

ORIGINAL RESEARCH PAPER

## A Field Study of the Effect of Noise and Whole-Body Vibration Exposure on Heavy Equipment Drivers' Auditory System Function

Seyyed Mohammad Javad Golhosseini<sup>1</sup>, Mohsen Aliabadi<sup>2\*</sup>, Rostam Golmohammadi<sup>3</sup>, Maryam Farhadian<sup>4</sup>, Mehdi Akbari<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Department of Occupational Health, School of Health, Guilan University of Medical Sciences, Rasht, Iran

<sup>2</sup>Center of Excellence for Occupational Health, School of Public Health and Occupational Health and Safety Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

<sup>3</sup>Center of Excellence for Occupational Health, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

<sup>4</sup>Department of Biostatistics, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

<sup>5</sup>Department of Audiology, School of Rehabilitation, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 11-8-2024

Accepted: 4-12-2024

### ABSTRACT

**Introduction:** Despite the numerous studies on occupational noise-induced hearing loss, there is limited documentation on the vibration effects on the workers' auditory system. Heavy equipment drivers are exposed to high levels of whole-body vibration (WBV) and noise. Therefore, this study aims to investigate the heavy equipment drivers' auditory response to WBV exposure and combined exposure to noise and WBV.

**Material and Methods:** 30 male heavy equipment drivers with an average age of  $32.40 \pm 4.91$  years participated in this study, which was designed based on the repeated measurements model. During 3 defined scenarios of exposure to WBV, combined exposure to noise and WBV, as well as the scenario without exposure, the drivers' auditory response was measured using distortion product otoacoustic emissions (DPOAE). Statistical analyses were performed by IBM SPSS-25 software.

**Results:** The range of heavy equipment in-cabin noise was 84-89 dB. Also, the most exposure of drivers to WBV was obtained in the Z axis with an average acceleration of  $1.29 \text{ m/s}^2$ . The DPOAE amplitude of the drivers in all three investigated scenarios showed significant changes ( $P < 0.05$ ); But in comparison between different scenarios, exposure to WBV and combined exposure to noise and WBV had a significant effect on the response of the auditory system of the participants in the study compared to the scenario without exposure ( $P < 0.05$ ). Also, there was a significant difference in the changes of the DPOAE amplitude in different frequencies; Thus, the most changes in the DPOAE amplitude were observed in the frequencies of around 4000 Hz.

**Conclusion:** The results of this study showed the damaging consequences of exposure to noise and WBV on the auditory response; In addition, the present study provided evidence of synergistic effects of combined exposure to noise and WBV on heavy equipment drivers.

**Keywords:** Whole-body vibration (WBV), Noise, Heavy equipment drivers, DPOAE

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Golhosseini SMJ, Aliabadi M, Golmohammadi R, Farhadian M, Akbari M. A Field Study of the Effect of Noise and Whole-Body Vibration Exposure on Heavy Equipment Drivers' Auditory System Function. *J Health Saf Work.* 2024; 14(4): 692-715.

\* Corresponding Author Email: [mohsen.aliabadi@umsha.ac.ir](mailto:mohsen.aliabadi@umsha.ac.ir)

Copyright © 2024 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

There are numerous studies supporting the adverse effects of occupational noise and whole-body vibration (WBV) exposure on workers' health and safety. Noise-induced hearing loss (NIHL) is the most serious and prevalent auditory effect of occupational noise exposure. Although a lot of research have confirmed hearing loss resulting from noise exposure, the literature remains scarce concerning the effects of vibration on workers' hearing ability. Some studies, including human studies and experimental animal models, have shown that WBV can have adverse effects on the auditory system function; however, the mechanisms of these effects are not well understood and are still ambiguous.

Drivers of heavy equipment vehicles (such as bulldozers, excavators, loaders, and graders) are exposed to high levels of noise and WBV. Referring to existing literature, heavy equipment drivers are usually exposed to noise levels of 84-99 dB(A) and WBV levels of 0.38-1.47m/s<sup>2</sup>. However, according to the Iranian occupational exposure limit (OEL), the acceptable daily exposure to noise and WBV is 85dB(A) and 0.87m/s<sup>2</sup>, respectively. Consequently, heavy equipment drivers are endangered by the risk of NIHL.

Furthermore, it is essential to use proper tactics for detecting cochlear damage sooner in a preclinical phase. Distortion product otoacoustic emissions (DPOAE) can be a desirable test to assess cochlear function. If the cochlear outer hair cells (OHCs) are impaired for various reasons, such as loud noise exposure, it can lead to a decrease in the DPOAE amplitude. Therefore, this study proposed to investigate the single and combined effects of exposure to noise and WBV on heavy equipment drivers hearing functions using DPOAE as a quick, objective, and frequency-specific assessment tool. It is anticipated that the results will help enhance understanding in health surveillance programs and safety concerns for heavy equipment drivers.

## 2. MATERIAL AND METHODS

### *Participants*

Thirty male drivers of heavy equipment in open-pit mining, with an average age of 32.40±4.91 years and a body mass index (BMI) of 26.91±2.68, participated in this study. The inclusion criteria for participating drivers included hearing thresholds less than 25 dB at frequencies of 500 to 8000 Hz and the detectable DPOAE amplitude, no history of

auditory system diseases, acoustic trauma, auditory system surgery, no exposure to ototoxic chemicals, and no addiction to drugs, tobacco, or alcohol.

### *Apparatus*

The hearing threshold of volunteer heavy equipment drivers participating in the study was determined by a calibrated pure-tone audiometry device (AC 40, Madsen, Denmark). Additionally, the DPOAE amplitude was examined using a DPOAE-analyzer device (Neuro-Audio-Russia) at frequencies of 988, 1481, 2222, 2963, 4444, 5700, and 8000 Hz. To measure the drivers' noise exposure, a calibrated noise dosimeter SV104 and a calibrated sound level meter SV971 (SVANTEK, Poland) were used. The acceleration of drivers' exposure to WBV was also measured using an SV-106A vibration meter (SVANTEK, Poland). Furthermore, the hearing protection device (SNR = 32dB) was used by heavy equipment drivers in WBV exposure scenario.

### *Experimental design*

The present study was conducted using a repeated measurements model where the participants' hearing response was measured by DPOAE amplitude in three different exposure scenarios, including:

1- Single exposure to WBV: To eliminate the effect of noise on the auditory system of heavy equipment drivers, they were asked to use hearing protection devices (earplug) during all activities in the vehicle cabin.

2- Combined exposure to noise and WBV: Heavy equipment drivers were engaged in mining activities without using hearing protection devices.

3- No-exposure: The natural changes in DPOAE amplitude were evaluated among heavy equipment drivers without any exposure to noise or WBV during a day off (holiday).

### *Procedure*

This study was approved by the Ethics Committee of Hamadan University of Medical Sciences (ethics code: IR. UMSHA. REC. 1398.108). During the study implementation, participants' ear canals were examined using an otoscope before each scenario to ensure they were clear of any foreign or obstructive materials. The DPOAE test was performed on both ears at the specified frequencies, and the recorded results were set as the drivers' hearing response before the exposure.

Then, the drivers carried out their daily activities in two scenarios: WBV exposure and combined exposure to noise and WBV. To investigate the drivers' hearing response after exposure to noise and/or WBV, another DPOAE test was conducted at the end of their work activities. Also, the drivers were asked to be visited in the audiology clinic for DPOAE amplitude measurement two times (in morning and afternoon) according to the mine working hours in holidays. This scenario (No-exposure) was run to control the natural changes in DPOAE amplitude of heavy equipment drivers.

#### Statistical analysis

Due to the variability of the DPOAE amplitude in different scenarios, the mean differences of DPOAE amplitudes were utilized for statistical analysis. In this study, a paired sample t-test was conducted to investigate the effects of the exposure in each scenario. Furthermore, a repeated measures ANOVA was employed to compare the exposure scenarios. A significance level of 0.05 was considered to be statistically significant, and the study data were analyzed using IBM SPSS-25 statistical software.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Based on the field measurements, the measured noise level was obtained within the range of 83-89 dB inside the heavy equipment cabin. Additionally, heavy equipment drivers experienced the most exposure to WBV with an acceleration of 1.29 m/

s<sup>2</sup> in Z direction.

Table 1 illustrates the mean differences in DPOAE amplitudes in both ears of participating drivers at frequencies of 988, 1481, 2222, 2963, 4444, 5700, and 8000 Hz in three study scenarios.

The DPOAE amplitude changes in all scenarios showed a significant difference before and after measurement in both ears, indicating a decrease in DPOAE amplitude ( $P < 0.05$ ).

As shown in Table 2, significant differences were found in DPOAE amplitude changes at different frequencies in two exposure scenarios ( $P < 0.05$ ) while the changes in the no-exposure scenario showed no significant difference ( $P > 0.05$ ), demonstrating a significant effect of exposure to noise and WBV on DPOAE amplitude at different frequencies.

Due to the significant difference in the DPOAE amplitude at different frequencies, Tukey's post hoc test was used to compare the means between groups. The results of this test showed a significant reduction in DPOAE amplitudes at frequencies of 4444 and 5700 Hz in the WBV exposure scenario as well as a significant reduction in DPOAE amplitude at frequencies of 2963, 4444, and 5700 Hz in the combined exposure to noise and WBV scenario. In this scenario, the 4444 Hz frequency showed a greater reduction in DPOAE amplitude compared to other frequencies. Figure 1 depicts the changing trend of DPOAE amplitude at different frequencies. As shown in Figure 1, the greatest changes in DPOAE amplitude occurred in the scenario of

**Table 1:** The mean differences of DPOAE amplitudes (dB) in three exposure scenarios

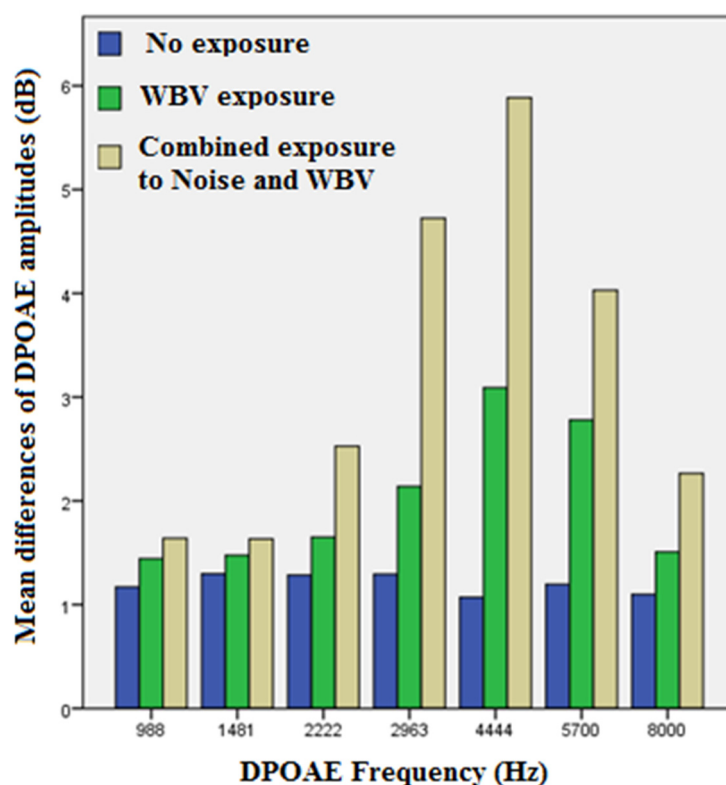
DPOAE Frequency (Hz)	Ear	Exposure scenarios		
		No exposure	WBV exposure	Combined exposure to Noise and WBV
		Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
988	Right	1.21 ± 0.69	1.47 ± 1.09	1.53 ± 0.68
	Left	1.17 ± 0.41	1.44 ± 0.99	1.64 ± 1.30
1481	Right	1.26 ± 0.86	1.49 ± 0.86	1.75 ± 0.99
	Left	1.30 ± 0.54	1.48 ± 0.83	1.64 ± 0.95
2222	Right	1.25 ± 0.65	1.60 ± 0.87	2.23 ± 1.01
	Left	1.29 ± 0.41	1.65 ± 1.03	2.53 ± 1.44
2963	Right	1.27 ± 0.52	2.10 ± 1.00	4.63 ± 1.53
	Left	1.29 ± 0.87	2.14 ± 1.29	4.72 ± 1.53
4444	Right	1.11 ± 0.74	2.98 ± 1.62	5.72 ± 1.90
	Left	1.07 ± 1.19	3.09 ± 1.87	5.89 ± 2.40
5700	Right	1.24 ± 0.68	2.71 ± 1.26	4.18 ± 1.61
	Left	1.20 ± 0.84	2.78 ± 1.61	4.03 ± 1.24
8000	Right	0.91 ± 0.80	1.40 ± 1.42	2.19 ± 1.51
	Left	1.10 ± 0.64	1.51 ± 1.87	2.26 ± 1.28

Note: WBV (whole-body vibration).

