، گامی ضروری در جهت کنترل آن است. از عوامل تأثیرگذار در ارتعاشات اژه موتوری می‌توان ویژگی‌های اژه موتوری (نحوه تعمیر و نگهداری، مدت زمان مورداستفاده و قطعات بکار رفته در آن، ویژگی‌های بدنی کاربر و نوع چوب را نام برد (۱۵). نتایج اندازه‌گیری ارتعاشات بر روی دسته‌های سه مدل متفاوت اژه موتوری حین برش سه نوع چوب نشان داد که هرچند، میزان جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در برش چوب‌های مختلف تفاوت معنی‌دار ندارد، اما شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی (عامل مؤثر در ابتلا به عارضه انگشت سفید) بین چوب‌های مختلف، به‌طور معنی‌داری متفاوت است (۲). مجهز نمودن اژه موتوری به دسته ضد ارتعاش، توانست میزان تکان را حدوداً نصف نموده و میزان شتاب را به مابین یک‌سوم تا یک‌هشتم مقدار آن در اژه موتوری‌های با دسته صلب برساند (۱۶). در نتیجه مطالعه ارتعاش بر روی دسته‌های اژه موتوری، روشن شد که میزان شتاب ارتعاش بیشینه در دسته‌های جلو و عقب، در جهت‌های مختلفی نسبت به دسته ظاهر گردیده است (۱۷).

در کنار شناخت سطح و خصوصیات ارتعاشات وارد بر بدن انسان و بررسی عوامل مؤثر بر آن، مطالعه نحوه

ارزیابی ریسک و مدیریت جنگل‌ها از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی بوده که امروزه توجه سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری را به خود جلب نموده است (۱). علی‌رغم پیشرفت‌های بسیار زیاد در زمینه ماشین‌های جنگلداری، اژه موتوری به دلایلی از قبیل سطح پایین مکانیزاسیون در جنگل‌ها، مشکل در جذب سرمایه جهت خرید ماشین‌های جدید، عدم تمایل به سرمایه‌گذاری در جنگل‌های با مقیاس کوچک و یا قطور بودن درختان، کاربرد گسترده‌ای در قطع و تبدیل درختان جنگلی دارد (۲). دلیل کاربرد بسیار زیاد این ماشین در جنگل‌های ایران، سطح پایین مکانیزاسیون ذکر شده است (۳). کاربر اژه موتوری در معرض دود ناشی از موتور احتراقی، خرده چوب‌های حاصل از برش چوب (۴) و پوسچر نامناسب بدن قرار دارد. اما مهم‌ترین خطراتی که کاربر دائماً در معرض آن‌هاست، صدا و ارتعاش این ماشین است (۲). می‌توان گفت که اژه موتوری در کنار ماشین‌هایی مانند تراکتور (۵، ۶) و تیلر (۷، ۸) جزء ماشین‌های با سطوح ارتعاش بالا در زمینه کشاورزی و جنگلداری است. سطوح بالای ارتعاشی که به دستان کاربر اژه موتوری منتقل می‌شود، ممکن است موجب خستگی، درد و رنج کبود (سیانوز) در دستان گردد و یا در مراحل پیشرفته‌تر، پدیده رینود (عارضه انگشت سفید یا سفیدی دست) را به همراه داشته باشد (۹). در واقع ارتعاش بالای اژه موتوری، جریان گردش خون در دست کارگر را مختل نموده و در صورت کار مداوم طی سالیان دراز با این ماشین، به‌صورت حاد بروز نموده و در ایامی که فرد مشغول کار نیست، سیستم عروق دست وی کارایی لازم را نداشته و به دلیل نارسایی در گردش خون، دست به رنگ سفیدتری دیده می‌شود که به آن اصطلاح سفیدی دست اطلاق می‌شود (۱۰). بی‌حسی موضعی، کاهش قدرت چنگش و عملکرد در انگشتان دست، ضعیف شدن ماهیچه‌ها، درد در بازو و شانه‌ها (۱۱)، سردرد، زودرنجی، پریشان‌حالی، فراموش کاری و مشکلات خواب (۱۲)، از دیگر عوارض این بیماری به حساب می‌آیند.

ارتعاش توسط انگشتان، در فرکانس‌های بالاتر از ۱۰۰ هرتز، عملاً از شرایط در دست گرفتن دسته مستقل است. شرایط در دست گرفتن دسته مقدار جذب انرژی در انگشتان و کف دست را به‌گونه‌ای متفاوت تحت تأثیر قرار می‌داد (۲۰).

با توجه به تأثیر گونه‌های مختلف چوب بر خصوصیات ارتعاشی از موتور (۲، ۲۵) و نیز تأثیر شرایط کاری بر انتقال ارتعاش در اندام‌های بدن، هدف از مطالعه حاضر بررسی این موضوع است که برش چوب‌های مختلف، چگونه ارتعاش انتقال‌یافته از دسته از موتور به مچ دست و بازوی کاربر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یافته‌های این مطالعه می‌تواند در جهت طراحی دسته‌های ضد ارتعاش برای از موتور، ساخت دستکش‌های ضد ارتعاش برای کاربران این ماشین و یا تنظیم قوانین مربوط به کار در مورد کاربران این ماشین بکار آید.

