JOHE
Journal of Occupational Hygiene Engineering
J Occup Hyg Eng, 2023; 10(1): 1-8. Doi: 10.32592/joohe.10.1.1
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

Original Article

Experimental Study of the Sound Emission Pattern Based on Acoustic Characteristics in Typical Industrial Manufactories in Hamadan, Iran

Seyedeh Elahe Hosseini[1], Mohsen Aliabadi[2*], Rostam Golmohammadi[3], Masoud Shafiee Motlagh[2]

[1] Department of Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[2] Center of Excellence for Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[3] Center of Excellence for Occupational Health, Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Article history:
Received: 03 September 2022
Revised: 05 February 2023
Accepted: -20 February 2023
ePublished: 16 July 2023

***Corresponding author:** Mohsen Aliabadi, Center of Excellence for Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
Email: Mohsen.aliabadi@umsha.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Noise pollution inside buildings is caused by frequent sound reflection from their inner surfaces. The purpose of this study is to experimentally study the sound emission pattern based on acoustic characteristics in typical industrial manufactories.

Materials and Methods: This study was conducted in rectangular cubic manufactories with a volume of less than 2000 m^2, between 2000 to 3000, and 3000 to 4000. The space reverberation time was measured according to the ISO 3382-2-2008 standard, and the sound emission pattern in manufactories was performed according to the ISO 11690 standard. The space sound level was measured based on the distance from the source with pink noise. In order to simulate sound parameters, the radiation tracking method was used in Odeon. Data analysis was conducted using the SPSS software.

Results: The average reverberation time in manufactories under 2000, between 2000-3000, and between 3000-4000 m^2 was 1.75, 2.25, and 2.77 sec, respectively. The measured reverberation time had a significant correlation with the predicted reverberation time (r=0.95, P=0.05). The average sound reduction based on the distance from the source was 4, 3, and 3 dB in manufactories under 2000, between 2000-3000, and between 3000-4000 m^2, respectively. There was also a negative significant correlation between the sound reduction level and the reverberation time (r=-0.97, P=0.05). The correlation between the measured and predicted sound levels was determined (r=0.95).

Conclusion: Reverberation time calculated by Sabin and Eyring's formula showed higher values than those of the measurement method. There was also a significant relationship between the average sound reduction pattern and the average time of vocalization. Therefore, measuring sound reduction based on the distance from the artificial source can be used to show the sound emission pattern, even on its own, due to the simplicity of the measurement method. It is recommended to be used with the reverberation time to evaluate the sound emission pattern in manufactories.

Keywords: Manufactories, Reverbration time, Sound emission, Sound level

Please cite this article as follows: Hosseini SE, Aliabadi M, Golmohammadi R, Shafiee Motlagh M. Experimental Study of the Sound Emission Pattern Based on Acoustic Characteristics in Typical Industrial Manufactories in Hamadan, Iran. *J Occup Hyg Eng.* 2023; 10(1): 1-8. DOI: 10.32592/joohe.10.1.1

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.32592/joohe.10.1.1]

Copyright © 2023 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

JOHE
مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
دوره ۱۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحات: ۸-۱
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

مقاله پژوهشی

بررسی تجربی الگوی انتشار صدا بر مبنای خصوصیات آکوستیکی در کارگاه‌های صنعتی معمول همدان

سیده الهه حسینی[۱]، محسن علی‌آبادی[۲*]، رستم گل‌محمدی[۳]، مسعودی شفیعی مطلق[۲]

[۱] مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۲] قطب علمی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۳] قطب علمی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲
تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۰۱
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول:** محسن علی‌آبادی، قطب علمی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
ایمیل:
Mohsen.aliabadi@umsha.ac.ir

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی صدای داخل بناها ناشی از بازتابش مکرر صدا از سطوح داخلی است. هدف از مطالعه حاضر، بررسی تجربی الگوی انتشار صدا بر مبنای خصوصیات آکوستیکی در کارگاه‌های صنعتی معمول است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در کارگاه‌هایی به شکل مکعب مستطیل در حجم کمتر از ۲۰۰۰ مترمکعب، بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمکعب و ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ مترمکعب انجام شد. اندازه‌گیری زمان بازآوایی محیط طبق استاندارد ISO ۲۰۰۸-۲-۳۳۸۲ انجام شد و الگوی انتشار صدا در کارگاه‌ها طبق استاندارد ISO ۱۱۶۹۰ انجام و تراز صدای محیطی با فاصله از منبع با صدای صورتی اندازه‌گیری شد. به‌منظور شبیه‌سازی پارامترهای صوتی، از روش ردیابی تابش در Odeon استفاده شد. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ تجزیه‌وتحلیل شد.

یافته‌ها: میانگین زمان بازآوایی در کارگاه‌های کمتر از ۲۰۰۰، بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ و بین ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ مترمکعب به ترتیب ۱/۷۵ ، ۲/۲۵ و ۲/۷۷ ثانیه است. زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده با زمان بازآوایی پیش‌بینی‌شده همبستگی معنی‌داری داشت (r=۰/۹۵) و (P=۰/۰۵). میانگین کاهش صدا با فاصله از منبع به ترتیب ۴، ۳ و ۳ دسی‌بل بود. ضریب همبستگی بین تراز کاهش صدا و زمان بازآوایی (r=-۰/۹۷) و (P=۰/۰۵) تعیین شد. همبستگی بین تراز صدای اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده (r=۰/۹۵) تعیین شد.

