Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 8, Issue 1, Spring 2021, Pages: 65-73

Original Article

doi: 10.52547/johe.8.1.65

Prioritization of Noise Control Methods by the Analytical Hierarchy Process (AHP) in a Battery Factory

Ayub Abdullahzadeh Thani[1], Rasoul Yarahmadi[2], Jamileh Abolghasemi[3], Mehran Firoozbakhsh[4], Jafar Besharati[5], Iraj Alimohammadi[6,*]

[1] *MSc, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[2] *Professors Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[3] *Associate Professor, Department of Biostatistics, School of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[4] *MSc, Department of Environmental Engineering, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[5] *MSc, Department of Environmental Management, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[6] *Professors, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Iraj Alimohammadi, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: irajrastin1@gmail.com*

Received: 26/01/2021
Accepted: 07/03/2021

How to Cite this Article:
Abdullahzadeh Thani A, Yarahmadi R, Abolghasemi J, Firoozbakhsh M, Besharati J, Alimohammadi I. Prioritization of Noise Control Methods by the Analytical Hierarchy Process (AHP) in a Battery Factory. J Occup Hyg Eng. 2021; 8(1): 65-73. DOI: 10.52547/johe.8.1.65

Abstract

Background and Objective: Due to major constraints on time, implementation, and funding in every industry, one of the essential strategies for the management of noise control and selection of the best method is to prioritize noise control methods. The present study aimed to prioritize noise control methods in a battery factory using the Analytical Hierarchy Process (AHP).

Materials and Methods: The present study was conducted based on a descriptive-analytical cross-sectional design. After measurement of sound pressure level and identification of the main sources of noise pollution, Content Validity Index (CVI) and Content Validity Ratio (CVR) were used for screening the criteria and methods of noise control. The relative weight of each of them was calculated by two factors of Eigenvalue and Eigenvector to prioritize noise control methods based on the study criteria.

Results: Based on the results, the Inconsistency Ratio (IR) in pairwise comparisons in all cases was less than 10%, and the consistency of the answers was confirmed. Moreover, among the study criteria, the acoustic efficiency of method with weight (0.1810), and among the proposed methods for noise control, the method of controlling the time of exposure to noise and training of workers with weight (0.1732) had the highest priority.

Conclusion: As evidenced by the obtained results, the best criterion for selecting a sound control device is the acoustic efficiency of the method. Furthermore, based on the results, controlling the duration of exposure to noise and training workers in conditions of high noise exposure was the best method to control noise in a battery factory.

Keywords: Analytical Hierarchy Process; Battery Factory; Noise Control; Noise Pollution; Prioritizing

Copyright © 2021 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (*http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/*) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.8.1.65

اولویت‌بندی روش‌های کنترل صدا با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در یک صنعت باتری‌سازی

ایوب عبدالله‌زاده ثانی[۱]، رسول یاراحمدی[۲]، جمیله ابوالقاسمی[۳]، مهران فیروزبخش[۴]، جعفر بشارتی[۵]، ایرج علیمحمدی[۶،*]

[۱] کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۲] استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۳] دانشیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۴] کارشناس ارشد، گروه مهندسی محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۵] کارشناس ارشد، گروه مدیریت محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۶] استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

* **نویسنده مسئول:** ایرج علیمحمدی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران. ایمیل: irajrastin1@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به محدودیت‌های زمانی، اجرایی و تأمین منابع مالی در هر صنعت، یکی از راهکارهای اساسی برای مدیریت کنترل صدا و انتخاب بهترین روش، استفاده از اولویت‌بندی روش‌های کنترل صداست. هدف از مطالعه حاضر، اولویت‌بندی روش‌های کنترل صدا در یک صنعت باتری‌سازی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بود.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر یک مطالعه مقطعی از نوع توصیفی-تحلیلی بود. پس از اندازه‌گیری تراز فشار صوت و شناسایی منابع عمده مولد آلودگی صوتی، به‌منظور غربالگری معیارها و روش‌های کنترل صدا از شاخص روایی محتوایی (CVI) و نسبت روایی محتوایی (CVR) استفاده شد. اولویت‌بندی روش‌های کنترل صدا بر اساس معیارهای مطالعه با محاسبه وزن نسبی هریک از آن‌ها با کمک دو عامل مقدار ویژه و بردار ویژه انجام شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از مطالعه نشان داد میزان ناسازگاری در مقایسه‌های زوجی در تمام موارد کمتر از ۱۰ درصد است و سازگاری پاسخ‌ها تأیید می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، از بین معیارهای مطالعه، معیار کارایی آکوستیکی روش با وزن (۰/۱۸۱۰) و از بین روش‌های پیشنهادی کنترل صدا، روش کنترل مدت‌زمان مواجهه با صدا و آموزش کارگران با وزن (۰/۱۷۳۲) بیشترین اولویت را داشتند.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی یافته‌های مطالعه نشان داد بهترین معیار به‌منظور انتخاب وسیله کنترل صدا، معیار کارایی آکوستیکی روش است. همچنین بر اساس نتایج، کنترل مدت‌زمان مواجهه با صدا و آموزش کارگران بهترین روش کنترل صدا به‌منظور کنترل صدای منابع عمده تولید صدا در صنعت باتری‌سازی است.

واژگان کلیدی: آلودگی صوتی؛ اولویت‌بندی؛ صنعت باتری‌سازی؛ فرایند تحلیل سلسله مراتبی؛ کنترل صدا

مقدمه

آلودگی صوتی فراگیرترین و مهم‌ترین عامل فیزیکی تهدیدکننده سلامت شاغلان شناخته شده است [۱]. افزایش ضربان قلب [۲-۴]، ایجاد استرس اکسیداتیو [۵،۶]، تداخل با مکالمه [۷،۸]، آزردگی صوتی [۹-۱۲]، اختلالات خواب [۱۳-۱۵]، اثر روی سیستم قلبی و عروقی [۱۶-۱۸] وتولید مثل [۱۹،۲۰] و افزایش حوادث ناشی از کار [۲۱-۲۳] از اثرات مواجهه با صدای بیشتر از حد مجاز مواجهه است. صدا روی عملکرد ذهنی و فیزیکی فرد و رفتارهای اجتماعی او نیز اثر می‌گذارد. شدت و اثرات صدا بسته به میزان فشار صوت، باند فرکانسی و مشخصه‌های فیزیکی صوت متغیر است [۲۴].