### روش کار

در این مطالعه ارتعاشات در دسته جلوی از موتور Stihl-MS230 مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. این از موتور مجهز به سیستم ضد ارتعاش و یک تیغه به طول ۳۵ سانتی‌متر بود. اطلاعات تکمیلی در شکل (۱) آورده شده است.

آزمایش بر روی چوب‌هایی که بیشترین فراوانی جنگل‌های شمال ایران را به خود اختصاص می‌دهند انجام شد. درختان راش، ممرز و توسکا به ترتیب ۳۳، ۲۶ و ۹ درصد فراوانی این جنگل‌ها را شامل می‌شوند (۲۶). چوب‌های مورد مطالعه در فصل بهره‌برداری از جنگل تحقیقاتی دانشگاه تهران واقع در خیرود کنار نوشهر تهیه گردید (۲۷، ۲۸). از هر کدام از چوب‌های نامبرده، یک قطعه به ابعاد ۲۵×۲۵×۲۰ سانتی‌متر از تنه اصلی درخت در محلی که بدون گره، پیچیدگی الیاف و پوسیدگی بود، برش داده شد. جهت حفظ رطوبت، چوب‌ها بلافاصله در نایلون پیچیده شده و به کارگاه ماشین‌های کشاورزی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران در شهر کرج منتقل گردید.

انتقال این ارتعاشات به اندام‌های بدن نیز ضروری به نظر می‌رسد. پاسخ بدن به ارتعاشات با فرکانس‌های مختلف بسیار متفاوت است. درک بدن از ارتعاشات با فرکانس‌های پایین، بالا بوده و با افزایش فرکانس، این درک به‌طور مؤثری کاهش می‌یابد (۱۸). لذا فاکتور وزن آورده شده در استاندارد بین‌المللی مربوط به ارتعاشات دست-بازو برای ارتعاشات با فرکانس‌های مختلف، متفاوت است (۱۹). حتی برخی از محققین اظهار داشته‌اند که ضرایب وزنی آورده شده در این استاندارد نیز به‌خوبی نمی‌تواند نقش ارتعاشات در فرکانس‌های مختلف را بیان نماید (۲۰). به‌هرحال، نتایج مطالعات مختلف نشان داده‌اند که میرایی ارتعاشات در اندام‌های بدن در فرکانس‌های بالا بهتر از فرکانس‌های پایین صورت می‌گیرد (۲۱، ۲۲). ارتعاش منتقل‌شده به اندام‌های بدن ممکن است با وضعیت دست-بازو، نیروی اعمالی دست و میزان ارتعاشات تغییر کند (۲۳). مطالعه‌ای نشان داد که میزان ارتعاشات دست-بازوی انتقال‌یافته به بدن با فاصله گرفتن از دست کاهش‌یافته و این کاهش در جهت‌های مختلف، متفاوت است. همچنین به‌طور ویژه، در قسمت بالای بازو و شانه تنها انتقال ملایم ارتعاش در گستره فرکانسی بین ۱۶ تا ۵۰ هرتز قابل‌اندازه‌گیری بود و عملاً هیچ انتقالی در فرکانس‌های بالاتر از ۵۰ هرتز اندازه‌گیری نشد. به عبارتی در فرکانس‌های بالاتر از ۵۰ هرتز، ارتعاشات به میزان بسیار کمی به قسمت بالای بازو و شانه‌ها انتقال یافته و انتقال ارتعاش به‌طور مؤثری به دست و انگشتان محدود بود (۲۲). مطالعه دیگری نشان داد که سیستم دست-بازوی انسان در حالت آرنج صاف، ارتعاشات منتقل‌شده به قسمت بالای بازو و بدن را در فرکانس‌های زیر ۲۵ هرتز تقویت می‌کند، اما ارتعاشات در فرکانس‌های بالای ۲۵ هرتز به‌جز در شانه، در حالت آرنج صاف خیلی بیشتر از حالت آرنج خمیده میرا می‌شوند (۲۴). مطابق با نتایج یک تحقیق، میزان جذب انرژی ارتعاش در فرکانس‌های پایین (کمتر از ۲۵ هرتز)، در انگشتان دست به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کمتر از کف دست است. همچنین مقدار جذب انرژی

جدول ۱. مشخصات اژه موتوری Stihl-MS230

نوع موتور	بنزینی، دو زمانه، تک سیلندر، هوا خنک
حجم جابجایی	۴۰/۲ سی سی
توان خروجی	۲/۵ اسب بخار در دور موتور ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه
نوع کاربراتور	دیفراگم
نسبت ترکیب سوخت و روغن	بنزین به روغن (۲۵ به ۱)
قطر پیستون	۴۰ میلی متر