نتیجه‌گیری: زمان بازآوایی محاسبه‌شده با فرمول سابین و آیرینگ، مقادیر بیشتری را نسبت به مقادیر روش اندازه‌گیری نشان داد. همچنین، بین میانگین الگوی کاهش صدا و میانگین زمان بازآوایی رابطه معناداری وجود داشت. بنابراین، معیار کاهش صدا با فاصله از منبع مصنوعی می‌تواند به‌تنهایی با توجه به سادگی روش اندازه‌گیری، معیار خوبی برای نشان دادن الگوی انتشار صدا باشد. توصیه می‌شود برای ارزیابی الگوی انتشار صدا در کارگاه، همراه با زمان بازآوایی به صورت توأم به‌کار برده شود.

واژگان کلیدی: انتشار صدا، تراز صدا، زمان بازآوایی، کارگاه‌های صنعتی

استناد: حسینی، سید الهه؛ علی آبادی، محسن؛ گل محمدی، رستم؛ مسعودی شفیقی مطلق. بررسی تجربی الگوی انتشار صدا بر مبنای خصوصیات آکوستیکی در کارگاه‌های صنعتی معمول همدان. مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، بهار ۱۴۰۲؛۱۰(۱): ۸-۱.

مقدمه

با افزایش تجهیزات صنعتی، آلودگی صدای صنعتی به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش است. این آلودگی صوتی اثرات شنوایی و غیرشنوایی زیادی شامل اثر بر دستگاه گوارش، سیستم عصبی، سیستم غدد درون‌ریز و غیره بر افراد شاغل در این صنعت دارد [۱]. یکی از دلایل مهم آلودگی صدای داخل بناها، تشدید ناشی از بازتابش مکرر صدا از سطوح داخلی است [۲]. ابزارهای زیادی برای پیش‌بینی تراز صدا، زمان بازآوایی و میزان تأثیر اقدامات کنترلی صدا وجود دارد که شامل روابط تجربی ساده یا مدل‌های تجربی و همچنین روش‌های پیچیده‌تری است که هریک، سطح اعتبار و کاربردپذیری خاصی دارند [۳]. ازجمله می‌توان به نرم‌افزار Odeon اشاره کرد که در طراحی آکوستیک اتاق مفید است و متغیرهای صوتی را در زمان معقولی روی کامپیوتر نشان می‌دهد (شبیه‌سازی

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.32592/joohe.10.1.1]

عینی می‌کند) [۴]. در مطالعه آریانا و همکاران، از نرم افزار Odeon برای پیش‌بینی صوتی اتاق استفاده شد و این نرم‌افزار ارزیابی صوتی دقیقی از اتاق ارائه داد و برای اعمال راهکارهای کنترلی صوتی از این نرم‌افزار استفاده شد [۵].

روش استاندارد ISO ۳۳۸۲-۲-۲۰۰۸ نیز در اندازه‌گیری پارامترهای صوتی نظیر زمان بازآوایی در اتاق کاربرد دارد [۶]. در مطالعه علی آبادی و همکاران، زمان بازآوایی ۳۰ اتاق کار بر اساس استاندارد ISO ۳۳۸۲-۲ اندازه‌گیری شد که زمان‌های بازآوایی اندازه‌گیری‌شده در بیشتر اتاق‌های کار، تقریباً در محدوده توصیه‌شده استاندارد ISO ۱۱۶۹۰-۱ بود [۷]. انتشار صدا در محیط بسته تحت شرایط مختلف به چند شکل انجام می‌شود؛ ازجمله صدای مستقیم که مستقیماً به نقطه مدنظر انتقال می‌یابد. صدای بازتابی (غیرمسقیم) که در هر نقطه از فضا وجود دارد و ناشی از بازتاب سطوح فضا است. همچنین، صدا در میدان پخشی یکنواخت از تمامی سطوح به صورت یکنواخت و در همه جهات منعکس می‌شود و تراز فشار صدای منعکس‌شده درهر نقطه از فضا یکسان است. در میدان غیرپخشی، صدا بعطور یکنواخت و در همه جهات منتشر نمی‌شود. در پیش‌بینی صدای محیط‌های کار، نوع میدان انتشار صدا باید مدنظر قرار گیرد [۸].

