Journal of Military Medicine
2022, Volume 23, Issue 10
Pages: 783-791
10.30491/JMM.23.10.783

Evaluation of the Effect of Different Absorbent Materials on Sound Reduction in Armored Personnel Carriers

Gholamhossein Pourtaghi [1], Reza Esmaeili [2], Masoud Mosayebi [1], Mousa Jabbari [3], Hamid Saeidnia [2*]

[1] *Health Research Center, Life Style Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[2] *Marine Medicine Research Center, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[3] *Department of Occupational Health and Safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Received: 23 March 2021 **Accepted:** 18 December 2021

Abstract

Background and Aim: Recently, the sound level of military vehicles has increased significantly. Verbal communication is very important for the personnel working in these vehicles. The exchange of information between soldiers inside the vehicle as well as with the outside world, which is done using radio channels and internal communication systems, requires the ability to speak and hear properly. In military environments, armored personnel carriers (APC) are one of the most practical vehicles used, and the health and exposure to the sound pressure of the people inside the cabins of these tanks are very important. Therefore, the present study was conducted to evaluate the effect of different adsorbents on noise reduction in armored personnel carriers.

Methods: The present study was a cross-sectional and interventional study on 3 armored personnel carriers (BMP1) in 2018. Sound pressure level inside the cabin was measured (according to BS6086 -1981 [ISO5128-1980] standard) in 3 states include a. on and off mode of the tank with engine speed of 100 to 1200 rpm, b. standby mode with engine speed of 1400 rpm and c. moving mode at a speed of 15 km/hr tank with engine speed 1600 to 2000 rpm. In order to perform the intervention and reduce costs and evaluate the efficiency of adsorbents in reducing the sound pressure level, a room made of the main body of the tank, which was made of iron, was prepared in smaller dimensions. The sound was generated inside the chamber and after installing the absorbent material, the amount of sound pressure level reduction was measured. Selected absorbent materials were included Polyurethane foam with a density of 12 kg/cm^2 and thickness of 2.5 cm, Polyurethane foam with a density of 12 kg/cm^2 and thickness of 4.2 cm, Glasswool with a density of 12 kg/cm^2 and thickness of 3.2 cm, Polyethylene foam with a density of 20 kg/cm^2 and thickness of 2 cm, and felt with thickness 0.8 cm. Data were analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA) by SPSS software version 23 at a significance level of 0.05.

Results: The equivalent sound pressure level increased from 93.8 dBA in a standstill to 101.6 dBA in standby mode, and in the state of motion, this level increased to 107 dBA. The corresponding total sound pressure level increased from 93 dBA in a standstill to 98 dBA in standby mode and increased at a speed of 15 km/h to 104 dBA. The equivalent level of sound exposure in the chamber without adsorbent materials was considered 110 dBA, when using the felt as an absorbent material, this level dropped to 98 dBA. When the polyethylene foam was used as an adsorbent, this level dropped to 102 dBA. When the glass wall was used as an adsorbent, this level dropped to 97 dBA. When the polyurethane foam with a thickness of 2.5 cm was used as an adsorbent, this level dropped to 95 dBA. When the polyurethane foam with a thickness of 4.2 cm was used as an adsorbent, this level dropped to 93.2 dBA.

Conclusion: The condition of the motor of the device and the condition of the chains are the most important factors in the difference in the level of equivalent sound pressure in the three mentioned conditions. The best material for installation inside the cabin to reduce the sound pressure level is polyurethane oval foam with a density of 12 kg/m^2 and 4.2 cm thickness. This material reduces the equivalent level of sound exposure from 110 dBA to 94 dBA.

Keywords: Acoustic absorption coefficient, Acoustic frequency, Sound absorbing material, Armored personnel carrier.

*Corresponding author: **Hamid Saeidnia,** Email: hamidsaednia@gmail.com

مجله طب نظامی
دوره ۲۳، شماره ۱۰، دی ۱۴۰۰
صفحات: ۷۹۱-۷۸۳
10.30491/JMM.23.10.783

ارزیابی تاثیر جاذب‌های مختلف بر کاهش صدا در نفربرهای زرهی

غلامحسین پورتقی[۱]، رضا اسمعیلی[۲]، مسعود مصیبی[۱]، موسی جباری[۳]، حمید سعیدنیا[۲*]

[۱] مرکز تحقیقات بهداشت نظامی، پژوهشکده سبک زندگی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران
[۲] مرکز تحقیقات طب دریا، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران
[۳] گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: در سال‌های اخیر میزان صدا در وسایل نقلیه نظامی افزایش چشمگیری داشته است. برای افرادی که در وسایل نقلیه نظامی قرار دارند ارتباط کلامی بسیار مهم می‌باشد. تبادل اطلاعات بین سربازان داخل وسیله نقلیه و همچنین با دنیای بیرون که با استفاده از کانال‌های رادیویی و سیستم‌های ارتباط درونی انجام می‌شود، نیازمند توانایی صحبت و شنیدن مناسب می‌باشد. در محیط‌های نظامی نفربرهای زرهی یکی از کاربردی‌ترین وسائل نقلیه مورد استفاده هستند که سلامت و میزان مواجهه با فشار صوت افراد داخل کابین این تانک‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. لذا مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تاثیر جاذب‌های مختلف بر کاهش میزان صدا در نفربرهای زرهی انجام شد.

روش‌ها: مطالعه حاضر به صورت مقطعی و مداخله‌ای بر ۳ عدد نفربرزرهی در سال ۱۳۹۶ انجام شد. تراز فشار صوت در داخل کابین در ۳ زمان حالت روشن و سکون تانک با دور موتور ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ دور در دقیقه، حالت آماده به حرکت با دور موتور ۱۴۰۰ دور در دقیقه، حالت سرعت ۱۵ کیلومتر در ساعت تانک با دور موتور ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ دور در دقیقه اندازه‌گیری شد. به منظور انجام مداخله و کاهش هزینه‌ها و بررسی کارآیی مواد جاذب در کاهش تراز فشار صوت، اتاقکی با بدنه اصلی از جنس آهن در ابعاد کوچکتر تهیه شد. صدا در داخل اتاقک تولید شد و پس از نصب مواد جاذب میزان کاهش تراز فشار صوت اندازه‌گیری شد. مواد جاذب انتخاب شده شامل فوم شانه تخم‌مرغی پلی‌اورتان چگالی kg/m^2 ۱۲ ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر، فوم شانه تخم مرغی پلی‌اورتان چگالی kg/m^2 ۱۲ ضخامت ۴/۲ سانتی‌متر، پشم شیشه چگالی $12kg/m^2$ ضخامت ۳/۲ سانتی‌متر، فوم پلی‌اتیلن چگالی $20kg/m^2$ ضخامت ۲ سانتی‌متر و نمد ضخامت ۰/۸ سانتی‌متر بودند. داده‌ها با آزمون آنالیز واریانس یک طرفه توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ و در سطح معناداری ۰/۰۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