برای حفاظت از مواجهه بیشتر از حد مجاز کارگران با صدا، سه خط مشی در کنترل صدا به ترتیب اولویت به‌گونه‌ای است که تا حد امکان صدا در منبع صوت کنترل شود. در این روش ممکن است اجزای ماشین و تجهیزات مولد آلودگی صوتی و حتی فرایند کار دستخوش تغییراتی شوند. البته برای کنترل صدا در منبع همواره باید برای دستگاه‌ها و تجهیزات پایش و نگهداری‌های لازم صورت گیرد. کنترل صدا در منبع در بعضی موارد اجرایی نیست و بسیار هزینه‌بر است در این مواقع کنترل صدا در مسیر انتقال صوت پیشنهاد می‌شود. ساخت اتاقک در مسیر انتقال صوت، ایجاد مانع و استفاده از جاذب‌های آکوستیکی و غیره از اقدامات ممکن در این خط مشی هستند. در صورتی که دو روش مذکور به هر دلیلی قابل اجرا نباشند، برای کاهش میزان مواجهه کارگر با صدا ابتدا زمان مواجهه کارگر مدیریت می‌شود و از طریق چرخشی‌کردن کار این زمان کاهش می‌یابد. همچنین به‌کارگیری وسایل حفاظت فردی از قبیل ایرماف‌ها یا ایرپلاگ‌ها توصیه شده است [۲۵-۲۷].

با توجه به اینکه صنعت باتری‌سازی سطح وسیعی از نیروی کار را به خود اختصاص داده است و همچنین به دلیل تنوع در فرایندها و تجهیزات مولد آلودگی صوتی در آن، اقدام به تعیین وضعیت مواجهه صوتی کارکنان و کنترل صدا به‌منظور کاهش مواجهه کارگران ضروری است. در طراحی برای کنترل صدای تجهیزات و اثربخشی هرچه بیشتر فرایند کاهش صدا نیازمند تصمیم‌گیری صحیح درخصوص روش استفاده‌شده برای کنترل صدا با وجود محدودیت‌های اجرایی و مالی هستیم که هر صنعتی با آن روبه‌رو است. ازآنجاکه روش‌های کنترل صدا هرکدام مزایا و معایبی دارند، تصمیم‌گیری صحیح باعث انتخاب بهترین و عملی‌ترین روش کنترل صدا برای هریک از تجهیزات در آن صنعت می‌شود و با توجه به ملاحظات مالی و محدودیت‌های اجرای روش‌های کنترل صدا، اولویت‌بندی اجرای هر کدام از روش‌ها اهمیت زیادی دارد.

یکی از راهکارهای سودمند، اولویت‌بندی روش‌های کنترل صدا با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multiple-Criteria Decision Analysis: MCDM) است [۲۸،۲۹]. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process: AHP) یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به‌منظور تصمیم‌گیری و انتخاب یک گزینه از میان گزینه‌های متعدد تصمیم، با توجه به شاخص‌هایی به کار می‌رود که تصمیم‌گیرنده تعیین می‌کند[۳۰،۳۱]. عادل آذر و همکاران در مطالعه خود، روش AHP را بهترین روش از نظر متخصصان و تعداد مقالات و پروژه‌های تحقیقاتی معرفی کردند [۳۲]. این روش مسائل پیچیده را بر اساس آثار متقابل آن‌ها بررسی و آن‌ها را ساده‌تر می‌کند و به حل آن‌ها می‌پردازد. هدف از این مطالعه استفاده از روش AHP به‌منظور اولویت‌بندی روش‌های کنترل صدا در یک صنعت باتری‌سازی است.

روش کار

مراحل انجام پژوهش

۱. ارزیابی محیطی صدا

ابتدا طی بازدید و مصاحبه با مهندسان، ناظران و کارگران شاغل در صنعت و ارزیابی اولیه به‌وسیله صداسنج، محل مدنظر با آلودگی صوتی زیاد و آسیب‌رسان تشخیص داده شد. سپس به‌منظور تأیید ادعای مبنی بر وجود آلودگی صوتی زیاد، ارزیابی محیطی صدا مطابق استاندارد ISO 9612:2009 و با استفاده از صداسنج مدل CEL -450 ساخت کشور سوئیس انجام شد. قبل و بعد از اندازه‌گیری‌ها، صداسنج با استفاده از کالیبراتور کالیبره شد. نتایج به‌دست‌آمده با حدود مجاز مواجهه (۸ ساعته) کشوری (Occupational Exposure Limit: OELs) مقایسه و با توجه به سه ناحیه از تراز فشار صوت (ایمن، احتیاط، خطر) نقشه ناحیه‌بندی صوتی برای واحد مدنظر با استفاده از نرم‌افزار Surfer نسخه ۱۰ ترسیم شد.

۲. شناسایی و تعیین منابع عمده تولید صدا

در این مرحله با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری‌های محیطی صوت و نقشه‌های صوتی و همچنین نظرخواهی از تیم خبرگان و کارشناسان خبره در مسائل کنترل صدا در بررسی‌های میدانی، منابعی شناسایی شدند که در ایجاد تراز فشار صوت نقش بارزی داشتند یا به نحوی آلودگی صوتی بیشتری تولید می‌کردند.

۳. تحلیل فرکانسی و تعیین تراز توان منابع تولید صدای شناسایی‌شده در مرحله قبل

در این مرحله با توجه به اینکه توان صوت دستگاه‌ها و تجهیزات به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر نشان‌دهنده ویژگی صوتی منبع صدا بود، مطابق استاندارد ISO 3740 اقدام به تعیین تراز توان منابع شد. برای تعیین فرکانس غالب منتشرشده از هر منبع، ابتدا تراز فشار صوت معادل در فرکانس‌های مرکزی یک اکتاو باند در شبکه Lin در ناحیه‌های مشخص‌شده با استاندارد اندازه‌گیری شد. سپس بر اساس دستورالعمل استاندارد ISO 3740 در اطراف منابع شناسایی‌شده بر اساس دیمانسیون دستگاه‌ها و امکان دسترسی به نقاط اطراف دستگاه‌ها، برای هریک از منابع شناسایی‌شده تراز فشار صوت معادل تعیین و با استفاده از معادله ۱ تراز توان صوت برای هر منبع محاسبه شد.

$$L_w = \overline{SPL} + 10\log\frac{S}{S_0} \quad \text{(معادله ۱)}$$

در روابط فوق:

$\overline{SPL}$: میانگین تراز فشارهای صوت اندازه گیری‌شده بر حسب dB،

L_w: تراز توان صوت بر حسب dB،

S: مساحت هریک از اضلاع مکعب فرضی که مقادیر تراز فشار صوت در آن ضلع اندازه‌گیری شده است بر حسب m^2،
S_0: مساحت پایه که برابر $1\ m^2$ است.

