



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

(شماره استاندارد)

.....

(۱۴۰۰)

INSO

(Std. No.)

.....

(2021)

Identical with/  
Modification of ISO

.....

صنعت نفت - کنترل صدا و ارتعاش -

قسمت ۱:

الزامات کنترل صدا و ارتعاش

پیش نویس - غیر قابل استناد

NOISE AND VIBRATION CONTROL

ICS: (.....)

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۱-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: [standard@isiri.gov.ir](mailto:standard@isiri.gov.ir)

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

**Iranian National Standardization Organization (INSO)**

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: [standard@isiri.gov.ir](mailto:standard@isiri.gov.ir)

Website: <http://www.isiri.gov.ir>

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفه تعیین، تدوین، به‌روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را بر عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«صنعت نفت - کنترل صدا و ارتعاش صنعت نفت - کنترل صدا و ارتعاش - قسمت ۱: الزامات کنترل صدا و ارتعاش»

سمت و/یا محل اشتغال:

.....

رئیس:

نام خانوادگی، نام

(مدرک تحصیلی)

دبیر:

.....

.....،.....

(.....)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

.....

.....،.....

(.....)

.....

.....،.....

(.....)

.....

.....،.....

(.....)

.....

.....،.....

(.....)

ویراستار:

.....

.....،.....

(.....)

...	پیش‌گفتار	
۱۳	هدف و دامنه کاربرد.....	۱
۱۳	مراجع الزامی.....	۲
۱۵	تعاریف و اصطلاحات.....	۳
<b>بخش ۱</b>		
۱۹	تعیین میزان مواجهه با صدای شغلی.....	۴
۱۹	مرحله پیش‌بینی صدا.....	۱-۴
۱۹	مرحله شناسایی صدا.....	۲-۴
۱۹	روشهای شناسایی منابع صوتی و محدوده‌های خطر.....	۱-۲-۴
۱۹	روش غربالگری صدا و چک لیست‌ها.....	۲-۲-۴
۲۰	تعیین نحوه انتشار صدا در محیط شغلی(میدان آزاد، میدان پر بازتاب یا واخشی، میدان پخشاگر).....	۳-۲-۴
۲۱	تعیین گروه منابع صوتی(نقطه ای، خطی و سطحی).....	۴-۲-۴
۲۲	مراحل اندازه‌گیری صدا.....	۳-۴
۲۲	تجهیزات اندازه‌گیری صدا.....	۱-۳-۴
۲۲	ترازسنج‌های صوت ا.....	۱-۱-۳-۴
۲۲	دوزیمتر و دوزیج صدا ا.....	۲-۱-۳-۴
۲۳	مانیتورهای محیطی صدا.....	۳-۱-۳-۴
۲۴	دوربین‌های آکوستیکی.....	۴-۱-۳-۴
۲۴	کالیبراسیون تجهیزات.....	۵-۱-۳-۴
۲۴	روشهای اندازه‌گیری صدای شغلی.....	۲-۳-۴
۲۴	روش اندازه‌گیری تراز توان صوتی منابع.....	۱-۲-۳-۴
۲۶	روش اندازه‌گیری تراز شدت صوت منابع.....	۲-۲-۳-۴
۲۷	برچسب گذاری صوتی منابع.....	۳-۲-۳-۴
۲۷	روش اندازه‌گیری محیطی.....	۴-۲-۳-۴
۲۸	روش اندازه‌گیری موضعی.....	۵-۲-۳-۴

صفحه		فهرست مطالب
۲۸	.....اندازه‌گیری مواجهه با صدای کوبه‌ای و ضربه‌ای.....	۶-۲-۳-۴
۲۹	.....روش آنالیز فرکانسی.....	۷-۲-۳-۴
۲۹	.....روش تعیین تداخل صدا با مکالمه.....	۳-۳-۴
۲۹	.....انتخاب راهبردهای اندازه‌گیری صدا.....	۴-۳-۴
۲۹	.....اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه.....	۱-۴-۳-۴
۳۰	.....اندازه‌گیری مبتنی بر شغل و گروههای شغلی.....	۲-۴-۳-۴
۳۰	.....اندازه گیر طولانی مدت.....	۳-۴-۳-۴
۳۲	.....نقشه‌های صوتی.....	۵-۳-۴
۳۲	.....گزارش نتایج اندازه‌گیری صدا.....	۱-۵-۳-۴
۳۴	.....ترسیم نقشه‌های صوتی.....	۲-۵-۳-۴
۳۴	.....نحوه تنظیم گزارشات اندازه‌گیری.....	۶-۳-۴
۳۴	.....مراحل ارزیابی صدا.....	۴-۴
۳۴	.....نحوه ارزیابی نتایج اندازه‌گیری و مقایسه با حدود مجاز یا الزامات مرتبط.....	۱-۴-۴
۳۶	.....ارزیابی نهایی و اظهارنظر.....	۲-۴-۴
۳۶	.....برنامه حفاظت شنوایی.....	۳-۴-۴
۳۶	.....پایش سلامت و تعیین افراد در معرض خطر.....	۴-۴-۴
۳۷	.....کنترل صدای شغلی در صنعت.....	۵
۳۷	.....تعیین منابع اصلی هدف کنترل صدا.....	۱-۵
۳۷	.....تعیین محدوده‌های هدف کنترل صدا.....	۲-۵
۳۷	.....تعیین گروه‌های شغلی هدف کنترل صدا.....	۳-۵
۳۸	.....قواعد مشترک در طرح‌های کنترل صدا.....	۴-۵
۳۹	.....اولویت بندی طرح‌های کنترل صدا.....	۵-۵
۳۹	.....کنترل مدیریتی صدا.....	۶-۵
۴۰	.....آموزش مبتنی بر خود مراقبتی، دیگر مراقبتی و ارتقا مهارت شغلی.....	۱-۶-۵
۴۰	.....کنترل صدا در منبع.....	۷-۵
۴۰	.....روشهای مبتنی بر جداسازی و اصلاح چیدمان تجهیزات و نفرات.....	۱-۷-۵

صفحه		فهرست مطالب
۴۱	.....کنترل صدا در محیط انتشار.....	۸-۵
۴۱	.....جداسازی مبتنی بر عایق بندی(موانع و دیوارها).....	۱-۸-۵
۴۱	.....روشهای مبتنی بر استفاده از جاذب‌های صدا (شامل تایل ها و پنلهای آکوستیکی و دیفیوزرها).....	۲-۸-۵
۴۱	.....کنترل صدا در محل دریافت کننده.....	۹-۵
۴۳	.....محفظه‌های صوتی کامل و ناقص.....	۱-۹-۵
۴۳	.....وسایل حفاظت شنوایی.....	۱۰-۵
۴۴	.....انواع حفاظ های شنوایی و معیارهای انتخاب آنها.....	۱-۱۰-۵
۴۶	.....عوامل موثر بر انتخاب حفاظ‌های شنوایی.....	۲-۱۰-۵
۴۶	.....اطلاعاتی در مورد وسایل حفاظت شنوایی برای کارکنان.....	۳-۱۰-۵
۴۷	.....نظارت‌های بهداشتی برای پیشگیری از آسیب شنوایی.....	۴-۱۰-۵
۴۷	.....روش‌های تعیین کارایی حفاظ‌های شنوایی.....	۵-۱۰-۵
۴۸	تهیه مستندات فنی مرتبط با کنترل صدا شامل: نقشه ها، اطلاعات فنی تجهیزات و اطلاعات مربوط به نحوه نگهداری تجهیزات و اطلاعات مربوط به مواجهه کارکنان با صدا.....	۱۱-۵
۴۸	روش‌های فنی کنترل صدا در صنعت	۶
۴۹	.....تراز توان صوتی مجاز برای تجهیزات.....	۱-۶
۵۰	.....تراز نشر صوتی مجاز برای تجهیزات.....	۲-۶
۵۰	.....صدای فلر.....	۳-۶
۵۱	.....پیش بینی و پیشگیری فنی مواجهه غیر مجاز با صدای شغلی.....	۴-۶
۵۱	.....الزامات مورد نیاز پیشگیرانه در طرح‌های ایجاد و توسعه برای کنترل صدا.....	۱-۴-۶
۵۱	.....الزامات فنی در طراحی و توسعه فرآیندها.....	۲-۴-۶
۵۲	.....بررسی افت انتقال نسبی صدای لوله ها در فاز طراحی.....	۱-۲-۴-۶
۵۲	.....تعیین تراز فشار صوت.....	۱-۱-۲-۴-۶
۵۲	.....تعیین تراز توان صوت.....	۲-۱-۲-۴-۶
۵۳	.....افت انتقال نسبی مورد نیاز: صنایع و بخش‌های در حال کار.....	۲-۲-۴-۶
۵۴	.....طول عایق صوتی.....	۱-۲-۲-۴-۶
۵۷	.....کلیات طراحی لوله.....	۲-۲-۲-۴-۶
۵۸	.....برآورد کاهش کلی صدا.....	۳-۲-۲-۴-۶

صفحه		فهرست مطالب
۵۹	..... الزامات فنی مورد نیاز در تامین تجهیزات	۳-۴-۶
۵۹	..... مشخصات تجهیزات جدید	۱-۳-۴-۶
۵۹	..... سیاست خرید تجهیزات کم صدا	۲-۳-۴-۶
۶۰	..... نحوه استقرار و استفاده از تجهیزات	۳-۳-۴-۶
۶۰	..... آموزش استفاده از تجهیزات	۴-۳-۴-۶
۶۰	..... تعمیر و نگهداری فرآیند و تجهیزات	۵-۳-۴-۶
۶۱	..... الزامات فنی در نظارت بر اجرای طرح‌های نصب، توسعه و تعمیرات و نگهداری تجهیزات	۴-۴-۶
۶۱	..... مستند سازی طرح‌های کنترل صدا (کنترل صدا در منبع و روش‌های آن، کنترل صدا در محیط انتشار، اتاقک سازی)	۵-۶
۶۱	..... تهیه مستندات مربوط به طراحی‌های فنی کنترل صدا	۱-۵-۶
۶۲	..... گزارش مهندسی کنترل صدا	۶-۶
۶۲	..... آزمون‌های موفقیت روش‌های کنترل صدا	۷-۶
۶۲	..... تعیین مشاور مستقل	۱-۷-۶
۶۳	..... کنترل صدای واحدهای غیر فرایندی	۸-۶
۶۳	..... کنترل صدا در مرحله طراحی و جانمایی	۱-۸-۶
۶۳	..... ارزیابی صدا در مرحله بهره‌برداری	۲-۸-۶
۶۳	..... کنترل صدا در مرحله بهره‌برداری	۳-۸-۶
۶۴	..... نظارت و پایش اجرای کنترل صدا	۹-۶
۶۵	..... ملاحظات مستمر	۱-۹-۶
۶۵	..... کمیته پایش و کنترل صدا و ارتعاش	۱۰-۶
۶۶	..... تهیه و نگهداری اسناد	۱۱-۶
۶۶	..... خلاصه موارد اقدام و تخصیص مسئولیت	۱۲-۶
۶۷	..... راهنمای طراحی آکوستیک برای محیط انتشار	۷
۶۷	..... راهنمای طراحی برای کنترل صدا تجهیزات	۸
۶۸	..... صدای جریان آیرودینامیکی	۱-۸
۶۹	..... صدای فن	۲-۸
۷۰	..... ساکت کننده‌ها و انباره‌ها (سایلنسرها و مافلرها)	۳-۸



صفحه		فهرست مطالب
۷۲	.....تجهیزات ساکت کننده صدا.....	۱-۳-۸
۷۳	.....صدای کمپرسورها.....	۴-۸
۷۴	.....صدای پمپها.....	۵-۸
۷۵	.....صدای مشعلها.....	۶-۸
۷۵	.....صدای ناشی از فلر.....	۷-۸
۷۶	.....طراحی عایق صوتی برای لوله ها، شیرها و فلنج ها.....	۹
۷۶	.....طراحی اتاقک ها و محفظه ها.....	۱۰
<b>بخش ۲</b>		
۷۸	.....تعیین میزان مواجهه با ارتعاش شغلی.....	۱۱
۷۸	.....مراحل شناسایی، اندازه گیری و ارزیابی ارتعاش.....	۱-۱۱
۷۹	.....روشهای شناسایی منابع ارتعاش و محدوده های خطر.....	۱-۱-۱۱
۷۹	.....مطالعه ارتعاش تجهیزات.....	۱-۱-۱-۱۱
۸۰	.....ارتعاش آزاد و ارتعاش واداشته.....	۲-۱-۱-۱۱
۸۲	.....عبور (انتقال) ارتعاش.....	۳-۱-۱-۱۱
۸۲	.....میرایی ارتعاش.....	۴-۱-۱-۱۱
۸۳	.....فونداسیون تجهیزات.....	۵-۱-۱-۱۱
۸۳	.....مشخصات فونداسیون.....	۱-۵-۱-۱-۱۱
۸۳	.....عبور ارتعاش.....	۶-۱-۱-۱۱
۸۳	.....ارتعاش انسانی.....	۲-۱-۱۱
۸۴	.....روشهای اندازه گیری ارتعاش شغلی.....	۳-۱-۱۱
۸۴	.....هدف از اندازه گیری.....	۱-۳-۱-۱۱
۸۴	.....جمع آوری اطلاعات مورد نیاز.....	۲-۳-۱-۱۱
۸۴	.....وسیله اندازه گیری.....	۳-۳-۱-۱۱
۸۵	.....انواع شتاب سنج ها.....	۱-۳-۳-۱-۱۱
۸۵	.....کالیبراسیون تجهیزات.....	۴-۳-۱-۱۱
۸۶	.....اندازه گیری ارتعاش.....	۵-۳-۱-۱۱

صفحه		فهرست مطالب
۸۶	.....	۱۱-۱-۳-۶ آنالیز فرکانس ارتعاش.....
۸۷	.....	۱۱-۱-۴ ملاحظات بررسی ارتعاش شغلی.....
۸۷	.....	۱۱-۱-۵ ارزیابی مواجهه شغلی با ارتعاش.....
۸۷	.....	۱۱-۱-۱-۵ ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن.....
۸۷	.....	۱۱-۱-۵-۲ ارزیابی ارتعاش دست-بازو.....
۸۸	.....	۱۱-۱-۶ الزامات گزارشهای اندازه‌گیری و ارزیابی.....
۸۸	.....	۱۱-۲ روش‌های کنترل ارتعاش شغلی .....
۸۸	.....	۱۱-۲-۱ انتخاب روش کنترل ارتعاش.....
۸۹	.....	۱۱-۲-۲ کنترل ارتعاش در مرحله طراحی و ساخت.....
۸۹	.....	۱۱-۲-۲-۱ ملاحظات کنترل در مرحله طراحی و توسعه.....
۸۹	.....	۱۱-۲-۳ کنترل ارتعاش در مرحله نصب و بهره‌برداری.....
۹۰	.....	۱۱-۲-۴ الزامات طراحی فنی کنترل ارتعاش.....
۹۰	.....	۱۱-۲-۵ تهیه مستندات مربوط به طراحی‌های فنی کنترل ارتعاش .....
۹۰	.....	۱۱-۲-۵-۱ نگهداری مستندات مربوط به طراحی‌های فنی کنترل صدا.....
۹۱	.....	۱۱-۲-۶ گزارش مهندسی کنترل ارتعاش.....
۹۱	.....	۱۱-۲-۷ آزمون‌های موفقیت روشهای کنترل ارتعاش.....
۹۱	.....	۱۱-۲-۷-۱ تعیین مشاور مستقل.....
۹۲	.....	پیوست الف- چک لیست غربالگری صدا .....
۹۴	.....	پیوست ب- فرم اندازه‌گیری صدا.....
۹۹	.....	پیوست ج- موارد اقدام و تخصیص مسئولیت.....
۱۰۰	.....	پیوست د - اجرای آزمونهای صدا.....
۱۰۱	.....	پیوست ه- آزمایش سیستم‌های عایق صوتی.....
۱۰۶	.....	پیوست و- طراحی آکوستیکی.....
۱۱۰	.....	پیوست ز- عایق‌های ارتعاشی.....

## پیش‌گفتار

مواجهه شغلی با صدا و ارتعاش به طور عمومی می‌تواند سبب اختلال در آسایش، اختلال در عملکرد ذهنی، اختلال در خواب و ارتباطات انسانی گردیده و بعلاوه بر کارایی شغلی و بهره‌وری تاثیر نامطلوب داشته باشد. صدا یک عمل تنش‌زای فیزیکی است که می‌تواند به طور موقت یا دائمی افت شنوایی ایجاد نماید. مواجهه با ارتعاش نیز می‌تواند علاوه بر اثرات عمومی ذکر شده اختلال فیزیولوژیک در سیستم عصبی - عروقی و اسکلتی ایجاد نماید. ارتعاش می‌تواند باعث آسیب دائم به عروق، مفاصل و بافت‌های دست و انگشتان شده و اختلالات دردناک در سایر بخش‌های اسکلتی بدن، خصوصا ستون فقرات ایجاد نماید. صدا و ارتعاش هر دو به دلیل احتمال ایجاد خطای انسانی و محدود نمودن ارتباطات شغلی جزو ریسک‌فاکتورهای بروز حوادث هستند. مسئله صدا و ارتعاشات صنعتی نیازمند به برنامه‌های مدون پیش‌بینی، شناسایی، ارزیابی و کنترل دارد تا با پایش مستمر و پیشگیرانه اثر مواجهه غیر ضرور و غیرمجاز شاغلین جلوگیری به عمل آید.

استاندارد حاضر تحت عنوان: «صنعت نفت - کنترل صدا و ارتعاش - قسمت ۱: الزامات کنترل صدا و ارتعاش» برای استفاده در تأسیسات تولید نفت و گاز، پالایشگاه‌های نفت و گاز، پتروپالایشگاهها، کارخانه‌های شیمیایی و پتروشیمی، تأسیسات پردازش و پردازش گاز و سایر تأسیسات مرتبط با نفت و گاز در نظر گرفته شده است.

در این استاندارد برخی مطالب استاندارد داخلی IPS 900 مربوط به وزارت نفت نیز مورد استفاده قرار گرفته است که با الزامات اضافی یا اصلاحات بر اساس تجربیات علمی، عملی و ملاحظات اجرایی در صنعت نفت ایران و در دسترس بودن بازار داخلی و منطقه‌ای تدوین شده است. در این استاندارد رئوس کلی مطالب مورد نیاز و مفاهیم و الزامات مهم برای اقدامات پیشگیرانه و پایش مستمر کنترل صدا و ارتعاش آورده شده است. کاربران استاندارد می‌توانند با دانش فنی خود مطالب کلی را بر موضوعات تطبیق دهند. برخی ملاحظات کنترل صدا و ارتعاش تجهیزات متداول نیز به صورت انتخابی با توجه به پرتکرار بودن به صورت مجمل آورده شده است و کاربران می‌توانند در صورت لزوم به فهرست منابع مرتبط مراجعه و نیازهای خود را متناسب با این استاندارد برطرف نمایند. بنابراین انتظار می‌رود که این استاندارد به اندازه کافی انعطاف پذیر باشد تا کاربران بتوانند این موضوعات را با نیازهای خود مطابقت دهند.

این استاندارد راهنماهایی را در موارد زیر ارائه می‌دهد:

الف- اصول و استانداردهای ضروری صدا و ارتعاش منتشر شده از ماشین آلات و تجهیزات.

ب- اصول و مبانی مهم صدا و ارتعاش در محیط کار و روش‌های کنترل صدا در تأسیسات نفتی و مجتمع‌ها، محیط‌های غیر فرآیندی و اداری

پ- تدابیر پیشگیرانه فنی و مدیریتی و چگونگی پایش اقدامات کنترل صدا و ارتعاش.

در صورت وجود عدم انطباق مطالب این استاندارد با الزامات قانونی مصوب سازمان‌های ذی‌صلاح کشور مانند سازمان حفاظت محیط زیست و وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، معیارهای عملکرد براساس قانون فوق‌الذکر در نظر گرفته می‌شوند.

از کاربران استاندارد درخواست می‌شود تا نظرات و پیشنهادات خود را به نشانی زیر ارسال کنند. این نظرات و توصیه‌ها توسط کمیته تدوین مربوطه بررسی می‌شود و در صورت تصویب در بازنگری بعدی استاندارد لحاظ می‌شود.

## کنترل آلودگی صدا و ارتعاش در صنعت نفت

### قسمت ۱: الزامات کنترل صدا و ارتعاش

#### ۱- هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تشخیص و تعیین منابع انتشار، روش‌های پیشگیری، کنترل و پایش آلودگی صدا و ارتعاش در تاسیسات و تجهیزات و تعیین رویه‌های کنترل آن از جنبه بهداشت شغلی، ایمنی و محیط زیست و تشریح الزامات و استانداردهای مربوطه در طراحی، ساخت، راه‌اندازی، بهره‌برداری و برچیدن تاسیسات و تجهیزات در صنعت نفت می‌باشد.

این استاندارد به طور معادل می‌تواند برای طراحی و ساخت تاسیسات نفتی جدید و اصلاح تاسیسات نفتی موجود اعمال شود.

قسمت ۱ این استاندارد هم‌چنین به الزامات خاص نصب عایق صوتی می‌پردازد و برای مهندسين کنترل صدا در نظر گرفته شده است تا در طراحی صوتی آن را مد نظر داشته باشند.

قسمت ۲ این استاندارد کنترل ارتعاشات در تجهیزات خاص را مشخص می‌کند.

**یادآوری** - حدود مجاز آلودگی صوتی و ارتعاش توسط مراجع ذیصلاح تعیین می‌شود.

#### ۲- مراجع الزامی

در کل این استاندارد به استانداردها / کدهای تاریخ دار و بدون تاریخ زیر مراجعه می‌شود. این اسناد ارجاع شده باید به میزانی که در اینجا مشخص شده، بخشی از این استاندارد را تشکیل می‌دهند. برای منابع تاریخ، نسخه ذکر شده اعمال می‌شود. قابلیت اعمال تغییرات در منابع تاریخی که بعد از تاریخ ذکر شده اتفاق می‌افتد، توافق دو طرف شرکت و طرف قرارداد خواهد بود. برای مراجع بدون تاریخ، آخرین نسخه اسناد ارجاع شده (شامل هرگونه الحاقیه و اصلاحیه‌ها) اعمال می‌شود.

#### ۱-۲ API موسسه نفت آمریکا

- " API RP 521 راهنمای کاهش فشار و سیستم‌های کاهش فشار "

#### ۲-۲ BSI موسسه استاندارد انگلیس

- روش رتبه بندی و ارزیابی ، صدای صنعتی و تجاری -BS 4142
- تخمین تراز فشار صوت موثر در شبکه آ در هنگام استفاده از حفاظ‌های شنوایی -BS EN ISO4869-2
- راهنمای کنترل صدا توسط محفظه‌ها و کابین‌ها -BS EN ISO15667
- BS 5378 "Sign & Symbols"
- نمادهای گرافیکی - رنگ‌های ایمنی و علائم ایمنی - علائم ایمنی ثبت شده -BS EN ISO 7010
- BS EN ISO 11202 «آکوستیک - صدای ساطع شده توسط ماشین آلات و تجهیزات - تعیین میزان انتشار صدا در یک ایستگاه کار و سایر موقعیت‌های مشخص با اعمال تقریبی اصلاحات محیطی

## ۳-۲ انجمن مهندسين تجهيزات و مواد مهندسي (EEMUA)

- انتشارات EEMUA، شماره ۱۴۰ "مشخصات روش صدا"

یادآوری - پیش از این مشخصات OCMA NWG-1، تجدید نظر دوم در مارس ۱۹۸۰. انتشارات EEMUA

- شماره ۱۶۱ "راهنمای انتخاب و ارزیابی ساکت کننده ها"

## ۴-۲ (استانداردهای نفتی ایران) IPS

- استاندارد عمومی برای کنترل صدا و ارتعاش - IPS-G-SF-900(1)

## ۵-۲ (سازمان بین المللی استاندارد سازی) ISO

- روش مهندسی برای تعیین میزان مواجهه کارگران با صدای شغلی - ISO9612

- روش های اجرایی طراحی کنترلی صدا برای محیط های باز - ISO15664

- تعیین تراز توان صوتی منبع با استفاده از فشار صوت - ISO3747 and ISIRI6185

- تعیین تراز توان صوتی منبع با استفاده از شدت صوت - ISO9614-3

- عایق های آکوستیکی برای لوله ها، شیرآلات و فلنج ها - ISO15665

- راهنمای کنترل صدا توسط سایلنسرها - ISO14163

- راهنمای کنترل صدا توسط محفظه ها و کابین ها - ISO15667

- صدای منتشر شده توسط ماشین آلات و تجهیزات - ISO11201

- صدای منتشر شده توسط ماشین آلات و تجهیزات - حقوقی برای تهیه و ارائه کد تست صدا - ISO12001

- Horizontal Guidance for Noise Part 2 - Noise Assessment and Control

- توصیف، اندازه گیری و ارزیابی صدای محیطی - ISO1996-2

- فرکانس های ترجیحی آکوستیک برای اندازه گیری - ISO 266

- مقادیر مرجع ترجیحی برای ترازهای آکوستیکی و ارتعاشی - ISO1683

- کنترل صدا در محیط کار - Health and Safety Executive (HSE). GOV.UK

- تراز صدای استاندارد منابع صوتی فنی - فلر - VDI 3732

## ۶-۲ استاندارد ROYAL DUTCH / SHELL

"عایق صوتی برای لوله ها، شیرآلات و فلنج" - DEP 31.46.00.31-Gen

"داده / صفحه مورد نیاز برای محدودیت صدای تجهیزات" - DEP 31.10.00.94-Gen

"داده / صفحه مورد نیاز برای خاموش کننده های تهویه / منفجر کردن / جریان هوا / در خط" - DEP 31.10.00.95-Gen

"داده / صفحه مورد نیاز برای محفظه های صوتی تجهیزات چرخشی" - DEP 31.10.00.96-Gen

## ۷-۲ Health and Safety Executive (HSE). GOV.UK- کنترل صدا در محیط کار

۲-۸ در این استاندارد ، برخی از موضوعات از مشخصات و کتاب‌های راهنمای زیر اقتباس شده اند:

- TLVs و BEIs® – ACGIH.
- "مجموع مشخصات عمومی محیط (کاهش صدا در واحدهای تولیدی)" GS-EP-ENV-500A
- OSHA 3074

- مهندسی صدا و ارتعاش در صنعت و محیط زیست - رستم گل محمدی

- راهنمای اندازه‌گیری صدا در صنعت نفت MOP-HSED-GI-108

### ۳- تعاریف و اصطلاحات

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر کاربرد دارد:

۱-۳ صوت<sup>۱</sup>: صوت شکلی از امواج مکانیکی طولی هستند که عموماً در هوا منتشر شده (اگرچه قابل انتشار در تمام محیط‌های مادی نیز می‌باشند) و در برخورد با گوش انسان احساس شنیدن را ایجاد می‌کنند.

۲-۳ صدا<sup>۲</sup>: صدا شامل اصوات<sup>۳</sup> نامنظمی است که ناخوشایند، ناخواسته بوده و بین دامنه‌های فشار و فرکانس‌ها آنها در طول زمان رابطه معینی وجود ندارد و اغلب در طول زمان دامنه‌های تصادفی دارند و به همین دلیل آزار دهنده هستند.

۳-۳ آکوستیک<sup>۴</sup>: علم صوت‌شناسی و یکی از شاخه‌های علم فیزیک و موضوع آن بررسی موج‌های مکانیکی در گازها، مایعات و جامدات، از جمله صوت، فراصوت و فروصوت است. کاربردهای آکوستیک متنوع است و یکی از آنها بررسی تولید و انتشار امواج صوتی در محیط‌های صنعتی و شهری و همچنین مباحث کنترل صدا می‌باشد.

۴-۳ پهنا یا باند<sup>۵</sup>: یک باند یا پهنا محدوده‌ای از فرکانس‌هایی است که توسط بالاترین و پایین‌ترین فرکانس‌های موجود در آن محدوده تعیین می‌شود. فرکانس‌ها بر حسب هرترز اندازه‌گیری می‌شوند (سیکل بر ثانیه).

۵-۳ توان صوت<sup>۶</sup>: توان صوت برابر است با مقدار انرژی که در واحد زمان از یک منبع منتشر می‌شود و معمولاً بر حسب وات (w) اندازه‌گیری می‌شود.

۶-۳ شدت صوت<sup>۷</sup>: مقدار انرژی صوت در محیط انتشار است که از واحد سطح عبور می‌کند و واحد اندازه‌گیری آن وات بر متر مربع  $(w/m^2)$  است.

۷-۳ فشار صوت<sup>۸</sup>: عبارت از نیروی وارد بر سطح ناشی از انرژی صوت در محل دریافت کننده است و با واحد حسب پاسکال  $Pa(N/m^2)$  در سیستم MKS و میکرو بار  $\mu bar(din/cm^2)$  در سیستم CGS اندازه‌گیری می‌شود.

۸-۳ تراز صوت<sup>۹</sup>: نسبت مقادیر فیزیکی اندازه‌گیری صوت به مقادیر مبنا هستند. مقادیر مبنا بر اساس آستانه شنوایی انسان تعیین شده است. به همین منظور مقادیر لگاریتمی تراز برای توان، شدت و فشار صوت تعریف شده است که با واحد دسی‌بل معرفی می‌شود.

۹-۳ دسی‌بل<sup>۱۰</sup> (dB): یک دسی‌بل، یک دهم بل است. دسی‌بل یک واحد لگاریتمی است که برای بیان مقادیر اندازه‌گیری تولید و انتشار صوت به کار می‌رود.

<sup>1</sup> Sound

<sup>2</sup> Noise

<sup>3</sup> Sounds

<sup>4</sup> Acoustic

<sup>5</sup> Band

<sup>6</sup> Sound power

<sup>7</sup> Sound Intensity

<sup>8</sup> Sound Pressure

<sup>9</sup> Sound Level

<sup>10</sup> Decibel

۱۰-۳ تراز توان صوت (Lw):<sup>۱</sup> تراز توان صوت به لگاریتمی از نسبت توان صوت منبع بر حسب وات (w) بر توان صوت مرجع (w<sub>0</sub>) می باشد که مقدار توان مرجع برابر با  $10^{-12}$  وات است. واحد تراز توان صوت دسی بل می باشد. رابطه تراز توان صوت به صورت زیر است:

$$Lw = 10 \text{ Log } \frac{w}{w_0} = 10 \text{ Log } w + 120$$

۱۱-۳ تراز نشر صوتی منبع:<sup>۲</sup> این تراز برای بیان میزان انتشار انرژی صوتی توسط هر منبع واحد به کار می رود.

۱۲-۳ تراز شدت صوت (Li):<sup>۳</sup> این تراز برای بیان انرژی صوتی در میدان انتشار به کار می رود و در این استاندارد ملاک عمل نیست.

۱۳-۳ تراز فشار صوت (Lp):<sup>۴</sup> تراز فشار صوت به لگاریتمی از نسبت فشار صوت منبع در محل دریافت کننده بر حسب پاسکال (Pa = N/m<sup>2</sup>) بر فشار صوت مرجع (P<sub>0</sub>) می باشد که مقدار فشار مرجع برابر  $2 \times 10^{-5} \frac{N}{m^2}$  واحد تراز فشار صوت دسی بل می باشد. رابطه تراز فشار صوت به صورت زیر است:

$$Lp = 20 \text{ Log } \frac{P}{P_0} = 20 \text{ Log } P + 94$$

۱۴-۳ صوت پیوسته:<sup>۵</sup> انتشار اصوات در محیط اغلب در طول زمان به صورت دامنه های متغیر ولی پیوسته هستند.

۱۵-۳ صوت یکنواخت:<sup>۶</sup> به صوتی که نوسانات و تغییرات فشار صوت آن در یک دستگاه تراز سنج صوت بیشتر از ۵ دسی بل نباشد، گفته می شود.

۱۶-۳ تراز سنج صوت:<sup>۷</sup> دستگاهی است که برای سنجش صوت هوایی به کار می رود و معمولا برای اندازه گیری متناظر صدای دریافتی در محل شنونده استفاده می شود.

۱۷-۳ صوت متغیر با زمان:<sup>۸</sup> به صوتی که نوسانات و تغییرات فشار صوت آن در یک دستگاه تراز سنج صوت بین ۵ تا دسی بل نباشد، گفته می شود.

۱۸-۳ اصوات منقطع یا نوبتی:<sup>۹</sup> در صورتی که تراز صدا چندین مرتبه به طور ناگهانی تا حد تراز صدای زمینه کاهش یابد یا تغییرات تراز فشار صوت بیشتر از ۱۵ دسی بل در طول زمان باشد، در گروه اصوات منقطع یا نوبتی قرار می گیرد.

۱۹-۳ اصوات ضربه ای و کوبه ای:<sup>۱۰</sup> هنگامی که صوت دارای بی نظمی های برجسته ای باشد همانند ضربات شدید، سقوط اشیاء از ارتفاع زیاد، صدای شلیک گلوله، انفجار گلوله های خمپاره و غیره و یا اگر صدا تنها برای لحظات بسیار کوتاهی ایجاد شود، در این صورت در گروه اصوات ضربه ای یا کوبه ای قرار می گیرد. اصوات ضربه ای بدون پس موج و اغلب در فضای باز ایجاد و منتشر می گردند ولی اصوات کوبه ای دارای چندین پس موج هستند.

<sup>1</sup> Sound power level

<sup>2</sup> Emission Level

<sup>3</sup> Sound Intensity Level

<sup>4</sup> Sound pressure level

<sup>5</sup> Continuous Sound

<sup>6</sup> Steady noise

<sup>7</sup> Sound Level Meter

<sup>8</sup> Fluctuation sound

<sup>9</sup> Intermittent sound

<sup>10</sup> Impulsive/Impact sound



۳-۲۰ دستگاه<sup>۱</sup>: هرگونه منبع صدایی (مانند تجهیزات صنعتی) که خصوصیات آکوستیکی و صوتی آن اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۲۱ اصوات با باند پهن<sup>۲</sup>: در این گروه، حداکثر انرژی صوتی در یک پهنه وسیع از بیناب فرکانس منتشر می‌شود. مانند صدای یک کمپرسور یا فن

۳-۲۲ اصوات با باند باریک<sup>۳</sup>: در این گروه حداکثر انرژی صوتی یا فشار صوتی در یک پهنه محدودی از فرکانس منتشر می‌شود. مثل زنگ اخبار، بوق و نازل خروج سیال.

۳-۲۳ اکتاوباند<sup>۴</sup>: بیناب صوتی شامل پهنه ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز است، برای سهولت در ارزیابی و تجزیه فرکانسی صوت، این بیناب را به باندهایی تقسیم نموده‌اند و فرکانس مرکزی هر باند را به عنوان شاخص آن باند مور بررسی قرار می‌دهند. معمولاً در مطالعات صدا از تقسیم بندی یک اکتاوباند و یک سوم اکتاوباند استفاده می‌شود. یک باند فرکانسی زمانی یک اکتاوا نامیده می‌شود که فرکانس حد بالای آن ( $F_2$ ) دو برابر فرکانس حد پایین آن ( $F_1$ ) باشد.

۳-۲۴ فرکانس غالب<sup>۵</sup>: فرکانسی که در آن بیشترین تراز فشار صوت را در طیف اکتاوباند دارد.

۳-۲۵ سطح مرجع<sup>۶</sup>: برای اندازه‌گیری غیر مستقیم توان صوت منبع طبق استانداردهای مربوطه (رجوع کنید به ISO 3746 و استاندارد متناظر (ISO 9614 - ISIRI 6185) یک شکل سه بعدی مانند مکعب مستطیل فرضی در اطراف منبع صوتی مشخص می‌شود که آن را در بر گرفته و تا سطح زمین ادامه دارد. طبق استاندارد مربوطه تراز فشار یا تراز شدت صوت منبع در نقاط معینی از روی این سطح اندازه‌گیری و طبق محاسبات مخصوصی تراز توان صوتی منبع تعیین می‌گردد.

۳-۲۶ کنترل صدا<sup>۷</sup>: هرگاه مقادیر توان صوت منبع یا تراز فشار صوت در محل دریافت کننده از حدود مجاز فراتر رود، باید اقدامات کنترل صدا انجام گردد. منظور از کنترل صدا، کنترل فنی می‌باشد.

۳-۲۷ کنترل صدا در منبع: بهترین راه حل برای کنترل صدا، اعمال مداخلاتی است که منجر به کاهش انرژی صوتی تولید شده توسط منبع گردد. اصلاح و بهبود فناوری، نصب کاهش دهنده‌های صدا و اتاقک سازی از جمله این روشها است.

۳-۲۸ کنترل صدا در مسیر انتشار صوت<sup>۸</sup>: یک مرحله در سلسله مراتب کنترل صدا تعیین روشهایی برای کنترل مسیر انتشار صوت است. کنترل‌های مسیر انتشار صوت معمولاً شامل اضافه کردن مواد جاذب صوت روی سطوح بازتابشی، استفاده از مانع‌ها و عایق‌ها می‌باشد.

۳-۲۹ افت انتقال صدا (TL)<sup>۹</sup>: به میزان عایق‌بندی صوتی یک مانع گفته می‌شود که بواسطه آن انرژی صوت در حین عبور از آن کاهش می‌یابد. افت انتقال نظری صدا با رابطه زیر قابل پیش‌بینی می‌باشد:

$$TL = 20 \log fw - 47.5$$

$$f = \text{فرکانس موج صوتی (Hz)}$$

<sup>1</sup> Machine

<sup>2</sup> Wide band sound

<sup>3</sup> Narrow band noise

<sup>4</sup> Octave bands

<sup>5</sup> Dominant frequency

<sup>6</sup> Reference surface

<sup>7</sup> Noise control

<sup>8</sup> Path treatment

<sup>9</sup> Sound transmission loss

$$w = \text{چگالی سطحی مانع (عایق)} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

افت عملیاتی هر عایق صوتی وابسته به میزان نشت صدا ناشی از درزها و شکافهای عایق صوتی می‌باشد. به طور مثال اگر نسبت درز یا شکاف یک دیواره عایق ۱٪ باشد، در هر صورت افت انتقال آن بیشتر از ۲۰ دسیبل نخواهد بود.

۳-۳۰ افت نسبی انتقال صوت ( $IL^1$ ): برای مواردی که میزان درزها قابل توجه باشد بجای واژه TL از IL استفاده می‌شود. هم‌چنین برای برخی تجهیزات کاهش صدا نیز از این شاخص استفاده می‌گردد.

۳-۳۱ دیتا آکوزیشن<sup>۲</sup>: به پروسه دیجیتالی کردن داده‌های صوتی که از دنیا اطراف بدست می‌آیند اطلاق می‌شود. این کار بگونه‌ای انجام می‌شود که بتوان داده‌ها را نمایش داد، تحلیل کرد و ذخیره نمود.

۳-۳۲ ارتعاش<sup>۳</sup>: حرکت نوسانی یا دوره‌ای یک جسم سخت یا کشسان حول نقطه تعادل خود را ارتعاش گویند. واحدهای اندازه‌گیری دامنه ارتعاش شامل جابجایی  $X/d$ ، سرعت  $V$  و شتاب  $A$  است. برای بیان مقادیر دامنه ارتعاش از واحدهای لگاریتمی (تراز جابه‌جایی، تراز سرعت و تراز شتاب همانند صوت) که بیان‌کننده تراز مقایر فوق است نیز استفاده می‌شود. معمولاً برای ارزیابی اثرات ارتعاش از دامنه شتاب و برای کنترل آن از دامنه جابه‌جایی استفاده می‌شود. دامنه جابه‌جایی بر حسب متر  $m$  و دامنه شتاب بر حسب  $\frac{m}{s^2}$  بیان و اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۳۳ ارتعاش ضربه‌ای: امواج ضربه‌ای ناشی از ابزارها و دستگاه‌های مختلفی است که موج‌های ارتعاشی مجزا و ضربه‌ای با فرکانس بالا و زمان تناوب کوتاه دارند. این امواج به دلیل ضربه‌های مکانیکی و فیزیکی صدمه رسانی قابل ملاحظه‌ای دارند.

۳-۳۴ ارتعاش آزاد: در صورتی که نیروی ارتعاش محیط درونی باشد، ارتعاش را آزاد گویند.

۳-۳۵ ارتعاش واداشته: ارتعاش واداشته در محیط‌های مکانیکی یا بیولوژیک در اثر اعمال یک سیستم ارتعاشی مهاجم ایجاد می‌گردد و میتواند سبب اختلال یا حتی تخریب در عملکرد محیط پذیرنده ارتعاش شود.

۳-۳۶ کنترل ارتعاش: عبارت است کلیه اقداماتی فنی در منبع تولید ارتعاش یا محیط انتشاری است که سبب کاهش دامنه ارتعاش گردد.

---

<sup>1</sup> Insertion loss

<sup>2</sup> Data Acquisition

<sup>3</sup> Vibration

## بخش اول کنترل صدای شغلی

### ۴- تعیین میزان مواجهه با صدای شغلی

برای اندازه‌گیری و ارزیابی صدا شناخت کامل نسبت به روشهای اندازه‌گیری، خصوصیات محیط و چگونگی مواجهه افراد اهمیت دارد. طبق تعریف انجمن بین‌المللی بهداشت حرفه‌ای (IOHA)<sup>۱</sup>، ۵ مرحله پیش‌بینی، شناسایی، اندازه‌گیری و کنترل در ارتباط با عوامل مخاطره‌زای شغلی مطرح بوده که در موضوع مهندسی صدا نیز متبلور می‌گردد.

#### ۴-۱ مرحله پیش‌بینی صدا

پیش‌بینی انتشار صدا و برآورد مواجهه شاغلی بر اساس شناخت از ماهیت فرایند، تجهیزات و نوع مواجهه در مرحله طراحی یا توسعه فرآیند صنعتی انجام می‌گردد. در این مرحله کارشناس با استفاده از مستندات موجود و تجربیات اجرای طرح‌های مشابه و بر اساس مدل‌های علمی نسبت به پیش‌بینی میزان انتشار صدا و ارتعاش و مواجهه افراد اقدام می‌نماید. هدف از این کار پیشگیری از مواجهه غیر ضرور و کنترل صدا و ارتعاش در مرحله طراحی و توسعه است.

#### ۴-۲ مرحله شناسایی صدا

در این مرحله که اغلب بدون استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری صدا انجام می‌گردد کارشناس با استفاده از ابزارهای مشاهده، مصاحبه، بررسی مستندات موجود و استفاده از چک لیست برآوردی از ریسک مخاطره را بدست می‌آورد. برای یکسان سازی روش کار علاوه بر لزوم گردآوری اطلاعات مورد نیاز از محیط کار و بررسی مستندات موجود و مشاهده محیط مورد نظر یک چک لیست مقدماتی به صورت یک فرم غربالگری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این روش بدون استفاده از دستگاه و از طریق مشاهده میدانی، مطالعه مستندات موجود و تکمیل چک لیست یک معیار عینی برای برآورد احتمال مواجهه با صدا بدست می‌آید.

#### ۴-۲-۱ روش‌های شناسایی منابع صوتی و محدوده‌های خطر

در شناسایی منابع صوتی و محدوده‌های خطر جمع‌آوری اطلاعات محیطی مربوط به تجهیزات و نحوه مواجهه افراد با صدا از جمله الزامات ضروری می‌باشد. برای این منظور نقشه ساده‌ی محیط کار در مقیاس مناسب و محل نصب دستگاه‌های مولد صدا باید تهیه و ترسیم و اطلاعات مربوط به محل‌های تردد و توقف افراد، ساعات مواجهه‌ی هر گروه و اوقات تغییر شیفت به تفکیک ثبت گردد. همچنین اطلاعات دقیق و وسیع از مشخصات فنی دستگاه‌ها و محل استقرار آن‌ها، مشخصات فنی سازه‌های بنای محیط مورد بررسی و مشخصات آکوستیکی سطوح داخلی به فهرست اطلاعات اضافه گردد.

#### ۴-۲-۲ روش غربالگری صدا و چک لیست‌ها

<sup>۱</sup> International Occupational Hygiene Association

انجام اندازه‌گیری با روشهای دستگامی برای تمام کارگاه‌ها مستلزم دستگام‌های مناسب، صرف وقت زیاد، هزینه بالا و نیروی انسانی می‌باشد. استفاده از فرم غربالگری صدا می‌تواند به عنوان یک روش ساده در دسترس برای شناسایی کارگاه‌های با احتمال آلودگی صدای بالا در نظر گرفته شود. این فرم مستقل از تعداد کارگران در هر کارگاه می‌باشد. در این روش با توجه به نمره آلودگی صدا حاصل از بازرسی اولیه توسط فرم غربالگری، برنامه ریزی لازم برای بررسی بیشتر (اندازه‌گیری دستگامی و ارزیابی مواجهه کارگران) انجام می‌شود. در این فرم نمره حد آلودگی صدا با توجه به معیار حد مجاز مواجهه شغلی کشور (85 dBA) برای 8 ساعت کار (روزانه) برابر 72/5 تعیین شده است بنابراین کلیه کارگاه‌هایی که نمره این محدوده یا بالاتر را کسب نمایند در اولویت مراحل بعدی بررسی خواهند بود. حداقل نمره قابل کسب کارگاه‌ها مطابق فرم پیوست الف، برابر 32 و حداکثر آن 96 می‌باشد (نمره کلی هر کارگاه از مجموع نمرات ردیف‌ها با توجه به ضریب مربوطه محاسبه می‌گردد).

#### ۴-۲-۳ تعیین نحوه انتشار صدا در محیط شغلی (میدان آزاد، میدان پر بازتاب یا واخنشی، میدان پخشگر)

پیش بینی چگونگی انتشار صوت در میدان‌های صوتی برای ارزیابی صدا اهمیت زیادی دارند. نحوه انتشار صوت به عوامل متعددی مانند مشخصات صوتی منابع، فاصله از منبع و نیز تعداد و وضعیت سطوح بازتابشی بستگی دارد. در شرایطی که در مسیرهای انتشار صوت مانع یا سطوح بازتابشی وجود نداشته باشد یا سطوح موجود در میدان انتشار دارای ضریب جذب صوت بالایی باشند به آن محیط، میدان آزاد<sup>۱</sup> (بدون بازتابش) اطلاق می‌گردد. در صورتیکه بازتابش صوتی در میدان انتشاری بسته (مستقل از فاصله) زیاد بوده و ضریب جذب صوت بسیار پایین باشد به آن محیط، میدان پر بازتاب یا واخنشی<sup>۲</sup> گویند. همچنین در محیط‌های ی که سطوح آنها از ویژگی‌های بازتابش نامنظم برخوردارند، بازتابش امواج در جهات مختلف و متعددی رخ داده که به آن میدان پخش<sup>۳</sup> گفته می‌شود در این نوع میدان صوتی بازتاب‌ها و شکست صدا بسیار زیاد می‌باشد.

شکل و ابعاد منبع و نزدیک و دور بودن شنونده می‌تواند نقش بسزایی در میدان انتشاری صوت داشته باشد. بدین ترتیب دو میدان صوتی نزدیک<sup>۴</sup> و دور<sup>۵</sup> تعریف می‌گردد. میدان صوتی نزدیک برای یک منبع صوت، فاصله ای به اندازه یک طول موج از منبع در هر فرکانس آن می‌باشد. در این میدان (در نزدیکی منبع) رابطه تغییر فشار صوت با فاصله غیر خطی می‌باشد. میدان صوتی دور از فاصله ای به اندازه دو طول موج از منبع صوتی شروع و تا بی نهایت ادامه می‌یابد. حد فاصله یک تا دو طول موج در هر فرکانس یا در فرکانس غالب از آن منبع صوتی را ناحیه بینابینی یا تغییر حالت<sup>۶</sup> می‌گویند. تغییرات تراز فشار صوت به نسبت لگاریتم فاصله از منبع صوت در یک محیط واقعی نشان داده شده است. بر طبق شکل ۱ در میدان آزاد با دو برابر شدن فاصله از منبع صوت، تراز فشار 6dB کاهش می‌یابد (نقش فاصله در میدان واخنشی بسیار ناچیز می‌باشد).