جدول ۲. مشخصات سامانه استحصال داده Easy-Viber

تفکیک پذیری طیف	۰/۳۱۲۵ یا ۰/۰۶۲۵ هرتز؛ ۰/۵ یا ۱ هرتز؛ ۲/۵ یا ۵ هرتز
امکان انتخاب محدوده فرکانسی	۰/۵ تا ۲۰۰ هرتز؛ ۰/۵ تا ۳۲۰۰ هرتز؛ ۲/۵ تا ۱۶۰۰۰ هرتز
سرعت واقعی داده برداری	۸/۲ یا ۱۶/۴ کیلوهرتز
محدوده دینامیکی	بیش از ۸۰ دسی بل



شکل ۱. (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب جهت‌های اندازه‌گیری ارتعاشات بر روی دسته، میچ و بازو (د) شرایط انجام آزمایش

استحصال داده مدل Easy-Viber که مشخصات آن در جدول (۲) آورده شده است انتقال داده می‌شد و ثبت می‌گردید. شتاب ارتعاشات بر روی دسته جلوی اژه و میچ و بازوی

شتاب ارتعاشات با استفاده از یک حسگر پیزوالکتریک مدل VMI-192 به وزن تقریبی ۵۰ گرم، حساسیت ۱۰۰ میلی ولت به ازای هر واحد شتاب گرانش و محدوده دینامیکی ۸۰ برابر شتاب گرانش، حس شده و به سامانه



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

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

$$A_{total} = \sqrt{A_X^2 + A_Y^2 + A_Z^2} \quad 2$$

در این معادله،  $A_{total}$ ، برآیند شتاب ارتعاش  $(m.s^{-2})$  و  $A_X$ ،  $A_Y$  و  $A_Z$  به ترتیب میزان شتاب ارتعاش در راستای X، Y و Z  $(m.s^{-2})$  هستند.

جهت محاسبه میزان انتقال‌پذیری کلی از معادله (۳) مطابق با استاندارد بین‌المللی (ISO 10819 (2013) استفاده شد (۳۰).

$$Tr_{total-i} = \frac{\sqrt{A_{X-i}^2 + A_{Y-i}^2 + A_{Z-i}^2}}{\sqrt{A_{X-Handle}^2 + A_{Y-Handle}^2 + A_{Z-Handle}^2}} \quad 3$$

که در آن:  $Tr_{total-i}$  میزان انتقال‌پذیری ارتعاش در عضو i (بدون واحد) و  $A_{j-i}$ ، میزان شتاب ارتعاش در موقعیت i و در جهت j  $(m.s^{-2})$  است. i می‌تواند موقعیت میچ یا بازو باشد.

در مرحله بعد، با استفاده از نرم‌افزار مخصوص دستگاه، سیگنال‌های حوزه فرکانس نیز استخراج گردید. سپس در نرم‌افزار MATLAB برنامه‌ای جهت استخراج مقادیر جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در باندهای یک‌سوم اکتاو و محاسبه شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی که عامل مهم در تعیین احتمال ابتلا به عارضه انگشت سفید است، در موقعیت دسته، بر اساس استاندارد (ISO 5349 (2001) با استفاده از معادله (۴) محاسبه گردید (۱۹).

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (k_j a_{hj})^2} \quad 4$$

در این معادله  $a_{hw}$ ، میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در جهت w  $(m.s^{-2})$ ؛  $k_j$ ، فاکتور وزنی زمین باند

کاربر در سه جهت محوری، عمودی و جانبی اندازه‌گیری شد. حسگر با روش پیچ کردن در نقطه و جهت موردنظر نصب می‌شد. بدین ترتیب که دو پایه مکعبی با سوراخ‌های رزوه‌داری در جهت‌های مختلف به منظور بستن حسگر تعبیه شد. یک پایه با استفاده از گیره فلزی بر روی دسته و پایه دیگر با استفاده از یک دستبند چرمی بر روی میچ و بازوی کاربر بسته می‌شد. مطابق با استاندارد ISO 7505 (1986)، چوب‌ها به صورت افقی در ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری زمین ثابت شد (۲۹). نحوه انجام آزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است.

قبل از انجام آزمایش‌ها، آژده موتوری مطابق با دفترچه راهنمای سازنده تنظیم گردید، از سالم بودن تمامی قطعات آن از قبیل تیغه و زنجیر اطمینان حاصل شد و موتور آن قبل از شروع آزمایش‌ها گرم شده و به شرایط پایدار رسید. در تمام طول آزمایش‌ها مخزن‌های روغن و بنزین تقریباً پر بودند. آزمایش‌ها در حالت برش سه نوع چوب جنگلی مختلف (راش، ممرز و توسکا) انجام شد. حالت بدون برش چوب نیز به عنوان تیمار شاهد اضافه گردید و بدین ترتیب چهار عملیات مختلف شامل برش راش، برش ممرز، برش توسکا و بدون برش موردبررسی قرار گرفتند. در هر عملیات، شتاب ارتعاش در سه موقعیت مختلف شامل دسته آژده موتوری، میچ کاربر و بازوی کاربر و در سه جهت عمود بر هم (محوری، عمودی و جانبی) اندازه‌گیری شد. هر اندازه‌گیری ۵ بار تکرار گردید. با توجه به اینکه بستن هر چوب مطابق با شرایط آزمایش، کاری وقت‌گیر و طاقت‌فرسا بود، آزمایش‌ها به صورت طرح کورت خردشده در قالب طرح کاملاً تصادفی با مجموعاً ۱۸۰ آزمایش انجام شد.

