Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2024 (01 Jan);20: 22

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Investigating the Effect of Using Aerogel on Transmission Loss of Earmuff

Shahram Vosoughi, Associate Professor , Occupational Health Research Center , Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Niloufar Mesripour, (*Corresponding author), MSc of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Mesripour95n@gmail.com

Iraj Alimohammadi, Professor of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health, Engineering, School of Public Health, Occupational Health Research Center, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Jamileh Abolghasemi, Jamileh Abolghasemi: Associate Professor of Biostatistics, Department of Biostatistics, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Abstract

Background and aims: Noise is one of the harmful factors in workplaces. The most important effect of long-term exposure to it is hearing loss and its impact on the human auditory system. This effect is understandable despite its irreversible and permanent nature. One of the easiest ways to mitigate this adverse effect is earmuffs. Nowadays, earmuffs are used with different sound insulation. Moreover, aerogels are acoustic and thermal insulators and can be a suitable alternative to the currently used compounds.

Methods: Three models of Iranian, Taiwanese, and American earmuffs were assembled with two models of aerogel (thickness of 5 mm and density of 120 kg/m3 as four layers and thickness of 10 mm and density of 140 kg/m3 as two layers). The noise reduction of the assembled earmuffs was investigated using an acoustic head mannequin.

Results: The obtained results showed that the acoustic properties of the earmuffs assembled with aerogel pads have been improved compared to before, and this difference is significant in Iranian earmuffs. The highest reduction was observed at the frequency of 8000 Hz, which was 34.5, 42, and 47.9 dB for the two-layer assembly and 33.5, 43.1, and 46.7 for the four-layer assembly in Iranian, Taiwanese, and American earmuffs. It was also found that double-layer aerogel pads performed better than four-layer pads.

Conclusion: Assembling earmuffs with aerogel pads can significantly improve acoustic performance and increase the amount of noise reduction in earmuffs. Of course, using the maximum amount of sound reduction requires sufficient monitoring of their correct use and the necessary training for their regular use.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Keywords

Noise

Earmuffs

Transmission Loss

Aerogel

Received: 2022/06/20

Accepted : 2023/08/18

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Noise is considered one of the harmful factors in the workplace, and exposure to it can lead to many injuries, including noise-induced hearing loss (NIHL). Sensorineural hearing loss is usually irreversible and permanent, but at the same time, it is also preventable. According to past studies, it is estimated that about 1.3 billion people worldwide suffer from hearing loss due to noise exposure. Therefore, preventing the adverse effects of exposure to noise and protecting workers' health is one of the most critical priorities of occupational health programs in various industries and occupations. Personal protective equipment, such as earmuffs and earplugs, are used as one of the usual control methods in the face of workplace noise. These devices create a physical barrier against sound and prevent sound transmission into the ear. An essential part of every earmuff is the foam layer, which can act as an insulator and sound absorber. Earmuff manufacturing companies mainly use several layers of foam or plastic to design and build these muffs. Although these structures improve the acoustic performance of earmuffs, due to the increase in weight, they cause contact stress in the area of the earlobe and its internal canal. Therefore, the provision of light earmuffs suitable for the dimensions of the operator's head with the ability to reduce the sound pressure level and transmission loss can be effective in increasing the acoustic efficiency of these muffs and increasing the willingness of employees to use these muffs. The lightness, low density, and high absorption coefficient and transmission loss of aerogels and low elasticity and high flexibility, as well as their insulation against sound and heat, caused us to investigate the acoustic properties of aerogels replaced in the inner cup of earmuffs instead of foam.

METHODOLOGY

1- Selection of Earmuff

In this study, three models of earmuffs commonly used in the country's industries were selected. Earmuffs used were manufactured by Iranian, Taiwanese, and American companies.

2- Assembling earmuff with aerogel pad

Blanket aerogels in two different models (the first type with a thickness of 5 mm with a density of 120 Kg/m3 and the second type with a thickness of 10 mm with a density of 140 Kg/m3) with 95% porosity, were prepared to fill the cups of earmuffs. In this study, earmuff cups were placed with 5 and 10 mm aerogels in four and two layers to reach the final thickness of 20 mm after emptying the foams.

3- Measuring the amount of sound reduction of the assembled earmuffs using the acoustic mannequin of the head

The Avasina 9402 head mannequin was used to measure the noise reduction of earmuffs assembled with aerogel pads based on ISO 4869-3 standard. This unit is designed in terms of ergonomic dimensions, flexibility, density, and acoustic behavior similar to the human head. A microphone inside and another microphone outside the ear are used to measure noise reduction. The amount of noise reduction measured is the difference between the sound pressure level of the collision and the sound pressure level received; that is, the difference in the sound pressure level between the outside and the inside of the hearing protection device was measured.

4- Statistical analysis of data

The data was analyzed by SPSS software (version 25) at a confidence level of 95%. Paired-Samples T-Test was used to compare the effect of aerogel layers on three earmuff models.

RESULTS

The actual noise reduction of earmuffs before assembly was obtained by applying the 75% difference suggested by NIOSH to the nominal noise reduction labeled on the earmuffs and to determine the noise

Table 1. Characteristics of studied earmuffs

Pad	handle	Cup	Cushion	Weight	Image	Country	Number
Sponge	Metal	Plastic	Plastic	184,08		Iran	1
Soft foam	Stainless steel	ABS	PVC	236,85		Taiwan	2
PVC	Stainless steel wires	ABS with inner polyether coating	Polyether with PVC cover	241,45		USA	3

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]

Table 2. Earmuff components before assembly and after assembly of two and four layers with aerogel pads

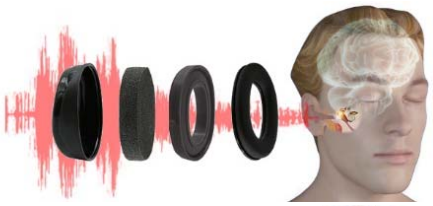
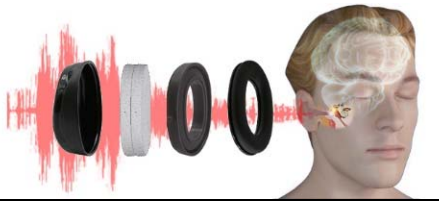
	Before assembly with aerogel pads
	Two and four-layer assembly with aerogel pads