۴. تهیه لیست اولیه از معیارها و روش‌های کنترل صدا

بر اساس جست‌وجوی سیستماتیک مقالات در پایگاه‌های معتبر، مطالعه کتب و پایان‌نامه‌های مرتبط و همچنین انجام مطالعات میدانی و با بهره‌گیری از دانش و آگاهی کارشناسان صنعت مربوطه، فهرست اولیه معیارهای تأثیرگذار بر کنترل صدا شامل ۱۷ معیار ازجمله «هزینه اجرای روش، کارایی آکوستیکی روش، قابلیت اجرای روش، فضای مورد نیاز برای ساخت وسیله کنترلی، تعداد افراد در معرض صدا، سهولت استفاده از روش، تداخل وسیله کنترل صدا با فرایند، ابعاد تجهیز (وسیله کنترلی) کنترل صدا، تراز فشار صدای محیط، زیبایی‌شناسی، طول عمر تجهیز (وسیله کنترلی)، موجودبودن مواد و مصالح برای ساخت وسیله کنترلی، ایمن‌بودن وسیله کنترلی، به‌روزبودن وسیله کنترل صدا، مقبولیت روش، سابقه اجرای روش و اثرات زیست محیطی» و روش‌های کنترل صدا شامل ۸ روش «استفاده از وسایل حفاظت فردی، ساخت اتاقک صوتی روی منابع تولید صدا، تغییر فرایند، ایجاد دیوار جداکننده بین قسمت‌های مختلف کارگاه، ساخت اتاقک صوتی برای کارگران، استفاده از جاذب‌های صوتی در کارگاه، کنترل مدت‌زمان مواجهه با صدا و آموزش کارگران و استفاده از روش کنترل فعال صدا» برای منابع شناسایی‌شده مولد آلودگی صوتی گردآوری شد.

۵. انتخاب معیارهای کلیدی در کنترل صدا

ازآنجاکه برای کنترل صدا معیارهای زیادی وجود دارد، کلیدی‌سازی آن‌ها و حذف موارد کم‌اهمیت از نظر خبرگان در جهت پیشبرد پژوهش و جلوگیری از سردرگمی و مشکل‌سازی مسئله تصمیم‌گیری، بسیار اهمیت دارد. به همین منظور برای تعیین معیارهای کلیدی درکنترل صدا، فهرست اولیه معیارها (۱۷ معیار) در قالب طرح سؤالات پرسش‌نامه طراحی شد. ابتدا دو نفر خبره در حوزه مطالعه‌شده، پرسش‌نامه طراحی‌شده را از نظر ساختار و محتوای سؤالات بررسی کردند. سپس برای سنجش هریک از آیتم‌های پرسش‌نامه از نظر سادگی، وضوح، اهمیت، ضرورت و ارتباط، پرسش‌نامه‌ها در اختیار ۱۵ نفر از تیم خبرگان قرار گرفت. سپس شاخص روایی محتوایی (CVI)و نسبت روایی محتوایی (CVR) پرسش‌نامه‌ها بررسی و سؤالات غیر ضروری حذف شد. درنهایت ۸ معیار کلیدی برای ادامه مطالعه انتخاب شد.

۶. اجرای فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

در این پژوهش به‌منظور اجرای روش AHP، ابتدا ساختار درختی مسئله ترسیم شد. به این صورت که هدف کلی مسئله (انتخاب مناسب‌ترین روش برای کنترل صدا) در سطح اول، معیارها (معیارهای کنترل صدا) در سطح دوم و گزینه‌های موجود برای تصمیم‌گیری (روش‌های کنترل صدا) نیز در آخرین سطح قرار گرفتند. ابتدا برای مقایسه‌های زوجی میان عوامل مطالعه ماتریس مقایسات زوجی M تشکیل شد که در زیر نشان داده شده است. درایه X_{mn} نشان‌دهنده ارجحیت عنصر mام بر عنصر nام است که تصمیم‌گیرنده تعیین می‌کند. (در ماتریس مقایسات زوجی تعداد سطرها (m) و ستون‌ها (n) با یکدیگر برابر است.)

$$M=\begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}_{m\times n}$$

در مرحله بعد مقادیر ویژه و بردار ویژه برای ماتریس M محاسبه شد. ازآنجاکه ماتریس مقایسات زوجی نتیجه تبدیل فاکتورهای کیفی به فاکتورهای کمی است، لذا در محاسبات حداکثر مقدار ویژه و بردار ویژه محدوده خطایی مشخص مجاز است.

رابطه میان ماتریس M و مقدار ویژه (λ) و بردار ویژه ($\vec{v}$) به‌صورت زیر است:

$$M\vec{v}=\lambda\vec{v}$$ معادله ۳

برای یافتن مقادیر (λ) در معادله ۳ باید معادله ۴ برقرار باشد که یک سیستم همگن با n معادله و n مجهول است (در این رابطه، (I) یک ماتریس همانی است).

معادله ۴

$$M\vec{v}-\lambda\vec{v}=M\vec{v}-\lambda I\vec{v}=(M-\lambda I)\vec{v}=0$$

معادله ۴ برای بردار ویژه ($\vec{v}$) یک حل غیر صفر دارد؛ اگر و فقط اگر (معادله ۵) برقرار باشد. لذا با محاسبه مقدار دترمینان زیر مقادیر ویژه ماتریس (M) محاسبه شد.

$$\det(M-\lambda I)=0$$ معادله ۵

با محاسبه رابطه ۵ و به‌دست‌آوردن مقادیر ویژه ماتریس (M)، بیشترین مقدار (λ_{max}) را در (معادله ۳) قرار دادیم و بردار ویژه متناظر با (λ_{max}) تحت عنوان بردار وزنی ($\vec{v}$) برای ماتریس (M) به دست آمد.

$$\vec{v}=\begin{bmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}_{n\times 1}$$

برای به‌دست‌آوردن بردار وزنی نرمال‌شده، کل مقادیر درایه‌های بردار وزنی $(v_1, v_2, \cdots, v_n)$ را جمع جبری کردیم. سپس مقدار هریک از درایه‌ها بر مجموع مقادیر به‌دست‌آمده تقسیم شد.