<sup>1</sup> Free Field

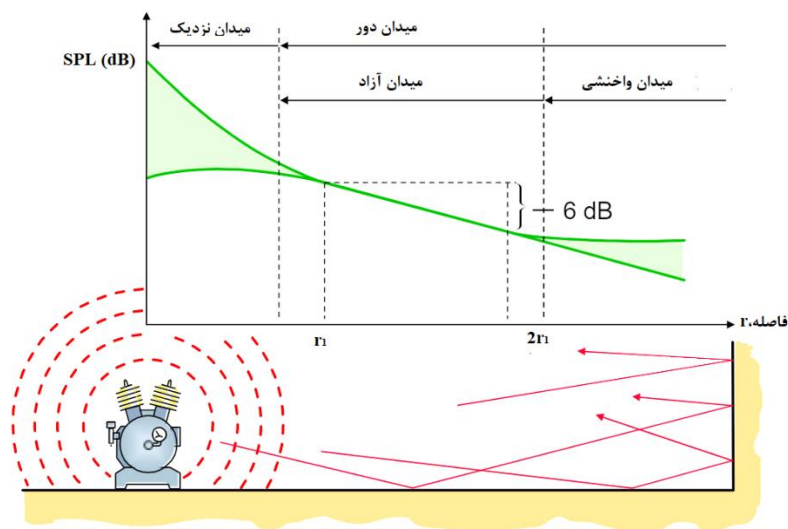
<sup>2</sup> Reverberant

<sup>3</sup> Diffuse field

<sup>4</sup> Near field

<sup>5</sup> Far field

<sup>6</sup> Transition Zone



شکل ۱- تغییرات تراز فشار صوت به نسبت لگاریتم فاصله از منبع

#### ۴-۲-۴ تعیین گروه منابع صوتی (نقطه ای، خطی و سطحی)

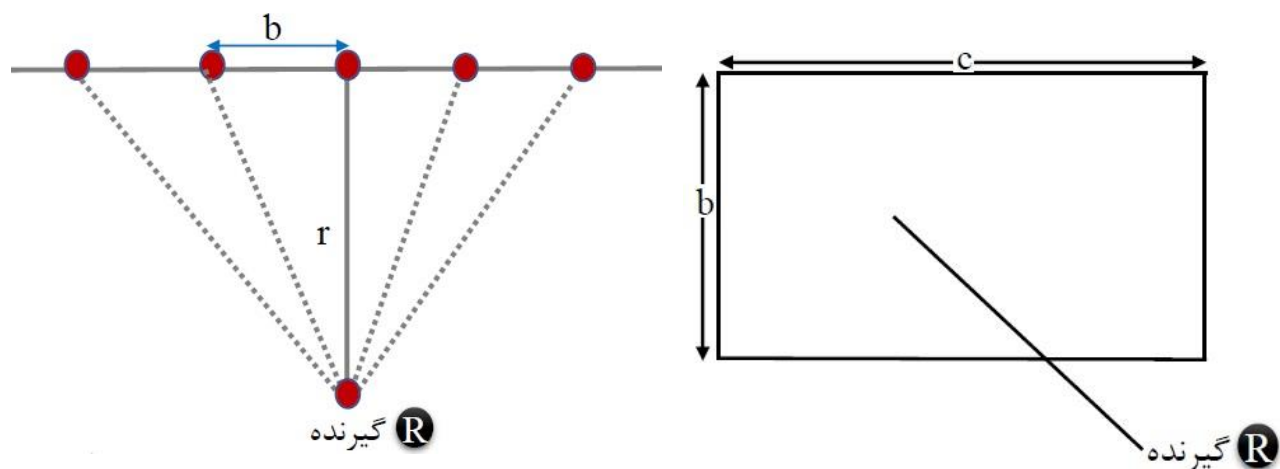
منابع صوتی معمولاً در سه گروه نقطه ای، خطی و سطحی تقسیم بندی می‌شوند. منابعی که دارای ابعاد نزدیک به هم بوده و هر بعد آنها از ارتفاع شنوایی دریافت کننده صدا کوچکتر باشد و یا به حدی دور باشند که بعد ظاهری آن‌ها از ارتفاع شنونده کوچکتر بنظر آید، نقطه ای<sup>۱</sup> محسوب می‌گردند. در منابع نقطه ای انتشار امواج صوتی در فضای کروی و به صورت هم فاز در نظر گرفته می‌شود بطوریکه در اطراف این منبع با دو برابر شدن فاصله، تراز فشار صوت ۶dB کاهش می‌یابد.

به منابعی خطی<sup>۲</sup> اطلاق می‌شود که یکی از ابعاد آن دست کم سه برابر ابعاد دیگر منبع صوتی باشد. منابع خطی بر حسب شکل قرار گیری و پیوستگی طولی در دو گروه منابع خطی پیوسته (مجاری تهویه) و ناپیوسته (منابع نقطه ای که به صورت طولی در یک ردیف نصب شده باشند) طبقه بندی می‌شوند. در منابع خطی پیوسته، با دو برابر شدن فاصله از منبع تراز فشار صوت ۳dB کاهش می‌یابد. در منابع خطی ناپیوسته (در حالتی که چند منبع به فاصله  $b$  از یکدیگر قرار گرفته باشند) تا فاصله  $\frac{b}{\pi}$  از هر منبع صوت کاهش تراز فشار صوت شبیه منابع نقطه ای می‌باشد. در فواصل بیش از  $\frac{b}{\pi}$  به ازای دو برابر شدن فاصله، تراز فشار صوت شبیه منابع خطی پیوسته می‌باشد. در صورتی که منابع خطی در چند ردیف قرار گیرند و یا ابعاد منبع صوتی از ارتفاع شنوایی فرد بیشتر باشد منبع انتشار، سطحی<sup>۳</sup> منظور می‌گردد (شکل ۲).

<sup>۱</sup> Point source

<sup>۲</sup> Line source

<sup>۳</sup> Plane source



شکل ۲- منبع صوتی خطی ناپیوسته (سمت چپ) و سطحی (سمت راست)

#### ۳-۴ مراحل اندازه‌گیری صدا

برنامه کنترل صدا اغلب نیازمند اندازه‌گیری کمیت‌های صوتی مختلف برای تعیین اثربخشی روش کنترل صدا می‌باشد. اندازه‌گیری صدا برای تعیین تطابق با استانداردها و اهداف تشخیصی یا جایابی منابع صدا در بخش‌های مختلف دستگاه‌ها و ماشین‌آلات انجام می‌گیرد. همچنین مسیره‌های انتقال صدا در یک فرایند ممکن است از طریق اندازه‌گیری صدا شناسایی گردد. در این میان انتخاب تجهیزات اندازه‌گیری مناسب برای پایش و تعیین خصوصیات صدا ضروری است. در مواردی که لازم است آنالیز صدا با جزئیات بیشتری انجام شود، از ترازسنج‌های پیشرفته صدا و برای تایید تطابق با استانداردهای مواجهه فردی از دزیمر صدا برای اندازه‌گیری و ثبت مواجهه جمعی روزانه استفاده می‌گردد.

#### ۱-۳-۴ تجهیزات اندازه‌گیری صدا

##### ۱-۱-۳-۴ ترازسنج‌های صوت

اندازه‌گیری تراز فشار صوت با استفاده از دستگاه ترازسنج صوت یکپارچه انجام می‌شود. این ترازسنج‌ها شامل میکروفون و کابل‌های مربوطه بوده و می‌بایست الزامات مطابق با IEC 61672-1: 2002 را در قالب ترازسنج‌های کلاس ۱ یا کلاس ۲ داشته باشند. ترازسنج‌های کلاس ۱ ترجیحاً برای اندازه‌گیری در دماهای بسیار پایین یا زمانی که صدا با فرکانس بالا غالب بوده می‌بایستی مورد استفاده قرار گیرند.

##### ۲-۱-۳-۴ دوزیمتر و دوزبج صدا

دوزیمتر فردی شامل میکروفون و کابل‌های مربوطه بوده و می‌بایست الزامات را مطابق با IEC 61252 داشته باشند. این ترازسنج‌ها (IEC 61672-1: 2002 کلاس ۱) در شرایط اندازه‌گیری در دماهای خیلی پایین یا در صداها با فرکانس غالب بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند (به یادآوری ۱ و ۲ رجوع کنید).

**یادآوری ۱-** برای IEC 61672-1: 2002، ترازسنج کلاس ۱، حدود تغییرات مشخص شده برای گستره دمایی از ۱۰- درجه سلسیوس تا ۵۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود. برای ترازسنج‌های مطابق با IEC 61672-1: 2002، کلاس ۲ و دوزیمترهای فردی مطابق با IEC 61252، اثر تغییرات دمای هوا بر روی تراز اندازه‌گیری شده به محدوده صفر تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد اختصاص یافته است.

به منظور حفظ دقت در اندازه‌گیری‌های خارج از محدوده‌های دمایی مذکور، لازم است از دستگاه‌های ی با محدوده دمایی وسیع‌تری استفاده گردد (تراز سنج صدا مطابق با IEC 61672-1: 2002، کلاس ۱).

**یادآوری ۲-** دوزیمتر صدا مطابق با IEC 61252 دامنه تغییرات زیادی را برای فرکانس‌های بالای ۴۰۰۰ هرتز امکان پذیر نموده که می‌تواند سنجش‌های نادرستی را در صداها با فرکانس بالا بدنبال داشته باشد. به منظور افزایش دقت در این اندازه‌گیری‌ها می‌توان از تراز سنج صوت مطابق با IEC 61672-1: 2002، (کلاس ۱) استفاده کرد.

دوزیمترهای فردی مواجهه با صدا در قالب دستگاه‌های سبک و کم حجم و بر مبنای پایه محاسبات دوز، صدای دریافتی در محدوده شنوایی کارگر را دریافت و پردازش می‌نماید. در پایان شیفیت کاری امکان قرائت مستقیم دوز یا انتقال داده‌ها به نرم افزار کامپیوتر وجود دارد. این وسیله فردی در صورت اطمینان از کالیبراسیون و صحیح بودن پایه محاسبات دوز به عنوان یک ابزار مطمئن در ارزیابی فردی مواجهه با صدا می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۳-۱-۳-۴ مانیتورهای محیطی صدا<sup>۱</sup>

صدای محیطی عبارت از صدای ناخواسته یا مضر تولید شده توسط فعالیت‌های انسانی در فضای باز است که از جمله آن می‌توان به صدای منتشر شده از وسایل حمل و نقل، ترافیک جاده‌ای، ترافیک راه آهن، ترافیک هوایی و فعالیت‌های صنعتی اشاره کرد. به منظور اندازه‌گیری و ارزیابی صدای محیطی از سیستم‌های پایش صدا استفاده می‌شود. پایش صدا، اندازه‌گیری طولانی مدت صدا بدون دخالت انسان است. پایش صدای محیطی یکی از رایج‌ترین انواع پایش‌های محیطی است و اغلب با استفاده از سیستم مانیتورینگ انجام می‌شود. در صورتی که ریسک تجاوز ترازهای صدا از حدود تعیین شده وجود داشته باشد از سیستم‌های مانیتورینگ استفاده می‌شود.

بر اساس استاندارد ISO 1996-2، سیستم مانیتورینگ صدا مجموعه‌ای متشکل از پایشگر صدا، مرکز جمع‌آوری داده‌ها و سایر سخت افزارها و نرم افزارهای مورد استفاده در پایش صدای محیطی است. هدف پایش صدا ارائه داده‌های لازم در مورد ترازهای صدا در یک مکان است که می‌توان آن را با حدود مجاز تعیین شده صدا مقایسه کرد. تجهیزات پایش صدای محیطی باید الزامات مرتبط با کاربرد اندازه‌گیری، از جمله ثبات طولانی مدت، استحکام محیطی، برق رسانی و ارتباطات را برآورده کنند. بر طبق این استاندارد مانیتورهای پایش صدای محیط با پایشگرهای صدا باید در ارتفاع ۴ متری به گونه‌ای نصب شود که قابل روئیت باشد و میکروفون نیز در محلی نصب باشد که تأثیر صدای زمینه منابع صوتی غیر مرتبط به حداقل برسد.

استفاده از سیستم مانیتورینگ برای نشان دادن لحظه‌ای تراز صدای داخل بناهای عمومی و صنعتی نیز روشی قابل قبول برای اعلام و هشدار به افراد حاضر است که رفتارها و فعالیت‌های خود را برای کاهش آلودگی صدا تنظیم نمایند.

<sup>۱</sup> Environment noise monitoring

#### ۴-۳-۱-۴ دوربین‌های آکوستیکی<sup>۱</sup>

یکی از تجهیزات کاربردی در شناسایی منابع صوتی موجود در صنعت و محیط زیست، دوربین آکوستیکی می‌باشد. در این دوربین‌ها که اساس آن شکل دهی پرتو براساس آرایه میکروفونی می‌باشد، برای تشخیص دقیق محل منبع صوتی تصویر صوتی و بصری ادغام و تجسم صدا صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه در این دوربین‌ها از تعداد ۶۴ تا ۱۰۲۴ میکروفون به صورت متصل بهم استفاده شده، پردازش بسیار دقیقی روی اصوات دریافتی همه ی میکروفون‌ها انجام می‌گردد. از سایر کاربردهای این دوربین شامل تشخیص عیوب سیستم‌های مکانیکی و سونار، یافتن اصوات مزاحم در ساختمان‌ها، یافتن نشتی صدا در دیوارها و نظارت بر آلودگی صوتی در داخل شهرها می‌باشد.

#### ۴-۳-۱-۵ کالیبراسیون تجهیزات

برای اطمینان از صحت نتایج اندازه‌گیری لازم است قبل از هر بار استفاده، دستگاه با یک مولد صوتی استاندارد کالیبره گردد (کالیبراسیون میدانی) که این کالیبراتور باید الزامات تعیین شده در IEC 60942: 2003، کلاس ۱ را دارا باشد. اگر میزان قرائت شده در انتهای هر دوره اندازه‌گیری با میزان قرائت شده در ابتدای دوره بیش از ۰/۵ دسی بل اختلاف داشته باشد، نتایج این دوره اندازه‌گیری می‌بایست کنار گذاشته شود.

#### ۴-۳-۲ روشهای اندازه‌گیری صدای شغلی

برای اندازه‌گیری صدا، شناخت کامل نسبت به روش‌های اندازه‌گیری، خصوصیات محیط کار و چگونگی مواجهه کارگر اهمیت دارد. مهمترین نکاتی که باید قبل از اقدام به اندازه‌گیری در نظر گرفته شود شامل تعیین هدف اندازه‌گیری، گردآوری اطلاعات دقیق از کارگاه (نظیر نام کارگاه، تعداد کارگران، ابعاد، کروکی، شرایط جوی محیط کار، جنس سقف، کف، دیوار، نوع سطوح انعکاسی، تعداد ماشین آلات و محل استقرار آنها و ویژگی منابع صدا)، گردآوری اطلاعات نحوه مواجهه کارگر، اطلاعات اندازه‌گیری شامل تعیین روش مناسب اندازه‌گیری و کالیبراسیون، انتخاب وسیله مناسب اندازه‌گیری و کالیبراسیون (نوع و مدل دستگاه صداسنج و کالیبراتور)، شناخت استانداردها و حدود مجاز مواجهه کارگر می‌باشد.

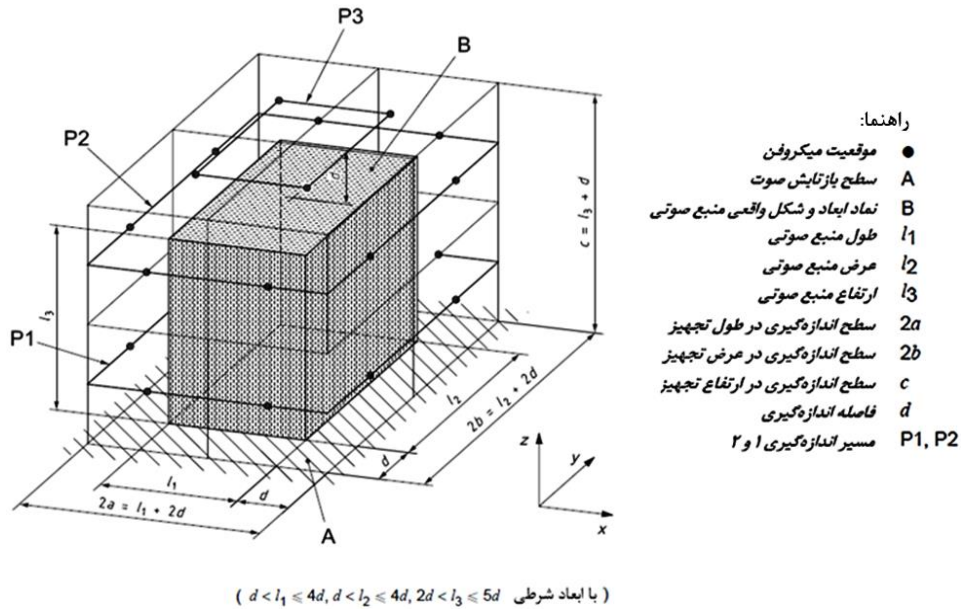
#### ۴-۳-۲-۱ روش اندازه‌گیری تراز توان صوتی منابع

برچسب صوتی برای تمامی تجهیزات صنعتی توسط سازندگان آنها می‌بایست ارائه و مندرجات آن توسط آزمایشگاه مرجع قانونی مورد تایید واقع شود. در مواردی که تجهیزات فاقد برچسب صوتی باشند، آزمون صوتی باید برای آنها در میدان آزاد و یا در اتاق آکوستیک انجام گیرد. برای تجهیزاتی که در داخل فضاهای صنعتی نصب می‌گردند، تراز نشر صوتی، تراز توان و نهایتاً توان صوتی هر منبع با استفاده از روش‌های استاندارد در محیط واقعی برآورد و تعیین می‌شود. توان صوت تجهیزات به عنوان مهمترین پارامتر نشان دهنده ویژگی صوتی منابع صدا، بر اساس روش محاسباتی فشار صوت مطابق با استاندارد بین المللی ISO3746 و استاندارد متناظر ISIRI 6185 در محل نصب منابع برآورد می‌گردد. بدین ترتیب که ابتدا تراز فشار صوت در شبکه وزنی A در

<sup>1</sup> Acoustic camera



نقاط فضایی اطراف محل استقرار دستگاه اندازه‌گیری می‌شود و پس از لحاظ نمودن اثر صدای زمینه و اثر آکوستیکی محیط استقرار، در نهایت تراز توان منبع مورد نظر تعیین می‌گردد. الگوی اصلی موقعیت میکروفن دستگاه تراز سنج در نواحی فضایی اطراف منبع و سطوح اندازه‌گیری در شکل ۳ نمایش داده شده است. تعداد و فواصل این نقاط طبق استاندارد مذکور متناسب با ابعاد دستگاه مورد نظر است و در فاصله حدود یک متری سطوح دستگاه تعیین می‌شوند.



شکل ۳- نقاط اندازه‌گیری تراز فشار صوت در اطراف منبع مورد نظر

پس از لحاظ نمودن اثر صدای زمینه و اثر آکوستیکی محیط استقرار، در نهایت تراز توان صوت با استفاده از مراحل محاسباتی و روابط ۱، ۲ و ۳ در شبکه خطی و فرکانس غالب محاسبه می‌گردد.

الف - محاسبه میانگین لگاریتمی ترازهای فشار صوت فضای اطراف منبع :

$$\overline{LP}_{av} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{LP_i/10} \right] \quad (1)$$

$\overline{LP}_a$ : میانگین لگاریتمی ترازهای فشار صوت در شبکه وزنی A

N: تعداد موقعیت‌های میکروفن

ب- محاسبه فاکتور تصحیح محیط  $K_r$ :

$$K_r = 10 \log_{10} \left[ 1 + \frac{4(1-\bar{\alpha})S_m}{\bar{\alpha} S_0} \right] \quad (2)$$

$S_m$ : مساحت سطح اندازه‌گیری

$S_0$ : مساحت کل سطوح داخلی بنا

ج- محاسبه تراز توان منبع صوتی مورد نظر :

$$LW = LP_{av} + 10 \log_{10} \left( \frac{S_m}{S_{ref}} \right) - K_r - 0.1 \quad (3)$$

#### ۴-۳-۲ روش اندازه‌گیری تراز شدت صوت منابع

تراز توان منبع صوتی در یک محیط واقعی مبتنی بر استاندارد ISO 9614 از طریق تعیین تراز نشر صوتی و استفاده از روش شدت صوت نیز اندازه‌گیری می‌شود. در وسیله اندازه‌گیری، پروب شدت شامل دو میکروفون بوده که با فاصله اندک مقابل یکدیگر قرار گرفته‌اند. برتری پروب شدت در مقایسه با پروب فشار در به حداقل رساندن اثر صدای زمین و جهت در اندازه‌گیری انرژی آکوستیکی منبع می‌باشد. پروب شدت بطور مداوم در طول مسیرهای مشخص بر روی هر قسمت از سطح اندازه‌گیری انتخابی مطابق شکل ۴ حرکت داده می‌شود و نتایج در پردازشگر به صورت دستی یا خودکار ثبت می‌گردد. عملیات پیمایش روی سطح محدود کننده منبع صوتی مورد نظر باید طوری انجام گردد که مسیر مشخص شده به دقت پیگیری و محور پروب همواره عمود بر سطح اندازه‌گیری بماند و در صورت اندازه‌گیری پیوسته سرعت حرکت پروب یکنواخت باشد. شرط لازم برای اعتبار نتایج پیمایش نقاط متوالی در یک خط راست است. فاصله متوسط بین خطوط مجاور می‌بایست مساوی بوده و در سطح اندازه‌گیری اولیه فاصله متوسط از سطح منبع حفظ گردد. از نتایج ترازهای شدت اندازه‌گیری شده در کل سطوح اطراف منبع (به صورت فضایی) میانگین لگاریتمی ( $\bar{LI}$ ) گرفته می‌شود. و در نهایت توان صوت منبع با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌گردد.

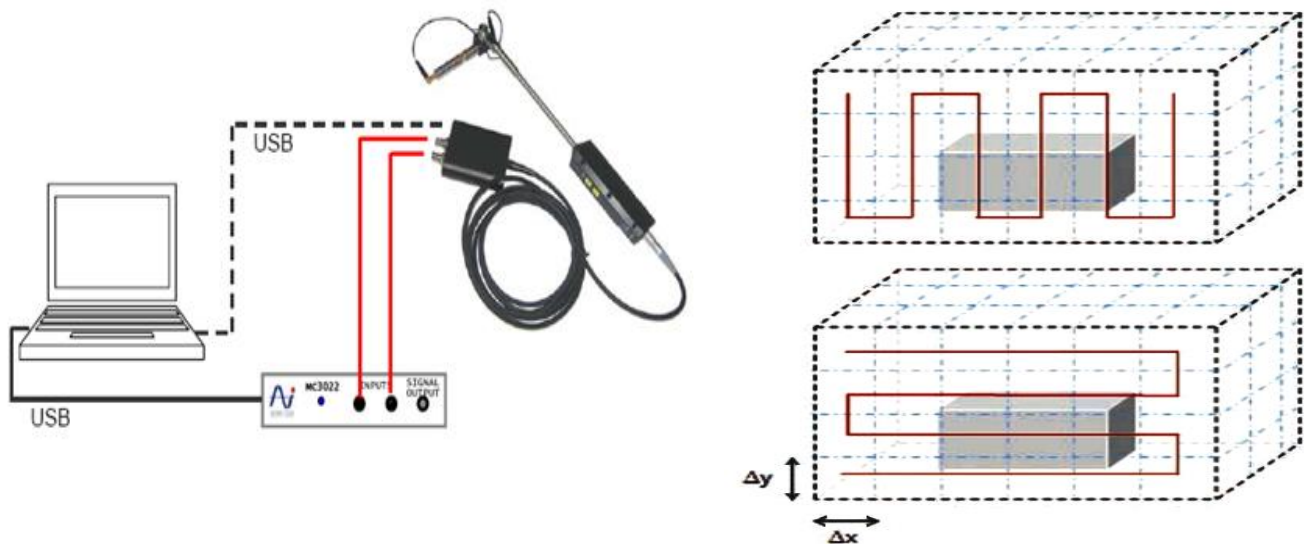
$$LW = \bar{LI} + 10 \log \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (4)$$

$\bar{LI}$  = میانگین فضایی تراز شدت صوت dB

$LW$  = تراز توان صوت دستگاه dB

$S$  = مساحت فرضی اندازه‌گیری (در برگیرنده منبع)  $m^2$

$S_0$  = مساحت مبنا  $m^2$



شکل ۴- سیستم اندازه‌گیری شدت صوت (سمت چپ) و نحوه اسکن سطح مجازی اطراف منبع (سمت راست)

#### ۴-۳-۲-۳-۴ برچسب گذاری صوتی منابع

برچسب گذاری<sup>۱</sup> تجهیزات یک روش متداول برای مصرف انرژی یا بیان میزان بازدهی می‌باشد و برای تعیین مشخصات نشر صوتی هر تجهیز لازم است که برچسب گذاری صدا<sup>۲</sup> نیز انجام گردد. این کار از طریق آزمایشگاه معتبر در آزمایشگاه آکوستیک انجام می‌شود. نتایج برای بیان دان تراز توان صوتی یا تراز نشر صوتی هر منبع ذیل برچسب انرژی یا به صورت مجزا بر روی محصول درج می‌گردد. امروزه بسیاری از لوازم خانگی دارای الزام برای درج برچسب صوتی علاوه بر برچسب انرژی هستند.

#### ۴-۳-۲-۴ روش اندازه‌گیری محیطی

در این روش محل‌های استقرار کارگران مورد نظر نبوده ولی از نتایج آن برای تعیین و مشخص نمودن توزیع تراز فشار صوت و محدوده‌های خطر در کارگاه و همچنین تعیین منابع اصلی صوت برای کنترل صدا استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری صدای محیطی از روش شبکه ای منظم استفاده می‌شود و بدین ترتیب کارگاه به صورت شبکه ای منظم به نواحی شطرنجی با ابعاد یکسان تقسیم بندی و مرکز هر خانه به عنوان یک ایستگاه اندازه‌گیری در نظر گرفته می‌شود. برای هر کارگاه می‌توان با توجه به مساحت و امکانات، تعداد معین و محدودی ایستگاه انتخاب نمود. محدوده مناسب تعداد ایستگاه در هر محدوده سنجش بین ۲۰ تا ۶۰ پیشنهاد می‌گردد. پس از ثبت نتایج اندازه‌گیری صدای محیطی، میتوان به روشهای مختلف آنها را روی نقشه یا در جدول کدبندی شده مربوطه درج نمود (به بند ۴-۲-۵-۲ رجوع شود). نتایج اندازه‌گیری محیطی صدا بر روی نقشه تبدیل به نقشه صدا<sup>۳</sup>

<sup>1</sup> Labeling

<sup>2</sup> Noise labeling

<sup>3</sup> Noise map

می‌شود که در آن محدوده‌های ایمن، احتیاط، اقدام و خطر در محدوده مورد بررسی به صورت بافر بندی رنگی (سبز-زرد-نارنجی-قرمز) مشخص می‌گردد.

#### ۴-۳-۲-۵ روش اندازه‌گیری موضعی

در اندازه‌گیری موضعی که به منظور تعیین حدود مواجهه کارگر انجام می‌گردد، اندازه‌گیری صرفاً در محل‌های توقف یا تردد کارگر و در ناحیه شنوایی وی صورت می‌گیرد. ارزیابی مواجهه کارگر با صدا مستلزم اندازه‌گیری تراز فشار صوت در مقیاس A و تعیین مدت زمان مواجهه برای هر کارگر به طور مجزا می‌باشد. بدین منظور، گردآوری اطلاعات لازم از چگونگی مواجهه (طول هر بار مواجهه با صدا، الگو و تناوب آن از جهت نوع صدا شامل پیوسته یا کوبه ای) و سایر اطلاعات محیطی مرتبط با کارگر ضروری می‌باشد (یادآوری ۱).

**یادآوری ۱-** هر ارزیابی مخصوص یک کارگر بوده و در صورت مشابهت در مواجهه بایستی برای هر کارگر میزان مواجهه معلوم گردد. در زمان اندازه‌گیری صدا نیز، نبایستی تغییری در وضعیت و شرایط کار، منابع صوتی یا محل استقرار کارگر ایجاد شود. روش اندازه‌گیری و ارزیابی میزان مواجهه بر اساس تشخیص الگوی مواجهه کلی کارگر در یک شیفت تعیین می‌گردد. در صورتی که کارگر در طول شیفت کاری با صدای یکنواخت مواجهه داشته باشد، می‌توان در ایستگاه توقف یا در نقاط تردد وی سه بار اندازه‌گیری را تکرار و نتایج را با استفاده از فرمول میانگین لگاریتمی تراز فشار صوت، مواجهه کارگر را محاسبه و ثبت نمود. اگر کارگر با ترازهای فشار صوت معین و متفاوت در زمان‌های مختلف (و مشخص) مواجهه داشته باشد، برای هر دوره مواجهه می‌بایست یک بار اندازه‌گیری صدا انجام گردد. اگر کارگر در یک یا چند ایستگاه کاری در زمان‌های نامشخص با ترازهای فشار صوت متفاوت مواجهه داشته باشد تنها راه اندازه‌گیری قابل اعتماد، دوزیمتری صدا توسط دستگاه دوزیمتر است. برای کارگری که با صدای نوبتی مواجهه دارد باید اندازه‌گیری صدا در حالات مختلف دوره‌های مواجهه انجام گردد و پس از برآورد یا ثبت مدت زمان مواجهه با دوره‌های تکرار صدا، می‌توان مقادیر را به شاخص مربوطه (دوز یا تراز) تبدیل نمود.

#### ۴-۳-۲-۶ اندازه‌گیری مواجهه با صدای کوبه‌ای و ضربه‌ای

در گذشته برای اندازه‌گیری و ارزیابی صدای کوبه‌ای روش‌های متنوعی از جمله ارتباط تراز فشار صوت با تعداد ضربه‌ها، بکار می‌رفت لیکن در سال‌های اخیر روش اندازه‌گیری و ارزیابی این نوع صدا با ملاحظاتی شبیه به صدای پیوسته انجام می‌گردد. شرط استفاده از این روش این است که تراز فشار پیک صوت نباید از  $140 \text{ dB(C)}$  بیشتر باشد. لیکن برای اندازه‌گیری صدای کوبه‌ای و مقایسه آن با حدود مجاز لازم است که تراز فشار صوت را در مقیاس A در محل استقرار کارگر اندازه‌گیری نموده و با توجه به مجموع مدت زمان مواجهه کارگر با ترازهای کوبه‌ای یا ضربه‌ای با جدول حدود مجاز مقایسه گردد. راه مناسب‌تر این است که مقادیر تراز صدای اندازه‌گیری شده و مجموع زمان مواجهه به تراز معادل یا دوز تبدیل و با مقادیر مجاز مواجهه مقایسه گردد. برای ارزیابی صدای ضربه‌ای در محیط‌های باز و میدان آزاد این روش توصیه می‌گردد اما در مواردی که کارگر در اماکن بسته با صدای کوبه‌ای مواجهه دارد، با توجه به وجود صدای زمینه پیشنهاد می‌گردد که از روش ذکر شده برای الگوی مواجهه با صدای نوبتی استفاده شود.

#### ۴-۳-۲-۷ روش آنالیز فرکانسی

آنالیز فرکانس صوتی اغلب برای ایستگاه‌های ی انجام می‌گردد که تراز فشار صوت در آنها نگران کننده باشد. در بررسی محیطی صدا نیازی به آنالیز فرکانس نیست، اما در برخی ایستگاه‌ها به دلیل اهمیت مکانی یا بالا بودن تراز فشار صوت یا توقف کارگر به تشخیص کارشناس آنالیز انجام می‌گردد. در بررسی صدا برای تعیین میزان مواجهه کارگر بهتر است همیشه در حالت معمول کاری، حداقل یک نتیجه آنالیز فرکانس به همراه اندازه‌گیری کلی صدا انجام و پس از ارزیابی در پرونده کارگر ثبت شود. به طور کلی آنالیز فرکانس در مطالعه محیطی و مواجهه فردی با صدا برای تعیین ماهیت توزیع صدا در فرکانس‌ها و ارزیابی آن برای تعیین روشهای کنترل فنی، مطالعه در محل توقف کارگر یا پست کاری وی و نیز به منظور انتخاب وسیله حفاظت فردی انجام می‌گردد.

#### ۴-۳-۳ روش تعیین تداخل صدا با مکالمه<sup>۱</sup>

به دلیل امکان تداخل صدای محیط کار با فرکانس‌های مکالمه که می‌تواند در بروز حوادث نقش داشته باشد، میزان مزاحمت یا محدودیت در ارتباط کلامی به صورت اندازه‌گیری تراز تداخل صدا با مکالمه مورد بررسی قرار می‌گیرد. این تراز در مواجهات شغلی و اجتماعی بر اساس محاسبه میانگین حسابی ترازهای فشارصوت در فرکانس‌های مکالمه با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$SIL = \frac{SPL_{500} + SPL_{1000} + SPL_{2000}}{3} \quad (5)$$

#### ۴-۳-۴ انتخاب راهبردهای اندازه‌گیری صدا

انتخاب استراتژی مناسب برای اندازه‌گیری تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله هدف اندازه‌گیری‌ها، پیچیدگی وضعیت کار، تعداد کارگران، طول مؤثر روز کاری، زمان قابل دسترس برای اندازه‌گیری و تحلیل و میزان اطلاعات دقیق مورد نیاز قرار دارد. سه استراتژی اندازه‌گیری برای تعیین میزان مواجهه با صدا در محیط کار توسط این استاندارد بین‌المللی پیشنهاد شده که شامل موارد زیر می‌باشد (راهنمای جامع در مورد انتخاب استراتژی اندازه‌گیری (ISO 9612)).

#### ۴-۳-۴-۱ اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه

اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه<sup>۲</sup> استراتژی بر روی وظایفی که فرد را در معرض مواجهه‌های صوتی قابل توجهی قرار می‌دهد متمرکز است و یکی از اهداف آن به حداقل رساندن مدت زمان اندازه‌گیری مورد نیاز برای یک عدم قطعیت مشخص است. اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه، زمانی مفید است که بتوان شغل را به وظایف تعریف شده با شرایط صوتی مشخص تقسیم کرد. با این حال، باید اطمینان حاصل شود که تمام موارد و جزئیات مربوط به صدا در دوره اندازه‌گیری گنجانده شده باشد، که این مستلزم آگاهی از وقایع صوتی کوتاه مدت با مواجهه‌های صوتی بالا در طول روز کاری است. این استراتژی بر اساس تجزیه و تحلیل دقیق شغل به منظور درک همه وظایف شغلی است و اطلاعات مفیدی را در مورد سهم وظایف مختلف در مواجهه کلی صوتی روزانه ارائه می‌دهد.

<sup>1</sup> Speech interference level

<sup>2</sup> Task-based measurement

این روش اجازه می دهد تا تعداد اندازه‌گیری‌های کمتری برای وظایفی که تغییرات کمی در تراز صدا ایجاد می‌کنند انجام شود لذا نیاز به اقدامات انجام شده کمتری برای اندازه‌گیری در مقایسه با روش‌های دیگر دارد. استفاده از این استراتژی هنگامی که گروه‌های بزرگی از کارگران فعالیت‌های مشابهی را در محیط‌های صوتی مشابه انجام می‌دهند، باعث صرفه جویی قابل توجهی در زمان اندازه‌گیری می‌شود و همچنین اندازه‌گیری‌ها را نیز می‌توان به راحتی کنترل کرد. اگر وضعیت و موقعیت شغلی پیچیده باشد، تجزیه و تحلیل با این روش می‌تواند بسیار زمان بر باشد.

#### ۴-۳-۴ اندازه‌گیری مبتنی بر شغل و گروه‌های شغلی

اندازه‌گیری‌های مبتنی بر شغل<sup>۱</sup> زمانی که توصیف الگوهای کاری و وظایف معمول آنها دشوار باشد، یا زمانی که انجام یک تحلیل دقیق شغلی مناسب یا عملی نباشد، بسیار مفید و نیازمند اقدامات کمتری برای تجزیه و تحلیل شغل خواهد بود. در صورتی که شغل شامل تعداد وظایف کمتری با صدای بیش از حد مجاز باشد، توصیه نمی‌شود. در تعریف مشاغل حتماً باید اطمینان حاصل شود که مواجهه صوتی هر کارگر در یک شغل معین نشان دهنده وضعیت موجود می‌باشد. این استراتژی به دلیل زمان مورد نیاز برای انجام اندازه‌گیری‌ها می‌تواند زمان بر باشد، اما در نتایج نهایی عدم قطعیت کمتری ایجاد خواهد کرد. همانند اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه، باید مراقب بود که سهم صدای اصلی در دوره اندازه‌گیری لحاظ شود. اندازه‌گیری‌های مبتنی بر شغل لزوماً هیچ اطلاعاتی در مورد سهم نسبی وظایف مختلف یک شغل در مواجهه صوتی روزانه ارائه نمی‌کنند، زیرا این روش، وظایف انجام شده در شغل مربوطه را در نظر نمی‌گیرد. در اندازه‌گیری‌های مبتنی بر شغل، گروه‌های داری مواجهه صوتی مشابه می‌توانند محتوای متفاوتی نسبت به اندازه‌گیری‌های مبتنی بر وظیفه داشته باشند. از آنجایی که یک شغل مجموعه‌ای از وظایف مختلف است، اندازه‌گیری مبتنی بر شغل نیازی به تفکیک دقیق یک فعالیت شغلی به وظایف تشکیل دهنده آن ندارد. بنابراین، ایجاد گروه‌های مواجهه صوتی مشابه نسبت به اندازه‌گیری‌های مبتنی بر وظیفه به زمان کمتری نیاز دارد. اندازه‌گیری‌های مبتنی بر وظیفه نیز نیاز به اطلاعات دقیق‌تری از وضعیت و موقعیت شغل نسبت به سایر استراتژی‌ها و روش‌ها دارد، به طوری که تمام وظایف منجر به مواجهه صوتی و مدت زمان آن باید بطور کامل شفاف سازی شوند.

#### ۴-۳-۴ اندازه‌گیر طولانی مدت

اندازه‌گیری تمام روز<sup>۲</sup>، مانند اندازه‌گیری مبتنی بر شغل، زمانی که توصیف الگوهای شغلی و وظایف معمول تشکیل دهنده آن دشوار باشد مفید است. با این حال، به تلاش کمتری در تجزیه و تحلیل شغل نیاز دارد. از سوی دیگر، این استراتژی به مدت زمان اندازه‌گیری طولانی تری نسبت به سایر استراتژی‌ها نیاز دارد. زمانی که الگوی مواجهه صوتی کارگر ناشناخته، غیرقابل پیش بینی یا پیچیده باشد، اندازه‌گیری تمام روز توصیه می‌شود. همچنین می‌توان از این استراتژی برای هر الگوی مواجهه صوتی دیگری استفاده کرد، به ویژه در مواردی که تجزیه و تحلیل دقیق کار قابل انجام یا ضروری نمی‌باشد. اندازه‌گیری تمام روز همچنین می‌تواند برای تأیید اینکه تمام عوامل منجر به مواجهه صوت گنجانده شده‌اند مفید است. برای چنین اهداف بررسی، تراز مواجهه صوتی روزانه را می‌توان مستقیماً بدون هیچ گونه محاسبات اضافی تعیین کرد. با استفاده از یک ابزار ثبت کننده می‌توان اطلاعاتی در مورد تغییرات تراز صدا در طول روز کاری به دست آورد و همچنین می‌توان سهم وظایف مختلف را در صدای کلی تعیین کرد.

<sup>1</sup> Job-based measurement

<sup>2</sup> Full-day measurement

همچنین امکان حذف اصوات نامربوط را از نتایج اندازه‌گیری با این روش وجود دارد. بنابراین، هنگام انجام اندازه‌گیری‌های تمام روز، استفاده از ابزار ثبت کننده بسیار توصیه می‌شود. اندازه‌گیری مواجهات صوتی کارگران با دستگاه‌های صدا سنج فردی یا ابزارهای دقیق مشابه انجام می‌شود. در برخی موارد، تداخلات اندازه‌گیری غیر مرتبط با مواجهه کارگر (ضربه زدن به میکروفون عمدی یا سهوی، تداخلات عمدی مانند فریادهای همکاران یا اقدامات عمدی در جهت افزایش صدا) وجود دارد و لذا توصیه می‌گردد که اندازه‌گیری‌ها مستقیماً توسط تکنسین‌ها مشاهده و بررسی و یا از ابزارهای مؤثر دیگری برای شناسایی و بررسی این تداخلات استفاده شود. برای از بین بردن خطاهای احتمالی ناشی از عدم مشاهده و بررسی تداخلات، پیشنهاد می‌شود که اندازه‌گیری‌ها در چند روز متوالی تکرار گردد.

مواردی وجود دارد که استفاده از دو یا چند استراتژی اندازه‌گیری ضروری یا مطلوب است. برای مثال، اگر یک روز کاری پیچیده باشد، میزان مواجهه صوتی محاسبه‌شده از اندازه‌گیری‌های مبتنی بر وظیفه را می‌توان با انجام اندازه‌گیری‌های تمام روز کارگران منتخب بررسی کرد. ممکن است برخی وظایف که در طول روزهای عادی به عنوان وظیفه شغلی محسوب می‌شوند، در طی اندازه‌گیری‌های تمام روز یا مبتنی بر وظیفه انجام نشوند. در این موارد، اندازه‌گیری‌های اضافی برای وظایف مذکور ضروری است. همچنین برخی از کارگران ممکن است در طول یک روز با الگوهای مختلفی از وظایف شغلی مواجه باشند. در این مورد شاید نیاز باشد از اندازه‌گیری مبتنی بر شغل برای کار در نوبت صبح و از اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه در نوبت بعد از ظهر استفاده شود. جدول ۱ نحوه‌ی انتخاب استراتژی اندازه‌گیری برای الگوهای کاری مختلف را نشان می‌دهد.

**جدول ۱- راهنمایی‌های برای انتخاب استراتژی‌های اصلی اندازه‌گیری بسته به الگوی کاری**

استراتژی اندازه‌گیری			نوع یا الگوی کاری
استراتژی ۱: اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه	استراتژی ۲: اندازه‌گیری مبتنی بر شغل	استراتژی ۳: اندازه‌گیری تمام روز	
√*	-	-	ایستگاه کاری ثابت- تک وظیفه‌ای یا وظیفه ساده
√*	√	√	ایستگاه کاری ثابت-وظایف پیچیده یا چندگانه
√*	√	√	کارگر متحرک - الگوی قابل پیش بینی - تعداد کم وظایف
√	√	√*	کارگر متحرک-الگوی قابل پیش بینی - تعداد زیاد وظایف یا الگوهای پیچیده کاری
-	√	√*	کارگر متحرک-الگوی غیر قابل پیش بینی

✓	✓*	-	کار ثابت یا متحرک-وظایف چندگانه با مدت زمان نامشخص وظایف
✓	✓*	-	کار ثابت یا متحرک-هیچ وظیفه ای تعیین نشده است
<p>✓ این استراتژی می تواند مورد استفاده قرار بگیرد</p> <p>* استراتژی توصیه شده</p>			

#### ۴-۳-۵ نقشه های صوتی

نقشه های صوتی یک ابزار مفید برای ثبت توزیع تراز صدا در محیط است که به شناسایی کارگران تحت مواجهه با صدا کمک می کند. با بکارگیری شماتیک کارخانه و ترسیم کلی نقشه طبقات، فرآیندهای پر صدا علامت گذاری و شناسایی و با استفاده از صداسنج، تراز صدا در مجاورت تجهیزات و در فواصل مختلف از منابع صوتی در سطح گوش کارگران (ارتفاع سطح نشسته و ایستاده بین ۱۱۰ تا ۱۴۰ سانتیمتر) تعیین می شود. با دور شدن از منبع صدا و اندازه گیری های متوالی، شعاع خطر یا فواصلی از منبع صدا که در آن تراز صدا به حد مجاز کاهش یافته، بدست می آید. طرح و نقشه تکمیل شده، منحنی های هم تراز<sup>۱</sup> در اطراف منابع صدا را نشان می دهد. همپوشانی کانتورها برای منابع صوتی مجاور دور از انتظار نیست و کارگرانی که در فواصل نزدیک به تجهیزات قرار گرفتند بیشتر از سایرین در معرض مواجهه صوتی قرار دارند. در شرایطی که میزان مواجهه بیش از حد مجاز باشد باید تجزیه و تحلیل فرکانسی صدا (اکتاو باند) برای تعیین فرکانس غالب انجام گردد. این اطلاعات می تواند به تعیین دقیق منشا و علت صدا (به عنوان مثال، لرزش تسمه، تکیه گاه های ارتعاشی) کمک کند. برای کارگرانی که مواجهه بالاتری با صدا دارند اندازه گیری های بیشتر در قالب دوزیمتری برای تعیین میزان مواجهه فردی الزامی می باشد. در توضیحات نقشه های صوتی می توان به صورت آماری درصد محدوده های خطر و درصد کارگران در معرض خطر را بیان نمود.

#### ۴-۳-۵-۱ گزارش نتایج اندازه گیری صدا

گزارش نتایج اندازه گیری مواجهه صوتی (مطابق با این استاندارد بین المللی) باید حاوی اطلاعات زیر باشد:

##### الف) اطلاعات کلی و عمومی

- نام مشتری (شرکت، بخش و غیره) پروژه
- اطلاعات کارگر(ها) یا گروه(های) کارگران (مانند نام یا شماره کارگر) که مواجهه صوتی آنها تعیین شده است
- نام شخص(ها) و شرکت یا موسسه ای که اندازه گیری ها و محاسبات را انجام داده اند.
- هدف از تعیین محدوده ها و میزان مواجهه شغلی با صدا
- ارجاع به استاندارد و استراتژی استفاده شده

##### ب) تجزیه و تحلیل شغل

<sup>1</sup> Contour curve



- شرح فعالیت‌های کاری مورد بررسی
- تعداد و ترکیب گروه‌های مشابه دارای مواجهه صوتی در صورت لزوم
- شرح روز(های) مورد بررسی از لحاظ وظایف در اندازه‌گیری‌های مبتنی بر وظیفه
- استراتژی اندازه‌گیری به کار گرفته شده به همراه ارجاع روش آماری مورد استفاده

### ج) دستگاه‌های اندازه‌گیری

- اطلاعات و کلاس دستگاه‌های اندازه‌گیری مورد استفاده (سازنده، مدل، شماره سریال)
- مشخصات سیستم، به عنوان مثال: صفحه نمایشگر، کابل‌های موجود، و غیره
- پیگیری کالیبراسیون دستگاه اندازه‌گیری (تاریخ و نتیجه آخرین تایید اجزای سیستم اندازه‌گیری)
- مستندات مربوط به کالیبراسیون انجام شده قبل و بعد از هر اندازه‌گیری

### د) اندازه‌گیری‌ها

- اطلاعات اندازه‌گیری مواجهه صوتی کارگران
- تاریخ و زمان اندازه‌گیری
- دستگاه‌های مورد استفاده برای هر اندازه‌گیری (در صورت استفاده از ابزارهای مختلف)
- شرح وظایف انجام شده توسط کارگر در طول دوره اندازه‌گیری، از جمله مدت فعالیت کاری و در صورت لزوم، مدت زمان رویدادهای چرخه ای موجود در فعالیت کاری
- گزارش هرگونه انحراف از شرایط عادی کار یا رفتار عادی شغلی در طول دوره اندازه‌گیری
- شاخص‌های تولید مربوط به کارهای در حال اجرا در صورت لزوم،
- شرح منابع صوتی که منجر به مواجهه صوتی کارگر می‌شوند.
- شرح صداهای نامربوط که در نتایج اندازه‌گیری ذکر شده یا از نتایج حذف شده
- شرح هر رویداد مشاهده شده که ممکن است بر روی اندازه‌گیری‌ها تأثیر بگذارد (به عنوان مثال، جریان هوا، ضربه‌های روی میکروفون، اصوات ضربه‌ای)
- اطلاعات مربوط به شرایط هواشناسی (مانند باد، باران، دما)
- موقعیت و جهت میکروفون(ها)
- تعداد اندازه‌گیری‌ها در هر موقعیت
- مدت زمان هر اندازه‌گیری
- مدت زمان هر وظیفه در یک روز عادی شغلی، و عدم قطعیت مرتبط، هنگام استفاده از روش مبتنی بر وظیفه،
- نتایج هر اندازه‌گیری، شامل حداقل مقادیر تراز معادل صوت، تراز حداقل و حداکثر صدا و تراز پیک

#### ۴-۳-۵-۲ ترسیم نقشه‌های صوتی

با توجه به محدوده‌های اصلی تراز فشار صوت شامل ایمن، احتیاط و خطر، با رنگ یا کد مربوطه به صورت دستی، استفاده از نرم افزارهای گرافیکی (Surfer) یا نرم افزارهای اطلاعات مکانی (Arc GIS) نقشه رنگی محدوده بندی شده و بر روی نقشه ی مذکور منابع اصلی مولد صدا ترسیم می گردد. محدوده‌های تراز فشار صوت اندازه‌گیری شده به صورت زیر کد بندی می‌شود.