Fig. 1. Head acoustic mannequin

reduction rate of earmuffs after assembly with the actual noise reduction values measured with the head mannequin. The investigations showed no noticeable difference in the amount of sound reduction in the Iranian earmuff assembled with two-layer and four-layer pads at low frequencies (125 and 250 Hz). The increase in the difference in the amount of sound reduction can be seen from the frequency of 250 Hz. The maximum amount of the difference was observed at the frequency of 4000 Hz. There was no statistically significant difference in comparing Iranian earmuff noise reduction after four-layer assembly and before. However, except for the frequencies of 125, 250, 500, and 2000 Hz, which have almost similar performance, in other frequencies, the amount of noise reduction was higher after assembling four layers. This difference reaches its maximum value at 8000 Hz (11.03 dB), unlike the earmuff assembled with a two-layer aerogel pad. The results showed a statistically significant difference between the amount of noise reduction of Iranian earmuff before assembly and after assembly of two layers. In all frequencies, the assembled earmuff has reduced the sound more. At the frequencies of 125 and 250 Hz, like the results obtained in the assembly of four layers, the noise reduction performance of earmuff before assembly and after assembly of two layers is almost the same, and the difference does not even reach one decibel. The most significant difference in noise reduction between the earmuff before assembly and the earmuff assembled with two layers of aerogel occurred at 4000 Hz, which showed a difference of 17.25 dB. In Taiwanese earmuffs, the difference in noise reduction of earmuffs before assembly and after is less in different frequencies and not as much as the differences in Iranian earmuffs. However, in this earmuff model, the assembly with a two-layer pad performed better, and statistically, the amount of reduction was significantly different from the state before assembly. The most significant difference in noise reduction was observed between the two-layered earmuff before assembly and the four-layered earmuff at 4000 Hz.

In the American earmuff up to the frequency of 500 Hz, all three modes of this earmuff, i.e., before assembly and after assembly with two and four-layer pads, left a similar performance. From the frequency of 500 Hz onwards, the difference in the amount of noise reduction starts to increase. In this earmuff up to the frequency of 2000 Hz, the earmuff assembled with four layers of aerogel has

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]

shown better performance. That is, the performance of the earmuff after four layers of assembly has been better at low frequencies. However, two-layer earmuff has performed better in high frequencies, so its reduction rate is higher from 2000 to 8000 Hz. The most significant difference was seen in the frequency of 4000 Hz, and 2.6 decibels of the noise reduction rate of the two-layer earmuff was better than the others. This difference with earmuff before assembly at the same frequency should be noted that it reaches 16.78 dB. In this earmuff model, the performance of both types of assembly has been evaluated as favorable, and statistically, there is no significant difference between the two assembled modes. By examining all three models of Iranian, Taiwanese, and American earmuffs after assembly with two-layer and four-layer aerogel pads, it can be seen that the American earmuff performs better in all frequencies. Furthermore, the Taiwanese and Iranian earmuffs are in the following ranks. The highest amount of reduction in the frequency of 8000 Hz was calculated, which was 34.5, 42, and 47.9 dB for the two-layer assembly mode and 33.5, 43.1, and 46.7 for the four-layer assembly mode, respectively, in Iranian, Taiwanese, and American earmuff.

DISCUSSION

The purpose of this study is to investigate the acoustic properties of earmuffs whose cups were assembled with aerogel pads instead of plastic foams. In general, noise is considered one of the most common and most important harmful factors in workplaces. The use of protective phones has been introduced as the easiest way to prevent and deal with the adverse effects of sound. Improving the quality of protective phones using aerogel is a topic that was discussed in this research. In general, it seems that because the cups of Iranian earmuffs were filled with thinner and inferior materials before assembling, the difference in noise reduction was significant, while the material used to fill the cups of American and Taiwanese earmuffs was thicker and better shaped. Also, among other factors related to this significance, we can mention the cup's material and the cushion itself. Since the sound transmission loss in acoustic materials is higher in high frequencies than in low frequencies, the acoustic materials of phone cups also show more efficiency in dealing with high-frequency sound. As a result, the power of reducing the noise of the muff in high frequency will be more than in low-frequency sounds. In the study of Franks et al., it is also stated that sound at low frequencies has a more significant potential to be transmitted through pores and leakage paths, so the NR of the muff is affected at these frequencies. Similar results were observed in this study, and in low frequencies, from 125 to 500 Hz, there was no noticeable and significant difference between the earmuff noise reduction before and after assembly with 2-layer, and 4-layer pads in all three studied earmuff models. Zwislocki also observed in his studies that the presence of any sound leakage reduces the amount of attenuation in low frequencies. Therefore, one of the reasons for the low reduction in low frequencies in the muffs can be sound leakage from different parts of the earmuff. The results of this study confirmed that the nature of the frequency of the ambient sound has a significant effect on the sound reduction power and the acoustic performance of the phones. Also, we see the highest amount of noise reduction and efficiency in earmuffs assembled at high frequencies, so it often reaches its highest value at 8000 Hz. Several reasons could indicate the difference in results between the three earmuff models with similar assembled layers. Such as the method and quality of making the desired phones, the type of material used in making the muff, the smooth and polished surface of the phone, and the difference in the appearance of the earmuffs.

Also, since the head acoustic mannequin is designed and made in terms of ergonomic dimensions, flexibility, density, and acoustic behavior like a human head, the most crucial reason for the difference in these results can be considered the better ergonomic design of American muffs. In addition, ABS with a polyether inner coating was used to make the American earmuff cups, while only ABS was used to make the Taiwanese earmuff cups, and plastic was used for the Iranian earmuff. Furthermore, plastic is used for the Iranian earmuff. After comparing the average noise reduction of all three earmuffs after two and four-layer assembly, it was found that the earmuffs performed better in almost all frequencies after the two-layer assembly and recorded more noise reduction. This amount is 41.46 dB for earmuffs assembled with two layers and 41.1 for four layers. The most critical auditory frequencies for understanding speech are in the range of 2000 Hz, while the frequencies in the 3000-4000 Hz are the first frequencies damaged by sound exposure. The results show that the two-layer samples at the frequency of 4000 are generally better insulated compared to the four-layer samples in earmuffs.

CONCLUSION

In this study, the acoustic properties of protective devices assembled with aerogel pads were investigated. Since sound is considered one of the most common harmful factors in workplaces, the results of this study are important in improving the performance and efficiency of protective phones.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]

The results of the tests showed that assembling earmuffs with two-layer and four-layer aerogel pads improves the acoustic performance of these phones. Also, protective earphones assembled with aerogel pads have more reduction power at high frequencies.