جدول ۱: شاخص سازگاری تصادفی استفاده‌شده در روش AHP بر اساس تعداد خبرگان

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RI	۰	۰	۰/۵۲	۰/۸۸	۱/۱۰	۱/۲۴	۱/۳۴	۱/۴	۱/۴۴	۱/۴۸	۱/۵۱	۱/۵۳	۱/۵۵	۱/۵۷	۱/۵۸

$$\vec{v}(\text{normalized}) = \begin{bmatrix} \frac{v_1}{v_1 + v_2 + \cdots + v_n} \\ \vdots \\ \frac{v_n}{v_1 + v_2 + \cdots + v_n} \end{bmatrix}_{n\times 1}$$

در مرحله بعد نرخ سازگاری (Consistency Ratio: CR) برای ماتریس مقایسات زوجی محاسبه شد. بر اساس روش AHP، هدف از این کار اطمینان از سازگاری پاسخ‌های خام هریک از خبرگان است. در صورتی که مقدار CR برای پاسخ‌های هریک از خبرگان کمتر از ۱۰ درصد بود، پاسخ‌ها سازگاری کافی دارند، در غیر این‌صورت ناسازگار هستند و باید مجدداً فرد خبره پاسخ‌های خود را سازگار کند. برای محاسبه نرخ سازگاری پاسخ‌ها ابتدا شاخص سازگاری بر اساس معادله ۶ محاسبه شد. سپس بر اساس شاخص سازگاری تصادفی استفاده‌شده در روش AHP که در جدول ۱ بر اساس تعداد خبرگان شرکت‌کننده در مطالعه آورده شده است، نرخ سازگاری با استفاده از معادله ۷ محاسبه شد.

معادله ۶ $$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

معادله ۷ $$CR = \frac{CI}{RI}$$

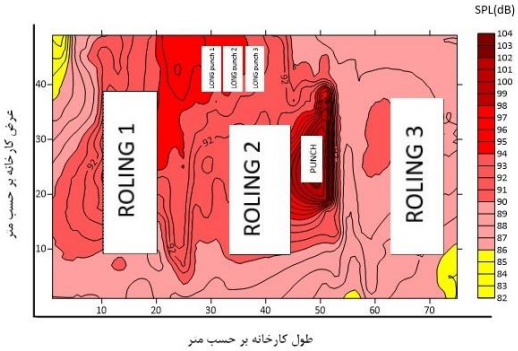
جدول شاخص سازگاری تصادفی بر اساس تعداد خبرگان شرکت‌کننده در مطالعه حاضر در زیر آمده است [۳۳].

نتایج

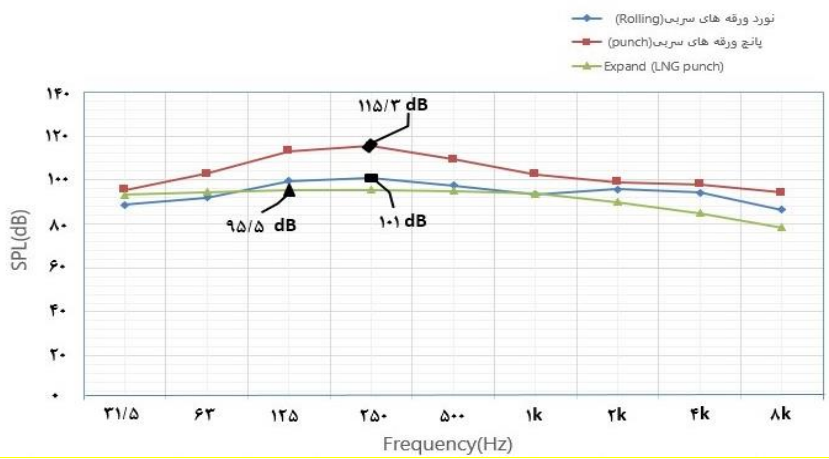
نتایج ارزیابی محیطی صدا

نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های تراز فشار صوت محیطی در ۵۴۲ نقطه از صنعت نشان داد حدود ۱/۸ درصد از کل نقاط در ناحیه احتیاط و ۹۸/۲خطر درصد در ناحیه با خطر زیاد از نظر آلودگی صوتی قرار داشتند و تراز فشار صوت در هیچ نقطه‌ای از کارخانه در محدوده ایمن نبود، به‌طوری‌که میانگین تراز فشار صوت در صنعت حاضر ۲/۸۶ ± ۹۱ dBA بود و در بعضی نقاط تراز فشار صوت به بالای ۱۰۰ دسی‌بل نیز می‌رسید. با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌های تراز فشار صوت محیطی و ترسیم نقشه صوتی نحوه انتشار صدا در کارخانه (شکل ۱)، ۳ منبع اصلی تولید صدا از نوع دستگاه پانچ ورقه‌های سربی (Punch)، دستگاه نورد ورقه‌های سربی (Rolling) و دستگاه اکسپند پانچ ورقه‌های سربی ((Expand (LNG punch شناسایی شد که سهم عمده‌ای در تولید آلودگی صوتی داشتند.

نتایج تحلیل فرکانسی در فرکانس‌های مرکزی یک اکتاو باند نشان داد فرکانس غالب برای منابع پانچ ورقه‌های سربی و نورد ورقه‌های سربی در محدوده ۲۵۰ هرتز قرار دارد و برای دستگاه اکسپند پانچ ورقه‌های سربی در محدوده ۱۲۵ هرتز قرار دارد (نمودار ۱).



شکل ۱: نقشه صوتی حاصل از نقاط اندازه‌گیری‌شده با نرم‌افزار Surfer نسخه ۱۰ و محل قرارگیری دستگاه‌ها در کارخانه



نمودار ۱: نتایج تحلیل فرکانسی در فرکانس‌های مرکزی یک اکتاو باند

نتایج حاصل از تعیین معیارهای کلیدی و روش‌های کنترل صدا

پس از بررسی نسبت روایی محتوایی و شاخص روایی محتوایی ۱۷ معیار کنترل صدا، بر اساس جدول لاوشه ۸ معیار دارای نسبت روایی محتوایی (CVR>۰/۴۹) و شاخص روایی محتوایی (CVI>۰/۷۹) قابل قبول بودند که برای ادامه مطالعه و بررسی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) باقی ماندند. جدول ۲ و ۳ به ترتیب معیارهای منتخب و روش‌های کنترلی پیشنهادی هستند.

