

ORIGINAL RESEARCH PAPER

The Impact of Chisel Shape and Length on Hand-Arm Vibration Transmitted from Electrical Demolition Hammer Handle on Concrete Surfaces

Kaykāvus Azrah¹, Ali Khavanin², Majid Shahi³, Mahbubeh Parsaeian⁴, Omid Sarrafzadeh⁵, Mohammad Reza Monazzam^{1*}

¹ Department of Occupational Health engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

² Department of Occupational Health engineering, School of Medical Sciences, Tarbiat Modares University (TMU), Tehran, Iran.

³ Department of Occupational Health Engineering, Iran University of Medical Sciences, Iran.

⁴ Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

⁵ Biomedical Engineering Expert, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Received: 2022-02-25

Accepted: 2022-08-03

ABSTRACT

Introduction: This study aims to determine the amount of hand-arm vibration transmitted from heavy electric destruction tools and the effect of using chisel with different lengths and shapes when demolishing concrete surfaces.

Material and Methods: To evaluate the magnitude of hand-arm vibration on the left and right handles of two powerful electric demolition hammers commonly applied in Iranian construction work and urban services, 323 measurements were made (RONIX and NEC). The demolition procedure was carried out by two experienced users on 49 concrete slabs of the same grade (20 C) with thicknesses of 10 and 15 cm while utilizing standard tools, such as hammers with two different chisel head shapes (flat and point) and lengths (40 and 60 cm). Utilizing two SVANTEK vibration meters concurrently on each hammer handle, measurement and evaluation were according to the ISO 5349:1, 2 procedures.

Results: The mean effective (frequency weighted root mean square) acceleration (awrms) for the Vector Sum Values (VSV) in the hammer handles were 15.71 m/s². The primary vibrational axis transmitted to the handle of tool was the vertical axis, at 13.60 m/s². When employing flat and point chisel, the mean awrms were 16.59 m/s² and 14.82 m/s², respectively. The difference between the results of 60 and 40 chisel was a little more than 2m/s². The dominant and harmonic frequencies of the tools were generally in the range of 25 Hz to 80 Hz and 200 Hz to 400 Hz

Conclusion: The mean results generally indicated that point chisel with shorter lengths (40 cm) accelerates at a lower rate than flat chisel with longer lengths (60 cm). In the frequency range below 40 Hz, the RONIX hammer produced a larger acceleration than the NEC hammer indicating that the NEC hammer had a higher safety competitive advantage compared to the another hammer.

Keywords: Jackhammer, Hand-arm vibration, Handle, Demolition hammer, Chisel

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Azrah K, Khavanin A, Shahi M, Parsaeian M, Sarrafzadeh O, Monazzam MR. The Impact of Chisel Shape and Length on Hand-Arm Vibration Transmitted from Electrical Demolition Hammer Handle on Concrete Surfaces, J Health Saf Work. 2023; 12(4): 742-766.

* Corresponding Author Email: mmonazzam@hotmail.com

Copyright © 2023 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

1. INTRODUCTION

Occupational exposure to Hand - Arm Vibration (HAV) is very common in workers that use hand held vibrating power tools in construction activities and repair services. Among the most common heavy vibrating power tools used, tools as concrete breakers, rotary, chipping or demolition hammer generally produce the highest vibration level on the handles. There is a type of mechanical mechanism used in electric hammer-action tools that can transform the rotating force of the motor into a very high frequency and forceful hammering force, in which the tool handles and then the tool guiding operator hands both receive a portion of the energy generated by the body and other tool accessories.

The health effects of this exposure level, if last for several months, include vascular, neurological, and other disorders of the cardiovascular system that are related to damage to the blood vessels. The occurrence of these complications and disorders is known as Vibration White Finger (VWF) disease.

Power or speed of the operating mechanism of vibratory tools, whether percussive or rotary, along with other effective factors such as gripping and feed force, chisel diameter, tool weight, the source of energy consumption, worker posture, has been considered in the magnitude of vibration of the tool handle.

The interface between the impact energy of hammers and the work surface are the insert chisels of demolition tools. Common chisel used in demolition hammers often have different lengths according to the operational needs and are of flat tip and square or round point, wide, tongue, etc.

So far, little attention has been paid by researchers to determine the effect of using different chisels on concrete surfaces in the construction and repair services and determining the amount of hand-arm vibration transmitted by electrical jackhammers and the effect of these factors on frequency spectrum. So, the objectives of present study were: determining the level of hand-arm vibration transmitted to the handles of heavy electric hammers for demolishing of concrete

surfaces using chisels with different length and tip shape on concrete surfaces with different thickness in each tool handles and investigating the frequency content emitted in the vibration signal.

2. MATERIAL AND METHODS

This study was performed by two jackhammers (Table 1). Demolition hammers used by two brands, RONIX and NEC, which are widely used in Iran and other Middle Eastern countries for construction demolishing and repair or reconstruction of water and gas pipelines. Demolition of concrete slabs was performed by two experienced users. The handles in both hammers were as left-right handles.

From the beginning until the end of the demolition process, the vibration of each tool handle in three axes was continuously measured concurrently. Vibration measurements conducted based on ISO 5349 by using two vibration meters (SVANTEK 958 and 958A) and set of accelerometer and manual adapter SV 50 on both handle of tools during the whole time of demolition by users (2,5).

Each hammer used by each user separately for 2 concrete thicknesses (15 and 10 cm) has a dimension of 40 by 70 cm, two chisel heads (flat and Point) and two inserted chisel lengths (40 and 60 cm). The diameter of the chisel used for each hammer was the same and proportional to the tool chuck and was of HEX type (6 edges).

The duration required for demolishing each concrete slab varied from 123 to 148 seconds, depending on the thickness of the concrete slabs, the power of the tool, the type of chisel, and the operating method of the operator. All in all, including simultaneous measurement of vibration in both handles, 323 separate measurements of vibration were made for two tools. The average values reported in this paper are the result of at least 2 measurement data for each concrete slab.

Concrete slabs were demolished after 45 days of processing, watering and preparation in order to achieve the quality of structural concrete (C20) in accordance with EN 206-1: 2000 ISO, 679; ISO 28927-10 (6,7). In order to separate each piece, a wooden grid with the specified dimensions was

Table 1: The jackhammer specifications

Tools Code	Jackhammer	Power (W)	Hammer weight (Kg)	Chuck type	Impact per min	Hammer frequency (Hz)	Impact energy (J)
1	RONIX 2830	2200	30	HEX	950	50	75
2	NEC 2485	2100	25	HEX	1600	50	85

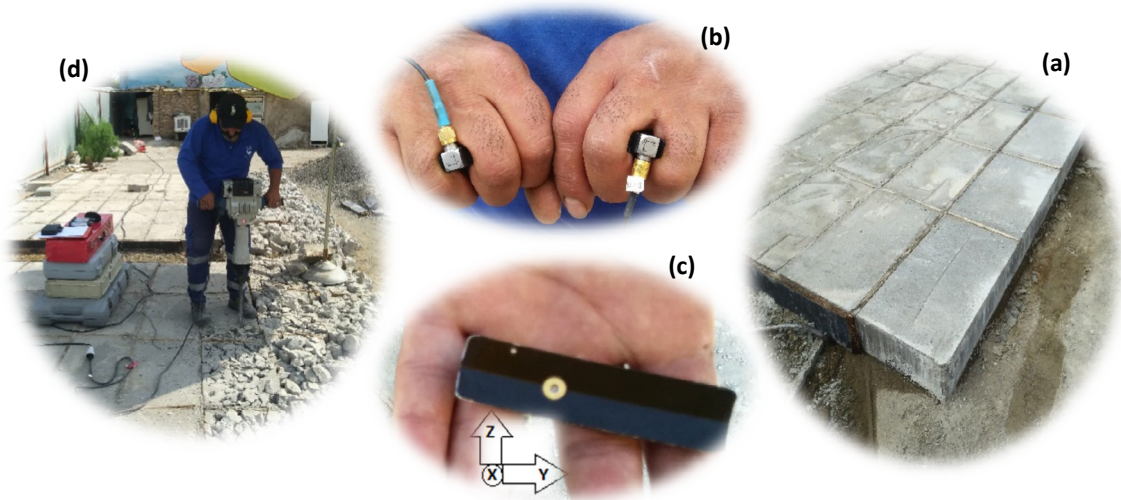


Fig. 1: Concrete slabs prepared before demolition with C20 quality (a), Accelerometer and adapter setting on hands during measurements (b, c), demolishing process of concrete by jackhammers (d) when measuring vibration during demolition of concrete slabs.

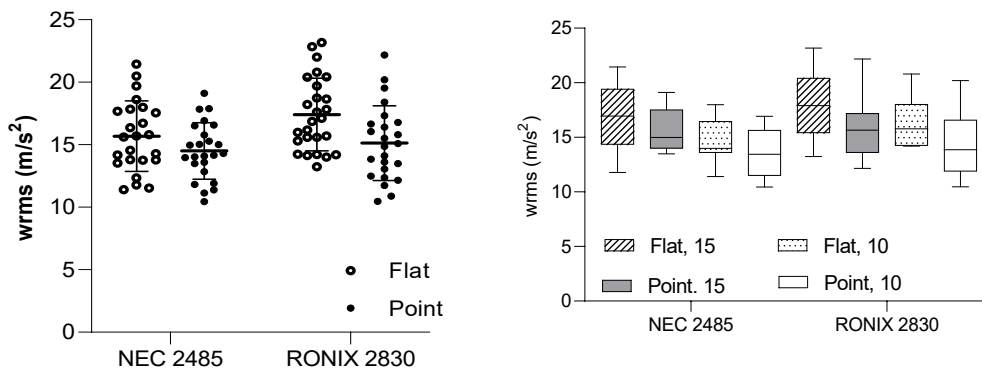


Fig. 2: Mean and awrms values in samples with flat and point chisel (left) and average results for two chisel in each concrete thickness (right) for each hammer

created before concreting and the created frame was collected before starting of demolition and the concrete slab was separate of frame (Fig. 1-a). Accelerometer and adapter setting on hands during measurements and demolishing process of concrete slabs are represented in Fig. 1(b, c and d).

The Vibration Sum Values (VSV) of frequency weighted root mean square acceleration awrms for the three x, y and z axes was calculated using the equation (1) in accordance with ISO 5349-1 (2):

$$a_{wrms-VSV} = \sqrt{a_{hw\ x}^2 + a_{hw\ y}^2 + a_{hw\ z}^2} \quad \text{Eq.(1)}$$

In the above equation, ahw x, ahw y and ahw z are the frequency weighted root mean square acceleration (awrms) values for x, y and z axes, respectively.

This study investigates the frequency spectrum of each tool on 1/3 octave bands for determining of the dominant frequencies and their related harmonic frequencies on the handle of hammers. The results of this study were analysed at frequencies less than 1250 Hertz in accordance with the Wh weighting network in ISO 5349 by SVAN PC ++ software (2,5). Statistical analysis for to determine the influence of each factor was with Graph Pad Prism software (version 9.0.0).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The mean results of the two instruments showed that the mean difference between the instruments was not significantly dominant ($P = 0.10$). The largest VSV in the measurement results in tools 1 and 2, were equal to 22.29 and 23.17 m/s^2 , respectively. In NEC jackhammer, the highest values in z, x and y axes were equal to 17.89, 12.91 and 7.30 m/s^2 , respectively, and for RONIX hammer, the highest values were equal to 21.26, 9.64 and 6.89 m/s^2 , respectively. The mean values of each axis and the sum of the total axes for each jackhammer are shown in Table 2.

The means of hammers 1 and 2 during the demolition of concrete with thicknesses of 15 cm were 16.10 m/s^2 and 17.13 m/s^2 , respectively, and when demolishing concrete slabs with thicknesses of 10 cm were equal to 14.09 m/s^2 and 15.28 m/s^2 , respectively. The difference between the mean of the total results of both hammers was statistically significant for the two groups of concrete thicknesses ($P = 0.0006$).

The difference between the mean of the left and right handles was not significant ($p=0.36$) even when only the results of measuring tool handles in concrete slabs with one thickness were examined, either separately for each tool or for the whole results of one concrete thickness.

The mean values of the total results for the two forms of flat and point chisel heads were 16.59 m/s^2

and 14.82 m/s^2 , respectively. Fig. 2 (left) shows the means of total values by hammer when using flat and point inserted chisel. In general, the mean values of flat-shaped chisel (F) were higher than point-shaped chisel (P). The mean of all awrms in three axes had a statistically significant difference when the all results were considered together ($P = 0.0024$). The values for each group of the chisel tip shape are shown separately by the thickness of the concrete slabs and the jackhammers in Fig. 2 (right).

As shown in Fig. 2 (right), the results for point chisel are lower than the average for flat chisel, and similarly, the average for all concrete slabs with thicknesses of 15 cm is more than 10 cm. Investigating on the results related to the length of the 40 cm and 60 cm chisel showed that the average values in both hammers were higher when the chisel with a longer length was used. In this case, the difference between the two insert lengths in the RONIX hammer is close to 3 m/s^2 ($P = 0.0006$) and the difference for the sum of the results of both hammers in the chisel length was slightly larger than 2 m/s^2 and for the 60 cm and 40 cm chisel were 16.36 m/s^2 and 14.38 m/s^2 , respectively ($P = 0.08$).