الف- محدوده ایمن ( $SPL < 65 \text{ dBA}$ ) با رنگ آبی یا سبز یا کد S<sup>۱</sup>

ب- محدوده احتیاط ( $65 \leq SPL < 82 \text{ dBA}$ ) با رنگ زرد یا کد C<sup>۲</sup>

ج- محدوده اقدام ( $82 \leq SPL < 85 \text{ dBA}$ ) با رنگ نارنجی یا کد A<sup>۳</sup>

ج- محدوده خطر ( $SPL \geq 85 \text{ dBA}$ ) با رنگ قرمز یا کد D<sup>۴</sup>

#### ۴-۳-۶ نحوه تنظیم گزارشات اندازه‌گیری

برای اندازه‌گیری صدا در محیط کار فرم‌های مختلفی طراحی شده که نتایج اندازه‌گیری در این فرم‌ها ثبت و سپس مورد تحلیل قرار می‌گیرند. در فرم اندازه‌گیری (پیوست ب) با توجه به نتایج حاصل از صداسنجی محیطی به روش شبکه‌ای در صورتی که در هیچ یک از ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده تراز و ۸۲ dBA و بالاتر ثبت نشده باشد وضعیت صدای واحد کارگاهی مناسب بوده و در صورتی که در هر یک از ایستگاه‌های سنجش صدا تراز ۸۵ dBA یا بالاتر ثبت شده باشد صدای کارگاه بیش از حد مجاز بوده و می‌بایست گزینه "نیاز به اقدامات کنترل مهندسی دارد" انتخاب شود. محدوده مربوط به ترازهای بین ۸۵-۸۲ dBA محدوده اقدام<sup>۵</sup> می‌باشد که نیازمند "اقدامات فنی و مدیریتی برای حفاظت شنوایی" می‌باشد. مدیریت موظف است گزارش دوره‌ای این اقدامات را ثبت و گزارش نماید.

#### ۴-۴-۴ مراحل ارزیابی صدا

##### ۴-۴-۱ نحوه ارزیابی نتایج اندازه‌گیری و مقایسه با حدود مجاز یا الزامات مرتبط

تراز فشار صوت در محل کار نباید از ۸۵ دسی بل (A) تجاوز کند. به عنوان یک دستورالعمل کلی، اگر کارگر نتواند حتی با صدای بلند سخنان خود را به صورت واضح و قابل درک با همکار خود که در فاصله یک متری از خود قرار دارد بیان کند، به احتمال زیاد صدا در منطقه کار بالاتر از حد مجاز خواهد بود. براساس توصیه مجمع دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا<sup>۶</sup>، هیچ مواجهه صوتی بر حسب شبکه وزنی به صورت مداوم، متناوب یا ضربه ای نباید بیشتر از ۱۴۰ دسی بل باشد. طبق استاندارد حدود مجاز کشوری<sup>۷</sup> تمام زمان‌های مواجهه باید با جدول زیر (۲) مطابقت داشته باشد، براین اساس محدودیت‌های زمانی با توجه به حداکثر حدود مواجهه با صدا باید در نظر گرفته شود.

<sup>1</sup> Safe

<sup>2</sup> Caution

<sup>3</sup> Action

<sup>4</sup> Danger

<sup>5</sup> Action Limit

<sup>6</sup> American Conference of Governmental Industrial Hygiene - ACGIH

<sup>7</sup> Occupational Exposure limits (OEL)

جدول ۲ - مدت زمان مجاز مواجهه (بر اساس OEL)

حد مجاز مواجهه در روز	حد مجاز تراز معادل فشار صوت به SPL-TWA dB(A)** (فشار مبنا ۲۰ میکرو پاسکال)	حد مراقبت* (اقدام) تراز معادل فشار به SPL-TWA dB(A)** (فشار مبنا ۲۰ میکرو پاسکال)
۲۴ ساعت	۸۰	۷۷
۱۶ ساعت	۸۲	۷۹
۸ ساعت	۸۵	۸۲
۴ ساعت	۸۸	۸۵
۲ ساعت	۹۱	۸۸
۱ ساعت	۹۴	۹۱
۳۰ دقیقه	۹۷	۹۴
۱۵ دقیقه	۱۰۰	۹۷
۷/۵ <sup>A</sup> دقیقه	۱۰۳ <sup>***</sup>	۱۰۰
۳/۷۵ <sup>A</sup> دقیقه	۱۰۶	۱۰۳
۱/۸۸ <sup>A</sup> دقیقه	۱۰۹	۱۰۶
۰/۹۴ <sup>A</sup> دقیقه	۱۱۲	۱۰۹
۲۸/۱۲ <sup>A</sup> ثانیه	۱۱۵	۱۱۲
۱۴/۰۶ <sup>A</sup> ثانیه	۱۱۸	۱۱۵
۷/۰۳ <sup>A</sup> ثانیه	۱۲۱	۱۱۸
۳/۵۲ <sup>A</sup> ثانیه	۱۲۴	۱۲۱
۱/۷۶ <sup>A</sup> ثانیه	۱۲۷	۱۲۴
۰/۸۸ <sup>A</sup> ثانیه	۱۳۰	۱۲۷
۰/۴۴ <sup>A</sup> ثانیه	۱۳۳	۱۳۰
۰/۲۲ <sup>A</sup> ثانیه	۱۳۶	۱۳۳
۰/۱۱ <sup>A</sup> ثانیه	۱۳۹	۱۳۶

<sup>۴</sup> در این مقادیر صدای منبع باید به روشی غیر از روش‌های کنترل مدیریتی کاهش یابد و حفاظت فردی به تنهایی نمی‌تواند روش کنترل تلقی گردد.

\* حد مراقبت یا حد اقدام صدا برای شروع برنامه حفاظت شنوایی بوده و برای هشت ساعت کار روزانه برابر ۸۲ dBA تعیین شده است.  
\*\* تراز اندازه‌گیری شده صدا (dB) با استفاده از دستگاه صداسنج، حداقل با الزامات حدود مجاز کشوری مطابقت دارد و در شبکه وزنی A با سرعت پاسخ Slow سنجش می‌گردد.

\*\*\* در این مقادیر و بالاتر، استفاده از روشهای کنترل فنی-مهندسی جهت کاهش صدای منبع در اولویت می‌باشد.

#### ۴-۴-۲ ارزیابی نهایی و اظهارنظر

ارزیابی صدا<sup>۱</sup> شامل مقایسه نتایج اندازه‌گیری با حدود مجاز، استانداردها و الزامات است. در ارزیابی محیطی، بر اساس محدوده‌های چهارگانه مشخص شده در نقشه‌های صدا، محدوده‌های اقدام و خطر برای برنامه‌ریزی اقدامات مربوط به برنامه حفاظت شنوایی و کنترل فنی تعیین می‌گردد ارزیابی موضعی هم برای تعیین میزان مواجهه شغلی افراد یا گروه‌های شغلی انجام می‌گردد و بر اساس نتایج اندازه‌گیری صدا یا دوزیمتری، میزان مواجهه افراد یا هر گروه شغلی با کمیت تراز معادل مواجهه روزانه با صدا SPL-TWA dB(A) یا همان Leq dB(A) تعیین و سپس دوز متناظر روزانه آنان نیز محاسبه می‌گردد. بر اساس این نتایج "مجاز" بودن یا "غیرمجاز" بودن مواجهه برای هر فرد یا گروه شغلی تعیین و گزارش می‌گردد. لازم به ذکر است که ارزیابی مواجهه با صدا شامل ارزیابی روزانه است و تغییرات مواجهه در طول هفته یا دوره‌های زمانی دیگر مجوزی برای افزایش مواجهه نیست. تنها یک مورد استثناء وجود دارد و آن این است که اگر کارگر به صورت موردی یک روز با صدای بیش از حد مجاز مواجهه داشته باشد این مواجهه می‌تواند تا ۳۰٪ دوز دریافتی باشد اما مواجهه کل هفته وی نباید از ۵۰٪ دوز تجاوز نماید.

#### ۴-۴-۳ برنامه حفاظت شنوایی

برنامه حفاظت شنوایی شامل ۵ جزء اساسی است که باید بر اساس روشهای متداول و مستند به منابع علمی معتبر به صورت مستمر اجرا و مورد پایش قرار گیرد. این اجزاء شامل موارد زیر است.

- ۱) بررسی صدا در محیط کار و ارزیابی مواجهه کارگران
- ۲) آموزش به منظور ارتقاء مهارت و کاهش صدمات
- ۳) کنترل صدا شامل کنترل مدیریتی و کنترل‌های فنی
- ۴) استفاده صحیح و مؤثر از تجهیزات حفاظت شنوایی
- ۵) پایش سلامت از طریق معاینات پزشکی خصوصاً ادیومتری

#### ۴-۴-۴ پایش سلامت و تعیین افراد در معرض خطر

پایش سلامت شاغلین یکی از مهمترین اجزاء برنامه حفظ و ارتقاء سلامت شاغلین است که با طراحی و انجام معاینات دوره‌های صورت می‌گیرد هدف اصلی انجام معاینات دوره‌های، کشف زود هنگام بیماری ناشی از کار در مراحل اولیه و قابل برگشت است؛ به گونه ای که بتوان با اقدامات مناسب از پیشرفت بیماری به مراحل غیر قابل درمان، پیشرونده و ناتوان کننده جلوگیری کرد. هدف دیگر معاینات، کشف عوارض شناخته نشده مواجهات محیط کار با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات بدست آمده می‌باشد. بدیهی است برای دستیابی به اهداف فوق، انجام معاینات باید بر اساس نوع، میزان و مدت مواجهه صورت گیرد. به همین منظور لازم است قبل از انجام معاینات در هر صنعت، پس از ارزیابی و شناسایی دقیق نوع و میزان مواجهات زیان آور برای هر شاغل، دستورالعملی شامل نوع شرح حال و معاینات فیزیکی و تستهای آزمایشگاهی و پاراکلینیک مورد نیاز برای هر شاغل توسط فرد واجد صلاحیت تهیه و پایش بر مبنای آن هدایت و انجام شود. اقدامات پزشکی نظیر ارزیابی سلامت کارگر در معاینات قبل از استخدام، پایش سلامت در معاینات دوره ای و تشخیص

<sup>1</sup> Noise assessment

زودرس عوارض می‌تواند نقش مهمی در کاهش صدمات ناشی از صدا در محیط کار داشته باشد. در هنگام معاینات قبل از استخدام افراد مستعد و حساس به صدا به دقت شناسایی شده و از اشتغال آنان در محیط پرصدا جلوگیری به عمل آید.

## ۵ - کنترل صدای شغلی در صنعت

کنترل‌های صدا اولین مرحله کنترلی در برابر مواجهه بیش از حد با صدا می‌باشد. برای دستیابی به اهداف مورد نظر لحاظ نمودن حدود مجاز صدا برای مناطق داخل و خارج کارخانه الزامی است. در این خصوص، ارزیابی و اظهار نظر در مورد تعیین حدود مجاز صدا با توجه به الزامات کمیته فنی بهداشت حرفه ای کشور صورت می‌گیرد. این حدود مذکور باید برای تمامی شرایط عملیاتی مختلف در فاز طراحی فرآیند یا راه‌اندازی، توقف، بازسازی و تعمیر نگهداری و غیره در نظر گرفته شود (به بند ۴-۳-۱ رجوع گردد).

### ۵-۱ تعیین منابع اصلی هدف کنترل صدا

انتشار صدا در محیط‌های بسته تابع ویژگی‌های منابع صوتی و خصوصیات سطوح داخل بنا می‌باشد. در محیط‌های پربازتابش، اثر فاصله از منبع در پیش بینی تراز فشار صوت کاهش می‌یابد. در فضاها، بازتابش، اثر بازتابشی سطوح محدود نمی‌شود، اما اثر فاصله نمایان تر است. در هر صورت شناخت خصوصیات منابع صوتی و مدل‌های محاسباتی برای پیش بینی تراز نشر صوتی آنها همواره می‌تواند در ارزیابی و کنترل صدا نقش مهمی داشته باشد. مهمترین تجهیزات صنعتی که مولدهای اصلی صدا هستند شامل آسیاب‌ها، خردکننده‌ها، میکسرها، پرس‌های ضربه ای، دستگاه‌های پنوماتیک، مشعل‌ها، فن‌ها و بلوئر‌ها، کمپرسورها، پمپ‌ها، موتورهای درون سوز، توربین‌ها، موتورهای الکتریکی و جت‌های سیال گاز و بخار می‌باشند.

### ۵-۲ تعیین محدوده‌های هدف کنترل صدا

مرز محدوده‌های خطر بر اساس طول زمان مواجهه کارگر با صدا در طول ۸ ساعت در هر شیفت کاری بایستی تعیین و برای کنترل مواجهه کارگران، توقف و تردد در این نواحی محدود گردد. همچنین لازم است بررسی‌های جامع و دقیقی در این محدوده‌ها انجام شود.

### ۵-۳ تعیین گروه‌های شغلی هدف کنترل صدا

مواجهات صوتی روزانه و هفتگی کارکنان با امواج صوتی می‌بایست مورد بررسی قرار گرفته و ارزیابی در مقایسه با حد مجاز و حد اقدام تعیین شده در مقررات صوتی (بند ۴-۳-۱) انجام گردد. برخی وظایف یا فعالیت‌های خاص ممکن است مواجهه صوتی بسیار بالایی داشته اما به ندرت انجام شوند. به هر صورت، تصمیم‌گیری در خصوص کاهش ریسک مواجهه به پایین‌ترین سطح عملی با تدوین یک برنامه عملیاتی برای کنترل خطرات ضروری می‌باشد. لازم به ذکر است که ارزیابی مواجهه با صدا شامل ارزیابی روزانه است و تغییرات مواجهه در طول هفته یا دوره‌های زمانی دیگر مجوزی برای افزایش مواجهه نیست. تنها یک مورد استثناء وجود

دارد و آن این است که اگر کارگر به صورت موردی یک روز با صدای بیش از حد مجاز مواجهه داشته باشد این مواجهه می‌تواند تا ۳۰۰٪ دوز دریافتی باشد اما مواجهه کل هفته وی نباید از ۵۰۰٪ دوز تجاوز نماید

#### ۴-۵ قواعد مشترک در طرح‌های کنترل صدا

تصمیم‌گیری در خصوص کنترل صدا یک فرآیند است که نیاز به مستندسازی و رعایت الگوریتم مشخص دارد. از جمله قواعد مشترکی که عموماً در طرح کنترل صدا می‌بایست رعایت گردد به شرح زیر است:

الف- اندازه‌گیری تراز کلی فشار صوت و تعیین تراز معادل مواجهه کارکنان و میزان تراز که باید کاهش یابد.

ب- آنالیز فرکانس صدا در شبکه خطی به منظور تعیین فرکانس غالب

ج- مشاهده و بررسی دقیق محل مورد نظر و مصاحبه با افراد مطلع و بررسی شکایت اصلی

د- امکان سنجی انواع روش‌های کنترل صدا و اولویت بندی راه حل‌های ممکن و برآورد اجمالی قابلیت اجرایی و میزان اثربخشی آنها

ه- انتخاب روش اصلی کنترل صدا از بین راه‌حل‌های ممکن با همفکری کارفرما و مسئولین فنی

و- ارائه طرح مفهومی روش کنترل فنی و الزامات آن به کارفرما و دریافت نظرات

ز- طراحی فنی مشتمل بر محاسبات کنترل و میزان اثربخشی آن به همراه نقشه‌ها و راهنمای فنی اجرای طرح

ک- نظارت بر اجرای طرح

م- ارزیابی نتایج و تهیه گزارش طرح

#### ۵-۵ اولویت بندی طرح‌های کنترل صدا

از دیدگاه مدیریت صدا با توجه به محدود بودن منابع مالی و گاه محدود بودن زمان، نیاز به تعیین اولویت برای اجرای طرح‌های کنترل صدا بوده و شاخص اولویت کنترل صدا (NCPI)<sup>۱</sup> یک ابزار مهم جهت رتبه بندی واحدهای مختلف یک مجموعه از نظر آلودگی و تعیین اولویت کنترل صدا می‌باشد. در تدوین این شاخص با توجه به نتایج اندازه‌گیری صدا در واحد شغلی با لحاظ نمودن سه شاخص تعداد کارکنان در معرض صدا، ساعت مواجهه روزانه با صدا و تراز معادل فشار صوت یک معادله محاسباتی تدوین شده است که می‌تواند بدون در نظر گرفتن ماهیت کار یا نوع وظایف شغلی محیط‌های مورد بررسی را تعیین سطح نماید و با کمک آن واحدها از نظر آلودگی صدا رتبه بندی می‌گردند. در این روش محدوده‌های مقادیر تراز معادل مواجهه فشار صوت به فاکتور وزنی تبدیل شده و فاکتورهای وزنی بر مبنای اثر دوز و قاعده سه دسی بل تنظیم گردیده اند که افزایش آنها به صورت تصاعد هندسی متناظر با تراز فشار صوت افزایش می‌یابد. معیار تبدیل تراز معادل به فاکتور وزنی در جدول ۳ آمده است.

اطلاعات مربوط به تعداد افراد در معرض مستقر در هر ناحیه مورد بررسی نیز جمع آوری می‌گردد. در این روش برای آن دسته از افرادی که در ایستگاه ثابتی مشغول بکار نبوده و در طی شیفت کاری خود در چندین ایستگاه که ناحیه‌های متفاوتی از گستره تراز فشار صوت تعیین شده را در بر می‌گیرد تحرک داشته باشند، میانگینی از فاکتورهای وزنی متناظر با تراز فشار صوتی

<sup>۱</sup> Noise Control Priority Index

ایستگاه‌های کاری که در آن فعالیت می‌کنند لحاظ می‌گردد. پس از انجام محاسبه شاخص بر اساس رابطه زیر، هر کارگاه یا واحد شغلی با شاخص NCPI خود معرفی می‌گردد به طوری که عدد بزرگ‌تر شاخص نشان‌دهنده خطر بالاتر آلودگی صدا در آن واحد بوده و اولویت بالاتری در اجرای طرح‌های کنترل صدا خواهد داشت و نیازمند ضرورت در اجرای راهکارهای کنترلی می‌باشد.

**جدول ۳- فاکتورهای وزنی متناظر با گستره تراز فشار صوت بر مبنای اثر دوز و قاعده ۳ دسی بل**

W <sub>i</sub>	گستره تراز فشار صوت (dBA)		W <sub>i</sub>	گستره تراز فشار صوت (dBA)	
	حد پایین	حد بالا		حد پایین	حد بالا
۲	۸۶/۵	۸۹/۵	۰/۰۰۷۸	۶۲/۵	۶۵/۵
۴	۸۹/۵	۹۲/۵	۰/۰۱۵۶	۶۵/۵	۶۸/۵
۸	۹۲/۵	۹۵/۵	۰/۰۳۱۲	۶۸/۵	۷۱/۵
۱۶	۹۵/۵	۹۸/۵	۰/۰۶۲۵	۷۱/۵	۷۴/۵
۳۲	۹۸/۵	۱۰۱/۵	۰/۱۲۵	۷۴/۵	۷۷/۵
۶۴	۱۰۱/۵	۱۰۴/۵	۰/۲۵	۷۷/۵	۸۰/۵
۱۲۸	۱۰۴/۵	۱۰۷/۵	۰/۵	۸۰/۵	۸۳/۵
۲۵۶	۱۰۷/۵	۱۱۰/۵	۱	۸۳/۵	۸۶/۵

$$NCPI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times p_i \times t_i}{\sum PT}$$

$w_i$  = فاکتور وزنی متناظر با تراز فشار صوت

$p_i$  = تعداد افراد در معرض مستقر در هر کارگاه یا ناحیه

$t_i$  = زمان مواجهه افراد (h)

$P$  = مجموع تعداد افراد در کل واحدهای خط تولید هر کارگاه یا ناحیه

$T$  = مجموع زمان مواجهه افراد (h)

### ۵-۶ کنترل مدیریتی صدا

کنترل‌های مدیریتی به عنوان یک نوع ممکن از کنترل صدا مطرح بوده که به طور معمول امکان کنترل از راه دور را ممکن ساخته است. از چنین کنترل‌های مدیریتی میتوان به کنترل‌های سازمانی، چرخشی کردن شغل، تغییر در فعالیت/ فرایند و دستگاه‌ها اشاره نمود. چرخشی کردن کارگران و جابجایی افراد در محیط‌های پر صدا با افرادی که در محیط‌های آرام‌تر کار می‌کنند به طور متناوب در زمان‌های به خصوصی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. البته بنا به مهارت‌های کاری و دستمزدهای مختلف اجرای این نوع کنترل معمول نیست. علاوه بر این، چرخش کارگر به معنی مواجهه تعداد افراد بیشتری با صدای بیش از حد مجاز

می‌باشد لذا، انتخاب صحیح بین مواجهه تعداد کمی کارگر برای مدت زمان طولانی و مواجهه تعداد بیشتری از کارگران با سطوح بالای صدا برای دوره‌های زمانی کوتاه تر ضروری است. به طور کلی، می‌بایست دوره‌های زمانی استراحت در یک محیط آرام برای کارگرانی که با صدای بیش از حد مجاز مواجهه داشتند، در نظر گرفته شود. در اجرای برنامه‌های پیشگیری مانند استفاده از تجهیزات حفاظت فردی نیز باید تلاش مستمر در امر آموزش و تضمین همکاری کارگران صورت گیرد. پیشنهاد می‌گردد اعمال استانداردهای سختگیرانه با توجه به اختلاف حساسیت مناطق اطراف نسبت به صدا در روزهای مختلف هفته و در زمان‌های مختلف در نظر گرفته شده و ترجیحا انجام فرآیندهای پر صدا برای زمان‌های کم حساسیت تر در روزهای هفته برنامه‌ریزی شود تا مدیریت بهتری صورت پذیرد.

#### ۵-۶-۱- آموزش مبتنی بر خود مراقبتی، دیگر مراقبتی و ارتقا مهارت شغلی

لازم است همواره در محیط‌های شغلی برنامه آموزش سطح بندی شده (شامل رده‌های مدیریتی و کارکنان) برای آشنایی با مفاهیم مواجهه با صدا و اصول مراقبت، ارتقای مهارت، حفاظت فردی و کنترل‌های صدا برنامه‌ریزی و اجرا گردد. خودمراقبتی، مراقبتی است که توسط افراد برای تأمین، حفظ و ارتقای سلامتشان انجام و به عنوان مهم ترین شکل مراقبت بهداشتی اولیه مطرح می‌شود. انجام فعالیت‌های خودمراقبتی نیازمند یادگیری مجموعه‌ای از مهارت‌های عملی از جمله مهارت ارتباطی، کسب اطلاعات، تشخیص نیازهای فردی و هدف گذاری و برنامه ریزی و مهارت استفاده از تکنولوژی و ابزارها بوده و افرادی که مهارت خودمدیریتی دارند، به نقاط ضعف و قوت خود آشنایی دارند. این تلاش آگاهانه، رشد و توسعه فردی و ارتقا مهارت شغلی را به همراه دارد.

#### ۵-۷- کنترل صدا در منبع

کنترل صدا باید اصولا از طراحی دستگاه شروع شود. اما در کاربرد، می‌توان از روش‌ها و دستگاه‌هایی استفاده نمود که دارای منابع صوتی ضعیفتری باشند یا وسایل کنترل صدا قبلا بر روی دستگاه نصب شده باشند. به طور مثال استفاده از سامانه‌های هیدرولیکی بجای پنوماتیکی و ضربه ای در پرس‌ها، به کارگیری اره‌های موسوم به آب صابونی بجای اره‌های آتشی و استفاده از موتورهای درونسوز که روی آنها انباره‌های آگروز بهتری نصب شده باشد، از این روش‌ها است. اگرچه شرکت‌های سازنده تمایل به ساخت دستگاه‌های ی با صدای کمتر دارند ولی در بسیاری موارد می‌توان صدای دستگاه‌های در حال کار را نیز با تغییراتی در ساختمان آنها، اصلاح چگونگی کار دستگاه، عیب یابی و هم‌چنین کشف علت‌های ایجاد و یا تشدید صدا، کنترل نمود. روش‌های اصلی کنترل صدا در منبع شامل انتخاب صحیح تجهیزات متناسب با فرایند تولید، انتخاب محل و نحوه نصب صحیح تجهیزات، نگهداری صحیح تجهیزات، کنترل ارتعاش تجهیزات، نصب کاهش دهنده‌های صدا بر روی تجهیزات، تغییر در اجزا و کار تجهیزات و بهینه سازی آنها، محصور کردن تجهیزات مولد صدای زیان آور و استفاده از روش‌های الکتریکی و الکترونیک می‌باشد.

#### ۵-۷-۱- روش‌های مبتنی بر جداسازی و اصلاح چیدمان تجهیزات و نفرات

ایزوله نمودن منابع اصلی صدا از سایر منابع با دیوارکشی می‌تواند نقش تعیین کننده ای داشته باشد. دیوارهای جداکننده مذکور بهتر است دارای پوششی از مواد جاذب و لایه‌های مانع صوتی متناسب با مشخصات صوتی (تراز فشار صوت و فرکانس غالب صدا)



منبع یا منابع مورد نظر باشد. محل نصب دستگاه ها و موقعیت قرار گیری آن ها نسبت به دیوارها از اهمیت بالایی برخوردار بوده و نصب تجهیزات در نیم طبقه یا طبقات و نزدیک بودن آن ها به سطوح بازتابشی و دیوارها همواره عامل موثر در تشدید صدا می باشد. در صورتی که ضرورتی نداشته باشد، برخی از مولدهای مهم صدا مانند فن ها، کمپرسورها و پمپ ها در فضای بیرون بناهای صنعتی در اتاقک های آکوستیک نصب شوند. به طور کلی هر چه تراکم و نزدیکی منابع صوتی در داخل بنا کمتر باشد، نتیجه بهتر خواهد شد.

## ۵-۸ کنترل صدا در محیط انتشار

چنانچه کنترل صدا در منبع میسر نباشد، کنترل صدا در مسیر و محیط انتشار دومین گام موثر برای جلوگیری و انتقال انتشار در آن می باشد. اصولاً این روش با بکار گیری دو رویکرد افزایش ضریب جذب صوت<sup>۱</sup> در مسیر انتشار و عایق بندی صوتی<sup>۲</sup> انجام می گیرد. اساس کار این روش کنترلی این است که از طریق افزایش ضریب جذب سطوح کارگاه، میزان صدای انعکاسی کم شده و در نتیجه صدای کلی کاهش می یابد. همچنین با عایق بندی مناسب، باعث جلوگیری از افزایش مواجهه افراد دیگر بخش ها با صدا شود.

## ۵-۸-۱ جداسازی مبتنی بر عایق بندی (موانع و دیوارها)

در بسیاری از کاربردهای عملی، بهترین کار برای مدیریت تراز فشار صوت بسیار بالا مرتبط با یک دستگاه خاص یا گروهی از دستگاه ها این است که، آن دستگاه یا دستگاه ها را از کارگر، بوسیله ی یک تیغه یا پارتیشن آکوستیکی<sup>۳</sup> جدا نمود. یک دیوار جداکننده، که دو اتاقی را که در یکی از اتاق ها دستگاه با تراز فشار صوت بسیار بالا و در دیگری دریافت کننده (فرد) وجود دارد، از هم جدا کرده که از انتقال صدا از یک قسمت به قسمت دیگر بنا جلوگیری می کند. چگالی بالا، یکدستی و درزبندی کامل از عناصر اساسی عایق های صدا هستند. عایق های صدا از جنس مصالح متداول بنایی یا مصالح جدید با لایه بندی فشرده انتخاب و متناسب با ماهیت و مشخصات صدای مورد نظر طراحی و اجرا می گردند.

## ۵-۸-۲ روشهای مبتنی بر استفاده از جاذب های صدا (شامل تابل ها و پنل های آکوستیکی و دیفیوزرها)

جاذب های صوتی یکی از روش های فنی مهندسی کنترل صدا به شمار می آیند. در واقع جاذب های صوتی مواد نرم و متخلخلی هستند که با کاهش انعکاس اصوات و میرا کردن آنها منجر به کاهش و کنترل صدا می شوند. کارایی جذب به عواملی مانند ضخامت، چگالی، اندازه منافذ و اندازه هر الیاف بستگی دارد. امروزه انواع مختلفی از مواد جاذب صوت به صورت تجاری در دو نوع تایل آکوستیک و پانل آکوستیک در دسترس می باشد که از جمله آن می توان به جاذب های صفحه ای ساده و سوراخدار، فوم های آکوستیک، جاذب های حجمی، جاذب های الیافی، دیفیوزرها و... اشاره نمود. معیار اصلی انتخاب جاذب صوت، فرکانس غالب صدای محیط می باشد.

<sup>1</sup> Sound absorption

<sup>2</sup> Sound insulation

<sup>3</sup> Acoustical partition.

تایل‌ها و پانل‌های آکوستیک: مصالح متداول جاذب صوت تجاری عموماً به دو شکل تایل آکوستیک و پانل آکوستیک عرضه می‌شوند که علی‌رغم مشابهت در عملکرد، دارای ویژگی‌های متفاوت در ساخت و کاربرد هستند. تایل‌های آکوستیک از یک ورقه یکپارچه از مواد جاذب صوت تشکیل شده‌اند که دارای رنگ و شکل ثابت هستند و تنوع پذیری آنها با توجه به روش تولید محدود است. عملکرد مطلوب آنها وابسته به وجود فضای انبساطی در پشت تایل است. در صورتی که ۴۰۰ میلی‌متر فضای انبساطی پشت تایل‌ها اعمال شود، بهترین راندمان جذب را دارند. پانل‌های آکوستیک بر خلاف تایل‌ها نیازی به فضای انبساطی هنگام نصب ندارند. با توجه به ضخامت زیادی که دارند می‌توان آنها را مستقیماً روی سطوح نصب کرد. پانل‌های آکوستیک دارای لایه‌بندی مصالح جاذب صوت هستند لذا می‌توان آنها را در رنگ، جنس، شکل و لایه‌بندی متنوع و متفاوت تولید کرد. پانل‌های آکوستیک گران‌تر از تایل‌های آکوستیک هستند اما در مقایسه با آنها ضریب جذب صوت بالاتری دارند.

دیفیوزرها یا پخشگرهای صوتی، شدت صوت را با پراکنده کردن امواج صوتی در سطح وسیع‌تر کاهش می‌دهند. اساس کار این مواد بر تداخل امواج صوتی استوار است. عملکرد آنها بر مبنای دو قاعده مهم در فیزیک است:

(۱) قانون یکم شامل پراکنده نمودن امواج برخوردی در اثر ناصافی صوتی و تصادفی شدن مسیر امواج بازتابشی نسبت به امواج تابشی به سطح دیواره و کاهش تداخل تشدید.

(۲) قانون دوم مربوط به دیفیوزرهای هندسی هرمی و چهارگوش است که با انجام تداخل تخریبی سبب کاهش انرژی صوتی می‌شوند.

## ۵-۹ کنترل صدا در محل دریافت کننده

کنترل صدا در محل دریافت کننده از طریق طراحی و ساخت محفظه‌های سربسته (پناهگاه‌های صوتی)<sup>۱</sup> به منظور استقرار کاربر در آن صورت می‌گیرد و یکی از آخرین مراحل کنترل فنی-مهندسی صدا می‌باشد. در صورتی که امکان اجرای کنترل در منبع و یا مسیر انتشار وجود نداشته باشد و نیز برای دستیابی به نتیجه بهتر در مکان‌هایی که لزوم کنترل در مجاورت دستگاه محرز نیست و هم‌چنین در مواردی که فرآیند کار می‌تواند از فاصله دورتری هدایت گردد و یا افراد تنها گهگاهی در مناطق پر صدا حضور می‌یابند، می‌توان از اتاقک‌های کنترل استفاده کرد. اتاق‌های کنترل و اتاق‌های استراحت صوتی در صنایع یکی از مثال‌های بارز این روش است. در عمل می‌توان با احداث یا تجهیز اتاق‌های ی برای کارکنان که نظارت آنان را برای فرایند محدود ننماید، اتاق‌هایی را با مصالح بنایی یا مصالح فشرده طراحی و اجرا نمود که بیش از ۳۰ دسی بل برای آنان حفاظت ایجاد نماید. این اتاق‌ها باید شرایط آسایشی، فیزیولوژیک و ایمنی استفاده کنندگان را فراهم نماید به گونه ای کلیه لوازم و ابزار کنترل فرایند شامل اندازه مناسب (اندازه کافی برای کارگران و وظایف شغلی بزرگ)، تهویه کافی، روشنایی مناسب، صدای ارگونومیک، درزبندی مناسب درب و پنجره، درهای خود بسته شونده، پنجره‌های ی با شیشه دو جداره صوتی، عایق ارتعاشی از کف برای کاهش انتشار صدا ناشی از سازه در آن پیش بینی شده باشد. آنچه که در مورد اتاقک‌سازی مهم می‌باشد. این است که باید برای رسیدن به نتیجه مطلوب درزگیری به‌طور کامل انجام گردد. کوچک‌ترین درز یا روزنه می‌تواند کل اقدامات کنترل را تحت‌الشعاع قرار دهد. به همین دلیل و با توجه به اهمیت موضوع، بایستی جداره‌های محفظه و محل‌های عبور کابل‌های برق و درب‌ها و سایر پنجره‌ها کاملاً درزبندی گردند.

<sup>۱</sup> Enclosures

## ۵-۹-۱ محافظه‌های صوتی کامل و ناقص

محافظه‌های صوتی در دو شکل کامل و ناقص طراحی می‌شوند. در صورتی که نیاز به کاهش صدای بیشتر داشته باشیم از محافظه صوتی کامل استفاده می‌کنیم. در شرایطی که نمی‌توان به طور کامل دسترسی به فضای موردنظر را محدود کرد از محافظه صوتی ناقص استفاده می‌شود. به منظور تعیین نوع محافظه و نیز اتاقک‌سازی ابتدا لازم است اندازه‌گیری دقیقی از صدای محیط به همراه آنالیز فرکانس یک اکتاوباند در شبکه وزنی خطی انجام شود. در طراحی محافظه‌های صوتی دو عنصر تراز فشار صوتی که باید کاهش یابد و فرکانس غالب صوت حائز اهمیت هستند.

از معایب محصورسازی به ویژه نوع کامل آن می‌توان به مشکل افزایش گرما اشاره کرد. این معضل را می‌توان با افزودن یک دمنده تهویه رفع کرد. برای رسیدن به نتیجه مطلوب در اتاقک‌سازی باید درزبندی مناسب و کامل انجام گیرد. وجود هر گونه درز یا روزنه تمام طراحی و اقدامات کنترلی را تحت الشعاع قرار می‌دهد که بر میزان کاهش صدا تاثیر می‌گذارد.

ساخت اتاقک‌های آکوستیک از نظر مصالح، اصولاً به دو گروه اتاقک‌های با مصالح بنایی و مصالح فشرده تقسیم می‌شوند که هر یک دارای مزایا و معایبی هستند. به طور کلی برای مکان‌هایی که فضا و تمیزکاری هنگام اجرا اهمیت بیشتری داشته باشد، از مصالح با لایه‌بندی فشرده استفاده می‌شود.

در طراحی اتاقک اولین رکن مهم مقاومت سازه در مقابل صدمات و ضربات و تنش‌های احتمالی است، لذا لازم است اصول مکانیکی سازه رعایت شود. اتاقک‌ها باید همواره دارای فونداسیون مناسب باشند و در صورت لزوم از اتصالات میراکننده ارتعاش در اتصال سازه اتاق به فونداسیون استفاده شود. سایر موارد مانند مقاومت در برابر حریق، عدم سمیت مصالح و رعایت نکات زیبایی‌شناسی و معماری نیز ضروری است. محافظه صوتی برای کارکنان با استقرار دائم باید دارای حداقل حجم فضای ۱۲ مترمربع به ازای هر نفر بوده و ۲۰ فوت مکعب در دقیقه هوای تازه شرایط سازی شده در نظر گرفته شود. وجود پنجره به تعداد و ابعاد مناسب، درب تردد اصلی و خروج اضطراری، روشنایی متناسب، سامانه آلام حریق و... ضروری است.

## ۵-۱۰ وسایل حفاظت شنوایی<sup>۱</sup>

یکی دیگر و به‌عنوان آخرین راه‌حل برای کنترل صدا در گیرنده، استفاده از وسایل حفاظت شنوایی می‌باشد. حفاظت فردی از دستگاه شنوایی همواره به‌عنوان راه‌حل کمکی یا موقت توأم با موفقیت مطرح شده‌است. این تکنیک ترجیحاً برای ساعاتی که کارگر با بیشترین تراز فشار مواجهه داشته و یا در زمانی که دستگاه‌های کنترل صدا به‌طور موقت از کار افتاده‌اند، مجاز به حساب می‌آید. حفاظ‌های شنوایی شامل حفاظ روگوشی<sup>۲</sup>، حفاظ توگوشی<sup>۳</sup>، مواد شکل‌پذیر، قالب گوش<sup>۴</sup> و کلاه محافظ<sup>۵</sup> می‌باشند (به IPS-M-SF- 325 مراجعه کنید).

<sup>1</sup> Hearing protective devices

<sup>2</sup> Ear Muff

<sup>3</sup> Ear Plug

<sup>4</sup> Ear Mold

<sup>5</sup> Protective helmet

## ۵-۱۰-۱ انواع حفاظ‌های شنوایی و معیارهای انتخاب آنها


- ۱) حفاظ رو گوشی: روی لاله گوش را به طور کامل می پوشاند. فقط قادر به کنترل صدای هوایی می باشد و صدای منتقله از راه استخوان جمجمه را کنترل نمی کند. کیفیت آنها بسیار مهم است.
  - ۲) حفاظ تو گوشی: یک جسم نرم (فوم، سیلیکون یا لاستیک) قابل اتساع یا ارتجاع می باشد که در داخل مجرای گوش قرار می گیرد. رعایت بهداشت فردی و نحوه استفاده مهم است. (استفاده مشترک ممنوع)
  - ۳) مواد شکل پذیر: به صورت الیاف یا مواد نرم یکبار مصرف می باشند. رعایت نظافت در استفاده از آنها مهم است.
  - ۴) قالب گوش: پس از انجام قالب گیری مجرای شنوایی، متناسب با شکل مجرا از مواد مقاوم در برابر عبور صوت ساخته می شود.
  - ۵) کلاه محافظ: برای مشاغلی که امکان بروز صدمات مکانیکی بر سر وجود دارد و نیز برای کنترل صوت BC و حفاظت بافت مغز در برابر صدمات موج صوتی مناسب است؛ مثل کلاه خلبان ها
  - ۶) حفاظ توام : استفاده همزمان از حفاظ تو گوشی و رو گوشی است. به صورت موقت مورد استفاده قرار می گیرد و حفاظت بیشتری ایجاد می نماید.
- جدول ۴ انواع اصلی حفاظ های شنوایی، مزایا و معایب آنها، نحوه مراقبت و نگهداری و غیره را به تفصیل شرح می دهد.

### جدول ۴- انواع حفاظ‌های شنوایی: مزایا، نکاتی در مورد تناسب و استفاده از آنها، مراقبت و تعمیر و نگهداری

نوع	توضیحات	مزایا	نکاتی در مورد تناسب و استفاده از آنها	مراقبت، تعمیر و نگهداری
حفاظ روگوشی	کاپ‌های پلاستیکی سخت که روی گوش‌ها قرار می‌گیرند و اطراف آن‌ها را احاطه می‌کنند و با بالشتکی از یک فوم پلاستیکی نرم یا مایع چسبناک درزبندی می‌شوند. سطوح داخلی کاپ‌ها با مواد جاذب صدا، پوشیده شده است. در طیف وسیعی از اندازه‌ها موجود است.	جاسازی و استفاده آسان. سهولت نظارت بر استفاده توسط افراد	ممکن است در شرایط گرم ناراحت کننده باشد. ممکن است برای استفاده با عینک ایمنی و سایر اشکال PPE مناسب نباشد (سازگاری را بررسی کنید). موهای بلند، کلاه‌های پشمی، ریش و جواهرات ممکن است با درزبندی آن تداخل داشته باشند و حفاظت آن را کاهش دهند.	درزبندی را از نظر تمیزی، سخت شدن، پارگی و تغییر دادن بررسی کنید. وضعیت کاپ را از لحاظ ترک، سوراخ، آسیب و ... بررسی کنید. از خم کردن یا چرخاندن بیش از حد هدبند، که ممکن است عملکرد آن را کاهش دهد خودداری کنید. در محیط تمیز نگهداری شود دستورالعمل‌های تولیدکننده را دنبال کنید



<p>درزبندی را از نظر تمیزی، سخت شدن، پارگی و تغییر دادن بررسی کنید.</p>	<p>ممکن است برای استفاده با عینک ایمنی و سایر اشکال PPE مناسب نباشد (سازگاری را بررسی کنید). عملکرد خوب بستگی به ترکیب مناسب کلاه/ایرماف و تناسب آن با اندازه سر دارد ممکن است در شرایط گرم ناراحت کننده باشد. موهای بلند، کلاه‌های پشمی، ریش و جواهرات ممکن است با درزبندی آن تداخل داشته باشند و حفاظت آن را کاهش دهند.</p>	<p>می‌تواند بر مشکلات ناشی از سازگاری با کلاه‌های سخت غلبه کند.</p>	<p>کاپ‌های مجزا که معمولاً با بازوهای قابل تنظیم به کلاه ایمنی متصل می‌شوند. اطلاعات مربوط به حفاظت صدا باید برای ترکیب خاصی از ایرماف و هلمت به دست آید.</p>	<p><b>حفاظ روگوشی نصب شده روی کلاه</b></p> 
<p>حفاظ‌های قابل استفاده مجدد را به طور مرتب تمیز کنید و مطمئن شوید که آسیب یا خراب نشده‌اند - دستورالعمل‌های سازنده را دنبال کنید. حفاظ‌های یکبار مصرف فقط یک بار باید استفاده شود. هنگام وارد کردن ایرپلاگ در گوش دست‌ها باید تمیز باشند. حفاظ‌های قابل استفاده مجدد باید فقط توسط یک شخص استفاده شود و به صورت اشتراکی با دیگران استفاده نشود. از عرضه کافی حفاظ‌های توگوشی یکبار مصرف اطمینان حاصل کنید. دستورالعمل‌های سازنده را دنبال کنید</p>	<p>فیت کردن آن‌ها در گوش گاهی دشوار است - فقط زمانی موثر خواهد بود که به درستی در گوش فیت شوند، بنابراین نصب صحیح ضروری است. دستورالعمل‌های سازنده را ببینید و آموزش‌های لازم را ارائه دهید. بررسی فیت کردن صحیح آن‌ها در گوش با مشاهده کردن مشکل است. در طول زمان کاری ممکن است در گوش شل شوند، بنابراین بررسی کنید و در صورت مشکل آن‌ها را دوباره در محیطی کم صدا در گوش فیت کنید. در جاهایی که محافظ شنوایی اغلب زیاد از گوش برداشته می‌شود، به خصوص در محیط‌های پر گرد و غبار یا کثیف، ممکن است مناسب نباشد. ممکن است به دلیل شرایط پزشکی برای افراد خاصی مناسب نباشد. نظارت بر استفاده آنها توسط افراد مشکل است.</p>	<p>اغلب برای استفاده با عینک ایمنی و سایر اشکال PPE مناسب است.</p>	<p>حفاظ توگوشی در گوش قرار می‌گیرند یا مجرای گوش را می‌پوشانند. برای جلوگیری از گم شدن به یک بند متصل هستند. برخی از این حفاظ‌ها قابلیت استفاده مجدد دارند و برخی دیگر پس از یک بار استفاده باید دور ریخته شوند. در اشکال مختلف (پیش شکل، قابل شکل دادن توسط کاربر) و اندازه‌های مختلف موجود است.</p>	<p><b>حفاظ توگوشی</b></p> 

همانند حفاظهای توگوشی	قبل از اینکه فرد از این حفاظ خود استفاده کند، مطمئن شوید که قالب سفارشی مناسب است. اگر ساخت و نصب اولیه آن به درستی انجام نشود، عملکرد ضعیفی خواهد داشت.	برای برخی از کاربران ممکن است نصب آن‌ها نسبت به سایر انواع حفاظ آسان تر باشد، و از این رو ممکن است محافظت بیشتری را فراهم کند. راحتی افراد	حفاظهای توگوشی که از موادی مانند لاستیک سیلیکونی ساخته شده‌اند و به صورت فردی برای گوش‌های آن فرد قالب‌گیری می‌شوند.	<p><b>حفاظهای توگوشی (قالب گوش)</b></p> 
-----------------------	--	--	--	---

### ۵-۱۰-۲ عوامل موثر بر انتخاب حفاظهای شنوایی

(الف) تناسب با کار در حال استفاده

(ب) میزان کاهش صدا<sup>۱</sup>

(ج) سازگاری با سایر تجهیزات ایمنی

(د) الگوی مواجهه صوتی

(ه) نیاز به برقراری ارتباط و شنیدن اصوات هشدار دهنده

(و) تناسب ابعاد و اندازه‌ها با ابعاد ارگونومیک سر

(ز) هزینه تعمیر و نگهداری یا تعویض

(ح) راحتی و ترجیح کاربر

(ط) سهولت استفاده/ سهولت نصب

(ی) سهولت نظارت بر استفاده (صحیح) از آنها

(ک) عوامل محیطی مانند گرما، رطوبت، گرد و غبار و کثیفی

(ل) هرگونه مشکل پزشکی که ممکن است کاربر داشته باشد.

### ۵-۱۰-۳ اطلاعاتی در مورد وسایل حفاظت شنوایی برای کارکنان

وسایل حفاظت شنوایی تنها زمانی مؤثر خواهند بود که به درستی استفاده و فیت یا نصب شوند. لذا باید به کاربران نحوه استفاده

صحیح و نصب (فیت) آموزش‌هایی شامل موارد ذیل داده شود:

(الف) چرا برای آن‌ها محافظ شنوایی فراهم می‌شود.

(ب) کجا و چه زمانی باید از آنها استفاده شود.

(ج) چگونگی تداخل ایجاد شده توسط موهای بلند، کلاه‌های پشمی، عینک و گوشواره بر اثربخشی محافظ شنوایی آنها.

(د) در صورت لزوم، چگونگی پوشیدن محافظ شنوایی در ترکیب با سایر تجهیزات حفاظت فردی.

<sup>1</sup> Noise Attenuation

(ه) اهمیت استفاده از محافظ شنوایی خود در تمام اوقات در یک محیط پر صدا.

(و) چگونگی نگهداری صحیح از وسایل حفاظت شنوایی فردی.

(ز) نحوه مراقبت و بررسی محافظ شنوایی در فواصل زمانی مکرر.

(ح) تعیین مکان گزارش آسیب دیدگی محافظ شنوایی آنها.

(ط) چگونگی تهیه جایگزین یا محافظ‌های جدید.

## ۵-۱۰-۴ نظارت‌های بهداشتی برای پیشگیری از آسیب شنوایی

کارفرما مسئولیت انجام نظارت‌های بهداشتی مناسب را برای پیشگیری از آسیب شنوایی دارد. نظارت بهداشتی (از جمله بررسی شنوایی) باید برای همه کارکنانی که مواجهه صوتی منظم و مکرر بالاتر از حد مراقبت قانونی یا در معرض ریسک افت شنوایی ناشی از صدا<sup>۱</sup> NIHL قرار دارند انجام گردد. نظارت بهداشتی برنامه‌ای شامل معاینات دوره‌ای و مناسب است که توسط افراد ذیصلاح انجام و تفسیر می‌شود تا علائم و نشانه‌های اولیه بیماری ناشی از کار را شناسایی کند و اقداماتی برای جلوگیری از پیشرفت آن و محافظت از سایر کارکنان پیشنهاد شود. نظارت بهداشتی برای NIHL شامل موارد زیر است:

(الف) بررسی منظم شنوایی (تست شنوایی سنجی) برای اندازه‌گیری حساسیت شنوایی در طیف وسیعی از فرکانس‌های صوتی در بازه‌های زمانی حداکثر سالانه.

(ب) اطلاع‌رسانی به کارکنان در مورد وضعیت شنوایی آنها.

(ج) نگهداری سوابق بهداشتی.

(د) اطلاع‌رسانی به کارفرمایان از یافته‌های مهم از نظر تناسب شغلی برای افراد.

(ه) تأکید بر اهمیت برنامه‌های کنترل صدا و حفاظت شنوایی در محل کار.