**Table 2:** The significant levels for DPOAE amplitude changes in different frequencies in three exposure scenarios

Exposure scenarios	Ear	F	P-Value
No exposure	Right	1.01	0.422
	Left	0.48	0.821
WBV exposure	Right	8.89	<0.001*
	Left	6.95	<0.001*
Combined exposure to Noise and WBV	Right	42.72	<0.001*
	Left	36.15	<0.001*

Note: WBV (whole-body vibration).



**Fig. 1:** The mean differences of DPOAE amplitudes (dB) trend in three exposure scenarios in different frequencies  
Note: WBV (whole-body vibration).

combined exposure to noise and WBV at the 4444 Hz frequency and its neighboring frequencies while lower frequencies showed the least amount of DPOAE amplitude reduction.

Because there was a statistically significant difference in DPOAE amplitudes in different exposure scenarios, pairwise comparisons were used to compare the means between groups at frequencies of 2222, 2963, 4444, 5700, and 8000 Hz. Table 3 shows the results of pairwise comparisons for both right and left ears. According to the results in Table 3, combined exposure to noise and WBV showed a significant difference with other scenarios

at the frequency of 2222 Hz. The same results were obtained at the frequency of 8000 Hz. Also, there was no significant difference between exposure to WBV and combined exposure to noise and WBV ( $P > 0.05$ ). In other frequencies, a significant difference was observed among the three scenarios, illustrating that combined exposure to noise and WBV showed the highest level of DPOAE amplitude changes while no-exposure scenario demonstrated the least amount of the changes.

Exposure to loud noise can alter the physical condition of auditory hair cells, specifically OHCs. Changes in DPOAE amplitude happen because

Table 3: Pairwise comparisons of three exposure scenarios on DPOAE amplitudes

DPOAE Frequency (Hz)	Ear	Exposure scenarios	Pairwise comparisons (P-Value)		
			No exposure	WBV exposure	Combined exposure to Noise and WBV
2222	Right	No exposure	-	0.064	<0.001*
		WBV exposure	0.064	-	0.007*
		Combined	<0.001*	0.007*	-
	Left	No exposure	-	0.071	<0.001*
		WBV exposure	0.071	-	0.02*
		Combined exposure	<0.001*	0.02*	-
2963	Right	No exposure	-	0.001*	<0.001*
		WBV exposure	0.001*	-	<0.001*
		Combined exposure	<0.001*	<0.001*	-
	Left	No exposure	-	0.005*	<0.001*
		WBV exposure	0.005*	-	<0.001*
		Combined exposure	<0.001*	<0.001*	-
4444	Right	No exposure	-	<0.001*	<0.001*
		WBV exposure	<0.001*	-	<0.001*
		Combined exposure	<0.001*	<0.001*	-
	Left	No exposure	-	<0.001*	<0.001*
		WBV exposure	<0.001*	-	<0.001*
		Combined exposure	<0.001*	<0.001*	-
5700	Right	No exposure	-	<0.001*	<0.001*
		WBV exposure	<0.001*	-	<0.001*
		Combined exposure	<0.001*	<0.001*	-
	Left	No exposure	-	<0.001*	<0.001*
		WBV exposure	<0.001*	-	0.006*
		Combined exposure	<0.001*	0.006*	-
8000	Right	No exposure	-	0.06	<0.001*
		WBV exposure	0.06	-	0.064
		Combined exposure	<0.001*	0.064	-
	Left	No exposure	-	0.161	<0.001*
		WBV exposure	0.161	-	0.065
		Combined exposure	<0.001*	0.065	-

Note: \* indicates statistically significant, WBV (whole-body vibration).

noise exposure affects the biomechanical activities of OHCs, causing functional cell disorders.

One crucial finding in the present study was a significant reduction in DPOAE amplitude in WBV exposure. In a similar vein, Studies conducted by Akada, Olszewska, and Picot revealed that hearing impairment could be influenced by WBV exposure. It seems that exposure to WBV as a stressor can stimulate the sympathetic system and affect the auditory system similar to the mechanisms involved in high noise exposure. In contrast, studies conducted by Seidel, Yukiya, and Menin did not agree with our results. The discrepancies in findings across various studies can largely be attributed to different methodologies, particularly exposure duration and intensity of stimulation that can notably play crucial roles.

#### 4. CONCLUSIONS

The results of this study confirm the harmful effects of noise exposure on hearing ability. Moreover, the findings provided evidence for the adverse effects of WBV exposure on heavy equipment drivers auditory system.

Furthermore, this research validates the effectiveness of DPOAE test as an appropriate method for evaluating hearing health along with other standard auditory monitoring methods.

#### 5. ACKNOWLEDGMENTS

This study was financially supported by Research Deputy of Hamadan University of Medical Sciences (Grant number: 9802241621). We would like to appreciate the heavy equipment drivers for their participation in this project.

## مطالعه میدانی تأثیر صدا و ارتعاش تمام بدن بر عملکرد سیستم شنوایی رانندگان ماشین آلات سنگین

سیدمحمدجواد گل حسینی<sup>۱</sup>، محسن علی آبادی<sup>۲\*</sup>، رستم گلمحمدی<sup>۳</sup>، مریم فرهادیان<sup>۴</sup>، مهدی اکبری<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران  
<sup>۲</sup>گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران  
<sup>۳</sup>گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران  
<sup>۴</sup>گروه آمار زیستی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران  
<sup>۵</sup>گروه شنوایی شناسی، مرکز تحقیقات توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۱۴

### چکیده

**مقدمه:** علی‌رغم وجود مطالعات فراوانی در مورد افت‌شنوایی ناشی از مواجهه با صدای شغلی (NIHL)، مستندات محدودی در ارتباط با تأثیر مواجهه با ارتعاش بر سیستم شنوایی شاغلین وجود دارد. رانندگان ماشین آلات سنگین، به‌طور هم‌زمان با سطوح بالایی از صدا و ارتعاش تمام‌بدن (WBV) مواجهه داشته و بنابراین در ریسک بالایی از NIHL قرار دارند؛ با این حال، سهم اثرگذاری WBV بر عملکرد سیستم شنوایی آنان در حاله‌ای از ابهام می‌باشد. بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی پاسخ شنیداری رانندگان ماشین‌آلات سنگین، در مواجهه با WBV و همچنین مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV می‌باشد.

**روش کار:** تعداد ۳۰ نفر مرد از رانندگان ماشین‌آلات سنگین با میانگین سنی  $40 \pm 32/40$  سال در این مطالعه که بر اساس مدل اندازه‌گیری‌های مکرر طراحی شده بود، شرکت داشتند. در طول ۳ سناریوی تعریف شده: مواجهه با WBV، مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV و همچنین سناریوی بدون مواجهه، پاسخ شنیداری رانندگان با استفاده از گسیل‌های صوتی اعوجاجی گوش (DPOAE)، مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل‌های آماری مربوطه توسط نرم‌افزار SPSS-۲۵ صورت پذیرفت.

**یافته‌ها:** محدوده صدای درون اتاقک ماشین‌آلات سنگین، ۸۳-۸۹ دسی‌بل و بیشترین مواجهه رانندگان با WBV در محور Z با میانگین شتاب  $1/29 \text{ m/s}^2$  به دست آمد. دامنه DPOAE رانندگان در هر سه سناریو، تغییرات معناداری را در طول روز نشان داد ( $P < 0.05$ )؛ ولی در مقایسه بین سناریوها، مواجهه با WBV و مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV، دارای تأثیر قابل توجهی در پاسخ سیستم شنوایی رانندگان، نسبت به سناریوی بدون مواجهه بود ( $P < 0.05$ ). همچنین اختلاف معناداری در تغییرات دامنه DPOAE در فرکانس‌های مختلف وجود داشت؛ بگونه‌ای که بیشترین تغییرات دامنه DPOAE در فرکانس‌های محدوده ۴۰۰۰ هرتز مشاهده گردید.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه تأییدکننده پیامدهای منفی مواجهه با صدا و WBV بر روی پاسخ شنیداری موردبررسی در این پژوهش بود؛ ضمن اینکه شواهدی مبنی بر اثرات آسیب‌زای مواجهه تنها با WBV بر سیستم شنوایی رانندگان ماشین‌آلات سنگین ارائه نمود.

**کلمات کلیدی:** ارتعاش تمام بدن (WBV)، صدا، رانندگان ماشین‌آلات سنگین، DPOAE

## مقدمه

در دهه‌های گذشته، استفاده از ماشین‌آلات سنگین مانند بولدوزر، بیل مکانیکی، لودر، گریدر و تراکتور به دلیل نقش حیاتی در جوامع مدرن، رشد سالانه‌ای را تجربه کرده‌است. این موضوع منجر به افزایش نیاز به رانندگان این ماشین‌آلات در انواع مختلف فعالیت‌های صنعتی شده است، از جمله ساختمان‌سازی، کشاورزی، جنگلداری، حمل و نقل مواد، محوطه‌سازی و معدنکاری. به عنوان نمونه، تنها در ایالات متحده آمریکا بیش از نیم‌میلیون نفر به عنوان رانندگان ماشین‌آلات سنگین، مشغول به کار هستند (۱، ۲).

بهره‌برداری از ماشین‌آلات سنگین، به دلیل فضای محدود کارگاه‌ها، انجام وظایف هم‌زمان، همچنین وجود کارگران و سایر ماشین‌آلات سنگین که در یک محل به طور هم‌زمان و نزدیک به یکدیگر کار می‌کنند، پیچیدگی‌های خاصی را برای این شغل ایجاد کرده‌است. بنابراین، در چنین شرایط کاری دشوار، رانندگان ماشین‌آلات سنگین باید به طور موثر و ایمنی عمل نمایند، زیرا هرگونه ناکارآمدی و اشتباه می‌تواند عواقب خطرناک و پرهزینه‌ای را به دنبال داشته باشد (۳، ۴). به‌عنوان مثال، بر اساس آمار صنعت ساختمان انگلستان، حوادث ناشی از این ماشین‌آلات، چهارمین دلیل اصلی آسیب به کارگران بوده است. علاوه بر این، در صنعت ساخت و ساز ایالات متحده، ماشین‌آلات سنگین به عنوان یکی از علل اصلی صدمات و مرگ ناشی از کار عنوان شده‌است (۵). همچنین در ایران، تقریباً ۳۷ درصد از کل حوادث صنعتی در پروژه‌های عمرانی رخ می‌دهد که تجزیه و تحلیل مبتنی بر ریسک حوادث ساختمانی، نشان‌دهنده نقش پررنگ ماشین‌آلات سنگین به عنوان یکی از عوامل بروز حوادث می‌باشد (۶). از این رو، در نظر گرفتن عوامل آسیب‌زایی که بر سلامت و ایمنی رانندگان ماشین‌آلات سنگین در موقعیت‌های کاری تأثیر می‌گذارد، بسیار مهم است.

رانندگان ماشین‌آلات سنگین در مواجهه با طیف وسیعی از خطرات، مانند وضعیت‌های ثابت، گرد و غبار، تنش‌های حرارتی و همچنین مواجهه با سطوح

بالای صدا و ارتعاش قرار دارند (۳، ۷). بر اساس بررسی متون علمی، این رانندگان معمولاً در مواجهه با تراز فشار صوتی در دامنه ۸۴-۹۹ dB(A) و همچنین شتاب ارتعاش کل بدن (WBV<sup>۱</sup>) در محدوده ۰/۳۸-۱/۴۷ m/s<sup>۲</sup> هستند (۸، ۹)؛ در حالی که حدود مجاز شغلی برای ۸ ساعت مواجهه، بر اساس توصیه انجمن متخصصین بهداشت صنعتی امریکا (ACGIH<sup>۲</sup>)، سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO<sup>۳</sup> 2631, R2004) و همچنین کمیته کشوری تدوین حدود مجاز مواجهه شغلی (OEL<sup>۴</sup>) برای صدا و WBV به ترتیب ۸۵ dB(A) و ۰/۸۷ m/s<sup>۲</sup> در نظر گرفته شده‌است (۱۰).