یافته‌ها: میزان تراز معادل فشار صوت dBA ۹۳/۸ در وضعیت سکون به dBA ۱۰۱/۶ در حالت آماده به حرکت افزایش یافت و در وضعیت حرکت این تراز به dBA ۱۰۷ افزایش یافت. میزان تراز فشار کل متناظر صوت از dBA ۹۳ در وضعیت سکون به dBA ۹۸ در حالت آماده به حرکت افزایش یافت و در وضعیت حرکت با سرعت ۱۵ کیلومتر در ساعت این تراز به dBA ۱۰۴ افزایش یافت. تراز معادل مواجهه صوت در داخل اتاقک بدون مواد جاذب dBA ۱۱۰ در نظر گرفته شد، با استفاده از مواد جاذب صوتی نمد، فوم پلی‌اتیلن، پشم شیشه، فوم شانه تخم‌مرغی پلی‌اورتان با ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر، فوم شانه تخم‌مرغی پلی‌اورتان با ضخامت ۴/۲ سانتی‌متر به ترتیب تراز صوت به dBA ۹۸، dBA ۱۰۲، dBA ۹۷، dBA ۹۵ و dBA ۹۳/۲ کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: وضعیت موتور دستگاه و وضعیت زنجیرها مهم ترین عامل تفاوت در میزان تراز معادل فشار صوت در ۳ وضعیت عنوان شده می‌باشند. بهترین ماده برای نصب در داخل کابین به منظور کاهش تراز فشار صوت فوم شانه تخم‌مرغی پلی‌اورتان با چگالی kg/m^2 ۱۲ و ضخامت ۴/۲ سانتی‌متر می‌باشد که این ماده میزان تراز معادل مواجه صوت را از dBA ۱۱۰ به dBA ۹۴ کاهش می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: ضریب جذب صوتی، فرکانس صوتی، مواد جاذب صدا، نفربر زرهی.

*نویسنده مسئول: **حمید سعیدنیا.** پست الکترونیک: hamidsaednia@gmail.com
دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۰۳ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷

مقدمه

در سال‌های اخیر میزان صدا در محیط‌های نظامی افزایش چشمگیری داشته است. انواع جدید وسایل نظامی نسبت به وسایلی که جایگزین‌شان می‌شوند، کاملا دارای صدای بالاتری هستند. در نتیجه محافظت افراد نظامی از مواجهه با صدا بسیار مشکل شده است (۱). سر و صدا امواج نامنظمی هستند که ناخوشایند، ناخواسته و عموما اجتناب ناپذیر بوده، بین دامنه‌های فشار، فرکانس‌ها و طول موج‌های آن‌ها رابطه معناداری وجود ندارد و در اثر سر و صدای خودروها در جاده‌ها و یا تجهیزات صنعتی و مراکز نظامی به فراوانی از این نوع صدا تولید و منتشر می‌گردد (۲). منابع صوتی معمولا به دو دسته صداهای پیوسته و صداهای ضربه‌ای تقسیم بندی می‌شوند. در زمانی که از تاثیر صدا بر روی انسان صحبت می‌کنیم تمایز دادن بین این دو کلاس مهم می‌باشد. صدایی که توسط وسایل نقلیه ایجاد می‌شود، صداهای متناوب می‌باشد که مدت زمان طولانی‌تری مواجهه به طول می‌کشد، هر چند که مواجهه با صداهای ضربه‌ای ممکن است در وسایل نقلیه اتفاق بیافتد، مثلا استفاده از توپ. اما معمولا این صداها ارتباطی با استفاده از خود وسیله نقلیه ندارند، که در این مقاله بررسی نخواهند شد (۱). برای افرادی که در وسایل نقلیه نظامی قرار دارند ارتباط کلامی بسیار مهم می‌باشد. تبادل اطلاعات بین سربازان داخل وسیله نقلیه و همچنین با دنیای بیرون که با استفاده از کانال‌های رادیویی و سیستم‌های ارتباط درونی انجام می‌شود، نیازمند توانایی صحبت و شنیدن مناسب می‌باشد (۳).

صدای داخل وسایل نقیله ترکیبی است از صداهای موتور، اگزوز، آئرودینامیک (صدای مربوط به حرکت هوا- باد)، ترمز (۴)، ناشی از اجزاء و صداهای داخلی مربوط به مسافرین می‌باشد (۵،۶). انتقال صوت به داخل وسیله نقلیه از دو طریق امکان‌پذیر است (۵،۶)، مسیری که صوت از طریق هوا انتقال می‌یابد (هوابرد) و مسیری که صوت از طرق اجزا انتقال (ساختاربرد) می‌یابد (۵). صدای موتور از جمع صدای ناشی از حرکت اجزای مکانیکی و شنی نفربر و همچنین صدای ناشی از احتراق در داخل سیلندر که به اجزا موتور وارد می شود و سبب ارتعاش آن‌ها می‌شود، به وجود می‌آید (۵). صدای جاده از تماس بین زنجیر و جاده به وجود می‌آید و از دو روش هوابرد و ساختاربرد به داخل کابین انتقال می‌یابد. این صدا عمدتا شامل صوت با فرکانس پایین (زیر ۱۰۰۰ هرتز) می‌باشد (۵،۷).