## ۵-۱۰-۵ روش‌های تعیین کارایی حفاظ‌های شنوایی

(۱) محاسبات سرانگشتی: طبق استاندارد اداره ایمنی و بهداشت حرفه‌ای آمریکا (OSHA<sup>۲</sup> 1910) برای مواجهه با صدای باند پهن کاربرد دارد. بر اساس این معیار از مقادیر افت انتقال عملیاتی درج شده NRR (دارای تاییدیه معتبر) در کاتالوگ حفاظ ۷ واحد دسی‌بل کسر و باقیمانده تقسیم بر دو می‌گردد. به طور مثال اگر  $NRR=24\text{ dB}$  باشد، برآورد سرانگشتی کاهش عملیاتی صدا توسط این حفاظ برای صدای باند پهن  $8/5$  دسی‌بل خواهد بود.

(۲) روش محاسباتی: شامل روش‌های مختلفی از جمله: روش محاسبات اکتاوباند و روش نسبت کاهش صدا (NRR) می‌باشد؛ در این روشها ابتدا نتایج آنالیز فرکانس در شبکه‌های وزنی مرتبط انجام و با جدول مندرج در کاتالوگ معتبر حفاظ شنوایی مقایسه و پس از انجام محاسبات مربوطه، برآوردی از میزان کاهش صدای ناشی از این حفاظ انجام می‌گردد. روش‌های ۱ و ۲ دقیق نیست و فقط شامل تخمین و برآورد است.

<sup>۱</sup> Noise-Induced Hearing Loss

<sup>۲</sup> Occupational Safety and Health Administration

۳) روش آزمون عملی: شامل روش‌های دوزیمتری داخل گوش، تست با ماند افزار (فیکسچر) و تست با مانکن است. در این روشها میزان دریافت صدا قبل و بعد از نصب حفاظ شنوایی روی گوش فرد یا روی وسیله تست حفاظ شنوایی در محل کار یا در محل آزمایشگاه با صدای شبیه‌سازی شده مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود و میزان افت انتقال عملیاتی حفاظ برای صدای مورد نظر تعیین می‌گردد.

#### ۵-۱۱ تهیه مستندات فنی مرتبط با کنترل صدا شامل: نقشه‌ها، اطلاعات فنی تجهیزات و اطلاعات مربوط به نحوه

#### نگهداری تجهیزات و اطلاعات مربوط به مواجهه کارکنان با صدا

از مرحله طراحی تا مرحله نصب و بهره‌برداری، لازم است کلیه مستندات فنی مرتبط با تولید، انتشار و کنترل صدا و همچنین اطلاعات مربوط به تعمیرات و نگهداری تجهیزات ثبت و نگهداری گردد. همچنین اطلاعات مربوط به نتایج اندازه‌گیری صدای تجهیزات، صدای محیطی و مواجهه کارکنان با صدا نگهداری گردد تا امکان بهره‌برداری از آنها برای بررسی روند تغییرات، پایش وضعیت و مقایسه نتایج مداخلات وجود داشته باشد. تصمیم‌گیری در مورد محل نگهداری این اسناد با مدیریت است، لیکن باید نسخه‌ای از آن در واحد HSE نگهداری شده باشد. این مستندات باید شامل اطلاعات مربوط به تراز توان یا تراز نشر صوتی منابع، نقشه‌های محل استقرار آنها، تاریخ نصب و نتایج تعمیرات و نگهداری ادواری، هرگونه تغییر در فناوری و ماهیت مکانیکی و عملکرد دستگاه، نتایج اندازه‌گیری صدای تجهیزات، نتایج اندازه‌گیری محیطی صدا، نتایج اندازه‌گیری موضعی صدا برای کارکنان و سایر اطلاعات مشابه باشد.

#### ۶ - روش‌های فنی کنترل صدا در صنعت

کنترل صدا زمانی در محیط کار و محیط زیست اهمیت می‌یابد که آلودگی صدا سبب آزار افراد یا تهدیدی برای سلامت آنان باشد لذا، کنترل صدا با هدف کنترل اثرات آن و تامین آسایش افراد می‌باشد. از دیدگاه مدیریت صدا، تصمیم‌گیری برای کنترل آن می‌بایست از زمان طراحی محیط و فرآیندهای صنعتی صورت پذیرد. اجرای بسیاری از روش‌های کنترل صدا ساده است، اما برای اکثر آنها باید توجه ویژه‌ای به جزئیات داشته باشیم و برخی روش‌ها نیز به مهارت‌ها و دانش تخصصی نیاز دارند. اولویت بندی روشهای کنترل صدا به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

(الف) حذف یا به حداقل رساندن خطرات ناشی مواجهه صدا

(ب) اصلاح فرایند کاری یا تجهیزات با هدف کاهش انتشار صوت

(ج) جایگزینی ماشین آلات و تجهیزات با توان صوت کمتر

(د) سازماندهی محیط کار و چرخش شغلی

(ه) کنترل صدا در مسیر انتشار صوت

(و) کنترل صدا در محل شنونده



با توجه به موارد اشاره شده در بالا اساساً سه رویکرد کلی کنترل صدا شامل کنترل فنی- مهندسی، مدیریتی و حفاظت فردی می‌باشد. بر طبق قوانین صدا، کنترل از طریق روش‌های فنی یا مدیریتی نسبت به استفاده از وسایل حفاظت شنوایی فردی اولویت دارد زیرا:

الف) کنترل صدا معمولاً مقرون به صرفه ترین راه حل برای طولانی مدت است.

ب) کنترل صدا در منبع از تعداد زیادی افراد در محیط کار محافظت می‌کند.

ج) وسایل حفاظت شنوایی فردی تنها از فردی که از این وسایل استفاده می‌کند محافظت نموده و در اغلب موارد نیز حفاظت مورد انتظار را برآورده نمی‌کنند.

روشهای عمومی کنترل فنی- مهندسی به دو گروه کنترل مبتنی بر سازه<sup>۱</sup> و کنترل فعال<sup>۲</sup> تقسیم بندی می‌شوند. روش کنترل مبتنی بر سازه که براساس تشخیص مهندسیین کنترل صدا بکار گرفته می‌شود شامل مراحل زیر می‌باشد:

الف- کنترل در مرحله طراحی

ب- کنترل در منبع صدا

ج- کنترل در مسیر و محیط انتشار صوت

د- کنترل در محل دریافت (وسایل حفاظت فردی و پناهگاه‌های صوتی)

روش کنترل صدا با استفاده از سازه، شامل استفاده مصالح جاذب یا عایق صوت می‌باشد. مصالح جاذب صوت در سطوح داخلی بنا نصب می‌گردد و تشدید صدا ناشی از بازتابشهای صدا را کنترل می‌نماید. عایق‌های صدا مصالحی هستند که به‌خاطر چگالی سطحی بالا، از عبور صدا از یک مکان به مکان دیگر جلوگیری می‌نمایند. امروزه طیف وسیعی از مصالح جاذب و عایق صوتی در بازار وجود دارد، ولی به‌کارگیری و استفاده از آنها تابع محاسبات علمی بوده و باید توسط متخصص مربوطه انجام گردد.

در روش کنترل فعال از اصوات تولید شده غیر همفاز در منابع تولید برای کنترل آن استفاده می‌شود. در این روش یک سیستم پردازشگر پیشرفته مجهز به دو میکروفون دریافت و میکروفون خطا یاب ابتدا اصوات محیط را دریافت و پس از پردازش اصواتی با فاز مقابل امواج منبع صوتی توسط بلندگو منتشر می‌کنند و در نتیجه تداخل تخریبی امواج تراز فشار صوت محیط انتشار را کاهش می‌دهد. این روش برای منابع با تنوع فرکانسی محدود و اغلب اصوات فرکانس پایین موفقیت زیادی دارد و می‌تواند در فرکانس‌های هدف تا ۱۴ دسی بل صدا را کاهش دهد.

## ۶-۱ تراز توان صوتی مجاز برای تجهیزات

انتخاب تجهیزات در مرحله اولیه پروژه می‌بایست با استفاده از داده‌های معتبر فروشندگان، بانک داده و تجربیات افراد با در نظر گرفتن نوع، اندازه و سرعت تجهیزات به بهترین وجه انجام شود. به‌نحوی که تراز کلی صدای محاسبه شده با توجه به توان صوتی هریک از تجهیزات از حدود مجاز تجاوز نکند. تراز توان صوتی هر یک تجهیزات به‌صورت جداگانه باید با استفاده از مدل‌های علمی معتبر برآورد یا از تراز توان یا فشار صوت تجهیزات مشابه موجود استفاده شود. تراز توان صوتی یا تراز نشر صوتی هریک از

<sup>1</sup> Passive noise control

<sup>2</sup> Active noise control

تجهیزات و موقعیت مکانی آنها مبنای محاسبه تراز صدا در صنعت می‌باشد. محاسبات باید مطابق با استاندارد سری ISO 3740 یا مطابق با استاندارد ملی مورد توافق شرکت انجام شود. اثر دیواره ها و موانع در ساختمانها و مخازن بزرگ باید در صورت لزوم در نظر گرفته شود (تراز صدا در داخل ساختمان ها یا پناهگاه ها باید با در نظر گرفتن صدای تجهیزات درون و بیرون ساختمان بر اساس اصول استاندارد آکوستیک محاسبه شود). در صورتی که تراز صدا از حد مجاز بیشتر شود با بررسی مجدد، تجهیزات با صدای کمتر جایگزین شوند و در صورت نیاز اقدامات کنترل صدا مانند عایق‌سازی یا محفظه آکوستیک استفاده شود.

گزارش صدای تجهیزات در قالب برگه‌های داده باید برای تمام تجهیزات منفرد یا چند بخشی توسط تامین‌کنندگان ارائه شود. باید اطمینان حاصل شود که تأمین‌کننده از تعهد اعلام ضمانت‌های صوتی برای تجهیزات مورد استفاده در هر یک از شرایط عملیاتی آگاه بوده و بخش گارانتی آن توسط تامین‌کننده تکمیل شده است (برگه نمونه داده/الزامات Shell (DEP 31.10.00.94-General) با عنوان "حدود صدای تجهیزات" مراجعه کنید).

### ۶-۲ تراز نشر صوتی مجاز تجهیزات

عملکرد همزمان تجهیزات نباید سبب شود که تراز فشار صوت مجموع از حد مجاز بالاتر باشد. لذا تراز توان یا تراز نشر صوتی هر تجهیز مستند به گواهی آزمایشگاه معتبر باید توسط تامین‌کننده ارائه گردد. تراز نشر صوتی برای تجهیزاتی که می‌توانند به عنوان منابع مهم صدا تلقی شوند، مانند: شیرها، فن‌ها، کمپرسورها، پمپ‌ها، دمنده‌ها که در یک محدوده انتشار صوت قرار می‌گیرند در مرحله طراحی و توسعه باید توسط مهندس مشاور ذیصلاح مورد بررسی قرار گیرند که با در نظر گرفتن فرآیند و خصوصیات آکوستیکی محل، برآوردی از تجمیع صدای همزمان این تجهیزات انجام گردد و نتایج آن اطمینان کافی را از حفظ حدود مجاز مواجهه شاغلین با صدا تامین نماید. در صورتی که محاسبات نشان دهنده عبور تراز تجمیعی ناشی از تجهیزات از حدود مجاز باشد، لازم است تمهیدات لازم جهت جایگزینی آنها با تجهیزات با تراز نشر صوتی پایین‌تر به عمل آید.

### ۶-۳ صدای فلرها<sup>۱</sup>

فلرهای بلند هنگامی که با میزان دبی تا ۱۵٪ حداکثر ظرفیت شعله ور شدن کار می‌کنند نباید از حد منطقه کار در محیط منطقه ایمن<sup>۲</sup> (حداقل ۶۰ متر از پایه فلر) تجاوز کنند. فلرهای زمینی باید دارای حصار آکوستیک مناسب باشند که بتواند در محدوده اطراف خود تراز فشار صوت مجاز محیطی را حفظ نمایند. اگر فرآیندی که فلر به آن اختصاص داده می‌شود مشمول الزامات صدای محیطی باشد، کاربرد فلرهای کم صدا باید مورد ارزیابی قرار گیرد حتی اگر فلر فقط برای شرایط اضطراری استفاده شود.

**توجه:** تعیین تراز توان صوتی برای فلرهای مورد استفاده در هنگام عملیات باید در نظر گرفته شوند.

<sup>1</sup> Flares

<sup>2</sup> Sterile

## ۴-۶ پیش بینی و پیشگیری فنی مواجهه غیر مجاز با صدای شغلی

نظام مراقبت و پایش برنامه‌های HSE باید همواره بررسی‌های مستمری در خصوص اطمینان از اقدامات و پایش مستمر در خصوص پیشگیری از مواجهه غیر مجاز شغلی با صدا انجام دهد و گزارش آنها نیز باید ثبت و به صورت دوره‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد. هر گونه انحراف از برنامه‌های پیشگیری باید از طریق مسیرهای اداری به اطلاع مسئولین ارشد رسانده شود تا اقدامات اصلاحی مورد نیاز برنامه‌ریزی و اجرا گردد.

## ۴-۶-۱ الزامات مورد نیاز پیشگیرانه در طرح‌های ایجاد و توسعه برای کنترل صدا

در طرح‌های توسعه‌ای و احداثی لازم است به همراه گروه مشاورین متداول، یک مشاور ذیصلاح برای ارزیابی پیشگیرانه و پیش‌بینی انتشار صدا در فرایند یا صنعت مورد نظر به کار گرفته شود. در برگه‌های منقشه نیز لازم است فهرست الزامات مشخصات صوتی و ارتعاش تجهیزات و فرآیند از تامین کننده درخواست گردد تا امکان مقایسه سطح فناوری و میزان موفقیت در کنترل صدای منابع تعیین گردد.

## ۴-۶-۲ الزامات فنی در طراحی و توسعه فرآیندها

کنترل صدا و ارتعاش باید همزمان با طراحی سازه‌ها، تاسیسات و فرآیندهای نوین بکار گرفته شود. فرصت‌های مشابهی ممکن است در طول عمر یک تاسیسات، هنگام برنامه‌ریزی برای گسترش یا جایگزینی ایجاد شود. در این زمینه راهکارهای کنترلی مورد استفاده می‌بایست مبتنی بر دانش فنی مربوطه در موارد ذیل باشد:

- مشخصات صدا و ارتعاش تجهیزات و فرآیندهای مورد استفاده (طراحی مشعلها و اتاق‌های احتراق و انفجار، طراحی مناسب ماشین آلات الکتریکی با توجه به نیروهای الکترودینامیکی، مغناطیسی و آیرودینامیکی، طراحی مناسب تیغه‌های فن و طراحی مناسب لوله‌ها و سیستم‌های مجاری هوا (هوای فشرده، هوای تهویه)، و لوله‌های گاز یا مایع نقش تعیین کننده در میزان توان صوتی منتشره از منبع دارد).
- انتخاب سازه‌های مناسب به منظور عایق بندی صدتی و کاهش بازتابش صدا
- جداسازی عملیات یا بخش‌هایی که صدا یا ارتعاش زیادی تولید می‌کنند و کنترل آن دشوار است.
- به‌کارگیری مصالح و ساختارهایی که دارای ضریب عایق یا ضریب تضعیف صدای بالاتری هستند.
- پس از انتخاب تجهیزات مناسب، چگونگی نصب آن باید با توجه به موارد زیر بررسی شود:

۱. نوع صدا و ارتعاش احتمالی منتشر شده

۲. تعداد و نوع ماشین آلات و سایر تجهیزات

۳. تعداد کارگران شاغل در محیط کار

۴. ویژگی‌های آکوستیکی محیط کار

۵. نوع و میزان صدایی که قبل از نصب تجهیزات در محیط کار وجود دارد.

لازم به ذکر است اندازه‌گیری‌ها باید به محض نصب ماشین آلات و تجهیزات انجام شود تا تراز صدا و ارتعاش منتشر شده از آن‌ها مشخص گردد. در زمان طراحی می‌توان میزان انتشار صدا براساس چیدمان و تعداد منابع صوتی را با کمک مدل‌ها و روابط مربوطه در محیط شبیه‌سازی نمود. برای مثال یک نمونه از برآورد صدای لوله‌ها در ادامه آمده است.

## ۶-۴-۲-۱ بررسی افت انتقال نسبی صدای لوله‌ها در فاز طراحی

### ۶-۴-۲-۱-۱ تعیین تراز فشار صوت

برای این کار لازم است از مدل‌های معتبر محاسباتی استفاده شود یا در فرآیندهای مشابه مورد اندازه‌گیری میدانی قرار گیرد. اندازه‌گیری تراز فشار صوت ( $L_p$ ) در فاصله ۱ متری از دیواره لوله انجام و در موارد نامشخص، اطلاعات مربوطه از طریق تولید کننده تجهیزات یا از سایر منابع بدست آید. باید در لوله‌کشی بالادست و پایین دست منبع صدا (پمپ، کمپرسور، دریچه‌ها) به صورت جداگانه تراز فشار صوت اکتاوباند و تراز فشار صوت کلی در شبکه A تعیین گردد. روش اندازه‌گیری بسته به منبع صدای لوله مورد متفاوت است. جدول ۵ اشکال معمول طیف اکتاوباند را برای رایج‌ترین منابع صدا لوله ارائه می‌دهد. لازم به ذکر است داده‌ها یا روش‌های پیش‌بینی صدای خط لوله ناشی از تجهیزات دوار متصل اغلب دشوار است. پیشنهاد می‌شود در صورت عدم دسترسی به داده‌های قابل اعتماد، اندازه‌گیری‌ها بر روی خطوط لوله با اندازه و ضخامت دیواره مشابه‌ای که به تجهیزات مشابه متصل شده اند انجام شود.

جدول ۵ - نمونه‌هایی از طیف‌های صدای ناشی از لوله‌های متصل به منابع مختلف

فرکانس مرکزی اکتاوباند (Hz)							منبع
۸۰۰۰	۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	
تفاوت بین تراز فشار صوت کلی و خطی در شبکه A بر حسب dB							
۷	۵	۶	۹	۱۷	۱۶	۲۰	شیر کنترلی*
۱۲	۱۰	۳	۷	۹	۱۲	۱۵	کمپرسور سانتریفیوژ**
۱۲	۹	۷	۵	۴	۲	۴	پمپ سانتریفیوژ
۸	۸	۸	۶	۵	۴	۳	کمپرسور رفت و برگشتی
* در انشعابات گازی با رسیدن گاز به سرعت صوت، قطر لوله بین ۱۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر است.							
** قطر لوله بیش از ۳۰۰ میلی‌متر است.							

اگر لوله تنها منبع صدا در محیط باشد و تحت شرایط میدان آزاد تابش می‌شود، تراز فشار صوت تعیین شده برای مکان مربوطه را می‌توان مستقیماً با حد صدای محیط کار مقایسه کرد. عایق فشار صوتی مورد نیاز با تفریق کردن به دست می‌آید. در جایی که سایر منابع صدا نیز وجود دارند، قبل از مقایسه با حد صدا محیط کار، تراز کلی صدا باید تعیین شود.

## ۶-۴-۲-۱-۲ تعیین تراز توان صوت

تراز توان صوتی  $L_w$  منتشر شده از کل لوله را می‌توان از تراز فشار صوت اندازه‌گیری شده در میدان آزاد (رابطه ۸) به دست آورد (به ISO 3744 مراجعه کنید):

$$L_w(s) = \bar{L}_p(x,r) + 10 \log \left( \frac{2\pi r s}{S_0} \right) \text{ dB} \quad (8)$$

$S =$  طول لوله ( $r \gg s$ ) بر حسب متر

$S_0 =$  ۱ متر مربع

$D =$  قطر بیرونی لوله بر حسب متر

$r =$  فاصله از محور لوله بر حسب متر (ترجیحا  $r = 1 + \frac{1}{2} D$ ) که ۱ متر از دیواره لوله فاصله دارد.

$\bar{L}_p(x,r) =$  تراز فشار صوت بر حسب دسی بل، که با میانگین‌گیری تراز اندازه‌گیری شده در فاصله  $r$  از محور لوله، در فاصله  $x$  از منبع صدا، در امتداد لوله در شرایط میدان آزاد اندازه‌گیری می‌شود.

توجه: میزان ترجیحی برای  $x$ ، ۱ متر است. در جایی که کاهش صدا در طول لوله ناچیز در نظر گرفته می‌شود، مقادیر بزرگتر  $x$  نیز ممکن است استفاده شود.

اگر لوله طویل است و نمی‌توان در تمام طول آن اندازه‌گیری انجام شود، می‌توان با اندازه‌گیری تراز فشار صدا در نزدیکی منبع و در نظر گرفتن کاهش صدا در طول لوله، تراز فشار صدا را تخمین زد که با استفاده از رابطه ۹ تعیین می‌شود.

$$\bar{L}_p(x,r) = L_p(1,r) - \frac{\beta x}{D} \text{ dB} \quad (9)$$

$L_p(1,r) =$  تراز فشار صوت در فاصله ۱ متری از منبع صدا، در همان فاصله  $r$  از محور لوله مانند  $L_p(x,r)$  است.

$\beta =$  فاکتور کاهش صدا بر حسب دسی بل است.

مقدار  $\beta$ ، ۰/۰۶ دسی بل برای لوله‌های حامل گاز یا بخار (کاهش ۳ دسی بل برای لوله‌های قطر ۵۰) و ۰/۰۱۷ برای مایع (کاهش ۳ دسی بل برای قطر لوله ۱۷۵)، است. اگر برای یک مورد خاص، شواهدی وجود داشته باشد که مقدار  $\beta$  متفاوت است، این مقدار باید استفاده شود. طول لوله قبل از در نظر گرفتن کاهش باید بیشتر از  $(3D/\beta)$  باشد.

بر اساس رابطه ۱۰، تراز توان صوتی  $L_w$  یک لوله طویل را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$L_w(s \rightarrow \infty) = L_p(1,r) + 10 \log rD/S_0 \beta \text{ dB} + 14.4 \text{ dB} \quad (10)$$

$\beta =$  مقدار عددی ضریب کاهش است.

نکته ۱: معادله کامل رابطه بین  $L_w(s)$  و  $L_p(1,r)$  به صورت زیر است:

$$L_w(s) = L_p(1,r) + 10 \log \left( \frac{2\pi r D}{0.1 S_0 \beta \ln 10} \right) \text{ dB} + 10 \log \left( 1 - 10 \frac{0.1 \beta s}{D} \right) \text{ dB} \quad (11)$$

معادله (۱۱) برای مقادیر کوچکتر  $\beta s/D$  به معادله (۹) و برای لوله‌های بسیار طویل به معادله (۱۰) تبدیل می‌شود.

نکته ۲: خطاهای مربوط به استفاده از رابطه (۸) برای لوله‌های طویل‌تر از  $(3 D/\beta)$  و در استفاده از رابطه (۱۰) برای لوله‌های کوتاه‌تر، کمتر از ۳ دسی بل است.

نکته ۳: صدای ناشی از لوله می‌تواند توسط سیال یا دیواره لوله یا هر دو منتقل شود. سیستم‌های عایق صوتی برای هر دو حالت موثر است. پیش‌بینی انتشار صدا توسط دیواره لوله دشوار است.

نکته ۴: سهم لوله در ایجاد صدا در محیط پر بازتاب از تراز توان صوتی آن محاسبه می‌شود و باید به مقدار سایر منابع اضافه شود. برای صدای محیطی، سهم لوله در کل تراز توان صوتی محیط کار، یا در ایجاد تراز فشار صدا در نقطه مجاور، باید محاسبه شود.

#### ۶-۴-۲-۲-۲-۲ افت انتقال نسبی مورد نیاز: صنایع و بخش‌های در حال کار

در کارخانه‌های عملیاتی و در حال کار، ارزیابی صدای لوله بر اساس اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. در جایی که صدای لوله به طور قابل توجهی بیشتر از صدای زمینه است، می‌توان مستقیماً به عنوان تراز فشار صدا اندازه‌گیری شود. مجدداً، لوله‌های بالادست و پایین دست منبع باید به طور جداگانه در نظر گرفته شوند.

اگر صدای زمینه قابل توجه باشد، صدای لوله را اغلب می‌توان با اندازه‌گیری شدت صدا تعیین کرد. با این حال، اندازه‌گیری داخلی شدت صدای لوله ممکن است دشوار باشد و به تجهیزات و تخصص خاصی نیاز داشته باشد.

راه حل سوم برای ارزیابی صدای لوله، اندازه‌گیری میزان سرعت ارتعاش سطح لوله با استفاده از مفهوم کارایی تابش در رابطه ۱۲ محاسبه می‌گردد.

$$L_p(x,r) = L_v + 10 \log \sigma \text{ dB} + 10 \log \left( \frac{D}{2r} \right) \text{ dB} \quad (12)$$

$$L_v = \text{میزان سرعت ارتعاش دیواره لوله} = (10 \log (V/v_0) \text{ dB})$$

$$5 \times 10^{-8} \text{ m/s} = v_0$$

$$\sigma = 10 \log \sigma = \text{راندمان تابش است} \quad (10 \log \sigma) \text{ منفی است بطوریکه } 0 < \sigma < 1$$

برای اهداف عملی، مقدار  $\sigma$  با استفاده از رابطه ۱۳ محاسبه می‌گردد.

$$\sigma = \frac{1}{1 + \left( \frac{c}{4Df} \right)^2} \quad (13)$$

$c$  = سرعت صوت در هوا و بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد.

$f$  = فرکانس مرکزی اکتاو باند بر حسب هرتز می‌باشد.

نکته: این روش بدلیل دارا بودن دقت کمتر در تخمین بازده تشعشع و نیاز به تخصص و تجهیزات از ارجحیت کمتری برخوردار است. با این حال، در موقعیت‌های با تراز صدای محیطی بالا یا در مواردی که محیط اجازه اندازه‌گیری دقیق شدت آکوستیک را نمی‌دهد، تنها روش مورد استفاده خواهد بود.

### ۶-۴-۲-۲-۱ طول عایق صوتی

صدای منتشر شده از دیواره لوله معمولاً توسط تجهیزات متصل به لوله مانند کمپرسورها، پمپ ها، شیرها یا اجکتورها تولید می شود. کاهش اندک صدای ناشی از منابع صوتی در طول لوله ممکن است باعث ایجاد صدا در بخش های زیادی از آن شود. برای کنترل صدا لوله ها معمولاً باید آن ها عایق بندی شوند و گاهی اوقات به سایلنسرها نیز مجهز شوند، مگر اینکه بتوان نشان داد که کاهش ایجاد شده در طول لوله، صدا را به اندازه کافی در پایین دست و بالادست منبع کاهش داده است و عایق بندی بیشتر نیاز نمی باشد. این مورد مطابق با معادله (۹) ممکن است نقطه ای باشد که سهم لوله در تراز صدا کمتر از مقدار هدف باشد.

در طراحی عایق صوتی برای لوله ها، کاهش مورد نیاز صدای لوله می بایست بر حسب اکتاوباند تعیین شود (با توجه به جدول ۶ کلاس عایق مورد نیاز در نظر گرفته شود).

جدول ۶ - مقادیر کاهش تراز صدای مورد انتظار در عایق گذاری لوله های متصل به انواع منابع صدا

کاهش تراز کلی فشار / توان صوتی مورد انتظار در شبکه A *				قطر $D$ (mm)	کلاس
کمپرسورهای رفت و برگشتی	شیر کنترلی	کمپرسورهای سانتریفیوژ	پمپ سانتریفیوژ		
۵	۱۴	۱۰	۴	$D < 650$	A1 و A2
۹	۱۸	۱۵	۹	$D \geq 650$	A3
۵	۱۶	۱۱	۵	$D < 300$	B1
۶	۱۸	۱۴	۶	$300 \leq D < 650$	B2
۱۰	۲۲	۱۸	۱۰	$D \geq 650$	B3
۹	۲۲	۱۸	۹	$D < 300$	C1
۱۰	۲۴	۲۰	۱۱	$300 \leq D < 650$	C2
۱۷	۲۹	۲۵	۱۷	$D \geq 650$	C3

\* مناطق سایه دار نشان می دهد که نوع خاصی از عایق ممکن است برای کاربرد مقرون به صرفه نباشد یا یک کاربرد غیر معمول را نشان دهد.

در عایق بندی با هدف کاهش تراز توان صوتی، طول لوله مورد نظر ( $L$  بر حسب متر) از رابطه ۱۴ بدست می آید:

$$l = \frac{10 D}{\beta_0} \times \log \left( \frac{1-a}{R-a} \right) \quad (14)$$

$D =$  قطر لوله بر حسب متر است.

$$10^{\frac{\Delta L_w}{10}} = R$$

$$Lw_{with} - Lw_{without} = \Delta L_w \text{ (کاهش مد نظر بر حسب تراز توان صوت) بر حسب دسی بل}$$

$$10^{(-D_w/10)} = a$$

$D_w =$  افت الحاقی ایجاد شده توسط عایق بر حسب دسی بل است (جدول ۷)

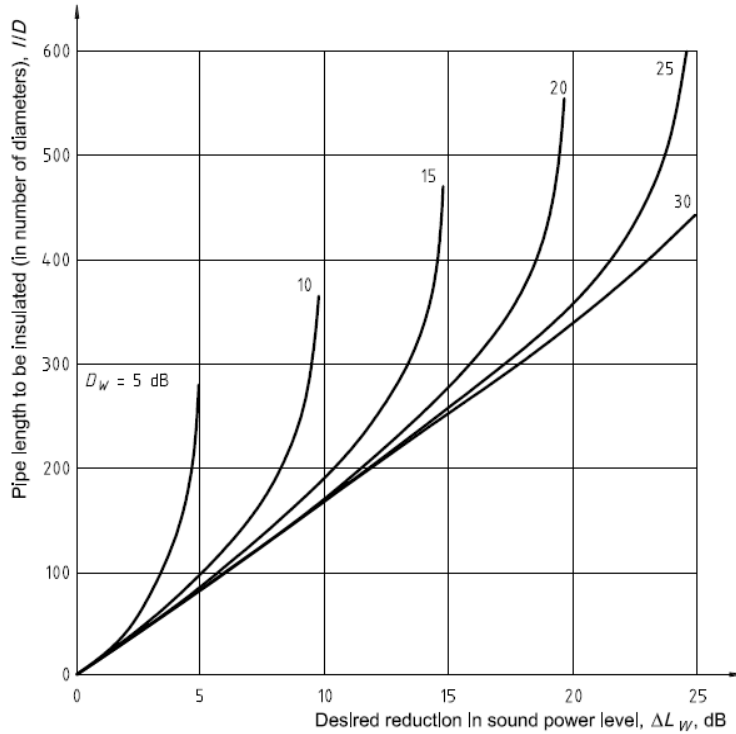
جدول ۷- حداقل افت انتقال نسبی مورد نیاز برای هر کلاس

فرکانس مرکزی اکتاوباند (Hz)							قطر $D$ (mm)	کلاس
۸۰۰۰	۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵		
حداقل افت الحاقی (dB)								
۲۹	۲۲	۱۶	۹	۲	-۴	-۴	$D < 300$	A1
۲۹	۲۲	۱۶	۹	۲	-۴	-۴	$300 \leq D < 650$	A2
۳۰	۲۴	۱۹	۱۳	۷	۲	-۴	$650 \leq D < 1000$	A3
۳۵	۲۷	۱۹	۱۱	۳	-۳	-۹	$D < 300$	B1
۴۲	۳۳	۲۴	۱۵	۶	-۳	-۹	$300 \leq D < 650$	B2
۴۲	۳۶	۲۹	۲۰	۱۱	۲	-۷	$650 \leq D < 1000$	B3
۴۲	۳۸	۳۴	۲۳	۱۱	-۱	-۵	$D < 300$	C1
۴۲	۳۸	۳۴	۲۴	۱۴	۴	-۷	$300 \leq D < 650$	C2
۴۲	۳۸	۳۴	۲۶	۱۷	۹	۱	$650 \leq D < 1000$	C3

رابطه بین متغیرهای معادله (۱۴) در شکل ۵ نشان داده شده است، هم‌چنین ضریب کاهش صوت  $\beta_0$  را  $0.06$  در نظر گرفته شده است. بر طبق شکل ۳، عملکرد عایق صوتی (افت انتقال نسبی) به میزان کاهش توان صوت محدود می‌شود، یعنی  $R$  باید بزرگ‌تر از  $a$  باشد. بر این اساس با توجه به توان صوت منتشر شده، انتخاب کلاسی از عایق با افت انتقال نسبی بالاتر بدلیل طول مورد نیاز کمتر جهت عایق بندی مقرون به صرفه‌تر می‌باشد.

توجه: هر دو معادله (۱۴) و شکل ۵ را می‌توان برای مقادیر اکتاوباند یا تراز کلی صدا استفاده کرد.





شکل ۵- نسبت طول به قطر لوله ای که برای دستیابی به کاهش مد نظر در تراز توان صوت به عنوان تابعی از افت انتقال نسبی

عایق، باید عایق بندی شود ( $\beta = 0,06$ )

#### ۶-۴-۲-۲-۲ کلیات طراحی لوله

ضروری است که در مراحل اولیه طراحی اطمینان حاصل شود که آرایش لوله‌ها بگونه‌ای باشد که فضایی برای حجم و جرم عایق صوتی وجود داشته باشد. معمولاً نصب عایق صوتی روی لوله‌ها به‌عنوان یک اقدام اصلاحی به دلیل کمبود فضای بین لوله‌های مجاور و قرار گرفتن لوله‌ها در ارتفاع نادرست مشکل است و نمیتوان به راحتی بست‌های مناسب لوله و عایق‌بندی ارتعاش را نصب کرد. بنابراین مهندس کنترل صدا باید در ابتدا بر اساس داده‌های صدای تخمینی، تراز صدای موجود در لوله اصلی را در مراحل اولیه طراحی تخمین زده و بر روی نمودارهای لوله‌کشی و تجهیزات، نقشه‌های مهندسی فرآیند یا سایر اسناد مرتبط، بخش‌هایی از لوله که می‌بایست عایق گذاری شوند، علامت‌گذاری کند. در عین حال، جایگزینی منابع کم صدا یا استفاده از سایلنسر ممکن است مناسب تر باشد.

طراحی پشتیبان و آویزهای لوله باید فضای کافی را برای نصب عایق صوتی فراهم کند. هنگامی که لوله توسط یک سازه فولادی پشتیبانی یا از آن آویزان می‌شود، باید از تکیه گاه‌ها یا آویزهای ارتجاعی استفاده نمود. در صورت از کار افتادن مولفه ارتجاعی، آنها باید دارای یک توقف مکانیکی باشند تا حرکت لوله را محدود کنند. روش حمایت از لوله باید بین هر دو مسئول بخش طراحی مکانیکی و آکوستیک مورد توافق قرار گیرد.

**نکته:** آویزهای فنری که برای لوله هوایی (سربالا) استفاده می‌شوند در صورت انبساط حرارتی، لزوماً عملکرد صوتی رضایت بخشی نخواهند داشت.

## ۶-۴-۲-۳ برآورد کاهش کلی صدا

معمولاً برای استفاده از عایق صوتی بر اساس اندازه‌گیری تراز فشار یا توان صدا در شبکه وزنی  $A$  بر حسب دسی‌بل در یک لوله بدون سایلنسر اقدام می‌شود. با این حال، محاسبه اثربخشی عایق صوتی بر حسب تراز کلی ( $dB$ ) اکتاوباند انجام می‌شود. در صورت امکان، مقادیر واقعی تراز کلی صدای لوله مورد نظر در اکتاوباند باید بدست آید. در صورت داشتن تراز کلی صدا ( $dB$ ) به تنهایی طیف اکتاوباند را می‌توان با استفاده از جدول ۵ تخمین زد. اصلاحات جدول ۵ باید از تراز فشار یا توان صوت در شبکه وزنی  $A$  کم شود تا طیف اکتاوباند خطی حاصل گردد.

میزان تاثیر عایق صوتی با تفاضل افت انتقال نسبی قبل و بعد نصب عایق مورد نظر به ازای هر اکتاوباند به دست می‌آید. پس از عایق سازی و اعمال مقادیر اصلاحی، تراز کلی فشار یا توان صدا ( $dB$ ) در شبکه  $A$  در طیف اکتاوباند بدست می‌آید. افت انتقال نسبی ( $dB$ ) بیانگر میزان تفاضل تراز صدای لوله با و بدون عایق می‌باشد. جدول ۸ مثالی از محاسبه کاهش صدای کلی یک لوله ۲۰۰ میلی متری عایق بندی شده با عایق صوتی کلاس  $A$  و متصل به شیر کنترل را نشان می‌دهد. تراز ۱۰۰ دسی بل لوله بدون عایق فقط برای مقاصد محاسباتی در نظر گرفته شده است.

شرایط میدانی و کیفیت کاربرد عایق می‌تواند به طور قابل ملاحظه ای با شرایط آزمایشگاهی که در آن مقادیر افت انتقال نسبی تعیین شده است متفاوت باشد. یک مقدار اصلاحی (با استفاده از جدول ۷) برای در نظر گرفتن این اختلاف باید توسط طراح برآورد و تعیین شود. دلایل این اختلاف شامل موارد زیر است، اما محدود به آنها نیست:

- صدای منتشر شده توسط سازه پشتیبان لوله

- صدای منتشر شده توسط تجهیزات و لوله‌های کوچک متصل به لوله

- عدم نصب عایق صوتی بر طبق طراحی انجام شده

این اختلافات معمولاً برای کلاس‌های بالاتر عایق صوتی بیشتر است. به عنوان مثال، انتظار می‌رود که تفاوت بین افت انتقال شرایط آزمایشگاهی و میدانی برای عایق‌های کلاس  $B$  و  $C$  بیشتر از نوع کلاس  $A$  باشد.

### جدول ۸ - مثالی از محاسبه انجام شده

تراز کلی صدا $dB$	فرکانس مرکزی اکتاوباند (Hz)							کمیت
	۸۰۰۰	۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	
۱۰۰								تراز فشار صوت شیر متصل شده به لوله
	۷	۵	۶	۹	۱۷	۱۶	۲۰	اصلاح منبع برای صدای شیر
	۹۳	۹۵	۹۴	۹۱	۸۳	۸۴	۸۰	برآورد تراز فشار صوتی از لوله
	۲۹	۲۲	۱۶	۹	۲	-۴	-۴	افت الحاقی کلاس $A1$ و $A2$
	۶۴	۷۳	۷۸	۸۲	۸۱	۸۸	۸۴	تراز فشار صوتی لوله عایق شده
	-۱/۱	+۱/۰	+۱/۲	۰	-۲/۳	-۸/۶	-۱۶/۱	مقدار توزین فرکانس شبکه $A$

۸۶	۶۳	۷۴	۷۹	۸۲	۷۸	۷۹	۶۸	تراز فشار صوتی در شبکه A لوله عایق شده
۱۴								کاهش تراز فشار صوتی dB

مقادیر کاهش صدای مورد انتظار را می‌توان برای انواع منابع و عایق‌های مختلف محاسبه کرد. بر اساس طیف اکتاوباند جدول ۵ و با استفاده از مقادیر حداقل افت انتقال نسبی جدول ۷، کاهش تقریبی تراز صدا در شبکه A (dB) با کلاس‌های مختلف عایق برای انواع منابع به دست آمده است. مهندس کنترل صدا باید ارزیابی خود را بر اساس داده‌های واقعی موجود انجام دهد.

### ۳-۴-۶ الزامات فنی مورد نیاز در تامین تجهیزات

#### ۱-۳-۴-۶ مشخصات تجهیزات جدید

- سازندگان باید تجهیزات تولیدی خود را بگونه‌ای طراحی کنند که صدا و ارتعاش منتشر شده از آن‌ها در کمترین حد ممکن باشد.
- سازندگان باید اطلاعاتی در مورد در دسترس بودن لوازم جانبی که همراه با خود تجهیزات ارائه نمی‌شوند، اما ممکن است برای کنترل صدا و ارتعاش دستگاه مفید یا ضروری باشد فراهم کنند. آنها همچنین باید به منظور دسترسی به حداکثر کارایی تجهیزات، اطلاعات مربوط به چگونگی نصب اینگونه لوازم جانبی را ارائه دهند.
- سازندگان باید اطلاعات کاملی در مورد تراز صدا و ارتعاش منتشر شده از دستگاه و همچنین روش‌های کنترل آنها ارائه دهند.
- هنگام سفارش تجهیزات، خریدار باید خصوصیات و مقادیر تایید شده توسط مرجع معتبر را برای صدا و ارتعاش منتشر شده از دستگاه مشخص کند.
- مشاور ذیصلاح باید مستندات نشر صدای تجهیزات ارائه شده توسط تامین کننده را مورد بررسی و تایید قرار دهد

#### ۲-۳-۴-۶ سیاست خرید تجهیزات کم‌صدا

خرید دستگاه‌ها و ماشین آلات طراحی شده با صدای کمتر در مقایسه با اجرای فرایند کنترل صدا برای دستگاه‌های موجود در صنعت، در دراز مدت مقرون به صرفه می‌باشد. سازندگان ماشین آلات در طراحی و ساخت می‌بایست اطلاعات لازم در خصوص انتشار صدا را تعیین نمایند. در مواردی که تجهیزات به آموزش عملیاتی یا نگهداری خاصی نیاز دارند لازم است تامین کنندگان در این خصوص به موارد زیر اشاره کنند.

- (الف) آموزش مهارت‌های جدید برای اپراتور برای ابزارها یا ماشین‌هایی با ویژگی‌های کاهش صدا.
- (ب) هشدار در مورد استفاده از ماشین‌آلاتی که به طور غیر عادی انتشار صدای زیادی دارند (توصیه می‌گردد از نشان‌های تجاری استفاده شود که ملحقات کنترل موثر صدا را بر روی تجهیزات خود نصب نموده باشند).
- (ج) اطلاعاتی در مورد روش‌های استفاده اجتناب از ابزارها یا ماشین‌آلات خاص به منظور پایین نگه داشتن میزان انتشار صدا.

(د) آموزش در مورد الزامات تعمیر و نگهداری برای جلوگیری از مواجهات صوتی غیر ضروری.

#### ۳-۳-۴-۶ نحوه استقرار و استفاده از تجهیزات

تجهیزات پر صدا را به دور از مناطق حساس به صدا قرار دهید. اگرچه مکان یابی کردن بخشی از کاربرد برنامه‌ریزی در نظر گرفته می‌شود، مکان روزانه تجهیزات در سایت و نحوه استفاده از آن اغلب توسط اپراتور سایت کنترل می‌شود. بنابراین اپراتور می‌تواند نقش مهمی در کاهش صدا ایفا کند:

- ماشین آلات و عملیات پر صدا را تا حد امکان از مناطق حساس صوتیمانند ساختمانهای اداری و مناطق مسکونی دور باشند.
- جهت دستگاه را به گونه تعیین شود تا به صورت یک منبع صدا جهت دار عمل کند تا صدا از مناطق حساس صوتی دور شود. (مسیرهای انتقال صدا باید در این ملاحظات بررسی شوند زیرا ممکن است صدا از دیوارها و موارد مشابه بازتاب شود)
- ماشین آلات و تجهیزات مولد صدا بین دوره‌های کاری و در موارد غیر ضروری استفاده نشود.
- مسیرهای عبور و مرور سایت باید به گونه‌ای تعیین شود که صدای ناشی از عبور وسایل نقلیه سبب تشدید صدای تجهیزات نشود.
- ساختمان‌ها و موانع طبیعی و مصنوعی در محل می‌توانند به عنوان موانع صوتی به شمار آیند. از این ویژگی می‌توان در کاهش انتشار صوت کمک گرفت.

#### ۴-۳-۴-۶ آموزش استفاده از تجهیزات

الزام کاهش صدا باید به طور گسترده در سایت تبلیغ شود. به عنوان بخشی از آموزش، شاغلین سایت باید از جنبه‌های زیر، به ویژه در رابطه با صدا، آموزش داده شوند:

- استفاده و نگهداری مناسب از دستگاه و تجهیزات برای به حداقل رساندن صدا
- تعیین موقعیت دستگاههای متحرک برای کاهش انتشار صدا
- اجتناب از صدای غیر ضروری هنگام انجام عملیات دستی و هنگام کارکردن دستگاه و تجهیزات، به ویژه در شب

#### ۵-۳-۴-۶ تعمیر و نگهداری فرآیند و تجهیزات

تعمیر و نگهداری منظم و موثر توسط افراد آموزش دیده برای کاهش صدای ماشین آلات بسیار مفید باشد. افزایش صدا در محوطه فرآیند اغلب نشان دهنده یک خرابی مکانیکی است. به طور مثال:

- صدای ناشی از ارتعاش ماشین آلات با قطعات چرخان را می‌توان با توجه به بالانس مناسب کاهش داد.
- صدای ناشی از اصطکاک در غلتک‌های نوار نقاله، چرخ دستی‌ها و سایر ماشین‌ها را می‌توان با روغن کاری مناسب کاهش داد.

- استهلاک تجهیزات و عدم تعویض به موقع قطعات می تواند صدای اضافی تولید و تحمیل نماید.
- بی نظمی یا طولانی شدن دوره تعمیرات می تواند سبب خراب مکانیکی قطعات تجهیز و تولید صدای غیر ضرور شود.

#### ۴-۴-۶ الزامات فنی در نظارت بر اجرای طرح‌های نصب، توسعه و تعمیرات و نگهداری تجهیزات

- تعمیر و نگهداری صحیح ماشین آلات در حفظ اقدامات کنترل صدا بسیار حائز اهمیت است. ماشین‌آلات با افزایش سن و استفاده خراب می‌شوند و اگر به درستی تعمیر و نگهداری نشوند به دلیل عواملی مانند فرسوده شدن قطعات، روغن کاری ضعیف و ارتعاش جداره‌های تجهیزات صدای بیشتری تولید می‌کنند. در صورت انجام دوره‌ای تعمیر و نگهداری میتوان افزایش انتشار صدا ماشین آلات را به حداقل رساند.
- تا جایی که ممکن است اپراتورها را تشویق کنید تا تجهیزاتی را که پر صدا تر هستند، گزارش کنند. زیرا این مورد به این معنی است که دستگاه نیاز به تعمیر دارد. آموزش اپراتورها برای تشخیص درست کار نکردن ماشین آلات کمک می‌کند تا عیوب دستگاه زودتر اصلاح شود. بنابراین باید تراز صدا دستگاه را تحت کنترل نگه داشته و از بروز خطاهای مهم جلوگیری کنید.
- اطمینان حاصل کنید که تعمیر و نگهداری معمولی دستگاه‌ها شامل بررسی ویژگی‌های کنترل صدا میباشد تا از خراب نشدن و شکسته یا حذف نشدن آن‌ها اطمینان حاصل شود.
- هر جزیی که برای کنترل صدا روی تجهیز نصب شده است را حفظ کنید. باید سیستمی را به منظور اطمینان حاصل کردن از حفظ کردن تجهیزات کنترل صدا برای موثر عمل کردن آنان ایجاد کنید. این مورد را می‌توان در سیستم‌های تعمیر و نگهداری معمولی و اضطراری گنجانند. اثربخشی بسیاری از اقدامات کنترل صدا با آسیب یا فرسودگی جزئی آنان به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

#### ۵-۶ مستند سازی طرح‌های کنترل صدا( کنترل صدا در منبع و روشهای آن، کنترل صدا در محیط انتشار، اتاقک سازی)

لازم است کلیه مستندات نتایج اندازه‌گیری و ارزیابی صدا که منتج به تصمیم‌گیری و اجرای طرح‌های کنترل صدا شده است به تفکیک هر واحد، نگهداری شود. در هر حال یک نسخه از این مستندات باید در واحد HSE نگهداری شود. این مستندات شامل نقشه‌ها و جریات فنی طرح‌ها و نتایج ارزیابی موفقیت آنها می‌گردد.

#### ۱-۵-۶ تهیه مستندات مربوط به طراحی‌های فنی کنترل صدا

مستندات باید شامل نقشه‌ها، دفترچه محاسبات و جریات طراحی، نظارت و اجرای طرح‌های فنی کنترل صدا باشد. لازم است تصاویر و کلیپ‌هایی از عملکرد نتایج کنترل نیز در پرونده‌های مربوطه تهیه و نگهداری شود. در صورتی که در مرحله طراحی و توسعه، اقدامات پیش‌گیرانه برای کنترل صدا انجام شده باشد، نتایج آن باید مستند و نگهداری شود.

## ۶-۶ گزارش مهندسی کنترل صدا

برای پروژه‌های بزرگ در فاز طراحی و مهندسی و مرحله تمهیدات، مستندات زیر باید به محض موجود شدن به مهندس (مشاور) کنترل صدا ارائه شود:

الف) مشخصات پروژه

ب) نقشه چیدمان محیط، نشان دادن تجهیزات، ساختمان‌ها و راه‌های تردد.

ج) طرح منطقه کاری.

