



## Assessment and control of noise pollution in seal gas compressor of reduction unit 2 of a steel industry

- Gholam Abbas Shirali**, (\*Corresponding Author) Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran [shirali@ajums.ac.ir](mailto:shirali@ajums.ac.ir)  
**Sanaze Karimpour**, BSc of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran  
**Davood Afshari**, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

### Abstract

**Background:** Undoubtedly, noise and vibration are major problems of industrial world and lot of people are very exposed to these phenomena in their workplace or residential areas. Researchers have shown that exposure to noise may increase the risks related to personal health, like nervous frailty, extreme irritability, muscle cramps, stress and anxiety, dizziness, headache and migraine, anger, loss of body balance, vomiting, pain, hypertension, high blood pressure, cardiovascular problems, deterioration of sleep quality, mental stress, etc. However, the purpose of this study was to assess and control and reduce the risks resulting from noise in the reduction unit 2 of a steel industry.

**Methods:** This study was conducted in two steps. 1) Evaluation of noise pollution in the compressor room and its surrounding: For this purpose, total sound pressure level (SPL) and SPL<sub>peak</sub> were measured in the places where workers worked or were traveled. The parameters were measured in the mentioned places according to a grid pattern in both the compressor turn on/off. Because the workers exposed to a noise fluctuating, in addition to SPL analysis on the octave-band frequencies to determine critical frequency when the compressor was switched on, the value of Leq was also measured. The critical frequency is very important in noise control issues. The measurements were performed by using sound level meter, model of "B&K 2231." The apparatus was calibrated before and after measurements by using "B&K 4230 calibrator." 2) Noise control measurements: After identifying noise leakage paths to outside of the compressor room, noise was controlled in door, wall-fans and roof window area through installing a silencer on the wall-fans and redesigning the door and the roof window using the previous step data.

**Results:** Inside the compressor room, the total sound pressure level and the critical frequency was estimated 106.2 dB (A) and of 250 Hz in the Lin network, respectively. The total sound pressure level in the area around the compressor and the critical frequency were also estimated 94.3 dB (A) and 2000 Hz respectively. Moreover, the value of Leq was more than the threshold value (<85 dB) at all measured stations. In order to control the noise in the area of the fans, considering the noise assessment and the critical frequency, there was used an absorption silencer with glass wool as adsorbent material. To control noise at the door and roof window, there was designed and installed a steel door with dimensions of 3.9 \* 2.13 meter and thickness of 1.5 mm which was filled by a noise-adsorbent 40 mm of glass wool and attached to a metal grid. Moreover, to control noise in the roof window was applied a structure with the same specifications, but with the different dimensions (4.2 \* 4.2 m and 7 mm mesh diameter). However, the results related to before and after implementation of the control measurements showed an acceptable attenuation in the SPL (91.8%). The average SPL before and after implementation of the control measurements was 95 and 87.2 dBA, respectively which this value was an acceptable level in comparison with background noise, i.e., 86.4 dBA. On

### Keywords

Noise assessment,  
Noise control,  
Compressor,  
Sound pressure level ing

Received: 16/01/2018

Accepted: 26/01/2019

the other hand, the slight difference between the mean value of the background sound pressure level and the average of controlled sound pressure level (0.8 dB) is due to factors such as temperature, variations in sound at different positions, generated noise sources (off or on and so no) and the movement of fluids in the pipes and so on.

**Conclusion:** The results of the field study indicated that door, window and roof window were identified as the main paths of noise leakage to outside of the compressor room. Therefore, the implementation of the control measurements could be reduced to an acceptable level, but due to high background noise level even after the implementation of the control measurements, the noise level was lesser than the maximum permissible level (85 dB). Therefore, there were presented a few recommendations such as controlling the other sources of noise (e.g. moving fluid through pipes), utilizing the hearing protection devices and how to choose them properly to reduce background noise and the protection of workers against noise.

**Conflicts of interest:** None

**Funding:** A Steel Company

#### **How to cite this article:**

ShiraliGhA, Karimpour S, Afshari D. Assessment and control of noise pollution in seal gas compressor of reduction unit 2 of a steel industry. Iran Occupational Health.2019 (Apr-May);16(1):90-101.

This work is published under [CC BY-NC-SA 1.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



## ارزیابی و کنترل صدا در کمپرسورخانه واحد احیاء ۲ یکی از صنایع فلزی خوزستان

© غلامعباس شیرالی: (\*نویسنده مسئول) دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران. shirali@ajums.ac.ir  
 ساناز کریم‌پور: دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران  
 داود افشاری: دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

### چکیده

#### کلیدواژه‌ها

ارزیابی صدا،  
کنترل صدا،  
کمپرسور،  
تراز فشار صوت

**زمینه و هدف:** بدون تردید، صدا و ارتعاش از معضلات اساسی دنیای صنعتی بوده و خیل عظیمی از افراد در محیط کار خود یا در محل زندگی در معرض آسیب‌های ناشی از آن‌ها قرار دارند. هدف مطالعه حاضر نیز ارزیابی و کنترل صدا و کاهش مخاطرات ناشی از آن در واحد احیاء ۲ یکی از صنایع فلزی خوزستان می‌باشد.

**روش بررسی:** این مطالعه در دو مرحله اجرا شد: مرحله اول: ارزیابی صدا. برای این منظور ابتدا تراز کلی فشار صوت در محل‌های کار یا تردد کارگران اندازه‌گیری شد. تراز کلی فشار صوت با روش ایستگاه بندی در دو حالت کمپرسور روشن و خاموش (برای تعیین صدای زمینه و فرکانس غالب)، تعیین شد. همچنین برای تعیین فرکانس غالب در زمان روشن بودن کمپرسور، اقدام به آنالیز تراز فشار صوت در فرکانس‌های اکتاو باند گردید. اندازه‌گیری‌ها با دستگاه B&K مدل ۲۲۳۱ انجام شد. دستگاه قبل و بعد از اندازه‌گیری به وسیله کالیبراتور B&K مدل ۴۲۳۰ برای صحت اندازه‌گیری‌ها کالیبره شد. مرحله دوم: کنترل صدا. در این مرحله با استفاده از اطلاعات مرحله قبل اقدام به کنترل صدا در ناحیه‌ی در، فن‌های دیواری و نورگیر سقف با نصب مافلر بر روی فن‌ها، تغییر ساختار در و پنجره‌ی سقفی گردید.

