



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی  
مرکز سلامت محیط و کار



دانشگاه علوم پزشکی تهران  
پژوهشگاه محیط زیست

انزاسات، دست‌ها، عمل‌ها، همنمودهای تخصصی مراکز سلامت محیط و کار

# راه‌نمای چگونگی کنترل صدا با توجه به نوع صنعت



صلى الله عليه وسلم





جمهوری اسلامی ایران  
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی  
مرکز سلامت محیط و کار



دانشگاه علوم پزشکی تهران  
پژوهشگاه و محیط زیست

# راهنمای چگونگی کنترل صدا با توجه به نوع صنعت

الزامات، دستورالعمل‌ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار

مرکز سلامت محیط و کار

پژوهشگاه محیط زیست

تابستان ۱۳۹۳

نام کتاب: راهنمای چگونگی کنترل صدا با توجه به نوع صنعت

تهیه کننده پیش نویس: دکتر ایرج علی محمدی

ناشر: پژوهشکده محیط زیست

تاریخ و نوبت چاپ: تابستان ۹۳ نوبت اول

- عنوان و نام پدیدآور:** راهنمای چگونگی کنترل صدا با توجه به نوع صنعت: الزامات، دستورالعمل ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار / تهیه کننده] مرکز سلامت محیط و کار، پژوهشکده محیط زیست؛ کمیته فنی تدوین راهنما عبدالرحمن بهرامی ... [و دیگران].
- مشخصات نشر:** تهران: وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، معاونت بهداشتی، ۱۳۹۳.
- مشخصات ظاهری:** ۱۳۰ ص: جدول (رنگی)، نمودار (رنگی).
- شابک:** ۹۷۸-۶۰۰-۶۹۳۷-۳۵-۹
- وضعیت فهرست نویسی:** فیبا
- یادداشت:** کمیته فنی تدوین راهنما عبدالرحمن بهرامی، نوشین راستکاری، ایرج علی محمدی، فاضله کتابون مدیری، فاطمه صادقی، حمید اقتصادی شیرجین.
- عنوان دیگر:** الزامات، دستورالعمل ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار.
- موضوع:** سر و صدای صنعتی
- موضوع:** سر و صدا - کنترل
- موضوع:** صدا - عایق سازی
- شناسه افزوده:** بهرامی، عبدالرحمن، ۱۳۴۳ -
- شناسه افزوده:** ایران. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. مرکز سلامت محیط و کار
- شناسه افزوده:** دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران. پژوهشکده محیط زیست
- شناسه افزوده:** ایران. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. معاونت بهداشتی
- رده بندی کنگره:** TD ۸۹۲/۲ ۱۳۹۳
- رده بندی دیویی:** ۶۲۰/۲۳
- شماره کتابشناسی ملی:** ۳۶۱۴۰۶۱

- عنوان: راهنمای چگونگی کنترل صدا با توجه به نوع صنعت

- کد الزامات: ۱-۱۹-۰۹-۲۰۲-۲۰۵

- تعداد صفحات: ۱۳۰

### مرکز سلامت محیط و کار:

شهرک قدس - بلوار فرحزادی - بلوار ایوانک - ساختمان مرکزی وزارت بهداشت، درمان و

آموزش پزشکی - بلوک A - طبقه ۱۱- واحد شمالی

تلفن: ۸۱۴۵۴۱۲۰

<http://markazsalamat.behdasht.gov.ir>

### پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران:

تهران - خیابان کارگر شمالی - نرسیده به بلوار کشاورز - پلاک ۱۵۴۷ طبقه هشتم

تلفن: ۰۲۱-۸۸۹۷۸۳۹۹، دورنگار: ۰۲۱-۸۸۹۷۸۳۹۸

<http://ier.tums.ac.ir>

### کمیته فنی تدوین راهنما

| نام و نام خانوادگی        | مرتبه علمی / سمت    | محل خدمت   |
|---------------------------|---------------------|--|
| دکتر عبدالرحمن بهرامی     | استاد/ رئیس کمیته   | دانشگاه علوم پزشکی همدان/<br>مرکز سلامت محیط و کار |
| دکتر نوشین راستکاری       | دانشیار/ عضو کمیته  | پژوهشکده محیط زیست                                 |
| دکتر ایرج علی محمدی       | دانشیار             | دانشگاه علوم پزشکی ایران                           |
| مهندس فاضله کنایون مدیری  | کارشناس/ دبیر کمیته | مرکز سلامت محیط و کار                              |
| مهندس فاطمه صادقی         | کارشناس/ عضو کمیته  | مرکز سلامت محیط و کار                              |
| مهندس حمید اقتصادی شیرجین | کارشناس/ عضو کمیته  | مرکز سلامت محیط و کار                              |
| مهندس مهدی علی گل         | کارشناس/ عضو کمیته  | مرکز سلامت محیط و کار                              |
| مهندس فائزه ایزدپناه      | کارشناس/ عضو کمیته  | پژوهشکده محیط زیست                                 |

از جناب آقای دکتر ایرج علی محمدی که در تهیه این پیش نویس زحمات زیادی را متقبل شده اند

صمیمانه سپاسگزاری می گردد.

## فهرست:

|    |  |
|----|--|
| ۱  | ۱- مقدمه                                 |
| ۱  | ۲- آیا مشکل صدا وجود دارد؟               |
| ۵  | ۲-۱ صوت چیست؟                            |
| ۸  | ۲-۲ «dB-A» در مقابل «دسی بل»             |
| ۱۰ | ۲-۳ مواجهه کارگران با صدا                |
| ۱۳ | ۲-۴ چگونه صدا را اندازه گیری کنیم؟       |
| ۱۳ | ۳- ابزارهای عمومی و استفاده از آنها      |
| ۱۳ | ۳-۱ ترازسنج صوت                          |
| ۱۷ | ۳-۲ دوزیمتر                              |
| ۱۸ | ۴- چگونه از اندازه گیری خود مطمئن باشیم؟ |
| ۱۹ | ۵- مشکل صدا چقدر شدید است؟               |
| ۲۱ | ۶- الزامات کاهش فرکانس به فرکانس صدا     |
| ۲۴ | ۷- تشخیص منبع صدا                        |
| ۲۴ | ۷-۱ جمع دسی بل                           |
| ۲۹ | ۷-۲ روش عمومی                            |
| ۳۷ | ۸- تأثیر آکوستیک اتاق                    |
| ۴۵ | ۹- خلاصه ای از روش های تشخیصی            |
| ۴۷ | ۱۰- چگونه صدا و ارتعاش را کنترل کنیم؟    |
| ۴۷ | ۱۰-۱ کنترل صدا                           |
| ۴۸ | ۱۰-۱-۱ نگهداری مناسب                     |
| ۴۸ | ۱۰-۱-۲ فرایندهای عملیاتی                 |
| ۴۸ | ۱۰-۱-۳ جایگزینی تجهیزات                  |
| ۴۹ | ۱۰-۱-۴ کنترل های مدیریتی                 |
| ۴۹ | ۱۰-۱-۵ بهبود مکان                        |
| ۵۰ | ۱۰-۱-۶ موقعیت تجهیزات                    |
| ۵۰ | ۱۰-۱-۷ بهبود ساده تجهیزات                |
| ۵۱ | ۱۰-۱-۸ سپرها و موانع                     |
| ۵۲ | ۱۰-۱-۹ محصور سازی                        |

|     |  |
|-----|--|
| ۶۵  | ۱۰-۱-۱۰ صدا خفه کن ها  |
| ۶۷  | ۱۱-۱-۱۰ تکنیک های نیازمند به طراحی دوباره تجهیزات                            |
| ۶۸  | ۱۲-۱-۱۰ تجهیزات حفاظت فردی   |
| ۷۰  | ۲-۱۰ کنترل ارتعاش  |
| ۷۳  | مطالعات موردی  |
|     | سابقه ۱: ماشین کاغذسازی، پایانه مرطوب (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) |
| ۷۳  | (OSHA)   |
|     | سابقه ۲: ایستگاه آزمایش گاز توربین (مشکل حفاظت شنیداری و سروصدای ارتباط      |
| ۷۶  | گفتاری)  |
| ۷۷  | سابقه ۳: دستگاه پرس ۸۰۰ تنی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی)           |
| ۸۱  | سابقه ۴: ماشین میخ سازی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)        |
|     | سابقه ۷: خرد کن ضایعات پلاستیکی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی)       |
| ۸۵  | (OSHA)   |
| ۸۶  | سابقه ۸: محفظه ناودانی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)         |
| ۸۹  | سابقه ۱۳: ماشین شانه زنی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)       |
|     | سابقه ۱۵: دستگاه پرس چاپ و برش (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی)        |
| ۹۱  | (OSHA)   |
| ۹۳  | سابقه ۱۸: ترانسفورماتور (مشکل سروصدا جامعه)                                  |
| ۹۶  | سابقه ۲۰: دستگاه سمباده (مشکل سروصدا اداری)                                  |
| ۹۷  | سابقه ۲۲: اره برش فلز (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)          |
| ۹۹  | سابقه ۲۳: رنده کش چوب (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)          |
| ۱۰۱ | سابقه ۲۴: پرس منگنه (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)            |
|     | سابقه ۳۵: ماشین ساخت بلوک بتنی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی)        |
| ۱۰۱ | (OSHA)   |
| ۱۱۱ | سابقه ۳۹: موتورهای بادی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)        |
| ۱۱۳ | سابقه ۴۱: فن با مگش القایی (مشکل سروصدا جامعه)                               |
| ۱۱۷ | سابقه ۴۳: ژنراتور توربین گاز (مشکل سروصدا جامعه)                             |
| ۱۲۰ | سابقه ۴۶: سمباده بادی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)          |
| ۱۲۲ | مراجع  |



## پیشگفتار

یکی از برنامه های مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی تدوین و انتشار رهنمودهای مربوط به حوزه ها و زمینه های مختلف بهداشت محیط و حرفه ای و سایر موضوعات مرتبط است که با بهره گیری از توان علمی و تجربی کارشناسان، متخصصین و صاحب نظران متعددی از سراسر کشور، انجام شده است. در این راستا سعی شده است ضمن بهره گیری از آخرین دستاوردهای علمی، از تجربه کارشناسان و متخصصین حوزه ستادی مرکز سلامت محیط و کار نیز استفاده شود و در مواردی که در کشور قوانین، مقررات و دستورالعمل های مدونی وجود دارد در تدوین و انتشار این رهنمودها مورد استناد قرار گیرد. تمام تلاش کمیته های فنی مسئول تدوین رهنمودها این بوده است که محصولی فاخر و شایسته ارائه نمایند تا بتواند توسط همکاران در سراسر کشور و کاربران سایر سازمان ها و دستگاههای اجرایی و بعضاً عموم مردم قابل استفاده باشد ولی به هر حال ممکن است دارای نواقص و کاستی هایی باشد که بدینوسیله از همه متخصصین، کارشناسان و صاحب نظران ارجمند دعوت می شود با ارائه نظرات و پیشنهادات خود ما را در ارتقاء سطح علمی و نزدیکتر کردن هر چه بیشتر محتوای این رهنمودها به نیازهای روز جامعه یاری نمایند تا در ویراست های بعدی این رهنمودها بکار گرفته شود.

با توجه به دسترسی بیشتر کاربران این رهنمودها به اینترنت، تمام رهنمودهای تدوین شده بر روی تارگاہ های وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی (وبدا)، معاونت بهداشتی، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران و مرکز سلامت محیط و کار قرار خواهد گرفت و تنها نسخ بسیار محدودی از آنها به چاپ خواهد رسید تا علاوه بر صرفه جویی، طیف گسترده ای از کاربران به آن دسترسی مداوم داشته باشند.

اکنون که با یاری خداوند متعال در آستانه سی و ششمین سال پیروزی انقلاب شکوهمند اسلامی این رهنمودها آماده انتشار می گردد، لازم است از زحمات کلیه دست اندرکاران تدوین و انتشار این رهنمودها صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم و پیشاپیش از کسانی که با ارائه پیشنهادات اصلاحی خود ما را در بهبود کیفیت این رهنمودها یاری خواهند نمود، صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

دکتر کاظم ندافی

رئیس مرکز سلامت محیط و کار

## ۱- مقدمه

امروزه سروصدا یکی از مشکلات عمده مرتبط با صنایع می باشد. سروصدا می تواند باعث عوارض متعددی از جمله کاهش شنوایی کارگر و همچنین کاهش بازدهی و ایجاد برخی مخاطرات مرتبط با ایمنی برای او گردد. با توجه به این موضوع لازم است تا به صورت نظام مند اقدام به کاهش مواجهه کارگر با سروصدا کنیم که این اقدامات به ترتیب در این راهنما ارائه خواهند شد.

## ۲- آیا مشکل صدا وجود دارد؟

آیا میزان صدا در محیط کار شما خطرناک و آزاردهنده است؟ برای یافتن و درک این مطلب، با شخصی که در منطقه ی پر سروصدای کارخانه قرار دارد، صحبت کنید. اگر قادر به صحبت با شخصی هستید که در فاصله ی ۱ متری شما قرار دارد، احتمالاً سروصدای کافی در آن موقعیت کارخانه، برای آسیب شنوایی وجود ندارد. اما اگر شما و یا دیگران، باید برای شنیده شدن و یا درک صحبت ها، در فواصل نزدیک، فریاد بزنید (فواصل بین ۲۰ تا ۴۰ سانتی متر)، سروصدای کارخانه در آن موقعیت احتمالاً می تواند سبب کاهش شنوایی گردد و شما باید تراز صدای موجود را با ابزار مناسب اندازه گیری نمایید.

در خصوص انتقال صدا به بیرون از مناطق پر سروصدای کارخانه چطور؟ اگر پرسنل در دیگر قسمت هایی کارخانه، شکایت کنند، شما باید شکایت آنها را بررسی نموده و تراز صدایی که آنها می شنوند را اندازه گیری نمایید. اگر همسایگان (مجاوران) کارخانه، شکایت کردند و یا اگر مقامات محلی می گویند که صدا بیش از حد مجاز است، ممکن است مشکلی وجود داشته باشد. در این شرایط اندازه گیری و اقدامات دیگر الزامی است.

در زمان مناسب، اندازه گیری دقیق تراز صدا را انجام دهید. مقادیر اندازه گیری شده باید با مقادیر حد مجاز یا حد معیار مقایسه گردد («معیار» در اینجا به معنای هدفی برای دستیابی به تراز صدای مورد قبول برای محیطی خاص است).

هنگامی که شما به دنبال انطباق شکایات مربوط به صدا با مقادیر مجاز هستید، قانون حد مجاز تراز صدا، تابعی از هر دو پارامتر تراز صدا و مدت زمان مواجهه روزانه می باشد. اگر اندازه گیری ها، یک ترکیب خطرناک از تراز صدا در زمان مواجهه را نشان دهند، مشکل سروصدا وجود دارد اما راه حل های ممکن آن چیست؟

حتی در شرایطی که شکایات همسایگان وجود ندارد، ممکن است احکام قانونی محلی، محدوده های

غیر مجاز تراز صوت را تایید نمایند. (به یاد داشته باشید که احکام محلی ممکن است ترازهای مختلفی از صدا را به عنوان حد مجاز صدا در محیط صنعتی در طول روز و شب ارائه کند) زمانی که هیچ حکم محلی وجود ندارد و همسایگان ادعا دارند که صدای ناشی از این کارخانه «بیش از حد بلند» است، بهترین اقدام، اندازه گیری تراز صوت محیط در دو مرتبه می باشد. بار اول هنگامی است که کارگاه در حال فعالیت و بار دوم زمانی است که کارخانه غیر فعال می باشد.

اگر متوجه شدید که صدای کارخانه بالاتر از صدای زمینه می باشد احتمالاً می توان نتیجه گرفت که آلودگی صوتی وجود دارد. صدایی که سبب آزردهی و یا رنجش گردد می تواند توسط عوامل بسیاری تحت تأثیر قرار گیرد که خود به پیچیدگی معضل صدا می افزاید.

صدای آهنگین مانند «خرابی» یک فن، یا صدای متناوب یا ضربه ای مانند صدایی که توسط یک مته ی دستی مخصوص سوراخ کردن سنگ ایجاد می شود، و یا صدای نازل خروجی بخار، معمولاً قابل شناسایی تر از انواع دیگر صدا می باشند.

مشکل صدا از طریق یکی و یا هر دو راه زیر آشکار می گردد:

- از طریق پاسخ ذهنی افرادی که با سروصدا آشفته می گردند.
- از طریق اندازه گیری های عینی ترازهای صوت و مقایسه ی این مقادیر با مقادیر مجاز صدا برای درک اندازه گیری های صوت، ویژگی ها و تفاسیر، شما باید شناخت و دانش کلی از تئوری و اصطلاحات مورد استفاده در آکوستیک و کنترل صدا داشته باشید. در قسمت های بعدی خلاصه ای از این موارد بیان می شود.

## ۲-۱ صوت چیست؟

### کلمات کلیدی:

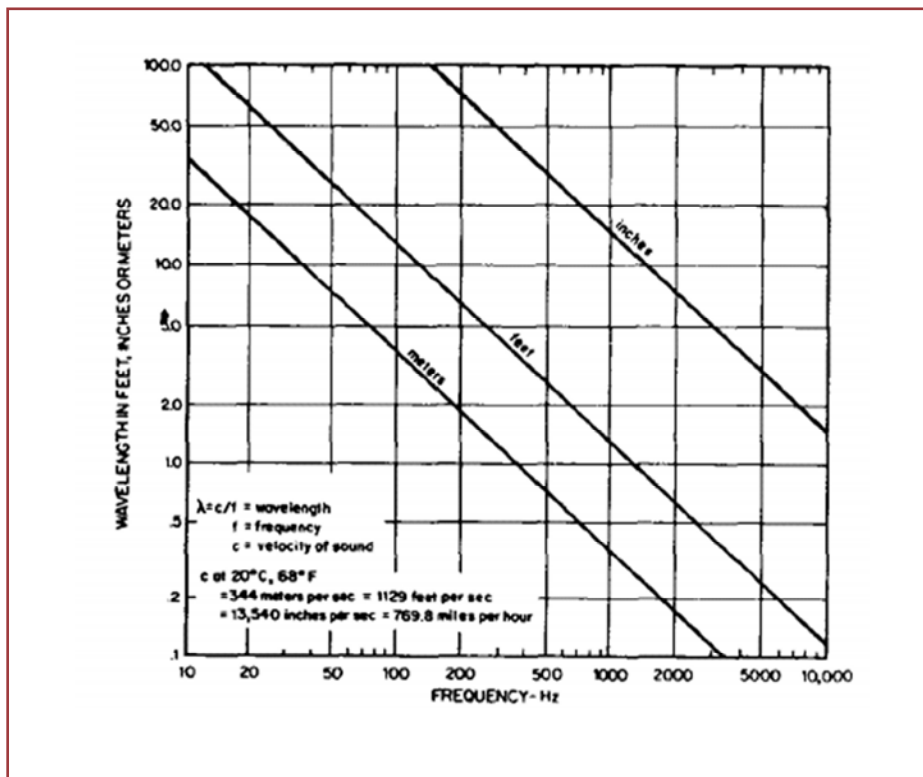
- صوت با پهنای باند بالا
- بسامد اکتاوباند
- طول موج مجذور ریشه ی میانگین
- فشار صوت
- تونال (آهنگ صدا) دسی بل
- همساز (هارمونیک) تراز فشار صوت
- بسامد پایه پاسکال

صوت یک رویداد فیزیکی است. صدا توسط تغییرات لحظه ای فشار که به واسطه ی حرکت موج منتقل می شود ایجاد می شود. انتشار صوت مشابه اختلالی است که در طول فنر کشیده شده (فنری که از دو طرف ثابت شده است) ایجاد می شود. هنگامی که یک بخش از فنر در یک انتهای آن، بارها و بارها و به طور منظم فشرده و آزاد گردد بخش های فشرده شده و کشیده شده ی حاصل از انتقال موج در امتداد فنر، مانند فشرده و باز شدن مولکول هایی هوا و انتشار یک موج صوتی از طریق هوا می باشد. مسافت دوره ای امواج که در طول فنر فشرده و انتشار می یابند، طول موج نامیده می شود. در فنر، همانند هوا، سرعت انتشار اختلالات تنها به خواص محیط انتشار بستگی دارد. سرعت، فرکانس و طول موج صوت مطابق رابطه زیر با یکدیگر ارتباط دارند:

$$f = c/\lambda$$

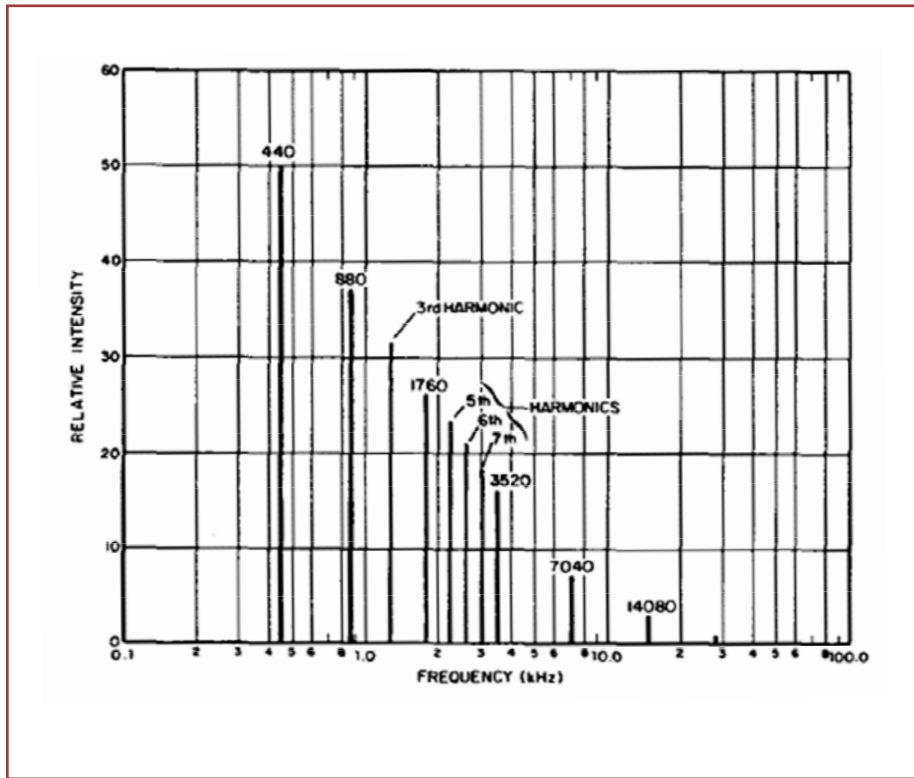
فنر کشیده شده را دوباره تصور کنید. با نرخ سریع فشرده سازی و آزاد شدن فنر، تنها فاصله ی کوتاهی بین اختلالات پی در پی منتشر شده در طول فنر، وجود خواهد داشت، با سرعت پایین فشرده سازی و آزاد شدن فنر، فاصله ی نسبتاً طولانی بین اختلالات پی در پی انتشار یافته در امتداد فنر وجود خواهد داشت. به عبارت دیگر، برای صوتی در هوا با فرکانس بالا، طول موج کوتاه، و با فرکانس هایی پایین، طول موج های بلند خواهد داشت. این واقعیت توسط معادله بالا اثبات شده است.

حرکت صوت در هوا در دما و فشار طبیعی اتاق در سرعتی حدود ۳۴۰ متر بر ثانیه صورت می گیرد. فرکانس به عنوان نوسانات و یا ارتعاشات روی داده در هر ثانیه به نام هرتز، و به صورت مختصر HZ نامیده می شود. (که به طور قانونی توسط واحد «دور در ثانیه» یا سیکل بر ثانیه cps هم شناخته شده است). واحد طول موج می تواند متر، فوت و یا اینچ باشد. شکل ۱، نمودار طول موج بر حسب فرکانس صوت می باشد.



شکل ۱- نمودار فرکانس- طول موج در هوا، در دما و فشار طبیعی

اگر شما مایل به شنیدن صوت در یک فرکانس مجزا هستید، این یک صوت آهنگین (تونال) خواهد بود. مانند صدای یک چنگال در حال ارتعاش. در واقع بیشتر اصوات ترکیبی از فرکانس های بی شمار هستند. نت های قابل اجرا در ابزارآلات موسیقی، به عنوان مثال، نه تنها حاوی یک فرکانس غالب نیستند، بلکه اصوات اضافه شده دارای چندین فرکانس غالب و پایه می باشند (هارمونیک). برای مثال «یک کلید میانی» بر روی صفحه ی پیانو، فرکانسی در محدوده ی ۴۴۰ هرتز دارد. اما صدای ناشی از آن شامل اجزای مربوط به آهنگ صدا در ۱۳۲۰، ۸۸۰، ۱۷۶۰، ۲۲۰۰ و ۲۶۴۰ هرتز می باشد؛ درست همان گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است.



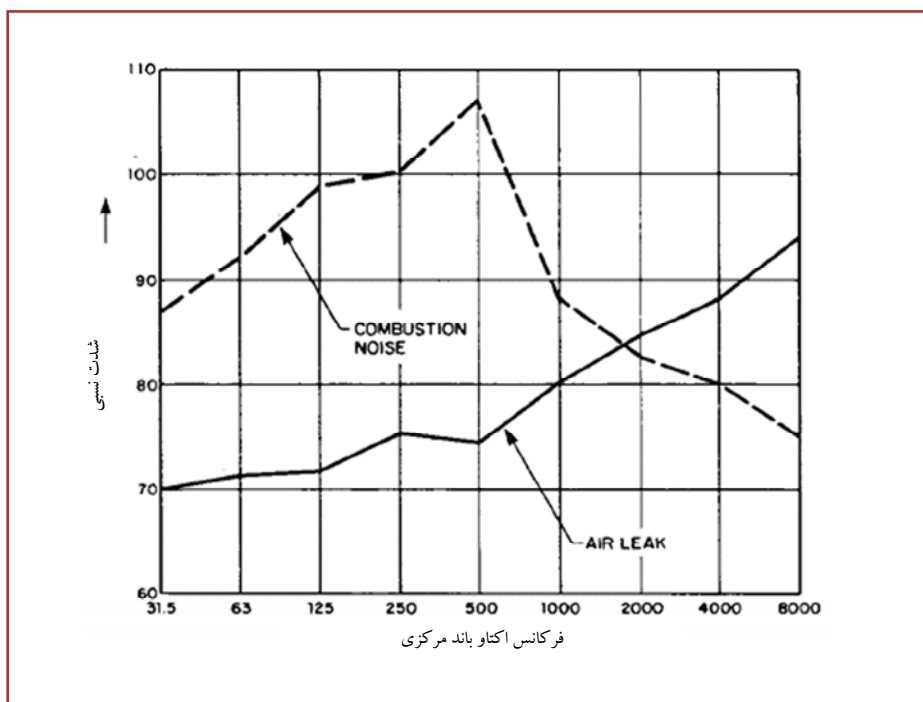
شکل ۲- فرکانس در نت موسیقی

بسیاری از صداهای معمولی، تن فرکانس ثابتی ندارند. به عنوان مثال می توان به یک خودرو یا کامیون در حال حرکت در امتداد یک خیابان، یک جت هوایی و یا نشست هوا از یک منبع هوای فشرده، صدای کوبه ای یک پرس پانچ و یا سروصدای ناشی از احتراق کوره ها اشاره کرد. این اصوات دارای طیف وسیعی از فرکانس هستند که در محدوده شنوایی انسان قرار می گیرند (مثلاً<sup>۱</sup> ۱۶۰۰۰ تا ۱۶۰۰ هرتز). چنین اصواتی، اصطلاحاً «صدا با باند پهن» نامیده می شوند. این گونه اصوات را می توان به اجزای تشکیل دهنده فرکانس تجزیه نمود. اغلب اوقات برای نشان دادن میزان صدا در محدوده های خاص فرکانسی از فیلترهای اکتاو باند استفاده می شود. شکل ۳ این مفهوم را نشان می دهد. نشست هوا بیشتر اصواتی با فرکانس زیاد

<sup>۱</sup> noise hissy

<sup>۲</sup> rumble

را تولید می کنند. احتراق کوره، غالباً صدایی با فرکانس کم را ایجاد می کنند. طیف فرکانسی صوت را می توان به عنوان امضای صدا فرض نمود. گاهی اوقات از فیلترهای دقیق تر فرکانسی با جزئیات بیشتر در تجزیه و تحلیل صدا استفاده می گردد. به عنوان مثال، باندهای یک سوم و یا یک دهم اکتاوباند می توانند تجزیه دقیق تری از توزیع انرژی فرکانسی صوت را بدست دهند.



شکل ۳- طیف فرکانسی دو صوت معمول صنعتی

محتوای فرکانس صدا بسیار مهم است. چرا که آسیب شنوایی به فرکانس صوت مربوط است و همچنین اثر بخشی ناشی از کنترل صدا نیز به فرکانس بستگی دارد. مجدداً به فنر کشیده شده فکر کنید. ارتعاش فنر یا جمع شدن و باز شدن فنر در مسافت های بسیار کوتاه در طول آن انجام می گیرد (طول موج). به طور مشابه در موج صوتی نیز ارتعاش ذرات هوا به جلو و عقب در فواصل بسیار کوتاه صورت می گیرد (شاید چند ده هزارم میلی متر و یا چند میلیونیم اینچ). ارتعاش ذرات هوا در سراسر اتاق و یا سراسر میدان صوتی (فیلد) انتشار یابند. در عین حال، مولکول های

هوا انرژی ارتعاشی خود را از مولکول های مجاور دریافت می کنند و خود سبب انتقال انرژی به مولکول های دیگر می شوند. هوا یک محیط تقریباً الاستیک است و به همین خاطر عملاً موج ارتعاشی در هوا بدون از دست دادن انرژی با سرعت صوت در هوا منتقل می شود. به محض نوسان ذرات هوا، نوسانات کوچک زودگذر در فشار اتمسفر رخ می دهد. این تغییرات فشار است که گوش ما آن را به عنوان صوت می شناسد و یا میکروفون به آن پاسخ می دهد. تغییرات متناوب مثبت و منفی فشار صوت با فشار جو مرتبط است. لازم است تا کمیتی را به منظور تعیین تغییرات فشار ایجاد شده، به کار ببریم. بهترین کمیت استفاده از متوسط فشار صوت (فشار میانگین) است اما اگر متوسط تغییرات فشار صوت که در یک نقطه ی خاص و در بیش از یک بازه ی زمانی خاص رخ می دهد مدنظر باشد، همیشه باید مقدار متوسط را برابر با فشار اتمسفر قرار دهیم. تمام نوسانات فشار مثبت صوت دقیقاً با مقادیر منفی در تعادل و برابر هستند. بنابراین به جای یک میانگین ساده، ابتدا مجذور فشارهای لحظه ای محاسبه و سپس ریشه ی مجذور قبل از میانگین محاسبه می گردد. این روش، یک کمیت مثبت برای فشار صوت ارائه می دهد. این چیزی است که ریشه ی مجذور میانگین<sup>۱</sup> از متغیر فشار صوت را بیان می کند. صدای بسیار ضعیف ممکن است فشار صوت موثر (fms) بسیار کمتری را در مقایسه با فشار اتمسفر داشته باشد. در واقع، فشار صوت موثر صدا در فرکانس ۱۰۰۰ هر تزه به سختی قابل شنیدن است. (در منطقه ی فرکانسی که در آنها بهترین قابلیت شنیداری را دارا هستیم) در یک محیط بسیار آرام، این مقدار  $0.0000002$  یا  $2 \times 10^{-10}$  اتمسفر می باشد. بدیهی است که این مقدار یک فشار بسیار کوچکی خواهد بود. صدای بسیار بلند می تواند فشار صوت متوسط بیش از  $0.001$  اتمسفر داشته باشد. این اعداد نه تنها نشان دهنده ی طیف وسیعی از تغییرات فشار ممکن می باشند بلکه همچنین شامل برخی از اعداد بسیار بزرگ نیز هستند. برای ساده کردن اعداد فشار موثر صوت (fms) بر حسب دسی بل بیان می شود. (مقیاس دسی بل ارتباط آشکاری با «بلندی» صدا دارد) دسی بل مقداری لگاریتمی است و از یک نقطه ی مرجع شروع می شود. نقطه ی شروع ۰ دسی بل است. فشار صوت موثر مربوط به ضعیف ترین صدای قابل شنیدن است ( $0.00000002$  اتمسفر). این ضعیف ترین صدایی است که توسط بخش وسیعی از مردم شنیده می شود. (زمانی که تحت شرایط ایده آل شنیداری آزمایش شوند). در این مطلب هر جا که سخن از فشار صوت است بر حسب بیان شده است مگر آن که مشخص شده باشد.

<sup>۱</sup> Root mean square



دسی بل (با اختصار dB) واحدی برای بیان تراز فشار صوت با نسبت  $2 \times 10^{-10}$  اتمسفر است. در سیستم متریک، این فشار مرجع  $2 \times 10^{-5}$  نیوتن بر مترمربع می باشد. واحد «پاسکال» به عنوان  $1 \text{ N/M}^2$  تعریف شده است. بنابراین، مرجع تراز فشار صوت مرجع در این صورت  $2 \times 10^{-5}$  پاسکال یا ۲۰ میکروپاسکال خواهد بود. بنابراین، به لحاظ بیان تکنیکی درست باید گفت «تراز فشار صوت صفر دسی بل معادل ۲۰ میکروپاسکال می باشد. از آنجایی که این فشار پایه، به رسمیت شناخته شده است، اغلب بیان نمی شود.» کلمه ی «تراز به منظور تعیین نسبت فشار صوت موثر به نسبت پایه ی فشار صوت جهانی، استفاده می شود. تراز فشار صوت<sup>۱</sup> برای هر صوت اندازه گیری شده چنین تعریف می شود.»

$$SPL(\text{decibels}) = 10 \log \frac{\text{rms sound pressure measured}^2}{20 \text{ micropascal}^2}$$

یا

$$SPL(\text{decibels}) = 20 \log \frac{\text{rms sound pressure measured}}{20 \text{ micropascal}}$$

در عمل، یک ترازسنج صوت جهت خواندن دسی بل نسبت به ۲۰ میکرو پاسکال کالیبره می شود. بنابراین یک فرد به ندرت از فشار صوت موثر نسبت به صدای واقعی آگاه است. با این حال می دانیم که تراز اصوات بسیار آهسته (مانند زمزمه ی آرام و یا خش خش چمن در یک نسیم آرام) ممکن است بین ۱۰ تا ۲۰ دسی بل متغیر باشد. در حالی که یک صوت بسیار بلند (مانند صدای یک کامیون دیزل یا صدای یک جت در مدت زمان کوتاهی پس از برخاستن یا صدای رعد و برق) می تواند از ۸۵ دسی بل تا بیش از ۱۳۰ دسی بل باشد. تراز فشار صوت لحظه ای ۱۶۰ دسی بل می تواند سبب پارگی پرده گوش گردد، و خطر ابتلا به اختلال شنوایی دائم در ترازهای بالاتر از ۸۰ دسی بل افزایش می یابد.

## ۲-۲ "dB-A" در مقابل «دسی بل»

کلمات کلیدی:

تراز صوت توزین  $L_A, L_P, A$

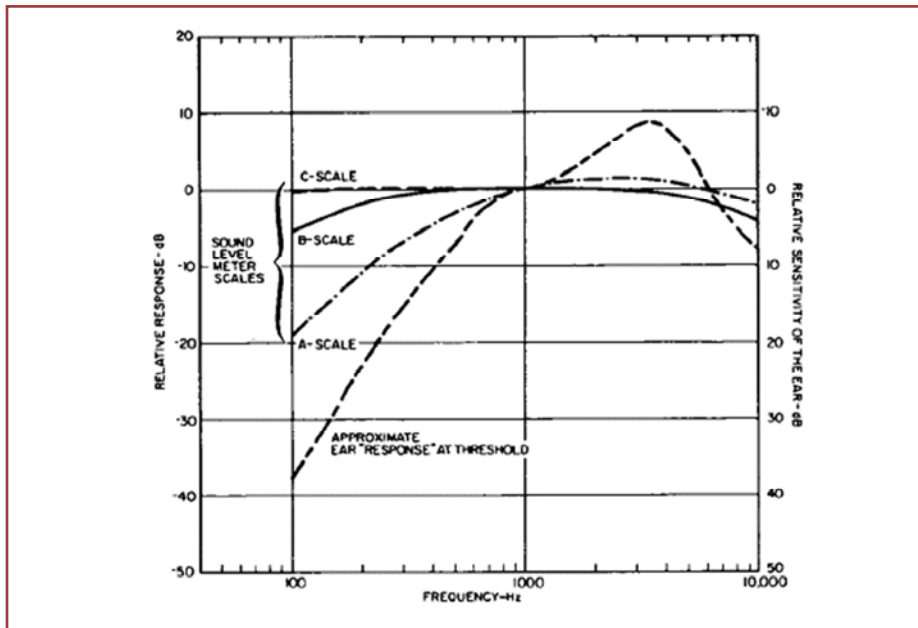
پاسخ افراد به صدا، به فرکانس وابسته است. ما در فرکانس هایی حدود ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز بهترین شنوایی را داریم. به عنوان مثال، و شاید به همین دلیل، بیشتر با صداهای در این محدوده ناراحت

<sup>۱</sup> Sound pressure level

و یا آزرده می شویم. علاوه بر این، می دانیم که ترازهای بالای صدا و زمان مواجهه طولانی مدت، در این محدوده ی فرکانس، در کاهش سطح شنوایی موثر است. این واقعیات بخشی از اثرات صدا هستند، که به تبع آن معمولاً نیاز به تعیین توزیع انرژی صوتی بر حسب فرکانس و نیز تعیین فرکانس هایی که بیشترین اثرات را دارند احساس می شود.

صداسنج های معمولی دارای سه شبکه ی توزین فرکانس مختلف و شناخته شده با عنوان شبکه های مقیاس A, B, C می باشند. پاسخ های فرکانسی این شبکه ها در شکل ۴ نشان داده شده است.

مطالعات گسترده نشان داده اند که صدا با فرکانس بالا با عبور از شبکه ی توزین A، ارتباط خوبی با اثرات و عوارض آزرده گی و اثرات آسیب های شنیداری بر افراد دارد. در نتیجه، تراز فشار صوت، که با مقیاس A اندازه گیری شده است، به منظور قضاوت از آزرده گی صدا و ارزشیابی آسیب های پتانسیل شنیداری در ترازهای بالا و مواجهات طولانی استفاده می شود. (اصطلاح مواجهه صوتی شامل هر دو واژه تراز صوت و مدت زمان مواجهه با آن تراز صوت است که با جزئیات بیشتر مورد بحث قرار خواهد گرفت).



شکل ۴- ویژگی های پاسخ مقیاس های وزنی و گوش را در آستانه نشان می دهد.

منحنی چهارم در شکل ۴ نشان دهنده آستانه حساسیت نسبی گوش به اصوات می باشد. جدول ۱ پاسخ فرکانس اکتاوباند در شبکه ی توزین A را همان طور که در شکل ۱-۳ در نظر گرفته شده است نشان می دهد. هنگامی که ترازسنج صدا در موقعیت A قرار می گیرد، دستگاه عددی را نشان می دهد که فیلتر شبکه A تصحیحات لازم را روی آن اعمال نموده است. مقدار بدست آمده تراز توزین A نامیده می شود، و واحد آن dB-A خواهد بود. در متن،  $L_p$  به معنای تراز فشار صوت بر حسب دسی بل استفاده می شود و  $L_A$  تراز توزین A بر حسب دسی بل می باشد.

| فرکانس مرکزی اکتاو باند (هرتز) | پاسخ فیلتر (دسی بل) |
|--------------------------------|---------------------|
| ۳۱/۵                           | ۳۱/۵                |
| ۶۳                             | -۲۶                 |
| ۱۲۵                            | -۱۶                 |
| ۲۵۰                            | -۸/۵                |
| ۵۰۰                            | -۳                  |
| ۱۰۰۰                           | ۰                   |
| ۲۰۰۰                           | +۱                  |
| ۴۰۰۰                           | +۱                  |
| ۸۰۰۰                           | -۱                  |

جدول ۱- پاسخ فرکانسی شبکه A در فرکانس های مختلف

## ۲-۳ مواجهه کارگران با صدا

اداره ی بهداشت و ایمنی شغلی (OSHA) از سال ۱۹۷۰، مقرراتی را جهت میزان تماس کارگران با صدا ایجاد کرده است. مقررات OSHA تعیین می کند که مواجهه با صدای صنعتی نباید از ۹۰ دسی بل برای یک دوره ی کاری ۸ ساعته تجاوز کند. همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است برای دوره های زمانی کمتر، ترازهای بالاتر صوت مجاز هستند. مطابق جدول ۲ هیچ فردی نباید حتی برای زمان بسیار کم نیز در معرض صدای ۱۲۰ دسی بل قرار گیرد. نکته بسیار مهم این که میزان صدای تولید شده توسط تجهیزات (انتشار صوت) را با صدای دریافتی توسط کارگر (میزان مواجهه با صدا) یکی ندانید.

| مدت زمان در هر روز به ساعت | سطح صدای حداکثر قابل مجاز (دسیبل) |
|----------------------------|-----------------------------------|
| ۸                          | ۹۰                                |
| ۶                          | ۹۲                                |
| ۴                          | ۹۵                                |
| ۳                          | ۹۷                                |
| ۲                          | ۱۰۰                               |
| ۱                          | ۱۰۵                               |
| ۰/۵                        | ۱۱۰                               |
| ۰/۲۵ و کمتر                | ۱۱۵                               |

جدول ۲- مواجهه مجاز با صدا

در بسیاری از مکان های موجود در محل کار، ترازهای صوت در طول روز متفاوت می باشند. ماشین آلات ممکن است در حالت های مختلفی فعالیت کنند و براساس آن ترازهای صوت تغییر می کنند. کارگران ممکن است در اطراف ماشین آلات و یا در بخش های مختلف کارخانه در حرکت باشند. توالی تولید و در نتیجه ترازهای صوت ممکن است در طول روز و یا در شیفت کاری، تغییر کنند. بنابراین در نظر گرفتن زمان های مختلف جهت تعیین تغییرات صدا در مواجهه با آن، مورد نیاز می باشد. مطابق مقررات OSHA قرار گرفتن در تراز صوت ۹۰ dB-A و یا بالاتر از آن موجب دریافت انرژی صوتی بیش از حد مجاز و زیان بار خواهد شد. مهم تر از میزان صدا و مدت زمان آن، دز جزئی می باشد. محاسبه مجموع تمام دزهای جزئی در طول روز منجر به تعیین دز کلی صدای روزانه می شود که نباید از یک مقدار مشخص شده تجاوز کند. زمان مجاز مواجهه با صدا را می توان از جدول ۲ (که از مقررات گرفته شده است) و یا از معادله زیر تعیین نمود:

$$\text{زمان مجاز} = \frac{480}{2^{0.2(L_A - 90)}}$$

در اینجا،  $L_A$  تراز صوت مورد مواجهه در شبکه A می باشد.

دز کلی صدا برای یک روز، جمع تمام دزهای جزئی است، همان طور که در معادله آمده است:

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

در اینجا C زمان مواجهه واقعی برای هر تراز صوت است و  $T_n$  مربوط به زمان مواجهه مجاز می باشد که از جدول ۲ یا معادله بالا برای هر مقدار از تراز صوت بدست می آید. با در نظر گرفتن محدودیت OSHA در ۹۰ dB-A برای ۸ ساعت در روز، دز کلی در معادله زیر نباید از ۱/۰۰ بیشتر شود. توجه داشته باشید که اگر محدوده ی OSHA در ۸ ساعت برخی از مقادیر n را شامل شود (برای مثال ۸۵ دسی بل A) معادله بالا به این ترتیب تغییر می کند:

$$\text{زمان مجاز} = \frac{480}{2^{0.2(L_A - N)}}$$

و دز کلی صدا همچنان مطابق با معادله محاسبه می گردد.

باید توجه داشت که در میزان تراز صوت کمتر از ۹۰ dB-A محاسبه ی دزهای جزئی قابل اجرا نیست. به بیان دیگر، هر طول مدتی از زمان مواجهه در ۸۹ dB-A مجاز است. به عنوان مثالی برای تعیین اینکه آیا صدا با مقررات OSHA منطبق است، اپراتوری را در نظر بگیرید که به طور روزانه با چنین ترازهای صوتی مواجهه است.

۱۰۵ dB-A برای مدت ۱۵ دقیقه ۹۲ dB-A برای مدت ۱/۵ ساعت

۹۵ dB-A برای مدت ۲ ساعت ۸۵ dB-A برای مدت ۴/۲۵ ساعت

واضح است که تعیین مواجهه با صدا نیازمند مطالعه وسیع و دقیق از شرایط کاری دارد.

$$D = \frac{0.25}{1} + \frac{2}{4} + \frac{1.5}{6} \dots + \frac{4.25}{\infty}$$

$$= 0.25 + 0.5 + 0.25 + 0$$

(که در محدوده ۱ و پایین تر قابل قبول است) = 1.0

برای تعیین اینکه آیا میزان تماس با صدا کمتر از حد مجاز می باشد یا خیر بایستی میزان صدای مورد مواجهه به همراه زمان متناظر آن در هر شیفت کاری مورد مطالعه قرار گیرد. سپس بایستی دز صدا برای هر تراز صوت محاسبه گردد. تعیین مجموع دزهای دریافتی مرحله بعدی می باشد. در انتها بایستی دز دریافتی محاسبه شده را با حد مجاز صدا مقایسه نمود و تعیین کرد که آیا مجموع دز دریافتی بیشتر از عدد یک می باشد یا خیر.

در مواقعی که میزان صدا به شدت تغییر می کند تعیین میزان مواجهه با آن بسیار مشکل می باشد. برای تعیین میزان مواجهه با صدا علاوه بر اندازه گیری صدا و مدت زمان مواجهه نظیر آن، می توان از دستگاه های دزیمر صوت استفاده نمود. در هر صورت برای تعیین میزان دز دریافتی صدا بایستی شرایط زیر فراهم باشند:

- در هیچ دوره زمانی میزان صدا نایستی از ۱۱۵ dB-A بیشتر باشد.
- هیچ صدای ضربه ای در پیک تراز فشار صوت نایستی بیش از ۱۴۰ dB-A باشد.

## ۴-۲ چگونگی صدا را اندازه گیری کنیم؟

در صنایع معمولی در شرایط پرسروصدا، دو نوع اندازه گیری وجود دارد:

۱. پیروی از اندازه گیری، که مطابق با برخی از مجموعه های نسبتاً دقیق دستورالعمل ها است و معمولاً براساس قوانین یا مقررات ایجاد شده اند.
  ۲. اندازه گیری های تشخیصی که در کنترل مهندسی صدا جهت کمک به قرار گیری منابع خاص و تعیین قدرت آنها، استفاده می شود، همچنین جهت کمک به انتخاب انواع کنترل های مورد نیاز، موقعیت آنها و میزان کاهش صدا مورد استفاده قرار می گیرد.
- در این بخش، در خصوص ابزار و روش های اندازه گیری تطبیقی بحث می کنیم و در بخش های بعد، در مورد اندازه گیری های تشخیصی بحث خواهیم نمود. اندازه گیری های تطبیقی، در راستای مجموعه ای نسبتاً دقیق از دستورالعمل هاست که معمولاً براساس قانون و مقررات ساخته شده اند. هدف این است که معمولاً برای تعیین میزان تطابق با محدودیت های مندرج در قوانین و مقررات می باشد. بنابراین، در بررسی تطابق مواجهه با OSHA برای صدای صنعتی، داده های اساسی در تراز صدای آهسته ی توزین A در محل گوش کارگران همراه با زمان سپری شده در هنگام مواجهه اندازه گیری می شود. از این داده ها، دوز صدای روزانه به واسطه ی مقررات مشخص شده، محاسبه می گردد.