در محیط‌های بسته واقعی، می‌توان گفت که در یک محدوده‌ای در اطراف منبع نقطه‌ای صدا (مثلاً در مجاورت دستگاه‌ها)، میدان آزاد غالب است، هرچند بازتاب‌ها نیز ممکن است تا حدودی در این ناحیه وجود داشته باشند. بدین جهت که بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده تئوری عکس مجذور فاصله در اطراف منبع صدا در محیط بسته به صورت ایدئال وکاهش ۶ دسی‌بلی با دو برابر شدن فاصله معمولاً وجود ندارد. علاوه بر این، در میدان بازآوا نیز صدای‌های غیرمستقیم غالب هستند، هرچند صدای مستقیم ناشی از منبع نیز در این محدوده دریافت می‌شود. شناخت میزان تأثیر صدای مستقیم و غیرمستقیم در محل دریافت‌کننده، اثربخشی اقدامات کنترلی صدا را تعیین می‌کند [۹]. برای پیش‌بینی کارایی مداخلات کنترلی صدا قبل از اجرای آن، مهم‌ترین روش تجربی، برآورد تراز فشار صدا بر مبنای تئوری میدان انتشاری توسط سابین و آیرین ارائه شده است که به مدل کلاسیک صدا نیز معروف است [۱۰]. این مدل فرض‌هایی دارد که استفاده از آن را برای محیط‌های بسته با سازه‌ها و کاربری‌های مختلف دچار محدودیت می‌سازد [۱۱].

مدل‌های پیش‌بینی صوتی اخیر، مدل‌های هندسی ازجمله روش ردیابی تابش هستند که در مقایسه با مدل‌های تجربی، اعتبار و مقبولیت بیشتری از خود نشان می‌دهند [۱۲]. پیچیدگی محاسبه انتشار صدا تا حد زیادی به هندسه اتاق بستگی دارد؛ زیرا علاوه بر صدای مستقیم، تمام بازتاب‌های ناشی از انواع اجسام جامد داخل آن فضا بر نتیجه تأثیر می‌گذارند [۱۳]. روش معتبر توصیه‌شده برای ارزیابی کارایی اقدام کنترل محیطی بعد از اجرای مداخله در حال حاضر، اندازه‌گیری عینی زمان بازآوایی قبل و بعد از مداخله و تحلیل سطح کاهش بازتاب برحسب ثانیه است. علاوه بر این، روش معتبر برای تعیین اثربخشی اقدام کنترل محیطی بر مبنای میزان کاهش بازتاب برحسب دسی‌بل استفاده از روش سازمان بین‌المللی استاندارد ISO ۱۱۶۹۰ با عنوان اندازه‌گیری عینی کاهش صدا از یک منبع نقطه‌ای بر مبنای دو برابر شدن فاصله از منبع DL۲ و مقایسه آن با شرایط میدان آزاد صوتی DLfو حتی شرایط قبل از مداخله است. با این حال، مطالعات کاربردی در زمینه بررسی اثربخشی مداخلات کنترل صدای محیطی با روش‌های اندازه‌گیری عینی مذکور کمتر یافت می‌شود [۱۴]. روابط تجربی موجود برای برآورد زمان بازآوایی کاملاً معتبر و کاربردپذیر نیستند و مفروضاتی دارند؛ بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی تجربی الگوی انتشار صدا بر مبنای خصوصیات آکوستیکی سازه در کارگاه‌های صنعتی معمول است تا نحوه انتشار صوت در محیط و عوامل مؤثر بر آن تعیین شود.

روش کار

این تحقیق مشاهده‌ای مقطعی در سال ۱۴۰۰ برای بررسی الگوی انتشار تراز صدا در یک تیپ (Shape) کارگاه صنعتی با میدان صوتی غیرپخشی (Non Diffuse Field Condition) به شکل مکعب منظم (Flat Long Room) و در سه حجم (Size) کمتر از ۲۰۰۰ مترمکعب، بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمکعب و ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ مترمکعب انجام شده است. در مجموع ۳۰ کارگاه صنعتی بررسی شد. سطوح از نظر میزان تجهیزات داخل کارگاه (Fitting) و سطح جذب صدای بناهای صنعتی مطالعه‌شده به‌عنوان متغیرهای مهم در انتشار صدا محاسبه و اثر آن‌ها کنترل شد. محدوده نسبت طول L، عرض W و ارتفاع H کارگاه‌های مطالعه‌شده به شرح زیر است:

$L > W$

$L, W > H$

$H \approx ۰/۲۵\ W$ to $۰/۵\ W$

الف- روش اندازه‌گیری تراز صدا

به‌منظور اندازه‌گیری تراز صدا، مقادیر تراز صدای محیطی در شبکه A اندازه‌گیری شد. مقادیر تراز صدای محیطی به صورت تراز معادل کوتاه‌مدت ۱۵ ثانیه‌ای ($LEQ_{۱۵sec}$) اندازه‌گیری شد. ترازسنج صوت مدل AWA ۵۶۸۸ برای اندازه‌گیری صدا استفاده شد. ارزیابی دقیق اثربخشی اقدام کنترل صدای محیطی بر مبنای روش توصیه‌شده سازمان بین‌المللی استاندارد ISO ۱۱۶۹۰ با عنوان اندازه‌گیری کاهش صدا از یک منبع نقطه‌ای بر مبنای دو برابر شدن فاصله از منبع DL۲ و مقایسه آن با شرایط میدان آزاد صوتی و شرایط قبل از مداخله انجام شد.

ب- روش اندازه‌گیری زمان بازآوایی

اندازه‌گیری زمان بازآوایی در محیط بسته بر اساس روش استاندارد ISO ۳۳۸۲-۲-۲۰۰۸ انجام شد. در این مطالعه با توجه به تجهیزات اندازه‌گیری موجود و نرم‌افزار و سخت‌افزار، از روش صدای منقطع و روش صدای ضربه‌ای برای اندازه‌گیری زمان

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.32592/joohe.10.1.1]

بازآوایی استفاده شد.

