



Evaluation of workers' exposure to hand-arm vibration of impact wrench in heavy vehicles puncture shops and providing control methods

Mohammad Zabihi, MSc of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran.

Seyed Reza Azimi Pirsaraei, Assistant Professor of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran.

• **Roohalah Hajizadeh**, (*Corresponding author), Assistant Professor of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran. Roohalahhajizade@gmail.com

Ramezan Fallah, Associate Professor of Biostatistics, Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Medicine, Zanjan University of Medical Sciences, Zanjan, Iran

Abstract

Background and aims: Puncture workers are exposed to hand-arm vibration when opening and closing the wheel bolts with an impact wrench, which can affect their health. The aim of this study was to evaluate the exposure of heavy vehicles puncture workshops to hand-arm vibration caused by impact wrenches and to present control methods in Sabzevar.

Methods: This interventional study was performed with the participation of 20 employees of heavy vehicle puncture workshops. Demographic characteristics of employees and characteristics of impact wrenches were recorded. The vibration acceleration of the impact wrench was measured according to ISO 5349-1. To control the vibration transmitted to the employees, felt and elastomer coatings were used in the impact wrench handle.

Results: The vibration total value in the front and rear handles of the impact wrench were $32.34 \pm 14.88 \text{ m/s}^2$ and $45.22 \pm 21.99 \text{ m/s}^2$, respectively. Acceleration equivalent to exposure (8 hours) due to impact wrench, was $16.38 \pm 14.66 \text{ m/s}^2$ which is more than the permissible occupational exposure. The maximum vibration was in the Z axis and in the rear handle of the impact wrench. The use of felt in the handle of the impact wrench was 70% and the use of elastomer was 43%, which reduced the transmission of vibration acceleration

Conclusion: According to the results of this study, the 8-hour exposure of workers in heavy-duty puncture workshops with hand-arm vibration caused by impact wrenches is more than the allowed limit of occupational exposure. Felt and elastomer are effective in reducing hand-arm vibration transmission. Felt is more efficient and reduces vibration to the permissible level of daily exposure (5 m/s^2).

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Hand-arm vibration

Impact wrench

Heavy vehicles

Elastomer

Felt

Received: 2021/09/19

Accepted: 2022/05/8

INTRODUCTION

In today's world, with the advancement of technology, hand tools that required the physical strength of the body have given way to electric and pneumatic tools. Despite all the advantages that these tools have, there are many limitations and problems due to their use for people, including sound and vibration. Most different machines and tools produce vibrations in varying proportions, the forces and effects of which are transmitted to the body through the hands called hand-arm vibration (HAV)¹. These vibrations can cause cardiovascular, neurological, or skeletal disorders in the upper extremities. Hand-transmitted vibration (HTV)² can also lead to peripheral neuropathy syndrome, whose symptoms include numbness, impaired sensory perception (tremor, cold, heat, pain) and loss of hand skills. Another complication of hand-arm vibration is blood vessel spasm, which is a clinical manifestation of the white finger phenomenon and varies depending on the intensity and duration of hand contact and the amount of hand-arm vibration. This study was performed in heavy machine puncture workshops. In punctures, workers use an impact wrench to unscrew and tighten the machine wheel bolts. Using this wrench exposes operators to sound and vibration. The aim of this study was to evaluation of workers' exposure to hand-arm vibration of impact wrench in heavy vehicles puncture shops and providing control methods

METHOD

This study was conducted with the participation of 20 employees of heavy vehicles puncture workshops who worked in different workshops with different impact wrenches and were randomly selected. At first, the personal demographic of the employees such as age, work experience, height, weight and level of education and the characteristics of the impact wrench including weight, power, function life and manufacturer were recorded.

Hand-arm vibration measurement

GA2003 HARM VIBRATION METER made by CASTEL with a piezo electric T-shaped sensor was used to measure hand-arm vibration. Measurements were performed on the X, Y and Z axes according to ISO 5349-1. The effective vibration acceleration was measured in RMS

mode and using a HARM filter. Then the effective total value vibration acceleration was calculated using Equation 1.

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad \text{Equation (1)}$$

a_{hv} : total value effective vibration acceleration (m/s^2)
 a_{hwx} : X-axis effective vibration acceleration (m/s^2)
 a_{hwy} : Y-axis effective vibration acceleration (m/s^2)
 a_{hwz} : Z-axis effective vibration acceleration (m/s^2)

There are about 10 screws in each wheel of heavy machinery, considering that the time required to open and close the screws of a wheel is 3 minutes, and considering the average number of wheels that can be opened and closed by one person during a day (20 wheels per day). The average exposure time was calculated as 1 hour, then using Equation No. 2, the effective acceleration equivalent to 8 hours of exposure per person was calculated and the results were compared with the permissible occupational exposure threshold of the country.

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad \text{Equation (2)}$$

A (8): The amount of effective vibration acceleration is equivalent to daily exposure

a_{hv} : the total value effective vibration acceleration

T: the vibration exposure time

T_0 : the base time which is 8 hours per day.

RESULT

Mean personal demographic including age, work experience, weight and height were 36 ± 8.97 years, 10.55 ± 7.52 years, 75 ± 10.86 kg and 175 ± 4.9 cm, respectively.

The mean characteristics of pneumatic wrenches including torque (power), weight and function life were 2750 ± 271 N/M, 13.7 ± 2.04 Kg and 1.45 ± 1.05 years, respectively. 50% of the wrenches belonged to Genius Company, 25% to TAITIAN Company and 25% to other companies.

The maximum effective acceleration measured in the front handle of the impact wrench was $20.35 m/s^2$ on the Z axis. The mean effective acceleration of vibration in the front handle on the X, Y and Z axes was $16.95 \pm 8.98 m/s^2$, $18.35 \pm 6.93 m/s^2$ and $20.35 \pm 10.39 m/s^2$, respectively. Moreover, the total value of the effective vibration acceleration for the front handle was $32.34 \pm 14.88 m/s^2$. Measurements performed on the

1. Hand Arm Vibration

2. Hand Transmission Vibration



Figure 1. Pneumatic wrench on the left, a worker using it on the right

Table 1. Effective vibration acceleration is equivalent to 8 hours of exposure

Row	Variable	Mean (m/s^2)	SD	Min	Max
1	Equivalent acceleration related to 8 work hours of exposure	16.38	7.58	7.46	29.37
2	Equivalent acceleration related to 8 work hours of exposure using felt	4.67	0.887	2.57	5.99
3	Equivalent acceleration related to 8 work hours of exposure using elastomer	10.18	3.78	6.41	16.08

rear handle of the impact wrench showed that the total value of effective vibration acceleration for the rear handle was $45.22 \pm 21.99 m/s^2$ and the maximum effective acceleration measured was 28 on the Z axis. The mean effective acceleration of hand-arm vibration in the rear handle of the impact wrench in the X, Y and Z axes was $22.85 \pm 12.79 m/s^2$, $25.2 \pm 8.78 m/s^2$ and $28 \pm 15.9 m/s^2$, respectively.