The highest frequency values occurred at frequencies with higher weights of the weighing network in the Z axis and then in the X axis in the measurements. The highest mean values in the dominant axis were observed in the RONIX hammer at frequencies of 12 Hz and 25 Hz, equal

Table 2: The mean (SD) of the awrms results on the demolition hammer s' handles

Jackhammer	X	Y	Z	VSV
NEC 2485	7.46 (2.16)	4.17 (1.79)	12.54 (2.21)	15.10 (2.72)
RONIX 2830	6.08 (1.57)	2.92 (1.67)	14.67 (3.21)	16.32 (3.13)
Mean	6.77 (2.00)	3.55 (1.83)	13.60 (2.95)	15.71 (2.97)

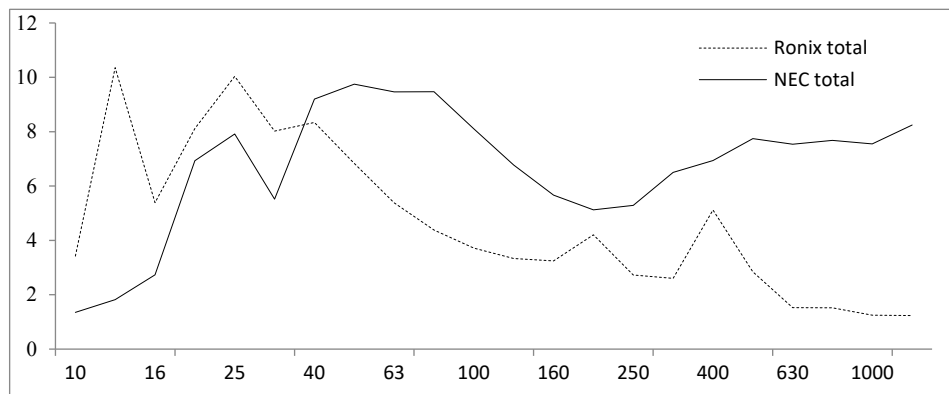


Fig. 3: Mean frequency spectrum values of 1/3 octave band for jackhammers

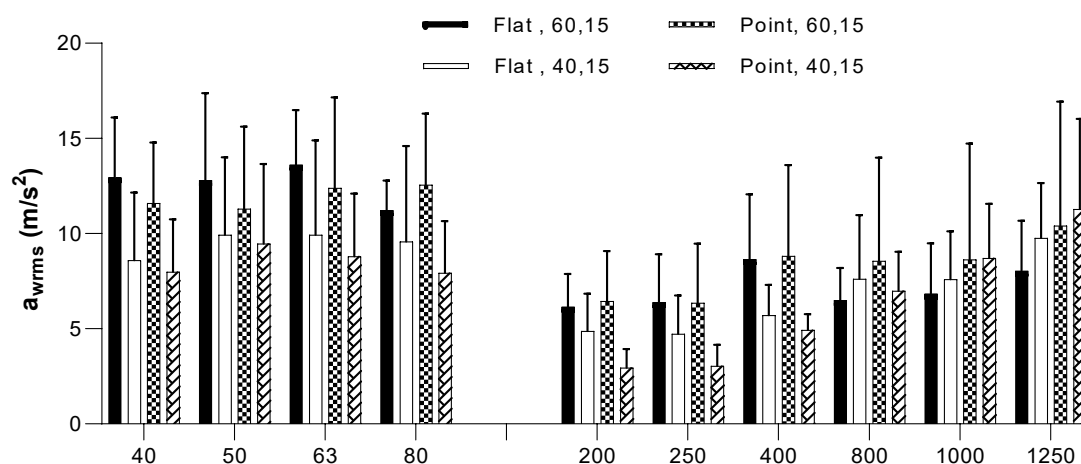


Fig. 4: Values of a_{wrms} for 15 cm concrete slabs and for two inserted lengths and chisel head shapes at selected NEC hammer frequencies

to 10.36 m/s² and 10.04 m/s², respectively. At frequencies above 100 Hz for this hammer, the dominant frequency, which was distinctly higher than the adjacent frequencies among the means of each set of outputs, was 400 Hz with a magnitude of 5.12 m/s² and then 200 Hz with a magnitude of 4.2 m/s². The average values of the frequency spectrum for the two jackhammers are shown in Fig. 3.

In the NEC jackhammer, the shape of the frequency spectrum signal was different from that of the RONIX hammer. In the lower frequency range 50 to 63 Hz and then 80 and 40 Hz were larger values and close to 10 m/s². In the high frequency range, the frequencies 400 Hz, 500 Hz and 1250 Hz had predominant values slightly higher than 8 m/s². In the frequency range below 40 Hz, the RONIX hammer generated a larger acceleration than the NEC hammer, and this difference suggests that the NEC hammer has a higher safety competitive advantage over the other two hammers.

The analysis of the mean findings of the frequency spectra of both hammers demonstrated that the short chisel had a greater acceleration at frequencies between 100 Hz and 200 Hz and then at frequencies over 400 Hz. Despite the opposite tendency in other regions of the frequency spectrum, this trend was also observed in the RONIX hammer in the 315-500 Hz range. The mean findings for both hammers revealed that the acceleration magnitude of point chisels was around 0.5 m/s² higher than that of flat chisels in the frequency range of 63-125 Hz and that

the difference between these two groups in other regions of the spectrum was quite small.

Comparing the results of flat and point chisel on 15 cm concrete slabs showed that for NEC jackhammer at 40 to 80 Hz, the mean differences for flat and point inserts on the chisel length groups were 3.13 and 3.42 m/s², respectively. The highest differences for the flat chisel at 40 Hz and in the point chisel at 80 Hz were 4.35 m/s² and 4.62, respectively. There was an average difference in the same range at higher frequencies. Fig 4 shows the average results for 15 cm concrete slabs by two chisel lengths and chisel head shapes at selected frequencies in the NEC hammer.

4. CONCLUSION

The analysis of the two studied hammers showed that the NEC hammer's mean overall vibration acceleration was less than the RONIX hammer's by almost 1 m/s² in the mean findings of the vector sum values and by more than 2 m/s² in the dominant axis of vibration propagation. Generally, flat chisels with shorter lengths generated lower acceleration values than that of point chisels with longer lengths according to the mean results of several groups. Additionally, the NEC hammer has a competitive advantage of greater safety due to higher acceleration values for the Ronix hammer in the frequency range of less than 40 Hz. As a result, among the configurations examined in this study, it is advised to utilize a point chisel with a length of 40 cm rather than other circumstances.

تأثیر شکل و طول قلم بر ارتعاش دست-بازو منتقله از دسته چکش‌های تخریب الکتریکی در سطوح بتنی

کیکاوس ازره^۱، علی خوانین^۲، مجید شاهی^۳، محبوبه پارسائیان^۴، امید صراف زاده^۵، محمدرضا منظم^{۶*}

^۱ گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
^۲ گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
^۳ گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
^۴ گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
^۵ گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۲

چکیده

مقدمه: این مطالعه با هدف تعیین میزان ارتعاش دست و بازو منتقل از دسته ابزارهای تخریب‌کننده سنگین الکتریکی و تعیین تأثیر استفاده از قلم‌های با طول و شکل متفاوت هنگام تخریب سطوح بتنی انجام شد.

روش کار: ۳۲۳ اندازه‌گیری جهت تعیین میزان بزرگی ارتعاش دست-بازو بر روی دسته‌های چپ و راست دو چکش تخریب الکتریکی سنگین پر کاربرد در مشاغل ساختمانی و خدمات شهری در ایران (RONIX و NEC) انجام شد. فرایند تخریب در شرایط واقعی توسط ۲ کاربر با تجربه بر روی ۴۹ دال بتنی با کیفیت یکسان C۲۰ با ضخامت‌های ۱۰ و ۱۵ سانتی متر و با استفاده از ملزومات پر کاربرد معمول در این چکش‌ها شامل ۲ طول قلم (۴۰ و ۶۰ سانتی متر) و ۲ شکل سر قلم (تخت و تیز) انجام شد. اندازه‌گیری و ارزیابی مطابق با روش ۵۳۴۹ OSI و با استفاده از ۲ ارتعاش سنج SVANTEK به صورت هم‌زمان بر روی هر دسته چکش انجام گرفت.

یافته‌ها: میانگین شتاب مؤثر (ریشه میانگین مربعات) وزن یافته فرکانسی ($a_{w_{rms}}$) برای مقدار مجموع محورها (VSV) در دسته چکش‌ها $15/17 \text{ m/s}^2$ بود. محور عمودی با $13/60 \text{ m/s}^2$ محور غالب ارتعاش منتقل به دسته ابزارها بود. میانگین $a_{w_{rms}}$ هنگام استفاده از قلم‌های تخت و تیز به ترتیب $16/59$ و $14/82$ متر بر مجذور ثانیه بود. اختلاف بین نتایج قلم‌های ۰۶ و ۰۴ کمی بیش از 2 m/s^2 بود. فرکانس‌های غالب و هارمونیک ابزارها عموماً در محدوده ۲۵ تا ۸۰ و ۲۰۰ تا ۴۰۰ هرتز قرار داشت.

نتیجه‌گیری: به طور کلی میانگین نتایج نشان داد که در قلم‌های تیز و با طول کوتاه‌تر (۴۰ cm) شتاب کمتری نسبت به قلم‌های تخت و ۶۰ cm وجود دارد. چکش رونیکس در طیف فرکانسی کمتر از ۴۰ هرتز نسبت به چکش NEC شتاب بالاتری ایجاد نمود که این اختلاف در مقایسه دو چکش مزیت رقابتی ایمنی بالاتری برای چکش NEC را بیان می‌کند.

کلمات کلیدی: چکش تخریب، ارتعاش دست-بازو، دسته ابزار، قلم تخریب

مقدمه

مواجهه شغلی با ارتعاش دست-بازو در کارگران حین کار با ابزارهای برقی دستی، ماشین‌ها، فعالیت‌های ساختمانی و مشاغل خدماتی مانند تعمیر و نگهداری سطوح داخل شهری، خطوط لوله‌های آب، گاز و ... بسیار رایج است (۱، ۲).

در صنایع ساخت و ساز و تعمیرات، ابزارهایی که تحت عناوینی مانند بتن شکن^۱، چکش‌های چرخشی، تراشه کنی یا تخریب آخوانده می‌شوند عموماً بالاترین سطح ارتعاش دسته‌ها را ایجاد می‌کنند (۳-۵). آن‌هایی که معمولاً وزن بالایی (معمولاً بالاتر از ۲۳ kg) دارند و در بسیاری اوقات جابجایی آن‌ها با استفاده از چرخ دستی^۲ انجام می‌شود عموماً چکش تخریب سنگین^۴ نامیده می‌شوند. در این میان آن‌هایی که عبارت چرخشی در نام آن‌ها نیست معمولاً به صورت مکانیسم چکشی^۵ عمل می‌کنند. در ابزارهای چکش-عمل نوعی سیستم مکانیکی وجود دارد که می‌تواند نیروی گردشی موتور را تبدیل به نیروی چکشی با فرکانس بسیار بالا و قدرتمند نماید که بخشی از این انرژی تولیدشده از طریق بدنه و سایر متعلقات ابزارها نهایتاً به دسته ابزار و دست‌های اپراتور هدایت کننده ابزار وارد می‌شود. قدرت یا سرعت مکانیسم عملیاتی این ابزارها خواه تصادمی یا چرخشی، همراه با دیگر فاکتورهای مؤثر دیگر مانند نیروی چنگش و تغذیه توسط دست اپراتور (۴، ۶-۱۱)، قطر قلم (۱۱-۱۴)، وزن ابزار (۴، ۱۵)، منبع انرژی مصرفی (۱۵، ۱۶)، پوسچر کارگر (۵، ۱۷)، در بزرگی ارتعاش دسته ابزارها و مواجهه با ارتعاش دست-بازو در کاربران مورد ملاحظه قرار گرفته است.

در صورتی که مواجهه با ارتعاشات دست و بازو در طول چند ماه به صورت مستمر تکرار شود، در کاربران این گروه از ابزارها اثرات بهداشتی متعددی مانند اختلالات عروقی،

نورولوژیکی و دیگر اختلالات مرتبط با سیستم قلبی-عروقی بروز می‌نماید. بروز این عوارض و اختلالات تحت نام بیماری سفید انگشتی ارتعاش^۶ (VWF) شناخته می‌شود (۱۸-۲۰). علائم ویژه این بیماری شامل بی‌رنگ شدن^۷ یا سفید شدن انگشتان همراه با بی‌حسی^۸، گزگز شدن و سوزن سوزن شدن^۹ می‌باشد که اغلب در سرما و شرایط مرطوب بروز نموده و یا تشدید می‌شود. اختلالات نورولوژیکی ناشی از صدمه به سیستم عصبی، با مشخصات بی‌حسی، حس مورمور شدن^{۱۰} و افت در قدرت چنگش دست همراه است. دیگر علائم شامل درد، سفتی دست‌ها و ساعد همراه با کاهش عمومی دقت و قدرت می‌باشد (۱۸، ۲۱، ۲۲). نتایج مطالعه‌ای در گروه بزرگی از کارگران ساختمانی نشان داده است که اکثر این کارگران اعتقاد داشتند که کار با چکش‌های تخریب سنگین بیشترین آسیب را به سلامت آن‌ها زده است (۲۳). شیوع علائم مختلف سندرم ارتعاش دست و بازو در کاربران چکش‌های تخریب سنگ در گروه‌هایی از معدن کاران (۸/۲ تا ۸۶/۵ درصد) و کارگران ساخت‌وساز (۲/۲ تا ۷۱/۵ درصد) گزارش شده است و شیوع علائمی مانند سردی دست‌وپاها^{۱۱}، گزگز شدن انگشتان دست، لرزش^{۱۲} انگشتان، ضعف و کاهش توانایی^{۱۳} و کاهش مهارت^{۱۴} در دست‌ها نسبت به گروه کنترل معنادار (P=۰/۰۵) گزارش شده است (۲۴، ۲۵).

مقادیر بزرگی ارتعاش گزارش شده در ابزارهای تخریب کننده در مطالعات انجام شده در سطح جهان بسیار متغیر و از $5/18 \text{ m/s}^2$ برای چکش‌های دورانی در اندازه گیری در محیط واقعی در انجام کارهای تعمیراتی (۲۶)، $12/78-6/77$ متر بر مجذور ثانیه مربوط به چکش‌های پنوماتیکی ۶-۷ کیلوگرمی در محیط

6 Vibration white finger

7 Blanching

8 Numbness

9 Pins and needles

10 Tingling sensation

11 Coldness of hands and legs

12 Tremor

13 Weakness

14 Abnormal dexterity

1 Concrete breakers

2 Rotary, chipping or demolition hammer

3 Trolley

4 Jackhammer

5 Hammer or percussive action

از ابزارهای تخریب و سوراخ کاری انجام شده، دامنه ارتعاشات منتقل از ۲/۸۵ تا ۱۲/۶۱ متر بر مجذور ثانیه برای گروه‌های مختلف این ابزارها گزارش شده است و مقادیر میانگین بر اساس روش ISO ۸۶۶۲ همواره کمتر از ISO ۵۳۴۹ بوده است. مقادیر منتشره بر اساس ISO ۸۶۶۲ معمولاً به‌عنوان داده‌های کمیسیون اروپا^۵ شناخته می‌شود و سازندگان ابزارها نیز از این روش استفاده می‌نمایند (۲۷، ۳۰، ۳۱). سطح ارتعاش گزارش شده توسط سازندگان دریل‌های چکشی ممکن است ریسک محیط‌های کاری و مواجهه حقیقی کاربران این ابزارها را وابسته به شرایط ویژه جمع‌آوری داده‌ها کمتر یا بیشتر برآورد نماید (۵، ۷). از طرف دیگر تنوع بسیار زیاد این گروه از ابزارها و سازندگان آن‌ها استفاده از داده‌های منتشرشده توسط هر ابزار را برای سایر ابزارهای با ماهیت و مکانیسم مشابه مشکل می‌سازد.

استفاده از تجهیزات حفاظت فردی مانند دستکش‌های کاهش ارتعاش^۶ (VRG) نیز معمولاً کاهش محدودی را در میزان ارتعاش دست-بازو در کاربران ایجاد می‌نمایند. فرکانس غالب اصلی در ابزارهای دستی متناسب با فرکانس تصادم یا چرخش ابزار است و همراه با این فرکانس معمولاً فرکانس‌های هارمونیک دیگری نیز در سیگنال فرکانسی ابزارها مشاهده می‌شود. این فرکانس‌های غالب در چکش‌های الکتریکی معمولاً در کمتر از ۴۰۰ هرتز دیده می‌شود و در چکش‌های پنوماتیکی در محدوده ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ هرتز است (۱۵). در مطالعه ولکام^۷ و همکاران (۲۰۱۴) مشخص شده است مقدار کاهش ارتعاش برای فرکانس‌های کمتر از ۴۰۰ هرتز حدود ۱۰ درصد است. به علاوه حین استفاده از این نوع دستکش‌ها به سبب قطر بالاتر آن‌ها نسبت به دستکش‌های معمولی مداخلات اجرایی زیادی در فرایند کار اپراتوران ایجاد می‌شود (۲، ۱۶، ۳۲).