پس از اظهارنظر تیم خبرگان در خصوص هریک از معیارها و روش‌های کنترلی، نرخ سازگاری برای هریک از پرسش‌نامه‌ها تعیین شد و برای تمامی موارد کمتر از ۱۰ درصد و مورد قبول بود. نتایج حاصل از تجمیع نظرات تیم خبرگان در خصوص وزن نسبی هریک از معیارهای مطالعه و روش‌های کنترل صدا بر اساس معیارهای مطالعه و درنهایت تعیین وزن نسبی هریک از روش‌های کنترل صدا بر اساس روابط و محاسبات مقدار ویژه و بردار ویژه در جداول زیر آمده است.

بر اساس جدول ۴ معیار کارایی آکوستیکی روش بیشترین اهمیت را با وزن ۰/۱۸۱۰ و معیار تعداد افراد در معرض صدا کمترین اهمیت را با وزن ۰/۰۸۰۹ دارد

جدول ۲: مجموعه معیارهای با مقادیر روایی محتوایی و شاخص روایی محتوایی قابل قبول

ردیف	معیارهای کنترل صدا	کد مربوطه
۱	هزینه اجرای روش	CRA
۲	کارایی آکوستیکی روش	CRB
۳	قابلیت اجرای روش	CRC
۴	تعداد افراد در معرض صدا	CRD
۵	تراز فشار صدای محیط	CRE
۶	موجودبودن مواد و مصالح برای ساخت وسیله کنترلی	CRF
۷	ایمن‌بودن وسیله کنترلی	CRG
۸	تداخل وسیله کنترل صدا با فرایند	CRH

جدول ۳: مجموعه منتخب از روش‌های کنترل صدا برای صنعت بررسی‌شده

ردیف	روش‌های کنترل صدا	کد مربوطه
۱	استفاده از وسایل حفاظت فردی	NCMA
۲	ساخت اتاقک صوتی روی منابع تولید صدا	NCMB
۳	تغییر فرایند	NCMC
۴	ایجاد دیوار جداکننده بین قسمت‌های مختلف کارگاه	NCMD
۵	ساخت اتاقک صوتی برای کارگران	NCME
۶	استفاده از جاذب‌های صوتی در کارگاه	NCMF
۷	کنترل مدت‌زمان مواجهه با صدا و آموزش کارگران	NCMG
۸	استفاده از روش کنترل فعال صدا	NCMH

جدول ۴: وزن معیارهای مطالعه بر اساس تجمیع نظرات خبرگان

									λ_{max}=۸/۰۶۱	
معیارها	CRA	CRB	CRC	CRD	CRE	CRF	CRG	CRH	بردارهای ویژه	وزن نهایی
CRA	۱	۰/۶۶۳	۰/۸۵۰	۱/۷۸۰	۱/۶۳۳	۱/۲۱۹	۱/۳۲۹	۱/۱۰۵	۰/۳۸۰	۰/۱۳۸۱
CRB	۱/۵۰۷	۱	۱/۲۲۲	۲/۱۶۱	۲/۰۴۸	۱/۳۴۷	۱/۴۹۹	۱/۵۳۷	۰/۴۹۸	۰/۱۸۱۰
CRC	۱/۱۷۷	۰/۸۱۸	۱	۱/۶۴۰	۱/۹۴۲	۱/۲۵۸	۱/۲۰۳	۱/۳۷۹	۰/۴۲۰	۰/۱۵۲۷
CRD	۰/۵۶۲	۰/۴۶۳	۰/۶۱۰	۱	۰/۶۳۵	۰/۵۹۹	۰/۸۹۵	۰/۶۹۱	۰/۲۲۲	۰/۰۸۰۹
CRE	۰/۶۱۳	۰/۴۸۸	۰/۵۱۵	۱/۵۷۶	۱	۰/۹۰۹	۰/۸۸۵	۰/۵۶۵	۰/۲۵۵	۰/۰۹۲۷
CRF	۰/۸۲۱	۰/۷۴۲	۰/۷۹۵	۱/۶۶۹	۱/۱۰۰	۱	۰/۹۱۴	۰/۷۵۶	۰/۳۱۴	۰/۱۱۴۱
CRG	۰/۷۵۲	۰/۶۶۷	۰/۸۳۱	۱/۱۱۷	۱/۱۲۹	۱/۰۹۴	۱	۱/۰۰۶	۰/۳۱۱	۰/۱۱۳۲
CRH	۰/۹۰۵	۰/۶۵۱	۰/۷۲۵	۱/۴۴۷	۱/۷۷۱	۱/۳۲۲	۰/۹۹۴	۱	۰/۳۵۰	۰/۱۲۷۲
									Avg=۲/۷۴۹	-

جدول ۵: وزن هریک از روش‌های کنترل صدا بر اساس تجمیع نظرات خبرگان

									λ_{max}=۸/۱۹۴
تداخل	NCMA	NCMB	NCMC	NCMD	NCME	NCMF	NCMG	NCMH	بردارهای ویژه	وزن نهایی
NCMA	۱	۱/۰۶۲	۱/۲۸۲	۱/۰۴۸	۱/۲۵۹	۱/۱۱۳	۰/۶۷۳	۱/۹۴۸	۰/۳۷۵	۰/۱۳۶۳
NCMB	۰/۹۴۱	۱	۱/۶۵۰	۰/۹۹۴	۱/۱۱۳	۰/۹۱۵	۰/۷۴۷	۲/۱۳۲	۰/۳۷۱	۰/۱۳۴۹
NCMC	۰/۷۸۰	۰/۶۰۶	۱	۰/۶۲۲	۰/۵۵۹	۰/۶۲۸	۰/۶۱۲	۱/۴۸۱	۰/۲۴۸	۰/۰۹۰۲
NCMD	۰/۹۵۵	۱/۰۰۶	۱/۶۰۹	۱	۱/۱۲۰	۰/۸۴۳	۰/۶۸۵	۲/۰۲۵	۰/۳۶۲	۰/۱۳۱۵
NCME	۰/۷۹۴	۰/۸۹۹	۱/۷۸۸	۰/۸۹۳	۱	۰/۸۰۶	۰/۷۱۱	۲/۰۵۷	۰/۳۴۵	۰/۱۲۵۶
NCMF	۰/۸۹۹	۱/۰۹۳	۱/۵۹۳	۱/۱۸۶	۱/۲۴۱	۱	۰/۷۳۳	۱/۹۱۸	۰/۳۸۴	۰/۱۳۹۶
NCMG	۱/۴۸۷	۱/۳۳۸	۱/۶۳۵	۱/۴۶۰	۱/۴۰۷	۱/۳۶۴	۱	۱/۹۰۱	۰/۴۷۶	۰/۱۷۳۲
NCMH	۰/۵۱۳	۰/۴۶۹	۰/۶۷۵	۰/۴۹۴	۰/۴۸۶	۰/۵۲۱	۰/۵۲۶	۱	۰/۱۸۹	۰/۰۶۸۷
									Avg=۲/۷۵۰	-