The mean effective vibration acceleration obtained after using felt in the tool handle on X, Y and Z axes was $7.1 \pm 1.33 m/s^2$, $8.25 \pm 1.69 m/s^2$ and $7.2 \pm 2.1 m/s^2$, respectively. The Vibration total value of effective acceleration of three-way vibration after using felt was $13.27 \pm 2.57 m/s^2$. The maximum vibration reduction was related to the Z axis. The mean effective vibration acceleration obtained after using elastomer in the impact wrench category in X, Y and Z axes was $14.45 \pm 6.06 m/s^2$, $17.15 \pm 6.68 m/s^2$, $14.45 \pm 6.06 m/s^2$, respectively. The mean vibration total value of effective three-axes vibration acceleration after elastomer use was $29.21 \pm 10.76 m/s^2$.

The mean vibration acceleration of the

8-hour exposure of the impact wrench with the exposure time of 1 hour per day is 16.38 ± 7.58 and is higher than the permissible occupational exposure limit ($5 m/s^2$). The mean effective vibration acceleration of the 8-hour exposure after using felt whit exposure time of 1 hour per day was 4.67 ± 0.887 which is less than the allowable daily exposure limit and more than the action limit ($2.5 m/s^2$). The mean effective vibration acceleration of the 8-hour exposure after elastomer use was 10.18 ± 3.78 , which is higher than the occupational exposure limit.

Comparison of the means of the three modes of the total value of effective vibration acceleration of impact wrench vibration, the total value of effective vibration acceleration after felt application and the total value effective vibration acceleration after elastomer application in impact wrench handle, showed that the reduction of effective hand-arm vibration acceleration by using felt and elastomer in impact wrench is significant ($P < 0.05$). In addition, according to the obtained results, felt is more efficient than elastomer and reduces the effective acceleration of hand-arm vibration to a greater extent, which

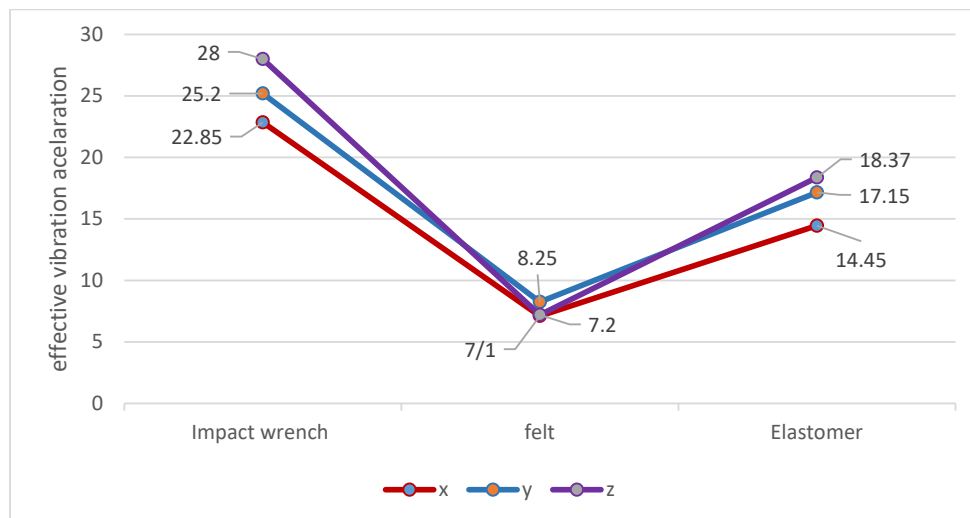


Figure 2. Graph of changes in mean effective vibration acceleration

is also a significant reduction of vibration ($P < 0.05$).

Evaluation of the relationship between impact wrench vibration total value with power (torque), weight and function life variables showed that there is a significant relationship between power (torque), impact wrench and hand-arm vibration total value ($p < 0.05$) and as the power increases, the vibration rate enhances. But there was no significant relationship between the variables of impact wrench weight and function life with the total value of effective acceleration of hand-arm vibration caused by impact wrench.

DISCUSSION

The aim of this study was to evaluate the exposure of heavy machinery puncture workshop workers to hand-arm vibration caused by impact wrenches and to provide control strategies. According to the results, the amount of hand-arm vibration caused by the impact wrench is more than the permissible occupational exposure limit of the country and the highest vibration is in the rear handle of the impact wrench and in the Z axis (28). It is effective and increases the amount of hand-arm vibration by increasing it. The use of felt and elastomer in the impact wrench category significantly reduced hand-arm vibration.

The most effective acceleration of the hand-arm vibration was in the rear and front handles of the impact wrench in the Z axis. The Z direction is along the length of the hand (from the fingertips to the arm) and when working with an impact wrench is the maximum force and pressure applied to the back, i.e., in the direction of the

hand. Therefore, most of the vibration is in the Z direction and in the same direction as the force generated by the impact wrench.

The maximum reduction in hand-arm vibration was by using felt on the Z axis and the maximum reduction was by using elastomer on the Y axis. Felt reduced by 70% and elastomer reduced by 43%, the effective acceleration of hand-arm vibration caused by the impact wrench. Although the results of the statistical tests of the repeated measures showed that both coatings used in the impact wrench handle significantly reduce the hand-arm vibration caused by the impact wrench, the use of felt due to higher efficiency and the greatest reduction in the hand - arm vibration in the Z axis (the maximum amount of vibration is caused by the Impact wrench in this axis) can have a greater effect in reducing the hand-arm vibration.

According to the obtained results, the power or torque of the impact wrench affects the vibration of the impact wrench and with increasing torque, the amount of the hand-arm vibration also increases. Statistical analysis by linear regression method also showed a significant relationship between impact wrench strength and effective vibration acceleration ($P < 0.05$), but there was no significant relationship between vibration and two variables of weight and function life. The amount of use of the impact wrench during its function life is important and with the increase of the operating time of the Impact wrench, its power decreases so that in some cases it does not have the necessary efficiency to open and close the

screws and employees are forced to change their impact wrench. On the other hand, it is possible to increase the vibration rate by increasing the function life of the impact wrench and the depreciation of its parts. It seems that these two issues, i.e., increasing the depreciation of parts and decreasing the power of the impact wrench, neutralize the effect of each other on the resulting vibration. As a result, increasing the function life of the impact wrench does not have a significant effect on the hand-arm vibration.

CONCLUSION

In heavy machine puncture workshops, the level of daily occupational exposure of employees with hand-arm vibration caused by impact wrenches is higher than the permissible occupational exposure of the country. The use of felt in the handle of the impact wrench reduced by 70% and the elastomer reduced the vibration of the hand-arm by 43%, so the use of elastomer coatings and especially felt in the tool handle can be a good way to control the effective acceleration of the hand-arm vibration.

How to cite this article:

Mohammad Zabihi, Seyed Reza Azimi Pirsaraei, Roohalah Hajizadeh, Ramezan Fallah. Evaluation of workers' exposure to hand-arm vibration of impact wrench in heavy vehicles puncture shops and providing control methods. *Iran Occupational Health*. 2022 (01 Sep);19:18.

***This work is published under CC BY-NC 4.0 licence**





ارزیابی مواجهه شاغلین کارگاه‌های پنچرگیری ماشین‌های سنگین با ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی و ارایه روش‌های کنترلی

محمد ذبیحی: کارشناس ارشد گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان-ایران.
سید رضا عظیمی پیر سرانی: استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران.
روح الله حاجی زاده: *نویسنده مسئول استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران. Roohalahhajzade@gmail.com
رمضان فلاح: دانشیار، گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی زنجان، زنجان، ایران.