ج- روش ردیابی تابش با نرم افزار Odeon

به‌منظور ارزیابی و پیش‌بینی پارامترهای صوتی و مقایسه با روش اندازه‌گیری‌شده از نرم‌افزار Odeon استفاده شد و کارگاه‌ها و پارامترهای صوتی مدنظر در آن نرم‌افزار شبیه‌سازی شد. این ابزار، بسیار پیچیده است و به تخصص و مهارت زیادی نیاز دارد. برای استفاده از آن، ابتدا نقشه سه‌بعدی از مکان مدنظر طراحی شد و جنس سطوح، میزان ضرایب جذب، پراکنش صوتی سطوح سازه و تجهیزات تعیین و ثبت شدند. در مرحله بعد، مکان‌هایی برای منبع صدا و دریافت‌کننده تعریف شد و در آخر، بر مبنای روش ردیابی تابش، میزان زمان بازآوایی پیش‌بینی شد.

د- روش تعیین الگوی انتشار صدا

تعیین الگوی انتشار صدا در کارگاه‌ها بر مبنای روش توصیه‌شده سازمان بین‌المللی استاندارد ISO ۱۱۶۹۰ با عنوان اندازه‌گیری کاهش صدا از یک منبع نقطه‌ای بر مبنای دو برابر شدن فاصله از منبع DL۲ و مقایسه آن با شرایط میدان آزاد صوتی DLF و شرایط قبل از مداخله انجام شد. اندازه‌گیری در شرایط عدم فعالیت تولیدی در کارگاه با حداقل صدای زمینه ۴۰ تا ۵۰ دسی‌بل انجام شد. صدایی با ماهیت صدای Pink با منبع مصنوعی صدا در یک فشار صوتی بالا پخش شد و تراز صدا در فواصل مشخص از منبع، در خط مرکزی وسط و به موازات طول و کنج کارگاه مطابق با توصیه روش استاندارد اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری در جهات مختلف نسبت به منبع صوت هم در صورت نبود موانع در مسیر اندازه‌گیری برای تکمیل اطلاعات توصیه شده بود.

نتایج

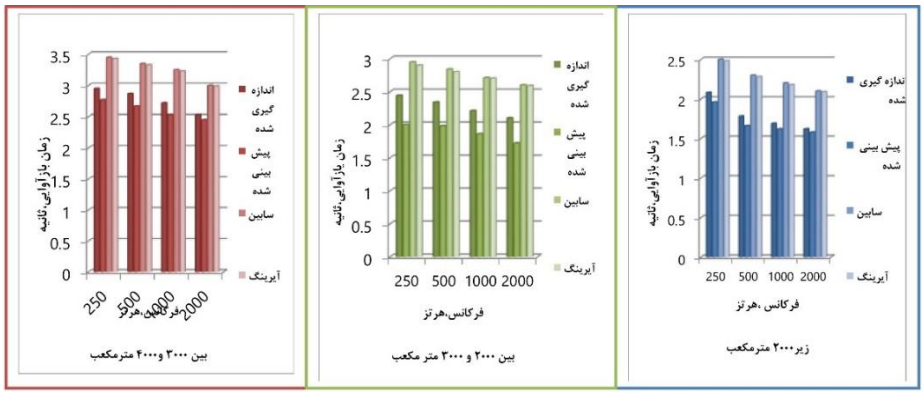
در این مطالعه، ابتدا مقایسه بین زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده بر اساس استاندارد ISO ۳۳۸۲-۲-۲۰۰۸ و زمان بازآوایی پیش‌بینی‌شده (Odeon) و فرمول تجربی ارائه‌شده سابین و ایرینگ انجام شد. نتایج نشان داد با بزرگ‌تر شدن حجم کارگاه، زمان بازآوایی افزایش یافته بود. همچنین با افزایش فرکانس، زمان بازآوایی کاهشی شده بود. مقادیر زمان بازآوایی محاسبه‌شده توسط فرمول سابین و ایرینگ نسبت به مقادیر روش اندازه‌گیری بیشتر بود. با این حال، زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده با زمان بازآوایی پیش‌بینی‌شده با نرم‌افزار همبستگی معنی‌داری داشت (r=۰/۹۵). شکل ۱ مقایسه زمان بازآوایی به‌دست‌آمده را در کارگاه‌ها در سه حجم تعریف‌شده نشان می‌دهد.

نتایج الگوی کاهش صدا با دو برابر شدن فاصله از منبع در روش اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده با نرم‌افزار Odeon در شکل ۴ نشان می‌دهد بین دو روش همبستگی معنی‌داری (r=۰/۹۵) و (P=۰/۰۵) وجود دارد.

بررسی میانگین الگوی کاهش صدا با میانگین زمان بازآوایی در کارگاه‌ها با حجم ثابت در شکل ۵ نشان می‌دهد همبستگی معنی‌داری (r=-۰/۹۷) و (P=۰/۰۵) بین دو متغیر وجود دارد. همچنین، در حجم ثابت در کارگاه‌ها، زمان بازآوایی بیشتر و میانگین کاهش صدا با افزایش فاصله از منبع کمتر بود.