در پایان هر مرحله از داده‌برداری، داده‌های شتاب ارتعاش ذخیره‌شده به رایانه منتقل می‌شدند. این داده‌ها در واقع سیگنال‌های شتاب ارتعاش در حوزه زمان بودند. میزان جذر میانگین مربعات (RMS) شتاب ارتعاش در هر جهت با استفاده از معادله (۱) استخراج شد. برآیند شتاب ارتعاشات سه جهته در هر نقطه نیز با استفاده از معادله (۲) محاسبه گردید.

در میج کاربرد نسبت به دسته بسیار کم تر بوده و این روند کاهش در بازو نیز ادامه یافته است. برش هر سه گونه چوب موجب کاهش مقدار شتاب ارتعاش در دسته آره موتوری نسبت به تیمار شاهد شده است. به عبارتی برش چوب موجب میرا شدن بخشی از ارتعاشات شده است.

نتایج تجزیه واریانس جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش (RMS)، در جدول (۴) آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود، تأثیر عملیات بر میزان RMS شتاب ارتعاش که به نوعی بیان کننده بزرگی ارتعاشات است، در هر سه موقعیت دسته، میج و بازو در سطح ۱٪ معنی دار شده است. همچنین مقادیر شتاب ارتعاش در هر سه موقعیت، در جهت های مختلف دارای تفاوت معنی دار در سطح ۱٪ است. نتایج مقایسه میانگین آشکار ساخت که در دسته آره موتوری مقادیر RMS شتاب ارتعاش در تمامی چهار عملیات با هم اختلاف معنی دار دارند ( $p < 0.05$ ).

یک سوم اکتاو و  $a_{ij}$  جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در ز امین باند فرکانسی یک سوم اکتاو ( $m.s^{-2}$ ) است.

در پایان، داده ها در نرم افزار آماری SAS به صورت طرح کرت خرد شده در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت مقایسه میانگین ها، از آزمون چند دامنه ای دانکن استفاده شد.

### یافته ها

مقادیر میانگین و انحراف معیار جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در جدول (۳) آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود، در تمامی چهار عملیات، شتاب ارتعاش در راستای عمودی دسته، بیش ترین مقدار و در راستای محوری دسته، کم ترین مقدار را داشته است. شاید بتوان گفت که دلیل این مسئله هم راستایی جهت حرکت پیستون موتور با راستای عمودی دسته است. مقادیر شتاب ارتعاش

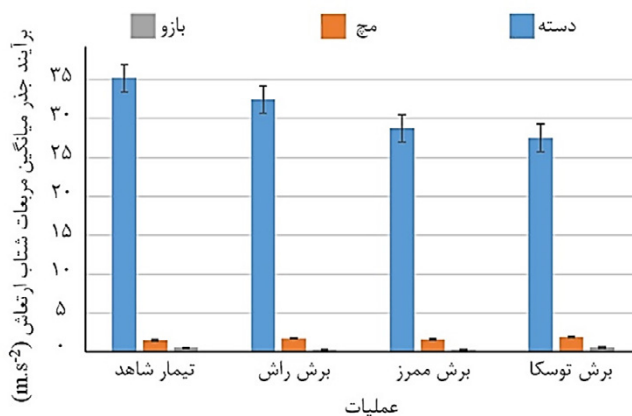
جدول ۳. مقادیر میانگین و انحراف معیار جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در عملیات، موقعیت ها و جهت های مختلف

جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش (متر بر مجذور ثانیه)			موقعیت	عملیات
محوری	جانبی	عمودی		
۱۵/۱۳۳ (۰/۴۹۰)	۲۰/۷۵۲ (۱/۶۵۷)	۲۴/۰۰۲ (۰/۸۲۴)	دسته	تیمار شاهد
۰/۳۹۶ (۰/۰۳۱)	۰/۸۰۱ (۰/۰۶۶)	۱/۲۱۱ (۰/۰۹۲)	میج	
۰/۳۰۴ (۰/۰۵۴)	۰/۲۲۶ (۰/۰۰۴)	۰/۳۵۱ (۰/۰۴۲)	بازو	
۱۴/۸۳۹ (۱/۲۰۰)	۱۹/۵۷۸ (۲/۳۹۲)	۲۱/۰۶۱ (۱/۸۲۳)	دسته	برش راش
۰/۴۳۵ (۰/۰۶۹)	۰/۷۱۶ (۰/۰۶۰)	۱/۵۶۰ (۰/۴۶۷)	میج	
۰/۱۲۳ (۰/۰۱۶)	۰/۱۵۳ (۰/۰۴۳)	۰/۱۱۹ (۰/۰۱۲)	بازو	
۱۲/۸۹۵ (۱/۳۲۴)	۱۷/۲۷۶ (۱/۵۶۴)	۱۸/۹۰۰ (۰/۹۲۷)	دسته	برش ممرز
۰/۳۸۳ (۰/۰۳۴)	۰/۹۰۶ (۰/۰۹۱)	۱/۲۶۹ (۰/۱۸۴)	میج	
۰/۱۴۹ (۰/۰۴۲)	۰/۱۳۶ (۰/۰۱۳)	۰/۱۸۵ (۰/۰۱۷)	بازو	
۹/۱۹۲ (۰/۵۲۹)	۱۶/۲۲۴ (۰/۹۶۸)	۲۰/۱۸۲ (۱/۵۷۱)	دسته	برش توسکا
۰/۷۰۵ (۰/۰۹۶)	۰/۹۵۵ (۰/۱۶۸)	۱/۵۱۷ (۰/۳۵۸)	میج	
۰/۲۹۶ (۰/۰۸۷)	۰/۱۹۹ (۰/۰۵۱)	۰/۴۱۷ (۰/۲۰۴)	بازو	