## ۳ – ابزارهای عمومی و استفاده از آنها

### ۳-۱ ترازسنج صوت

ابزار اصلی برای اندازه گیری صدا، ترازسنج صوت SLM است که دارای دو نوع، ۱ (دقیق) و ۲ (با اهداف عمومی) مطابق با استانداردها ملی آمریکا (1971) SL<sub>4</sub> «خصوصیات ترازسنج صوت» ساخته شده اند. ابزار نوع ۲، دارای تلورانس (نوسانات) گسترده تری نسبت به ابزار نوع ۱ دارند. که تحت مقررات مواجهه با صدای صنعتی OSHA، قابل قبول است. این نوع ابزار معمولاً کم حجم تر، سبک تر و ارزان تر از SLM نوع ۱ هستند. ترازسنج صوت به طور معمول، از یک میکروفون، یک کالیبراسیون تضعیف کننده، یک تقویت کننده و یک نشان دهنده ی مقیاس

و تعیین کننده ی شبکه ی توزین تشکیل شده است. تمام SLM ها حساس هستند و باید با مراقبت جا به جا شوند. میکروفون ها، به ویژه، در صورت جا به جایی نامناسب، موضوع اصلی آسیب هستند. جزوات آموزشی ارائه شده با درس های گوناگون به منظور تشخیص اینکه چگونه این ابزار باید عمل کند و تحت چه شرایطی قرائت معتبر خواهد بود، باید به دقت مطالعه شوند.

کاربر باید چگونگی تشخیص اینکه باطری دستگاه بسیار ضعیف است و چگونگی اطمینان از اینکه دستگاه صدای محیطی را می خواند و نه صدای الکتریکی داخلی و یا شرایط غیر منتظره ی دستگاه را به خوبی آموزش ببیند. زمانی که ترازهای صوت شناخته شده در طول روز تغییرات بسیار کمی داشته باشند، یک SLM ساده برای توصیف صدای محیطی، کافی است. با این حال خواندن SLM باید به درستی صورت گیرد. روش استاندارد برای قرار دان میکروفون، قرارگیری آن در موقعیت گوش است اما به گونه ای که کارگر حداقل ۱ متر از آن دور باشد. این روش «اندازه گیری میدان آزاد» است که در استاندارد ملی آمریکا S1.13-1971 «روش اندازه گیری تراز فشار صوت» ارجحیت داده شده است. به طور کلی برای حالت ایستاده، ارتفاع مناسب برای میکروفون ۱/۵ متر و برای کارگر نشسته ۱/۱ متر مورد نظر است. هنگامی که انجام اندازه گیری صدا که در دادگاه به طور دقیق بررسی می گردد، الزامی می شود، چند معیار، مهم خواهند بود:

۱. داده ها، باید توسط یک فرد واجد شرایط جمع آوری شوند (معمولاً یک فرد بی غرض، برای جلوگیری از ایجاد تعصب).

۲. ابزارها و روش های اندازه گیری استفاده شده، باید به طور کامل با استانداردهای قابل اجرا و ملی آمریکا، مطابقت داشته باشد. NIOSH، لیستی از گواهی های لازم برای ترازسنج صوت نوع ۲ فراهم کرده است.

۳. ابزار آلات باید قبل و بعد از هر مجموعه ی قابل توجهی از اندازه گیری ها و قرائت اعداد، کالیبره شوند. (اگر کالیبراسیون خارج از محدوده باشد، قرائت با کالیبراسیون قبلی باید دوباره تکرار شود).

۴. کالیبراسیون باید توسط اداره ی ملی استاندارد قابل پیگیری باشد. دستیابی به اطلاعات قابل اعتماد به کالیبراسیون دوره ای ابزار بستگی دارد. کالیبراتورهای مورد نظر، سیگنال هایی آکوستیکی در فرکانس و ترازهای فشار صوت شناخته شده ارائه می دهند، برخی از کالیبراتورها انواعی از سیگنال ها را در فرکانس هایی مختلف ایجاد می کنند. برای اطمینان از اینکه کالیبراتورها درست هستند، بهتر است به مقیسه ی مکرر دو واحد فرکانس در یک ترازسنج صوت بپردازیم و به طور سالیانه، یکی از کالیبراتورها برای کالیبره ی مجدد برای

تولید کننده و یا یک آزمایشگاه قابل اطمینان ارسال کنیم. بنابراین نیاز است تا کالیبراسیون دستگاه ها توسط اداره ی ملی استاندارد پیگیری شود. دستورالعمل های کارخانه ی سازنده برای قرارگیری SLM باید در نظر گرفته شود چرا که، به عنوان مثال، موقعیت میکروفون می تواند در قرائت، به خصوص زمانی که نزدیک منبع صوت باشد، تحت تأثیر قرار بگیرد. اکثر ابزار آلات ساخته شده در ایالات متحده آمریکا، به گونه ای طراحی شده اند تا قرائت صحیح زمانی که میکروفون در محور صحیح و زاویه ی درست، در جهت انتقال صدا قرار می گیرد، اتفاق بیفتد. در ابزار ساخته شده در اروپا زمانی که میکروفون درست در منبع قرار بگیرد، قرائت صحیح خواهد بود. برای به حداقل رساندن تداخل میکروفون با بدن ناظر، موقعیت میکروفون حداقل ۱ متر دورتر از موقعیت ناظر به سمت میکروفون خواهد بود. (نسبت به منبع صوت).

به طور کلی، وقتی را برای قرائت ۱/۱۰ تراز صوت صرف نکنید. (حتی اگر دقت بهترین دستگاه  $\pm 1$  دسی بل باشد) در این صورت زمان قابل توجهی صرفه جویی می شود. در واقع گرد کردن اعداد خوانده شده به نزدیک ترین دسی بل، هزینه ای بر دقت کار متحمل نمی شود. (دقت را تحت تأثیر قرار نمی دهد).

به طور کلی، شما باید منطقه ی مورد نظر را قبل از دستیابی به تراز صوت نهایی برای اندازه گیری تطبیقی، جستجو نمایید. گاهی اوقات اثرات جهت می تواند در قرائت دسی بل ها در فواصل کوتاه، تغییراتی ایجاد کند. به عنوان مثال، یک منبع صدا که بخشی از آن توسط ساختار دستگاه محافظت شده است، و یا اپراتوری که در خارج و یا داخل سایه ی آکوستیکی قرار گرفته است. چندین قرائت ممکن است جهت ترسیم صدا در طیف وسیعی از موقعیت های استفاده شده توسط کارگر، به طور کامل، مورد نیاز باشد.

در اکثر موارد صنعتی، قرائت تنظیمات آهسته و در مقیاس A، برای اندازه گیری تطبیقی، استفاده شده است. با وجود ویژگی های متوسط تنظیمات «آهسته» و با وجود «دسی بل»، صدای صنعتی اغلب آنقدر متغیر است که خواندن توسط دستگاه مشکل می شود. روش نمونه گیری پیشنهاد شده، در تنظیمات آهسته SLM، هر ۱۵ ثانیه برای یک دوره ی زمانی ۳ تا ۵ دقیقه است که پس از آن مقدار میانگین محاسبه می شود. زمانی که به سرعت در حال خواندن مقدار تراز صوت هستید، دستیابی به متوسط انحراف تراز سنج به شرح زیر است:

• اگر اختلاف بین میانگین حداقل و حداکثر، به طور متوسط کمتر از ۶ دسی بل باشد، میانگین



این دو مقدار حداقل و حداکثر، استفاده می شود.

- اگر اختلاف بیشتر از ۶ دسی بل باشد، ۳ دسی بل پایین تر از مقدار متوسط حداکثر استفاده می شود.

- طیف موارد خوانده شده را ثبت نمایید. در صورتی که بیش از ۶ دسی بل باشد، نظرات خود را در خصوص علل احتمالی اضافه نمایید. علل معمول و رایج شامل: چرخه ی دستگاه و ضربات ناشی از هوا در تجهیزات در فرکانس هایی بسیار پایین می باشند.

### برخی از توصیه های کلی در مورد استفاده از ترازسنج صوت

- باد و یا جریان هوا می تواند سبب قرائت نادرست شود. استفاده از یک صفحه ی نمایش باد یا میکروفون برای هر اندازه گیری که شما قادر به احساس جریان هوا هستید، مورد نیاز است. صفحه ی نمایش باد باید با استفاده از یک میکروفون خاص طراحی گردد.

- ارتعاش در ترازسنج، می تواند قرائت را نامنظم نماید. (و یا منحرف سازد) ترازسنج را به طور مستقیم در مقابل دستگاه ارتعاشی قرار ندهید و همچنین SLM نصب شده بر روی سه پایه که در سطح بسیار مرتعش قرار دارد، حمایت نمی شود. در عوض دستگاه را صحیح نگه داشته، به طوری که لرزش به دستگاه منتقل نشود.

- رطوبت و دمای بالای اتاق نیز می تواند یک مشکل باشد. اگر میکروفون های نوع کندانسور برای آزمایش در مناطق با رطوبت بالا استفاده می شود، یک میکروفون مجزا و یدک در مکانی خشک نگه دارید. (در یک ظرف نگه داری خشک) و میکروفون های متناوب (بین SLM و ظرف نگه داری خشک) را برای زمانی که صدای ظاهری می شنوید و یا وقتی که انحراف نامنظمی در سوزن SLM ایجاد می شود مورد استفاده قرار دهید. (در صورت پایش با هدفون)

- انحراف مغناطیسی ترازسنج از تجهیزات قدرتی، مجاور، نیز می تواند مشکلاتی ایجاد کند. میدان های مغناطیسی معمولاً به سرعت در فاصله ی یک موتور یا یک ترانسفورماتور، افت می کنند. SLM را به اندازه ی کافی دورتر از تجهیزات الکتریکی - مغناطیسی قرار دهید تا مطمئن شوید که قرائت به طور کامل منتسب به سیگنال هایی صوتی است.

- موانع و یا دیوار می توانند مانع صدا و کاهش تراز صوت و یا انعکاس و یا حتی افزایش تراز صوت شوند. از موقعیت های اندازه گیری که موانع و دیوارها می توانند باعث تغییر میدان صوتی شوند، اجتناب کنید؛ مگر آنکه موقعیت به وضوح در محل طبیعی اپراتور باشد.

- برای اجتناب از افتادن ترازسنج در زمان جا به جایی با دست، آن را به وسیله ی یک بند

ایمن در اطراف میج ننگه دارید. در قرائت به صوت و ارتعاش اشاره شده است. مجموعه ای را برای فهرست کردن تأمین کنندگان ترازسنج صوت در نظر بگیرید. (و یا حتی انواع دیگری از ابزارهای آکوستیکی). هر سال، صدا و ارتعاش تمام مسائل مربوط به ابزار دقیق را در بر می گیرند. برای مثال، مسئله ی مارس ۱۹۷۸. بنابراین تعداد قابل توجهی از داده های آکوستیکی برای پشتیبانی از اطلاعات مواجهه با صدا، باید در نظر گرفته شود.

• برخی از این داده ها شامل محل کارخانه و محصول، پرسنل مربوطه و مواضع آنها در سازمان، افراد حاضر در طول اندازه گیری، مدت زمان اندازه گیری، چیدمان و ابعاد اتاق، طرح ماشین آلات، توصیف ماشین آلات و داده های عملیاتی (سرعت، کمیت، سایز محصولات تولید شده)، مدت زمان متوسط که ماشین آلات در حال فعالیت هستند و صدا تولید می شود، کارگر و مکان اندازه گیری و عکس ها می باشد.

استفاده از ترازسنج صوت در موقعیت هایی که در آن صدای محیطی وجود دارد و یا موقعیت کارگر به طور مداوم در حال تغییر است و یا حتی زمانی که یک چارچوب زمانی طولانی برای ارزیابی مواجهات خاص به اندازه ی کافی، مورد نیاز است، دشوار می باشد. بنابراین ابزار و روش های دیگری برای چنین موقعیت هایی در دسترس می باشند، اگرچه آنها را باید طبق صلاحدید مورد استفاده قرار داد.

### ۲-۳ دوزیمتر

علاوه بر ترازسنج صوت، ابزار دیگری که به طور گسترده برای تعیین میزان مواجهه صدا مورد استفاده قرار می گیرد، دوزیمتر می باشد. دوزیمترها به طور قابل توجهی نسبت به SLM ها کاربرد ساده تری دارند چرا که به طور خودکار مواجهات صدا را محاسبه می نمایند. تمام دوزیمترها، دستگاه هایی با باتری قابل حمل می باشند که به کارگر مورد پایش، متصل می گردند. هنگامی که آنها در حال فعالیت هستند، دوزیمترها به قرائت و ذخیره ی مقادیر یکپارچه ی دوز مواجهات صوت، می پردازند. در پایان یک دوره ی زمانی، دستگاه از کار باز می ایستد و خروجی ها به عنوان پایه و اساسی برای تعیین انطباق، مورد استفاده قرار می گیرند.

اگرچه دوزیمترها به دلیل سادگی ذاتی خود، مناسب به نظر می رسند، اما دارای برخی اشکالات نیز می باشند. در زمان انتشار این کتابچه ی راهنما، هیچ استاندارد ملی که عملکرد دوزیمترها را پوشش دهد، وجود ندارد.

مطالعات اخیر نشان می دهد که خریداران دوزیتر، غالباً کارایی بیشتر و یا کمتر را نسبت به قیمت آن، از نظر فردی می سنجند. NIOSH یک سند مربوط به عملکرد چند دوزیتر و چگونگی تست آنها را منتشر کرده است. به یاد داشته باشید که ممکن است تفاوت قابل توجهی (به اندازه کافی برای تعیین تأثیر اینکه آیا یک وضعیت منطبق است یا خیر) در نتایج بدست آمده با استفاده از «بهترین» دوزیتر و با استفاده از دوزیتر دیگر، تکنیک های سنتی و ارزشیابی مواجهه، وجود داشته باشد. بیش از حد توجه داشته باشید که، با جانبداری آگاهانه از موقعیت هایی با تراز صوت بالا و پایین و یا با دستکاری فیزیکی یک واحد (حرکت دادن میکروفون به داخل جیب، سایش و یا ضربه زدن به میکروفون و غیره) پوششده دوزیتر می تواند مقدار دوز مشخص شده را به مقدار بالا و یا پایین، تحت تأثیر قرار دهد. مشاهده ی دوره ای کارکنانی که دوزیتر را نصب کرده اند، به منظور تایید گواهی عادی بودن وضعیت اندازه گیری، الزامی است.

روش متفاوت دیگری برای تعیین میزان مواجهه با صدا سبب استفاده از تجزیه و تحلیل آماری از طریق ابزاری به نام «یکپارچه سنج صوت» می شود. یکپارچه سنج ها به طور خاص، برای دریافت سیگنال میکروفون ها و یا سیگنال های ضبط شده از مواجهات کارگر با صدا و محاسبه ی اندازه های آماری صدا، شمال دوز صدا، به صورت خودکار و نیمه خودکار در دسترس می باشند. بار دیگر، قرائت کننده، برای تهیه ی لیست تأمین کنندگان دوزیترها و سایر ابزارآلات و برای جزئیات بیشتر در عملکرد خود، لیستی را فراهم می کند.

## ۴ – چگونه از اندازه گیری خود مطمئن باشیم؟

اگر در اندازه گیری صدا از دستورالعمل های اندازه گیری استاندارد و یا مطابق دستورالعمل های ویژه ای پیروی شود آیا می توان مطمئن بود که نتایج حاصله از دقت مناسبی برخوردارند؟ باید توجه نمود که حتی پیروی از دستورالعمل های اندازه گیری نیز متضمن دقت کامل مقادیر حاصله نیست. برخی از دلایل و محدودیت های موجود در خصوص عدم دقت کامل نتایج به قرار زیر است:

- دقت ابزارها: بیشترین دقت ابزارهای اندازه گیری صدا برابر  $\pm 1$  dB می باشند. بنابراین حتی دو مدل یکسان از ۲ دستگاه صوت سنج کالیبره شده ی نوع ۱ ممکن است قرائت های متفاوتی داشته باشند. بدیهی است که ابزار کم دقت نوع ۲ ممکن است حتی، تفاوت های بیشتری را ایجاد نمایند.
- تفاوت عملکرد ابزارها: دو ابزار متفاوت، که هر دو استانداردهای آزمایشگاهی را برای پاسخ مناسب دریافت کرده اند ممکن است مقادیر صدا را متفاوت از یکدیگر نشان دهند. بنابراین با توجه

به جهت میکروفون و ویژگی های پاسخ فرکانس و نوع سیگنال هایی صدای مورد آنالیز، نتایج متفاوتی حاصل خواهد شد. اختلاف ۱ دسی بل و یا بیشتر، کاملاً رایج است و اختلافات بیشتر از ۳ دسی بل - خصوصاً در شرایطی که میزان تغییرات تراز صدا زیاد باشد - امکان پذیر است.

• پیچیدگی تعیین میزان مواجهه: شاید این موضوع مهم ترین عامل موثر در تفاوت میزان قرائت صدا باشد. الگوی روزانه ی مواجهه با صدا می تواند به میزان قابل توجهی روز به روز تغییر کند. این تنوع به ویژه به نوع شغل و کارگاه بستگی خواهد داشت. هیچ راه ساده ای برای رسیدگی به این همه پیچیدگی وجود ندارد. برای رفع این مشکل، شما ممکن است مجبور به چندین اندازه گیری جهت تعیین مقدار واقعی میزان مواجهه شوید.

• تراز صوت نزدیک ۹۰ دسی بل: دوز صدای روزانه ممکن است نزدیک به ۹۰ dB-A باشد. در صورتی که میزان دز دریافتی صدا کمتر و یا برابر ۹۰ dBA باشد براساس قوانین جاری می توان گفت که فرد در معرض خطرات ناشی از صدا قرار ندارد. اما اگر تراز صوت دقیقاً ۹۰ dB-A باشد آیا می توان گفت که واقعاً نیازی به کنترل صدا وجود ندارد؟ یک دستگاه صوت سنج از نوع ۱ ممکن است تراز صوت را ۸۹ dB-A و دیگری ۹۱ dB-A بخواند. بنابراین بایستی دقت نمود که همواره میزان خطای اندازه گیری مورد توجه قرار گیرد تا قضاوت اشتباهی در مورد میزان مواجهه افراد با صدا صورت نگیرد. به طور کلی می توان گفت که تعیین صحت و دقت اندازه گیری مهم ترین آیتم در تفسیر مواجهه با صدا است.

## ۵- مشکل صدا چقدر شدید است؟

هنگامی که مشخص می شود در یک محیط کار مشکل صدا وجود دارد باید با جدیت به آن پرداخته شود. به عبارت دیگر باید در مرحله اول مشخص نمود که شدت آن چه اندازه است؟ و این که چه مقدار کاهش صدا لازم است؟ تعیین هدف کنترل صدا براساس چارچوبی که به موجب تجزیه و تحلیل دقیق مشکل صدا بدست آمده است می تواند مفید باشد. پس از ایجاد احساس نیاز به کنترل صدا و اخذ تصمیم به انجام آن بایستی اهداف اختصاصی برای کاهش صدای منابع مشخص صدا که موجب آلودگی صوتی محیط شده اند در نظر گرفته شود. باید توجه نمود که بررسی و تجزیه و تحلیل دقیق از میزان مشکل آلودگی صوتی به ما در انتخاب عاقلانه ی روش های کنترل صدا کمک خواهد کرد.

قوانین، دستورالعمل ها و الزامات کلی کاهش صدا، نه تنها میزان کاهش مورد نیاز صدا را تعیین

می کنند بلکه می توانند تا حدی به انتخاب روش کنترل نیز کمک کنند. در ساده ترین حالت، این هدف ممکن است توسط مقررات، سیاست ها و خط مشی های شرکت و یا شرایط محیطی ایجاد شود. به عنوان مثال فرض کنید منابع تولید صدای یک خط کارخانه باعث شود تا صدای بیرون کارخانه برابر ۸۷ dBA باشد. در ضمن تصور کنید که مقررات محلی یا ملی میزان صدای محوطه بیرون را برابر ۷۱ dBA مقرر کرده باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که برای دستیابی به میزان صدا در حد مجاز بایستی ۱۶ دسی بل از میزان صدا کاست. در بسیاری از صنایع مواجهه فردی صدا ممکن است با یک صدای مداوم باشد. برای مثال می توان به اپراتور دستگاه پر کننده در کارخانه ی بسته بندی مایعات و یا اپراتور بافندگی در کارخانه ی نساجی اشاره داشت. تراز صدا در چنین محیط هایی می تواند در مجموع dB-A ۱۰۰ باشد. در چنین مواردی هدف کاهش صدا ممکن است به منظور برآورده شدن مقررات OSHA، ۱۰ دسی بل باشد. برای شرایط پیچیده تر و جایی که تراز صوت بیشتر از ۹۰ dBA و در حال تغییر باشد، میزان کاهش صدای مورد نیاز را می توان با تبدیل دوز صدای روزانه فردی به «تراز معادل صوت» محاسبه نمود. برای انجام این کار از معادله زیر که ترکیبی از معادله های فوق است، استفاده می شود:

$$\text{equivalent } L_A = \frac{\log D}{0.2 \log^2} + 90$$

برای مثال، اگر دوز صدای روزانه ی کارگر برابر ۲ دسی بل باشد، تراز معادل آن برابر  $L_A=95$  dBa می باشد. تفاوت بین ۹۰ dBa و تراز معادل صوت، نشان دهنده ی میزان کاهش صدای لازم است. بنابراین می توان آن را به عنوان هدفی برای کاهش صدا مورد استفاده قرار داد.

الگوی کاری کارگران در طول شیفت کاری می تواند نشان دهنده تغییرات میزان صدای دریافتی باشد. معمولاً الگوی کاری به نحوی است که کارگر در طول شیفت کاری خود در معرض صداهای مختلفی قرار می گیرد. فرض کنید کارگری به مدت ۲ ساعت در یک محیط آرام با صدای ۷۲ dBa (۱)، ۴ ساعت در یک محیط با صدای ۹۵ dBa (۲) و ۲ ساعت در محیطی با تراز ۱۰۰ dBa (۳) کار کند. در این صورت میزان دز جزئی صدا در هر محیط برابر است با:

$$\begin{aligned} \frac{2}{\infty} &= 0.0(۱) \text{ محیط} : \\ \frac{4}{4} &= 1.0(۲) \text{ محیط} : \\ \frac{2}{2} &= 1.0(۳) \text{ محیط} : \end{aligned}$$

در این مورد میزان دز کلی دریافتی کارگر برابر ۲ می باشد که از حد مجاز بیشتر است (حداکثر

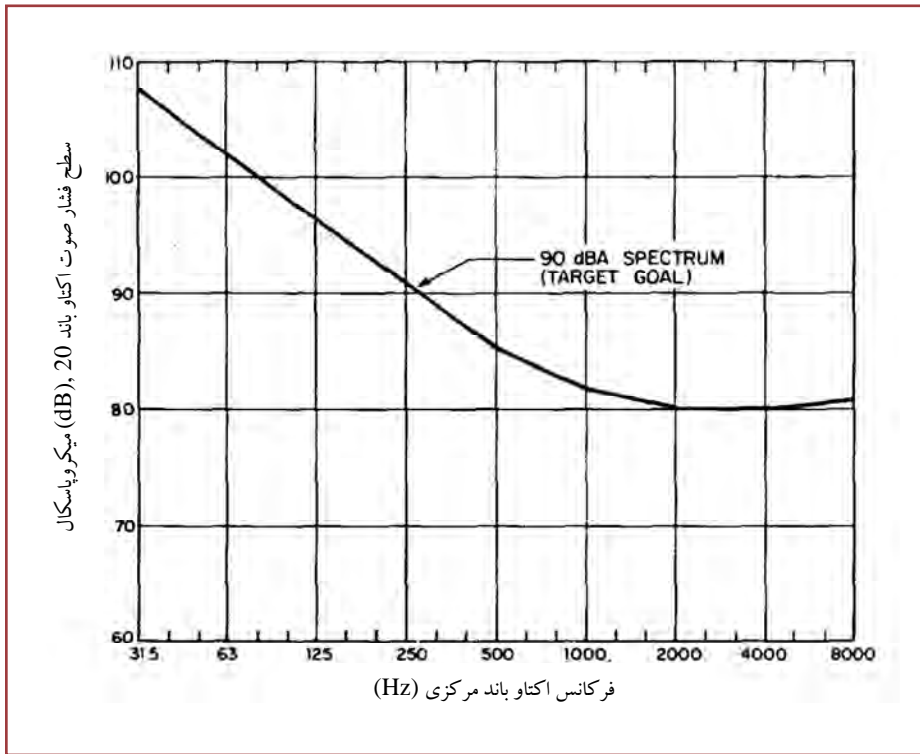
میزان دز کلی صدا نایبستی از ۱ بیشتر باشد). در چنین وضعیتی، شما می‌توانید چندین گزینه برای کاهش صدا در نظر بگیرید. به عنوان مثال در این مثال سه راه برای کاهش میزان مواجهه با صدا وجود دارد: اول کاهش میزان صدای محیط (۲) به زیر ۹۰ dBA، دوم کاهش میزان صدای محیط (۳) به زیر ۹۰ dBA، و سوم کاهش میزان صدای محیط‌های (۲) و (۳) به اندازه‌ای که میزان دز کلی صدا به زیر واحد (۱) تقلیل یابد.

گزینه‌های کاهش صدا را می‌توان به ترتیب زیر نمایش داد:

- کاهش صدای ۶ دسی بلی در محیط (۲) یا
  - کاهش صدای ۱۱ دسی بلی در محیط (۳) و یا
  - کاهش صدای ۶ دسی بلی در محیط (۲) به علاوه کاهش ۶ دسی بلی صدا در محیط (۳)
- در چنین مواردی که انواع مختلفی از کاهش صوت می‌تواند مدنظر قرار گیرد بایستی اقدام به تجزیه و تحلیل دقیق تری از موانع مربوط به کنترل صدا انجام داد.

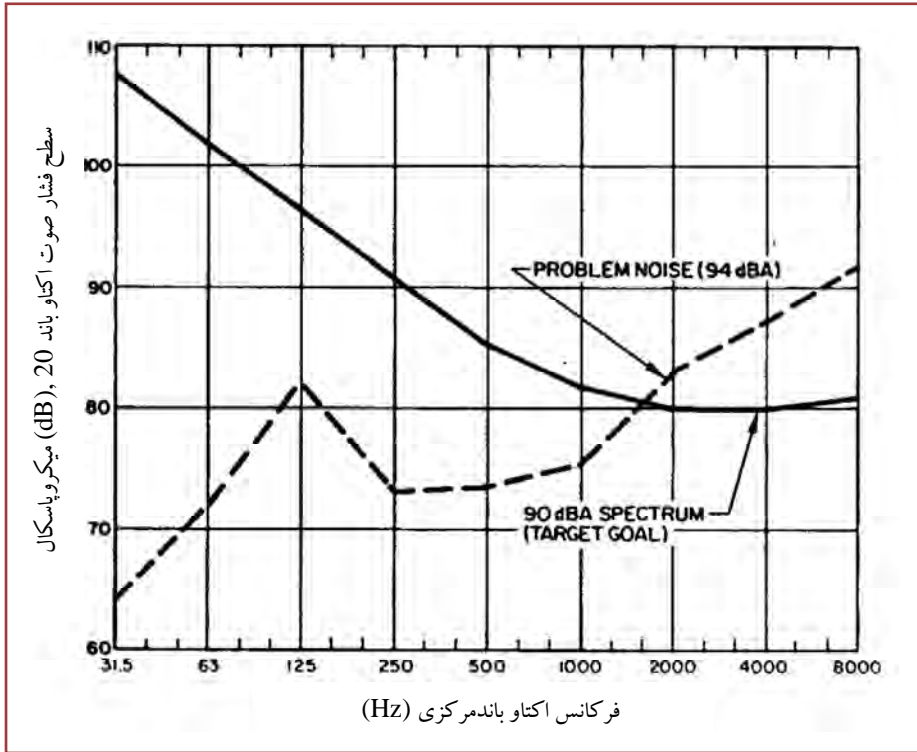
## ۶ – الزامات کاهش فرکانس به فرکانس صدا

آیا آنالیز فرکانس به منظور اندازه‌گیری شرایط موجود صدا مفید و کارآمد است؟ بله، جزئیات ارائه شده توسط تجزیه و تحلیل فرکانس در هردو مورد؛ تشخیص شدت مشکل و در تشخیص اینکه صدا از کجا می‌آید، کمک خواهد کرد کارآمد بودن آنالیز فرکانس در ارزشیابی شدت مشکلات صدا مشهود است هنگامی که می‌توان به فرکانس صدا که تراز فشار صوت به عنوان هدف کلی صدا، در نظر گرفته می‌شود (به عنوان مثال ۹۰ dBA) را براساس فرکانس، و با دقت، اشاره کرد. اگر اثر، طیف گسترده‌ای از فرکانس است که تراز خاصی از صدا را تولید و به وجود می‌آورد. («طیف فرکانس»، به توزیع یک صدای پیچیده، چه در سطح تراز فشار صوت اکتاوباند و یا در برخی، باریک، به ارزشیابی صدای کلی در پهنای باند اشاره دارد) شکل ۶ یک طیف خاص را نشان می‌دهد که اغلب برای مشکلات صدای OSHA مورد استفاده قرار می‌گیرد. این طیف از مطالعات قبلی و یا ارتباط بین دامنه و ویژگی‌های فرکانس صدای صنعتی و زمان مواجهه با ریسک آسیب شنوایی کارگران توسعه یافته است. این طیف می‌تواند به عنوان یک هدف مورد نظر برای رسیدن به تراز صدای ۹۰ dBA باشد.



شکل ۵- طیف فرکانسی توصیه شده برای مشکلات صدای OSHA

این طیف چگونه عمل می کند؟ روش به این صورت است: اندازه گیری توزیع فرکانس (در باندهای اکتاو) در موقعیت اپراتور و قرار دادن مقادیر اکتاوباند در یک گراف که حاوی طیف ۹۰ dBA و از پیش انتخاب شده. شکل ۶-۲ طرح مشکلی از صدا با تراز صوت ۹۴ dBA را نشان می دهد. توجه داشته باشید که هدف ۹۰ دسی بلا تنها در سال ۲۰۰۰، بیش از حد مجاز بوده است. ترازهای فشار صوت در آن سه اکتاوباند توسط اختلاف جبری بین ترازها در مشکل صدا و در طیف ۹۰ dBA بیش از حد می باشند که شما باید از کاهش مشکل صدا به زیر مقدار ۹۰ dBA مطمئن شوید. توجه داشته باشید که مزیت این روش این است که شما مشکل صدا را به بخشی از صدای کلی-صدا با فرکانس بالا، جدا خواهید کرد. بدون نیاز به در نظر گرفتن صدا با فرکانس کم، بنابراین تلاش بیشتری (در صورت نیاز) برای تمرکز بر صدا با فرکانس بالا وجود خواهد داشت.



شکل ۶- تعیین لزوم کاهش صدا

اما چرا بر یک باند فرکانس جدا شده، متمرکز می شویم؟ شما می توانید صدای ۹۴ dBA را به ۹۰ dBA توسط کاهش هر یک از اکتاو باندها به میزان تنها ۴ دسی بل، کاهش دهید. برای مخالفت با کاهش دسی بل بیشتر رویکرد هدف کاهش می یابد. آیا تلاش برای کاهش ۴ دسی بلی در مقابل کاهش سراسری راحت تر نمی باشد؟ به طور عمومی پاسخ «خیر» می باشد. تقریباً همواره کاهش صدا در اکتاو باندهای بالاتر، ساده تر و ارزان تر می باشد. بیشتر توجه داشته باشید که شما با پیدا کردن و درمان صرفاً آن دسته از منابع صوت با فرکانس پایین که دارای مشکل صدا می باشند، سود نخواهید برد. تراز صوت- در حقیقت توسط اکتاو باند بالاتر، بالا باقی می ماند، بدون توجه به آنچه در صدا با فرکانس هایی پایین انجام می شود. طیف ۹۰ dBA نشان داده شده در شکل های ۵ و ۶ به طور خودکار، فرکانس هایی که اغلب منجر به مشکل در تراز صدا هستند را مشخص می نماید. بنابراین، آنها مقادیری هستند که به کنترل صدا نیازمندند.



## ۷ - تشخیص منبع صدا

تا به این نقطه، بحث و گفتگو پیرامون آنالیز مشکل صدا، در تعیین اهداف کلی متمرکز شده است. در حال حاضر، اهداف خاصی چون میزان کاهش مناسب صدا برای یک دستگاه و یا فرایند خاص را در نظر می‌گیریم.

این جنبه از تجزیه و تحلیل مشکل صدا با شناسایی اینکه صدا از کجا آمده است، ارتباط نزدیکی دارد: موضوع تشخیص مشکل صدا برای انجام تشخیص حتی یک مشکل ساده، شما باید قادر به تجمیع دسی بل باشید.

### ۷-۱- جمع دسی بل

محاسبات درگیر با جمع دسی بل در مهندسی کنترل صدا بسیار اساسی می‌باشند. فرض کنید که تراز صوت دو منبع جداگانه را می‌دانیم، و می‌خواهیم تراز کل صوت را زمانی که منابع به طور همزمان کار می‌کنند را بدست آوریم. یک فرض اساسی وجود دارد که صداها تصادفی هستند و آنها هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند. (به این معنا که تن‌های خالص قوی یکسان ندارند) فرمول برای محاسبه ی تراز مشترک  $L_c$ ، از ۲ تراز دسی بل جداگانه ی  $L_1$  و  $L_2$  به صورت زیر است:

$$L_c = L_1 + 10 \log\left[10^{\frac{L_2-L_1}{10}} + 1\right]$$

به عنوان یک مثال عملی، شما ممکن است در حال حاضر ترازهای صوتی و یا دو منبع صوت جداگانه که هر کدام به تنهایی فعالیت می‌کنند را اندازه‌گیری و یا بدست آورده باشید (در یک فاصله و یا موقعیت مشخص شده)، و شما می‌خواهید تراز صوت هر دو آنها را بدانید (در یک فاصله ی یکسان): برای صداها تصادفی، مجموع اندازه‌گیری در SLM باید با مجموع محاسبه شده با استفاده از معادلات بالا و شکل ۷ یا جدول ساده ی تجمیع دسی بل ۳ بدون فرمول، موافق باشد. (در دقت اندازه‌گیری حدود ۱ دسی بل)

فرم جایگزین تجمیع دسی بل، که با قوانین ساده ای می‌توان آموخت (دقت نتایج  $\pm 1$  دسی بل) این گونه است:

۱. هنگامی که دو تراز دسی بل برابر یا در محدوده ی ۱ دسی بل از یکدیگر هستند، مجموع آنها ۳ دسی بل بالاتر از تراز جداگانه ی بیشتر است. برای مثال:

$$89\text{dba}+89\text{dba}= 92 \text{ dba}, 72 \text{ dba}+ 73 \text{ dba} = 76\text{dba}$$

۲. هنگامی که ۲ تراز دسی بل ۲ یا ۳ دسی بل اختلاف دارند، مجموع آنها ۲ دسی بل بالاتر از تراز جداگانه ی بیشتر خواهد بود. برای مثال:

$$87\text{dba} + 89\text{ dba} = 91\text{ dba} \quad 79\text{ dba} + 76\text{ dba} = 81\text{ dba}$$

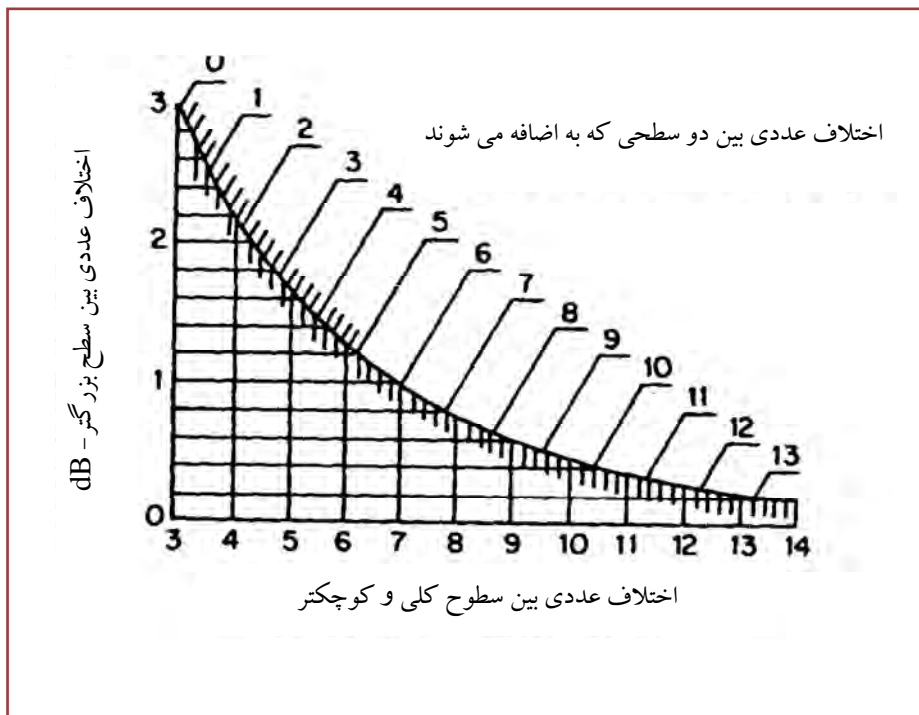
۳. هنگامی که ۲ تراز دسی بل ۴ تا ۹ دسی بل اختلاف داشته باشند، مجموع آنها ۱ دسی بل بالاتر از تراز جداگانه بیشتر خواهد بود. برای مثال:

$$82\text{ dba} + 86\text{ dba} = 87\text{ dba}$$

$$32\text{db} + 40\text{ db} = 41\text{ db}$$

۴. هنگامی که ۲ تراز ۱۰ دسی بل و یا بیشتر اختلاف داشته باشند، مجموع آنها برابر با تراز جداگانه ی بیشتر، خواهد بود. برای مثال:

$$82\text{ db} + 92\text{ db} = 92\text{ db}$$

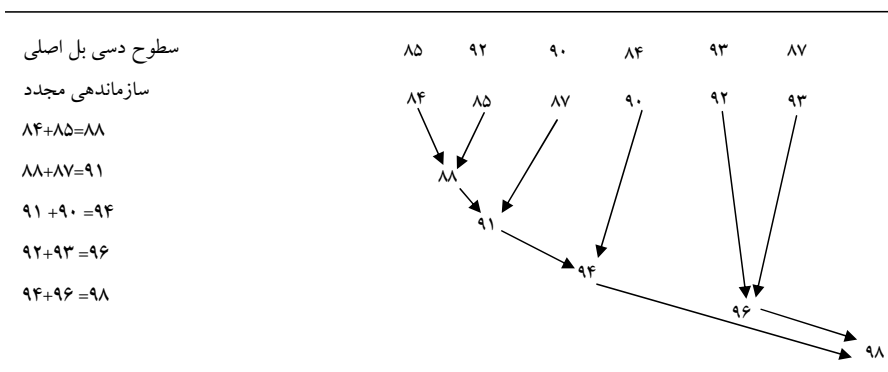


شکل ۷- نمودار ترکیب ترازهای دسی بل

| مقداری که باید به سطح بزرگتر اضافه شود تا جمع دسی بل به دست آید. (dB) | اختلاف بین دو سطح دسی بلی که اضافه می شوند. (dB) |
|---|--|
| ۳   | ۰  |
| ۲/۶   | ۱  |
| ۲/۱   | ۲  |
| ۱/۸   | ۳  |
| ۱/۴   | ۴  |
| ۱/۲   | ۵  |
| ۱/۰   | ۶  |
| ۰/۸   | ۷  |
| ۰/۶   | ۸  |
| ۰/۶   | ۹  |
| ۰/۶   | ۱۰   |
| ۰/۶   | ۱۱   |
| ۰/۶   | ۱۲   |

جدول ۳- ترکیب مجموع ترازهای دو دسی بل

هنگام جمع ترازهای دسی بل، برای یافتن ترازهای مشترک از دو تراز پایین تر شروع کنید و سپس مجموع آنها را به ترازهای بالاتر بعدی اضافه نمایید، ادامه دهید، تا زمانی که تمام ترازها گنجانده شوند. جدول ۴ مثالی از چگونگی جمع چند تراز برای یافتن تراز کلی را بیان کرده است.



جدول ۴- مثال جمع دسی بل

سیگنال هایی غیر تصادفی از روش های شرح داده شده در بالا تبعیت نمی کنند: اگر دو منبع یکسان با سیگنال تن خالص در فرکانس یکسان منتشر کنند، آنها منابع منسجم خوانده می شوند و نه منابع تصادفی. اگر هر دو منبع در سطحی کاملاً برابر و دقیقاً در یک فاز متناسب با یکدیگر در موقعیت اندازه گیری قرار گرفته باشند، مجموع آنها می تواند به همان اندازه ی ۶ دسی بل و یا بالاتر برای سیگنال هایی مجزا، اضافه گردد. اگر سیگنال ها دقیقاً در فاز یکسان اندازه گیری نباشند، می توانند با یکدیگر تداخل داشته باشند و تن اندازه گیری شده می تواند در موقعیت اندازه گیری خاص محو شده به نظر برسد. وقوع منابع واقعاً منسجم در مشکلات عملی کارخانه بسیار بعید است که افزایش دسی بل تن دقیقاً در فاز یک موقعیت مشخص تقریباً هرگز در نظر گرفته نشده و نادیده گرفته می شود.

شناسایی ابزار آلات صوتی: موارد ساده

در این نقطه، شما برای انجام برخی از ارزیابی های ساده به منظور تعیین موقعیتی که مشکل صدا در آن نهفته است، آماده می شوید که به عنوان یک گام مقدماتی در کنترل صدا هستند. واقعاً ساده است. اما برای اندازه گیری و مشاهده ی ترازهای صوتی در موقعیت های مورد نظر روشن ترین می باشند. چنین اندازه گیری و مشاهداتی ممکن است وجود یک یا دو دستگاه پر سروصدا را فاش نماید. به عنوان مثال از چگونگی عملکرد این روش، فرض کنید این اندازه گیری ها در موقعیت اپراتور انجام شوند:

با تمام تجهیزات در حال اجرا ۹۲dBa

با تنها دستگاه خاموش ۹۲dBa a

با تنها دستگاه خاموش ۸۹dBa b

با تنها دستگاه خاموش ۸۸dBa c

این نشان می دهد که دستگاه به مقدار ناچیزی با کل اندازه گیری تراز صدا مرتبط است. (دستگاه a باید کمتر از ۸۳ dBa باشد، در غیر این صورت تراز ۹۲ dBa زمانی که خاموش شود، تغییر خواهد کرد). دستگاه b و c تحت شرایط مواجهه با صدا قرار می گیرند، تراز صدای ۹۲ dBa به طور کامل برای تجمیع سهم خود، اختصاص داده می شوند.

(88 dba+ 89 dba=92 dba) هنگامی که شرایط صدا را ارزیابی می نمایید، بهتر است اطلاعات تراز فشار صوت را همانند اطلاعات تراز صدا از اکتاوباند بدست آورید. اطلاعات دقیق و با جزئیات بیشتر ممکن است مزیت های آنی داشته باشند، پیرو مثال بالا، ممکن است طیفی از صدای ۸۹

dBa و ۸۸ dBa را خواهید یافت که به ترتیب، فرکانس پایین و فرکانس بالا در طبیعت هستند. آشنایی با صدایی با فرکانس بالا، کاهش آن را آسان تر می نماید، و شما می توانید برای تصحیح آن که از ۸۹ dBa دستگاه C به مقدار کافی کاهش خواهد یافت، جستجو را آغاز نمایید. بنابراین سهم آن دستگاه و دستگاه a از ۸۶ dBa بیشتر خواهد بود (سپس ۸۸ دسی بل + ۸۶ dBa برابر ۹۰ دسی بل خواهد بود) شما حتی ممکن است طیف صدایی در محدوده ی ۸۶ dBa را برآورد نمایید که هنگامی که با طیف صدای ۸۸ dBa ترکیب می شود در مجموع صدای ۹۰ dBa را تولید می کند که سپس برای تعیین مقدار کاهش صدای مورد نیاز براساس اکتاوباند، مورد استفاده قرار می گیرد. جزئیات کنترل صدا پس از آن می تواند برای فعال کردن کاهش مورد نظر در نظر گرفته شده و طراحی شود.

سایر اندازه گیری های ساده ممکن است برای اشاره ی دقیق به ترکیب صدا در دستگاه های پیچیده مورد استفاده قرار بگیرد. در برخی موارد، یک دستگاه ممکن است در طول دوره ای از خرابی های برنامه ریزی شده، مورد مطالعه قرار بگیرد. دستگاه می تواند در حالت های مختلف عمل کند، که احتمالاً می تواند جنبه های پر صدایی از عملیات خود را نشان دهد. برای مثال، شما ممکن است دریابید که مشکل صدا زمانی که سیستم پنوماتیک غیرفعال است، از بین می رود و یا اینکه مشکل صدا هنگامی که یک جزء خاص برداشته می شود، کاهش می یابد.

مشکل کنترل صدا مرکب از چندین منبع صوت است که با تراز کل صوت برابر وجود دارند. (حتی قطعات جداگانه ای از تجهیزات و یا اجزاء مختلف یک قسمت از تجهیزات) (به عنوان مثال، سه ماشین، هر یک با صدای محیطی ۹۶ dBa تا ۱۰۱ dBa) وقتی با چنین وضعیتی مواجه می شویم، چند راه حل جایگزین برای طراحی ممکن است ایجاد شود. برای مثال، سه دستگاه ۹۶ dBa که فقط ذکر شده است. فرض می کنیم که شما می خواهید تراز ۱۰۱ dBa را به ۹۰ dBa کاهش دهید، یک کاهش ۱۱ دسی بلی.

ابتدا، این کاهش را می توان به واسطه ی کاهش انتشار صوت از هر دستگاه به مقدار ۱۱ دسی بل بدست آورد:

از این دو، تجمیع دسی بل ها:

$$85 \text{ dba} + 85 \text{ dba} + 85 \text{ dba} = 90 \text{ dba}$$

یا دو دستگاه می تواند تا ۱۳ دسی بل کاهش داشته باشد و یک ماشین تنها ۸ دسی بل کاهش داشته باشد. بنابراین:

$$83 \text{ dba} + 83 \text{ dba} + 88 \text{ dba} = 90 \text{ dba}$$

یا یک دستگاه می تواند ۱ دسی بل، دیگری ۱۲ دسی بل و دستگاه دیگر ۷ دسی بل کاهش داشته باشد. بنابراین:

$$77 \text{ dba} + 84 \text{ dba} + 89 \text{ dba} = 90 \text{ dba}$$

در هر مورد، نتیجه برای مجموع ۳ دستگاه تصحیح شده، ۹۰ dBa خواهد بود. واضح است که مقدار کاهش صدای مورد نیاز برای هر دستگاه یک مقدار ثابت نیست و مهندس کنترل صدا در انتخاب تجهیزات تصحیح و مقدار درجه، مواردی را در نظر خواهد گرفت.