مستندات متعددی دال بر اثرات آسیب‌زای مواجهه با صدا و WBV بر سلامت و ایمنی شاغلین در محیط‌های کاری وجود دارد. افت شنوایی ناشی از صد (NIHL<sup>۵</sup>) جدی‌ترین و شایع‌ترین پیامد شنوایی مواجهه شغلی با صدا است (۱۱، ۱۲). NIHL یک افت شنوایی حسی - عصبی بوده که به دلیل آسیب برگشت‌ناپذیر به سلول‌های اپیتلیوم شامل سلول‌های مویی داخلی (IHCs<sup>۶</sup>) و سلول‌های مویی خارجی (OHCs<sup>۷</sup>) حلزون شنوایی ایجاد می‌شود (۱۳). هرچند بروز NIHL به دلیل ترکیبی از عوامل محیطی و ژنتیکی می‌باشد (۱۴) ولی مهم‌ترین دلیل محیطی ایجاد آن، مواجهه با صدا بوده و به‌عنوان یک مشکل سلامت عمومی مطرح است (۱۵). همچنین، از آسیب‌های غیرشنیداری مواجهه با صدا می‌توان به آزار ناشی از صدا، اختلالات قلبی-عروقی، اختلال در خواب، اختلالات شناختی، اضطراب، عصبانیت، گوشه‌گیری و بی‌قراری اشاره نمود (۱۵، ۱۷، ۱۸). مواجهه با WBV نیز می‌تواند به طور مستقیم باعث صدمات مکانیکی به بدن گردد و به عنوان یک عامل استرس‌زا، سبب اختلالات فیزیولوژیک شود (۱۹). مواجهه با WBV همچنین می‌تواند باعث اختلال در عملکرد شناختی شده

1. Whole body vibration
2. American conference of governmental industrial hygienists
3. International organization for Standardization
4. Occupational exposure limit
5. Noise-induced hearing loss
6. Inner hair cells
7. Outer hair cells

طبیعی انرژی صوتی به تکانه های سلول عصبی ضروری است (۲۸، ۲۹).

❖ به دلیل ویژگی‌های خاص آناتومیکی گوش داخلی، اختلالات ناشی از مواجهه با ارتعاش ممکن است مویرگ‌های پشتیبانی‌کننده اعصاب شنوایی را تحت تأثیر قرار دهد (۳۰).

❖ مواجهه با ارتعاش می‌تواند تخریب رگ‌های خونی را در عروق استریا افزایش دهد که منجر به تشدید آسیب‌پذیری در سیستم شنوایی می‌شود (۳۱).

❖ صدمات مکانیکی مستقیم در ساختار گوش داخلی به دنبال مواجهه با ارتعاش، احتمالاً می‌تواند اثرات نامطلوبی را در سیستم شنوایی تشدید نماید (۳۲، ۳۳).

❖ اثرات مواجهه با ارتعاش می‌تواند مشابه آکوستیک صوتی در فرکانس‌های خاص عمل نماید. به عبارت دیگر، مواجهه با ارتعاش مشابه با صدا در فرکانس‌های پایین عمل نموده و منجر به بروز برخی از اثرات مخرب بر روی سیستم شنوایی گردد (۳۴).

در حالی که مطالعات متعددی به مواجهه رانندگان ماشین‌آلات سنگین با سطوح بالایی از صدا اذعان داشته‌اند، گزارش‌های محدودی در مورد میزان کم شنوایی در این جمعیت وجود دارد. با این حال، طبق پژوهش‌های موجود، اختلال در سیستم شنوایی، یکی از شایع‌ترین پیامدهای شغلی در بین رانندگان ماشین‌آلات سنگین جاده‌ای و خارج جاده‌ای می‌باشد. به عنوان نمونه مطالعه صورت گرفته توسط چیه و همکارانش، نشان‌دهنده افت شنوایی قابل توجهی در رانندگان ماشین‌آلات سنگین خارج جاده‌ای بوده، که با افزایش سن و در فرکانس‌های بالا، سطوح بیشتری از NIHL را مشاهده نموده‌اند (۳۵). همچنین در مطالعه‌ای که میزان NIHL در بین کارگران صنایع ساختمانی توسط مازلان و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت، اپراتورهای ماشین‌آلات ساختمانی، بیشترین درصد میزان شیوع NIHL را در بین سایر مشاغل صنعت ساختمانی دارا بودند (۳۶). هانگ نیز در مطالعه خود به منظور بررسی میزان افت شنوایی در بین رانندگان ماشین‌آلات سنگین در صنعت ساختمانی، میزان بروز

(۲۰) و ضمن ایجاد تداخل در تعادل افراد (۲۱، ۲۲) با افزایش فعالیت ناحیه قشری پیش فرونتال که منجر به افزایش نیاز به انرژی و اکسیژن می‌شود، باعث خستگی ماهیچه‌ای بیشتری نیز گردد (۲۳).

با وجود شواهد فراوانی در مورد اثرات مواجهه با صدا بر کاهش شنوایی، مستندات کمی دال بر تأثیر مواجهه با WBV بر سیستم شنوایی انسان وجود دارد. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که مواجهه با WBV، اثرات نامطلوبی بر پاسخ‌های شنوایی انسان مانند تغییر در پاسخ‌های پتانسیل برانگیخته شنوایی<sup>۱</sup> و آستانه شنوایی دارد (۲۴، ۲۵). مواجهه با WBV می‌تواند با تداخل بین آوران‌های حسی، از جمله ورودی‌های شنوایی، منجر به عدم تطابق حسی و در نتیجه اختلال در فعالیت سیستم عصبی مرکزی شود (۲۴). WBV همچنین می‌تواند از طریق فعال کردن سیستم عصبی سمپاتیک، باعث تغییر در جریان خون گوش داخلی گردد (۲۵). علاوه بر این، مطالعات صورت گرفته بر روی حیوانات به منظور بررسی اثر مواجهه با WBV بر سیستم شنوایی، نشان‌دهنده اثرات مخرب ارتعاش بر ساختارهای گوش داخلی بوده است (۲۶). بطور کلی مکانیسم‌های تأثیر ارتعاش بر روی سیستم شنوایی به‌خوبی مشخص نگردیده و مبهم می‌باشد؛ با این وجود برخی از دلایل احتمالی تأثیرپذیری سیستم شنوایی در مواجهه با ارتعاش می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

❖ مواجهه با ارتعاش همچون صدا می‌تواند باعث فعالیت سیستم اعصاب سمپاتیک گردد (۲۷). در واقع مواجهه با ارتعاش به عنوان یک عامل استرس‌زای محیطی، می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در فعالیت‌های سیستم قلبی-عروقی شود. به عبارت دیگر، مواجهه با ارتعاش می‌تواند با تغییر در ساختار دیواره رگ‌های خونی و جریان خون گوش داخلی، منجر به آسیب استریا عروقی گردد؛ که ناحیه‌ای در دیواره جانبی حلزون شنوایی با وظیفه استخراج کلرید پتاسیم از مویرگ‌های حلزون برای حفظ گرادیان الکتروشیمیایی بوده و برای تبدیل

1. Auditory evoked potential response



عینی عملکرد OHCs، که اهداف اصلی NIHL هستند، فراهم می‌کند (۴۵). محققان متعددی پیشنهاد داده‌اند که OAE ممکن است به‌عنوان یک شاخص زودهنگام آسیب به حلزون شنوایی نسبت به PTA آستانه شنوایی عمل نماید (۴۶-۴۸). برای انجام این آزمون نیازی به اتاقک ادیومتری نبوده و به‌طور کلی می‌توان بیان داشت که آزمون OAE دارای پایایی و تکرارپذیری خوب می‌باشد (۴۳). گسیل‌های صوتی اعوجاجی گوش (DPOAE<sup>۲</sup>) یکی از انواع مفید OAE است که در مواجهه با عواملی همچون صدا، دچار اختلال شده و به‌صورت کاهش در دامنه گسیل‌های صوتی گوش نمایان می‌گردد. طبق مستندات موجود، DPOAE به‌عنوان یک آزمون قابل اعتماد، دقیق، هدفمند و سریع می‌تواند منعکس‌کننده تغییر آستانه شنوایی در مرحله پیش‌بالینی باشد (۴۹-۵۱). به‌طور کلی می‌توان عنوان نمود که DPOAE نه‌تنها در نتایج حاصل از ادیومتری، بلکه در برجسته کردن تغییرات عملکردی سیستم شنوایی در حالیکه هنوز در ادیومتری نشان داده نشده است، نقش مفیدی می‌تواند داشته باشد. در واقع DPOAE می‌تواند به‌عنوان یک شاخص اثر بیولوژیک زودهنگام، مورداستفاده قرار گیرد (۵۲). DPOAE به‌طور معمول در پاسخ به دو تون اولیه با فرکانس‌های متفاوت ( $F_1$  و  $F_2$ ) اندازه‌گیری می‌شود.  $F_2$  نشان‌دهنده فرکانس بالاتر در جفت فرکانس اولیه و  $F_1$  نشان‌دهنده فرکانس پایین‌تر می‌باشد (۵۳). این محرک‌ها، توسط دو بلندگوی مینیاتوری که درون یک پروب، تعبیه شده و داخل مجرای شنوایی قرار می‌گیرند، تولید می‌شوند. به‌طور معمول نسبت بین این محرک‌های صوتی  $1/22$  می‌باشد و یک تون ثانویه در پاسخ به محرک‌های ذکر شده، تحت عنوان DPOAE که با رابطه  $2F_1 - F_2$  مشخص می‌باشد، توسط یک میکروفن مینیاتوری نصب‌شده در همان پروب داخل مجرای شنوایی، قابل اندازه‌گیری است. در صورتی که به هر دلیلی از جمله مواجهه با صدای با تراز بالا، OHCs دچار اختلال شده باشند، دامنه امواج DPOAE که توسط OHCs ایجاد شده، کاهش پیدا خواهد نمود (۴۹، ۵۴)؛

3. Distortion product otoacoustic emissions

بیش از ۶۰ درصدی NIHL در فرکانس‌های ۴۰۰۰ و ۶۰۰۰ هرتز را بیان نموده است (۳۷). همچنین کریمی و همکارانش، میزان شیوع اختلالات شنوایی در رانندگان ماشین‌آلات سنگین جاده‌ای را در محدوده فرکانسی ۴۰۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز، ۴۵ درصد عنوان کرده‌اند (۳۸)؛ رضایی و همکارانش نیز در مطالعه مشابهی، میزان شیوع NIHL را حدود ۵۲ درصد گزارش نموده‌اند (۳۹).

از سوی دیگر، تخمین زده می‌شود که هزینه صدا برای کشورهای توسعه‌یافته از  $0/2$  تا  $2/2$  تولید ناخالص داخلی متغیر است (۴۰). در حقیقت، از دست دادن شنوایی با پایین بودن نرخ اشتغال، پایین آمدن بهره‌وری کارگران و هزینه‌های بالای مراقبت‌های بهداشتی همراه است. به‌طور کلی پیش‌بینی می‌شود که مجموع هزینه‌های درمان کاهش شنوایی تنها در سال اول، به حدود  $51/4$  میلیارد دلار تا سال ۲۰۳۰ برسد (۴۱). علی‌رغم هزینه‌های هنگفت فردی و اجتماعی ناشی از NIHL، پیشگیری از آن امکان‌پذیر بوده و می‌تواند سالانه بین ۵۸ تا ۱۵۲ میلیارد دلار صرفه اقتصادی را به دنبال داشته باشد (۴۲). بنابراین، تشخیص علائم اولیه NIHL و به‌کارگیری راهبردهای مفید برای جلوگیری از آسیب‌های شنوایی ناشی از مواجهه با عوامل آسیب‌زای شغلی، بسیار مهم است. با توجه به اینکه در آزمون مرسوم شنوایی‌سنجی (ادیومتری تون خالص - PTA<sup>۱</sup>)، تشخیص کاهش شنوایی تنها پس از وقوع آن امکان‌پذیر می‌باشد، استفاده از راهبردهای مناسب برای تشخیص زودهنگام اختلال در حلزون شنوایی، ضروری می‌باشد. بررسی گسیل‌های صوتی گوش (OAE<sup>۲</sup>) می‌تواند به‌عنوان آزمون‌هایی مناسب برای این منظور به‌کار گرفته شوند. OAE توسط سلول‌های مویی خارجی تولید می‌شود، که نشان‌دهنده عملکرد مطلوب حلزون شنوایی می‌باشد (۴۳). این روش، عینی، دقیق، غیرتهاجمی، دارای کاربرد ساده، انجام سریع و همچنین ویژگی اختصاصی بودن فرکانس‌های موردبررسی می‌باشد (۴۴). اندازه‌گیری OAE یک روش حساس را برای ارزیابی

1. Pure tone audiometry
2. Otoacoustic emissions

داشتند. همچنین به منظور اطمینان از حجم نمونه تعیین شده، از آزمون تحلیل توان (با توان ۸۰ درصد و سطح معنی داری ۵ درصد) استفاده گردید که مؤید کافی بودن حجم نمونه بود.