جدول ۴. تجزیه واریانس جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییرات
بازو	مچ	دسته		
۰/۱۲۱۹**	۰/۱۸۴۹**	۶۸/۲۴۸۱**	۳	عملیات
۰/۰۰۵۶	۰/۰۴۴۲	۲/۰۵۴۸	۱۶	خطای اصلی
۰/۰۴۰۳**	۴/۱۹۰۴**	۳۳۵/۳۸۹۴**	۲	جهت
۰/۰۱۴۸*	۰/۰۷۰۱ <sup>NS</sup>	۷/۰۷۸۸**	۶	عملیات×جهت
۰/۰۰۴۸	۰/۰۳۴۱	۱/۸۳۳۵	۳۲	خطای فرعی

\* معنی دار در سطح ۰/۰۵، \*\* معنی دار در سطح ۰/۰۱، <sup>NS</sup> معنی دار نیست.



شکل ۲. مقادیر برآیند جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش در موقعیت‌ها و عملیات مختلف

جدول ۵. تجزیه واریانس انتقال پذیری کلی ارتعاش

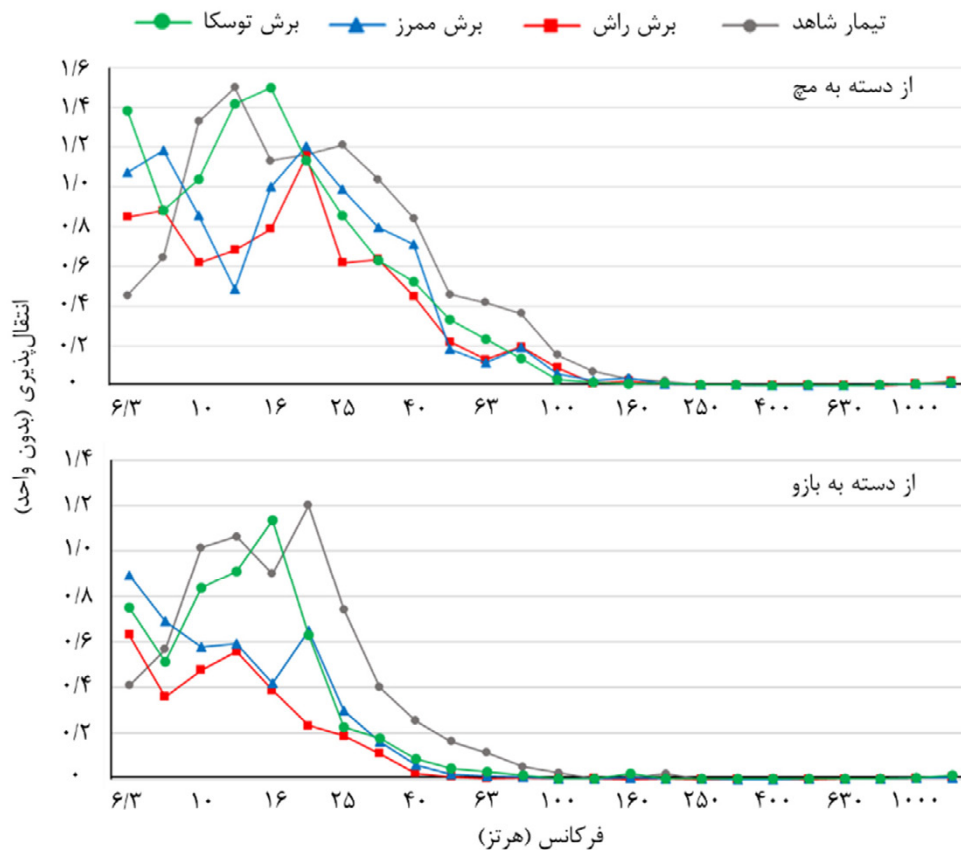
میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
از دسته به بازو	از دسته به مچ		
۰/۰۰۰۱۷**	۰/۰۰۰۶۴**	۳	عملیات
۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱۰	۱۶	خطا

\*\* معنی دار در سطح ۰/۰۱

و در بازو کم‌تر از یک متر بر مجذور ثانیه است. به عبارتی، ارتعاشات حین انتقال از دسته از موتور به مچ دست و بازوی کاربر به ترتیب بیش از ۹۲ و ۹۶ درصد میرا شده‌اند. مقادیر پایین شتاب ارتعاش در موقعیت‌های مچ و بازوی کاربر نسبت به دسته از موتور، مقایسه و تحلیل چگونگی انتقال ارتعاش با استفاده از این نمودار را قدری

اما در موقعیت‌های مچ و بازو، تفاوت بین برخی از آن‌ها معنی دار نبود.