چکیده

کلیدواژه‌ها
ارتعاش - دست بازو،
آچار بادی
نمد
الاستومر
ماشین‌های سنگین

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۱۸

زمینه و هدف: شاغلین کارگاه‌های پنچرگیری به هنگام باز کردن و بستن پیچ چرخ‌ها به وسیله آچار بادی در معرض ارتعاش دست - بازو قرار دارند که می‌تواند بر سلامتی آنها تاثیر گذار باشد. این مطالعه با هدف ارزیابی مواجهه شاغلین کارگاه‌های پنچرگیری ماشین‌های سنگین با ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی و ارایه روش‌های کنترلی در شهر سبزوار انجام شد. **روش بررسی:** این مطالعه بصورت مداخله‌ای با مشارکت ۲۰ نفر از شاغلین کارگاه‌های پنچرگیری ماشین‌های سنگین انجام شد. جهت انجام این مطالعه مشخصات فردی شاغلین و مشخصات آچارهای بادی ثبت گردید. شتاب موثر ارتعاش آچار بادی با استفاده از دستگاه ارتعاش سنج GA2003 ساخت شرکت CASTEL و بر اساس استاندارد ISO 5349-1 اندازه گیری شد. جهت کنترل ارتعاش منتقل شده به دست شاغلین از پوشش‌های نمدی و الاستومر در دسته آچار بادی استفاده گردید. **یافته‌ها:** برآیند ارتعاش در دسته جلو و عقب آچار بادی به ترتیب $14/88 \text{ m/s}^2 \pm 32/34$ و $21/99 \text{ m/s}^2 \pm 45/22$ بود. شتاب موثر معادل مواجهه ۸ ساعته آچار بادی $7/58 \text{ m/s}^2 \pm 16/38$ و از حد مجاز تماس شغلی کشور بیشتر است. بیشترین میزان ارتعاش در محور Z و در دسته عقب آچار بادی $78/28 \text{ m/s}^2 \pm 15/9$ بود. استفاده از نمد باعث کاهش ۷۰٪ و الاستومر باعث کاهش ۴۳٪ انتقال ارتعاش آچار بادی به دست می‌شود. بین گشتاور و میزان ارتعاش ناشی از آچار بادی ارتباط معنی داری وجود داشت ($p < 0/05$) و با افزایش گشتاور آچار بادی میزان ارتعاش افزایش یافت. **نتیجه گیری:** براساس نتایج این مطالعه میزان مواجهه ۸ ساعته شاغلین کارگاه‌های پنچرگیری ماشین‌های سنگین با ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی از حد مجاز تماس شغلی بیشتر است. نمد و الاستومر در کاهش میزان انتقال ارتعاش دست- بازو موثر می‌باشند. نمد کارایی بیشتری دارد و ارتعاش را تا حد مجاز مواجهه روزانه (5 m/s^2) کاهش می‌دهد.

تعارض منافع: گزارش نشده است.
منبع حمایت کننده: ندارد.

شیوه استناد به این مقاله:

Mohammad Zabihi, Seyed Reza Azimi Pirsaraei, Roohalah Hajzadeh, Ramezan Fallah. Evaluation of workers' exposure to hand-arm vibration of impact wrench in heavy vehicles puncture shops and providing control methods. Iran Occupational Health. 2022 (01 Sep);19:18.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است

مقدمه

در دنیای امروزی با پیشرفت‌های تکنولوژی ابزارهای دستی که نیازمند نیروی فیزیکی بدن بودند جای خود را به ابزارهای برقی و پنوماتیک داده‌اند. بکارگیری این ابزارها باعث افزایش سرعت عمل و راحتی در انجام کارها شده است. اما علیرغم تمام مزیت‌هایی که این ابزارها دارند، محدودیت‌ها و مشکلات عدیده‌ای به دلیل استفاده از آنها برای افراد بوجود آمده است که از آن جمله میتوان صدا و ارتعاش را نام برد (۱). طبق مطالعه انجام شده توسط اداره کار سوئد (۲۰۱۴)، ۱۴٪ از کل مردان شاغل و ۳٪ از کل زنان شاغل در سوئد در معرض ارتعاشات دست - بازو ناشی از ابزارهای دستی قرار دارند (۲). بیشتر ماشین‌آلات و ابزارهای گوناگون به نسبت‌های متفاوت باعث ایجاد ارتعاش می‌شوند که نیروها و اثر آنها از طریق دست‌ها به عنوان ارتعاش دست - بازو (HAV) به بدن منتقل می‌شود (۳).

در سراسر جهان افرادی که از ابزارهای دستی استفاده می‌کنند در معرض ارتعاشات دست بازو قرار دارند. به طور مثال در کشورهای پیشرفته مانند فرانسه و فنلاند تعداد افراد در معرض ارتعاش بین ۴/۹ تا ۱۰/۹ درصد متغیر می‌باشند. در این میان ۶۳٪ ابزارهای مورد استفاده در بخش ساخت و ساز، ۴۴٪ ابزارهای بخش معدن و ۳۸٪ ابزارهای بخش کشاورزی ارتعاش دست - بازو دارند (۴). این ارتعاشات می‌تواند باعث ایجاد اختلالات قلبی و عروقی، عصبی و یا اسکلتی در اندام فوقانی گردد (۵). در مطالعه‌ای که توسط Azmir و همکاران (سال ۲۰۱۵) انجام شد ۷۹/۹٪ از کارگرانی که با ابزار مرتعش کار می‌کردند دارای اختلالات عروقی در دست راست، ۸۴/۳٪ در دست چپ و ۷۹٪ افراد دچار اختلالات حسی عصبی بودند (۶). همچنین ارتعاش انتقالی به وسیله دست‌ها (HTV) می‌تواند منجر به ایجاد سندرم نوروپاتی محیطی شود که علائم آن شامل کرخی، بیحسی، اختلال در ادراک حسی (لرزش، سرما، گرما، درد) و از دست دادن مهارت‌های دست است که به دنبال آن تسلط فرد و سطح عملکردی آن کاهش می‌یابد که زمینه ساز ایجاد حوادث ناشی از کار است (۷). یکی دیگر از عوارض ارتعاش دست - بازو اسپاسم عروق خونی است که پدیده سپید انگشتی یکی تظاهرات بالینی آن است و بسته به شدت و مدت زمان تماس دست و میزان ارتعاش اثر آن متفاوت می‌باشد (۸). در مطالعه‌ای که

نیلسون و همکاران (سال ۲۰۱۷) برای بررسی ارتعاش دست - بازو و ریسک ایجاد بیماری‌های قلبی عروقی و عصبی انجام دادند نتایج نشان داد که خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی و عصبی شاغلینی که در معرض ارتعاش دست - بازو قرار دارند در مقایسه با افرادی که در معرض ارتعاش نیستند بیشتر می‌باشد.