بعد از بررسی متون علمی، معیارهای ورود به مطالعه برای رانندگان، آستانه شنوایی طبیعی (کمتر از ۲۵ دسی بل) در فرکانس‌های ۵۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز و دارا بودن دامنه DPOAE قابل اندازه‌گیری در هر گوش، عدم ابتلا به بیماری‌های سیستم شنوایی و تروماهای صوتی، عدم سابقه جراحی سیستم شنوایی و عدم مواجهه با مواد شیمیایی اتوتوکسیک در نظر گرفته شد. در واقع، برای به حداقل رساندن تأثیر عوامل مداخله‌گر همچون سن و جنس، رانندگان مسن در مطالعه شرکت داده نشدند و تمام رانندگان، دارای جنسیت یکسان بودند؛ همچنین اعتیاد به مواد مخدر، مصرف سیگار و الکل نیز با استناد به پرونده پزشکی موجود، جویا شدن از کارفرما، همکاران و همچنین مصاحبه فردی مورد بررسی قرار گرفت و در صورت مصرف موارد مذکور، رانندگان از شرکت در مطالعه منع می شدند. همچنین به منظور بررسی سلامت عمومی رانندگان مشارکت‌کننده در مطالعه، از پرسشنامه سلامت عمومی (GHQ-28<sup>4</sup>) استفاده گردید که با توجه به اعتبار بالا و در نظر گرفتن ابعاد مختلف سلامتی، به عنوان یکی از معیارهای ورود به مطالعه، در پژوهش‌های انسانی مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. بر اساس امتیازات حاصل از این پرسشنامه، افراد با نمره کمتر از ۲۳ در مجموع نمرات پرسشنامه و همچنین با نمره کمتر از ۶ در هر زیرمقیاس، به عنوان افراد دارای سلامت عمومی مطلوب در نظر گرفته شدند (۵۵).

بعد از هماهنگی با مسئولان معادن روباز و همچنین هماهنگی‌های لازم با کارشناس شنوایی‌شناسی، در مراجعه به معادن مختلف، از رانندگان ماشین‌آلات سنگین معدنی که تمایل به شرکت در این طرح تحقیقاتی داشتند دعوت به عمل آورده شد و بعد از یک مصاحبه مقدماتی و ارائه توضیحاتی در رابطه با فرآیند انجام تحقیق، معاینات

4. General health questionnaire (GHQ)

که از همین مبنای می‌توان برای ارزیابی عملکرد سیستم شنوایی از طریق بررسی فعالیت حلزون شنوایی بهره جست.

هرچند مطالعات متعددی پاسخ‌های انسان در مواجهه با صدا و ارتعاش شغلی را مورد بررسی قرار داده و راهنماهای جداگانه‌ای برای ارزیابی هرکدام از این عوامل ارائه شده است، ولی عمدتاً در محیط‌های واقعی شغلی، مواجهه با این عوامل زیان‌آور به‌طور هم‌زمان رخ می‌دهد؛ با این حال، تنها تعداد اندکی از مطالعات بر روی اثرات هم‌زمان مواجهه با صدا و WBV بر سیستم شنوایی انسان متمرکز شده‌اند و برخی از این مطالعات به اثرات هم‌افزایی احتمالی مواجهه با صدا و WBV بر روی سیستم شنوایی اذعان نموده‌اند. به نظر می‌رسد مواجهه با WBV، سبب تشدید آسیب مکانیکی گوش داخلی در مواجهه با صدا شده که با ایجاد تغییرات در حرکات مایع حلزونی و اختلالات هم‌ایستایی<sup>۱</sup> فیزیولوژیکی، منجر به اختلال عملکرد سلول‌های مویی می‌شود (۳۰، ۳۳).

با توجه به موارد مذکور و عدم وجود مطالعات مکفی در زمینه تأثیر مواجهه با WBV و همچنین مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV بر روی سیستم شنوایی جمعیت‌های انسانی، این مطالعه با هدف بررسی پاسخ شنیداری شاغلین در مواجهه تنها و مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV بر روی رانندگان تجهیزات سنگین شاغل در معادن روباز که در مواجهه هم‌زمان با سطوح بالایی از صدا و WBV هستند، انجام شد تا بتوان بر اساس نتایج آن، در راستای اهداف سلامت شاغلین در محیط‌های شغلی، گام‌های اثرگذارتری را برداشت.

## روش کار

در مطالعه حاضر که با استفاده از مدل اندازه‌گیری‌های مکرر<sup>۲</sup> صورت پذیرفت، تعداد ۳۰ نفر مرد از رانندگان ماشین‌آلات سنگین معدنی با میانگین سنی  $32/40 \pm 4/91$  سال و شاخص توده بدنی (BMI<sup>۳</sup>)  $26/2 \pm 9/68$  شرکت

1. Homeostasis  
2. Repeated measures designs  
3. Body mass index

جدول ۱: سناریوهای مواجهه رانندگان شرکت‌کننده در مطالعه

سناریوهای مواجهه	جلسات آزمایش
فعالیت در معدن بدون استفاده از وسیله حفاظت شنوایی (مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV)	۱
فعالیت در معدن با استفاده از وسیله حفاظت شنوایی (مواجهه تنها با WBV)	۲
بدون مواجهه (بررسی تغییرات دامنه DPOAE در طول یک روز تعطیل بدون مواجهه با صدا و WBV)	۳

مواجهه رانندگان شرکت‌کننده در مطالعه، در جدول ۱ ارائه شده است.

در مرحله اجرایی مطالعه، قبل از هر جلسه، ابتدا از طریق اتوسکوپ، مجرای شنوایی رانندگان بررسی می‌گردید تا فاقد هرگونه مواد جرمی مسدودکننده و محدودکننده مجاری شنوایی باشد. سپس برای اندازه‌گیری دامنه DPOAE، ابتدا جهت تثبیت کردن پروب دستگاه DPOAE-Analyzer درون مجرای شنوایی آزمودنی‌ها، تثبیت‌کننده متناسب با اندازه مجرای شنوایی هر شخص انتخاب‌شده و پروب دستگاه درون مجرای شنوایی قرار داده می‌شد. همچنین برای اجتناب از تأثیر پوسچر آزمودنی‌ها بر روی آزمون، اندازه‌گیری در وضعیت نشسته صورت می‌گرفت. در هنگام انجام آزمون، از رانندگان خواسته می‌شد که صحبت نکرده و بدون حرکت باقی بمانند تا اختلالی در سنجش دامنه DPOAE ایجاد نگردد. آزمون DPOAE برای هر دو گوش در فرکانس‌های تعیین شده انجام می‌شد و نتیجه به‌عنوان میزان دامنه گسیل‌های شنوایی قبل از مواجهه ثبت می‌گردید. تمام اندازه‌گیری‌ها درون یک اتاق آرام در محیط اداری معادن و قبل از شروع فعالیت معادن صورت می‌پذیرفت. بعد از پایان آزمون DPOAE، رانندگان در دو سناریوی مختلف، مشغول به فعالیت روزانه خود می‌شدند:

- ۱- سناریوی مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV: در این سناریو رانندگان طبق برنامه کاری همیشگی خود (بدون استفاده از وسیله حفاظت شنوایی) مشغول به فعالیت در معدن می‌شدند.
- ۲- سناریوی مواجهه تنها با WBV: در این سناریو به‌منظور حذف اثر صدا بر روی سیستم شنوایی رانندگان، از آن‌ها خواسته شد که در تمام مدت‌زمان فعالیت خود

لازم توسط کارشناس شنوایی‌شناسی از رانندگان داوطلب صورت پذیرفت و در صورت تأیید سلامت سیستم شنوایی رانندگان، سایر معیارهای ورود به مطالعه، موردبررسی قرار گرفت. ابتدا معاینات ظاهری گوش رانندگان توسط دستگاه اتوسکوپ<sup>۱</sup> به‌منظور بررسی وضعیت مجرای شنوایی از لحاظ انسداد یا گرفتگی با مواد جرمی گوش (واکس گوش)<sup>۲</sup> و همچنین بررسی پرده صماخ از لحاظ عفونت‌های احتمالی و تشخیص آسیب‌دیدگی یا پارگی آن انجام پذیرفت.

بعد از اطمینان از سلامت کامل گوش خارجی، آستانه شنوایی رانندگان داوطلب مشارکت در مطالعه، توسط دستگاه ادیومتری PTA کالیبره شده، در محدوده فرکانسی ۲۵۰ تا ۸۰۰۰ هرتز، در هر دو گوش تعیین گردید. با توجه به اینکه دامنه DPOAE، به‌طور طبیعی در برخی از افراد قابل تشخیص نمی‌باشد، دامنه DPOAE رانندگان توسط دستگاه DPOAE analyzer (مدل Neuro-Audio ساخت شرکت Neurosoft کشور روسیه) در فرکانس‌های ۹۸۸، ۱۴۸۱، ۲۲۲۲، ۲۹۶۳، ۴۴۴۴، ۵۷۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز بررسی گردید و افرادی که دارای معیارهای قابل قبول پذیرش دامنه DPOAE، شامل دامنه بزرگ‌تر از ۵- دسی‌بل و همچنین نسبت سیگنال به نویز (SNR)<sup>۳</sup> بیش از ۶ دسی‌بل بودند (۱۰) وارد مطالعه گردیدند.

با توجه به هدف مطالعه، در مجموع ۲ جلسه مواجهه انفرادی و ترکیبی با صدا و WBV، همچنین ۱ جلسه به‌منظور بررسی کنترل تغییرات طبیعی دامنه DPOAE در طول روز برای رانندگان صورت پذیرفت. سناریوهای

1. Otoscope
2. Cerumen (wax)
3. Signal to noise ratio

DPOAE در رانندگان مورد مطالعه، صورت پذیرفت. جهت تعیین میزان مواجهه رانندگان با صدا، از طریق نصب یک دزیمتر (مدل SV104 ساخت شرکت SVANTEK کشور لهستان) بر روی یقه آنان در هنگام فعالیت، بر مبنای روش ارائه شده در استاندارد ISO 9612-2009، تراز معادل صدا ( $L_{Aeq}$ ) مواجهه یافته توسط رانندگان ماشین‌آلات مختلف معدنی، به دست آمد. همچنین اندازه‌گیری صدا طبق روش پیشنهادی ISO 1996 با استفاده از دستگاه صداسنج SVAN971 کالیبره شده، درون اتاقک ماشین‌آلات مختلف مشغول فعالیت درون معدن نیز انجام گرفت.

میزان مواجهه رانندگان با WBV طبق روش پیشنهادی ISO 2631 توسط دستگاه ارتعاش‌سنج SV106A و استقرار صفحه دیسکی شکل آن در محل نشیمنگاه رانندگان، تحت شرایط واقعی کار روزانه صورت پذیرفت. به منظور به حداقل رساندن تاثیر حرکات رانندگان بر روی اندازه‌گیری، صفحه شتاب‌سنج، به دقت بر روی صندلی رانندگان تثبیت می‌شد. مقادیر ریشه میانگین مربعات ( $RMS^4$ ) شتاب ارتعاشی در سه محور X، Y و Z با استفاده از فیلترهای توزین فرکانسی  $W_k$  و  $W_d$  به صورت هم‌زمان و به گونه‌ای که تمام مراحل چرخه‌های کاری را پوشش دهد، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. طبق توصیه ISO 2631 میزان ارتعاش در محور غالب، برای ارزیابی اثرات بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ البته در صورتی که مقادیر ارتعاشی به دست آمده در دو یا سه محور نزدیک به هم باشند، توصیه بر استفاده از مجموع مقادیر اندازه‌گیری شده در محورها طبق رابطه زیر می‌باشد:

$$a_v = \sqrt{(1.4a_{wx})^2 + (1.4a_{wy})^2 + (1a_{wz})^2}$$

که در این رابطه،  $a_v$  نشان‌دهنده جمع برداری شتاب RMS توزین شده فرکانسی و مقادیر  $a_{wx}$ ،  $a_{wy}$  و  $a_{wz}$

3. A-weighted equivalent sound pressure level  
4. Root mean square

در اتاقک خودرو، از وسیله حفاظت شنوایی (توگوشی حفاظتی<sup>۱</sup> مدل E-A-R Tracers-TR-01-000 ساخت کشور انگلستان با  $SNR^2=32dB$ ) که در اختیار آن‌ها قرار داده شده بود، استفاده نمایند.

به منظور نظارت بر استفاده صحیح و مداوم رانندگان در طول مدت فعالیت آنان، به صورت تصادفی و در ساعات مختلف توسط یکی از مسئولان ناظر معدن، بازرسی صورت می‌گرفت. لازم به ذکر است که قبل از شروع فعالیت، آموزش لازم برای استفاده صحیح از حفاظت شنوایی به رانندگان داده می‌شد و با تکرار نحوه استفاده، از یادگیری صحیح آنان اطمینان حاصل می‌گردید.

جهت بررسی دامنه DPOAE رانندگان بعد از هر جلسه مواجهه، بعد از اتمام فعالیت کاری آنان، آزمون DPOAE مشابه شرایط اندازه‌گیری قبل از شروع فعالیت کاری و در حالت نشسته، موردسنجش قرار می‌گرفت. با در نظر گرفتن این معیار که حداکثر افت موقت شنوایی ۲ دقیقه است (۵۶)، برنامه‌ریزی ثبت دامنه DPOAE رانندگان به گونه‌ای انجام می‌شد که فاصله اتمام مواجهه (پایان کار) تا اندازه‌گیری دامنه DPOAE در محدوده ۲ دقیقه باشد.

