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

راهنمای اندازه‌گیری و ارزیابی
صدا و ارتعاش در محیط کار

OEL – NV - 9505

بسم الله الرحمن الرحیم

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

راهنمای اندازه‌گیری و ارزیابی

صدا و ارتعاش در محیط کار

کد

OEL - NV - 9505

۱۳۹۵

شماره کتابشناسی ملی : ۴۵۵۸۹۴۴
سرشناسه : گلمحمدی، رستم، ۱۳۴۴
عنوان و نام پدیدآور : راهنمای اندازه گیری و ارزیابی صدا و ارتعاش در محیط کار/ مجری طرح قطب علمی آموزشی بهداشت حرفه‌ای کشور؛ [برای] وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی مرکز سلامت محیط و کار.
مشخصات نشر : همدان: انتشارات دانشجو: وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، معاونت سلامت، مرکز سلامت محیط و کار ، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری : ۱۴۰ص. : مصور، جدول
شابک : *978-964-543-040-3*
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
موضوع : صوت‌شناسی -- مهندسی
موضوع : *Acoustical engineering*
موضوع : صدا -- کنترل
موضوع : *Noise control*
شناسه افزوده : ایران. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. مرکز سلامت محیط و کار
رده بندی کنگره : ۱۳۹۵ ۲ر۷گ/*TA۳۶۵*
رده بندی دیویی : ۶۲۰/۲

نام کتاب: راهنمای اندازه‌گیری و ارزیابی صدا و ارتعاش در محیط کار
ناشر: مرکز سلامت محیط و کار، وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی – انتشارات دانشجو
تلفن: ۸۱۴۵۴۱۹۳-۸۱۴۵۴۱۲۰-۰۲۱، نمابر: ۸۱۴۵۴۴۶۴-۰۲۱
http:// markazsalamat.behdasht.gov.ir
مجری طرح: قطب علمی آموزشی بهداشت حرفه‌ای کشور
تلفن: ۳۸۳۸۰۰۲۵-۰۸۱ نمابر: ۳۸۳۸۰۵۰۹-۰۸۱ http://ceoh.umsha.ac.ir
مولف: دکتر رستم گلمحمدی
نوبت چاپ: اول ۱۳۹۵
تیراژ: ۵۰۰ جلد وزیری
فیلم زینک: لیتوگرافی روشن
چاپ و صحافی: روشن
مرکز پخش: همدان، انتشارات دانشجو تلفن: ۳۸۳۷۸۰۱۰-۰۸۱
شابک: ۳-۰۴۰-۵۴۳-۹۶۴-۹۷۸
قیمت: ۷۰۰۰۰ ریال

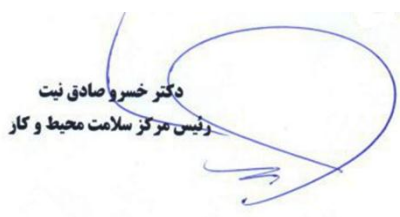
مقدمه

در حال حاضر بیش از نیمی از جمعیت جهان در مشاغل مختلف در معرض طیف وسیعی از عوامل زیان‌آور و آلاینده‌های محیط‌کار قرار دارند که این امر پیامدهای بهداشتی ناگواری را به‌همراه داشته و امکان ابتلا به بیماری‌های شغلی را افزایش خواهد داد.

با توجه به ضرورت برخورداری شاغلین از محیط‌کار سالم و نیاز مبرم کشور به حدود و معیارهایی برای تمایز محیط‌های کاری سالم و ناسالم، ویرایش چهارم کتاب حدود مجاز مواجهه شغلی در مرکز سلامت محیط و کار تدوین شد و با امضاء وزیر محترم بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ابلاغ گردید.

با عنایت به ماده ۸۵ قانون کار که رعایت حدود مندرج در کتاب مذکور را برای صاحبان صنایع، کارفرمایان الزام آور نموده است و بر اساس بازخوردهای واصله از کاربران مختلف این کتاب از سراسر کشور، اعم از کارشناسان بهداشت حرفه‌ای و متخصصان طب کار، اعضاء محترم هیأت علمی و کارشناسان صنایع، بر آن شدیم تا با کمک اساتید مجربی که در کمیته تدوین حدود مجاز همکاری نموده‌اند، راهنماهای فنی هر بخش از این کتاب را در ۹ جلد با موضوعات مختلف، به منظور تسهیل استفاده کاربران تدوین نماییم تا کاربران به کمک توضیحات تکمیلی و مثال‌های عنوان شده در این راهنماها، با توان بیشتری نسبت به تفسیر حدود مجاز مندرج در این کتاب و به‌کارگیری نتایج حاصل از آن اهتمام ورزند و از محدودیت‌هایی که ممکن است پدید آید آگاهی داشته باشند و بیش از پیش بتوانند تفسیر صحیحی از مقایسه این حدود مجاز با وضعیت مواجهات آسیب‌رسان محیط‌کار به‌دست آورند.

لازم به ذکر است، به‌منظور دسترسی بیشتر کاربران، این راهنماها بر روی تارنماهای وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی (وبدا)، معاونت بهداشتی و مرکز سلامت محیط و کار قرار خواهد گرفت. در انتها وظیفه خود می‌دانم از زحمات ارزشمند جناب آقای دکتر رستم گلمحمدی که در تألیف و خانم مهندس فاطمه صادقی و آقای مهندس حمید اقتصادی که در نظارت و تدوین این راهنما همکاری نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.



فهرست مطالب **صفحه**

اهمیت موضوع	۷
برنامه حفاظت از شنوایی	۱۰
بخش یکم – اندازه‌گیری و ارزیابی صدا در محیط کار	۱۱
گفتار یکم: مفاهیم اساسی صوت	
موج	۱۱
امواج صوتی	۱۱
رفتارهای موج صوتی	۱۲
انواع صوت از نظر ویژگی‌های امواج	۱۳
بیناب صوتی	۱۴
کمیات اندازه‌گیری صوت	۱۵
کمیات فیزیکی	۱۶
انواع فشار صوت	۱۷
کمیات لگاریتمی	۱۹
ترازهای صوت	۲۰
انواع صوت از نظر زمان تداوم	۲۲
قواعد صدا	۲۵
جمع ترازهای صوتی	۲۵
میانگین ترازهای صوتی	۲۷
تراز معادل مواجهه صوت	۲۸
انتشار صوت	۲۹
گفتار دوم: اندازه‌گیری و ارزیابی صدا	۳۲
ترازسنج صوت	۳۲
شبکه توزین فرکانس	۳۴
شبکه سرعت پاسخ دستگاه	۳۶
مدارهای محاسب و نمایشگر	۳۶
کالیبراسیون ترازسنج صوت	۳۷

گروه‌های ترازسنج صوت	۳۷
آنالیزور طیفی صوت	۳۸
دستگاه‌های ثبات تراز صوت	۳۸
دزیمتر صدا	۳۸
روش‌های اندازه‌گیری و ارزیابی صدا	۳۹
اهداف اندازه‌گیری	۴۰
انتخاب وسایل اندازه‌گیری	۴۰
گردآوری اطلاعات	۴۱
حد مجاز مواجهه	۴۱
تعیین ایستگاه‌های اندازه‌گیری	۴۲
روش‌های اندازه‌گیری	۴۲
روش شبکه‌ای منظم	۴۳
نکات کلیدی در اندازه‌گیری محیطی صدا	۴۳
روش تهیه نقشه صوتی	۴۷
اندازه‌گیری صدا برای تعیین تراز نشری صدای یک منبع خاص	۴۸
اندازه‌گیری موضعی به منظور ارزیابی مواجهه کارگر، نکات کلیدی	۴۹
اندازه‌گیری مواجهه کارگر با صدای کوبه‌ای و ضربه‌ای	۵۲
روش اندازه‌گیری صدا در محیط‌های روباز	۵۲
آنالیز فرکانس صدا	۵۳
استانداردها و حدود مجاز مواجهه شغلی با صدا	۵۵
حد مراقبت صدا	۵۷
حد مجاز صدا برای شاغلین دارای فعالیت‌های دفتری	۵۹
دزیمتری	۵۹
روش انجام دزیمتری	۶۰
نکات کلیدی در انجام دزیمتری صدا	۶۱
راهنمای نحوه تکمیل فرم گزارش اندازه‌گیری صدا در محیط کار	۶۳
غربالگری صدا	۷۰

گفتار سوم: جنبه‌های بهداشتی مواجهه با صدای شغلی	۷۳
مکانیسم شنوایی	۷۴
صدمات صوتی به دستگاه شنوایی	۷۷
محدوده‌های افت شنوایی	۷۹
گفتار چهارم: اصول کنترل صدا	۸۰
روش‌های عمومی کنترل فنی	۸۰
کنترل در منبع صوتی	۸۰
کنترل در مسیر و محیط انتشار صوت	۸۱
فناوری استفاده از جاذب‌های صدا	۸۲
عایق‌بندی صوتی	۸۳
اتاقک سازی	۸۵
انباره‌ها	۸۵
حفاظت فردی	۸۶
انتخاب حفاظ شنوایی	۹۰
بخش دوم – اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش در محیط کار	۹۲
گفتار پنجم: مفاهیم اساسی ارتعاش	
ماهیت ارتعاش	۹۲
معادلات امواج ارتعاشی	۹۳
نیروی ارتعاش	۹۴
سیستم ارتعاشی	۹۵
انواع ارتعاش از نظر شکل امواج	۹۵
ارتعاش انسانی	۹۶
جهات ورود ارتعاش	۹۸
کمیات اندازه‌گیری ارتعاش	۱۰۰
کمیات لگاریتمی	۱۰۲
فاکتور قله ارتعاش	۱۰۴
جنبه‌های بهداشتی ارتعاش	۱۰۵

اثرات ارتعاش تمام بدن	۱۰۷
اثرات ارتعاش دست - بازو	۱۰۸
گفتار ششم: اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش	۱۱۰
ارتعاش سنج	۱۱۰
روش‌های اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش	۱۱۵
هدف اندازه‌گیری	۱۱۶
گردآوری اطلاعات	۱۱۶
انتخاب وسیله	۱۱۶
استانداردهای اندازه‌گیری	۱۱۷
روش‌های اندازه‌گیری	۱۱۸
اندازه‌گیری ارتعاش صنعتی	۱۱۸
اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن	۱۱۸
اندازه‌گیری ارتعاش دست-بازو	۱۲۱
استانداردهای ارتعاش	۱۲۲
حد مجاز مواجهه شغلی OEL	۱۲۶
حد مراقبت ارتعاش	۱۲۹
ارزیابی مواجهه ارتعاش تمام بدن	۱۲۹
ارزیابی ارتعاش دست-بازو	۱۳۰
محاسبه دز ارتعاش	۱۳۱
گفتار هفتم: اصول کنترل ارتعاش	۱۳۴
کنترل ارتعاش در مرحله طراحی و ساخت	۱۳۴
کنترل ارتعاش در مرحله نصب و بهره‌برداری	۱۳۵
حفاظت فردی	۱۳۷
منابع	۱۳۸

اهمیت موضوع

آلودگی صدا یکی از مهم‌ترین عوامل فیزیکی زیان‌آور در محیط کار محسوب می‌شود. مواجهه کارگران با صدا به‌عنوان یک مشکل فراگیر در محیط‌های کاری در سراسر جهان مطرح می‌باشد. از دیدگاه صنعتی منشاء ایجاد صدا مرتبط با ماهیت فناوری و عملکرد مکانیکی دستگاه‌ها، میزان استهلاک و عملکرد نامناسب بخش متحرک ماشین‌آلات، انفجار، سایش و برخورد اجزای مکانیکی، سرعت بالای جریان سیال در مجاری و فونداسیون نامناسب تجهیزات می‌باشد.

طبق برآورد، ۶۰۰ میلیون کارگر در جهان در معرض صدای محیط کار قرار دارند. حدود ۳۰ میلیون کارگر در کشور آمریکا و ۴ الی ۵ میلیون نفر در کشور آلمان در مواجهه با صدا قرار دارند. سازمان جهانی بهداشت (WHO[1]) برآورد کرده است که حدود ۲۷۸ میلیون نفر در دنیا دارای اختلالات شنوایی از نوع متوسط تا شدید هستند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که ۱۶٪ این افت‌های شنوایی، از نوع شغلی و ناشی از صدا در محیط کار است و حدود ۰/۲ الی ۲ درصد تولید ناخالص داخلی در کشورهای درحال توسعه صرف هزینه‌های ناشی از اثرات صدا می‌شود. حدود یک‌سوم افت‌های شنوایی ناشی از مواجهه با صدای بیش از حد مجاز است. افت شنوایی ناشی از صدا به‌عنوان دومین بیماری مهم ناشی از کار در کشور آمریکا محسوب می‌گردد. حدود ۱۰ میلیون کارگر در آمریکا افت شنوایی بیش از ۲۵ دسی‌بل دارند.

بر اساس آخرین آمار کشوری در ایران در سال ۱۳۹۳ تعداد ۶۴۴۲۹۹ کارگاه فعال در بخش‌های چهارگانه صنعت، معدن، خدمات و کشاورزی شامل کارگاه‌های خانگی با جمعیت ۳۰۰۸۹۵۲ نفر شاغل در سطح کشور شناسایی شده است که دارای ۸۵٪ پوشش جمعیتی خدمات بازرسی بهداشت حرفه‌ای بوده است. از این تعداد کارگاه ۱۹٪ با نسبت متناظر ۱۸٪ شاغلین آن‌ها در معرض عامل زیان‌آور صدا و ۷٪ کارگاه‌ها شامل ۵٪ شاغلین آن‌ها در معرض ارتعاش زیان‌آور بوده‌اند. برآوردی از وضعیت شاغلین کشور نشان می‌دهد

1 - World Health Organization

که از جمعیت ۱۳ میلیون نفری بیمه شده اصلی تأمین اجتماعی بدون احتساب نیروهای مسلح و نهادهای دیگر می‌توان مواجهه بیش از ۲/۳ میلیون نفر با صدای زیان‌آور را برآورد نمود.

ارتعاش شغلی نیز یکی از معضلات مهم شغلی در محیط‌های کاری صنعتی و غیر صنعتی قلمداد می‌گردد. مواجه با ارتعاش می‌تواند به‌طور مستقیم باعث صدمات مکانیکی به بدن گردد و به‌عنوان یک استرس‌آور سبب اختلالات فیزیولوژیک گردد. استرس ناشی از ارتعاش می‌تواند باعث اختلال در خون‌رسانی، اختلال در اکسیژن رسانی و همچنین اختلال در تغذیه بافت‌ها گردد. اختلال-عصبی عروقی یکی از شایع‌ترین عوارض مواجهه با ارتعاش است. اختلال گوارشی و برخی اختلالات شدیدتر مانند بافت مردگی نیز می‌توان ناشی از ارتعاش شغلی باشد. طبق برآورد، با توجه به جمعیت شاغلین کشور حدود ۶۵۰۰۰۰ نفر در مواجهه با ارتعاش زیان‌آور می‌باشند.

میزان افت شنوایی ناشی از صدا تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله میزان مواجهه با صدا، سن، سابقه کار و رفتارهای بهداشتی کارگر از جمله نحوه استفاده از وسایل حفاظت شنوایی قرار دارد. برنامه حفاظت شنوایی HCP[1] به‌عنوان مهم‌ترین راه‌کار پیشگیری از بروز افت شنوایی در محیط‌های کاری با صدای بیش از حد مجاز محسوب می‌شود. اجزاء اصلی این برنامه شامل پایش محیطی صدا، کنترل‌های مدیریتی و مهندسی صدا، آموزش کارگران، استفاده از وسایل حفاظت شنوایی و پایش شنوایی کارگران می‌باشد. با توجه به اینکه افت شنوایی شغلی از نوع حسی-عصبی بوده و اغلب غیرقابل درمان است، کارایی و اثر بخشی برنامه حفاظت شنوایی کارگران در محیط کار باید به‌صورت مداوم مورد ارزیابی، بازنگری و بهبود مستمر قرار گیرد. میزان اثربخشی برنامه حفاظت شنوایی نشان دهنده میزان تأثیر این برنامه در پیشگیری از ایجاد افت شنوایی در کارگران می‌باشد. یکی از مهم‌ترین اثرات بهداشتی مواجهه با صدا افت شنوایی ناشی از صدا می‌باشد. موسسه بهداشت و ایمنی شغلی امریکا (NIOSH[2]) این عارضه را به‌عنوان یکی از ۱۰ بیماری عمده

1 - Hearing Conservation Program
2 - National Institute of Occupational Safety and Health

شغلی قلمداد کرده است. اختلالات شنوایی علاوه بر محدودیت‌های شغلی و اجتماعی می‌تواند به‌صورت وزوز گوش دائمی ظاهر شود که اغلب در ساعات استراحت باعث آزار دائمی آسیب دیدگان می‌گردد. اثرات توأم صدا و ارتعاش نیز می‌تواند اثر هر عامل را تقویت و عوارض مواجهه با آن را تشدید نماید.

