Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 6, Issue 1, Spring 2019, Pages: 1-7

Original Article

doi: 10.52547/johe.6.1.1

# Efficiency Assessment of Acoustic Cabin for Providing Acoustic Comfort in Turbine Unit of a Thermal Power Plant

**Rostam Golmohammadi[1], Mohsen Aliabadi[2,*], Masoud Shafiee Motlagh[3], Rahim Goodarzi[4]**

[1] *Department of Occupational Hygiene, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[2] *Associate Professor, Department of Occupational Hygiene, School of Public Health and Occupational Health and Safety Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[3] *PhD, Department of Occupational Hygiene, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[4] *Department of Health, Safety, and Environment, Shazand Power Plant, Arak, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Mohsen Aliabadi, Department of Occupational Hygiene, School of Public Health and Research Center for Health Sciences, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. Email: mohsen.aliabadi@umsha.ac.ir*

**Received:** 17/07/2017
**Accepted:** 26/04/2018

**How to Cite this Article:**
Golmohammadi R, Aliabadi M, Shafiee Motlagh M, Goodarzi R. Efficiency Assessment of Acoustic Cabin for Providing Acoustic Comfort in Turbine Unit of a Thermal Power Plant. *J Occup Hyg Eng*. 2019; 6(1): 1-7. DOI: 10.52547/johe.6.1.1

## Abstract

**Background and Objective:** A practical method for noise control in environments with different noise sources is designing an acoustic cabin for the workers. In this regard, this study aimed to assess the efficiency of the acoustic cabin in a typical turbine unit of a thermal power plant to provide acoustic comfort.

**Materials and Methods:** Measurement of the noise level and spectrum, as well as vibration as exposed to whole body were conducted using sound level meter Brüel & Kjær 2260 Sound Level Meter; Denmark model 2260. The acoustic cabin was designed using sandwich panel structure based on standard ISO 15667. The composition of cabin walls with 104 mm total thickness from outside to inside included 2 mm steel sheet, 40 mm polyurethane foam with a density of 50 kg/m$^3$, 2 mm steel sheet,50 mm rock wool with a density of 120 kg/m$^3$, and 10 mm plaster tile, respectively. It should be noted that the floating floor was implemented for the reduction of transmitted vibration to the cabin.

**Results:** The obtained results indicated that the means of noise levels equivalent to sound pressure were approximately 89.5 and 50.7 dB outside and inside the designed cabin, respectively, resulting in an overall noise reduction of 40 dB. The results demonstrated that an acceleration level of vibration as exposed to the whole body inside the cabin was lower than the comfort vibration limit of 0.145 m/s$^2$.

**Conclusion:** In order to design a high-efficiency acoustic cabin, the selection of material types, thickness, and density is critical to optimize the overall sound transmission of the walls. Therefore, the results confirmed that in designing the acoustic cabinet, sandwich panels with adequate mass, low hardness coefficient, and high damping can provide optimal acoustic conditions.

**Keywords:** Acoustic Cabin; Acoustic Comfort; Efficiency Assessment; Thermal Power Plant

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-06 ]

[ DOI: 10.52547/johe.6.1.1 ]

**Copyright** © 2019 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.6.1.1

# بررسی کارایی اتاق آکوستیک جهت تأمین آسایش صوتی در واحد توربین یک نیروگاه حرارتی برق

رستم گل‌محمدی [۱]، محسن علی‌آبادی [۲*]، مسعود شفیعی مطلق [۳]، رحیم گودرزی [۴]

[1] استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۲] دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۳] دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[4] رئیس اداره ایمنی و مدیریت بحران، نیروگاه حرارتی شازند، اراک، ایران

* **نویسنده مسئول:** محسن علی‌آبادی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

ایمیل: Mohsen.aliabadi@umsha.ac.ir

**تاریخ دریافت مقاله:** ۱۳۹۶/۰۴/۲۶

**تاریخ پذیرش مقاله:** ۱۳۹۷/۰۲/۰۶

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

## چکیده

**سابقه و هدف:** یکی از روش‌های کنترل صدا در محیط‌های دارای منابع متعدد آن، ایجاد اتاق آکوستیک برای کارگران شاغل در محیط است. در این ارتباط، هدف از مطالعه حاضر بررسی کارایی اتاق آکوستیک جهت تأمین آسایش صوتی در واحد توربین یک نیروگاه حرارتی تولید برق بود.