### ۲-۷ روش عمومی

در بخش قبل، بحث ما شناسایی منابع صوت و مشکلات صدا در موقعیتی بود که به نوبه ی خود امکان خاموش و روشن کردن تجهیزات وجود داشت. اغلب، مهندس کنترل صدا، با وظیفه ی شناسایی ضروریات بدون استفاده از تجهیزات لوکس مواجه می شود که به راحتی توسط او، عمل می کنند. او چگونه آن را انجام می دهد؟ مهندس کنترل صدا به دانش خود در زمینه ی صدا و رفتار صدا، تبدیل می شود. (این موضوع بعداً به طور مفصل مورد بحث قرار خواهد گرفت) اساساً مهندس کنترل صدا از دو مورد بدست می آید: (۱) دانش او درباره ی چگونگی انتشار صدا از یک مکان به مکان دیگر و (۲) اطلاعات جمع آوری شده در و یا نزدیکی یکی از عوامل مشکوک به صدا، برای بررسی اینکه آیا سوء ظن او درست بوده است یا خیر. تراز صوت در اطراف یک منبع، در صورتی که منبع قابل توجهی باشد، تقریباً همواره بالاتر از نزدیک آن است و یا به عبارت دیگر، تولیدکنندگان صدا در نزدیکی آنها پرصداتر هستند. شما معمولاً می توانید چیزی در مورد توان منبع صدا- چه مقدار صدا منتشر شده است- از طریق اندازه گیری میدان صدا در نزدیکی منبع، یاد بگیرید.

### توان منبع، تراز توان منبع:

مقدار صدای منتشر شده توسط منبع توسط توان صوت آن تعیین می شود. تا حدودی شبیه به تعیین توان لامپ های الکتریکی ۴۰۰ وات، ۷۵ وات، ۱۰۰ وات و غیره. در واقع، واحد توان صوت همچنین به وات بیان می شود.

برای مرتبط سازی توان صوت با سایر موارد مشابه، یک پشه توان صوتی در حدود  $10^{-11}$  وات و یک رعد و برق، پیک توان صوتی بیش از یک میلیون وات را داراست. متوسط توان صوت گفتار انسان

در تراز صدای نرمال در حدود  $10^{-4}$  وات، ارکستر سمفونی با صدای بلند توان صوتی در حدود  $10^4$  وات و یک جت ۴ موتوره در هنگام برخاستن توان صوتی در حدود  $10^4$  وات دارد. با چنین طیف وسیعی از توان برای بسیاری از منابع صوتی امری عادی است. استفاده از واحد دسی بل و همچنین فشرده سازی دامنه ی اعداد برای قابل کنترل بودن، امری بدیهی ست. پایه ی مرجع توان صوت  $10^{-12}$  است و تراز توان صوت ( $L_w$  دسی بل) از یک منبع نسبی به شرح زیر است:

$$L_w = L \log + \left( \frac{\text{نیروی ساطع شده، وات}}{10^{-12} W} \right)$$

پس از آن، پشه تراز توان صوتی در حدود  $10^{-12}$  دسی بل (با مرجع  $10^{-12}$  وات) و هواپیمای جت در حال برخاستن تراز صوت  $160$  دسی بل (با مرجع  $10^{-12}$ ) دارد. از آنجا که دسی بل برای هر دو تراز فشار صوت و تراز توان صوت استفاده می شود، همیشه لازم است به وضوح واحد مورد استفاده را نشان دهید.

از آنجا که قبلاً ذکر شد، بسیار ناخوشایند است که برای اشاره به تراز فشار صوت بارها و بارها به مقدار مرجع فشار صوت  $20$  میکرو پاسکال اشاره کرد، رایج است که برای اطمینان از اینکه تراز صوت مورد استفاده قرار می گیرد، مرجع توان پایه براساس  $10 - 12$  وات خواهد بود. از این رو، اصطلاح «مرجع  $10^{-12}$ » در عبارت بالا برای تراز توان صدای پشه و جت مورد استفاده قرار گرفته است. دلیل عملی دیگری برای ارجاع به مقدار  $10^{-12}$  وات وجود دارد. قبل از آنکه ایالت متحده به سازمان استانداردهای بین المللی مورد استفاده در اصطلاحات مشترک آکوستیک بپیوندد، تراز توان صوت مرجع مورد استفاده در این کشور  $10^{-13}$  وات بوده است. قبل از سال  $1963$  تا  $1965$ ، ادبیات آکوستیک در ایالات متحده به طور منظم برای داده های تراز توان صوت به مقدار  $10^{-13}$  وات اشاره داشته است. اگر داده های دوره های اخیر در مطالعه ی فعلی مورد استفاده قرار می گرفتند، داده ای با مرجع مثبت تعیین می شد.

$10^{-13}$  دسی بل از تراز توان صوت نسبت به  $10^{-13}$  وات، آنها را به نسبت پایه ی  $10^{-12}$  تبدیل می نماید. چگونه می توان داده های تراز توان صوت را در تشخیص منبع، مورد استفاده قرار داد؟ تراز توان صوت منتشر شده توسط یک «منبع نقطه ای ایده آل» (منبع انتشار صدای یکنواخت در تمام جهت) با تراز فشار صوت در فاصله ی  $r$  از طریق معادله زیر مرتبط می گردد:

$$L_W = L_P + 10 \log 4\pi r^2$$

که در آن  $r$  بر حسب متر بیان می شود و یا:

$$L_W = L_P + 10 \log 4\pi r^2 - 10$$

که در آن  $r$  بر حسب فوت بیان می شود.

برای این دو معادله، منبع صدا به گونه ای تصور می شود که هیچ سطح منعکس کننده ای در نزدیکی آن نباشد، این امر می تواند به عنوان یک منبع انتشار کروی در میدان آزاد باشد که یک ارتباط اساسی در تشخیص منبع، شناخته شده است.

برای بیان استفاده از آن، توجه داشته باشید که اگر ما  $L_P$  را در یک موقعیت نزدیک به منبع اندازه گیری نماییم، می توانیم  $L_W$  را برای آن منبع محاسبه و سپس  $L_P$  ای را که منبع در یک موقعیت با فاصله ی بیشتر قبلاً نزدیک مکان اقامت و قرارگیری کارگر، تعیین می نماییم. در عمل، بسیاری از منابع صوت، صدا را به طور یکنواخت و در تمام جهات منتشر نمی سازند و سطوح منعکس کننده ممکن است در نزدیکی آنها قرار داشته باشد. برای یک منبع نقطه ای ایده آل در، و یا نزدیک به یک نقطه ی وسیع و یا در نزدیکی زمینی در یک منطقه ی باز، صوت به صورت نیمکره منتشر می شود و معادله زیر برای  $r$  بر حسب متر خواهد بود:

$$L_W = L_P + 10 \log 2\pi r^2$$

و برای  $r$  بر حسب فوت:

$$L_W = L_P + 10 \log 2\pi r^2 - 10$$

در حالت کلی تر، منبع یک منبع نقطه ای نیست، بلکه دارای مقادیر محدودی از طول، عرض و ارتفاع نیز می باشد. در این مورد، توان صوت و تراز فشار صوت مرتبط، براساس معادلات زیر عبارتند از:

$$L_W = L_P + 10 \log S$$

که  $S$  بر حسب مترمربع بیان می شود و یا:

$$L_W = L_P + 10 \log S - 10$$

$S$  بر حسب فوت بیان شده است.

در دو معادله قبل  $S$  محیط پوسته مانند مجازی در سراسر منبع است؛ و  $L_P$  تراز فشار صوتی است در هر نقطه ای از پوسته ی مجازی، وجود دارد. فرض کنید که منبع، صدای خود را به طور یکسان



به تمام بخش های پوسته منتشر نمی سازد، شاید بخشی از منبع صوت، صدایی بلندتر، پیچیده تر و با تراز فشار صوت بالاتر (SPL ها) نسبت به بخش دیگر منبع، منتشر سازد. برای چنین شرایطی، معادلات فوق باید به چندین بخش تجزیه شوند که در آن  $L_{p_1}$ ، SPL یک عنصر در منطقه ای به مساحت  $S_1$  پوسته،  $L_{p_2}$ ، SPL متفاوت از دیگر عنصر و در منطقه ای با مساحت  $S_2$  و به همین ترتیب در کل محدوده ی همه ی  $L_p$  ها تصور می شوند.

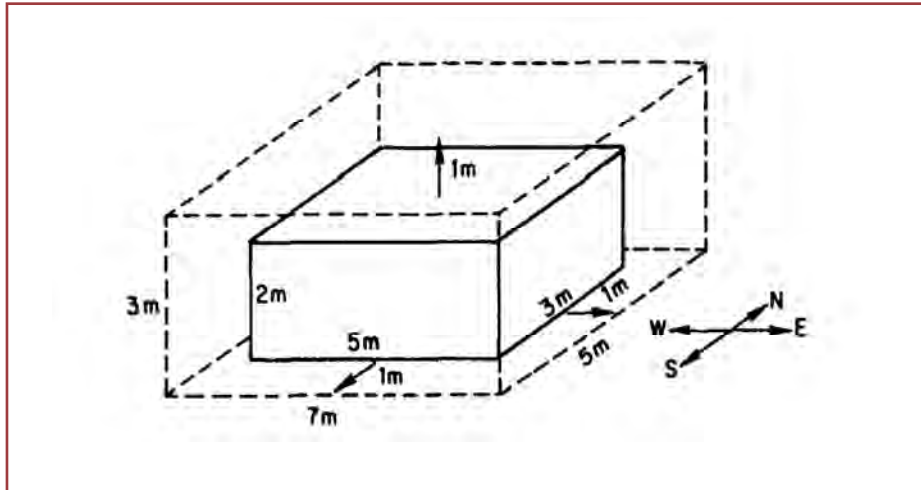
$$L_W = \sum_{1=1}^n [L_p + 10 \log S_1] \text{ (for } S \text{ in } m^2)$$

یا

$$L_W = \sum_{1=1}^n [L_p + 10 \log S_1 - 10] \text{ (for } S \text{ in } ft^2)$$

سپس، به عنوان مثال، شکل ۸-۱ پوسته ی مجازی را در اطراف منبع صوت مورد نظر در فاصله ی یک متری، نشان می دهد. ابعاد منبع همان طور که در این طرح نشان داده شده است  $2m \times 3m \times 5m$  می باشد. پوسته ی مجازی در شمال و جنوب در هر سطح مساحتی برابر ۲۱ مترمربع و در انتهای شرق و غرب مساحتی برابر ۱۵ مترمربع و در بالای پوسته مساحتی برابر ۳۵ مترمربع دارد. برای این مثال ساده فرض کنید SPL در سراسر سطح شمالی پوسته به طور یکنواخت ۹۸ دسی بل است: برای سطح جنوبی ۹۳ دسی بل و در شرق ۸۸ دسی بل و برای قسمت غربی ۹۰ دسی بل و برای سطح بالایی آن ۹۵ دسی بل می باشد. توان کلی صدای منتشر شده از این سطح با استفاده از معادله مربوطه به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} L_w &= (98+10 \log 21) \text{ dB (N)} \\ &+ (93+10 \log 21) \text{ dB (s)} \\ &+ (88+10 \log 15) \text{ dB (E)} \\ &+ (90+10 \log 15) \text{ dB (W)} \\ &+ (95+10 \log 35) \text{ dB (Top)} \end{aligned}$$



شکل ۸- منبع صدا (خطوط توپر) را در سطح کارخانه فرض می کند که توسط یک پوسته (خط چین ها) در فاصله ی یک متری آن احاطه شده است. این اجزاء به تجمیع دسی بل ها اضافه می شوند، بنابراین:

$$Lw = (111.2 + 106.2 + 99.8 + 101.8 + 110.4) \\ = 114.9 \text{ dB or } 115 \text{ dB re } 10^{-12} \text{ w}$$

محاسبات را می توان به مقدار ۰/۱ دسی بل اجرا کرد، اما مقدار نهایی را باید به نزدیک ترین عدد صحیح گرد کرد.

دو ملاحظات عملی، اعتبار این مثال را محدود می سازد. ابتدا، در عمل تراز صدای یکنواخت در اطراف یک ناحیه ی وسیع با پوسته ی مجازی، غیر محتمل و بعید است، بنابراین ضروری است چندین مقدار SPL در اطراف هر منطقه ی مورد نظر به منظور تقسیم هر SPL برای مقادیر مناطق، گرفته شود. دوم، زمانی که اندازه گیری SPL نزدیک به منبع نسبتاً بزرگ انجام می شود، صدای منتشر شده مانند صدای انتشار یافته از منبع نقطه ای در یک میدان آزاد نخواهد بود. در عوض، مقدار SPL گرفته شده نزدیک میدان منبع صدا، جایی که در آن میدان صدا تحریف شده است، لازم نیست که نماینده ای از توان صوت واقعی و کلی که منتشر شده است برای فواصل طولانی در میدان آزاد، در نظر گرفته شود. در نتیجه، خطای چند دسی بل ممکن است در این فاصله ی نزدیک به منابع بزرگ تر ایجاد شود و اساساً پیش بینی مقدار خطای مورد انتظار، غیر ممکن می باشد. بنابراین، لازم است برای مواجهه با خطاهای نامشخص، آماده باشید. (احتمالاً

بیش از ۵ تا ۸ دسی بل برای منابع بزرگ، اما برای منابع بسیار کوچک، این خطاها نسبتاً ناچیز می باشد)

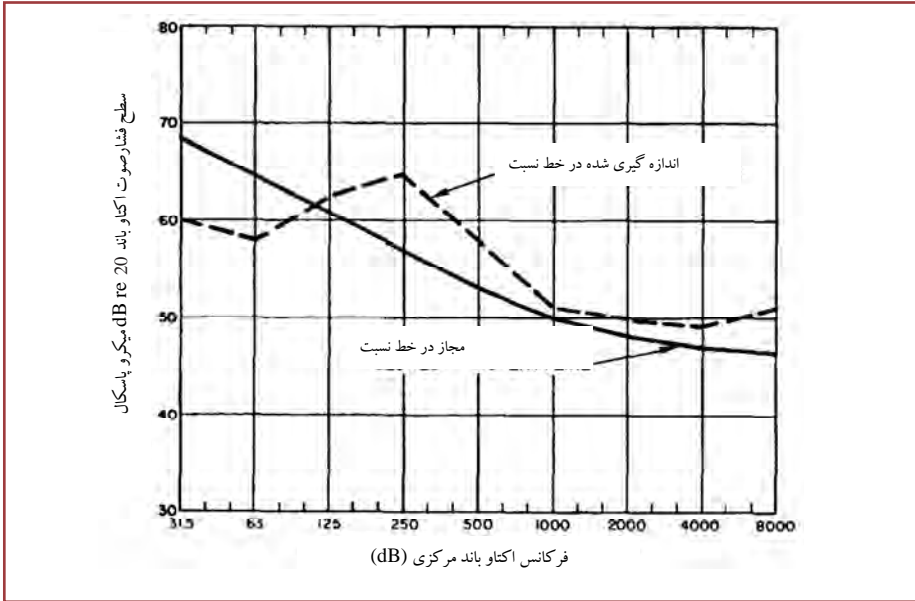
به رغم چنین مشکلاتی، مفهوم تراز توان صوت در تشخیص و شناسایی منابع صوت، بسیار مفید می باشد. برای نمایش این کمک، میکروفونی را از یک ترازسنج صوت را فرض کنید که می تواند در محدوده ۵ سانتی متری از یک منبع صدای کوچک قرار گیرد؛ و تراز فشار صوت آن در ۱۰۰۰ هرتز اکتاوباند ۱۰۵ دسی بل برآورد شود. دستگاه بزرگ تر و وسیع تر از آن تراز صوتی نزدیک به ۹۵ دسی بل در اکتاوباند ۱۰۰۰ هرتز خواهد داشت. ترازهای توان صوت این دو منبع را جهت تعیین کنترل صدا در این فرکانس برآورد نمایید. مقدار ۱۰۵ دسی بل را در محدوده ۱۰۰ cm×100 cm یا ۱۰۰۰ سانتی مترمربع ( $=0.1 \text{ m}^2$ ) فرض کنید، در حالی که مقدار ۹۵ دسی بل در مساحتی در حدود ۱۰ مترمربع و یا  $2.5 \times 4 \text{ m}$  وجود دارد. از معادله پیش، می توان صوت تقریبی در حالی که نسبتاً تراز توان صوت منبع با مساحت بزرگ است به دست می آید:

$$L_w = (105 + 10 \log 0.1) \\ = 95 \text{ dB re } 10^{-12} \text{ w}$$

$$L_w = (95 + 10 \log 10) \\ = 105 \text{ dB re } 10^{-12} \text{ w}$$

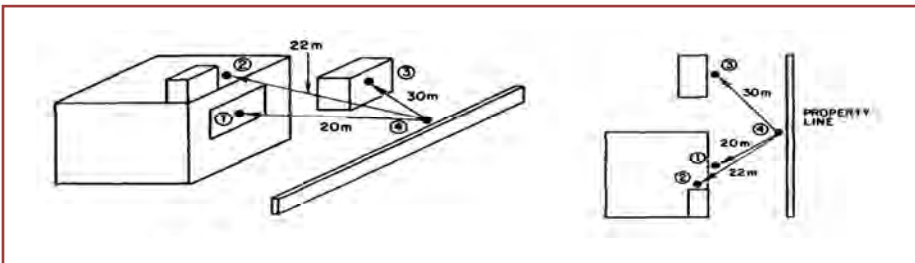
حتی اگر مقادیر تراز توان در چند دسی بل خطا داشته باشد، این مقایسه نشان می دهد که منابع با سطح بزرگ، توان صوت کلی بیشتری نسبت به منابع با سطح کوچک منتشر می سازند، حتی اگر منبع کوچک تراز فشار صوت موضعی بالاتر داشته باشد.

برای کنترل صدا در آن دستگاه، صدای ناشی از منبع بزرگ تر با قبل از آنکه لازم به توجه جدی به منبع کوچک باشد، حدود ۱۰ دسی بل کاهش داشته باشد. مثال دیگری از اینکه داده های تراز فشار صوت چگونه در تشخیص منبع صدا استفاده می شود در شکل ۹ نشان داده شده است. این مثال (تصویر) طیف صدای موجود در مسیر مناسب یک کارخانه و طیف صدای هدف برای آن شرایط را نشان می دهد. توجه داشته باشید که ترازهای فشار صوت در ۱۲۵ تا ۸۰۰۰ هرتز اکتاوباند، بیش از حد مجاز می باشند.



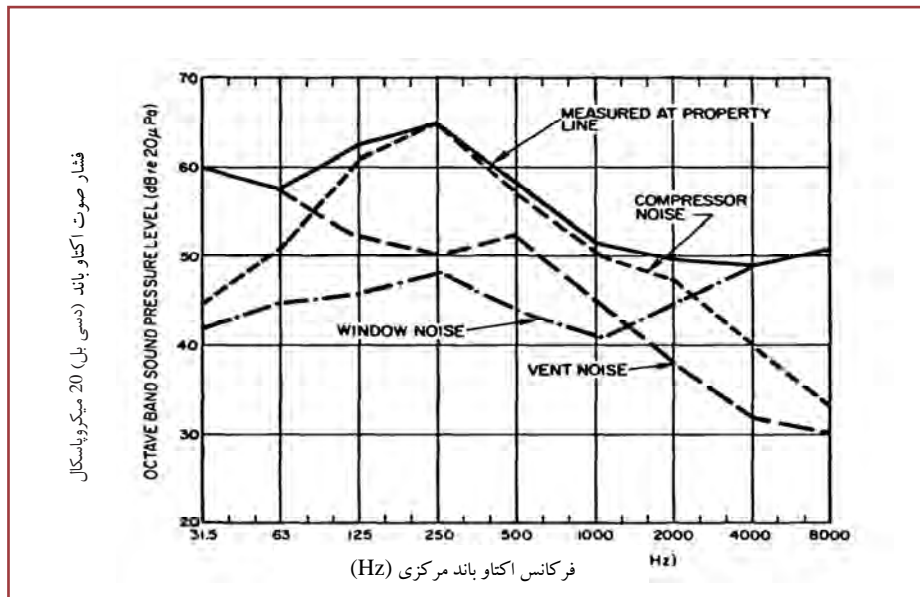
شکل ۹- شرایط شکل فرضی

داده های نزدیک در ۱ متری هر ۳ منبع ممکن (شکل ۱۰) در مسیر صوتی مناسب بدست می آیند، که پس از آن برای تعیین منابع صوت قابل تصحیح مورد بررسی قرار می گیرند. تراز هر منبع از معادله پیش بدست می آید و از معادله پیش از آن سهم مورد انتظار از هر منبع برای اندازه گیری در مسیر صوتی مناسبی برآورد می شود. (در این مثال، هر منبع صوت با انتشار نیم کره ای، در نظر گرفته می شود).



شکل ۱۰- محل قرار گیری منابع صدا (۱-۳) مرتبط با موقعیت تراز مناسب (۴) برای استفاده به عنوان مثال در اینجا شکل ۱۱ نتایج محاسبات در جدول ۴ را نشان می دهد. محاسبات نشان

می دهند که درجه ی صدا برای تراز فشار صوت در ۳۱,۵ تا ۶۳ هرتز اکتاوباند مسئول است. تراز فشار صوت صدای کمپرسور برای ۱۲۵ تا ۵۰۰۰ هرتز اکتاوباند و به طور جزئی در ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ هرتز اکتاوباند مسئول است و صدایی که از طریق پنجره به گوش می رسد، برای ترازهای فشار صوت در ۱۰۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز باند مسئول می باشند. از آنجا که ترازهای ۳۱,۵ و ۶۳ هرتز اکتاوباند در مورد این مشکل مهم نیستند، درجه ها نیاز به تصحیح ندارند. با این حال، هر دوی پنجره و کمپرسور نیاز به تصحیح دارند و میزان تصحیح مورد نیاز از تفاوت بیت ترازهای تخمین زده شده از پنجره و یا کمپرسور و مقدار هدف، بدست می آید. (در اکتاوی که توسط منبع مجزا احاطه شده است).



شکل ۱۱- نتایج تراز توان برون یابی شده برای نشان دادن مشکل در شکل ۹

جدول ۴ محاسبات برای مثال مشکلی که در صفحات پیشین مورد بحث قرار گرفته است. این نمونه ها نشان دهنده ی اهمیت دستیابی به مقادیر SPL در نزدیکی هر مکانیسم در حال فعالیت و یا اجزای یک منبع است و ناحیه ای از اجزاء و یا آن نواحی برآورد می گردد که SPL در آن منتشر می شود. کار کنترل صدا باید به سوی آن گروه از اجزاء که مقادیر زیادی از تراز فشار صوت

را شامل می‌شوند، هدایت شود. همچنین لازم است به منظور بررسی انواع فرکانس اجزاء منابع، اندازه‌گیری‌هایی انجام گیرد. بعضی از اجزاء ممکن است از مقادیر کوچک منابع صوت در برخی نواحی فرکانس به مقادیر بالا در منابع موجود در محدوده‌ی فرکانسی دیگر، تغییر یابد.

## ۸ - تأثیر آکوستیک اتاق

در بخش قبل، فرض شد که منبع صوت در یک منطقه‌ی بزرگ باز، واقع شده است، به طوری که سطوح منعکس‌کننده‌ی نزدیک (به غیر از زمین یا کف) انتشار صوت در میدان آزاد را تغییر نمی‌دهد.

در اکثر شرایط محیطی داخلی کارخانه، دیوارهای محصور و سقف فضای کار از فرار صدا به محیط بیرون جلوگیری می‌کنند. در عوض، هر صوت منتشر شده از منبع با یک سطح جامد برخورد می‌کند و به جهات دیگر در داخل اتاق، منعکس می‌شود. صوت مشابه ممکن است 300m جا به جا شود و چندین بار قبل از آنکه انرژی خود را به اندازه‌ی کافی از دست بدهد و به توان نادیده گرفت، منعکس می‌شود. در عین حال، سایر امواج صدا در تمام سطوح اتاق، منتشر و منعکس می‌شوند تا زمانی که از بین بروند. در یک اتاق کوچک، ترازهای فشار صوت ناشی از جنس صدا را می‌توان با مقادیر ۱۵ تا ۳۰ دسی بل بالاتر از مقادیر قابل مقایسه که در فواصل محیط بیرونی وجود دارد، به وجود آورد. این ایجاد صدا می‌تواند تراز صوت را در موقعیت اپراتور یک دستگاه تحت تأثیر قرار دهد. در واقع، دستگاهی که ممکن است تراز صدای ۸۵ dBa در فاصله‌ی ۲ متری داشته باشد، زمانی که در محیط بیرون و در محیط باز پارکینگ مورد آزمایش قرار بگیرد، می‌تواند تراز صوت ۹۵ dBa تا ۱۰۰ را در همان فاصله‌ی که در محیط داخلی بود و حتی در یک اتاق بسیار منعکس‌کننده، تولید نماید: توجه داشته باشید که تراز توان صوت منبع تغییر نمی‌کند اما آکوستیک محیط ساخته شده، یک تفاوت در تراز صوت ایجاد می‌کند، برای تجزیه و تحلیل این نوع شرایط، لازم است که از تأثیر شرایط اتاق در زمینه‌ی صدای اطراف دستگاه آگاهی داشته باشید. به طور کلی این موضوع، با اشاره به عنوان آکوستیک اتاق تقریباً می‌تواند به اندازه‌ی تراز توان صوت منبع در تعیین ترازهای صوت دستگاه اپراتور و یا سایر افراد شاغل در یک اتاق که دستگاه‌ها در آن فعالیت می‌کنند حائز اهمیت باشد.

### ثابت اتاق یا جذب اتاق

برای انجام کار کمی در موضوع آکوستیک اتاق، شما باید نحوه‌ی محاسبه و استفاده از ثابت اتاق

که با  $\Gamma$  برای جذب اتاق با  $a$  نشان داده می شود، بدانید.  
در این کتابچه ی راهنما، ثابت اتاق  $\Gamma$  استفاده شده است.  
ثابت اتاق از معادله زیر محاسبه می شود:

$$R = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + S_3 \alpha_3 + \dots + A_1 A_2 + \dots$$

که در آن  $S_1$ ، مساحت اتاق با ضریب جذب  $a_1$ ،  $S_2$  سطح دیگری از اتاق است که دارای ضریب جذب  $a_2$  می باشد و به این ترتیب تا تمام سطوح اتاق اضافه شوند. شامل تمام دیوارها، درها، پنجره ها، کف، سقف و هر سطح دیگری که مرز و اضلاع اتاق را تشکیل می دهد.

مقدار  $S$ ، ممکن است بر حسب فوت مربع یا مترمربع و ی متناسب با واحدی باشد که  $\Gamma$  محاسبه شده است. مقدار ضریب جذب سابین نامیده می شود و در کتاب های مختلف برای اکثر مواد نهایی اتاق ها و در کاتالوگ تولیدکنندگان و تأمین کنندگان محصولات جذب صوت از قبیل فایبرگلاس، کاشی های پشم معدنی یا پنل ها و یا محصولات فوم های سلولی اشاره شده است. ضریب جذب صدایی که  $0,06$  در نظر گرفته شده، به معنی این است که  $60\%$  از انرژی صوتی در یک موج هر زمانی که موج صوتی به یک سطح برخورد کند، جذب خواهد شد. (و  $40\%$  منعکس می شود)

ASTM c 423-66 با استفاده از روش های اندازه گیری، ضرایب جذب سابین را مشخص می کند.  $A_1$  و  $a_2$  و غیره، مقادیر معادله مذکور مقادیر جذبی هستند که توسط تولیدکنندگان محصولات آکوستیک ارائه شده اند. (شامل تیغه ی جاذب برای سقف های کاذب و معلق) و واحد آنها معمولاً به صورت متر/ سابین و یا فوت/ سابین می باشد.

( $1 \text{ ft}^2 / \text{sabin} = 1 \text{ ft}^2$ ,  $1 \text{ m}^2 / \text{sabin} = 1 \text{ m}^2$ ) مقدار  $r$  حاصل از معادله پیش بر حسب واحدهای فوت مربع/ سابین و مترمربع/ سابین است که با سایر واحدهای مورد استفاده در معادله، منطبق می باشد. جدول ۴ ضرائب جذب صوت را برای چند مصالح ساختمانی که معمولاً به عنوان جاذب در نظر گرفته نمی شوند، ارائه داده است. توجه داشته باشید که ضرائب بر ۶ فرکانس اکتاوباند مرکزی از ۱۲۵ تا ۴۰۰۰ هرتز نقل شده اند و این ضرایب با فرکانس متفاوت هستند. بنابراین، ثابت اتاق  $r$ ، با فرکانس متفاوت است و معادله مذکور باید برای هر فرکانس مورد نظر محاسبه شود. ضرایب جذب صوت در فرکانس هایی ۳۱،۵، ۶۳ و ۸۰۰۰ هرتز عنوان شده، قابل اندازه گیری نمی باشند. زیرا منابع صدای نسبتاً کمی باعث ایجاد مشکلات در این فرکانس هایی بالا و پایین می شوند.

یک مثال از محاسبه ی ثابت اتاق که در معادله فوق الذکر مورد استفاده قرار گرفته است، نشان داده می شود. اتاق ۴۰ متر طول، ۱۰ متر عرض، و ۵ متر ارتفاع دارد. کف آن یک سطح بتنی ضخیم است. دو دیوار ۴۰ متری از بلوک های بتنی رنگی و دو دیوار با عرض ۱۰ متر از روکش 2x4in گچ تشکیل شده است و سقف زیرین در معرض یک بتن از جنس بتن کف می باشد. برای ساده سازی، از دو در موجود در اتاق چشم پوشی کنید. ضرایب جذب این مصالح در جدول ۵ آمده است. که محاسبه ی ثابت اتاق در ۱۰۰۰ هرتز می باشد:

در حال حاضر، یک کاشی سقف آکوستیک که در بالای اشکوب به طور معلق نصب شده است را تصور کنید. ارتفاع سقف به ۴,۵ کاهش می یابد. ضرایب جذب صدای سقف به شرح زیر عبارتند از:

$$\begin{aligned} R_{1000} &= 2 \times 40 \times 10 \times 0.2 \text{ (floor. ceiling)} \\ &+ 2 \times 40 \times 5 \times 0.7 \text{ (40 - m walls)} \\ &+ 2 \times 10 \times 5 \times 0.4 \text{ (40 - m walls)} \\ &+ 16 + 28 + 4 \\ &= 48m^2 - \text{sabin} \end{aligned}$$

محاسبه ی ثابت اتاق در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز به شرح زیر است:

|                   |                   |                    |                     |                     |                     |
|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $\frac{125}{0.4}$ | $\frac{250}{0.5}$ | $\frac{500}{0.72}$ | $\frac{1000}{0.90}$ | $\frac{2000}{0.94}$ | $\frac{4000}{0.82}$ |
| ضریب              |                   |                    |                     |                     |                     |

$$\begin{aligned} R_{1000} &= 40 \times 10 \times 0.2 \text{ (floor)} \\ &+ 40 \times 10 \times 0.9 \text{ (celing)} \\ &+ 2 \times 40 \times 4.5 \times 0.7 \text{ (40 - m walls)} \\ &+ 2 \times 10 \times 4.5 \times 0.4 \text{ (10 - m walls)} \\ &+ 8 \times 360 \times 25.2 + 3.6 \\ &= 396.8m^2 - \text{sabin} \end{aligned}$$

شما ممکن است بخواهید ثابت اتاق را در فرکانس های دیگری محاسبه نمایید. دو مورد ممکن است برای ثابت اتاق مورد بحث و محاسبه قرار بگیرد: (۱) مقدار ثابت اتاق با افزایش حجم اتاق، افزایش می یابد زیرا مساحت سطح با افزایش حجم، بزرگ تر می شود. (۲) مقادیر نسبتاً بالای ضرایب جذب پایین (حداقل در محدوده ی فرکانسی ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز، که در وزن تراز صوت حائز اهمیت است) هنگامی که مواد جاذب صوت مورد استفاده قرار می گیرند، به طور قطع در ثابت اتاق تأثیر گذارند.



### ضرایب کاهش صدا<sup>۱</sup> (NRC)

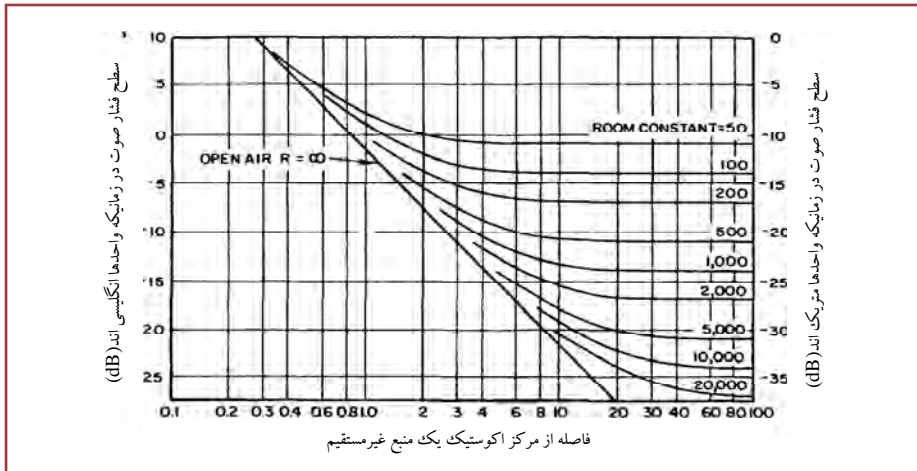
این اصطلاحی است که به طور گسترده ای به عنوان یک رقم مجزا برای مواد جاذب صوت مورد استفاده قرار می گیرد. NRC به طور متوسط (میانگین حسابی) در ضرایب جذب صوت برای فرکانس هایی ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز به نزدیک ۰,۰۵ گرد می شود. برخی از مواد جاذب صوت با ضخامت ۱ تا ۳ اینچ ضرایب جذب ساین بالایی در حدود ۰,۹۰ تا ۰,۹۹ در ناحیه ی ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ هرتز دارند، و مقدار NRC این محصولات از حدود ۰,۶۵ تا ۰,۹۰ متغیر است. با این حال، ممکن است ضرایب ساین تنها در حدود ۰,۱۵ تا ۰,۴۰ در محدوده ی ۱۲۵ تا ۲۵۰ هرتز باشند. ضخامت بیشتر، ضریب جذب را در فرکانس پایین، افزایش می دهد.

### توزیع صوت در یک اتاق

شکل ۱۲ اثر توزیع تراز صوت در یک اتاق را به عنوان تابعی از فاصله ی از منبع صوت و مقدار ثابت اتاق نشان می دهد. فرض کنید کارگری در فاصله ی ۱ متری منبع صوت در اتاقی که ثابت اتاق آن ۵۰ مترمربع/ساین در ۱۰۰۰ هرتز است، قرار دارد. (در یک تجزیه و تحلیل کامل، ثابت اتاق برای تمام اکتاوباندها محاسبه خواهد شد و تراز صوت توزین از ترازهای فشار صوت اکتاوباند محاسبه می شود).

در آن موقعیت، کارگر تراز فشار صوت ۹۳ دسی بل در باند ۱۰۰۰ هرتز را تجربه می کند. در شکل ۱۲ نقطه ای را در فاصله ی ۱ متری با ثابت اتاق ۵۰ مترمربع/ساین را پیدا کنید. مقدار تراز فشار صوت مربوط به این نقطه در حدود ۷,۵- دسی بل است، درست آن چیزی که از مقیاس عمودی سمت راست شکل خوانده شده است. فرض کنید کارگر برگردد و در فاصله ی دورتر در حدود ۴ متر قرار گیرد. SPL مربوطه در حدود ۱۱- دسی بل کاهش می یابد، و کاهش ۳,۵- دسی بلی را در تراز فشار صوت نشان می دهد. این اتاق آنقدر کوچک و پرنعکاس است که تراز صدای باقی مانده تقریباً در طول اتاق ثابت است، به جزء در موقعیت هایی که کاملاً به منبع نزدیک می باشند، بعد، فرض کنید، که با استفاده از مواد جاذب صوت ثابت اتاق تا ۲۰۰ مترمربع/ساین افزایش یافته است در این صورت در فاصله ی ۱ متری SPL مربوطه در حدود ۱۰- دسی بل و در فاصله ی ۴ متری، SPL مربوطه ۱۷ دسی بل می باشد. این یافته، نشان می دهد که ترازهای فشار صوت در اتاق در فاصله ی ۶ متر و یا بیشتر از منبع صوت می تواند کاهشی در حدود ۷ دسی بل در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز با چنین مواد جاذب صوتی، ایجاد نماید.

<sup>۱</sup> Noise Reduction Rate



شکل ۱۲- توزیع تراز صوت در فضاهایی با ثابت های اتاق مختلف

توجه داشته باشید که، در فاصله های نزدیک با منبع صوت، اثرات کمی از افزایش جذب مواد در فاصله ی ۳ متری وجود دارد و تغییر فقط ۴ دسی بل خواهد بود و در فاصله ی ۱ متری این مقدار تنها در حدود ۲ دسی بل است. این تصویر به طور خلاصه مقدار جذب صوت در یک اتاق را نشان می دهد. می توان آن را در کاهش تراز صوت برای افرادی که در فواصل بیشتر از منبع صوت قرار گرفته اند مفید دانست، اما برای اپراتوری که باید در موقعیت نزدیک به دستگاه و منبع صوت باشد، چندان مناسب نیست، آنچه این مثال بر آن تاکید دارد. با این حال، اهمیت این روش، حفظ اپراتور در فاصله ی بیشتری از دستگاه است، به طوری که جذب صوت در اتاق مناسب باشد.

به عنوان تمرین برای استفاده از شکل ۱۲ تغییرات تراز صوت بر کارگرانی که در ۱ متری و ۱۰ متری منبع صوت در اتاقی با ثابت اتاق محاسبه شده قرار گرفته اند، بررسی کنید. با و بدون کاشی سقف آکوستیک. در فاصله ی ۱ متر، شکل ۱۲ کاهش در حدود ۲,۵ دسی بل در ثابت اتاق ۵۰ مترمربع/ سابین تا ۴۰۰ مترمربع/ سابین را نشان می دهد. در فاصله ی ۱۰ متری، کاهش در حدود ۱۰ دسی بل است، برای زمانی که سقف جاذب صدا اضافه شده است. در شرایط عمومی کارخانه، یک اپراتور ماشین بیشتر زمان خود را در فاصله ی ۱ تا ۲ متری نزدیک دستگاه سپری می کند، اما در حدود ۵ تا ۲۰ متر در فاصله ی تعداد دیگری از دستگاه ها، باقی می ماند. در متد به کار رفته، تجمیع دسی بل ترازهای صوتی تمام ماشین ها، برای یک اپراتور در یک

اتاق خالی (بدون جذب صوتی) و برای یک اتاق تصحیح شده (با اضافه شدن مواد جاذب صدا) محاسبه ی مقدار تقریبی تراز صوت کاهش یافته که می توان بدست آورد، قابل محاسبه است. برای هندسه های مختلف در ابعاد اتاق، فواصل ماشین ها و تعداد آنها مقدار ۰ دسی بل (بدون سود) تا بیش از ۱۰ تا ۱۲ دسی بل کاهش (سود) وجود خواهد داشت. این محاسبات ارزان هستند و اگر محاسبات نشان دهند که کاهش ۱۰ تا ۱۲ دسی بل امکان پذیر است، اضافه کردن مواد جاذب صوت نیز ممکن است راه حل نسبتاً ارزانی برای مشکل صدای کارخانه باشد. اگرچه اقدامات کنترل صدا با جزئیات در جای دیگر این کتابچه بحث شده است. جنبه های کاهش صدا از محاسبه ی ثابت اتاق، اینجا به عنوان بخشی از ارزیابی مشکل صدا ارائه شده است.

### کاربرد تراز توان صوت:

در مثال قبل، شکل ۱۲ نشان می دهد که تراز فشار صوت می تواند به عنوان تابعی از فاصله ی منبع و ثابت اتاق مورد استفاده قرار بگیرد. این شکل همچنین می تواند به منظور تخمین ترازهای فشار صوت وقتی که تراز توان منبع معلوم است، مورد استفاده قرار گیرد. معادله این است:

$$L_{pD,R} = L_w + \text{REL SPL}_{D,R}$$

$\text{REL } L_w$  تراز توان منبع صوت است در دسی بل  $r \cdot \text{rel SPL} \cdot r \cdot 10 - 12 w$  تراز فشار نسبی گرفته شده از شکل ۱۲ است که برای فاصله ی  $d$  و ضریب اتاق  $r$  بدست آمده و  $\text{SPL}, r, \text{lpd}$  در فاصله ی این اتاق است. برخی از تولیدکنندگان اطلاعات تراز توان صوت را برای محصولات ارائه داده اند.

در معادله بالا علامت مثبت یا منفی صحیح برای  $\text{SPL}$  نسبی استفاده می شود. برای تمام فواصل این موضوع عملی، علامت منفی است، به طوری که تفریق اعداد رخ می دهد. برای مثال، فرض کنید منبع صوتی تراز توان  $r=10-12 w$  ۱۱۰ دسی بل در اکتاو باند ۲۵۰ هرتز داشته باشد و شما می خواهید تراز فشار صوت را برای اپراتوری در فاصله ی ۲ متر در این اتاق با ثابت اتاق ۵۰ مترمربع/سابق تعیین کنید. شکل ۱۲  $\text{rel SPL} = -10 - 12 w$  را نشان می دهد. بنابراین معادله بالا به این صورت ارائه شده است:

$$L_{p2,50} = 110 - 10 = 100 \text{ dB}$$

### فاصله ی بحرانی

اشتقاق منحنی نشان داده شده در شکل ۱۲ براساس مواد ارائه شده در بخش هایی از منابع آکوستیک اتاق در بسیاری از کتاب ها مبتنی بر آکوستیک است و اینجا تکرار نمی شود.

با این حال اصطلاح مناسبی که از این اشتقاق به وجود آمده است وجود دارد: فاصله ی بحرانی یا dc فاصله ی بحرانی به عنوان فاصله ای از منبع که تراز فشار صوت مستقیم از منبع، تقریباً برابر با تراز فشار صوت منتشر شده در یک اتاق پر انعکاس است، تعریف شده است. در این تفسیر ساده، اگر یک اپراتور ماشین بخواهد در فاصله ی نزدیک تری از فاصله ی بحرانی فعالیت کند، جذب صوت در اتاق چندان مناسب نخواهد بود، اما برای فواصل بیشتر نسبت به فاصله ی بحرانی، مواد جاذب صوت می توانند کمک کننده باشند. معادله برای فاصله ی بحرانی به قرار زیر است:

$$D_c = 0.14 + \sqrt{R}$$

که در آن r ثابت اتاق محاسبه شده برای فرکانس خاصی از باند مورد نظر است، و هر دو مقدار dc و r دارای واحدهای سازگاری هستند. اگر اتاق باید حاوی n ماشین یکسان باشد، کمابیش این مقدار به طور یکنواخت در سراسر اتاق پخش می شود.

$$D_c = 0.14 + \sqrt{R/n}$$

جالب ترین و غیره منتظره ترین مورد در این دو معادله این است که فاصله ی بحرانی تقریباً به طور کامل به ثابت اتاق بستگی دارد و به وضوح به اندازه ی دستگاه مربوط نمی شود. در عمل، به دلیل اینکه برخی از منابع ابعادی دارند که قابل مقایسه در فاصله ی بحرانی هستند، هنوز ممکن است تأثیر کمی از سایز ماشین بر مقدار واقعی dc وجود داشته باشد. برای ثابت اتاق محاسبه شده در معادلات مذکور، dc در فاصله ی ۱ تا ۲٫۸ متر خواهد بود. به ترتیب برای اتاق خالی و اتاقی که حاوی ماشین است و برای اتاق خالی و اتاق حاوی ماشین با ۶ دستگاه یکسان ۰٫۴ و ۱٫۱ خواهد بود.

### جهت منبع

بسیاری از منابع صوتی، اصوات را در جهات مختلف نسبت به یکدیگر منتشر می کنند. این انتشار می تواند نقطه ای قابل توجه در بررسی موقعیت اشغال شده توسط یک اپراتور ماشین باشد که در آن ممکن و عملیاتی است که اپراتور نزدیک به منطقه ی آرام در میدان صوت باقی بماند. در میدان صوتی پر انعکاس منبع، منطقه ی متحمل با ترازهای صوت پایین، با ترازهای صوت بالا پر می شوند، و اساساً منبع ویژگی جهت را از دست می دهد. بیشترین مقدار ثابت اتاق (فضایی

با بیشترین جذب) در بیشترین فاصله از ماشین قبل از اینکه منطقه ی آرام با انعکاس قوی تر پر شود، قرار دارد. در شرایط محیط بیرونی (و در محفظه ی تست انعکاس) منابع صوت، ویژگی های جهت خود را حفظ می کنند، و این احتباس باید با حساب زمانی وقتی که منابع صوت در جهت فضای بیرونی قرار دارند. (مانند بعضی از انواع برج های خنک کننده) به موقعیت یا ناحیه ی بحرانی مجاور نیز بستگی دارد.

### استفاده از اندازه گیری شتاب:

شتاب ممکن است در محل میکروفون در برخی از ترازسنج های صوت پیچیده استفاده شود. این بخش سپس به تقویت و یا فیلتر کردن سیگنال هایی شتاب سنج به جای سیگنال میکروفون می پردازد. هنگامی که به درستی به یک سطح ارتعاشی متصل می گردد. (با مراجعه به دفترچه راهنما). شتاب سنج سیگنالی متناسب با سطح در حال ارتعاش به عقب و جلو، تولید می کند. تراز های شتاب (بر حسب دسی بل خوانده شده از دستگاه) به ترازهای فشار صوت بر سطح مربوط می شوند و به واسطه ی فرمول زیر تقریباً در هوا منتشر می گردند:

$$spl_s = Al + 150 - 20 \log f$$

که در آن  $a_{1g} = a_{1m} - a_{1g}$ ، تراز شتاب خوانده شده،  $a_{1g}$  تراز فشار شتاب در حال اندازه گیری سیستم است که شتابی در حدود ۱ گرم دارد و  $f$  اکتاو باند و یا یک سوم اکتاو باند فرکانس مرکزی ارتعاش است.

کالیبراتورهای ارتعاش برای قرائت شتاب سیستم در حال اندازه گیری تا شتاب ۱ گرم در دسترس هستند. کالیبراسیون فقط باید در یک فرکانس واحد ساخته شده باشد.

جدول ۵- مجموعه نمونه ای از اطلاعات شتاب اکتاو باند و محاسبات مربوطه به شرح زیر است:

(برای سیستم کالیبره شده با قرائت  $1g=82 \text{ db}$ )

| ۸۰۰۰ | ۴۰۰۰ | ۲۰۰۰ | ۱۰۰۰ | ۵۰۰ | ۲۵۰ | ۱۲۵ | فرکانس (Hz)      |
|------|------|------|------|-----|-----|-----|------------------|
| ۷۲   | ۶۲   | ۶۲   | ۷۵   | ۸۸  | ۸۴  | ۶۷  | $Al_m$ (dB)      |
| ۸۲   | ۸۲   | ۸۲   | ۸۲   | ۸۲  | ۸۲  | ۸۲  | $Al_{1g}$        |
| -۱۶  | -۲۰  | -۲۰  | -۷   | -۵  | +۲  | -۱۵ | AL               |
| ۷۲   | ۷۸   | ۸۴   | ۹۰   | ۹۶  | ۱۰۲ | ۱۰۸ | $150-20 \log f$  |
| ۵۶   | ۵۸   | ۶۴   | ۸۳   | ۹۱  | ۱۰۴ | ۹۳  | SPL <sub>g</sub> |

$$pwl = SPL_s + 10 \log A_m$$

که در آن  $A_m$  مساحت سطح مرتعش بر حسب مترمربع می باشد و یا:

$$pwl = SPL_s + 10 \log A_{ft} - 10$$

که در آن  $A_{ft}$  مساحت سطح مرتعش بر حسب فوت مربع است.