نتایج افزایش تقریبی ۴ تا ۵ برابری خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی را نشان داد که اندازه اثر تخمین زده شده (نسبت شانس) برای پدیده رینود ۶/۹، خطر مربوط به آسیب عصبی ۷/۴ و برای سندرم تونل کارپال ۲/۹ بود (۹). این مطالعه در کارگاه‌های پنچرگیری ماشین‌های سنگین انجام شد. در پنچرگیری‌ها شاغلین برای باز کردن و بستن پیچ و مهره چرخ‌های ماشین از آچار بادی استفاده می‌کنند. علاوه بر این آچار بادی به طور گسترده در تولید، تعمیر و نگهداری خودروها و سایر مشاغل بکار برده می‌شود. اپراتورهای که از این ابزار استفاده می‌کنند، به طور مداوم در معرض صدا و ارتعاش ناشی از آن قرار دارند (۱۰، ۱۱). آچار بادی مورد استفاده در پنچرگیری ماشین‌های سنگین دارای دو دسته می‌باشد دسته جلویی که بیشتر از آن به عنوان نگهدارنده استفاده می‌شود و به وسیله پیچ روی آچار بسته شده است که می‌توان آن را از آچار جدا کرد. دسته عقبی قسمت کلید راه انداز آچار روی آن قرار دارد و به بدنه آچار متصل می‌باشد. آچار بادی مورد استفاده در پنچرگیری‌های ماشین سنگین معمولاً از نوع مستقیم شفت بلند است و به علت بزرگتر بودن پیچ و مهره‌ها دارای وزن و قدرت زیادی است که می‌تواند بر روی افزایش صدا و ارتعاش ناشی از آن تاثیر گذار باشد. هدف از این مطالعه بررسی میزان مواجهه شاغلین کارگاه‌های پنچرگیری ماشین‌های سنگین با ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی و مقایسه آن با حدود مجاز روزانه شغلی، تعیین ارتباط بین مشخصات آچار بادی با میزان ارتعاش دست ۷ - بازو ناشی از آن و ارائه راهکارهای کنترلی جهت کاهش ارتعاش دست - بازو ناشی از آن می‌باشد.

روش کار

این مطالعه با مشارکت ۲۰ نفر از شاغلین کارگاه‌های پنچرگیری ماشین سنگین که در کارگاه‌های مختلف و با آچار بادی‌های متفاوت مشغول به کار و به صورت تصادفی انتخاب شده بودند، انجام شد. در ابتدا مشخصات



شکل ۱. سمت چپ تصویر آچار بادی سمت راست شاغل در حال کار با آن

$$\begin{aligned} a_{hwx} &: \text{شتاب موثر محور } X \text{ } m/s^2 \\ a_{hwy} &: \text{شتاب موثر محور } Y \text{ } m/s^2 \\ a_{hwz} &: \text{شتاب موثر محور } Z \text{ } m/s^2 \end{aligned}$$

فردی شاغلین مانند سن، سابقه کار، قد، وزن و میزان تحصیلات و مشخصات آچار بادی از جمله وزن، قدرت، عمر کارکرد و شرکت سازنده ثبت گردید.

در هر چرخ ماشین‌های سنگین حدود ۱۰ پیچ وجود دارد. زمان لازم برای باز کردن و بستن پیچ‌های یک چرخ ۳ دقیقه است و با در نظر گرفتن تعداد متوسط چرخ‌هایی که در طول یک روز توسط یک نفر باز و بسته می‌شود (۲۰ چرخ در روز) متوسط زمان مواجهه ۱ ساعت محاسبه گردید، سپس با استفاده از معادله شماره ۲ شتاب موثر معادل مواجهه ۸ ساعته برای هر فرد محاسبه شد و نتایج بدست آمده با حدود مجاز مواجهه شغلی کشور مقایسه گردید.

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

$A(8)$: مقدار شتاب موثر ارتعاش معادل مواجهه روزانه
 a_{dv} : برآیند شتاب موثر ارتعاش،
 T : زمان مواجهه با ارتعاش
 T_0 : زمان مبنا که ۸ ساعت در روز می‌باشد.

بکارگیری پوشش‌های نمدی و الاستومر در دسته‌های آچار بادی

برای کنترل ارتعاش دست - بازو آچار بادی از پوشش‌های نمدی و الاستومری در دسته آچار بادی استفاده شد. این مطالعه در محیط کار واقعی و به هنگام

جهت ارزیابی میزان مواجهه شاغلین با ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی اندازه گیری شتاب موثر ارتعاش دست - بازو در دسته جلو و عقب آچار بادی به هنگام باز کردن و بستن پیچ چرخ‌ها توسط شاغلین انجام شد. اندازه گیری ارتعاش دست - بازو با استفاده از دستگاه ارتعاش سنج GA۲۰۰۳ HARM VIBRATION METER ساخت شرکت CASTEL انگلستان و یک سنسور پیزو الکتریک T شکل با مشخصات ۱۰۰۱ KD (۱۰ pc /g) Piezo. Electric (nominal) انجام شد. این سنسور سه کاناله بوده و برای اندازه گیری در جهت مورد نظر میتوان از هر کدام از کانال‌های آن استفاده نمود. جهت ثابت کردن سنسور بر روی دسته آچار بادی از بست های کمربندی (زیپی) استفاده شد. اندازه گیری شتاب موثر ارتعاش در حالت RMS و با استفاده از فیلتر HARM که فرکانس ارتعاش را در محدوده فرکانس ارتعاش دست - بازو تنظیم می‌کند، در جهت‌های X، Y و Z و بر اساس استاندارد ISO ۵۳۴۹-۱ انجام شد (۱۲). سپس با استفاده از رابطه ۱ برآیند شتاب موثر ارتعاش دست - بازو مورد محاسبه قرار گرفت

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

a_{dv} : برآیند شتاب موثر ارتعاش m/s^2



شکل ۲. نحوه بکارگیری پوشش نمدی در دسته آچار بادی

استفاده از روش کولموگروف - اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

میانگین مشخصات فردی شامل سن، سابقه کار، وزن و قد به ترتیب $۸/۹۷ \pm ۳۶$ سال، $۷/۵۲ \pm ۱۰/۵۵$ سال، $۱۰/۸۶ \pm ۱۰/۸۶$ kg کیلوگرم و $۴/۹ \pm ۱۷۵$ cm بود. میانگین مشخصات مربوط به آچارهای بادی شامل گشتاور (قدرت)، وزن و عمرکارکرد به ترتیب ۲۷۱ ± ۲۷۵۰ N/M، $۲/۰۴ \pm ۱۳/۷$ Kg و $۱/۴۵ \pm ۱/۰۵$ سال بود. ۵۰٪ آچارها مربوط به شرکت جنیوس ۲۵٪ مربوط به شرکت تایتیان و ۲۵٪ مربوط به سایر شرکت‌ها بود.

بررسی میزان شتاب موثر ارتعاش دست - بازو آچار بادی

حداکثر میزان شتاب موثر در دسته جلو آچار بادی $۲۰/۳۵ m/s^2$ در محور Z بود. میانگین شتاب موثر ارتعاش در دسته جلو در محورهای X، Y و Z به ترتیب برابر با $۶/۹۳ \pm ۸/۹۸$ ، $۱۸/۳۵ \pm ۱۶/۹۵$ و $۱۰/۳۹ \pm ۲۰/۳۵$ m/s^2 بود. همچنین میزان برآیند شتاب موثر ارتعاش برای دسته جلو $۱۴/۸۸ \pm ۳۲/۳۴$ m/s^2 است. میزان ارتعاش دست-بازو در دسته جلو آچار بادی در محورهای مختلف و برآیند آنها در جدول شماره ۱ آورده شده است.