مطابق جدول ۵ و بر اساس تجمیع نظرات خبرگان، روش کنترل مدت‌زمان مواجهه با صدا و آموزش کارگران با وزن ۰/۱۷۳۲بیشترین اولویت و روش کنترل فعال صدا با وزن ۰/۰۶۸۷ کمترین اولویت را در کنترل صدا و حل مشکلات آلودگی صوتی در صنعت مطالعه‌شده دارند.

بحث

مطالعه حاضر با هدف اولویت‌بندی روش‌های کنترل صدا در یک صنعت باتری‌سازی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام شد. بالا بودن تراز فشار صوت در اطراف دستگاه‌های مذکور ممکن است به دلیل ماهیت کاربری دستگاه‌ها و پیوستگی فرایند کاری آن‌ها باشد. همچنین جنس مصالح به‌کاررفته در سطوح داخلی بنای قرارگیری دستگاه‌ها ممکن است باعث انعکاس امواج صوتی و درنتیجه افزایش زمان بازآوایی اصوات منتشرشده و اثر سینرژیک بر میزان تراز فشار صوت شود. نتایج تحلیل فرکانسی در فرکانس‌های مرکزی یک اکتاو باند در ۶ نقطه اطراف هر یک از دستگاه‌ها در شبکه توزین Lin نشان داد فرکانس غالب برای دستگاه پانچ ورقه‌های سربی، دستگاه نورد ورقه‌های سربی و دستگاه اکسپند پانچ ورقه‌های سربی به ترتیب برابر ۲۵۰، ۲۵۰ و ۱۲۵ هرتز است. لذا به لحاظ فنی و محدوده غالب فرکانس دستگاه‌ها، کنترل‌های مهندسی برای کنترل صدای این‌گونه فرکانس‌ها نسبت به کنترل‌های مدیریتی و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی ارجحیت و کارایی بیشتری دارد [۳۴،۳۵].

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به‌عنوان روشی کارآمد با فرموله‌کردن مسئله به‌صورت سلسله مراتبی، درنظرگرفتن شاخص‌های کیفی و کمی، کاربردی‌بودن روش برای افراد متخصص، ادغام نظرات متفاوت و تعیین گزینه نهایی، استفاده وسیع در حل مسائل، امکان مشارکت گروهی در تصمیم‌گیری، محاسبه نرخ سازگاری نظرات و سهولت کار بر مبنای مقایسات زوجی و همچنین گزارش نتایج بر اساس مفاهیم ریاضی و قابل فهم‌تر نسبت به مفاهیم کیفی [۳۶]، برای حل مشکلات ناشی از آلودگی صوتی و ایجاد محیط کار بهداشتی و ایمن برای کارگران نقش بسزایی دارد. لذا انجام فرایند AHP می‌تواند به‌عنوان یک روش علمی معتبر برای اولویت‌بندی روش‌های کنترل صدا و راهنمایی توسط متخصصان واحد بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار مورد استفاده قرار گیرد.

در این مطالعه بر اساس نتایج حاصل از مقایسه معیارها از میان ۸ روش کنترلی پیشنهادی، روش کنترل مدت‌زمان مواجهه با صدا و آموزش کارگران با وزن ۰/۱۷۳۲ بیشترین اهمیت و روش کنترل فعال صدا با وزن ۰/۰۶۸۷ کمترین اهمیت را در کنترل صدای دستگاه‌های شناسایی‌شده داشت. در صنعت باتری‌سازی به دلیل پیچیدگی فرایند، تجهیزات و عدم امکان دسترسی به نقاط مختلف دستگاه‌ها و همچنین پیوستگی فرایند و در اغلب موارد مجزانبودن تک‌تک دستگاه‌ها، امکان اعمال کنترل‌های مهندسی دشوار است. لذا یکی از دلایلی که کارشناسان صنعت و خبرگان بیشترین امتیاز را به روش کنترل مدت‌زمان مواجهه با صدا و آموزش کارگران داده‌اند، این مورد است. اولویت در هر کنترل صدایی، کنترل آن در منبع است و همان‌طور که بیان شد امکان کنترل صدای دستگاه‌های شناسایی‌شده در این صنعت در منبع تولید صدا دشوار است و از نظر اجرایی و هزینه محدودیت‌هایی دارد. همچنین یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد از ۸ معیار کنترل صدا، معیار کارایی آکوستیکی روش با وزن ۰/۱۸۱۰ بیشترین اهمیت و معیار تعداد افراد در معرض مواجهه با صدا با وزن ۰/۰۸۰۹ کمترین اهمیت را داشت. از دلایلی که معیار تعداد افراد در معرض مواجهه کمترین اهمیت را داشت این است که از نظر خبرگان بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار اگر در محل کار امکان آسیب از هر نظر به کارگر وجود داشته باشد، باید آن را برطرف کرد؛ حتی اگر یک کارگر در محل کار وجود داشته باشد.