**یافته‌ها:** در داخل اتاقک کمپرسور، تراز کلی فشار صوت ۱۰۶/۲ دسی‌بل A و فرکانس غالب ۲۵۰ هرتز در شبکه خطی Lin تعیین شد. تراز کلی فشار صوت در محوطه اطراف کمپرسور ۹۴/۳ دسی‌بل A و فرکانس غالب نیز ۲۰۰۰ هرتز بود. برای کنترل صدا در ناحیه‌ی فن‌ها با توجه به ارزیابی صدا و فرکانس غالب، مافلرهای نوع جذبی مدور با یک هسته مرکزی انتخاب گردید. جاذب مورد استفاده نیز پشم شیشه با توری نگه‌دارنده بود. برای کنترل صدا در ناحیه‌ی درها و دریچه‌های سقفی، از دری به ابعاد ۲/۱۳ × ۳/۹۰ متر با ورق‌ی از جنس فولاد به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر و جاذب ۴۰ میلی‌متری پشم شیشه و یک پنجره سقفی نیز با همین مشخصات ولی ابعاد ۲/۴ × ۴/۳ متر و قطر مش ۷ میلی‌متر استفاده شد. نتایج بدست آمده قبل و بعد از اجرای این پروژه نشان از یک کاهش صدای قابل قبول دارد (۹۱/۸٪). میانگین تراز فشار صوت اصلی قبل از کنترل ۹۵dB بود که بعد از کنترل مقدار مذکور به ۸۷/۲ dB کاهش یافت که این مقدار در مقایسه با میانگین مقدار تراز فشار صوت زمینه که مقدار آن ۸۶/۴ dB تعیین شد، یک رقم معقول و منطقی می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج مطالعه نشان داد که عامل اصلی نشت صدای کمپرسور به محوطه بیرون، درب، پنجره‌های دیواری و سقفی بودند که اجرای روش کنترلی مذکور باعث کاهش صدا تا حد قابل قبولی در این بخش شد، ولی به دلیل بالا بودن تراز صوتی زمینه، حتی پس از اجرای روش کنترلی نیز تراز فشار صوت رقمی بالاتر از حد مجاز را نشان داد. بنابراین، برای کاهش صدای زمینه تا حد مجاز و حفاظت کارگران در مقابل صدا پیشنهادهای نظیر ارزیابی و کنترل منابع دیگر تولید صدا (مثل حرکت سیال در لوله‌ها)، استفاده از گوشی‌های حفاظتی و نحوه انتخاب درست آن‌ها ارائه گردید.

**تعارض منافع:** گزارش نشده است.

**منبع حمایت‌کننده:** یکی از صنایع فلزی

شیوه استناد به این مقاله:

Shirali GhA, Karimpour S, Afshari D. Assessment and control of noise pollution in seal gas compressor of reduction unit 2 of a steel industry. Iran Occupational Health.2019 (Apr-May);16(1):90-101.

\*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 1.0 صورت گرفته است

## مقدمه

صدا و ارتعاش یکی از معضلات اساسی دنیای صنعتی امروزی بوده و خیل عظیمی از افراد در محیط کار یا در محل زندگی خود در معرض آسیب‌های ناشی از آن‌ها قرار دارند. زندگی ماشینی سبب شده است که انسان در محیطی پر استرس با منابع صدا و ارتعاش زندگی توأم با ناراحتی را تحمل نماید. از یک سو، تعداد کثیری از شاغلین به واسطه حرفه خود مجبور به مواجهه با این دو عامل فیزیکی هستند و از سوی دیگر از دید صنعتی وجود صدا و ارتعاش نشانگر عملکرد نامطلوب دستگاه‌ها و یا استهلاک آن‌ها می‌باشد. دستگاه‌های معیوب یا ناقص نیز بخش مهمی از انرژی را از طریق صدا و ارتعاش به هدر می‌دهند (۱، ۲).

در سطح دنیا، ۱۶ درصد افت شنوایی ناشی از مواجهه شغلی با صدا بوده که از این مقدار حدود یک سوم آن ناشی از مواجهه با صدای بیش از حد مجاز می‌باشد (۳). صدا همچنین باعث ایجاد عوارض شغلی، اختلال خواب، افزایش فشار خون و ضربان قلب، اضطراب و در نهایت افزایش ریسک وقوع حادثه در محیط کار می‌شود (۴). صنعت فولاد از جمله صنایعی تلقی می‌شود که توسعه اقتصادی کشور را در زمینه‌های مختلف صنعتی، سازه‌ای و ساختمانی فراهم می‌سازد. با توجه به نتایج مطالعات مختلفی که در صنایع فولاد و شرکت‌های مرتبط صورت گرفته است، اغلب موارد مواجهه با صدا ناشی از تماس با صدای بیش از حد مجاز (۸۵ dB) می‌باشد (۵). در صنعت فولاد، تجهیزات خاصی از جمله پمپ‌ها، کمپرسورها، کوره‌ها، سامانه‌های تأمین هوای فشرده یا دمنده‌های هوا، برج‌های خنک‌کننده، کانال‌ها و دریچه‌های گاز و بخار و دیگر تجهیزات مرتعش به عنوان منابع اصلی تولید صدا و ارتعاش محسوب می‌شوند (۶-۸)؛ بنابراین، چه از نظر اقتصادی و چه از نظر سلامتی لازم است که این دو عامل کنترل شوند. برای کاهش تراز صدا در محیط‌های مختلف، راهکارهای کنترلی متنوعی تاکنون پیشنهاد شده است که در هر مورد تعدادی از این راهکارها بهترین بازدهی را خواهند داشت. در زمینه‌ی ارزیابی صدای دستگاه‌های مکانیکی مورد استفاده در صنعت از جمله کمپرسورها و دمنده‌ها مطالعات زیادی صورت گرفته است. در مطالعه‌ای که توسط کرکتا (۲۰۰۹) در

کشور هندوستان برای ارزیابی صدای هواکش‌های مکانیکی، دیگ بخار و دستگاه دمنده هوا در یک کارخانه فولاد انجام شد، تراز فشار صوت در محدوده (۹۸-۸۳ dB(A) تعیین گردید (۹). همچنین در مطالعه انجام شده در یک منطقه نفتی میزان آلودگی صدای تجهیزاتی مانند کمپرسورها و هواکش‌ها در محدوده dB (A) ۹۴-۷۰ و دوز دریافتی روزانه تا ۲۷۰ درصد برآورد شده است (۱۰، ۱۱). در مطالعه‌ای دیگری که در یک پالایشگاه نفت به منظور ارزیابی صدای پمپ‌ها و کمپرسورها صورت گرفت، مشخص شد که با اجرای روش‌های کنترلی، تراز فشار صوت تا حدود ۲۰ دسی‌بل کاهش یافت (۱۲، ۱۳). با توجه به این‌که در بررسی‌ها و اندازه‌گیری‌های مقدماتی در واحد مربوطه میانگین تراز فشار صوت در اطراف کمپرسور بیش از حد مجاز (۹۵) برآورد گردید، ارائه طرح‌های کنترل صدا ضروری به نظر رسید و هدف از مطالعه حاضر نیز ارزیابی و کنترل صدا در کمپرسورخانه واحد احیاء ۲ یکی از صنایع فلزی خوزستان بود.