باز و بسته کردن چرخ ماشین‌ها توسط شاغلین انجام شد بنابراین به علت افزایش تعداد اندازه گیری‌ها امکان استفاده از ضخامت‌های مختلف عایق‌ها وجود نداشت لذا با توجه به قطر متفاوت دسته‌ها در آچار بادی‌های مختلف و همچنین ضخامت‌های موجود از نمد سنتی و الاستومر لوله‌ای، از پوشش‌هایی با ضخامت ۱۰ mm که بتوان آن را در همه آچارهای بادی بکار برد استفاده گردید. الاستومر از نوع الاستومر لوله‌ای با قطر داخلی ۱۶ mm و ضخامت ۱۰ mm ساخت شرکت KFLEX و نمد نیز از نوع نمد سنتی با ضخامت ۱۰ mm که از پشم خالص درست می‌شود انتخاب گردید. سپس بعد از بکار بردن پوشش‌های نمدی و الاستومری در دسته آچار بادی، همانند مرحله قبل، ارتعاش دست - بازو در سه جهت X، Y و Z اندازه گیری شد و برآیند شتاب موثر ارتعاش و میزان معادل مواجهه روزانه محاسبه گردید.

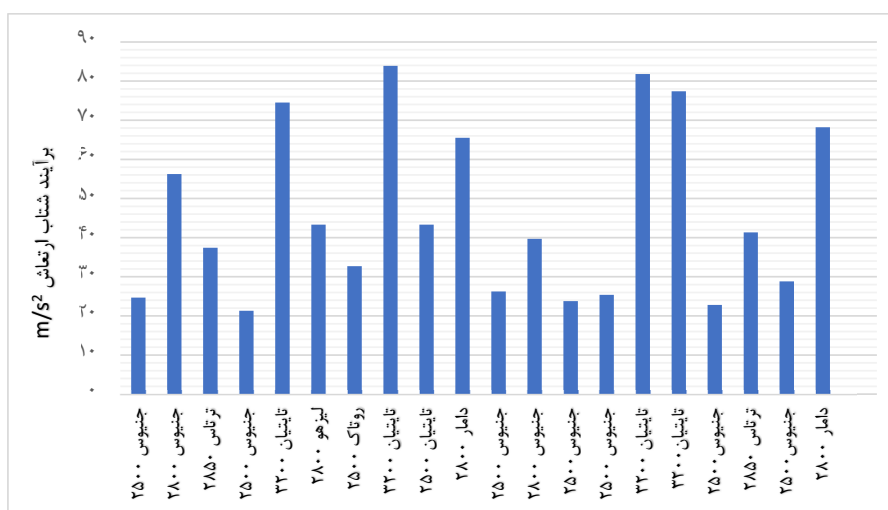
در این مطالعه داده‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS ۲۴ مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت. برای نتایج توصیفی از فراوانی، میانگین، درصد و انحراف معیار و جهت بررسی تاثیر متغیرهای وزن، قدرت و عمرکارکرد آچار بادی بر میزان شتاب موثر ارتعاش دست - بازو از آزمون رگرسیون خطی استفاده شد. نتایج میانگین‌های شتاب موثر آچار بادی و شتاب موثر بعد از بکارگیری نمد و الاستومر در دسته آچار بادی با استفاده از روش اندازه گیری‌های مکرر (Repeated Measures) با یکدیگر مقایسه گردید. در کلیه آزمون‌ها نرمال بودن داده‌ها با

جدول ۱. شتاب موثر ارتعاش در دسته جلو آچار بادی (m/s^2)

ردیف	متغیر	میانگین m/s^2	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
۱	ارتعاش محور X	۱۶/۹۵	۸/۹۸	۸	۳۲
۲	ارتعاش محور Y	۱۸/۳۵	۶/۹۳	۱۰	۲۹
۳	ارتعاش محور Z	۲۰/۳۵	۱۰/۳۹	۹	۳۶
۴	برآیند شتاب موثر ارتعاش	۳۲/۳۴	۱۴/۸۸	۱۶/۸	۵۳/۳۳

جدول ۲. شتاب موثر ارتعاش در دسته عقب آچار بادی (m/s^2)

ردیف	متغیر	میانگین m/s^2	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
۱	ارتعاش محور X	۲۲/۸۵	۱۲/۷۹	۹/۵	۴۵
۲	ارتعاش محور Y	۲۵/۲	۸/۷۸	۱۳	۳۷
۳	ارتعاش محور Z	۲۸	۱۵/۹	۱۱/۸	۵۶
۴	برآیند شتاب موثر ارتعاش	۴۵/۲۲	۲۱/۹۹	۲۱/۳۲	۸۳/۹



شکل ۳. نمودار برآیند شتاب ارتعاش دست - بازو در آچارهای بادی مختلف

استفاده از نمودار در دسته ابزار در محورهای X، Y و Z به ترتیب $1/33 \pm 7/1$ ، $1/69 \pm 8/25$ و $2/01 \pm 7/2$ m/s^2 بود. میانگین برآیند شتاب موثر ارتعاش سه جهت بعد از استفاده نمود $2/57 \pm 13/27$ m/s^2 است. بیشترین کاهش ارتعاش مربوط به محور Z بود. نتایج حاصل از اندازه گیری ارتعاش بعد از استفاده از نمودار در دسته آچار بادی در جدول شماره ۳ آورده شده است.

کنترل شتاب موثر ارتعاش بوسیله الاستومر

میانگین شتاب موثر ارتعاش بدست آمده بعد از استفاده از الاستومر در دسته ابزار در محورهای X، Y و Z به ترتیب $6/06 \pm 14/45$ ، $17/15 \pm 17/15$ و $6/68 \pm 18/37$ m/s^2 بود. میانگین برآیند شتاب

اندازه گیری‌های انجام شده در دسته عقب آچار بادی نشان داد که برآیند شتاب موثر ارتعاش سه جهت برای دسته عقب $21/99 \pm 45/22$ m/s^2 است و حداکثر میزان شتاب موثر اندازه گیری شده 28 m/s^2 در محور Z می باشد. میانگین شتاب موثر ارتعاش دست - بازو در دسته عقب آچار بادی در محورهای X، Y و Z به ترتیب $22/85 \pm 12/79$ ، $25/2 \pm 8/78$ و $28 \pm 15/9$ m/s^2 بود. جدول شماره ۲ نتایج اندازه گیری ارتعاش دست - بازو در دسته عقب آچار بادی و شکل ۳ نمودار برآیند شتاب ارتعاش دست - بازو در آچارهای بادی مختلف را نشان می دهد.

کنترل شتاب موثر ارتعاش بوسیله نمد

میانگین شتاب موثر ارتعاش بدست آمده بعد از

جدول ۳. شتاب موثر ارتعاش دست - بازو بعد از استفاده از نمد در دسته عقب آچار بادی (m/s^2)

ردیف	متغیر	میانگین m/s^2	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
۱	ارتعاش محور X	۷/۱	۱/۳۳	۳/۷	۹
۲	ارتعاش محور Y	۸/۲۵	۱/۶۹	۵	۱۲
۳	ارتعاش محور Z	۷/۲	۲/۰۱	۳/۹	۱۰
۴	برآیند شتاب موثر ارتعاش	۱۳/۲۷	۲/۵۷	۷/۳۴	۱۷/۱۲

جدول ۴. شتاب موثر ارتعاش دست - بازو بعد از استفاده از الاستومر در دسته عقب آچار بادی (m/s^2)

ردیف	متغیر	میانگین m/s^2	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
۱	ارتعاش محور X	۱۴/۴۵	۶/۰۶	۷/۵	۲۶
۲	ارتعاش محور Y	۱۷/۱۵	۶/۶۸	۸	۲۸
۳	ارتعاش محور Z	۱۸/۳۷	۶/۹	۱۰/۵۰	۲۸
۴	برآیند شتاب موثر ارتعاش	۲۹/۲۱	۱۰/۷۶	۱۸/۳۱	۴۵/۹۴