Examining the amount of reduction showed that the American earmuff has the best performance compared to the other two models, both in the two-layer assembly and in the four-layer assembly. Also, earmuffs equipped with two-layer aerogel pads performed better overall than other muffs. These results show that the use of aerogel pads in the assembly of protective devices can significantly improve their acoustic performance. Improving the quality of protective devices using aerogel can not only help protect the health of employees but also reduce health and safety costs in the workplace.

How to cite this article:
Shahram Vosoughi, Niloufar Mesripour, Iraj Alimohammadi, Jamileh Abolghasemi. Investigating the Effect of Using Aerogel on Transmission Loss of Earmuff. Iran Occupational Health. 2024 (01 Jan);20:22.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]

سلامت کار ایران
دوره ۲۰ - ۲۲/۱۴۰۲

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

بررسی تاثیر استفاده از آیروژل بر کاهندگی صدای گوشی های حفاظتی ایرماف

شهرام وثوقی: دانشیار مهندسی بهداشت حرفه ای، مرکز تحقیقات بهداشت کار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
نیلوفر مصری پور: (* نویسنده مسئول) کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای ، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
Mesripour95n@gmail.com
ایرج علیمحمدی: استاد مهندسی بهداشت حرفه ای ، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، مرکز تحقیقات بهداشت کار، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
جمیله ابولقاسمی: دانشیار آمار زیستی، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: سروصدا یکی از عوامل زیان‌آور محیط‌های شغلی محسوب می‌شود که مهم‌ترین اثر آن افت شنوایی است. یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای پیشگیری از این اثرات، استفاده از گوشی‌های حفاظتی می‌باشد. امروزه از گوشی‌های حفاظتی با عایق‌های صوتی مختلف استفاده می‌شود. آیروژل‌ها به سبب ویژگی‌های آکوستیکی خود می‌توانند جایگزین مناسبی به جای ترکیبات مورد استفاده کنونی باشند.

روش بررسی: در این مطالعه، فوم داخل فنجانک‌های سه مدل گوشی ایرماف ساخت کشورهای ایران، تایوان و آمریکا با آیروژل الیافی در دو ضخامت ۵ و ۱۰ میلی‌متری و به ترتیب با چگالی ۱۲۰ و ۱۴۰ kg/m^3 به‌صورت ۴ و ۲ لایه مونتاژ گردید. قدرت کاهندگی گوشی‌های مونتاژ شده با استفاده از مانکن آکوستیکی سر مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: در مجموع، نتایج بدست آمده نشان داد خواص آکوستیکی گوشی‌های مونتاژ شده با پدهای آیروژلی نسبت به قبل از آن بهبود یافته است که این تفاوت در ایرماف‌های ایرانی مونتاژ شده نسبت به قبل از مونتاژ به‌صورت معناداری وجود دارد. بیشترین کاهندگی در فرکانس ۸۰۰۰ هرتز مشاهده شد که به ترتیب در ایرماف ایرانی، تایوانی و آمریکایی برای حالت مونتاژ دو لایه ۳۴٫۵، ۴۲ و ۴۷٫۹ دسی‌بل و برای حالت مونتاژ چهار لایه ۳۳٫۵، ۴۳٫۱ و ۴۶٫۷ دسی‌بل بوده است. همچنین مشخص شد پدهای آیروژلی دولایه عملکرد بهتری نسبت به پدهای چهار لایه داشته‌اند.

نتیجه گیری: مونتاژ گوشی‌های حفاظتی با پد آیروژل به‌طور قابل توجهی می‌تواند عملکرد آکوستیکی این گوشی‌ها را بهبود دهد و باعث افزایش میزان کاهندگی صدا در ایرماف‌ها شود. البته استفاده از حداکثر میزان کاهندگی صدای این گوشی‌ها نیازمند نظارت کافی بر بکارگیری صحیح و دادن آموزش‌های لازم جهت استفاده منظم از آن‌هاست.

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

کلیدواژه‌ها
سروصدا
گوشی های حفاظتی
کاهندگی صدا
آیروژل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۷

شیوه استناد به این مقاله:
Shahram Vosoughi, Niloufar Mesripour, Iraj Alimohammadi, Jamileh Abolghasemi. Investigating the Effect of Using Aerogel on Transmission Loss of Earmuff. Iran Occupational Health. 2024 (01 Jan);20:22.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]

مقدمه

سروصدا به‌عنوان یکی از عوامل زیان‌آور محیط کاری و زندگی افراد شناخته می‌شود و مواجهه با آن می‌تواند منجر به آسیب‌های متعددی گردد که مهم‌ترین آن‌ها افت شنوایی (NIHL) می‌باشد(۱). افت شنوایی ناشی از صدا یکی از پیامدهای فعالیت در محیط‌های کاری پرسر و صدا می‌باشد که می‌تواند منجر به معلولیت‌های دائمی شنوایی، اختلالات خواب، بروز حوادث شغلی و... شود. استفاده از وسایل حفاظت شنوایی مناسب در کنار برخی اقدامات مهندسی و مدیریتی، می‌تواند در پیشگیری از ابتلا به کم شنوایی شغلی بسیار موثر باشد(۲). طبق مطالعات گذشته، تخمین زده می‌شود که حدود ۱،۳ میلیارد نفر در سراسر جهان به دلیل قرار گرفتن در معرض صدا از کم شنوایی رنج می‌برند(۳).