**مواد و روش‌ها:** اندازه‌گیری تراز و ماهیت فرکانسی صدا و همچنین ارتعاش در مواجهه با تمام بدن در مکان مورد نظر با استفاده از صداسنج B&K-2260 صورت گرفت. طراحی اتاق آکوستیک نیز بر مبنای روش‌های استاندارد ISO15667 با استفاده از سازه سبک ساندویچ پانل انجام شد. ترکیب دیواره اتاق با ضخامت کلی حدود ۱۰۴ میلی‌متر به‌ترتیب از خارج به داخل شامل: ورق فولادی ۲ میلی‌متری، فوم پلی‌یورتان ۴۰ میلی‌متری با دانسیته ۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، ورق فولادی ۲ میلی‌متری، پشم سنگ ۵۰ میلی‌متری با دانسیته ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب و گچبرک کناف ۱۰ میلی‌متری بود. باید خاطرنشان ساخت که کف شناور جهت کاهش ارتعاش منتقل‌شده به داخل اتاق اجرا گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان دادند که میانگین تراز معادل فشار صدا در خارج از اتاق در فاصله یک متری از دیوار اتاق برابر با ۸۹/۵ دسی‌بل و در داخل اتاق معادل ۵۰/۷ دسی‌بل بوده است که منجر به کاهش صدایی معادل ۴۰ دسی‌بل شده است. شایان ذکر است که میزان شتاب ارتعاش در مواجهه با تمام بدن در داخل اتاق، کمتر از حدود آسایشی ارتعاش ۰/۱۴۵ متر بر مجذور ثانیه بود.

**نتیجه‌گیری:** به‌منظور طراحی اتاق آکوستیک با کارایی بالا، انتخاب مصالح، ضخامت و تراکم جهت بهینه‌نمودن افت انتقال صوت کلی دیواره‌ها دارای اهمیت حیاتی است؛ بنابراین به نظر می‌رسد که در طراحی پناهگاه صوتی، لایه‌بندی ساندویچی دارای جرم کافی و ضریب سختی پایین و میرایی بالا می‌تواند شرایط آکوستیکی بهینه را ایجاد کند.

**واژگان کلیدی:** آسایش صوتی؛ اتاق آکوستیک؛ ارزیابی کارایی؛ نیروگاه حرارتی برق

## مقدمه

مواجهه شغلی با آلودگی صدای صنعتی از عوامل مهم ایجاد افت شنوایی حسی- عصبی دائم و برگشت‌ناپذیر در کارگران شاغل در محیط‌های کاری است [۱]. افت شنوایی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوارض شغلی می‌باشد که دائمی بوده و در اثر مواجهه مداوم و مزمن با صدای بیش از حد ایجاد می‌گردد [۲]. با توجه به اهمیت اثرات بهداشتی ناشی از صدا، به‌کارگیری و اجرای برنامه حفاظت شنوایی جامع می‌تواند در پیشگیری از بروز این عوارض مؤثر باشد [۳]. یکی از صنایع مهم کشور که افراد شاغل در آن در معرض آلودگی صدا قرار دارند، نیروگاه‌های تولید برق است. از جمله تجهیزات موجود در نیروگاه‌ها می‌توان به بوستر پمپ، کندانسور، پمپ‌های تغذیه‌کننده آب، بویلرها، دریچه‌های بخار، دریچه‌های کنترل و کمپرسورها اشاره نمود که این وسایل صدای زیادی را هنگام کار ایجاد می‌کنند؛ در نتیجه نیروگاه‌ها با توجه به ماهیت و فرایند کاری خود دارای منابع تولید صدای



[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-06 ]

[ DOI: 10.52547/johe.6.1.1 ]

متعددی می‌باشند که این امر باعث تولید میزان صدای بسیاری در اطراف این منابع می‌گردد [۴]. مواجهه افراد شاغل حاضر در این نیروگاه‌ها با آلودگی صدا در این محیط‌ها علاوه بر ایجاد اثرات متعدد شنیداری، فیزیولوژیکی و روحی- روانی بر سلامتی افراد به‌طور غیرمستقیم باعث افزایش ریسک بروز خطای انسانی و حوادث و در نتیجه، کاهش بهره‌وری شغلی می‌گردد. تولید برق در واحد توربین نیروگاه حرارتی انجام می‌شود. بخار ایجادشده در واحد بویلر توسط دستگاه‌های لوله‌کشی و پمپ‌های خاصی جهت چرخاندن توربین‌ها و به دنبال آن به حرکت درآوردن ژنراتورها و تولید برق به این قسمت پمپ می‌گردد. در طبقه همکف نیروگاه‌ها، بیشتر پمپ‌های اصلی نیروگاهی که کار اصلی آن‌ها تأمین فشار آب بخار و به گردش درآوردن روغن می‌باشد، قرار دارند [۵].