د) اساس طراحی صنعت

ه) نمودار جریان فرآیند

و) لیست تجهیزات و مصالح

ز) شرح فرآیند، که باید نشان دهنده تمام حالت‌های عملکرد فرآیند و تجهیزات باشد

ح) الزامات داده تجهیزات برای همه منابع صدای مربوطه، از جمله: فن‌های خنک کننده هوا، کوره‌ها، مشعل‌ها، تجهیزات جابجایی مکانیکی، اکسترودرها، اجکتورها، پمپ‌ها، کمپرسورها، درایوها، دریچه‌ها، شیرهای کنترل، مشعل‌ها، دودکش‌های ونت‌های بخار و گاز، عایق‌های صدا، ترانسفورماتورها، ژنراتورها، موتورهای الکتریکی، برج‌های خنک کننده، ژنراتورهای برق، ژنراتورهای بخار، تجهیزات مربوط به ساینسرها و مافلرها، منابع متحرک صوتی مانند لیفتراک، کامیون، جرثقیل و تجهیزات بارگیری.

ط) داده‌های مربوط به ابعاد جنس مصالح و ویژگی‌های آکوستیکی ساختمان از نظر عایق بندی و جاذب‌های صدا

ی) داده‌های مربوط به چیدمان لوله کشی

ک) نمودار لوله کشی و ابزار دقیق

## ۶-۷ آزمون‌های موفقیت روشهای کنترل صدا

هرگونه آزمون موفقیت کنترل صدا باید مستند به اصول علمی معتبر یا استانداردها یا الزامات معتبر داخلی باشد. انجام آزمون‌های باید توسط مهندس مشاور مستقل و تحت نظارت شرکت انجام گردد. نتایج آزمون‌ها باید با تعهدات پیمانکار یا تامین کننده مقایسه به در قالب گزارش رسمی توسط مشاور به شرکت ارائه گردد.

## ۶-۷-۱ تعیین مشاور مستقل

مشاور مستقل باید از بین شرکت‌های تخصصی واجد صلاحیت یا دانشگاه‌های مرتبط انتخاب می‌شود که تجربیات علمی و تخصصی آنها به تایید شرکت برسد. مشاور باید تجهیزات تخصصی کالیبره شده مورد نیاز برای آزمون را داشته باشد. مشاور باید مستندات صلاحیت، سوابق و تجربیات خود را به شرکت ارائه دهد. شرکت نیز پس از بررسی داوطلبین نسبت به انتخاب مشاور اقدام خواهد نمود.

## ۸-۶ کنترل صدای واحدهای غیر فرآیندی

واحدهای غیر فرآیندی شامل دفاتر مهندسی، اتاق‌های کنترل، ساختمان‌های اداری، واحدهای اقامتی و مانند آن است که وجه تمایز آنها، وظایف مبتنی بر کار فکری یا کاربری اقامتی می‌باشد. در این واحدها معمولاً الزامات یا حدود مجاز مواجهه متفاوت از واحدهای فرآیندی است و ضرورت دارد که نحوه اندازه‌گیری، ارزیابی و اقدامات مربوط به کنترل صدا برای آنها به طور مستقل برنامه‌ریزی و اجرا گردد.

### ۸-۶-۱ کنترل صدا در مرحله طراحی و جانمایی

برای واحدهای غیر فرآیندی در مرحله طراحی و توسعه، لازم است مکان یابی مناسب به گونه‌ای انجام شود که تا حد امکان از منابع اصلی تولید صدا فاصله داشته باشند. پیش‌بینی میزان آلودگی صدا در محله طراحی یکی از ضروریات جانمایی این واحدها است که باید توسط مشاور کنترل صدا انجام گردد. نتایج پیش‌بینی باید متضمن اطمینان بالا از قرارگیری این واحدها در محیط با تراز زمینه پایین‌تر از حدود مجاز باشد. در غیر این صورت لازم است طراحی لازم برای کنترل صدا و ارتعاش منجر به صدا در سازه این واحدها انجام گردد، به نحوی که نهایتاً مواجهه افراد در داخل این بناها از حد مجاز تجاوز ننماید.

### ۸-۶-۲ ارزیابی صدا در مرحله بهره‌برداری

در برنامه‌های معمول نظارت و پایش صدا، ضروری است که برنامه اندازه‌گیری و ارزیابی صدا در محوطه و داخل واحدهای غیرفرآیندی طبق اصول علمی و استانداردها یا الزامات داخلی شرکت هر سال یکبار انجام گردد. در این اندازه‌گیری‌ها باید یکی از اهداف مهم، تعیین میزان مواجهه افراد با صدا باشد. علاوه بر اندازه‌گیری صدا در محوطه و داخل بناهای غیرفرآیندی، لازم است بررسی و اندازه‌گیری صدا در خصوص سامانه‌های مرتبط با این بناها از جمله سامانه تهویه مطبوع و همچنین بررسی ارتعاش زمینه و صدای پیکری نیز به عمل آید. برای مواردی که نتایج نشان دهنده عبور از حد مجاز باشد باید تدابیر فنی کنترل صدا به اجرا گذاشته شود.

### ۸-۶-۳ کنترل صدا در مرحله بهره‌برداری

طراحی‌های کنترل صدا در واحدهای غیرفرآیندی باید توسط مشاور صاحب صلاحیت انجام گردد. روشهای کنترل صدا اغلب شامل، کنترل ارتعاش منجر به صدا، کنترل صدای پیکری و کنترل صدای هوایی از طریق استفاده از مصالح جاذب و عایق صدا و انجام تغییرات در لایه‌بندی سطوح جانبی، تغییرات و اطلاعات دربها و پنجره‌ها و اصلاحات مربوط به سامانه‌های تهویه خواهد بود. در برخی موارد نیز لازم است موانعی در مسیر عبور صدا از واحدهای فرآیندی به سمت واحدهای غیرفرآیندی طراحی و اجرا گردد. مشاور باید میزان موفقیت در کنترل صدا را در صورت اجرای صحیح طرح تضمین نماید. پس از اجرای طرح لازم است آزمون‌های موفقیت کنترل توسط مشاور مستقل انجام گردد.

## ۶-۹ نظارت و پایش اجرای کنترل صدا

هر بخش یا واحدی از محل کار که صدای زیان آور وجود دارد، باید به دنبال فرآیندها، تجهیزات یا روش‌های کاری جایگزین باشید که منجر به کاهش انتشار صدا گردد و مواجهه با صدا را کاهش دهد. یک رویکرد برای برنامه‌ریزی کنترل صدا در کادر ۱ ارائه شده است.

### کادرا: چک لیست کنترل صدا

پی بردن به این که مشکل چیست و در کجا رخ داده و چه کسانی تحت تاثیر این مشکل قرار گرفتند:

ارزیابی ریسک مشخص می‌کند که چه کسانی دارای مواجهه صوتی هستند و ابزارها، ماشین آلات و فرآیندهایی که باعث مواجهه صوتی می‌شوند را تعیین می‌کند. با کمی بررسی بیشتر می‌توان قسمتی از دستگاه را که منبع تولید صدا است شناسایی نمود. این کار طی مرحل زیر قابل انجام است:

(الف) مشاهده و گوش دادن به صدا دستگاه مورد نظر.

(ب) تشخیص اینکه آیا ممکن است بخش‌های مرتعش دستگاه، منبع صدا باشند یا خیر.

(ج) ابتدا منابع اصلی صدا را بررسی و کنترل کنید.

(د) اولویت کنترل را به مناطقی که اکثر کارکنان در آن کار می‌کنند بدهید.

در نظر گرفتن منبع صدا:

(الف) آیا تعویض دستگاه با یک دستگاه با انتشار صدا کمتر مقرون به صرفه است؟

(ب) آیا اصلاح کردن بخش‌های ی از دستگاه امکان پذیر است؟ به عنوان مثال، با جایگزینی اجزای پر صدا با اجزای کم صدا تر و بدون اینکه بر عملکرد ایمن ماشین تأثیر بگذارد.

(ج) آیا می‌توان دستگاه را بدون ایجاد اختلال در تولید به منطقه ای با تعداد کارکنان کمتر منتقل کرد؟

(د) آیا فرایند تعمیر و نگهداری به درستی برای دستگاه انجام میشود؟

بررسی اینکه چگونه منبع صوتی، صدا را منتشر می‌کند؟

(الف) آیا پانل‌های دستگاه مرتعش هستند؟ پانل‌ها را عایق یا مواد میرا کننده را به آنها اضافه کنید.

(ب) آیا ارتعاش ماشین وارد ساختار ساختمان (دیوارها یا کف) می‌شود؟ دستگاه را با پایه‌های عایقی یا فونداسیون عایقی از ساختمان جدا کنید.

(ج) آیا صدا ناشی از برخورد‌های ناشی از سقوط مواد است؟ فاصله سقوط مواد را کاهش دهید و مواد میرا کننده را به سینی‌ها و مجاری دریافت کننده مواد اضافه کنید.

(د) آیا حفاظ‌های جامد در اطراف قسمت‌های پر صدا به دستگاه متصل هستند؟ حفاظ‌ها را با مواد جاذب صدا بپوشانید و در صورت امکان، شکاف‌ها را با در نظر گرفتن تهویه درزبندی کنید.

(ه) آیا منبع اصلی صدا ناشی از ورود یا خروج هوا یا گاز از دستگاه است؟ یک سایلنسر مناسب را در ورودی، خروجی یا هر



دو نصب کنید.

(و) آیا منبع اصلی صدا ناشی از رهائش ناگهانی هوا از سیستم هوای فشرده است؟ سایلنسرها یا مافلرها را در محل نصب یا خروجی را از محل کار دور کنید.

بررسی مسیر انتقال صدا :

(الف) آیا می‌توانید کارگر را دور از منبع صدا قرار دهید؟ دوبرابر کردن فاصله می‌تواند صدا را بین ۳ تا ۶ دسی بل کاهش دهد.

(ب) آیا می‌توانید موانع یا صفحه‌هایی را بین بخش‌های مختلف در فرآیند تولید قرار دهید تا عملیات کم صداتر را از عملیات پر صدا جدا کند؟

(ج) آیا می‌توانید برای کارکنانی که بر دستگاه‌های بزرگ نظارت می‌کنند یک پناهگاه صوتی بسازید؟

(د) آیا می‌توانید از یک محفظه با طراحی مناسب در اطراف دستگاه استفاده کنید که نیازی به عملکرد «دستی» نداشته باشد؟

(ه) آیا می‌توانید شکاف‌ها و ورودی‌های موجود در ماشین آلات یا محفظه آن را که در آن محصولات قرار دارد یا از آن خارج می‌شود، از لحاظ آکوستیکی کنترل کرد؟

(و) در صورت نیاز به کاهش تجمعی گرما، آیا می‌توان کانال‌های آکوستیک یا فن‌های بی‌صدا را در محفظه قرار دهید؟

(ز) آیا می‌توان از مصالح جاذب صوت شامل تایل آکوستیک یا پانل آکوستیک برای کاهش صدای بازآوا به سازه اضافه کرد؟

(ح) آیا می‌توان داخل کانال دهانه‌های خروجی تهویه را با پوشاندن لایه جاذب صوت بهبود بخشید؟

به یاد داشته باشید که پس از اجرای فرآیند کنترل صدا، بررسی کنید که تراز صدا حتماً بهبود پیدا کرده باشد

#### ۶-۹-۱ ملاحظات مستمر

برخی از روش‌های کنترل صدا بسته به نوع منابع صدا موثرتر عمل می‌کنند. باید همیشه از طریق انجمن‌های تخصصی، شرکت‌های تخصصی و تامین کنندگان ماشین آلات یا تجهیزات به دنبال بهترین روش‌ها یا مصالح کنترل صدا در صنعت خود باشید.

در مواردی که برای موثر واقع شدن اقدامات کنترل صدا نیازمند اقداماتی از سوی کارکنان هستید (مثلاً استفاده مناسب از محفظه‌های صوتی یا پیروی از روش‌های کاری کم صداتر)، باید از همکاری کارکنان خود اطمینان حاصل کنید. به‌گونه‌ای که کارکنان اطلاعات، دستورالعمل‌ها و آموزش‌های مناسبی دارند و نظارت مناسبی بر آن‌ها وجود دارد. کارکنان موظفند از هرگونه تدابیر کنترل صدا ارائه شده استفاده کنند.

#### ۶-۱۰ کمیته پایش و کنترل صدا و ارتعاش

یک کمیته شامل کارشناسان فنی مرتبط (مانند: طراحی و تولید، مهندسی / تعمیرات و نگهداری و HSE) و مشاور ذیصلاح به انتخاب شرکت منصوب می‌گردند. وظیفه این کمیته، بررسی نتایج ارزیابی‌های صدا، اولویت بندی طرح‌های کنترل صدا، بررسی

طرح‌های مداخله و کنترل صدا در مرحله طراحی و توسعه و بهره‌برداری، ارزیابی نتایج مداخلات کنترل صدا و تصویب برنامه‌های پایش و پیش‌بینی موضوعات مربوط به صدا و ارتعاش خواهد بود. دبیرخانه این کمیته دو واحد HSE مستقر خواهد شد.

## ۶-۱۱ تهیه و نگهداری اسناد

نسخه‌ای از تمامی قراردادها مستندات فنی مربوط به طراحی و اجرا و صورتجلسات کمیته پایش و کنترل صدا و ارتعاش باید در دبیرخانه آن نگهداری شود.

## ۶-۱۲ خلاصه موارد اقدام و تخصیص مسئولیت

دبیرخانه کمیته موظف است نتایج تصمیمات کمیته را از طریق مجاری اداری پیگیری نموده و گزارش ادواری اقدامات را در اختیار مدیریت مافوق قرار دهد.

## ۷ - راهنمای طراحی آکوستیک برای محیط انتشار

کنترل صدا در محیط انتشار شامل مجموعه اقدامات فنی است که از منبع تولید صدا شروع می‌گردد که خود شامل اصلاح و تغییر در فرایند کار دستگاه، ارتقای فناوری و اتاقک سازی برای منبع تولید صدا است. مراحل بعدی شامل جداسازی منابع پرصدا، استفاده از موانع صوتی، استفاده از مصالح جاذب صوت در سطوح داخلی میدان انتشاری بسته، استفاده از مصالح عایق صدا برای جلوگیری از انتقال صدا از یک واحد به واحد مجاور و نهایتاً اتاق سازی در محل شنونده می باشد. این اتاقک‌ها نقش پناهگاه صوتی برای کارکنان خود داشت.

امکان سنجی و پیشنهاد روش‌های مناسب کنترل صدا و مقایسه برآورد میزان موفقیت در هر یک از آنها برای کاهش تراز فشار صوت و لحاظ نمودن جنبه‌های اجرایی، در دسترس بوده فناوری و مصالح، عدم تداخل در کار تجهیزات و فرآیندها و رعایت جنبه‌های اقتصادی به عهده مشاور ذیصلاح است و تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب یک روش یا ترکیبی از روش‌های پیشنهادی به عهده کمیته پایش و کنترل صدا و ارتعاش خواهد بود.

پس از انتخاب روش کنترل، مشاور موظف به ارائه جزئیات فنی طرح و نحوه اجرای آن به همراه دفترچه محاسبات خواهد بود. نظارت بر اجرای طرح می‌تواند به عهده مشاور یا فرد ذیصلاح دیگر به انتخاب شرکت گذاشته شود.

پس از اجرای طرح لازم است از مونهای موفقیت توسط مشاور ذیصلاح انجام گردد. گزارش نهایی طرح و همچنین نتیجه آزمون موفقیت پس از تایید کمیته در سوابق طرح نگهداری خواهد شد.

به طور کلی قواعد مشترک در انجام طرح‌های کنترل صدا به شرح زیر می‌باشد.

۱. اندازه‌گیری تراز کلی فشار صوت و تعیین تراز معادل مواجهه کارکنان و میزان تراز که باید کاهش یابد.
۲. آنالیز فرکانس صدا در شبکه خطی به منظور تعیین فرکانس غالب.
۳. مشاهده و بررسی دقیق محل مورد نظر و مصاحبه با افراد مطلع و بررسی شکایت اصلی.
۴. امکان‌سنجی انواع روش کنترل صدا و اولویت‌بندی راه‌حل‌های ممکن و برآورد اجمالی قابلیت اجرایی و میزان اثر بخشی آنها.

۵. انتخاب روش اصلی کنترل صدا از بین راه‌حل‌های ممکن، با هم‌فکری کارفرما و مسئولین فنی و تصمیم‌گیری در کمیته پایش و نظارت بر کنترل صدا و ارتعاش.
۶. ارائه طرح مفهومی روش کنترل فنی و الزامات آن به کمیته و دریافت نظرات.
۷. طراحی فنی مشتمل بر محاسبات کنترل و میزان اثربخشی آن به همراه نقشه‌ها و راهنمای فنی اجرای طرح.
۸. نظارت بر اجرای طرح.
۹. ارزیابی نتایج و تهیه گزارش طرح.

## ۸ - راهنمای طراحی برای کنترل صدا تجهیزات

کارآمدترین اقدام در برابر صدا، کاهش صدا در منبع بوده و معمولاً موثرترین روش، طراحی مجدد یا جایگزینی تجهیزات پر صدا می‌باشد. در صورت عدم امکان، تغییرات ساختاری و مکانیکی، ارتقای فناوری در اجزای دستگاه، استفاده از کاهش دهنده‌های صدا، میراکننده‌ها و عایق‌های ارتعاش و محفظه‌های عایق صدا، دیگر راه‌های کنترل صدا در منبع می‌باشد. روش‌های کنترل صدا و ارتعاش با توجه به نوع منابع انتشار به صورت زیر متمایز می‌گردند:

### الف- صدا یا ارتعاش مربوط به جامدات یا مایعات (نیروهای مکانیکی)

- ایجاد تعادل دینامیکی، کاهش نیروی محرکه وارده بر بخش‌های مرتعش، کاهش میزان دور در دقیقه و افزایش طول دوره‌های کاری.
- کاهش سرعت عبور سیالات از کانال‌ها و لوله‌ها
- لقی‌گیری اتصالات اجزای تجهیز به هم و به سازه‌های مجاور
- کاهش راندمان بخش‌های مرتعش با افزایش ظرفیت میرایی آنها و بهبود نحوه اتصال آنها.
- تغییر فرآیندهای کوبه‌ای به فرایندهای فشار پیشرونده.
- تغییر از حرکات رفت و برگشتی به حرکات چرخشی.
- تغییر از توقف ناگهانی به توقف تدریجی.
- تغییر از چرخ دنده‌های دندانه دار استوانه‌ای به چرخ دنده‌های مارپیچی و از چرخ دنده‌های فلزی به چرخ دنده‌های با سایر مواد در صورت امکان.
- طراحی شکل و سرعت ابزارها با توجه به ویژگی‌های ماده استفاده شده
- طراحی سیستم‌های مناسب برای تعمیر مواد یا اشیاء مورد استفاده
- جلوگیری از برخورد اجسام یا مواد با یکدیگر که به صورت مکانیکی حمل می‌شوند و جلوگیری از سقوط آزاد آنها از تجهیزات انتقالی.
- اصلاح یا ایجاد فونداسیون به منظور کنترل ارتعاش قابل تبدیل به صدا
- درج اتصالات میراکننده مناسب در نقاط اتصال ماشین آلات و تجهیزات
- ارتقای فناوری از مکانیکی به الکتریکی و از الکتریکی به الکترونیک در بخش‌های راهبری دستگاه برای کاهش مواجهه.
- کنترل از راه دور به منظور کاهش مواجهه اپراتورها

## ب- صدا یا ارتعاش مربوط به جریان آشفته سیالات گازی (نیروهای آیرودینامیکی)

- کاهش آشفتگی جریان سیالات در ورودی‌ها، مجاری یا لوله‌ها و در خروجی‌ها از طریق تنظیم دبی و سرعت.
- کاهش زبری و اصلاح زوایای داخلی مجاری
- عایق بندی جدار بیرونی لوله‌ها با مصالح میراکننده

## ج- صدا یا ارتعاش مربوط به نیروهای دینامیکی الکترو دینامیک یا مغناطیسی، یا قوس الکتریکی یا تخلیه کرونا(نیروهای الکتریکی)

این بخش، طیف وسیعی از منابع صدا را مشخص می‌کند که هر یک نیازمند تفصیل در علت ایجاد صدا و امکان کنترل آن است. با این وجود لازم است چه در مرحله طراحی و توسعه و چه در مرحله بهره‌برداری بررسی لازم برای کنترل صدای ناشی از این منابع مورد بررسی و اقدام قرار گیرد.

## ۸-۱ صدای جریان آیرودینامیکی

صدا به دلیل آشفتگی در جریان گازها و مایعات در لوله‌ها یا کانال‌ها تولید می‌شود. به عنوان مثال در انتقال مواد جامد (خارج کردن گرد و غبار یا ضایعات ریز) صدای متغیر با زمان ناشی از برخورد ذران به جداره در بستر جریان آشفته ایجاد می‌گردد. به‌طوریکه، افزایش آشفتگی در مسیر انتقال با تولید صدای بیشتر همراه خواهد بود. لذا کاهش آشفتگی با آرام کردن جریان(کم کردن سرعت و فشار) یا عایق بندی جداره بیرونی مجاری با مواد میراکننده می‌تواند در کاهش صدای آیرودینامیکی موثر باشد.

آزاد سازی فشار بالا مانند انفجار داخلی موتورهای درون سوز، خروجی‌های بخار و گاز و روزه‌های تخلیه فشار می‌تواند به دلیل برخورد سیال فشرده پاشیده شده به بیرون(هوای محیط)، ترازهای صدای بسیار بالایی را برای مدت کوتاهی به دلیل آشفتگی قوی در محیط ایجاد کند. این نوع صدا دارای باند باریک، و معمولاً با پیک‌های در فرکانس‌های بالا متناسب با سرعت و شکل خروج سیال است. کاهش صدا را می‌توان با استفاده از یک ساکت کننده(سایپلنسر یا مافلر) دهانه‌ای که پوششی در اطراف ناحیه حداکثر تلاطم ایجاد و انرژی را در نتیجه بازتاب مکرر داخلی جذب می‌کند، به دست آورد. در فاز طراحی، علاوه بر تعیین سرعت جریان و فرکانس‌هایی را که در آن حداکثر کاهش لازم است باید افت فشار مجاز نیز در نظر گرفته شود. ممکن است افت فشار بالا یا سایر محدودیت‌های جریان در سیستم تخلیه اضطراری یا مشابه آن غیرقابل قبول باشد. در این صورت باید طراحی تا حصول نتیجه کاهش صدا اصلاح گردد.

- کاهش سرعت جت سیال بواسطه افزایش قطر یا کاهش فشار حاصل می‌گردد. به‌گونه ای که کم کردن سرعت یا افزایش قطر دهانه منجر به کاهش آشفتگی و در نتیجه کاهش صدا تولیدی می‌شود. اما این کار منبع صوتی دیگری را ایجاد می‌کند. از طرف دیگر، اگر انبساط در جایی پشت سیستم و دور از دریچه هوا واقع شده باشد، می‌توان اقداماتی را برای جذب انرژی صوتی قبل از رسیدن به خروجی انجام داد، اگرچه ممکن است این برای یک سیستم تخلیه فشار اضطراری مناسب نباشد.

- گاهی اوقات امکان انتقال کانال جریان هوا به یک مکان دورتر یا به یک مخزن تخلیه وجود دارد که تحت این شرایط درجاتی از کاهش صدا در نتیجه ساختمان ها و فاصله مکانی ایجاد می‌گردد. در جایی که کنترل زمانی امکان پذیر است، تخلیه در یک زمان می‌تواند حداقل ایجاد آزار ناشی از صدا را به همراه داشته باشد. همچنین اپراتور باید پیامدهای بهداشتی، ایمنی، اثرات زیست محیطی انتشار و همچنین تعداد دفعات تکرار عملیات توجه نماید. عملکرد مکرر سیستم اضطراری اهمیت نیاز به تغییر فرآیند را نشان می‌دهد.
- هرگونه محدودیت و انسداد در کانال‌ها منجر به تولید صدا می‌شود. موانع یا خم‌های شدید با ایجاد آشفتگی و تشکیل گرداب‌ها در فرکانس‌هایی که بر اساس اندازه و شکل انسداد نسبت به سرعت جریان تعیین می‌شود، منجر به ایجاد صدا می‌گردند. اگر هر یک از پیک‌های صدا با فرکانس تشدید سیستم منطبق شوند تقویت صدا رخ داده و تراز صدای بالاتری ایجاد می‌شود. راهکارهای کاهش صدا تا حد زیادی مرتبط با طراحی سیستم، مصالح سازه و سرعت حرکت هوا می‌باشد. اگرچه عایق‌های میراکننده اعمال شده در کانال‌ها و لوله‌ها نیز ممکن است مقادیر قابل توجهی از کاهش را ایجاد نمایند.
- شیرهای کنترل گاز مورد استفاده در سیستم‌های بخار، گاز یا هوا می‌توانند در گلوگاه ایجاد صدا کنند، به‌ویژه اگر شرایط جریان فراصوت در اثر ترکیب جریان و اندازه روزه حاصل شود. کاهش فشار به طور مشابه در اندازه‌های کوچک یا سیستم‌های موازی بهتر انجام می‌شود. در صورت لزوم از چندین شیر برای جلوگیری از شرایط فراصوت استفاده می‌شود. شیرهای "کم صدا" به صورت تجاری در دسترس هستند. این شیرها حاوی فیلتری از مواد متخلخل هستند که باعث کاهش سرعت و کاهش آشفتگی اطراف خروجی می‌شود.
- علاوه بر انتشار مستقیم صدا از شیر، ارتعاشات مربوطه می‌تواند در بالادست و پایین دست لوله و سازه‌های اتصالی مجهز به میراکننده ارتعاش ایجاد شود. این امر می‌تواند منجر به لرزش قابل توجهی در فرکانس‌های تشدید سیستم گردد. کاهش صدا را می‌توان از طریق پوشش بیرونی لوله و با استفاده از مواد عایقی که خاصیت میراکنندگی دارند، بدست آورد.
- صدای تولید شده توسط خروجی‌های سیال خنک کننده را می‌توان با افزایش قطر جت و کم کردن سرعت برای حرکت دادن همان حجم هوا کاهش داد. عملکرد صحیح این خروجی‌های خنک کننده را می‌توان با بهینه سازی دبی جرمی، زمان بندی و جهت جریان بدست آورد. نازل‌های کم صدا به صورت تجاری در دسترس هستند اما ممکن است با درجاتی از افت فشار همراه باشند.

## ۸-۲ صدای فن

صدای فن یکی از مشکلات اساسی در صدای محیط‌های صنعتی و شهری است. هرچند معمولاً میزان تلاطم تراز صدای فن‌ها زیاد نیست و صدای آنها در صورت عدم خرابی مکانیکی اغلب به صورت یکنواخت می‌باشد، ولی در شرایطی می‌تواند ایجاد مزاحمت نماید و این صداها ممکن است به خصوص در شب بیشتر قابل توجه باشند.

صدا عمدتاً در نتیجه آشفتگی تولید شده بواسطه پره‌های فن ایجاد می‌شود که تابعی از تعداد و سرعت آن‌ها می‌باشد. این صدا می‌تواند در یک پهنای فرکانسی وسیع منتشر شود. در برخی شرایط که مربوط به خرابی در اجزای فن باشد، ممکن است صدای باند باریک و تراز آزار دهنده ایجاد گردد. تراز نشر صوتی و چگونگی باند فرکانسی صدای فن‌ها بسته به نوع فن متفاوت بوده و به

ابعاد و مشخصات فن بستگی دارد. به طور مثال فن‌های مکشی معمولاً تراز صدای بالاتری دارند. مطالعات نشان داده است که سرعت، دبی، فشارهای فن و ابعاد می‌تواند در میزان و خصوصیات صدای آن نقش داشته باشد. امروزه مدل‌های محاسباتی برای برآورد صدای فن‌ها ارائه شده است. لیکن آنچه که اهمیت دارد، این است که تامین‌کننده مشخصات تراز توان یا تراز نشر صوتی فن را به شرکت ارائه‌نماید و برآورد لازم نیز توسط مشاور برای اطمینان از عدم تشدید صدای محیط توسط این فن‌ها حاصل نماید. در آنالیز فرکانس صدای فن‌ها ممکن است تعدادی پیک‌های دامنه صدا در سراسر طیف صدا دیده شود. این پیک‌های اضافی ممکن است در نتیجه انسداد جریان هوا یا بی‌نظمی در فاصله تیغه‌ها ایجاد شوند. صدا هم‌چنین می‌تواند از لقی یا ارتعاش جداره‌ها، خرابی یا لقی تسمه، خرابی پولی و بلبرینگ، یا خرابی موتور و هم‌چنین ارتعاش ناشی از به‌هم خوردن تعادل ایجاد شود و در کانال پخش گردد. در جایی که فن‌ها به دودکش متصل می‌شوند، صدای فن می‌تواند در فاصله دورتری منتشر شود. در جایی که چند فن با هم کار می‌کنند، تراز صدای مجموع آنها افزایش می‌یابد. مشکلات ناشی از عدم تعمیر و نگهداری یا عدم بالانس به دلیل تجمع رسوبات روی پره‌ها می‌تواند منجر به ایجاد مشکل صدا در فن شود.

چندین راهکار برای کنترل صدای فن وجود دارد و سازندگان اغلب می‌توانند راه‌حلی را که در زیر معرفی شده است ارائه دهند، اما به طور خاص برای حل یک مشکل طراحی شده اند. اگرچه برخی از تکنیک‌ها ساده هستند، اما برخی از راه‌حل‌ها به طراحی و اجرای دقیق نیاز دارند. دانش و تجربه کافی می‌تواند نقش سازنده‌ای در انتخاب راه‌حل(های) مناسب برای کاهش صدا داشته باشد.

طراحی و انتخاب فن ایده‌آل و نصب آن باید به صورت یک پکیج کامل برای یک کار خاص طراحی شود. تاثیر بر سازه‌های مجاور باید در ملاحظات کاهش صدا در نظر گرفته شود. فن‌ها زمانی می‌توانند صدای کمتری تولید کنند که در عملکردی با راندمان بهینه نسبت به مشخصه‌هایشان کار کنند. این موضوع با توجه به نوع فن متفاوت است. معمولاً اصلاح سیستم برای انتشار صدای کمتر پس از نصب آن دشوار و پرهزینه است. با این وجود تقریباً همه فن‌ها پیک‌های قابل تشخیص تولید می‌کنند که می‌توان با تغییر سرعت آن‌ها را کاهش یا تغییر داد. در بسیاری از موارد، راه‌حل‌های مهندسی ساده را می‌توان برای کنترل صدا در بررسی‌ها شناسایی کرد. جدول ۹ یک راهنمای کلی برای انواع فن‌ها، مشخصات صدای آنها ارائه شده است.

**جدول ۹ - اطلاعات کلی در مورد صدای انواع فن**

نوع فن	صدا	توضیحات
گریز از مرکز	فرکانس‌های پایین	جریان هوا به صورت محوری وارد می‌شود و به صورت شعاعی خارج می‌شود
محوری	فرکانس‌های میانی	جریان هوا به صورت مستقیم وارد فن شده و از آن خارج می‌شود
جریان ترکیبی	فرکانس‌های پایین	مسیر جریان هوا چیزی بینابین جریان‌های فن‌های محوری و گریز از مرکز است
استوانه‌ای	متنوع	پیشران هوا در این فن‌ها به شکل استوانه‌ای بلند با تعداد زیادی تیغه باریک است که هوا را از طریق یک شکاف طولی تخلیه می‌کند
پروانه‌ای/ملخی	پیک‌های تونال	مشابه به یک فن محوری است، اما معمولاً دارای یک قاب است که اجازه تخلیه هوا به صورت شعاعی و محوری با حجم بالاتر و فشار کمتر را می‌دهد.

در جایی که فن‌ها در معرض گرد و غبار بیش از حد، فرسایش یا خارج شدن از بالانس باشند، شفت‌ها باید کوتاه باشند و روش‌های معمول تعمیر و نگهداری باید به طور مرتب انجام شوند. تعداد کمتری از فن‌های بزرگ‌تر که در سرعت‌های پایین‌تر کار می‌کنند نسبت به فن‌های کوچک‌تر با سرعت بالا صدای کمتری تولید می‌کنند. گاهی اوقات، عملکرد مداوم فن ممکن است باعث ایجاد اختلال و مزاحمت‌های کمتری نسبت به نوع متناوب شود. مزایای استفاده از فن‌هایی با دبی کمتر که به طور مداوم فعالیت میکنند به جای بسیاری از فن‌هایی که به طور متناوب فعالیت می‌کنند باید در نظر گرفته شود. این موضوع برای کار فن در شب بسیار مهم می‌باشد، زیرا رله‌هایی که فن‌ها را راه اندازی می‌کنند می‌توانند بسیار پر صدا باشند. می‌توان فن‌ها را مکان‌هایی نصب نمود که موانع مصنوعی یا طبیعی بتواند کاهش قابل ملاحظه‌ای در انتشار صدای آنها داشته باشد. برای جلوگیری از انتقال صدای پیکری می‌توان از پایه‌های ضد ارتعاش استفاده کرد. ممکن است لازم باشد کانال‌ها ارتجاعی نصب شوند، به خصوص اگر قرار باشد روی فولاد و سازه‌های مشابه ثابت شوند. برای جلوگیری از انتقال صدا از طریق لوله‌ها و سایر موارد، در صورت لزوم، اتصالات باید با استفاده از اتصال دهنده‌های انعطاف پذیر انجام شود. کانکتورها باید به طور مرتب بررسی شوند تا اطمینان حاصل شود که لبه‌های تجمع مواد تشکیل نمی‌شود. استفاده از ورقه‌های فلزی یا سایر مصالح ساختمانی که ممکن است در مجاورت فن‌ها دچار ارتعاش شوند، خودداری شود زیرا ممکن است ارتعاش به سایر قسمت‌های سازه منتقل شود. استفاده از سطوح صاف و منعکس کننده صدا در اطراف فن باعث افزایش تراز صدا در داخل ساختمان می‌شود، در صورت وجود چنین سطوحی، لازم است روی آنها با مصالح جاذب صوت پوشانده شود. اصلاحات جزئی در بدنه یا تیغه‌های فن می‌تواند به میزان قابل توجهی صدا را در یک فرکانس خاص کاهش دهد. هرچند هزینه این کار پایین است، اما نیازمند کارهای تخصصی می‌باشد و باید مراقب بود که فرکانس صحیح و مد نظر کاهش یابد، و فرکانس‌های دیگر مشکلی ایجاد نکنند، یا به طور کلی فرکانس‌های جدیدی دیگر ایجاد نشود.

### ۸-۳ ساکت کننده‌ها و انباره‌ها (سایلنسرها و مافلرها)

طیف وسیعی از سایلنسرها و مافلرها برای کاربری‌های مختلف قابل طراحی و تهیه است. تفاوت ساکت کننده (سایلنسر) با انباره صوتی (مافلر) در شکل و عملکرد آن است. انباره‌های معمولاً به صورت ساده یا ترکیبی اغلب برای خروجی موتورهای درون سوز و خروجی جریان سیال با سرعت و فشار بالا طراحی می‌شوند. انباره‌ها از تغییرات سطح مقطع و قوانین تداخل تخریبی امواج صوتی در یک محفظه بسته کار می‌کنند و ممکن است ایت جداره داخلی آنها شامل یک لایه جاذب صوت نیز باشد. سرعت سیال در ورودی انباره‌ها نباید از ۱۰۰ متر بر ثانیه بیشتر باشد، در غیر این صورت انباره عملکرد مناسبی نخواهد داشت. انباره‌های آکوستیکی روی آگزوزها می‌توانند صدای مزاحم را تا حد زیادی کاهش دهند. این تجهیزات نباید افت فشار قابل توجهی در مسیر سیال ایجاد کنند. با این حال، اگر نصب آنها فشار برگشتی یا سرعت جریان سیال را افزایش دهد، عملکرد آنها رضایت‌بخش نخواهد بود. ساکت کننده‌ها (سایلنسرها) برای جریان‌های سیال کمتر از ۳۰ متر بر ثانیه طراحی می‌شوند و اغلب شامل تیغه‌های جاذب صدا به صورت صاف یا مدور هستند که جریان سیال ضمن عبور از بین تیغه‌ها فشار صوتی خود را تا حدی از دست می‌دهد. به طور مثال: به منظور جلوگیری از انتشار صدای فن از طریق کانال‌ها، سایلنسرهای درون کانالی را در بالادست یا در پایین دست قرار داد. به همین صورت برای ورودی و خروجی فن‌ها و بلوئر‌ها، خروجی‌های گاز و بخار ساکت کننده‌هایی را نصب نمود تا ضمن کنترل جریان آشفته سیال، صدای ناشی از آن را کاهش دهند. در مورد فن‌ها سایلنسر باید تا حد امکان به فن نزدیک باشند (اما نه آنقدر نزدیک که منجر به سرعت جریان هوا غیر یکنواخت شود). در مواردی که از فن‌ها برای راندن گازها به بالای دودکش استفاده می‌شود،

گاهی اوقات می‌توان سایلنسرهای حاوی مصالح جاذب را مستقیماً در بالای دودکش نصب کرد. هرچند این نکته باید ذکر شود که در مواردی که گازها داغ، مرطوب یا کثیف هستند، نیاز به محافظت از مواد پرکننده می‌باشد.

جریان هوا یا گاز درون یک فن باید تا حد امکان یکنواخت باشد و از ایجاد خمیدگی‌های تیز با زاویه راست در کانال باید خودداری شود. مقاومت در ورودی و خروجی باید تا حد امکان کم باشد تا از بارگذاری غیرضروری روی فن جلوگیری شود. تغییرات جهت باید به صورت منحنی باشد. اتصالات باید طوری طراحی شوند که به جهت جریان سیال کمک کنند. استفاده از ورودی‌ها و خروجی‌های گرد یا شیبدار می‌تواند به اطمینان از جریان ملایم سیال کمک کند. ساکت کننده‌ها و انباره‌های صوتی اگر با دقت طراحی، نصب و نگهداری نشوند ممکن است آشفته‌گی مضاعف سیال ایجاد کنند و سبب تشدید صدا شوند.

تعمیر و نگهداری منظم تجهیزات تهویه بسیار مهم است. بسیاری از شکایات مربوط به صدا ناشی از فرسودگی، عدم تعادل ناشی فرسایش یا آسیب دیدگی، گرد و غبار و رسوبات روی پروانه و مجرای مجاور آن است. علاوه بر این، در صورت آلودگی سیال به ذرات و بخارات، ممکن است سبب آسیب دیدن ساکت کننده یا انباره شود و انسداد، فرسایش، یا خوردگی و پوسیدگی سبب کاهش عملکرد آنها شود. در هر صورت طراحی انباره‌ها و ساکت کننده بسیار تخصصی بوده و نیازمند مشاور مجرب می‌باشد.

#### ۸-۳-۱ تجهیزات ساکت کننده صدا

ساکت کننده‌ها باید با استاندارد EEMUA 161 و کدها و استانداردهای مناسب برای طراحی مکانیکی مطابقت داشته باشند. طراحی سایلنسرها باید این اطمینان را بدهد که هر قسمت که ممکن است به طور ناخواسته شل شود، قسمتی یا به طور کامل خروجی سایلنسرها را مسدود نکند یا به تجهیزات پایین دست (مانند کمپرسورها) آسیب نرساند.

سایلنسرها و مافلرها در صورتی ممکن است در فهرست تجهیزات فرآیند پر صدا در مرحله طراحی و توسعه گنجانده شوند که راه‌حل دیگری برای کنترل صدای تجهیز وجود نداشته یا اجرایی نباشد. هنگامی که تامین کننده انتخاب شد، جزئیات این تجهیزات کنترل صدا باید بین تامین کننده و شرکت مورد توافق قرار گیرد. شرکت ممکن است تصمیم بگیرد که تجهیزات را جدا از تجهیزات فرآیند سفارش دهد. در هر حال نتیجه کار باید برای کنترل صدا اطمینان بخش باشد.

انتشار صدا از برخی تجهیزات سایلنسر (مانند سایلنسرهای روی دودکش‌های ونت، عایق صوتی روی لوله‌ها) همیشه شامل تجهیزات خاص ارائه شده نیست و باید اطمینان حاصل شود که چنین تجهیزات سایلنسر در طراحی گنجانده شده است و برگه‌های داده / الزامات مربوطه ارائه شده باشد.

برای برخی از تجهیزات، محاسبات یا اندازه‌گیری‌ها ممکن است نشان دهند که صدای آنها از حدود مجاز صدا فراتر رود، اما با احتمال بالا با استفاده از ساکت کننده‌ها و انباره‌ها به ترازهایی کمتر از حد مجاز برسد. برای چنین تجهیزاتی، اعمال اقدامات کنترل صدا نباید تا زمانی که تراز واقعی صدا پس از راه اندازی به دست آید، به تعویق بیفتد، مگر اینکه به طور خاص با شرکت توافق شده باشد. برخی انباره‌ها یا ساکت کننده‌ها لازم است برای کاهش صدای تجهیزات نصب و راه‌اندازی فرایند مورد نیاز باشند. در این شرایط لزوم استفاده از نوع ثابت یا نوع متحرک موقت باید مشخص و اجرایی گردد.



## ۸-۴ صدای کمپرسورها

کمپرسور<sup>۱</sup> یا تراکم کننده دستگاهی برای فشرده کردن سیالات تراکم پذیر می باشد. در برخی فرایندها، کمپرسورها وسایلی هستند که هوا یا گاز را فشرده نموده و به سمت قسمت محفظه احتراق می فرستند. کمپرسورها وسایلی هستند که با صرف انرژی مکانیکی، سیال گازی (معمولاً هوا) را با سرعت به درون خود مکیده و سپس آن را فشرده می سازند. در اثر این عملیات، دمای گازی که فشرده می شود نیز افزایش می یابد. معمولاً گاز پر فشار خروجی از کمپرسورها را از یک سیستم خنک کننده عبور می دهند تا دمای گاز دوباره به حد معمولی بازگردد. انواع گوناگونی از کمپرسور وجود دارد که برای مصارف صنعتی و عمومی طراحی شده اند. کمپرسورها را بر پایه ویژگی های گوناگون طبقه بندی می کنند. نیروی محرکه کمپرسورها بسته به قدرت آن ها می تواند توسط الکتروموتور یا موتور سوختی (بنزینی، دیزلی یا توربینی) تامین گردد. در یکی از رایج ترین این طبقه بندی ها، بر پایه نحوه انتقال انرژی از کمپرسور به سیال است که به دو دسته دینامیکی و جابه جایی مثبت تقسیم می شوند.

در طراحی و ساخت بسیاری از کمپرسورها، عواملی نظیر بازدهی بالا، مقاومت مکانیکی، طول عمر و قیمت معمولاً در طراحی کمپرسورها بسیار مهم تر از پایین بودن تراز صدای آنها بوده و با هدف کنترل توان صوتی طراحی نشده اند و روش های کنترل صدا اغلب بعد از اینکه کمپرسور نصب شده است به کار گرفته می شوند. برخی از عوامل طراحی کمپرسورها نیز عملاً تحت کنترل طراح نمی باشند و نمی توان با تغییر آنها صدا را کاهش داد. این عوامل عبارتند از:

۱. توان ورودی کمپرسور که به وسیله افزایش فشار مورد نیاز و میزان جریان عبوری از کمپرسور تعیین می گردد.

۲. میزان آشفستگی سیال گازی در دوران محفظه کمپرسور

۳. نوع گاز فشرده شده درون کمپرسور

تعدادی از عوامل طراحی را نیز می توان در مرحله طراحی تنظیم نمود و از این طریق تراز توان صدای کمپرسور را کاهش داد. این عوامل را می توان به ۴ دسته تقسیم نمود:

۱. تداخل تیغه روتور (متحرک) - استاتور (ثابت)

۲. تقسیم بندی پروانه موتور - دیفیوزر

۳. سرعت چرخش موتور

۴. تعداد طبقه ها (مراحل) تراکم سیال

همان طور که عنوان شد، در ارتباط با کمپرسورها، تراز توان و تراز فشار وابسته به مشخصات چرخش موتور، تعداد تیغه ها و توان الکتریکی مصرفی آن است. تغییرات یا اصلاحات در مولفه های آنها با عوامل دیگری نظیر بازدهی و عملکرد دستگاه تداخل دارد، بنابراین در اغلب موارد باید از روش های کنترل صدا استفاده نمود که خارج از مکانیک اجزای دستگاه باشد. این روش ها شامل طراحی و نصب اتاقک روی کمپرسور و طراحی و نصب مافلر در محل ورودی هوا می باشد. در اغلب موارد لازم است هم برای ورودی هوا انباره یا ساکت کننده نصب گردد و هم برای کنترل صدای منتشر شده از جداره، اتاقک سازی انجام گردد. اتاقک های آکوستیک باید به گونه ای طراحی شوند که پرسنل عملیاتی / نگهداری بتوانند کار خود را بدون اینکه مانعی در حرکت آنها ایجاد شود انجام دهند.

<sup>1</sup> Compressor

## ۸-۵ صدای پمپ‌ها

پمپ وسیله‌ای مکانیکی برای انتقال مایعات است که معمولاً با افزایش فشار جریان آن، امکان جابجایی را به ارتفاعی بالاتر فراهم می‌آورد. پمپ کاربردهای فراوان در صنعت و حتی در وسایل نقلیه دارد. پمپ‌ها دارای انواع مختلفی هستند. پمپ‌ها را بر پایه ویژگی‌های آنها طبقه‌بندی می‌کنند. یکی از رایج‌ترین طبقه‌بندی‌ها، برپایه نحوه انتقال انرژی از پمپ به سیال است. در این دسته‌بندی، پمپ‌ها به دو دسته دینامیکی و جابه‌جایی مثبت تقسیم می‌شوند:

۱. **پمپ‌های دینامیکی**<sup>۱</sup>: در این پمپ‌ها انتقال انرژی به سیال به‌طور دائمی است. اقسام پمپ‌های دینامیکی عبارت‌اند از:

گریز از مرکز<sup>۲</sup> و جریان محوری<sup>۳</sup>.

۲. **پمپ‌های جابجایی مثبت**<sup>۴</sup>: در این پمپ‌ها انتقال انرژی به سیال به صورت متناوب یا دوره‌ای صورت می‌پذیرد. اقسام

پمپ‌های جابجایی مثبت عبارت‌اند از: رفت و برگشتی<sup>۵</sup> و دوار<sup>۶</sup>.

در تمام پمپ‌ها، جریان سیال از ورودی پمپ وارد شده و تحت فشار بالا به سمت خروجی آن رانده می‌شود. سرعت چرخش، تعدد اجزاء و تلاطم جریان و بالتبع آن تغییرات فشار می‌تواند سبب ارتعاش و ایجاد امواج صدای هوایی گردد. به طور ایده‌آل، جریان سیال در پمپ باید یکنواخت بوده و نوسان فشار نداشته باشد، اما عملاً تغییراتی ایجاد می‌گردد که ناشی از عملکرد پمپ‌ها است. عملکرد حرکت سیال در پمپ به دلیل ساختار پره‌ها مانند پیستون‌ها و دنده‌ها می‌باشد و در واقع نوسانات این اجزا اغلب سبب ایجاد صدای پمپ می‌باشد. بسیاری از پمپ‌ها، زمانی که در فشار و ظرفیت دبی و سرعت بهینه خود هستند منبع صدای مزاحم تلقی نمی‌شوند، اما به هم خوردن هر یک از مولفه‌ها و نصب و نگهداری ناصحیح آن‌ها می‌تواند سبب ایجاد صدای مزاحم گردد.

صدای پمپ‌ها شامل هر دو بخش هیدرولیک و مکانیک آن‌ها می‌باشد. بعضی از دلایل صدا در پمپ‌ها شامل: حفره (خلأ) سیال، نوسانات فشار، تاثیر سطوح جامد و عدم توازن دینامیکی روتور است. معمولاً منابع هیدرولیک به جز مواردی که مشکل مکانیکی در پمپ ایجاد شود، مانند عدم توازن در روتور، مهم‌ترین تولیدکننده صدا در پمپ‌ها می‌باشند. صدای مزاحم می‌تواند از پمپ به واسطه چرخش هوای متلاطم در اطراف آن و یا از میان لوله‌ها و یا ارتعاش ساختار پوششی پمپ نیز ایجاد شود. صدای ساختار پوششی را می‌توان با ایزولاسیون مناسب، ارتعاش پمپ کاهش داد.