مواجهه با صدای شغلی دارای دو گروه اثرات عمده بر بدن می‌باشد که شامل اثرات شنوایی و اثرات غیر شنوایی است. اثرات غیر شنوایی خود شامل اثرات فیزیولوژیک و روانی- اجتماعی می‌باشد. از دیدگاه اپیدمیولوژیک افت شنوایی شغلی شامل ۱۶٪ کل افت شنوایی افراد می‌باشد. ارتباط بین مواجهه با صدا و افزایش فشارخون و ضربان قلب، اختلال گوارشی و عوارض روانی- عصبی، اختلال خواب، اضطراب ناشی از آزار صدا مورد تائید محققین می‌باشد. مواجهه با صدا همچنین می‌تواند باعث افت کارایی ذهنی افراد گردد و بالتبع می‌تواند باعث کاهش عملکرد شغلی گردد. آسایش صوتی در محیط‌هایی که تمام یا بخشی از فعالیت شغلی نیاز به عملکرد ذهنی دارد بسیار بر روی عملکرد تأثیرگذار است. عملکرد افراد در وظایف ذهنی ساده ممکن است در تراز صوت خیلی بالا نیز بدون تغییر باقی بمانند، در حالی که وظایف پیچیده‌تر ممکن است در ترازهای صوت پایین‌تر نیز دچار اختلال شوند. مواجهه با صدا به دلیل اثر بر ارتباطات و محدود نمودن عملکرد ذهنی به‌عنوان یکی از ریسک فاکتورهای حوادث شغلی محسوب می‌گردد. سازمان جهانی بهداشت خسارت مالی مواجهه با صدا را روزانه ۴ میلیون دلار برآورد نموده است.

یکی از مؤثرترین اقدامات مرکز سلامت محیط و کار، وزارت بهداشت اجرای طرح مقابله با صدا در محیط می‌باشد. برنامه مذکور از سال ۱۳۷۹ پس از تدوین و آموزش کارشناسان مرتبط طی چندین مرحله در قالب یک طرح پایلوت در ۱۰ استان کشور به مرحله اجرا گذاشته شد و پس از انجام آزمایشی آن در این مدت و اصلاح نقاط ضعف برنامه، از سال ۱۳۸۲ تاکنون به شکل یک برنامه کشوری الزامی در تمام دانشگاه‌های علوم پزشکی کشور در حال اجرا می‌باشد.

برنامه حفاظت از شنوایی

برنامه حفاظت از شنوایی یا به اختصار HCP در محیط کار یک برنامه هدفمند و منسجم است که برای حفاظت در مقابل صدمات فیزیولوژیک دستگاه شنوایی در اثر مواجهه با صدا اتخاذ می‌گردد. اجرای این برنامه باید قاعدتاً منجر به تأمین سلامت کارگر در یک دوره فعالیت شغلی طولانی مدت گردد. با عنایت به استانداردهای مواجهه، ارزیابی محیطی و پایش سلامت، می‌توان به این مهم دست یافت. برنامه مذکور شامل پنج رکن اساسی است:

۱. بررسی صدا در محیط کار و ارزیابی مواجهه کارگران
۲. آموزش به‌منظور ارتقاء مهارت و کاهش صدمات
۳. کنترل محیطی 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

در برنامه حفاظت از شنوایی مسئولین ذی‌ربط باید تدابیری را بیندیشند که تمام ارکان برنامه در زمان مناسب خود به اجرا گذاشته شود. اجرای هر یک از این ارکان مزاحمتی برای انجام سایر آن‌ها نیست، اما انجام ترتیبی آن‌ها سبب می‌شود که این اقدامات مؤثرتر به اجرا در آیند. همان‌گونه که در ترتیب ارکان برنامه آمده است، مهم‌ترین رکن، ارزیابی علمی و صحیح وضعیت آلودگی صدا در محیط کار و میزان مواجهه کارگر با صدا است. در صورتی که میزان مواجهه معلوم گردد، کارشناس می‌تواند با توجه به درجه مخاطره و برآوردی که از میزان آسیب‌ها دارد سایر برنامه‌ها مانند آموزش و کنترل را برنامه‌ریزی خواهد نمود. در این رابطه آموزش‌ها باید مبتنی بر نتایج بررسی مواجهه و شیوه‌های کنترل نیز باید در این راستا تدوین گردد. برنامه کمی و کیفی چگونگی استفاده از حفاظ‌های شنوایی می‌تواند با رعایت ملاحظات مربوطه در این راستا به حفظ سلامت افراد کمک نماید که در ادامه خواهد آمد.

بخش یکم – اندازه‌گیری و ارزیابی صدا در محیط کار

گفتار یکم: مفاهیم اساسی صوت

موج

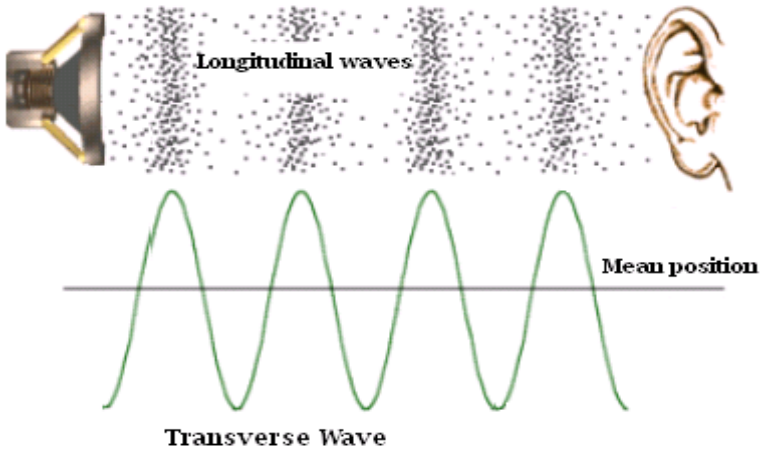
موج[1] عبارت است از آشفتگی یا بر هم خوردن تعادل محیط به‌صورت منظم یا نامنظم و راهی برای انتقال انرژی می‌باشد. امواج بسته به ماهیت خود قابل انتشار در محیط‌های مادی و یا خلاء هستند. امواج به‌طور کلی در دو دسته امواج مکانیکی و امواج الکترومغناطیس تقسیم‌بندی می‌شوند. امواج مکانیکی از تغییر مکان قسمتی از یک محیط کشسان نسبت به وضعیت تعادل خود ایجاد می‌شود و سبب نوسان محیط می‌گردد. به دلیل خواص کشسانی محیط انتشار آشفتگی از لایه‌ای به لایه دیگر منتقل می‌گردد که به آن موج می‌گویند. در این پدیده کل محیط همراه موج منتقل نمی‌شود، بلکه فقط اجزای محیط در مسیرهای محدودی (در راستای معین) نوسان می‌کند. امواج می‌توانند انرژی را تا مسافت‌های دور انتقال دهند. انرژی در امواج در کل توده یک محیط دست‌به‌دست می‌گردد. برای ایجاد و انتقال امواج مکانیکی نظیر صدا و ارتعاش وجود محیط مادی ضروری است.

امواج صوتی[2]

امواج صوتی هوابرد شکلی از امواج مکانیکی طولی هستند که در اثر ارتعاش مولکول‌های هوا ایجاد و منتشر شده و در برخورد با گوش انسان احساس شنیدن را ایجاد می‌کنند. بنابر این امواجی با این مشخصات که قابلیت درک توسط گوش انسان نباشد، صوت اطلاق نمی‌شوند. نوسان ممتد یک محیط الاستیک می‌تواند تحت شرایطی باعث ارتعاش مولکول‌های هوای مجاور و تغییر مداوم فشار هوا گردد که این تغییر فشار به‌طور محدود و جزئی کمتر و بیشتر از فشار اتمسفر است. این موج به‌صورت طولی در هوا منتشر گردیده و در محدوده معینی از نظر فرکانس و دامنه برای انسان قابل درک است و به آن

1 - Wave
2 - Sound Waves

صوت می‌گویند. مثال ساده آن ارتعاش دیافراگم بلندگو و تولید صوت است که در شکل(۱) نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد در اثر ارتعاش دیافراگم محدوده‌هایی پدید می‌آید که دارای فشار کمتر یا بیشتر از جو بوده و به‌صورت طولی منتشر می‌گردند. تصویر ساده آن به‌صورت یک موج سینوسی قابل ترسیم و تفسیر است. دستگاه شنوایی انسان و سایر موجودات مشابه کمتر یا بیشتر شدن فشار هوا نسبت به حالت تعادل (مبنا) را به یک اندازه احساس می‌کند.



شکل (۱) تولید و دریافت موج صوتی

عوامل محدود کننده صوت برای درک حسی آن فرکانس و بلندی است. محدوده فرکانس قابل درک برای انسان بین ۱۶ تا ۲۰۰۰۰ هرتز است. امواج خارج از این محدوده فرکانس را مادون صوت (فرو صوت) و ماوراء صوت (فراصوت) می‌نامند. همچنین درک انسان از بلندی صوت (به‌طور متناظر: فشار ، توان و شدت) در محدوده معینی است.

رفتارهای موج صوتی

این رفتارها شامل: بازتابش، انحراف و پخش، تداخل و شکست می‌باشد. یک موج صوتی وقتی تحت زاویه معینی به یک سطح برخورد می‌کند قسمتی از انرژی آن بازتابش می‌یابد. میزان بازتابش بستگی به مشخصات محیط برخوردی دارد. در محیط‌های جامد با افزایش چگالی میزان بازتابش افزایش می‌یابد. به همین دلیل در اجسام نرم و متخلخل

میزان بازتابش کمتر و جذب صوت بیشتر است. همچنین امواج صوتی در برخورد با لبه‌های اشیاء منحرف و پخش می‌شود. این به آن معنا است که مسیر عبور صوت الزاماً مستقیم نیست.

تداخل[1] به وضعیتی گفته می‌شود که در گستره‌ای از فضا، دو یا چند موج هم‌زمان در هر نقطه از نقاط آن فضا وجود داشته باشند. برآیند این امواج وابسته به اختلاف فاز آن‌ها است. دامنه‌های هم‌فاز با هم جمع می‌شوند و تداخل سازنده ایجاد می‌کنند. به همین ترتیب تداخل‌های ویرانگر نیز در اثر تداخل امواج با فاز متقابل، ایجاد می‌شود. امواج صوتی که در محیط توسط منابع مختلف تولید و منتشر می‌شوند اغلب دارای اثر تشدیدی هستند.

انواع صوت از نظر ویژگی‌های امواج[2]

امواج صوتی به سه شکل: اصوات ساده، اصوات مختلط دوره‌ای و اصوات مختلط غیر دوره‌ای قابل تولید و انتشار می‌باشند. صوت ساده شامل یک موج سینوسی ساده است. این نوع موج در طبیعت وجود نداشته و در آزمایشگاه قابل تولید است. در اصوات مختلط دوره‌ای معمولاً یک بسامد اصلی و چند بسامد فرعی و جود دارد که با هم رابطه منظم و نوعاً از پیش طراحی شده‌ای دارند. امواج دوره‌ای در بلندی‌های معمول، اثر ناخوشایندی ندارند. اصوات موسیقی اصوات طبیعت و مکالمه از این دسته‌اند. گروه سوم اصوات مختلط غیر دوره‌ای هستند. در این دسته رابطه معین یا پیش‌بینی شده‌ای از دامنه امواج و بسامدهای آن‌ها و وجود ندارد. این اصوات عموماً ناخواسته، ناخوشایند و تا حدودی اجتناب‌ناپذیر هستند. در صنعت یکی از راه‌های اتلاف انرژی این گروه از اصوات است.

از نظر احساس فیزیولوژیک اصوات به دو گروه: موسیقی[3] و صدا[4] تقسیم‌بندی شده‌اند. موسیقی، اصوات منظمی هستند که رابطه معین و طراحی شده‌ای بین دوره‌های تغییرات

1 - Interference
2 - Sound Wave Shapes
3- Music
4- Noise

دامنه فشار، طول موج‌ها و بسامدهای آن‌ها وجود دارد. صدا، اصوات نـامنظمی هسـتند کـه ناخوشایند، آزار دهنده و عموماً اجتناب ناپذیر هستند که بین دوره‌های تغییرات دامنه‌هـای فشار، بسامدها و طول موج‌های آن‌ها رابطه معینی وجود ندارد. در صنعت و محـیط زیسـت به فراوانی از این نوع اصوات تولید و منتشر می‌گردد. آلودگی ناشی از این امـواج در محـیط تحت نام آلودگی صدا[1] می‌باشد.

با توجه به تمایز مشخصه‌های صوتی در محیط انتشار، صوت بـر حسـب محـیط بـه دو گروه صوت هوایی و صوت پیکری تقسیم می‌شود. صوت هوایی[۲] اصواتی هستند که در هـوا یا گاز منتشر و به گوش می‌رسند. صوت پیکری[۳] اصواتی که از طریق محیط مایع یـا جامـد منتشر شده و به‌طریقه مستقیم (از طریق تماس استخوان جمجمـه) یـا پـس از تبـدیل بـه صوت هوایی قابل شنیدن هستند.

در اصوات مختلط، انرژی امواج صوتی می‌تواند در پهنه فرکانسی متفاوتی منتشر گـردد. از این نظر اصوات را به دو دسته: اصـوات بـا بانـد باریـک و اصـوات بـا بانـد پهـن تقسـیم می‌گردند. در اصوات با باند باریک، حداکثر انرژی صوتی یا فشار صوتی در یک پهنه محدود از فرکانس منتشر می‌شود. صوت زنگ اخبار بـوق و سـوت از ایـن دسـته‌انـد. همچنـین در اصوات با باند پهن انرژی صوتی در یک پهنـه وسـیع فرکانسـی توزیـع و منتشـر مـی‌شـود. اصوات مربوط به وسایل و ماشین‌های مرکب مانند موتورهای درون‌سوز، فـن‌هـا، آسـیاب و میکسر از این دسته‌اند.

بیناب صوتی[۴]

به دلیل وسیع بودن طیف فرکانس قابل درک برای انسان و همچنین وسیع بـودن بانـد اصوات صنعتی، جهت مطالعه صوت بجای بررسی مقادیر دامنه‌های فشار (توان و یا شـدت) در تک‌تک فرکانس‌ها، محدوده فرکانس صوتی قابـل درک را بـه نـواحی قـراردادی تقسـیم

1- Noise Pollution
1 - Airborne Sound
2 - Structural Sound
4 - Sound spectra

می‌کنند و به هر ناحیه آن یک باند صوتی می‌گویند. در این حالت مطالعه صوت در هر ناحیه، و به‌طور قراردادی در فرکانس مرکزی آن انجام می‌گردد. مقادیر دامنه در فرکانس مرکزی نماینده هر ناحیه خواهد بود. به‌طور قراردادی کل محدوده قابل شنیدن را به ۸ یا ۲۴ ناحیه تقسیم می‌نمایند. در این روش آنالیز فرکانس صوت به‌راحتی امکان‌پذیر می‌شود.