لذا، پیشگیری از اثرات نامطلوب مواجهه با سروصدا و حفظ سلامت نیروی کار یکی از مهم‌ترین اولویت‌های برنامه‌های بهداشت حرفه‌ای در صنایع و مشاغل مختلف می‌باشد(۴، ۵). امروزه، روش‌های کنترل صدا را می‌توان در سه دسته عمده شامل روش‌های کنترل مهندسی، روش‌های مدیریتی و تجهیزات حفاظت شنوایی تقسیم‌بندی نمود. کنترل مهندسی بهترین روش کنترل صدا محسوب می‌شود که معمولاً به دلیل هزینه‌های بالای اقدامات کنترلی و نیز عدم همکاری مدیران و مسئولین عملی نمی‌شود. کنترل مدیریتی نیز مجموعه فرایندها و روش‌هایی است که در ارتباط با برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت و کنترل فعالیت‌های مرتبط با صوت صورت می‌گیرد(۲۲). تجهیزات حفاظت شنوایی اعم از ایرمف‌ها و ایرپلاگ‌ها در مواجهه با سروصدای محیط کار به‌عنوان یکی از روش‌های معمول کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرند (۶-۸). ایرمف‌ها با قرارگیری روی لاله گوش‌ها از طریق ایجاد مانع فیزیکی مانع از رسیدن امواج صوتی به گوش می‌شوند و زمانی بیشترین کارایی را خواهد داشت که روی سطحی نسبتاً صاف قرار گیرد(۶، ۲۳). ایرمف‌ها معمولاً از دو فنجانک و یک باند روی سر تشکیل شده‌اند. فنجانک‌ها معمولاً از یک ماده جاذب صدا مانند فوم پوشیده شده‌اند. مهم‌ترین قسمت هر ایرمافی لایه فومی شکل آن است که با قرار گرفتن در فنجانک گوشی می‌تواند به‌عنوان عایق صوتی و جاذب صدا عمل نماید. شرکت‌های سازنده ایرمف عمدتاً با استفاده از چندین لایه فوم یا پلاستیک به طراحی و ساخت داخلی این گوشی‌ها اقدام می‌نمایند.

بر اساس مطالعات گذشته، معمولاً میزان قدرت کاهندگی واقعی در مقایسه با میزان کاهندگی اسمی ارائه شده توسط شرکت‌های سازنده آن‌ها متفاوت می‌باشد و NIOSH نسبت این مقادیر را برای ایرمف ۷۵ درصد، ایرپلاگ‌های شکل‌پذیر ۵۰ درصد و ایرپلاگ‌های فلنجی (مارپیچی) ۳۰ درصد اعلام کرده است(۲۴-۲۷). در این مطالعه نیز برای مقادیر کاهندگی اسمی (مقدار کاهندگی اعلام شده از طرف شرکت سازنده) نسبت ۷۵ درصدی NIOSH اعمال شده است تا میزان قدرت کاهندگی واقعی گوشی‌ها مشخص گردد.

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که فاکتورهایی مانند عدم توانایی کافی گوشی‌های حفاظتی ایرمف در کاهش تراز فشار صوتی به همراه ویژگی‌های فیزیکی دیگر باعث ایجاد ناراحتی‌ها در زمان کاربرد هستند(۶، ۱۰، ۲۸-۳۳). لذا، ارائه گوشی‌های حفاظتی با قابلیت کاهش حداکثری تراز فشار صوت می‌تواند در افزایش کارایی آکوستیکی و تمایل کارکنان به استفاده از این گوشی‌ها موثر واقع شود(۳۴). آیروژل‌ها موادی جامد با دانسیته پایین نسبت به دیگر مواد عایق هستند که شامل نانوذراتی در داخل یک شبکه سه‌بعدی با درجه تخلخل بالا هستند(۳۵). از آیروژل‌ها به عنوان عایق حرارتی/صوتی، جذب ذرات پرسرعت معلق در فضا، قابلیت استفاده در باتری‌ها و پیل‌های سوختی، دارورسانی و کاربردهای بیولوژیک، تصفیه فاضلاب و... استفاده می‌گردد(۳۶). سبک بودن، دانسیته کم و ضریب جذب و افت انتقال بالای آیروژل‌ها(۱۱-۱۳) و خاصیت الاستیسیته پایین و انعطاف‌پذیری بالا، همچنین عایق بودن آن‌ها در برابر صدا و حرارت(۱۳-۱۵) سبب شد تا در این پژوهش به مطالعه و بررسی خواص آکوستیکی آیروژل‌های جایگزین شده در فنجانک گوشی‌های ایرمف به جای فوم‌های پلاستیکی بپردازیم.

روش بررسی

مطالعه حاضر، یک پژوهش آزمایشگاهی-مداخله‌ای است که در آن از سه نوع گوشی حفاظتی ایرمف استفاده شد. لازم به ذکر است که این گوشی‌ها پس از بررسی سالم بودن از لحاظ فیزیکی و ویژگی‌های ظاهری جهت انجام مطالعه انتخاب شدند.

۱- انتخاب ایرمف

در این مطالعه، سه مدل ایرمف رایج و شناخته شده در صنایع کشور انتخاب و تهیه گردید. گوشی‌ها ساخت شرکت‌های ایرانی، تایوانی و آمریکایی بودند (در جدول

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]

جدول ۱. مشخصات گوشی های مورد مطالعه

شماره	کشور ساخت	مدل	تصویر	وزن(گرم)	بالشتک	فنجانک	دسته	پد
۱	ایرانی	EM-۲۰۰۰I		۱۸۴.۰۸	پلاستیک	پلاستیک	فلز	ابر
۲	تایوانی	EP۱۰۷		۲۳۶.۸۵	PVC	ABS	فولاد ضدزنگ	فوم نرم
۳	آمریکایی	h۷A		۲۴۱.۴۵	پلی اتر با کاوری از PVC	ABS با پوشش داخلی پلی اتر	سیم های فولادی ضد زنگ	PVC

شکل ۱ .تصویر سمت راست: آیروژل الیافی (Blanket)، تصویر سمت چپ: ایرماف مونتاژ شده با پد آیروژلی

۱، اطلاعات ساختاری این ایرماف‌ها آورده شده است). از هر نمونه گوشی، ۲ عدد و در مجموع، ۶ گوشی مورد مطالعه قرار گرفت. کاپ ایرماف ایرانی قبل از مونتاژ با یک ابر نازک به ضخامت ۱۰ میلی‌متر پر شده بود، در حالی که پدهای داخل کاپ ایرماف تایوانی با دولایه فوم تقریبا با ضخامت ۳۰ میلی‌متر و ایرماف آمریکایی با یک لایه فوم از جنس PVC با ضخامت تقریبی ۲۰ میلی‌متر پر شده بود.

۲- آیروژل های الیافی

آیروژل‌های الیافی (Blanket) در دو نوع متفاوت (نوع اول: ضخامت ۵ میلی‌متر با دانسیته ۱۲۰ Kg/m^3 و نوع دوم: ضخامت ۱۰ میلی‌متر با دانسیته ۱۴۰ (Kg/m^3) با تخلخل ۹۵٪، ضریب هدایت حرارتی ۰،۰۱۸w/m.^{o}k[1] ، دمای ذوب ۱۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت عبور صوت ۱۲۰Km/h جهت پرکردن فنجانک ایرماف‌ها تهیه گردید. آیروژل‌ها از شرکت ایرانی دانش‌بنیان پاکان آتیه نانودانش، تولید کننده عایق‌های حرارتی و کرایوژنیک (سرد) آیروژل با فناوری نانو دارای تاییدیه‌های استاندارد ASTM تهیه گردید.