هرچند پمپ‌ها انواع مختلفی دارند اما به طور کلی ملاحظه دقیق وضعیت نگهداری، وضعیت محل نصب، وضعیت اجزای متصل به پمپ مانند لوله‌ها، جعبه‌دنده و الکتروموتور می‌تواند در تشخیص و کنترل صدا موثر باشد. برخی پمپ‌ها ممکن است فرسوده شده باشند و باید تعویض یا تعمیر اساسی شوند، لذا تشخیص عمر آن و تعیین دوره‌های تعمیرات می‌تواند به راه حل کنترل کمک نماید. موضوع محل نصب و فونداسیون از اهمیت بالایی برخوردار است. پمپ باید حتماً روی فونداسیون منفرد و مناسبی که دارای جرمی بیشتر از جرم پمپ باشد قرار گیرد. لازم است پمپ‌ها تا حد امکان روی سطح زمین نصب شوند زیرا نصب آنها در نیم طبقه یا در طبقات به دلیل ارتعاشاتی که ایجاد می‌کنند سبب تشدید صدای آن‌ها خواهد شد. استفاده از ایزولاتور ارتعاشی در محل اتصال پمپ به فونداسیون یکی از راهکارهای مهم کنترل صدای آن‌ها خواهد بود. صدای ناشی از لوله‌کشی متصل به پمپ را نیز باید مورد توجه قرار داد، زیرا انتقال ارتعاش پمپ به مسیر لوله و تلاطم جریان سیال می‌تواند صدای مضاعفی را تحمیل نماید.

1 Dynamic Pumps

2 Centrifugal

3 Axial

4 Positive shift

5 Reciprocating

6 Rotary

مناسب‌ترین راه‌حل شامل اتصالات ارتجاعی (کوپلینگ منعطف) و نصب ایزولاتور لاستیکی در محل اتصال لوله‌ها به سازه اصلی می‌باشد.

یکی از روش‌های موثر و متداول کنترل صدای پمپ‌ها، محصورسازی کامل است. در اغلب موارد، طراحی اتاقک برای پمپ‌ها بهترین راه است زیرا بیشتر پمپ‌ها به هوادهی جهت خنک ماندن نیاز ندارند. در طراحی اتاقک برای پمپ باید جزئیات مورد نیاز برای لایه‌بندی جداره، محدود سازی منافذ ورودی شفت‌ها و لوله‌ها به دقت مورد توجه قرار گیرد. در مواردی که نیاز به جریان هوا در داخل اتاقک باشد، امکان ایجاد مسیرهایی برای جریان طبیعی یا مصنوعی هوا وجود دارد. پس از محصورسازی پمپ، سایلنسرهایی نیز برای خروجی پمپ قابل طراحی است که می‌تواند تا حدی به کنترل صدا کمک نماید.

## ۸-۶ صدای مشعل‌ها

مشعل دستگامی است که با ترکیب مقدار معینی هوا با سوخت در یک فضای ایمن، انرژی سوخت را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند در اثر این احتراق مقداری گاز نیز تولید می‌شود. کار اصلی مشعل، ایجاد گرمایش است. استفاده متداول از مشعل در صنعت، به عنوان موتور احتراق بویلرها است، همچنین در انواع دیگ‌ها، مشعل‌هایی با ظرفیت کاری متفاوت استفاده می‌شود. طرز کار مشعل بدین شکل است که با پاشش سوخت (گاز، گازوییل، مازوت) حرارت مورد نیاز را به صورت شعله به داخل کوره یا بویلر هدایت می‌کند. در اکثر موارد سوخت تحت فشار بالا از نازل مشعل خارج می‌شود و در فضای احتراق می‌سوزد. جریان سیال متلاطم خروجی از دهانه نازل علت اصلی انتشار صدای مشعل می‌باشد. صدای ناشی از این مشعل‌های صنعتی به مشخصات فنی تجهیز و مشخصات نازل آن مرتبط است که اغلب دارای باند پهن فرکانسی می‌باشند. اصول کلی کنترل صدای مشعل‌ها مبتنی بر ارتقای فناوری، طراحی و اصلاحات نازل و اتاقک سازی بر روی مشعل می‌باشد.

## ۸-۷ صدای ناشی از فلر

در بسیاری از صنایع که گازهای زائد قابل احتراق تولید می‌شود، از فلرها برای سوزاندن این گازها به صورت کنترل شده استفاده می‌شود. در میان سایر جنبه‌های زیست‌محیطی، انتشار صدای ناشی از شعله‌ور شدن گاز در فلرها در بسیاری از کشورها با افزایش جمعیت و نزدیک‌تر شدن مناطق مسکونی و صنعتی به یکدیگر اهمیت زیادی پیدا کرده است. نصب تجهیزات کنترل صدای روی فلرها زمانی که فلرها در حال کار کردن هستند تقریباً غیرممکن است. بر این اساس، به منظور انجام برنامه‌ریزی‌های به موقع مربوط به اقدامات کنترل صدا و جلوگیری از هزینه‌های غیرضروری، پیش‌بینی انتشار صدای فلرها در ابتدای فرآیند طراحی آن‌ها بسیار مهم است. انجام این امر مستلزم داشتن دانش و اطلاعات مربوط به منابع تولید صدای فردی مرتبط با سیستم مشعل فلر و توانایی محاسبه سهم هر یک از این منابع در تولید و انتشار صدای کلی، بر اساس داده‌های موجود در مرحله برنامه‌ریزی است. مشاورین و مدیران فنی شرکت که از فلرها استفاده می‌کنند نه تنها باید از مقررات زیست‌محیطی مربوط انتشار صدا پیروی کنند، بلکه باید درک کلی از شعله‌ور گاز در فلر و تأثیرات صوتی آن بر تأسیسات و صنایع کناری و همسایگانش نیز داشته باشد. برای بهینه‌سازی صوتی فلرها، می‌توان از اقدامات اولیه کنترل صدا (مانند طراحی فلرهای کم‌صدا) و اقدامات ثانویه کنترل صدا (مانند سایلنسرها و موانع صوتی) بسته به نوع مشعل و چگونگی شعل ور شدن گاز در مشعل مورد نظر استفاده کرد. با این حال، مشخصه تعیین کننده اکثر فلرها این است که فلرها تحت هیچ شرایطی و بدون ایجاد خطر ایمنی غیرقابل تحمل در زمانی که صنعت

مربوطه در حال فعالیت است خاموش نمی‌شوند. در نتیجه، اگر یک فلر پس از راه اندازی آن، صدای بیش از حد تولید کند، معمولاً برای چندین سال (تا شات داون بعدی صنعت)، هیچ روش کنترل صدای مقرون به صرفه ای برای آن وجود نخواهد داشت. در نتیجه، مفهوم کنترل صدای بهینه فلر باید در مرحله طراحی فلر در نظر گرفته شود. برای این منظور، ضروری است که بتوان تراز و ویژگی های انتشار صدای مورد انتظار فلر را با دقت کافی پیش بینی کرد. روابط ساده مربوط به پیش‌بینی انتشار صدای فلرها را می‌توان از دستورالعمل VDI 3732 بدست آورد. و در آخر انتخاب فناوری باید متناسب با محدوده کاربری مناطق اطراف فلر و پیش بینی میزان تراز نشر صوتی نهایی آن باشد به طوری که از مقادیر حد مجاز زیست محیطی تجاوز ننماید.

## ۹ - طراحی عایق صوتی برای لوله ها، شیرها و فلنج ها

صدای منتشر شده از دیواره لوله معمولاً توسط تجهیزات متصل به لوله مانند کمپرسور، پمپ ها، ولوها یا اجکتورها ایجاد می‌شود. این منابع صوتی ممکن است باعث شوند که بخش طویل لوله صدا ایجاد کند زیرا صدا با کاهش کمی در لوله منتقل می‌شود. انتشار صدای لوله‌ها می‌تواند با نصب عایق میراکننده صوتی روی جداره بیرونی کاهش یابد. عایق‌های صدا به صورت نواری و صفحات و غلاقها چسبانده شوند یا به صورت پوشش (ژاکت) روی جداره نصب گردند. سه کلاس عایق صوتی در نظر گرفته شده است که به صورت A، B و C مشخص می‌شوند. محاسبات باید مطابق با DEP-31-46-00-31 GEN (Shell-Design and Engineering Practice) انجام شود.

## ۱۰ - طراحی اتاقک‌ها و محفظه‌ها

برای اتاقک‌سازی ابتدا لازم است اندازه‌گیری دقیقی از صدای محیط به همراه آنالیز فرکانس یک اکتاو باند در شبکه وزنی خطی انجام گردد. اندازه‌گیری باید حاوی تمام شرایط انتشار صدا باشد تا طراح بتواند بر اساس بدترین شرایط مواجهه افراد با صدا، نسبت به تعیین روش و جزئیات طراحی اتاقک اقدام نماید. در طراحی اتاقک دو عنصر اساسی دارای اهمیت می‌باشد که شامل تراز فشار صوتی که باید کاهش یابد و فرکانس غالب صوت است. ساخت اتاقک‌های آکوستیک از نظر مصالح، اصولاً به دو گروه اتاقک‌های با مصالح بنایی و مصالح فشرده تقسیم می‌شوند که هر یک دارای مزایا و معایبی هستند. به طور کلی برای مکان‌هایی که فضا و تمیزکاری هنگام اجرا اهمیت بیشتری داشته باشد، از مصالح با لایه‌بندی فشرده استفاده می‌شود. با توجه به محیط مورد نظر و مشورت با کارفرما، می‌توان یکی از این دو روش را انتخاب نمود ولی از نظر میزان کاهش صدا هر دو روش کاملاً کارایی دارند. اما برای دستیابی به افت بالاتر از ۲۰ dB باید ملاحظات متعددی را در نظر گرفت. به همین خاطر اگر کنترل صدا بالاتر از این عدد مورد نیاز باشد، اغلب اتاقک‌سازی تنها گزینه خواهد بود. در طراحی اتاقک اولین رکن مهم مقاومت سازه در مقابل صدمات و ضربات و تنش‌های احتمالی است، لذا در هر حال باید اصول طراحی مکانیک سازه رعایت شود. اتاقک‌ها باید همواره دارای فونداسیون مناسب باشند و در صورت لزوم از اتصالات میراکننده ارتعاش در اتصال سازه اتاق به فونداسیون استفاده شود. سایر موارد مانند مقاومت در برابر حریق، عدم سمیت مصالح و رعایت نکات زیبایی شناسی و معماری نیز ضروری است. اتاقک برای کارکنان با استقرار دائم باید دارای حداقل حجم فضای  $12 \text{ m}^3$  به ازای هر نفر بوده و ۲۰ CFM هوای تازه شرایط سازی شده در نظر گرفته شود. وجود پنجره به تعداد و ابعاد مناسب، درب تردد اصلی و خروج اضطراری، روشنایی متناسب، سامانه آلارم حریق، خط تلفن ارتباطی و سایر لوازم آسایشی باید در نظر گرفته شود. در اتاقک‌سازی برای کارکنان باید تا حد امکان پنجره‌ها بازشو

نباشد و درب‌ها به داخل باز شوند و در طراحی درب‌ها دقت شود که مقابل منابع صدای اصلی قرار نگیرند یا با زاویه ۹۰ درجه نسب به منابع صدا طراحی شوند.

در روش اتاقک‌سازی با استفاده از مصالح بنایی، ابتدا لازم است که جانمایی مناسبی برای محل احداث صورت گیرد و پس از اجرای فونداسیون معمولاً سازه اصلی با استفاده از اسکلت فولادی انجام می‌گردد. محاسبات سازه فولادی باید توسط مهندس سازه انجام گردد. پس از اجرای اسکلت‌بندی، سقف اتاقک با استفاده از تیرچه بلوک یا سایر روش‌های متداول اجرا و روی سقف پس از آرماتوربندی به ضخامت بین ۱۲-۱۰ سانتی متر بتن‌ریزی می‌گردد. سقف سبک به هیچ وجه برای اهداف کنترل صدا مناسب نیست، زیرا هم درزبندی کاملی نخواهد داشت و هم چگالی سطحی آن برای کنترل صدا به میزان کافی نخواهد بود. پس از اجرای سقف دیوارها اجرا می‌گردد. مصالح دیوارها بسته به چگالی سطحی مورد نیاز از انواع متداول انتخاب می‌گردد. نکته بسیار مهم در انتخاب مصالح این است که باید از بلوک‌ها یا آجرهای توپر استفاده شود، و استفاده از بلوک‌های سفالی یا پانل‌های گچی به هیچ وجه مناسب کنترل صدا نیست. بلوک‌های سیمانی دارای قفل و بست یا آجر توپر گزینه‌های اقتصادی می‌باشند. مصالح جدیدی شامل بلوک‌های سیپورکس یا بتن سبک با دانسیته متناسب با نیاز طراحی که با ملات مخصوص اجرا می‌شوند نیز می‌توانند گزینه‌های بعدی باشند. در هر صورت اجرای دیوارها باید با کمترین درز آشکار و پنهان و اصطلاحاً به صورت دوربند اجرا گردد. لازم است که برای اطمینان از درزبندی کامل، دو طرف دیوارها با آستر ملات ماسه و سیمان به ضخامت دو سانتی‌متر پوشانده شود و آنگاه لایه نهایی نمای خارجی یا اندود داخلی روی آن اجرا گردد. کلاف مورد نیاز برای درب و پنجره نیز باید کاملاً در داخل دیوار قرار گیرد و مماس با جداره دیوار نباشد زیرا شکاف‌های ایجاد شده باعث کاهش کارایی عایق خواهد شد. پنجره‌ها باید تا حد امکان کوچک و غیر بازشو باشند. جنس پنجره‌ها باید از کلاف UPVC سنگین و شیشه دو تا سه جداره تولیدی معتبر باشد. پنجره‌های استاندارد دو جداره حدود ۲۳ dB و سه جداره حدود ۲۷ dB قابلیت عایق‌بندی دارند و شرط تحقق این مقادیر درزگیری و چسب‌کاری دقیق و کامل در هنگام نصب است..

در حال حاضر درخواست برای اجرای اتاقک‌های آکوستیک که اجرای آن‌ها سریع و تمیز باشد در محیط‌های شهری و صنعتی رو به تزاید است. برخی دلایل مهم برای استفاده از فناوری اتاقک با لایه‌بندی فشرده شامل: سهولت نصب، نازک بودن لایه‌های سطوح جداره (حداکثر ۱۰ cm)، قابلیت شکل‌پذیری متنوع، امکان متحرک بودن تمام یا بخشی از سازه می‌باشد. اتاقک با لایه‌بندی فشرده شامل یک کلاف اسکلت فلزی (معمولاً قفولادی) متناسب با ابعاد و ویژگی‌های طرح است که محاسبات آن سازه باید طبق اصول فنی بوده و مقاومت کافی در برابر هرگونه تنش مکانیکی را داشته باشد. کلاف اصلی معمولاً با استفاده از پروفیل قوطی مقطع چهارگوش ساخته می‌شود که باید بر روی فونداسیون مناسب نصب گردد. محل اتصال سازه با فونداسیون باید شامل یک صفحه و بولت فولادی متناسب با نیاز پروژه باشد که در بستر بتنی نصب شده باشد. برای اتصال ستون‌های عمودی اتاقک اغلب نیازی به شناژ افقی وجود ندارد بلکه استفاده از کلاف زیرین از جنس ناودانی یا قوطی فولادی می‌تواند این اتصال را برقرار نماید.

پس از اجرای کامل اسکلت سازه، لایه‌های اصلی جداره شامل ورق‌های سنگین فولادی (یا در برخی موارد آلومینیوم) روی آن نصب می‌شود. نصب جداره فلزی ترجیحاً به صورت جوش سرتاسری و در برخی موارد با کمک پیچ یا پرچ می‌باشد. در هر حال باید درزبندی به صورت کامل انجام گردد. پس از اجرای لایه‌بندی فلزی و نقاشی زیر کار که معمولاً ضد زنگ کردن سازه است، مراحل تزریق فوم بین جداره و یا نصب فوم روی جداره داخلی لزی در مرحله بعد انجام می‌گردد. سپس لایه داخلی بعدی شامل پشم معدنی و لایه نهایی روکش جاذب داخل اتاقک نیز متناسب طرح اجرا می‌گردد. مرحله نهایی نصب درب و پنجره‌ها و کف‌سازی

نهایی و نصب تاسیسات روشنایی، ارتباطی و تهویه و نقاشی یا نماکاری بیرونی است. اجرای لایه‌بندی با دقت و طبق طراحی اولیه انجام گردد تا عملکرد کلی لایه‌های ساندویچی کارایی اتاقک را در عایق‌بندی صحیح و موثر تضمین نماید. در برخی موارد امکان اجرای سازه در محل میسر نیست، در این صورت کل اتاقک یا اجزای لایه‌بندی شده آن باید در محل دیگر ساخته شود و در محل نصب مونتاژ گردد. مهمترین مشکل مونتاژ در محل، درزبندی است که باید به‌خوبی انجام گردد.

## بخش دوم کنترل ارتعاش شغلی

### ۱۱- تعیین میزان مواجهه با ارتعاش شغلی

بدن انسان مثل تمام محیط‌های کشسان قابلیت تولید ارتعاش را دارد. هریک از اندام‌های بدن انسان دارای ارتعاش طبیعی مخصوص به خود می‌باشد و بسته به ویژگی هر اندام از بدن دارای فرکانس، جرم، فنریت و میرایی مخصوص به خود است. بازه ارتعاشی مهم برای بدن انسان در فرکانس‌های کمتر از ۲۰۰۰ هرتز اتفاق می‌افتد و ارتعاشاتی که در بازه ۱ تا ۸۰ هرتز می‌باشند محدوده طبیعی بدن را تشکیل می‌دهند.

معمولاً کارگران در مواجهه با ارتعاش شغلی به دلیل مواجهه مستمر، در طول زمان، اثرات مواجهه را نشان می‌دهند. به طور کلی میزان بزرگی دامنه ارتعاش را در هر وضعیتی در محیط‌های کاری را می‌توان به سه روش تعیین کرد:

الف- اطلاعاتی که توسط صنایع تولید کننده دستگاه‌ها ارائه می‌شود: از آنجا که صنایع تولید کننده دستگاه‌ها به دلایل رقابتی تمایل به منتشر کردن اطلاعات نادرست و کمتر نشان دادن مقدار واقعی میزان ارتعاش تولید شده توسط دستگاه‌های خود می‌باشند، بنابراین باید با احتیاط کامل در مورد اطلاعات منتشر شده از این منابع استناد نمود.

ب- مراجعه به سایر منابع اطلاعاتی: از سایر منابع اطلاعاتی که تا حدودی اطلاعات کم و بیش درستی در مورد میزان ارتعاش تولیدی دستگاه‌ها منتشر می‌کنند، می‌توان به مواردی همچون جستجوگرهای علمی و تخصصی موجود در اینترنت و کتب مرجع اشاره کرد. هنگام استفاده از این منابع بهتر است اطلاعاتی همچون نوع تجهیز (مثلاً لیفتراک)، طبقه وسیله (مثلاً توان و اندازه آن)، منبع انرژی، وجود سیستم ضد ارتعاشی و ... را در نظر داشته باشید.

ج- اندازه‌گیری مستقیم مواجهه با ارتعاش در محیط کار توسط دستگاه ارتعاش سنج انسانی<sup>۱</sup>

### ۱۱-۱ مراحل شناسایی، اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش

برای اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش باید نسبت به روش‌های اندازه‌گیری، ویژگی‌های محیط شغلی و نوع مواجهه شغلی فرد با ارتعاش اطلاعات کافی کسب کرد. بهتر است قبل از اندازه‌گیری ارتعاش پس از تعیین هدف اندازه‌گیری، اطلاعات دقیقی از محل تولید ارتعاش، نحوه مواجهه شغلی فرد، وسیله اندازه‌گیری، روش کالیبراسیون آن، استانداردهای اندازه‌گیری و حدود مجاز مواجهه کسب نمود.

<sup>۱</sup> - Human Vibration Meter

## ۱-۱-۱۱ روشهای شناسایی منابع ارتعاش و محدوده‌های خطر

ارتعاش یکی از عوامل همراه با صدا در محیط‌های صنعتی و شهری بوده و زمانی اتفاق می‌افتد که یک جرم متناوباً حول یک محور تعادل نوسان داشته باشد. فرکانس، دامنه جابجایی و زمان تناوب از مشخصات حرکت ارتعاشی است. کلیه اجسامی که دارای جرم و فنریت (قابلیت کشسانی) باشند، قابلیت پذیرش و تولید ارتعاش را دارند. از مشخصه‌های اصلی امواج ارتعاشی می‌توان به دامنه<sup>۱</sup> (شامل دامنه جابجایی<sup>۲</sup>، سرعت<sup>۳</sup> و شتاب<sup>۴</sup>)، فرکانس<sup>۵</sup> (و فرکانس زاویه ای<sup>۶</sup>)، زمان تناوب<sup>۷</sup>، طول موج<sup>۸</sup> و نیرو<sup>۹</sup> اشاره نمود. با توجه به اینکه سیستم یا فرآیند نقش قابل توجهی در میزان مواجهه افراد با ارتعاش داشته، برای آنالیز قابل قبول و مطمئن مشکلات ارتعاشی ضروری است که شناسایی منابع مولد به یک روش قابل اطمینان انجام و قبل از اقدام به ارزیابی ارتعاش در یک واحد یا کارگاه خاص، اطلاعات لازم درباره منابع ارتعاشی موجود، وسعت کار و زمان لازم برای انجام ارزیابی جمع آوری گردد. در ارتباط بین ارتعاش اجسام در محیط و انسان (از نظر بهداشتی) آنچه که حائز اهمیت می‌باشد این است که انرژی امواج ارتعاشی حاصل از تجهیزات، وسایل کاری و مولدهای ارتعاش از قبیل ابزارهای الکتریکی گردان مثل دریل، انواع موتورهای درون سوز، ابزارهای پنوماتیک، وسایل نقلیه و دستگاه‌های دارای قسمت‌های متحرک در تماس مستقیم با اعضاء و اندام‌های بدن می‌توانند در برخی محدوده‌های دامنه و فرکانس ارتعاشی مخاطره آمیز باشد. انتقال این انرژی مکانیکی از منبع مرتعش به بدن کارگر می‌تواند به ترتیب، موجب اختلال در راحتی و آسایش فرد، کاهش بازدهی در اثر خستگی و اختلال در اعمال فیزیولوژیک و حتی اختلالات دائم منجر به بیماری گردد.

## ۱-۱-۱۱-۱ مطالعه ارتعاش تجهیزات

هر حرکت ارتعاشی تحت تاثیر یک نیروی درون سیستم یا نیروی محرکه ایجاد می‌گردد. برای تداوم حرکت ارتعاشی باید یا میرایی سیستم بسیار کم باشد و یا نیروی ارتعاش پیوسته اعمال گردد و این نیرو طبق رابطه هوک محاسبه می‌شود:

$$F(N) = -K \times d \quad (16)$$

$$F(N) = m \times a \quad (17)$$

$$F(N) = C \times V \quad (18)$$

$F$ : نیروی ارتعاش (نیوتن)

$K$ : ضریب فنریت یا سختی سیستم (نیوتن بر متر)

- 
- 1 - Amplitude
  - 2 - Displacement
  - 3 - Velocity
  - 4 - Acceleration
  - 5 - Frequency
  - 6 - Angle Frequency
  - 7 - Period
  - 8 - Wave Length
  - 9 - Force

$l$  دامنه جابجایی (متر)

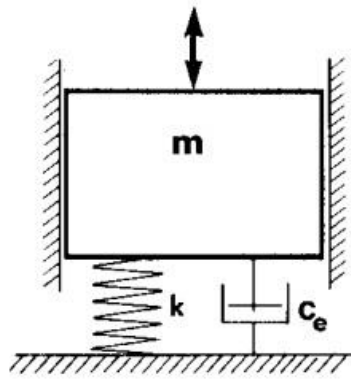
$m$  جرم محیط (کیلوگرم)

$a$  شتاب حرکت ارتعاشی (متر بر مجذور ثانیه) و  $g$  شتاب ثقل معادل  $9/81$  متر بر مجذور ثانیه

$C$ : ضریب میرایی محیط (نیوتن ثانیه بر متر)

$V$ : سرعت ارتعاش در محیط (متر بر ثانیه)

بر اساس روابط فوق، هر چه سختی، جرم یا میرایی سیستم بزرگتر باشد، برای حفظ دامنه (جابجایی، سرعت یا شتاب) ارتعاش باید نیروی بزرگتری وارد گردد. هر سیستم ارتعاشی با توجه به روابط بالا با سه عامل جرم، میرایی و فنریت نشان داده می شود. شکل ۵ سمبل یک سیستم ارتعاشی است. در شرایطی که این سیستم به دلیل اعمال نیروی داخلی یا خارجی از حالت تعادل خارج شود، اگر چه انرژی محرکه سیستم باعث ارتعاش می گردد ولی بخشی از آن نیز صرف غلبه بر سختی و میرایی سیستم خواهد شد. میرایی ارتعاش در حالت طبیعی، از دست دادن انرژی به طریق مالش، چسبندگی و حرارت بوده و دامنه ارتعاشات به ضریب میرایی نیز وابسته است.



شکل ۵- سمبل یک سیستم ارتعاشی

### ۱۱-۱-۲ ارتعاش آزاد و ارتعاش واداشته

ارتعاشی که توسط نیروی ارتعاش سیستم داخلی (درونی) ایجاد شود را ارتعاش آزاد می نامند. به طور کلی هر سیستم با ارتعاش آزاد یا درونی، دارای یک فرکانس طبیعی مخصوص به خود می باشد. این فرکانس طبیعی در اثر وارد نمودن نیروی ذاتی سیستم بر جرم سیستم ارتعاشی که دارای سختی یا فنریت مخصوص به خود می باشد ایجاد شده و جرم محیط را حول نقطه تعادل آن به نوسان در می آورد. هنگامی که جسم از حالت تعادل خود خارج شود، نیروی ذاتی بر میرایی غلبه نموده و با فرکانس طبیعی شروع به ارتعاش خواهد کرد. رابطه مربوط به فرکانس طبیعی سیستم آزاد به شرح زیر می باشد. ملاحظه می گردد که فرکانس طبیعی وابسته به جرم، ضریب سختی و ضریب میرایی می باشد.

$$f_n (Hz) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m} - \left(\frac{C}{2m}\right)^2} \quad (19)$$



$K$ : ضریب سختی سیستم (N/m)

$m$ : جرم محیط (kg)

$C$ : ضریب میرایی (NS/m)

هنگامی که سیستم ارتعاشی آزاد تحت تاثیر نیروی محرکه بیرونی قرار گیرد، در ابتدا نسبت به نیروی محرکه از خود مقاومت نشان داده و در صورتی که نیروی محرکه بیشتر یا غالب باشد یا در شرایط نزدیک بودن فرکانس‌های دو محیط و برابری آن‌ها، عبور ارتعاش به راحتی انجام گرفته و سیستم ارتعاش آزاد<sup>۱</sup> تحت تاثیر فرکانس نیروی محرکه به ارتعاش خود ادامه می‌دهد. این نوع ارتعاش از نوع واداشته<sup>۲</sup> خواهد بود. در صورتی که فرکانس نیروی محرکه و فرکانس طبیعی سیستم با یکدیگر برابر شوند عبور ارتعاش به سیستم آزاد بدون هیچگونه مقاومتی انجام و پدیده تشدید<sup>۳</sup> رخ خواهد داد. تشدید به معنی تسلیم شدن مکانیکی سیستم در برابر نیروی محرکه بوده و در مواردی که ارتعاش جز ذاتی یک سیستم آزاد برای فعالیت‌های آن می باشد، این پدیده ممکن است به دلیل غیر هم‌فاز بودن دو سیستم ارتعاشی، منجر به تخریب در سیستم‌های مکانیکی یا اختلال در سیستم فیزیولوژیک در بدن انسان گردد. روابط مربوط اثر سیستم ارتعاشی محرکه بر سیستم آزاد در رابطه زیر نشان داده شده است. میزان عبور ارتعاش با نسبت عبور نیروی ارتعاش محرکه بیان شده است:

$$T = \frac{F_t}{F_a} = \sqrt{\frac{1 - (2\xi \cdot X)^2}{[1 - X^2]^2 + [2\xi \cdot X]^2}} \quad (20)$$

$$X = f/f_n = \omega / \omega_n \quad (21)$$

$T$ : نسبت عبور نیروی ارتعاش

$F_t$ : نیروی عبور کرده  $N$

$F_a$ : نیروی محرکه  $N$

$f$ : فرکانس سیستم محرکه Hz

$f$ : فرکانس سیستم طبیعی Hz

$\omega$ : سرعت زاویه‌ای

$\xi$ : نسبت میرایی

نسبت میرایی بین صفر و یک متغیر بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\xi = \frac{C}{C_c} \quad (22)$$

$C$ : ضریب میرایی سیستم

$C_c$ : ضریب میرایی بحرانی سیستم

<sup>1</sup> - Free Vibration

<sup>2</sup> - Forced Vibration

<sup>3</sup> - Resonance

ضریب میرایی بحرانی در هر سیستم ارتعاشی عبارت از ضریبی است که در آن، سیستم از ارتعاش باز می‌ایستد، رابطه آن در زیر آمده است:

$$C_c = 2\sqrt{k \cdot m} \quad (23)$$

$K$ : ضریب سختی سیستم (N/m)

$m$ : جرم محیط (kg)

$C_c$ : ضریب میرایی بحرانی (NS/m)

فرکانس تشدید نیز طبق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$f_r(\text{Hz}) = f \sqrt{1 - \xi^2} \quad (24)$$

$f_r$ : فرکانس تشدید

$f$ : فرکانس نیروی محرکه

### ۱۱-۱-۳ عبور (انتقال) ارتعاش

به طور کلی میزان سهولت عبور نیروی ارتعاش از یک سیستم مرتعش به سیستم دیگر متناسب با نسبت فرکانس سیستم محرکه به فرکانس سیستم آزاد (طبیعی) ( $f/f_n$ ) است. در صورتی که نسبت فرکانس سیستم محرکه به فرکانس سیستم طبیعی برابر با یک باشد، دامنه جابجایی یا آسانی عبور ارتعاش در محیط به سمت بی‌نهایت میل می‌کند و پدیده تشدید اتفاق می‌افتد. زمانی که نسبت فرکانس نیروی محرکه به فرکانس طبیعی برابر با  $0/2$  باشد میزان عبور ارتعاش برابر با ۱ و زمانی که فرکانس نیروی محرکه به فرکانس طبیعی برابر با ۱۰ باشد در صورت عدم وجود میرایی، قابلیت عبور ارتعاش بسیار کم می‌شود، به همین علت در امر کنترل ارتعاش سعی می‌شود نسبت فرکانس محرکه به فرکانس طبیعی بزرگ باشد تا قابلیت عبور ارتعاش به حداقل برسد.

### ۱۱-۱-۴ میرایی ارتعاش

در مطالعه ارتعاش، از بین سه کمیت جرم، میرایی و فنری (سختی)، بررسی میرایی به دلایلی نسبت به دو کمیت دیگر از دشواری بیشتری برخوردار است. هنگامی که کمیت میرایی به درستی بررسی و اعمال شود سه ویژگی مهم را ایجاد می‌کند:

الف- کاهش انرژی ارتعاشی منتقله در طول سازه

ب- کاهش دامنه ارتعاشی در حالت تشدید

ج- کاهش ارتعاش آزاد یا ارتعاشات ناشی از ضربه

از آنجا که ارتعاش، با تولید صدا همراه بوده، کاهش انرژی ارتعاشی منجر به کاهش تولید صدا نیز می‌گردد. در حقیقت بخش عمده‌ای از صدای فرکانس پایین توسط سطوح سازه‌ای مرتعش تشدید شونده تولید می‌شود. در این نوع ارتعاشات، کنترل صدا با کاهش ارتعاشات ساختاری همراه است. به طور کلی میرایی سازه‌ای با استفاده از سیستم‌های پراکنش کننده انرژی بالا برای کاهش سطوح ارتعاش در فرکانس‌های تشدید انجام می‌شود و بر روی فرکانس‌های غیر از فرکانس تشدید بی اثر یا کم اثر است.

میرا شدن به معنی تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی حرارتی بوده و هر تکنیکی که قادر به انجام این تبدیل باشد، یک مکانیسم میراکننده محسوب می‌شود. مواد میراکننده ارتعاش علاوه بر کاهش میزان ارتعاش، انتقال صوت را نیز کاهش خواهند داد. به طور کلی ناحیه کنترل میرایی بین ناحیه با فرکانس پایین (جایی که سختی مهم‌ترین کمیت است) و ناحیه با فرکانس بالا (جایی که جرم کمیت کنترلی است) قرار می‌گیرد. بین این دو ناحیه جایی است که اکثر حالت‌های فرکانس طبیعی سازه وجود دارد.

#### ۱۱-۱-۱-۵-۱-۱-۱۱ فونداسیون تجهیزات

نصب تجهیزات ارتعاشی روی سطح زمین بدون قرار گرفتن روی یک فونداسیون مناسب، موجب افزایش دامنه جابجایی استاتیکی می‌شود و لذا لرزش‌های ناشی از چرخش تجهیز موجب تشدید ارتعاش می‌شود. در نظر گرفتن فونداسیون به دلیل تحمل جرم به سیستم باعث کاهش دامنه جابجایی استاتیک می‌گردد. هنگام نصب فونداسیون باید دقت کرد که این تجهیزات بر روی سطح زمین قرار بگیرند و از قرارگیری آن‌ها روی طبقات جلوگیری گردد زیرا باعث تشدید ارتعاش می‌شود. نکته قابل توجه این است که هر دستگاه باید دارای فونداسیون مخصوص به خود باشد تا در صورت خرابی، ارتعاش آن به سایر دستگاه‌ها منتقل نشود. پیشنهاد می‌شود جرم فونداسیون باید بین ۱/۵ تا ۳ برابر جرم تجهیز باشد. اگر دستگاه در سطح زمین قرار گیرد از نسبت ۱/۵ و اگر در طبقات قرار بگیرد از نسبت ۳ استفاده می‌شود. متداول‌ترین فونداسیون‌ها معمولاً بتن آرمه و بعد از آن فولاد می‌باشد.

#### ۱۱-۱-۱-۵-۱-۱-۱۱ مشخصات فونداسیون

برای انجام محاسبات مربوط به فونداسیون‌ها باید طول و عرض و مساحت آن محاسبه گردد. طول و عرض فونداسیون وابسته به ابعاد کف تجهیزات می‌باشد. همچنین باید ۱۰ درصد برای نصب صحیح تجهیز روی صفحه اضافه گردد و به همین ترتیب ارتفاع فونداسیون به جرم کلی فونداسیون و چگالی بتن آرمه وابسته است ولی در هر حال نباید ارتفاع فونداسیون از ۳۰ سانتیمتر کمتر باشد. در فونداسیون از ۴ عدد صفحه و پایه عسایی برای متصل کردن پایه‌های دستگاه استفاده می‌گردد. ابعاد بولت‌ها باید متناسب با ابعاد فونداسیون بوده، اغلب از ۲۵ در ۲۵ سانتی‌متر مربع کمتر نیست. ضخامت صفحه فولادی اغلب بیشتر از ۱۰ میلیمتر است. پایه بولت شامل میلگرد آجدار خمیده‌ای است که به صفحه پیچ یا جوش شده است و در داخل بدنه آرماتورها نصب می‌گردد و پس از بتن ریزی، با فونداسیون یکپارچه می‌شود.

#### ۱۱-۱-۱-۶-۱-۱-۱۱ عایق ارتعاش

عایق ارتعاش<sup>۱</sup> شامل مصالحی است که متناسب با ماهیت ارتعاش تجهیز بین پایه تجهیز و صفحه ستون فونداسیون قرار می‌گیرد و علاوه بر کاهش ارتعاش تجهیز، از انتقال ارتعاش به کف و سطوح و سازه‌های مجاور جلوگیری می‌نماید. عایق‌های ارتعاش، شامل: انواع فنر، قطعات الاستومری، صفحات لاستیکی، صفحات چوب پنبه و نمد، بالشک‌های هوا و کمک فنرها هستند.

#### ۱۱-۱-۲-۱-۱۱ ارتعاش انسانی

بدن انسان همانند سایر محیط‌های الاستیک قابلیت پذیرش و تولید ارتعاش را دارد. بدن انسان دارای سیستم ارتعاشی مخصوص به خود بوده و همانند سایر موجودات زنده، حرکت ارتعاشی لازمه حیات وی می‌باشد. ارتعاش عضلات باعث تعادل بدن می‌گردد،

<sup>۱</sup> - Vibration Isolator

ارتعاش کره چشم در دیدن اشیاء ساکن نقش ممتازی را برای انسان ایجاد نموده است، هضم و جذب غذا در دستگاه گوارش بدون ارتعاش طبیعی ناممکن است و بالاخره گردش خون و ضربان قلب دارای ارتعاش منظمی برای تغذیه و اکسیژن رسانی بافت‌ها می‌باشد. هر بخش از بدن انسان دارای یک ارتعاش طبیعی یا ذاتی بوده و بسته به هر اندام دارای فرکانس، جرم، فنریت و میرایی مخصوص به خود است. برای بدن انسان یک مدل ارتعاشی مکانیکی در نظر گرفته شده است که در آن، هر اندام یک محدوده از فرکانس ارتعاشی را دارا می‌باشد. بدن انسان به عنوان یک سیستم بیولوژیک می‌تواند تحت تاثیر سیستمهای ارتعاش مهاجم (محرکه) قرار گیرد و دچار اختلال گردد. در مباحث بهداشت حرفه‌ای شناخت و توجه به فرکانس بحرانی اندامها متناسب در مواجهه با ارتعاش محیط کار علاوه بر اندازه‌گیری و ارزیابی دامنه شتاب ارتعاش دارای اهمیت بالایی می‌باشد، زیرا هر محدوده فرکانس به طور متناظر برخی اندامهای هدف در بدن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل در مطالعات ارتعاش شغلی، مبحث ارتعاش انسانی<sup>۱</sup> جایگاه مهمی دارد. اصولاً در اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش و همچنین در تدوین حدود مجاز مواجهه شغلی، معیارهایی برای ارتعاش تمام بدن<sup>۲</sup> و به طور مستقل با توجه به اهمیت حفاظت دست و بازو، ارتعاش دست-بازو<sup>۳</sup> مورد توجه قرار گرفته است.

### ۱۱-۱-۳ روش های اندازه‌گیری ارتعاش شغلی

برای اندازه‌گیری و نهایتاً ارزیابی ارتعاش، شناخت کامل نسبت به روش‌های سنجش، خصوصیات محیط کار و چگونگی مواجهه کارگر اهمیت دارد. در زیر به مهمترین نکاتی که باید قبل از اقدام به اندازه‌گیری و ارزیابی در نظر گرفته شود، اشاره شده است.

#### ۱۱-۱-۳-۱ هدف اندازه‌گیری

قبل از اندازه‌گیری ارتعاش باید هدف از انجام اندازه‌گیری مشخص گردد. چرا که با توجه به نوع هدف، روش، وسایل و نحوه اندازه‌گیری ارتعاش متفاوت خواهد شد. از جمله اهداف اندازه‌گیری ارتعاش می‌توان به اندازه‌گیری برای اهداف صنعتی (مثلاً عیب یابی و بازرسی فنی و پایش ارتعاش تجهیزات)، اندازه‌گیری برای مشخص نمودن میزان مواجهه فرد، اندازه‌گیری برای آنالیز فرکانس و اندازه‌گیری برای کنترل ارتعاش اشاره نمود.

#### ۱۱-۱-۳-۲ جمع آوری اطلاعات مورد نیاز

قبل از هر گونه اقدام به اندازه‌گیری و ارزیابی، باید اطلاعات دقیقی از کارگاه و نحوه مواجهه کارگر جمع آوری گردد. نقشه ساده محیط کار به همراه جانمایی محل نصب دستگاهها و خصوصاً دستگاههای مولد ارتعاش با مقیاس مناسب، ترسیم و اطلاعات مربوط به محل های توقف کارگران، ساعات مواجهه هر گروه کارگران با ارتعاش، اوقات تغییر شیفت و اطلاعات مدیریتی مهم مانند اضافه کاری، کارگردشی و مرخصی ها نیز باید ثبت گردد. در اهداف کنترلی ارتعاش به اطلاعات دقیق و وسیعی در رابطه با مشخصات فنی دستگاه ها، مشخصات فنی سازه های بنای کارگاه و نیز مشخصات فنی فونداسیون محل نصب دستگاه ها نیاز است.

#### ۱۱-۱-۳-۳ وسیله اندازه‌گیری

<sup>۱</sup> - Human Vibration

<sup>۲</sup> - Whole Body Vibration (WBV)

<sup>۳</sup> -Hand Arm Vibration(HAV)

برای هر هدف معین باید از وسیله مناسب با توجه به طرز کار و محدودیت های دستگاه استفاده گردد. در انتخاب دستگاه ارتعاش سنج انسانی باید دقت نمود که طراحی دستگاه برای این کار انجام شده باشد. بهترین ملاک انتخاب، داشتن گواهی استاندارد دستگاهی ISO 8041 و مطابقت با استانداردهای ISO 2631-1,2 & 5 برای ارتعاش تمام بدن و ISO 5349 برای ارتعاش دست - بازو می باشد. بعلاوه اطمینان از داشتن قابلیت شبکه وزنی برای مطابقت با پاسخ بدن انسان و مناسب بودن بخش دریافت کننده ارتعاش برای اندازه گیری ضروری است.

اصولاً ارتعاش سنج ها به دو صورت ارتعاش سنج صنعتی و ارتعاش سنج انسانی به بازار عرضه می گردند. نوع صنعتی برای عیب یابی و پایش ارتعاش تجهیزات صنعتی کاربرد دارد و مقادیر ارتعاش را به صورت مطلق و بدون توزین فرکانس اندازه گیری می کند، ولی نوع انسانی علاوه بر امکان توزین فرکانس بر مبنای درک حسی انسان، می تواند برخی محاسبات لازم را نیز انجام داده و شاخص مواجهه را تعیین کند. ارتعاش سنج انسانی برای اندازه گیری ارتعاش تمام بدن و دست-بازو کاربرد دارد. این وسایل دارای سنسور دریافت کننده اختصاصی و جدول توزین فرکانس مستقل بوده و با توجه به هدف اندازه گیری متفاوت می شود. نتایج اندازه گیری با این وسایل به صورت مقادیر فیزیکی یا تراز، مخصوصاً تراز شتاب با مقادیر RMS یا PEAK دریافت می گردد. دریافت کننده دارای شتاب سنج، قاب نگهدارنده، فیلتر تشدید، و کابل رابط می باشد. دستگاه های ارتعاش سنج شامل بخش های دریافت کننده، تقویت کننده سیگنال، پردازشگر و نمایشگر است.

#### ۱۱-۳-۳-۱ انواع شتاب سنج ها

بخش دریافت کننده دستگاه های ارتعاش سنج، شامل شتاب سنج، قاب و سیم رابط به دستگاه است. شتاب سنج های متداول شامل انواع زیر می باشند. نکته مهم در انتخاب دستگاه ارتعاش سنج و دریافت کننده آن توجه با استاندارد دستگاهی مورد نیاز برای کاربرد آن در اندازه گیری مواجهه شغلی می باشد.

الف- پیزوالکتریک (کریستالی)

ب- پیزورزیستیو

ج- کششی (استرین گیج)

#### ۱۱-۳-۴ کالیبراسیون تجهیزات

بعد از تعیین هدف اندازه گیری دستگاه های مورد نیاز باید تنظیم و کالیبره شوند. کالیبراسیون در مرحله اول باید در اتاق کار یا آزمایشگاه انجام شود. این روش این مزیت را دارد که به محقق اطمینان می دهد تنظیم سخت افزاری و نرم افزاری آن درست بوده و بنابراین زمان تنظیم دستگاه در محل اندازه گیری را کاهش می دهد. این کار، این مزیت را نیز دارد که میتوان عملکرد تمام تجهیزات را قبل از بازدید از محیط کار مورد آزمایش قرار داد. کالیبراسیون همچنین بایستی قبل از شروع فرایند اندازه گیری در محیط کار با استفاده از یک کالیبراتور استاندارد (ISO 8041) انجام شود زیرا ممکن است در این مرحله نیز به تنظیمات مختصری نیاز باشد.

## ۱۱-۳-۵ اندازه گیری ارتعاش

با توجه به اهداف اندازه گیری، روش های اندازه گیری نیز متفاوت میشود. روش های اندازه گیری شامل موارد زیر است:

الف- اندازه گیری ارتعاش برای مقاصد صنعتی

ب- اندازه گیری ارتعاش تمام بدن

ج- اندازه گیری ارتعاش دست-بازو

د- دوزیمتری ارتعاش

### الف- اندازه گیری ارتعاش برای مقاصد صنعتی

یکی از اهداف استفاده از این اندازه گیری پایش عملکرد و عیب یابی دستگاه های صنعتی می باشد. در اینگونه اندازه گیری کمیات ارتعاش را بدون توزین فرکانس اندازه گیری کرده و در بررسی های بعدی راه های کنترل فنی بررسی و اجرا میگردد.

### ب- اندازه گیری ارتعاش تمام بدن

برای اندازه گیری ارتعاش تمام بدن باید از دستگاه مخصوص اندازه گیری اینگونه ارتعاش استفاده شود. معمولاً بخش دریافت کننده ارتعاش تمام بدن به شکل صفحه ای با ضخامتی بسیار کم و پوششی از لاستیک حاوی شتاب سنجش سه جهته بوده و در حد فاصل بدن و دستگاه قرار داده می شود. مثلاً برای فرد نشسته، شتاب سنجش باید روی صندلی قرار بگیرد و فرد روی آن بشیند. در صورتی که کارگر با ارتعاش یکنواختی مواجهه داشته باشد یک بار اندازه گیری شتاب یا تراز شتاب معادل کوتاه مدت ۱۰ دقیقه ای در سه جهت برای ارزیابی کافی است ولی اگر در طول زمان های مختلف با مقادیر متفاوتی مواجهه دارد بایستی برای هر مواجهه شتاب یا تراز شتاب معادل کوتاه مدت در سه جهت  $Z, Y, X$  اندازه گیری شود و به مقادیر کلی یا محدود شده و یا دوز تبدیل شود.

### ج- اندازه گیری ارتعاش دست-بازو

برای اندازه گیری ارتعاش دست و بازو باید از وسیله ای استفاده شود که توانایی توزین فرکانس را داشته باشد. به طور کلی وسایل اندازه گیری ارتعاش دست و بازو بسیار کوچک هستند. اگر کارگر با ارتعاش یکنواختی مواجهه دارد یک بار اندازه گیری شتاب یا تراز معادل کوتاه مدت ۱۰ دقیقه ای در سه جهت برای اندازه گیری کافی است. ولی اگر در طول زمان های مختلف یا در حالت های مختلف قرار میگیرد بایستی برای هر مواجهه مقادیر شتاب معادل کوتاه مدت در سه جهت اندازه گیری و سپس به مقادیر معادل کلی یا محدود شده تبدیل گردد.

## ۱۱-۳-۶ آنالیز فرکانس ارتعاش

تجهیزات موجود می توانند علاوه بر اندازه گیری مولفه های دامنه ارتعاش، خصوصاً شتاب ارتعاش که مبنای اعلام حدود مجاز مواجهه شغلی است، مقادیر ارتعاش مواجهه را در بیناب فرکانسی بین ۲۰۰۰-۰/۲ هرترتز تجزیه نمایند. آنالیز فرکانس اغلب در باندهای یک اکتاو انجام می گردد. کاربرد آنالیز فرکانس ارتعاش علاوه بر امکان مقایسه با حدود مجاز، برا پیش بینی اثرات و همچنین طرح کنترل کاربرد دارد.

## ۱۱-۱-۴ ملاحظات بررسی ارتعاش شغلی

در بررسی ارتعاش شغلی لازم است ابتدا مرحله شناسایی شاغلین تحت مواجهه و مستندات، شکایات و سایر اطلاعات مورد نیاز نحوه مواجهه کارگر گرآوری و ثبت گردد. در مرحله بعد تهیه نقشه‌های هر محدوده و تعیین تجهیزات ارتعاشی در آن و درج محل استقرار کارگران تحت مواجهه ضروری است. در این مرحله ممکن است به دلیل بالا بودن تعداد کارگران تحت مواجهه ناچار باشید که آنها را در گروه‌های شغلی یا گروه‌های وظیفه تقسیم بندی نمایید تا کار اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش با سهولت انجام گردد. در مرحله سوم باید برای هر کارگر نوع ارتعاش مواجهه شامل تمام بدن یا دست-بازو تعیین شود تا از روش مناسب اندازه‌گیری استفاده گردد. در مرحله چهارم روش کار اندازه‌گیری و تناوب و مدت آن برای هر کارگر یا گروه شغلی تعیین می‌شود. مرحله پنجم، انتخاب دستگاه اندازه‌گیری مناسب و کالیبراسیون آن است و مرحله ششم، انجام اندازه‌گیری و ارزیابی و مرحله هفتم نیز ثبت نتایج و اظهار نظر صریح در خصوص مجاز بودن یا غیر مجاز بودن مواجهه برای هر کارگر است.