در این راستا در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۶ با عنوان "تعیین منابع اصلی صدا در یک نیروگاه حرارتی در هند" انجام شد، به‌منظور تعیین منابع اصلی تولیدکننده صدا در نیروگاه، اندازه‌گیری محیطی صدا صورت گرفت و مشخص گردید که صدای کلیه پمپ‌های تغذیه مورد ارزیابی از مقادیر توصیه‌شده صدا تجاوز نموده است و بالاترین میزان صدا معادل ۹۲/۵ دسی‌بل می‌باشد. در نهایت، مشخص گردید که یکی از منابع اصلی منتشرکننده صدا در محیط نیروگاه، پمپ‌های تغذیه می‌باشند [۶].

لازم به ذکر است که حدود مجاز آسایش صوتی برای محیط‌های صنعتی مورد پذیرش در ایران براساس توصیه کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور، تراز معادل ۷۰ دسی‌بل در مقیاس A برای هشت ساعت کار روزانه اعلام شده است. برآیند شتاب ارتعاش مجاز در مواجهه با تمام بدن برای هشت ساعت کار نیز معادل ۰/۸۷ متر بر مجذور ثانیه توصیه گردیده است [۷]. با این وجود به‌منظور پیشگیری از خستگی، یک‌دوم از حد ذکر شده و برای ایجاد احساس آسایش، یک‌ششم از این حد توصیه گردیده است [۷]. یکی از روش‌های کنترل فنی صدا در محیط‌های دارای منابع متعدد آلاینده صدا از جمله واحدهای توربین نیروگاهی، ایجاد پناهگاه‌های صوتی برای کارگران شاغل در محیط است؛ به‌ویژه در محیط‌هایی که افراد تنها وظیفه نظارت و کنترل تجهیزات را بر عهده دارند و به‌طور عمده فعالیت ذهنی انجام می‌دهند، ایجاد اتاقک‌های آکوستیک می‌تواند راهکار مؤثری باشد؛ بنابراین بسیار مقرون‌به‌صرفه‌تر خواهد بود که افراد در مواجهه با صدا از طریق ایجاد اتاق‌های آکوستیک مورد محافظت قرار گیرند؛ تا اینکه منابع حجیم و متعدد صدا در واحد توربین محصورسازی گردند [۸].

طراحی اتاق آکوستیک از نظر ویژگی‌های عایق صوت مشابه با طراحی محصورکننده‌ها برای تجهیزات می‌باشد؛ با این تفاوت که لازم است ملاحظاتی در راستای طراحی فضای داخلی اتاق از نظر آسایش حرارتی، بینایی و ایمنی در نظر گرفته شود. ماهیت فرکانسی صدا و تراز کلی آن در محیط بر انتخاب نوع مصالح آکوستیکی، ویژگی‌های ضخامت و تراکم آن‌ها و در نهایت میزان افت انتقال صوت قابل‌انتظار، تأثیرگذار است. در روش استاندارد ISO 15667 به اصول و کلیات روش طراحی اتاق‌های آکوستیک و انتخاب مواد آکوستیکی اشاره گردیده است [۹]. با توجه به تراز فشار صدای بیش از حد در واحدهای توربین، دستیابی به حدود آسایش صوتی در داخل اتاق آکوستیک مستقر در سالن‌های توربین نیازمند ملاحظات اختصاصی در طراحی و کارایی آکوستیکی بسیار بالای اتاق می‌باشد. با این وجود طی بررسی صورت‌گرفته، مطالعه‌ای که بر مبنای اصول روش استاندارد ذکرشده، طراحی و ارزیابی اتاق آکوستیکی را در سطح کشور انجام داده باشد، یافت نگردید؛ از این رو هدف از مطالعه حاضر، طراحی اتاق آکوستیک با کارایی بالا و ارزیابی عملکرد آن جهت تأمین آسایش صوتی در واحد توربین یک نیروگاه حرارتی تولید برق بود.

## مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در طبقه همکف واحد توربین نیروگاه حرارتی برق شازند اراک به‌منظور طراحی اتاق آکوستیک در دو مرحله صورت گرفت.

### *الف. ارزیابی آلودگی صدا در واحد توربین*

بدین‌منظور، اندازه‌گیری تراز صدا و تعیین ماهیت فرکانسی آن در حین بهره‌برداری تجهیزات در مکان مورد نظر برای اتاق آکوستیک صورت گرفت. همچنین، اندازه‌گیری ارتعاش در مواجهه با تمام بدن در حین بهره‌برداری تجهیزات در مکان مورد نظر برای اتاق آکوستیک انجام شد و نتایج اندازه‌گیری صدا و ارتعاش در مکان مورد نظر به‌منظور ارائه طرح بهینه اتاق آکوستیک تحلیل گردیدند. پس از طرح اتاق آکوستیک، اندازه‌گیری صدا در داخل و خارج از اتاق مطابق با روش استاندارد صورت گرفت [۱۰]. برای اندازه‌گیری صدا از صداسنج B8K (مدل ۲۲۶۰ ساخت کشور دانمارک) استفاده شد. این دستگاه دارای قابلیت‌های اندازه‌گیری تراز معادل صدا، ترازهای آماری و تجزیه فرکانسی صدا می‌باشد. علاوه‌براین، اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن با استفاده از سنسور ارتعاش تمام بدن متصل به صداسنج B8K (مدل ۲۲۶۰) با استفاده از نرم‌افزار 1700 Human Vibration Front-end for 2260 Investigator مطابق با روش استاندارد صورت گرفت [۱۱]. برای کالیبراسیون نیز از کالیبراتور صداسنج B8K (مدل ۴۲۳۰) استفاده گردید.