افت شنوایی ناشی از صدا در محیط‌های شغلی مختلفی نظیر صنایع ساخت و ساز، صنایع پتروشیمی، صنایع فرآورده‌های معدنی فلزی و غیر فلزی و غیره قابل شناسایی است. یکی از محیط‌های دارای صدای نامطلوب که می‌تواند منجر به افت شنوایی گردد، محیط‌های مربوط به مشاغل نظامی می‌باشد (۸). در بین مشاغل نظامی سربازان، ملوانان، خلبانان، دریانوردان و افراد غیر نظامی شاغل در کنار آن‌ها در معرض صدای نامطلوب قرار دارند که در مقایسه با افراد شاغل در سایر صنایع در معرض افت شنوایی بیشتری قرار دارند، این در حالی است که جمعیت نظامی بیشتر از سایر شاغلین به توانایی شنیدن متکی هستند (۹). بر طبق گزارش اداره بهداشت بازنشستگان ارتش آمریکا افت شنوایی به عنوان دومین معلولیت جسمی پس از وزوز گوش در بین شاغلین در ارتش یافت شد. همچنین این اداره شیوع افت شنوایی در بین بازنشستگان ارتش را ۷/۳٪ تا ۲۶/۶٪ گزارش کرد (۱۰). در محیط‌های نظامی افراد با دو نوع صدای ناشی از تجهیزات نظامی نظیر صدای اسلحه و بمب‌ها و همچنین صدای ناشی از تجهیزات صنعتی نظیر صدای ناشی از ابزارهای قدرت، ژنراتورها و ماشین آلات در تماس هستند. بنابراین میانگین مواجهه گروهی از این افراد با صدای آزاردهنده بالاتر از میانگین مواجهه افراد شاغل در محیط های صنعتی خواهد بود (۹). صداها در محیط‌های نظامی به دو دسته صداهای پیوسته (تراز فشار صوت بالای ۸۷ دسی بل نظیر صدای ناشی از موتورهای وسایل حمل و نقل زمینی و دریایی) و صداهای ضربه‌ای (تراز فشار صوت ۱۴۰ دسی بل نظیر صدای ناشی از انفجار بمب ها) تقسیم می‌شوند. در نتیجه، می‌توان بیان نمود که پرسنل نظامی در معرض خطر ابتلا به افت شنوایی ناشی از صدا می‌باشند. NIHL می‌تواند برعملکرد شغلی و شنوایی عادی به عنوان یک پیش شرط اساسی برای پرسنل نظامی اثرات منفی داشته باشد (۱۱).

برای هر کدام از صداهای تولید شده راهکارهای جداگانه برای کنترل صدا وجود دارد، اما به طور عمومی برای کنترل صدا در داخل کابین از دو روش عمده کنترل صدا مبتنی بر جذب صدا (با استفاده از مواد جاذب) و کنترل مبتنی بر ایزولاسیون صوتی (با استفاده از موانع صوتی) استفاده می‌شود (۲،۱۲).

دستیابی به یک محیط مطلوب از نظر صدا، توسط تکنیک‌های متعددی امکان‌پذیر بوده است که براساس اصول مهندسی صدا، کنترل صدا از منبع بهترین راه برای کنترل صدا می‌باشد. بدین منظور برای وسایل نقلیه کنترل صدا به وسیله طراحی موتور و چرخ‌ها بهتر انجام می‌شود (۵،۱۳). دومین انتخاب مناسب برای کنترل صدا در داخل کابین وسایل نقلیه استفاده از مواد جاذب صدا می‌باشد (۱۴). مواد جاذب صدا میزان تراز فشار صوتی را که مستقیما از منبع به شخص دریافت کننده می‌رسد را تغییر نمی‌دهد. در عوض این مواد بر روی صدایی که حداقل یک بار از دیوار منعکس می‌شود تاثیر می‌گذارد، صدای منبع با صدای بازتاب یافته تجمیع می‌یابد (۱۵).

پدیده جذب صوت کم و بیش در تمامی مصالح وجود دارد. میزان جذب صوت در مصالح مختلف اختصاصی بوده و برای هرنوع ماده ثابت است. هر ماده‌ای از نظر درصد جذب انرژی صوت در کل باند فرکانسی و نیز در هر فرکانس ضریب جذب مخصوص به خود را دارد. ضریب جذب صوت در هر ماده عبارت از انرژی صوتی جذب شده به انرژی صوتی اولیه می‌باشد (۸). علی آبادی و همکاران با بررسی خصوصیات جذب صوتی انواع مواد و مصالح به این نتیجه دست یافتند که با افزایش ضخامت فوم‌های پایه

شیمیایی ضریب جذب صوتی افزایش می‌یابد. با این حال تأثیر دانسیته جاذب بر افزایش ضریب جذب در مقایسه با اثر ضخامت جاذب بسیار ناچیز است. فوم پلی‌اورتان در مقایسه با فوم پلی‌اتیلن کارآیی بسیار بالاتری از لحاظ جذب صوتی داشت (۱۶). Kumar و همکاران با بررسی پارچه‌های آکوستیک و جاذب‌های صوتی در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که جذب صدا توسط مواد آکوستیک در فرکانس‌های پایین ارتباط مستقیمی با ضخامت ماده جاذب دارد (۱۷). مواد پلیمری، لیفی، متخلخل و انواع دیگری از مواد به طور گسترده برای جذب صدا مورد استفاده قرار می‌گیرند. مواد جاذب معمولا به منظور مقابله با اثرات نامطلوب صدای انعکاس یافته از سطوح سفت و سخت استفاده شده و باعث کاهش سطح صدای منعکس شده می‌شوند (۱۴). از دیواره‌های جاذب به صورت‌های مختلفی می‌توان استفاده نمود، مثلا روکش نمودن داخل کابین یا سازه یک بنا با لایه‌ای از مواد جاذب که در جلوگیری از انعکاس صوت موثر بوده و انتشار صوت را به میدان آزاد نزدیک می‌کند. جاذب‌های صوتی در ۳ گروه طبقه‌بندی می‌شوند: ۱) جاذب‌های صفحه‌ای ساده؛ ۲) جاذب‌های صفحه‌ای سوراخ‌دار و ۳) جاذب‌های محفظه‌ای. جاذب‌های صفحه‌ای ساده بیشترین کاربرد را در جذب صدا در فرکانس‌های پایین دارند (۱۸). با توجه به مشکلات مربوط به آلودگی صوتی در مراکز نظامی و اهمیت استفاده از جاذب‌های صوتی در کنترل و کاهش صدا، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تاثیر جاذب‌های مختلف بر کاهش صدا در نفربرزرهی انجام شد.