## ۱۱-۱-۵ ارزیابی مواجهه شغلی با ارتعاش

### ۱۱-۱-۵-۱ ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن

برای ارزیابی مواجهه کارگر با ارتعاش تمام بدن ابتدا بایستی در جهات سه گانه شتاب موثر اندازه‌گیری شده، آنگاه بسته به اینکه برای ارزیابی از کدام معیار استفاده می‌شود، مقادیر مربوطه به صورت زیر است:

الف- در صورتی که معیار مورد نظر بر اساس شتاب کلی باید باید مقادیر را ابتدا با توجه به زمان هر مواجهه طبق فرمول مربوطه به شتاب معادل کلی تبدیل گردد. توجه شود که در این ارتعاش برآیند شتاب در سه جهت مهم است. بر اساس روابط ذکر شده در استاندارد ISO-2631 (1997-R2004) برآیند شتاب معادل کلی در سه جهت محاسبه و آنگاه با نمودارها یا جداول مربوطه مقایسه می‌شود. از آنجا که در محاسبه شتاب معادل کلی مقادیر شتاب موثر RMS به کار می‌رود مقادیر به صورت شتاب یا تراز شتاب موثر در نظر گرفته می‌شود.

ب- در صورتی که استاندارد بر اساس مقادیر شتاب یا تراز آن در فرکانس‌های اکتاوباند باشد، در این حالت بایستی قبلاً مقادیر شتاب معادل کلی را محاسبه نموده و سپس با نمودار استاندارد مربوطه یا حدود مجاز مواجهه OEL مقایسه گردد.

### ۱۱-۱-۵-۲ ارزیابی ارتعاش دست-بازو

برای ارزیابی ارتعاش دست-بازو ابتدا در جهت‌های سه گانه شتاب موثر یا تراز آن اندازه‌گیری شده و با توجه به زمان هر مواجهه و بکارگیری رابطه مربوطه مقادیر به شتاب معادل کلی یا تراز آن تبدیل می‌گردد، آنگاه فقط مقادیر مربوط به جهات سه گانه به صورت برآیند محاسبه و برای مقایسه با حد مجاز شغلی OEL بکار می‌رود. رویه اندازه‌گیری عبارت است از:

الف- اگر کمیت معیار بر اساس مقادیر شتاب یا تراز شتاب کلی برای یک شیفت ۸ ساعته شغلی باشد، ابتدا باید کمیت معادل ۸ ساعته محاسبه گردد و سپس مقایسه انجام گیرد.

ب- اگر در معیار مد نظر زمان مواجهه روزانه ذکر شده باشد فقط مقادیر شتاب یا تراز آن به همراه ساعت مواجهه مجموع روزانه با معیار مورد نظر مقایسه می‌شود.

ج- اگر معیار مورد نظر بر حسب توزیع فرکانسی باشد باید در تمام فرکانس‌های مرکزی، کمیت اندازه‌گیری شده و با توجه به ساعت مواجهه با معیار مربوطه مورد مقایسه قرار گیرد. البته در صورت نیاز میتوان توزیع فرکانسی کمیت اندازه‌گیری شده را روی منحنی معیار ترسیم و سپس نتیجه‌گیری کرد.

## ۱۱-۶ الزامات گزارشهای اندازه‌گیری و ارزیابی

گزارش‌های نتایج اندازه‌گیری و ارزیابی باید حاوی اطلاعات کارگاه، اطلاعات گروه شغلی و گروه وظیفه، اطلاعات تجهیزات ارتعاشی، نوع، مدت و تناوب مواجهه هر کارگر با ارتعاش، درج نتایج اندازه‌گیری برای دوره‌های زمانی در جدول مربوطه و تعیین مقایر براینده سه جهت ارتعاش و تعیین شتاب ارتعاشی با توزین وزنی زمانی مواجهه روزانه  $A_{eq}(8h)$  و مقایسه با حدود مجاز و نهایتاً درج نتایج آنالیز فرکانس ارتعاش مواجهه در فرم مربوطه برای هر کارگر می‌باشد. در خاتمه باید صریحاً در خصوص مجاز یا غیر مجاز بودن مواجهه و دوز دریافتی کارگر اظهار نظر به عمل آید.

## ۱۱-۲ روش‌های کنترل ارتعاش شغلی

با توجه به اهداف کنترل ارتعاش، از جمله اصولی که میتوان در تولید و کنترل ارتعاش به منظور حفاظت از افراد یا کاهش مواجهه شغلی انجام داد عبارتند از:

الف- کنترل ارتعاش در زمان طراحی و تولید تجهیزات

ب- کنترل ارتعاش بوسیله روش‌های فنی و مهندسی در منبع تولید ارتعاش

ج- نصب میراکننده‌ها در محل‌های تماس بدن با تجهیز مرتعش

د- کنترل دستگاه‌ها از راه دور

ه- اقدامات مدیریتی نظیر کاهش زمان مواجهه، نوبتی نمودن شغل

و- استفاده از وسایل حفاظت فردینظیر کفش و دستگاه و زیر پای ضد ارتعاش

ز- اقداماتی نظیر ارزیابی سلامت کارگر مانند معاینات قبل از استخدام، معاینات دره ای و تشخیص سریع عوارض ناشی ارتعاش

با توجه به موارد مطرح شده در بالا، کنترل ارتعاش در سه مرحله کنترل مدیریتی (آموزش، کاهش زمان مواجهه، چرخشی نمودن شغل و ...)، کنترل فنی و مهندسی (کنترل در منبع تولید ارتعاش، نصب میراکننده‌ها در دستگاه مرتعش و ...) و حفاظت فردی (دستکش و کفش و زیرپای ضد ارتعاش) تقسیم بندی میشود.

## ۱۱-۲-۱ انتخاب روش کنترل ارتعاش

به طور کلی تولید ارتعاش در تجهیزات صنعتی و مکانیکی بجز در مواردی که لرزش جز طبیعی از این دستگاه می‌باشد نشانه ضعف در طراحی دستگاه است. کنترل ارتعاش در صورتی که بدرستی انجام بگیرد منجر به کنترل صدا آن تجهیز نیز میشود. نکته قابل



توجه این است که کنترل ارتعاش باید در مرحله طراحی سیستم یا فرایند شروع شود. روش‌های کنترل ارتعاش با یکی از اهداف زیر حاصل میشود:

الف- محافظت از تجهیزات و بناها از تخریب ناشی از ارتعاش مداوم

ب- محافظت از افراد در برابر صدمات ناشی از ارتعاش

ج- کنترل صدای ناشی از ارتعاش

### ۱۱-۲-۲ کنترل ارتعاش در مرحله طراحی و ساخت

به طور کلی ارتعاش تولید شده توسط تجهیزات و دستگاه‌های موجود در صنعت به شیوه میباشد، یک ارتعاشی که به دلیل ذات خود فرایند و دستگاه میباشد و بخشی از فرایند است و دو ارتعاشی که به دلیل اتلاف انرژی مکانیکی ایجاد میگردد. صنایع تولید کننده دستگاه‌ها برای هر دو ارتعاش تولید شده باید تدابیر فنی در نظر بگیرند که میزان ارتعاش کاهش یابد. در بسیاری از موارد کنترل فنی ثمربخشی زیادی ندارد بنابراین بهتر است صنایع تولید کننده در هنگام تولید این دستگاه‌ها موارد کنترلی را در نظر بگیرند لذا باید در هنگام تهیه و خرید دستگاه بحث ضد ارتعاش بودن دستگاه را در نظر بگیرند.

### ۱۱-۲-۲-۱ ملاحظات کنترل در مرحله طراحی و توسعه

لازم است در مرحله طراحی و توسعه فرایندهای همانند آنچه در مورد انتخاب فرایند، انتخاب فناوری و انتخاب تجهیزات در مرد صدا گفته شد، ملاحظات مربوط به کیفیت و کمیت ارتعاش تجهیزات و میزان اقدامات کنترل ارتعاش در مرحله ساخت و همچنین اقدامات انجام شده توسط تامین کننده مورد بررسی قرار گیرد. در سفارشات و مناقصات نیز لازم است این معیارها توسط شرکت در استعلامات درج گردد و تامین کننده بایستی مستندات مربوط به میزان ارتعاش تجهیز و تجهیزات کنترل ارتعاش مرتبط با آن را در پیشنهادات قید نماید.

**نکته:**

تأیید فنی هر تجهیز در ارتباط با ویژگی‌های کنترل ارتعاش به عهده کمیته پایش و کنترل صدا و ارتعاش خواهد بود.

### ۱۱-۲-۳ کنترل ارتعاش در مرحله نصب و بهره برداری

اصولاً برای کنترل ارتعاش می‌توان از سه عامل جرم و فنریت برای فرکانس‌های پایین و میرایی برای فرکانس‌های بالا به صورت ترکیبی استفاده کرد. به کارگیری این گونه کنترل‌ها در داخل دستگاه و یا در محل دستگاه انجام می‌شود. مهم‌ترین روش‌های کنترل فنی ارتعاش شامل روش‌های زیر است:

الف- کنترل دینامیک ارتعاش

ب- ایجاد فونداسیون تجهیزات ارتعاشی

ج- کنترل مبتنی بر عایق‌های ارتعاشی

- د- کنترل از راه دور دستگاه ها
- ه- جداسازی با اتصالات قابل ارتجاع
- خ- کنترل فعال ارتعاش

نکته:

هرگونه مطالعه و طراحی مداخلات کنترل ارتعاش باید توسط مشاورین ذیصلاح با تایید کمیته پایش و کنترل صدا و ارتعاش انجام گردد.

#### ۱۱-۲-۴ الزامات طراحی فنی کنترل ارتعاش

بررسی کنترل ارتعاش در مرحله بهره‌برداری پس از انجام اندازه‌گیری و ارزیابی و طرح در کمیته پایش و کنترل صدا و ارتعاش قابل انجام خواهد بود. طراحی فنی باید توسط مشاور تخصصی و با تجربه با تایید کمیته انجام گردد. طراحی کنترل فنی باید با رعایت اثر بخشی و جنبه‌های اجرایی و اقتصادی ارائه شود. طرح کنترل نباید هیچگونه اختلالی در فرآیند یا مکانسیم کار تجهیزات ایجاد نماید.

#### ۱۱-۲-۵ تهیه مستندات مربوط به طراحی‌های فنی کنترل ارتعاش

از مرحله طراحی تا مرحله نصب و بهره‌برداری، لازم است کلیه مستندات فنی مرتبط با تولید، انتشار و کنترل ارتعاش و همچنین اطلاعات مربوط به تعمیرات و نگهداری تجهیزات ثبت و نگهداری گردد. همچنین اطلاعات مربوط به نتایج اندازه‌گیری ارتعاش تجهیزات و مواجهه کارکنان با ارتعاش نگهداری گردد تا امکان بهره‌برداری از آنها برای بررسی روند تغییرات، پایش وضعیت و مقایسه نتایج مداخلات وجود داشته باشد. تصمیم‌گیری در مورد محل نگهداری این اسناد با مدیریت است، لیکن باید نسخه‌ای از آن در واحد HSE نگهداری شده باشد. این مستندات باید شامل اطلاعات مربوط به میزان ارتعاش منابع، نقشه‌های محل استقرار آنها، تاریخ نصب و نتایج تعمیرات و نگهداری ادواری، هرگونه تغییر در فناوری و ماهیت مکانیکی و عملکرد دستگاه، نتایج اندازه‌گیری ارتعاش تجهیزات، نتایج اندازه‌گیری ارتعاش برای کارکنان و سایر اطلاعات مشابه باشد.

#### ۱۱-۲-۵-۱ نگهداری مستندات مربوط به طراحی‌های فنی کنترل صدا

لازم است کلیه مستندات نتایج اندازه‌گیری و ارزیابی صدا که منتج به تصمیم‌گیری و اجرای طرح‌های کنترل صدا شده است به تفکیک هر واحد، نگهداری شود. در هر حال یک نسخه از این مستندات باید در واحد HSE نگهداری شود. این مستندات شامل نقشه‌ها، دفترچه محاسبات و و جریات فنی طرح‌ها و نتایج ارزیابی موفقیت آنها می‌گردد. لازم است تصاویر و کلیپ‌هایی از عملکرد نتایج کنترل نیز در پرونده‌های مربوطه تهیه و نگهداری شود. در صورتی که در مرحله طراحی و توسعه، اقدامات پیش‌گیرانه برای کنترل صدا انجام شده باشد، نتایج آن باید مستند و نگهداری شود.

## ۱۱-۲-۶ گزارش مهندسی کنترل ارتعاش

برای پروژه‌های بزرگ در فاز طراحی و مهندسی و مرحله تمهیدات، مستندات زیر باید به محض موجود شدن به مهندس(مشاور) کنترل ارتعاش ارائه شود:

الف) مشخصات پروژه

ب) نقشه چیدمان محیط، نشان دادن تجهیزات، سازه‌ها.

ج) طرح منطقه کاری.

د) اساس طراحی صنعت و فرآیند

ه) نمودار جریان فرآیند

و) لیست تجهیزات

ز) شرح فرآیند، که باید نشان دهنده تمام حالت‌های عملکرد فرآیند و تجهیزات باشد

ح) الزامات داده تجهیزات برای همه منابع ارتعاش

ط) داده‌های مربوط به عایق بندی ارتعاش تجهیزات و سازه‌ها

## ۱۱-۲-۷ آزمون‌های موفقیت روشهای کنترل ارتعاش

هرگونه آزمون موفقیت کنترل ارتعاش باید مستند به اصول علمی معتبر یا استانداردها یا الزامات معتبر داخلی باشد. انجام آزمون‌های باید توسط مهندس مشاور مستقل و تحت نظارت شرکت انجام گردد. نتایج آزمون‌ها باید با تعهدات پیمانکار یا تامین کننده مقایسه به در قالب گزارش رسمی توسط مشاور به شرکت ارائه گردد.

## ۱۱-۲-۷-۱ تعیین مشاور مستقل

مشاور مستقل باید از بین شرکتهای تخصصی واجد صلاحیت یا دانشگاه‌های مرتبط انتخاب می‌شود که تجربیات علمی و تخصصی آنها به تایید شرکت برسد. مشاور باید تجهیزات تخصصی کالیبره شده مورد نیاز برای آزمون را داشته باشد. مشاور باید مستندات صلاحیت، سوابق و تجربیات خود را به شرکت ارائه دهد. شرکت نیز پس از بررسی داوطلبین نسبت به انتخاب مشاور اقدام خواهد نمود.

## پیوست الف

### ( چک لیست غربالگری صدا )

انجام اندازه‌گیری با روشهای دستگاهی در مقیاس استانی یا کشوری برای تمام کارگاه‌ها مستلزم دستگاه‌های مناسب، صرف وقت زیاد، هزینه بالا و نیروی انسانی است. غربالگری صدا می‌تواند یک راه ساده و ارزان برای شناسایی کارگاه‌هایی است که احتمال آلودگی صدا<sup>۱</sup> در آنها بالا است. این فرم مستقل از تعداد کارگران هر کارگاه می‌باشد. در روش غربالگری کارگاه‌هایی که مشکل آلودگی صدا ندارند یا اولویت اقدام ندارند، به راحتی و با یک الگوی علمی از بقیه جدا می‌شوند. برای سایر کارگاه‌ها با توجه به نمره آلودگی صدا حاصل از بازرسی اولیه توسط فرم غربالگری، برنامه‌ریزی لازم برای بررسی بیشتر شامل اندازه‌گیری دستگاهی و ارزیابی مواجهه کارگران انجام می‌شود. در این راستا با پیشنهاد این روش و فرم اولیه غربالگری توسط مؤلف و تایید ضرورت آن توسط کمیته عوامل فیزیکی وزارت بهداشت به عنوان پروژه تحقیقاتی (مقایسه استفاده از فرم غربالگری با نتایج اندازه‌گیری دستگاهی در کارگاه‌های بالای ۲۰ کارگر همدان) شامل ۳۰ کارگاه با همکاری دو نفر از دانشجویان (عارفیان ص. و گلچوبیان ر.) انجام گردید. پس از آنالیز آماری نتایج طی چند مرحله و بررسی نتایج تحلیل آنها، فرم حاضر به صورت یک ماتریس  $3 \times 10$  تدوین گردید. مقایسه نتایج حاصل از این فرم با اندازه‌گیری دستگاهی دارای همبستگی  $0.724$ ، ویژگی  $0.85$  و حساسیت  $0.5$  است. در این فرم، نمره حد آلودگی صدا با توجه به معیار حد مجاز مواجهه شغلی کشور (۸۵ dB(A) برای ۸ ساعت کار روزانه) برابر  $72.5$  تعیین گردید. بنابراین کلیه کارگاه‌هایی که نمره این محدوده یا بالاتر را کسب نمایند در اولویت مراحل بعدی بررسی خواهند بود. حداقل نمره فابل کسب کارگاه‌ها در این فرم، مطابق جدول شماره ۱ برابر ۳۲ و حداکثر آن ۹۶ می‌باشد، لذا باید برای کارگاه‌هایی که نمره بیش از حد آلودگی کسب نمایند به ترتیب اولویت برنامه‌ریزی لازم برای اندازه‌گیری دستگاهی توسط کارشناس انجام گردد. نمره کلی هر کارگاه از مجموع نمرات ردیف‌ها با توجه به ضریب مربوطه محاسبه می‌گردد. این تکنیک می‌تواند به همین شیوه و توسط فرم مناسب برای سایر عوامل مخاطره‌زا نیز تدوین گردد.

### راهنمای تکمیل چک لیست غربالگری صدا:

- ۱- این فرم برای غربالگری کارگاه‌ها از نظر شناسایی عامل زیان آور صدا می‌باشد.
- ۲- این فرم برای مراکز بهداشتی درمانی شهری و روستایی یا مراکز مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست<sup>۲</sup> صنایع طراحی شده است.
- ۳- این فرم باید توسط کاردان بهداشت حرفه‌ای که آموزش کافی در خصوص مواجهه شغلی با صدا دیده باشند در بازرسی‌های معمول مورد استفاده قرار گیرد.
- ۴- تکمیل کننده این فرم باید دارای شنوایی سالم بوده و سابقه بیماری‌های گوش یا مواجهه حاد با صدا نداشته باشد.
- ۵- منظور از نگهداری دستگاه‌ها، تنظیم فنی و مراقبت برای جلوگیری از فرسودگی و روغن کاری و گریسکاری و سایر مواردی است که می‌تواند در افزایش صدا مؤثر باشند.

<sup>1</sup> Noise Pollution

<sup>2</sup> Health, Safety and Environment Management System (HSE-MS)

۵- تست مکالمه در محدوده بیشترین تردد یا توقف کارگران، در فاصله یک متری باید با استفاده از یک جمله مرتبط با کار و بدون استفاده از لب خوانی انجام گردد و فرد مخاطب نیز باید از شنوایی سالم برخوردار باشد، برای این کار می‌توان از کارگران دیگر قسمت‌ها یا کارکنان اداری کمک گرفت.

۶- نمره هر ردیف، پس از علامت زدن قسمت مربوطه، حاصل ضرب ضریب ستون مذکور در ضریب اهمیت آن معیار دارد و به همین ترتیب نمره کلی فرم حاصل جمع نمرات ردیف‌ها خواهد بود.

### جدول شماره ۱ - چک لیست غربالگری صدا

نام کارگاه اصلی :		نام کارگاه فرعی :		کد کارگاه :		تعداد کارگر :		نوع تولید :	
ردیف	ویژگی - امتیاز وضعیت کارگاه	ویژگی	۳	ویژگی	۲	ویژگی	۱	ضریب	ضریب x
۱	جنس سطوح داخلی (دیوارها)	سخت (مانند سیمان یا کاشی)		متوسط (مانند گچ)		نرم (مانند چوب یا مصالح آکوستیکی)		(۲)	
۲	جنس سطوح داخلی (کف)	سخت (مانند سیمان)		متوسط (مانند آجر)		نرم (مانند چوب، موکت)		(۱)	
۳	جنس سطوح داخلی (سقف)	سخت (مانند فلز یا سیمان)		متوسط (مانند گچ)		نرم (چوب یا مصالح آکوستیکی)		(۱)	
۴	متوسط عمر دستگاههای مولد صدا	بیش از ده سال		۵-۹ سال		کمتر از ۵ سال		(۱)	
۵	نگهداری دستگاههای مولد صدا	خیلی نامناسب		تا حدودی مناسب		مناسب		(۱)	
۶	تداوم صدا	در طول شیفت		نیمی از شیفت		کمتر از نیم شیفت		(۲)	
۷	تعداد منابع صوتی	بیش از ۱۰ دستگاه		۵-۹ دستگاه		کمتر از ۵ دستگاه		(۲)	
۸	متوسط مواجهه کارگران با صدا	بیش از ۸ ساعت		۴-۷ ساعت		کمتر از ۴ ساعت		(۱)	
۹	مکالمه در فاصله یک متری	اصلاً شنیده نمی‌شود		باید فریاد زد		به راحتی شنیده می‌شود		(۱۵)	
۱۰	حجم کارگاه	کمتر از ۱۰۰ متر مکعب		۱۰۰ تا ۱۰۰۰ متر مکعب		بیش از ۱۰۰۰ متر مکعب		(۶)	
نمره کل آلودگی صدای کارگاه									
ساعت و تاریخ تکمیل فرم					نام و امضای بازرس				

**پیوست ب**  
**(فرم اندازه گیری صدا)**

فرم شماره ۱ - گزارش اندازه گیری محیطی صدا

الف - نام کارگاه اصلی:	نام کارگاه فرعی:	کد:
دستگاههای عمده مولد صدا: ۱ -	۲ -	۳ -
ابعاد سالن (به متر) طول عرض ارتفاع	جنس مصالح: کف	دیوار سقف
تاریخ اندازه گیری صدا:	ساعت اندازه گیری صدا:	
ب - نوع و مدل تراز سنج صوت: کالیبراتور:		
- شبکه توزین فرکانس: A-O C-O LIN-O		
- سرعت پاسخ دستگاه SLOW-O FAST-O IMP.-O		
- نوع صدا: پیوسته O کوبه ای O توأم (نوبتی) O		
- موقعیت تراز فشار صوت: RMS-O PEAK(MAX)-O		
ج - نقشه موقعیت منابع صوتی و ایستگاههای اندازه گیری:		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A															
B															
C															
D															
E															
F															

حداقل تراز فشار صوت در کارگاه:	حداکثر تراز فشار صوت در کارگاه:
تعداد ایستگاههای محدوده خطر:	درصد ایستگاههای محدوده خطر:
تعداد کارگران شاغل در محدوده خطر:	درصد کارگران شاغل در محدوده خطر:

نام و امضای کارشناس:

تاریخ تکمیل فرم:

## راهنمای تکمیل فرم شماره ۱ - گزارش اندازه‌گیری محیطی صدا (روش شبکه‌ای)

- ۱ - دستگاههای عمده مواد صدا طبق کدهای قسمت (الف) در نقشه شطرنجی قسمت (ج) به صورت ساده و با حفظ نسبت فواصل ترسیم نمایید.
- ۲ - ابتدا دستگاه تراز سنج صوت را کالیبره نموده و برای اندازه‌گیری تراز کلی صدا از شبکه A استفاده نمایید.
- ۳ - سرعت پاسخ دستگاه را بر اساس توصیه استاندارد انتخاب نمایید (Slow).
- ۴ - تراز SPL بر اساس موقعیت RMS دستگاه تنظیم گردد.
- ۵ - برای ترسیم خطوط هم‌تراز یا نواحی هم‌تراز (نقشه صدا) می‌توانید به فواصل معین اندازه‌گیری و ثبت نمایید. فواصل مناسب دقت برای ترسیم خطوط یا تعیین نواحی حداکثر ۳ دسی‌بل است. می‌توان هر خط بدست آمده یا هر ناحیه مورد نظر را با رنگ یا کد مشخص نمود. برای مناطق کمتر از ۶۵ دسی‌بل در مقیاس A به رنگ سبز، مناطق ۶۵-۸۱ دسی‌بل با رنگ زرد، مناطق ۸۲-۸۵ دسی‌بل به رنگ نارنجی و مناطق مساوی یا بالاتر از ۸۵ دسی‌بل را با رنگ قرمز مشخص نمایید.
- ۶- برای هر بار اندازه‌گیری باید دستگاه را روی حالت Leq بگذارید و بر اساس ماهیت تغییرات صدا مدت اندازه‌گیری را بین ۱۰-۳۰ ثانیه تنظیم کنید.

## فرم شماره ۲ - گزارش اندازه‌گیری موضعی صدا (اندازه‌گیری تراز کلی)

الف - نام کارگاه اصلی: نام کارگاه فرعی: کد کارگاه:

دستگاههای عمده مولد صدا: ۱ - ۲ - ۳ -

تاریخ اندازه‌گیری صدا: ساعت اندازه‌گیری صدا:

ب - نوع و مدل تراز سنج صوت: - کالیبراتور:

شبکه توزین فرکانس: A-O C-O LIN-O

سرعت پاسخ دستگاه SLOW-O FAST-O IMP.-O

نوع صدا: پیوسته O کوبه ای O توأم (نوبتی) O

موقعیت تراز فشار صوت: RMS-O PEAK(MAX)-O

ج - پلان موقعیت منابع صوتی و کد ایستگاههای سنجش:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A															
B															
C															
D															
E															
F															

د - نتایج اندازه‌گیری کلی صدا:

ایستگاه کمیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
SPL (rms)									
SPL (max)									
Crest Factor									
ساعت مواجهه									
$L_{eq8hr}$ (dBA)									
Dose (%)									
تشخیص نهایی*									

\* تشخیص نهایی م = مواجهه مجاز غ = مواجهه غیر مجاز

نام و امضای کارشناس:

تاریخ تکمیل فرم:



## راهنمای تکمیل فرم شماره ۲ - گزارش اندازه‌گیری موضعی صدا (اندازه‌گیری تراز کلی)

۱ - دستگاههای عمده مواد صدا طبق کدهای قسمت (الف) در نقشه شطرنجی قسمت (ج) به صورت ساده و با حفظ نسبت فواصل ترسیم نمایید.

۲ - ابتدا دستگاه تراز سنج صوت را کالیبره نموده و برای اندازه‌گیری تراز کلی صدا از شبکه A استفاده نمایید.

۳ - سرعت پاسخ دستگاه را بر اساس توصیه استاندارد مواجهه انتخاب نمایید (Slow).

۴ - تراز SPL بر اساس موقعیت RMS دستگاه و تراز ماکزیمم بر اساس موقعیت max تنظیم گردد.

۵ - در ستون مربوط به هر ایستگاه در قسمت (د) پس از ثبت مقادیر تراز کلی و تراز پیک فشار صوت مقادیر تراز معادل ۸ ساعته و دوز صدا را بر اساس روابط زیر و نحوه مواجهه و ساعت مواجهه کارگر محاسبه و ثبت نمایید. در صورتیکه تراز کلی با توجه به الگوی تراز متوسط  $\overline{LP}$  باشد، آن را با ستاره علامت گذاری کنید.

$$\overline{LP}(dB) = \left[ \frac{1}{N} \sum_{1}^n 10^{SPL/10} \right]$$

Crest Factor = PEAK Level - RMS Level

$$L_{eq(8h)} = 10 \log \left[ \frac{1}{8} \sum_{1}^n t_i \cdot 10^{LP_i/10} \right]$$

$n$  : دفعات مواجهه با صدا

$t_i$  : زمان هر بار مواجهه به ساعت

$SPL_i$  : تراز فشار صوت در هر بار مواجهه

### فرم شماره ۳- گزارش آنالیز فرکانس صدا

الف - نام کارگاه اصلی:	نام کارگاه فرعی:	کد کارگاه:
- دستگاههای عمده مولد صدا: ۱ -	- ۲	- ۳
- تاریخ اندازه‌گیری صدا:	ساعت اندازه‌گیری صدا:	

ب - نوع و مدل تراز سنج صوت:	- کالیبراتور:
- شبکه توزین فرکانس: A-O C*-O LIN-O	
- سرعت پاسخ دستگاه SLOW-O FAST-O IMP.-O	
- نوع صدا: پیوسته O کوبه ای O توأم (نوبتی) O	
- موقعیت تراز فشار صوت: RMS-O PEAK(MAX)-O	

ج - پلان موقعیت منابع صوتی بر اساس کد ایستگاه اندازه‌گیری:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A															
B															
C															
D															
E															
F															

د - نتایج آنالیز فرکانس صدا:

ایستگاه \ Hz	۶۳	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰
۱								
۲								
۳								
۴								
۵								
۶								
۷								

\* - شبکه توزین فرکانس توصیه شده C می باشد.

نام و امضای کارشناس:	تاریخ تکمیل فرم:
----------------------	------------------

## پیوست ج

### ( موارد اقدام و تخصیص مسئولیت )

موارد اقدام تعریف شده و تخصیص مسئولیت انجام وظایف که در این استاندارد آمده است به شرح جدول ۲ خلاصه می شود. توجه داشته باشید که موارد اقدام در پروژه‌ها ترتیب زمانی ندارد.

جدول ۲- خلاصه موارد اقدام و تخصیص مسئولیت

شماره اقدامات	شرح وظیفه	مرجع بخش	طرف مسئول	
			شرکت	مشاور
A1	بررسی مقدماتی انتشار صدا در محدوده‌های شرکت		*	
A2	بررسی مقررات محلی برای صدای داخل شرکت		* <sup>1</sup>	
A3	تعیین حدود مجاز صدای محیطی و موضعی و تجهیزات در مشخصات پروژه		* <sup>1</sup>	
A4	بررسی مقررات صدای محیطی و مذاکره با مسئولین		* <sup>1</sup>	
A5	تعیین الزامات مربوط به پایش و کنترل صدا		* <sup>1</sup>	
A6	اندازه‌گیری صدای تجهیزات، صدای محیطی و صدای موضعی مربوط به مواجهه شاغلین			*
A7	کسب مجوز از شرکت برای مناطق ممنوعه			*
A8	نصب برچسب ها و تابلوهای مربوط به حفاظ‌های شنوایی			*
A9	مشخص کردن حدود مجاز صدای تجهیزات، از جمله محدودیت‌های بیشتر		*	
A10	تعیین الزامات عایق بندی و صدا بندی		* <sup>1</sup>	* <sup>1</sup>
A11	تعیین نیاز به کنترل صدا و انتخاب روش مناسب آن		*	*
A12	اندازه‌گیری و ارزیابی صدا به منظور انجام آزمونهای موفقیت کنترل صدا			*
A13	اجرای طرح های کنترل صدا			*
A14	ارائه گزارش کنترل صدا		* <sup>1</sup>	
A15	صدور گزارش نتایج آزمونهای کنترل صدا			* <sup>1</sup>
A16	صدور تاییدیه نتایج آزمونهای کنترل صدا		*	
A17	انجام اقدام اصلاحی در صورت لزوم			*
A18	انتخاب تجهیزات کم صدا		*	
A19	تعیین جزئیات تجهیزات کم صدا و تجهیزات مورد نیاز برای کنترل صدا		*	
A20	تصمیم گیری در مورد اینکه کدام تجهیزات باید آزمایش "صدا" داشته باشند		* <sup>1</sup>	
A21	ارائه گزارش در مورد تعیین تراز توان و تراز نشر صوتی منابع			* <sup>1</sup>
A22	قرارداد مشاور مستقل آکوستیک برای بررسی		*	

<sup>1</sup> در صورت درخواست ممکن است این اطلاعات تفسیر شود.

## پیوست د: اجرای آزمونهای صدا

آزمایش صدا باید برای تجهیزات مشخص شده در محلی که برای شرکت تأمین‌کننده تعیین می‌شود اجرا گردد و بر اساس آن توسط شرکت مورد تأیید قرار گیرد. توجه داشته باشید: در صورتی که پذیرش تک‌تک اقلام تجهیزات منوط به نتیجه رضایت بخشی از آزمایش‌های صدا در تعهدات تأمین‌کننده تجهیزات باشد، مرحله آزمایش باید تأییدکننده عملکرد در محل نصب تجهیز باشد و باید قبلاً یک روش آزمون مناسب بین پیمانکار و شرکت توافق شود. (رجوع کنید به ISO 3746 و استاندارد متناظر ISO 9614 و ISIRI 6185)

### الف- آزمون قبولی

مسئولیت پیمانکار برای انجام تعهدات حدود مجاز مشخص‌شده صدا تا زمانی که پایان اندازه‌گیری و ارزیابی توسط یک مشاور صوتی مستقل (تعیین شده توسط شرکت و تعریف شده در متن استاندارد) مبنی بر اینکه تراز صدا از حدود مجاز فراتر نرفته است، خاتمه نمی‌یابد. قرارداد با این مشاور مستقل بخشی از حوزه کار پیمانکار را تشکیل می‌دهد.

آزمون صدا شامل تهیه یک نقشه توزیع انتشار صدا در محل نصب تجهیز و شامل تعیین خطوط بافرهای ۵۵ دسی‌بل (A) و بالاتر، با مراحل افزایشی ۳ دسی‌بل (A) خواهد بود. در مواردی که لازم است محدودیت توان انتشار صدای تجهیزات برای پروژه اعمال شود، باید قبلاً روش آزمایش مناسب بین پیمانکار و شرکت توافق شود.

در صورتی که منظور از اندازه‌گیری تعیین میزان موفقیت کنترل صدا توسط عایق‌ها، محفظه‌ها و ساکت‌کننده‌ها و انباره‌ها (سایلنسر و مافلر) باشد. باید اندازه‌گیری به ترتیبی که در متن استاندارد (بخشهای ۱-۲-۳-۴ و ۲-۲-۳-۴) برای اندازه‌گیری تراز توان و تراز نشر صدای منابع معرفی شده، انجام گردد. به طوری که بتوان نتایج قبل و بعد از اجرای مداخله را با هم مقایسه نمود و اثر بخشی اقدام را در کاهش صدا تعیین نمود.

### ب- اقدامات اصلاحی

اگر تراز عینی صدا در اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در آزمون با ترازهای پیش‌بینی شده از حد مجاز تعیین‌شده بیشتر شود، باید اقدامات اصلاحی توسط پیمانکار انجام شود. اقدامات اصلاحی باید مورد تأیید شرکت باشد.

## پیوست هـ

### (آزمایش سیستم های عایق صوتی)

#### ۱. کلیات

این بند روشی را برای تعیین افت انتقال نسبی سیستم های عایق صوتی روی لوله هایی با قطر اسمی ۱۰۰ میلی متر تا ۱۰۰۰ میلی متر توصیف می کند. روش آزمایش در شرایط آزمایشگاهی توضیح داده میشود. برای اطلاعات خاص در مورد تجهیزات اندازه گیری، امکانات آزمایش و غیره، باید از استانداردهای مربوطه استفاده شود. به طور کلی تعیین افت انتقال ورودی تعیین اختلاف بین ترازهای توان صوتی است. روش تشریح شده در زیر بر اساس ( ISO 3741 برای اتاق های بازتابی) و مطابق با ASTM E1222 است.

**توجه:** روش های مهندسی برای تعیین تراز توان صوتی منابع کوچک متحرک در ISO 3743-1 و ISO 3743-2 توضیح داده شده است. از آنجایی که این استانداردها محدودیت های برای حداکثر ابعاد فیزیکی منبع صدا ذکر کردند، آنها برای آزمایش هایی که در این بند توضیح داده شده است، کمتر مناسب هستند.

افت انتقال نسبی سیستم عایق صوتی به مواد عایق، روش نصب، ابعاد لوله (ضخامت دیواره، قطر) و مکانیسم های تحریک ایجاد کننده تابش صدا از لوله (اسپیکرهای بلند در آزمایشگاه و جریان، شیر و صدای ماشین آلات در شرایط میدانی). به این دلایل، نتایج به دست آمده در شرایط آزمایشگاهی می تواند با نتایج به دست آمده در شرایط مشابه در عمل متفاوت باشد. نتایج برای اهداف طراحی و مقایسه سیستم های عایق مختلف بسیار مفید است.

#### ۲. روش اندازه گیری: اتاق بازتابی

یک لوله فولادی در یک اتاق بازتابی نصب می شود. صدا در این لوله با استفاده از یک بلندگو یا درایور آکوستیک در یک انتهای آن وارد می شود. ترازهای فشار صوت در اتاق بازتابی در شرایط با لوله بدون عایق و لوله با عایق اندازه گیری می شود. افت انتقال نسبی سیستم عایق برابر با تفاوت بین تراز فشار صوتی برای صدای منتشر شده از لوله بدون عایق و تراز فشار صوت تابش شده از لوله عایق شده است.

**توجه:** اگر روکش از مواد منعکس کننده صدا مانند فولاد یا آلومینیوم باشد، جذب صدا در اتاق بازتابی تقریباً با افزودن عایق بر روی لوله تغییر نمی کند.

نتایج باید در یک سوم اکتاو باند از ۱۰۰ هرتز تا ۱۰۰۰۰ هرتز یا اکتاو باندهای از ۱۲۵ هرتز تا ۸۰۰۰ هرتز به دست آید. دقت در محدوده فرکانس پایین قویا به اندازه اتاق بازتابی بستگی دارد.

#### ۳. امکانات آزمایش

##### ۱.۳ اتاق آزمون

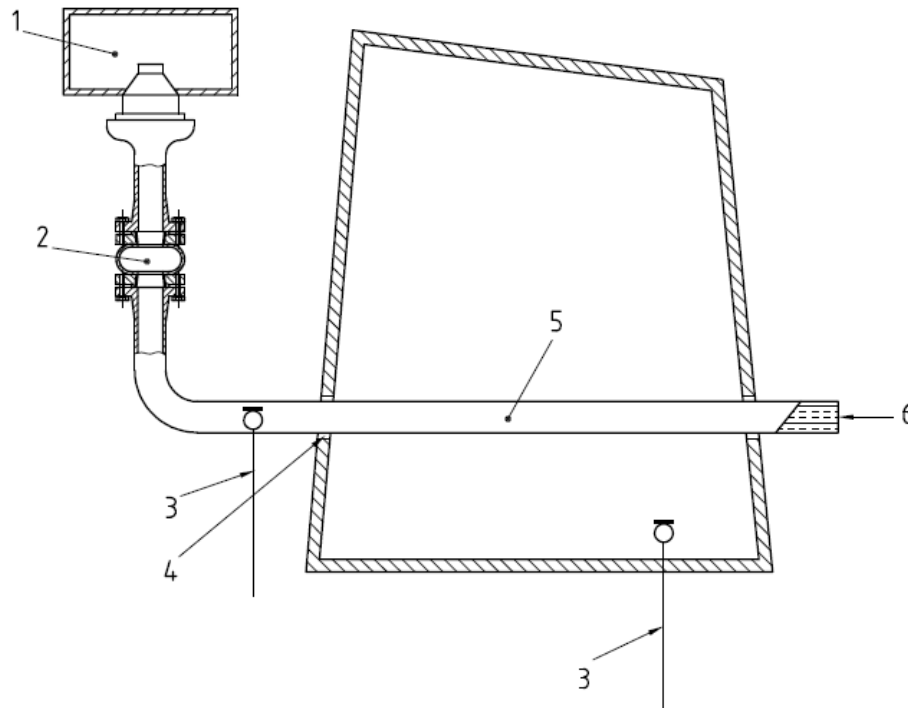
الزامات مربوط به حجم اتاق آزمایش به دقت مورد نظر، محدوده فرکانس مورد نظر و ابعاد نمونه آزمایش بستگی دارد. اتاق آزمایش باید با الزامات محیط صوتی مطابق با ISO 3741 مطابقت داشته باشد. این مورد مربوط به حجم، شکل و جذب اتاق آزمایش، تراز صدای پس زمینه، دما و رطوبت است. حداقل حجم اتاق تست در جدول ۳ ISO 3741:1999 مشخص شده است. برای اتاق های بازتابی با حجم کمتر از مقادیر نشان داده شده در این جدول برای محدوده فرکانس مورد نظر، یا با حجم بیش از ۳۰۰ متر مکعب،

مناسب بودن اتاق برای اندازه گیری باند پهن باید با استفاده از روش پیوست D ISO 3741:1999 بررسی شود. حجم نمونه آزمایش، از جمله عایق صوتی، ترجیحاً بیشتر از ۲ درصد حجم اتاق بازتابی مورد استفاده برای آزمایش نباشد.

### ۳.۳ فرایند نصب

لوله آزمایش باید به گونه ای نصب شود که سهم صدا ناشی از سایر مسیرهای انتقال صدا در مقایسه با انتقال صدا از طریق نمونه آزمایش ناچیز باشد (شکل ۵ را ببینید). این امر به ویژه در مورد انتقال صدای جانبی، که باید حداقل ۱۰ دسی بل کمتر از انتقال صدا از طریق نمونه آزمایشی باشد، مهم است. به همین دلیل لوله آزمایش باید به طور ارتجاعی در خارج از اتاق بازتابی در هر دو انتها نصب شود. لوله آزمایش باید از دیوارهای اتاق بازتابی بدون اتصالات سخت نفوذ کند. این نفوذها باید به اندازه کافی درزبندی شوند.

**توجه:** ضمیمه X1 ASTM E1222:1990 روشی را برای تعیین کمیت انتقال صدای جانبی به منظور تعیین حداکثر افت انتقال قابل اندازه گیری توصیف می کند. ISO 3741 الزامات مربوط به صدا پس زمینه را بیان می کند. اگر تراز پس زمینه بیش از حد بالا باشد، ممکن است لازم باشد که بخش لوله خارج از اتاق بازتابی عایق بندی شود.



شکل ۱ - طراحی از پیکربندی آزمایشی برای اندازه گیری افت انتقال عایق لوله

#### راهنمای شکل ۱:

- ۱- جعبه مربوط به اسپیکر
- ۲- اتصال انعطاف پذیر، کاهش انتقال صدای پیکری
- ۳- میکروفون
- ۴- درزبندی الاستیکی
- ۵- لوله با عایق در حال آزمایش

#### ۶- انتهای بدون بازتاب صوتی

لوله با استفاده از یک پایانه بدون بازتاب صوتی بسته خاتمه می یابد، که باید در بیرون از اتاق بازتابی قرار گیرد. پایانه باید دارای ضریب بازتاب (قدرت) کمتر از ۱۰ درصد در محدوده فرکانس تعریف شده در بند ۵ باشد.

#### ۳.۳ ابعاد لوله

طول لوله فولادی باید حداقل ۴ متر و قطر آن از ۱۰۰ میلی متر تا ۱۰۰۰ میلی متر باشد. برای آزمایش‌های استاندارد روی لوله‌های با قطر خارجی در محدوده ۱۰۰ میلی متر تا ۳۰۰ میلی متر، حداقل ضخامت دیواره ۴.۲ میلی متر مورد نیاز است. برای لوله های با قطر بین ۳۰۰ میلی متر تا ۱۰۰۰ میلی متر حداقل ضخامت دیواره ۶.۳ میلی متر مورد نیاز است. به دلایل عملی، ضخامت دیواره بزرگتر توصیه نمی شود زیرا ممکن است باعث ایجاد مشکلاتی در اندازه گیری شود. تجربه ثابت کرده است که افت انتقال اندازه گیری شده برای ضخامت دیواره بزرگتر از آنچه در طول آزمایش استفاده می شود معتبر خواهد بود.

#### ۴.۳ منبع صدا

در خارج از اتاق بازتابی، لوله آزمایش به یک منبع صوتی با خروجی مناسب مربوط به افت انتقال که باید اندازه گیری شود، متصل می شود. سیگنال آزمایش در هر یک سوم اکتاوباند یا اکتاوباند باید صدای سفید باشد. می توان اندازه گیری ها را به طور همزمان در یک یا چند باند فرکانسی انجام داد. در داخل لوله باید از یک میکروفون برای کنترل استواری منبع صدا قبل و بعد از اعمال عایق روی لوله استفاده شود. منبع صدا به طور انعطاف پذیر به دیواره لوله آزمایش متصل می شود تا از انتقال صدای پیکری به لوله جلوگیری شود. باید حالتی (مثلاً یک خم) بین منبع و بخش آزمایشی وجود داشته باشد تا حالت های لوله مرتبه بالاتر به اندازه کافی برانگیخته شود. می توان تغییر در جذب صدا در اتاق بازتابی را به دلیل سیستم روکش با استفاده از یک منبع صوتی مرجع در اتاق بازتابی (متفاوت از منبع متصل به لوله) که مطابق با ISO 354 است، تعیین کرد.

#### ۴. نمونه آزمایشی

سیستم عایق صوتی باید مطابق دستورالعمل های استاندارد سازنده نصب شود. شکاف در ورودی لوله (بدون یا با عایق) از طریق دیواره های اتاق بازتابی باید به گونه ای ارتجاعی مهر و موم شود تا از انتشار صدای قابل توجه از دیوارها جلوگیری شود.

#### ۵. اندازه گیری

اندازه گیری های زیر باید به صورت متوالی انجام شود.

الف) اندازه گیری بدون عایق:

- لوله فولادی را با صدای باند پهن یا صدا پی در پی یک سوم اکتاوباند در فرکانس های مرکزی از ۱۰۰ هرتز تا ۱۰ کیلوهرتز با استفاده از منبع صوتی متصل به لوله خارج از اتاق آزمایش تحریک کنید.
- میانگین لگاریتمی تراز فشار صوت ( $L_b$ ) در اتاق آزمایش را بر اساس ISO 3741 تعیین کنید.
- میانگین لگاریتمی تراز فشار صوت ( $L_{br}$ ) را با استفاده از منبع صوتی مرجع در اتاق آزمایش، در حالی که منبع صوتی خارج از اتاق آزمایش خاموش است، تعیین کنید.

ب) اندازه گیری با وجود عایق:

- تکرار تحریک لوله؛
  - تعیین میانگین لگاریتمی تراز فشار صوت منتقل شده توسط نمونه آزمایش شامل سیستم روکش ناشی از وجود منبع خارجی ( $L_c$ )
  - میانگین تراز فشار صوت را با توجه به منبع صوتی مرجع در اتاق آزمایش ( $L_{cr}$ ) را تعیین کنید. ضروری است که شرایط زیر در طول آزمایش تغییر نکند:
    - تنظیمات سیگنال آزمایشی در لوله فولادی؛
    - تنظیمات منبع مرجع در اتاق آزمایش؛
    - محل منبع در اتاق آزمایش؛
    - موقعیت های میکروفون یا مسیر میکروفون.
- نکته:** لازم است که مدار آزمایش بررسی شود و در صورت لزوم، انتقال صدای پیکری بین نمونه آزمایش و دیوار مجاور قطع گردد. تمیز کردن اتاق آزمایش پس از هر بار اصلاح و تغییر نمونه آزمایش برای جلوگیری از تغییر در جذب صدا در اتاق آزمایش ضروری است. توالی اندازه گیری ها (بدون و با عایق) می تواند در صورت تمایل تغییر کند.

## ۶. نتایج

در هر باند فرکانسی مورد نظر، افت انتقال طبق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$D_W = L_b - L_c - (L_{br} - L_{cr})$$

$D_W$ : افت انتقال بر حسب دسی بل است

$L_b$  و  $L_c$ : میانگین تراز فشار صوت بازتابی برای لوله بدون عایق ( $L_b$ ) و لوله با عایق ( $L_c$ ) بر حسب دسی بل است.

$L_{br}$  و  $L_{cr}$ : میانگین تراز فشار صوت بازتابی برای منبع مرجع برای لوله بدون عایق  $L_{br}$  و لوله با عایق  $L_{cr}$  در اتاق بازتابی بر حسب دسی بل است.

**توجه:** در مورد اصطلاح ( $L_{br} - L_{cr}$ ) که تغییرات جذب صدا در اتاق آزمایش را به دلیل سیستم روکش در نظر می گیرد، به یادداشت ۱۰.۲ مراجعه کنید.

داده های افت انتقال اکتاوباند را می توان از یک داده یک سوم اکتاوباند به شرح زیر محاسبه کرد:

$$D_{W,oct} = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 10^{\frac{D_{wi}}{10}} \right)$$

$D_{Wi}$ : افت انتقال در هر یک سوم اکتاوباند از اکتاوباند مربوطه.

## ۷. اطلاعاتی که باید گزارش شود

اطلاعات فهرست شده در زیر باید برای تمام اندازه گیری های انجام شده مطابق با این استاندارد بین المللی گردآوری و گزارش شود.