تاکنون، توجه اندکی از سوی محققین بر تعیین تأثیر استفاده از قلم‌های متفاوت بر روی سطوح بتنی پرمصرف

آزمایشگاهی (۷)، در تعدادی از چکش‌های تخریب سنگین ۲۷ و ۴۰ کیلوگرمی (۴) و تا ۵۵ m/s^۲-۴۵ مربوط به چکش‌های تخریب کننده سنگ پنوماتیکی و هیدرولیکی در معادن سنگ در ویتنام متفاوت است (۲۴). در مقایسه با تحقیقات آزمایشگاهی، تحقیقات میدانی مزایای زیادی دارند. اندازه‌گیری‌ها قابل‌اعتمادتر هستند و شرایط واقعی مکان را می‌توان نه تنها برای ارزیابی مواجهه با ارتعاش، بلکه برای ارزیابی استراتژی‌های کاهش مواجهه با ارتعاش دست-بازو نیز در نظر گرفت (۲).

باوجود بهینه بودن یک قطر خاص از مته برای استفاده در هر ابزار، در مطالعات نشان داده شده است که یک رابطه مثبت بین قطر مته و بزرگی ارتعاش دسته وجود دارد (۱۲-۱۴). با این وجود امروزه به دلایل ایمنی، در اکثر چکش‌های تخریب که صرفاً مکانیسم تصادمی دارند فقط یک قطر مته را می‌توان برای هر چکش استفاده کرد. طرح و طراحی دریل چکشی و روش یا تکنیک انجام کار اپراتور نیز می‌تواند بر روی میزان ارتعاش دسته مؤثر باشد (۲۶-۲۷). واسط بین انرژی ضربه‌ای چکش‌ها و سطح کار، قلم‌های ابزارهای تخریب می‌باشند. قلم‌های رایج مورد استفاده در انواع چکش تخریب غالباً دارای طول‌های مختلف با توجه به نیاز عملیاتی و از نوع سر تخت^۱ و تیز^۲، پهن، زبانه‌دار یا ... هستند. این قلم‌ها با جنس بسیار سختی که دارند، می‌توانند در قلب انواع سازه‌های غیرفلزی نفوذ کنند (۱۲، ۲۷-۲۹).

سازندگان ابزارهای تخریب و سوراخ کاری معمولاً تمایل به پایین‌تر نشان دادن مقدار ارتعاش ابزارهای خود دارند و معمولاً یک تک مقدار ارتعاش دسته ابزار را در شرایط استاندارد گزارش می‌کنند. در مطالعه ادواردز^۳ و حالت^۴ (۲۰۰۶) که به‌منظور مقایسه روش‌های ISO ۵۳۴۹ و ISO ۸۶۶۲ در ارزیابی نتایج خروجی یک دسته

- 1 Flat tip
- 2 Square or round point
- 3 Edwards
- 4 Holt

5 CE data
6 Vibration reducing gloves
7 Welcome

جدول ۱. مشخصات مهم چکش‌های تخریب

نام و مدل چکش	کد ابزار	توان (W)	وزن چکش (Kg)	نوع چوک	تعداد ضربه بر دقیقه	فرکانس چکش (Hz)	شدت انرژی (J) تک ضربه	نوع قرارگیری دسته
RONIX ۲۸۳۰	۱	۲۲۰۰	۳۰	گوش 6	۹۵۰	۵۰	۷۵	چپ-راست
NEC ۲۴۸۵	۲	۲۱۰۰	۲۴	گوش 6	۱۶۰۰	۵۰	۸۵	چپ-راست

توسط سازندگان ارائه نشده بود؛ باین‌حال ضخامت لایه الاستیک مورد استفاده در دسته چکش‌ها با استفاده از کولیس مهندسی $2/8 \text{ mm}$ اندازه‌گیری شد.

کلیه دال‌های بتنی با همکاری یک مهندس بتن در یک زمان و یک محل با سطح یکنواخت با یک شکل اختلاط و دانه بندی تهیه شد. هر بلوک دارای سطحی 40 در 70 سانتی متر و با دو ضخامت 10 و 15 سانتی متر تهیه شد. تخریب دال‌های بتنی پس از 45 روز عمل‌آوری، آبدهی و آماده سازی به‌منظور دستیابی به کیفیت بتن سازه‌ای (20 C) به‌عنوان پرکاربردترین کیفیت بتن در سطوح مورد استفاده در کف سازی در مشاغل خدمات شهری و ساخت و ساز مطابق با $2000-1-206-EN$ و $679-ISO$ انجام شد ($33, 34$). به‌منظور جداسازی هر قطعه، شبکه چوبی با ابعاد تعیین شده قبل از بتن ریزی ایجاد شد و چهارچوب ایجاد شده قبل از تخریب جمع‌آوری و دال بتنی جدا می‌شد (شکل ۱- الف).

تخریب دال‌های بتنی توسط 2 کاربر باتجربه و دارای سابقه کار با ابزارهای مذکور و با مشخصات آنترپومتریکی ارائه شده مطابق با روش $2005-2-2-334-ISO$ در جدول 2 انجام شد (35). کاربران بین هر قطعه حداقل 5 دقیقه استراحت می‌کردند. هیچ دستور کار اضافی دیگری برای انجام تخریب به کاربران مشارکت‌کننده - غیر از مشاهده یک نمونه جهت تعیین ساینز نسبی بزرگی قطعات تخریب توسط آن‌ها- داده نشد. زمان تخریب هر قطعه توسط هر کاربر به صورت پیوسته بود. اندازه‌گیری‌ها طی یک هفته متوالی در مرداد ماه 1400 در ساعات معمول روز انجام شد.

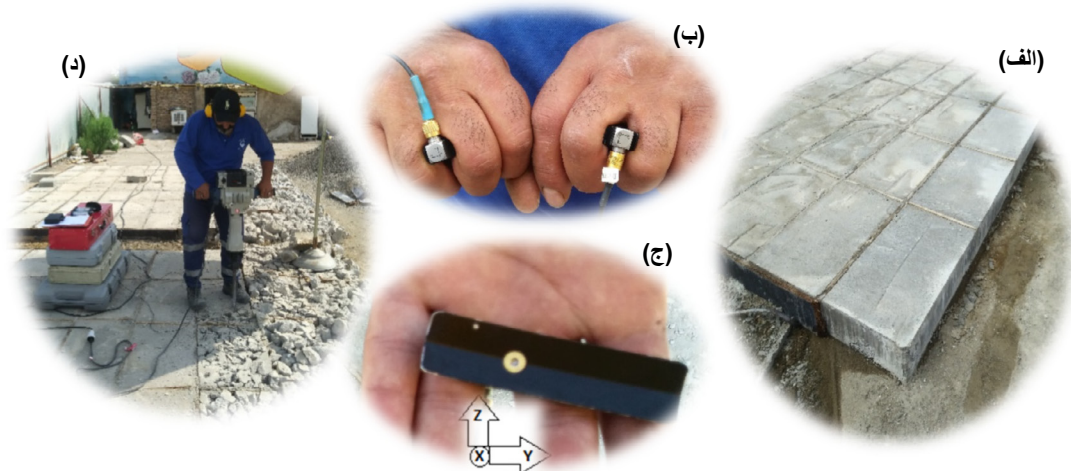
پس از مشورت با سازندگان ابزارها و مهندسين

در صنایع ساخت‌وساز و تعمیرات و تعیین میزان ارتعاش دست - بازو منتقل توسط دسته ابزارهای تخریب‌کننده سنگین الکتریکی و تأثیر این عوامل بر طیف فرکانسی سیگنال منتشره در دسته ابزارها شده است؛ بنابراین، مطالعه حاضر با اهداف ذیل طراحی و اجرا شد:

- تعیین میزان ارتعاش دست-بازو منتقل به دسته چکش‌های تخریب سنگین الکتریکی در تخریب سطوح بتنی با دو ضخامت پر کاربرد
- تعیین تأثیر استفاده از قلم‌های با طول و شکل نوک متفاوت بر میزان ارتعاش منتقل به دسته چکش‌ها
- تعیین تأثیر قطر سطوح بتنی بر میزان ارتعاش منتقل به دسته چکش تخریب الکتریکی
- بررسی محتوای فرکانسی منتشره در سیگنال ارتعاشی و تأثیر استفاده از قلم‌های مورد استفاده و ضخامت بتن بر فرکانس منتشره

روش کار

این مطالعه با استفاده از 2 چکش تخریب الکتریکی سنگین بدون استفاده قبلی (نو) که مشخصات اصلی آن‌ها در جدول 1 ارائه شده است انجام شد. چکش‌های تخریب مورد استفاده از دو برند RONIX و NEC بودند که به‌صورت گسترده در ایران جهت انجام تخریب‌های ساختمانی و اصلاح و بازسازی خطوط لوله‌های آب، گاز و ... بکار می‌روند. عمده قطعات این چکش‌ها ساخت کشور چین و در شرکت‌های با برندهای مذکور در ایران مونتاژ و تولید می‌شوند. شکل قرارگیری دسته‌ها در هر دو چکش به‌صورت چپ-راست بود. ویژگی‌های الاستیکی و ارتعاشی لایه ایزولاسیونی روی دسته ابزارها



شکل ۱. نمونه‌ای از دال‌های بتنی آماده‌شده قبل از تخریب با کیفیت 20°C (الف)، نحوه قرارگیری شتاب سنج در دست اپراتور (ب) و شکل داخلی آداپتور مورد استفاده بر روی دسته (ج) و فرایند اجرایی تخریب توسط اپراتور (د)

جدول ۲. مشخصات آنترپومتریکی کاربران مشارکت‌کننده در مطالعه

کد کاربر	سن (سال)	سابقه کار (سال)	قد (cm)	وزن (kg)	طول دست (mm)	عرض دست (mm)
۱	۳۸	۶	۱۷۲	۸۷	۱۹۴/۵	۱۱۲/۲
۲	۳۷	۵	۱۷۱	۸۶	۱۹۴/۱	۱۱۱/۵

پشت سر هم و بدون وقفه در هر یک از دسته‌های ابزار انجام می‌شد. طول زمان مورد نیاز برای تخریب هر دال بتنی وابسته به ضخامت بلوک بتنی، توان ابزار، نوع قلم‌ها و روش کار اپراتور متفاوت و از ۱۲۳ تا ۱۴۸ ثانیه متفاوت بود. با احتساب اندازه گیری هم‌زمان هر دو دسته ابزار و اندازه گیری شتاب هر بلوک در بازه‌های زمانی پیوسته برای هر ابزار توسط هر اپراتور مجموعاً با در نظر گرفتن نمونه‌های پشتیبان ۳۲۳ (۱۵۵ و ۱۶۸ نمونه به ترتیب برای بلوک‌های ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری) اندازه‌گیری شتاب ارتعاشی بر روی ۴۹ دال بتنی با استفاده از دو چکش RONIX و NEC انجام شد.

اندازه‌گیری ارتعاش با استفاده از روش اجرایی و عملیاتی ۲ و ۱-ISO ۵۳۴۹ با استفاده از ۲ دستگاه ارتعاش سنج ۹۵۸ SVANTEK و A ۹۵۸ مجموعه شتاب سنج سه محوره و آداپتور دستی ۵۰SV ساخت

ساختمان و عمران فعال در حوزه ساختمان و خدمات شهری جهت تعیین پرکاربردترین سطوح بتنی، تجهیزات و انتخاب طول و شکل قلم‌های پر کاربرد در عملیات اجرایی، هر چکش توسط هر کاربر برای ۲ ضخامت بتن (۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر)، ۲ شکل سر قلم (تخت و تیز) و ۲ طول قلم (۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر) به صورت جداگانه استفاده شد. برای انجام تخریب قطعات بتنی از قلم‌های ساخته‌شده توسط سازندگان ابزارها استفاده شد. قطر قلم‌های مورد استفاده برای هر چکش یکسان و متناسب با چوک ابزارها و از نوع HEX (۶ گوش) بود. اندازه گیری ارتعاش به صورت پیوسته در ۳ محور بر روی هر دسته ابزار به صورت هم‌زمان از شروع تا انتهای فرایند تخریب انجام می‌شد. با توجه به تنظیم دوره‌های اندازه گیری شتاب ۴۵ ثانیه‌ای مطابق با توصیه ۲-ISO ۵۳۴۹ در تنظیمات ارتعاش سنج، در تخریب هر دال بتنی ۳-۴ اندازه گیری

در بازه‌های زمانی اندازه‌گیری پیوسته برای آن بلوک بتنی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$a_{hv} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{hw}^2 t_i} \quad \text{رابطه ۲}$$

فرض بر این است که صدمه زایی ارتعاش ابزارهای قدرت در هر سه محور یکسان است؛ بنابراین اندازه‌گیری بایستی برای هر سه محور انجام گیرد. مقادیر a_{wrms} برای هر یک از محورهای مختصاتی x ، y و z به ترتیب به صورت $a_{hw x}$ ، $a_{hw y}$ ، $a_{hw z}$ گزارش می‌شوند (۳۱، ۳۶). مقدار مجموع محورهای (VSV) که برآیند شتاب ارتعاش در سه محور انتشار ارتعاش و در حقیقت ریشه مجموع مربعات شتاب در سه محور مختصاتی می‌باشد با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید:

$$a_{WRMS-VSV} = \sqrt{a_{hw x}^2 + a_{hw y}^2 + a_{hw z}^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در روابط فوق، a_{hw} شتاب وزن یافته فرکانسی (m/s^2) در هر محور، t و T به ترتیب مدت زمان اندازه‌گیری در هر بخش و در کل نمونه و $a_{hw x}$ ، $a_{hw y}$ ، $a_{hw z}$ به ترتیب ریشه میانگین مربعات شتاب وزن یافته فرکانسی (a_{wrms}) در محورهای x ، y و z می‌باشد.