بنابراین، در مثال فوق، اگر سطح مرتعش مساحت سطحی در حدود یک مترمربع داشته باشد، مجموع اکتاوباند  $P_{wl}$  سطح برابر با تراز فشار صوت اکتاوباند محاسبه شده ی سطح خواهد بود. در معادله فوق فرض بر این است که سطح ارتعاشی همیشه واقعی نیست. در واقع، سطح کوچک، (کوچک در مقایسه با طول موج فرکانس صوت در نظر گرفته شده) انتشاردهندگان صوتی بسیار ناکارآمدی هستند. همچنین، مواد نازک نمی توانند صدا را به خوبی منتشر کنند. جنبه های فنی این موضوع به طور کامل در مراجع کتاب شناسی مورد بحث قرار گرفته اند. باید آگاهی داشته باشید، با این حال، تعیین تراز توان اکتاوباند در یک سطح مرتعش توسط روش فوق ممکن است ۲۵ تا ۳۰ دسی بل برای سطوح ارتعاشی کوچک و یا نازک بیش از حد بالا باشد. با وجود کاستی در محاسبات موجود، اطلاعات شتاب می تواند برای حذف برخی از سطوح در نظر گرفته شود که ممکن است سطوح پر صدایی و قابل توجهی داشته باشند، مورد استفاده قرار بگیرد و همچنین برای کمک به سطوح دقیق تر نیاز به بررسی و مطالعه ی بیشتری می باشد.

## ۹ - خلاصه ای از روش های تشخیصی

در این فصل بسیاری از اصول صوت که فقط اطلاعات پیش زمینه ای ضروری برای مهندسان کنترل نیست، معرفی شده است، اما همچنین به عنوان گام هایی در شناسایی و تشخیص منابع صوت و قطعات آن، به کار برده شد. برای یادآوری به نکات زیر توجه کنید.

- دستگاه را در هنگام اندازه گیری صوت به منظور تعیین منابع عمده و جزئی، خاموش و روشن کنید.

- از تجمیع دسی بل به عنوان مکمل اندازه گیری در اهمیت صوتی که در ترازهای صوتی توزین  $a$  بیشترین تأثیر را دارد، استفاده نمایید.

- اندازه گیری های صوت گسترده ای را در موقعیت های بسیار نزدیک و در تمام فرکانس ها برای مطالعه ی مناسب جزئیات و شناسایی منابع بالقوه انجام دهید. این مورد ضروری است، چرا که براساس ملاحظات طول موج، منابع کوچک (کوچک نسبت به طول موج صوت در هوا برای

فرکانس هایی مورد نظر) برای منابع صوت با فرکانس پایین قوی نیستید اما می توانید در منابع با فرکانس بالا مهم باشند.

- ترازهای توان صوت تقریبی از اجزاء منابع مختلف را برای نظم بخشی و یا تشخیص اجزا در منابع صوت خروجی محاسبه نمایید. این مورد لازم است زیرا تجزیه و تحلیل فرکانس (در اکتاواندها و یا حتی فیلترهای باریک تر) برای مطالعه ی مناسب از بسیاری از منابع صوت، ضروری می باشد.
- شرایط اتاق را به هنگام برآورد تراز صوت برای تجهیزات در فضاهای مختلف در نظر بگیرید.
- برای شناسایی و تعیین کمیت منابع موجود هوابرد و منابع ساختاری و مسیره های صدا، تلاش کنید روش های مختلف کنترل صدا باید برای این دو نوع منابع متفاوت، به طور گسترده، مورد استفاده قرار بگیرند.

- گوش خود را به عنوان ابزاری دقیق و مفید نادیده نگیرید. گاهی اوقات، برخی از سیگنال های صدا ممکن است با صدای اندازه گیری شده ی دستگاه متفاوت باشد، در حالی که گوش شما می تواند انتخاب کند و ویژگی سیگنال های غیرعادی را که می توانند به طور منحصر به فرد از منابع خاص تولید شوند، تشخیص دهد.

- جایی که امکان دارد و عملی است، از میکروفون های جداگانه ی کوچک و تقویت کننده با کابل متصل به ترازسنج صوت، استفاده کنید. همان طور که میکروفون با دقت در اطراف محیط فعالیت ماشین ها حرکت داده می شود ترازسنج صوت را مشاهده کنید و به دنبال پیک صدای منبع که میکروفون نشان می دهد، باشید. به عبارت دیگر، حرکات میکروفون تنها چند سانتی متر، زمانی که شاید در ۱ سانتی متری مکانیسم پیچیده ای قرار بگیرد، می تواند منابع مهم نزدیک تر را که نیازمند توجه ویژه هستند نشان دهد.

- اندازه گیری های بسیاری را برای محافظت در برابر خطاها در قرائت و تعیین اینکه آیا دستگاه به طور مداوم در حال فعالیت است، انجام دهید و تکرار کنید.

- یادداشت ها و طرح های دقیقی برای تقویت اطلاعات صدا تهیه کنید که تا حدی که زمان اجازه می دهد دقیق باشد.

- زمانی را برای تفکر در نظر بگیرید. کار بدون برخی از افکار خاص در تصحیح منابع صوت، را ترک نکنید. همچنین، جایگزین های ممکن را برای اولین افکار در نظر بگیرید. بعد از آن تجزیه و تحلیل داده ها ممکن است خطا را در ایده های اولیه نشان دهد.

- بالاتر از همه، اعمال تفکر و ابتکار و خلاقیت. در برنامه ریزی اندازه گیری ها دستیابی به

داده ها و آنالیز نتایج را در نظر داشته باشید. به خود اجازه ندهید که از یک مشکل با عجله و بدون آماده سازی مناسب، مطالعه و آنالیز عبور کنید.

## ۱۰- چگونه صدا و ارتعاش را کنترل کنیم؟

### ۱-۱۰ کنترل صدا

با یک بار تعیین و اندازه گیری منبع سروصدا، شما قادر به کنترل آن خواهید بود. به یاد داشته باشید که صدایی که کنترل شده است نیز نوعی انرژی است. بنابراین هدف شما، کاهش میزان انرژی صوتی ناشی از منبع صدا و یا انتقال جریان انرژی (صدا) به دور از دریافت کننده و یا محافظت دریافت کننده از انرژی (صدا) رسیده به وی می باشد. به عبارت دیگر، تمامی روش های کنترلی صدا در منبع صدا، در امتداد مسیر صدا و یا در دریافت کننده می باشند.

شاه کلید کنترل صدا، یافتن کنترلی است که هم موثر و هم اقتصادی باشد. شما نه تنها باید بدانید چه کنترل هایی می توانند استفاده شوند، بلکه باید هزینه طراحی و نصب کنترل ها را نیز بدانید. در این بخش، ما یک فرایند سیستماتیک برای انتخاب از میان گزینه های در دسترس، ابتدا کنترل هایی که کمترین میزان اصلاح تجهیزات را نیاز دارند و در آخر، کنترل هایی که بیشترین میزان اصلاح تجهیزات را نیاز دارند ارائه می نمایم.

تکنیک های با کمترین اصلاح تجهیزات

انواع کنترل های صدای آورده شده در زیر می توانند در کاهش مواجهه با صدا موثر باشند، اما باعث تغییرات در طراحی ماشین یا فرایند نمی شوند. موارد دیگر ضرورتاً ساده یا ارزان نیستند، اما این ها باید در ابتدا پیش از طرح راه حل های پیچیده تر، مدنظر قرار گیرند. این کنترل ها عبارتند از:

- نگهداری مناسب
- تغییر فرایندهای عملیاتی
- جایگزینی تجهیزات
- کنترل های مدیریتی
- بهبود مکان
- مکان یابی دوباره تجهیزات
- بهبود ساده تجهیزات
- سرعت عملیاتی مناسب



### ۱-۱-۱۰ نگهداری مناسب

تجهیزات با نگهداری ناقص یا نادرست، سروصدای بیشتری نسبت به تجهیزات با نگهداری مناسب ایجاد می کنند. برای نمونه، نشت بخار، سطح صدای بالایی تولید می کند (و همچنین باعث هدر رفتن پول می شود). همچنین یاتاقان های بد، دنده های ساییده شده، تسمه های ضربه زن، بخش هایی چرخشی نامتوازن یا بخش هایی که به اندازه کافی روغن کاری نشده اند نیز می توانند موجب سروصدای غیرضروری شوند. به همین نحو، اتصالات یا دندانه هایی که به درستی تنظیم نشده اند، یا حفاظ های نادرست ماشین آلات اغلب در تماس غیرضروری با دیگر بخش ها تولید سروصدا می نمایند. نبود حفاظ ماشین آلات نیز می تواند باعث نشت (درز) غیرضروری سروصدا شود. این انواع منابع سروصدا در یک ویژگی مشترکند: نشت صدای آنها می تواند به آسانی کنترل شود، گرچه پیش بینی میزان کاهش صدایی که از راه نگهداری مناسب می توان به آن دست یافت آسان نیست.

### ۱-۱-۲ فرایندهای عملیاتی

روش انجام یک عملیات می تواند باعث مواجهه بالای کارگرها با سروصدا شود. برخی عملیات توسط کارگرهایی که در نزدیکی منبع صدا قرار دارند پایش می شوند. در لحظاتی، مسافت نسبت به ضروریات عملیاتی بحرانی تر است. به عبارت دیگر، کاربر می تواند بدون کاهش در عملکرد کاری خود در جایی آرام تر مستقر شود. برخی عملیات ها می توانند از درون یک غرفه، اتاقک یا یک اتاق پایش یا انجام شوند. گاهی اوقات، مکان یابی دوباره سیستم های کنترل ماشین آلات می تواند این نوع کنترل صدا را تکمیل نماید.

کاهش صدای به دست آمده از راه مکان یابی دوباره کاربرها می تواند توسط اندازه گیری سطوح صدا در ایستگاه موجود و ایستگاه جدید طراحی شده تخمین زده شود. اگر از یک اتاقک کاربر استفاده شود کاهش صدای ۱۰ تا ۳۰ دسی بل می تواند مورد انتظار باشد، مقادیر بالاتر برای اتاقک هایی با درب و پنجره های خوب و مقادیر پایین تر برای اتاقک هایی که از یک یا دو طرف به محیط باز می شوند.

### ۱-۱-۳ جایگزینی تجهیزات

در بعضی موارد، آسان ترین اصلاح در دسترس، تجهیزات کم صداتری است که می تواند برای انجام همان کار استفاده شود. برای نمونه، چندین تولید کننده بزرگ هم اکنون موتورهای برقی

یا کمپرسورهای با صدای کمتر به فروش می‌رسانند. نمونه‌های کاربردی دیگر برای تجهیزات تولیدی خاص صنعتی نیز وجود داشته و یا در مراحل مختلف تولید قرار دارند. به یقین، زمانی که خرید تجهیزات مختلف یا جدیدتر برای اهداف تولیدی مناسب باشد این وضعیت‌ها بهتر شده و در ترکیب موثرتری با موارد مطرح شده سروصدا قرار می‌گیرند. آگاه باشید که تجهیزات جدید ممکن نیست به علت جدید بودن حتماً کم صداتر باشند. وقتی یک برنامه ارتقا یا گسترش تعهد شده است، مشخصه‌های سروصدا می‌توانند نقش مهمی در آرام کردن یک محیط ایفا نموده و برای افزایش فشار بر تولیدکننده‌های تجهیزات در جهت تولید تجهیزات با صدای کمتر نیز مهم تر خواهند بود.

### ۱۰-۱-۴ کنترل‌های مدیریتی

یک نوع ممکن از کنترل سروصدا کنترل مدیریتی است. یک نوع از کنترل مدیریتی گسترش تولیدات است که مواجهه واقعی با صدا پایین تر از حد قابل پذیرش مجاز روزانه نگه داشته شود. بهر حال، این نوع کنترل سروصدا به طور معمول امکان کنترل از راه دور دارد. امکان دیگر چرخشی کردن کارگراهاست: جابجا کردن افرادی که در محیط‌های پر سروصدا کار می‌کنند با افرادی که در محیط‌های آرام تر کار می‌کنند. این کنترل مدیریتی متناوب، در زمان‌های به خصوصی استفاده می‌شود، اما به دلیل مهارت‌های کاری و دستمزدهای مختلف اجرای این نوع کنترل سروصدا معمول نیست. از این گذشته، چرخش کارگراها به این معنی است که افراد بیشتری در معرض سروصدای بالا قرار می‌گیرند. در اینجا سبک و سنگین کردن بین مواجهه تعداد کمی کارگر با سروصدای بالا برای مدت زمان طولانی و مواجهه کارگرهای بیشتر با سطح صدای بالا برای دوره‌های زمانی کوتاه تر لازم است.

### ۱۰-۱-۵ بهبود مکان

به عنوان توصیف اولیه، وجود سطوح بازتابی (دیوارها، کف، سقف و تجهیزات) در یک محیط کاری باعث بالا رفتن میزان صدا زمینه می‌شود. با کنترل صدای بازتابی (یعنی با پیشگیری از بازتاب‌ها) سطح صدای زمینه می‌تواند چندین دسی بل کم شود. به طور کلی، بازتاب‌ها با استفاده از مواد جاذب آکوستیکی که به طور مستقیم روی دیوار یا سقف به کار برده شده و یا به عنوان صداگیرهای معلق از سقف آویزان می‌شوند پیشگیری خواهند شد. مزیت بالقوه بهبود مکان محدوده‌ای از صفر دسی بل (بدون مزیت) تا نهایت ۱۲ دسی بل می‌باشد.

### ۱۰-۱-۶ موقعیت تجهیزات

سطح صدا با دور شدن از منبع صدا افت می کند. در فضاهای آزاد (یعنی در یک میدان آزاد آکوستیک)، سطح صدا می تواند با دو برابر شدن مسافت به میزان ۶ دسی بل کاهش یابد. در فضاهای درونی، تأثیر انعکاس ممکن است کاهش صدای قابل دستیابی با استفاده از مکان یابی دوباره تجهیزات را محدود کند اما زمانی که کارگرها در نزدیک (در یک متری) ماشین های پر صدا جا گرفته اند و جایی که فضا اجازه می دهد، جابجایی منابع سروصدا (یا کارگرها) ممکن است سودمند باشد. این وضعیت اغلب وقتی تجهیزات تولید به صورت خطی قرار گرفته اند و جایی که کاربر ممکن است میزان صدای زیادی از ماشین پشتی و همچنین از ماشین خودش دریافت کند برقرار می شود. اگر مکانی جهت گسترش تجهیزات وجود ندارد، سپر کردن کارگر از صدای اطراف یک راه حل جایگزین مناسب خواهد بود (بخش کنترل های ماشین را بنگرید). همچنین، بهبود انعکاس ممکن است مفید باشد.

نوع دیگر موقعیت تجهیزات، مکان یابی دوباره واحدهای تعمیر ماشین آلات خواهد بود که رسیدگی دائمی نیاز نخواهد داشت، مانند پمپ ها، فن ها، شفت ها، سیستم های هیدرولیک و جریان های هوا و بخار به فضاهای خالی.

### ۱۰-۱-۷ بهبود ساده تجهیزات

صدای هواژرد می تواند توسط هر جزء ارتعاشی چگال یک ماشین تولید شود. جزء ارتعاشی به طور متناوب هوا را فشار و هل داده و تغییرات فشار کوچک ایجاد می کند که به حرکت در تمامی جهات تمایل دارد. جزء ارتعاشی ممکن است در تماس با یک بخش محرک اولیه یا از میان اتصالات واسطه پیش رفته و در تماس با بخش محرک قرار گیرد. در موارد بسیاری از ارتعاش تحمیلی، تکنیک های ایزوله کردن ارتعاش ممکن است کاربردی باشد. به طور کلی، هدف تمامی تکنیک های ایزوله کردن ارتعاش در جدا کردن جزء ارتعاشی از نیروی منجر به ارتعاش، عموماً توسط قرار دادن کمی ماده فنری فشرده شده بین نیروها و آن جزء است. حمایت یک تخته روی ماشین با استفاده از چفت هایی که از میان حلقه های ضامن نئوپرن می گذرند نمونه ای از این مورد خواهد بود. در اصل، تخته توسط نئوپرن از ماشین آویزان شده است.

حصارهای سوار و بسته شده روی ماشین برای پیشگیری از ایجاد صدا باید از نظر ارتعاش ایزوله باشند. بعضی اوقات، تغییرات جزئی در ساختار یا طراحی عملکرد یک ماشین می تواند صدا را به طور

موثری کاهش دهد. نمونه های ابتدایی این تکنیک حذف یا نرم کردن (استفاده از لایه نرم) ضربه های اتصالات و محکم نگه داشتن بخش هایی لرزشی است. روش های پیچیده تر شامل تغییر اندازه یا شکل اجزای ساختاری اصلی (کوچک تر کردن آنها) و ایجاد نشستی های هوا (سوراخ کردن) در سطوح برای ایجاد اجزای با انعکاس صدایی کمتر می باشد.

این اصلاحات و اصلاحات مشابه باید تنها وقتی ایجاد شوند که به طور واضح ثابت شده است که یک جزء منبع اصلی صدا یا ارتعاش می باشد.

تکنیک هایی که به تجهیزاتی جهت افزوده شدن به ماشین آلات موجود نیازمندند. دیگر انواع کنترل صدا ممکن است شامل بعضی اصلاح تجهیزات باشد. به هر حال، بعضی تغییرات تجهیزات که مواجهه با صدا را کاهش می دهد می تواند بدون طراحی دوباره تجهیزات انجام شود. برخی اصلاحات ممکن است انتشار صدای ماشین را تغییر دهند، ممکن است انتشارات را دوباره هدایت کنند یا ممکن است انتشارات را در بر بگیرند. در بعضی موارد، کنترل های صدا ممکن است به انطباق با فرایندهای کاری جدید نیاز داشته باشند. انسانها همان طور که می دانید، به تغییر عادت های روزانه خود بی میل هستند. بنابراین، شما باید به دقت با افرادی که از آن کنترل ها تأثیر می پذیرند کار کنید. به کارگراها اجازه دهید بگویند که چه ویژگی های طراحی از نظر آنها ضروری است و دوره زمانی مناسبی را پیش از ارزیابی اثر تغییرات روی عملکردها در نظر بگیرید.

### ۱۰-۱-۸ سپرها و موانع

یک سپر آکوستیک، قطعه سختی است که بین کارگر و منبع صدا قرار گرفته است؛ و اغلب روی ماشین سوار شده است. یک مانع آکوستیک قطعه بزرگ تری از ماده سخت است که معمولاً به طور آزاد روی کف قرار می گیرد. هر دوی موانع و سپرها با انحراف جریان انرژی آکوستیکی به دور از کارگر کار می کنند. آنها زمانی که (۱) کارگر نزدیک منبع صدا قرار دارد، (۲) بُعد کوچک تر سپر یا مانع دستکم سه برابر بیشترین طول موجی است که دریافت کننده صدا با آن مواجهه دارد و (۳) سقف و دیگر سطوح انعکاسی نزدیک با مواد جاذب صدا پوشیده شده اند مؤثرتر هستند. سپرها و موانع می توانند ۸ تا ۱۰ دسی بل بهبود در این شرایط ایده آل فراهم کنند.

به علت آن که متداول ترین مواد ساختاری استفاده شده در طراحی سپر و مانع، به طور قابل ملاحظه ای افت انتقال بیشتر از ۸ تا ۱۰ دسی بل فراهم می کنند، مواد عموماً غیر خطرناک هستند. انتخاب مواد باید براساس (۱) نیاز به بررسی چشمی به تجهیزات و (۲) هزینه مورد نیاز

باشد. نمونه ای از مواد استفاده شده ورقه فلزی سبک یک دوم اینچ، تخته سه لایه یک چهارم اینچ، پلاستیک شفاف یا شیشه ایمنی می باشند.

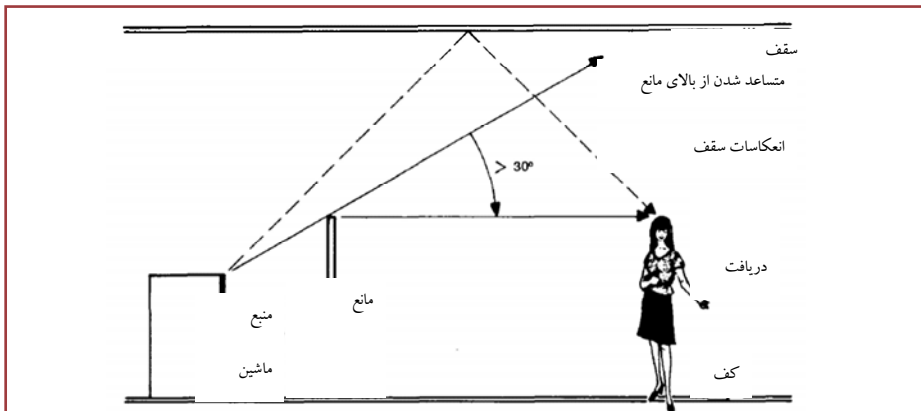
برای بهترین نتایج و کاهش انعکاس های ناخواسته اضافی، سمت سپر/ مانع ماشین باید دستکم تا حدی با یک ماده جاذب آکوستیک، ترجیحاً ضد روغن و قابل تمیز کردن پوشیده شود (بخش مواد کنترل صدا را بنگرید). دسته ها و در صورت نیاز، قلاب ها می توانند برای سادگی حرکت فراهم شوند. همچنین بخش هایی لولایی می توانند در طراحی دسترسی فیزیکی یکی شوند، اما باید برای کاهش نشت آکوستیکی دقت کرد. در آوردن نئوپرن می تواند نشت های مفاصل یا لولاها را کاهش دهد.

سپر ها می توانند در خیلی از موارد به عنوان جایگزینی برای حفاظ های با کارایی آکوستیکی کمتر استفاده شوند. در بسیاری موارد، سپر باید برای پوشاندن تمامی درزهای صدا با دقت اندازه شود و باید به درستی از نظر ارتعاش ایزوله شود.

### ۹-۱-۱۰ محصور سازی

#### محصور سازی جزئی

وقتی یک مانع اطراف یک ماشین پیچیده شده، با نوک کم و بیش باز، یک محصور سازی جزئی است. یک محصور سازی می تواند در کاهش صدای نزدیک کارگرا موثر باشد. به هر حال، صدا از بالا خارج شده و موجب انعکاس صدا در محیط کار می شود. به علاوه، انعکاس اسپکولار (آینه مانند) از سقف می تواند موجب مسیر انعکاسی سطوح شود که زمانی که مسیر مستقیم از طریق محصور سازی کاهش یافته است می تواند نمایان می شود، همان طور که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۱۳- پیش هندسه منبع- مانع- دریافت کننده

زاویه سایه آکوستیک برای دست کم ۱۰ دسی بل کاهش باید بزرگ تر از ۳۰ درجه باشد. اگر ارتفاع سقف کمتر از ۱,۵ برابر فاصله از منبع تا دریافت کننده باشد انعکاس سقف می تواند کاهش مانع را خنثی کند.

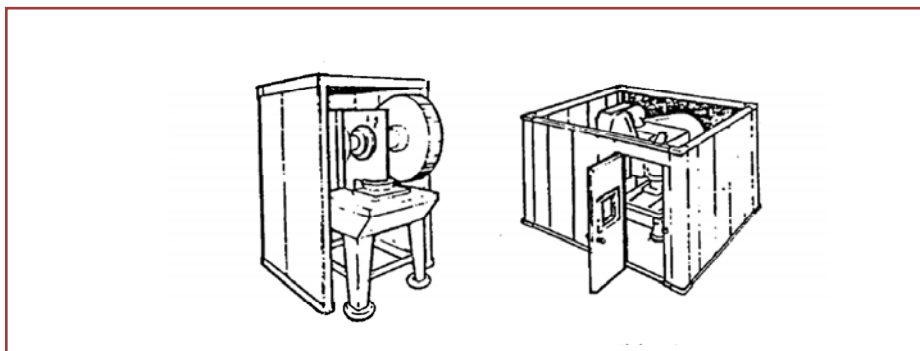
این اثرات سرریز صدا می تواند با پوشاندن داخل محفظه محصور با مواد جاذب آکوستیکی کاهش یابد. همچنین، صفحه های جاذب آکوستیکی معلق، ممکن است برای کاهش گریز صدا، جایگزین فضاهای باز شوند. اگر تمامی ماشین های محیط کار بی صدا هستند، انعکاس سقف ممکن است آشکار شود. خیلی از انعکاس ها معمولاً آینه مانند هستند و قطعه سقف که انعکاس در آن اتفاق می افتد می تواند در نقشه های ساختمانی قرار گیرد. مواد جاذب آکوستیکی قرار گرفته روی سقف در این موقعیت، صدای بازتابی را کاهش خواهند داد.

محصور سازی جزئی (و کلی) معمولاً به مواد وارداتی، محصول، تفکیک ضایعات، کاربر، پرسنل نگهداری و مراقبت نیاز خواهند داشت. درب ها، پنجره ها و دریچه هایی که استفاده خواهند شد بیشترین مشکل های در دسترس بوده، اما مراقبت های معمول در مورد پیشگیری از نشت، قویاً در این مناطق باز می باشند. درب های لولادار یا کشویی می توانند از یک درزگیر برای آب بندی استفاده کنند. یک ماده بی درد سر، الاستومر فومی محصور شده بدون هوا با چسب حساس به فشار می باشد. درزگیرهای آکوستیکی مخصوص که به طور اختصاصی برای نشت از درز طراحی شده اند نیز در دسترسند. به منظور نشت بندی کمتر، درزگیرهای نواری مغناطیسی استفاده شده در درب های یخچال هم آب بندی و هم محصور سازی را فراهم می کنند. دریچه ها می توانند با استفاده از پیچ های یک چهارم محکم شوند.

پنجره ها برای دسترسی چشمی ممکن است به روشنایی داخلی جهت آسان کردن پایش بینایی نیاز داشته باشند. افزایش گرما در یک محصور سازی با سقف باز نباید مشکل باشد. اگر ضروری است، تهویه می تواند از میان دیوارهای محصور فراهم شود. کاهش صدا ممکن است سیگنال هایی آکوستیکی را که بعضی کارگرا در ارزیابی عملکرد ماشین استفاده می کنند از بین ببرد. بنابراین، اگر کاهش خیلی زیاد است، اشارات آکوستیک ممکن است به صورت مجزا با یک میکروفن قوی (در مکانی که اطلاعات ضروری تولید می شوند) و بلندگوی کوچک در مکان کارگر فراهم شوند.

شکاف های قطعه کار، محصول و قراضه ها می تواند به صدا اجازه نفوذ دهد. شکاف های زیادی باید در تونل های خطی با مواد جاذب وجود داشته باشند. درازا و بخش هایی تقاطعی غیر مسدود تونل، مقدار کاهش صدای قابل دستیابی را تعیین می کنند. در طراحی، مواد جاذب آکوستیک می توانند

برای بیشترین تأثیر روی طیف صدا در مناطق باز انتخاب شوند. استفاده از تونل های خطی باید با بعضی اتوماسیون ها همراه باشد. نمونه هایی از بعضی محصور سازی های جزئی که می توانند کاهش ۱۲ تا ۱۵ دسی بلی صدا را فراهم کنند در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۴- نمونه هایی از محصور سازی های جزئی

### محصور سازی کلی

اگر به بیشتر از ۱۲ تا ۱۵ دسی بل کاهش صدا احتیاج است، محصور سازی کلی نیاز است تا صدا بیشتر محصور شود.

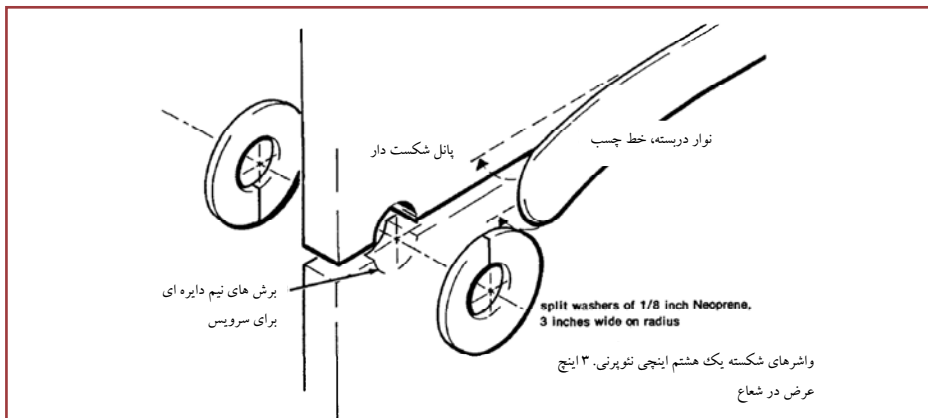
علیرغم مزیت طراحی آنها، محصور سازی کلی می تواند باعث مشکل افزایش گرما شود. افزایش گرما با افزودن یک دمنده تهویه همراه با آرام کننده صدا برای موتور و نیز خروجی هوا رفع می شود. اگر اجزای حساس به گرما در ماشین وجود داشته باشند بعضی لوله کشی های داخلی ممکن است نیاز باشد، اما این لوله ها نیز می توانند به طور گزینشی هوای سرد را فراهم کرده و هوای گرم را خارج کنند. کمترین نرخ جریان هوای سرد،  $Q$  (به cfm) به  $W$ ، وات گرمای تولید شده و  $\Delta T$ ، دما (درجه فارنهایت) بستگی دارد. برای خنک کردن هوا در سطح دریا،  $Q=1.76 W/\Delta T$ . جریان بیشتر در ارتفاع های بالاتر نیاز است.

محصور سازی کلی ممکن است به تغییری در عادت های کاری نیاز داشته باشد. اگر افرادی که بیشتر درگیرند- کارگرها و سرکارگرها- مجال ورود به بحث های طراحی را داشته باشند، این تغییر بیشتر می تواند قابل قبول باشد. محصور سازی ها می توانند همچنین باعث ملاحظات مدرن کردن تجهیزات شوند، برای نمونه، اتوماسیون تغذیه با نوار نقاله، به توجه فردی کمتری به ماشین احتیاج دارد. این قبیل اتوماسیون همچنین ممکن است مشکلات ناشی از دسترسی

سخت تر به ماشین را رفع کند. در بیشتر نمونه ها، شما مشکل کمتری با جنبه های آکوستیک طراحی محصور سازی خواهید داشت. کار عمده تضمین یک طراحی با دوام صنعتی، بیان الزامات دسترسی، کمترین تغییر در بهره وری و کمترین هزینه نصب می باشد. برای این الزامات شما باید به عنوان مهندس کنترل صدا به دقت با مهندس های صنعتی، تأسیسات و فرایند، با سرکارگراها و کارگراها، با نیروهای نگهداری و با مدیریت کار کنید.

به عنوان یک قضیه کلی، محصور سازی ها نباید با هیچ بخشی از ماشین در تماس بوده و باید از کف ایزوله ارتعاش باشند. با این حال، محصور سازی باید جهت سرویس هایی از قبیل نیروی الکتریسیته، هوا، بخار آب، آب، روغن یا هیدرولیک سوراخ باشد. این سرویس ها می توانند برای یک فضای مناسب و عبور از میان جعبه تقسیمی که بعداً بسته و آب بندی شده با کنترل های مکانیکی یکی شوند. کابل ها، لوله ها و کانال می توانند با پوشش صفحه های فلزی از میان جعبه تقسیم عبور نمایند. در صورت تمایل، یک صفحه محصور می تواند شکاف داده شده و برای عبور سرویس ها از میان دیوار محصور آماده شود. شکل ۱۵ را بنگرید. یک آب بند آکوستیک فتری می تواند از دو قطعه حلقه مانند یک هشتم اینچی (یا سنگین تر) نئوپرن ساخته شود. هر قطعه را شکافته و دو قطعه شکافته را به هم نزدیک کنید. لبه های راست را با نوارهای نئوپرن یا مواد مشابه ضد روغن، سنگین و فتری آب بندی کنید.

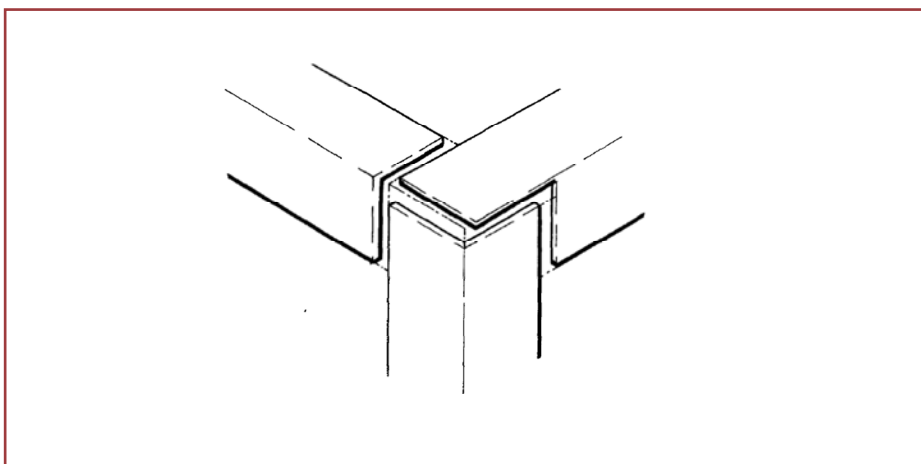
برای کار با کنترل های مکانیکی از میان یک سوراخ قوس مانند یا شکاف در صفحه، نوارهای نئوپرن آب بندی می توانند در مجاورت هم قرار گیرند. دسته کنترل باید تا حد امکان باریک باشد. در صورت امکان، دسته را با یک دسته خود تنظیم از خارج جایگزین کنید.



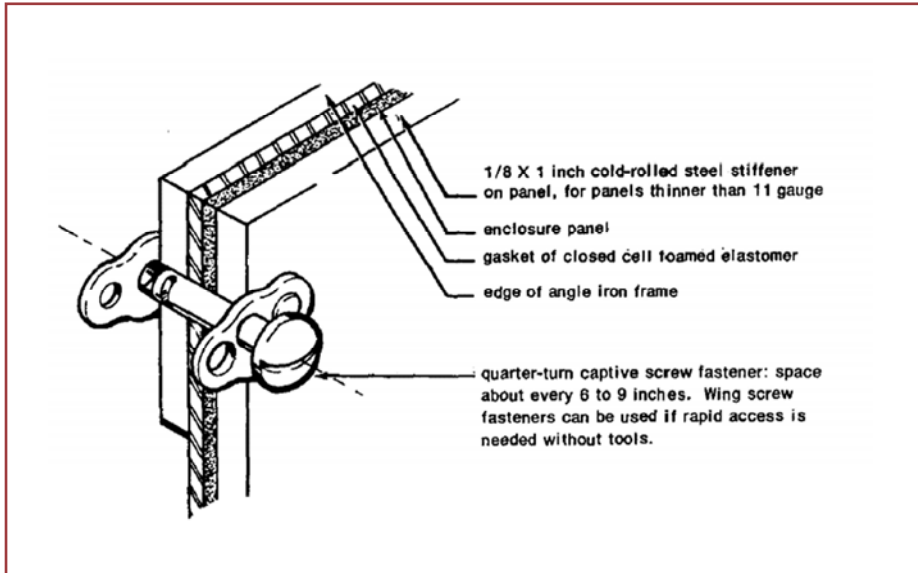
شکل ۱۵- صفحه های شکاف دار برای انجام سرویس



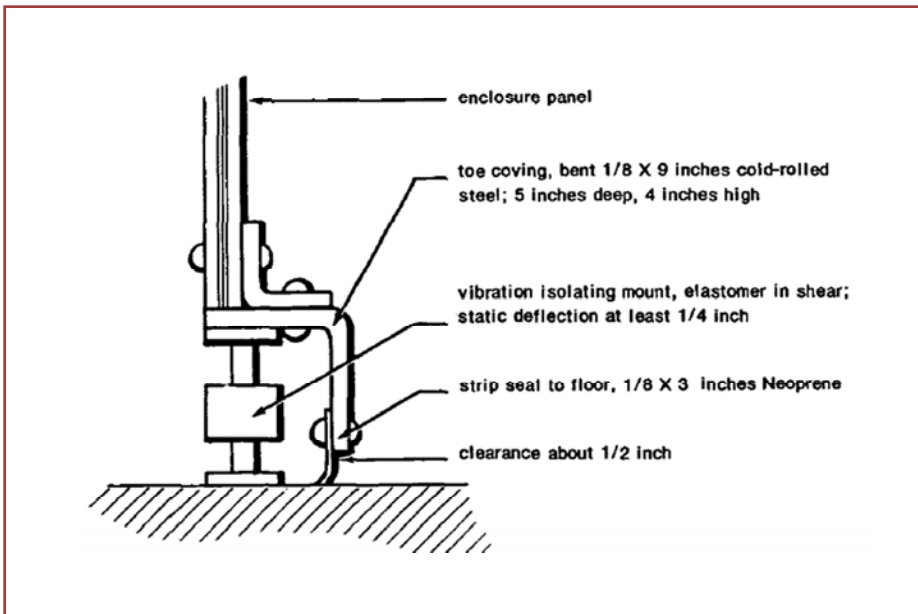
بسیاری از ویژگی های طراحی محصور سازی مناسب در شکل های پیشین نشان داده شده اند. طراحی عمومی براساس صفحه های محکم شده (با استفاده از پیچ های یک چهارم) به یک چارچوب آهنی زاویه دار می باشد. بنابراین، دسترسی سریع برای تمامی انواع سرویس کردن های ماشین فراهم شده است. این نوع محصور سازی باید تا حد امکان نزدیک به ماشین باشد. معمولاً بیشتر از ۲۰ دسی بل کاهش صدا به آسانی به دست خواهد آمد. چارچوب آهنی زاویه دار برای اجازه به جدا شدن سریع و کامل می تواند از بخش هایی پیچ شده تشکیل شده باشد. ارتعاش ماشین هنوز ممکن است با ارتعاش کف و سپس تشدید صدا و ارتعاش محفظه محصور ایجاد مشکل کند. این مشکل با محکم کردن ایزولاسیون ارتعاشی با استفاده از فنرهای پولادین یا الاستومرهای شکافی رفع می شود. اگر نیروی محرک کوتاه مدت ولی تکراری باشد، همان طور که در یک پرس سوراخ کن موجود است، دقت خاص در طراحی نیاز است. همه تولید کننده های ایزولاتورهای ارتعاشی این نیاز به انتخاب دقیق ایزولاتور در این وضعیت خاص ضربه تکراری را تشخیص نمی دهند. مطمئن باشید که شما در مورد ماشین ها و ایزولاتورها اطلاعات کافی برای تأمین یک طراحی موثر دارید. شما اطلاعاتی در مورد میزان سه زمان نیاز خواهید داشت: (۱) مدت استمرار ضربه، (۲) زمان بین ضربه ها و (۳) کمترین دوره نوسان ماشین روی ایزولاتور پیشنهاد شده.



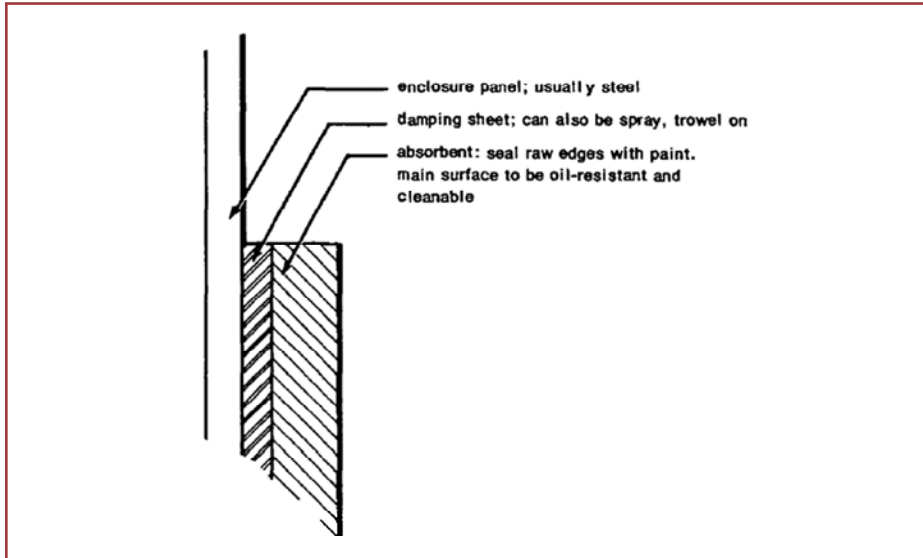
شکل ۱۶- چارچوب آهنی زاویه دار جوش خورده. این چارچوب می تواند در بخش هایی که با هم پیچ شده اند جوش بخورد.



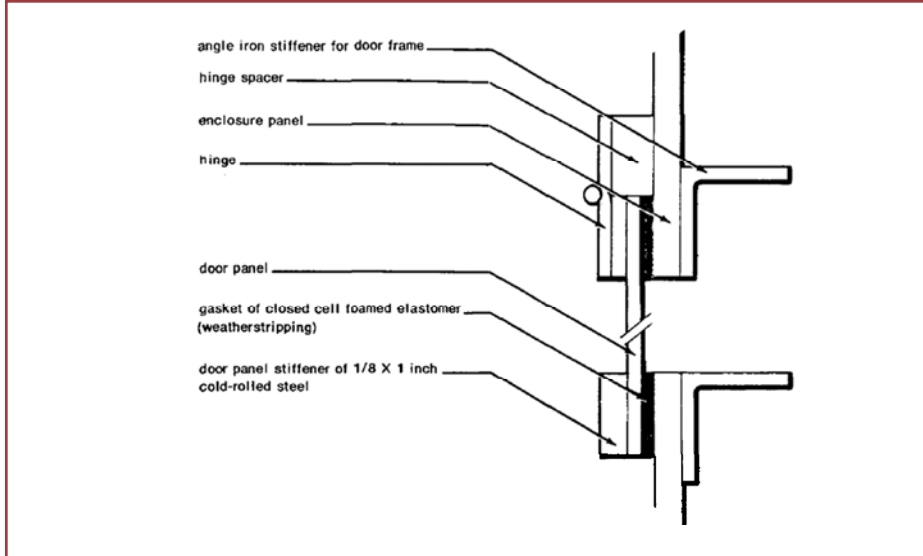
شکل ۱۷- صفحه های محصور محکم شده روی چارچوب با استفاده از بست های یک چهارم



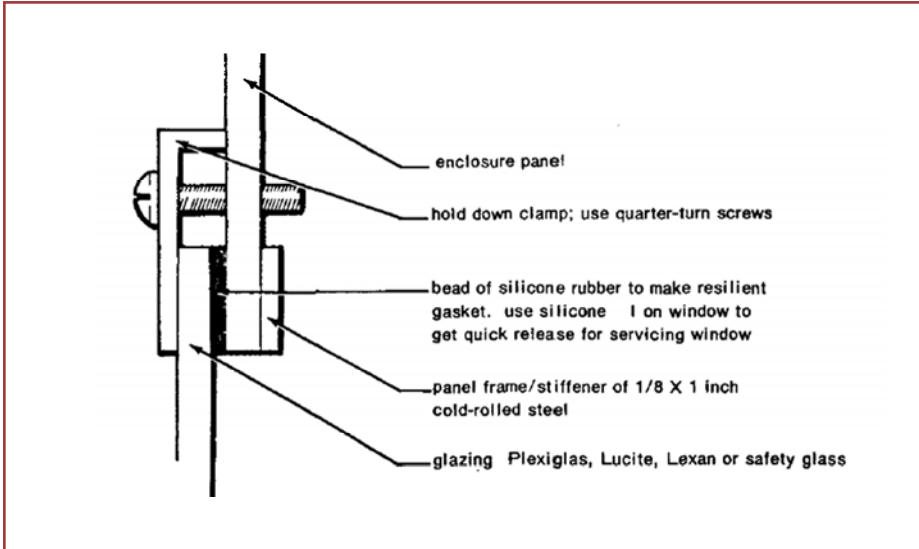
شکل ۱۸- ایزولاسیون ارتعاش و پوشش پنجه



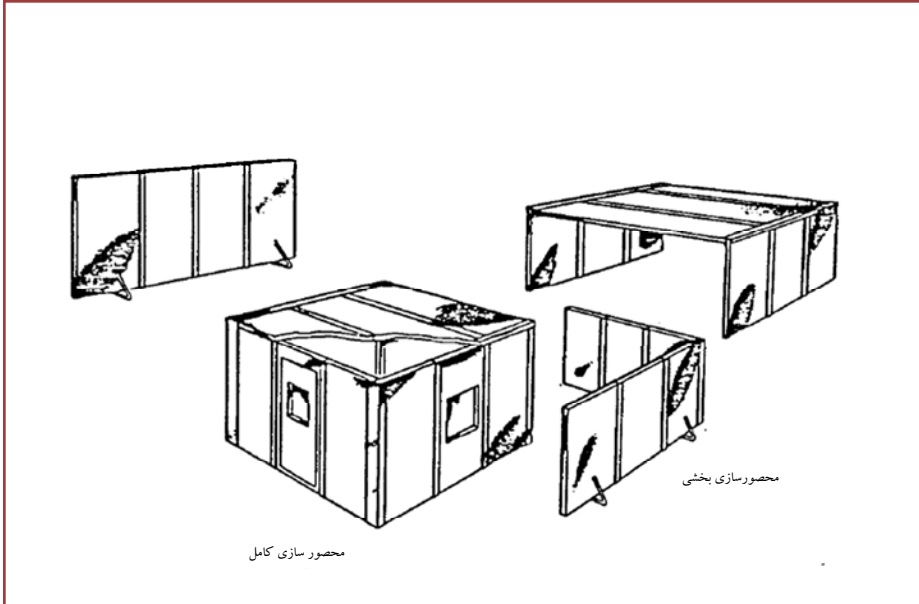
شکل ۱۹- بهبود داخلی صفحه محصور



شکل ۲۰- جزئیات درب و دریچه. داخل درب ها و دریچه ها بعضی موارد آکوستیکی به عنوان صفحه محصور دارد. درب ها را با چفت های مقاوم در برابر ارتعاش یا بست های یک چهارم محکم کنید. درب ها و دریچه ها باید در برابر هوا غیر قابل نفوذ شوند.