مقایسه میانگین زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده به روش صدای منقطع در مرکز و گوشه کارگاه‌ها در سه حجم مختلف در شکل ۶ نشان می‌دهد که زمان بازآوایی در گوشه کارگاه بیشتر از مرکز است و حدود ۰/۰۵ ثانیه با هم اختلاف دارند. مقادیر در گوشه کارگاه‌ها به دلیل نزدیکی به سطوح دیوارها بیشتر بوده است.

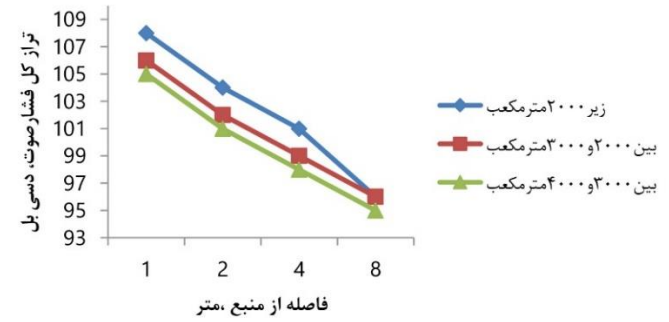
نتایج مقایسه میانگین زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده به روش صدای منقطع و روش صدای ضربه‌ای در کارگاه‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است. میزان زمان بازآوایی تعیین‌شده بر مبنای روش ضربه‌ای به‌طور میانگین چند صدم ثانیه بیشتر از روش منقطع بوده است.



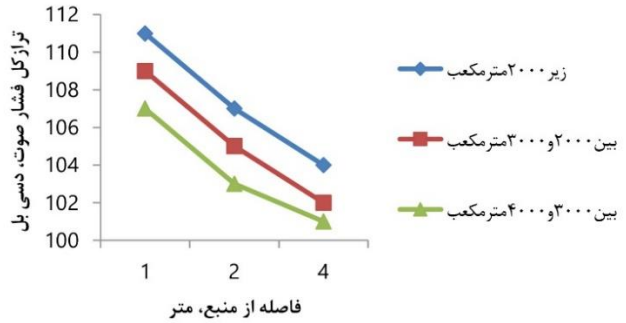
شکل ۱. مقایسه زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده در کارگاه‌های با حجم مختلف

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-25]

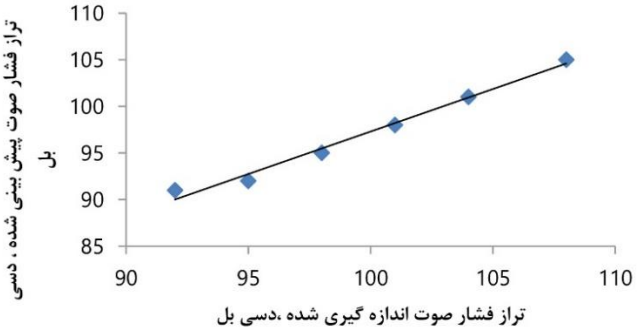
[DOI: 10.32592/joohe.10.1.1]



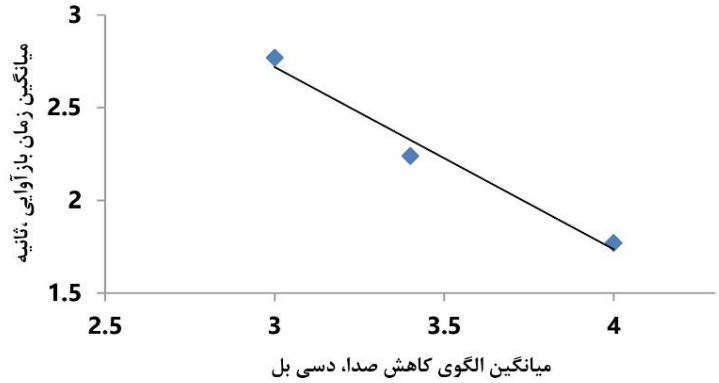
شکل ۲. مقایسه تراز کل فشار صوت در فواصل مختلف از منبع در جهت طول کارگاه



شکل ۳. نتایج مقایسه تراز کل فشار صوت در فواصل مختلف از منبع در جهت عرض کارگاه



شکل ۴. بررسی الگوی کاهش صدا با دو برابر شدن فاصله از منبع در روش اندازه‌گیری و پیش‌بینی‌شده



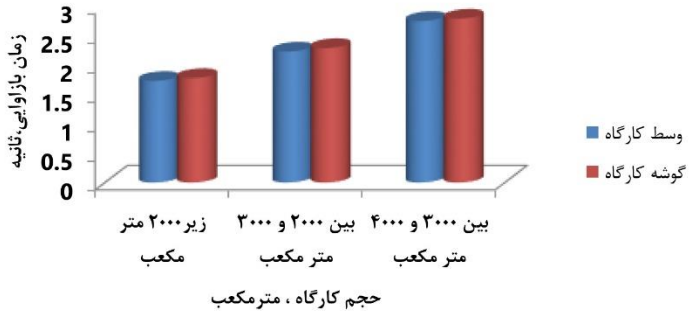
شکل ۵. مقایسه میانگین الگوی کاهش صدا و میانگین زمان بازآوایی در کارگاه‌ها