در آنالیز فرکانس یک اکتاوباند فرکانس حد بالا دو برابر فرکانس حد پایین است. به همین صورت فرکانس‌های مرکزی هم به ترتیب دو برابر می‌شوند. در این حالت پهنای باند را در تجزیه صوت، یک اکتاو باند (شامل ۸ تا ۱۰ باند) می‌نامند. فرکانس‌های حد مرکزی این محدوده‌ها برای آنالیز صوت اهمیت بالایی و به‌شرح زیر است:

۳۱/۵	۶۳	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰	۱۶۰۰۰

Hz

تقسیم دقیق‌تری نیز برای آنالیز فرکانس صوت تعریف شده است که موسوم به تقسیم‌بندی یک سوم اکتاو باند می‌باشد. در این حالت حداقل ۲۴ و حداکثر ۳۲ ناحیه وجود خواهد داشت. برای هر ناحیه یک فرکانس مرکزی تعیین شده است که در آن فرکانس‌ها نتایج آنالیز فرکانس صوت انجام می‌شود.

برخی تجهیزات اندازه‌گیری صوت قادرند علاوه بر اندازه‌گیری مقادیر کلی صوت، نتایج را در یک پهنه فرکانسی نیز نشان دهند. به این نتایج آنالیز فرکانس یک اکتاوباند یا یک سوم اکتاو باند می‌نامند.

کمیات اندازه‌گیری صوت[1]

برای بیان و اندازه‌گیری صوت دو گروه از کمیات به‌کار می‌رود. گروه اول کمیات فیزیکی[2] (یا کمیات مطلق) است که شامل: فشار، شدت و توان صوت است. گروه دوم کمیات لگاریتمی[1](یا تراز) شامل: تراز فشار، تراز شدت و تراز توان صوت می‌باشد.

1 - Sound Measurement Scales
2 - Physical Scales

کمیات فیزیکی

توان صوت(W)[۲]: توان صوت بر حسب وات (w) مقدار انرژی صوتی است که در واحد زمان در منبع صوتی تولید می‌شود.

شدت صوت (I)[۳]: شدت صوت بر حسب $^{W}/_{m^2}$ مقدار انرژی صوتی است که در واحد زمان از واحد سطح می‌گذرد. سطح مذکور عمود بر راستای انتشار موج صوتی است.

کمترین شدت صوت که برای گوش انسان قابل درک می‌باشد برابر با 10^{-12} W/m² است. این حد را شدت صوت مبنا یا آستانه درک شدت صوت می‌نامند. بیشترین شدت صوتی که گوش انسان بدون درد قادر به تحمل آن است، 100 W/m² می‌باشد. اگر در مسیر انتشار صوت مانع یا سطوح بازتابش وجود نداشته باشد، صوت در سطح یک فضای کروی منتشر شده و میدان آزاد نامیده می‌شود. در این صورت اگر شعاع را واحد در نظر بگیریم، رابطه زیر برقرار خواهد بود:

$$I(^{w}/_{m^2}) = \frac{W}{A} = \frac{W}{4\pi r^2} \Rightarrow I = \frac{W}{12.57 r^2}$$

A : سطح عبوری صوت(یا سطح کره) m^2

r : فاصله از منبع یا شعاع کره m

مثال: شدت صوت منبعی با توان ۱۰۰ وات را در فواصل ۱۰ و ۲۰ متری، در یک میدان آزاد محاسبه کنید.

$$I_{10} = \frac{100}{12.57 \times 100} = 0.0795\, ^{w}/_{m^2}$$

$$I_{20} = \frac{100}{12.57 \times 400} = 0.0199\, ^{w}/_{m^2}$$

**ملاحظه می‌شود که با دو برابر شدن فاصله، شدت صوت یک چهارم میزان اولیه کاهش می‌یابد.*

فشار صوت (P)[۴] : فشار صوت بر حسب پاسکال Pa(N/m²) در سیستم MKS و میکرو بار µbar(din/cm²) در سیستم CGS عبارت از نیروی وارد بر سطح تعریف شده است. هر

3 - Logarithmic Scales

2 - Sound Power

3 - Sound Intensity

4 - Sound Pressure

پاسکال ۱۰ میکروبار می‌باشد. کمترین فشار موج صوتی که می‌تواند گوش انسان را تحریک کند، $2\times10^{-4}\,\mu bar = 2\times10^{-5}\,Pa$ است که به آن فشار مبنا یا آستانه درک حسی انسان از فشار صوت می‌نامند. البته لازم به یادآوری است که گوش انسان کم و یا زیاد شدن متناوب فشار هوا را در مجاورت پرده صماخ به یک اندازه درک می‌کند. بیشترین فشار صوتی که گوش می‌تواند آن را بدون احساس درد تحمل کند ۲۰۰ پاسکال یا ۲۰۰۰ میکرو بار است. بین فشار صوت و شدت صوت رابطه زیر برقرار است:

$$I = \frac{P^2}{\rho C}$$

P : فشار صوت (Pa)

ρC : امپدانس صوتی هوا، (415 MKS rayls)

مثال: اگر فشار مؤثر صوت ۲۰۰ پاسکال باشد شدت صوت چه میزان خواهد بود؟

$$I = \frac{P^2}{\rho C} = \frac{(200)^2}{415} = 96.38\,W/m^2$$

انواع فشار صوت

اصوات در محیط عموماً دارای دامنه‌های فشار متغیر با زمان می‌باشند. در مطالعه صوت لازم است دامنه اصوات به مقادیر معینی ساده شود، برای این کار چند راه وجود خواهد داشت. راه اول، مطالعه دامنه فشار در لحظات یا قطاع‌های زمانی است. بدیهی است که این راه دشوار و وقت‌گیر می‌باشد. راه دوم استفاده از مقادیری است که به نحوی تعدد اعداد مربوط به فشار را به یک عدد برای هر صوت (یا منبع صوتی) بیان نماید. از این رو چهار مقدار را شامل: فشار حداقل، فشار میانگین، فشار مؤثر و فشار حداکثر(پیک) تعیین نموده‌اند.

فشار حداقل (P_{min}): حداقل دامنه فشار در دوره اندازه‌گیری صوت می‌باشد.

فشار میانگین[1] (P_{avg}): فشار میانگین عبارت است از میانگین حسابی مقادیر لحظه‌ای فشار مطلق صوت در طول زمان اندازه‌گیری یا زمان انتشار صوت. این مقدار از جهات مختلف قابل اعتماد یا اعتبار نیست، زیرا از نظر فیزیولوژیک مربعات فشار اهمیت دارد و این کمیت مربوط به میانگین مقادیر مطلق است.

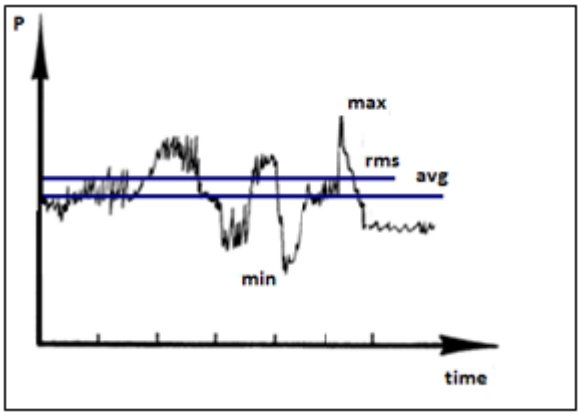
فشار مؤثر[2] (P_{rms}): دامنه فشار صوت در زمان تداوم صوت تغییرات زیادی دارد و لحاظ نمودن همه تغییرات لحظه‌ای در مطالعه صوت عملاً ممکن نیست. در این حالت بر اساس انتگرال زمانی تغییرات فشار می‌توان ریشه میانگین زمانی مجموع مربعات فشار صوت را محاسبه نمود که به آن فشار مؤثر می‌گویند. در روابط مربوط به محاسبات فشار صوت و همچنین در تدوین حدود مجاز مواجهه عموماً از مقادیر مؤثر صوت استفاده می‌شود. علت در نظر گرفتن مربع تغییرات دامنه فشار این است که گوش انسان لگاریتمی از مربعات فشار را درک می‌کند. در امواج مختلط مقدار کلی فشار مؤثر صوت عبارت از مجموع مربعات فشار مؤثر هر موج است لذا به‌طور خلاصه می‌توان نوشت:

$$P_{rms} = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + \ldots\ldots + P_n^2}$$

به همین دلیل به‌طور کلی فشار مؤثر را ریشه مجموع مربعات فشار می‌گویند. در اینجا منظور از فشار، میانگین زمانی فشارها است.

فشار حداکثر (P_{max}): حداکثر دامنه فشار در دوره اندازه‌گیری صوت می‌باشد که از نظر ارزیابی مهم است که با فشار پیک (P_{peak}) نیز نشان داده می‌شود. بین مقادیر فشار در حالت واقعی ارتباط معین و فراگیری قابل تعریف نیست. شکل (۲) مقادیر حداقل، حداکثر، مؤثر و میانگین فشارهای صوت را در یک دوره زمانی نشان می‌دهد.

1 - Average Sound Pressure
2 - Effective Pressure



شکل (۲) مقادیر حداقل، حداکثر، مؤثر و میانگین فشارهای صوت در یک دوره زمانی

کمیات لگاریتمی

در مقیاس مطلق دامنه کمترین مقدار قابل درک یا بیشترین میزانی که گوش بدون درد قادر به تحمل آن می‌باشد وسیع است. این محدوده برای توان و شدت 10^{14} و برای فشار 10^{7} واحد آن‌ها است. معلوم شده است که درک شنوایی انسان نسبت به تغییرات مقادیر مطلق، به‌صورت لگاریتمی است. تبدیل کمیت مطلق به کمیت لگاریتمی کار با آن را ساده و درک ذهنی از کمیت را آسان می‌کند. در این مقیاس، لگاریتمی از یک نسبت (تراز[1]) محاسبه و بر حسب دسی‌بل[2](یک‌دهم بل) با علامت (dB) بیان می‌شود.

تراز: عبارت از نسبت کمیت اندازه‌گیری شده صوت به کمیت مبنا (آستانه درک) است. در مقیاس لگاریتمی سه کمیت با واحد دسی‌بل معرفی می‌گردد:

۱ - تراز توان صوت، که مربوط به منبع است.

۲ - تراز شدت صوت، که مربوط به مسیر یا محیط انتشار صوت است.

۳ - تراز فشار صوت، که مربوط به دریافت‌کننده است.

1 - Level
2 - deci Bell

تراز توان صوت[1] SWL (LW) : توان صوت مربوط به منبع صوتی است و مشخص نمودن توان و تراز توان صوت به جهاتی در انتشار و کنترل صدا اهمیت دارد. روابط مربوط به تراز توان صوت به‌قرار زیر است:

$$SWL = 10\log W + 120$$

W : توان مطلق منبع صوتی (w)

W_0 : توان مبنا یا آستانه درک فیزیولوژیک متناظر توان صوت w 10^{-12}

تراز شدت صوت[2] SIL (LI): روابط مربوط به تراز شدت صوت به‌قرار زیر است:

$$SIL = 10\log I + 120$$

I : شدت مطلق صوت در نقطه اندازه‌گیری (W/m^2)

I_0 : شدت مبنا یا آستانه درک فیزیولوژیک شدت صوت $10^{-12}\ W/m^2$

مثال: مشخص کنید با دو برابر شدن شدت صوت (مثلاً از ۱۰ به $۲۰\ W/m^2$) در یک نقطه، تراز شدت آن چند دسی‌بل افزایش پیدا می‌کند؟

SIL=10 log 10 + 120 = 130 dB
SIL=10 log 20 + 120 = 133 dB
133 - 130 = 3 dB

تراز فشار صوت[3] SPL (LP): در بررسی‌های محیط کار به‌منظور تعیین تراز نشر صوتی منابع، ارزیابی محیطی و نیز ارزیابی مواجهه کارگر، از این شاخص استفاده می‌شود. علت این امر در ماهیت فشار و نحوه انتشار صوت و بالاخره نحوه وارد شدن فشار بر پرده صماخ گوش می‌باشد. از طرف دیگر اندازه‌گیری فشار و تراز فشار صوت هوایی نیز عملی‌تر می‌باشد. معادلات مربوطه در روابط زیر آمده است:

$$SPL(dB) = LP = 10\log(\frac{P^2}{P_0^2}) = 20\log(\frac{P}{P_0})$$

$$SPL = 20\log P + 94$$

1 - Sound Power Level
2 - Sound Intensity Level
3 - Sound Pressure Level

$$P = anti\log(\frac{SPL-94}{20})$$

$$P = 10^{(\frac{SPL-94}{20})}$$

P : فشار مطلق صوت در نقطه اندازه‌گیری Pa

P_0 *: فشار مبنا یا آستانه درک فیزیولوژیک فشار صوت* $2\times10^{-5}\,Pa$

مثال: اگر یک منبع صوتی در فاصله معین دارای فشار صوت ۲ پاسکال باشد، تراز فشار صوت را در آن نقطه حساب کنید.

SPL = 20 log 2 + 94 = 100 dB

مثال: در صورتی که در یک فاصله معین از منبع صوت تراز فشار صوت ۱۴۰ دسی‌بل باشد میزان فشار مطلق صوت چند پاسکال است؟

$$P = anti\log(\frac{SPL-94}{20}) = anti\log(\frac{140-94}{20}) = 199.5Pa$$

مثال: مشخص کنید با دو برابر شدن فشار صوت (مثلاً از ۱۰ به ۲۰ پاسکال) در یک نقطه تراز فشار آن چند دسی‌بل افزایش پیدا می‌کند؟

SPL = 20 log 10 + 94 = 114 dB
SPL = 20 log 20 + 94 = 120 dB
120 - 114 = 6 dB

مثال: ثابت کنید آستانه شنوایی و آستانه دردناکی برای ترازهای فشار به‌ترتیب صفر و ۱۴۰ دسی‌بل است.

$$SPL = 20\log 2\times10^{-5} + 94 = 0dB$$
$$SPL = 20\log 200 + 94 = 140dB$$

با توجه به توضیحات فوق می‌توان اثبات نمود که تراز توان، شدت و فشار صوت در آستانه شنوایی برابر صفر دسی‌بل و آستانه دردناکی ۱۴۰ دسی‌بل است. البته صفر دسی‌بل به معنای عدم وجود صوت نیست بلکه آستانه درک حسی انسان بوده و حداکثر قابل تحمل برای گوش ۱۴۰ دسی‌بل است. در این حالت دامنه وسیع تغییرات مقادیر مطلق صوت تنها در یک دامنه بین ۱۴۰-۰ دسی‌بل محدود و تعریف می‌شود. ارتباط بین مقادیر توان، شدت، فشار و تراز آن‌ها بر حسب دسی‌بل در جدول شماره (۲) آمده است.

جدول (۲) ارتباط بین شدت، فشار و تراز صوت

مثال	تراز dB	فشار Pa	توان و شدت w , w/m²
آستانه شنوایی	0	2×10^{-5}	10^{-12}
نجوا	20	2×10^{-4}	10^{-10}
باغ و صحرا	30	6.3×10^{-4}	10^{-9}
اتاق آرام	40	2×10^{-3}	10^{-8}
مکالمه معمولی	50	6.3×10^{-3}	10^{-7}
	60	2×10^{-2}	10^{-6}
سالن مراجعه	70	6.3×10^{-2}	10^{-5}
اداره شلوغ	80	2×10^{-1}	10^{-4}
ترافیک شهری	90	6.3×10^{-1}	10^{-3}
در نقاط شلوغ	100	2	10^{-2}
بوق از فاصله کم	110	6.3	10^{-1}
برخاستن هواپیما	120	20	1
کلنگ پنوماتیک	130	63	10
آستانه دردناکی	140	200	100

انواع صوت از نظر زمان تداوم

اصوات در مرحله تولید و انتشار خود ممکن است به اشکال مختلف وجود داشته باشند، این اشکال را می‌توان بر اساس تغییرات دامنه صوت به اصوات پیوسته و اصوات کوبه‌ای (ضربه‌ای) تقسیم می‌شوند.