### *ب. طراحی اتاق آکوستیک در واحد توربین*

طراحی اتاق بر مبنای روش‌های استاندارد ISO 15667 با استفاده از سازه سبک ساندویچ پانل صورت گرفت (۹). برای تعیین میزان کارایی مورد انتظار NR دیواره اتاقک بر حسب دسی‌بل از رابطه زیر استفاده گردید.

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-06 ]

[ DOI: 10.52547/johe.6.1.1 ]

رابطه ۱
$$NR = LP_1 - LP_2 = TL + 10\log\frac{S}{A}$$

در این رابطه $LP_1$ و $LP_2$ تراز فشار صدا در داخل و خارج از اتاق بر حسب دسی‌بل می‌باشند. همچنین، A سطح جذب مؤثر دیوارهای داخلی اتاق بر حسب متر مربع و S مساحت سطح دیواره‌های اتاق در سمت منبع بر حسب متر مربع است. پس از تعیین میزان افت انتقال مورد انتظار دیواره‌های اتاق از رابطه ۲ به‌منظور تعیین کارایی و یا افت انتقال قابل‌دسترس بر حسب دسی‌بل از الگوهای مختلف ترکیب لایه‌بندی و تراکم لایه‌های دیواره‌ها استفاده گردید.

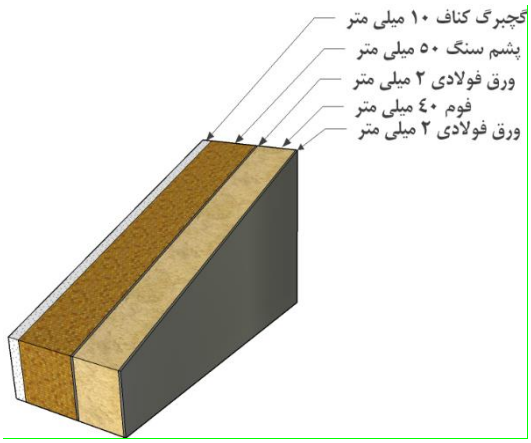
رابطه ۲
$$TL = 20\log(M_S) + 20\log(f) - 47.3$$

در این رابطه، $M_S$ جرم سطحی دیواره (کیلوگرم بر متر مربع) و f فرکانس صدا (هرتز) می‌باشد.

پس از مطالعات اولیه و بر مبنای نتایج اندازه‌گیری، تحلیل فرکانس صدا و بررسی‌های فنی برای کنترل صدای این واحدها، طرح کنترل با شرایط زیر جهت اجرا پیشنهاد گردید.

۱. ابعاد و ویژگی‌های کلی اتاق محلی شامل: طول کلی اتاق ۷/۹۰ متر، عرض ۴/۸۰ متر و ارتفاع ۳/۰۰ متر بود. شایان ذکر است که ابعاد پنجره‌های طول اتاق عبارت بودند از: ۱/۵۰×۱/۰۰ متر ارتفاع کف پنجره از کف سالن ۱/۱۰ متر از جنس UPVC (Unplasticized PolyVinyl Chloride) با شیشه سه‌جداره خلاشده بدون بازشو. باید خاطرنشان ساخت که ابعاد درب ۲/۰۰×۱/۰۰ متر از جنس UPVC با شیشه سه جداره خلا شده‌اند. در این مطالعه، سازه اصلی فولاد و دیواره‌ها دارای لایه‌بندی ساندویچی بودند. شکل ۱ تصویری سه‌بعدی از اتاقک طراحی‌شده را نشان می‌دهد.

۲. دیواره اتاق به‌صورت ترکیب ساندویچی و ضخامت کلی حدود ۱۰۴ میلی‌متر به‌ترتیب از خارج به داخل شامل: ورق فولادی ۲ میلی‌متری، فوم پلی‌یورتان ۴۰ میلی‌متری با دانسیته ۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، ورق فولادی ۲ میلی‌متری، پشم سنگ ۵۰ میلی‌متری با دانسیته ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب و گچبرک کناف ۱۰ میلی‌متری می‌باشد. باید عنوان نمود که در سطح بیرونی، نمای کامپوزیتی برای زیبایی طرح توسط کارفرما اجرا شد. شایان ذکر است که در سطح داخلی، یک لایه کاغذ دیواری روی گچبرگ‌های کناف کشیده شد تا زیبایی سطح داخلی مطبوع باشد. شکل ۲ لایه‌بندی دیواره اتاقک را به‌صورت ساده نشان می‌دهد.