بحث

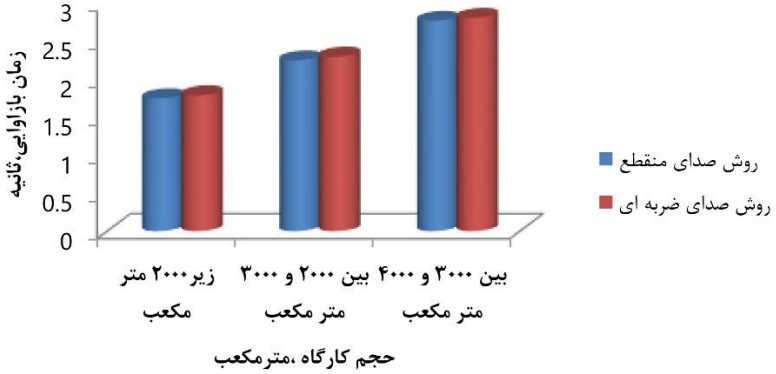
شناخت میزان تأثیر صدای مستقیم و غیرمستقیم در محل دریافت‌کننده، اثربخشی اقدامات کنترلی صدای محیطی را تعیین می‌کند. برای مثال، معمولاً استفاده از جاذب‌های صوتی برای کنترل

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.32592/joohe.10.1.1]



شکل ۶. مقایسه زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده در مرکز و گوشه کارگاه‌ها



شکل ۷. مقایسه میانگین زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده به روش منقطع و ضربه‌ای

بازتاب‌ها در محیط در میدان‌های صوتی بازآوا کارایی زیادی دارد و نباید انتظار داشت که در میدان مستقیم دستگاه یا منبع صوت تأثیر زیادی بر کاهش مواجهه با صدا داشته باشد. بنابراین، ارزیابی اثربخشی اقدامات کنترلی صدای محیطی و پیشگیری از اصلاحات آکوستیکی کور، توسط متخصصان اهمیت زیادی دارد. استفاده از روش‌های علمی استاندارد توصیه‌شده و نرم‌افزارهای شبیه‌ساز می‌تواند به‌عنوان ابزاری معتبر برای تحلیل انتشار صدا در کارگاه‌های صنعتی که کمتر مور دتوجه قرار گرفته‌اند، مؤثر باشد. بنابراین، در این مطالعه سعی شد با بررسی تجربی الگوی انتشار صدا بر مبنای خصوصیات آکوستیکی سازه در کارگاه‌های صنعتی معمول، نحوه انتشار صوت در محیط و عوامل مؤثر بر آن تعیین شود.

نتایج نشان داد زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده بر اساس استاندارد ISO ۳۳۸۲-۲-۲۰۰۸ و زمان بازآوایی پیش‌بینی‌شده (Odeon) و فرمول سابین و آیرینگ با افزایش فرکانس صدا کاهش یافته بود. همچنین، زمان بازآوایی با بزرگ‌تر شدن حجم کارگاه، به دلیل افزایش سطح با ضریب جذب کم و بازتاب صوت زیاد، افزایش یافته بود. همچنین فرمول‌های سابین و آیرینگ زمان بازآوایی بیشتری را نسبت به دو روش دیگر برآورد کرده‌اند؛ زیرا فرمول سابین و آیرینگ عملاً صدای مستقیم منبع را در محیط در نظر می‌گیرد. مطالعه Artur NOWOŚWIAT نشان داد نتایج شبیه‌سازی عددی Odeon مطابق با اندازه‌گیری‌های تجربی با خطاهای کمتر از ۰/۲ ثانیه بود [۱۵]. همچنین، Fabio fantozzi و همکاران در مطالعه خود نشان دادند مقادیر زمان بازآوایی به‌دست‌آمده با استفاده از فرمول Sabine و Eyring با انحراف کمتر از ۱۰ درصد بسیار به Odeon نزدیک است. به همین دلیل، می‌توان مدل استفاده‌شده برای شبیه‌سازی را معتبر دانست [۱۶].

نتایج مطالعه Arianna astolfi و همکاران نشان داد شبیه‌سازی Odeon روش مناسبی برای ارزیابی آکوستیکی در مقایسه با روابط تجربی است [۱۷]. نتایج مطالعه Olechowska و همکاران نشان داد با افزایش فرکانس از ۱۲۵ تا ۵۰۰ هرتز، زمان بازآوایی کاهش می‌یابد؛ اما از فرکانس ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هرتز شاهد روند افزایشی هستیم و دوباره با افزایش فرکانس از ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز دوباره روند کاهشی شروع می‌شود. همچنین، نتایج مطالعه مذکور نشان داد اندازه‌گیری زمان بازآوایی با نرم‌افزار Odeon در فرکانس‌های ۱۲۵ تا ۲۰۰۰ هرتز هم در اتاق‌های کوچک و هم در اتاق‌های بزرگ، کمتر از زمان‌های بازآوایی روش Sabin-sk بود؛ زیرا فرمول Sabin انرژی صوت را به صورتی که در همه‌جای فضا یکسان منتشر می‌شود، در نظر می‌گیرد، در صورتی که انتشار صدا در محیط بسته تحت شرایط مختلف، متفاوت است [۱۵].