شکل ۲۱- جزئیات پنجره

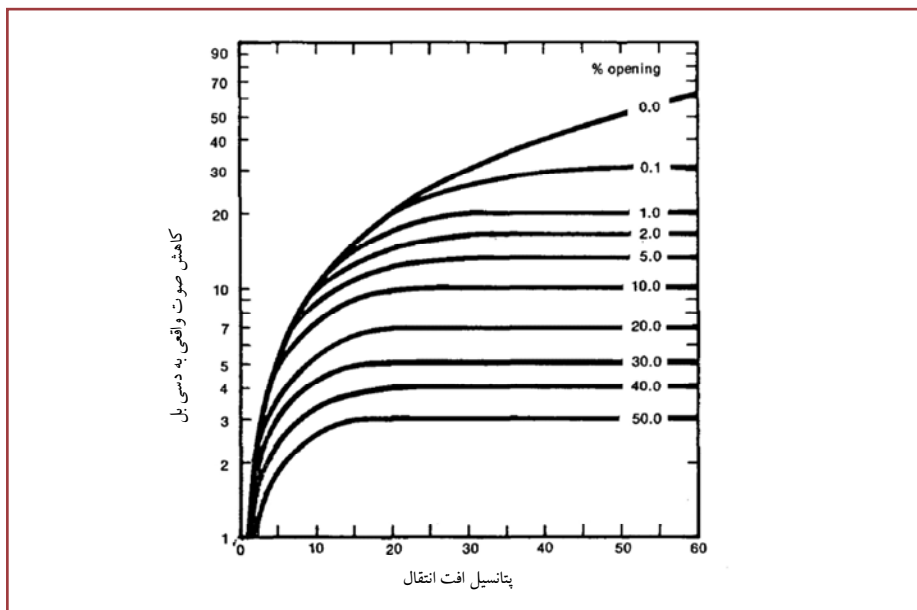


شکل ۲۲- نمونه هایی از محصور سازی ها

برای هر ماشین، وقتی تعمیرهای کلی انجام می شوند زمان می رسد؛ اضافه ها یا تغییرات نیز ممکن است ایجاب شوند. طراحی های محصور سازی پیشنهاد شده در شکل های پیشین انعطاف پذیری هایی را در این مورد حاصل می کند. صفحه ها می توانند به صورت مجزا ساخته شده و در محل با یک ماده درزگیر (از قبیل نوارهای هوا) برای توقف نشست بسته شوند. اگر جنس صفحه فلزی است، تشدید آن می تواند به طور مشابه در فرکانس توزیع شود، اگر صفحه با آهن های زاویه دار پیچ شده تقویت شده باشد (پیچ کردن میرایی را بیشتر می کند). تقویت کننده ها باید به نحوی قرار گیرند که صفحه را به بخش هایی کوچک تر تقسیم نمایند، نه اینکه دو بخش به همان اندازه و شکل باشند. چارچوب های درب ها، پنجره ها و دریچه ها نیز می تواند به عنوان تقویت کننده استفاده شود.

پنجره ها یک مشکل خاص ایجاد می کنند، زیرا آنها یک نقطه ضعف آکوستیکی هستند. به طور کلی، اگر بیشتر از ۲۰ دسی بل کاهش نیاز بود پنجره های دو جداره باید استفاده شوند. لایه داخلی باید شیشه ایمنی باشد، زیرا باید در برابر کارهای سخت و نظافت برای پاک کردن روغن، گریس و کثیفی مقاومت داشته باشد. در همه قاب های شیشه ها باید درزگیرهای الاستومری نرم قرار گیرد. لاستیک های سیلیکونی تنظیم کننده دمای اتاق مفید هستند. دسترسی بینایی ای که پنجره ها فراهم می کنند باید در مورد اطلاعات مورد نیاز کاربر به دقت فکر شده باشد. روشنایی بدون خیرگی اجزا که باید پایش شوند مفید است. در موارد نهایت، پایش ویدئویی مدار بسته می تواند مفید باشد. سازگاری خاص محصور سازی کلی برای ماشین یک محصور سازی کلی برای کاربر است، وقتی این روش عملی تر و اقتصادی تر است. چنین محصور سازی هایی ممکن است به فن های ورود و خروج هوا همراه با صداگیر، روشنایی، گرمایش یا در بعضی موارد تهویه مطبوع هوا نیاز داشته باشند. همچنان که در محصور سازی های ماشین، بعضی جاذب های داخلی - از قبیل یک سقف کاشی آکوستیک - پیشنهاد شده و باید در طراحی درب و پنجره جهت پیشگیری از درز صدا دقت خاصی شود. برای تأثیر درزها به شکل ۲۲ بنگرید.

یک محصور سازی چطور می تواند آکوستیک طراحی شده باشد؟ اول، تعیین کنید که چه مقدار کاهش صدا برای تجهیزات نیاز است (برای نمونه بسته ترین موقعیت کاربر). بخش هایی تجهیزات کاهش صدای کلی و تشخیص منبع صدا را بنگرید. این موضوع خاص ماشین به عنوان «افت تعبیه» مورد نیاز محصور سازی بیان شده و باید براساس اکتاو باند بیان شود. دوم، «افت انتقال» مورد نیاز دیوار ایزوله محصور سازی را تخمین بزنید، دوباره براساس اکتاو باند.



شکل ۲۳- تأثیر درز صدای محصور سازی روی کاهش صدای بالقوه

برای یک محصور سازی که با مواد جاذب صدا خطی خواهد بود، افت انتقال مورد نیاز تخمین زده شده در هر اکتاو باند برابر با افت تعبیه به اضافه ۱۰ دسی بل می باشد. برای پنجره های با دیوارهای داخلی بدون پوشش، افت انتقال مورد نیاز تخمین زده شده در هر اکتاو باند برابر با افت تعبیه به اضافه ۱۵ تا ۲۰ دسی بل، بسته به محافظتی که می خواهید داشته باشید می باشد.<sup>۱</sup> سوم، یک جنس دیوار مناسب بیابید که بتواند افت انتقال مورد نیاز در هر اکتاو باند را فراهم کند. (به جدول ۳ بنگرید) اطلاعات افت انتقال اکتاو باند واقعی همچنین در آگهی های تجاری آورده شده است. در اینجا یک استاندارد به خوبی تعریف شده و پذیرفته (ASTM E90-61T یا آخرین نسخه) برای اندازه گیری افت انتقال وجود دارد و شما باید بررسی کنید که اطلاعات گزارش شده مطابق با فرایند آماده شده باشند.<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> این فرایند تخمین براساس تقویت صدایی که درون یک محصور اتفاق خواهد افتاد می باشد- فرضیه ای که به میزان جذب درون محصور بستگی اصولی دارد.

<sup>۲</sup> اطلاعات افت انتقال را با اطلاعات STC اشتباه نکنید، اندازه گیری عملکرد مواد وابسته اغلب به علاوه یا به جای اطلاعات افت انتقال در آگهی ها داده می شود.

در محاسبه افت انتقال خالص وقتی محصور سازی دارای صفحه ها، درب ها، دریچه ها، پنجره ها، صدا خفه کن ها و نشت صدا باشد مشکل رخ می دهد، به هر حال، فرمولی که با سطح هر یک  $S_i$  و افت انتقال مربوط  $L_{ti}$  می تواند استفاده شود:

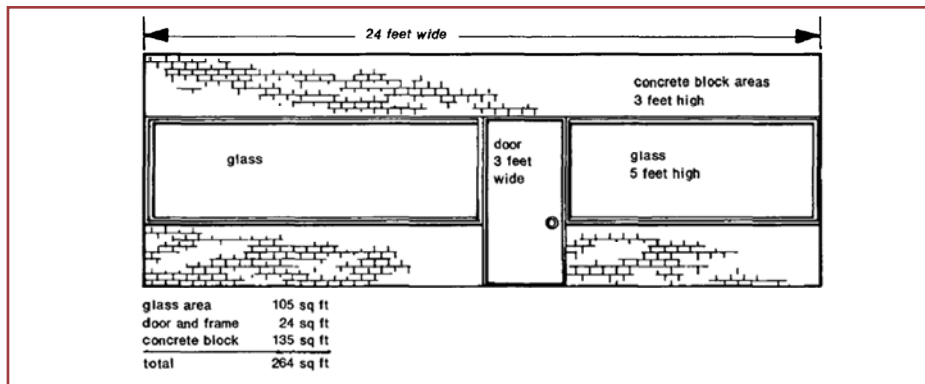
$$L_t = 10 \log S - 10 \log \sum S_i 10 - L_i / 10 \quad (3.1)$$

مقادیر این فرمول به نیروی صدایی که درز می کند اضافه و به سطح کلی تقسیم می شود. به عنوان یک نمونه، یک اتاق کنترل ماشین را در نظر بگیرید که دیوارهای با سقف بلند داشته که آن را به طور کامل از بقیه کارگاه جدا می کند، سطح صدا ۱۰۰ دسی بل می باشد. طراحی دیوار در شکل ۲۳ نشان داده شده است. هدف مقایسه عملکرد پنجره های یک و دو جداره در یک اکتاو باند میانه می باشد. فرض می کنیم که درز صدا از میان پشت بام قابل چشم پوشی بوده و همه درزها به خوبی آب بندی شده اند. محاسبه های نشان داده شده زیر برای یک اکتاو باند می باشند. در یک آنالیز کامل، محاسبه ها باید برای تمامی باندها انجام شوند.

جدول ۳- افت انتقال مواد متداول

| مواد                                       | Lb/sq ft | فرکانس |      |      |      |     |     |     |
|--|----------|--------|------|------|------|-----|-----|-----|
|  |          | ۸۰۰۰   | ۴۰۰۰ | ۲۰۰۰ | ۱۰۰۰ | ۵۰۰ | ۲۵۰ | ۱۲۵ |
| سرب  |          |        |      |      |      |     |     |     |
| • ۱/۳۲ اینچ                                | ۲        | ۴۹     | ۴۳   | ۴۰   | ۳۳   | ۲۹  | ۲۴  | ۲۲  |
| • ۱/۶۴ اینچ                                | ۱        | ۴۳     | ۳۹   | ۳۳   | ۲۷   | ۲۴  | ۲۰  | ۱۹  |
| تخته چندلا                                 |          |        |      |      |      |     |     |     |
| • ۱/۳۲ اینچ                                | ۲        | ۳۵     | ۲۷   | ۲۵   | ۲۸   | ۲۷  | ۲۲  | ۲۴  |
| • ۱/۶۴ اینچ                                | ۰/۷      | ۲۵     | ۲۷   | ۲۸   | ۲۴   | ۲۰  | ۱۵  | ۱۷  |
| وینیل سرب                                  | ۰/۵      | ۳۷     | ۳۲   | ۲۶   | ۲۰   | ۱۵  | ۱۲  | ۱۱  |
| وینیل سرب                                  | ۱        | ۴۳     | ۳۲   | ۳۳   | ۲۸   | ۲۱  | ۱۷  | ۱۵  |
| فولاد                                      |          |        |      |      |      |     |     |     |
| • ۱۸ گیج                                   | ۲        | ۵۳     | ۴۸   | ۳۵   | ۳۲   | ۳۱  | ۱۹  | ۱۵  |
| • ۱۶ گیج                                   | ۲/۵      | ۵۲     | ۴۷   | ۴۰   | ۳۷   | ۳۴  | ۳۰  | ۲۱  |
| فلز ورقه ای (ویسکوالاستیک با هسته لامینتی) | ۲        | ۴۷     | ۴۲   | ۳۹   | ۳۲   | ۲۸  | ۲۵  | ۱۵  |

| فرکانس |      |      |      |     |     |     | Lb/sq ft | مواد  |
|--------|------|------|------|-----|-----|-----|----------|---|
| ۸۰۰۰   | ۴۰۰۰ | ۲۰۰۰ | ۱۰۰۰ | ۵۰۰ | ۲۵۰ | ۱۲۵ |          |   |
| ۳۵     | ۳۵   | ۳۳   | ۳۸   | ۲۲  | ۱۷  | ۱۶  | ۱/۴۵     | پلکسی گلاس<br>• ۱/۴ اینچ                                    |
| ۳۷     | ۳۷   | ۳۲   | ۳۲   | ۲۶  | ۲۳  | ۲۱  | ۲/۹      | • ۱/۲ اینچ  |
| ۴۶     | ۴۶   | ۳۴   | ۳۲   | ۳۲  | ۲۸  | ۲۵  | ۵/۸      | • ۱ اینچ  |
| ۲۸     | ۲۷   | ۲۶   | ۲۵   | ۲۳  | ۱۷  | ۱۱  | ۱/۵      | شیشه<br>• ۱/۸ اینچ  |
| ۳۰     | ۲۹   | ۲۸   | ۱۷   | ۲۵  | ۲۳  | ۱۷  | ۳        | • ۱/۴ اینچ  |
|        |      |      |      |     |     |     |          | شیشه دوجداره<br>• ۱/۴*۱/۲*۱/۴ اینچ                          |
| ۳۶     | ۳۰   | ۲۸   | ۲۷   | ۲۴  | ۲۴  | ۲۳  |          | اینچ  |
| ۴۷     | ۴۲   | ۴۰   | ۳۷   | ۳۱  | ۲۸  | ۲۵  |          | • ۱/۴*۱/۴*۱/۴ اینچ  |
|        |      |      |      |     |     |     |          | اینچ  |
| ۵۵     | ۵۰   | ۴۴   | ۴۳   | ۳۷  | ۳۵  | ۲۹  | ۴۸       | گچ پنج هشتم<br>اینچی  |
| ۵۵     | ۵۲   | ۴۶   | ۳۸   | ۳۵  | ۳۴  | ۳۳  | ۳۶       | روی ۲*۲ اینچ گل<br>میخ                                      |
|        |      |      |      |     |     |     |          | روی ۲*۲ اینچ گل<br>میخ                                      |
| ۵۵     | ۵۰   | ۴۴   | ۴۳   | ۳۷  | ۳۵  | ۲۹  | ۴۸       | بتون با ۴ اینچ<br>ضخامت                                     |
| ۵۵     | ۵۲   | ۴۶   | ۳۸   | ۳۵  | ۳۴  | ۳۳  | ۳۶       | بلوک بتونی با ۶<br>اینچ ضخامت                               |
| ۵۶     | ۵۵   | ۵۲   | ۴۸   | ۴۳  | ۳۵  | ۲۵  |          | پانل با فولاد ۱۶<br>گیجی، جاذب ۴<br>اینچی، فولاد ۲۰<br>گیجی |



شکل ۲۴- نمونه ای از دیوار ایزوله کننده



$$10 \log 264 = 24.2$$

$$L_t (\text{single}) = 24.2 - 10 \log (0.1068) = 34 \text{ dB}$$

$$L_t (\text{double}) = 24.2 - 10 \log (0.0267) = 40 \text{ dB}$$

روکش کردن/ عقب ماندن

یک نمونه خاص از بهبود محصور سازی، روکش کردن یا عقب ماندن است. این نوع بهبود می تواند برای عایق کردن سطوح محصور شده پیشین استفاده شود (برای نمونه، لوله ها یا نودان ها). بهبود شامل استفاده از یک ماده جاذب بالای سطح انعکاس دهنده یا مرتعش، به دنبال پوشش خارجی مواد غیر قابل نفوذ از قبیل ورقه فلزی یا وینیل سنگین منعطف می باشد. این چنین بهبودهایی کمتر در معرض مسائل مواجهه با محصور سازی های جعبه مانند می باشند، اما به طور کلی محدود به استفاده از سطوح منظم شکل می باشند که به نگهداری دائم نیاز ندارند. بعضی نمونه های ساختار و میرایی در زیر داده شده اند (به دسی بل):

| ۲۰۰۰ هرتز | ۱۰۰۰ هرتز | ۵۰۰ هرتز |   |        |
|-----------|-----------|----------|---|--------|
| ۱۳٫۸      | ۴٫۸       | ۱٫۵      | پوشش فایبرگلاس با<br>روکش ورق آلومینیوم | ۱ اینچ |
| ۲۴        | ۱۲        | ۵        | پوشش فایبرگلاس با وینیل<br>اشباع از سرب | ۱ اینچ |
| ۲۶        | ۱۳٫۵      | ۴        | پوشش فایبرگلاس با وینیل<br>اشباع از سرب | ۲ اینچ |

توجه:

- دانسیته فایبرگلاس ۴ پوند بر فوت مکعب (۶۴ کیلوگرم بر متر مکعب)، وینیل سرب ۰٫۸۷ پوند بر فوت مربع (۴٫۲۵ کیلوگرم بر مترمربع) می باشد.
- توجه کنید میرایی کمتر در ۵۰۰ هرتز، کمتر در فرکانس هایی پایین تر.
- آب بندی خوب در تمام اتصالات حیاتی است.
- دو لایه ۲ اینچی فایبرگلاس به همراه وینیل اشباع از سرب بین لایه ها به علاوه یک لایه روکش وینیل اشباع از سرب میرایی را افزایش خواهد داد.
- ورقه سربی با همان وزن/ سطح نیز می تواند استفاده شود.
- ورقه فلزی، گچ یا گونیت (اسپری شده روی بتن) می تواند برای TL بیشتر لایه روکش استفاده شود.

### ۱۰-۱-۱۰ صدا خفه کن ها

تعداد زیادی از ابزارهای کنترل صدا وجود دارند که «صدا خفه کن» نامیده می شوند. برای نمونه، صدا خفه کن های کانال ساختارهای استوانه ای یا مستطیلی هستند که برای جذب یا تخلیه صدا با تجهیزاتی که هوا در آنها در حال جریان است چفت می شوند. این صدا خفه کن های با جذب صدا و در غیر این صورت با تخلیه آن عمل می کنند. صدا خفه کن های کانال با مواد آکوستیک خطی هستند.

صدا خفه کن های اقتصادی، برای افت تعبیه (از طریق اکتاو باند) و ویژگی های دیگر از قبیل سرعت جریان، دما و افت فشار مجاز تعیین شده اند. صدا خفه کن های صنعتی بزرگ به عنوان کمک فنر نیز شناخته شده و بعضی اوقات در ترکیب با سد کننده های جرقه ای می باشند. یک مشکل بزرگ صدا خفه کن های پراکنده ساز، کثیف شدن جاذب با مواد ذره ای مثل گرد و خاک می باشد.

فن ها و دمنده ها وقتی بخشی از عملیات بوده یا نزدیک آن قرار گیرند، می توانند یک منبع شدید صدا تلقی شوند. انواع فن های مورد استفاده به صورت پروانه ای، محوری و گریز از مرکز می باشند. پره های فن های گریز از مرکز ممکن است شعاعی، رو به جلو یا رو به عقب باشند؛ فن های با پره های رو به عقب بی صداترین فن ها هستند. صدای هوای ایجاد شده ترکیبی از فرکانس پره ها و پیک های هارمونیک به علاوه صدای آئرودینامیک با باند پهن و اغتشاش می باشد.

کاهش سرعت فن صدا را کم خواهد کرد و جایگزینی با فن های با سطح صدای پایین از قبیل انواع پره رو به عقب، می تواند مدنظر قرار گیرد. اگر این مورد غیر عملی یا غیر اقتصادی است، صدای جریان هوا می تواند با صدا خفه کن های تجاری یا سفارشی کاهش یابد. صدا خفه کن های سفارشی که در فروشگاه های تعمیر و نگهداری ساخته می شوند شامل لابرنت های مارپیچ آکوستیک، صدا خفه کن های موازی، فضاهای اشغال شده با پوشش آکوستیک، کانال های با پوشش آکوستیک و زانویی های با پوشش آکوستیک می باشند.

اگر دیواره های کانال با یک جاذب با ضریب جذب  $\alpha$  پوشیده شده اند، آنگاه کاهش دسی بل تخمینی در هر فوت کانال از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Delta L = 12.6 P \alpha 1.4/S$$

$\Delta L$  = تغییر سطح فشار صدا

P = پوشش آکوستیکی پیرامون کانال، اینچ

S = مقطع باز کانال، اینچ مربع

$\alpha$  = ضریب جذب (توجه کنید که وابسته به فرکانس است، بنابراین اطلاعات اکتاو باند برای تعیین افت تعبیه مورد نیاز و طول کانال استفاده خواهد شد).

معادله بالا فقط برای فرکانس های پایین ( $\lambda < 0.1$  پهنای کانال) قابل استفاده است. اتاق های فضا<sup>۱</sup> نیز می توانند با مواد جاذب صدا پوشش داده شوند. یک رابطه تقریبی برای کاهش سطح صدا است:

$$\Delta L = 10 \log (\alpha S_p / S_b)$$

که  $\alpha$  = ضریب جذب خطی

$S_p$  = ناحیه بهبود روی دیواره های فضا

$S_b$  = ناحیه تخلیه دمنده.

یک زانویی پوشش داده شده با جاذب که طولش در حدود ۵ برابر پهنای کانال است باید حدود ۵ دسی بل به میرایی بیفزاید. صدا خفه کن های تجاری برای میرایی بیشتر با تناسب با هر اندازه فن یا کانال در دسترس بوده و فروشنده ها می توانند افت تعبیه در هر اکتاو باند را در شرایط گوناگون جریان در اختیار قرار دهند. توجه کنید که صدا به هر دو سمت بالا دست و پایین دست حرکت می کند و بنابراین صدا خفه کن ها ممکن است به جذب و انتقال لبه های فن نیاز داشته باشند.

صدا خفه کن «منعکس کننده» نوع دیگر صدا خفه کن استفاده شده در امتداد سیستم های لوله گذاری یا در خروجی های موتور می باشد. این ابزار برای برگشت انعکاس آشفستگی های فشار به منبع های صدا طراحی شده اند، بنابراین در مُد متفاوتی از صدا خفه کن های پراکنده ساز فعالیت می نمایند.

تونل های آکوستیک، فیت شده به ورودی یا خروجی ماشین های محصور دیگر، نوع دیگر صدا خفه کن می باشند. در اینجا، جزئیات بهداشتی احتمالاً از افت فشار ناشی از استفاده از تونل مهم تر هستند. لاپیرنت های مارپیچ آکوستیک که در محصور سازی های تهویه شده استفاده می شوند، نوع خاصی از تونل آکوستیک می باشند.

صدا خفه کن های خطی ابزارهایی هستند که برای ملایم کردن آشفستگی های فشار در سیستم های لوله گذاری استفاده می شوند.

<sup>۱</sup> Space rooms

دو نوع خاص خفه کننده ها آنهایی هستند که به خطوط پنوماتیک در سوپاپ های اطمینان فشار یا خروجی های تجهیزات پنوماتیک (صدا خفه کن های خروجی) یا به هوا خشک کن ها و شیرهای تخلیه اجزا (صدا خفه کن های پس زن اجزا) فیت شده اند. این ابزارها، آشفتگی طبیعی همراه با جریان خروجی هوا را کاهش می دهند.<sup>۱</sup> این ابزارها می توانند به عنوان یک نوع ارزان کنترل صدا بارها برای منبع های صدای زیاد عمل نمایند. به هر حال، باید در مورد تأمین جریان هوایی که این ابزارها تمیز می کنند دقت کرد، زیرا صدا خفکن ها تمایل به بسته شدن دارند.

### ۱۰-۱-۱۱ تکنیک های نیازمند به طراحی دوباره تجهیزات

در بیشتر موارد کنترل صدا در منبع صدا بسیار مطلوب می باشد، به خصوص هنگامی که نیاز به روز رسانی یا به عبارت دیگر اصلاح مواجهه با صدا از آن راه حذف می شود. به هر حال، به طور معمول انجام کار کارشناسی و توجه به منابع برای طراحی دوباره تجهیزات در مقیاس بزرگ از یک طرف و توجه به توانایی کاربر نهایی از طرف دیگر در کنترل صدا ضرورت دارد. هنوز تکنیک های خاص ممکن است برای کاربرهای نهایی مفید باشند و ممکن است برای رفع نیاز به دیگر انواع کنترل صدا به کار روند.

در کل، نشر صدای ایجاد شده در اثر انواع ضربه های منابع صدا (برای نمونه، اجزای سخت ناودان ها، قوطی های روی نوار نقاله ها و ...) می تواند با «نرم سازی» یا پیشگیری از ضربه ها کاهش یابد. بنابراین، کارگاه باید چندین روش کاهش صدا را در نظر بگیرد که شامل:

▪ جاگذاری میرا کننده های داخلی در ناودانها برای حرکت محصول به کنار، ترجیحاً سقوط به سوی سطوح ناودان؛

▪ تراز شابلون براده برداری برای پیشگیری از ضربه های شابلون؛

▪ تغییر شیب سرازیری برای بهبود لغزش ترجیحاً شدیدتر؛

▪ استفاده از مواد نرم (برای نمونه، نئوپرن) یا حائل های ضربه گیر برای کاهش ضربه های

مکانیکی؛

▪ جابجا کردن نوار نقاله های فلزی با واحدهای برزنتی یا کاهش ارتفاع سقوط؛

▪ پوشش کناره های نوار نقاله با نرده های پلاستیکی؛

<sup>۱</sup> صدای جت به شدت به سرعت هوا حساس است. بنابراین، کاهش صدا ممکن است با کاهش ساده فشار تولیدی یا افزایش مقطع اوریفیس جت نیز فراهم شود. کاهش سرعت جت می تواند باعث کاهش ۲۰ دسی بل یا بیشتر صدا شود.

- استفاده از مکانیسم های زمان دار برای خالی شدن خط محصول نوار نقاله و به موجب آن پیشگیری از ضربه های محصول؛
  - استفاده از میرا کننده درونی نوار نقاله ها، ناودان ها، کیف ها و ...
- در موارد دیگر، رویایی بودن استفاده از مکانیسم های جایگزین برای ساکت کردن نشرهای صدا ممکن است. موتورهای هیدرولیک پر سروصدا ممکن است با ابزارهای برقی جایگزین شوند. دفع کننده های اجزای پنوماتیک ممکن است با مکانیسم های مکانیکی جایگزین شوند.

### ۱۰-۱-۱۲ تجهیزات حفاظت فردی

اساساً سه نوع حفاظت کننده شنوایی وجود دارد:

- ایر ماف (گوش پوش) ها، که ابزارهایی هستند که اطراف گوش ها را پر کرده و از یک کلاه سخت یا از یک سربند حمایت شده که ماف های فردی را متصل می کند؛
- ایر پلاگ ها، که ابزارهایی هستند که درون مجرای گوش فیت می شوند؛
- سرپوش های مجرا، که ابزارهایی هستند که درون مجرای باز گوش قرار گرفته و با سربند حفاظت می شوند.

ایر ماف ها در اندازه همگانی بوده و با ضربه گیرهای پر شده با فوم یا مایع در دسترسند. بعضی ابزارها فقط در یک حالت (برای نمونه، با نوار بالای سر) فیت می شوند، در حالی که، بقیه چند حالتی هستند و می توانند با سربند بالای سر، پشت سر یا زیر چانه پوشیده شوند. ماف ها در آغاز قیمت زیادی داشتند اما آنها قابل نظافت بوده و اجزای جایگزین در دسترسند.

ایر پلاگ ها تنوع زیادی دارند. واحدهای یک بار مصرف (برای نمونه، پشم سوئدی) یک بار استفاده شده و دور انداخته می شوند. واحدهای چند بار مصرف قابل نظافت هستند. بعضی ابزارها برای تطبیق با اندازه های مختلف مجراهای گوش، در اندازه های مختلف ساخته شده اند. بقیه در یک اندازه هستند که می توانند وقتی در مجرا قرار گرفتند با انبساط طبیعی خودشان یا با آوردن یک لبه یا بیشتر تطبیق داده شوند. بعضی دیگر قالب شده سفارشی هستند و تصور می شود که بیشترین راحتی و بهترین کیپ شدن را داشته باشند.

سرپوش های مجرا فقط در یک اندازه و شکل در دسترس هستند.

عملکرد ارزیابی شده آزمایشگاهی بسیاری از مارک ها و سبک های محافظ های شنوایی در «لیست محافظ های شنوایی فردی و اطلاعات میرایی» صفحه های ۷۶-۱۲۰ NIOSH توصیف شده

است. این انتشارات شامل روشی برای تعیین عملکرد داخلی همه ابزارها براساس میرایی فرکانس به فرکانس اندازه گیری شده آزمایشگاهی و اطلاعات صدای اندازه گیری شده میدان کاری نیز می باشد.

**توجه:** OSHA همیشه به استفاده از محافظ های شنوایی به عنوان دومین راه کنترل صدا توجه دارد، که باید تنها هنگامی که کنترل های مهندسی یا مدیریتی شدنی نیستند یا به عنوان یک اقدام موقتی در حالی که دیگر روش های کنترل صدا نیز اجرا می شوند استفاده شود.

در واحدهای صنعتی، تشویق استفاده از تجهیزات حفاظتی توسط کارگرها و سرکارگرها معمولاً به یک برنامه آموزشی در مورد حفاظت شنوایی نیاز دارد. این مورد باید توسط سرکارگرها به طور دائم پیگیری شود که این برنامه پذیرفته شده است و اینکه حفاظ های شنوایی در موقع نیاز استفاده می شوند. برای یادآوری، علائمی را در جاهایی که تجهیزات حفاظتی الزامی هستند قرار دهید. سرکارگرها باید آگاه باشند که اگر یک پلاگ یا ماف راحت نیست، نباید استفاده شود.

وقتی حفاظ های شنوایی به درستی استفاده شوند، می توانند سطوح صدای بالقوه خطرناک را به سطح صدای غیر مضر در گوش برای بیشترین انواع محیط های پرسروصدای صنعتی کاهش دهند. اندازه گیری های آزمایشگاهی نشان داده اند که تقریباً همه حفاظ های شنوایی می توانند ۲۵ دسی بل یا بیشتر میرایی ایجاد کنند. به هر حال، باید توجه شود که ممکن است اختلاف عمده ای بین عملکرد اندازه گیری شده در آزمایشگاه و عملکرد واقعی در محیط کاری باشد.

عملکرد حفاظ شنوایی بسیار به کیپ شدن ابزار استفاده شده وابسته است. هرگونه نشت آکوستیکی در اطراف ابزارها که ممکن است ناشی از عدم کیپ شدن درست، از بین رفتن آب بندی در اثر عینک ها، فریم ها یا موی بلند، نبود فشار در کوسن ها در نتیجه کشیده شدن نگهدارنده ها یا نگهداری نادرست کوسن ها باشد، می تواند عملکرد حفاظ شنوایی را تا حدی که تنها ۱۰ دسی بل میرایی یا کمتر می تواند حاصل شود کاهش دهد. متأسفانه، کارگرها تمایل دارند که از محافظ های شنوایی، نادرست استفاده کنند، زیرا کیپ شدن شل تر ابزارها راحت تر است.

تأمین حفاظ های شنوایی باید همیشه به عنوان بخشی از برنامه حفاظت شنوایی جامع تر در نظر گرفته شده باشد که شامل بررسی دستکم سالیانه آزمایش اودیومتری شنوایی افراد می باشد. هر برنامه حفاظت شنوایی موفق باید شامل آموزش کاربرهای نهایی جهت استفاده درست از حفاظ های شنوایی (به علاوه خطرات بالقوه استفاده نادرست) نیز بوده و باید (۱) توصیه حرفه ای در مورد کیپ شدن درست و (۲) تنوع گسترده ای از حفاظ های شنوایی از همه نوع فراهم آورد

(جهت در نظرگیری ترجیح افراد و تفاوت در اندازه های گوش). به علاوه، برای تأمین همکاری گسترده شرکت، برنامه باید از طرف مدیریت حمایت شود. در آخر، مهم است که قادر باشیم بعضی افسانه ها در مورد استفاده از حفاظ های شنوایی را رفع کنیم:

- حفاظ های شنوایی، توانایی شنوایی طبیعی فرد را برای شنیدن صداها یا فهمیدن صحبت در محیط های پرسروصدا را کاهش نمی دهند. در واقع، حفاظ های شنوایی می توانند شرایط گوش دادن را بهتر کنند. هنگامی که حفاظ های شنوایی استفاده می شوند، تمامی صداها ضعیف شده اند و نسبت سیگنال به صدا در هر فرکانس همان طور باقی می ماند. تنها اختلاف آن است که شدت صداها کاهش یافته است. به هر حال، چون فرکانس هایی مختلف به میزان های مختلف ضعیف شده اند، کاربر به سازگاری با تغییر در صداهایی که می شنود نیاز خواهد داشت.
- حفاظ های شنوایی به نظر نمی رسد دلیل مسائل بهداشتی باشند. ابزارهای چند بار مصرف می توانند تمیز شده و ابزارهای یک بار مصرف در هنگام نیاز جایگزین شوند.
- در اینجا مسائل خاصی در استفاده از حفاظ های شنوایی وجود دارند که باید دانسته شوند:
  - ابزارها ممکن است راحت نباشند، به خصوص هنگامی که برای اولین بار استفاده شده و به خصوص در محیط های گرم که عرق می تواند موجب سُر خوردن ایر ماف ها یا التهاب شود.
  - ابزارها در محیط های کم صدا (یعنی زیر ۸۰ دسی بل)، شنیدن را سخت تر می کنند و در محیط های با صدای متناوب، کارگرها به طور طبیعی می خواهند که این ابزارها را در طول دوره های متناوب بی صدا، بردارند.
  - کارگرهای با نقص شنوایی پیشین ممکن است بعضی توانایی های خود برای شنیدن صداها را از دست بدهند، اگر آن نقص پیشین تکمیل کننده تضعیف صدای حفاظ باشد.
  - حفاظ های شنوایی ممکن است مکان یابی یک صدای خاص را مشکل کنند. به همین خاطر، آنها می توانند با توانایی تشخیص مکانی که صدا تولید می شود تداخل کنند.

## ۱۰-۲ کنترل ارتعاش

کنترل ارتعاش، ارتعاش در منبع را حذف یا کم می کند. در بحث نگهداری، چندین تکنیک کنترل ارتعاش شامل تعادل بخش هایی چرخشی و حذف برخوردهای غیرضروری اجزاء توجه شده بودند. کنترل ارتعاش همچنین شامل نصب منبع ارتعاش بر روی حمایت کننده های خاص نیز می شود. این نوع کنترل ارتعاش در حقیقت یک نوع از ایزوله کردن ارتعاش بوده که به صورت مجزا در نظر

گرفته می شود، زیرا می تواند یک مونتاژ موتور- پمپ، بخشی از ماشین و یا تمام ماشین باشد. سیستم های کنترل ارتعاش می توانند از فنر، نئوپرن، چوب پنبه، نمد یا فایبرگلاس استفاده نمایند.

ایزوله کننده های ارتعاش از لحاظ اقتصادی در دسترسند. آنها با توجه به وزنی که باید حمایت کنند، انحراف مورد نیاز و کمترین فرکانس ارتعاشی واحدی که باید ایزوله شود انتخاب می شوند. آنها از الاستومرها (نئوپرن فشرده یا شیاردار و دندانه دار)، دیگر مواد قابل فشرده (چوب پنبه)، حصیرهای فیبری (نمد و فایبرگلاس) و فنرهای استیل ساخته می شوند.

ایزولاسیون پایه به اطلاعاتی از کمترین نیروی فرکانسی (f) ماشینی که باید ایزوله شود در مقایسه با فرکانس طبیعی (fn) ایزولاتور نیازمند است. قابلیت انتقال انرژی ارتعاشی (و باید اجتناب شود) وقتی نسبت  $f/f_n=1$  باشد، بیشترین است. ایزولاسیون از  $f/f_n=\sqrt{2}$  آغاز می شود. به عنوان یک قاعده کلی، ماشین بر روی یک پی سخت سنگین وقتی فرکانس تشدید کمتر از یک پنجم کمترین فرکانس کاربردی است به خوبی ایزوله می شود. مورد دوم وقتی عدم توازن چرخشی در آهسته ترین بخش چرخشی باشد معمول است. اگر ماشین روی یک کف کم وزن بوده و یا از یک پوشش فنی آویزان باشد، آن نسبت باید ترجیحاً کمتر از یک پنجم باشد. لوله های ارتعاشی یا فن های معلق می توانند در این دسته قرار گیرند. فرکانس تشدید (fn) ایزولاتور به اضافه ماشین از  $fn=0.5\sqrt{d}$  یا  $fn=3.13\sqrt{l/d}$  تعیین می شود، که d انحراف استاتیک ایزولاتور زیر بار (میلی متر یا اینچ) می باشد. این رابطه فقط وقتی انحراف دقیقاً متناسب با بار است (سیستم های خطی) کاربرد دارد.

برای انتخاب ایزولاتورهای فنی (Bell 1973)

- بخشی از وزن کلی که روی موقعیت سؤال قرار دارد را ثابت کنید.
- کمترین نیروی انحراف مورد نیاز که برای درجه درصد انتقال مورد نیاز است (جدول ۳ را بنگرید) را تعیین کنید؛ به طور نرمال ۵٪ کافی است.
- ایزولاتور مناسبی که بار را تحمل کرده و انحراف صحیحی دارد را انتخاب کنید. تولید کننده های ایزولاتور اغلب ثابت فنرها را لیست می کنند (lb/in انحراف).
- اطمینان یابید که انحراف برای همه موقعیت ها یکسان است.
- اطمینان یابید که سیستم ایزولاسیون ارتعاش با اتصالات سخت (لوله حفاظ برقی، حمایت کننده های مکانیکی، اتصالات یا لوله های رابط و ...) کوتاه نشده باشد.



انتخاب لایه‌های ایزولاتور از همان روش کلی پیروی کرده و اطلاعات فروشنده به عنوان درجه، مواد و ضخامت پیشنهادی استفاده می‌شود. به هر حال، لایه‌های زیادی غیر خطی بوده و نمی‌توانند به طور مستقیم براساس اطلاعات بالا انتخاب شوند. یک موتور سوار شده بر روی سکوی نصب، نوعی از مشکل ایزولاسیون است. این مشکل یک راه حل ساده دارد: استفاده از چهار ایزولاتور ارتعاشی درست.

جدول ۴- انحراف استاتیک مورد نیاز (اینچ) برای سرعت‌ها یا فرکانس‌هایی نیروی متداول صنعتی (پایه، بی حرکت فرض شده است)

| انتقال ارتعاش (درصد) |      |      |      |      | فرکانس | سرعت<br>دور بر دقیقه |
|----------------------|------|------|------|------|--------|----------------------|
| ٪۲۵                  | ٪۱۰  | ٪۵   | ٪۱   | ٪۰٫۵ |        |                      |
| ۰٫۰۱                 | ۰٫۰۳ | ۰٫۰۶ | ۰٫۲۷ | ۰٫۵۵ | ۶۰     | ۳۶۰۰                 |
| ۰٫۰۳                 | ۰٫۰۷ | ۰٫۱۳ | ۰٫۶۲ | ۱٫۲  | ۴۰     | ۲۴۰۰                 |
| ۰٫۰۵                 | ۰٫۱۲ | ۰٫۲۷ | ۱٫۱  | ۲٫۲  | ۳۰     | ۱۸۰۰                 |
| ۰٫۰۷                 | ۰٫۱۵ | ۰٫۲۹ | ۱٫۴  | ۲٫۸  | ۲۷     | ۱۶۰۰                 |
| ۰٫۰۹                 | ۰٫۲۰ | ۰٫۳۸ | ۱٫۸  | ۳٫۶  | ۲۳     | ۱۴۰۰                 |
| ۰٫۱۲                 | ۰٫۲۷ | ۰٫۵۲ | ۲٫۵  | ۴٫۹  | ۲۰     | ۱۲۰۰                 |
| ۰٫۱۸                 | ۰٫۳۹ | ۰٫۷۴ | ۳٫۶  | ۷٫۱  | ۱۷     | ۱۰۰۰                 |
| ۰٫۲۸                 | ۰٫۶۱ | ۱٫۲  | ۵٫۶  |      | ۱۳     | ۸۰۰                  |
| ۰٫۴۹                 | ۱٫۱  | ۲٫۱  |      |      | ۱۰     | ۶۰۰                  |
| ۱٫۱                  | ۲٫۴  | ۴٫۶  |      |      | ۷      | ۴۰۰                  |

مشکل‌های ارتعاشی دیگر می‌توانند پیچیده‌تر باشند و فروشنده‌های آگاه‌تر باید مورد مشورت قرار گیرند. وزن ماشین، فرکانس‌هایی عملیات، وزن توزیع شده روی زمین و اندازه‌گیری‌هایی که باید شامل شتاب، سرعت و جابجایی محل قرارگیری ماشین و نقاط دیگر روی ماشین باشد باید جهت تعیین الزامات ایزولاتور تعیین شوند. برای نمونه، ماشین‌هایی با نیروی فرکانسی پایین ممکن است به یک بلوک بتونی سنگین، به طور کلی ۱٫۵ تا ۲ برابر وزن تجهیزات نیاز داشته باشند. به علاوه، بلوک اینرسی و ساختار داخلی می‌توانند روی ایزولاتورهای فنی تکیه داده شوند. مشکل دیگر، ماشین روی یک زمین نرم است. ارتعاش پیچیده بیشتر از یک صفحه نیاز دارد. در شرایط بهینه، کاهش در سطح صدا (در dBA) باید محدوده‌ای از ۲ dB برای یک ماشین بدون صفحه‌های ارتعاشی و روی یک بلوک اینرسی خیلی سنگین تا ۱۴ dB برای یک ماشین سنگین

روی طبقه دوم و کف نرم باشد.

یک مشکل خاص با پرس های سوراخ کن یا دیگر منابع صدای ضربه ای دوره ای به وجود می آید. اینجا مشکل کاهش انتقال ضربه و ارتعاش بعدی می باشد. انتخاب بهینه ایزولاتور ارتعاشی تابع ارتباط سه فاصله زمانی است. اولی  $t_1$ ، مدت استمرار موثر ضربه است. دومی  $t_2$ ، مرحله (زمان یک دوره) حرکت در نتیجه تشدید بین جرم ماشین و خشکی موثر ارتعاش / ضربه ایزولاتور است. سومی  $t_3$ ، فاصله بین تکرار ضربه هاست. ایزولاتور برای بدست آمدن نتایج نزدیک بهینه باید به نحوی انتخاب شود که  $t_1 < t_2 < t_3$  باشد. مقدار  $t_1$  برای پرس سوراخ کن یا شیار ساز تقریباً زمان بین تماس ابزار با قطعه کار و کامل شدن فعالیت برش می باشد. این موارد می تواند از مشخصه های ماشین تعیین شود؛ اندازه گیری مستقیم با یک اسیلوسکوپ اطلاعات معتبرتری می دهد.

خیلی وقت ها، بخش هایی فلزی (یا پلاستیکی) سَبک در اثر ضربه چندگانه، ارتعاش زنگوله مانند ایجاد می کنند (برای نمونه، بخش هایی ضربه زن بر روی ناودان ها) یا توسط تشدیدهای تولید شده موجب نیروهای خارجی می شوند. در نتیجه، ارتعاش آزاد می تواند به طور موثری با استفاده از مواد میرا کننده خارجی ضعیف شود. استفاده از میرا کننده ها شامل نوارهای آلومینیومی مخصوص، ماله کشی، رنگ آمیزی یا اسپری روی مواد و لایه ساندویچی فشرده شده مواد میرا کننده است. در هر مورد، ویژگی های میرا کنندگی این مواد به دما، رطوبت و مواجهه با مواد شیمیایی بستگی دارد.

## مطالعات موردی

سابقه ۱: ماشین کاغذسازی، پایانه مرطوب<sup>۱</sup> (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

شرح مشکل

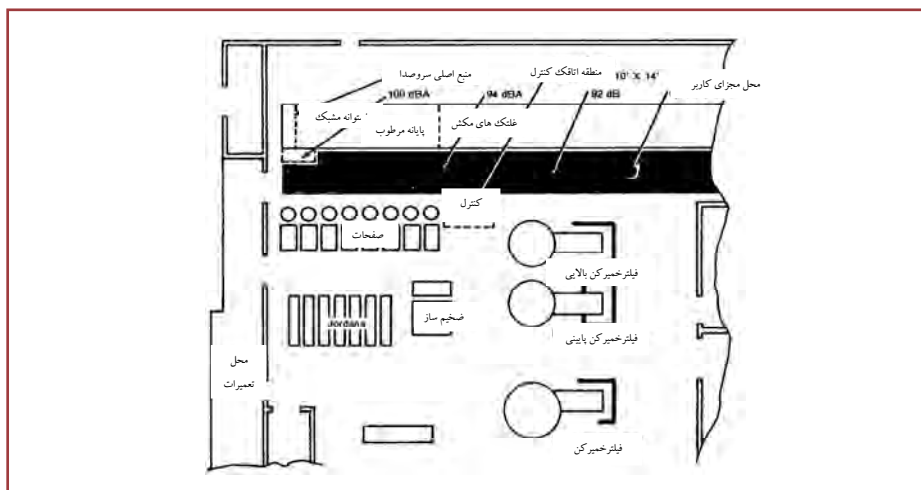
منابع اصلی سروصدای پایانه مرطوب این ماشین کاغذسازی، حرکت مکش هوای استوانه مشبک<sup>۲</sup>، پمپ ها و whipper roll هستند. whipper roll حرکت ضربه ای روی نمد ماشین کاغذ را برای تمیز کردن دائمی شبکه نمدی تأمین می کند.

<sup>۱</sup> Wet End: پایانه مرطوب- بخشی از ماشین کاغذ که بین سرجمه و پایانه خشک قرار دارد.

<sup>۲</sup> Couch roll: استوانه بزرگ و مشبکی است توری یا وایر در انتها یعنی جایی که ورقه منتقل می شود و از دور آن می گذرد. این استوانه محرک اصلی میز فوردرینر است و یک و یا دو جعبه وکیوم دارد.

تجزیه و تحلیل مشکل

سطح سروصدا در پایانه مرطوب در راهروی کاربر ۹۲-۹۴ dBA است. اعداد بالاتر از ۱۰۰ dBA در فضای بسته با استوانه مشبک خوانده شده است.



شکل ۲۵- آسیاب کاغذ- پایانه مرطوب

تولید کنندگان ماشین کاغذسازی یک استوانه مشبک کم صداتر توسعه داده اند که در آن منافذ مکش درون استوانه به جای الگویی منظم در الگویی متناوب هستند. ولی هزینه جایگزین کردن استوانه مشبک بالا است و احتمالاً فقط در طرح توسعه آسیاب و یا ساخت آسیاب جدید مصرف خواهد شد. یک روش جایگزین برای کاهش در معرض قرار گیری کاربر ساخت اطاقک کارکنان برای جای گیری کاربر و کنترل عملیات طی انجام آن. کاربر پایانه مرطوب ماشین کاغذ یک ساعت و یا کمتر را صرف تنظیم استوانه مشبک در یک نمونه روز کاری می کند. اگر میزان مورد تعادل هر روز قرار گیری در معرض ۹۲-۹۴ dBA در راهروی عملیاتی آسیاب باشد، در معرض قرار گیری حاصل از حدود OSHA تجاوز می کند. با این وجود اگر کاربر یک ساعت را در ۱۰۰ dBA (تنظیمات استوانه مشبک)، ۲ ساعت را در مراقبت کلی نزدیک ماشین در ۹۲ dBA و میزان مورد تعادل شیفت را در محدوده تحت ۹۰ dBA شامل یک اطاقک کارکنان بگذرانند میزان سروصدای روزانه او برابر خواهد بود با:

$$1 \text{ ساعت واقعی} + 2 \text{ ساعت واقعی} = 5/6 = 0/83$$

۱ ساعت مجاز ۶ ساعت مجاز

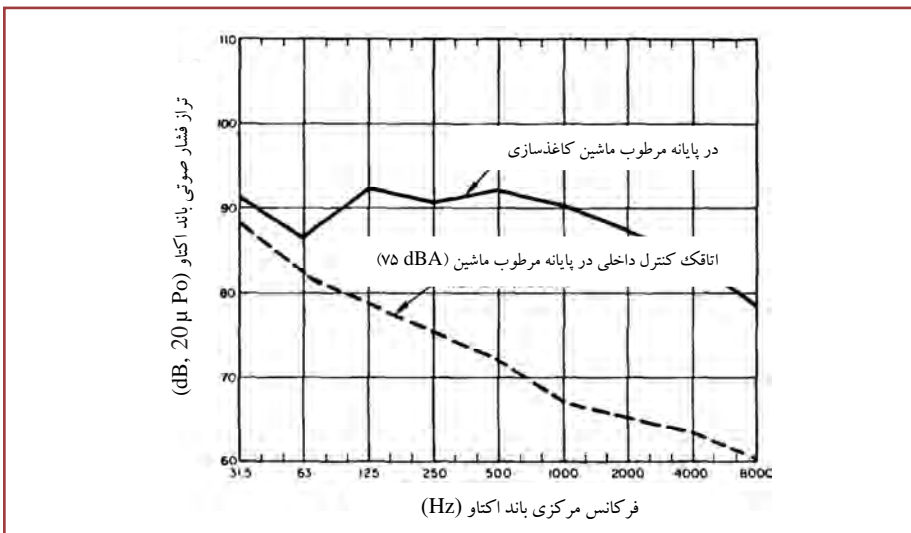
از آنجا که این مقدار از ۱/۰ کمتر است، در میزان مجاز در معرض قرارگیری مقررات فعلی OSHA قرار دارد.