با هدف تعیین فرکانس‌های اصلی سیگنال ارتعاشی دسته ابزارها و فرکانس‌های هارمونیک دارای بزرگی قابل توجه برای دو چکش، بررسی طیف فرکانسی در پهنای یک سوم اوکتاو باند مربوط به آن‌ها جهت اهداف کاربردی کنترلی و مدیریتی متعدد انجام شد. تجزیه و تحلیل اندازه‌گیری ارتعاشات با استفاده از نرم‌افزار ++ SVAN PC مربوط به سازنده ارتعاش سنج ابزار انجام شد. بر این اساس مقادیر فرکانسی در محدوده شبکه توزین W_h تعریف شده در استاندارد (۱۲۵۰ Hz) ۴-۰) ISO ۱-۵۳۴۹ مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این شبکه توزین مطابق با حساسیت بیودینامیکی و فرکانس طبیعی ناحیه دست و بازوهای انسان طراحی و

کشور لهستان بر روی هر یک از دسته ابزارها در کل طول زمان تخریب توسط کاربران انجام شد (۳۱، ۳۶). شتاب سنج‌های مورد استفاده در نزدیک‌ترین نقطه به محل ارتعاش منتشره ابزار و با استفاده از آداپتور دستی قابل انعطاف در دست کاربر قرار گرفتند (شکل ۱-ب و ج). انتخاب آداپتور مذکور برای انجام اندازه‌گیری در این مطالعه مانند روش و نتایج ارائه شده در مطالعات ورگارا^۱ و همکاران (۲۰۲۱)، کلم^۲ و همکاران (۲۰۰۸) و پس از بررسی مقدماتی و مشاهده سیگنال‌های ارتعاشی غیر طبیعی در روش نصب مستقیم شتاب سنج بر روی دسته ابزار - با توجه به ویژگی‌های ارتعاشی دسته‌های ابزارها - به دلایلی مانند تغییرات جریانی^۳ و باز یا شل شدن بست شتاب سنج حین اندازه‌گیری با توجه به شتاب‌های بالای فرایند مطالعه انجام شد (۳۷، ۳۸).

مشخص شده است که در اکثر ابزارهای قدرت ارتعاش ورودی به دست‌ها حاصل ترکیبی از هر سه محور اندازه‌گیری است. با توجه به همین مفهوم ماهیت جهت دار سیگنال‌های ارتعاشی، در این مطالعه اندازه‌گیری شتاب در ۳ محور ارتعاشی عمودی (Z)، عرضی (Y) و افقی (X) به صورت هم‌زمان با استفاده از شتاب سنج‌های مذکور انجام شد (شکل ۱-د). در هر محور مختصاتی شتاب مؤثر که همان ریشه میانگین مربعات شتاب وزن یافته فرکانسی^۴ (a_{wrms}) در طول دوره‌های زمانی اندازه‌گیری حین تخریب دال‌های بتنی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد (۳۱):

$$a_{WRMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_{hw}^2(t) dt} \quad \text{رابطه ۱}$$

شتاب حداکثر^۵ (a_{max}) به‌عنوان بالاترین مقدار حین میانگین‌گیری سیگنال شتاب شناخته می‌شود و مقدار شتاب ارتعاشی کل (a_{hw}) در هر محور برای هر بلوک بتنی

1 Vergara

2 Clemm

3 DC shift

4 Frequency weighted root mean square acceleration

5 Maximum acceleration

6 Vector sum value

جدول ۳. میانگین (SD) کل نتایج شتاب ارتعاشی اندازه‌گیری شده در دسته چکش‌های تخریب مورد بررسی

چکش	شتاب	x	y	z	VSV*
		(m/s ²)			
NEC ۲۴۸۵	a _{wrms}	۷/۴۶ (۲/۱۶)	۴/۱۷ (۱/۷۹)	۱۲/۵۴ (۲/۲۱)	۱۵/۱۰ (۲/۷۲)
	a _{max}	۱۹/۵۲ (۹/۴۲)	۱۱/۱۲ (۵/۳۶)	۳۴/۶۳ (۱۳/۹۶)	
RONIX ۲۸۳۰	a _{wrms}	۶/۰۸ (۱/۵۷)	۲/۹۲ (۱/۶۷)	۱۴/۶۷ (۳/۲۱)	۱۶/۳۲ (۳/۱۳)
	a _{max}	۱۵/۸۹ (۵/۶۴)	۹/۲۱ (۶/۰۶)	۳۳/۳۹ (۹/۳۹)	
میانگین کل	a _{wrms}	۶/۷۷ (۲/۰۰)	۳/۵۵ (۱/۸۳)	۱۳/۶۰ (۲/۹۵)	۱۵/۷۱ (۲/۹۷)

* مقدار مجموع محورها

ارائه شده است (۳۱).

Y به ترتیب برابر با ۱۷/۸۹، ۱۲/۹۱ و ۷/۳۰ متر بر مجذور ثانیه و در چکش رونیکس به همان ترتیب بالاترین مقادیر برابر با ۲۱/۲۶، ۹/۶۴ و ۶/۸۹ متر بر مجذور ثانیه بود. میانگین مقادیر هر محور و مقدار مجموع محورها توسط هر دو کاربر برای هر چکش در جدول ۳ نشان داده شده است. صرفاً به‌منظور ارائه یک نمای کلی از اختلاف سیگنال‌های شتاب مؤثر (a_{wrms}) و شتاب حداکثر (a_{max}) در هر گروه از ابزارها، مقادیر میانگین شتاب حداکثر هر محور نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

مقایسه میانگین کل نتایج دو ابزار نشان داد که اختلاف میانگین بین ابزارها از نظر آماری معنادار نبود (P=۰/۱۰). بزرگ‌ترین مقدار مجموع محورها در نتایج اندازه‌گیری شده در ابزارهای ۱ و ۲ به ترتیب برابر با ۲۲/۲۹ و ۲۳/۱۷ متر بر مجذور ثانیه مشاهده شد. یک نمونه از تاریخچه زمانی برای سیگنال ۳ محور اندازه‌گیری برای یکی از نمونه‌های دسته راست چکش رونیکس در بتن با ضخامت ۱۵ سانتی متر و با قلم تخت و طول ۶۰ سانتی متر در شکل ۲ نشان داده شده است. هنگامی که اپراتور ابزار را هدایت می‌کند، یک فرآیند پیوسته رخ نمی‌دهد و به‌صورت مرتب حین انجام عملیات کاری فرآیند تخریب متوقف و دوباره شروع می‌شود که در نتیجه این بزرگی ارتعاش در طول زمان ماشه^۳ ایجاد می‌شود. با توجه به شکل ۲ می‌توان فرآیند انجام تخریب و فاصله‌های زمانی بین بخش‌های پشت سر هم و وقفه‌های مربوط به

3 Trigger time

تجزیه و تحلیل و بررسی‌های آماری انجام‌شده در این مطالعه جهت مقایسه گروه‌های مختلف در سطح معناداری ۰/۰۵ و با استفاده از آزمون t (برای ۲ گروه) و آنالیز واریانس یک طرفه (بیشتر از ۲ گروه) با استفاده از نسخه ۹/۰/۰ نرم‌افزار Graph Pad Prism انجام شد. قبل از انجام آزمون‌های آماری، نرمالیتی داده‌ها به تناسب تعداد داده‌های موجود در هر گروه با استفاده از آزمون‌های کولموگروف اسمیرنوف^۱ و شاپیرو ویلک^۲ بررسی گردید که در تمامی موارد، بررسی انجام‌شده بیانگر نرمال بودن نتایج به دست آمده در اندازه‌گیری‌های انجام شده بود.

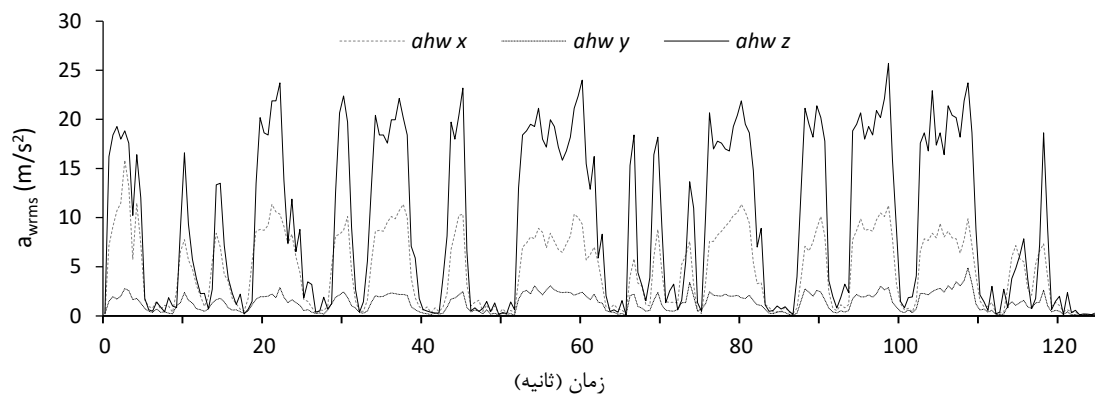
یافته‌ها

نتایج کلی ابزارها، محورها و مقایسه بین نتایج کاربران مشارکت‌کننده

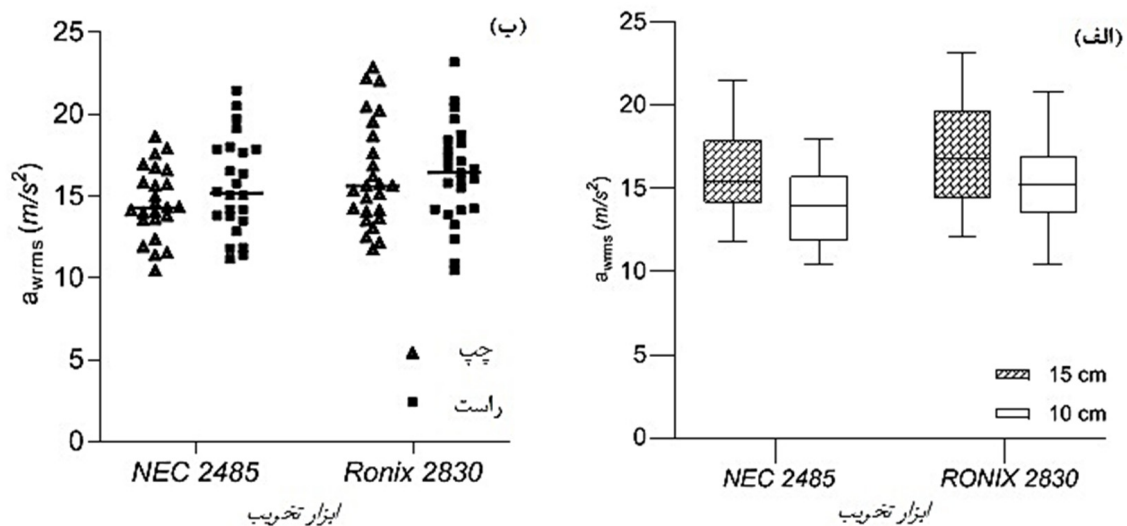
در این مطالعه در فاز اول بررسی نتایج کل هر یک از ابزارها به صورت جداگانه و در محورهای عمودی، افقی و جانبی انجام شد. در تمامی نمونه‌های اندازه‌گیری شده محور غالب محور عمود (Z) بر راستای انجام تخریب دال‌های بتنی بود. با این وجود مقادیر خصوصاً در محور افقی (X) انتشار ارتعاش در تعدادی از نمونه‌ها قابل توجه و قابل مقایسه با محور عمودی بود.

در چکش NEC بالاترین مقادیر در محورهای Z، X و

1 Kolmogorov-Smirnov test
2 Shapiro-Wilk test



شکل ۲. نمونه تاریخیچه زمانی اندازه گیری به تفکیک محورهای ارتعاشی حین تخریب قطعه بتنی با ضخامت ۱۵ cm در دسته راست چکش رونیکس با قلم ۶۰ cm و شکل سر تخت



شکل ۳. مقادیر شتاب مؤثر (a_{wrms}) برای دال های بتنی ۱۰ و ۱۵ سانتی متر (الف) و دسته های چپ و راست (ب) برای هر چکش

آماره (P) برابر با ۰/۹۸ و ۰/۹۹ بود؛ بنابراین با توجه به عدم وجود اختلاف در میانگین نتایج برای کاربران مشارکت کننده، در ادامه به بررسی اختلافات ناشی از نتایج بین کاربران پرداخته نمی شود.

نتایج مربوط به ضخامت دال های بتنی مورد استفاده میانگین نتایج هر دستگاه برای دو ضخامت بتن مورد آزمایش در شکل ۳- الف ارائه شده است. نتایج نشان داد که در هر دو چکش، هنگامی که تخریب بتن با ضخامت

جابجایی چکش حین تخریب انجام شده در این نمونه را جهت محاسبه زمان واقعی مواجهه یا اصطلاحاً زمان ماشه را برای محاسبه مواجهه واقعی کاربر بررسی نمود. جهت بررسی میانگین نتایج کل به دست آمده توسط هر کاربر برای هر ابزار بررسی اختلاف بین میانگین کل نتایج در هر ابزار توسط دو کاربر انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که نه در کل مقادیر و نه در نتایج هر ابزار، بین میانگین مقادیر دو کاربر اختلاف معنادار آماری وجود نداشت. بین نتایج دو کاربر در ابزار ۱ و ۲ به ترتیب مقادیر

مقادیر در کل نتایج هر دو چکش مربوط به قلم‌های تخت برای چکش‌های ۱ و ۲ به ترتیب برابر با ۲۳/۱۷ و ۲۱/۴۵ متر بر مجذور ثانیه بود. میانگین مقادیر کل نتایج برای دو شکل سر قلم تخت و تیز به ترتیب ۱۶/۵۹ و ۱۴/۸۲ متر بر مجذور ثانیه به دست آمد. در شکل ۴- الف نمودار جعبه و خط به تفکیک چکش‌ها هنگام استفاده از قلم‌های تخت و تیز نشان داده شده است. به‌طور کلی مقادیر میانگین قلم‌های با شکل تخت (F) بالاتر از قلم‌های با شکل تیز (P) بود. میانگین مقدار مجموع محورهای شتاب مؤثر هنگامی که کل نتایج با هم در نظر گرفته شد، دارای اختلاف معنادار آماری بودند ($P=0.024$). هنگامی که میانگین مقادیر دو شکل سر قلم در نتایج چکش ۲۸۳۰ به‌طور جداگانه بررسی شد اختلاف بین دو گروه شکل قلم $2/3 \text{ m/s}^2$ شد. در چکش ۲۴۸۵ مقادیر میانگین دو شکل قلم تخت و تیز به ترتیب $15/69 \text{ m/s}^2$ و $14/51$ بود که منجر به ایجاد اختلاف معنادار آماری بین دو گروه در این چکش نشد ($P=0.112$). اختلاف در میانگین نمونه‌های انجام‌شده با چکش NEC بر روی دال‌های بتنی ۱۵ و ۱۰ سانتی متر بین میانگین قلم‌های تخت و تیز به ترتیب $1/75$ و $1/25$ متر بر مجذور ثانیه بود که البته منجر به ایجاد اختلاف معنادار آماری ($P=0.24$) بین نتایج این دو گروه نشد. میانگین مقادیر برای هر گروه از شکل نوک قلم به تفکیک ضخامت دال‌های بتنی و چکش‌های تخریب در شکل ۴- ب نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل مذکور می‌توان فهمید، در تمامی میانگین‌ها نتایج مربوط به قلم‌های تیز از میانگین نتایج قلم‌های تخت کمتر است و به‌طور مشابه تمامی میانگین نتایج دال‌های بتنی با ضخامت ۱۵ نیز از ۱۰ سانتی متر بیشتر است.