مطابق با نتایج مطالعه، الگوی کاهش صدا با دو برابر شدن فاصله از منبع در کارگاه‌ها بین ۳ تا ۴ دسی‌بل بود. همچنین، در مطالعه Tuba، با افزایش حجم اتاق از ۵۰ تا ۲۰۰ مترمکعب، زمان بازآوایی از ۰/۴ به ۱/۰ افزایش یافت. نتایج بررسی فرکانس

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.32592/joohe.10.1.1]

نشان داد در بازه ۱۵۰ تا ۲۵۰ هرتز، میانگین زمان بازآوایی برابر ۰/۶۴ ثانیه، در بازه ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هرتز برابر ۰/۵۴ ثانیه و در بازه ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز برابر ۰/۵۷ ثانیه بود. در مطالعه مذکور، محققاق زمان بازآوایی برآوردشده با استاندارد ISO ۳۳۸۳-۳ را با نتایج شبیه‌سازی‌شده نرم افزار Odeon مقایسه کردند و نتایج نشان داد زمان بازآوایی در روش استاندارد ۰/۵۳ ثانیه و با شبیه‌سازی Odeon برابر ۰/۵۰ ثانیه بود که بین زمان بازآوایی برآوردشده و اندازه‌گیری‌شده اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد [۱۸].

در مطالعه Olufsen و همکاران، تراز فشار صوت و زمان بازآوایی به روش استاندارد ISO ۳۳۸۲-۳ و شبیه‌سازی Odeon در دو نقطه متفاوت اندازه‌گیری شد. تفاوت این دو منطقه از نظر هندسی و جایگذاری تجهیزات بود. تجهیزات در منطقه ۱ به صورت پراکنده در ردیف و ستون و در منطقه ۲ به صورت ستونی منظم چیده شده بود. نتایج نشان داد نتایج شبیه‌سازی Odeon و استاندارد ISO ۳۳۸۲-۳ در منطقه ۲ به هم نزدیک بودند و اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند، اما اختلاف نتایج در منطقه ۱ معنی‌دار بود [۱۹].

در این مطالعه مقادیر زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده به روش منقطع در گوشه کارگاه در مقایسه با مرکز کارگاه به دلیل نزدیکی به سطوح دیوار کمی بیشتر بود. همچنین مقادیر زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده به روش ضربه‌ای در مقایسه با روش منقطع اختلاف بسیار نامحسوسی داشتند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از این روش مطالعه می‌توان کارایی اقدامات کنترلی محیطی را با شرایط بهینه توصیه‌شده بعد از اجرای نصب جاذب در محیط تعیین کرد. همچنین، می‌توان اثربخشی اقدام کنترل محیطی را با مقایسه نتایج الگوی انتشار صدا و زمان بازآوایی و نرم‌افزار Odeon، حتی قبل از اجرای مداخله بیان کرد. در این مطالعه با توجه به اینکه شکل، حجم و ابعاد کارگاه‌های بررسی‌شده تقریباً مشابه و نزدیک به هم بود، نوعی محدودیت در مطالعه می‌توان عنوان کرد. لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، کارگاه‌هایی با حجم، ابعاد و اشکال مختلف بررسی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود اثرگذاری جانمایی و نوع جاذب صدا بر کاهش صدای محیطی کارگاه‌های معمول صنعتی نیز بررسی شود.

نتیجه‌گیری

زمان بازآوایی محاسبه‌شده با فرمول سابین و آیرینگ مقادیر بیشتری را نسبت به مقادیر روش اندازه‌گیری نشان داده بود. با این حال، مقادیر زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده با زمان بازآوایی پیش‌بینی‌شده با نرم‌افزار بسیار به هم نزدیک بودند. همچنین، بین میانگین الگوی کاهش صدا و میانگین زمان بازآوایی رابطه معناداری وجود داشت. بنابراین، معیار کاهش صدا با فاصله از منبع مصنوعی می‌تواند به‌تنهایی با توجه به سادگی روش اندازه‌گیری، معیار خوبی برای نشان دادن الگوی انتشار صدا باشد. توصیه می‌شود برای ارزیابی الگوی انتشار صدا در کارگاه همراه با زمان بازآوایی به صورت توأم به‌کار برده شود. نتایج کلی پژوهش نشان داد تراز کل فشار صوت اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی Odeon و همچنین زمان بازآوایی اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند و الگوی مقادیر رابطه معنی‌داری داشتند. از این رو، Odeon می‌تواند به‌عنوان یک روش شبیه‌سازی معتبر و کاربردی برای ارزیابی صوتی کارگاه‌ها از نظر اندازه‌گیری زمان بازآوایی و الگوی انتشار صدا معرفی شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله بر اساس نتایج پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت حرفه‌ای ثبت‌شده به شماره ۱۴۰۰۰۱۱۰۵۰ در معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان نوشته شده است. شایسته است از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان به‌خاطر تأمین منابع مالی این پژوهش تشکر و قدردانی شود.