مقادیر میانگین برآیند سه جهته شتاب ارتعاش در شکل ۲ نشان داده شده است. در تمامی موارد، شتاب ارتعاش بر روی دسته از ۲۵ متر بر مجذور ثانیه تجاوز نموده است؛ درحالی‌که این مقدار در مچ دست کم‌تر از ۲



شکل ۳. مقادیر انتقال‌پذیری ارتعاش از دسته آژه موتوری به مچ و بازوی کاربر در باندهای یک‌سوم اکتاو

عبارتی ارتعاشات با فرکانس پایین در حالت برش چوب نسبت به حالت بدون برش، بیش‌تر میرا شده‌اند و یا کم‌تر تقویت گشته‌اند.

### بحث

مقادیر RMS شتاب ارتعاش بر روی دسته آژه موتوری در تمامی چهار عملیات دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪ بود. به عبارتی برش هر سه نوع چوب، هرکدام به‌نوعی متفاوت، سبب ایجاد یک تغییر معنی‌دار در بزرگی ارتعاشات در دسته شده‌اند. در مطالعه انجام‌گرفته بر روی چوب‌های صنوبر سیاه‌وسفید، صنوبر نروژی و راش اروپایی، این تأثیر معنی‌دار نبود (۲). بزرگ‌ترین میزان جذر میانگین مربعات شتاب ارتعاش مربوط به تیمار شاهد و برابر با ۳۵/۱۷ متر بر مجذور ثانیه بود. می‌توان چنین

مشکل می‌سازد. لذا، نتایج تجزیه واریانس انتقال‌پذیری کلی ارتعاش در جدول (۵) آورده شده است. آشکار است که نوع عملیات، میزان ارتعاش کلی انتقال‌یافته به مچ دست و بازوی کاربر را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داده است.

جهت بررسی ارتعاشات انتقال‌یافته به اندام‌های بدن در فرکانس‌های مختلف، میزان انتقال‌پذیری ارتعاش در بازوهای فرکانسی یک‌سوم اکتاو محاسبه شده و مقادیر آن در شکل ۳ نشان داده شده است. تفاوت‌هایی در میزان انتقال‌پذیری ارتعاش بین چهار عملیات مختلف مشاهده می‌شود، اما نمی‌توان نتیجه مشخصی را از آن استنباط نمود. به‌هرحال میزان شتاب ارتعاش انتقال‌یافته به مچ و بازو در حالت‌های مختلف برش چوب در اکثر مراکز فرکانسی پایین، در مقایسه با تیمار شاهد کم‌تر است. به

ناشی از تفاوت در سطح ارتعاشات یا خصوصیات آن باشد. بیشترین میزان انتقال‌پذیری ارتعاش به میچ دست و بازو مربوط به حالت برش چوب توسکا بود، درحالی‌که کمترین میزان آن در میچ و بازو به ترتیب مربوط به تیمار شاهد و برش چوب راش بود. میانگین میزان ارتعاش انتقال‌یافته به بازو نسبت به میچ کمتر بود که مؤید نتیجه مطالعه‌ای بود که بیان می‌نمود میزان ارتعاشات دست-بازوی انتقال‌یافته به بدن با فاصله گرفتن از دست کاهش می‌یابد (۲۲).

از شکل ۳ می‌توان دریافت که میزان انتقال‌پذیری ارتعاش به میچ و بازو به ترتیب در برخی از فرکانس‌های زیر ۴۰ هرتز و زیر ۲۵ هرتز بیشتر از یک است و نشان از تقویت ارتعاشات در این فرکانس‌ها هنگام انتقال به اندام‌های بدن دارد که با نتایج مطالعات قبلی هماهنگ است (۲۴). با یک نگاه کلی می‌توان عنوان کرد که انتقال‌پذیری در فرکانس‌های پایین در ابتدا با افزایش فرکانس افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد تا در فرکانس‌های بالای ۱۰۰ هرتز به مقادیر بسیار کمی می‌رسد. این روند تغییر با روند تغییر وزن‌های اختصاص داده شده به فرکانس‌های مختلف در استاندارد (2001) ISO 5349 مطابقت خوبی دارد (۱۹). در واقع می‌توان تأیید نمود که اندام‌های بدن ارتعاشات با فرکانس‌های بالاتر را بهتر می‌کنند (۲۱، ۲۲). در فرکانس‌های بالای ۱۰۰ هرتز میزان ارتعاش انتقال‌یافته بسیار ناچیز است و عملاً ارتعاشی انتقال نیافته است. همچنین انتقال‌پذیری ارتعاش در این فرکانس‌ها مستقل از شرایط کاری بوده است. این نتایج نیز با نتایج مطالعات قبلی هماهنگ است (۲۰، ۲۲).