بررسی نتایج مربوط به طول قلم‌های ۴۰ و ۶۰ سانتی متر نشان داد که میانگین مقادیر در هر دو چکش هنگامی که قلم با طول بلندتر استفاده شد، بالاتر بود. در این شرایط اختلاف بین دو طول قلم در چکش رونیکس نزدیک به 3 m/s^2 ($P=0.006$) و اختلاف برای مجموع نتایج هر دو چکش در طول قلم کمی بزرگ‌تر از m/s^2

بیشتر انجام شد مقادیر شتاب a_{wrms} بالاتری نیز در دسته ابزار منتشر شد.

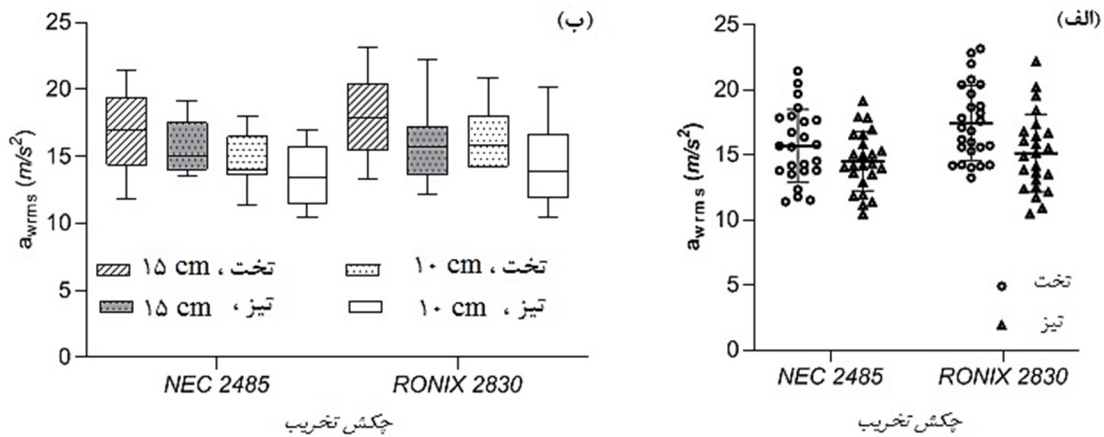
میانگین مقادیر چکش‌های ۱ و ۲ حین تخریب بتن با 15 cm ضخامت به ترتیب برابر با $16/10$ و $17/13$ متر بر مجذور ثانیه و هنگام تخریب دال‌های بتنی 10 cm به همان ترتیب برابر با $14/09$ و $15/28$ متر بر مجذور ثانیه بود. اختلاف بین میانگین کل نتایج هر دو چکش برای دو گروه ضخامت بتن مورد بررسی از نظر آماری معنادار بود ($P=0.006$). اختلاف بین میانگین نتایج دال‌های بتنی با ضخامت ۱۵ و ۱۰ سانتی متر در هر دو ابزار نزدیک 2 m/s^2 بود. میانگین نتایج در دو گروه ضخامت دال‌های بتنی در ابزار ۱ برابر با 0.5 و در ابزار ۲ برابر با 0.7 بود.

نتایج مربوط به دسته ابزارهای مورد استفاده

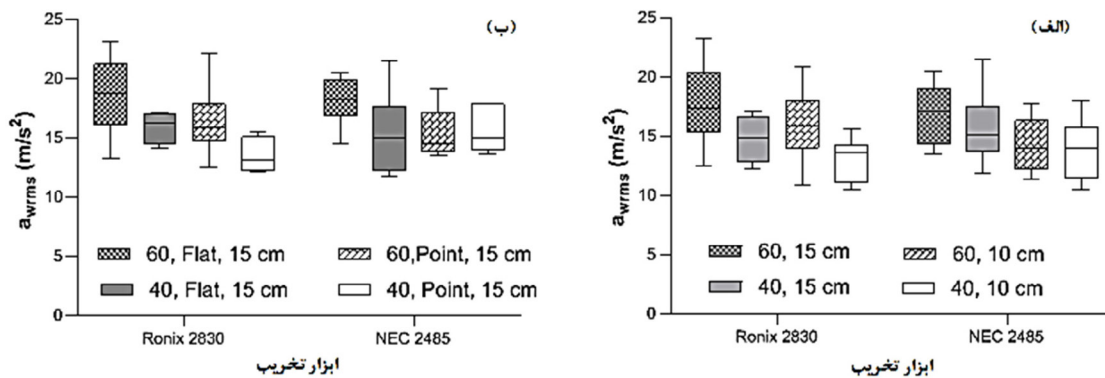
بررسی کل میانگین نتایج در دسته‌های چپ و راست ابزارها نشان داد که اختلاف دو دسته چکش ۲۴۸۵ NEC حدود 1 m/s^2 و برای دسته چپ و راست به ترتیب دارای مقادیر با $15/60$ و $14/60$ متر بر مجذور ثانیه بود. میانگین مقادیر دو دسته چکش ۲۸۳۰ RONIX حدود $16/30 \text{ m/s}^2$ و برای هر دو دسته تقریباً یکسان بود. پراکنش مقادیر به دست آمده به تفکیک ابزارها در شکل ۳- ب نشان داده شده است. اختلاف بین میانگین کل نتایج دو دسته چپ و راست حدود 0.5 m/s^2 و اختلاف بین میانگین‌ها از نظر آماری بین دو گروه دسته‌های چپ و راست در این ابزارها معنادار نبود ($P=0.29$) اختلاف میانگین دسته‌های چپ و راست حتی زمانی که صرفاً نتایج اندازه‌گیری دسته‌های ابزارها در دال‌های بتنی با یک ضخامت، چه به‌صورت جداگانه برای هر ابزار و چه برای کل نتایج یک ضخامت بتن بررسی شد معنادار نبود ($P=0.36$).

نتایج مربوط به تأثیر استفاده از قلم‌های مختلف

در این بخش نتایج مربوط به قلم‌ها در دو بخش شکل سر و طول قلم‌های مورد استفاده ارائه شده است. بالاترین



شکل ۴. مقادیر شتاب مؤثر (a_{wrms}) برای نمونه‌های انجام‌شده با قلم‌های تخت و تیز (الف) و دو شکل قلم در هر ضخامت بتن (ب) برای هر چکش



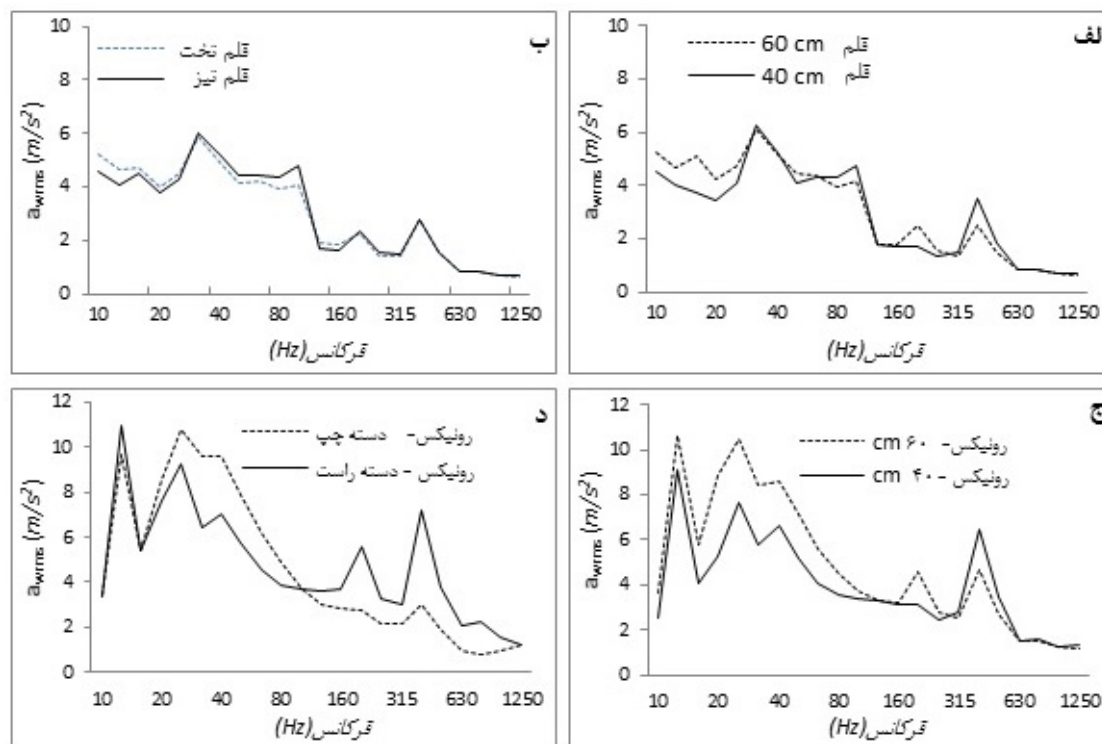
شکل ۵. مقادیر شتاب مؤثر (a_{wrms}) در قلم‌های ۴۰ و ۶۰ سانتی متری در دال‌های بتنی و ۱۰ سانتی متری در هر چکش (الف) و مقادیر شتاب مؤثر a_{wrms} برای هر دو طول قلم‌های تخت و تیز در دال‌های بتنی ۱۵ سانتی متر (ب)

الف نشان داده شده است. علاوه بر این نتایج تفکیک‌شده چکش‌ها برای قلم‌های تخت و تیز با دو طول مختلف در دال‌های بتنی ۱۵ cm در شکل ۵-ب ارائه شده است.

طیف فرکانسی منتشره چکش‌ها

بررسی میانگین کل نتایج طیف فرکانسی هر دو چکش نشان داد، بزرگی شتاب فرکانس‌های محدوده ۲۰۰-۱۰۰ Hz و پس‌از آن در فرکانس‌های بالاتر از ۴۰۰ هرتز در قلم کوتاه بالاتر بود. (شکل ۶-الف). این رویکرد در چکش رونیکس نیز به‌طور مشخص در محدوده ۵۰۰ - ۳۱۵ هرتز با وجود روند معکوس در سایر قسمت‌های

۲ s^۲ و برای قلم‌های ۶۰ و ۴۰ سانتی متری به ترتیب ۱۶/۳۶ و ۱۴/۳۸ متر بر مجذور ثانیه بود ($P=۰/۰۸$). در چکش NEC مقدار اختلاف بین دو گروه کمتر از ۱ m/s^۲ بود. مشابه با مجموع نتایج هر دو چکش، در چکش رونیکس نیز اختلاف ۲/۸-۳ m/s^۲ بین نتایج جداگانه در میانگین به دست آمده برای هر ضخامت دال‌های بتنی وجود داشت ($P=۰/۰۳۶$) اما در چکش NEC بالاترین اختلاف در دو گروه طول قلم در نتایج به دست آمده برای دال‌های بتنی ۱۵ cm برابر با ۱/۳ m/s^۲ رخ داد ($P=۰/۲۳$). میانگین نتایج هر دو گروه به تفکیک چکش‌ها و ضخامت‌های بتن مورد استفاده در شکل ۵-



شکل ۶. طیف فرکانسی ۱/۳ اکتاو در قلم‌های ۴۰ و ۶۰ سانتی متر (الف) قلم‌های تخت و تیز (ب) برای کل نتایج شتاب a_{wrms} هر دو چکش؛ طیف فرکانسی ۱/۳ اکتاو باند در قلم‌های ۴۰ و ۶۰ سانتی متر چکش رولیکس (ج) اختلاف در محتوای فرکانس‌های بالا و پایین دسته‌های چپ و راست چکش رولیکس (د)

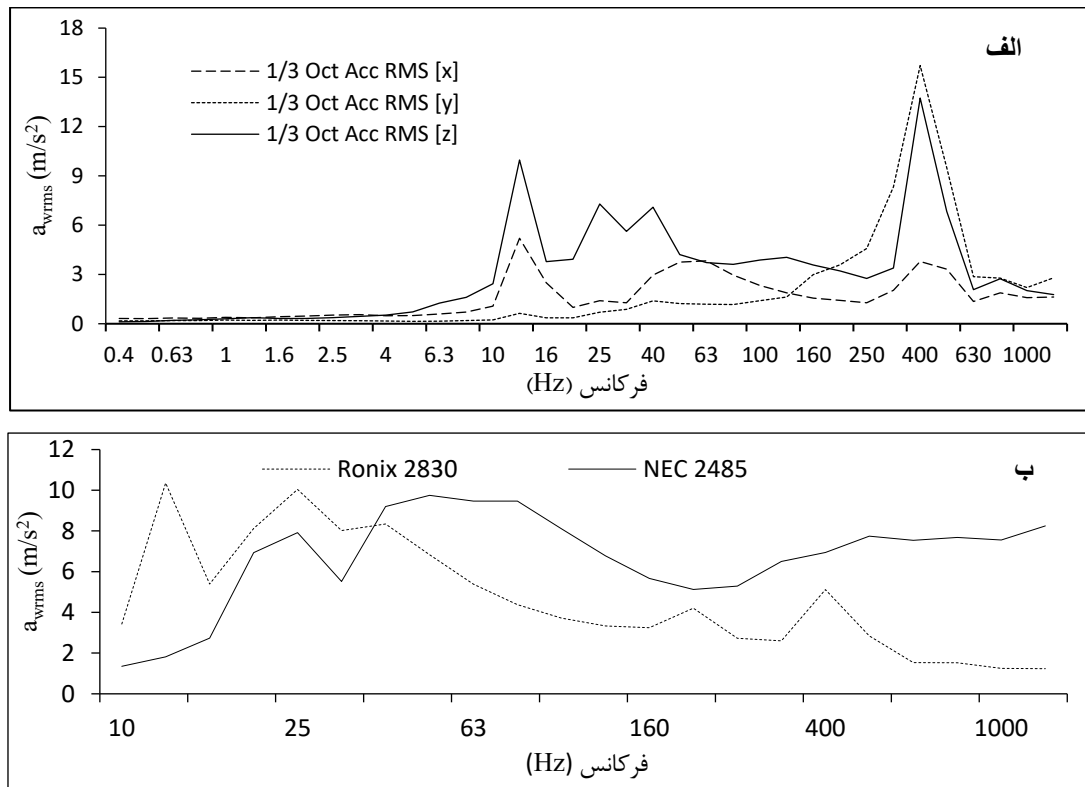
بود (شکل ۶-د).

به‌منظور مقایسه مقادیر فرکانس‌های وزن یافته محورهای شتاب در ۱/۳ اکتاو باند، یک نمونه از نمودارهای ترسیم فرکانسی در شکل ۷-الف مربوط به یکی از نمونه‌های اندازه‌گیری شده در چکش رولیکس با قلم تخت با طول ۶۰ cm بر روی یک دال بتونی با ضخامت ۱۵ cm نشان داده شده است. همان‌طور که از این نمودار مشخص است، بالاترین مقادیر فرکانسی در فرکانس‌های با وزن بیشتر شبکه توزین در محور Z و سپس در محور X در نمونه رخ داده است و به‌طور کلی بزرگی محور عمودی در فرکانس‌های با وزن بیشتر در شبکه توزین W_H بالاتر از دیگر محورهاست.