روش‌ها

مطالعه حاضر به صورت مقطعی و مداخله‌ای در سال ۱۳۹۶ انجام شد. در این مطالعه سه نفربرزرهی در دسترس بودند که اندازه‌گیری بر هر ۳ دستگاه نفربرزرهی مدل (BMP1) با قدرت موتور ۳۰۰ اسب بخار و ۶ سیلندر انجام شد. رویه اندازه‌گیری صدا در داخل کابین وسایل نقلیه بر اساس استاندارد – BS6086 (ISO5128-1980) 1981 انجام شد (۵). به منظور بررسی و اندازه‌گیری تراز فشار صدا، از دستگاه ترازسنج صدا (CASELLA CEL-62X) ساخت کشور انگلستان دارای آنالیز فرکانسی و قابلیت ضبط صدا در داخل حافظه استفاده شد. با توجه به اینکه بیشترین تمرینات روزمره با نفربرها در ۳ حالت روشن و سکون با دور موتور ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ دور در دقیقه، آماده به حرکت با دور موتور ۱۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت ۱۵ کیلومتر در ساعت تانک با دور موتور ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ دور در دقیقه مورد استفاده قرار می‌گیرند و میزان سر و صدا در هر حالت متفاوت می‌باشد، لذا میزان سر و صدا در هر سه حالت مورد بررسی و اندازه‌گیری قرارگرفت. برای اطمینان از قرائت صحیح در هر سه حالت ۳ بار اندازه‌گیری صورت گرفت و میانگین آن در نظر گرفته شد. در هر حالت حداقل یک دقیقه دستگاه در حال اندازه‌گیری بود و فاصله بین سه قرائت نیز یک دقیقه در نظر گرفته شد. قابل ذکر می‌باشد که میزان تراز فشار صوت در فرکانس‌های مختلف در شبکه خطی، به همراه میزان تراز معادل مواجهه صوت در شبکه A اندازه‌گیری شد. فرکانس‌های ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰ هرتز و همچنین تراز معادل مواجهه صوت مورد بررسی قرار گرفت. فرکانس‌های پایین تر از ۲۵۰ هرتز به دلیل عدم توانایی سیستم بلندگو در تولید صوت در این فرکانس‌ها مورد بررسی قرار نگرفتند. به منظور انجام مداخله و کاهش هزینه‌ها، اتاقکی مشابه با بدنه اصلی در ابعاد کوچکتر ۱ متر در ۱ متر در ۱متر تهیه شد. در تهیه بدنه اتاقک از ورق آهن با ضخامت ۱/۵ میلی متر که مشابه با متریال بدنه تانک بوده و ضریب بازتاب صوتی یکسان دارد استفاده شد و لذا جنس متریال به عنوان یک عامل مداخله‌گر در نظر گرفته نشد (۱۹). جهت ساخت اتاقک فاکتورهای ابعاد اتاقک، شکل اتاقک، داشتن فونداسیون و یا سطح مناسب مورد توجه قرار گرفتند. با استفاده از بلندگو مدل (Soundbar) صوت مورد نظر در فرکانس‌های مختلف با تراز فشار صوت مختلف تولید شد. از آن‌جا که در این مطالعه هدف اصلی کاهش میزان صوت ناشی از بازتاب صدا در داخل کابین می‌باشد، صوت اولیه و مدل انتشار آن تاثیری در نتایج تحقیق نداشت و به عنوان یک عامل مداخله‌گر در نظر گرفته نشد. بلندگو به کامپیوتر متصل و فرکانس‌های مختلف توسط نرم‌افزار (NCH Tone Generator) تولید شد. میزان تراز فشار صوت تولید شده در فرکانس‌های مختلف به دلایل محدودیت بلندگو و نزدیکی به تراز فشار صوت در داخل کابین در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول-۱. صدای تولید در داخل اتاقک بدون استفاده از مواد جاذب صوتی

فرکانس	صدا داخل اتاقک
۱۲۵	۹۰
۲۵۰	۹۵
۵۰۰	۱۰۰
۱۰۰۰	۱۰۰
۲۰۰۰	۹۵
۴۰۰۰	۹۰

جدول-۲. مواد مورد استفاده در طرح به عنوان مواد جاذب

نام ماده	دانسیته kg/m^2	ضخامت cm
نمد	۳۰-۲۵	۰/۸
فوم پلی اتیلن	۲۰	۲
پشم شیشه	۱۲	۳/۲
فوم شانه تخم مرغی پلی اورتان	۱۲	۲/۵
فوم شانه تخم مرغی پلی اورتان	۱۲	۴/۲

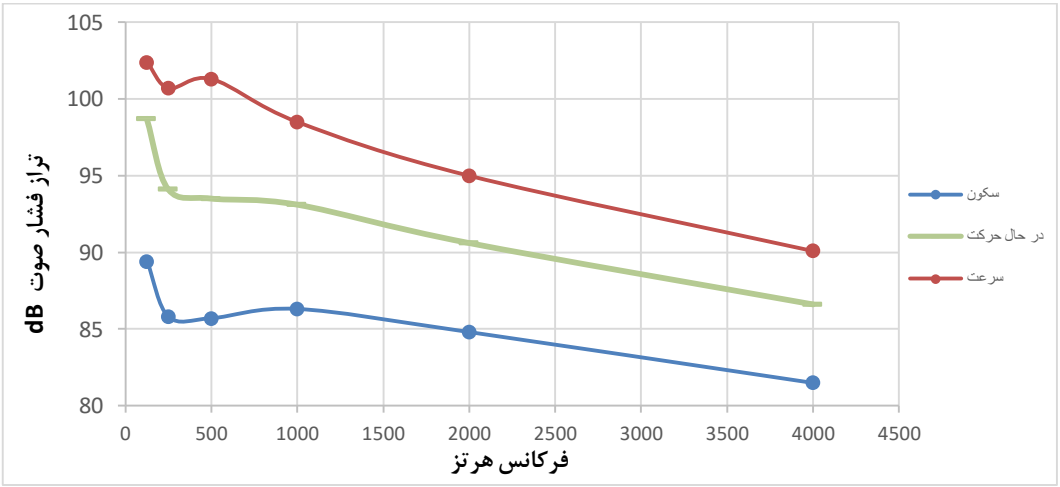
مشخصات کلی مواد جاذب مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است. مواردی که در انتخاب مواد در نظر گرفته شدند، عبارت بودند از: موادی که در مقالات و کتب علمی در حوزه آکوستیک، از نظر میزان ضریب جذب صوت اثربخشی بهتری را ارائه داده اند، دسترسی به آن در سطح بازار داخلی سهل الوصول است، دارای هزینه مناسب و قابل قبول می‌باشند، جهت نصب آن مشکلی وجود نداشته، بتوان با دقت کافی آن را نصب نمود، ماده مورد نظر نمی‌بایست مشکلات زیست محیطی و یا شغلی برای افراد داشته باشد. جهت مقایسه بهتر مواد، سعی شد حتی‌المقدور ضخامت‌ها و دانسیته‌های مواد، شبیه به هم و یا نزدیک به هم باشد.