همچنین به منظور بررسی تغییرات دامنه DPOAE بدون مواجهه با صدا یا WBV، از رانندگان خواسته شد که در یک روز تعطیل به مطب شنوایی‌سنجی هماهنگ شده، مراجعه نموده تا دامنه DPOAE آنان موردبررسی قرار گیرد. به این منظور، رانندگان یک‌بار اول صبح به مطب شنوایی‌سنجی مراجعه نموده و میزان دامنه DPOAE آنان موردسنجش قرار می‌گرفت. مرحله دوم مراجعه رانندگان، مطابق با پایان ساعت کاری مرسوم معدن، در همان روز تعطیل به منظور سنجش بعدی دامنه DPOAE انجام می‌شد. از رانندگان خواسته شد که در طول روز تعطیل از مواجهه با صدای بلند و منابع ارتعاشی اجتناب نمایند. با توجه به تغییرات دامنه DPOAE در طول روز، این مرحله به منظور کنترل تغییرات طبیعی دامنه

1. Earplug  
2. Single number rating

جدول ۲: اطلاعات جمعیت شناختی رانندگان شرکت‌کننده در مطالعه

متغیر	کمینه <sup>۱</sup>	بیشینه <sup>۲</sup>	میانگین	انحراف معیار
سن (سال)	۲۵	۴۲	۳۲/۴۰	۴/۹۱
قد (متر)	۱/۶۹	۱/۹۱	۱/۷۵	۰/۰۶
وزن (کیلوگرم)	۶۳	۱۰۸	۸۲/۷۰	۹/۱۷
شاخص توده بدنی (BMI)	۲۱/۰۵	۳۳/۲۲	۲۶/۹۱	۲/۶۸

<sup>۱</sup> Minimum<sup>۲</sup> Maximum

جدول ۳: میانگین مقادیر شتاب ارتعاشی (RMS) ماشین‌آلات سنگین معدنی

متغیر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
محور X ( $m/s^2$ )	۰/۰۲	۱/۹۸	۰/۴۹۴	۰/۵۷۹
محور Y ( $m/s^2$ )	۰/۰۲	۱/۴۰	۰/۴۳۹	۰/۴۰۹
محور Z ( $m/s^2$ )	۰/۱۶	۲/۷۶	۱/۲۹	۰/۶۸۳

همچنین ضمن اطمینان دادن به افراد شرکت‌کننده در تحقیق، بابت محرمانه ماندن کلیه اطلاعاتی که از آن‌ها اخذ گردیده، اختیار ترک مطالعه در هر لحظه که تمایلی به ادامه مشارکت نداشتند به آن‌ها داده شد. قبل از انجام مطالعه، از کلیه افراد شرکت‌کننده، رضایت‌نامه کتبی حاوی متن مورد تأیید کمیته اخلاق اخذ گردید.

### یافته‌ها

مطالعه در بین ۳۰ نفر مرد، از رانندگان ماشین‌آلات سنگین شاغل در معادن روباز صورت پذیرفت. اطلاعات جمعیت شناختی<sup>۲</sup> این رانندگان، در جدول ۲ نمایش داده شده است.

با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی صورت گرفته برای تعیین میزان مواجهه رانندگان با صدا، محدوده صدای اندازه‌گیری شده درون اتاقک ماشین‌آلات سنگین در حال فعالیت در معادن روباز ۸۹-۸۳ دسی‌بل به دست آمد. همچنین مقادیر شتاب ارتعاشی اندازه‌گیری شده ماشین‌آلات سنگین معدنی در جدول ۳ ارائه شده است. همانگونه که در جدول ۳ مشخص می‌باشد، بیشترین

نشان‌دهنده شتاب ارتعاشی در محورهای محور X، Y و Z می‌باشد.

به علت ثابت نبودن دامنه DPOAE در جلسات مختلف، از اختلاف میانگین داده‌های حاصل از آزمایشات، برای انجام آزمون‌های آماری استفاده شد. برای ارائه نتایج توصیفی از روش‌های آمار توصیفی و نمودارهای آماری، جهت تعیین تغییرات ایجاد شده قبل و بعد از مواجهه در هر جلسه، از آزمون مقایسه زوجی<sup>۱</sup> و به منظور بررسی اختلاف بین جلسات مختلف مواجهه (سناریوهای تعریف شده) از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر استفاده گردید. در این مطالعه سطح معناداری، برابر ۰/۰۵ در نظر گرفته شد و داده‌های مطالعه با استفاده از نرم‌افزار آماری IBM SPSS-25 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

لازم به ذکر است که این مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی-درمانی همدان با کد اخلاق IR.UMSHA.REC.1398.108 مورد تأیید قرار گرفت. قبل از اجرای تحقیق، توضیحات کافی در ارتباط با کلیات موضوع و نحوه همکاری در راستای انجام آزمایشات، به مشارکت‌کنندگان در مطالعه داده شد.

2. Demographic

1. Paired sample test

جدول ۴: اختلاف میانگین دامنه DPOAE در گوش راست و چپ رانندگان در سناریوهای مورد مطالعه

فرکانس DPOAE (هرتز)	سناریوی مواجهه		بدون مواجهه		مواجهه با صدا و WBV	
	گوش	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین
۹۸۸	راست	۱/۲۱	۰/۶۹	۱/۴۷	۱/۰۹	۱/۵۳
	چپ	۱/۱۷	۰/۴۱	۱/۴۴	۰/۹۹	۱/۶۴
۱۴۸۱	راست	۱/۲۶	۰/۸۶	۱/۴۹	۰/۸۶	۱/۷۵
	چپ	۱/۳۰	۰/۵۴	۱/۴۸	۰/۸۳	۱/۶۴
۲۲۲۲	راست	۱/۲۵	۰/۶۵	۱/۶۰	۰/۸۷	۲/۲۳
	چپ	۱/۲۹	۰/۴۱	۱/۶۵	۱/۰۳	۲/۵۳
۲۹۶۳	راست	۱/۲۷	۰/۵۲	۲/۱۰	۱/۰۰	۴/۶۳
	چپ	۱/۲۹	۰/۸۷	۲/۱۴	۱/۲۹	۴/۷۲
۴۴۴۴	راست	۱/۱۱	۰/۷۴	۲/۹۸	۱/۶۲	۵/۷۲
	چپ	۱/۰۷	۱/۱۹	۳/۰۹	۱/۸۷	۵/۸۹
۵۷۰۰	راست	۱/۲۴	۰/۶۸	۲/۷۱	۱/۲۶	۴/۱۸
	چپ	۱/۲۰	۰/۸۴	۲/۷۸	۱/۶۱	۴/۰۳
۸۰۰۰	راست	۰/۹۱	۰/۸۰	۱/۴۰	۱/۴۲	۲/۱۹
	چپ	۱/۱۰	۰/۶۴	۱/۵۱	۱/۸۷	۲/۲۶

DPOAE در سناریوی بدون مواجهه (کنترل) نیز دارای تفاوت معناداری در پایان روز بود.

به منظور بررسی اختلاف بین تغییرات دامنه DPOAE در فرکانس‌های مختلف، میزان این تغییرات در گوش راست و چپ، قبل و بعد از مواجهه در فرکانس‌های مختلف، مورد آزمون آماری قرار گرفت. نتایج در جدول ۶ نمایش داده شده است. در سناریوهای مواجهه با WBV و همچنین مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV، اختلاف معناداری در تغییرات دامنه DPOAE در فرکانس‌های مختلف وجود داشت؛ در حالی که این تغییرات در سناریوی بدون مواجهه، روند یکسانی را نشان داد که گویای تأثیر قابل توجه مواجهه با صدا و ارتعاش بر روی دامنه DPOAE در فرکانس‌های مختلف بود.

با توجه به وجود اختلاف آماری معنادار در میانگین دامنه DPOAE در فرکانس‌های مختلف، برای مقایسه میانگین بین گروه‌ها از آزمون تعقیبی توکی<sup>۱</sup> استفاده گردید. نتایج این آزمون نشان‌دهنده کاهش قابل توجه دامنه DPOAE در فرکانس‌های ۴۴۴۴ و ۵۷۰۰ هرتز در سناریوی مواجهه تنها با WBV و همچنین کاهش

مواجهه رانندگان با WBV در محور Z با میانگین شتاب  $1/29 \text{ m/s}^2$  بود. همچنین جمع برداری شتاب RMS در محوره‌های X، Y و Z توزین شده فرکانسی  $1/58 \text{ m/s}^2$  بدست آمد.

دامنه DPOAE در هر دو گوش رانندگان مشارکت‌کننده در مطالعه در فرکانس‌های ۹۸۸، ۱۴۸۱، ۲۲۲۲، ۲۹۶۳، ۴۴۴۴، ۵۷۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز، بررسی گردید که نتایج اختلاف میانگین دامنه DPOAE قبل و بعد از مواجهه در گوش راست و گوش چپ در سه سناریوی مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است.

نتایج بررسی تغییرات دامنه DPOAE در گوش راست و چپ، قبل و بعد از مواجهه در سناریوهای مختلف، در جدول ۵ نمایش داده شده است. باتوجه به اطلاعات ارائه شده در جدول ۵، در پایان روز کاری، اختلاف معناداری در دامنه DPOAE رانندگان ایجاد شده بود. این تغییرات در تمام فرکانس‌ها معنادار بوده و نشان‌دهنده کاهش دامنه DPOAE در طول روز کاری بود. بنابراین با کاهش دامنه DPOAE، افزایش اختلاف میانگین داده‌های DPOAE افزایش داشته است. همچنین تغییرات دامنه

1. Tukey's test

جدول ۵: بررسی تغییرات دامنه DPOAE قبل و بعد از مواجهه در سناریوهای مورد مطالعه

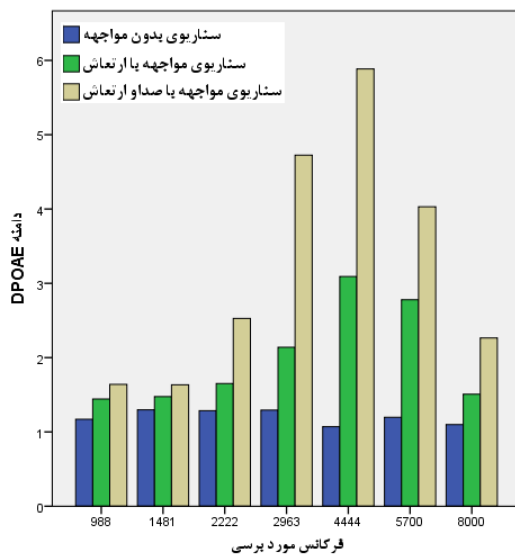
مواجهه با صدا و WBV		مواجهه با WBV		بدون مواجهه		سناریوی مواجهه	فرکانس DPOAE (هرتز)
P-Value	t	P-Value	t	P-Value	t	گوش	
<۰/۰۰۱	۱۲/۳۳	<۰/۰۰۱	۷/۳۶	<۰/۰۰۱	۹/۶۵	راست	۹۸۸
<۰/۰۰۱	۶/۹۳	<۰/۰۰۱	۷/۹۷	<۰/۰۰۱	۱۵/۴۷	چپ	
<۰/۰۰۱	۹/۶۹	<۰/۰۰۱	۹/۵	<۰/۰۰۱	۸	راست	۱۴۸۱
<۰/۰۰۱	۹/۴۷	<۰/۰۰۱	۹/۷۳	<۰/۰۰۱	۱۳/۱۵	چپ	
<۰/۰۰۱	۱۲/۱۱	<۰/۰۰۱	۱۰/۱۲	<۰/۰۰۱	۱۰/۴۴	راست	۲۲۲۲
<۰/۰۰۱	۹/۶۱	<۰/۰۰۱	۸/۷۷	<۰/۰۰۱	۱۷/۳۵	چپ	
<۰/۰۰۱	۱۶/۵۵	<۰/۰۰۱	۱۱/۵۵	<۰/۰۰۱	۱۳/۲۷	راست	۲۹۶۳
<۰/۰۰۱	۱۶/۸۹	<۰/۰۰۱	۹/۱۱	<۰/۰۰۱	۸/۱۸	چپ	
<۰/۰۰۱	۱۶/۵۳	<۰/۰۰۱	۱۰/۰۷	<۰/۰۰۱	۸/۲۵	راست	۴۴۴۴
<۰/۰۰۱	۱۳/۴۵	<۰/۰۰۱	۹/۰۵	<۰/۰۰۱	۴/۹۲	چپ	
<۰/۰۰۱	۱۴/۲	<۰/۰۰۱	۱۱/۷۹	<۰/۰۰۱	۹/۹۷	راست	۵۷۰۰
<۰/۰۰۱	۱۷/۸۳	<۰/۰۰۱	۹/۴۸	<۰/۰۰۱	۷/۸۵	چپ	
<۰/۰۰۱	۷/۹۲	<۰/۰۰۱	۵/۳۹	<۰/۰۰۱	۶/۲۲	راست	۸۰۰۰
<۰/۰۰۱	۹/۷۱	<۰/۰۰۱	۴/۴۲	<۰/۰۰۱	۹/۳۶	چپ	