بالاترین میانگین مقادیر در محور غالب در چکش RONIX در فرکانس‌های (به‌عنوان نماینده محدوده باند ۱/۳ اکتاو مورد نظر) ۱۲ و ۲۵ هرتز به ترتیب برابر

طیف فرکانسی نیز مشاهده شد (شکل ۶-ج). میانگین نتایج هر دو چکش نشان داد که در محدوده فرکانسی ۱۲۵-۶۳ Hz بزرگی شتاب قلم‌های تیز حدود 0.5 m/s^2 بالاتر از قلم‌های تخت بود و در سایر قسمت‌های طیف اختلاف این دو گروه بسیار محدود بود (شکل ۶-ب).

اختلاف در مقادیر شتاب مؤثر دسته‌های چپ و راست ابزارها چه در میانگین هر دو چکش ($P=0.29$) و چه در میانگین هر چکش ($P=0.62$) برای چکش NEC و ($P>0.99$ برای چکش NEC) به‌صورت جداگانه معنادار نبود؛ با این‌وجود در بررسی طیف فرکانسی مربوط به دسته چکش رولیکس به‌طور کاملاً مشخص مقادیر دسته‌ها در قبل و بعد از ۱۰۰ Hz معکوس بود. اختلاف میانگین نتایج دسته‌های چپ و راست در فرکانس‌های ۴۰۰ و ۲۰۰ هرتز به ترتیب برابر با ۴/۲۶ و ۲/۸۴ متر بر مجذور ثانیه و در سایر فرکانس‌ها مقدار اختلاف حدود 1 m/s^2



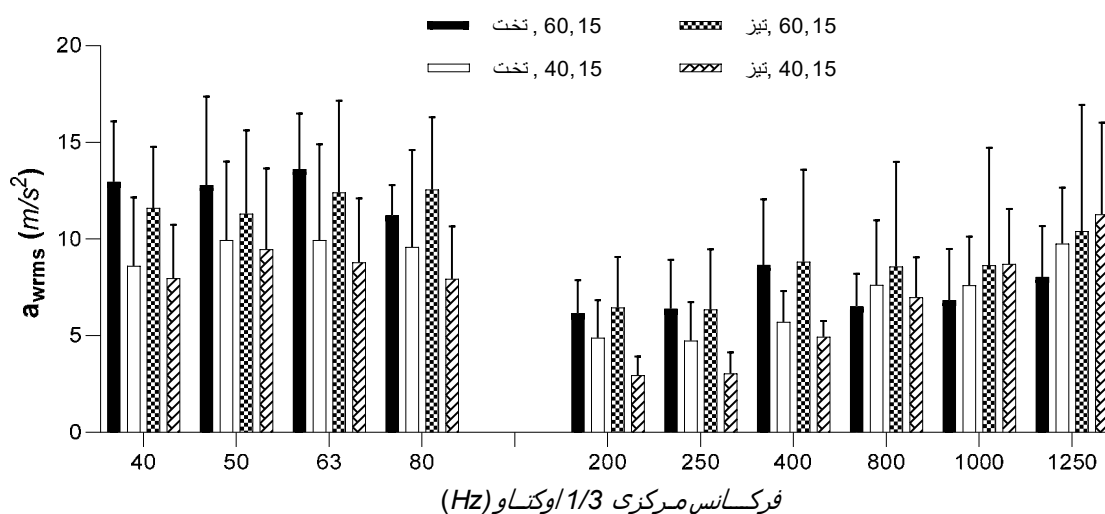
شکل ۷. آنالیز فرکانسی ۱/۳ اکتاوا باند به تفکیک محورهای ارتعاشی حین تخریب یک قطعه بتنی با ضخامت ۱۵ cm در دسته راست چکش رونیکس با قلم تخت و طول ۶۰ cm (الف) و میانگین مقادیر ۱/۳ اکتاوا باند در طیف فرکانسی w_{ri} هر چکش (ب)

غالب بودند و با دیگر فرکانس های مجاور بالاتر و کمتر از ۴۰۰ هرتز به طور معنادار اختلاف داشتند ($P=0/0001$). میانگین مقادیر طیف فرکانسی کل برای دو چکش در شکل ۷-ب نشان داده شده است.

بالاترین میانگین مقادیر فرکانس ها در دسته های چکش رونیکس نیز در همان فرکانس های ۲۵ و ۱۲ هرتز و سپس ۲۰، ۳۱ و ۴۰ هرتز بود. در دسته راست این چکش در محدوده کمتر از ۱۰۰ Hz دو فرکانس ۱۲ و ۲۵ با دیگر نماینده های فرکانس های مرکزی ۱/۳ اکتاوا دارای اختلاف معنادار آماری بودند و در فرکانس های بالاتر از ۱۰۰ Hz نیز همان فرکانس های ۴۰۰ و ۲۰۰ هرتز دارای اختلاف معنادار با دیگر فرکانس ها در همین محدوده بودند (برای هر دو فرکانس ۴۰۰ و ۲۰۰ $P=0/0001$)؛ با این وجود این روند در دسته سمت چپ این چکش در فرکانس های بالاتر از ۱۰۰

با ۱۰/۳۶ و ۱۰/۰۴ متر بر مجذور ثانیه مشاهده شد. در فرکانس های محدوده ۲۰ تا ۴۰ هرتز - غیر از ۲۵ هرتز که بالاتر از ۱۰ بود- نیز مقدار بزرگی شتاب وزن یافته ارتعاشی $8/34 - 8/02 m/s^2$ بود. در این محدوده فرکانسی (پایین تر از ۱۰۰ هرتز) هنگام به کارگیری قلم های تخت و تیز و طول قلم های مختلف نتایج مشابهی به همان صورت مشاهده شد. فرکانس چکش اعلام شده توسط سازنده نیز برابر با ۵۰ Hz در همین محدوده قرار داشت.

در فرکانس های بالاتر از ۱۰۰ هرتز، فرکانس Hz ۴۰۰ با بزرگی $5/12 m/s^2$ و پس از آن ۲۰۰ هرتز با بزرگی $4/2 m/s^2$ دو فرکانس غالب نسبت به فرکانس های مجاور خود بودند. در این محدوده فرکانسی نیز همین فرکانس های ۴۰۰ و ۲۰۰ هرتز هنگام به کارگیری قلم های تخت و تیز و قلم های با طول ۶۰ و ۴۰ سانتی متر



شکل ۸. میانگین مقادیر a_{wrms} برای قلم‌های بررسی‌شده در دال‌های بتنی ۱۵ سانتی متری و در فرکانس‌های برگزیده چکش NEC (در سایر فرکانس‌ها تفاوت جزئی بود و بنابراین از ارائه آن‌ها خودداری شد)

تا ۱۲۵۰ هرتز برابر با $6/82 \text{ m/s}^2$ بود که بیانگر محتوای فرکانسی تقسیم‌شده در این چکش برخلاف چکش رونیکس می‌باشد. در فرکانس‌های بالای شبکه توزین W_h ، بالاترین مقدار در ۱۲۵۰ هرتز و برابر با $8/25 \text{ m/s}^2$ بود. در نتایج مربوط به دسته راست چکش رونیکس، محتوای فرکانسی بزرگ‌تری خصوصاً در فرکانس‌های ۲۵ تا ۸۰ هرتز وجود داشت (حدود 1 m/s^2).

در محدوده فرکانسی پایین‌تر از ۱۰۰ هرتز میانگین مقادیر برای نتایج قلم‌های تخت و تیز نزدیک به هم و مشابه ($P=0/08$) بود. این مشابهت تقریباً در کل طیف فرکانسی شبکه توزین وجود داشت. مقایسه طیف فرکانسی دو طول قلم در چکش NEC نشان داد که غیر از فرکانس ۲۵ هرتز که بزرگی شتاب برای قلم کوتاه‌تر حدود 2 m/s^2 بزرگ‌تر بود، در سایر فرکانس‌ها همواره شتاب وزن یافته فرکانسی قلم‌های ۶۰ از قلم‌های ۴۰ سانتی‌متری بالاتر بود. اختلاف بین دو گروه در فرکانس‌های ۴۰، ۶۳ و ۸۰ هرتز از نظر آماری معنادار بود ($P=0/0001$). وضعیت مشابهی در مقایسه نتایج طیف فرکانسی دو گروه دال‌های بتنی ۱۵ و ۱۰ نیز در این چکش وجود داشت و اختلاف بین دو گروه ضخامت در فرکانس‌های ۴۰ و ۶۳ ($P=0/001$) و سپس در ۵۰ هرتز ($P=0/05$) معنادار و در ۸۰ Hz ($P=0/16$) از نظر آماری معنادار نبود.

هرتز مشاهده نشد و هیچ فرکانس غالبی در فرکانس‌های بالاتر از ۱۰۰ هرتز برای دسته چکش رونیکس وجود نداشت. به‌طور کلی با افزایش فرکانس در دسته چپ این چکش بعد از فرکانس ۵۰ Hz یک روند کاهش شتاب وزن یافته فرکانسی مشاهده شد.

در چکش NEC، شکل سیگنال طیف فرکانسی منتشره با چکش رونیکس متفاوت بود. در محدوده فرکانس‌های پایین ۵۰ تا ۶۳ هرتز و در درجه بعدی ۸۰ و ۴۰ هرتز مقادیر بزرگ‌تر و نزدیک به 10 m/s^2 داشتند. در محدوده فرکانسی بالا فرکانس‌های ۴۰۰، ۵۰۰ و ۱۲۵۰ هرتز دارای مقادیر غالب نسبت به دیگر فرکانس‌ها کمی بالاتر از 8 m/s^2 بودند.

چهار مقدار نسبتاً یکسان $9/47$ ، $9/47$ ، $9/75$ و $9/47$ متر بر مجذور ثانیه در چکش NEC به ترتیب مقادیر بزرگی مربوط به فرکانس‌های ۵۰، ۶۳، ۸۰ و ۴۰ هرتز بودند. در این محدوده فرکانسی، فرکانس‌های غالب در مجاورت هم قرار داشتند و در حقیقت فرکانس ۵۰ هرتز تصادم ابزار منجر به ایجاد این طیف شده است. در محدوده فرکانس‌های ۱۰۰ هرتز و بالاتر، بزرگ‌ترین مقدار در خود ۱۰۰ هرتز و سپس در ۳۱۵ تا ۱۲۵۰ هرتز اتفاق افتاد. میانگین مقادیر در فرکانس‌های ۱۰ تا ۱۰۰ هرتز برابر با $6/57 \text{ m/s}^2$ و در فرکانس‌های ۱۲۵

قرار گرفت. موضوع مشخصی که وجود دارد این است با هر نوع مکانیسم عملکردی، این دسته از ابزارهای مرتعش بالاترین سطح ارتعاش دسته را بین ابزارهای دستی ایجاد می‌کنند (۵، ۱۲، ۲۶) و بنابراین مدیریت کنترل و استراتژی انتخاب و استفاده از آن‌ها و ملزومات مرتبط با آن‌ها یک چالش در حوزه ارگونومی، بهداشت و ایمنی است که تلاش‌های بسیاری در این رابطه صورت گرفته است (۳۸-۴۰).

در هر حال باید توجه شود که در ارزیابی مواجهات ارتعاشی بایستی به فاکتورهای زیادی از قبیل عمر ابزار، عمر قلم، شکل و فرسودگی سر ابزار، پوسچر، روش کار و ابعاد آنتروپومتریکی اپراتور و ... توجه شود (۴، ۵، ۷، ۱۷، ۳۱، ۴۱).

به نظر می‌رسد که غالب بودن مقدار مواجهه با ارتعاش در یک جهت تا حد زیادی به نوع عملیات و ابزار مورد استفاده وابسته باشد (۲). در این مطالعه همسو با یافته‌های مطالعات گذشته، مقادیر محور عمودی (Z) در بیش از ۶۵ درصد نمونه‌های اندازه‌گیری شده بزرگ‌تر از سایر محورها بود؛ با این وجود مقادیر با بزرگی قابل توجه در تعداد زیادی از نمونه‌های محور افقی (X) نیز مشاهده شد (۱۳، ۱۵، ۳۷). این موضوع با توجه به قرارگیری شتاب سنج در دست اپراتورها حین تخریب قابل توجهی بوده و در حقیقت این مقادیر بالا در محور افقی را می‌توان به تغییر محور ورودی ارتعاش به شتاب سنج به علت تغییر زاویه دست اپراتور حین هدایت ابزار مربوط دانست که این موضوع در مطالعه دی سیلوا^۱ و ویجواردانا^۲ (۲۰۲۱) در کار با چکش تخریب در شرایط واقعی نیز مشاهده شده است. علاوه بر این تفاوت نتایج برای استفاده از روش اتصال شتاب سنج حین اندازه‌گیری ارتعاش در این گروه از ابزارها نیز که در مطالعه کلم^۳ و همکاران (۲۰۲۱) گزارش شده است همین موضوع را بیان می‌کند. در هر صورت مسیر محور عمودی معمولاً شتاب بالاتری را به دستان اپراتور منتقل می‌نماید و با توجه به روش

در مقایسه نتایج نمونه‌های انجام شده با چکش NEC با دو طول قلم ۴۰ و ۶۰ cm در دال‌های بتنی ۱۵ سانتی متری و دیگر فاکتورهای یکسان اختلاف بین نتایج بیشتر آشکار شد. در فرکانس‌های ۴۰-۸۰ Hz میانگین اختلاف به ترتیب برای قلم‌های تخت و تیز در دو گروه مذکور برابر با ۳/۱۳ و ۳/۴۲ متر بر مجذور ثانیه بود. بالاترین اختلاف در گروه قلم‌های تخت در ۴۰ Hz و در گروه قلم‌های تیز در ۸۰ Hz به ترتیب برابر با ۴/۳۵ و ۴/۶۲ متر بر مجذور ثانیه بود. مقدار اختلاف میانگین در همین حدود در فرکانس‌های بالاتر نیز وجود داشت. شکل ۸ میانگین نتایج برای دال‌های بتنی ۱۵ سانتی متری و برای ۲ طول قلم و ۲ شکل سر قلم بررسی شده در فرکانس‌های برگزیده در چکش NEC را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است در فرکانس‌های انتهایی طیف، روند بزرگی مقادیر برای شکل سر قلم‌ها و طول قلم‌ها معکوس شده است. همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، برای دال‌های بتنی ۱۵ cm اختلاف بین مقادیر در گروه‌های مختلف طول و شکل قلم ($P=0/0001$) و بین فرکانس‌های مختلف رونیکس نیز در گروه‌های مختلف طول و شکل قلم ($P=0/0002$) معنادار بود. اختلاف بین مقادیر در چکش رونیکس نیز در گروه‌های مختلف طول و شکل قلم ($P=0/0001$) برای هر ضخامت بتن و بین فرکانس‌های مختلف معنادار ($P=0/0008$) بود.