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی تأثیر برش چوب‌های مختلف جنگلی بر ارتعاشات انتقال‌یافته از دسته یک نوع از مونتوری به میچ دست و بازوی کاربر پرداخته شد. هرچند که مقادیر RMS شتاب ارتعاش بر روی دسته در تیمار شاهد بیشتر از حالت‌های مختلف برش چوب بود؛ اما تأثیر مخرب در جهت پیشرفت عارضه انگشت

عنوان کرد که برش چوب موجب میرا شدن ارتعاشات در دسته از مونتوری شده است. البته باید توجه داشت که این مسئله، لزوماً به معنی کم شدن احتمال خطر ابتلا به عارضه انگشت سفید در حالت برش چوب نسبت به تیمار شاهد نیست. چراکه مطابق با استاندارد ISO (2001) 5349 خطر ابتلا به این بیماری به‌شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی بستگی دارد که در محاسبه آن با توجه به معادله (۴)، به ارتعاشات در فرکانس‌های مختلف وزن‌های متفاوتی اختصاص می‌یابد و وزن فرکانس‌های پایین‌تر بیشتر است (۱۹). در واقع هر چه شتاب ارتعاش در فرکانس‌های پایین‌تر باشد احتمال خطر ابتلا به این عارضه نیز بیشتر است. اتفاقاً میزان شتاب ارتعاش وزن‌دار شده فرکانسی در تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری از حالت‌های برش چوب کمتر بود (۱/۵۰) برای تیمار شاهد و ۱/۸۰ تا ۱/۸۸ برای برش چوب‌های مختلف؛ یعنی تأثیر مخرب ارتعاشات در ابتلا به عارضه انگشت سفید در حالت برش چوب با وجود میرا شدن ارتعاش به‌طور کلی، از تیمار شاهد بیشتر است. این اتفاق در اثر میرا شدن ارتعاشات در فرکانس‌های بالا و تقویت شدن ارتعاشات در فرکانس‌های پایین افتاده است. هرچند که اختلاف ایجادشده در شتاب ارتعاش در فرکانس‌های بالا بیشتر است، اما وزن مربوط به فرکانس‌های پایین در معادله (۴) بسیار بزرگ‌تر است. به عبارتی سیستم دست-بازوی انسان به فرکانس‌های پایین بسیار حساس‌تر است (۱۸). لذا باید توجه داشت که میرا شدن کلی ارتعاشات ممکن است لزوماً موجب کاهش میزان خطر آن برای سلامتی افراد نگردد و این امر کاملاً وابسته به میزان ارتعاش در فرکانس‌های مختلف است.

با انتقال ارتعاش از دسته از مونتوری به میچ کاربر، ارتعاشات تا حد بسیار زیادی میرا شده‌اند و این میرایی با انتقال ارتعاش از میچ به بازو نیز ادامه یافته است. به‌طوری‌که RMS شتاب ارتعاش در بازو نسبت به دسته از مونتوری ناچیز است. نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد که اندام‌های بدن ارتعاشات را در چهار عملیات مختلف به میزان متفاوتی میرا نموده‌اند که این تفاوت می‌تواند

آن از اندام‌های بدن داشت؛ به طوری که با وجود میرا شدن ارتعاشات تا حد بسیار زیاد در اکثر فرکانس‌ها، ارتعاشات در برخی از فرکانس‌ها تقویت شده بود. ارتعاشات در فرکانس‌های بالا بسیار بهتر از فرکانس‌های پایین میرا شدند. در تمامی حالات، ارتعاشات تقویت شده مربوط به فرکانس‌های زیر ۴۰ هرتز بودند.

سفید در تیمار شاهد کمتر بود. ارتعاشات حین انتقال از دسته ارّه موتوری به مچ و سپس به بازوی کاربر به میزان بسیار زیادی میرا شدند. البته، تفاوت در عملیات موجب شد تا اندام‌های بدن رفتارهای متفاوتی را در میرا نمودن ارتعاشات در حین انتقال آن از خود نشان دهند. فرکانس ارتعاشات نقش بسیار مهمی در چگونگی عبور