جدول ۶: بررسی تغییرات دامنه DPOAE در فرکانس‌های مورد بررسی در سناریوهای مواجهه

P-Value	F	گوش	سناریوی مواجهه
۰/۴۲۲	۱/۰۱	راست	بدون مواجهه
۰/۸۲۱	۰/۴۸	چپ	
<۰/۰۰۱	۸/۸۹	راست	مواجهه با WBV
<۰/۰۰۱	۶/۹۵	چپ	
<۰/۰۰۱	۴۲/۷۲	راست	مواجهه با صدا و WBV
<۰/۰۰۱	۳۶/۱۵	چپ	

نتایج بررسی اختلاف میانگین دامنه DPOAE در گوش راست و چپ، قبل و بعد از مواجهه بین سناریوهای مختلف در جدول ۷ نمایش داده شده است. همانگونه که در جدول ۷ مشخص است، نتایج آزمون چندمتغیره در فرکانس‌های ۲۲۲۲، ۲۹۶۳، ۴۴۴۴، ۵۷۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز برای هر دو گوش راست و چپ معنی‌دار بوده و نشان‌دهنده وجود اختلاف در میانگین دامنه DPOAE در سناریوهای مختلف بود. همچنین نتایج آزمون اثرات درون گروهی به منظور بررسی اختلاف میانگین بین سناریوهای مواجهه در حالت تک متغیره، تاثیرگذاری سناریوهای مختلف مواجهه بر روی متغیر وابسته (دامنه

قابل توجه دامنه DPOAE در فرکانس‌های ۲۹۶۳، ۴۴۴۴ و ۵۷۰۰ هرتز در سناریوی مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV بود؛ ضمن اینکه در این سناریو، فرکانس ۴۴۴۴ هرتز نسبت به سایر فرکانس‌ها، کاهش بیشتری در دامنه DPOAE را نشان داد. در شکل ۱، روند تغییرات دامنه DPOAE در فرکانس‌های مختلف نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۱ نمایان است، بیشترین تغییرات دامنه DPOAE در مواجهه با سناریوی مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV، در فرکانس ۴۴۴۴ هرتز و فرکانس‌های مجاور آن اتفاق افتاد؛ در حالی که فرکانس‌های پایین، کمترین میزان کاهش در دامنه DPOAE را نشان داد.



شکل ۱: روند تغییرات دامنه DPOAE در فرکانس‌های مختلف در سناریوهای مورد مطالعه

جدول ۷: بررسی تغییرات دامنه DPOAE قبل و بعد از مواجهه بین سناریوهای مورد مطالعه

آزمون اثرات درون گروهی		آزمون چند متغیره		فرکانس DPOAE (هرتز)	گوش
توان آزمون	P-Value	P-Value	P-Value		
۰/۳۲۶	۰/۲۱۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۹۸۸	راست
۰/۴۳۴	۰/۱۱۸	۰/۱۳۸	۰/۱۳۸	۱۴۸۱	
۰/۹۸۹	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۲۲۲۲	
۱/۰۰	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۲۹۶۳	
۱/۰۰	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۴۴۴۴	
۱/۰۰	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۵۷۰۰	
۰/۸۸۴	۰/۰۰۳	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۸۰۰۰	
۰/۳۱۷	۰/۱۷۸	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۹۸۸	چپ
۰/۲۶۵	۰/۲۴۶	۰/۱۵۳	۰/۱۵۳	۱۴۸۱	
۰/۹۳۵	۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۲۲۲۲	
۱/۰۰	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۲۹۶۳	
۱/۰۰	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۴۴۴۴	
۱/۰۰	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۵۷۰۰	
۰/۸۴۸	۰/۰۰۵	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۸۰۰۰	

از آزمون مقایسه‌های دوگانه و آزمون تعقیبی استفاده گردید. به دلیل وجود اختلاف معنادار در فرکانس‌های ۲۲۲۲، ۲۹۶۳، ۴۴۴۴، ۵۷۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز، آزمون مقایسه‌های دوگانه برای بررسی اثرات متقابل، تنها برای

DPOAE را تایید می‌نماید. با توجه به وجود اختلاف آماری معنادار در میانگین دامنه DPOAE در سناریوهای مختلف مواجهه، برای مقایسه میانگین بین گروه‌ها (سناریوهای مواجهه)



بین دو سناریوی مواجهه با WBV و مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV اختلاف معناداری مشاهده نشد. در سایر فرکانس‌ها، اختلاف معناداری بین سه سناریوی مورد بررسی وجود داشت؛ بدین معنی که بیشترین میزان تغییرات دامنه DPOAE مربوط به سناریوی مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV و سپس سناریوی مواجهه با WBV بود. کمترین میزان تغییرات دامنه DPOAE نیز مربوط به سناریوی بدون مواجهه بود.

این فرکانس‌ها انجام گرفت. نتایج مقایسه‌های دوگانه بر مبنای آزمون تعقیبی برای هر دو گوش راست و چپ در جدول ۸ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج جدول ۸، در فرکانس ۲۲۲۲ هرتز، تنها مواجهه هم‌زمان صدا و WBV دارای اختلاف معناداری با دیگر سناریوها بود. همچنین در فرکانس ۲۲۲۲ هرتز نیز وضعیت مشابهی با فرکانس ۲۲۲۲ هرتز وجود داشت؛ ضمن اینکه در فرکانس ۸۰۰۰ هرتز

جدول ۸: آزمون مقایسه‌های دوگانه به منظور بررسی اثرات متقابل

فرکانس DPOAE (هرتز)	آزمون مقایسه‌های دوگانه (P-Value)			گوش راست
	سناریوی مواجهه بدون مواجهه	مواجهه با ارتعاش	مواجهه با صدا و ارتعاش	
۲۲۲۲	بدون مواجهه	۰/۰۶۴	<۰/۰۰۱	گوش راست
	مواجهه با WBV	-	۰/۰۰۷	
	مواجهه با صدا و WBV	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	
۲۹۳۶	بدون مواجهه	۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	گوش راست
	مواجهه با WBV	-	<۰/۰۰۱	
	مواجهه با صدا و WBV	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	
۴۴۴۴	بدون مواجهه	-	<۰/۰۰۱	گوش راست
	مواجهه با WBV	-	<۰/۰۰۱	
	مواجهه با صدا و WBV	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	
۵۷۰۰	بدون مواجهه	-	<۰/۰۰۱	گوش راست
	مواجهه با WBV	-	<۰/۰۰۱	
	مواجهه با صدا و WBV	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	
۸۰۰۰	بدون مواجهه	-	<۰/۰۰۱	گوش راست
	مواجهه با WBV	-	۰/۰۶۴	
	مواجهه با صدا و WBV	<۰/۰۰۱	۰/۰۶۴	
۲۲۲۲	بدون مواجهه	۰/۰۷۱	<۰/۰۰۱	گوش چپ
	مواجهه با WBV	-	۰/۰۲۰	
	مواجهه با صدا و WBV	<۰/۰۰۱	۰/۰۲۰	
۲۹۳۶	بدون مواجهه	۰/۰۰۵	<۰/۰۰۱	گوش چپ
	مواجهه با WBV	-	۰/۰۰۵	
	مواجهه با صدا و WBV	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	
۴۴۴۴	بدون مواجهه	-	<۰/۰۰۱	گوش چپ
	مواجهه با WBV	-	<۰/۰۰۱	
	مواجهه با صدا و WBV	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	
۵۷۰۰	بدون مواجهه	-	<۰/۰۰۱	گوش چپ
	مواجهه با WBV	-	۰/۰۰۶	
	مواجهه با صدا و WBV	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	
۸۰۰۰	بدون مواجهه	-	<۰/۰۰۱	گوش چپ
	مواجهه با WBV	۰/۱۶۱	۰/۰۶۵	
	مواجهه با صدا و WBV	<۰/۰۰۱	۰/۰۶۵	

رانندگان ماشین‌آلات سنگین شرکت‌کننده در این مطالعه، در سناریوهای مختلف مواجهه تنها و مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV مورد بررسی قرار گرفتند. در هرکدام از جلسات مواجهه، دامنه DPOAE، برای بررسی مواجهه با صدا و WBV مورد استفاده قرار گرفت و نتایج حاصل از آن، نشان‌دهنده تغییرات معناداری در دامنه DPOAE، به‌عنوان پاسخ سیستم شنوایی آزمودنی‌ها، در سناریوهای مورد مطالعه بود.

مواجهه با صدا باعث تغییرات فیزیولوژیکی در سلول‌های مویی حلزون شنوایی بویژه OHCs می‌شود. از آنجاکه ارزیابی گسیل‌های شنوایی، یکی از روش‌های مطالعه وضعیت سلامت OHCs و همچنین آسیب‌های ناشی از مواجهه با صدا می‌باشد (۴۴)، تغییر در دامنه DPOAE به علت تأثیر مواجهه با صدا بر روی فعالیت‌های بیومکانیکی میکروسکوپیک OHCs و در نتیجه اختلالات عملکردی سلولی اتفاق می‌افتد (۵۷)؛ بنابراین سیگنال‌های صوتی تولیدشده توسط حلزون که در نتیجه فعالیت OHCs ایجاد شده‌اند، دچار اختلال شده و به‌صورت کاهش در دامنه DPOAE خود را نشان می‌دهد (۴۳). از سوی دیگر، DPOAE می‌تواند منعکس‌کننده افت موقت آستانه شنوایی (TTS<sup>۱</sup>) باشد که تحت عنوان خستگی شنوایی<sup>۲</sup> نیز شناخته می‌شود (۴۹، ۵۰). بطور کلی، TTS به علت تغییرات فیزیکی برگشت‌پذیر حلزون به علل احتمالی شکسته شدن اتصالات نوک بین مژک‌های OHCs، از دست دادن تماس بین مژک‌ها و غشای تکتوریال، تورم رشته‌های عصبی شنوایی به دلیل انتشار بیش از حد انتقال‌دهنده عصبی از IHCs و همچنین کاهش جریان خون حلزون شنوایی اتفاق می‌افتد (۵۸) که در صورت مواجهه طولانی مدت با صدا، مرگ تدریجی سلول‌های مویی حلزون شنوایی و در نهایت ایجاد افت دائم شنوایی (PTS<sup>۳</sup>) اتفاق می‌افتد (۵۹). تغییر معنادار دامنه DPOAE در مواجهه با صدا در

1. Temporary Threshold Shift
2. Auditory Fatigue
3. Permanent Threshold Shift

پژوهش‌های گذشته نیز عنوان شده‌است. به‌عنوان نمونه انگدال و کمپ در مطالعه خود به منظور بررسی تأثیر مواجهه با صدا بر مقادیر DPOAE، نمونه‌های انسانی خود را به مدت ۱۰ دقیقه در مواجهه با صدای ۱۰۲ دسی‌بل در محدوده فرکانسی ۲ کیلوهرتز قرار دادند و در نتیجه‌گیری خود بیان داشتند که مواجهه با صدا باعث کاهش معنادار دامنه DPOAE می‌گردد که وابسته به فرکانس بوده و بیشترین میزان آن نیز یک‌دوم اکتاو بالاتر از فرکانس صدای در مواجهه می‌باشد (۶۰). آتیاس نیز در مطالعه آزمایشگاهی خود، تأثیر مواجهه با صدای ۹۰ دسی‌بل را بر روی شرکت‌کنندگان مطالعه خود مورد بررسی قرار داد و کاهش دامنه DPOAE را گزارش نمود (۶۱). همچنین زارع در مطالعه میدانی خود به منظور بررسی تأثیر صدا بر روی کارگران شاغل در فعالیت‌های معدنی، کاهش دامنه DPOAE در طول نوبت کاری را در یافته‌های مطالعه خود ارائه کرد (۵۷). در مطالعه میدانی دیگری که به منظور بررسی آسیب حلزونی ناشی از مواجهه کوتاه مدت با صدا انجام شد، افراد شرکت‌کننده در یک کنسرت موسیقی به‌طور میانگین به مدت ۳ ساعت در مواجهه با ۹۱ دسی‌بل صدا قرار داشتند. نتایج این مطالعه تغییرات معنادار دامنه DPOAE را نشان داد و نویسندگان پیشنهاد نمودند که این روش می‌تواند معیار حساس‌تری برای بررسی تغییرات حلزون، پس از مواجهه با صدا باشد (۶۲) از مهمترین یافته‌های پژوهش حاضر، کاهش معنادار دامنه DPOAE در مواجهه با WBV بود. نتایج مطالعات برخی محققین دیگر نظیر اکادا (۲۵)، اولسپرگر (۳۲) و پیکو (۶۳)، هم‌سو با یافته‌های مطالعه حاضر، مواجهه تنها با WBV را عاملی برای کاهش شنوایی بیان نموده‌اند. به‌عنوان نمونه اکادا در مواجهه شرکت‌کنندگان با WBV در دو سطح ارتعاشی ۵ و ۱۰ m/s<sup>۲</sup>، تغییر معناداری در شاخص TTS را بیان نموده است (۲۵). همچنین برخی مطالعات حیوانی صورت گرفته در مواجهه با WBV، نشان‌دهنده تأثیر مخرب ارتعاش بر روی ساختارهای گوش داخلی می‌باشند (۲۶، ۲۸). به نظر می‌رسد مواجهه با WBV به‌عنوان یک عامل استرسی می‌تواند باعث