## روش کار

پژوهش کاربردی حاضر در یکی از صنایع فلزی با هدف ارزیابی و کنترل صدا در کمپرسورخانه واحد احیاء ۲ صورت گرفته است. مراحل اجرای این مطالعه به شرح زیر می‌باشد:

۱- ارزیابی صدا در واحد احیاء (کمپرسور مدول ۲): ارزیابی صدا در داخل اتاقک کمپرسور و محوطه اطراف اتاقک (در محل تردد پرسنل) به روش شبکه‌بندی منظم (شکل ۱)، مطابق با استانداردهای ISO-9612, ISO-1996.1, ISO-1996.2, ISO-1996.3 (۱۴) و با استفاده از دستگاه ترازسنج B&K مدل ۲۲۳۱ (۱۷) صورت گرفت. دستگاه قبل و بعد از اندازه‌گیری توسط کالیبراتور B&K مدل ۴۲۳۰ برای صحت اندازه‌گیری‌ها کالیبره شد. اندازه‌گیری صدا در دو حالت کمپرسور روشن و خاموش صورت گرفت. اندازه‌گیری صدا در زمان خاموش بودن کمپرسور به منظور تعیین تراز فشار صدای زمینه انجام شد. برای افزایش دقت محاسبات و تعیین فرکانس بحرانی که نقش مهمی در کنترل صدا دارد، در محل‌هایی که صدا در وضعیت خطرناکی بود (حداقل ۱۰ دسی‌بل بالاتر از حد مجاز)، آنالیز فرکانس

با استفاده از دیواری چندلایه با فضای هوایی یا جاذب، کنترل صدا در این ناحیه با کارایی بهتری صورت گرفته است. همچنین برای کاهش انتقال صدا از درزها و شکاف‌های اطراف لوله‌ها نیز پیشنهاداتی ارائه گردید؛ زیرا وجود روزنه‌های بسیار کوچک در روی دیوارها و نواحی دیگر باعث کاهش شدید کارایی روش‌های کنترلی خواهد شد. برای کنترل صدای ناشی از حرکت سیال درون لوله‌ی خروجی گاز که به دلایل مختلفی نظیر شکسته شدن شیم‌های داخل لوله‌ها، خرابی شیرهای یک طرفه و ایجاد یک حالت اروفیس در ناحیه مذکور ایجاد شده و به بیرون منتقل می‌گردد نیز راهکارهای مؤثری پیشنهاد گردید.

۳- ارزیابی صدا در واحد احیاء (کمپرسور مدول ۲) بعد از اجرای روش کنترل: پس از اجرای روش کنترل و نصب تجهیزات ساخته شده بر روی اتاقک کمپرسور، بار دیگر با دستگاه صداسنج B&K مبادرت به اندازه‌گیری تراز فشار صوت در محوطه‌ی اطراف کمپرسور در ایستگاه‌های قبلی گردید و نتایج آن با نتایج قبلی، مقایسه و میزان کاهش صدای آن محاسبه شد.

### یافته‌ها

به‌طور کلی نتایج ارزیابی‌های انجام شده قبل از اقدامات کنترلی حاکی از مواجهه غیرمجاز کارگران با صدای شغلی بوده است. موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری در حالتی که کمپرسور خاموش بوده و همچنین در حالتی که کمپرسور روشن بود در شکل‌های ۱ و ۲ و همچنین نتایج اندازه‌گیری تراز فشار صوت قبل از کنترل و بعد از کنترل در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. ایستگاه‌های ۱ تا ۶ داخل اتاقک کمپرسور و ایستگاه‌های ۷ تا ۲۷ خارج از اتاقک و محوطه بیرون قرار دارند.

در ۶ ایستگاه درون اتاقک کمپرسور و ۲۱ ایستگاه اطراف اتاقک در حالتی که کمپرسور خاموش بود و همچنین ۸ ایستگاه درون اتاقک و ۳۲ ایستگاه اطراف آن در حالتی که کمپرسور روشن بود، آنالیز فرکانس صورت گرفت. لازم به ذکر است آنالیز در ایستگاه‌هایی که تراز فشار صوت حداقل ۱۰ دسی‌بل از حد مجاز فشار صوت (۸۵ دسی‌بل) بالاتر بود، انجام شد. نتایج آنالیز فرکانس در جدول ۳ ارائه گردید.

صوت در مراکز اکتاو باند نیز انجام گرفت.  
۲- ارائه‌ی طرح‌های کنترلی صدا در واحد احیاء (کمپرسور مدول ۲): در بخش دوم این مطالعه بر اساس ارزیابی‌های انجام شده، راهکارهای کنترلی مناسب ارائه و اجرا گردید. با توجه به این‌که بر روی دیوار اتاقک کمپرسور مورد مطالعه دو فن جهت تهویه هوا نصب شده بود که باعث تولید صدا و انتقال آن از داخل اتاقک کمپرسور به بیرون می‌شدند، به منظور کنترل صدای آن‌ها یک صدا خفه کن (Silencer) جذبی طراحی و در ورودی و خروجی فن نصب شد.

در خصوص کنترل صدا در نواحی در و دریچه‌های سقفی مبنای روش کنترلی بر این نکته پی‌ریزی شد که هرچه یک حفاظ یا مانع صوتی سنگین‌تر، ضخیم‌تر و متراکم‌تر باشد، به شکل مؤثرتری در برابر انتقال صوت از طریق هوا عمل می‌کند (۱۸). درحالی‌که هر سطحی مقداری از صوتی را که به آن برخورد می‌کند، باز می‌تاباند. بنابراین، میزان تأثیر و کارایی یک مانع (در ضد صوت، مافلو و ...) به وزن، سختی، نحوه‌ی نصب، میرایی و استفاده از مواد جاذب بستگی دارد. بنابراین، با توجه به اثبات نقش نشستی و نقص درها و پنجره‌ها در کاهش افت انتقال صدای دیوارها، تعویض و نصب در عایق از نوع فولادی پر شده از پشم و شیشه پیشنهاد گردید. برای محاسبه افت انتقال صدا (نسبت انرژی وارده به سطح مانع، به انرژی عبوری و یا تابشی از سطح مخالف مانع را افت انتقال مانع صوتی می‌نامند) که خصوصیت ذاتی یک مانع است و کاملاً از موقعیت و مکان یک مانع جدا می‌باشد. با در نظر گرفتن چندین فرض و ساده کردن برخی متغیرها از رابطه افت انتقال (TL)<sup>۱</sup> که به صورت زیر تعیین شده است استفاده شد:

$$TL = 20 \log(fw) - 47.5 \text{ (dB)}$$

که در این رابطه TL شاخص افت انتقال برحسب دسی‌بل، f فرکانس مرکزی به هرتز و w چگالی سطحی مانع برحسب کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد.

به‌طور کلی چون با افزایش میرایی (مثلاً در لاستیک و سرب)، فرکانس تشدید نیز افزایش می‌یابد و با افزایش میرایی، کارایی یک مانع صوتی نیز افزایش خواهد یافت. تحت چنین شرایطی، کارایی مانع (در و یا دریچه‌های سقفی) تنها به وسیله جرم آن تعیین می‌شود؛ بنابراین،