شرح کنترل

توصیه برای پایانه مرطوب ماشین کاغذ (استوانه مشبک و whipper قرارگیری در معرض سروصدای) مهیا نمودن یک پنجره با نمایی جهت مشاهده عملکرد ماشین برای یک کاربر کنترل کننده عملیات و ابزارهاست. محاسبات نشان می دهند که تقلیل ۱۵ dB لازم می تواند با یک سازه ساده شامل دیواره های تخته چندلا داخلی و خارجی ۲×۴ in با ۱/۲ in قاب بعلاوه یک در محکم و پنجره دوجداره هر یک ۵×۳ ft حاصل شود. سقف و نیمه بالایی دیوارها با آجر آکوستیک جهت کاهش سروصدای طنین انداز پوشیده می شوند. نور، گرما و تهویه هوا برای آسایش کارگران فراهم آورد می شوند. ساخت و ساز در محل \$ ۲۵۰۰ هزینه در بردارد.

نتایج

نتایج حاصل از قرارگیری در محیط بسته در شکل زیر نشان داده شده است. میزان صدای داخلی تا ۷۵ dB نسبت به میزان خارج از آن که ۹۲-۹۴ dBA بود کاهش یافت. کاهش بیشتر را می توان با خرید محافظ های آکوستیک یا کاربرد سازه های با دقت طراحی شده (از نقطه نظر شنوایی) نظیر دیوارهای بلوک سیمانی، با پنجره دوجداره یا جذب صدای داخلی حاصل نمود.



شکل ۲۶- تراز فشار صوتی در پایانه مرطوب ماشین کاغذسازی

## توضیحات

بیشتر مشکلات که باید از آنها پرهیز شود غیر شنیداری هستند. ضروری است که کاربر در پایش بصری عملکرد ماشین دخالتی نداشته باشد. این ملاحظات محل قرارگیری اطاقک و جایگاه پنجره را معین می کنند.

## سابقه ۲: ایستگاه آزمایش گاز توربین (مشکل حفاظت شنیداری و سروصدای ارتباط گفتاری)

### شرح مشکل

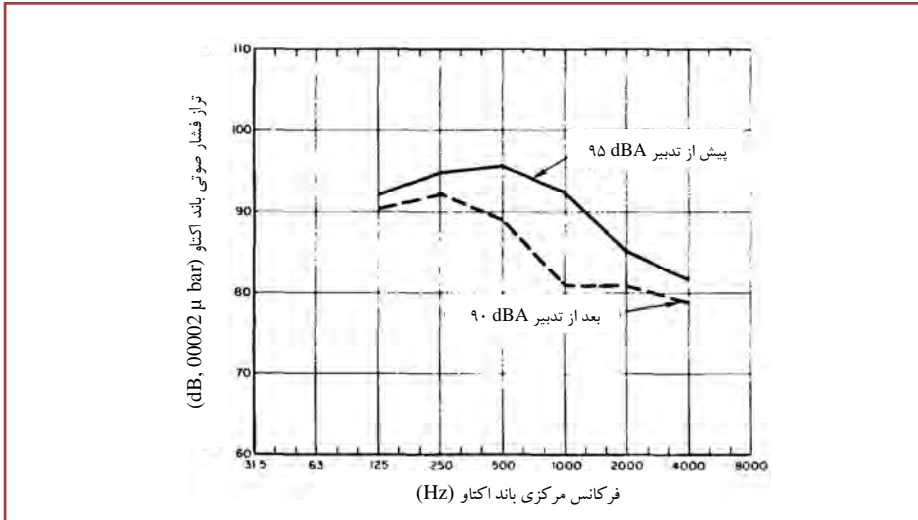
جایگاه عملیات آزمایش گاز توربین در کارخانه شرکت جنرال الکتریک اسکنتکادی نیویورک، کارگران ساخت و مونتاژ را در فضای کاری  $128000 \text{ ft}^2$  در اطراف محل آزمایش گیر انداخته است. به ویژه اینکه، صدای بین ۹۵-۹۰ dBA در مجاورت جایگاه آزمایش که حدود ۴۰ نفر از کارکنان در زمان های مختلف کار می کنند به دفعات موجود بود.

### تجزیه و تحلیل مشکل

ایستگاه آزمایش مسئول برای سطوح بالای صدا تا حدودی مورد تدبیر واقع می شود، جایگاه آزمایش با نواری از دیواره سر باز صوتی با ارتفاع  $14 \text{ ft}$  احاطه می شود. سروصدا از بالای منطقه تا حدی احاطه شده ی آزمایش که برای دسترسی جرثقیل سرباز است انتشار می یابد. جایگزین های کاهش سطوح صوتی در منطقه اطراف جایگاه برای بهبود سطوح اتاق جهت کاهش اثرات طنین صدا باریک شدند. آویختن صفحه منعکس کننده، پوشش دادن دیوارها و سقف با پتو و اسپری کردن مواد که در نهایت برای اجرا انتخاب شدند مورد بررسی واقع شدند. برآوردهایی از مزیت صوتی مبتنی بر محاسبات ثابت های موجود و اصلاح شده اتاق پیش از نصب انجام شد.

### شرح کنترل

تدبیر انتخاب شده از یک لایه یک اینچی اسپری ماده پایه سلولزی به نام k-13 در اختیار گذاشته شده توسط سلولز ملی تشکیل شده بود. ماده مستقیماً برای پوشش سطوحی به کار می رود که یک پوشش دائمی حرارتی و صوت ایجاد کند. در این عملیات حدوداً  $28000 \text{ ft}^2$  از سقف و دیوار منطقه با هزینه حدود  $1/10 \text{ \$/ft}^2$  پوشش داده شد.



شکل ۲۷- ترازهای صوتی کاهش یافته در راهرو به صورت پیش بینی شده

## نتایج

سطوح صوتی راهرو همان گونه پیش بینی شده است بین ۹۰-۹۵ dBA به طوری که در شکل زیر نشان داده شده است کاهش یافت. منطقه دارای افراد اطراف جایگاه آزمایش با سطوح صوتی بیش از ۹۰ dBA حذف شده است.

## توضیحات

علاوه بر بهینه سازی محیط صوتی، شرکت جنرال الکتریک موفق به اضافه نمودن عایق حرارتی هم شد. صرفه جویی سالانه بسیار عالی در هزینه حرارتی برای تدبیر به کار رفته برآورد شده یکی از دلایل اصلی انتخاب مواد به کار رفته در سطح می باشد. مزایای اضافی شامل هزینه های نگهداری کمتر (دیگر نیازی به رنگ کردن ارتفاع ۶۵ ft سقف و دیوارها نیست) و انعکاس و انتشار بهینه شده نور است.

سابقه ۳: دستگاه پرس ۸۰۰ تنی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی)<sup>۱</sup>

## شرح مشکل

دستگاه پرس ۸۰۰ تنی ورسون واحدی معظم با وزن حدود ۲۷۵۰۰۰ lb در نصب شده روی ستی

<sup>۱</sup> OSHA

چهارپایه روی ستون های سنگین سیمانی است. محصول این پرس بخش های  $1/4$  in فولادی به عرض  $10$  in و طول  $10$  ft -  $8$  شاسی فولادی اتومبیل بود. سرعت معمول عملیات  $30$  ضربه در دقیقه بود. فولاد به عنوان ماده اولیه از طریق یک قرقره به پرس وارد می شود. سطوح سروصدا حدود  $120$  dB در ضربه،  $105$  dB در شبیه اوج و  $94,5$  dBA در جایگاه ماربر بود که در فاصله  $4$  ft جلوی دستگاه پرس بود.

#### تجزیه و تحلیل مشکل

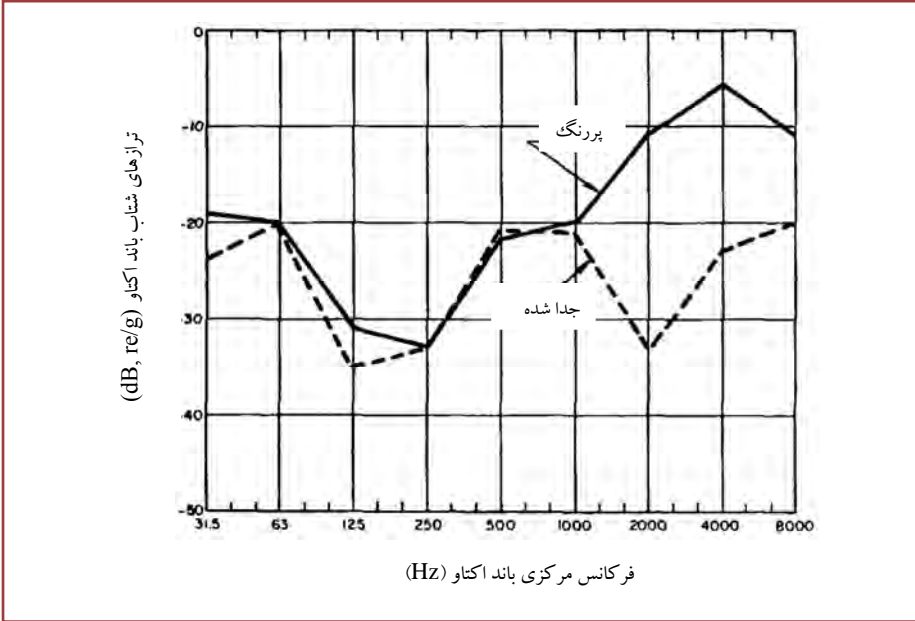
به عنوان نقطه شروع برای حل کلی مشکل سروصدا در مورد پرس جدا ارتعاش و تعیین کاهش پیش از کار کردن بر روی سایر منابع صوتی که جزء این سابقه نیستند تصمیم گرفته شد. پرس در وضعیت یکبارہ عمل می کرد. از این رو شبیه اوج های خوانده شده برای هر باند اکتاو برای تأثیر بر گوش نسبت به rms های خوانده شده (تراز A آرام) معنی بیشتری داشت. میزان اوج بیشترین سطحی است که سروصدا دارد در حالی که شبیه اوج مقدار دائمی نشان دهنده میانگین (بیش از  $600$  msec) سطوح بالایی که پیش از زمان نمود یافتن هستند و بدین ترتیب کمتر از اوج واقعی ولی بزرگ تر از مقادیر تراز A آرام است. داده های ارتعاش برای حمایت از پی ساختمان، طبقه نزدیک دستگاه پرسو ستون ساختمان مجاور و سازه مربوط به پرس در پایه دستگاه پرس پیش و قبل از نصب جدا سازها ثبت شدند.

#### شرح کنترل

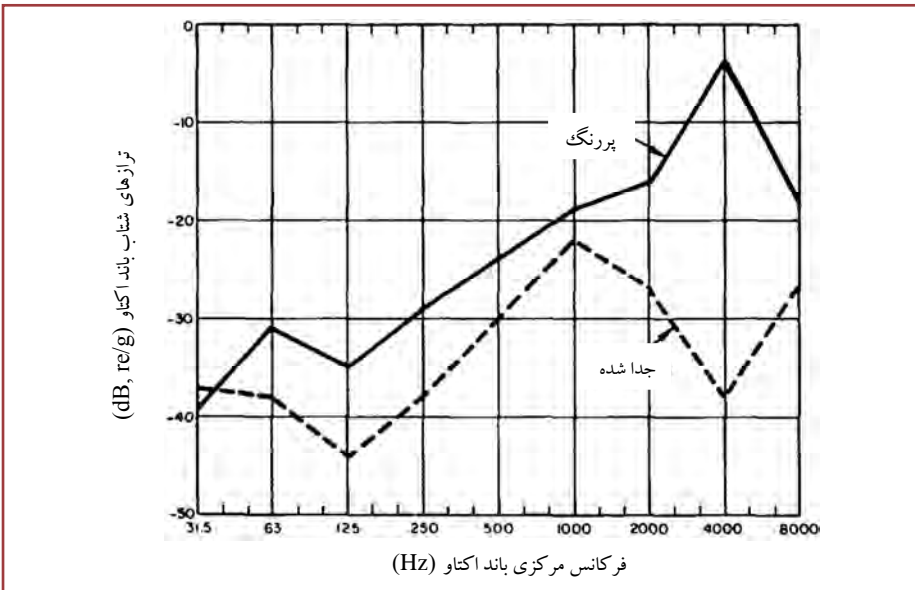
با توجه به داده های مربوط به ضربات در هر دقیقه و وزن پرس، جداسازها برای شرکت ارتعاش دینامیک (لاگرانگ، النویز) سری های BFM جداسازهای سطح/ میکرو، در زیر پایه پرس اختصاص داده شدند. هیچ فهرست قیمتی در دسترس نمی باشد زیرا هر مسئله جداسازی به طور ویژه مهندسی و نقل می شود. هزینه برای جداسازها حدوداً  $\$ 2000$  و برای کار نصب در کارخانه احتمالاً  $\$ 1000$  است.

#### نتایج

اضافه کردن لایه جداسازی، شتاب عمودی را در ستون تا  $9/5$  dB کاهش می دهد همان طور که در شکل ۶,۳,۱ نمایش داده شده است. بیشتر این کاهش در باندهای  $2$ ,  $4$  و  $8$  kHz اتفاق می افتد. کاهش شتاب عمودی پایه تا ستون  $30$  dB بود. شکل ۲۸ شتاب افقی در ستون را نشان می دهد.



شکل ۲۸- شتاب عمودی بر ستون پیش و بعد از جداسازی

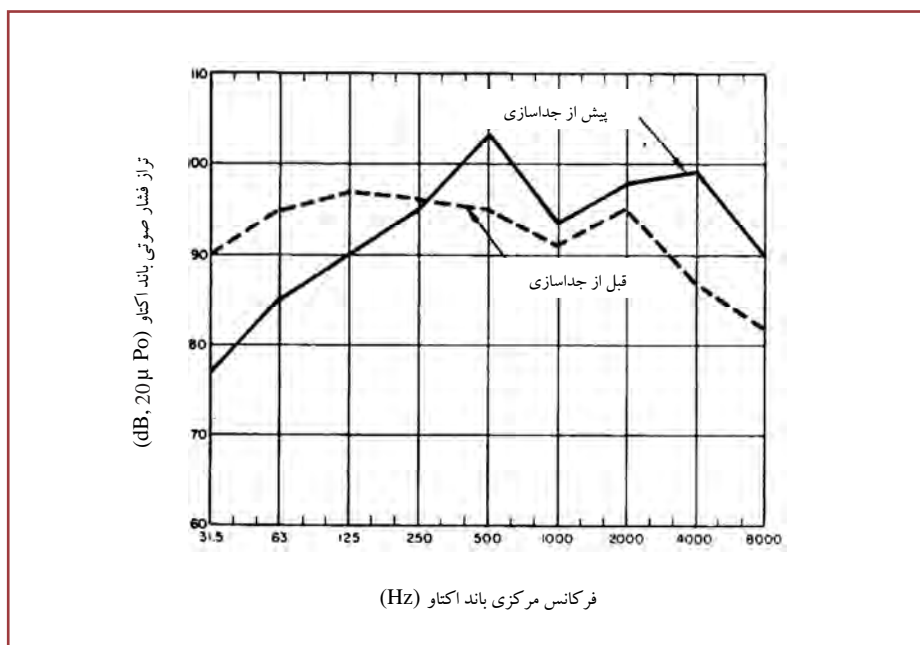


شکل ۲۹- شتاب افقی بر ستون پیش و بعد از جداسازی



اضافه کردن جداسازی در کاهش شتاب تا ۳۰ dB موثر بود. شتاب افقی پایه تا ستون با لایه جداسازی تا ۳۶dB کاهش یافت. لازم به ذکر است این حرکت عمودی است که مسئول بیشتر صدای منتشره توسط کف است. شکل زیر سطوح خوانده شده فشار صدای را قبل و بعد از جداسازی مقایسه می کند (شبهه اوج های خوانده شده، عملیات یکباره). سطوح dBA محاسبه شده یک کاهش ۶/۵ dB در سطح صوت را نشان می دهد. جداسازها ارتعاش را در پی حفاظتی، کف، ساختمان، ستون و سازه فشار کاهش می دهد. مشخص شده است که دلیل اصلی سروصدای نهانی یا اطراف ارتعاش سازه ساختمان است که فرض می شود به وسیله پیچ پایه بعد از شوک باشد. محاسبات در اینجا نشان می دهند که یک سطح شبهه اوج صوت ۱۰۵ dBA پیش از جداسازی و یک سطح ۹۸/۵ dBA بعد از جداسازی وجود داشته است.

با ارتباطی حدود ۱۰ dB شبهه نقطه اوج تا rms، در جایگاه کاربر کاهش برابر با ۹۴/۵-۸۸ صورت گرفته است. پرس های دیگر سروصدای خود را دارند و سطوح صوتی را تا بیش از ۹۰ dBA افزایش خواهند داد. سایر منابع سروصدا باید در پرس جداگانه کنترل شوند.



شکل ۳۰- ترازهای شبهه نقطه اوج ۴ ft از پایین دستگاه پرس پیش و بعد از جداسازی

توضیحات:

مشکل اصلی این رهیافت این است که کاهش ناشی از جداسازی ارتعاشی سطح صوت در هوا تقریباً غیر قابل پیش بینی است. با این وجود یک برنامه کنترلی جدی در چنین عملیاتی بایستی ابزارهای جداسازی برای همه پرس ها را شامل شود.

یک فایده (م. این کار) این است که طول عمر و حفظ و نگهداری چنین ماشین هایی که جدا ارتعاش هستند، به طور معنی داری برای پرس کردن افزایش می یابد. جداسازها عملیات و حفظ و نگهداری را با کاهش شکست پیچ های پایه، خراب شدن پی یا شکستن پایه پرس بهبود می دهند.

#### سابقه ۴: ماشین میخ سازی<sup>۱</sup> (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

شرح مشکل

یک ماشین میخ سازی تحت شرایطی که تأثیرات شدیدی را سبب می شد کار می کرد. ارتعاش به طور محکمی به کف بتونی ضعیفی انتقال می یافت که سروصدای قابل ملاحظه ای را منتشر می کرد. ۱۰ ماشین بودند که با ۳۰۰ ضربه در دقیقه کار می کردند. سطح صدا برای کاربر ۱۰۳/۵ dBA بود.

شرح کنترل

تصمیم گرفته شد که برای کاهش انتشار سروصدا از جداسازی ارتعاشی استفاده شود. به دلیل وضعیت شوک مکرر، انتخاب جداساز تابع قوانین زیر بود:

- ۱) پریود طبیعی ماشین جداساز مثبت بایستی بیشتر از مدت زمان شوک مثبت باشد (۱۰ msec).
  - ۲) پریود طبیعی ماشین جداساز مثبت بایستی کمتر از زمان بین پالس ها باشد (۲۰۰ msec).
- انواع الاستومر جداسازها که یک انحراف استاتیک  $0/1 \text{ in}$  تحت بار ماشین داشتند، مورد استفاده قرار گرفتند. این مربوط است به پریود طبیعی ۱۰۰ msec که شرایط طراحی را مهیا می کند.

نتایج

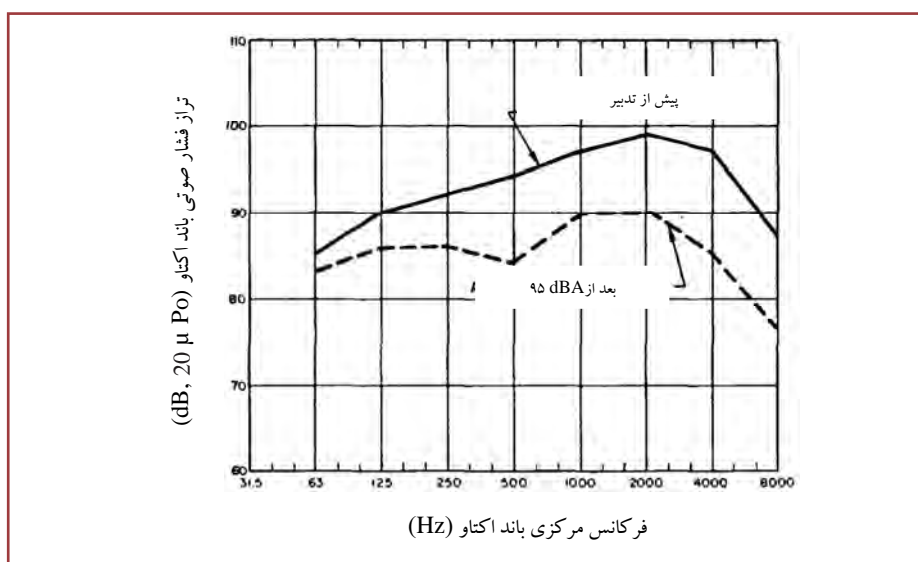
شکل زیر دامنه های باند اکتاو را در جایگاه کاربر نشان می دهد بعد از اینکه همه ماشین ها جداسازی ارتعاش شده بودند. سطوح صدا حدود از ۸/۵ dB به ۹۵ dBA کاهش یافته است سطحی که هنوز بیش از سطوح مجاز است. کنترل بیشتر سروصدا مورد نیاز است.

توضیحات

برای نگهداری از جداساز بایستی به کارکنان نگهداری کننده آگاهی داده شود که با هیچ گونه

<sup>۱</sup> از Crocker, M.J. و Hamilton, J.F. ۱۹۷۱. جداسازی ارتعاش برای کاهش سروصدای ماشین. صوت و ارتعاش ۵ (۱۱): ۳۰.

اتصال بین ماشین و زمین برای جدا ساز جریان کوتاه ایجاد نکنند. این جریان کوتاه می تواند همچنین می تواند زمانی اتفاق بیفتد که کثیفی و چربی اطراف غلاف را می گیرد. از آنجا که کاهش سطح صوت به ۹۵ dBA به اندازه قابل ملاحظه ای برای قرارگیری کاربر در کل روز رضایت بخش نیست، کاهش بیشتر سروصدا می تواند با طراحی یک سد بین منبع اصلی سروصدا در ماشین و کاربر حاصل شود. بسته به نیاز به داشتن دید از میان سد، تخته چند لایه، پرده وینیلی حاوی سرب یا پلکسی گلاس می توانند مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۳۱- ترازهای فشار صوتی جایگاه کاربر پیش و بعد از تدبیر ماشین میخ سازی

چنین سدی کاهش برابر با ۵-۸ dB را در جایگاه کاربر حاصل می آورد. (برای پارامترهای طراحی محاسبه شده به سابقه ۵۲ و برای پارامترهای سرانگشتی به سابقه ۱۴ رجوع شود) این کاهش سروصدا بایستی به سطوح صوتی کمتری بین ۸۷-۹۰ dBA منتج شود. در جایی که یک سری ماشین وجود دارد کاهش بیشتر چند دسی بلی به وسیله اضافه کردن فضای جاذب یا به شکل اسپری کردن جاذب های صوتی بر روی سقف و دیوارها یا به صورت آویختن صفحه موج گیر<sup>۱</sup> جاذب از سقف حاصل می شود.

<sup>۱</sup> baffles

### سابقه ۶: دالان سرازیری انتقال اجزا<sup>۱</sup> (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

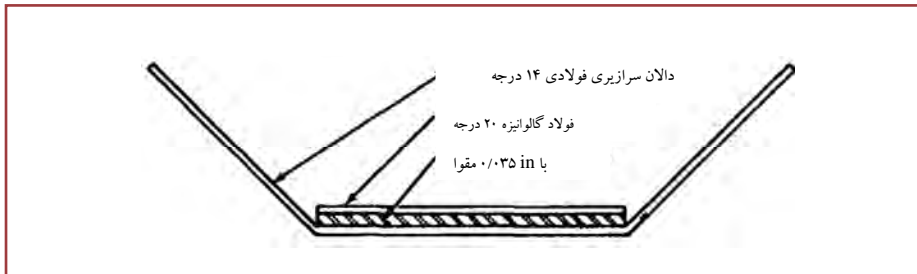
این مورد به خاطر اهمیت تشریح روش برای سایر کاربردها از داده های<sup>۲</sup> منتشره اخذ شده است. شرح مشکل

دالان سرازیری برای انتقال قسمت های کوچک می تواند از اثر اجزا بر صفحه فلزی آن ایجاد سروصدا کند. سروصدای (یک شی) می تواند با به حداقل رسانی فاصله آنچه که باید در دالان سرازیری بیفتد کاهش داده شود. برای کاهش بقیه سروصدا دالان سرازیری می تواند سفت و کم صدا شود.

شرح کنترل

لایه محدود کننده صوت می تواند استفاده شود که تدبیر انجام شده می تواند در هر دو طرف و یا در زیر دالان سرازیری قرار داده شود. اگر در طرف اشیا واقع شود بایستی لایه فلزی، پوشش مقاوم به اثر اشیا را داشته باشد. در این مثال کارتریج کالیبر ۳۰ در دالان سرازیری حمل می شود که در شکل ۳۲ نشان داده شده است.

ته دالان سرازیری فولاد ۱۴ درجه بود که با  $0.035$  in مقوا پوشیده شده و سپس با یک



شکل ۳۲- دالان سرازیری برای انتقال جعبه های کارتریج

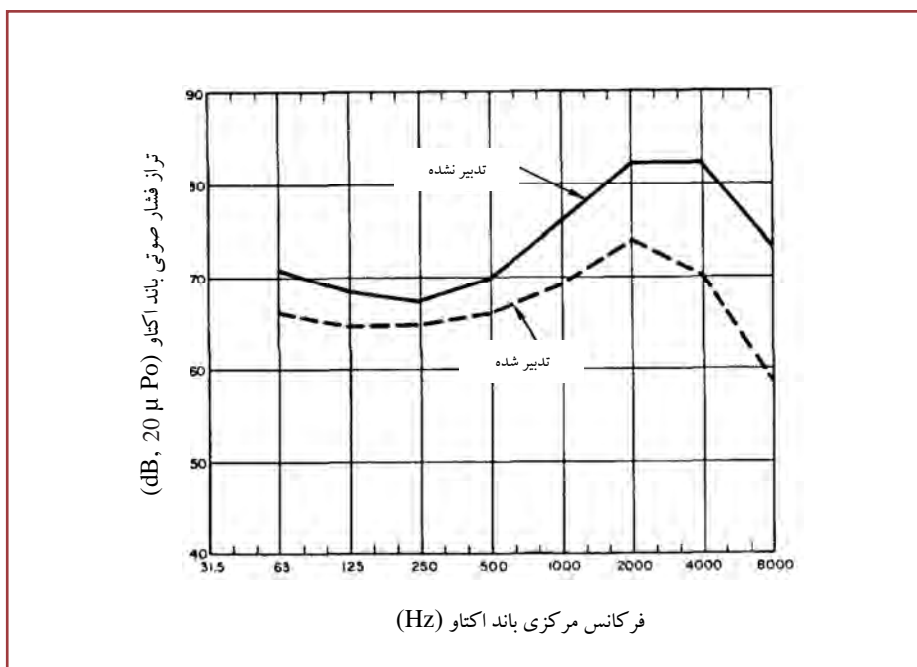
صفحه فولاد گالوانیزه ۲۰ درجه پوشش داده شد. صفحه های لاستیکی منحرف کننده جریان در وضعیتی قرار داده می شوند تا اشیا را مانند یک قیف به مرکز دالان سرازیری هدایت کنند به طوری که آنها به اطراف دالان سرازیری که مورد تدبیر واقع نشده اند برخورد نکنند.

<sup>۱</sup> Chute: دالان سرازیری

<sup>۲</sup> Cudworth, A.L. 1959 noise control.

### نتایج

شکل ۳۳، ۶،۳۳ امواج اندازه گیری شده در فاصله ۳ft از یک طرف دالان سرازیری را نشان می دهد. سطح صوت از ۸۸ dBA به ۷۸ dBA کاهش یافته است، کاهش حدود ۱۰ dBA. کاهش بیشتر می تواند حاصل شود اگر لایه های مضاعفی از مقوای نازک تری (در تماس محکم با صفحه پوشاننده) مورد استفاده واقع می شدند. مواد بهتری می توانند جایگزین مقوا شوند با دستیابی تجاری به مواد کاهنده صدا که به طور ویژه برای لایه های محدود کننده فرموله شده اند.



شکل ۳۳- ترازهای فشار صوتی اندازه گیری شده در فاصله ۳ft دالان سرازیری

### توضیحات

هنوز صدای زیادی از بالای انتقال دهنده خارج می شود. یک پوشش جاذب بایستی سروصدا را ۵-۱۰ dBA دیگر کاهش دهد. پیش از هرگونه کوشش در کنترل صدا میزان نسبی سروصدا از بالا تا کف (م. دالان سرازیری) تعیین شود.

## سابقه ۷: خرد کن ضایعات پلاستیکی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

شرح مشکل

در اتاق قالب زنی، منابع اولیه سروصدا، خرد کن قطعات پلاستیکی و گرانول کننده پلاستیک هستند. سروصدا طی چند سال گذشته به خاطر رشد در تعداد خردکن ها و افزایش سختی پلاستیک های جدید بیشتر شده است.

تجزیه و تحلیل مشکل

حداکثر سطح صوتی ۱۲۵dB<sub>A</sub> در فاز اولیه خرد سازی ثبت شده است و ۱۰۰dB<sub>A</sub> مشترک است.

شرح کنترل

اگرچه شرایط مطلوب خردکن ضایعات پلاستیکی از قبیل اندازه مناسب غربال، پاک سازی تیغه روی غربال<sup>۱</sup> و رویه مناسب غذا دهی به کاهش سروصدای خردکن در تجهیزات موجود کمک می کند. این به تنهایی نمی تواند حدود صوتی قابل قبولی را در واحد ایجاد کند. بیشتر سروصدا ناشی از القای طنین از قطعات فلزی است. مواد کاهنده صوتی برای همه سطوح به کار رفت: محفظه ناودانی<sup>۲</sup>، داخل پایه ستون ها، پایه ها و پوشش ها. به طور کلی یک ۱/۴ in برای پوشش دادن رضایت بخش بوده است برای اکثر خردکن های از مدل سکو ۱۸ × ۳۰ in تا گلوگاه خردکن. نتایج

نتایج قبل و بعد از انجام تدبیر در شکل ۳۴ نشان داده شده است (هر یک برای یک بار ۴ lb پلی کربنات)، سطح صدا را به زیر معیار OSHA می آورد و سطح حداکثر صدا را از ۱۰۰ dB<sub>A</sub> به دامنه ۸۸-۹۰ dB<sub>A</sub> کاهش می دهد.

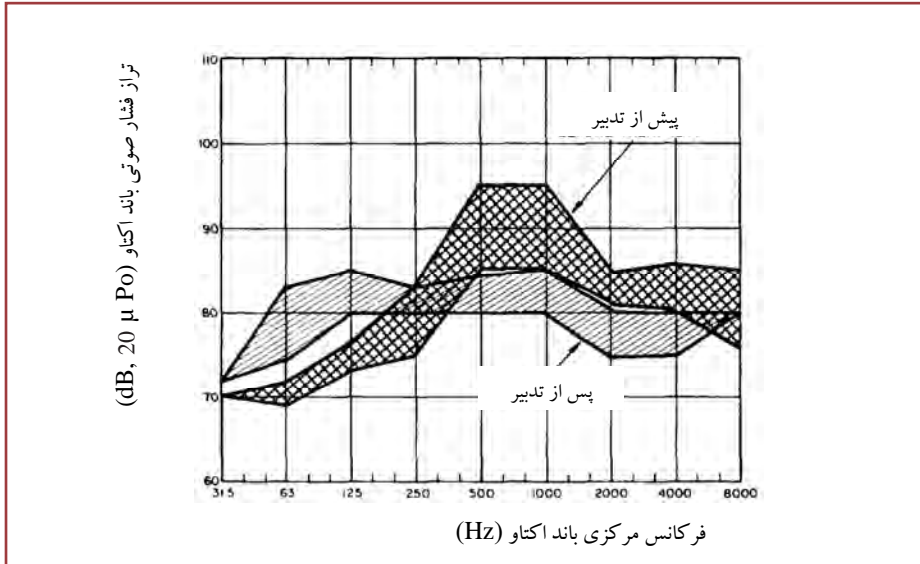
توضیحات

بعضی از تولیدکنندگان نسخه بی صدای سیستم برش پلاستیک<sup>۳</sup> را به حراج می گذارند.

<sup>۱</sup> blade-to-screen clearance

<sup>۲</sup> hopper: محفظه ناودانی خوراک دستگاه

<sup>۳</sup> plastics pelletizers



شکل ۳۴- خرد کن ضایعات پلاستیکی؛ دامنه ترازهای فشار صوتی پیش و بعد از تدبیر

### سابقه ۸: محفظه ناودانی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

این سابقه تلاش های کنترل سروصدا را برای یک منبع رایج در بسیاری از صنایع شرح می دهد که از افتادن اجزای مونتاژ درون صفحه فولادی محفظه ناودانی ایجاد می شود.

شرح مشکل

سر محفظه فولادی در این مورد باز بود و با طول کمی بیش از ۶۳ in در عرض ۲۱ in در ارتفاع ۲۱ in از یک سو سرازیر می شد به ارتفاع ۳۸ in به سوی دیگر. صفحات محفظه ناودانی ۱/۴ in فولادی هستند بجز برای پایین تر از ۱۷ in طرف پهن تر که درهای فولادی ۱/۲ in برای قادر سازی کاربر به برداشتن اجزا تعبیه شده اند. کاربر در جایگاه مونتاژ بین دو محفظه ناودانی که هر یک به فاصله یک متر از گوش او هستند کار می کند. در این حالت حامی پروژه سعی در کاهش قرارگیری کاربر در معرض سروصدا دارد اگرچه هیچ هدف ویژه ای برای کاهش سروصدا تعیین نشد.

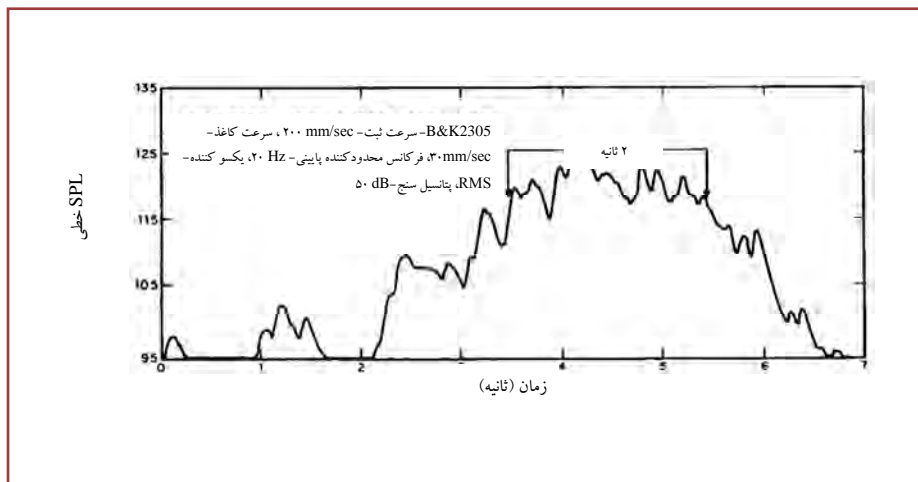
تجزیه و تحلیل مشکل

سروصدای محفظه ناودانی که به وضوح در ارتباط با اثرات اجزای فلزی بر سطوح محفظه ناودانی

است، می تواند فقط به وسیله فلزات محفظه ناودانی و اجزای مونتاژی که بر اثر ضربه ارتعاش ایجاد می کنند، به وجود آید. شرکت E-A-R یک تولید کننده مواد کم صدا برای بررسی مزیت پتانسیل انجام تدبیر برای صفحات محفظه ناودانی با فلزات کم صدا خوانده شد. تحقیقات بعدی شامل انجام اندازه گیری ها سروصدا در یک محفظه ناودانی مورد تدبیر واقع شده و یک نوع مورد تدبیر واقع نشده بود. شکل ۲۵ سابقه زمانی محفظه ناودانی مورد تدبیر واقع نشده را در جایگاه کاربر نشان می دهد. در اینجا فشار صوتی سنجیده نشده نشان داده می شود سطح صوتی تقریبی مربوط به پاسخ های سریع نگاشته می شود. از آنجا که ایجاد سروصدا در زمان کوتاهی است، ضبط نوار برای تجزیه و تحلیل های آزمایشگاهی انجام شد. ضبط نوار در آزمایشگاه برای حصول تجزیه و تحلیل های نوار باریک از انتشار سروصدا از محفظه های تدبیر شده و تدبیر نشده به منظور مقایسه کاهش داده شد.

شرح کنترل

تدبیر پوشانیدن خارجی محفظه ناودانی با لایه ۳/۱۶ in را شامل بود. مواد کم صدای شرکت E-A-R C-2003 به نوبه خود با یک لایه خارجی ۱/۸ in فولادی پوشش داده شدند. چسب Bostik برای پیوند دادن مواد کم صدا به دو سطح فولادی مورد استفاده قرار گرفت. محیط خارجی صفحه پوششی فولادی که کمی آویخته به لایه کم صدا بود به لبه های اطراف صفحه اولیه جوش داده شد.



شکل ۲۵- تراز فشار صوتی سراسری در برابر زمان سروصدای ناشی از اجزایی که به داخل قیف کم صدا نشده می افتند.



کل ساختار ساندویچ مانند آنچه را تشکیل داد که سیستم کم صدای لایه محدود کننده نامیده می شود، یک سیستم کارا برای از بین بردن انرژی ارتعاشی. یک طرف محفظه ناودانی یعنی سمت دارای در، کاملاً بدون انجام تدبیر باقی ماند.

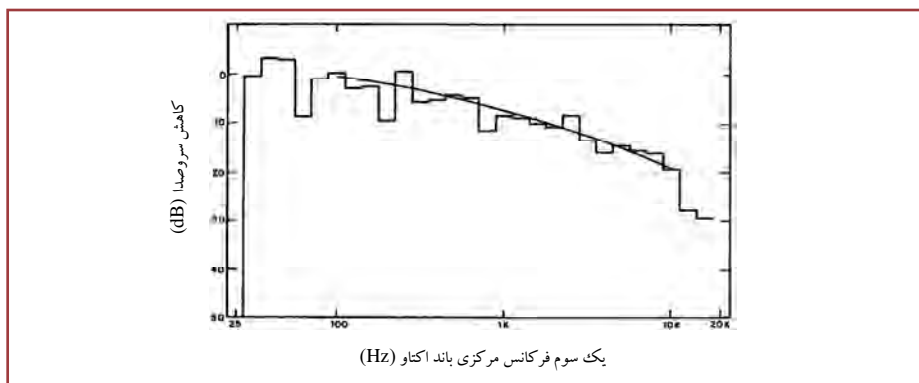
نتایج

کاهش سروصدای اندازه گیری شده مطابق با فرکانس متغیر است ولی مقدار آن تا کاهش سطحی برابر ۹ dB طی فواصل زمانی ۲ ثانیه برای حداکثر سروصدای خروجی است. شکل زیر کاهش حاصله در باندهای اکتاو ۱/۳ را نشان می دهد. کاهش اندازه گیری شده عمدتاً به وسیله صداهای بخش های مرتعش که به فضای محفظه ناودانی سرباز فرار می کنند محدود می شوند.

توضیحات

کاربرد صفحات محدود شده با مواد کاهش صوتی دارای لایه خارجی شبیه به ماده ساختار پایه ای می تواند یک کنترل صوتی موثر در تعداد زیادی از سایر وضعیتها باشد که در آنها محصولات بر سازه ها ضربه می زنند و ارتعاش القا می کنند. برای مثال محصولات اغلب در کارخانه ها از طریق نقاله حمل می شوند.

انحرافات صفحه فلزی، سطل های بالابر، دالان های سرازیری و سایر اجزای سیستم انتقال برای اینکه مورد تدبیر کاهش صوت واقع شوند احتمالاً کاندید هستند. کاهش صوت گسترشی در جایی که مواد کاهنده صوتی در پیوند با سازه پایه هستند ولی با لایه محدود کننده پوشانیده نشده اند می تواند همچنان موثر و مشابه باشد. با این وجود مواد کاهنده صوتی بیشتری ممکن است لازم باشد و مواد کاهنده در معرض دید قرار گیرند (یک منبع ممکن مربوطه به صنایع مانند غذا سازها).<sup>۱</sup>



شکل ۲۶- کاهش سروصدا از صداگیری

<sup>۱</sup> بطور کلی، یک لایه مواد کاهنده، حداقل به ضخامت سازه پایه، مورد استفاده قرار می گیرد.

کاهش سروصدای قابل حصول با چنین تدبیری می تواند با اندازه گیری «ضریب اتلاف» سطوح مورد تدبیر واقع نشده و به وسیله برآورد «ضریب اتلاف» سطوح مورد تدبیر واقع شده پیش بینی شود. اولی با اندازه گیری تنزل ترازهای شتاب سطح انتشار دهنده سروصدا و دومی با استفاده از سطوح تدبیر شده با مواد دارای خاصیت دینامیکی و ثنوری مناسب انجام شده اند. سایر تدابییری که ممکن است دارای مزایای مساوی با کاهش صوت در وضعیتی ویژه باشند شامل موارد زیر هستند:

- به حداقل رسانی نیروی اثر با کاهش فاصله افتادن قطعات ایجاد کننده اثر.
- به حداقل رسانی نیروی اثر با پوشش دادن سطح برخورد ضربه و پوشاندن عوامل اجازه دهنده.
- کاهش مساحت انتشار دهنده صدا در سازه موثر، با استفاده از صفحه فلزی منفذ دار و کشیده شده به جای صفحات محکم و سفت.

مواد کاهنده صوتی پاسخ ارتعاشی پس از اثر یک سیستم را به یک نیروی کاربردی خارجی تغییر می دهند. بدین ترتیب کاربرد مواد کاهنده صوتی تمایل سطح به ایجاد صدا را بعد از ضربه کاهش می دهد و یا انتشار یک برآشفتگی در حال حرکت از مبدأ ایجاد آن به تعویق می اندازد. مواد کاهنده صوتی برای ساکت کردن صدای ناشی از سطوح مورد برخورد یا به حداقل رسانی سطح انتشار سروصدا مفید هستند. با این وجود لازم به ذکر است که مواد کاهنده صوتی تنها اثری کوچک بر دوام اثر پاسخ ارتعاشی یک سیستم به یک نیروی مورد کاربرد خارجی دارند. سپس اگر مشکل سروصدای شما به وسیله یک ارتعاش اعمال شده بر یک سطح ایجاد شود (مثلاً ارتعاش ایجاد شده در دیواره لوله به وسیله آشفتگی ناشی از مایع درون آن) مواد کاهنده صوتی به عنوان یک چاره نامناسب هستند و شما بایستی به دنبال راه های دیگری برای حل مشکل باشید. (مثلاً بهینه سازی اتلاف انتقال دیواره لوله با پوشانیدن آن)

### سابقه ۱۳: ماشین شانه زنی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

شرح مشکل

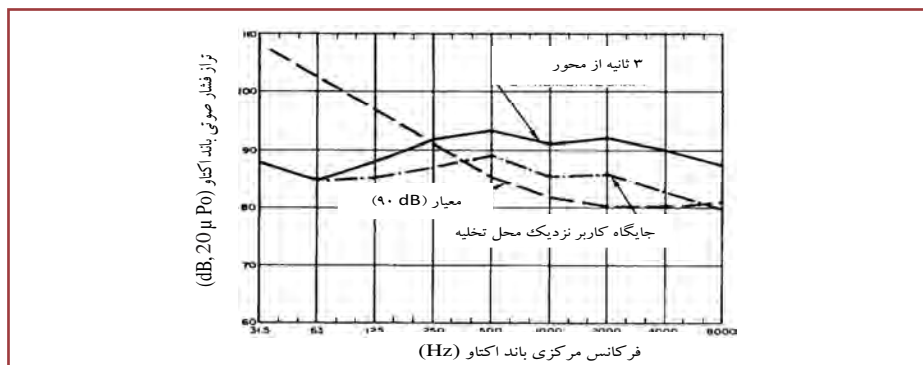
ماشین های شانه زنی در صنعت نساجی در فرایند ساختن نخ از توده کتان یا پشم مورد استفاده قرار می گیرند. ماده خام تمیز شده وارد ماشین شانه زنی می شود که اول مواد را برای جهت گیری مناسب الیاف شانه می زند و یک صفحه ضعیف از مواد مورد فرایند را تشکیل می دهد. سپس صفحه با عملیات محکم کردن<sup>۱</sup> به صورت تارهایی متراکم می شود که حرکت رفت و برگشتی متقابل روی بستر افقی به نام آپرون است. این مکانیسم هدایت کننده آپرونها است که مشکل

<sup>۱</sup> close fitting

سروصدای اینجا را سبب می شود: یک محور عمودی با حرکت گریز از مرکز چندین ردیف آپرون را به سمت جلو و عقب حرکت می دهد. ولی در این حالت ضربات مکانیکی بی شماری وجود دارد که همگی ایجاد سروصدا می کنند و ضمن اتصال و حفاظت بین محور محرک و آپرون جایی که شوینده های فلزی به عنوان عناصر فاصله دهنده عمل می کنند اتفاق می افتد. کاربرها در اطراف ماشین شانه زنی کار می کنند هر یک چندین بار برای اطمینان یافتن از عملکرد روان و تأمین مواد خام، برداشتن محصولات و تمیز کردن محل خم می شوند.

تجزیه و تحلیل مشکل

تجزیه و تحلیل سابقه زمانی در معرض سروصدا قرارگیری هر یک از کاربران نشان می داد (۱) که سنجش زمانی قرارگیری در معرض سروصدا توسط OSHA کمی از حدود مجاز تجاوز می کند، (۲) که بخش بزرگ تری از قرارگیری در معرض سروصدا در پایانه های تخلیه اتفاق می افتد، جایی که ترازهای صوتی از حدود ۹۱ dBA در جایگاه های وسط راهرو تا حدود ۹۶ dBA در نزدیک ترین جایگاه های کاربر به محور محرک است. شرایط سروصدا از نظر شنیداری توسط تق تق مکانیکی ماشین هدایت کننده آپرون مورد غلبه واقع شده بود. در نزدیکی ماشین هدایت تراز فشار صدا نشان داده شده است و مقایسه شده است با داده های مربوط به وسط راهرو و یک منحنی معیار ۹۰ dBA در شکل ۲۷ آن نتیجه را بررسی کرده است. اگرچه صفحه فلزی محافظ، حائل فیزیکی با ماشین هدایت کننده ایجاد می کند و سه طرف آن را احاطه می کند، محافظ در راه محدود نگه داشتن صدای تق تق کم عمل می کند و بیشتر انرژی صوتی به سادگی از سطوح محافظ انعکاس می یابد و از آنجا به میدان طنین صوتی انتقال می یابد (نزدیک محافظ و در سمت کاربر، صفحه فلزی به عنوان یک سپر صوتی عمل می کند ولی آنچه در اینجا مهم است انرژی طنین است).