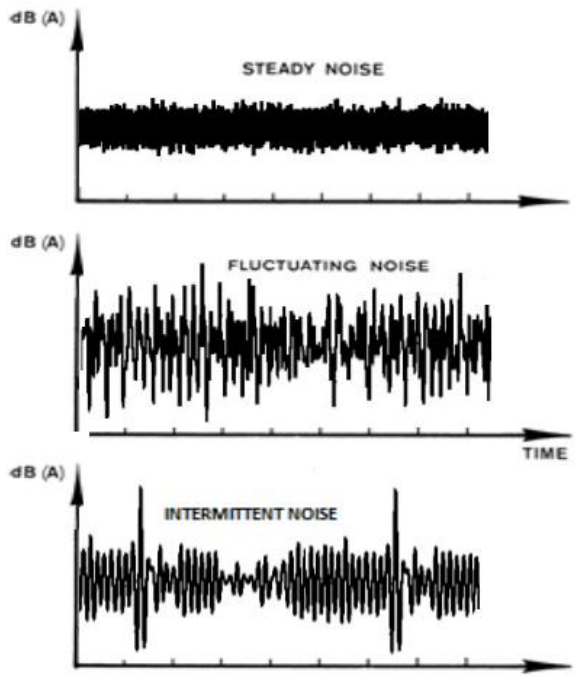
اصوات پیوسته[1]: به اصواتی اطلاق می‌گردد که در طول زمان انتشار خود وقفه نداشته باشند. اصوات مکالمه و صدای صنعتی اغلب از این گروه هستند. این گروه خود به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند. شکل (۳) این امواج را نشان می‌دهد:

الف- اصوات یکنواخت[2]: در این گروه تراز فشار صوت تغییرات قابل ملاحظه نداشته و اغلب کمتر از ۵ دسی‌بل است.

1 - Continuous Noise (sound)
2 - Steady Noise (sound)

ب- اصوات متغیر با زمان[1]: در این دسته تغییرات تراز فشار در طول زمان بین ۱۵-۵ دسی‌بل است.

ج- اصوات منقطع یا نوبتی[2]: در این دسته تغییرات تراز فشار صوت بیش از ۱۵ دسی‌بل در طول زمان است.



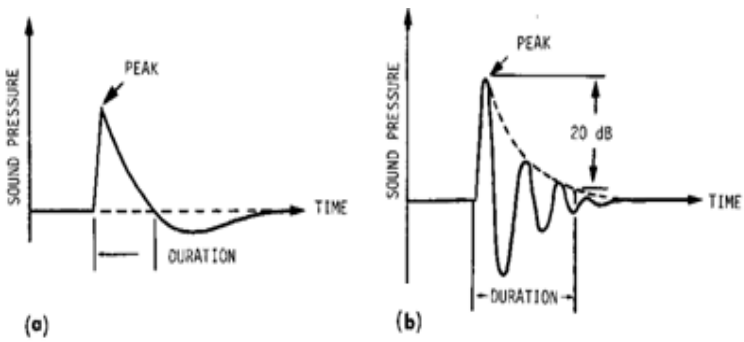
شکل (۳) انواع صدای پیوسته

اصوات ضربه‌ای و کوبه‌ای[3]: در این نوع اصوات موج فشار صوت در هر ضربه، در کسری از ثانیه و معمولاً در کمتر از ۰/۵ ثانیه شروع و خاتمه می‌یابد. صدای ناشی از شلیک گلوله، پرس‌های ضربه‌ای و ابزارهای پنوماتیک اغلب از این نوع هستند. با توجه به نحوه تولید و شکل موج فشار این گروه خود به دو دسته A و B تقسیم می‌شوند.

1 - Fluctuating Noise (sound)
2- Intermittent Noise (sound)
3 - Impact or Impulsive Noise (sound)

دسته A : زمان اوج‌گیری موج فشار کوتاه بوده و دامنه فشار بسیار بزرگ است به‌طوری که در نقطه پیک خود ممکن است به ۱۹۰ دسی‌بل نیز برسد. در این نوع از صدا موج فشار شکل ساده‌ای دارد. شلیک گلوله و انفجار می‌تواند چنین موج فشاری را ایجاد می‌کنند. نام اختصاصی این دسته از اصوات ضربه‌ای[1] است.

دسته B : در این دسته، زمان اوج‌گیری موج فشار کوتاه بوده و دامنه فشار بسته به وضعیت منبع تولید صوت متغیر و بیش از ۲۰ دسی‌بل از صدای زمینه بالاتر است. این دامنه در نقطه پیک ممکن است به ۱۴۰ دسی‌بل نیز برسد. به ازای هر موج اصلی چند موج پس ضربه به دنبال خود دارد که به‌دلیل اصوات پیکری اجزای دستگاه مولد صوت می‌باشد. در این دسته زمان تداوم هر ضربه بلندتر از دسته A است. صدای ناشی از پرس‌های ضربه‌ای و ابزارهای بادی و به‌طور کلی منابع مرکب ضربه زن از این نوع است. نام اختصاصی این دسته از اصوات، کوبه‌ای[2] است. شکل(۴) نشان‌دهنده تفاوت این دو دسته است. در صورتی که تعداد ضربه‌ها یا کوبه‌های ایجاد شده در واحد زمان زیاد باشد، قبل از خاتمه هر موج فشار موج بعدی شروع می‌شود که در این حالت به آن صدای ضربه‌ای یا کوبه‌ای هم‌پوشان اطلاق می‌گردد.



شکل (۴) موج ضربه‌ای (A) و کوبه‌ای (B)

1 - Impulsive Noise
2 - Impact Noise

قواعد صدا

جمع ترازهای صوتی

هر موج صوتی که به گوش می‌رسد نتیجه انتشار صوت منابع مختلف و تراز فشار صوت در فرکانس‌های صوت ناشی از هر منبع است. تعدد منابع یا تعـدد مقـادیر فشـار صـوت در فرکانس‌ها می‌تواند اثر افزایشی بر هم داشته باشد و ایـن بـه معنـای جمـع جبـری ترازهـا نیست. اصولاً ترازهای صوت را به‌دلیل ماهیت لگاریتمی نمی‌توان جمـع جبـری نمـود. امـا حاصل چند تراز موجود چه در فرکانس‌های مختلف و چه در اثر منـابع مختلـف یـک تـراز است که به آن تراز کلی صوت SPL_T [1] می‌گویند. در هنگام اندازه‌گیری صـوت کـه معمـولاً تراز صوت کلی در هر ایستگاه اندازه‌گیری می‌شـود و مبنـای ارزیـابی مواجهـه کـارگر قـرار می‌گیرد، خود نتیجه اثر تراز فشار صوت منابع و اثر تراز فشار صوت در هر یک فرکانس‌هـا منابع می‌باشد. رابطه زیر نحوه جمع ترازهای فشار صوت را بیان می‌کند:

$$LP_T = 10\log\left[\sum_{i=1}^{n}(\frac{P}{P_0})_i^2\right] = 10\log\left[\sum_{i=1}^{n} anti\log(\frac{LP_i}{10})\right]$$

$$LP_T(dB) = 10\log\left[\sum_{i=1}^{n}10^{LP_i/10}\right]$$

LP_T: تراز مجموع(کلی) فشار صوت (dB)

LP_i : تراز فشار صوت هر منبع یا تراز فشار صوت در یک فرکانس خاص منبع (dB)

مثال: اگر تراز فشار صوت ۳ منبع به‌ترتیب ۸۵ و ۹۲ و ۶۸ دسی‌بل باشد، تراز فشـار صـوت مجموع آن‌ها زمانی که هر سه منبع روشن باشد چند دسی‌بل است؟

$$LP_T(dB) = 10\log\left[\sum_{i=1}^{n}10^{LP_i/10}\right] = 10\log\left[10^{85/10} + 10^{92/10} + 10^{68/10}\right] = 92.8dB$$

مثال: در بررسی یک منبع صوتی معلوم شده است که در تجزیه یـک اکتـاو بانـد ترازهـای زیر از صدا توسط منبع منتشر شده است تراز فشار صوت کلی را محاسبه نمایید:

1 - Total Sound Pressure Level

Freq.	۶۳	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰
SPL	۷۲	۷۴	۷۶	۸۰	۸۶	۸۶	۸۴	۶۶

$$LP_T\,(dB) = 10\log\left[\sum_{i=1}^{n} 10^{LP_i/10}\right]$$

$$LP_T = 10\log\left[10^{72/10} + 10^{74/10} + 10^{76/10} + 10^{80/10} + 10^{86/10} + 10^{86/10} + 10^{84/10} + 10^{66/10}\right] = 90.9dB$$

با استفاده از رابطه فوق می‌توان یک قاعده عددی برای جمع ترازهای صوتی بیان نمود. در این قاعده تفاضل بین دو تراز محاسبه و بر اساس نتیجه تفاضل، عددی به تراز بزرگ‌تر اضافه می‌شود. تراز جدید تراز مجموع فشار صوت خواهد بود. این قاعده در جدول(۳) آمده است.

جدول (۳) جمع ترازهای صوتی با استفاده از جدول

تفاضل دو تراز (dB)	عددی که باید به تراز بزرگ‌تر اضافه نمود
۰	۳
۱	۲/۶
۲	۲/۱
۳	۱/۸
۴	۱/۵
۵	۱/۲
۶	۱
۷	۰/۸
۸	۰/۶
۹	۰/۵
۱۰	۰/۴
۱۲	۰/۳
۱۴	۰/۲
۱۶	۰/۱
۱۹/۴	۰/۰

با توجه به جدول (۳) مشاهده می‌شود که بیشترین تأثیری که دو منبع می‌توانند از نظر افزایش صوت بر هم داشته باشند زمانی است که هر دو دارای تراز فشار یکسان باشند.

در این حالت ۳ دسی‌بل به تراز فشار صوت آنان اضافه می‌شود. در صورتی که تفاضل تراز فشار صوت دو منبع بیشتر از ۱۹/۴ دسی‌بل باشد، صدای منبع ضعیف‌تر هیچ تأثیر افزایشی بر صدای منبع قوی‌تر نخواهد داشت. به‌عبارت دیگر روشن یا خاموش بودن منبع ضعیف از نظر انتشار صوت در محیط یکسان است. البته با توجه به اینکه اغلب دقت نیم دسی‌بل کافی است، می‌توان گفت مرز اثر افزایشی تراز صدای دو منبع ۹ دسی‌بل است. لازم به ذکر است که این توضیحات برای جمع ترازها در فرکانس‌های یک منبع نیز صادق است.

بیشترین کاربرد روش جمع ترازهای صوتی در مرحله طراحی صنعت است. این روش در پیش‌گیری از مخاطراتی که ممکن است برای کارگران در محیط کار ایجاد گردد بسیار مهم است. با استفاده از این روش می‌توان تراز فشار صوت ناشی از چند منبع را با توجه به تراز هر کدام پیش‌بینی نموده و در طراحی و توسعه صنعت اصلاحات لازم را اعمال نمود.

میانگین ترازهای صوتی

به علت ماهیت لگاریتمی ترازهای فشار صوت، نمی‌توان مستقیماً اعمال ریاضی جمع و تفریق یا میانگین‌گیری را در مورد آن‌ها به‌کار برد. طریقه جمع و تفاضل لگاریتمی ترازها در مباحث قبلی بیان گردید. در اینجا فقط یکی از موارد مجاز میانگین‌گیری ترازهای فشار صوت را برای بیان چگونگی صدای یک منبع واحد معرفی می‌گردد.

انتشار صوت در جهات مختلف اطراف یک منبع یکسان نیست و از طرف دیگر کارگر در اطراف دستگاه تغییر مکان می‌یابد، لذا نمی‌توان برای بیان تراز فشار صوت یک منبع فقط به نتیجه اندازه‌گیری در یک ایستگاه اکتفا نمود. برای این کار در چند نقطه از اطراف منبع (معمولاً نقاط توقف کارگر) تراز فشار صوت اندازه‌گیری شده و با استفاده از رابطه زیر تراز متوسط فشار صوت که نماینده مواجهه کارگر با صدای آن دستگاه است محاسبه می‌گردد. موارد استفاده از این قاعده محاسباتی معدود است.

$$\overline{LP}(dB) = 10\log\left[\frac{1}{n}\times\sum_{i=1}^{n}10^{LP_i/10}\right]$$

$\overline{LP}$: *متوسط تراز فشار صوت منبع*

n : تعداد نقاط اندازه‌گیری

LP_i: *تراز فشار صوت در هر نقطه*

مثال: میانگین تراز فشار صوت را برای نتایج زیر که تراز فشار صوت در محل‌های توقف کارگر کنار یک منبع است محاسبه نمایید: (۹۴dB - ۸۹ - ۹۹ - ۹۸)

$$\overline{LP}(dB) = 10\log\left[\frac{1}{n}\times\sum_{i=1}^{n}10^{LP_i/10}\right] = 10\log\left[\frac{10^{9.8}+10^{9.9}+10^{8.9}+10^{9.4}}{4}\right] = 96.4dB$$

تراز معادل مواجهه صوت[1] (L_{eq})

از آنجایی که کارگر در طول شیفت کاری در معرض ترازهای مختلف قرار دارد، در بررسی صدا به منظور ارزیابی مواجهه کارگر، همانند روشی که برای سایر عوامل مخاطره‌زای محیط کار نیز معمول است، از ترازهای مواجهه کارگر متوسط زمانی می‌گیرند. در این روش ابتدا تراز هر بار مواجهه همراه با زمان مواجهه مربوطه اندازه‌گیری شده ثبت، سپس با استفاده از رابطه ذیل تراز معادل مواجهه کارگر برای یک دوره زمانی محاسبه می‌گردد. این تراز محاسبه‌شده همان معدل زمانی ترازها[2] (SPL_{TWA}) است که می‌توان بر مبنای مجموع زمان‌های مواجهه یا بر مبنای مدت زمان معین محاسبه گردد. در صورتی که تراز برای یک شیفت ۸ ساعته محاسبه شود به آن تراز معادل مواجهه ۸ ساعته می‌گویند. یکی از کاربردهای تراز معادل، مقایسه با مقادیر مجاز ۸ ساعته مواجهه کارگر است.

$$L_{eq}(dB) = 10\log\left[\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} t_i 10^{LP_i/10}\right]$$

L_{eq} *: تراز معادل مواجهه (dB)*

t_i *: طول زمان مواجهه i ام به ساعت*

T : زمان مرجع معمولاً ۸ ساعت

LPi : تراز فشار صوت مواجهه i ام (dB)

1 - Equivalent Sound Level

2 - Time Weight Average

در صورتی که T مجموع زمان‌های مواجهه t_i به آن تراز معادل خام (کلی) $L_{eq(t)}$ گفته می‌شود. در این حالت می‌توان مقدار به دست آمده را با جدول حدود مجاز مواجهه با صدا مقایسه نمود. پس از محاسبه تراز معادل، می‌توان کلیه کارگران را صرف نظر از چگونگی مواجهه با هم مورد مقایسه قرار داد.

مثال: کارگری در یک کارگاه به مدت ۶ ساعت با تراز ۹۰ دسی‌بل مواجهه دارد. تراز معادل ۸ ساعته مواجهه این کارگر چقدر است؟

$$L_{eq}(dB) = 10\log\left[\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} t_i 10^{LP_i/10}\right] = 10\log\left[\frac{6}{8}\times 10^{9}\right] = 88.7dB$$

** نتیجه مثال فوق این است که مواجهه این کارگر معادل با کارگری است که در یک شیفت ۸ ساعته با تراز ۸۸/۷ دسی‌بل مواجهه داشته باشد.*

مثال: کارگری در یک کارگاه به‌ترتیب زیر با صدا مواجهه داشته است. تراز معادل ۸ ساعته را برای وی حساب کنید.

- یک ساعت با تراز ۸۰ دسی‌بل، دو ساعت با تراز ۹۶ دسی‌بل، یک ساعت با تراز ۸۸ دسی‌بل، ۳ ساعت با تراز ۶۹ دسی‌بل و یک ساعت برای نماز، ناهار و استراحت (در این حالت تراز فشار صوت محیط ۶۰ دسی‌بل بوده است)

$$L_{eq} = 10\log\left[\frac{1}{8}\times(1\times 10^{8} + 2\times 10^{9.6} + 1\times 10^{8.8} + 3\times 10^{6.9} + 1\times 10^{6}\right] = 90.4dB$$

انتشار صوت[1]

صوت به‌راحتی می‌تواند در اکثر محیط‌های مادی منتشر گردد. پیش‌بینی چگونگی انتشار صوت در میدان آزاد (میدان بدون بازتابش دهنده یا میدان دارای جاذب) و نیز میدان بازتابشی با سطوح مختلف در ارزیابی صدا در محیط کار اهمیت دارد. نحوه انتشار صدا به عوامل متعددی مانند مشخصات صوتی منبع یا منابع و فاصله از منبع و نیز وضعیت سطوح بازتابشی بستگی دارد. منابع صوتی در سه گروه: نقطه‌ای، خطی و سطحی طبقه‌بندی می‌شوند.