1. Transmission Loss

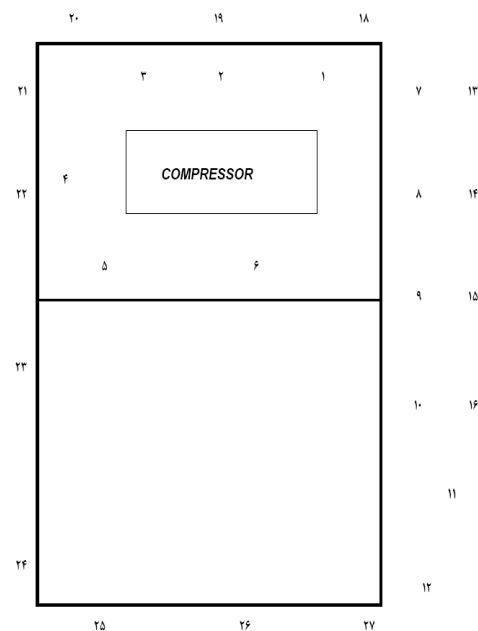
**جدول ۱- نتایج اندازه‌گیری صدا (کمپرسور خاموش)**

| ایستگاه | SPLA(dB) | ایستگاه | SPLA(dB) |
|---------|----------|---------|----------|
| ۱       | ۸۰       | ۱۵      | ۸۶       |
| ۲       | ۸۰       | ۱۶      | ۸۵/۴     |
| ۳       | ۷۸       | ۱۷      | ۸۷/۳     |
| ۴       | ۷۸       | ۱۸      | ۸۳       |
| ۵       | ۷۸       | ۱۹      | ۸۳       |
| ۶       | ۷۷       | ۲۰      | ۸۲       |
| ۷       | ۸۳/۴     | ۲۱      | ۸۵       |
| ۸       | ۸۸       | ۲۲      | ۸۶       |
| ۹       | ۸۶       | ۲۳      | ۸۷       |
| ۱۰      | ۸۷       | ۲۴      | ۸۹       |
| ۱۱      | ۸۶/۹     | ۲۵      | ۹۰/۶     |
| ۱۲      | ۸۸/۷     | ۲۶      | ۹۳/۲     |
| ۱۳      | ۸۴/۷     | ۲۷      | ۸۹/۷     |
| ۱۴      | ۸۷       |         |          |

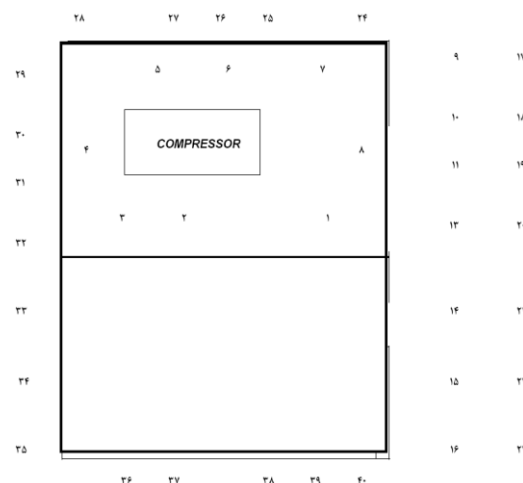
مکالمه هستند.

برای کنترل صدا در ناحیه فن‌ها با توجه به ارزیابی صدا و فرکانس غالب مشخص شده، مافله‌های نوع جذبی مدور با یک هسته مرکزی انتخاب گردید (شکل ۴). جاذب مورد استفاده نیز پشم شیشه با توری نگه‌دارنده بود. به دلیل این‌که مقدار زیادی از صدای کمپرسور از طریق فن‌ها به بیرون منتقل می‌شد و با توجه به موقعیت فن‌ها و نقش کلیدی آن‌ها در خنک کردن کمپرسور، انتخاب سایلنسر تنها گزینه ممکن بود. همچنین به دلیل این‌که صدای تولید شده توسط فن‌ها و کمپرسور، از طریق درها، دریچه‌های سقفی و روزنه‌های کنار لوله‌ها و ... به بیرون منتشر می‌شد؛ بدین منظور و با توجه به تراز فشار صوت، آنالیز فرکانس، دما و رطوبت محیطی و وضعیت فیزیکی درها و پنجره‌های سقفی، دری به ابعاد  $۲/۱۳ \times ۳/۹۰$  متر با ورق‌های جنس فولاد به ضخامت  $۱/۵$  میلی‌متر و جاذب  $۴۰$  میلی‌متری پشم شیشه (شکل ۵) و یک پنجره سقفی نیز با همین مشخصات ولی ابعاد  $۲/۴ \times ۴/۳$  متر و قطر مش  $۷$  میلی‌متر طراحی و مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۶).

پس از نصب تجهیزات اکوستیکی بر روی اتاقک کمپرسور برای ارزیابی کارایی (میزان کاهش صدای) تجهیزات مذکور اقدام به اندازه‌گیری تراز فشار صوت در ایستگاه‌هایی که در مراحل قبلی این پروژه مشخص شدند، گردید. سپس نتایج به‌دست‌آمده با تراز فشار



شکل ۱- موقعیت نقاط اندازه‌گیری پیرامون کمپرسور (در حالت خاموش)



شکل ۲- موقعیت نقاط اندازه‌گیری پیرامون کمپرسور (در حالت روشن)

با توجه به این‌که برای انجام محاسبات کنترلی، تعیین فرکانس غالب (به فرکانسی گفته می‌شود که بیشترین تراز فشار صوت را داشته باشد) از اهمیت خاصی برخوردار است، بنابراین، برای کنترل صدا باید این فرکانس را مبنا قرار داده و تمام محاسبات را بر پایه آن پی‌ریزی نمود. شکل ۳ بیان روشنی از فرکانس غالب ارائه می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص شده فرکانس غالب در داخل اتاقک کمپرسور  $۲۵۰$  هرتز می‌باشد، ولی در خارج از اتاقک، این فرکانس در ناحیه  $۲۰۰۰$  هرتز واقع شده است. این فرکانس‌ها، فرکانس‌های مهمی برای تعیین شاخص تداخل با

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری تراز فشار صدا (کمپرسور روشن)