۳- مونتاژ ایرماف با پد آیروژلی

در این مطالعه، کاپ ایرماف‌ها پس از تخلیه فوم‌ها با آیروژل‌های با ضخامت ۵ و ۱۰ میلی‌متر بصورت چهار و دو لایه تا رسیدن به ضخامت نهایی ۲۰ میلی‌متر جایگذاری شد (تصویر سمت چپ شکل ۱).

۱ وات بر متر درجه کلوین

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]

جدول۲. اجزای ایرماف قبل از مونتاژ و بعد از مونتاژ ۲و ۴لایه با پد آیروژلی

	قبل از مونتاژ با پد آیروژلی
	مونتاژ ۲ و ۴ لایه با پدآیروژلی

شکل۲. نحوه قرارگیری گوشی ایرماف بر روی مانکن آکوستیکی برای تعیین میزان کاهندگی صدا

۴- اندازه‌گیری مقدار کاهندگی صدای ایرماف‌های مونتاژ شده با استفاده از مانکن آکوستیکی سر

جهت بررسی کاهندگی گوشی‌های حفاظتی مونتاژ شده با پد آیروژل، از مانکن استاندارد سر مدل ۹۴۰۲ Avasina دانشگاه علوم پزشکی همدان استفاده شد و ویژگی‌های مربوط به زمان انجام آزمون، سطح فشار و محل قرارگیری میکروفن اندازه‌گیری بر اساس استاندارد ISO 4869-3 تنظیم گردید(۱۶، ۳۷). مطابق کاتالوگ مربوطه، این یونیت از نظر ابعاد ارگونومیک، انعطاف، چگالی و رفتار آکوستیکی همانند سر انسان طراحی و ساخته شده است و وزن آن حدود ۷ کیلوگرم و قابل حمل می‌باشد. برای سنجش میزان کاهندگی صداNR ، از یک میکروفون در داخل گوش یونیت و یک میکروفون دیگر در خارج گوش استفاده شد و حتما قبل از شروع آزمایش از جفت شدن ایرماف مورد نظر بر روی لاله گوش مانکن اطمینان حاصل شد. میزان کاهش صدای اندازه‌گیری شده معادل اختلاف بین تراز فشار صوت برخوردی با تراز فشار صوت دریافت شده است، یعنی در این مطالعه اختلاف تراز فشار صوت بین خارج و داخل ایرماف سنجیده شد (۱۷، ۱۸). این آزمون برای هر گوشی سه مرتبه انجام و نتایج آن بصورت میانگین NR در سه بار اندازه‌گیری در محدوده فرکانس ۱۲۵ تا ۸۰۰۰ هرتز سنجش گردید.

۵- آنالیز آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۵) در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. جهت مقایسه تاثیر لایه‌های آیروژل بر سه مدل ایرماف ایرانی، تایوانی و آمریکایی قبل و بعد از مونتاژ، از آزمون پارامتری تی زوجی استفاده گردید.

یافته ها

نتایج مقایسه میزان کاهش صدای ایرماف‌های مورد مطالعه در فرکانس‌های مختلف در نمودار۱ ارائه گردیده است. میزان کاهندگی صدا برحسب دسی‌بل برای هر سه ایرماف ایرانی، تایوانی و آمریکایی از فرکانس ۱۲۵ تا ۸۰۰۰ هرتز در دو حالت قبل و بعد از مونتاژ اندازه‌گیری و مقایسه گردید. در ایرماف ایرانی مونتاژ شده با پدهای دولایه و چهارلایه در فرکانس‌های پایین (۱۲۵ و ۲۵۰

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]

هرتز) تفاوت محسوسی در میزان کاهندگی صدا نسبت به قبل از مونتاژ مشاهده نشد. در فرکانس‌های بالاتر از ۲۵۰ هرتز این تفاوت افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان آن در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز مشاهده شد (نمودار ۱-الف). پس از بررسی نتایج مشخص شد که میزان کاهندگی صدای ایرماف ایرانی بعد از مونتاژ چهار لایه نسبت به قبل از آن تفاوت آماری معناداری ندارد. نتایج نشان داد که میزان کاهندگی صدا بعد از مونتاژ چهارلایه نسبت به حالت قبل از مونتاژ در تمامی فرکانس‌ها (به‌غیر از فرکانس‌های ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز که نسبت به قبل از مونتاژ تغییری در میزان کاهندگی وجود نداشته) بیشتر بوده است. اما در مورد ایرماف مونتاژ شده با پد دو لایه این موضوع متفاوت است. نتایج نشان داد که میان میزان کاهندگی صدای ایرماف ایرانی قبل از مونتاژ و بعد از مونتاژ دو لایه تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد. در تمامی فرکانس‌ها، ایرماف مونتاژ شده دو لایه صدا را بیشتر کاهش داده است. در فرکانس‌های ۱۲۵ و ۲۵۰ هرتز همانند نتایج به‌دست آمده در مونتاژ چهار لایه، کاهندگی صدای ایرماف قبل و بعد از مونتاژ دو لایه تقریباً یکسان بوده است. بیشترین تفاوت کاهش صدای ایرماف قبل از مونتاژ و ایرماف مونتاژ شده با دو لایه آیروژل در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز رقم خورد که تفاوت ۱۷،۲۵ دسی‌بل را نشان داد.