الف) نمونه تست تحت آزمایش:

- مشخصات لوله و سیستم عایق صوتی (ابعاد و مواد یا مصالح)؛
- ویژگی های خاص برای نصب عایق در اتاق بازتابی، به ویژه در صورت انجام روش های نصب غیر عادی.



- محل نمونه تست در اتاق آزمایش.
- محل منبع صدا در اتاق آزمایش.

(ب) محیط صوتی:

- مشخصات اتاق آزمایش، از جمله ابعاد، بر حسب متر، روکش‌ها یا مواد استفاده شده روی سطح دیوارها، سقف و کف. طرحی که مکان منبع و محتویات اتاق را نشان می‌دهد.
- دمای هوا بر حسب درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی بر حسب درصد و فشار هوا بر حسب پاسکال.
- توصیف محدوده فرکانس بر اساس *ISO 3741*.

(ج) تجهیزات و ابزار مورد استفاده برای اندازه‌گیری‌ها، از جمله نام، نوع، شماره سریال و سازنده:

- تاریخ، مکان و روش‌های کالیبراسیون تجهیزات مورد استفاده برای اندازه‌گیری‌ها؛
- کپی گواهی کالیبراسیون

(د) داده‌های صوتی:

- مکان و جهت مسیر میکروفون (در صورت لزوم باید یک طرح نیز وجود داشته‌شود).
- هر گونه اصلاحات اعمال شده در هر باند فرکانسی برای محاسبه صدا پس زمینه، بر حسب دسی‌بل.
- افت انتقال نسبی در اکتاوباندها به صورت جدولی، افت انتقال در یک سوم اکتاوباند به صورت گرافیکی، بر حسب دسی‌بل تا نزدیک ۰.۵ دسی‌بل.
- تاریخ و زمان انجام اندازه‌گیری‌ها؛
- جزئیات کامل شخص/سازمان که آزمون را انجام می‌دهد.

این گزارش باید بیان کند که آیا تراز توان صدا گزارش شده مطابق با الزامات این استاندارد به دست آمده است یا خیر. در غیر این صورت، هر گونه انحراف باید گزارش شود و پیامدهای احتمالی ارزیابی شود.

اگر حجم لوله آزمایش نسبت به حجم اتاق بازتابی باعث شود عدم قطعیت مقادیر اندازه‌گیری شده در باندهای فرکانسی مشخص از مقادیر ارائه شده در جدول ۲ *ISO 3741:1999* بیشتر شود، این موضوع باید به صراحت ذکر شود (به ۱.۳ مراجعه کنید).

## پیوست و (طراحی آکوستیکی)

### ۱- عایق صوتی برای لوله ها، شیرها و فلنج ها

صدای منتشر شده از دیواره لوله معمولاً توسط تجهیزات متصل به لوله مانند کمپرسور، پمپ ها، شیرها یا اجکتورها ایجاد می شود. این منابع صوتی ممکن است باعث شوند که بخش طویل لوله صدا ایجاد کند زیرا صدا با کاهش کمی در لوله منتقل می شود. تابش صدا ممکن است با عایق صوتی کاهش یابد. سه کلاس عایق صوتی در نظر گرفته شده است که به صورت A، B و C مشخص می شوند. محاسبات باید مطابق با DEP-31-46-00 GEN (Shell-Design and Engineering Practice) انجام شود.

### ۲- الزامات عمومی برای سایلنسرها و مافلرها

این الزامات باید در مورد سایلنسر خروجی بخار، بخارات هیدروکربنی و سایر گازها اعمال شود. این موضوع در مورد خروجی های مورد استفاده برای ذرات یا پلیمریزاسیون مواد که ممکن است برای جلوگیری از گرفتگی نیاز به طراحی خاص باشد، اعمال نمی شود. سایلنسرها باید از مواد سازگار با سیال در حال تهویه ساخته شود و تمام سطوح فولادی باید از حفاظت آب و هوای کافی برخوردار باشند. سازنده باید جزئیات تمام مواد مورد استفاده و حفاظت از آب و هوا را ارائه دهد.

### ۳- موانع و محفظه های صوتی

یکی از موفق ترین روشها برای کاهش صدا، ایجاد دیواری بین منبع صدا و گیرنده است. دیوار می تواند به شکل زیر باشد:

- ۱) محفظه برای منبع صدا (ماشین آلات)،
- ۲) محفظه برای گیرنده (کارگر)،
- ۳) مانعی بین این دو.

### ۱.۳ محفظه های ماشین آلات و دستگاهها

جداسازی ماشین آلات تولید کننده صدا با استفاده از محفظه های صوتی بیشترین کاهش صدا را فراهم می کند. کاهش صدا ۲۰ تا ۳۰ دسی بل با محفظه های صوتی مربوط به دستگاهها رایج است عوامل زیر جنبه های اصلی مهندسی طراحی محفظه هستند که باید در نظر گرفته شوند:

- ۱) دستورالعمل طراحی برای اثربخشی آکوستیکی،
- ۲) در نظر گرفتن الزامات عملیاتی ماشین،
- ۳) اطمینان از سازگار بودن تولید،
- ۴) حفظ ایمنی و رفاه کارکنان.

### ۲.۳ طراحی محفظه (اتاقک) صوتی کارگران

در طراحی محفظه صوتی کارگران، فاکتورهای مهم زیر باید در نظر گرفته شود:

- (۱) مکان،
- (۲) اندازه،
- (۳) قابلیت دید
- (۴) نزدیکی

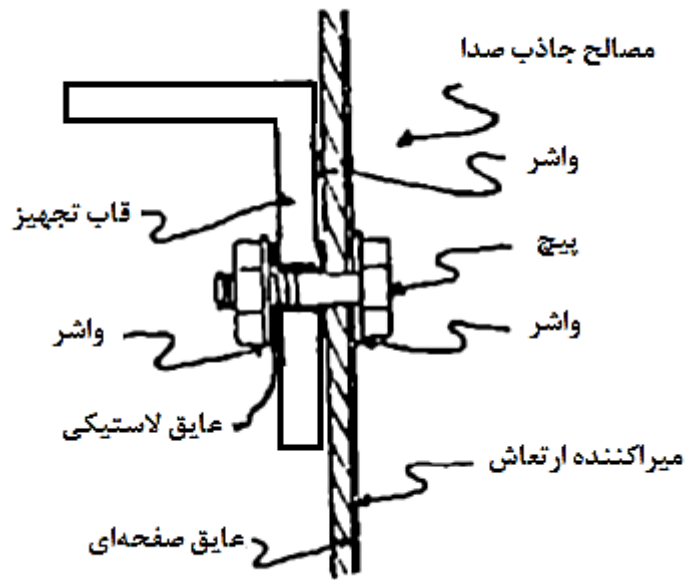
### ۳.۳ انواع محفظه

بسته به نیازهای عملیاتی ماشین و میزان کاهش صدا مورد نیاز، باید سه رویکرد طراحی برای محفظه‌های ماشین در نظر گرفته شود. که شامل:

- (۱) محفظه موضعی،
- (۲) محفظه جزئی،
- (۳) محفظه کامل

### ۱.۳.۳ محوطه های موضعی

در بسیاری از دستگاه، تراز بالای صدا فقط با اجزای خود دستگاه مرتبط است. در جایی که منابع صدا جدا شده روی یک ماشین شناسایی می شوند، محصور کردن تنها یک منطقه کوچک به جای کل دستگاه عملی تر است. به عنوان یک دستورالعمل کلی، پانل‌های محفظه صوتی هرگز نباید مستقیماً به اجزای دستگاهی که ترازهای ارتعاش بالایی دارند وصل شوند. در جاهایی که پانل‌ها روی ماشین نصب می‌شوند، باید از روش‌های جداسازی ارتعاشی که در شکل ۲ نشان داده شده است استفاده شود. برای اطمینان از حداقل تشعشع صوتی ناشی از ارتعاش پانل، بهبود میرایی نیز باید برای محفظه‌های نصب‌شده در ماشین اعمال شود.



شکل ۲ - روش جداسازی ارتعاشی پانل محفظه از قاب ماشین

### ۲.۳.۳ محفظه های جزئی

محفظه دستگاهی که حداقل یک قسمت باز یا دهانه بسیار بزرگ دارد باید به عنوان محفظه جزئی در نظر گرفته شود. یک محفظه جزئی دستگاه عملاً هیچ کاهش صوتی برای کارگری که مستقیماً در دستگاه کار می کند ایجاد نمی کند مگر اینکه:

الف) مسیر خط دید بین دستگاه و ناحیه شنوایی اپراتور را قطع کند، یا

ب) صدایی را که توسط دیوار یا سقف مجاور از دستگاه به اپراتور منعکس می شود جذب می کند.

### ۴.۳ دهانه در محفظه

برای اثربخشی یک محفظه صوتی، باید از شکاف ها یا دهانه حذف یا به حداقل برسد. در مواردی که دهانه یا شکاف لازم است (مانند تهویه)، می توان از سایلنسر یا "تله های صوتی" استفاده کرد.

### ۵.۳ ایزولاسیون ارتعاشی

ارتعاش از طریق کف به محفظه ها منتقل می شود. پانل های محفظه سطح بزرگ به منبع صدا تبدیل می شوند. با نصب دستگاه بر روی عایق های ارتعاشی می توان از این مشکل جلوگیری کرد. میرایی روشی دیگری برای کاهش صدا است. این مورد انرژی مرتبط با ارتعاش را پراکنده و حذف می کند، و اغلب با استفاده از پوششی که روی سطوح منبع صدا قرار میگیرد اعمال می شود.

### ۶.۳ الزامات غیر صوتی

علاوه بر طراحی یک محفظه صوتی برای برآورده کردن اهداف کاهش صدا، الزامات طراحی اضافی زیر باید در نظر گرفته شود:

- ۱) محفظه باید به طور مناسب تهویه شود تا از ایجاد گرما جلوگیری شود.
- ۲) دسترسی عملیاتی باید برای برآوردن الزامات تولید فراهم شود.
- ۳) دسترسی موضعی و کامل باید برای تعمیر و نگهداری فراهم شود.
- ۴) اگر از سیگنال های صوتی برای ارزیابی عملکرد ماشین استفاده می شود، سیستم های تشخیص جایگزین باید نصب شوند.
- ۵) سیستم های تامین کننده باید برای ماشین آلات محصور شده ارائه شود تا نیازهای انرژی و فرآیند را برآورده کند.
- ۶) دهانه های ورودی و خروجی باید طوری طراحی شوند که کاهش صوت را مطابق با سیستم کل محفظه فراهم کنند اما مانع عبور جریان مواد نشوند.
- ۷) در صورتی که محفظه بیش از حد نور بیرونی را تحت الشعاع قرار دهد، باید یک سیستم روشنایی داخلی نصب شود.
- ۸) حفاظت در برابر آسیب کارکنان و وسایل نقلیه (بالابرها و غیره) انجام شود.
- ۹) حفاظت در برابر شرایط محیطی: رطوبت، اسپری آب، روغن، گریس، خاک، فرسایش توسط جریان سیال، هوا متقاطع و غیره باید ارائه شود.
- ۱۰) الزامات ضد حریق باید در تمام کانال ها، لوله ها و شفت ها اعمال شود. دتکتورهای دود یا دمای نیز می توان برای محفظه ها در نظر گرفت.

## پیوست ز

### عایق های ارتعاشی

#### ۱- مواد ایزولاسیون ارتعاش<sup>۱</sup>

چندین نوع ماده رایج برای کاربرد ایزولاسیون ارتعاش استفاده می شود، شامل نمد، چوب پنبه، لاستیک یا الاستومرها، و فنرهای فلزی و ... می باشد. ویژگی های این مواد در این بخش آمده است.

#### ۱-۱ مواد قابل انعطاف چوب پنبه و نمد<sup>۲</sup>

مواد نمد و چوب پنبه در ایزولاسیون ارتعاش در حالتی که دارای فشار سطحی نسبتاً کمی (کمتر از حدود 200kpa یا 30 psi) و در جایی که نیازمند جابجایی استاتیکی در محدوده (0.01 – 0.07 in) (0.25 – 1.8 mm) باشد، به کار می روند. در مکان هایی که چوب پنبه و نمد استفاده می شود، باید مواظب بود که از تماس آلاینده هایی مثل روغن و آب با این مواد جلوگیری شود. تماس با روغن و آب بیش از یک دوره زمانی، سبب می شود که این مواد خراب شوند. چوب پنبه و نمد برای مواردی باید فرکانس بالا میرا شود بسیار مناسب می باشند. نمد ممکن است ترکیب شده با الیاف های پشمی و مخلوط الیاف های مصنوعی و پشمی باشد. به دلیل اینکه نمد دارای پیوند قوی بین الیاف نمی باشد، مواد نمدی فقط به شکل لایه های متراکم شده باید به کار روند. هنگامی که نمد به عنوان ماده ایزولاسیون ارتعاش به کار می رود کمترین قابلیت انتقال با استفاده از یک سطح کوچک بدست می آید، یک نمد نرم دارای چگالی کم و ضخامت زیاد می باشد. مواد نمدی به طور کلی دارای نسبت میرایی حدود  $\zeta = 0.060$  می باشند. ضخامت غیر متراکم لایه نمدی به طور عملی معمولاً بیش از ۳۰ برابر یا بیشتر از جابجایی استاتیکی انتخاب می شود. فشار سطحی برای نمد معمولاً باید محدود به مقادیر کمتر از حدود (20 – 30 psi) (140 – 200 kpa) باشد. رابطه تجربی (Crede, 1951) بین فرکانس طبیعی و فشار سطحی برای لایه نمدی به شکل زیر است:

$$f_n \{ \text{HZ} \} = \left\{ C_1 + \frac{14.93 [1 - (0.148) / (\rho_f / \rho_{ref})]}{(P_s / P_{ref})} \right\} \psi(h)$$

کمیت ( $P_s$ ) فشار سطحی بر لایه است، و کمیت ( $C_1$ ) تابع چگالی نمد است ( $\rho_f$ ):

$$C_1 = \frac{14.29}{1 - 1.068(\rho_f / \rho_{ref})}$$

کمیت  $\psi(h)$  تابع ضخامت بدون بار لایه نمد می باشد ( $h$ ):

$$\psi(h) = 1 - 0.25 \ln(h/h_{ref})$$

فشار سطحی مرجع  $P_{ref} = 101.325 \text{ kPa}$  (14.696 psi)، چگالی مرجع  $\rho_{ref} = 1000 \text{ kg/m}^3$  (62.43 lb<sub>m</sub>/ft<sup>3</sup>) و ضخامت مرجع برابر  $h_{ref} = 25.4 \text{ mm}$  (1.00 in) می باشد. رابطه تجربی برای محدوده متغیرهای زیر قابل قبول می باشد:

$$180 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 400 \text{ kg/m}^3$$

$$30 \text{ kPa} \leq P_S \leq 250 \text{ Kpa}$$

$$5 \text{ mm} \leq h \leq 200 \text{ mm}$$

چوب پنبه یکی از قدیمی ترین موادی است که برای ایزولاسیون ارتعاش به کار می رود، که از لایه خارجی کشسان پوست درخت بلوط ساخته شده است. شبیه نمد، چوب پنبه نیز فقط به شکل لایه هایی زیر بار متراکم به کار می رود. شیب منحنی جابجایی بار برای چوب پنبه ثابت نیست، اما با افزایش بار روی چوب پنبه زیاد می شود. ضخامت معمول چوب پنبه که برای لایه ها به کار می رود حدوداً بین  $25 \text{ mm}$  (1in) و  $150 \text{ mm}$  (6in) می باشد. جابجایی استاتیکی مورد قبول برای چوب پنبه باید در محدوده  $0.4 \text{ mm}$  (0.015 in) تا  $2.0 \text{ mm}$  (0.079 in) باشد. میزان نسبت میرایی برای چوب پنبه تقریباً برابر  $(\zeta = 0.075)$  می باشد.

رابطه تجربی (Crede, 1951) فرکانس طبیعی نامیرا به عنوان تابعی از فشار سطحی برای ماده چوب پنبه به شکل زیر است:

$$f_n \{\text{Hz}\} = C_2 (P_S / P_{ref})^{-1/3} \psi(h)$$

توصیه شده است که در طراحی فرکانس طبیعی حدود  $1/5$  برابر بزرگتر از مقداری که از معادله زیر بدست می آید، انتخاب گردد. کمیت  $(P_S)$  برابر فشار سطحی بر لایه و کمیت  $(C_2)$  تابع چگالی چوب پنبه می باشد  $(\rho_c)$ :

$$C_2 = \frac{19.75}{1 - 1.091(\rho_c / \rho_{ref})}$$

کمیت  $\psi(h)$  به وسیله معادله داده شده است، فشار سطحی، چگالی، و ضخامت مرجع شبیه همان هایی که در عبارت فرکانس طبیعی نمد داده شد، می باشد.

حداکثر فشار سطحی مورد قبول برای چوب پنبه تابع چگالی آن می باشد:

$$P_{max} / P_{ref} = 13(\rho_c / \rho_{ref})$$

روابط تجربی برای محدوده مقادیر زیر قابل قبول می باشد:

$$200 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 350 \text{ kg/m}^3$$

$$70 \text{ kPa} \leq P_S \leq 400 \text{ kpa}$$

$$25 \text{ mm} \leq h \leq 150 \text{ mm}$$

مواد چوب پنبه ای بعضی اوقات برحسب واحدهای صفحه‌ای مسطح (ورق مسطح)<sup>۱</sup> فروخته می‌شوند، به طوری که یک فوت ورق مسطح برابر است با  $144 \text{ in}^3 = 1/12 \text{ ft}^3 = 2.36 \text{ dm}^3$  ضریب تبدیل برای چگالی ذکر شده برحسب واحد  $\text{lb}_m/\text{bd} \cdot \text{ft}$  به شکل زیر است:

$$192.22 (\text{kg}/\text{m}^3)/(\text{lb}_m/\text{bd ft}) = 12.00 (\text{lb}_m/\text{ft}^3)/(\text{lb}_m/\text{bd ft})$$

## ۱-۲ ایزولاتورهای الاستومر و لاستیک برای ارتعاش<sup>۲</sup>

مواد لاستیکی الاستومر (مانند نئوپرن) در کاربردهای ایزولاسیون ارتعاش به کار می‌روند در جایی که جابجایی استاتیک مورد نظر به مقدار  $10 - 15 \text{ mm} (0.40 - 0.60 \text{ in})$  و با فشارسطحی متوسط روبرو هستیم. بعضی از خاصیت‌های مواد لاستیکی در جدول (۳) داده شده است. قابل توجه است که ویژگی‌های فیزیکی لاستیک به شدت سفتی مواد بستگی دارد. طراحی ایزولاتورهای لاستیکی با استفاده از کاتالوگ اطلاعات توسط سازندگان به بهترین شکل انجام می‌شود، به دلیل اینکه تنوع گسترده‌ای از شکل‌ها و اندازه‌های پایه در دسترس می‌باشد. برای تراکم بار<sup>۳</sup>، جابجایی استاتیک باید در حدود ۱۵-۱۰٪ ضخامت بدون بار محدود شود. برای برش بار<sup>۴</sup>، جابجایی استاتیک باید در حدود ۳۰-۲۰٪ محدود گردد. طراحی و یا استرس حداکثر تراکم کاری برای ایزولاتورهای لاستیکی به طور کلی نباید از حدود  $600 \text{ Kpa} (90 \text{ psi})$  تجاوز کند. و طرح استرس برش برای ایزولاتورهای بار- برش باید در حدود  $200 - 275 \text{ Kpa} (30 - 40 \text{ psi})$  محدود گردد. گاتالوگ اطلاعات سازنده به طور کلی حداکثر بار مجاز برای ایزولاتور را ذکر می‌کند. دمای کاری طبیعی و مناسب برای پایه‌های لاستیکی معمولاً کمتر از  $60^\circ\text{C} (140^\circ\text{F})$  می‌باشد. اگرچه در دماهای زیاد مانند  $75^\circ\text{C} (170^\circ\text{F})$  می‌توان از بعضی پایه‌ها بدون صدمه جدی در کارایی آن‌ها استفاده کرد. ثابت فنریت برای پایه لاستیکی تحت فشار بار شدیداً به اصطکاک بین پایه و تکیه‌گاه پایه‌های غیرپیوسته وابسته است. تخمین روابط تجربی ثابت فنریت (ارتجاعی) ایزولاتورهای لاستیکی بار متراکم شبیه است به آنچه که در رابطه نشان داده شده، به شرح زیر:

$$K_S = \frac{SE_C}{h} \left[ \frac{S^{1/2}}{(h_0 h^2 a^2 / b^2)^{1/3}} \right]$$

کمیت ( $a$ ) برابر طول (طول بزرگتر،  $a \geq b$ )، برابر پهنا و ( $h$ ) ضخامت ورقه لاستیک است. مساحت سطح ( $S = ab$ )، کمیت  $h_0 = 25.4 \text{ mm} (1.00 \text{ in})$  و کمیت ( $E_C$ ) مدول ینگ در تراکم لاستیک می‌باشد.

---

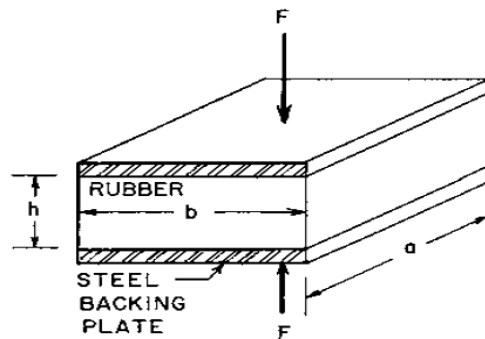
1- board feet  
2- Rubber and Elastomer Vibration Isolators  
3- Compression Loading  
4- Shear Loading



جدول ۳- ویژگی لاستیک در دمای 21 °C (70 °F)

نسبت میرایی $\zeta$	مدول الاستیک (MPa <sup>a</sup> )			تراکم <sup>۲</sup>	دانسیته kg/m <sup>3</sup>	سختی <sup>۱</sup>
	حجم کلی <sup>۵</sup>	برش <sup>۴</sup>	کنش(کشش) <sup>۳</sup>			
0.015	2,030	0.345	1.21	1.28	1,010	30
0.020	2,220	0.483	1.59	1.86	1,060	40
0.045	2,380	0.655	2.10	2.59	1,110	50
0.075	2,550	0.965	3.10	3.79	1,180	60
0.105	2,870	1.34	4.21	5.17	1,250	70
0.140	3,130	1.76	7.07	8.27	1,310	80

<sup>a</sup>:تبدیل MPa به psi ضریب تبدیل 145.038 psi/MPa

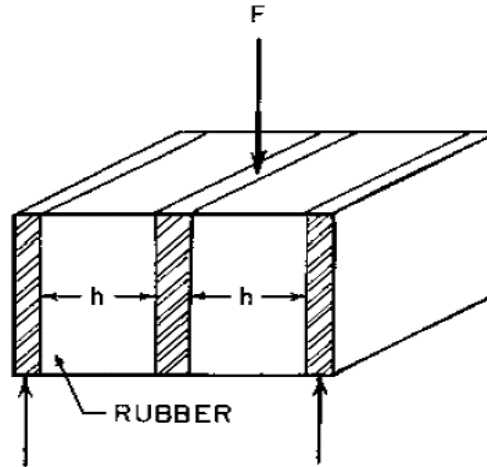


شکل ۳- ایزولاتور لاستیکی یا الاستومر ارتعاش بار شده تحت فشار بار در تراکم، بعد  $a$  بعد بزرگتر مثلاً  $a \geq b$ .

برای مورد پایه تحت برش بار، شامل دو لایه لاستیک که بین سه صفحه فولاد قرار گرفته ، همانطور که در شکل (۱-۱۳) نشان داده شده است، عبارت زیر برای ثابت فنریت (ارتجاعی) به کار می رود:

$$K_S = \frac{2SG}{h}$$

- 1- Durometer (hardness)
- 2- Compression
- 3-Tension
- 4- Shear
- 5- Bulk



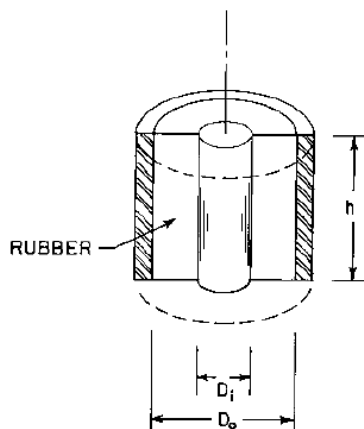
شکل ۴- تحت برش بار ایزولاتور لاستیکی یا الاستومر ارتعاش

کمیت (S) سطح مساحت لایه در یک وجه (G) مدول الاستیسیته در برش و (h) ضخامت لایه لاستیک است. اگر یک وجه استفاده شود ( یک لایه لاستیکی بین دو صفحه استیل ) ضریب دو از رابطه (۱-۱۵۶) حذف می شود.

برای یک پایه تحت برش بار ، شامل استوانه لاستیکی که بین دو استوانه فولادی نصب شده، همانطور که در رابطه زیر نشان داده شده است، ثابت فنریت با وسیله عبارت زیر داده می شود:

$$K_s = \frac{2\pi hG}{\ln(D_0/D_i)}$$

کمیت های ( $D_0$ ) و ( $D_i$ ) به ترتیب قطر خارجی و داخلی لاستیک هستند، و ( $h$ ) برابر طول استوانه، کمیت ( $G$ ) برابر ضریب مدول الاستیسیته تحت برش<sup>۱</sup> برای لایه لاستیک است. برش تحت بار پایه های لاستیک معمولاً بیشتر از میزان تحت فشار بار کاربرد دارد به دلیل اینکه ثابت فنریت برای پایه های تحت برش بار معمولاً بسیار کوچکتر پایه های تحت فشار بار می باشد. ثابت فنریت فنر کوچک در نتیجه فرکانس طبیعی بدون میرایی کوچکتر و میزان نسبت فرکانسی بزرگتر که یک قابلیت انتقال کمتری را فراهم می کند.

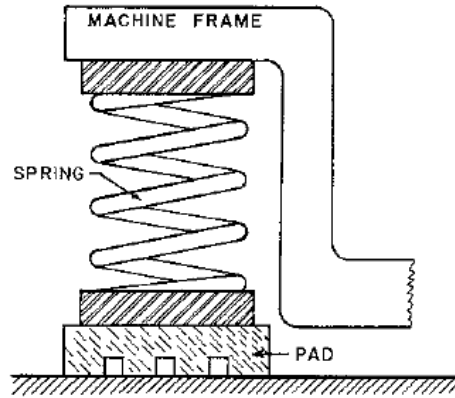


شکل ۵- ایزولاتور لاستیکی یا الاستومر استوانه ای ارتعاش تحت بار برشی اعمالی به انتهای داخلی و خارجی استوانه فلزی پایه های لاستیکی تحت فشار بار استفاده کاربردی دارد، وقتیکه تحمل حمل بار بیشتری بر واحد حجم از لاستیک مورد نیاز است. لاستیک تحت فشار در مکان‌هایی که جابجایی زیاد مورد نیاز نیست به کار می‌روند.

### ۳-۱ ایزولاتورهای فنر فلزی<sup>۱</sup>

فنرهای فلزی معمولاً در عناصر ایزولاسیون ارتعاش استفاده می‌شوند، مخصوصاً برای کاربردهایی که نیاز است فرکانس طبیعی نامیرا کمتر از 5Hz با جابجایی استاتیکی بزرگ تر از (5 in یا 125mm) باشد. فنرهای فلزی برای ایزولاسیون ابزار و وسایل با ظرفیت کم و جرم‌هایی به بزرگی (400Mg (400 metric tons یا 900,000 lb<sub>m</sub>) به کار می‌روند. مزیت فنرهای فلزی در جایی که جنس فنر مخالف اثر روغن و آب نیست انتخاب شوند.

در خیلی از موارد لایه‌هایی از نئوپان و یا دیگر الاستومرها به طور سری با مواد فنری قرار می‌گیرند (بین فنر و ساختار حمایتی، همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده است) برای جلوگیری از عبور موج با فرکانس بالا از میان فنر به ساختار حمایتی. فنرهای فلزی از چندین ماده، شامل فنر فولادی، ۳۰۴ فولاد ضد زنگ، فنر برنجی، برنز فسفر، مس بریلیوم ساخته شده‌اند. خواص فیزیکی مربوط به این مواد در جدول شماره (۴) لیست شده است. اندازه استاندارد (درجه مفتول) برای سیم آهنی، به جز سیم موسیقی، اندازه W&M می‌باشد. درجه سیم موسیقی برای اندازه های سیم موسیقی به کار رفته است، و برای مواد غیر آهنی اندازه های B&S یا سیم های AWG به کار رفته است.



شکل ۶- فنر فلزی حمایت دار با لایه میراکننده یا نئوپرن یا دیگر الاستومر

چندین نوع فنرهای فلزی وجود دارد. شامل فنر حلزونی<sup>۱</sup>، فنر برگ<sup>۲</sup>، زنگوله‌ای شکل<sup>۳</sup> و فنرهای صفحه مخروطی<sup>۴</sup>. در این بخش بر روی فنرهای متراکم حلزونی تمرکز داریم. فنرهای حلزونی می‌توانند به عنوان فنرهای ساده (نامحدود)، یا به عنوان فنرهای همراه با نگهدارنده به کار روند.

برای فنرهای ساده، باید مراقب نا استواری یا خم و راست شدن از سمت کنار (پهلوی) باشیم. اگر شرایط زیر برقرار باشد فنر متراکم بدون نگهدارنده همیشه می‌تواند مناسب باشد:

$$\xi \equiv \left( \frac{1 + 2\sigma}{2 + \sigma} \right) \left( \frac{\pi D}{H_0} \right)^2 \geq 1$$

برای مقدار نسبت پوآسون میزان  $\sigma = 0.3$  رابطه (۱-۱۵۸) به شکل زیر خلاصه می‌شود:

$$D/H_0 \geq 0.382 \quad (1 - 159)$$

جدول ۴- خاصیت فنرهای فلزی از جنس‌های مختلف

ماده	دانسیته	ضریب یانگ	ضریب برش <sup>۶</sup>	نسبت پوآسون	استحکام برشی <sup>۵</sup>
	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$E$ (GPa)	$G$ (GPa)	$\sigma$	$S_{ys}$ (MPa)
فنر فولادی	7,830	203.4	79.3	0.287	a
فولاد ضد زنگ ۳۰۴	7,820	190.3	73.1	0.305	179

- 1- Helical Springs
- 2- Leaf Springs
- 3- Belleville Springs
- 4- Torsin Springs
- 5- Shear Yield Strength
- 6- Shear Modulus

200	0.324	40.1	106.0	8,550	فنر برنجی
315	0.349	41.4	111.0	8,800	برنز فسفر
675	0.285	48.3	124.0	8,230	مس بریلیوم

<sup>4</sup>: ویژگی استقامت شدیداً وابسته به رفتار گرمایی و سرماییی کار است. بازده استقامت برشی فنر فولادی همچنین وابسته به اندازه سیم است. بازده استقامت برشی بصورت تقریبی بوسیله رابطه زیر برای اندازه کوچک است.  $S_{ys} = S_{ys1}(d_{ref}/d_w)^n$

جایی که  $d_{ref} = 1 \text{ mm}$  باشد،  $S_{ys1}$  و  $n$  بشرح زیر است:

طیف اندازه (mm)	$S_{ys1}$ (MPa)	نما ( $n$ )
0.10-6.5	940	0.146
>6.5	715	0
0.50-12	814	0.186
>12	513	0
0.70-12	758	0.192
>12	470	0

اگر مقدار نسبت میرایی ( $\xi$ ) معادله زیر کمتر از یک باشد، فنر پایدار خواهد بود، در صورتی که نسبت جابجایی کل  $\Delta y$  به ارتفاع آزاد  $H_0$  (طول فنر هنگامی که بدون بار است) به صورت رابطه زیر است (Timoshenko and Gere, 1961):

$$\frac{\Delta y}{H_0} < \left( \frac{1 + \sigma}{1 + 2\sigma} \right) \left\{ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{1 + 2\sigma}{2 + \sigma} \right) \left( \frac{\pi D}{H_0} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

کمیت ( $\sigma$ ) نسبت پواسون، ( $D$ ) متوسط قطر حلقه فنر و ( $H_0$ ) ارتفاع آزاد فنری که در قسمت انتهایی محکم بسته نشده است. اگر هر دو انتهای فنر به چیزی متصل شده باشد، از عبارت (طول آزاد فنر  $\times 2 = H_0$ ) استفاده می‌کنیم. اگر نسبت پواسون جنس فنر  $\sigma = 0.3$  باشد، رابطه پایین به شکل زیر خلاصه می‌شود:

$$(\Delta y/H_0) < 0.8125 \{ 1 - [1 - 6.87(D/H_0)^2]^{1/2} \}$$

ثابت فنریت برای تراکم محوری یک فنر حلزونی بوسیله رابطه زیر داده می‌شود:

$$K_S = \frac{Gd_w^4}{8D^3N_C}$$

مقدار ( $G$ ) ضریب برشی، ( $d_w$ ) ضخامت (قطر سیم)، ( $D$ ) قطر متوسط سیم (پیچ حلقه سیم) و ( $N_c$ ) تعداد حلقه‌های (سیم پیچ) فعال در فنر است. نسبت ( $D/d_w$ ) شاخص فنر نامیده می‌شود، و معمولاً دارای مقادیری در محدوده بین (6 و 12) می‌باشد (Shigley and Mischke, 1989).

تعداد حلقه‌های فعال برای یک فنر بستگی به رفتار (treatment، طرز عمل) پایانه‌های (انتهای) سیم فنری دارد. یک فنر با انتهاهای صاف (پهن یا ساده، plain ends) عملکرد ویژه پایانه‌ها (انتهای) را ندارد؛ اگر یک فنر به دو فنر کوتاه‌تر بریده شده باشد، انتهاها به همان اندازه (یکسان) هستند. برای مورد انتهاهای ساده و اتصال به زمین (ground)، آخرین حلقه در انتهای فنر، سیم اتصال زمین دارد با یک سطح صاف به طوری که حدود نیمی از سیم پیچ در تماس مستقیم با سطح پشتیبان (حمایت کننده) است. برای انتهای مربعی و یا بسته، انتهای حلقه با یک زاویه مارپیچ صفر درجه به گونه‌ای تغییر شکل یافته که تمام سیم پیچ سطح پشتیبان را لمس می‌کند. برای انتهای مربعی و پایه اتصال به زمین، حلقه نهایی مربعی است، بنابراین سیم اتصال به زمین است با یک سطح صاف به طوری که عملاً تمام سیم پیچ در تماس مستقیم با سطح تکیه گاه است. تعدادی از حلقه‌های (سیم پیچ‌های) فعال برای رفتارهای مختلف انتها در جدول شماره (۵) خلاصه شده است. سایر عوامل در غیر این صورت نشان می‌دهد، انتهای فنرها باید مربعی و اتصال زمین باشد زیرا انتقال بهتر بار در فنر برای این نوع انتهاها انجام می‌شود.

واضح است که فنر نباید ماده جامد فشرده (مثلاً حلقه‌های فنر نباید به هم برسند) در طول بهره‌برداری از فنر باشد. عبارات ارتفاع جامد با رفتارهای مختلف انتها (various end treatments) همچنین در جدول (۷-۱) داده شده است. برای یک فنر فشرده مارپیچی، ارتفاع فنر تحت شرایط حداکثر جابجایی نباید کمتر از حدود  $1/20$  برابر ارتفاع جامد آن باشد.

تنش برشی در یک فنر فشرده مارپیچی تابعی از نیروی اعمال شده ( $F$ ) است، که شامل هر دو وزن حمایت کننده (تکیه‌گاه)، نیروی متحرک و ابعاد فنر است:

$$S_s = \frac{8FDk_{sh}}{\pi d_w^3}$$

جدول ۵- ویژگیهای فنرهای مارپیچی

گامهای فنری <sup>۱</sup>	ارتفاع جامد <sup>۲</sup>	ارتفاع آزاد <sup>۳</sup>	حلقه های فعال <sup>۴</sup>	رفتارهای انتها <sup>۵</sup>
$p_s^b$	$H_s$	$H_o$	$N_c$	
$(H_o - d_w)/N_t$	$d_w(N_t + 1)$	$p_s N_t + d_w$	$N_t^a$	ساده یا تخت
$H_o/N_t$	$d_w N_t$	$p_s N_t$	$N_t - 1$	ساده و زمین

- 1- Spring pitch
- 2- Solid height
- 3- Free height
- 4- Active Coils
- 5- End Treatment

$(H_0 - 3d_w)/N_c$	$d_w(N_t + 1)$	$p_s N_c + 3d_w$	$N_t - 2$	مربع
$(H_0 - 2d_w)/N_c$	$d_w N_t$	$p_s N_c + 2d_w$	$N_t - 2$	مربع و زمين

$N_t$ :<sup>a</sup> تعداد کل حلقه‌های فنر

$p_s$ :<sup>b</sup> گام سیم‌پیچ فنری (عکس تعداد حلقه‌های بر ارتفاع واحد فنر)

کمیت ( $k_{sh}$ ) ضریب تصحیح تنش برشی<sup>1</sup> است، که به شرح ذیل است:

$$k_{sh} = \frac{2(D/d_w) + 1}{2(D/d_w)}$$

فنهایی که ماشین‌آلات را حمایت می‌کنند اغلب تابع بارهای در معرض جهت جانبی (عمود بر محور فنر) هستند. ثابت فنر در جهت جانبی ( $K_{lat}$ ) وابسته به ثابت فنر در راستای محوری ( $K_S$ ) و به بیان زیر است:

$$\frac{K_{lat}}{K_S} = \frac{2(1 + \sigma)}{1 + 4(2 + \sigma)(H_0/D)^2}$$

برای موارد خاص که نسبت پواسون  $\sigma = 0.3$  است، معادله (۱-۱۶۵) به معادله زیر تبدیل می‌شود:

$$\frac{K_{lat}}{K_S} = \frac{2.60}{1 + 9.20(H_0/D)^2}$$

عامل دیگری که در طراحی فنر باید در نظر گرفته شود، مشکل تغییر ناگهانی (نوسانات شدید، تحت کشش نگهداشتن) فنر<sup>۲</sup> است. اگر یک انتهای فنر مارپیچی مجبور به نوسان باشد، موج از انتهای متحرک به انتهای ثابت فنر حرکت خواهد کرد، بنحوی که در آن موج به انتهای دیگر منعکس (برگشت) خواهد کرد. فرکانس بحرانی و یا نوسان شدید (شوک) برای یک فنری که دارای یک سر (انتها) در برابر یک صفحه تخت و انتهای دیگر گردنده توسط یک نیروی نوسانی (Wolford and Smith, 1976) است بوسیله رابطه زیر معین می‌شود:

$$f_s = \frac{d_w (G/2\rho)^{1/2}}{2\pi D^2 N_c}$$

کمیت ( $d_w$ ) قطر سیم فنری، ( $G$ ) ضریب برشی، ( $\rho$ ) چگالی ماده فنر، ( $D$ ) قطر متوسط حلقه فنر و ( $N_c$ ) تعداد حلقه‌های فعال فنر است. به منظور جلوگیری از مشکلات رزونانس در فنر، فرکانس نوسان (شوک) فنر<sup>۳</sup> باید کمتر از 15 برابر فرکانس نیروی

1- Shear\_Stress Correction Factor  
2- Springs Surge  
3- Surge Frequency for The Spring

اعمالی برای سیستم باشد. فرکانس نوسان (شوک) ممکن است با استفاده از یک فنری با سیم قطورتر یا فنری با قطر حلقه کوچکتر (با شاخص فتر کوچکتر،  $D / d_w$ ) افزایش یابد.

## ۲- اثرات ارتعاش بر انسانها<sup>۱</sup>

بدن انسان نسبتاً یک سیستم پیچیده ارتعاشی است، زیرا هر دو حالت خطی و غیر خطی "فنها" و "میراکننده‌هایی" را دارد. بطوریکه مطالعات آسیب بر شنوایی در این مورد، (غیر اخلاقی، در موارد شدید) و انجام پژوهش در زمینه خطر ارتعاشی بر روی زندگی افراد بشر دشوار است. به دلیل این مشکل، بسیاری از داده‌های پژوهشی بر روی اثرات ارتعاشی بر روی انسان از آزمایشات بر روی حیوانات و یا از طریق شبیه سازی به دست آمده است.

برای محدوده فرکانس کمتر از حدود ۴۰ هرتز، بدن انسان می‌تواند الگوی تقریبی یک سیستم از جرم‌ها (سر، نیم تنه فوقانی، لگن، پاها و بازوها)، عناصر فنر، و عناصر میراکننده باشد (Coermann et al. 1960).

به طور کلی، مواجهه با ارتعاش در محیط کار با توجه تراز و مدت زمان مواجهه بسیار جدی تر از مواجهه با ارتعاش در خانه است. بیشترین مواجهه ارتعاش تمام مربوط به تماس ناشی از نیروهای منتقل شده از طریق پاهاى فرد در حالی که ایستاده، یا کفل در حالی که نشسته است (Von Gierke and Goldman, 1988).

مواجهه با ارتعاش دست و بازو نیز در حالی که ابزار در دست گرفته می‌شود رخ می‌دهد.

دو ناحیه فرکانسی مهم وجود دارد تا جایی که به ارتعاش کل بدن انسان مربوط می‌شود:

(الف) از ۳ هرتز تا ۶ هرتز، جایی که در آن رزونانس (تشدید) مجموعه قفسه سینه - شکم رخ می‌دهد.

(ب) از ۲۰ هرتز تا ۳۰ هرتز، جایی که رزونانس مجموعه سر - گردن - شانه رخ می‌دهد. رزونانس مجموعه قفسه سینه - مخصوصاً شکم مهم است، زیرا این رزونانس (تشدید) نیازمند مکانهای سخت و جداسازی دقیق ارتعاش در حالت نشستن یا ایستادن فرد است. به عنوان مثال، در فرکانس 4 Hz، شتاب ناحیه لگن یک فرد ایستاده تقریباً 1.8 برابر شتاب سطحی که فرد روی آن ایستاده است، می‌باشد. در فرکانس 30 Hz هرتز برای یک فرد نشسته، شتاب ناحیه سر و شانه در حدود 3.5 برابر شتاب سطحی است که شخص روی آن نشسته است.

رزونانس در چشم، در محدوده فرکانس بین 60 Hz و 90 Hz رخ می‌دهد. اثر رزونانسی در سیستم فک پایین و جمجمه در محدوده فرکانسی بین 100 Hz و 200 Hz وجود دارد. تشدید در داخل جمجمه در محدوده فرکانس بین 300 Hz و 400 Hz رخ می‌دهد.

پاسخ افراد به ارتعاش در فرکانس‌های بالاتر از 100 Hz به طور معنی‌داری تحت تاثیر لباس یا کفش در محل اعمال نیروی ارتعاشی قرار دارد. ارتعاش در فرکانس‌های کمتر از حدود 1 Hz بر گوش درونی اثر گذاشته و باعث آزاردگی می‌شود، مانند بیماری حرکت<sup>۲</sup>. برای فرکانس‌های بیشتر از حدود 100 Hz، درک ارتعاش بیشتر متوجه بر پوست است، و بستگی به ناحیه خاصی از بدن تحت تأثیر ارتعاش دارد و همچنین لباس، کفش، و ...، که فرد پوشیده است، دارد.

معیار قابل قبول مواجهه با ارتعاش بوسیله سازمان های استاندارد ملی (ANSI, 1979) و بین المللی (ISO, 1985) توسعه یافته است. ترازهای شتاب موثر (rms) مربوط به کاهش خستگی در مهارت کاری توسط روابط زیر داده می‌شود.

1- Effect of Vibration on Hummans

2- cinerosis



اگر شخصی در معرض ترازهای شتاب موثر (rms) که بیش از مقادیر داده شده توسط روابط زیر باشد، فرد به طور کلی خستگی قابل توجهی را تجربه می‌کند و کاهش کارایی شغلی در اکثر وظایف را خواهیم داشت:

برای محدوده فرکانسی  $1 \text{ Hz} \leq f < 4 \text{ Hz}$ :

$$L_a = 90 - 10 \log_{10}(f/4) + CF_t$$

برای محدوده فرکانسی  $4 \text{ Hz} \leq f \leq 8 \text{ Hz}$ :

$$L_a = 90 \text{ dB} + CF_t$$

برای محدوده فرکانسی  $8 \text{ Hz} < f \leq 80 \text{ Hz}$ :

$$L_a = 90 + 20 \log_{10}(f/8) + CF_t$$

تراز شتاب موثر (rms) نباید بیش از  $L_a(\text{max}) = 116.8 \text{ dB}$  باشد.

که برابر با شتاب  $0.707 \text{ g}$  یا  $6.94 \text{ m/s}^2$  ( $22.75 \text{ ft/sec}^2$ ) است.

فاکتور ( $CF_t$ ) یک ضریب تصحیحی برای زمان مواجهه با شتاب تخمین زده می‌باشد که بوسیله روابط بدست می‌آید:

:  $t \leq 8 \text{ hours}$  برای زمان

$$CF_t = 20[1 - (t/8)^{1/2}]$$

برای زمان  $8 < t \leq 16 \text{ hours}$ :

$$CF_t = 20[(8/t)^{1/2} - 1]$$

محدوده شتاب برای یک شرایط "آسایش کاهش یافته"<sup>۱</sup> ناشی از ارتعاش ممکن است بوسیله کم کردن  $10 \text{ dB}$  از مقادیر بدست آمده توسط معادلات پایین تشخیص داده شود. حد بالای قابل قبول مواجهه با شتاب، که بیانگر یک خطر برای سلامتی فرد است اگر بیش از حد باشد، بوسیله اضافه کردن  $6 \text{ dB}$  به مقادیر داده شده بوسیله معادلات زیر بدست می‌آید.

تراز شتاب مطابق فرمول زیر تعریف می‌شود:

$$L_a = 20 \log(a/a_{\text{ref}})$$

شتاب مرجع  $a_{ref} = 10 \mu\text{m/s}^2$  ( $0.00039 \text{ in/sec}^2$ ) و  $1g$  ( $g = 9.806 \text{ m/S}^2 = 32.174 \text{ ft/sec}^2 = 386.1 \text{ in/sec}^2$ ) مطابق با تراز شتاب در رابطه زیر:

$$L_a = 20 \log_{10}(9.806/10 \times 10^{-6}) = 119.8 \text{ dB} \approx 120 \text{ dB}$$

اگر تغییر مکان (جابجایی) ارتعاش سینوسی باشد، شتاب موثر (rms) مربوط به شتاب ماکزیمم یا قله،  $a_{max}$  و بوسیله رابطه زیر بدست می‌آید:

$$a_{rms} = a_{max}/2^{1/2} = 0.707a_{max}$$

جابجایی (تغییر مکان) ارتعاش  $y(t)$  بوسیله رابطه سینوسی، ممکن است از ارتباط بین شتاب و جابجایی تعیین شود:

$$y(t) = y_{max} e^{j\omega t}$$

$$a(t) = \frac{dy}{dt} = -\omega^2 y_{max} e^{j\omega t} = \omega^2 y_{max} e^{j(\omega t + \pi)}$$

شتاب جرمی ( $\pi$ ) رادیان یا ( $180^\circ$ ) با تغییر مکان (جابجایی) اختلاف فاز دارد. شتاب ماکزیمم یا قله بستگی دارد به ماکزیمم جابجایی و بوسیله عبارت زیر شرح داده می‌شود:

$$a_{max} = \omega^2 y_{max} = 4\pi^2 f^2 y_{max}$$

اگر مشتق عبارت برای ارتعاش تابع تغییر مکان جرم را بگیریم، با استفاده از معادلات زیر، رابطه شتاب ماکزیمم تغییر مکان تابع جرم را بدست می‌آوریم:

$$a_{2,max} = \omega^2 y_{1,max} Tr = (K_S/M)r^2 y_{1,max} Tr$$

کمیت ( $r$ ) نسبت فرکانس، ( $r = \omega/\omega_n = f/f_n$ ) و ( $Tr$ ) قابلیت انتقال است. اگر قابلیت انتقال داده شده را بوسیله معادله (۱-۱۰۳) جایگزین کنیم، روابط بدون بعد شتاب حداکثر جرم مورد نظر برای تحریک جابجایی بدست می‌آید:

$$\frac{(a_{2,max}/g)}{(K_S y_{1,max}/Mg)} = r^2 Tr = r^2 \left[ \frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2}$$

اگر ثابت فنریت ( $K_S$ ) متغیر طراحی شود، روش زیر برای استفاده مناسب‌تر می‌باشد:

$$\frac{(a_{2,max}/g)}{(4\pi^2 f^2 y_{1,max}/g)} = Tr = \left[ \frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2}$$