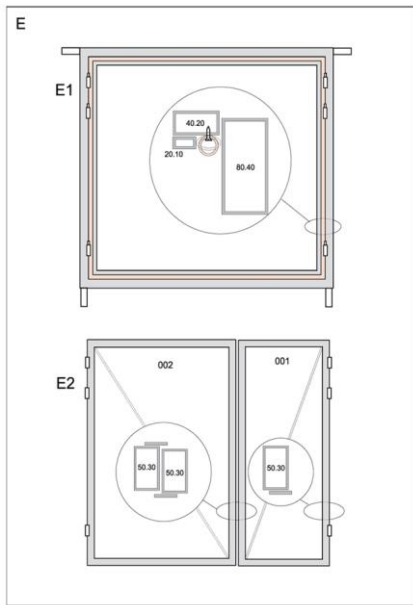
| ایستگاه | SPLA(dB) | Peak (dB) | LeqC(30s) | ایستگاه | SPLA(dB) | Peak (dB) | LeqC(30s) |
|---------|----------|-----------|-----------|---------|----------|-----------|-----------|
| ۱       | ۱۰۹/۳    | ۱۱۲/۸     | ۱۰۷/۷     | ۲۶      | ۱۰۰      | ۱۱۲/۵     | ۹۹/۶      |
| ۲       | ۱۰۹/۲    | ۱۱۷/۲     | ۱۰۷/۳     | ۲۷      | ۱۰۲/۹    | ۱۱۲       | ۱۰۱/۵     |
| ۳       | ۱۰۲/۴    | ۱۱۴/۲     | ۱۰۲/۱     | ۲۸      | ۹۴/۸     | ۱۰۸/۵     | ۹۵/۷      |
| ۴       | ۱۰۵/۱    | ۱۱۷/۲     | ۱۰۶/۱     | ۲۹      | ۹۸/۲     | ۱۱۰       | ۹۷/۸      |
| ۵       | ۱۰۶/۲    | ۱۱۶/۶     | ۱۰۴/۶     | ۳۰      | ۹۴/۶     | ۱۰۷       | ۹۵/۶      |
| ۶       | ۱۰۳      | ۱۱۴/۶     | ۱۰۱/۸     | ۳۱      | ۹۲/۵     | ۱۰۷       | ۹۵/۶      |
| ۷       | ۱۰۴/۹    | ۱۱۵       | ۱۰۴/۷     | ۳۲      | ۹۰/۴     | ۱۰۷/۱     | ۹۵/۸      |
| ۸       | ۱۰۹/۵    | ۱۱۶/۵     | ۱۰۶/۳     | ۳۳      | ۹۰/۵     | ۱۰۸/۶     | ۹۷/۱      |
| ۹       | ۹۸/۴     | ۱۱۱/۸     | ۹۹/۷      | ۳۴      | ۹۰/۹     | ۱۰۷/۲     | ۹۶/۳      |
| ۱۰      | ۹۶/۳     | ۱۱۱/۱     | ۹۷/۹      | ۳۵      | ۹۰/۲     | ۱۰۹/۵     | ۹۷/۸      |
| ۱۱      | ۹۶/۳     | ۱۱۱/۱     | ۹۷/۹      | ۳۶      | ۹۲/۲     | ۱۱۵/۵     | ۱۰۰/۹     |
| ۱۲      | ۹۵/۳     | ۱۱۰/۴     | ۹۹        | ۳۷      | ۹۳       | ۱۱۴/۵     | ۱۰۲/۷     |
| ۱۳      | ۹۱/۵     | ۱۱۱       | ۹۸/۲      | ۳۸      | ۹۲/۵     | ۱۱۴/۲     | ۱۰۱/۸     |
| ۱۴      | ۹۰/۳     | ۱۱۰/۵     | ۹۹/۲      | ۳۹      | ۹۰/۶     | ۱۱۴/۲     | ۱۰۱/۲     |
| ۱۵      | ۹۱/۱     | ۱۱۱/۴     | ۱۰۰/۱     | ۴۰      | ۸۹/۹     | ۱۱۰/۳     | ۹۸/۸      |
| ۱۶      | ۹۰/۲     | ۱۱۱/۹     | ۹۹/۵      |         |          |           |           |
| ۱۷      | ۸۹/۷     | ۱۱۰       | ۹۸/۹      |         |          |           |           |
| ۱۸      | ۹۱/۲     | ۱۱۱       | ۹۸/۳      |         |          |           |           |
| ۱۹      | ۹۰/۵     | ۱۱۰       | ۹۸/۴      |         |          |           |           |
| ۲۰      | ۹۲/۶     | ۱۱۰/۲     | ۹۸/۳      |         |          |           |           |
| ۲۱      | ۹۴       | ۱۱۰       | ۹۸/۷      |         |          |           |           |
| ۲۲      | ۹۴       | ۱۰۹/۱     | ۹۷/۱      |         |          |           |           |
| ۲۳      | ۹۶       | ۱۱۰/۳     | ۹۸/۴      |         |          |           |           |
| ۲۴      | ۱۰۶/۸    | ۱۱۳/۲     | ۱۰۲/۹     |         |          |           |           |
| ۲۵      | ۱۱۰      | ۱۱۶       | ۱۰۵/۶     |         |          |           |           |

جدول ۳- آنالیز تراز فشار صدا در فرکانس های یک اکتاو باند (کمپرسور روشن)

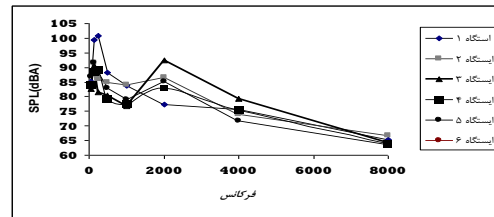
| فرکانس | ایستگاه های اندازه گیری |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | ۱                       | ۲    | ۴    | ۶    | ۸    | ۹    | ۱۰   | ۱۳   | ۱۹   | ۲۶   | ۳۰   | ۳۳   |
| ۶۳     | ۸۵/۲                    | ۸۵   | ۸۴/۲ | ۸۵/۵ | ۸۲/۶ | ۸۴   | ۸۶/۷ | ۸۳/۵ | ۸۷   | ۸۹/۶ | ۸۶/۲ | ۸۲/۸ |
| ۱۲۵    | ۹۹/۴                    | ۹۲   | ۹۱/۶ | ۹۴/۵ | ۹۰/۵ | ۸۸/۶ | ۹۱/۵ | ۸۷/۶ | ۸۴/۲ | ۸۶/۸ | ۷۶/۷ | ۸۴   |
| ۲۵۰    | ۱۰۰/۷                   | ۸۷/۱ | ۸۶   | ۸۹/۲ | ۸۱/۶ | ۸۹/۲ | ۸۸/۳ | ۷۹/۴ | ۸۷/۴ | ۸۳/۲ | ۸۴/۵ | ۸۳/۶ |
| ۵۰۰    | ۸۸/۲                    | ۸۳/۱ | ۸۴/۹ | ۸۰/۹ | ۸۰/۵ | ۷۹/۲ | ۸۳   | ۷۵/۴ | ۸۸/۱ | ۸۷   | ۸۴/۴ | ۷۷   |
| ۱۰۰۰   | ۸۳/۷                    | ۷۹   | ۸۴/۱ | ۸۲/۵ | ۷۶/۸ | ۷۷/۷ | ۷۹   | ۸۰   | ۸۵/۹ | ۹۶/۳ | ۹۵   | ۷۹/۳ |
| ۲۰۰۰   | ۷۷/۲                    | ۷۵/۹ | ۸۶/۵ | ۹۳/۴ | ۹۲/۵ | ۸۳   | ۸۵/۱ | ۹۱/۹ | ۹۶   | ۹۶   | ۹۸/۳ | ۸۵/۹ |
| ۴۰۰۰   | ۷۵/۶                    | ۶۸/۵ | ۷۳/۹ | ۷۶/۶ | ۷۹/۳ | ۷۵/۴ | ۷۱/۶ | ۸۱/۹ | ۸۲/۴ | ۸۴/۲ | ۸۷   | ۷۴/۸ |
| ۸۰۰۰   | ۶۵/۲                    | ۵۸/۳ | ۶۶/۷ | ۶۹   | ۶۴/۲ | ۶۳/۹ | ۶۳/۵ | ۶۷/۳ | ۷۰/۱ | ۷۱/۲ | ۷۷/۲ | ۵۹/۶ |

حالتی که کمپرسور خاموش بود نیز تراز فشار صدا در اکثر نقاط بالاتر و یا مساوی مقدار حد مجاز بود؛ به عبارت دیگر، در اکثر ایستگاه‌های اندازه‌گیری مقدار صدای زمینه از حد مجاز بالاتر بود. همان‌طور که در شکل ۸ نیز آورده شده است به‌طور دقیق مشخص شده که تراز فشار صوت اصلی در چند فرکانس