1 - Sound Propagation

مطالعه مقادیر مطلق کمیات صوتی نشان می‌دهد که در میدان آزاد قانون عکس مجذور فاصله حاکم است. بنا بر این می‌توان برای تغییرات شدت و فشار صوت به نسبت فاصله از منبع صوت نوشت:

$$I_2 = \frac{I_1}{r^2} \qquad P_2^2 = \frac{P_1^2}{r^2} \Rightarrow P_2 = \frac{P_1}{r}$$

r : نسبت فاصله از منبع صوتی

در منبع نقطه‌ای انتشار امواج صوتی در فضای کروی و به‌صورت هم فاز در نظر گرفته می‌شود. در اطراف یک منبع نقطه‌ای در صورتی‌که تراز فشار صوت در یک فاصله معین اندازه‌گیری شده باشد در فاصله دیگر به‌طریق زیر قابل محاسبه است:

$$LP_2 = LP_1 - 20\log\frac{r_2}{r_1}$$

LP_1 : تراز فشار در فاصله r_1

LP_2 : تراز فشار در فاصله r_2

r_1 و r_2: فاصله از منبع نقطه‌ای (m)

مثال: اگر تراز فشار صوت در فاصله ۱۰ متری از یک منبع نقطه‌ای در میدان آزاد، ۸۷ دسی‌بل باشد. تراز فشار در فاصله ۲۰ متری منبع صوتی چقدر است؟

$$LP_2 = LP_1 - 20\log\frac{r_2}{r_1} = 87 - 20\log\frac{20}{10} = 81dB$$

** در مثال فوق مشاهده می‌شود که به ازای دو برابر شدن فاصله از منبع، تراز فشار صوت به اندازه ۶ دسی‌بل کاهش می‌یابد.*

در میدان آزاد، در صورت معلوم بودن توان منبع صوتی یا تراز توان آن می‌توان طبق رابطه زیر تراز فشار صوت را در فاصله دیگر محاسبه نمود:

$$LP(dB) = LW - 20\log r - 11$$

LP : تراز فشار صوت (dB)

r : فاصله از منبع (m)

LW : تراز توان منبع (dB)

مثال: منبعی با تراز توان صوت ۱۰۱ دسی‌بل در یک میدان آزاد انتشار صوت دارد، در فاصله ۳۰ متری از منبع تراز فشار صوت چقدر است؟

$$LP(dB) = LW - 20\log r - 11 = 101 - 20\log 30 - 11 = 60.5dB$$

وجود سطوح بازتابشی را در میدان انتشار صوت می‌تواند سبب تشدید صدای منابع گردد. برای این منظور شاخصی به نام شاخص جهت[1] با واحد دسی‌بل معرفی شده است. که تابعی از تعداد و ضریب جذب سطوح بازتابشی اطراف منابع صوتی می‌باشد. این شاخص نشان می‌دهد که نه تنها بازتابش بلکه بازتاب‌های مکرر در فضاهای بسته ایجاد می‌شود که باعث تشدید مکرر صدا خواهد شد. تأثیر سطوح بازتابش بر تشدید صدای منابع در داخل بناها، به‌طور عملی می‌تواند تا ۱۸ دسی‌بل باشد. سطوح داخلی اغلب بناهای صنعتی می‌تواند بیش از ۱۰ دسی‌بل اثر تشدیدی بر صدای منابع داشته باشد.

مثال: تراز توان یک منبع ۹۸ دسی‌بل است. تراز فشار در فاصله ۵ متری آن را در شرایطی که شاخص جهت ۱۲ دسی‌بل باشد را برآورد نمایید.

$$LP(dB) = LW + DI - 20\log r - 11$$

$$LP = 98 + 12 - 20\log 5 - 11 = 85 \quad dB$$

انتشار صوت در اطراف منابع خطی مانند مجاری تهویه و لوله‌های انتقال سیال از منابع نقطه‌ای متمایز بوده و بر اساس موقعیت منابع و شیوه قرارگیری آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در منابع خطی پیوسته، تراز فشار صوت در فواصل اطراف این‌گونه منابع تابع طول کلی منابع و فاصله آن‌ها است. در اطراف منابع خطی پیوسته، با دو برابر شدن فاصله از منبع تراز فشار صوت ۳ دسی‌بل کاهش می‌یابد:

$$LP_2(dB) = LP_1 - 10\log\frac{r_2}{r_1}$$

اگر منابع خطی در چند ردیف قرار گرفته باشند، همچنین انتشار صوت از درب‌ها، پنجره‌ها و مانند آن منابع سطحی قلمداد می‌گردند. برای مطالعه تراز فشار صوت در اطراف

1 - Directivity Index (DI)

منبع سطحی طول b و عرض c در نظر گرفته می‌شود. در این منابع بسته به وضعیت قرارگیری و ابعاد سطح منابع، حالات مختلفی از انتشار صوت وجود خواهد داشت. برای فواصل بیشتر از b/π انتشار صوت در منابع سطحی همانند منابع نقطه‌ای بوده و به ازای دو برابر شدن فاصله از منبع، تراز فشار صوت ۶ دسی‌بل کاهش می‌یابد.

گفتار دوم: اندازه‌گیری و ارزیابی صدا

ترازسنج صوت[1]

این دستگاه برای اندازه‌گیری تراز فشار صوت طراحی گردیده است. هرچند که قابلیت و توانایی ترازسنج‌های صوتی می‌تواند متنوع باشد اما هر ترازسنج صوت دارای حداقل سه بخش اساسی شامل: میکروفن[2]، پردازشگر[3] و نمایشگر[4] است.

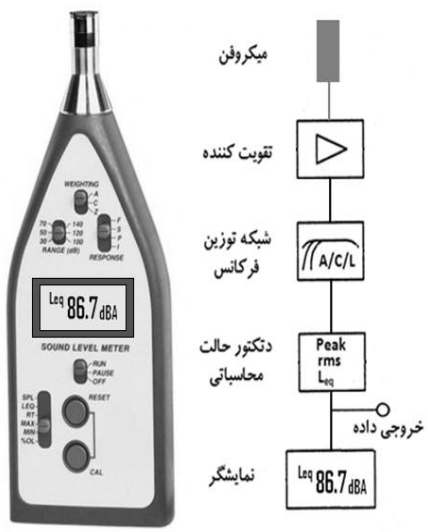
کار هر میکروفن مبتنی بر اعمال فشار صوت بر سطح دیافراگم آن و ایجاد جریان متناظر الکتریکی است. در پردازشگر بسته به قابلیت دستگاه و نیاز کاربر، داده‌های دریافتی از میکروفن، تقویت، توزین فرکانس و پردازش شده و توسط نمایشگر مقادیر نمایش داده می‌شود. شکل (۵) ساختار و اجزای یک ترازسنج صوت را نشان می‌دهد.

میکروفن‌ها را به چهار گروه اصلی شامل: کریستالی، الکتره، دینامیک و خازنی تقسیم می‌کنند. در ساختمان میکروفن کریستالی[5] یا پیزوالکتریک از کریستال‌های کوارتز استفاده‌شده و اساس کار آن پدیده پیزوالکتریک است. بر اساس پدیده مذکور اگر کریستال تحت فشار یا کشش (نیروی مکانیکی) قرار گیرد، ولتاژی در سطح آن برقرار می‌شود که با نیروی وارده نسبت مستقیم دارد. این نوع از میکروفن حساسیت پائینی نسبت به تغییرات رطوبت محیط و نیز میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی دارد که از محاسن آن است. محدودیت این نوع حساسیت به دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. میکروفن الکتره،

1 - Sound level Meter (SLM)
2- Microphone
3 - Processor
4 - Display
5 - Schematic(Crystal)Microphone

همانند نوع کریستالی عمل نموده ولی به ولتاژ پلاریزاسیون نیازی ندارد و در ساختمان آن از یک فیلم پلیمری پلاریزه دائم بنام الکتره استفاده شده است. میکروفن دینامیک نیز از یک بوبین ظریف که در یک میدان مغناطیسی قرارگرفته و دیافراگم متصل به بوبین تشکیل شده‌است. فشار صوت باعث جابجایی و حرکت دیافراگم گردیده و این حرکت باعث تغییر در جریان تعریف شده مدار می‌گردد. میکروفن‌های دینامیک به میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی حساس است ولی حساسیت پائینی به درجه حرارت دارد.

میکروفن خازنی از یک خازن تشکیل شده است که یکی از صفحات جوشن آن دیافراگمی است که تحت کشش یا فشار تغییر مکان پیدا می‌کند. فشار صوت وارده می‌تواند باعث تغییر فاصله دو صفحه جوشن شده و ظرفیت خازنی را تغییر دهد. این امر باعث تغییر مشخصات تعریف شده مدار می‌شود. این نوع میکروفن در برابر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و فشار و حرارت مقاوم بوده ولی به رطوبت هوا حساس می‌باشد. برخی دستگاه‌های ترازسنج صوت دارای امکان فوکوس جهت میکروفن هستند و این امکان با دو انتخاب (تصادفی)Random و (روبه‌جلو)Frontal نشان داده می‌شود. کاربر باید دقت نماید که برای هر یک از مقاصد اندازه‌گیری از یکی از دو حالت مذکور استفاده نماید.



شکل (۵) ساختار و نمای دستگاه ترازسنج صوت

شبکهٔ توزین فرکانس[1]

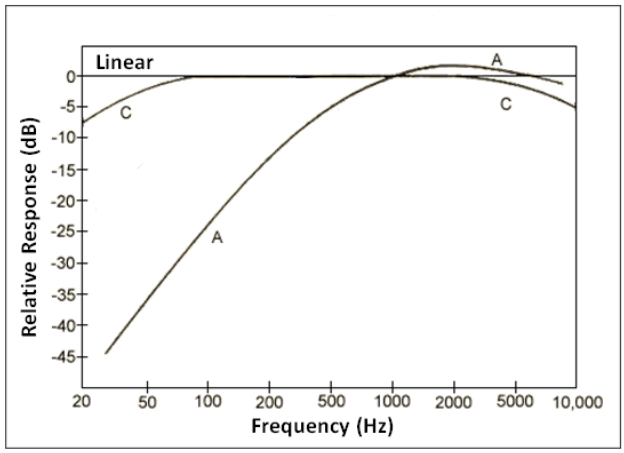
با توجه به اینکه دستگاه ترازسنج صوت می‌تواند برای منظورهای مختلفی به‌کار رود لذا می‌توان مقادیر تراز فشار صوت را بر اساس شبکه‌های مختلف توزین فرکانس که در برخی دستگاه‌ها پیش‌بینی شده است، انتخاب نمود. مثلاً در شبکهٔ A ، این قابلیت مقادیر را در فرکانس مرکزی هر باند فرکانسی با توجه به منحنی عکس‌العمل گوش در ترازهای پایین توزین نموده و پس از این عمل تراز فشار صوت را نشان می‌دهد.

گوش انسان به فرکانس‌های بم حساسیت کمتری دارد. به‌عبارت دیگر، آستانهٔ شنوایی در این فرکانس‌ها بالاتر است. در شبکهٔ A مقادیر تراز فشار صوت متناسب با حساسیت گوش انسان در ترازهای پایین توزین می‌شود. تراز اندازه‌گیری شده در این وضعیت بر حسب dBA بیان می‌گردد. استانداردهای مواجهه بر این مبنا هستند، لذا اندازه‌گیری صدا به‌منظور تعیین حدود مواجه کارگر نیز با این مقیاس می‌باشد.

شبکه وزنی C نیز مطابق با درک حسی گوش در ترازهای بالاتر از ۸۵ دسی‌بل می‌باشد. شبکه دیگر شبکه خطی Linear است که با Lin، F، L یا Z نشان داده می‌شود. در شبکهٔ Lin مقدار نمایش داده شده دقیقاً برابر با تراز واقعی فشار صوت بدون وزن دهی در فرکانس‌ها است.

منحنی توزین فرکانس در شبکه A منطبق با منحنی درک شنوایی انسان خصوصاً در ترازهای کمتر از ۶۰ دسی‌بل است. برای بررسی صدا در محیط کار به‌منظور تعیین چگونگی مواجهه کارگر، آنالیز فرکانس صوت معمولاً در شبکهٔ C انجام می‌گیرد. برای اهداف کنترل صدا از آنالیز فرکانس شبکه Lin استفاده می‌گردد. شکل (۶) منحنی توزین فرکانس را در شبکه‌های مختلف و جدول (۴) نیز مقادیر عددی توزین را برای شبکه A و C نشان می‌دهد.

1 - Frequency Weighting



شکل (۶) نمودار شبکه‌های توزین فرکانس

جدول (۴) مقادیر تصحیح در هر شبکه توزین فرکانس

Weighting Scales		
Frequency (Hz)	A Scale	C Scale
20	−50.5	−6.2
25	−44.7	−4.4
31.5	−39.4	−3.0
40	−34.6	−2.0
50	−30.2	−1.3
63	−26.2	−0.8
80	−22.5	−0.5
100	−19.1	−0.3
125	−16.1	−0.2
160	−13.4	−0.1
200	−10.9	0
250	−8.6	0
315	−6.6	0
400	−4.8	0
500	−3.2	0
630	−1.9	0
800	−0.8	0
1000	0	0
1250	0.6	0
1600	1.0	−0.1
2000	1.2	−0.2
2500	1.3	−0.3
3250	1.2	−0.5
4000	1.0	−0.8
5000	0.5	−1.3
6300	−0.1	−2.0
8000	−1.1	−3.0
10,000	−2.5	−4.4
12,500	−4.3	−6.2

شبکه سرعت پاسخ دستگاه

اصوات مختلف اعم از یکنواخت، متغیر و کوبه‌ای در طول زمان تداوم خود دارای تغییرات دامنه فشار بوده و این تغییرات در برخی از آن‌ها لحظه‌ای است. برای اندازه‌گیری انواع صدا نمی‌توان حساسیت عکس‌العمل زمانی دستگاه را یکسان در نظر گرفت. در ترازسنج‌های دقیق لازم است تا سرعت درک یا پاسخ زمانی[1] دستگاه با سرعت تغییرات دامنه فشار صوت متناسب گردد. برای این کار از شبکه سرعت پاسخ دستگاه کمک می‌گیرند تا اندازه‌گیری متناسب با سرعت تغییرات دامنه فشار صوت باشد.

در دستگاه‌های ترازسنج برای هر نوع صوت از یک سرعت متناسب استفاده می‌شود که شامل موقعیت Slow برای صدای یکنواخت یا منابع صوتی ساکن بوده و حساسیت دستگاه در حد ثانیه برای ثبت تغییرات دامنه صدا می‌باشد. موقعیت Fast برای اندازه‌گیری تراز فشار صوت منابع متحرک یا اصوات متغیر با زمان و نوبتی مناسب بوده و دستگاه تغییرات سریع دامنه در حد میلی‌ثانیه را نیز ثبت می‌کند، موقعیت Impulse یا Impact برای اندازه‌گیری اصوات کوبه‌ای یا ضربه‌ای مناسب بوده و دستگاه ترازسنج تغییرات دامنه صدا در حد میکروثانیه را ثبت می‌نماید.

مدارهای محاسب و نمایشگر

در برخی دستگاه‌های ترازسنج صوت بسته به استاندارد ساخت دستگاه و کمپانی سازنده، مدارهای محاسب متعددی پیش‌بینی شده است که امکان اندازه‌گیری L_{eq} - SPL(rms) - SPL (max,min) را فراهم می‌کند.

نمایشگر دستگاه ترازسنج صوت می‌تواند عقربه‌ای، دیجیتال، نوار نورانی یا نقطه نوری باشد. دقت اندازه‌گیری و قرائت در نوع دیجیتالی بیشتر بوده و از این نظر ارجحیت دارد.