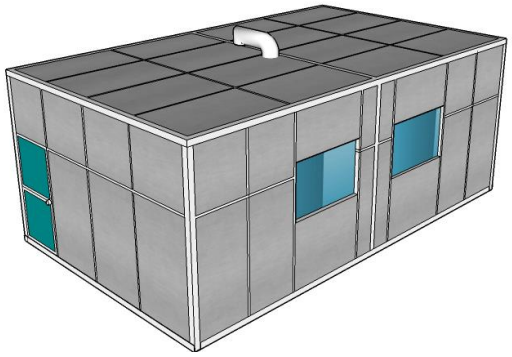



**شکل ۲:** ترکیب ساندویچی دیوارهای اتاقک

۳. سقف اتاق به‌صورت ترکیب ساندویچی دیوارها و ضخامت کلی حدود ۹۰ میلی‌متر (چگالی سطحی کلی حدود ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع) به‌صورت ساندویچی به‌ترتیب از داخل به خارج شامل: ورق فولادی ۲ میلی‌متری، فوم پلی‌یورتان ۴۰ میلی‌متری، ورق فولادی ۲ میلی‌متری، بتون آرمه ۳۰ میلی‌متری و ایزوگام ۳ میلی‌متری می‌باشد.

۴. کف شناور شامل یک لایه ماسه به ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر که روی آن ۲۰ میلی‌متر سیمان قرار گرفته است و لایه بعدی فوم کف‌پوش با دانسیته پایین با ضخامت حداقل ۲۵ میلی‌متر نصب شده و روی آن مجدداً سیمان ۳۰ و کفپوش لمینت قرار دارد.

۵. روشنایی داخلی اتاق‌ها با استفاده از چراغ فلورسنت (با دمای رنگ بیش از ۴۰۰۰ درجه کلوین) بر مبنای نظر طراح تأمین شد و روشنایی خارجی در مرحله نهایی توصیه گردید. علاوه‌براین، سرمایش با استفاده از کولر اسپلیت و گرمایش براساس امکانات فنی موجود در نیروگاه تأمین شد. به‌منظور افزایش زیبایی نمای خارجی اتاق نیز از کامپوزیت آلومینیوم طرح‌دار استفاده گردید.



**شکل ۱:** تصویر سه‌بعدی اتاقک آکوستیک طراحی‌شده

### ج. برآورد تراز صدا در داخل اتاق آکوستیک طراحی‌شده

در این مطالعه ورق فولاد به‌عنوان پایه اصلی مصالح لایه‌بندی دیوار مورد استفاده قرار گرفت که دارای افت انتقال مطابق با جدول ۱ بود. علاوه‌براین، فرکانس همزمانی (بحرانی) فولاد معادل ۶۴۶۵ هرتز تعیین گردید. مابقی مصالح مورد استفاده در لایه‌بندی، نقش میراکنندگی صدا، ارتعاش و بهبود

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-06 ]
[ DOI: 10.52547/johe.6.1.1 ]

**جدول ۱:** میزان افت انتقال محاسباتی ورق فولاد ۲ میلی‌متری دیواره اتاق آکوستیک طراحی‌شده

| فرکانس | ۳۱/۵ | ۶۳ | ۱۲۵ | ۲۵۰ | ۵۰۰ | ۱۰۰۰ | ۲۰۰۰ | ۴۰۰۰ | ۸۰۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| افت انتقال | ۶/۷ | ۱۲/۷ | ۱۸/۷ | ۲۴/۷ | ۳۰/۷ | ۳۷ | ۴۲/۸ | ۴۸/۸ | ۲۵/۹ |

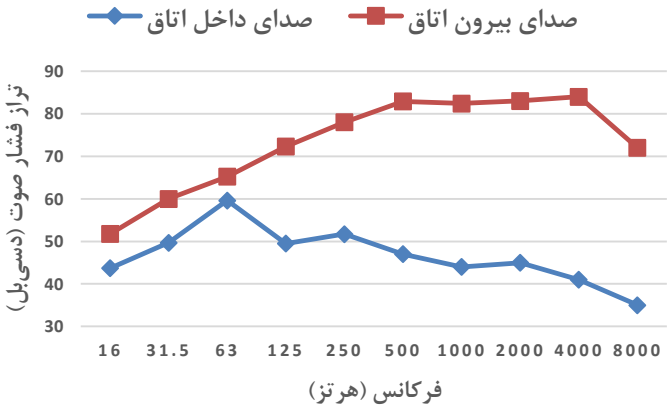
عملکرد افت انتقال صدا و عایق صوتی ورق فولاد را ایفا می‌کنند. میزان افت انتقال محاسباتی در یک اکتاوباند ورق فولاد ۲ میلی‌متری در جدول ۱ ارائه شده است.