نتایج

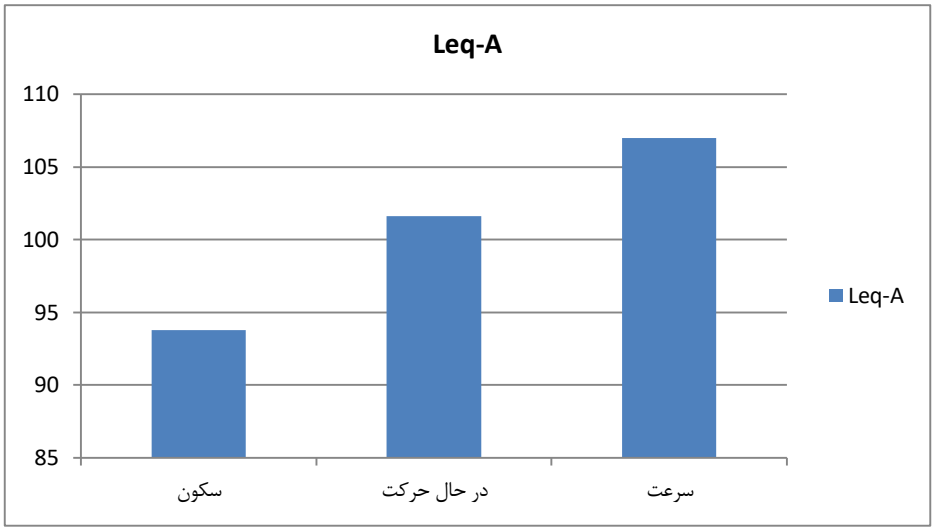
پس از استقرار دستگاه در داخل کابین تانک نفربر و اندازه‌گیری و ثبت نتایج، میزان تراز فشار صوت در فرکانس‌های مختلف و همچنین تراز معادل مواجهه فشار صوت در داخل جدول ۳ آورده شده است. هم چنین نمودار ۱ مقایسه مربوط به میزان تراز فشار صوت در فرکانس های مختلف در سه وضعیت متفاوت در داخل کابین را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است در سه وضعیت متفاوت میزان تراز فشار صوت در فرکانس‌های پایین بیشتر از فرکانس‌های بالا می‌باشد. در نمودار ۲ مقایسه مربوط به میزان تراز معادل مواجهه فشار صوت در سه وضعیت متفاوت در داخل کابین آورده شده است.

جدول-۳. تراز فشار صوت در داخل کابین تانک نفربر

تراز فشار صوت در داخل کابین تانک نفربر (dBA)			
فرکانس (هرتز)	سکون	آماده به حرکت	سرعت ۱۵ km/h
۱۲۵	۸۹/۴	۹۸/۷	۱۰۲/۴
۲۵۰	۸۵/۸	۹۴/۱	۱۰۰/۷
۵۰۰	۸۵/۷	۹۳/۵	۱۰۱/۳
۱۰۰۰	۸۶/۳	۹۳/۱	۹۸/۵
۲۰۰۰	۸۴/۸	۹۰/۶	۹۵
۴۰۰۰	۸۱/۵	۸۶/۶	۹۰/۱
Leq-A	۹۳/۸	۱۰۱/۶	۱۰۷



نمودار-۱. میزان تراز فشار صوت در فرکانس‌های مختلف در داخل کابین تانک نفربر



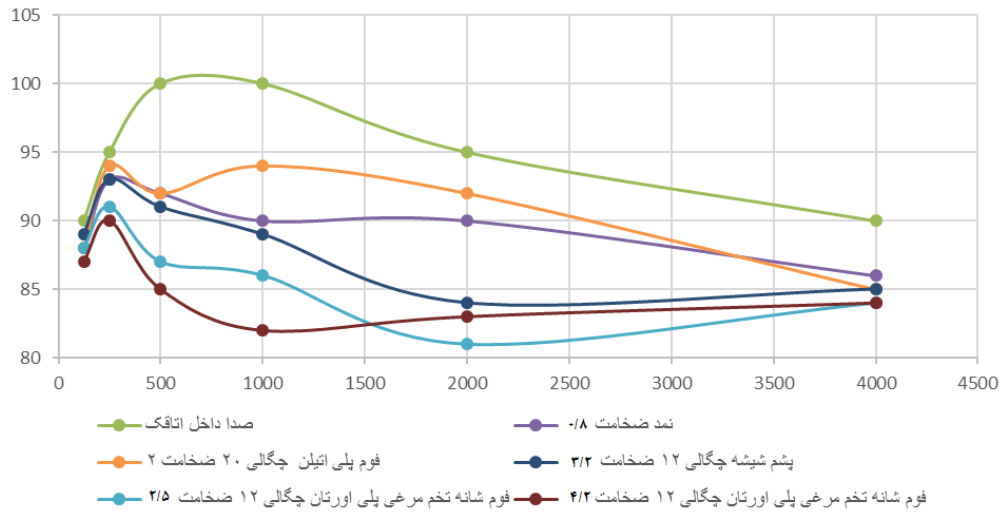
نمودار-۲. میزان تراز معادل مواجهه فشار صوت در سه وضعیت متفاوت در داخل کابین تانک نفربر

تراز فشار صوت پس از ساختن اتاقک و تولید صوت در فرکانس‌های مختلف در داخل آن و نصب مواد جاذب متفاوت در داخل کابین، بر حسب dBA اندازه‌گیری شد و نتایج نیز در جدول ۴ و نمودار ۳ آورده شده است.

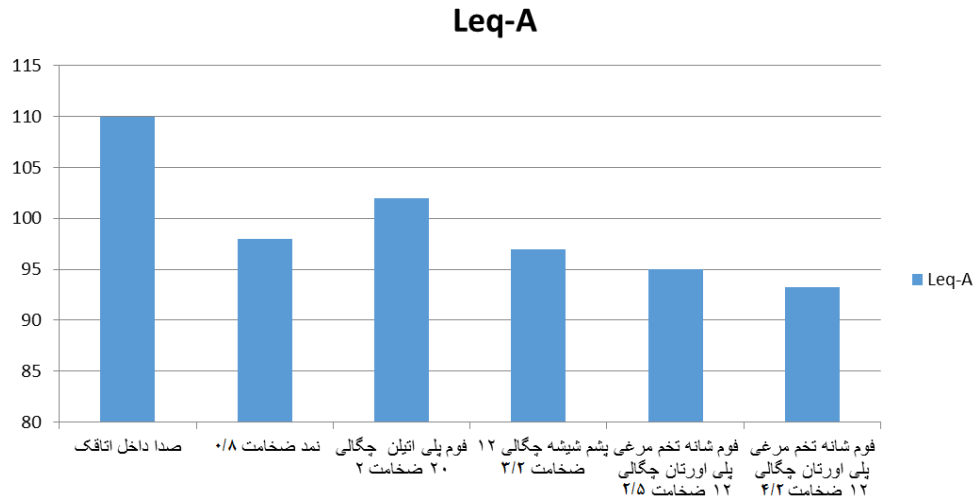
در نمودار ۴ مقایسه مربوط به میزان تراز معادل مواجهه فشار صوت در داخل اتاقک بدون مواد جاذب و همچنین پس از نصب مواد جاذب آورده شده است. تراز معادل مواجهه صوت در داخل اتاقک بدون مواد جاذب ۱۱۰ dBA در نظر گرفته شد.