جدول ۵. میانگین شتاب موثر ارتعاش معادل مواجهه ۸ ساعته (m/s^2)

ردیف	متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
۱	شتاب موثر معادل مواجهه ۸ ساعته آچار بادی	۱۶/۳۸	۷/۵۸	۷/۴۶	۲۹/۳۷
۲	شتاب موثر معادل مواجهه ۸ ساعته با استفاده از نمد	۴/۶۷	۰/۸۸۷	۲/۵۷	۵/۹۹
۳	شتاب موثر معادل مواجهه ۸ ساعته با استفاده از الاستومر	۱۰/۱۸	۳/۷۸	۶/۴۱	۱۶/۰۸

ارتعاش آچار بادی، برآیند شتاب موثر ارتعاش بعد از بکارگیری نمد و برآیند شتاب موثر ارتعاش بعد از بکارگیری الاستومر در دسته آچار بادی نشان داد که کاهش شتاب موثر ارتعاش دست - بازو با بکارگیری نمد و الاستومر در دسته آچار بادی معنی دار می‌باشد ($P < ۰/۰۵$). همچنین بر اساس نتایج بدست آمده نمد کارایی بیشتری نسبت به الاستومر دارد و به میزان بیشتری باعث کاهش شتاب موثر ارتعاش دست - بازو می‌شود که این کاهش بیشتر ارتعاش نیز معنا دار است ($P < ۰/۰۵$). جدول ۶ نتایج مقایسه میانگین‌های برآیند شتاب موثر ارتعاش را در سه حالت آچار بادی، بکارگیری نمد و الاستومر در دسته آچار بادی نشان می‌دهد. همچنین شکل ۴ نمودار روند تغییرات میانگین شتاب موثر ارتعاش را در محورهای X، Y و Z نشان می‌دهد.

ارتباط بین مشخصات آچار بادی با شتاب موثر ارتعاش دست - بازو

بررسی ارتباط بین میزان برآیند ارتعاش آچار بادی با متغیرهای قدرت، وزن و عمر کارکرد نشان داد که بین قدرت (گشتاور)، آچار بادی و میزان برآیند ارتعاش دست - بازو ناشی از آن ارتباط معنی داری وجود دارد ($p <$

موثر ارتعاش سه جهت بعد از استفاده الاستومر ۲۹/۲۱ $m/s^2 \pm ۱۰/۷۶$ بدست آمد. نتایج حاصل از اندازه گیری ارتعاش بعد از استفاده از الاستومر در دسته عقب آچار بادی در جدول شماره ۴ آورده شده است.

بررسی میزان مواجهه ۸ ساعته با شتاب موثر ارتعاش دست - بازو

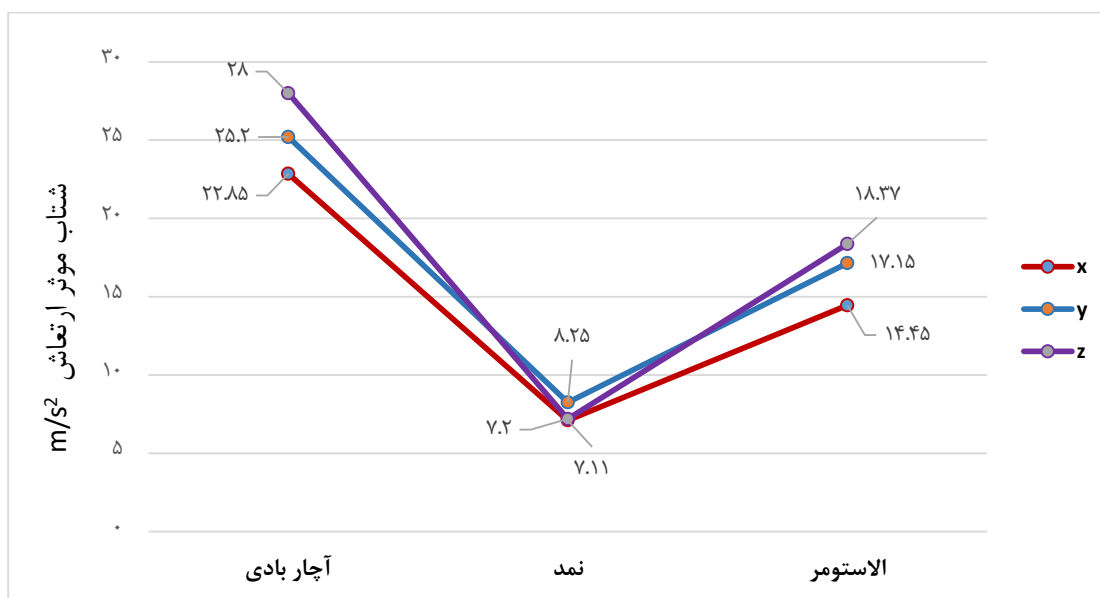
شتاب موثر ارتعاش مواجهه ۸ ساعته آچار بادی با زمان مواجهه ۱ ساعت در روز $۱۶/۳۸ \pm ۷/۵۸ m/s^2$ و بالاتر از حد مجاز مواجهه روزانه ($۵ m/s^2$) بود. میانگین شتاب موثر ارتعاش مواجهه ۸ ساعته بعد از استفاده از نمد در دسته آچار بادی با زمان مواجهه ۱ ساعت در روز $۴/۶۷ \pm ۰/۸۸۷ m/s^2$ بدست آمد که از حد مجاز مواجهه شغلی کمتر و از حد اقدام ($۲/۵$) m/s^2 بیشتر است و اصطلاحاً ارتعاش در منطقه احتیاط است. میانگین شتاب موثر ارتعاش مواجهه ۸ ساعته بعد از استفاده از الاستومر $۱۰/۱۸ \pm ۳/۷۸ m/s^2$ بود که از حد مجاز مواجهه شغلی بیشتر می‌باشد. نتایج بدست آمده در جدول شماره ۵ آورده شده است.

مقایسه میانگین شتاب موثر ارتعاش دست - بازو مقایسه میانگین‌های سه حالت برآیند شتاب موثر

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین‌های برآیند ارتعاش دست - بازو (m/s^2)

اختلاف سطح معنی داری ۹۵ درصد		p-value	اختلاف میانگین‌ها	J (\hat{a}_{hv})	I (\hat{a}_{hv})
کران بالا	کران پایین				
۴۳/۶۴۰	۲۰/۲۶۶	۰/۰۰۰	۳۱/۹۵۳	۲	۱
۲۳/۱۰۹	۸/۹۰۶	۰/۰۰۰	۱۶/۰۰۸	۳	
-۲۰/۲۶۶	-۴۳/۶۴۰	۰/۰۰۰	-۳۱/۹۵۳	۱	۲
-۱۰/۹۳۳	-۲۰/۹۵۸	۰/۰۰۰	-۱۵/۹۴۶	۳	
-۸/۹۰۶	-۲۳/۱۰۹	۰/۰۰۰	-۱۶/۰۰۸	۱	۳
۲۰/۹۵۸	۱۰/۹۳۳	۰/۰۰۰	۱۵/۹۴۶	۲	

۱- برآیند شتاب موثر ارتعاش آچار بادی ۲- برآیند شتاب موثر ارتعاش دست بعد از استفاده از نمد ۳- برآیند شتاب موثر ارتعاش دست بعد از استفاده از الاستومر