سخاوتی و همکاران مطالعه با هدف اولویت‌بندی روش‌های کنترل و کاهش آلودگی صدا در شرکت سیمان لارستان با

استفاده از روش AHP پژوهشی انجام دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد مناسب‌ترین روش کنترل در صنعت مطالعه‌شده، کنترل زمان مواجهه فردی با سروصدا با وزن ۰/۲۲۴ و نامناسب‌ترین روش، عایق صدا با وزن ۰/۰۶۷ است. همچنین نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد معیار هزینه سرمایه‌گذاری اولیه با وزن نسبی ۰/۲۴۷ بیشترین اهمیت و معیار رضایتمندی از به‌کارگیری روش با وزن نسبی ۰/۰۳۵ کمترین اهمیت را دارد [۳۷]. اسحاقی و همکاران در سال ۱۳۹۱ مطالعه‌ای با عنوان اولویت‌بندی روش‌های کنترل صدا در شرکت شیشه همدان با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند. مطالعه آن‌ها یک مطالعه مقطعی-توصیفی-تحلیلی بود که بر اساس نظرسنجی از کارشناسان با استفاده از پرسش‌نامه و روش دلفی ۴ معیار هزینه، کارایی، قابلیت اجرا و عدم تداخل در فرایند و همچنین ۱۱ گزینه روش کنترلی انجام شد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد بر اساس نظر کارشناسان، معیار اجرایی‌بودن روش بیشترین اهمیت و هزینه اجرای روش کمترین اهمیت را در بین ۴ معیار بررسی‌شده داشت. همچنین گزینه استفاده از دیوار جداکننده کامل بین دو بخش اصلی به همراه استفاده از مواد جاذب و لایه‌های صوتی متناسب با تراز فشار و فرکانس و مشخصات صوتی منابع بیشترین اولویت را در بین روش‌های بررسی‌شده داشت [۳۸].

در هر دو مطالعه مذکور برای غربالگری معیارها و روش‌ها به ترتیب از دو روش دلفی و تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده بود، درحالی‌که در مطالعه حاضر برای غربالگری معیارها و روش‌های استفاده‌شده به ترتیب از روش شاخص روایی محتوایی (CVI)، نسبت روایی محتوا (CVR) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. تفاوت در اهمیت هریک از روش‌های مذکور در مطالعات انجام‌شده ممکن است به دلیل تفاوت در ماهیت فرایند، نوع و تعداد دستگاه‌های محل مطالعه باشد. همچنین در این مطالعات انتخاب بین روش‌های کنترل صدا به صورت کلی و با درنظرگرفتن تمامی تجهیزات انجام شده است، درحالی‌که در مطالعه حاضر مناسب‌ترین روش کنترلی به‌صورت اختصاصی برای سه نوع دستگاه با سروصدای زیاد مدنظر است و درنتیجه خبرگان در ارائه نظرات خود متمرکزتر و اختصاصی‌تر عمل می‌کنند.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی یافته‌های مطالعه نشان داد بهترین معیار برای انتخاب وسیله کنترل صدا، معیار کارایی آکوستیکی روش است. همچنین بر اساس نتایج، کنترل مدت‌زمان مواجهه با صدا و آموزش کارگران بهترین روش کنترل صدا برای کنترل صدای منابع عمده تولید صدا در صنعت باتری‌سازی بود.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر حاصل بخشی از طرح پژوهشی با کد اخلاق IR.IUMS.REC.1397.174 است که در معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایران در سال ۱۳۹۷ تصویب شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی و گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشگاه علوم پزشکی ایران و نیز همکاری صمیمانه مدیریت و کارکنان صنعت باتری‌سازی تشکر کنند.

تضاد منافع

در این پژوهش، هیچگونه تضاد منافع و تعارضی توسط نویسندگان وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

در این پژوهش، کلیه ملاحظات اخلاقی مورد تایید دانشگاه علوم پزشکی ایران رعایت و اطلاعات گردآوری شده از صنعت به صورت محرمانه حفظ شده است.

کد اخلاق این مطالعه IR.IUMS.REC.1397.174 است.

سهم نویسندگان

ایوب عبدالله زاده ثانی: گردآوری پایان‌نامه و تهیه‌کننده اصلی مقاله

رسول یاراحمدی: استاد مشاور در تهیه پایان‌نامه

جمیله ابوالقاسمی: استاد مشاور در تهیه پایان‌نامه

مهران فیروزبخش: مشاور در تهیه بخشی از داده‌ها

جعفر بشارتی: مشاور در تهیه بخشی از داده‌ها

ایرج علیمحمدی: استاد راهنما در تهیه پایان‌نامه و نویسنده مسئول

حمایت مالی

تمام حمایت‌های مالی این طرح که بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد، به عهده دانشگاه علوم پزشکی ایران بوده است.

REFERENCES

1. Atmaca E, Peker I, Altin A. Industrial noise and its effects on humans. *Polish J Environ Stud*. 2005;**14**(6):721-6.
2. van Kempen E, van Kamp I, Fischer P, Davies H, Houthuijs D, Stellato R, et al. Noise exposure and children's blood pressure and heart rate: the RANCH project. *Occup Environ Med*. 2006;**63**(9):632–9. PMID: 16728500 DOI: 10.1136/oem.2006.026831
3. Kraus U, Schneider A, Breitner S, Hampel R, Rückerl R, Pitz M, et al. Individual daytime noise exposure during routine activities and heart rate variability in adults: a repeated measures study. *Environ Health Perspect*. 2013;**121**(5):607-12. PMID: 23512292 DOI: 10.1289/ehp.1205606
4. Burns KN, Sun K, Fobil JN, Neitzel RL. Heart rate, stress, and occupational noise exposure among electronic waste recycling