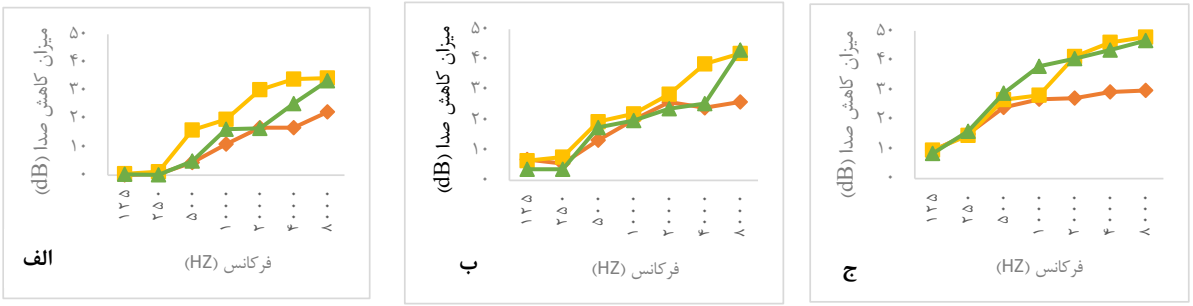
در ایرماف تایوانی، تفاوت کاهندگی صدای ایرماف‌های قبل از مونتاژ و بعد از آن بصورت ۲ و ۴ لایه در فرکانس‌های مختلف نسبت به ایرماف ایرانی کمتر است. اما در این مدل ایرماف نیز، مونتاژ با پد دو لایه عملکرد آکوستیکی بهتری نسبت به ایرماف مونتاژ شده با پد چهار لایه داشته و از لحاظ آماری، میزان کاهندگی آن تفاوت معنی‌داری با حالت قبل از مونتاژ دارد. بیشترین تفاوت کاهندگی صدا بین ایرماف دو و چهار لایه با قبل از مونتاژ در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز مشاهده گردید (نمودار ۱-ب).

در ایرماف آمریکایی تا فرکانس ۵۰۰ هرتز، تفاوت کاهندگی قبل و بعد از مونتاژ با پدهای دو و چهار لایه معنی‌دار نیست. از فرکانس ۵۰۰ هرتز به بعد، این میزان تفاوت تدریجاً افزایش پیدا می‌کند (نمودار ۱-ج). در فرکانس‌های پایین، عملکرد ایرماف بعد از مونتاژ چهار لایه بهتر بوده است به‌طوری‌که ایرماف مونتاژ شده با چهار لایه آیروژل تا فرکانس ۲۰۰۰ هرتز عملکرد آکوستیکی بهتری را داشته، اما در فرکانس‌های بالا، ایرماف دو لایه عملکرد بهتری داشته به‌طوری‌که از فرکانس ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز، میزان کاهندگی آن نسبت به ایرماف چهارلایه بیشتر بوده است. بیشترین تفاوت میزان کاهندگی در ایرماف آمریکایی دو و چهار لایه در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز دیده شده و ۲،۶ دسی‌بل میزان کاهندگی صدای ایرماف دو لایه بهتر بوده است. لازم به ذکر است که این تفاوت با ایرماف قبل از مونتاژ در همین فرکانس به ۱۶،۷۸ دسی‌بل می‌رسد. در این مدل ایرماف، عملکرد آکوستیکی هر دو مونتاژ (دو و چهار لایه) مطلوب ارزیابی شده و از لحاظ آماری نیز تفاوت معناداری بین دو حالت مونتاژ شده وجود ندارد.

با بررسی هر سه مدل ایرماف بعد از مونتاژ با پد آیروژلی دو لایه و چهارلایه، مشاهده می‌شود که ایرماف آمریکایی در تمامی فرکانس‌ها عملکرد آکوستیکی بهتری داشته و بعد از آن، دو ایرماف تایوانی و ایرانی دارای عملکردی حدوداً مشابه بودند. در مجموع، بیشترین میزان کاهندگی در فرکانس ۸۰۰۰ هرتز رقم خورده که به ترتیب در ایرماف ایرانی، تایوانی و آمریکایی برای حالت مونتاژ دو لایه ۳۴،۵، ۴۲ و ۴۷،۹ دسی‌بل و برای حالت مونتاژ چهار لایه ۳۳،۵، ۴۳،۱ و ۴۶،۷ بوده است (نمودار ۲).

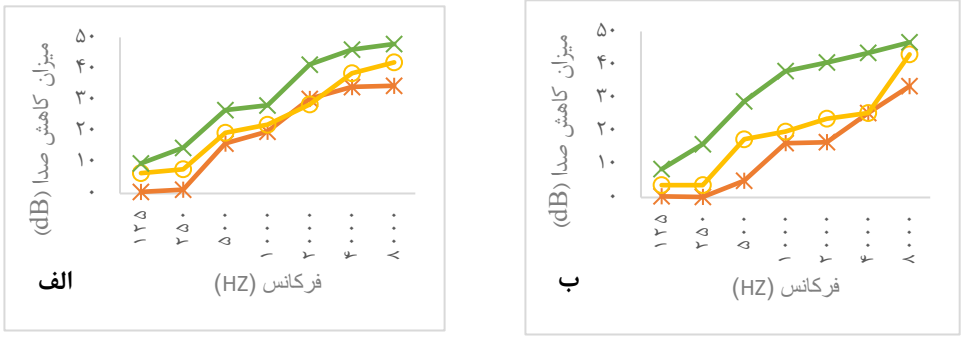
بحث

بطور کلی، صدا یکی از شایع‌ترین و مهم‌ترین عوامل زیان‌آور محیط‌های شغلی محسوب می‌گردد. استفاده



نمودار ۱. مقایسه میزان کاهش صدای ایرماف های مورد مطالعه در فرکانس های مختلف(لوزی: میزان کاهندگی صدا قبل از مونتاژ، مربع: میزان کاهندگی صدا بعد از مونتاژ دولایه، مثلث: میزان کاهندگی صدا بعد از مونتاژ چهارلایه) الف- مقایسه NR در ایرماف ایرانی ب-مقایسه NR در ایرماف تایوانی ج-مقایسه NR در ایرماف آمریکایی

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]



نمودار ۲. مقایسه NR ایرماف های مورد بررسی الف) بعد از مونتاژ دولایه ب–مونتاژ چهارلایه از پدهای آیروژلی (ستاره: ایرانی ، دایره توخالی: تایوانی، ضربدر: آمریکایی)

از گوشی‌های حفاظتی، به‌عنوان ساده‌ترین روش برای پیشگیری و مقابله با اثرات نامطلوب صدا معرفی شده است(۶). بهبود کیفیت گوشی‌های حفاظتی با استفاده از آیروژل موضوعی است که در این مطالعه به آن پرداخته شد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی خواص آکوستیکی ایرماف‌هایی است که فنجانک آن‌ها به‌جای فوم‌های پلاستیکی با پدهای آیروژلی مونتاژ شده بود.

در مجموع، پس از بررسی نتایج مونتاژ گوشی‌ها، این‌گونه به‌نظر می‌رسد که چون فنجانک‌های ایرماف‌های ایرانی قبل از مونتاژ با پد آیروژلی با مواد کم‌کیفیت و نازک‌تر پرشده بود، تفاوت کاهش صدا معنادار بوده است، در حالی که جنس مواد پرکننده فنجانک ایرماف‌های آمریکایی و تایوانی ضخیم‌تر و شکل بهتری داشت. همچنین، از دیگر عوامل مرتبط با این معناداری می‌توان به جنس خود فنجانک و بالشتک اشاره نمود.