جدول-۴. میزان تراز فشار صوت در فرکانس‌های مختلف در داخل اتاقک به همراه نصب مواد جاذب

	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	Leq-A	معناداری
صدا داخل اتاقک	۹۰	۹۵	۱۰۰	۱۰۰	۹۵	۹۰	۱۱۰	-
نمد ضخامت ۰/۸ CM	۸۸	۹۳	۹۲	۹۰	۹۰	۸۶	۹۸	۰/۶۳
فوم پلی اتیلن چگالی ۲۰ kg/m ضخامت ۲ cm	۸۸	۹۴	۹۲	۹۴	۹۲	۸۵	۱۰۲	۰/۷۵
پشم شیشه چگالی ۱۲ kg/m^2 ضخامت ۳/۲ cm	۸۹	۹۳	۹۱	۸۹	۸۴	۸۵	۹۷	۰/۵۲
فوم شانه تخم مرغی پلی‌اورتان چگالی ۱۲ kg/m^2 ضخامت ۲/۵ cm	۸۸	۹۱	۸۷	۸۶	۸۱	۸۴	۹۵	۰/۰۳
فوم شانه تخم مرغی پلی‌اورتان چگالی ۱۲ kg/m^2 ضخامت ۴/۲ cm	۸۷	۹۰	۸۵	۸۲	۸۳	۸۴	۹۳/۲	۰/۰۱۵



نمودار- ۳. میزان تراز فشار صوت در فرکانس‌های مختلف در داخل اتاقک به همراه نصب مواد جاذب



نمودار-۴. میزان تراز معادل مواجهه فشار صوت در داخل اتاقک بدون مواد جاذب و هم چنین پس از نصب مواد جاذب

بحث

در این مطالعه به بررسی میزان تراز فشار صوت در داخل کابین نفربرهای زرهی پرداخته شد و تلاش شد که با استفاده از امکانات و دسترسی‌های موجود راهکارهای مناسب برای کاهش تراز فشار صوت در داخل کابین ارائه گردد.

پس از بررسی نتایج در ۳ وضعیت اندازه‌گیری شده میزان تراز معادل فشار صوت بالاتر از حد مجاز توصیه شده توسط سازمان ACGIH و کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای ایران می‌باشد. مدت زمان مجاز مواجهه با تراز معادل مواجهه فشار صوت ۹۳/۸ dBA در وضعیت سکون برابر با یک ساعت می‌باشد و همچنین مدت زمان مواجهه مجاز با صدای ۱۰۱/۶ dBA در وضعیت در حالت آماده به حرکت برابر ۱۰ دقیقه می‌باشد و در وضعیت حرکت با سرعت ۱۵ کیلومتر در ساعت با میزان تراز معادل فشار صوت ۱۰۷ dBA، مدت زمان مجاز مواجهه برابر با ۳ دقیقه می‌باشد.

در زمانی که تراز معادل فشار صوت را با سایر ماشین آلات از قبیل ماشین آلات به‌کار رفته در صنعت نیشکر مقایسه می‌کنیم مشخص می‌شود که در ماشین آلات نیشکر حداکثر صدا در داخل این ماشین آلات ۹۲/۳ dBA اندازه‌گیری شده است (۲۰) که بسیار کمتر از حداکثر تراز معادل فشار صوت در داخل کابین نفربرهای زرهی می‌باشد. همچنین در مطالعه توسط Dewangan که بر روی میزان تراز صدا در داخل تراکتور کشاورزی بود حداکثر تراز فشار صدا ۹۲ dBA (۲۱) و در مطالعه Sümer بر روی کامباین نیز حداکثر فشار صوت ۹۰dBA گزارش شد (۲۲)، که نشان می‌دهد که تراز فشار صوت در داخل کابین نفربرهای زرهی به مراتب بیشتر از ماشین آلات کشاورزی می‌باشد. همچنین در زمانی که تراز معادل فشار صوت را در داخل کابین تانک نفربر BMP1 با نتایج مطالعه Ruffa و همکاران بر روی تانک آرژانتینی TAM مقایسه می‌شود مشخص می‌گردد که میزان تراز معادل مواجهه صوت در هر دو کابین تقریبا نزدیک به هم بوده به‌گونه‌ای که در مطالعه Ruffa که میزان تراز معادل مواجهه صوت در چندین وضعیت مختلف حرکت تانک بررسی شده بود، ۱۰۴/۶ dBA ثبت شد، که با نتایج تحقیقات بر روی تانک نفربر BMP1 که بیشترین میزان تراز معادل مواجهه ۱۰۷ dBA و کمترین آن ۹۳/۸ dBA هم‌خوانی دارد (۲۳).

همان گونه که مشاهده می‌شود میزان تراز فشار صوت در داخل کابین نفربر در فرکانس‌های پایین بیشتر از فرکانس‌های بالا می‌باشد که با نتایج مطالعه Wijngaarden و همکاران و همچنین مطالعه Ruffa و همکاران همخوانی دارد (۱،۲۳).

با توجه به این که مواد جاذب در فرکانس‌های بالا دارای کارآیی بهتری نسبت به فرکانس‌های پایین در میزان جذب صوت می‌باشند، در این مطالعه نیز مشخص گردید که تمامی مواد مورد استفاده در فرکانس‌های بالاتر از ۵۰۰ هرتز کارآیی بهتری از خود نشان دادند که با نتایج مطالعات فروهر مجد و همکاران هم‌خوانی دارد (۲۴).

در بین مواد مورد استفاده فوم شانه تخم مرغی پلی‌اورتان چگالی ۱۲ kg/m^2 ضخامت ۴/۲ سانتی‌متر بیشترین کارآیی را در کاهش تراز فشار صوت متناظر و تراز فشار صوت در فرکانس‌های مختلف به جز فرکانس ۲۰۰۰ هرتز در داخل اتاقک دارا بود. این ماده تراز فشار متناظر صوت را از ۱۰۶ dBA در داخل اتاقک به ۹۱ dBA کاهش داد. در نتیجه در این وضعیت فشار صوت بیشتر از یک چهارم میزان اولیه کاهش یافته است و میزان مدت مجاز مواجهه کارگر از ۳/۷۵ دقیقه به حدود ۱۲۰ دقیقه افزایش یافت.

پس از آن ماده جاذب فوم شانه تخم مرغی پلی‌اورتان چگالی ۱۲ kg/m^2 ضخامت ۵/۲ سانتی‌متر بیشترین میزان جذب انرژی صوتی در اتاقک را را برخوردار بود. این ماده تراز فشار متناظر صوت را از ۱۰۶ dBA در داخل اتاقک به ۹۳ dBA کاهش داد و در نتیجه مدت زمان مجاز مواجهه به حدود ۸۰ دقیقه افزایش یافت.