شکل ۴. نمودار تغییرات شتاب ارتعاش دست - بازو در محورهای X، Y و Z

جدول ۷. بررسی ارتباط بین مشخصات آچار بادی و شتاب ارتعاش ناشی از آن

P-value	T	Beta	SE	B	مدل
۰/۰۰۰	-۶/۴۵۱		۲۰/۸۸۶	۱۳۴/۷۳۳	مقدار ثابت
۰/۰۰۰	۴/۹۱۹	۰/۸۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۶۶	قدرت
۰/۸۵۶	۰/۱۸۴	۰/۰۴۴	۲/۵۵۳	۰/۴۷۰	وزن آچار
۰/۱۴۲	-۱/۵۴۴	-۰/۲۵۳	۳/۴۲۴	-۵/۲۸۷	عمر کارکرد

بحث و نتیجه گیری

این مطالعه با هدف ارزیابی میزان مواجهه شاغلین کارگاه‌های پنچرگیری ماشین‌های سنگین با ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی و ارائه راهکارهای کنترل آن انجام شد. بر اساس نتایج میزان ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی از حد مجاز مواجهه شغلی کشور

(۰/۰۵) و با افزایش قدرت میزان ارتعاش افزایش پیدا می‌کند. اما بین متغیرهای وزن آچار بادی و عمر کارکرد با برآیند شتاب موثر ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی ارتباط معنی داری وجود نداشت. جدول شماره ۷ نتایج بررسی ارتباط بین مشخصات آچار بادی و برآیند شتاب ارتعاش ناشی از آن را نشان می‌دهد.

اما در تعدادی کمی از آنها راهکار مناسب برای کنترل آن ارائه شده است (۱۶، ۱۷). در این مطالعه به بررسی روش‌های کم هزینه که استفاده از پوشش‌های عایق نمد و الاستومر برای کنترل ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی است پرداخته شد تا امکان بکارگیری این روش‌ها برای کلیه شاغلین امکان پذیر باشد. نمد باعث کاهش ۷۰ درصدی و الاستومر باعث کاهش ۴۳ درصدی شتاب موثر ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی شد. بیشترین کاهش ارتعاش دست - بازو با بکار بردن نمد در محور Z و بیشترین کاهش ارتعاش با بکار بردن الاستومر در محور Y بود در مطالعه‌ای که سم و همکاران (سال ۲۰۰۹) انجام دادند نتایج نشان داد که استفاده از ایزولاتوره‌های ارتعاش باعث کاهش ۶۰-۵۰ درصدی انتقال ارتعاش دست - بازو ناشی از دسته تیلر باغی به دست اپراتورها می‌شود (۱۸). در مطالعه‌ای که پور عبدیان و همکاران با هدف کنترل ارتعاش دست - بازو ناشی از سنگ سنباده در یکی از صنایع فلزی اصفهان انجام دادند نتایج نشان داد که بکارگیری دستگیره ضد ارتعاش باعث کاهش میزان ارتعاش دست - بازو ناشی از دستگاه سنگ سنباده می‌شود و بیشترین کاهش ارتعاش به میزان ۹۰ درصد در جهت Z است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد (۱۹). هر چند که نتایج حاصل از آزمون آماری اندازه گیری‌های مکرر نشان داد که هر دو پوشش بکار برده شده در دسته آچار بادی باعث کاهش معنی دار ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی می‌شود اما بکار بردن نمد به خاطر کارایی بالاتر و اینکه بیشترین کاهش ارتعاش - دست بازو را در محور Z دارد (بیشترین میزان ارتعاش ناشی از آچار بادی در این محور است). می‌تواند تاثیر بیشتری در کاهش ارتعاش دست - بازو داشته باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده قدرت یا همان گشتاور آچار بادی بر روی میزان ارتعاش آچار بادی تاثیر گذار می‌باشد و با افزایش میزان گشتاور شتاب ارتعاش دست - بازو ناشی از آن نیز افزایش پیدا می‌کند. بررسی آماری به روش رگرسیون خطی نیز معنی دار بودن ارتباط بین قدرت آچار بادی و میزان شتاب موثر ارتعاش آن را نشان داد ($P < 0.05$)، اما بین ارتعاش و دو مولفه وزن و عمر کارکرد ارتباط معنی داری وجود نداشت. میزان بکارگیری آچار بادی در طول عمر کارکرد آن مهم می‌باشد و با افزایش عمر کارکرد آچار بادی از میزان قدرت آن کاسته می‌شود به نحوی که در بعضی از مواقع کارایی لازم برای باز کردن و بستن پیچ‌ها را ندارد

بیشتر است و بیشترین ارتعاش در دسته عقب آچار بادی و در محور Z (m/s^2) ۲۸ می‌باشد. گشتاور (قدرت) آچار بادی بر شتاب موثر ارتعاش دست - بازو ناشی از آن تاثیر گذار می‌باشد و با افزایش آن میزان ارتعاش دست - بازو افزایش پیدا می‌کند. استفاده از نمد و الاستومر در دسته آچار بادی باعث کاهش معنی دار ارتعاش دست - بازو شد.

بر اساس نتایج بدست آمده میانگین برآیند شتاب موثر ارتعاش در دسته عقب آچار بادی $45/22 \pm 21/9$ m/s^2 بیشتر از دسته جلو ($32/34 \pm 14/88$ m/s^2) بود. نتایج حاصل از مطالعه فیضی و همکاران (سال ۱۳۹۲) نشان داد که شتاب موثر ارتعاش دست - بازو در دسته عقب آره موتوری در دوره‌های آرام و تند به میزان زیادی از دسته جلو بیشتر است که با نتایج بدست آمده از این مطالعه همخوانی دارد (۱۳). دسته جلو ابزار آچار بادی به وسیله پیچ بر روی آن بسته شده است و فقط از آن برای کنترل و نگه داشتن ابزار استفاده می‌شود، ولی کلید راه اندازی و همچنین محل اعمال نیروی موتور آچار بادی در دسته عقب است به همین دلیل میزان شتاب موثر ارتعاش دسته عقب آچار بادی نسبت به دسته جلو آن بیشتر می‌باشد.

بیشترین شتاب موثر ارتعاش دست - بازو در دسته عقب و دسته جلو آچار بادی در محور Z بود. در مطالعه‌ای که بیات و همکاران بر روی کارگران سنگ بری سنگ همدان انجام دادن نتایج نشان داد که بیشترین ارتعاش دست بازو در محور Z می‌باشد (۱۴) در مطالعه دیگر که سینگ و همکاران (سال ۲۰۱۸) برای بررسی مداخلات کم هزینه در کاهش صدا و ارتعاش دست - بازو در ابزار باندگان انجام دادند، نتایج نشان داد که بیشترین ارتعاش برای دست چپ در محور Z و بیشترین ارتعاش برای دست راست در محور Y می‌باشد (۱۵). جهت Z در امتداد طول دست (از نوک انگشتان به سمت بازو) می‌باشد و هنگام کار با آچار بادی بیشترین نیرو و فشار اعمال شده توسط آچار بادی به دست شاغلین به سمت عقب یعنی در راستای دست می‌باشد به طوری که اپراتورها در اغلب اوقات برای مهار نیروی وارده به سمت عقب از پای خود نیز کمک می‌گیرند. لذا بیشترین ارتعاش ایجاد شده نیز در جهت Z و هم راستای نیروی ایجاد شده از طرف آچار بادی می‌باشد.