با توجه به اینکه افت انتقال صدا در مواد آکوستیکی در فرکانس‌های بالا نسبت به فرکانس‌های پایین بیشتر است، بنابراین مواد آکوستیکی فنجانک گوشی‌ها نیز در مواجهه با صدای با فرکانس غالباً بالا، کارایی بیشتری را نشان می‌دهند و در نتیجه قدرت کاهندگی صدای گوشی در فرکانس بالا بیشتر از صداهای با فرکانس پایین خواهد بود(۱۹). در مطالعه Franks و همکاران نیز بیان شده که صدا در فرکانس‌های پایین پتانسیل بیشتری برای انتقال از منافذ و راه‌های نشت دارد، بنابراین قدرت کاهندگی گوشی در این فرکانس‌ها تحت تاثیر قرار می‌گیرد(۲۰). در این مطالعه نیز نتایج مشابهی مشاهده شد و در فرکانس‌های پایین یعنی از ۱۲۵ تا ۵۰۰ هرتز، اختلاف چشم‌گیر و معناداری میان کاهندگی صدای ایرماف قبل از مونتاژ و بعد از مونتاژ با پدهای ۲ و ۴ لایه در هر سه مدل ایرماف مورد مطالعه مشاهده نگردید. همچنین Zwislocki در مطالعات خود مشاهده کرد که وجود هرگونه نشتی صدا باعث کاهش میزان کاهندگی در فرکانس‌های پایین می‌شود. کاهش میزان کاهندگی صدا در فرکانس‌های پایین بر اساس یافته‌های مطالعات دیگران می‌تواند به دلیل نشتی صدا از بخش‌های مختلف ایرماف مثل نشتی از محل اتصال فنجانک به بالشتک یا از منافذ بدنه فنجانک و یا در زمان اتصال گوشی به مانکن سر باشد(۳۸, ۳۹).

بنابراین، نتایج این مطالعه تأیید کرد که قدرت کاهندگی صدا و عملکرد آکوستیکی گوشی‌ها تحت تاثیر ماهیت فرکانسی صدای محیط است. همچنین، در ایرماف‌های مونتاژ شده، بیشترین میزان کاهندگی صدا و کارایی را در فرکانس‌های بالا مشاهده می‌کنیم به‌طوری که اغلب در فرکانس ۸۰۰۰ هرتز به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

بنابراین، نتایج این مطالعه تأیید کرد که دلایل متعددی می‌تواند نشان‌دهنده تفاوت نتایج بین سه مدل ایرماف با لایه‌های مونتاژ شده مشابه باشد. همچنین، از آن‌جایی که مانکن آکوستیکی سر از نظر انعطاف، چگالی، ابعاد ارگونومیک و رفتار آکوستیکی همانند سر انسان طراحی و ساخته شده است، مهم‌ترین دلیل این تفاوت و عملکرد بهتر ایرماف آمریکایی را می‌توان بهتر بودن طراحی ارگونومیک گوشی‌های آمریکایی دانست که به‌طور کامل روی گوش فیکس شده و از ورود و نشت صدا از درزهای کناری جلوگیری می‌کند. ضمناً برای ساخت فنجانک‌های ایرماف آمریکایی از یک نوع پلیمر ترموپلاستیک بنام آکریلونیتریل بوتادین استایرن (ABS) با پوشش داخلی پلی اتر استفاده گردیده در حالی‌که برای ساخت فنجانک‌های ایرماف تایوانی فقط از ABS و برای ایرماف ایرانی از پلاستیک استفاده شده است. در مطالعه Boyer و همکاران نیز بیان شد که ویژگی‌های اجزای مختلف ایرماف مانند جرم، حجم و جنس کاپ، نوع بالشتک، میزان نیروی فشاری از طرف هدبند و... می‌تواند در عملکرد آکوستیکی این گوشی‌ها تاثیرگذار باشد(۱۰). با بررسی مطالعات گذشته مشخص شد که

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]

نتایج آن‌ها با نتایج مطالعه حاضر هم‌راستا بوده است. در مطالعه‌ای که توسط احمدی و همکاران انجام شد از یک نوع کامپوزیت (ABS/Nano clay) در داخل فنجانک‌های ایرماف استفاده کردند که مشخص شد عملکرد صوتی ایرماف جدید نسبت به قبل از آن بهبود یافته است(۳۴). در مطالعه‌ای که توسط دهقانی انجام شد از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم (Tio2) در ایرپلاگ استفاده کردند که مشخص گردید این ایرپلاگ در مقایسه با حالت اولیه خود در فرکانس‌های پایین عملکرد صوتی مشابهی داشته است(۱۲۵-۵۰۰ Hz). با این حال در فرکانس‌های بالا (۲-۸ KHz) عملکرد صوتی این ایرپلاگ به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد(۴۰).

نتیجه گیری

مونتاژ کردن گوشی‌های ایرماف با پدهای آیروژلی باعث بهبود عملکرد آکوستیکی این گوشی‌ها گردید. این گوشی‌های حفاظتی مونتاژ شده در فرکانس‌های بالا و صنعتی دارای قدرت کاهندگی بیشتری بودند. گوشی‌های حفاظتی آمریکایی در مقایسه با دو مدل دیگر در مونتاژ دو و چهار لایه بهترین عملکرد را داشت. همچنین، گوشی‌های حفاظتی مجهز به پد آیروژل دو لایه در مجموع عملکرد بهتری نسبت به گوشی‌های دیگر داشتند. بهبود کیفیت گوشی‌های حفاظتی با استفاده از آیروژل، نه تنها می‌تواند به حفاظت از سلامت کارکنان کمک کند، بلکه می‌تواند هزینه‌های بهداشتی و ایمنی در محیط‌های کاری را نیز کاهش دهد.