با توجه به کاهش ضریب جذب صوتی با کاهش ضخامت در فوم شانه تخم مرغی پلی‌اورتان، مشخص شد که ضخامت ماده

جاذب یکی از عوامل تاثیرگذار در ضریب جذب صوتی می‌باشد که این نتیجه با مطالعه Xie و همکاران که دریافتند ضریب جذب مواد با افزایش ضخامت افزایش پیدا می‌کند هماهنگی دارد (۲۵). هم چنین با مطالعه Lu و همکاران که گزارش نمود ضریب جذب فولاد متخلخل با افزایش فرکانس و افزایش ضخامت نمونه افزایش می‌یابد (۲۶).

پس از دو ماده ذکر شده، پشم شیشه چگالی $12\ kg/m^2$ ضخامت ۳/۲ سانتی‌متر، کارآیی مناسب‌تری داشت. این ماده تراز فشار متناظر صوت را از ۱۰۶ dBA در داخل اتاقک به ۹۵ dBA کاهش داد که ۱۰/۳ درصد کاهش و در نتیجه مدت زمان مجاز مواجهه به حدود ۵۰ دقیقه افزایش یافت.

نمد با ضخامت ۰/۸ سانتی‌متر در رده چهارم از نظر کاهش تراز فشار متناظر صوت را به خود اختصاص داد. این ماده میزان تراز فشار متناظر صوت را از ۱۰۶ dBA در داخل اتاقک به ۹۶ dBA کاهش داد و در نتیجه مدت زمان مجاز مواجهه به حدود ۴۰ دقیقه افزایش یافت.

و در نهایت فوم پلی‌اتیلن چگالی $20\ kg/m^2$ ضخامت ۲ سانتی‌متر ، با کمترین میزان تراز فشار متناظر صوت از کمترین کارآیی برخوردار بود. این ماده میزان تراز فشار متناظر صوت را از ۱۰۶ dBA در داخل اتاقک به ۹۹ dBA کاهش داد. به طور کلی ترکیبات پلی‌اورتان دارای خواص مناسب فیزیکی بوده و می‌توانند به طور همزمان به عنوان جاذب صدا و عایق گرما در تجهیزاتی که علاوه بر سر و صدا گرما نیز ایجاد می‌کنند مورد استفاده قرار گیرند (۲۰).

نتیجه‌گیری

در وضعیت ماشین روشن و در حالت سکون صدای مربوطه فقط مرتبط با موتور با دور پایین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ دور در دقیقه می‌باشد. در زمانی که نفربر آماده به حرکت می‌باشد صدای اندازه‌گیری شده مرتبط با موتور با دور ۱۴۰۰ دور در دقیقه نفربر می‌باشد، و در زمانی که نفر بر با سرعت ۱۵ کیلومتر بر ساعت در حال حرکت است، علاوه بر موتور دستگاه که در ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ دور در دقیقه کار می‌کند، صدای ناشی از حرکت زنجیرها نیز در افزایش تراز معادل فشار صوت نقش داشته‌اند. که این نتایج نیز با نتایج حاصل از مطالعه زمانیان و همکاران و هم‌چنین مطالعه Dewangan و همکاران هم‌خوانی دارد (۲۰،۲۱).

با توجه به میزان توانایی مواد جاذب مورد استفاده در جذب انرژی صوت و کاهش تراز فشار صوت می‌توان نتیجه گرفت که بهترین مواد (موادی که در این طرح مورد مطالعه قرار گرفتند) برای استفاده در داخل کابین نفربرزرهی به ترتیب شامل موارد زیر می‌باشند:

۱) فوم شانه تخم مرغی پلی‌اورتان چگالی $12\ kg/m^2$ ضخامت ۴/۲ سانتی‌متر

۲) فوم شانه تخم مرغی پلی‌اورتان چگالی $12\ kg/m^2$ ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر

۳) پشم شیشه چگالی $12\ kg/m^2$ ضخامت ۳/۲ سانتی‌متر

۴) نمد ضخامت ۰/۸ سانتی‌متر

۵) فوم پلی‌اتیلن چگالی $20\ kg/m^2$ با ضخامت ۲ سانتی‌متر

در تکنیک کنترل صدا مبتنی بر جذب صدا، که در این پروژه نیز مورد بررسی قرار گرفت، با استفاده از مواد با ضریب جذب صوت بالا در داخل کابین، از میزان بازتاب صوت در برخورد با جداره‌ها و صفحات می‌کاهد و در نتیجه سبب کاهش تراز فشار صوت می‌گردد. در این روش مهم‌ترین نکته استفاده از ماده جاذب مناسب می‌باشد، که علاوه بر داشتن ضریب جذب بالا در فرکانس‌های مختلف، از خصوصیات فیزیکی قابل قبولی برخوردار باشد. با توجه به مواد جاذب مورد استفاده در این تحقیق، بهترین و کاربردی ترین ماده برای نصب در داخل کابین به منظور کاهش تراز فشار صوت فوم شانه تخم مرغی پلی‌اورتان با چگالی ۱۲ و ضخامت ۴/۲ می‌باشد. که این ماده توانست در آزمایشات ما میزان تراز معادل مواجه صوت را از ۱۱۰ dBA به ۹۴ dBA کاهش دهد.

پیشنهاد می‌گردد در یگان‌های زرهی چنانچه میزان سر و صدا تولید شده بیش از حد مجاز می‌باشد از روش‌های توصیه شده در این طرح برای کاهش مواجهه پرسنل با سر و صدای زیان‌آور استفاده شود.

نکات بالینی کاربردی برای جوامع نظامی

- صدا یکی از مهمترین متغیرهای مؤثر بر فعالیت‌های فیزیکی و ذهنی نیروهای نظامی می‌باشد.
- صدا یکی از عوامل بروز اختلال شنوایی است.
- ایجاد ناشنوایی و یا کاهش شنوایی در اثر صدا معمولا به صورت تدریجی و در اثر تماس مداوم با سر و صدا ایجاد می‌گردد. زمانی که کاهش شنوایی به علت صدا ایجاد شده باشد، هیچ گونه امکانی برای بازگشت شنوایی وجود ندارد. زیرا آسیب در اثر تحریک بیش از حد صوتی در قسمت حلزونی گوش و صدمه به سلول‌های حساس شنوایی ایجاد می‌شود.
- نصب جاذب با کارایی بالا در کابین تانک نفربر، می‌تواند نیروی‌های نظامی را در برابر اثرات زیان‌آور صدا محافظت نماید. سرکوب صدا در منبع، کاری مشکل و هزینه‌بر است، اما عایق کردن و استفاده از جاذب، تراز صدایی مجاز را برای نیروی نظامی فراهم می‌نماید.