شکل ۲۷- ترازهای فشار صوتی در ماشین های شانه زنی

اگرچه ممکن است یک مکانیسم هدایت کم صداتر توسعه یابد نساچی Biddeford نیز می دانست که تجهیزات اصلی فاصله انداز عملیات ماشینی کم صداتری را فراهم می آوردند. مشکل این بود که تجهیزات اصلی فاصله انداز دیگر در دسترس نبودند.

نساچی Biddeford برای یافتن یک شوینده جایگزین ملایم تر مناسب سعی نمود. بعد از آزمودن شوینده های نایلون و تفلون که ملزومات خدماتی را نداشت، شرکت یک شوینده الیاف را یافت که از طریق شرکت ماشین B & S به آدرس:

۲۴۲۰ N. Chester St. Gastonia, NC ۲۸۰۵۲، ۶۷۹۶-۸۶۴ (۷۰۴) قابل دستیابی بود که

خواص لازم را مهیا می ساخت.

نتایج

سطوح صوتی در نزدیک ترین جایگاه های کاربر به محور محرک بعد از نصب شوینده های الیاف بیشتر از ۸۷ dBA هستند و قرارگیری های کاربر در معرض سروصدا در حدود معین شده توسط OSHA هستند.

### سابقه ۱۵: دستگاه پرس چاپ و برش (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

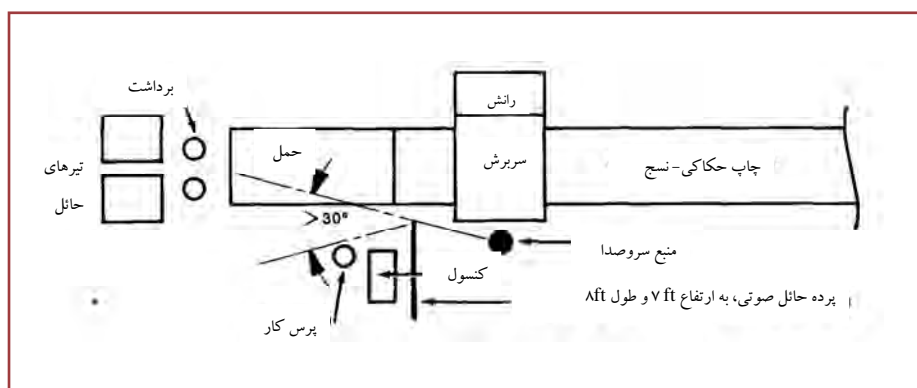
شرح مشکل

در تولید کارتن تاشو یک روش، چاپ کارتن ها در یک نسج با استفاده از ایستگاه های شکل و رنگ چندگانه و نسج چاپ شده را به خوراک پرس برش رفت و برگشتی رساندن است. دستگاه پرس برش رفت و برگشتی با استفاده از یک قالب قانون کارتن ها را می برد و کارتن های بریده شده را به یک تسمه نقاله تحویل می دهد. عملیات چاپ دوار ایجاد سروصدا نمی کند ولی صدای پرس برش از سر برش دهنده دامنه ای حدود ۹۵-۹۳ dBA در جایگاه معمول کاربر داشت. کاربران برداشت کننده به اندازه کافی از منبع سروصدا دور هستند به طوری که سروصدا در جایگاه آنها زیر ۹۰ dBA است.

شرح کنترل

شکل ۲۸ جایگاه کاربر، جایگاه کنترل، سر برش دهنده و تحویل کارتن را نشان می دهد. به منظور کاهش سروصدای سر برش دهنده در جایگاه کاربر، از یک دیوار حائل استفاده شده است. از آنجا که دسترسی به واحد برای تغییرات در کار و حفظ و نگهداری مهم بود، دیوار حائل ویژه شامل

وینیل حاوی سرب بود که از جمله مواد متوقف کننده صوتی است که سفارشی ساخته می شود و برای قابل حمل بودن طراحی شده است. این واحد دارای حائل ۷ ft ارتفاع، ۸ ft درازا و پنجره ۲۰× ۱۰ in دارد زیرا حداقل کاهش لازم برای انطباق با معیارهای OSHA تنها حدود ۵ dB بود.



شکل ۲۸- نمای از بالای دستگاه پرس برش - حکاکی با پرده حائل صوتی

#### نتایج

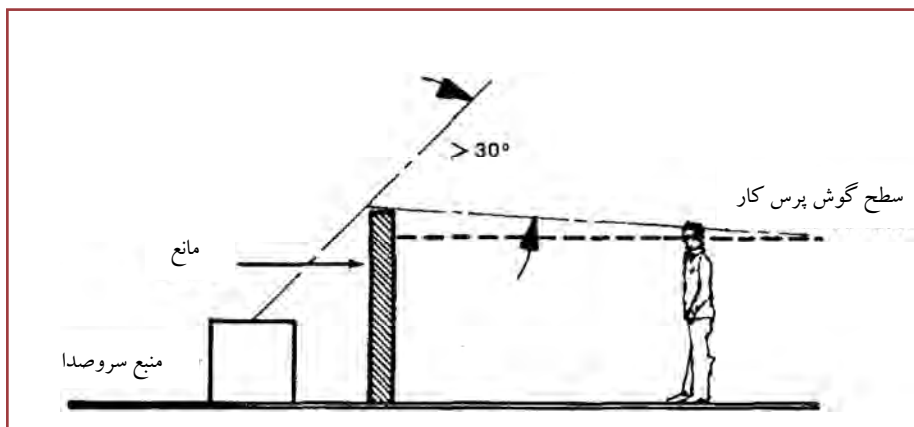
سروصدا در جایگاه کاربر کنترل کننده از دامنه ۹۳-۹۵ dBA تا دامنه ۸۶-۸۷ dBA کاهش یافت. کاربر بازرسی و تنظیمات سر برش دهنده در صورت لزوم روزانه برای چند ساعت انجام می داد ولی هنوز در حدود زمانی قرارگیری در معرض. هزینه کلی استفاده از حائل وینیل حاوی سرب برای  $4 \text{ \$/ft}^2$  حدوداً  $300 \text{ \$}$  شامل آویختن بستهها، پنجره و محافظ های لوله بود.

#### توضیحات

برای ایجاد هرگونه کاهش ناشی از دیوارهای حائل، دریافت کننده باید با توجه به منبع صوتی قرار داده شود به طوری که پشت ۳۰ درجه با خط سایه صوتی با حساب سرانگشتی قرار گیرد. توجه شود که در نمای از بالا، شکل ۲۸، فرد پرس کننده درست در این خط قرار می گیرد. در شکل ۲۹ که در روی محدوده عمودی سطح تراز دیوار همین حساب سرانگشتی را نشان می دهد، فرد پرس کننده درست در این محدوده قرار دارد. این حائل موجب دستیابی به هدف می شود زیرا فقط یک کاهش کوچکی در حدود ۵-۶ dB لازم بود و کاهش واقعی ۷-۸ dB بود. کاهش بیشتر حائل بزرگ تری را لازم دارد.

یک مشکل در طراحی دیوارهای حائل این است که اگر شرایط اتاق طنین انداز و سقف خیلی

کوتاه باشد دیوارهای حائل مورد اجتناب واقع می شوند. بر انعکاس از سقف کوتاه می توان با اضافه کردن یک جاذب به منطقه انعکاس از سقف بالای دیوار حائل فائق آمد. در سابقه ۱۶ یک دیواره چوبی نسبتاً پایدار مورد استفاده قرار گرفت. این مورد یک تدبیر متفاوتی را لازم داشت زیرا دسترسی منظم به سر برش دهنده بین میز (م. جایگاه کاربر) و دستگاه پرس لازم بود. دیوار حائل غیر متصل و به راحتی قابل حرکت هم حفاظت طی مدت عملیات و هم دسترسی آسان به پرس جهت تنظیم را فراهم می آورد.



شکل ۲۹- نمای از پهلو پرسی برش حکاکی با پرده حائل صوتی

### سابقه ۱۸: ترانسفورماتور (مشکل سروصدا جامعه)

این سابقه در مورد تدابیر کنترلی سروصدایی بحث می کند که در طراحی یک ایستگاه برق جدید شامل می شود و تأثیرگذاری آنها را ارزیابی می کند.

شرح مشکل

یک ایستگاه فرعی ۳۴۵/۱۱۵ کیلوواتی طراحی شده برای سایتی ۱۱ جریبی مستقر در یک منطقه تجاری مسکونی در نیوانگلند قرار بود شامل ۲ ترانسفورماتور خودکار ۳۰۰ MVA OA/FOA/FOA و یک تبادله کننده حرارتی نفت به هوا برای خط ۳۴۵ کیلوواتی زیرزمینی باشد. استاندارد ملی انجمن تولید کنندگان برقی (NEMA) برای سطوح صوتی ترانسفورماتورهای این کلاس ۸۴/۸۶/۸۷ dBa است. تبادله کننده حرارتی شامل دو فن نوع پروانه ای به قطر ۸ ft و ۴ تیغه ای هدایت شده در ۳۶۴ rpm به وسیله یک موتور ۱ hp برای هر فن است. فن ها در ۰,۱۳۵ in فشار

استاتیک آب و cfm واقعی ۵۱۷۰۰ جریان هوا ارزیابی می شوند. نزدیک ترین ساختمان های همسایه که در امتداد خط مالکیت سایت هستند شامل یک ساختمان اداره، یک رستوران و فروشگاه های خرده فروشی هستند. حدود ۱۵۰۰ ft دورتر از سایت، یک متل، چند ساختمان بلند و سایر ساختمان های اداری وجود دارد. بعلاوه یک بیمارستان و یک درمانگاه در فاصله ۳۰۰۰ ft سایت هستند. شرکت برق مربوطه می خواست از (۱) شکایت همسایگان جدید خود از سروصدا و (۲) تأخیرهای مربوط به سروصدایی که طی عملیات شنیده می شود پیش از عوامل تنظیم کننده مختلف اجتناب ورزد. یک مطالعه توسط Newman Inc و Bolt Beranek و تسلیم شده در قالب گزارش از طرف شرکت برق به عوامل تنظیم کننده، ضوابط سطح مناسب صوتی را پایه ریزی کرد، طرح تفصیلی کنترل سروصدا را مهیا کرد و اثر سروصدای ایستگاه عملیاتی را بر جامعه ارزیابی نمود. ضوابط مختلف شنیداری برای ایستگاه جهت هماهنگی با مقررات سطح صوتی شهر و ایالت پایه ریزی شد. با این وجود ضوابط خود شرکت برق بسیار سخت گیرانه تر بود: یک شرایط آزاردهنده یا شکایت احتمالی نباید به وسیله سروصدای ناشی از تأسیسات عملیاتی ایجاد شود. یک هدف به طور مهندسی طراحی شده برای محدود کردن سروصدای ترانسفورماتورها تا به میزان ۵ dB سطوح صوتی مسکونی اطراف در شب اندازه گیری شده در باندهای اکتاو مناطق حساس اطراف انتخاب شد.

#### تجزیه و تحلیل مشکل

چندین منبع برای سروصدای ترانسفورماتور وجود دارد. ترانسفورماتور زیر بار یک صدای ویژه تولید می کند که فرکانس آن با فرکانس تأمین همزمان است. فن های خنک کننده صوتی با باندی عریض در هنگام عملیات تولید می کند. پمپ های چرخاننده روغن مانند فن های خنک کننده در هنگام استفاده منبعی از صوت هستند. هنگامی که کلیدهای قدرت قطع هوای فشرده مورد استفاده قرار می گیرند، آنها منبع سروصدای با تراز بالا است که اغلب و در مدت زمانی کوتاه هستند. سروصدای ترانسفورماتور از فرکانس های هماهنگ که حتی در چند فرکانس خطی هستند تشکیل می شود. در ایالات متحده فرکانس خطی ۶۰ Hz است و ترانسفورماتورها صوتی طنین انداز را در ۱۲۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ منتشر می کنند. تقریباً در کلیه موارد شکایت از سروصدای ترانسفورماتورها این سروصدای طنین انداز است که مشکل ساز می شود. اندازه گیری های سطح فشار اصوات باقیمانده در اطراف در طی روز، عصر و شب نزدیک بود به منطقه حساس سروصدا بود. ترازهای صوتی نیمه شب محیط برای پایه ریزی هدف طراحی صوتی ترانسفورماتور استفاده

شدند. ترازهای صوتی چند گزینه تدبیری را برای کنترل سروصدای ترانسفورماتورها می توان در نظر گرفت که عبارتند از:

- مشخص کردن ترازهای صوتی پایین تر از موارد تعیین شده توسط NEMA.
- دیوارهای حائل یا اتاقک هایی نسبتاً محدود.
- اتاقک های کامل.

- خرید املاک اضافی یا رفع مشکل سروصدا به عنوان منطقه حائل
- نقل مکان به یک منطقه بدون همسایگان حساس به سروصدا

یک اتاقک کامل می تواند مشکل تهویه و نگهداری را داشته باشد و مبرم نبود. خرید املاک اضافی و نقل مکان امکان پذیر نبود. برای این طرح دو تدبیر کنترل سروصدا که اول فهرست شده در بالا انتخاب شدند.

#### شرح کنترل

هر دو ترانسفورماتور از تولیدکنندگان خریداری شدند با ترازهای صوتی که معین شده  $9\text{ dB}$  از استاندارد NEMA کمتر باشد. ترازهای صوتی کمتر از استاندارد برای این ترانسفورماتور  $75/77/78\text{ dBA}$  بودند. این کاهش در طراحی ترانسفورماتور با ایجاد یک کاهش شدید در تغییر شکل بر اثر میدان مغناطیسی<sup>۱</sup> که به نوبه خود سروصدای منتشر شونده توسط دیواره مخزن را کاهش می دهد انجام می شود. یک نیمه اتاقک نیز در امتداد سه طرف ترانسفورماتور ایجاد شد. مناطق حساس به سروصدا در سه جهت از سایت قرار داشتند. در جهت باقیمانده، کاربری سرزمین حساس به سروصدا وجود نداشت و بنابراین افزایش در سطح سروصدا می توانست تحمل شود. طرف باز اتاقک البته در جهتی تنظیم شده بود که حساس به سروصدا نبود. اندازه و محل قرارگیری نیمه اتاقک نسبت به ترانسفورماتور به طوری طراحی شده بود که اتلاف فضای کافی را بدون محدود نمودن تهویه هوا یا حفاظت، فراهم آورد. دیواره های اتاقک از بلوک های بتنی (م. با فرمول) انحصاری با جاذب صوت بر روی دیوارهای به سمت ترانسفورماتور و شیارهایی که به داخل حفره هایی در بلوک منتهی می شوند ساخته شده بودند. جذب صدا در سطوح داخلی دیوارها برای کاهش ایجاد صدا در داخل اتاقک لازم بود. ساخت دیوارها همچنین به عنوان حفاظ در برابر آتش سوزی بین دو ترانسفورماتور عمل می کرد.

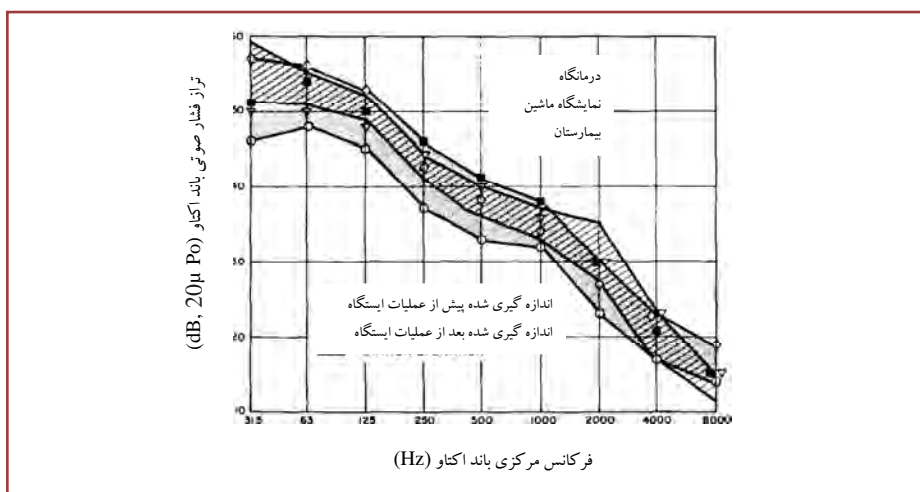
#### نتایج

اندازه گیری ها انجام شده بعد از اینکه ایستگاه به راه افتاد، نشان دادند که سطح صوتی مورد

<sup>1</sup> Magnetostrictive



هدف طراحی حاصل شده است. سروصدای طنین انداز ترانسفورماتور معمولاً با صدای محیط اطراف پوشیده می شود و بنابراین بندرت در مناطق حساس مجاور قابل شنیدن است<sup>۱</sup>. شکل ۳۰ نتایج اندازه گیری های تراز فشار صوتی را قبل و بعد از قرارگیری ترانسفورماتور تحت بار نشان می دهد. این اندازه گیری ها طی ساعات شب حاصل شدند، زمانی که پتانسیل شنوایی برای ایستگاه بیشترین حد بود. لازم به یادآوری بود که بعد از سه سال گذشت از عملیات هیچ شکایتی دریافت نشده است.



شکل ۳۰- ترازهای فشار صوتی نیمه شب اندازه گیری شده در جوامع محلی

### سابقه ۲۰: دستگاه سمباده (مشکل سروصدا اداری)

شرح مشکل

عملیات سه دستگاه سمباده Brown & Sharpe ایجاد ترازهای صوتی در دامنه متوسط ۷۰ dBA در دفتری ۸ متر در ۸ متر واقع در فاصله ۷ متری می کند. صدای سمباده به دفاتر با فاصله ۴ متر و از بالای پارتیشنی به ارتفاع ۲ می رسد. صدای سمباده آنقدر شدید بود که در فعالیت های شاخص، مکالمات تلفنی، جلسات کاری و غیره که در دفتر اتفاق می افتاد، تداخل ایجاد می کرد.

<sup>۱</sup> ترازهای صوتی نیمه شب در محیط اطراف گاه از آنچه به عنوان هدف طراحی مورد استفاده واقع می شود کمتر است، از این رو سروصدای ترانسفورماتور می تواند گاه در جامعه شنیده شود. اگر امکان حذف کامل منبع صوتی وجود داشته باشد، حتی اهداف طراحی سختگیرانه تری می تواند پایه ریزی شود (مثلاً ۱۰-۵ dB کمتر از تراز صوتی مورد انتظار پوشاننده محیط اطراف). در این مورد چنین اقدامات زیادی نامناسب است.

## تجزیه و تحلیل

سمباده ها مشخصاً منبع مشکل سروصدا بودند زیرا تراز صوتی هنگام یک سمباده ها خاموش می شدند به بین ۶۳-۶۶ dBA افت می کرد. مدیریت تدابیر زیر را برای حل مشکل در نظر گرفت:

- گسترش تیغه<sup>۱</sup> موجود به سقف اصلی
- گسترش دیوار موجود به سقف اصلی با اضافه کردن یک پرده از وینیل حاوی سرب
- انتقال فوری دفتر به محلی ساکت تر

در این مورد، تا حدودی به خاطر آن که مدیریت می دانست بالاخره دفتر به محل جدید انتقال داده خواهد شد، گزینه دوم اجرا شد. مواد پرده نیز برای به حداقل رسانی مشکلات ساختاری در جایی انتخاب شدند که تدبیر انجام شده از یک تراس حفاظتی می گذرد.

## نتایج

تراز صوتی در ناحیه دفتر ۱۱ dB به حداقل ۶۳ dBA کاهش داده شد. کارکنان دفتر اظهار داشتند که محیط بیشتر بهبود داده شده است.

## توضیحات

با وجود آنکه کاربرد پرده فلزی، صفحه سربی، نسبتاً آسان بود یک محصول با کاربرد حتی راحت تر باید در ناحیه تراس به کار گرفته شود.

## سابقه ۲۲: اره برش فلز<sup>۲</sup> (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

## شرح مشکل

یک مشکل رایج در صنعت حفاظت از کارکنان در برابر سروصدای ایجاد شده به وسیله ماشین هایی است که کارکنان باید با آنها کار کنند. یک مثال اره برش مورد استفاده در اشکال فلزی است. سروصدا از دو منبع ارتعاشی مهم ناشی می شود: خود تیغه اره و قطعه ای روی آن کار می شود. اره خود به سمت پایین و داخل کار به وسیله یک اهرم متصل به اره و موتور لولا شده و معادل (با جلو برنده) سوق داده می شود. کارگر باید به طور چشمی عملیات برش را پایش کند. بعلاوه ارتعاش و نیروی متقابل از طریق بازوی اهرم که در پیشرفت دادن عملیات برش مفید است به او منتقل می شد. مشکل کاهش سروصدا دریافتی توسط او است بدون دخالت غیرضروری در جریان کار با قابلیت دید و با استفاده از بازوی اهرم.

<sup>۱</sup> drywall

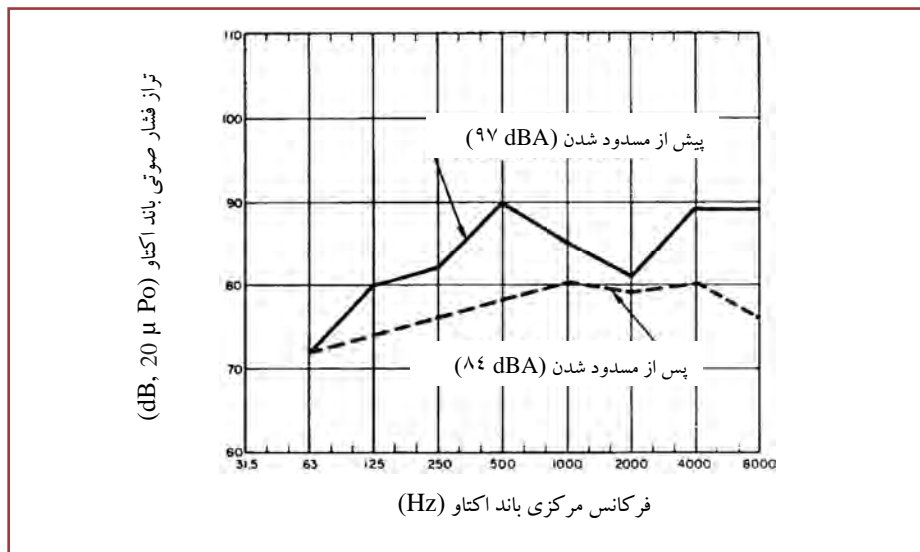
<sup>۲</sup> Handley, J.M. 1973. IAC 6.0011.0 سروصدا- سومین آلودگی. بولتن.

## شرح کنترل

راه حل یک اتاقک پوشش دهنده کل اره است. قطعه ای که روی آن کار می شود به طور افقی از طریق شیارهایی از اتاقک عبور داده می شود. دریچه های وینیل حاوی سرب دهانه را می بندند و ناحیه نشر غیرقابل اجتناب به خارج را هنگامی به مقدار کوچکی تقلیل می دهد که یک قطعه کاری موجود است. جلو و بالای اره با دو در که سطح آنها پلاستیک روشن  $1/4$  in (پلی متیل متا آکریلات) است بسته می شود. این پلاستیک دید خوبی را ایجاد می کند. درها با یک فاصله پهنای اهرم کنترلی را می بندند. هر در دارای یک دریچه وینیلی محتوی سرب با پهنای حدود  $3$  in برای بستن این فاصله است. اهرم از بیرون دریچه ها را تنها در جایی هل می دهد که جلو آمده است. بدین ترتیب ناحیه نشر (م. صوت) به سمت کارگر به میزان زیادی کاهش یافت.

## نتایج

شکل ۳۱ ترازهای فشار صوت را در جایگاه کارگر قبل و بعد از نصب اتاقک نشان می دهد. کاهش در تراز صوت  $13$  dB است. چارچوب های استاندارد مورد استفاده در اتاقک خیلی بهتر هستند از آنچه به وسیله معیارهای کاهش مشخص شده است و دوباره اهمیت نفوذ به خارج را در تعیین اهمیت ایجاد اتاقک تشریح می کند.



شکل ۳۱- اره برش فلز: ترازهای فشار صوتی جایگاه کاربر پیش و بعد از مسدود نمودن اره

## توضیحات

چندین خصوصیت در طراحی می توانست بهینه گردد. گوش کارگران خیلی نزدیک به دریچه در بود. تنظیم خوراک دهی به اره از سمت راست بایستی نسبتاً ساده باشد (برای کارگر راست دست). این تغییر چندین مزیت دارد: (۱) دست کارگر را در موقعیتی راحت تر قرار می دهد، (۲) با حرکت فاصله در و دریچه به راست، دید او خیلی بهتر می شود و (۳) فاصله صدای منتشر شده از گوش های او بیشتر می شود. یک بهبود غیر شنیداری به راحتی باز شدن درها است به جای بازماندن کامل آن که می تواند یک خطر در ایمنی باشد.

**سابقه ۲۳: رنده کش چوب<sup>۱</sup> (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)**

## شرح مشکل

رنده کش چوب در صنعت تولیدات جنگل ترازهای صوتی ۱۰۸-۱۰۲ dBA را در جایگاه کاربر (خوراک دهنده) تولید می کند. ترازهای صوتی در جایگاه مسطح سازی و صاف کاری ۱۰۳ dBA و در سایر جاهای آسیاب رنده ۹۵ dBA است.

## شرح کنترل

در منطقه نقل شده توسط مقاله، بر روی ۳۰ رنده کش بزرگ، اتاقک نصب شد. جدای از مشکل کلی، دستورالعمل های تخصصی برای دوام اتاقک ها به طور تجربی تدوین شد:

- ۱- دیوارها و سقف بایستی به ارتفاع ۸-۱۰ ft باشد با استفاده از پایه های یک در میان، بدین ترتیب دیوار داخلی مستقل از دیوار خارجی نگه داشته می شود با پایه ها و قسمت ها فوقانی جداگانه. ساختمان دیوار بایستی با نمد و یا سیمان ماستیک از سقف جدا شود. فضای بین دیوارها بایستی با سنگ یا تخته چندلا پر شود. تخته صوتی اضافی در دو سوم دیوارها و سقف ها برای جذب سروصدا استفاده شد. قطعات دیوار و سقف قابل برداشتن بایستی نصب شوند برای هنگامی که تعمیرات عمده ماشین مورد نیاز باشد.

۲- کف ها معمولاً برای نصب رنده کش معمولی ساخته می شوند، ولی اگر رنده کش روی ستون ها سوار شود، دیوارها بایستی تا کف اصلی یا کف شنیداری شبیه به ساخته شده بین ستون ها کشیده شوند.

۳- درها بایستی از نوع یخچالی باشند با لبه های پخ یا پلکانی. آنها باید باز باشند به طوری که مکش ناشی از دمنده ها آنها را بسته نگه دارد. درها و چارچوب ها بایستی با نوار جلوگیری هوا مسدود شوند.

<sup>۱</sup> از Pease, D.A. مارس ۱۹۷۲. صنایع جنگل

لولاهای سنگین<sup>۱</sup> بایستی مورد استفاده قرار گیرند. درهای آکوستیک نیز می توانند خریداری شوند.

۴- پنجره بایستی تا حد کاربردی کوچک باشد، با استفاده از شیشه دوجداره نشکن یا شیشه پوشش دار با یک فضای هوایی در میان آن.

۵- ورودی و خروجی باید تا حد امکان کوچک باشند و یک ورودی تونل مانند به منظور مسدود کردن راه سروصدا، فضا را برای تسمه نقاله چند لایه عمودی یا وینیل محتوی سرب ایجاد می کند. تسمه بایستی در فواصل میانی با مسدود نگه داشتن بخش بلااستفاده پهنای تونل برای جای دادن پهنای مختلف تخته ایجاد شیار کند. تونل خروجی بایستی حداقل به طول بلندترین تخته خوراک دستگاه رنده کش باشد به طوری که سروصدای ناشی از تخته مرتعش شونده در درون مسدود شوند. یک رویه کیفی شکل فلزی بایستی در درون برای هدایت قطعه به تونل نصب شود.

۶- دهانه برای مجاری و لوله ها بایستی به اندازه کافی باز باشد تا اجازه قرار دادن فضای حلقوی در نصب بدهد.

۷- دهانه های هوا به عنوان صدا خفه کن به منظور کنترل نشر صوت برای جبران هوای خارج شده توسط سیستم دمنده دستگاه رنده کش بایستی ساخته شوند. دودکش بایستی چند پا ارتفاع داشته باشد با موج گیرهایی تنظیم شده در داخل به طوری که هوای داخل شونده مسیری زیگزاکی را طی کند. موج گیرها بایستی با مواد آکوستیک پوشش داده شوند. روش دیگر یک دودکش smooth-wall یا یک سرپوش هوایی موج گیراست که در قسمت بالایی با مواد آکوستیک پوشیده شده است.

#### نتایج

مقاله اظهار می دارد که تراز صوتی برای مطابقت با ضوابط OSHA به کمتر از ۹۰ dBA نزول یافته است.

#### توضیحات

هنگامی که کاهش میزان بزرگی از سروصدا مورد نیاز باشد، نشر شنیداری می تواند بسیار مهم باشد، دهانه ها و اتاقک ها بایستی در میزان حداقل نگه داشته شوند. جاذب مورد استفاده بایستی به وسیله یک لایه پلاستیکی نازک برای اجتناب از آلوده شدن به گرد و غبار پوشانیده شود. بعلاوه تخته ها همیشه به صورت مستقیم مورد تغذیه واقع نمی شوند و جاذب بایستی به وسیله یک صفحه سنگین، گالوانیزه، open-mesh حفاظت شود. تونل خوراک رسان بایستی به حد کافی

<sup>۱</sup> heavy duty hinges

برای نگه داشتن کل تخته یا غیره بلند باشد و بایستی به طور مثبت آن را در جهت جلوگیری از ارتعاش تخته نگه دارد.

### سابقه ۲۴: پرس منگنه (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

شرح مشکل

دو پرس ضربه زن Minster مدل P2-2000، ۲۰۰ تنی که ۲۵۰ ضربه در دقیقه می زند، هنگامی که روی ورقه ها برای یک مدل موتور ویژه زده می شود. پرس در یک ساختمان فلزی قرار دارد. سرپیچ ها (م. چیزی مثل سر منگنه- سوزن منگنه) اغلب عوض می شوند. تراز صوتی در ایستگاه کاربر ۱۰۴ dBA بود و تراز صوتی کلی کارخانه ۹۲ dBA بود.

شرح کنترل

صفحات تشکیل دهنده اتاقک ساخته شده بودند از:

- یک لایه ابر پلی اورتان آکوستیک جاذب

- یک لایه ۱/۴ in صفحه سربی

- یک لایه پارچه فایبرگلاس برای مقاومت در برابر حلال های صنعتی

اتاقک مورد استفاده دایره ای به قطر ۱۷۶ in، به ارتفاع ۱۶ ft، با سقف گنبدی شکل بود. درهای دسترسی امکان انجام امور نگهداری را می دهند و یک دهانه برای قطعه خوراک وجود دارد. بخش های تکمیل شده اتاقک را به وسیله دو قسمت هدایتگر زیر کفی ترک می کنند. خط تأمین در زیر کف با استفاده از یک کانال دوباره جریان پیدا می کرد. یک سامانه خروج حرارت ۳۵۰۰ cfm با یک صدا خفه کن به هر گنبد اضافه شد. کاربر در خارج از اتاقک است بجز برای تعویض سرپیچ ها، تعویض خوراک قرقره ها یا انجام تنظیمات.

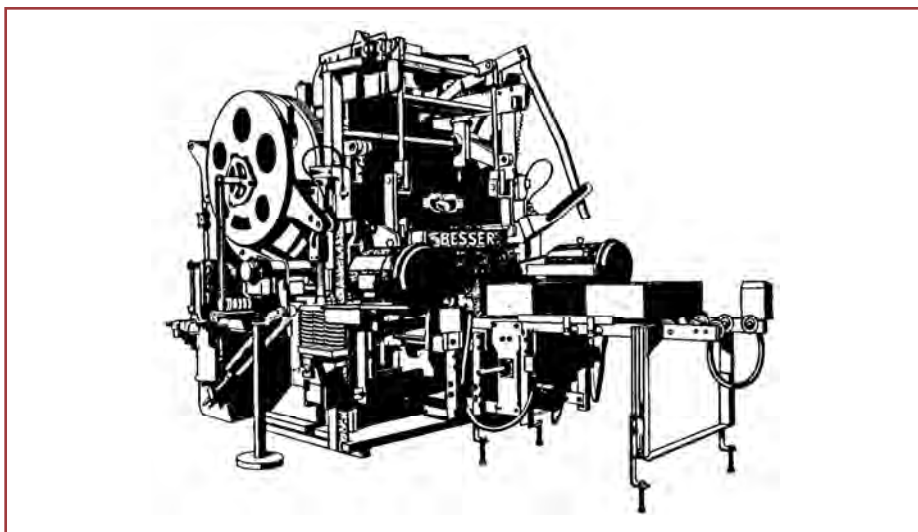
### سابقه ۳۵: ماشین ساخت بلوک بتنی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

این مورد چهار اتاقک طراحی شده و نصب شده برای ماشین های ساخت بلوک بتنی از نقطه نظرهای شنیداری، حفظ و نگهداری و تولید مقایسه می کند. این کار چند نکته مورد توجه مهم را در طراحی اتاقک تشریح می کند.

شرح مشکل

شکل ۳۲ یک نمونه ماشین ساخت بلوک را نشان می دهد. این ماشین مواد خام را در قالب آب،

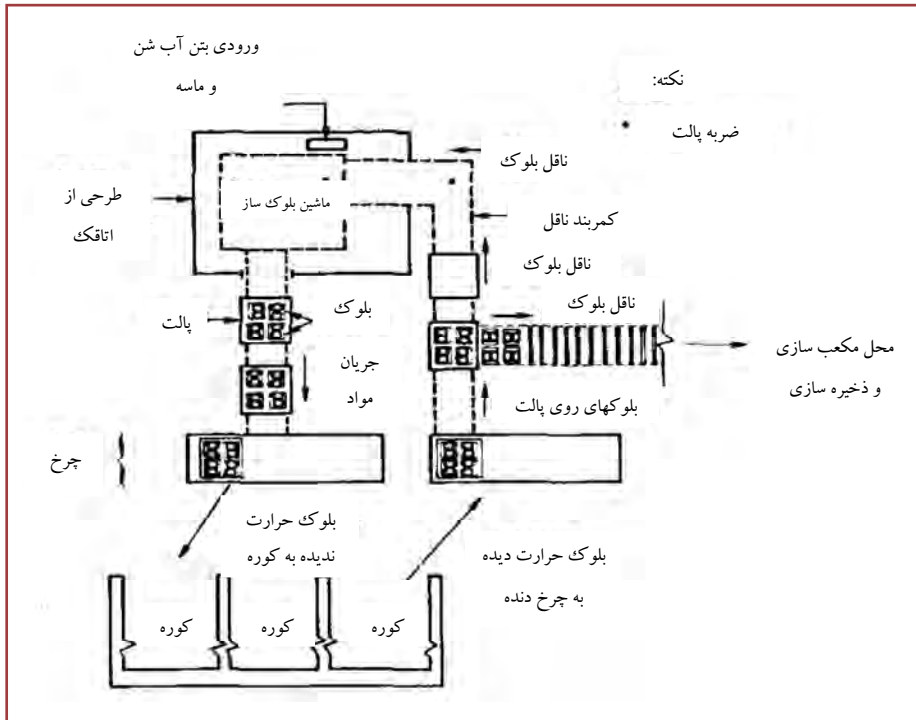
پیوند دهنده، سنگ و غیره از طریق یک قیف در بالای ماشین می پذیرد و آن را وارد یک قالب می کند در حالی که قالب مرتعش است تا جایی که مخلوط به حجم مناسب برسد و ثابت شود. سپس قالب عقب زده می شود و بلوک بتنی ماشین را ترک می کند.



شکل ۳۲- ماشین تولید بلوک بتنی نوعی

این بلوک های بتنی در پالت های فولادی مستطیلی شکل به ضخامت  $1/4$  in تشکیل می شوند که این بلوک های آماده نشده را به یک سیستم دندانه دار حمل می کند که توسط آن برای آماده سازی و انبار شدن جمع می شوند. بسته به نوع عملیات تأسیسات بلوک ها و پالت ها به کوره های آماده ساز با یک انتقال دهنده خودکار یا دستی<sup>۱</sup> حمل می شوند. بعد از زمان کافی بلوک ها و پالت ها از کوره خارج می شوند و در یک سیستم دندانه ای دیگر قرار داده می شوند. این سیستم بلوک ها را از پالت ها جدا می کند و آنها را به ماشین بر می گرداند تا تمیز شوند و برای بلوک های جدید مجدداً استفاده شوند در حالی که بلوک ها را به منطقه مکعبی می فرستد یعنی جایی که برای انبار شدن در حیاط و استفاده نهایی در ساخت و ساز گردآوری می شوند. شکل ۳۳ مسیرهای جریان مواد را برای ماشین بتن سازی نشان می دهد.

<sup>۱</sup> معمولاً با لیفتراک چنگکی



شکل ۳۳- طرح جریان مواد کارخانه بلوک بتنی نوعی

اگر بیش از یک ماشین در کارخانه وجود داشته باشد، هر ماشین مسیر جریان مواد مشابه خود را دارد. کاربران برای مشاهده عملکرد ماشین ها و انجام تصحیح های سریع در صورت نیاز نزدیک ماشین های خود کار می کنند و معمولاً به دلیل آنکه صفحه کنترلی متصل به ماشین است. قرارگیری کاربران در معرض سروصدا تحت الشعاع منابع زیر است.

۱- حالت عملیات ارتعاشی: وزنه های غیرعادی متصل به قالب، آن را برای ایجاد تراکم مناسب مخلوط بتن به ارتعاش در می آورند. قالب در مقابل صفحه فولادی ارتعاش می یابند و ترازهای صوتی دوره ای را با حداکثر ۱۱۵ dBA تولید می کنند که در فاصله حدود یک متر از قالب اندازه گیری شده است. حالت ارتعاش فقط هنگامی اتفاق می افتد که مخلوط در حال قالب گیری است. هنگامی که بلوک ماشین را ترک می کند، ارتعاش متوقف می شود. ارتعاش حدود ۶ ثانیه طی هر دوره ۱۰ ثانیه ای طول می کشد. مدت زمان دوره به میزان زیادی به شرایط عملیات و



تولید ماشین بستگی دارد.

۲- عملیات پاک سازی قالب: هنگامی که قالب ها به ماشین برمی گردند، بتن خشک شده از سطح قالب به وسیله برس کشیدن و تراشیدن جدا شده و جمع آوری می شود. نیروی اصطکاک تیغ تراش بر روی غالب صدایی با فرکانس بالا تولید می کند که به وضوح شنیده می شود و احتمالاً بیشتر از سروصدای تراز بالای باند پهن ارتعاش آزاردهنده است.

۳- سروصدای ضربه قالب: قالب ها در ماشین انباشته می شوند به طوری که ذخیره ماشین بلوک ساز کافی است. هنگامی که قالب ها بر می گردند، آنها باید تغییر جهت بدهند (معمولاً به وسیله یک نقاله با زاویه قائمه غیر متوالی) و انباشته شوند. انباشت و تغییر جهت، محل ضربه فلز است. ترازهای صوتی این ضربه نسبتاً بالا و با طول مدت کوتاه است. فرکانس این ضربه به آهنگ تولید بستگی دارد. در کارخانه سایر منابع صوتی وجود دارد اگرچه آنها در برابر ماشین بلوک ساز اهمیت کمتری را دارند. سه منبع ثانویه رایج عبارتند از:

۱- ماشین مکعب ساز که بلوک ها را به طور مکانیکی یا هیدرولیکی توده می کند.

۲- پمپ های هیدرولیکی که برای راه اندازی ماشین های بلوک ساز هیدرولیک مورد استفاده قرار می گیرند.

۳- حرکت چنگک که سروصدایی با فرکانس بالا به وسیله اصطکاک با ریل های هدایت کننده تولید می کند.

(لازم به ذکر است که اتافک ماشین بتن ساز کاری برای کاهش این منبع سروصدا انجام نمی دهد) تجزیه و تحلیل مشکل

کار گزارش شده در اینجا به عنوان اولین فاز یک مطالعه وسیع انجام شده است برای تعیین اینکه آیا اتافک می تواند به عنوان وسیله کنترل سروصدا برای ماشین تولید بلوک بتنی موثر باشد. تولیدکنندگان بلوک بتنی تشخیص داده اند که این ماشین ها مسئول قرار دادن بیش از حد در معرض سروصدای OSHA هستند و بدین ترتیب کار گزارش شده در اینجا نه شامل هیچ گونه تجزیه و تحلیل منبع سروصدا است و نه هیچ گونه داده پایه ای گزارش شده است. با این وجود، ملاحظات طراحی به صورت زیر به تفصیل آمده است. به طور ایده آل اتافک آکوستیک بایستی برای احاطه کردن ماشین ساخت بلوک سیمانی به طور کامل طراحی شود. سپس کاهش صوت به طور پایه ای به مصالح ساختمانی اتافک بستگی خواهد داشت. در عمل، چهار راه نفوذ به اتافک لازم است:

- یک ورودی برای وارد نمودن مواد خام
- یک راه تخلیه برای بلوک و پالت
- یک ورودی برای پالت
- راه های تهویه

این نوع ماشین محدودیت های بیشتری را در طراحی اتاقک لازم دارد که به طور کلی از عملکرد آکوستیک ایده آل آن می کاهد:

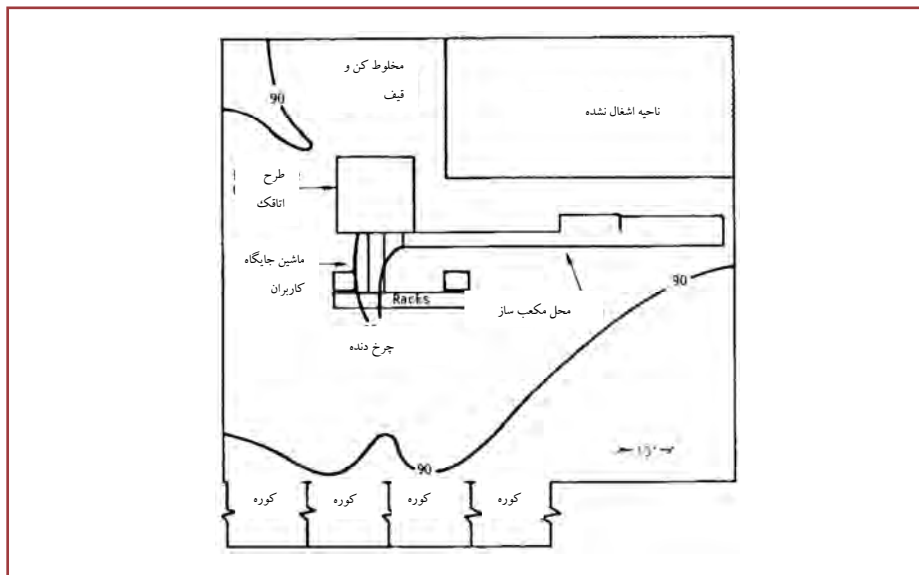
- ملاحظات اصلی در طراحی، ایمنی است، اتاقک نبایستی هیچ گونه شرایط غیر ایمن را ایجاد کند که ممکن باشد باعث عدم دید خطر توسط کارگر شود یا باعث ایجاد مشکل برای او در دور شدن از موقعیت خطرناک شود.
- برای نگهداری تجهیزات در دمای کاری مناسب و دور نمودن بخارات سمی احتمالی، یک سامانه تهویه کافی باید مهیا شود.
- هنگامی که ماشین بتن ساز نیاز به نگهداری هنگام کار دارد، اتاقک بایستی اجازه دسترسی به ماشین را با کمترین سعی و تلاشی بدهد.

• هنگامی که مخلوط درون قالب ریخته می شود و یا در طی قالب گیری مخلوط از قسمت های مختلف ماشین می ریزد. بنابراین ماشین و منطقه مجاور آن دائماً به وسیله مخلوط بتن اسپری می شوند. این مخلوط یک سختی را خیلی سریع می سازد و این باید مرتباً زدوده شود. این زدودن معمولاً دستی است و بدین ترتیب دسترسی آسان به ماشین برای پاک سازی باید فراهم آورده شود.

شرح کنترل و نتایج

#### کارخانه ۱

شکل ۳۴ نشان می دهد کنتورهای حداکثر تراز صوتی به وسیله ماشین بلوک ساز در اتاقک واقع شده ایجاد شده است. ساختمان اتاقک شامل  $1/16 \text{ in}$  صفحه فولادی به ضخامت  $1 \text{ in}$  با لایه داخلی ابری به ضخامت  $2 \text{ in}$  است. شیشه  $1/4 \text{ in}$  نور تک رنگ برای روزنه دید استفاده می شود. دریچه های لاستیکی سخت به عنوان درزگیر چارچوب مورد استفاده قرار گرفته است. درها در دو طرف دسترسی بدون نیاز به باز کردن اتاقک را ایجاد کرده است، اگرچه فقدان وضوح بین ماشین و دیوارهای اتاقک فضای کار را خیلی تنگ کرده است. با سوار کردن دیواره های سه طرف اتاقک بر روی غلطک، اتاقک می تواند به راحتی برای دسترسی به ماشین و تمیز کردن باز شود.



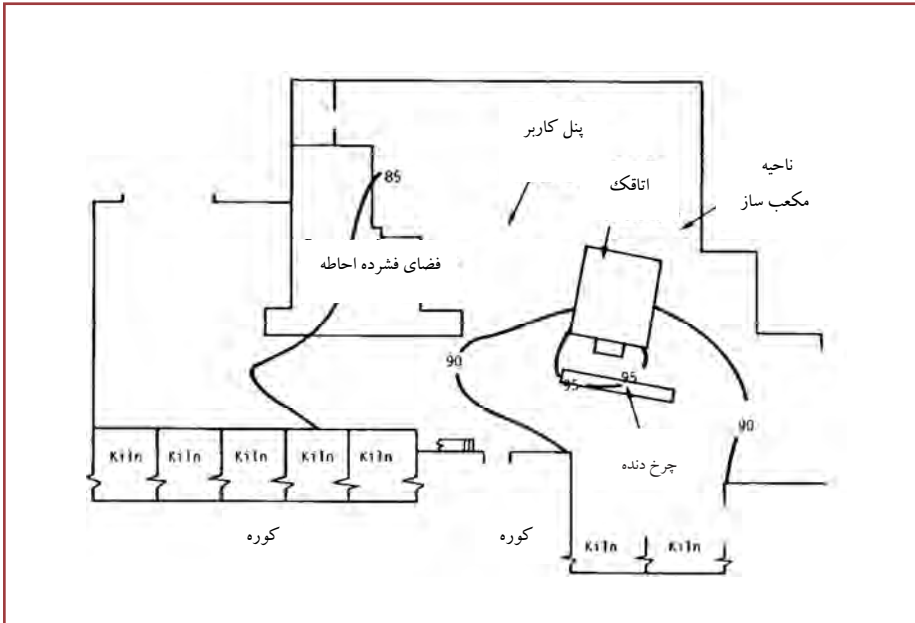
شکل ۳۴- کارخانه ۱: کنتورهای تراز صوتی ماکزیمم

با این وجود دسترسی راحت پیشنهادی توسط این روش اجازه می دهد که اتاقک به راحتی آسیب ببیند زیرا اغلب باز می شود. به دلیل کم شدن تناسب پس از استفاده زیاد و نیز به خاطر واشر لاستیکی سخت و غیر ارتجاعی، منافذ هوا تقریباً در هر محل اتصالی وجود دارند. بدین ترتیب در عمل اتاقک نسبتاً در مقایسه با پتانسیل تأثیر آکوستیک آن غیر موثر است. بعلاوه جریان سروصدا ناشی از اجزاء بزرگ از طریق روزنه های وارد و خارج می شوند. این انتشار در این حالت مهم نیست زیرا سایر انتشارها به نافذی یک راه جانبی ناشی از روزنه ها هستند. اگرچه کنتور نشان می دهند که تراز صوتی کارخانه در آن زمانها بالای  $90\text{ dBA}$  است اتاقک موثر است از آنجا که در معرض قرارگیری کارکنان از معیار مجاز OSHA تجاوز نمی کند. ترازهای صوتی درون ماشین حدود  $115-110\text{ dBA}$  هستند. هزینه اتاقک  $\$ 12000-10000$  در سال ۱۹۷۲ است.