تضاد منافع

در این پژوهش هیچ‌گونه تضاد منافع و تعارضی وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

در این پژوهش کلیه ملاحظات اخلاقی مورد نظر دانشگاه علوم پزشکی همدان در ارتباط با صنعت رعایت شده است.

سهم نویسندگان

هر کدام از نویسندگان سهم یکسانی در این پژوهش داشته اند.

حمایت مالی

معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان تامین منابع مالی این پژوهش را برعهده داشته است وشایسته است مجددا قدردانی شود.

REFERENCES

1. Jiang J, Li Y. Review of active noise control techniques with emphasis on sound quality enhancement. *Appl Acoust*. 2018;**136**:139-48. DOI:10.1016/j.apacoust.2018.02.021
2. Golmohammadi R, Oliaei M, Aliabadi M, Shahidi R, Movafagh MO. Comparison of static wave ratio and transfer function method in determining the sound absorption coefficient of materials. *JOHE*. 2018;**5**(2):1-11. DOI:10.21859/johe.5.2.1
3. Heerema N, Hodgson M. Empirical models for predicting noise levels, reverberation times and fitting densities in industrial workrooms. *Appl Acoust*. 1999;**57**(1):51-60.
4. Naylor GM. ODEON—Another hybrid room acoustical model. *Applied Acoustics*. 1993;**38**(2-4):131-43. DOI:10.1016/0003-682X(93)90047-A
5. Iannace G, Ciaburro G, Guerriero L, Trematerra A. Use of cork sheets for room acoustic correction. *J Green Build* . 2020;**15**(2):45-55. DOI:10.3992/1943-4618.15.2.45
6. Hongisto V, Keränen J, Labia L, Alakoivu R. Precision of ISO 3382-2 and ISO 3382-3–A Round-Robin test in an open-plan office. *Appl Acoust*. 2021;**175**:107846. DOI:10.1016/j.apacoust.2020.107846
7. Aliabadi M, Golmohammadi R, Mansoorizadeh M. Objective approach for analysis of noise source characteristics and acoustic conditions in noisy computerized embroidery

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.32592/joohe.10.1.1]

workrooms. *Environ Monit Assess*. 2014;**186**(3):1855-64. PMID:24214295 DOI:10.1007/s10661-013-3499-2
8. Jacques JR. Methodology for noise control at the workplace—european and international standards. *Noise Control Eng J*. 2009;**57**(6):613-9. DOI:10.3397/1.3155377
9. Keränen J, Hongisto V. Comparison of simple room acoustic models used for industrial spaces. *Acta Acust United Acust*. 2010;**96**(1):179-94.
10. Hodgson M. Experimental evaluation of simplified models for predicting noise levels in industrial workrooms. *J Acoust Soc Am*. 1998;**103**(4):1933-9.
11. Golmohammadi R, Moazaz F, Aliabadi M. The noise control prioritizing index in a tire manufacturing company. *JOHE*. 2017;**4**(3):41-8. DOI:10.21859/johe.4.3.41
12. Aliabadi M, Golmohammadi R, Ohadi A, Mansoorizadeh M, Khotanlou H, Sarrafzadeh MS. Development of an empirical acoustic model for predicting reverberation time in typical industrial workrooms using artificial neural networks. *Acta Acust United Acust*. 2014;**100**(6):1090-7.
13. Siltanen S, Lokki T, Savioja L, Lynge Christensen C. Geometry reduction in room acoustics modeling. *Acta Acust United Acust*. 2008;**94**(3):410-8. DOI:10.3813/AAA.918049
14. Aliabadi M, Golmohammadi R, Mansoorizadeh M, Khotanlou H, Hamadani AO. An empirical technique for predicting noise exposure level in the typical embroidery workrooms using artificial neural networks. *Appl Acoust*. 2013;**74**(3):364-74. DOI:10.1016/j.apacoust.2012.08.009
15. Nowoświat A, Olechowska M. Estimation of reverberation time in classrooms using the residual minimization method. *Archiv Acoust*. 2017;**42**(4):609-17. DOI:10.1515/aoa-2017-0065
16. Fantozzi F, Rocca M, Spinelli N. Assessment of reverberation times in university classroom: comparison between analytic formulae, software simulations and measurements. *Simulation*. 2021;**125**:4000. DOI:10.26868/25222708.2019.210391
17. Astolfi A, Corrado V, Griginis A. Comparison between measured and calculated parameters for the acoustical characterization of small classrooms. *Appl Acoust*. 2008;**69**(11):966-76. DOI:10.1016%2Fj.apacoust.2007.08.001
18. Tunc Kurt T, Kandemir MH. An investigation into the acoustic conditions of an open plan office located in Ankara. Inter-Noise and Noise-CON Congress and Conference Proceedings; 2016.
19. Olufsen HO. Comparing measurements and simulations for acoustics in open-plan office spaces: NTNU; 2017.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.32592/joohe.10.1.1]