بررسی تاثیر مواجهه هم‌زمان صدا و WBV بر روی سیستم شنوایی پرداخته‌اند (۲۵، ۶۶-۶۹). به‌عنوان مثال منین در مطالعه خود مواجهه هم‌زمان صدا با WBV را باعث افزایش ۱/۵-۱/۲ برابری افت شنوایی شرکت‌کنندگان در مطالعه خود، بر اساس شاخص TTS عنوان کرده است. بر اساس یافته‌های مطالعه مذکور، WBV، عملکردی مشابه صدا در فرکانس‌های پایین دارد و دارای اثرات هم‌افزایی با صدا است. به نظر می‌رسد هنگامی که فرکانس WBV نزدیک به فرکانس بدن انسان می‌باشد، مواجهه هم‌زمان صدا با WBV، می‌تواند اثرات صدا بر روی سیستم شنوایی را تشدید کند (۳۴). همچنین در مطالعه مشابه دیگری، اکادا و همکارانش تاثیر مواجهه هم‌زمان صدای ۱۰۱ دسی‌بلی ضبط‌شده یک کارخانه صنعتی را با WBV با فرکانس ۵ هرتز و شتاب  $5 \text{ m/s}^2$  مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های مطالعه آن‌ها، نشان‌دهنده افزایش میزان شاخص TTS در مقایسه با مواجهه تنها با صدا بود (۲۵). در مطالعه دیگری که توسط یوکویاما و همکارانش انجام شد، مواجهه هم‌زمان صدا با WBV در یک دوره ۲۰ دقیقه‌ای باعث افزایش میزان TTS شرکت‌کنندگان در مطالعه، نسبت به مواجهه تنها با صدا شد؛ بر اساس این مطالعه، مواجهه با WBV، آسیب‌پذیری ارگان شنوایی در اثر مواجهه با صدا را تشدید می‌کند. در مواجهه هم‌زمان WBV با صدا، WBV می‌تواند منجر به اختلالات هم‌ایستایی فیزیولوژیکی شده و در نتیجه، اثرات صدا بر سیستم شنوایی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، به دلیل ویژگی‌های خاص آناتومیکی گوش داخلی، اختلالات ناشی از ارتعاش ممکن است بر مویرگ‌های پشتیبان اعصاب شنوایی تأثیر بگذارد (۳۰). در یک مطالعه مشابه، سیدل و همکارانش اظهار داشتند که مواجهه هم‌زمان صدا با WBV با فرکانس ۴ هرتز و شتاب  $1 \text{ m/s}^2$ ، با توجه به حساسیت فردی، معادل افزایش ۱-۶ دسی‌بل در سطح صدا است؛ آن‌ها بیان نمودند که مواجهه با WBV، باعث پاسخ عضلات گوش میانی و آسیب‌های مکانیکی به گوش داخلی می‌شود. در نتیجه، مواجهه هم‌زمان صدا با WBV، موجب افزایش بار وارده به گوش داخلی در

فعالیت سیستم سمپاتیک شده و همچون مکانیسم‌های درگیر در مواجهه با صدای بالا، باعث تأثیر بر روی سیستم شنوایی شود (۲۵، ۳۰، ۶۴). از سوی دیگر نتایج مطالعات صورت گرفته توسط سیدل (۳۳)، یوکویاما (۳۰) و منین (۳۴) با نتایج این مطالعه هم‌خوانی ندارند. سیدل در مواجهه شرکت‌کنندگان مطالعه خود با WBV با فرکانس ۴ هرتز و شتاب  $1 \text{ m/s}^2$ ، تغییر معنی‌داری را در شاخص TTS مشاهده نمود (۳۳). همچنین منین در مواجهه WBV در فرکانس ۵ هرتز با شتاب  $2/12 \text{ m/s}^2$  و ارتعاش ۱۰ هرتز با شتاب  $2/65 \text{ m/s}^2$ ، افت شنوایی معنی‌داری را گزارش نکرد (۳۴). همچنین در فاز آزمایشگاهی مطالعه انجام شده در این زمینه توسط نویسندگان این مقاله نیز، مواجهه تنها با WBV باعث افت معنادار دامنه DPOAE در شرکت‌کنندگان مطالعه نشد (۱۰). از دلایل عمده تفاوت نتایج حاصل‌شده در مطالعات مختلف، می‌توان به تفاوت متدولوژی‌های مورداستفاده در این مطالعات اشاره نمود، که از مهم‌ترین آن‌ها شتاب و مدت مواجهه می‌باشد. هرچند مطالعات محدودی در این زمینه صورت پذیرفته‌است ولی باین‌حال، بیشتر مطالعات صورت گرفته در محیط‌های آزمایشگاهی و با شتاب ارتعاشی و مدت زمان محدود مواجهه بوده است. به‌طور کلی، بر اساس نتایج مطالعات عنوان‌شده و مطالعه حاضر، به نظر می‌رسد مدت‌زمان مواجهه و همچنین شتاب مواجهه با ارتعاش، دو عامل اصلی در میزان پاسخ‌های شنوایی هستند. بنابراین، یک میزان حداقلی دز مواجهه برای تأثیر WBV بر آستانه شنوایی لازم است (۲۵، ۶۵).

در مطالعه حاضر، مواجهه هم‌زمان با صدا و WBV باعث کاهش بیشتر دامنه DPOAE نسبت به مواجهه تنها با WBV گردید. در واقع، مواجهه هم‌زمان صدا و WBV باعث افزایش تأثیر بر پاسخ سیستم شنوایی گردیده و افت شنوایی بیشتری را می‌تواند بدنبال داشته باشد. اگرچه در این مطالعه، امکان اندازه‌گیری میزان مواجهه تنها با صدا و بررسی اثرات آن بر روی دامنه DPOAE وجود نداشت، ولی وجود برخی اثرات هم‌افزایی در مواجهه هم‌زمان صدا و WBV دور از انتظار نمی‌باشد. مطالعات محدودی به

گوش مورد بررسی قرار گرفت، ولی با توجه به عدم وجود اطلاعات مستند و عدم امکان بررسی های تخصصی تر عملکردهای سیستم شنوایی، نحوه تأثیر مواجهات قبلی صدا و ارتعاش روی سیستم شنوایی رانندگان و اثرات احتمالی انطباق در سیستم شنوایی، مبهم می باشد؛ که می تواند به عنوان موضوعی برای تحقیقات آتی در نظر گرفته شود.

### نتیجه گیری

مواجهه رانندگان ماشین آلات سنگین با سطوح بالایی از صدا و WBV، لزوم افزایش درک جنبه های مختلف اثرات بهداشتی و ایمنی مواجهه با این عوامل را برای این گروه از شاغلان، بیشتر می نماید. نتایج این مطالعه تاییدکننده پیامدهای آسیب رسان مواجهه با صدا بر روی پاسخ شنیداری مورد بررسی در این پژوهش بود؛ ضمن اینکه شواهدی مبنی بر اثرات آسیب زای مواجهه با WBV بر سیستم شنوایی رانندگان ماشین آلات سنگین ارائه نمود. بنابراین، برای پیشگیری از بیماری ها و حوادث ناشی از این مواجهات شغلی، نیازمند توجه بیش از پیش سیاستگذاران بهداشتی و همچنین کارشناسان بهداشت شغلی از جنبه تدوین حدود مجاز شغلی و همچنین آیین نامه های ایمنی رانندگان ماشین آلات سنگین می باشد. همچنین، این مطالعه تاییدکننده استفاده از آزمون های OAE به عنوان یک ابزار غربالگری مناسب جهت ارزیابی وضعیت شنوایی شاغلین در مواجهه با صدا و WBV، همراه با سایر روش های استاندارد پایش شنوایی می باشد. نتایج این مطالعه می تواند در مراحل اولیه و با اجرای برنامه های پیشگیرانه بهداشتی، منجر به بهبود اقدامات نظارتی بهداشت شغلی برای رانندگان ماشین آلات سنگین معدنی و ساختمانی گردد.

### تشکر و قدردانی

این مطالعه قسمتی از طرح تحقیقاتی به شماره ۹۸۰۲۲۴۱۶۲۱ مصوب دانشگاه علوم پزشکی همدان می باشد. لذا نویسندگان، از حمایت های مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان

مقایسه با مواجهه تنها با صدا می گردد (۳۳). همچنین در مطالعه ای که توسط نصیر و همکارانش ارائه شد، کارکنان فرودگاه که در مواجهه همزمان با صدا و WBV بودند، ۲ برابر بیشتر از افرادی که در مواجهه تنها با صدا قرار داشتند، در معرض خطر کاهش شنوایی بودند. آن ها اظهار داشتند که افت شنوایی ناشی از صدا ممکن است دلایل هم افزایی چند عاملی داشته باشد (۶۹). برخلاف این مطالعات، پژوهش صورت گرفته توسط سیلوا و لوک زاده اثر متقابلی را بین مواجهه همزمان با صدا و WBV بر روی سیستم شنوایی گزارش نموده اند (۷۰، ۷۱). سیلوا و همکارش در مطالعه میدانی خود که اثرات ترکیبی مواجهه با صدا و WBV بر روی کاهش شنوایی رانندگان اتوبوس را بررسی نمودند، تفاوت معنی داری بین مواجهه همزمان صدا و WBV با مواجهه تنها با صدا بر روی افت شنوایی را گزارش نکردند (۷۰). به طور مشابهی، لوک زاده و همکارانش در مطالعه خود به منظور بررسی تغییر آستانه شنوایی لاکوموتیورانان، ارتباطی بین مواجهه همزمان با صدا و WBV با افت شنوایی پیدا نکردند (۷۱). از دلایل تفاوت نتایج در مطالعات مختلف می توان به تفاوت در فرکانس، شتاب و طول مدت مواجهه با ارتعاش، نوع ارتعاش مواجهه یافته، پاسخ شنوایی مورد بررسی، ابزار ارزیابی عملکرد شنوایی، ویژگی های شرکت کنندگان و همچنین دستورالعمل اجرای مطالعه اشاره نمود.

هرچند انجام مطالعات میدانی دارای نقاط قوت بسیاری بوده و نتایج حاصل از آن، بر اساس محیط ها و مواجهات واقعی شغلی بدست آمده، ولی دارای برخی محدودیت ها نسبت به مطالعات آزمایشگاهی و شبیه سازی شده می باشد؛ که از مهمترین این محدودیت ها، عدم کنترل مناسب نسبت به شرایط اجرای پژوهش می باشد. در این مطالعه نیز مهمترین محدودیت موجود، عدم امکان اندازه گیری میزان مواجهه تنها با صدا و بررسی اثرات آن بر روی دامنه DPOAE رانندگان ماشین آلات سنگین بود.

اگرچه در این مطالعه، وضعیت شنوایی رانندگان، از طریق آزمون های ادیومتری، DPOAE و معاینات ظاهری

### ≡ کد اخلاق

این پژوهش با رعایت کامل اصول اخلاقی انجام شده است. کد اخلاقی با شماره IR.UMSHA.REC.1398.108 دریافت شده است.

تشکر می‌نمایند. همچنین نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از همه رانندگان ماشین‌آلات سنگین شرکت‌کننده در این مطالعه و همچنین مسئولین معادن محل اجرای این پژوهش، نهایت سپاس را داشته باشند.