#### کارخانه ۲

کارخانه ۲ دو ماشین بلوک ساز دارد و فقط یک ماشین در اتاقک است. اتاقک در کارخانه ۲ از تخته چند لای  $1/2\text{ in}$  با یک سطح داخلی از  $3-1/2\text{ in}$  اسفنج نرم -پر و  $2\text{ in } 1/2$  از batting فایبرگلاس ساخته شده است. پنجره با پلکسی گلاس درزگیری می شود.

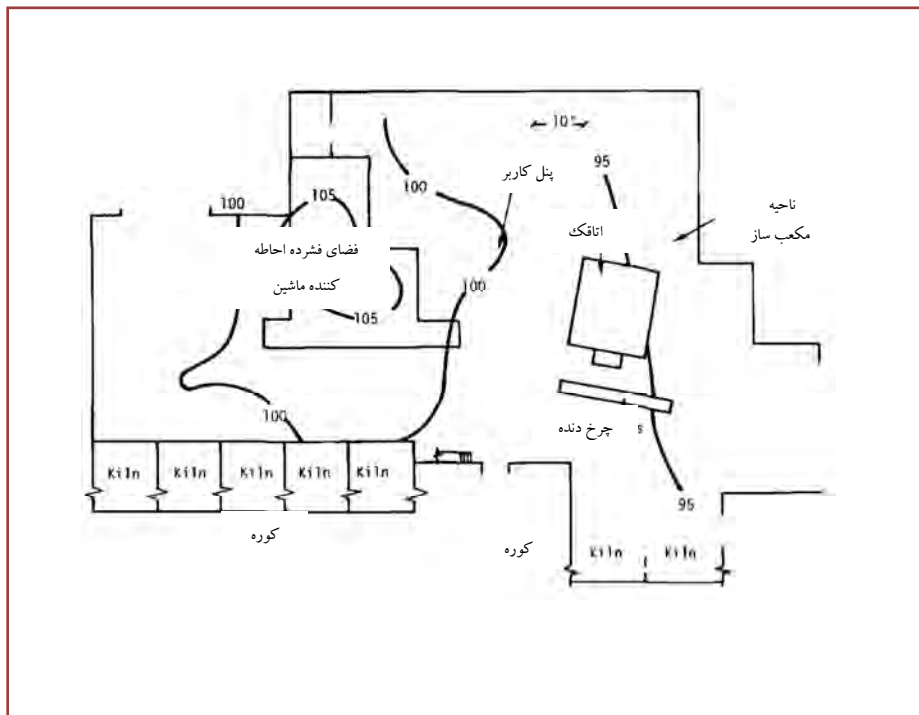
<sup>۱</sup> این هزینه زمان تأخیرات در تولید توسط کارکنان کارخانه و غیره را شامل نمی شود.



شکل ۳۵- کارخانه ۲: کنتورهای تراز صوتی ماکزیمم

کل اتاقک در سال ۱۹۷۳ حدود \$ ۱۵۰۰۰ هزینه داشته است. شکل ۳۵ کنتورهای تراز صوتی با وزن A با تنها ماشین بلوک ساز احاطه شده در حال عملیات را نشان می دهد. از نظر آکوستیک اتاقک اگرچه بسیار ناکافی ولی موثر است. کاهش سروصدا اگر درهای دسترسی درزگیری شوند می تواند به طور معنی داری افزایش یابد. بهینه سازی بیشتر می تواند با مهیاسازی مجاری خطی آکوستیک برای خروجی بلوک یا قالب و ورودی قالب حاصل شود. ولی عملاً اتاقک رضایت بخش نیست، دسترسی به ماشین مشکل است، ایجاد حرارت بالا است، پنجره پلکسی گلاس آنقدر مخدوش است که تقریباً مات است، ایجاد ضایعات افزایش یافته و تولید به طور معنی داری کاهش یافته است. تولید حرارت آنقدر بالا است که در اتاقک برای اطمینان از تهویه کافی باز می ماند. این بازگشت به عقب مدیریت را به عدم تصمیم گیری برای محصور نمودن ماشین دوم تا پیش از طراحی محصور نمودن بهتر (یا سایر وسایل کاهش قرارگیری کارکنان در معرض سروصدا) هدایت نمود. شکل ۳۶ کنتورها با هردو ماشین کار می کنند. عملیات ماشین غیر محصور اتاقک را بی اثر می کند مگر در محدوده cuber جایی که اتاقک به عنوان یک سد عمل می کند.

<sup>۱</sup> این هزینه زمان تأخیرات در تولید توسط کارکنان کارخانه و غیره را شامل نمی شود.

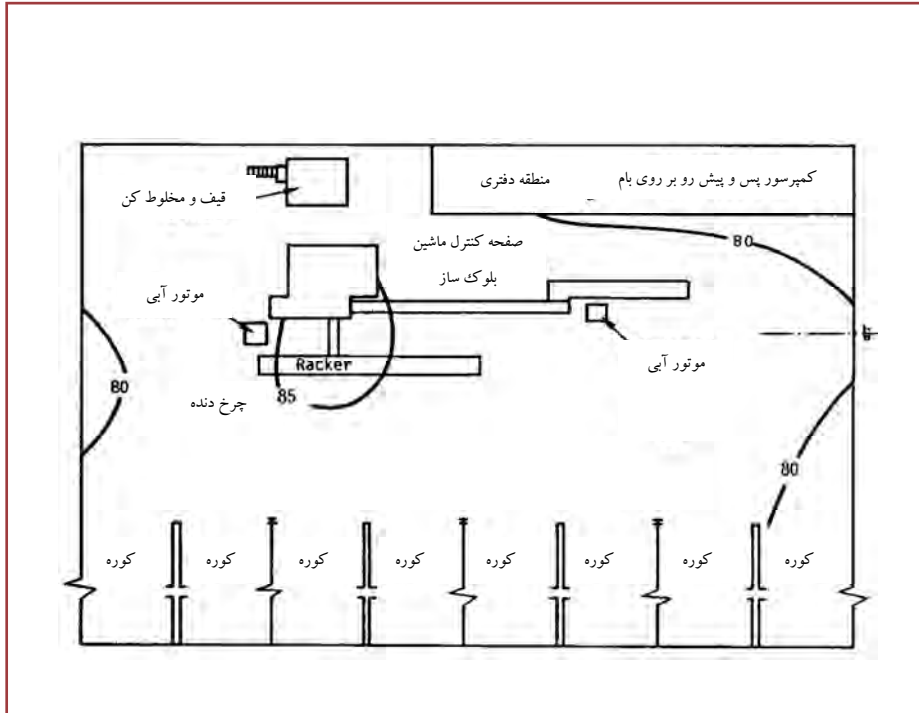


شکل ۳۶- کارخانه ۲: کنتورهای تراز صوتی ماکزیمم (کاربرد ماشین در اتاقک)

### کارخانه ۳

این کارخانه دارای یک ماشین بلوک ساز هیدرولیک است. اتاقک تشکیل شده است از یک ورقه فولادی  $1/16$  in با  $1/4$  in ابر  $1 \text{ b/ft}_2$  ورقه سرب و  $1$  in ابر داخلی. درها به خوبی درزگیری شده اند و با قفل هایی از نوع قفل یخچال مهر و موم شده اند. پنج روزنه برای دید با شیشه دوجداره ( $1/8$  in شیشه / تقریباً  $3$  in فضای میانی /  $1/8$  in شیشه) و به خوبی درزگیری شده هستند. اگرچه نفوذ از اتاقک وجود دارد ولی فاصله کوچکی بین مواد و دیواره اتاقک کمترین انتشار صدا را سبب می شود. مشکل افزایش تولید حرارت به وسیله اضافه نمودن خنک کننده هوای  $21000 \text{ BTU}$  حل می شود. هزینه اتاقک بین  $\$40000 - 120000$  در سال ۱۹۷۳ بوده است.

<sup>۱</sup> این هزینه زمان تأخیرات در تولید توسط کارکنان کارخانه و غیره را شامل نمی شود.

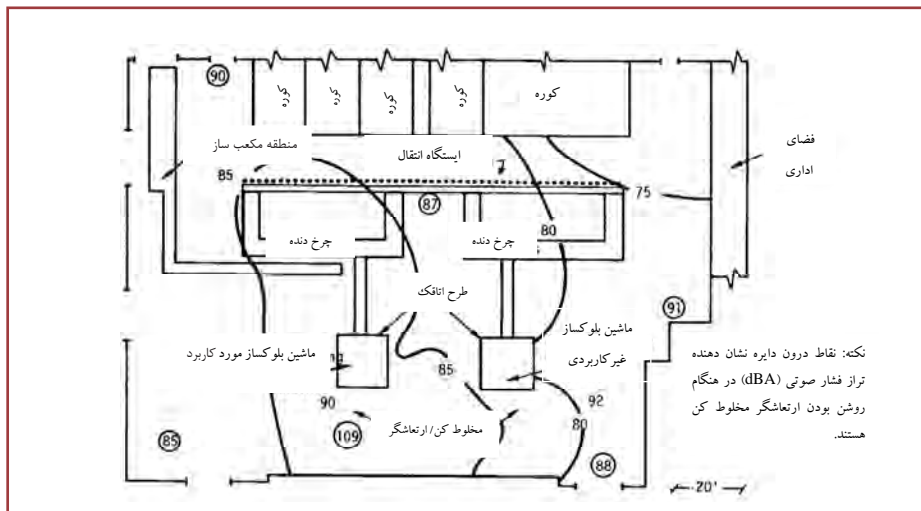


شکل ۳۷- کارخانه ۳: کنترهای تراز صوتی ماکزیمم

پمپ هیدرولیک مورد استفاده در ماشین بلوک ساز از ماشین دو راست و تا حدودی از بالا و تا نیمه پایینی اطراف با دیواره ای از تخته چندلا و سرب و ابر محصور شده است. شکل ۳۷ کنترها حداکثر تراز صوتی را در کارخانه نشان می دهد. بعلاوه کارکنان تنها مشکل کوچکی در کاربرد روزانه ماشین با اتاقک دارند. درهای دسترسی به ماشین و فاصله داخلی اجازه انجام تعمیرات و تنظیمات ماشین توسط دو یا سه نفر را در اتاقک می دهد. پاکسازی هم نسبتاً ساده است.

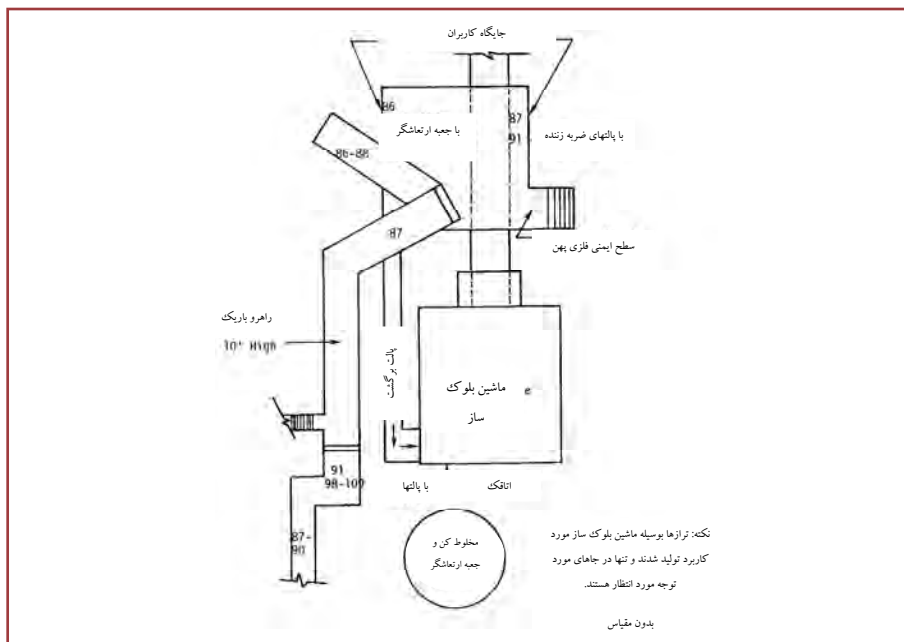
#### کارخانه ۴

کارخانه ۴ دارای دو ماشین بلوک ساز به صورت مکانیکی محصور شده است. هردوی اتاقک ها از ورقه فولادی به ضخامت  $1/6$  in با سطح داخلی دارای یک لایه  $1/4$  in ابری و  $1$  b/ft<sup>2</sup> ورقه سرب و  $1$  in ابر تشکیل شده اند.



شکل ۳۸- کنترل‌های تراز صوتی ماکزیمم

روزنه‌های دید کوچک از جنس پلکسی گلاس درزگیری شده هستند و تنها برای تنظیمات زمانی ماشین استفاده می‌شوند.



شکل ۳۹- جزئیات جایگاه کاربر و ترازهای صوتی ماکزیمم

اطراف و جلو برای ایجاد دسترسی به ماشین و ایجاد امکان پاکسازی تغییر قالب روی ریل های هدایتگر حرکت می کنند. درزگیری مضاعف در همه جا مورد استفاده قرار گرفته است. فاصله بین مواد و اتاقک در هر محل نفوذ به اتاقک کوچک است. بعلاوه روزنه خروجی بلوک یا قالب تشکیل شده است از یک مجرای خطی کوچک. هزینه هر اتاقک حدوداً \$ ۱۳۰۰۰۰ در سال ۱۹۷۰ بود. شکل فوق حداکثر ترازهای صوتی تولید شده طی سیکل ارتعاشی با ماشین در حال عملیات محصور شده را نشان می دهد. در این کارخانه سایر منابع صوتی وجود دارد: سطل ارتعاش کننده و ضربات پالت. شکل ۳۸ نیز ترازهای صوتی را در محله های انتخابی در کارخانه، تولید شده به وسیله سطل ارتعاش کننده، را نشان می دهد. شکل ۳۹ جزئیات وضعیت کاربر را نشان می دهد. افزایش در ترازهای صوتی سایر منابع صوتی یادداشت و نشان داده شد. کارکنان احساس می کردند که اتاقک مفید بوده است. آن تولید را کاهش نداد و کارخانه را به طور معنی داری ساکت تر کرد.

### سابقه ۳۹: موتورهای بادی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

شرح مشکل

موتور بادی بالابر یک منبع سروصدا در بسیاری از صنایع هستند که استفاده وسیع از سامانه های انتقال مواد دارند.

شرح کنترل

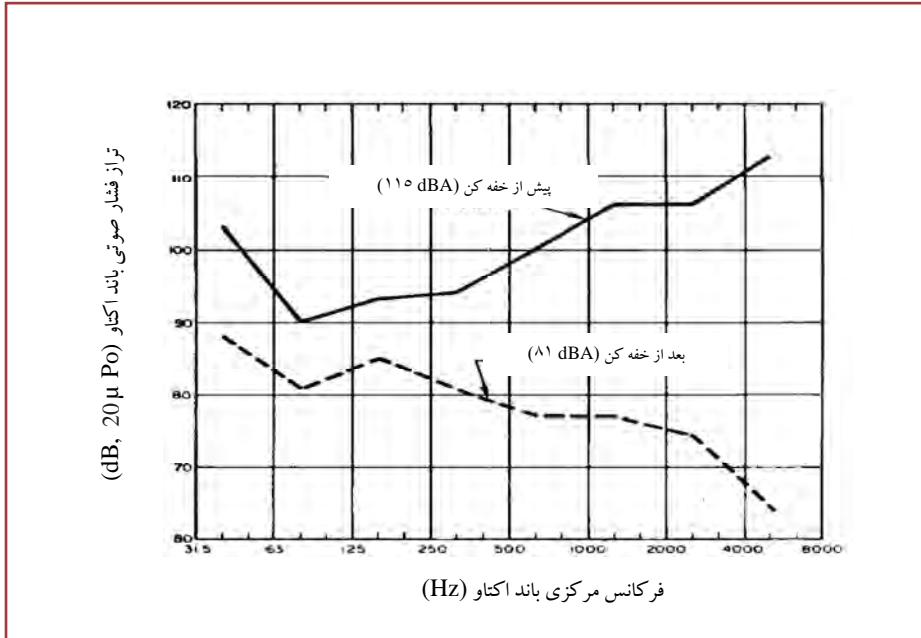
همان طور که خروج هوا منبع سروصدا است، این خروج می تواند با استفاده از صدا خفه کن های در دسترس انتخاب شده برای فشار هوا و کمک به خروج هوا خفه شود.

نتایج

تجزیه و تحلیل یک نمونه باند اکتاو پیش و پس از نصب یک خفه کن خروجی در شکل نشان داده شده است.

<sup>۱</sup> این هزینه زمان تأخیرات در تولید توسط کارکنان کارخانه و غیره را شامل نمی شود.





شکل ۴۰- اثر خفه کن بر هوای خارج شده از بالابر

به طیف نوری بالارونده توجه شود که یک خصوصیت گاز فشار بالا فرار است. مورد دیگر ترازهای صوتی وزن A بعدی را در کف برای بالابر هوایی یک تنی نشان داده است:

| محل             | با خفه کن | بدون خفه کن |
|-----------------|-----------|-------------|
| بالا- بدون لود  | ۹۸        | ۸۵          |
| بالا - ۶۰۰ lb   | ۹۶        | ۸۴          |
| پایین- بدون لود | ۱۰۲       | ۸۸          |
| پایین - ۶۰۰ lb  | ۱۰۰       | ۸۶          |

خروج هوا از ابزاری دیگر می تواند به طور مشابه خفه شود. طراحی های جدید شامل خفه کن ها هستند که بایستی هنگام خرید مشخص شوند.

### سابقه ۴۱: فن با مکش القایی (مشکل سروصدا جامعه)

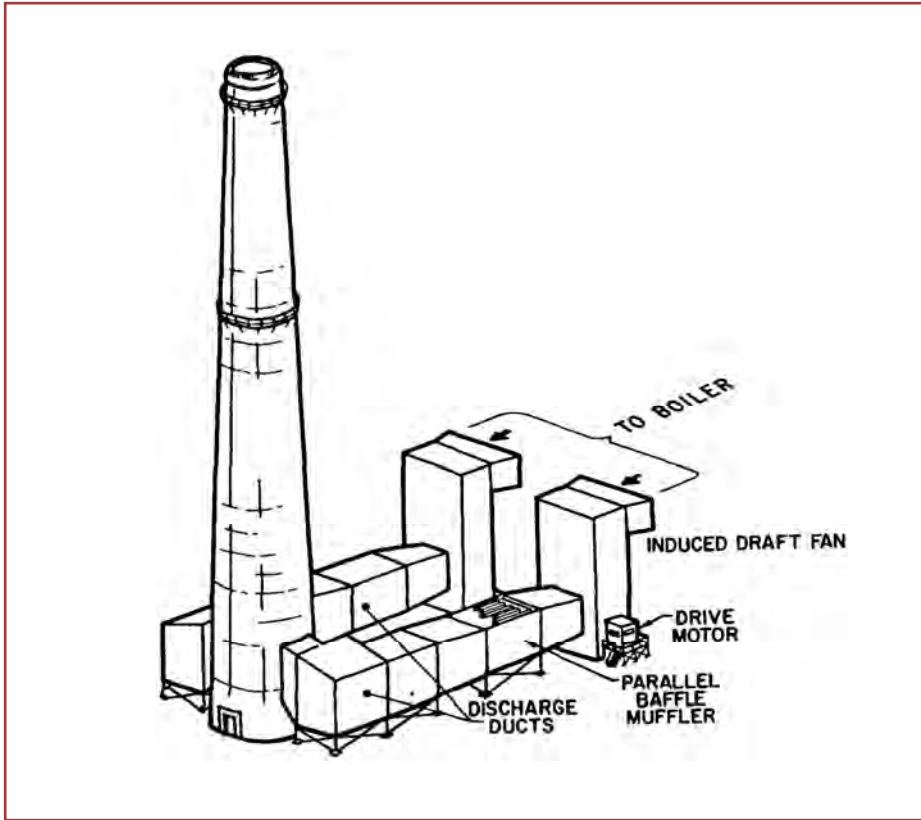
استفاده از فن های با مکش القایی بزرگ (بزرگ تر از ۵۰۰ hp)، به طور رایج در نیروگاه های برقی سوخت فسیلی، می تواند در جوامع نزدیک کارخانه مشکل سروصدا ایجاد کند. در سابقه بعدی سامانه فن با مکش القایی تشریح می شود.

#### شرح مشکل

دو واحد سوخت روغنی، هر یک قادر به تولید ۶۰۰ مگاوات (MW) الکتریسیته، در فاصله ۱۵۰۰ ft جامعه اطراف در بخش شمال شرقی ایالات متحده ساخته شدند. یک مشکل جدی سروصدای جامعه که به وسیله کارخانه ایجاد می شد و به سمت جامعه انتشار می یافت به زودی بعد از اولین عملیات تولیدی واحد تظاهر یافت. شکایات شفاهی و کتبی به وسیله صنعت دریافت شد، نامه ها و مقاله های ناهنجار در روزنامه های محلی انتشار یافتند و تهدیدهایی از اقدامات قانونی دریافت شدند. مشاوران Bolt Beranek و Newman Inc برای مطالعه مشکل و توصیه تدابیر کنترل مناسب سروصدا به کار گرفته شدند. آنها تعیین کردند که سروصدای شنیده شده کارخانه در جامعه به وسیله فن های با مکش القایی تولید می شوند و اولاً از بالای دودکش خروجی و دوماً از خروجی ته فن منتشر می شوند. فن های دخیل دو عدد هستند که به سمت پشت مایل، ۱۲ تیغه ای، با واحدهای گریز از مرکز هستند و هر یک  $۸۰۰۰۰۰ \text{ ft}^3/\text{min}$  را در ۱۹ in از فشار استاتیک آب در درجه حرارت حدود ۳۰۰ درجه فارنهایت حمل می دهند. آنها با ۵۰۰ hp، ۹۰۰ rmp موتور الکتریکی تک سرعت حرکت می کنند. طرح سامانه فن با مکش القایی در شکل زیر شبیه طرح شرح داده شده در این سابقه است.

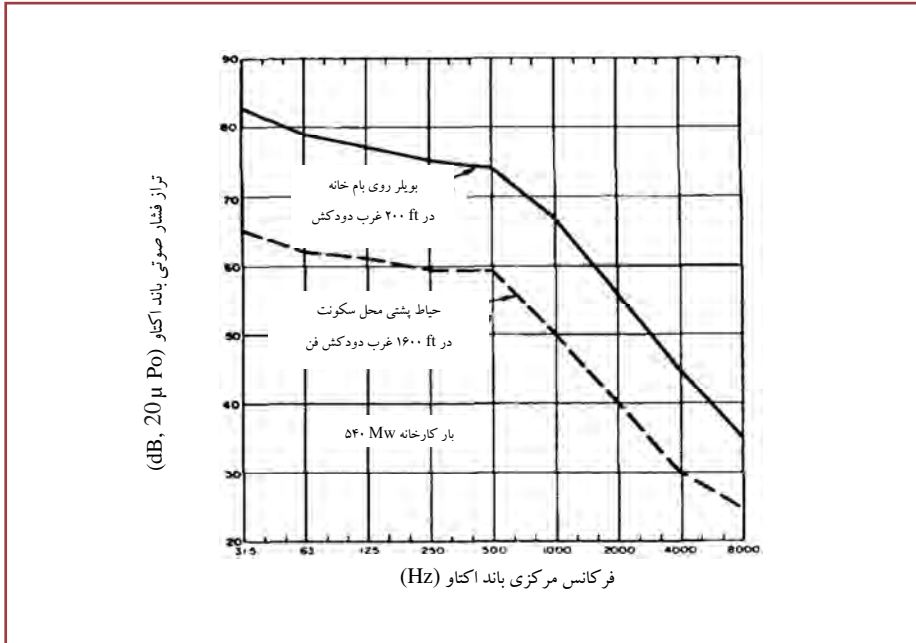
#### تجزیه و تحلیل مشکل

اندازه گیری های باند اکتاو و ضبط نوارهای سروصدا در جامعه در نیمه شب و سحرگاه در هنگام عملیات و یا بدون عملیات کارخانه انجام شد. این داده ها میزان حداکثری را که در آن سروصدای کارخانه از باقیمانده صدای اطراف تجاوز می کرد را مهیا نمود و به پایه ریزی هدف کاهش سروصدا کمک کرد. هدف، کاهش سروصدای مستمر کارخانه تا حدوداً تراز باقیمانده اطراف در جامعه پیش از عملیات بود.



شکل ۴۱- طرح سامانه فن مکش القایی

برای شناسایی منابع سروصدای کارخانه که در جداهای اندازه گیری شده در جامعه توزیع می شدند، داده های حاصل نزدیک به منابع صوتی احتمالی بود و برای برآورد شدت آنها در ترازهای اندازه گیری شده جامعه استفاده می شد. برای مثال شکل فوق ترازهای اندازه گیری شده فشار صوتی باند اکتاو سروصدای فن را که بر روی بویلرهای سقف خانه ها بافاصله حدود ۲۰۰ ft از دهانه دودکش و درست زیر آن بدست آمد.



شکل ۴۲- اندازه گیری های سروصداهای فن

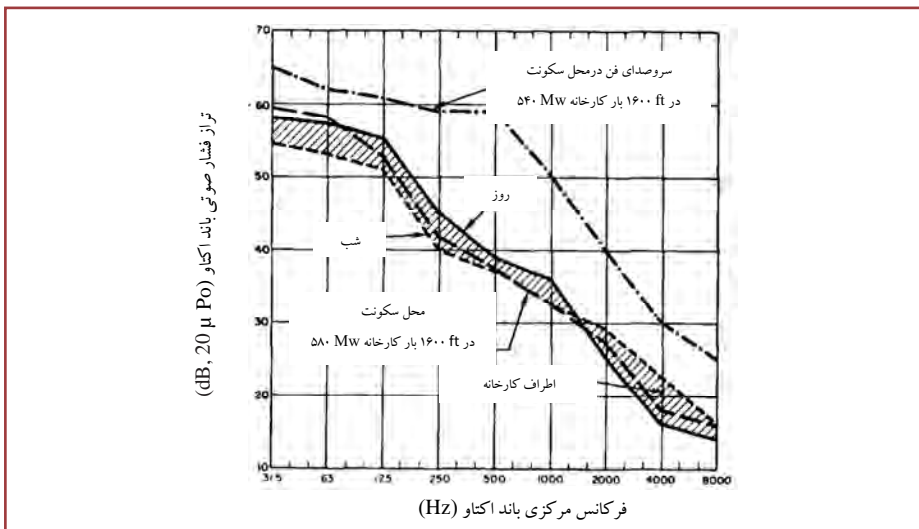
این موقعیت در محل دور از دهانه دودکش است ولی آنقدر دور نیست که اندازه گیری های صدا با شرایط گوناگون پراکنش صدا پیچیده شوند. همچنین آنچه در شکل فوق نشان داده شده است اندازه گیری انجام شده در جامعه است. تفاوت میان ترازهای فشار صوتی موقعیت نزدیک و موقعیت جامعه (به جز در طیف فرکانس بالایی که اصوات اطراف بر اندازه گیری های جامعه تأثیر می گذارند) مطابقت دارد با فرض اینکه سروصدای جامعه مورد غلبه صدای منتشره از اصوات پراکنده شونده اندازه گیری شده دهانه دودکش در فضا واقع می شوند. البته صدای منتشره از دودکش از خود فن نشأت می گیرد. اندازه گیری های مشابه از نزدیک نشان می دهد که مجاری بین فن و دودکش یک منبع مشارکتی بوده است. نتیجه گیری می شود که یک خفه کن به طور مناسب طراحی شده نصب شده در مجرای خروجی فن نزدیک خروجی فن می توانست مشکل سروصدا را حل کند. خفه کن می توانست صداهای فن را پیش از انتشار آنها به درون مجاری کاهش دهد و بدین ترتیب می توانست انتشارات هردو منبع مهم شناسایی شده سروصدا (مجاری و دهانه دودکش) را کنترل کند.

### شرح کنترل

به منظور کم کردن شکایات جامعه از سروصدا از اولین واحد عملیاتی و اجتناب از شکایات از دومین واحد، یک خفه کن حائل جاذب موازی طراحی شد. طراحی خفه کن همراه بود با نصب به حد کافی مواردی که فقدان آنها وجود داشت برای اطمینان از اینکه صداهای فن تقریباً در جامعه و غیرقابل شنیدن است و ملزومات ساختاری، فقدان فشار آئروپنمیکی، خوردگی، فرسایش، مسدود شدن از گازهای آلوده، سروصدای داخلی و فضای در دسترس برای بررسی را در نظر داشت. خفه کن دز مجاری تخلیه هر دو فن نصب شد همان طور که حدوداً در شکل فوق نشان داده شده است.

### نتایج

نتایج حاصل شده پس از نصب خفه کن های تخلیه فن در شکل ۴۳ نشان داده شده است. منحنی بالایی در شکل ۴۲ که ترازهای فشار صوتی بدون خفه کن اندازه گیری شده در جامعه را نشان می دهد. منحنی پایینی ترازهای فشار صوتی بدون خفه کن اندازه گیری شده در همان مکان را پس از خفه کردن فن نشان می دهد. دامنه هاشور خورده ترازهای اندازه گیری شده پایین تر محیط اطراف را طی روز و شب نشان می دهد. همان طور که می توان دید ترازهای فشار صوتی فن دارای خفه کن به جامعه اطراف نزدیک است. شکایات از سروصدای این فن ها متوقف شده است.



شکل ۴۳- بعد از نصب خفه کن فن تخلیه

براساس موفقیت در خفه کن های اولین واحدهای ایجاد شده، خفه کن های مشابه در واحد دوم هنگام ساخت نصب شدند. اطلاعات در مورد پیشگیری سروصدا را می توان در (Graham 1972) یافت و اطلاعات مربوط به طراحی خفه کن در (Beranek 1971) قابل دسترسی است. مسدود شدن المنتهای خفه کن به وسیله جریان گاز آلوده می تواند مشکل مهمی برای خفه کن های جاذب نصب شده در فن با مکش القایی باشد و اطلاعات اخیر در مورد مشکل بالقوه در Bier, Ver و Patel (1978) داده شده است. Wood, Miller و همکاران (1978) اطلاعات بیشتری را در مورد کنترل سروصدای خارجی ناشی از نیروگاه و سامانه های فن آن فراهم آورده اند.

### سابقه ۴۳: ژنراتور توربین گاز (مشکل سروصدا جامعه)

توربین گاز

ژنراتورهای توربین گاز (همچنین با نام توربین احتراقی) برای تأمین ظرفیت ذخیره ای اضطراری و به نقطه اوج رسانی نیرو در سامانه های مصرفی برقی مورد استفاده قرار می گیرد. هنگامیکه آنها در نزدیکی مناطق مسکونی واقع می شوند، می توانند سبب شکایات جامعه از سروصدا شوند مگر اینکه تدابیر کافی برای کنترل صوت مهیا باشد. این سابقه بحثی در مورد نصب خفه کن های اضافی خروجی در یک توربین گازی برای تخفیف شکایات جامعه از سروصدای خروجی با فرکانس کم است.

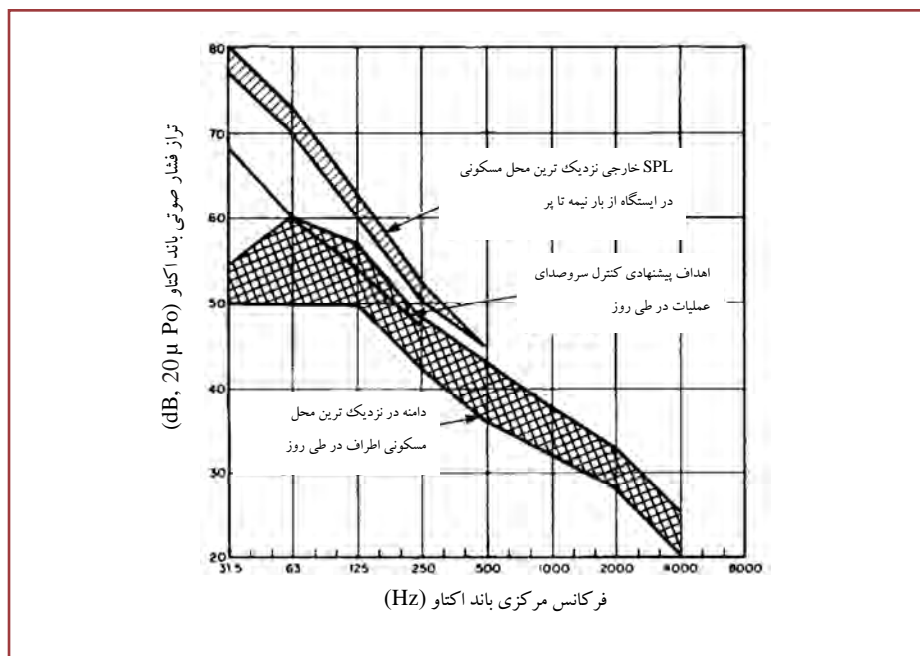
شرح مشکل

سه واحد توربین گازی با توان تولید ۶۰ MW برق، در منطقه حومه نیوانگلند نصب شدند. هر واحد تولیدی یک ژنراتور تکی داشت که با ۴ هواپیما از نوع موتور جت کار می کرد؛ هر یک جفت موتور یک خروجی مشترک داشتند. هر واحد تولید کننده در اصل با دو دودکش خروجی دارای خفه کن حدوداً به قطر ۴ متر و طول ۱۵ متر بود. صاحب ایستگاه تولید کننده شکایاتی را در مورد سروصدای با فرکانس پایین در همسایگی محل زندگی شان با فاصله ۳۰۰ متری ایستگاه دریافت می کرد.

تجزیه و تحلیل مشکل

از شرکت Bolt Beranek and Newmam Inc مشاور صوتی صاحب کارخانه خواسته شد در مورد مشکلات سروصدای ایستگاه تولید تحقیق کند و اقدامات تصحیحی را توصیه کند. اندازه گیری های تراز فشار صوتی و ضبط نوارها در ایستگاه، در نزدیک ترین منطقه مسکونی و

مناطق گوناگون بسیار نزدیک در طی چندین شرایط عملیاتی انجام شد. اندازه گیری ها همچنین در طول دیواره دودکش و در بالای آن انجام شد. علاوه، اندازه گیری ها بدون شرایط عملیاتی صورت گرفتند. اندازه گیری های خارج از یک خانه در همسایگی در شکل فوق خلاصه شدند. صداهای با فرکانس پایین ایستگاه از محیط اطراف حداقل ۲۰-۱۰ dB تجاوز کردند. علاوه صدای باند اکتاو  $31\frac{1}{5}$  Hz از ۷۵ dB تجاوز نمود که تراز است که در آن گاهی شکایات از ارتعاشات در خانه می شود. یک هدف کنترلی پیشنهادی نیز برای سروصدا در طی عملیات در روز در شکل نشان داده شده است. کاهش هایی برابر با ۱۰-۱۳dB در اکتاو باند  $31\frac{1}{5}$ -۶۳ Hz به منظور تخفیف مشکل شکایات جامعه پیشنهاد شده است.



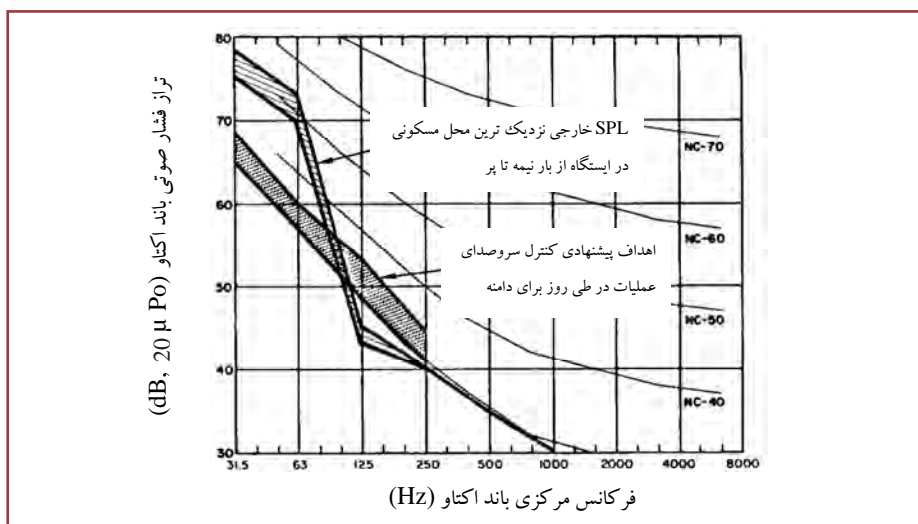
شکل ۴۴- ترازهای فشار صوتی در خارج نزدیک ترین مناطق مسکونی در فاصله ۳۰۰ متری

داده های مشابه حاصل از داخل نزدیک ترین محل مسکونی در ۳۰۰ متری ایستگاه در شکل نشان داده شده است. این داده ها با منحنی های NC رسم شده اند که می توانند در تعیین آهنگ یا قضاوت در مورد محیط شنیداری برای فعالیت های مختلف مورد استفاده قرار گیرند. آنالیز نوار

باریک داده های نوار ضبط شده در ایستگاه و نزدیک ترین خانه نشان داد که انرژی صوتی منجر به شکایت، ابتدا در دامنه ای حدود ۷۵-۱۸ Hz قرار دارد. بر ای کاهش این سروصدای با فرکانس کوتاه، یک خفه کن پراکنده کننده طنین، طراحی شد و به هر یک از دودکش های دارای خفه کن اضافه شد.

#### شرح کنترل

مسیر انتشار مرد غلبه سروصدای فرکانس کوتاه از بالای باز شش دودکش خروجی بود. یک طرح مفهومی اولیه از یک بخش خفه کن پراکنده کننده طنین که قرار بود در انتهای پایینی دودکش ها نصب شود، آماده شد. آزمون های مدل صوتی از اشکال مختلف بهینه کننده نصب خفه کن در دامنه فرکانس مورد نظر به عمل آمد. آزمون های مدل آئرودینامیک نیز برای اطمینان از بیش از حد نبودن فقدان فشار اضافی در بخش خفه کن به عمل آمد (فقدانهای فشار بالا ظرفیت تولید واحد توربین گازی را کاهش خواهد داد).



شکل ۴۵- ترازهای فشار صوتی در داخل نزدیک ترین مناطق مسکونی در فاصله ۳۰۰ متری

سایر ملاحظات، هزینه و زمان تولید، هزینه نصب، زیباسازی، سروصدای داخلی، یکپارچگی ساختاری و وزن را شامل می شد. به عنوان نتیجه این تحقیقات، یک نسخه اصلی خفه کن خروجی طراحی، تولید و نصب شد. خفه کن با قطر ۵ متر و طول ۸ متر در بخش پایینی دودکش



موجود نصب شد. اندازه گیری های میدانی برای ارزیابی عدم نصب خفه کن فرکانس کوتاه انجام شد و پنج خفه کن دیگر در پی آن تولید و نصب شدند.

نتایج

اندازه گیری های تراز فشار صوتی در نزدیکی یک دودکش خروجی با و بدون بخش خفه کن، یک تفاوتی حدود ۱۱-۱۲ dB را در باندهای اکتاو ۳۱/۵-۶۳ Hz را نشان داد. در داخل و خارج نزدیک ترین محل مسکونی، عدم نصب برابر بود با ۸-۹ dB در اکتاو باند ۳۱/۵ Hz و ۷-۱۱ dB در باند اکتاو ۶۳ Hz. این نتایج مطلوب موفقیت پروژه کنترل سروصدا را نشان می دهند.

### سابقه ۴۶: سمباده بادی (مشکل سروصدا اداره ایمنی و سلامت شغلی) (OSHA)

حل مشکل

این سابقه مربوط به عملیات سمباده بادی دستی است، ابزارهایی که اغلب در صنعت برای تمیز و صاف کردن و یا بهینه سازی سطح بخش های فلزی استفاده می شوند. در این عملیات سروصدای ابزار بادی تا قسمتی برای مشارکت قرارگیری زیاد در معرض سروصدای مربوط به OSHA در ریخته گری چدن خاکستری ذکر شده است.

تجزیه و تحلیل مشکل

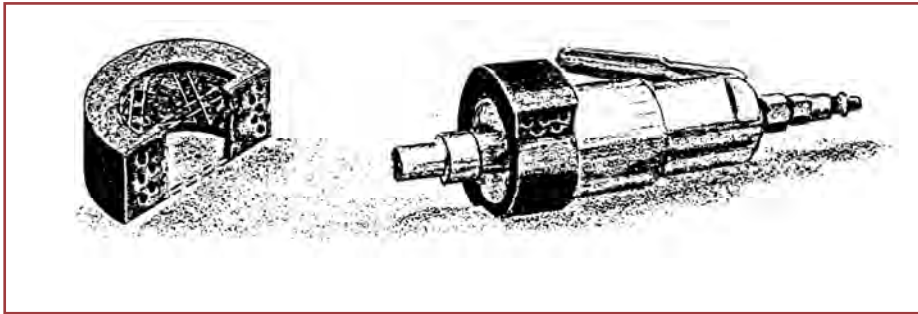
تجزیه و تحلیل مشکل نشان داده است که این ابزار یک منبع اصلی مستمر سروصدا بوده است. تراز صوتی اندازه گیری شده در گوش کاربر بین ۱۰۹-۱۰۰ dBA است هنگامی که ابزارهای گوناگون در حالت فروچرخش آزاد نگه داشته شده باشند. اندازه گیری های نزدیک نشان می دهد که بیشترین سروصدا ناشی از خروجی این ابزار است و بنابراین یک خفه کن خروجی برای کاهش مشکل در نظر گرفته شد. نسخه اولیه فلزی خفه کن طراحی و ارزیابی شد. در نهایت خفه کن لاستیکی توسعه داده شد.

شرح کنترل

خفه کن برداشته شده و نصب شده بر ابزار بادی نشان داده شده در شکل زیر در اصل یک باند لاستیکی است که دور قسمت های خروجی ابزار قرار می گیرند. لایه منفذ دار خفه کن جریان هوا را آهسته می کند و انرژی حرکت هوا را پیش از خروج آن پراکنده می کند. خفه کن به طور تجاری از طریق شرکت مواد معدنی Allentown تهیه می گردند.

## نتایج

ترازهای صوتی در گوش کاربر به دامنه ۸۸-۸۴ dBA برای ابزار با فروچرخش آزاد بسته به آزمون انجام شده بروی ابزار کاهش می یابد. تدبیر انجام شده برای ابزار که هماهنگ با سایر اقدامات کنترلی صوتی فعلی در حال اجرا در کارخانه است، قرارگیری در معرض سروصدا را تا تراز منطبق بر استانداردهای OSHA کاهش خواهد داد.



شکل ۴۶- خفه کن نشان داده شده جدا شده و نصب شده بر روی ابزارهای هوایی

## توضیحات

در بسیاری از موارد مربوط به استفاده از ابزارهای بادی، سروصدای ابزار بر افراد تحت معرض آن غلبه می کند. در بسیاری از دیگر موارد، به خصوص هنگامیکه روی ساختارهای سبک کار می شود، ارتعاش القا شده از قطعه ای که روی آن کار می شود بسیار مهم تر از سروصدای ابزار می شوند. در وضعیت اخیر، خفه کن هایی از قبیل مواردی که در بالا شرح داده شدند بایستی فقط به عنوان تدبیری حدودی در نظر گرفته شوند و با اتاقک (با استفاده از کنترل های glove-box-type)، پوشیده شده (با استفاده از پتوی سنگین)، یا سایر اشکال کنترل کننده سروصدا هماهنگ باشند. توجه شود که ابزارهایی که تولید کننده آنها ادعا می کند ابزارهای بادی بی صدا هستند بایستی به دقت مورد آزمایش واقع شوند. اگرچه ابزارهای بی صدای آنها در واقع از مدل های اصلی آنها کم صداتر هستند، استانداردهای اندازه گیری ANSI فاصله یک متر از ابزار را برای انجام اندازه گیری های اختصاص می دهند. در عمل، گوش یک کاربر می تواند از یک متر به ابزار نزدیک تر باشد و از این رو قرارگیری او در معرض سروصدا بیش از آنچه باشد که براساس نشریات پیشرفته تولید کننده ابزار مورد انتظار است.

## مراجع

1. (ASNAA), Aviation Safety and Noise Abatement Act of 1979 49 U.S.C. 47501-47510
2. Benz Kotzen and Colin English, Environmental Noise Barriers: A Guide to Their Visual and Acoustic Design, Spon Press, United Kingdom (1999) ISBN 978-0-419-23180-6
3. C.M. Hogan and Ballard George, Pilot Noise Residential Insulation Program, San Jose International Airport (1983)
4. Cyril M. Harris, Noise Control in Buildings: A Practical Guide for Architects and Engineers (1994)
5. Final Report for the Aircraft Noise Insulation Project for San Francisco International Airport: Phase one Pilot Project, FAA funded and prepared for the city of South San Francisco, Earth Metrics Inc., Burlingame, California, July, 1986
6. <http://www.technature.ca>
7. Industrial noise control, Lynn L. Faulkner, illustrated, Industrial Press, 1976, the University of Michigan, Dec 4, 2007, pages 18-236
8. Industrial Noise Control: Fundamentals and Applications, Second Edition, Lewiss Bell, 2, illustrated, revised, CRC Press, 1993
9. Myer Kutz, Handbook of Transportation Engineering, McGraw-Hill (2004) ISBN 978-0-07-139122-1
10. Randall F Barron and Barron F Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, New York (2002) ISBN 978-0-8247-0701-9
11. Stewart, William (February 2007). "Perforated metal systems sound absorbing surfaces". Construction Specifier.

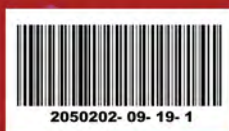


Tehran University of Medical Sciences  
Institute for Environmental Research



Islamic Republic of Iran  
Ministry of Health and Medical Education  
Environmental and Occupational Health Center

# *A Guide to How to Control of Noise in According to Type of Industry*



*Summer 2014*