تشکر و قدردانی: این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با کد اخلاق IR.BMSU.REC.1396.281 ثبت شده در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج) می‌باشد. نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از تیپ زرهی همکاری‌کننده در جمع‌آوری اطلاعات طرح اعلام می نمایند.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در ارائه ایده و طرح اولیه، جمع‌آوری داده‌ها، تکمیل پرسشنامه‌ها، تحلیل و تفسیر داده‌ها

سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقّت و صحت مطالب مندرج در آن را می‌پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. van Wijngaarden SJ, James S. Protecting crew members against military vehicle noise. TNO Human Factors Soesterberg (Netherlands) Thermal Physiology Group; 2004.
2. Vér IL, Beranek LL, editors. Noise and vibration control engineering: principles and applications. John Wiley & Sons; 2006.
3. Dehghan H, Valipour F, Mobasheri Demneh M, Mahaki B, Mobasheri Demneh A. Effect of mine protective clothing on vision fatigue and reaction time in hot and dry laboratory condition. J Mil Med. 2016;17(4):299-305. [In Persian]
4. Haverkamp M. Brake noise assessment by means of vehicle road tests subjective parameters and objective measurement concepts. SAE Technical Paper; 2005. doi:10.4271/2005-01-3940
5. Harrison M. Vehicle refinement: controlling noise and vibration in road vehicles. Elsevier; 2004.
6. Behar A. Measurement of noise inside truck cabins. Appl Acoust. 1981;14(3):215-23. doi:10.1016/0003-682X(81)90033-5
7. Taban E, Valipour F, Abdi D, Amininasab S. Mathematical and experimental investigation of sound absorption behavior of sustainable kenaf fiber at low frequency. Int J Environ Sci Technol. 2021; 18(9):2765-80. doi:10.1007/s13762-020-03024-0
8. Brungart DS, Barrett ME, Schurman J, Sheffield B, Ramos L, Martorana R, et al. Relationship between subjective reports of temporary threshold shift and the prevalence of hearing problems in military personnel. Trends Hear. 2019;23:2331216519872601. doi:10.1177/2331216519872601
9. Grantham MA. Noise-induced hearing loss and tinnitus: Challenges for the military. Noise-Induced Hearing Loss: Springer; 2012. p. 27-38. doi:10.1007/978-1-4419-9523-0_3
10. Karch SJ, Capó-Aponte JE, McIlwain DS, Lo M, Krishnamurti S, Staton RN, et al. Hearing Loss and Tinnitus in Military Personnel with Deployment-Related Mild Traumatic Brain Injury. US Army Med Dep J. 2016; (3-16):52-63.
11. Collée A, Watelet J-B, Vanmaele H, Van Thielen J, Clarys P. Longitudinal changes in hearing threshold levels for noise-exposed military personnel. Int Arch Occup Environ Health. 2019; 92(2):219-26. doi:10.1007/s00420-018-1368-6
12. Zare S, Ghotbiravandi MR, Elahishirvan H, Ahsaeed MG, Rostami M, Esmaeili R. Modeling and predicting the changes in hearing loss of workers with the use of a neural network data mining algorithm: A field study. Arch Acoust. 2020;45(2): 303-11. doi:10.24425/aoa.2020.133150
13. Shu GQ, Wang YJ, WEI HQ, WANG GZ. Measurement and Evaluation of Sound Quality of Interior Noise of Vehicle Cabin [J]. Transactions of CSICE. 2007;25(1):25-013.
14. Helfer TM, Canham-Chervak M, Canada S, Mitchener TA. Epidemiology of hearing impairment and noise-induced hearing injury among US military personnel, 2003–2005. Am J Prev Med. 2010;38 (1):S71-7. doi:10.1016/j.amepre.2009.10.025
15. Cox T, d'Antonio P. Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application. Crc Press; 2016. doi:10.1201/9781315369211
16. Aliabadi M, Golmohammadi R, Oliae M, Shahidi R. Study of noise absorption characteristics for current building materials applied in industrial and office rooms. J Occup Hyg Eng. 2016;3(3):32-9. [In Persian] doi:10.21859/johe-03031
17. Kumar RS, Sundaresan S. Acoustic Textiles–sound absorption. Eur Text J. 2011.
18. Fahy FJ. Foundations of engineering acoustics. academic press. Foundations of Engineering Acoustics. Academic Press. 2001. doi:10.1016/b978-012247665-5/50002-3
19. Valipour F, Dehghan SF, Hajizadeh R. The effect of nano-and microfillers on thermal properties of Polyurethane foam. Int J Environ Sci Technol. 2021:19:541-52. doi:10.1007/s13762-021-03150-3
20. Zamanian Z, Satiarvand M, Naserpour M, Dehghani M. Evaluation of sound propagation inside the cabin and outside the agriculture machinery of sugarcane industry in both mobile and stationary state. J Health Saf Work. 2012;2(1):1-10. [In Persian]
21. Dewangan K, Kumar GP, Tewari V. Noise characteristics of tractors and health effect on farmers. Appl Acoust. 2005;66(9):1049-62. doi:10.1016/j.apacoust.2005.01.002
22. Sümer SK, Say SM, Ege F, Sabanci A. Noise exposed of the operators of combine harvesters with and without a cab. Appl Ergon. 2006;37(6):749-56. doi:10.1016/j.apergo.2005.11.006
23. Ruffa F, Simoncelli JM, Mansilla Benasco J, Cardozo M, Chorubczyk A, Urquiza N, et al., editors. Measurement, evaluation and analysis of noise and vibrations produced by an Argentinean medium tank. Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013; 2013: ASA. doi:10.1121/1.4800863
24. Forouharmajd F, Mohammadi Z. The feasibility of using impedance tube with two microphones and sound absorption coefficient measurement of Iranian-made materials using transfer function method. J Health Sys Res. 2016;12(1):119-24. [In Persian]
25. Xie ZK, Ikeda T, Okuda Y, Nakajima H. Characteristics of sound absorption in lotus-type porous magnesium. Jpn J Appl Phys. 2004;43(10R): 7315. doi:10.1143/JJAP.43.7315
26. Lu M, Hopkins C, Zhao Y, Seiffert G, editors. Sound Absorption Characteristics of Porous Steel Manufactured by Lost Carbonate Sintering. MRS Proceedings; 2009: Cambridge Univ Press. doi:10.1557/PROC-1188-LL07-04