## REFERENCES

- Jahani A, Makhdom FM, Fegghi J, Omid M. Environmental decision support systems (edsss): the study of concepts, developments and challenges from past to present. *Environmental Researches*. 2016;7(13):175-88. [Persian].
- Rottensteiner C, Tsioras PA, Stampfer K. Wood density impact on hand-arm vibration. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2012;33(2):303-12.
- Sarikhani N. *Forest utilization*. 2nd ed. Tehran: University of Tehran Press; 2009. [Persian].
- Beigzadeh Z, Pourhassan B, Kalantary S, Golbabaie F. Occupational exposure to wood dust and risk of nasopharyngeal cancer: a systematic review and meta-analysis. *Environ Res*. 2019;171:170-6.
- Nassiri P, Ali Mohammadi I, Beheshti MH, Azam K, Hajizadeh R. Evaluation of Massey Ferguson model 165 tractor drivers exposed to whole-body vibration. *Journal of Health and Safety at Work*. 2013;3(3):55-66. [Persian].
- Mirzaei R, Mohammadi M. Survey of vibration exposure and musculoskeletal disorder of Zahedan city tractor drivers by nordics questionnaire. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2010;2(2):51-55.
- Nassiri P, Ali Mohammadi I, Beheshti MH, Azam K. Hand-Arm vibration assessment among tiller operator. *Journal of Health and Safety at Work*. 2013;3(1):35-46. [Persian].
- Nassiri P, Ali Mohammadi I, Beheshti MH, Azam K. Root mean square acceleration (RMS), crest factor and hand- arm vibration dose value in tiller users. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2014;6(4):156-164.
- Davis G. Noise and vibration hazards in chainsaw operations: a review. *Aust For*. 1978;41(3):153-9.
- Lotfalian, M. *Logging*. Tehran: Aeizh publisher; 2012. [Persian].
- Selim AA, Sobh K, Fathy SM. Hand-arm vibration syndrome clinical and neuro-physiological studies. *Aust J Basic Appl Sci*. 2012;6(6):292-9.
- Sauni R, Virtema P, Paakkonen R, Toppila E, Pyykko I, Uitti J. Quality of life (EQ-5D) and hand-arm vibration syndrome. *Int Arch Occup Environ Health*. 2010;83(2):209-16.
- Theriault G, Guire LD, Gingras S, Laroche G. Raynaud's phenomenon in forestry workers in Quebec. *Can Med Assoc J*. 1982;126(12):1404-8.
- Bovenzi M, Zadini A, Franzinelli A, Borgogni F. Occupational musculoskeletal disorders in the neck and upper limbs of forestry workers exposed to hand-arm vibration. *Ergonomics*. 1991;34(5):547-62.
- Hutton SG, Paris N, Brubaker R. The vibration characteristics of chain saws and their influence on vibration white finger disease. *Ergonomics*. 1993;36(8):911-26.
- Welch R. Vibration in chain saws. *Aust For*. 1971;35(4):215-25.
- Rottensteiner C, Stampfer K. Evaluation of operator vibration exposure to chainsaws equipped with a Kesper safety bar. *Scand J For Res*. 2013;28(2):193-200.
- Morioka M, Griffin MJ. Magnitude-dependence of equivalent comfort contours for fore-and-aft, lateral and vertical hand-transmitted vibration. *J*

- Sound Vib. 2006;295(3-5):633-48.
19. ISO 5349. Mechanical vibration-measurement and evaluation of human exposure to hand transmitted vibration. International Organization for Standardization; 2001.
  20. Dong RG, Schopper AW, McDowell TW, Welcome DE, Wu JZ, Smutz WP, et al. Vibration energy absorption (VEA) in human fingers-hand-arm system. *Med Eng Phys.* 2004;26(6):483-92.
  21. Sakakibara H, Kondo T, Miyao M, Yamada S, Nakagawa T, Kobayashi E, et al. Transmission of hand-arm vibration to the head. *Scand J Work Environ Health.* 1986;2(4 Spec No):359-61.
  22. Welcome DE, Dong RG, Xu XS, Warren C, McDowell TW, Wu JZ. An examination of the vibration transmissibility of the hand-arm system in three orthogonal directions. *Int J Ind Ergon.* 2015;45:21-34.
  23. Xu XS, Dong RG, Welcome DE, Warren C, McDowell TW, Wu JZ. Vibrations transmitted from human hands to upper arm, shoulder, back, neck, and head. *Int J Ind Ergon.* 2017;62:1-12.
  24. Adewusi SA, Rakheja S, Marcotte P, Boutin J. Vibration transmissibility characteristics of the human hand-arm system under different postures, hand forces and excitation levels. *J Sound Vib.* 2010;329(14):2953-71.
  25. Feyzi M, Jafari A, Ahmadi H. The effect of operation and engine speed on chainsaw vibration. *Journal of Agricultural Machinery.* 2018;8(2):263-77. [Persian].
  26. Arastou S. Fundamentals of practical economics in forest mangement. Tehran: University of Tehran press; 2007. [Persian].
  27. Jahani A, Makhdoum M, Feghhi J, Etemad V. Land use planning for forest management for multiple use (harvesting, ecotourism and protection) (case study: Patom district of Kheyroud forest). *Town and Country Planning.* 2012;3(5):33-49. [Persian].
  28. Jahani A, Makhdoum M, Feghhi J, Etemad V. Landscape quality appraisal from look outs for ecotourism land use (case study: Patom district of Kheyroud forest). *Environmental Researches.* 2011;2(3):13-20. [Persian].
  29. ISO 7505. Forestry machinery- chain saws-measurement of hand-transmitted vibration. International Organization for Standardization; 1986.
  30. ISO 10819. Mechanical vibration and shock. In: Method for the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand. International Organization for Standardization; 2013.