1 - Time weighting

کالیبراسیون[1] ترازسنج صوت

برای اطمینان از صحت کار اندازه‌گیری توسط ترازسنج صوت لازم است ابتدا آن را با یک مولد صوتی استاندارد کالیبره نمایند. این مولد کالیبراتور[2] استاندارد یا پیستون فون است. این دستگاه در فرکانس‌های معینی مثلاً 1 KHz یا 250 Hz تراز معینی از صوت خالص برابر ۹۴ یا ۱۱۴ دسی‌بل تولید می‌کند. کالیبراسیون حتماً باید با کالیبراتور خارج دستگاه انجام شود و کالیبراسیون داخلی ارزشی ندارد.

برای کالیبراسیون، با استفاده از کالیبراتور استاندارد و توجه به دستورالعمل دستگاه ترازسنج کالیبراتور روشن شده و تراز فشار صوت اندازه‌گیری می‌گردد. در غیر این صورت بایستی دستگاه را روی حالت سرعت Slow و شبکه A و حالت SPL_{rms} قرار داده، آنگاه پس از نصب کالیبراتور روی میکروفن و روشن کردن کالیبراتور و ترازسنج، به‌وسیله پیچ تنظیم که بر روی ترازسنج تعبیه شده است عمل کالیبراسیون انجام می‌گردد. در دستگاه‌های جدید امکان کالیبراسیون با استفاده از منوی داخلی و بدون پیچ تنظیم نیز وجود دارد. لازم به ذکر است که باید اندازه میکروفن و رابط کالیبراتور متناسب بوده و لقی نداشته باشد. تغییرات فشار هوا حداکثر به انداز 0.3 dB بر کالیبراسیون مؤثر می‌باشد.

گروه‌های ترازسنج صوت

بر اساس استاندارد شماره ANSI[3] - S.I. 4-1986(R2003) (موسسه استاندارد ملی آمریکا) ترازسنج‌ها در ۴ گروه طبقه‌بندی می‌شوند.

گروه ۱ (Type 1) : ترازسنج‌های نوع دقیق[4] دارای بالاترین کیفیت و کمترین خطا بوده و توانائی اندازه‌گیری در شبکه‌های A,C,Lin را داشته و برای مقاصد تحقیقاتی مناسب هستند. این گروه قابلیت‌های محاسباتی بسیاری دارند.

1 - Calibration
2 - Calibrator
3 - American National Standard Institute
4 - Precision

گروه ۲ (Type 2) : نوع استفاده عمومی[1] کیفیت پائین‌تری نسبت به گروه ۱ دارند ولی در اهداف بررسی صدا در محیط کار قابل استفاده می‌باشند.

گروه ۳ (Type 3) : نوع بازرسی[2] به علت کارایی و دقت پائین برای اهداف بازرسی کاربرد دارند.

گروه S (Type S): نوع استفاده ویژه[3] که با توجه به مشخصات مربوط به محیط استفاده و نوع استفاده طراحی و کاربرد ویژه دارند. این دستگاه‌ها ممکن است جزئی از دستگاه دیگر مثل سیستم مانیتورینگ صدا باشند.

آنالیزور طیفی صوت[4]

تجزیه‌کننده‌های صوت به‌طور معمول برای بررسی توزیع فرکانس صوت در پهنای $1/1$ یا $1/3$ اکتاوباند طراحی شده‌اند این دستگاه‌ها اغلب دارای فیلترهای درصد باند ثابت[5] هستند که بر اساس تراز فشار صوت در فرکانس مرکزی پهنه‌های مختلف را تجزیه و اندازه‌گیری می‌کند. پهنای باند فیلتر در این نوع برای فرکانس‌های پایین محدود و برای فرکانس‌های بالا وسیع بوده و در فرکانس مرکزی از هر باند عمل اندازه‌گیری را انجام می‌دهد. این گروه به‌صورت پرتابل و عمدتاً قابل اتصال به دستگاه یا جزیی از مدارات ترازسنج صوت می‌باشد.

دستگاه‌های ثبات تراز صوت[6]

شامل ضبط صوت و چاپگر کاغذ است که اولی به‌صورت منفرد و دومی قابل اتصال به ترازسنج صوت می‌باشد. در روش ضبط صوت بایستی پس از اندازه‌گیری و ضبط، نتایج جهت ارزیابی و خواندن مقادیر به آزمایشگاه منتقل گردد. این روش بیشتر به بررسی صدا

1 - General Purpose
2 - Inspection
3 - Special Purpose
4 - Sound spectral Analyzer
5 - Constant or Fixed Bandwidth
6 - Recorders

برای اهداف خاص مثلاً اهداف حقوقی کاربرد دارد. در ثبت نتـایج بـر روی کاغـذ مـی‌تـوان برای ارزیابی صدا و ثبت دقیق نتایج، شامل تراز کلی و آنالیز فرکانس اسـتفاده نمـود. ایـن دو دستگاه جانبی برای مقاصد بازرسی و تهیه گزارش رسمی بسـیار مهـم هسـتند. امـروزه دستگاه‌های پیشرفته می‌توانند اطلاعات خـود را بـه کـامپیوتر داده و نتـایج بـا اسـتفاده از نرم‌افزار مربوطه آنالیز می‌گردد.

دزیمتر صدا[1]

در اندازه‌گیری و ارزیابی صدای محیط کار از دیدگاه تعیین مواجهه کـارگر دقیـق‌تـرین روش دزیمتری است. این روش اگرچه از نظر فنی حاوی نکات مهمی است ولی برای اعـلام گزارش‌های غیر تخصصی یا برای افراد غیر متخصص که با واژه‌های متـداول آشـنا نیسـتند بسیار مناسب می‌باشد. در دزیمتری کلیهٔ زمان‌های مواجهه کـارگر بـا ترازهـای مختلـف در طول شیفت محاسبه، و با استفاده از تراز معادل دز دریافتی کـارگر در یـک شـیفت کـاری اندازه‌گیری می‌شود. اساساً دزیمتر فرآیند اثر تجمعی فشار صوت یا حدود مربـوط بـه تـراز فشار صوت را دریک دورهٔ زمانی مواجهه (مثلاً ۸ ساعته) نشان می‌دهد. در هر دزیمتـر یـک میکروفن که روی سینه یا یقه کارگر نصـب مـی‌شـود، سـیم رابـط، پردازشـگر و نمایشـگر تشکیل شده است. امروزه دزیمترهایی ساخته شده است که کارایی متنوعی داشته و عـلاوه بر محاسبه دز دریـافتی، Leq ، SPL حـداقل و حـداکثر را و برخـی مقـادیر دیگـر را نیـز نمایش می‌دهند. کلیه مقادیر اندازه‌گیری شده تراز در شبکهٔ A بوده و برای کار بـا دزیمتـر باید ابتدا آن را کالیبره نموده و بر اساس استانداردهای شناخته شده تنظیم گردد.

دز بج صدا[2]

این دستگاه‌های سبک و کم حجم بـر مبنـای پایـه محاسـبات دز صـدای دریـافتی در محدوده شنوایی کارگر را دریافت و پردازش می‌نماید. در پایان شیفت کـاری امکـان قرائـت

1 - Noise Dosimeter
1- Noise Dose Bach

مستقیم دز یا انتقال داده‌ها به نرم‌افزار کامپیوتر وجود دارد. شرط استفاده از این دزیمتر فردی، اطمینان از کالیبراسیون و صحیح بودن پایه محاسبات دز می‌باشد.

روش‌های اندازه‌گیری و ارزیابی صدا

برای اندازه‌گیری و ارزیابی 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 و ارزیابی در نظر گرفته شود شامل موارد زیر است:

الف – تعیین هدف اندازه‌گیری

ب - گردآوری اطلاعات دقیق از کارگاه

ج - گردآوری اطلاعات نحوه مواجهه کارگر

د – تعیین روش مناسب اندازه‌گیری

ه – انتخاب وسیله مناسب اندازه‌گیری

و - کالیبراسیون

ز – شناخت استانداردها و حدود مجاز مواجهه کارگر

اهداف اندازه‌گیری

الف- اندازه‌گیری صنعتی: به‌طور مثال اندازه‌گیری صدای یک دستگاه معین برای اهداف عیب‌یابی یا بازرسی فنی

ب- اندازه‌گیری محیطی: به‌منظور تعیین توزیع تراز فشار صوت در سطح کارگاه یا معین نمودن منابع اصلی تولید صدا.

ج- اندازه‌گیری فردی: برای مشخص نمودن میزان مواجهه کارگر

ه- اندازه‌گیری به‌منظور تعیین روش و چگونگی کنترل صدا

قبل از اقدام به اندازه‌گیری باید هدف کار معلوم گردد. برای دستیابی به هر هدف روش، دستگاه و نحوه ارزیابی متفاوت می‌باشد.

انتخاب وسایل اندازه‌گیری

وسیله اندازه‌گیری بر اساس نوع هدف متفاوت است. در مبحث دستگاه‌ها انواع ترازسنج صوت و دسته‌بندی آن و نیز کاربرد آن‌ها ذکر گردید. در یک بازرسی ساده صنعتی داشتن یک دستگاه ترازسنج که توانایی اندازه‌گیری تراز فشار صوت را در شبکه Lin داشته باشد کافی است ولی برای اندازه‌گیری به‌منظور ناحیه بندی، که مناطق احتیاط و خطر در کارگاه را معلوم می‌کند، اندازه‌گیری تراز فشار صوت باید با دستگاهی انجام گردد که قابلیت اندازه‌گیری تراز فشار صوت در شبکه توزین فرکانس A با دقت یک دسی‌بل داشته باشد. در اندازه‌گیری دقیق برای معین نمودن مواجهه کارگر و معین نمودن تراز پیک و تراز مؤثر صدا، لازم است دستگاه دقتی در حدود ۰/۵ دسی‌بل و توانایی اندازه‌گیری در شبکه توزین فرکانس C و A را داشته باشد. برای آنالیز فرکانس بایستی از ترازسنج‌های دقیق با شبکه‌های C و Lin همراه آنالیزور کمک گرفت. در دزیمتری نیز باید از دستگاهی که حداقل دارای ویژگی اندازه‌گیری دز و تراز معادل است استفاده نمود.

کالیبراسیون

قبل از هر بار اندازه‌گیری باید از صحت و دقت کار دستگاه ترازسنج صوت مطمئن شد. دقت دستگاه وابسته به نوع دستگاه و مشخصات آن است بنابر این در هنگام استفاده باید دستگاه با دقت مناسب را انتخاب نمود، ولی برای اطمینان از صحت کار دستگاه بایستی قبل از اقدام به اندازه‌گیری آن را با وسیله‌ای استاندارد (کالیبراتور) کالیبره نمود. از آنجایی که عوامل متعددی بر کار دستگاه مؤثر می‌باشند، لازم است برای هر بار استفاده از دستگاه قبلاً از کالیبره بودن آن اطمینان حاصل شود.

گردآوری اطلاعات

اولین مرحله از فرایند اندازه‌گیری و ارزیابی صدا، جمع‌آوری اطلاعات لازم در محیط کار و نحوه مواجهه کارگران می‌باشد. در این مرحله ابتدا نقشه ساده محیط کار که دارای مقیاس و محل نصب دستگاه‌ها، خصوصاً دستگاه‌های مولد صدا هستند، ترسیم گردیده

سپس اطلاعات مربوط به محل‌های تردد و توقف کارگران، ساعات مواجهه هر گروه کارگران با صدا، اوقات تغییر شیفت و اطلاعات مدیریتی مهم مانند اضافه‌کاری، کار گردشی و مرخصی‌ها ثبت می‌گردد. در صورتی که اهداف کنترل صدا نیز مد نظر باشد لازم است که اطلاعات دقیق و وسیعی علاوه بر موارد ذکر شده از مشخصات فنی دستگاه‌ها و محل استقرار آن‌ها، مشخصات فنی سازه‌های بنای کارگاه و نیز مشخصات آکوستیکی سطوح داخلی به فهرست اطلاعات اضافه گردد.

حد مجاز مواجهه

نظر به اینکه مقادیر توصیه شده توسط سازمان‌های مختلف برای مواجهه مجاز متفاوت است، برای ارزیابی و اظهار نظر در مورد تعیین حدود مجاز، لازم است یکی از توصیه‌های حدود مجاز انتخاب گردد. لازم به ذکر است که کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور که زیر نظر وزارت بهداشت می‌باشد فهرستی را تحت عنوان OEL[1] منتشر نموده است که معیار کشوری حدود مجاز مواجهه می‌باشد.

تعیین ایستگاه‌های اندازه‌گیری

تعداد و محل ایستگاه‌های اندازه‌گیری در هر کارگاه وابسته به هدف اندازه‌گیری است. در صورتی که اندازه‌گیری برای ناحیه بندی کارگاه از نظر تراز فشار صوت یا ترسیم نقشه صوتی کارگاه باشد، با توجه به الگویی که بعداً گفته خواهد شد اقدام می‌شود. همچنین برای ارزیابی مواجهه کارگر باید نقاط توقف یا تردد کارگر در ناحیه شنوایی مد نظر قرار گیرد. در ادامه این فصل چگونگی کار در هر مورد توضیح داده خواهد شد.

روش‌های اندازه‌گیری

برای دستیابی به نتایج روشن و قابل استفاده، بر اساس اهداف اندازه‌گیری و ارزیابی یکی از روش‌های زیر انتخاب می‌گردد:

الف - اندازه‌گیری و ارزیابی محیطی

1 - Occupational Exposure Limit

در این روش محل‌های استقرار کار گران 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 و شامل روش‌های زیر است:

۱ - روش شبکه‌ای منظم برای تهیه نقشه صوتی

۲ - روش اندازه‌گیری محیطی ویژه مانند اندازه‌گیری صدای یک منبع، مقاصد پژوهشی یا کنترل صدا

ب - اندازه‌گیری موضعی به‌منظور ارزیابی مواجهه کارگر

برای نیل به این هدف بر اساس شرایط کار، ویژگی‌های مواجهه کارگر با صدا و عوامل مرتبط دیگر از یکی از روش‌های زیر استفاده می‌گردد:

۱- اندازه‌گیری مواجهه کارگر با صدای یکنواخت

۲ - اندازه‌گیری مواجهه کارگر در مدت‌های معین با صدای متغیر با زمان و نوبتی

۳ - اندازه‌گیری مواجهه کارگر در مدت‌های نامعین با صدای متغیر با زمان

۴ - اندازه‌گیری مواجهه کارگر با صدای کوبه‌ای و ضربه‌ای

روش شبکه‌ای منظم

این روش برای تهیه نقشه ناحیه بندی صدا و مشخص نمودن نواحی مختلف کارگاه بر اساس محدوده‌های تعیین شده تراز فشار صوت اجرا می‌گردد. در این روش کارگاه به‌صورت شبکه‌ای منظم به نواحی شطرنجی با ابعاد یکسان تقسیم بندی شده و مرکز هر خانه یک ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشد. طبعاً هر چه ابعاد خانه‌ها کوچک‌تر یا مساحت کارگاه بزرگ‌تر باشد تعداد این خانه‌ها بیشتر خواهد بود. هرچند زیاد بودن تعداد خانه‌ها برای حصول به نتیجه مطلوب‌تر است ولی امکانات و نفرات و زمان نیز دارای محدودیت بوده و عملاً زیاد بودن تعداد نقاط اندازه‌گیری مطالعه را با مشکل مواجه خواهد ساخت. لذا می‌توان برای کارگاه‌ها با توجه به مساحت و امکانات تعداد معین و محدودی ایستگاه انتخاب نمود. در این شیوه، کارگاه‌های تا یکصد متر مربع را به خانه‌ها با ابعادی حدود ۲ متر، کارگاه‌های وسیع‌تر را به خانه‌ها با ابعاد حداکثر ۵ متر و کارگاه‌های بیش از یک هزار متر مربع

مساحت را که اغلب دارای منابع صوتی بزرگ هستند به خانه‌ها با ابعاد ۱۰ متر تقسیم‌بندی می‌شود. تعداد کمتر از ۲۰ ایستگاه برای تحلیل داده‌ها ایجاد مشکل می‌نماید و تعداد بیش از ۶۰ ایستگاه نیز با توجه به طول مدت زمان اندازه‌گیری و تغییر احتمالی شرایط صوتی کارگاه اعتبار داده‌ها را دچار مشکل می‌نماید. لذا محدوده مناسب تعداد ایستگاه در هر محدوده سنجش بین ۲۰ تا ۶۰ پیشنهاد می‌گردد.