workers. *Int J Environ Res Public Health*. 2016;**13**(1):140. PMID: 26797626 DOI: 10.3390/ijerph13010140
5. Münzel T, Sørensen M, Schmidt F, Schmidt E, Steven S, Kröller-Schön S, et al. The adverse effects of environmental noise exposure on oxidative stress and cardiovascular risk. *Antioxid Redox Signal*. 2018;**28**(9):873-908. PMID: 29350061 DOI: 10.1089/ars.2017.7118
6. Samson J, Sheeladevi R, Ravindran R. Oxidative stress in brain and antioxidant activity of Ocimum sanctum in noise exposure. *Neurotoxicology*. 2007;**28**(3):679–85. PMID: 17379314 DOI: 10.1016/j.neuro.2007.02.011
7. Åhrlin U. Activity disturbances caused by different environmental noises. *J Sound Vib*. 1988;**127**(3):599-603. DOI: 10.1016/0022-460X(88)90389-6
8. Phoon WH, Lee HS, Chia SE. Tinnitus in noise-exposed workers. *Occup Med*. 1993;**43**(1):35-8. PMID: 8422445 DOI: 10.1093/occmed/43.1.35
9. Janssen SA, Vos H, Eisses AR, Pedersen E. A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *J Acoust Soc Am*. 2011;**130**(6):3746-53. PMID: 22225031 DOI: 10.1121/1.3653984
10. Eze IC, Foraster M, Schaffner E, Vienneau D, Héritier H, Pieren R, et al. Transportation noise exposure, noise annoyance and respiratory health in adults: a repeated-measures study. *Environ Int*. 2018;**121**(Pt 1):741-50. PMID: 30321849 DOI: 10.1016/j.envint.2018.10.006
11. Leung TM, Chau CK, Tang SK, Xu JM. Developing a multivariate model for predicting the noise annoyance responses due to combined water sound and road traffic noise exposure. *Appl Acoust*. 2017;**127**:284-91. DOI: 10.1016/j.apacoust.2017.06.020
12. Alimohammadi I, Sandrock S, Gohari MR. The effects of low frequency noise on mental performance and annoyance. *Environ Monit Assess*. 2013;**185**(8):7043-51. PMID: 23338951 DOI: 10.1007/s10661-013-3084-8
13. Sygna K, Aasvang GM, Aamodt G, Oftedal B, Krog NH. Road traffic noise, sleep and mental health. *Environ Res*. 2014;**131**:17–24. PMID: 24637180 DOI: 10.1016/j.envres.2014.02.010
14. Halperin D. Environmental noise and sleep disturbances: a threat to health? *Sleep Sci*. 2014;**7**(4):209-12. PMID: 26483931 DOI: 10.1016/j.slsci.2014.11.003
15. Zaharna M, Guilleminault C. Sleep, noise and health. *Noise Health*. 2010;**12**(47):64. DOI: 10.4103/1463-1741.63205
16. Héritier H, Vienneau D, Foraster M, Eze IC, Schaffner E, Thiesse L, et al. Diurnal variability of transportation noise exposure and cardiovascular mortality: a nationwide cohort study from Switzerland. *Int J Hyg Environ Health*. 2018;**221**(3):556-63. PMID: 29482991 DOI: 10.1016/j.ijheh.2018.02.005
17. Münzel T, Gori T, Babisch W, Basner M. Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *Eur Heart J*. 2014;**35**(13):829-36. PMID: 24616334 DOI: 10.1093/eurheartj/ehu030
18. Tomei G, Fioravanti M, Cerratti D, Sancini A, Tomao E, Rosati M V, et al. Occupational exposure to noise and the cardiovascular system: a meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2010;**408**(4):681-9. PMID: 19931119 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.10.071
19. Ristovska G, Laszlo HE, Hansell AL. Reproductive outcomes associated with noise exposure-a systematic review of the literature. *Int J Environ Res Public Health*. 2014;**11**(8):7931-52. PMID: 25101773 DOI: 10.3390/ijerph110807931
20. Barber JR, Crooks KR, Fristrup KM. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends Ecol Evol*. 2010;**25**(3):180-9. PMID: 19762112 DOI: 10.1016/j.tree.2009.08.002
21. Picard M, Girard SA, Simard M, Larocque R, Leroux T, Turcotte F. Association of work-related accidents with noise exposure in the workplace and noise-induced hearing loss based on the experience of some 240,000 person-years of observation. *Accid Anal Prev*. 2008;**40**(5):1644-52. PMID: 18760091 DOI: 10.1016/j.aap.2008.05.013
22. Girard SA, Picard M, Davis AC, Simard M, Larocque R, Leroux T, et al. Multiple work-related accidents: tracing the role of hearing status and noise exposure. *Occup Environ Med*. 2009;**66**(5):319-24. PMID: 19174422 DOI: 10.1136/oem.2007.037713
23. Cantley LF, Galusha D, Cullen MR, Dixon-Ernst C, Rabinowitz PM, Neitzel RL. Association between ambient noise exposure, hearing acuity, and risk of acute occupational injury. *Scand J Work Environ Health*. 2015;**41**(1):75-83. PMID: 25137556 5 DOI: 10.5271/sjweh.3450
24. Taqizade S, Eskandari H, Alimohammadi I, Jaderi F. A fuzzy expert system for selection of an effective method for noise reduction in a petrochemical complex. *Noise Control Eng J*. 2014;**62**(5):344-53. DOI: 10.3397/1/376233
25. Barron RF. Industrial noise control and acoustics. Florida: CRC Press; 2002.
26. Hansen CH. Fundamentals of acoustics. Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control. Geneva: World Health Organization; 2001. P. 23-52.
27. Goelzer B, Hansen CH, Sehrndt G. Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control. Geneva: World Health Organisation; 2001.
28. Hobbs BF, Meier PM. Multicriteria methods for resource planning: an experimental comparison. *IEEE Trans Power Syst*. 1994;**9**(4):1811-7. DOI: 10.1109/59.331435
29. Triantaphyllou E. Multi-criteria decision making methods. Multi-criteria decision making methods: a comparative study. Boston, MA: Springer; 2000. P. 5–21.
30. Saaty TL. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int J Serv Sci*. 2008;**1**(1):83–98. DOI: 10.1504/IJSSci.2008.01759
31. Pal S, Bhadane MS, Babu C. Analytical hierarchical process: fundamentals and its application. New York: McGraw-Hill; 2015.
32. Azar A, Vafaei F. Ranking MADM multi-index decision making techniques using some multi-criteria decision making methods in fuzzy environment and comparing it with DEA ranking. *Manag Achiev*. 2010;**7**(41):21-38.
33. Alonso JA, Lamata MT. Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *Int J Uncertainty Fuzzin Knowl Based Syst*. 2006;**14**(4):445-59.
34. Baliatsas C, van Kamp I, van Poll R, Yzermans J. Health effects from low-frequency noise and infrasound in the general population: Is it time to listen? A systematic review of observational studies. *Sci Total Environ*. 2016;**557**:163–9. DOI: 10.1142/S0218488506004114
35. Bolin K, Bluhm G, Eriksson G, Nilsson ME. Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects. *Environ Res Lett*. 2011;**6**(3):35103. DOI: 10.1088/1748-9326/6/3/035103
36. Atthirawong W, MacCarthy B. An application of the analytical hierarchy process to international location decision-making. The 7th Annual Cambridge International Manufacturing Symposium: Restructuring Global Manufacturing, University of Cambridge, Cambridge, England; 2002. P. 1–18.
37. Sekhavati E, Mohammadi ZM, Mohammad FI, Faghihi ZA. Prioritizing methods of control and reduce noise pollution in Larestan cement Factory using analytical hierarchy process (AHP). *Toloo-E-Behdasht*. 2014;**13**(2):156-67.
38. Mahboobe E, Golmohamadi R, Riahi-Korram M. Prioritizing of noise control methods in the Hamadan glass company by the analytical hierarchy process (AHP). *J Occup Health Saf*. 2012;**2**(1):75-84.