بحث

چکش تخریب به‌عنوان مهم‌ترین منبع مواجهه با ارتعاش دست-بازو در اپراتورهای صنایع ساخت و ساز در مهندسی عمران است (۲). لذا این مطالعه با هدف بررسی سطح ارتعاش دست-بازو منتقل از دسته چکش‌های تخریب سنگین دستی و وضعیت انتشار مقادیر شتاب منتقل در طیف فرکانسی مؤثر بر سیستم بیودینامیکی بدن انسان بر روی دو چکش تخریب سنگین پرکاربرد در ایران انجام گردید. ملزومات معمول مورد استفاده در این چکش‌ها و تأثیر استفاده از این ملزومات در تخریب دال‌های بتنی بر میزان ارتعاش دسته ابزارها مورد بررسی

1 De Silva
2 Wijewardana
3 Clemm

ارتعاش به دست کمک می‌کند؛ درحالی‌که در محیط آزمایشگاهی و زمانی که کار رو به پایین انجام نمی‌شود، بیشتر انتقال پذیری ارتعاش به جرم ظاهری کف دست محدود می‌شود (۲، ۴۴) که این موضوع دلیلی جهت اختلاف نتایج بین مطالعات در شرایط واقعی و کنترل شده می‌باشد.

مقدار میانگین کل برابر با $15/71 \text{ m/s}^2$ در این مطالعه را می‌توان با محدوده $21-6 \text{ m/s}^2$ گزارش شده توسط اوهل و همکاران برای ارزیابی دریل چکشی ۳۰-TE برند هیلتی حین سوراخ‌کاری سطوح بتونی با کیفیت $20/25$ C، میانگین $15/09 \text{ m/s}^2$ گزارش شده برای ۵ چکش تخریب الکتریکی و پنوماتیکی در شرایط واقعی، میانگین $12/78 \text{ m/s}^2$ مربوط به چکش‌های پنوماتیکی در محیط آزمایشگاهی، میانگین 19 m/s^2 در چکش‌های تخریب سنگین ۲۷ و ۴۰ کیلوگرمی در شرایط عملیاتی واقعی قابل‌مقایسه دانست. علاوه بر مطالعات مذکور، در مطالعه دیگری که دی سیلوا و ویجواردانا (۲۰۲۱) انجام داده‌اند، بدون استفاده از روش‌های حفاظتی، میانگین بزرگی مواجهه با ارتعاش دست-بازو ($a_{w rms}$) برای زمان ماشه در تخریب بتن با کیفیت C۲۵ توسط یک چکش الکتریکی برای محورهای X، Y و Z به ترتیب $15/2$ ، $23/3$ ، $18/1$ متر بر مجذور ثانیه بوده است. اختلاف در نتایج مطالعات مذکور با نتایج این مطالعه احتمالاً به دلیل ارائه نتایج برای زمان ماشه در مطالعه دی سیلوا و ویجواردانا (۲۰۲۱) و همچنین اختلاف کیفیت سطوح بتونی در مطالعات می‌باشد. مطالعه دی سیلوا و ویجواردانا (۲۰۲۱) در صنعت ساختمان و حین تخریب بتن انجام شده است (۲، ۴، ۷، ۴۲).

باوجوداینکه به طور کلی با افزایش وزن ابزارهای دستی معمولاً افزایش شتاب دسته ابزارها اتفاق می‌افتد اما در بین یک گروه از ابزارهای معین این رویه مبتنی بر وزن ابزار مشاهده نشده است (۲۶). در این مطالعه نیز درحالی‌که به‌طور نسبی مقدار کل میانگین در ابزار سنگین‌تر (رونیکس) در ارزیابی انجام شده در این مطالعه بالاتر بود اما اختلاف میانگین‌های بین دو چکش در

جمع محورها در بررسی نتایج مواجهه در ارزیابی مواجهه انسانی، جابه‌جایی بخشی از شتاب به محور دیگر مسئله مهمی ایجاد نموده و نهایتاً کل ارتعاش ورودی در هر سه محور با هم مطابق با روش توصیه‌شده ISO ۵۳۴۹ جمع می‌گردد؛ بنابراین باید توجه شود که مقادیر محورهای دیگر در ارزیابی مواجهه با این گروه از ابزارها و روش انجام تخریب در شرایط واقعی را نباید هیچ‌گاه نادیده گرفت؛ بااین‌وجود در مطالعاتی مانند مطالعه لیندنمن و همکاران (۲۰۲۱) صرفاً ارزیابی در محور عمودی انجام شده است و نتایج دیگر محورها ارائه نشده است که به نظر می‌رسد در شرایط غیر رباتیک و ثابت نمی‌تواند رویکرد صحیحی باشد مگر اینکه شتاب سنجر بر روی دسته ابزار نصب شده باشد (۴، ۸، ۴۲).

مقایسه نتایج به دست آمده با مطالعات مشابه در این دسته از ابزارهای برقی که به‌صورت رباتیک و در محیط‌های کنترل‌شده آزمایشگاهی انجام شده‌اند، نشان می‌دهد که مقادیر بزرگی برآورد شده در شرایط عملیاتی واقعی نسبت به مطالعات غیرعملیاتی بزرگ‌تر است. اثر این موضوع در مقایسه چکش‌ها در دو وضعیت رباتیک و انسانی نشان داده شده است که منجر به نتایج بزرگ‌تری در حدود 1 m/s^2 در مطالعه رمپل^۱ و همکاران (۲۰۱۷)، بیشتر از حدود ۴ تا ۱۱ متر بر مجذور ثانیه در مطالعه اوهل^۲ و همکاران (۲۰۱۹) برای انجام کار در شرایط واقعی توسط انسان نسبت به نتایج رباتیک شده است (۱۱، ۴۲). در روش‌های آزمایشگاهی مانند ISO ۶۸۸۲ و ISO ۲۸۹۲۷، روش انجام کار توصیه‌شده رو به پائین است ولی در شرایط واقعی مانند این مطالعه، زاویه تخریب معمولاً به‌صورت مایل است نه عمودی و مستقیم (۲۷، ۳۰، ۴۳)؛ بنابراین به نظر یافته‌های ارائه‌شده در مطالعات انجام‌شده در محیط‌های اجرایی واقعی همانند این مطالعه، قرابت بیشتری با مقادیر واقعی مواجهه کاربران دارند که در مطالعه انجام‌شده توسط دی سیلوا و ویجواردانا (۲۰۲۱) نیز این موضوع تأیید شده است. در روش کار رو به پایین با ابزارهای ارتعاشی دستی، جرم کل دست به انتقال

1 Remple
2 Uhl

سر ابزار مطالعه دیگری در جستجوهای اینترنتی ما یافت نشد (۴۷).

با توجه به تغییرات مشاهده شده بر روی طیف فرکانسی در اثر تغییر فاکتورهای مختلف ابزارها می توان گفت که این پارامترها بر فرکانس های منتشره در هر ابزار تأثیر گذار هستند. به سبب مشاهده بهتر این تغییرات لازم بود که نتایج نمونه های مشابه با هم مقایسه گردند تا بتوان تأثیرات را با اطمینان بیشتری برآورد کرد. نتایج به دست آمده در محدوده فرکانس های کمتر از ۱۰۰ هرتز از نتایج مطالعات گذشته حمایت می کند که بالاترین انرژی ارتعاشی در حدود ۵۰ هرتز مربوط به فرکانس تصادم چکش های تخریب سنگین به دست آمده است؛ به علاوه این روند در پیک های فرکانس های هارمونیک بالاتر نیز مشابه با این مطالعه مشاهده شده است (۷، ۱۵، ۱۶، ۴۷). با نگاهی گذرا به توزین فرکانسی ارائه شده در استانداردهای ارتعاش انسانی می توان اهمیت و ریسک بهداشتی بالاتر در فرکانس های تا ۶۳ هرتز را نسبت به فرکانس های بالاتر از آن به روشنی مشاهده نمود (۷، ۱۶، ۳۱).

بررسی میانگین کل نتایج طیف فرکانسی هر دو چکش نشان داد که برخلاف نتایج کلی به دست آمده بر اساس مقادیر شتاب کل اندازه گیری شده در قلم ۴۰ cm نسبت به قلم های ۶۰ cm، بزرگی شتاب فرکانس های محدوده ۲۰۰-۱۰۰ Hz و پس از آن در فرکانس های بالاتر از ۴۰۰ هرتز در قلم کوتاه بالاتر بود. (شکل ۶-الف). این رویکرد در چکش رونیکس به صورت مجزا نیز مشاهده شد و به طور مشخص در محدوده ۵۰۰-۳۱۵ هرتز با وجود روند معکوس در سایر قسمت های طیف فرکانسی مقادیر $a_{w rms}$ در میانگین نمونه های با طول ۴۰ cm از مقادیر قلم های ۶۰ بزرگ تر بود (شکل ۶-ج).

نکته قابل توجه دیگر در بررسی طیف فرکانسی در چکش رونیکس این بود که در نمونه هایی که با قلم های ۴۰ cm با این چکش انجام شدند در محدوده فرکانس های بالا مقادیر نماینده فرکانس باند ۴۰۰ هرتز تقویت و اعداد بزرگ تری را نشان داد در حالی که در قلم های ۶۰ cm

سطح ۰/۰۵ معنادار نبود ($P=0/11$). این روند عدم وجود ارتباط معنادار بین یک گروه از ابزارها و افزایش وزن آن ها در مطالعات ادوارد^۱ و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۷)، کمپبل^۲ و همکاران (۲۰۱۲)، جوهانسون^۳ و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان داده شده است (۴، ۱۲، ۱۵، ۲۷).

بررسی نتایج این مطالعه همسو با مطالعه کمپبل و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که با افزایش ضخامت سطح کار، مقادیر $a_{w rms}$ در هر ابزار افزایش یافت. این روند در میانگین کل و هر ابزار و حتی در سیگنال های طیف فرکانسی نیز وجود داشت ($P=0/0006$) (۱۵).

همانطور که اختلافی حدود 2 m/s^2 بین میانگین نتایج دو طول قلم در کل نتایج وجود داشت، برای میانگین نمونه های انجام شده با قلم های تخت در دال های بتنی ۱۵ cm در هر دو چکش نیز این مقدار اختلاف حفظ شد و به ترتیب برابر با $2/75$ و $2/15$ متر بر مجذور ثانیه بود. این مقدار اختلاف برای دو گروه طول قلم در نتایج قلم های تیز در همین ضخامت دال بتن برای چکش رونیکس برابر با $2/92 \text{ m/s}^2$ بود ($P=0/07$). مقایسه میانگین مقادیر این گروه ها در شکل ۵-ب ارائه شده است. در مطالعات گذشته که با هدف بررسی تأثیر تغییر ملزومات در ابزارها و حوزه های کاری مرتبط با این مطالعه انجام شده بود ریمل و همکاران (۲۰۰۶) و جاکوبیک^۴ و روکات^۵ (۲۰۱۵) نشان داده اند که انتشار ارتعاش با قطر مته برای مته های چکشی به طور قابل توجهی تغییر می کند. علاوه بر این حسین (۲۰۰۵) نشان داد که ارتعاش دسته در حالی که بهره وری (زمان حفاری) با فرسودگی ابزار کاهش می یابد، افزایش می یابد (۱۳، ۴۵، ۴۶). غیر از مطالعه آنتونوچی^۶ و همکاران (۲۰۱۷) که فرسودگی سر ابزارها را در مته های فلزکاری را بررسی نموده و افزایش شتاب ارتعاش دسته را با افزایش کارکرد و تغییر خوردگی سر مته گزارش نموده است، در ارتباط با طول و شکل

- 1 Edward
- 2 Campbell
- 3 Johanson
- 4 Jakubek
- 5 Rukat
- 6 Antonucci

نتایج به دست آمده از مطالعات انجام شده بر روی اثربخشی دستکش‌های کاهنده ارتعاش، کاهش محدودی را در میزان ارتعاش منتقله به دست کاربران نشان می‌دهد و معمولاً برای فرکانس‌های بالاتر از ۴۰۰ هرتز و مقدار کاهشی در حدود ۱۰ درصد گزارش شده است. در مقایسه مقادیر مذکور با میزان کاهش به دست آمده در این مطالعه با استفاده از شکل نوک و طول قلم‌های مورد استفاده و اختلافاتی در محتوای فرکانسی که در هر فاکتور حتی به بالاتر از 4 m/s^2 هم رسید، می‌توان اهمیت نتایج این مطالعه را به خوبی درک نمود. بنابراین به نظر می‌رسد که تجزیه و تحلیل بیشتر فاکتورهای مورد بررسی در این مطالعه در طراحی مطالعات آتی ضروری است (۳۲، ۴۸، ۴۹).

با توجه به محدودیت‌های مالی و تجهیزاتی در انجام این مطالعه ما صرفاً دو ابزار از دو برند متفاوت را با دو کاربر باتجربه - که طیف وسیعی از ویژگی‌های تشریحی را پوشش نمی‌دهند - در شرایط واقعی بررسی نمودیم؛ بنابراین توصیه می‌گردد که بررسی نتایج این مطالعه خصوصاً در ارتباط با طول و شکل قلم‌ها در چکش‌های با برندهای دیگر نیز صورت پذیرد تا در صورت مشابهت نتایج آن‌ها با نتیجه‌گیری‌های ناشی از نتایج این مطالعه بتوان این نتایج را در مدیریت و کنترل مواجهه با ارتعاشات در محیط‌های واقعی در این دسته از ابزارها یا ابزارهای مشابه به کار برد.

در نهایت با توجه به این واقعیت که استفاده از دستکش‌های کاهنده ارتعاش چه در کشور ما و چه در دنیا به دلایل مختلف چندان رایج نیست لذا نظارت دقیق و ارزیابی مواجهه کاربران با ارتعاش دست-بازو و تقویت قوانین ایمنی برای محافظت از کاربران در برابر اثرات بهداشتی و ایمنی مواجهه با ارتعاش در این گروه از ابزارها ضروری است.

نتیجه گیری

در صنایع ساخت و ساز و بسیاری از مشاغل خدمات شهری - عمدتاً به این دلیل که بدون ابزار ارتعاشی،

بزرگی شتاب در این فرکانس‌ها نسبتاً به میزان بیشتری بین فرکانس‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ هرتز تقسیم شده است. این افزایش نسبی در فرکانس ۴۰۰ هرتز و کاهش در بزرگی فرکانس ۲۰۰ هرتز در میانگین نتایج کل طول قلم‌ها برای این چکش در مقایسه دیگر گروه‌های مقایسه‌ای مشاهده نشد. اختلاف در مقایسه طول قلم‌ها در فرکانس‌های بالا و پایین در شکل ۶- ج نشان داده شده است. در محدوده فرکانسی کوچک‌تری شامل $63-125 \text{ Hz}$ ، نتایج قلم‌های تیز در حدود 0.5 m/s^2 بالاتر از قلم‌های تخت برای میانگین نتایج دو چکش بود و البته در سایر قسمت‌های طیف فرکانسی میزان اختلاف این دو گروه بسیار محدود بود (شکل ۶- ب). به طور مشابه بررسی تأثیر استفاده از انواعی از دستکش‌های کاهنده ارتعاش بر تغییرات فرکانسی در شرایط مختلف در مطالعه دی سیلوا و ویجوارانا (۲۰۲۱) نیز مشاهده شده است (۲).