نکات کلیدی در اندازه‌گیری محیطی صدا

۱. ترازسنج صوت کالیبره شود.
۲. میکروفن در حالت Random باشد (برخی دستگاه‌ها این وضعیت را ندارند)
۳. شبکه وزنی A و سرعت پاسخ Slow باشد.
۴. ارتفاع میکروفن در تمام ایستگاه‌ها به‌صورت ثابت، بین ۱۱۰ تا ۱۵۰ سانتیمتر بسته به وضعیت نشسته یا ایستاده بودن اغلب کارگران تنظیم کنید.
۵. بهتر است همواره از محافظ اسفنجی میکروفن استفاده کنید.
۶. در همه ایستگاه‌ها جهت میکروفن ثابت باشد. بهتر است به سمت طول کارگاه باشد.
۷. فاصله میکروفن با تجهیزات از نیم متر کمتر نباشد. طبعاً برخی ایستگاه‌ها امکان اندازه‌گیری ندارد، مقابل ایستگاه مربوط به آن‌ها خط تیره بکشید.
۸. مسیر حرکت بین شبکه به‌صورت مارپیچ باشد تا وقت کمتری صرف نمایید. به‌طور مثال در شکل (۱۲) (بالا) ، اندازه‌گیری از A1 شروع و به F1 منتهی گردد. سپس از F2 به سمت A2 ادامه دهید.
۹. همه اندازه‌گیری‌ها تراز فشار صوت در مرکز هر خانه شطرنجی انجام شود.
۱۰. میکروفن دستگاه افقی و کاملاً بدون لرزش باشد. اگر نمی‌توانید، از سه‌پایه استفاده کنید.
۱۱. در صورتی که تراز فشار صوت یکنواخت است، باید در هر ایستگاه ۱۵ ثانیه صبر کنید بعد تراز فشار صوت را بخوانید یا ذخیره کنید. هیچ‌گاه نباید با عجله این کار را انجام دهید.

۱۲. زمان اندازه‌گیری از نظر آماری باید Mode شرایط کار یا همان پرتکرارترین وضعیت کار کارگاه باشد تا نتایج به واقعیت نزدیک‌تر باشد. توجه داشته باشید که هر اندازه‌گیری محیطی فقط برای شرایط و زمان خود اعتبار دارد، لذا باید زمان را به‌خوبی انتخاب نمایید. به‌طور مثال اندازه‌گیری در شرایط پیک کاری یا مخالف آن نتایج گمراه کننده‌ای خواهد داشت.

۱۳. در صورتی که صدای محیط یکنواخت نیست باید دستگاه در حالت SPL_{eq} یا L_{eq} قرار گیرد. برای این کار در هر ایستگاه تراز معادل ۳۰ ثانیه‌ای تا یک دقیقه‌ای کافی است. برای اندازه‌گیری ایستگاه بعدی باید دستگاه ری‌ست (reset) شود.

۱۴. برای ارزیابی محیطی صدا در هر محدوده باید دست‌کم نتایج ۲۰ ایستگاه وجود داشته باشد.

۱۵. در فرم اندازه‌گیری ص-۱ (پیوست) در قسمت: نظریه نهایی کارشناس در خصوص وضعیت صدای کارگاه، با توجه به نتایج حاصل از صداسنجی محیطی به روش شبکه‌ای، در صورتی‌که در هیچ یک از ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده تراز ۸۵ دسی‌بل و بالاتر ثبت نکرده باشید وضعیت صدای واحد کارگاهی مناسب می‌باشد و با علامت ✓ داخل □ نشان دهید. در صورتی‌که در یکی از ایستگاه‌های سنجش صدا تراز ۸۵ دسی‌بل و یا بالاتر ثبت کرده باشید گزینه بعدی یعنی صدای کارگاه بیش از حدود مجاز است و نیاز به اقدامات فنی مهندسی دارد را انتخاب کنید.

پس از ثبت نتایج اندازه‌گیری صدای محیطی، می‌توانید به روش‌های مختلف آن‌ها را روی نقشه یا در جدول کدبندی شده مربوطه درج نمایید. در مرحله بعد با توجه به سه محدوده از تراز فشار صوت، با رنگ مناسب، نقشه رنگی محدوده بندی شده ترسیم نمایید. این محدوده‌ها به شرح زیر است.:

۱- محدوده ایمن(SPL < 65 dBA) با رنگ سفید یا سبز و یا کد S[1]

۲ - محدوده احتیاط (65 ≤ SPL < 85 dBA) با رنگ زرد یا کد C[1]

1 - Safe

۳ - محدوده خطر (SPL ≥ 85 dBA) با رنگ قرمز یا کد D[۲]

توضیح اینکه مرز محدوده خطر بر اساس طول زمان مواجهه کارگر با صدا در هر شیفت تعیین می‌گردد که در اینجا برای ۸ ساعت کار آمده است. لذا در صورتی که کارگران مواجهه طولانی‌تری داشته باشند این حد به‌طور متناسب کاهش خواهد یافت. پس از تعیین محدوده خطر لازم است تعداد و درصد کارگران در معرض خطر و دستگاه‌های مهم که منابع اصلی انتشار صدای زیان‌آور هستند را مشخص و در فرم مربوطه درج نمایید..

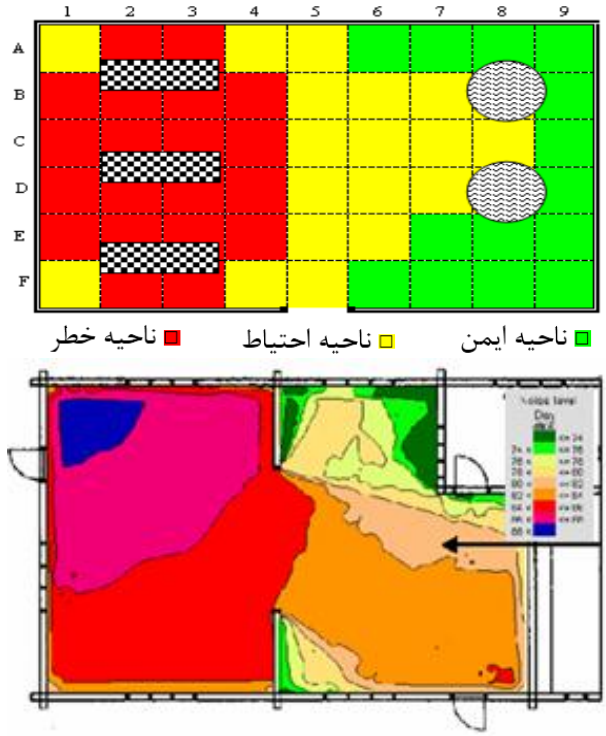
نقشه صوتی می‌تواند به‌صورت دستی یا با استفاده از نرم‌افزارهای گرافیکی ترسیم گردد. بر روی نقشه مذکور باید منابع اصلی مولد صدا ترسیم گردد. حاصل کار نقشه ناحیه بندی شده کارگاه معمولاً با رنگ مشخص می‌شود که در آن نواحی ایمن، احتیاط و خطر مشخص شده است.کاربرد این روش تعیین درصد و محل محدودهای خطر و تعیین تعداد و درصد کارگران مشغول کار در این نواحی می‌باشد. برای کنترل مواجهه کارگران، باید توقف یا تردد در نواحی خطر محدود و بررسی‌های جامع و دقیقی در این محدوده‌ها انجام گردد. در شکل (۷) دو نقشه ساده و پیشرفته ناحیه بندی صدا نشان داده شده است.

یکی دیگر از راه‌های نشان دادن نتایج اندازه‌گیری در این روش استفاده از فنون آماری است. به‌طور مثال تعیین و ترسیم درصدهایی از ایستگاه‌ها که از تراز ۸۵ دسی‌بل بالاتر هستند یا تعداد کارگرانی که در محدوده خطر مشغول کار می‌باشند. بیان دامنه حداقل و حداکثر تراز فشار صوت در ایستگاه‌های اندازه‌گیری و تحلیل آن‌ها نیز مؤثر خواهد بود. به‌کارگیری هر روشی برای انجام عملیات آماری دیگر مانند میانگین‌گیری به علت یکسان نبودن ارزش مقادیر اندازه‌گیری شده صدا در هر یک از ایستگاه‌ها مجاز نیست و ارزش علمی ندارد.

2 - Caution
3 - Danger

روش تهیه نقشه صوتی[1]

نقشه صوتی یا ایزو سونیک[2] یکی از روش‌های متداول ترسیمی در بیان و تحلیل گرافیکی آلودگی صدای محیط کار و محیط زیست است. در این روش با مشخصاتی که در روش شبکه‌ای و ترسیم نقشه‌های ناحیه‌بندی گفته شد، داده‌های اندازه‌گیری شده تراز فشار صوت در یک محیط گرافیکی و محاسباتی مانند SURFER یا ArcGIS وارد می‌گردد. نرم‌افزار بر اساس نیاز کاربر عملیات درون‌یابی را بر روی داده‌های انجام می‌دهد و در نهایت امکان دریافت لایه‌های گرافیکی دو بعدی یا سه بعدی به‌صورت محدوده بندی شده یا نقشه خطوط هم‌تراز یا کانتر[3] وجود خواهد داشت. این لایه‌های گرافیکی همانند شکل (۷) نقشه‌های محدوده‌های تراز فشار صوت را نشان می‌دهد.



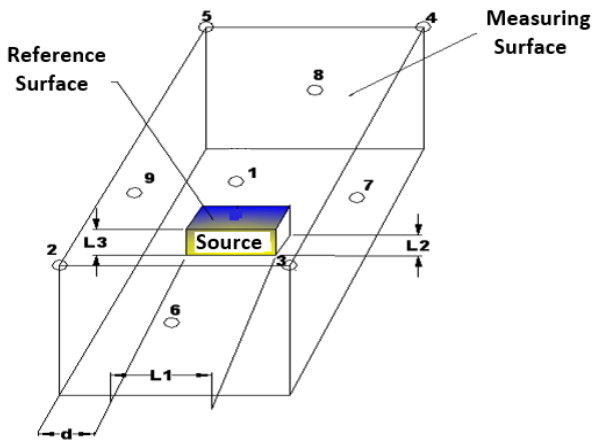
شکل(۷)، نمونه‌هایی از نقشه ناحیه‌بندی صدای داخل کارگاه‌ها

1 - Noise Mapping
2 - Isosonic
1 - Contour

اندازه‌گیری صدا برای تعیین تراز نشری صدای یک منبع خاص

طبق استاندارد سری ISO 3741 تا ISO 3747 روش‌های متنوعی برای اندازه‌گیری و تعیین تراز توان منابع در شرایط محیطی مختلف ارائه شده است. با توجه به اهداف اندازه‌گیری و انتشار صدا در محیط های نیمه‌باز آوا که شامل محیط های واقعی شغلی است، در اینجا فقط به معرفی ISO 3746 بسنده می‌شود.

توان صوت دستگاه به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر نشان دهنده ویژگی صوتی منابع صدا، بر اساس روش محاسباتی فشار صوت مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO 3746 برآورد می‌گردد. بدین ترتیب که ابتدا تراز فشار صوت فرکانس‌های مرکزی شبکه A در ۹ ناحیه فضایی از اطراف منبع صوتی مورد نظر(ناحیه فضایی که منبع در آن قرار دارد) اندازه‌گیری شد. محل‌های اصلی این ۹ ناحیه فضایی و سطوح اندازه‌گیری در شکل (۸) نشان داده شده است. محل ایستگاه‌ها لازم است ۰/۵تا یک متر از بدنه منبع فاصله داشته باشد.



شکل (۸) نقاط اندازه‌گیری تراز فشار صوت در اطراف منبع مورد نظر

بر اساس توصیه استاندارد، عامل‌های تصحیح صدای زمینه و محیط آکوستیکی محل اندازه‌گیری محاسبه گردد و در نهایت با استفاده از روابط زیر تراز توان صوت دمنده در شبکه خطی و فرکانس غالب محاسبه گردد. مراحل محاسبات تراز توان صوت به‌صورت زیر می‌باشد:

الف – محاسبه میانگین لگاریتمی ترازهای فشار صوت فضای اطراف منبع

$$LP_{av} = 10\log\left[\frac{1}{n}\times\sum_{i=1}^{n}10^{LP_i/10}\right]$$

ب- محاسبه فاکتور تصحیح محیط K_r

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

S_m: *مساحت سطح اندازه‌گیری*

S_0: *مساحت کل سطوح داخلی بنا*

ج- محاسبه تراز توان منبع صوتی مورد نظر:

$$L_w = L_{p,av} + 10\log_{10}\left(\frac{S_m}{S_{ref}}\right) - K_r - 0.$$

اندازه‌گیری موضعی به منظور ارزیابی مواجهه کارگر

در اندازه‌گیری به‌منظور تعیین حدود مواجهه کارگر، باید در نظر داشت که اندازه‌گیری صرفاً در محل‌های توقف یا تردد کارگر و در ناحیه شنوایی وی انجام گردد. ارزیابی مواجهه کارگر با صدا مستلزم اندازه‌گیری تراز فشار صوت در مقیاس A و تعیین مدت زمان مواجهه برای هر کارگر به‌طور مجزا می‌باشد.

نکات کلیدی

۱- کسب اطلاعات لازم از چگونگی مواجهه از نظر طول هر بار مواجهه با صدا، الگو و تناوب آن از جهت نوع صدا شامل پیوسته یا کوبه‌ای و سایر اطلاعات محیطی مرتبط با کارگر.

۲- تعیین ایستگاه یا ایستگاه‌های اندازه‌گیری: برای این کار ترجیحاً محل استقرار یا محل‌های توقف کارگر تعیین و به‌عنوان ایستگاه اندازه‌گیری ثبت می‌شود و در همان ایستگاه‌ها در منطقه شنوایی کارگر بدون مزاحمت برای کار وی اندازه‌گیری صورت گیرد.

۳- قبل از انجام اندازه‌گیری الگوی کاری کارگر را روی کاغذ ثبت نمایید تا تعداد و مدت اندازه‌گیری‌ها از قبل معلوم باشد.

۴- دستگاه باید کالیبره شده باشد و روی شبکه وزنی A و سرعت پاسخ Slow تنظیم شود.

۵- میکروفن در حالت Frontal و کاملاً افقی در ارتفاع محدوده شنوایی کارگر رو به منبع صدا همان‌گونه که کارگر قرار گرفته تنظیم شود. میکروفن نباید لرزش داشته باشد و بهتر است دستگاه ترازسنج روی سه‌پایه نصب شود.

۶- هنگام اندازه‌گیری فعالیت غیر معمولی توسط کارگر انجام نشود. و هنگام اندازه‌گیری با کارگر صحبت نکنید.

۷- توصیه می‌شود که دستگاه در حالت اندازه‌گیری تراز معادل L_{eq} به مدت دست‌کم یک دقیقه تنظیم شود. البته تعیین این مدت بسته به تغییرات صدا می‌تواند طولانی‌تر باشد تا حدی که از صحت نتایج اطمینان حاصل نمایید. برای اندازه‌گیری بعدی باید دستگاه ری‌ست (reset) شود.

۸- تلفیق ترازهای صوتی مواجهه با مدت‌های مواجهه به‌طوری انجام شود که بتوانید با استفاده از تراز معادل، TWA یا دز در خصوص مواجهه کارگر اظهار نظر نمایید. هیچ ابهامی نباید وجود داشته باشد.

۹- نتایج را در فرم مربوطه ثبت و با حدود مواجهه مجاز OEL مقایسه نمایید و به قاطعیت تعیین نمایید که: مواجهه کارگر با صدا در حد مجاز است یا بیش از حد مجاز.

۱۰- برای مقاصد تشخیصی لازم است در ایستگاه‌ها یا حالاتی که تراز فشار صوت از حد مجاز بالاتر است، آنالیز فرکانس در شبکه C و A انجام دهید. این کار برای تعیین فرکانس غالب لازم است و برای تعیین حفاظ شنوایی نیز کاربرد دارد.