لازم به ذکر است که لایه گچبرگ کناف در داخل اتاقک قرار داده شد تا ضریب جذب نسبتاً خوبی را برای داخل اتاقک ایجاد نماید و از انعکاس و تشدید صدا در داخل اتاقک جلوگیری کند [۱۲].

## یافته‌ها

نتایج اندازه‌گیری صدا در محدوده جانمایی‌شده برای اتاق آکوستیک نشان دادند که تراز معادل فشار صوت در خارج از اتاق در فاصله یک متری از دیوار اتاق در سمت جنوبی، شرقی و شمالی آن به‌ترتیب برابر با ۸۹/۳، ۸۸/۲ و ۸۷/۸ دسی‌بل می‌باشد. تراز معادل فشار صوت در داخل اتاق نیز معادل ۵۰/۷ دسی‌بل بود. با توجه به نتایج، میزان کاهش صدای اتاق برابر با ۴۰ دسی‌بل بوده است. نتایج تجزیه فرکانسی صدا در داخل و خارج از اتاق در یک اکتاوباند و در وضعیت پاسخ خطی صداسنج در شکل ۳ ارائه شده است. بر مبنای نتایج، فرکانس غالب صدای خارج و داخل اتاق به‌ترتیب معادل ۴۰۰۰ و ۶۳ هرتز می‌باشد و تراز فشار صوت در این فرکانس‌ها به‌ترتیب برابر با ۸۴ و ۵۹/۶ دسی‌بل بوده است. نمای داخل و خارج اتاق آکوستیک طراحی‌شده در واحد توربین نیروگاه در شکل ۴ نشان داده شده است.

نتایج اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن در محدوده جانمایی شده برای اتاق آکوستیک مطابق با جدول ۲ می‌باشند که نشان‌دهنده پایین‌بودن مقادیر مواجهه از حدود مجاز توصیه‌شده جهت پیشگیری از اثرات نامطلوب بهداشتی هستند. با این وجود از جنبه آسایشی کارگران، کاهش هرچه بیشتر مواجهه با ارتعاش می‌تواند شرایط مطلوب‌تری را فراهم آورد. در این راستا، نتایج نشان دادند که داخل اتاق، میزان شتاب ارتعاش در مواجهه با تمام بدن کمتر از حدود آسایشی ارتعاش ۰/۱۴۵ متر بر مجذور ثانیه (یک‌ششم حد مجاز (میلی‌متر بر مجذور ثانیه ۰/۸۷) می‌باشد.




**شکل ۳:** تجزیه فرکانسی صدا در داخل و خارج از اتاق در یک اکتاوباند و در وضعیت پاسخ خطی



**شکل ۴:** نمای داخل و خارج اتاق آکوستیک طراحی‌شده در واحد توربین نیروگاه

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-06 ]

[ DOI: 10.52547/johe.6.1.1 ]

**جدول ۲:** نتایج اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن در محدوده خارج و داخل اتاق آکوستیک

| محل اندازه‌گیری | شتاب ارتعاش در جهت‌های اصلی (میلی‌متر بر مجذور ثانیه) | | | برایند شتاب ارتعاش (میلی‌متر بر مجذور ثانیه) |
|---|---|---|---|---|
| | X | Y | Z | |
| خارج اتاق (کف سالن) | ۳۵۰ | ۳۵۰ | ۳۵۰ | ۶۱۰ |
| داخل اتاق (میز تحریر) | ۲۲ | ۲۰ | ۴۹ | ۴۳ |
| داخل اتاق (کف اتاق) | ۱۹ | ۲۱ | ۳۴ | ۵۷ |