### ≡ REFERENCES

- Duffy OC, Wright G, Heard SA. Fundamentals of mobile heavy equipment. Jones & Bartlett Learning; 2017.
- Johanning E. Whole-body vibration-related health disorders in occupational medicine – an international comparison. *Ergonomics*. 2015;58(7):1239-52.
- Hekmatmanesh A, Zhidchenko V, Kauranen K, Siitonen K, Handroos H, Soutukorva S, Kilpeläinen A. Biosignals in human factors research for heavy equipment operators: A review of available methods and their feasibility in laboratory and ambulatory studies. *IEEE Access*. 2021;9:97466-82.
- Kazan E, Usmen MA. Worker safety and injury severity analysis of earthmoving equipment accidents. *J Safety Res*. 2018;65:73-81.
- Mehmood I, Li H, Umer W, Arsalan A, Anwer S, Mirza MA, et al. Multimodal integration for data-driven classification of mental fatigue during construction equipment operations: Incorporating electroencephalography, electrodermal activity, and video signals. *Dev Built Environ*. 2023:100198.
- Amiri M, Ardeshir A, Zarandi MHE. Risk-based analysis of construction accidents in Iran during 2007-2011-meta analyze study. *Iran J Public Health*. 2014;43(4):507.
- Dewangan KN, Patel T. Noise exposure and hearing loss among tractor drivers in India. *Work*. 2023;74(1):16.81-7.
- Legris M, Poulin P. Noise exposure profile among heavy equipment operators, associated laborers, and crane operators. *AIHAJ*. 1998;59(11):774-8.
- Marin LS, Rodriguez AC, Rey-Becerra E, Piedrahita H, Barrero LH, Dennerlein JT, Johnson PW. Assessment of whole-body vibration exposure in mining earth-moving equipment and other vehicles used in surface mining. *Ann Work Expo Health*. 2017;61(6):669-80.
- Golhosseini SMJ, Aliabadi M, Golmohammadi R, Farhadian M, Akbari M, Nahrani MH, Samavati M. The influence of combined exposure to noise and whole-body vibration on hearing loss under simulated heavy equipment driving conditions. *Appl Acoust*. 2021;179:108058.
- Fink D. What is the safe noise exposure level to prevent noise-induced hearing loss? *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2024:1-5.
- Hailu A, Zeleke B, Ermias Z, Duguma FK, Dula S, Abaya SW, et al. Prevalence and associated factors of noise-induced hearing loss among workers in Bishoftu Central Air Base of Ethiopia. *Sci Rep*. 2024;14(1):10762.
- Liu Y, Ao L, Li Y, Zhao Y, Wen Y, Ding H. The SIRT2 inhibitor AK-7 decreases cochlear cell apoptosis and attenuates noise-induced hearing loss. *Biochem Biophys Res Commun*. 2019.
- Sliwinska-Kowalska M, Pawelczyk M. Contribution of genetic factors to noise-induced hearing loss: A human studies review. *Mutat Res*. 2013;752(1):61-5.
- Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, Stansfeld S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet*. 2014;383(9925):1325-32.
- Mehrotra A, Shukla SP, Shukla A, Manar MK, Singh S, Mehrotra M. A Comprehensive Review of Auditory and Non-Auditory Effects of Noise on Human Health. *Noise Health*. 2024;26(121):59-69.
- Themann CL, Masterson EA. Occupational noise exposure: A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden. *J Acoust Soc Am*. 2019;146(5):3879-905.
- Golhosseini SMJ, Poorghorbani MH, Omid S, Izakshiriyani H. The assessment of relationship between noise exposure at workplace and sleep quality. *Iran Occup Health*. 2016;13(5):60-70.
- OEL Assessment Guideline for Noise and Vibration. Sect. 7-8 (2017).
- Costa N, Arezes P, Melo R. Effects of occupational

- vibration exposure on cognitive/motor performance. *Int J Ind Ergon.* 2014;44(5):654-61.
21. Golhosseini SMJ, Aliabadi M, Golmohammadi R, Farhadian M, Akbari M, Nahrani MH, Samavati M. Combined effects of exposure to noise and vibration on human postural equilibrium under simulated driving conditions. *Sound Vib.* 2022;56(1).
  22. Halmi B, Holsgrove TP, Vine SJ, Harris DJ, Williams GK. The after-effects of occupational whole-body vibration on human cognitive, visual, and motor function: A systematic review. *Appl Ergon.* 2024;118:104264.
  23. Li Z, Zhang M, Li J, Xin Q, Chen G, Li J, Liu F. Spectral analysis of cerebral oxygenation responses to seated whole-body vibration in healthy men. *Int J Ind Ergon.* 2012;42(4):341-6.
  24. Ullsperger P, Seidel H, Menzel G. Effect of whole-body vibration with different frequencies and intensities on auditory evoked potentials and heart rate in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;54:661-8.
  25. Okada A, Miyake H, Yamamura K, Minami M. Temporary hearing loss induced by noise and vibration. *J Acoust Soc Am.* 1972;51(4B):1240-8.
  26. Najarkola SAM, Khavanin A, Mirzaei R, Salehnia M, Muhammadnejad A. Cochlear damages caused by vibration exposure. *Iran Red Crescent Med J.* 2013;15(9):771.
  27. Miyakita T, Miura H, Futatsuka M. An experimental study of the physiological effects of chain saw operation. *Occup Environ Med.* 1987;44(1):41-6.
  28. Soliman S, El-Atreby M, Tawfik S, Holail E, Iskandar N, Abou-Setta A. The interaction of whole body vibration and noise on the cochlea. *Int Congr Ser.* 2003;1240:209-216.
  29. Frisina RD. Anatomical and neurochemical bases of presbycusis. In: Hof PR, editor. *Functional Neurobiology of Aging.* Academic Press; 2001. p. 531-47.
  30. Yokoyama T, Osako S, Yamamoto K. Temporary threshold shifts produced by exposure to vibration, noise, and vibration-plus-noise. *Acta Otolaryngol.* 1974;78(1-6):207-12.
  31. Seki M, Miyasaka H, Edamatsu H, Watanabe K. Changes in permeability of stria vascularis following vibration given to auditory ossicle by drill. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2001;110(2):122-6.
  32. Ullsperger P, Seidel H, Menzel G. Effect of whole-body vibration with different frequencies and intensities on auditory evoked potentials and heart rate in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;54(6):661-8.
  33. Seidel H, Harazin B, Pavlas K, Sroka C, Richter J, Blüthner R, et al. Isolated and combined effects of prolonged exposures to noise and whole-body vibration on hearing, vision and strain. *Int Arch Occup Environ Health.* 1988;61(1-2):95-106.
  34. Manninen O. Studies of combined effects of sinusoidal whole body vibrations and noise of varying bandwidths and intensities on TTS 2 in men. *Int Arch Occup Environ Health.* 1983;51(3):273-88.
  35. Ottoboni F, Milby TH. Occupational disease potentials in the heavy equipment operator. *Arch Environ Health.* 1967;15(3):317-21.
  36. Mazlan AN, Yahya K, Haron Z, Mohamed NA, Rasib ENA, Jamaludin N, Darus N, editors. *Characteristic of noise-induced hearing loss among workers in construction industries.* E3S Web Conf. 2018: EDP Sciences.
  37. Hong O. Hearing loss among operating engineers in American construction industry. *Int Arch Occup Environ Health.* 2005;78:565-74.
  38. Karimi A, Nasiri S, Kazerooni FK, Oliaei M. Noise induced hearing loss risk assessment in truck drivers. *Noise Health.* 2010;12(46):49-55.
  39. Rezaei L, Alipour V. Prevalence of noise induced hearing loss among vehicle drivers at Bandar Abbas freight terminal, south of Iran. *Environ Health Eng Manag.* 2015;2(3):135-9.
  40. WHO. *Prevention of noise-induced hearing loss : report of an informal consultation held at the World Health Organization, Geneva, on 28-30 October 1997.* Geneva; 1997.
  41. Carroll YI, Eichwald J, Scinicariello F, Hoffman HJ, Deitchman S, Radke MS, et al. Vital signs: Noise-induced hearing loss among adults—United States 2011–2012. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2017;66(5):139.
  42. Neitzel RL, Swinburn TK, Hammer MS, Eisenberg D. Economic impact of hearing loss and reduction of noise-induced hearing loss in the United States. *J Speech Lang Hear Res.* 2017;60(1):182-9.
  43. Poole K, Codling A, Frost G. Optimum test conditions and variability of otoacoustic emission testing in individuals with normal hearing (RR840). Buxton: HSE

- Books. 2011.
44. Rosati MV, Tomei F, Loreti B, Casale T, Cianfrone G, Altissimi G, et al. Distortion-product otoacoustic emissions in workers exposed to urban stressors. *Arch Environ Occup Health*. 2018;73(3):176-85.
  45. hupak A, Tal D, Sharoni Z, Oren M, Ravid A, Pratt H. Otoacoustic emissions in early noise-induced hearing loss. *Otol Neurotol*. 2007;28(6):745-52.
  46. Seixas N, Kujawa S, Norton S, Sheppard L, Neitzel R, Slee A. Predictors of hearing threshold levels and distortion product otoacoustic emissions among noise exposed young adults. *Occup Environ Med*. 2004;61(11):899-907.
  47. Attias J, Horovitz G, El-Hatib N, Nageris B. Detection and clinical diagnosis of noise-induced hearing loss by otoacoustic emissions. *Noise Health*. 2001;3(12):19.
  48. Prasher D, Sulkowski W. The role of otoacoustic emissions in screening and evaluation of noise damage. *Int J Occup Med Environ Health*. 1999;12(2):183-92.
  49. Zebian M, Fedtke T, Hensel J. Otoacoustic emission retrograde standing waves caused by eartip foams. *Appl Acoust*. 2011;72(7):470-6.
  50. Marshall L, Miller JAL, Heller LM. Distortion-product otoacoustic emissions as a screening tool for noise-induced hearing loss. *Noise Health*. 2001;3(12):43.
  51. Yuan H, Ma PW, Chen JW, Wang WL, Gao W, Lu PH, et al. Development of an audiological assessment and diagnostic model for high occupational noise exposure. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2023;280(6):2763-72.
  52. Sisto R, Botti T, Cerini L, Di Giovanni R, Marchetti E, Lunghi A, et al. Synergistic effects of noise and hand-arm vibration on distortion product otoacoustic emissions in healthy subjects. *Int J Ind Ergon*. 2017;62:48-54.
  53. Gorga MP, Neely ST, Dierking DM, Kopun J, Jolkowski K, Groenenboom K, et al. Low-frequency and high-frequency distortion product otoacoustic emission suppression in humans. *J Acoust Soc Am*. 2008;123(4):2172-90.
  54. Nadon V, Bockstael A, Botteldooren D, Lina JM, Voix J. Individual monitoring of hearing status: Development and validation of advanced techniques to measure otoacoustic emissions in suboptimal test conditions. *Appl Acoust*. 2015;89:78-87.
  55. Sterling M. General health questionnaire-28 (GHQ-28). *J Physiother*. 2011;57(4):259.
  56. Strasser H, Irle H, Linke S. Hearing threshold shifts and restitution course after impulse and continuous noise at the frequency of the maximum threshold shift and the adjacent lower and upper frequencies. *Biomed Health Res*. 2005;66:67.
  57. Zare S, Nassiri P, Monazzam MR, Pourbakht A, Azam K, Golmohammadi T. Evaluation of distortion product otoacoustic emissions (DPOAEs) among workers at an industrial company exposed to different industrial noise levels in 2014. *Electron Physician*. 2015;7(3):1126.
  58. Katz J, Chasin M, English KM, Hood LJ, Tillery KL. *Handbook of clinical audiology*. 7th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 2015.
  59. Cunningham LL, Tucci DL. Hearing loss in adults. *N Engl J Med*. 2017;377(25):2465-73.
  60. Engdahl B, Kemp DT. The effect of noise exposure on the details of distortion product otoacoustic emissions in humans. *J Acoust Soc Am*. 1996;99(3):1573-87.
  61. Attias J, Bresloff I. Noise induced temporary otoacoustic emission shifts. *J Basic Clin Physiol Pharmacol*. 1996;7(3):221-33.
  62. Buckley JC, Fellows AM, Clavier OH, Allen LV, Brooks CA, Norris JA, et al. DPOAE level mapping for detecting noise-induced cochlear damage from short-duration music exposures. *Noise Health*. 2015;17(78):263-72.
  63. Pyykkö I, Pekkarinen J, Starck J. Sensory-neural hearing loss during combined noise and vibration exposure. *Int Arch Occup Environ Health*. 1987;59(5):439-54.
  64. Pettersson H, Burström L, Nilsson T. The effect on the temporary threshold shift in hearing acuity from combined exposure to authentic noise and hand-arm vibration. *Int Arch Occup Environ Health*. 2011;84(8):951-7.
  65. Pettersson H, Burström L, Hagberg M, Lundström R, Nilsson T. Noise and hand-arm vibration exposure in relation to the risk of hearing loss. *Noise Health*. 2012;14(59):159.
  66. Hamernik RP, Henderson D, Coling D, Slepceky N. The interaction of whole body vibration and impulse noise. *J Acoust Soc Am*. 1980;67(3):928-34.
  67. Manninen O. Hearing threshold and heart rate in men after repeated exposure to dynamic muscle work, sinusoidal vs stochastic whole body vibration and stable broadband noise. *Int Arch Occup Environ Health*. 1984;54(1):19-32.
  68. Seidel H, Blüthner R, Martin J, Menzel G, Panuska R,

- Ullsperger P. Effects of isolated and combined exposures to whole-body vibration and noise on auditory-event related brain potentials and psychophysical assessment. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;65(4):376-82.
69. Nasir H, Rampal K. Hearing loss and contributing factors among airport workers in Malaysia. *Med J Malaysia.* 2012;67(1):81-6.
70. Silva LF, Mendes R. Combined exposure to noise and vibration and its effects on worker's hearing. *Rev Saude Publica.* 2005;39(1):9-17.
71. Loukzadeh Z, Shahrad S, Shojaoddiny-Ardekani A, Mehrparvar AH, Alamdarian M. Effect of combined exposure to noise and vibration on hearing. *J Occup Environ Med.* 2019;23(3):121.