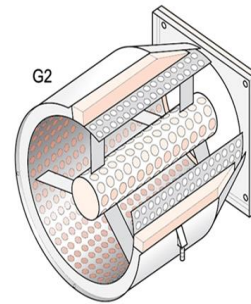
صوت اصلی قبل و بعد از اجرای روش‌های کنترلی، تراز فشار صوت زمینه مقایسه گردیدند. همچنین مقایسه‌ای بین نتایج اندازه‌گیری مذکور با حد مجاز صدا (dBA ۸۵) برای مشخص شدن میزان اختلاف، صورت گرفت که نتایج آن در شکل ۷ ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است در



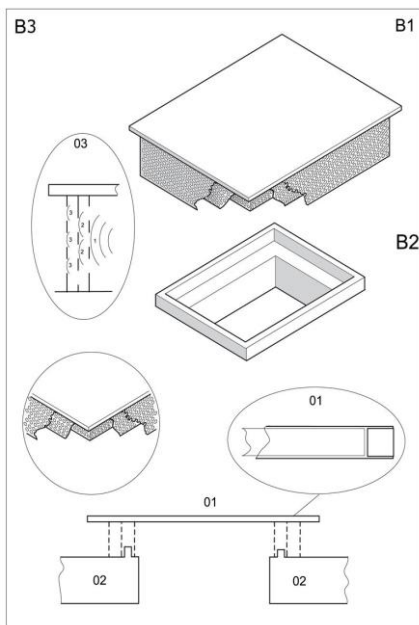
شکل ۵- پرسپکتیو روبرو از در طراحی شده



شکل ۳- مقایسه تراز فشار صوت در فرکانس های مختلف و تعیین فرکانس غالب



شکل ۴- مافلر طراحی شده برای کنترل صدای فن‌ها



شکل ۶- طرح پیشنهادی برای کنترل صدا در ناحیه دریچه‌های سقفی

حداقل و حداکثر میزان تراز صوت در این واحد وجود داشت. صدا در واحد مذکور از نوسانات بسیار زیادی برخوردار بود به طوری که در یک دوره زمانی یک ماهه در شیفت‌های صبح، ظهر و عصر مبادرت به اندازه‌گیری صدا و همچنین آنالیز آن گردید و سپس با محاسبه انحراف معیار اندازه‌گیری‌های به عمل آمده مشاهده شد که اطلاعات مذکور دارای انحراف معیار بالایی بودند؛

(۲۰۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۶۳) نیز از تراز فشار صوت زمینه بالاتر می‌باشد و این، بدین معنی است که فرکانس صوت زمینه نیز در حد بالایی قرار داشت.

برای درک بهتر، مقایسه بین نتایج صدای اصلی قبل و بعد از کنترل و همچنین صدای زمینه با استفاده از بارچارت صورت گرفته است (شکل ۹). همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده شده است، میانگین تراز فشار صوت بعد از کنترل، تقریباً تا حد صدای زمینه کاهش یافته است و اندک اختلاف آن نیز به دلیل صدای دستگاه‌های مختلف در اطراف کمپرسور، دما، شرایط اندازه‌گیری و... که غیر قابل اجتناب بودند، می‌باشد. بنابراین، رسیدن به نتایج یکسان در اندازه‌گیری‌های مختلف در زمان‌های گوناگون غیرممکن است.

### بحث و نتیجه‌گیری

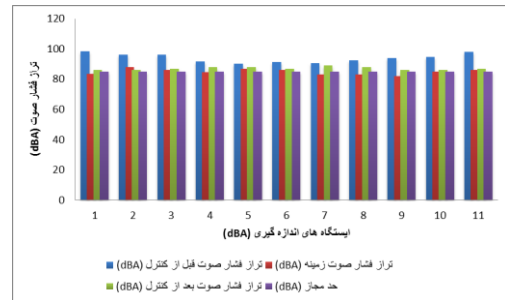
نتایج اندازه‌گیری تراز فشار صوت در اطراف و درون اتاقک کمپرسور نشان داد که تراز فشار صوت منبع بالاتر از حدود مجاز تعیین شده است و کارگران شاغل در این واحد در معرض ریسک ابتلا به افت شنوایی ناشی از مواجهه با صدا و دیگر اثرات فیزیولوژیک قرار دارند. حداقل و حداکثر تراز ثبت شده در مجموع کل ایستگاه‌های اندازه‌گیری به ترتیب ۸۹/۷ و ۱۱۰ دسی‌بل برآورد شد؛ یعنی در حدود ۲۰/۳ دسی‌بل اختلاف بین



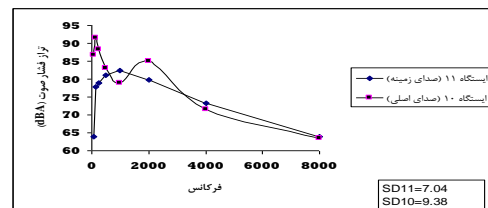
برآورد گردید که برپایه برآوردهای انجام شده با طراحی اتاقک، تراز صدا در فرکانس غالب در حدود ۲۰ دسی‌بل کاهش را نشان داده است (۱۲، ۱۳). در مطالعه نصیری و همکاران در سال ۲۰۰۷ که در یک منطقه نفتی به منظور تعیین اثر محصورسازی انواع مختلف منابع مولد صدا از جمله کمپرسورها و ژنراتورها انجام گرفت، مشخص گردید که با طراحی انواع مختلف از اتاقک‌های محصورکننده، تراز صوتی آن‌ها در محدوده ۳۰-۲۰ دسی‌بل کاهش می‌یابد (۱۱).

این نتایج بیانگر این است که به منظور کاهش مواجهه با صدا و اثرات زیان‌آور آن ارائه راهکارهای کنترلی ضروری است که بدین منظور در پژوهش حاضر، با توجه به داده‌های به‌دست‌آمده و محدودیت‌های مربوط به موقعیت فیزیکی اتاقک کمپرسور، یک صدا خفه کن (Silencer) جذبی در ورودی و خروجی فن‌های تهویه، نصب شد و یک در به ابعاد  $۲/۱۳ \times ۳/۹۰$  متر با ورقی از جنس فولاد به ضخامت  $۱/۵$  میلی‌متر و جاذب  $۴۰$  میلی‌متری پشم شیشه به همراه یک پنجره سقفی با همین مشخصات ولی ابعاد  $۲/۴ \times ۴/۳$  متر و قطر مش  $۷$  میلی‌متر به منظور کنترل صدا در این نواحی طراحی و مورد استفاده قرار گرفت. برای افزایش کارایی حفاظ‌های مذکور، تمام روزنه‌های کنار لوله‌ها، درها و ... که باعث انتقال صوت به بیرون می‌شوند با مصالح مناسب نظیر سیمان کاملاً مسدود گردید تا هیچ‌گونه نشتی به بیرون نداشته باشند.