## بحث

بر مبنای نتایج، اپراتورهای واحد توربین نیروگاه در مواجهه با صدای بیش از حد مجاز کشوری قرار داشتند که علاوه بر اثرات آسایشی و ذهنی، اثرات شنیداری به‌صورت افت شنوایی نیز یکی از پیامدهای مستقیم آن می‌باشد. اتاق آکوستیک طراحی‌شده در این مطالعه توانست در محل استقرار دائم اپراتورها به‌طور مؤثری مواجهه کارگران با صدا را به کمتر از حد توصیه‌شده آسایشی ۷۰ دسی‌بل تقلیل دهد. در روش استاندارد ISO15667 اشاره شده است که اتاق‌های آکوستیک کامل با عایق‌بندی و نشت‌گیری مؤثر می‌توانند به‌طور معمول کاهش صدایی معادل ۳۰ دسی‌بل ایجاد کنند. با این حال، دستیابی به کاهش بیشتر تا ۴۰ دسی‌بل تنها از طریق طراحی انجام عایق‌بندی و لایه‌بندی‌های اختصاصی دیوارها، درها و پنجره‌ها امکان‌پذیر می‌باشد [۹]. در این مطالعه با درنظرگرفتن تمهیدات اشاره‌شده در لایه‌بندی سازه اتاق، کاهشی در حدود ۴۰ دسی‌بل انجام شد که به‌عنوان یک نمونه اتاق آکوستیک با کارایی بالا شناخته می‌شود. ذکر این نکته ضرورت دارد که کارایی سازه‌های سبک برای فرکانس‌های بالا نسبت به فرکانس‌های پایین، بیشتر بوده و افزایش دانسیته لایه‌بندی منجر به افت انتقال بیشتر می‌گردد. سازه‌های سبک در مقایسه با سازه سنگین ایجادشده از مصالح معمولی ساختمانی، دارای وزن و محدودیت فضای کمتر و کارایی آکوستیکی بالاتر می‌باشد [۱۳، ۱۴]. باید خاطرنشان ساخت که استفاده از شیشه‌های سه‌جداره با افت انتقال مؤثر برای در و پنجره برای دستیابی به کارایی آکوستیکی مورد نظر بسیار حیاتی بود. علاوه‌براین، جانمایی درب‌ها در قسمت انتهایی دیوارهای جانبی اتاق (شکل ۱) به‌منظور جلوگیری از انتقال و نشت صدای کمتر به داخل اتاق بسیار مؤثر بود. براساس نتایج مطالعه گل‌محمدی و همکاران که به‌منظور کاهش مواجهه کارکنان با صدا در صنایع فلزی اتاقکی طراحی و اجرا گردید، با استفاده از پانل‌های ساندویچی در دیواره‌ها و سقف اتاقک، صدا به میزان بیش از ۲۰/۵ دسی‌بل کاهش یافت که این یافته با نتایج حاصل از مطالعه حاضر همخوانی دارد [۱۵].

استفاده از مواد دارای خاصیت میرایی مناسب از جمله فوم پایه شیمیایی و پشم سنگ در کنار ورق فولادی، ویژگی‌های میراکنندگی را به‌طور مؤثری افزایش می‌دهد و ضخامت جرمی مناسبی را ایجاد می‌نماید [۱۶]. در این راستا، در مطالعه‌ای که توسط جهانگیری و همکاران به‌منظور کنترل صدای دستگاه پمپ‌های تغذیه آب دیگ بخار در یک نیروگاه برق صورت گرفت، اتاقکی از مصالح مشابه مورد استفاده در این مطالعه ساخته شد و بر روی دستگاه مورد نظر قرار گرفت. بر مبنای نتایج، تراز فشار صوت قسمت‌های اصلی پمپ به میزان ۲۰ دسی‌بل کاهش یافت که این مهم با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد [۱۷].

تزریق فوم به‌صورت یکنواخت در داخل لایه‌های ورق فولاد جهت دستیابی به افت انتقال یکنواخت، اهمیت بسیاری دارد. گچبرگ به‌عنوان آخرین لایه طراحی‌شده برای سطح داخلی اتاق دارای یک لایه نازک از مقوا در سطح خارجی می‌باشد که این لایه می‌تواند ویژگی‌های جذب صدای دیوارهای اتاق را بهبود بخشد و صداهای بازتابی در اتاق را کاهش دهد. گچبرگ ورق‌های پیش‌ساخته و منحصربه‌فردی است که از ترکیب گچ صنعتی و الیاف کاغذ تحت شرایط و مراحل فنی دقیق و کنترل‌شده‌ای تولید می‌گردد؛ بنابراین یکی از عوامل مهم در دستیابی به شرایط بهینه آکوستیکی در اتاق‌ها، توجه به ویژگی‌های جذبی سطوح داخلی می‌باشد [۱۸]. از سوی دیگر، تهویه مکانیکی اتاق از جنبه آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخل با توجه به بسته‌بودن دائم پنجره‌ها و در ورودی دارای اهمیت بسیاری است. از نظر آسایش بینایی نیز طراحی سامانه روشنایی مصنوعی و رنگ‌آمیزی سطوح داخلی می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

علاوه‌براین، موضوع آسایش صوتی با توجه به قرارگرفتن اتاق در داخل سالن توربین در مجاورت تجهیزات و پمپ‌های کنترل ارتعاش، در داخل اتاق از جنبه آسایشی بسیار مورد تأکید بود. مطالعات نشان داده‌اند که مواجهه با ارتعاش می‌تواند علاوه بر عملکرد فیزیکی، اثرات متنوعی بر عملکرد ذهنی افراد داشته باشد. علاوه‌براین، نتایج گویای آن بودند که میزان شتاب ارتعاش در مواجهه با تمام بدن در سطح کف و میزهای تحریر داخل اتاق، کمتر از حدود آسایشی ارتعاش ۰/۱۴۵ متر بر مجذور ثانیه می‌باشد. شایان ذکر است که استفاده از کف شناور با ملاحظات ذکرشده توانست به شکل مؤثری شتاب ارتعاش در داخل اتاق را نسبت به کف سالن توربین کاهش دهد.