منابع

1. Ding T, Yan A, Liu K. What is noise-induced hearing loss? British Journal of Hospital Medicine. 2019;80(9):525-9.
2. Agarwal G, Nagpure PS, Gadge SV. Noise induced hearing loss in steel factory workers. International Journal of Occupational Safety and Health. 2014;4(2):34-43.
3. Chen K-H, Su S-B, Chen K-T. An overview of occupational noise-induced hearing loss among workers: epidemiology, pathogenesis, and preventive measures. Environmental health and preventive medicine. 2020;25:1-10.
4. Basner M. Auditory and non-auditory effects of noise on health: An ICBEN perspective. The Journal of the Acoustical Society of America. 2015;137(4):2246-.
5. Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. The lancet. 2014;383(9925):1325-32.
6. Nakashima A. Comparison of different types of hearing protection devices for use during weapons firing. Journal of Military, Veteran and Family Health. 2015;1(2):43-51.
7. Kuo S, Chen Y-R, Chang C-Y, Lai C-W. Development and Evaluation of Light-Weight Active Noise Cancellation Earphones. Applied Sciences. 2018;8(7):1178.
8. Khalesi N, Khosravi N, Ranjbar A, Godarzi Z, Karimi A. The effectiveness of earmuffs on the physiologic and behavioral stability in preterm infants. International journal of pediatric otorhinolaryngology. 2017;98:43-7.
9. Du Y, Homma K. Performance of a dual-cup-dual-cushion earmuff design. Noise Control Engineering Journal. 2009;57(5):459-75.
10. Boyer S, Doutres O, Sgard F, Laville F, Boutin J. Objective assessment of the sound paths through earmuff components. Applied acoustics. 2014;83:76-85.
11. Zaman A, Huang F, Jiang M, Wei W, Zhou Z. Preparation, properties, and applications of natural cellulosic aerogels: a review. Energy and Built Environment. 2020;1(1):60-76.
12. Korkmaz S, Kariper İA. Aerogel based nanogenerators: Production methods, characterizations and applications. International Journal of Energy Research. 2020;44(14):11088-110.
13. Mazrouei-Sebdani Z, Begum H, Schoenwald S, Horoshenkov KV, Malfait WJ. A review on silica aerogel-based materials for acoustic applications. Journal of Non-Crystalline Solids. 2021;562:120770.
14. Gonçalves W, Morthomas J, Chantrenne P, Perez M, Foray G, Martin CL. Elasticity and strength of silica aerogels: A molecular dynamics study on large volumes. Acta Materialia. 2018;145:165-74.
15. Moretti E, Merli F, Cuce E, Buratti C. Thermal and acoustic properties of aerogels: preliminary investigation of the influence of granule size. Energy Procedia. 2017;111:472-80.
16. Kozlowski E. Noise Parameters of Headsets Designed for Communication Platforms. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022;19(6):3369.
17. America ANSIASo. Methods for the measurement of insertion loss of hearing protection devices in continuous or impulsive noise using microphone-in-real-ear or acoustic test fixture procedures. 2010.
18. de Almeida-Agurto D, Gerges SN, Arenas JP. MIRE-IL methodology applied to measuring the noise attenuation of earmuff hearing protectors. Applied acoustics. 2011;72(7):451-7.
19. Aliabadi M, Biabani A, Golmohammadi R, Farhadian M. A study of the real-world noise attenuation of the current hearing protection devices in typical workplaces using Field Microphone in Real Ear method. Work.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]

Acoustics ICA2013; 2013: ASA.
31. Rabinowitz PM. Noise-induced hearing loss. American family physician. 2000;61(9):2759-60.
32. Arezes P, Miguel AS. Hearing protectors acceptability in noisy environments. Annals of Occupational Hygiene. 2002;46(6):531-6.
33. Davis RR. What do we know about hearing protector comfort? Noise and Health. 2008;10(40):83.
34. Ahmadi S, Nassiri P, Ghasemi I, Ep MRM. Acoustic performance of 3D printed nanocomposite earmuff. Global journal of health science. 2016;8(1):180.
35. Shaeri J, Yaghoubi M, Aliabadi M, Vakilinazhad R. Analysis of using nano aerogel glazing on solar heat gain and cooling load in an office at hot and dry, hot and humid and cold climates of Iran. Journal of Solid and Fluid Mechanics. 2017;7(4):209-21.
36. Koebel M, Rigacci A, Achard P. Aerogel-based thermal superinsulation: an overview. Journal of sol-gel science and technology. 2012;63:315-39.
37. Wulf-Andresen P, Rasmussen P, editors. Standardized acoustic test fixtures for testing ear protection devices and noise cancelling headsets. Euro Noise; 2015.
38. E-09: A. Standard test method for measurement of normal incident sound transmission of acoustical materials based on the transfer matrix method. 2009.
39. Pääkkönen R, Lehtomäki K, Savolainen S, Myllyniemi J, Hämäläinen E. Noise attenuation of hearing protectors against heavy weapon noise. Military medicine. 2000;165(9):678-82.
40. Ghavamabadi LI, Dehaghi BF, Hesampour M, Angali KA. Application of a TiO2 nanocomposite in earplugs: a case study of noise reduction. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2018.

2018;60(2):271-9.
20. Franks JR, Murphy WJ, Harris DA, Johnson JL, Shaw PB. Alternative field methods for measuring hearing protector performance. AIHA Journal. 2003;64(4):501-9.
21. Nelson DI, Nelson RY, Concha-Barrientos M, Fingerhut M. The global burden of occupational noise-induced hearing loss. American journal of industrial medicine. 2005;48(6):446-58.
22. Cheremisinoff NP. Noise control in industry: A practical guide: Elsevier; 1996.
23. Rawool VW. Hearing conservation: In occupational, recreational, educational, and home settings. (No Title). 2012.
24. Williams R. Hearing Protectors: Don't Rely On Labeled NRRs For Performance. Retrieved from TK GROUP INC. 2008.
25. Zera J, Mlynski R, editors. Determination of earmuff transmittance with the use of MIRE technique and with artificial test fixtures. 20th International Congress on Acoustics ICA; 2010.
26. Royster L, Berger E, Royster J. Noise surveys and data analysis. The noise manual. 2003;5:165-244.
27. Abel SM, Sass-Kortsak A, Kielar A. The effect on earmuff attenuation of other safety gear worn in combination. Noise and Health. 2002;5(17):1.
28. Hsu Y-L, Huang C-C, Yo C-Y, Chen C-J, Lien C-M. Comfort evaluation of hearing protection. International Journal of Industrial Ergonomics. 2004;33(6):543-51.
29. Patton E. Ergonomic hearing protectors. Ergonomics in Design. 2000;8(4):25-8.
30. Bernier A, Voix J, editors. An active hearing protection device for musicians. Proceedings of Meetings on

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2024-07-27]