نتایج به‌دست‌آمده قبل و بعد از اجرای این مطالعه نشان از یک کاهش قابل قبول دارد. به طوری که میانگین تراز فشار صوت اصلی قبل از کنترل  $۹۵$  dB بود که بعد از کنترل مقدار مذکور به  $۸۷/۲$  dB کاهش یافت که این مقدار در مقایسه با میانگین مقدار تراز فشار صوت زمینه که مقدار آن  $۸۶/۴$  dB تعیین شد، یک رقم معقول و منطقی می‌باشد؛ بنابراین، با کنترل صدای اصلی نمی‌توان انتظار داشت که صدا در این واحد تا حد مجاز کاهش خواهد یافت. نکته جالب در اینجا این بود که با توجه به شکل ۸، در بعضی از فرکانس‌ها تراز فشار صوت زمینه حتی بالاتر از تراز فشار صوت اصلی بوده است. از این رو، اندک اختلاف بین مقدار میانگین تراز فشار صوت زمینه و میانگین تراز فشار صوت کنترل شده ( $۰/۸$  dB) به عواملی مثل دما،

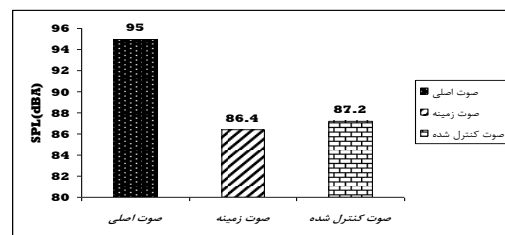


شکل ۷- مقایسه تراز فشار صوت اصلی، زمینه و کنترل شده



شکل ۸- مقایسه آنالیز تراز فشار صوت زمینه و اصلی در دو ایستگاه

۱۱ و ۱۰



شکل ۹- مقایسه میانگین تراز فشار صوت اصلی، زمینه و کنترل شده

یعنی، صدا در این واحد دارای تغییرات زیادی بوده است.

در مطالعه‌ای که گلمحمدی و همکاران در سال ۲۰۱۱ در یک پالایشگاه نفت در جهت کنترل صدا و ارزیابی پارامترهای صدا و مشخصات فنی کمپرسورها انجام داده‌اند، بر پایه نتایج تحلیلی و میدانی، مدل محصورسازی با مشخصات ویژه و نصب لایه‌های جاذب در سطوح به عنوان بهترین راهکار کنترلی پیش‌بینی شد. نتایج حاصل از نصب جاذب، موجب کاهش ۱۰ دسی‌بل تراز فشار صدا در فرکانس غالب گردید (۱۳، ۱۹). در مطالعه گلمحمدی و همکاران در سال ۲۰۱۰ در یک پالایشگاه نفت، به منظور کنترل صدای تجهیزاتی از جمله پمپ‌ها و کمپرسورها به دلیل تراز فشار صوت بالای منابع، روش اتاقک‌سازی پیشنهاد شد؛ زیرا سنجش تراز صدای معادل مواجهه و در نتیجه میزان دوز صدای دریافتی در کارگران بر طبق استاندارد مجاز ایران به ترتیب  $۸۹/۵$  دسی‌بل و ۲۸۲ درصد

۹۵ دسی‌بل به ۸۷/۲ سی بل کاهش دهد که این مقدار به تراز فشار صوت زمینه (۸۶/۴) بسیار نزدیک می‌باشد؛ بنابراین، اجرای روش کنترلی اجرا شده مؤثر واقع شد؛ بنابراین برای کاهش صدا تا زیر حد مجاز باید منابع دیگر تولید صدا شناسایی و اقدامات کنترلی لازم بر روی آن‌ها اعمال گردد.

#### محدودیت‌های پژوهش

عدم هماهنگی بین واحدهای مختلف شرکت در خصوص اهمیت اجرای روش‌های کنترل صدا که باعث ایجاد مشکلاتی در جهت اندازه‌گیری‌ها و اجرای روش شد. همچنین عدم وجود یا دسترسی به شرکت‌هایی که به‌طور اختصاصی به ساخت یا توزیع مواد و تجهیزات آکوستیک می‌پردازند.

#### تقدیر و تشکر

این پروژه کار مشترکی بین دفتر ارتباط با صنعت دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز و شرکت فلزی مورد مطالعه بود که با حمایت مالی شرکت فلزی مذکور انجام شد (شماره قرار داد ۸۶۱۰۳). بدین‌وسیله نویسندگان از مدیریت و واحد تحقیق و پژوهش این شرکت و معاونت پژوهشی دانشگاه کمال تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورند. همچنین نویسنده از زحمات جناب آقای دکتر علیمحمدی، دکتر مسعود رفیعی که در بخشی از مطالعه (طراحی سیستم) زحمات زیادی را متقبل شده‌اند و تمام اعضای فنی تیم مطالعاتی کمال تقدیر و تشکر را به جا می‌آورد.

#### References

1. Havas M. When theory and observation collide: Can non-ionizing radiation cause cancer? Environ Pollut. 2017;221:501-505.
2. International Agency for Research on Cancer (IARC). Non-ionizing Radiation: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon: IARC Press; 2002.
3. Hardell L, Sage C. Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards. Biomed Pharmacother. 2008;62(2):104-109.

تغییرات صدا در موقعیت‌های مختلف، همچنین منابع تولید کننده صدا (خاموش یا روشن بودن منابع دیگر)، صدای ناشی از حرکت سیالات در لوله‌ها و ... بستگی دارد. مقایسه آنالیز فرکانس در زمان‌ها و حالت‌های مختلف نیز تغییرات نسبتاً زیادی را نشان داد که تأییدکننده اندک اختلاف ذکر شده می‌باشد. با توجه به این‌که تراز فشار صوت زمینه بالاتر از مقدار مجاز می‌باشد و این مسئله به صدای تولید شده توسط منابع دیگر مرتبط است، توصیه می‌شود که یک ارزیابی دقیق برای شناسایی منابع پر صدا و در صورت امکان کنترل صدای آن‌ها به عمل آید. همچنین با توجه به نوسانات گسترده صدا در واحد و بالا بودن تراز فشار صوت زمینه، پیشنهاد می‌گردد که کارگران حتماً از گوشی‌های حفاظتی مناسب در هنگام کار در واحد مذکور استفاده نمایند. به علت این‌که بخشی از صدای تولید شده در این واحد مربوط به حرکت سیال در لوله‌ها می‌باشد و دلیل آن نیز می‌تواند خرابی ولوهای یک طرفه (در اثر عبور سیال در اطراف دریچه، یک اروفیس ایجاد شده و در نتیجه، صدای زوزه‌ای تولید خواهد شد)، ولوها (شکستن شیم‌های داخلی آن)، فلنج‌ها و ... باشد، لذا توصیه می‌شود که یک ارزیابی دقیق از موارد ذکر شده به عمل آید و همچنین بحث تعمیر و نگهداری موارد فوق به دقت و بطور منظم انجام شود. همچنین با استفاده از عایق پشم و شیشه اقدام به محصور نمودن لوله‌های حاوی سیال، به خصوص خروجی کمپرسور گردید که این اقدام منجر به کاهش صدای ناشی از حرکت سیال در درون لوله‌ها گردید.

به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان تراز فشار صوت در اتاقک کمپرسور و محوطه‌ی پیرامون آن در زمانی که کمپرسور روشن بود از حد مجاز بسیار بالاتر ارزیابی شد. آنالیز فرکانس نیز تأیید کرد که تراز فشار صوت در فرکانس‌های حساس بالاتر از مقدار مجاز بود. برای این منظور با شناسایی محل‌های نشت صدا به بیرون اتاقک کمپرسور، اقدام به کنترل صدا گردید. برای کنترل صدا در ناحیه‌ی فن‌های دیواری از مافله‌های جذبی، پنجره‌های سقفی از پوشش‌های مخصوص با مش خاص و یک در آکوستیک در ناحیه ورودی استفاده شد. نتایج نشان داد که اجرای روش‌های کنترلی توانست میانگین صدای اصلی را از

4. Feychting M, Ahlbom A, Kheifets L. EMF and health. *Annu Rev Publ Health*. 2005;26:165-189.

6. Koeman T, van den Brandt PA, Slottje P, Schouten LJ, Goldbohm A, Kromhout, et al. Occupational extremely low-frequency magnetic field exposure and selected cancer outcomes in a prospective Dutch cohort. *Cancer Causes Control*. 2014; 25(2): 203–214.