با وجود اینکه اختلاف در مقادیر شتاب مؤثر دسته‌های چپ و راست ابزارها چه در میانگین هر دو چکش ($P=0.29$) و چه در میانگین هر چکش ($P=0.62$) برای چکش NEC و $P>0.99$ برای چکش NEC) به صورت جداگانه معنادار نبود. در بررسی طیف فرکانسی مربوط به دسته چکش رونیکس به طور کاملاً مشخص مقادیر دسته‌ها در قبل و بعد از 100 Hz معکوس بود. به گونه‌ای که در دسته چپ ابزار مقادیر بزرگ‌تر در فرکانس‌های پایین و در دسته راست ابزار مقادیر شتاب بزرگ‌تر در فرکانس‌های بالاتر وجود داشت. این مقدار اختلاف در فرکانس‌های ۴۰۰ و ۲۰۰ هرتز که فرکانس‌های هارمونیک این چکش بودند، برابر با $4/26$ و $2/84$ متر بر مجذور ثانیه و در دیگر فرکانس‌های مجاور حدود 1 m/s^2 بود (شکل ۶- د). اهمیت این تفاوت‌ها را سازندگان و طراحان با توجه به سختی کنترل در ارتعاشات غالب با محتوای فرکانسی پایین‌تر بیشتر درک می‌کنند. اختلاف در نتایج دو دسته چکش مورد بررسی در مطالعات دی سیلوا و ویجوارانا (۲۰۲۱) و جاکوبیک و رکات (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است (۲، ۱۳).

همواره مقادیر شتاب کمتری نسبت به قلم های تیز و با طول بلندتر ایجاد نمود. علاوه بر این مقادیر شتاب بالاتر در طیف فرکانسی کمتر از ۴۰ هرتز برای چکش رونیکس مزیت رقابتی ایمنی بالاتری برای چکش NEC ایجاد می نماید؛ بنابراین از بین پیکر بندی های بررسی شده در این مطالعه استفاده از قلم تیز و طول ۴۰ cm نسبت به سایر شرایط توصیه می گردد.

به طور کلی تأثیراتی تا بیش از 4 m/s^2 در استفاده از قلم های مختلف با طول و شکل سر متفاوت مشاهده شد که این مقدار می تواند یک رویکرد امیدوارانه برای انجام مطالعات آتی در این حوزه به منظور کاهش مواجهه اپراتوران چکش های تخریب و یا دیگر ابزارها ایجاد نماید.

تشکر و قدردانی

نتایج ارائه شده در این مطالعه حاصل بخشی از پایان نامه دکتری مصوب در دانشگاه علوم پزشکی تهران به شماره ۵۱۰۱۴ و شناسه کمیته اخلاق IR.TUMS.SpH.REC.۱۳۹۹.۲۷۲ می باشد. نویسندگان از همکاری شرکت آب و فاضلاب استان تهران و شرکت مهندسی حفران تأسیسات و مسئول ایمنی این شرکت آقای محمد عظیمی جهت همکاری در تأمین ابزارها و مشارکت کارکنان آن ها در انجام مطالعه تشکر می نمایند.

REFERENCES

- Vihlborg P, Bryngelsson L, Lindgren B, Gunnarsson LG, Graff P. Association between vibration exposure and hand-arm vibration symptoms in a Swedish mechanical industry. *Int J Ind Ergon*. 2017;62:77-81.
- De Silva GSW, TRST. Preliminary results of hand arm vibration (HAV) exposures of chipping hammer operators in tropical weather: Analysis of exposures and protective gloves. *Int J Ind Ergon*. 2021;86:103197.
- INSHT. Informe anual sobre daños a la salud en el trabajo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Spain. 2007.
- Johnson BO, Wilkistar Campbell-Kyureghyan, Naira.

فعالیت های شغلی موردنیاز یا انجام نمی شوند و یا سرعت انجام آن ها به شدت کاهش می یابد- مواجهه اپراتورها با ارتعاش دست-بازو هنگام کار با ابزارهای مرتعش اجتناب ناپذیر است. چکش تخریب که دارای موتور تکانشی داخلی است، ازجمله پر کاربردترین این ابزارها است. اپراتورهایی که در تخریب بتن با استفاده از چکش های تخریب کننده فعالیت می کنند، در معرض مواجهه با ارتعاش دست-بازو قرار دارند. لذا در ایران، در این مطالعه بررسی سطح ارتعاش منتقل به دسته چکش های تخریب سنگین و وضعیت انتشار مقادیر $a_{w\text{rms}}$ در طیف فرکانسی مؤثر بر سیستم بیودینامیکی بدن انسان در دو چکش تخریب سنگین پر کاربرد انجام گردید. ۲ طول قلم و دو شکل سر قلم پر کاربرد در محیط های واقعی با مشورت با کارکنان آن حوزه ها انتخاب و تأثیر استفاده از این ملزومات بر میزان ارتعاش دسته ابزارها هنگام تخریب ۲ ضخامت دال بتنی با استاندارد C ۲۰ توسط کاربران باتجربه موردبررسی قرار گرفت.

نتایج بررسی دو چکش موردبررسی در این مطالعه نشان داد که شتاب ارتعاشی کلی میانگین در چکش NEC نسبت به چکش RONIX نزدیک به 1 m/s^2 در میانگین نتایج مجموع محورها و بیش از 2 m/s^2 در محور غالب انتشار ارتعاش کمتر بود. به طور کلی میانگین نتایج گروه های مختلف در قلم های تخت و با طول کوتاه تر

- Influence of Jackhammer Weight on Grip Pressure, Muscle Activity, and Hand-Arm Vibration of the Operator. *IIESE Trans Occup Ergon Hum Factors*. 2017;5(1):12-22.
- López-Alonso M, Pacheco-Torres R, Martínez-Aires MD, Ordoñez-García J. Comparative analysis of exposure limit values of vibrating hand-held tools. *Int J Ind Ergon*. 2013;43(3):218-24.
- Barakat S, Moradi B. Investigating the effect of sport and using anti-vibration gloves on the grip strength of workers exposed to the hand-arm vibration. *JHSW. Journal of Health and Safety at Work*. 2021;11(3):445-57.
- Dong R, McDowell T, Welcome D, Warren C, Schopper A.

- An evaluation of the standardized chipping hammer test specified in ISO 8662-2. *Ann Occup Hyg.* 2004;48(1):39-49.
8. Lindenmann A, Uhl M, Gwosch T, Matthiesen S. The influence of human interaction on the vibration of hand-held human-machine systems-The effect of body posture, feed force, and gripping forces on the vibration of hammer drills. *Appl Ergon.* 2021;95:103430.
 9. Matthiesen S, Mangold S, Bruchmueller T. The influence of varying passive user interactions on power tools in the context of product development. *Forsch Ingenieurwes.* 2018;82(2):157-68.
 10. O'Boyle MJ, Griffin MJ. Transmissibility and Dynamic Stiffness of Glove Materials and the Apparent Mass of the Hand. 10th Int Conf on Hand-Arm Vibration; Las Vegas 2006.
 11. Rempel D, Barr A, Antonucci A. A new test bench system for hammer drills: Validation for handle vibration. *Int J Ind Ergon.* 2017;62:17-20.
 12. Edwards DJH, Gary D. Construction hand tools: vibration emissions from alternative inserts. *Building Research & Information (BRI).* 2007;35(3):329-42.
 13. Jakubek B, Rukat W. Influence of a tool's working diameter on the level of handle vibrations of an impact drill. *Vibro engineering Procedia.* 2015;6:288-91.
 14. Mansfield NJ. Variation in the vibration emission of rotary hammer drills under simulated work-site conditions. *Proceedings Of The First American Conference On Human Vibration;* 2006.
 15. Campbell-Kyureghyan NS, Gurjeet Otieno, Wilkistar Cooper, Karen. Impact of lightweight and conventional jackhammers on the operator. *Work.* 2012;41(Supplement 1):4180-4.
 16. Rempel D, Antonucci A, Barr A, Cooper MR, Martin B, Neitzel RL. Pneumatic rock drill vs. electric rotary hammer drill: Productivity, vibration, dust, and noise when drilling into concrete. *Appl Ergon.* 2019;74:31-6.
 17. Aldien Y, Marcotte P, Rakheja S, Boileau P-E. Influence of hand-arm posture on biodynamic response of the human hand-arm exposed to zh-axis vibration. *Int J Ind Ergon.* 2006;36(1):45-59.
 18. Griffin MJ, Bovenzi M. The diagnosis of disorders caused by hand transmitted vibration: Southampton Workshop 2000. *Int Arch Occup Environ Health.* 2002;75 (1-2):1-5.
 19. Harada N. Cold-stress tests involving finger-skin temperature measurement for evaluation of vascular disorders in hand-arm vibration syndrome: review of the literature. *Int Arch Occup Environ Health.* 2002;75:14-9.
 20. Mirzaei R BH, Beheshti MH, Fani MJ, Azrah K. Assessment of workers' exposure to hand-arm and whole body vibration in one of the furniture industries in east of Tehran. *Iran J Health Saf Environ.* 2015;2(1):196-203.
 21. Laskar MS, Harada, N. Different conditions of cold water immersion test for diagnosing hand-arm vibration syndrome. *Environ Health Prev Med.* 2005;10:351-9.
 22. Rui F, D'Agostin F, Negro C, Bovezi M. A prospective cohort study of manipulative dexterity in vibration-exposed workers. *Int Arch Occup Environ Health.* 2008;81:545-51.
 23. LeMasters G, Bhattacharya, A., Borton, E., & Mayfield, L. Functional impairment and quality of life in retired workers of the construction trades. *Exp Aging Res.* 2006; 32 (2):227-42.
 24. Futatsuka M, Shono M, Sakakibara H, Quan PQ. Hand arm vibration syndrome among quarry workers in Vietnam. *J Occup Health.* 2005;47(2):165-70.
 25. Su TA, Hoe VCW, Masilamani R, Mahmud ABA. Hand-arm vibration syndrome among a group of construction workers in Malaysia. *Occup Environ Med.* 2011;68(1):58-63.
 26. Coggins MA, van Lente E, Mccallig M, Paddan G, Moore K. Evaluation of hand-arm and whole-body vibrations in construction and property management. *Ann Occup Hyg.* 2010;54(8):904-14.
 27. Edwards DJH, Gary D. Hand-arm vibration exposure from construction tools: results of a field study. *Constr Manag Econ.* 2006;24(2):209-17.
 28. Benevides P. Best SDS Rotary Hammer Drill – Head to Head Testing. 2014. Available at: www.toolboxbuzz.com. Accessed 14 January 2022.
 29. Corded demolition hammers & breakers. Hilti Co. Available at https://www.hilti.com/c/cls_power_tools_7124/cls_demolition_hammer_breaker_sub_7124#editorial. Accessed 14 January 2022.
 30. International Organization for Standardization. ISO 8662-2, Hand-held portable power tools — Measurement of vibrations at the handle -Part 2: Chipping hammers and riveting hammers. 1992.
 31. International Organization for Standardization. ISO 5349-

- 1: Mechanical vibration—measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration-part 1: general requirements. Geneva, Switzerland. 2001.
32. Welcome DE, Dong RG, Xu XS, Warren C, McDowell TW. The effects of vibration-reducing gloves on finger vibration. *Int J Ind Ergon*. 2014;44(1):45-59.
 33. International Organization for Standardization. ISO 206-1, Concrete, Part 1: Specification, performance, production and conformity. 2000.
 34. International Organization for Standardization. ISO 679: Cement—Test Methods—Determination of Strength. ISO: Geneva, Switzerland. 2009.
 35. German Institute for Standardization. DIN 33402-2:2005-12, 2005. Ergonomics-Human Body Dimensions, vol. 12. Part 2: Values.
 36. International Organization for Standardization. ISO 5349-2: Mechanical Vibration—Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration—Part 2: Practical Guidance for Measurement at the Workplace. ISO, Geneva 2001.
 37. Clemm T, Nordby K-C, Lunde L-K, Ulvestad B, Bråtveit M. Hand-Arm Vibration Exposure in Rock Drill Workers: A Comparison between Measurements with Hand-Attached and Tool-Attached Accelerometers. *Ann Work Expo Health*. 2021;65(9):1123-32.
 38. Vergara M, Sancho J-L, Rodríguez P, Pérez-González A. Hand-transmitted vibration in power tools: Accomplishment of standards and users' perception. *Int J Ind Ergon*. 2008;38(9-10):652-60.
 39. Jing XZ, Linli Feng, XiaoSun, Bo Li, Quankun. A novel bio-inspired anti-vibration structure for operating hand-held jackhammers. *Mech Syst Signal Process*. 2019;118:317-39.
 40. Tan WL, EA Ong, KS. Analysis of Vibration Level for Power Tool Using Neural Network. *Int J Automot Eng*. 2019;16:7121-32.
 41. Hewitt SM, Hand-transmitted vibration exposure in shipbuilding and ship repair. Informal Group Meeting on Human Response to Vibration; 1996; Silsoe, Bedford: United Kingdom.
 42. Uhl M, Bruchmüller T, Matthiesen S. Experimental analysis of user forces by test bench and manual hammer drill experiments with regard to vibrations and productivity. *Int J Ind Ergon*. 2019;72:398-407.
 43. International Organization for Standardization. ISO 28927-10, hand-held portable power tools: test methods for evaluation of vibration emission—part 10: percussive drills, hammers and breakers. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization. 2011.
 44. Rezali KAM, Griffin, M.J. Transmission of vibration through gloves: effects of material thickness. *Ergonomics*. 2016;59(8):11.
 45. Hussain W. Construction Industry Initiative to reduce HAVS health risk. In The 40th UK Group Meeting on Human Response to Vibration. 2005.
 46. Rimell AN, Notini L, Mansfield NJ, Edwards DJ. Variation between manufacturers' declared vibration emission values and those measured under simulated workplace conditions for a range of hand-held power tools typically found in the construction industry. *Int J Ind Ergon*. 2008;38(9-10):661-75.
 47. Antonucci A, Barr A, Martin B, Rempel D. Effect of bit wear on hammer drill handle vibration and productivity. *J Occup Environ Hyg*. 2017;14(8):640-9.
 48. Hamouda K, Rakheja S, Marcotte P, Dewangan K. Fingers vibration transmission performance of vibration reducing gloves. *Int J Ind Ergon*. 2017;62:55-69.
 49. Hewitt SD, Ren G Welcome, Daniel E McDowell, Thomas W. Anti-vibration gloves? *Ann Occup Hyg*. 2015;59(2): 127-41.