در بسیاری از تحقیقات انجام شده بر روی ابزارهای دستی به بررسی ارتعاش دست - بازو ناشی از ابزارها و همچنین اثر آن بر روی بدن انسان پرداخته شده است

دست - بازو گردیده، لذا بکارگیری پوشش‌های الاستومر و بویژه نمدی در دسته ابزار می‌تواند راهکار مناسبی جهت کنترل انتقال شتاب موثر ارتعاش دست - بازو آچار بادی باشد.

منابع

- Xu XS, Dong RG, Welcome DE, Warren C, McDowell TW. An examination of the handheld adapter approach for measuring hand-transmitted vibration exposure. Measurement. 2014;47:64-77.
- Vihlborg P, Bryngelsson L, Lindgren B, Gunnarsson LG, Graff P. Association between vibration exposure and hand-arm vibration symptoms in a Swedish mechanical industry. International Journal of Industrial Ergonomics. 2017;62:77-81.
- Shen SC, House RA. Hand-arm vibration syndrome: What family physicians should know. Canadian Family Physician. 2017;63(3):206-10.
- Donati P. Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review. 2008.
- Hao KY, Mei LX, Ripin ZM. Tuned vibration absorber for suppression of hand-arm vibration in electric grass trimmer. International journal of industrial ergonomics. 2011;41(5):494-508.
- Azmir NA, Ghazali MI, Yahya MN, Ali MH. Hand-arm vibration disorder among grass-cutter workers in Malaysia. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2016;22(3):433-8.
- Lundström R. Neurological diagnosis—aspects of quantitative sensory testing methodology in relation to hand-arm vibration syndrome. International archives of occupational and environmental health. 2002;75(1):68-77.
- Bovenzi M. A prospective cohort study of exposure-response relationship for vibration-induced white finger. Occupational and environmental medicine. 2010;67(1):38-46.
- Nilsson T, Wahlström J, Burström L. Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases—a systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2017;12(7):e0180795.
- Aiba Y, Ohshiba S, Ishizuka H, SAKAMOTO K, MORIOKA I, MIYASHITA K, et al. A study on the effects of countermeasures for vibrating tool workers using an impact wrench. Industrial health. 1999;37(4):426-31.
- McDowell TW, Dong R, Xu X, Welcome D, Warren C. An evaluation of impact wrench vibration emissions and test methods. Annals of occupational hygiene. 2008;52(2):125-38.
- Standardization IOF. Acoustics-Determination of Occupational Noise Exposure-Engineering Method: ISO; 2009.
- Feyzi M, Jafari A, Ahmadi H. Investigation and analysis the vibration of handles of chainsaw without cutting. Journal of Agricultural Machinery. 2016.
- Bayat R, Aliabadi M, GOLMOHAMMADI R, SHAFIEE MM. Assessment of Exposure to Hand-Arm Vibration and its Related Health Effects in Workers Employed at Stone Cutting Workshops of Hamadan City. 2016.
- Singh AK, Meena M, Chaudhary H. Assessment of low-cost tool

و شاغلین مجبور به تعویض آچار بادی خود می‌شوند. از طرفی این امکان وجود دارد که با افزایش عمر کارکرد آچار بادی و استهلاک قطعات آن میزان ارتعاش افزایش یابد. به نظر می‌رسد که این دو موضوع یعنی افزایش استهلاک قطعات و کاهش قدرت آچار بادی اثر یکدیگر را بر ارتعاش ناشی از آن خنثی می‌کنند و در نتیجه افزایش عمر کارکرد آچار بادی دستگاه تاثیر معنی داری بر ارتعاش دست - بازو ناشی آن ندارد.

میانگین شتاب موثر ارتعاش مواجهه روزانه برای آچار بادی $۱۶/۳۸ \pm ۷/۵۸ m/s^2$ و بالاتر از حد مجاز مواجهه شغلی کشوری ($۵ m/s^2$) می‌باشد. در مطالعه‌ای که کلیم و همکاران (سال ۲۰۱۸) برای بررسی ارتعاش دست - بازو ناشی از ابزار مته حفاری سنگ انجام دادند. میانگین مواجهه ارتعاش روزانه برای دست راست $۴/۹$ متر بر مجذور ثانیه (رنج $۲/۷$ تا $۸/۸$) و $۴/۴$ متر بر مجذور ثانیه (در محدوده ۱ تا ۷) برای دست چپ بود (۲۰). نتایج نشان می‌دهد که استفاده از نمد می‌تواند میزان مواجهه شاغلین با ارتعاش را کاهش داده و میزان آن را از حد مجاز مواجهه روزانه کمتر نماید اما استفاده از الاستومر هر چند باعث کاهش معنی دار شتاب موثر ارتعاش می‌شود اما با زمان مواجهه یک ساعت در روز باز هم میزان مواجهه روزانه شاغلین با ارتعاش دست - بازو از حد استاندارد بالاتر می‌باشد. بایستی به این موضوع توجه شود که در بعضی از کارگاه‌ها که تعداد مشتری آنها بیشتر است زمان مواجهه ممکن است از یک ساعت در روز بیشتر شود و در بعضی از کارگاه‌ها که تعداد مشتری آنها کمتر است زمان مواجهه از یک ساعت کمتر گردد.

وزن بالای آچار بادی ($۲/۰۴ \pm ۱۳/۷$) باعث می‌شود که افراد جهت کنترل وزن آن با قدرت و چنگش قوی تری دسته آچار بادی را در دست بگیرند و در بعضی از اوقات از پاهای خود نیز استفاده نمایند. که این امر می‌تواند باعث افزایش انتقال ارتعاش به دست افراد شود لذا کنترل وزن آچار بادی ممکن است در کاهش انتقال ارتعاش دست - بازو تاثیر گذار باشد.

نتیجه گیری

در کارگاه‌های پنچرگیری ماشین‌های سنگین سطح مواجهه شغلی روزانه شاغلین با ارتعاش دست - بازو ناشی از آچار بادی از حد مجاز مواجهه شغلی کشور بالاتر می‌باشد. بکارگیری نمد در دسته ابزار باعث کاهش ۷۰ درصدی و الاستومر باعث کاهش ۴۳ درصدی ارتعاش

18. Sam B, Kathirvel K. Development and evaluation of vibration isolators for reducing hand transmitted vibration of walking and riding type power tillers. *Biosystems engineering*. 2009;103(4):427-37.
19. POURABDIAN S, HABIBI E, SADEGI M, RISMANCHIAN M. Effect of anti vibration handle use on hand grinding machine vibration. 2010.
20. Clemm T, Nordby K-C, Ulvestad B, Dahle M, Færden K, Bråtveit M. 834 Full-shift hand-arm vibration measurements among rock drillers. BMJ Publishing Group Ltd; 2018.
- intervention among carpet alignment workers exposed to hand-arm vibration and shift in hearing threshold. *International Journal of Human Factors and Ergonomics*. 2018;5(3):189-209.
16. Tabatabaei Kolor R, Khosravi M, Mousavi R. Evaluation of vibration and sound exposure produced by an orchard roto-tiller. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*. 2018;49(1):139-48.
17. Nassiri P, Ali Mohammadi I, Beheshti M, Azam K. Hand-Arm vibration assessment among tiller operator. *Health and Safety at Work*. 2013;3(2):35-46.