7. Pall ML. Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression. *J Chem Neuroanat*. 2016;75(Part B): 43–51.

8. Barsam T, Monazzam MR, Haghdoost AK, Ghotbi MR, Dehghan SF. Effect of extremely low frequency electromagnetic field exposure on sleep quality in high voltage substations. *J Environ Health Sci Eng*. 2012;9:15.

9. Lewis RC, Hauser R, Maynard AD, Neitzel RL, Wang L, Kavet R, et al. Exposure to Power-Frequency Magnetic Fields and the Risk of Infertility and Adverse Pregnancy Outcomes: Update on the Human Evidence and Recommendations for Future Study Designs. *J Toxicol Environ H*. 2016;19(1): 29-45.

10. R Hajizadeh, A Koohpaei, SM Hasan-Razavi-Asl, MH Beheshti, A Mehri, Dehghan SF, et al. Exposure assessment of arc welders to extremely low frequency magnetic field: its relationship with the secretion of paratormone hormone and mood states. *JHSW*. 2016;6(3):103-114. [In Persian]

11. Chauhan A, Anand T, Kishore J, Danielsen TE, and Ingle GK. Occupational hazard exposure and general health profile of welders in rural Delhi. *Indian J Occup Environ Med*. 2014;18(1):21–26.

12. Erdely A, Antonini JM, Salmen-Muniz R, Liston A, Hulderman T, Simeonova PP, et al. Type I interferon and pattern recognition receptor signaling following particulate matter inhalation. *Part Fibre Toxicol*. 2012;9(1).

13. Hossain MS, Amin MR. Power frequency magnetic field exposure assessment in general and occupational settings: a case study. *IJRIME*. 2011; 1(3):54-67.

14. Mair P, editor. Assessment of EMF (electromagnetic fields) and biological effects in arc welding applications. International Institute of Welding, Commission XII, Intermediate Meeting, Fronius International. February 2005; IIW Doc. XII-1848-05.

15. Abou-Donia MB. *Mammalian Toxicology*. West Sussex: John Wiley & Sons ltd; 2015.

16. Gulseren S, Gulseren L, Hekimsoy Z, Cetinay P, Ozen C, Tokatlioglu B. Depression, Anxiety, Health-Related Quality of Life, and Disability in Patients with Overt and Subclinical Thyroid Dysfunction. *Arch Med Res*. 2006;37(1): 1133–139.

17. Ghasemkhani M, Monazam MR, Abbasinia

M, Mahmoodkhani S, Aghaee H, Asghari M, et al. Assessment of fatigue and its relationship with Insomnia Severity Index in shift workers, fixed and rotating, Tehran rolling mills and steel production company. *Iran Occup Health*. 2013;10(2):79-86. [Persian]

18. Baloch Z, Carayon P, Conte-Devolx B, Demers LM, Feldt-Rasmussen U, et al. Guidelines Committee, N.A.o.C.B., Laboratory medicine practice guidelines. Laboratory support for the diagnosis and monitoring of thyroid disease. *Thyroid*. 2003;13(1):3–126.

19. Padyabteb. Thyroid ELISA kits: T4 and T3 ELISA Kit. 2018. available from: <http://padyabteb.com/products>. Access date:2018 May 19.

20. Padyabteb. Thyroid ELISA kits: TSH ELISA Kit. 2018. available from: <http://padyabteb.com/products>. Accessdate:2018 May 19.

21. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Manual for measuring occupational electric and magnetic field exposures. Cincinnati: NIOSH. DHHS Publication No. 98-154.1998.

22. Ferguson SA, Smith BP, Browne M, Rockloff MJ. Fatigue in Emergency Services Operations: Assessment of the Optimal Objective and Subjective Measures Using a Simulated Wildfire Deployment. *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(2):171.

23. Kazemi Z, Mazloumi A, Nasl-seraji J, Hosseini M, Barideh S. Investigating workload and its relationship with fatigue among train drivers in Keshesh section of Iranian Railway Company. *JHSW*. 2012, 2(3):1-8

24. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs and BEIs: Guide to Occupational Exposure Values. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2010.

25. Shahna GF, Dehganpoor T, Karami Z. Assessment of Extremely Low Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields in Hamedan High Electrical Power Stations and their Effects on Worker. *IJMP*. 2011;8(3):61-71. [Persian]

26. Skotte JH, Hjøllund HI. Exposure of welders and other metal workers to ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 1997;18(7):470-7.

27. Roknian M, Nassiri P, Zeraati H. Evaluation of Extremely Low Frequency (ELF) Electromagnetic fields and their probable relationship with hematological changes among operators in heavy metal industry. *IJMP*. 2009;6(3): 47-57. [Persian]

28. Shaabani M, Ghoreish SA. Assessment of thyroid function in patients with major depression and panic disorder in Zanjan (2006). *J Kermanshah*

Univ Med Sci. 2009;12(4):435-441. [Persian]

29. Van Wijngaarden E, Savitz DA, Kleckner RC, Cai J, Loomis D. Exposure to electromagnetic fields and suicide among electric utility workers: a nested case-control study. *West J Med.* 2000;173(2):94-100.

30. Beale I, Pearce N, Conroy D, Henning M, Murrell K. Psychological effects of chronic exposure to 50 Hz magnetic fields in humans living near extra-high-voltage transmission lines. *Bioelectromagnetics.* 1997;18(8):584-94.

31. Zamaneh Z, Khajenasir F, Gharehpoor S, Dehgani M. Effect of magnetic fields with very low frequency on the mental health of employees working in the gas power plant in Shiraz. *Iran Occup Health.* 2010;7(3):28-34. [Persian]

32. Ranjbarian M, Rezaee F. Survey on severity of magnetic and electric fields around video display terminals and its association with health effects on operators. *Iran Occup Health.* 2009;6(3):17-21. [Persian]

33. Hendrick V, Altshuler L, Whybrow P. Psychoneuroendocrinology of mood disorders: the hypothalamic-pituitary-thyroid axis. *Psychiatr Clin North Am.* 1998;21(2):277-92.

34. RK Jazani, M Saremi, T Rezapour Kavousi A, Shirzad H. Influence of traffic-related noise and air pollution on self-reported fatigue. *Int J Occup Saf Ergon.* 2015; 21(2): 193-200.

35. Chen ML, Chen CJ, Yeh WY, Huang JW, Mao IF. Heat stress evaluation and worker fatigue in a steel plant. *AIHA J (Fairfax, Va)* 2003;64:352-9.

36. Sood D, Nussbaum MA, Hager K. Fatigue during prolonged intermittent overhead work: reliability of measures and effects of working height. *Ergonomics.* 2007;50:497-513.