## نتیجه‌گیری

برای طراحی اتاق آکوستیک با کارایی بالا، انتخاب مواد و مصالح، ضخامت و تراکم جهت بهینه‌نمودن افت انتقال صوت کلی دیواره‌ها اهمیت بسیار حیاتی دارد. نتایج نشان دادند که برای دستیابی به شرایط بهینه آکوستیکی، لایه‌بندی ساندویچی که

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-06 ]

[ DOI: 10.52547/johe.6.1.1 ]

دارای جرم کافی و ضریب سختی پایین و میرایی بالایی باشد، ارجحیت دارد.

## تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر در قالب طرح ارتباط با صنعت بین دانشگاه علوم پزشکی همدان و نیروگاه حرارتی شازند اراک انجام شده است. بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از حمایت‌های مالی مدیریت محترم و همکاری کارکنان نیروگاه حرارتی برق شازند اراک به دلیل اجرای طرح اتاق آکوستیک تشکر و قدردانی می‌نماید.

## REFERENCES

1. Nelson DI, Nelson RY, Concha-Barrientos M, Fingerhut M. The global burden of occupational noise-induced hearing loss. *Am J Ind Med*. 2005;**48**(6):446-58. PMID: 16299704 DOI: 10.1002/ajim.20223
2. 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
3. Saeki T, Fujii T, Yamaguchi S, Harima S. Effects of acoustical noise on annoyance, performance and fatigue during mental memory task. *Appl Acoust*. 2004;**65**(9):913-21. DOI: 10.1016/j.apacoust.2003.12.005
4. Jahangiri M, Golmohammadi R, Aliabadi M. Determination of main noise sources in a thermal power plant. *Health Safety Work*. 2014;**4**(3):13-22. [Persian]
5. Tang H, Al-Sudairawi M. Noise assessment in a thermal plant development project in Kuwait. *WIT Transact Ecol Environ*. 2004;**77**:1-9. DOI: 10.2495/RISK040361
6. Kisku G, Bhargava SK. Assessment of noise level of a medium scale thermal power plant. *Indian J Occup Environ Med*. 2006;**10**(3):133. DOI: 10.4103/0019-5278.29575
7. Education IMoHAM. Occupational exposure limits (OEL). 4th ed. Tehran: Environmental and Occupational Health Center; 2016.
8. Barron RF. Appendix D: surface absorption coefficients industrial noise control and acoustics. Florida: CRC Press; 2001.
9. ISO 15667. Acoustics-guidelines for noise control by enclosures and cabins. Geneva, Switzerland: Technical Committee ISO; 2000.
10. ISO 11957. Acoustics- determination of sound insulation performance of cabins-Laboratory and in situ measurements. Geneva, Switzerland: Technical Committee ISO; 2009.
11. ISO 2631-1. Mechanical vibration and shock--evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements. Geneva, Switzerland: Technical Committee ISO; 1997.
12. 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. DOI: 10.21859/johe-03031 [Persian]
13. Golmohammadi R, Giahi O, Aliabadi M, Darvishi E. An intervention for noise control of blast furnace in steel industry. *J Res Health Sci*. 2014;**14**(4):287-90. PMID: 25503285
14. Lewis HB, Bell DH. Industrial noise control, Fundamentals and applications, New York: Marcel Dekker; 1994.
15. Golmohammadi R, Aliabadi M. Empirical feasibility of an acoustic cabin for reduction the workers' exposure to high frequency noise in typical metal industry. *Int J Occup Hyg*. 2016;**8**(1):31-8.
16. Kuku R, Raji N, Bello T. Development and performance evaluation of sound proof enclosure for portable generators. *Res J of Appl Sci*. 2012;**4**:2600-3.
17. Aliabadi M. Noise control of feed water pumps in a thermal power plant. *Iran Occup Health*. 2017;**14**(1):81-92. [Persian]
18. Dziechciowski Z. Selection of plate components of operator's cabin walls in aspect of thermal insulation and transmission loss. *Arch Acoust*. 2011;**36**(1):109-19.

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-06 ]

[ DOI: 10.52547/johe.6.1.1 ]