یادآوری می‌گردد که هر ارزیابی مخصوص یک کارگر است و در صورت مشابهت در مواجهه بایستی برای هر کارگر میزان مواجهه معلوم گردد. با توجه به متنوع بودن شرایط کار کارگران، بر اساس نحوه مواجهه و نوع صدای محیط، روش‌های اجرایی مختلفی برای اندازه‌گیری و ارزیابی پیشنهاد می‌گردد. برای تعیین میزان مواجهه کارگر با صدا، با توجه به اینکه حالات متنوعی قابل تصور می‌باشد، کارشناس ابتدا باید با اطلاعاتی که قبلاً گردآوری نموده است الگوی مواجهه کلی کارگر در یک شیفت را معلوم نماید و بر اساس تشخیص الگوی کلی از یکی از روش‌های زیر برای اندازه‌گیری و ارزیابی میزان مواجهه

استفاده نماید. در این الگوریتم بین کارگری که فقط با صدای یک منبع صوتی با کارگری که با منابع متعدد مواجهه دارد تفاوتی وجود ندارد. نکته مهمی که باید مد نظر قرار گیرد این است که نبایستی در زمان اندازه‌گیری صدا تغییری در وضعیت و شرایط کار، منابع صوتی یا محل استقرار کارگر ایجاد شود:

۱- 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 $\overline{LP}$ میانگین لگاریتمی تراز فشار صوت مواجهه کارگر را محاسبه و ثبت نمود. اظهار نظر نهایی با عنایت به مدت زمان مواجهه کلی، می‌تواند با مقایسه با جدول حدود مجاز یا از طریق محاسبه دز دریافتی یا تراز معادل انجام می‌گردد. محاسبه تراز معادل ۸ ساعته یا دز صدای دریافتی با توجه میانگین تراز مواجهه محاسبه شده و مدت زمان مواجهه انجام می‌گردد.

۲- اگر کارگر با ترازهای فشار صوت معین و متفاوت در زمان‌های مختلف (و مشخص) مواجهه داشته باشد، برای هر دوره مواجهه یک بار اندازه‌گیری صدا انجام می‌گردد و آنگاه با استفاده از روابط مربوط به تراز معادل و دز می‌توان مقادیر را به یک شاخص واحد تبدیل نمود این شاخص به راحتی با مقادیر مجاز قابل مقایسه خواهد بود.

۳- اگر کارگر در یک یا چند ایستگاه کاری در زمان‌های نامشخص با ترازهای فشار صوت متفاوت مواجهه داشته باشد تنها راه اندازه‌گیری قابل اعتماد، دزیمتری صدا توسط دستگاه دزیمتر است. اندازه‌گیری طولانی مدت توسط دستگاهی که توانایی انجام محاسبات در حالت L_{eq} را داشته باشد نیز می‌تواند جایگزین این روش گردد.

۴- 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 دز یا تراز معادل تبدیل نمود و در این مرحله به‌راحتی قابل مقایسه با مقادیر مجاز می‌باشد.

اندازه‌گیری مواجهه کارگر با صدای کوبه‌ای و ضربه‌ای

در گذشته برای اندازه‌گیری و ارزیابی صدای کوبه‌ای روش‌های متنوعی از جمله ارتباط تراز فشار صوت با تعداد ضربه‌ها، به‌کار 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 ۱۴۰ dBC 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 دز 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.

روش اندازه‌گیری صدا در محیط‌های روباز

تراز فشار صوت ناشی از منابع مختلف را می‌توان در هر فاصله از منبع صوتی اندازه‌گیری نمود. این تراز توسط دستگاه ترازسنج صوت به‌صورت مقادیر لحظه‌ای نشان داده می‌شود. بر اساس هدف اندازه‌گیری برای دوره‌های کوتاه مدت یا بلند مدت امکان اندازه‌گیری تراز فشار صوت وجود دارد. اصول اندازه‌گیری صدا در مباحث قبلی آمده است و بایستی برای محیط‌های باز نیز رعایت گردد اما در محیط‌های باز محدودیت‌های ویژه‌ای نیز وجود دارد که در اندازه‌گیری باید رعایت شود. مهم‌ترین آن‌ها شامل موارد زیر است:

۱- میکروفن باید بدون زاویه نسبت به منبع و در مقابل آن قرار گیرد.

۲- ارتفاع قرارگیری میکروفن همان ارتفاع مورد نظر در ارزیابی باشد.

۳- برای حذف اثر جریان هوا روی سطح میکروفن، باید از محافظ اسفنجی[1] استفاده شود.
۴- از ایستادن در جلو میکروفن یا مکالمه در کنار آن اجتناب گردد.
۵- ترازسنج صوت روی شبکه توزین فرکانس A و سرعت Slow تنظیم شود.
۶- از انجام اعمالی که منجر به جلب توجه عابرین یا راکبین گردد اجتناب شود. زیرا این عامل اندازه‌گیری را دچار اشکال می‌کند.
۷- ترازسنج صوت مورد استفاده باید بتواند تراز معادل و تراز آماری برای دوره زمانی اندازه‌گیری را محاسبه نماید. در غیر این صورت باید تمهیدات لازم برای ثبت مقادیر اندیشیده شود (هرچند که اعتبار بالایی نخواهد داشت).
۸- در صورتی که اندازه‌گیری بلند مدت مد نظر باشد باید دستگاه ترازسنج به منبع دائمی برق متصل باشد یا تدابیر لازم برای انجام اندازه‌گیری در دوره‌های شاخص برای تعمیم به کل دوره زمانی مورد نظر به عمل آید تا مقادیر به تراز معادل کلی به یک تراز برای دوره زمانی(مثلاً ۱۵ ساعته) تبدیل گردد. به‌هرحال نتایج بایستی دربرگیرنده تمام وضعیت‌ها باشد.

آنالیز فرکانس صدا

آنالیز فرکانس صوتی با ترتیبات و شرایطی که قبلاً گفته شده است می‌تواند برای هر ایستگاه انجام گردد. آنالیز فرکانس اغلب برای ایستگاه‌هایی انجام می‌گردد که تراز فشار صوت در آن‌ها نگران کننده باشد. در بررسی محیطی صدا نیازی به آنالیز فرکانس نیست، اما در ایستگاه‌هایی به‌دلیل اهمیت مکانی یا بالا بودن تراز فشار صوت یا توقف کارگر به تشخیص کارشناس آنالیز انجام می‌گردد. در بررسی‌های معمولی اغلب انجام آنالیز فرکانس در یک اکتاوباند کفایت می‌کند و آنالیز یک سوم اکتاوباند برای اهداف پژوهشی یا برای ایستگاه‌های دارای اهمیت زیاد است که باید در آن‌ها کنترل صدا صورت گیرد. در بررسی صدا برای تعیین میزان مواجهه کارگر بهتر است همیشه در حالت معمول کاری، حداقل

1- Wind Screen

یک نتیجه آنالیز فرکانس به همراه اندازه‌گیری کلی صدا انجام و پس از ارزیابی در پرونده کارگر ثبت شود. پرونده‌هایی که دارای ادیومتری دوره‌ای هستند الزاماً بایستی حاوی اطلاعات مربوط به مواجهه کارگر با صدا نیز باشند تا بتوان با مقایسه آن‌ها بر روند حفظ سلامت کارگر نظارت داشت. به‌طور کلی آنالیز فرکانس برای مقاصد زیر انجام می‌گردد:

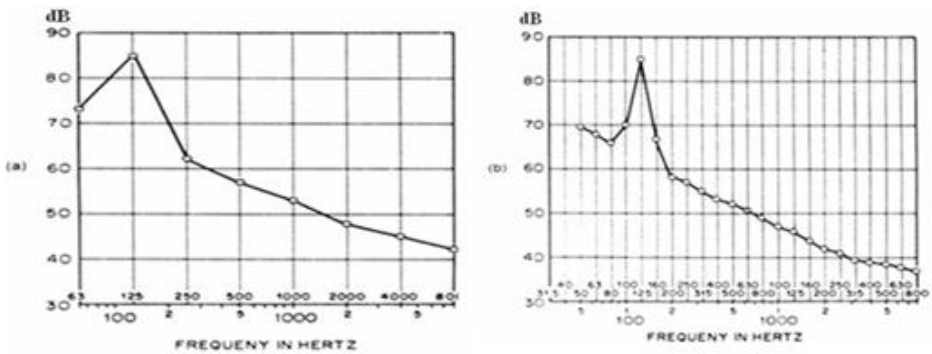
۱- مطالعه محیطی و مواجهه فردی با صدا برای تعیین ماهیت توزیع آن در فرکانس‌ها و ارزیابی آن برای تعیین روش‌های کنترل فنی.

۲- مطالعه صدا در محل توقف کارگر یا پست کاری وی برای تعیین توزیع تراز فشار صوت در فرکانس‌ها برای ارزیابی دقیق مواجهه و برآورد صدمات احتمالی برای برنامه‌ریزی پایش و کنترل مدیریتی.

۳- آنالیز فرکانس به‌منظور انتخاب وسیله حفاظت فردی. این هدف یکی از فراگیرترین کاربردهای آنالیز فرکانس صدا در محیط کار است. زیرا نوع حفاظ شنوایی باید منطبق بر آنالیز فرکانس صدا باشد. تفصیل این موضوع در انتهای فصل هفتم آمده است.

آنالیز فرکانس می‌تواند در هر یک از شبکه‌های توزین فرکانس انجام شود، اما توصیه شده است که در شبکه C انجام گردد. دلیل مهم آن عکس‌العمل گوش به صدا در پهنه فرکانسی در ترازهای بیش از ۸۵ دسی‌بل است. دلیل دیگر نشان دادن ماهیت واقعی صدا با توزین ضعیف است. در هر حال برای هر ایستگاه طبق فرم‌های پیشنهادی که در پایان این فصل آمده است باید همراه با آنالیز فرکانس، اندازه‌گیری تراز کلی صدا در شبکه A برای تعیین میزان مواجهه کلی و شبکه C برای اطمینان از صحت آنالیز فرکانس انجام و در برگه ثبت شود. در پایان کار باید صحت اندازه‌گیری آزمون شود. با انجام جمع لگاریتمی ترازهای فشار صوت در فرکانس‌های مرکزی باید به عددی برسید که نزدیک به تراز فشار صوت کلی اندازه‌گیری شده در همان ایستگاه و در همان شبکه توزین است. برای مثال اگر آنالیز فرکانس در یک اکتاوباند و در شبکه C انجام شده باشد، نتیجه جمع لگاریتمی باید نزدیک به تراز کلی صدا در همان ایستگاه و در شبکه C باشد در غیر این صورت یکی از اندازه‌گیری‌ها یا هردوی آن‌ها از اعتبار ساقط است.

اگرچه آنالیز فرکانس یک اکتاوبند کافی به‌نظر می‌رسد اما در بررسی‌های دقیق برای تعیین توزیع واقعی‌تر تراز فشار صوت در پهنه فرکانسی، در صورت قابلیت دستگاه اندازه‌گیری در یک سوم و حتی یک دهم نیز امکان آنالیز فرکانس وجود دارد. از نظر تجاری ترازسنج‌های صوت گروه یک و گروه دو دارای قابلیت آنالیز می‌باشند و نوع یک اغلب در یک یا یک سوم اکتاو باند قابلیت تجزیه صوت را دارد. بدیهی است که دقت در آنالیز تشخیص را آسان می‌کند اما در انواعی از ترازسنج‌ها که آنالیز را به‌صورت دستی یا مرحله به مرحله انجام می‌دهند زمان بیشتری باید صرف شود. در انتخاب دستگاه‌های ترازسنج ارجحیت با آن‌هایی است که می‌توانند به‌طور هم‌زمان با اندازه‌گیری تراز کلی، آنالیز فرکانس را نیز انجام دهد اما این توصیه نباید کیفیت و دقت اندازه‌گیری را تحت‌الشعاع قرار دهد. نمودارهای شکل (۹) تفاوت دقت این دو مبنا را برای یک ایستگاه نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که در هر دو نمودار فرکانس غالب[1] ۱۲۵ هرتز می‌باشد.



شکل (۹) مقایسه نتایج آنالیز فرکانس یک اکتاو باند (a) و یک سوم اکتاوباند (b)

استانداردها و حدود مجاز مواجهه شغلی با صدا

در این قسمت تأکید بر استانداردهای ISO و حدود مجاز مواجهه شغلی OEL ایران می‌باشد مبنای کاربرد دستگاه‌ها است یا اصول کلی اندازه‌گیری صدای شغلی را بیان

2 - Dominant frequency

نموده‌اند. مهم‌ترین کدهای مرتبط سازمان بین‌المللی استاندارد ISO شامل ISO 1999 و ISO 9612 می‌باشد که مفاد آن‌ها در متن OEL آورده شده است.

در کتاب حدود مجاز مواجهه شغلی ایران OEL برای صدای پیوسته و کوبه‌ای یک الگوی واحد برای ارزیابی مورد پذیرش قرار گرفته است. اصولاً در بیان حد مجاز صدا یک تراز معین در مقیاس A برای ۸ ساعت کار روزانه و ۴۰ ساعت کار هفتگی (و ۴۴ ساعت کار هفتگی در ایران) اعلام گردیده و حد سقفی برای مواجهه نیز آستانه دردناکی یا ۱۴۰ دسی‌بل اعلام‌شده است. در صورتی که کارگر بیش از تراز مجاز مواجهه داشته باشد زمان مجاز مواجهه وی باید کاهش یابد. به‌طور قراردادی به ازای افزایش ۳ یا ۵ دسی‌بل تراز فشار صوت مدت زمان مجاز مواجهه نصف می‌گردد. این شیوه را تحت عنوان قاعده ۳ یا ۵ دسی‌بل می‌نامند۱. بر این اساس سازمان‌ها و کشورهای مختلف از الگوهای متفاوتی پیروی می‌کنند. مقادیر الزامی مواجهه با صدا و حد مراقبت نیز مورد توجه OEL قرار گرفته و در جدول (۵) آمده است. در ایران بر اساس مصوب کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور، تراز فشار صوت مجاز برای ۸ ساعت کار روزانه، ۸۵ دسی‌بل با قاعده ۳ دسی‌بل است. بر اساس این حد مجاز، زمان مجاز مواجهه با صدا از طریق رابطه زیر نیز تعیین می‌شود:

$$t_a(hr) = \frac{8}{2^{\left\lfloor \frac{SPL-85}{3} \right\rfloor}}$$

t_a : مدت زمان مجاز مواجهه روزانه (hr)

SPL : تراز فشار صوت (dB)

در رابطه فوق در صورتی که کارگر فقط یک مواجهه داشته باشد یا مواجهه‌های متعدد آن به تراز معادل ۸ ساعته تبدیل شده باشد مستقیماً قابل استفاده است ولی در صورتی که مبنای محاسبه تراز معادل ۸ ساعته نباشد زمان مبنا که معمولاً جمع کل زمان‌های مواجهه است به جای عدد ۸ در صورت کسر قرار می‌گیرد. در صورتی که زمان موظف مواجهه کارگر معلوم باشد، با استفاده از رابطه زیر که مبتنی بر حد مجاز مواجهه ایران است، می‌توان تراز فشار صوت مجاز را تعیین نمود:

---

2 - 3 or 5 dB Rule

$$LP_a(dB) = 94 - 10\log T$$

T :زمان موظف مواجهه با صدا به ساعت

Lp_a : تراز فشار صوت مجاز برای مدت زمان موظف مواجهه (dB)

مثال: زمان مجاز مواجهه برای کارگری که با تراز فشار صوت 88 dBA مواجهه دارد چند ساعت است؟

$$t_a = \frac{8}{2^{\left[\frac{88-85}{3}\right]}} = 4h$$

مثال: اگر کارگری موظف به توقف و کار در محلی به مدت ۶ ساعت باشد، تراز فشار صوت مجاز را برای وی محاسبه کنید.

$$LP_a = 94 - 10\log 6 = 86.2dBA$$

حد مراقبت صدا

منظور از حد مراقبت[1] یا حد اقدام، مقادیری است که باید مراقبت‌های پیشگیرانه و احتیاطی در مواجهه با عامل زیان‌آور شروع گردد. این مراقبت‌ها شامل تدابیر مدیریتی، پزشکی، فنی و حفاظت فردی می‌باشد تا از صدمات ناشی از مواجهه افراد حساس و مواجهه‌های توأم با عوامل تشدید کننده جلوگیری شود. اعداد ذکر شده در این کتابچه تعیین‌کننده حد مجاز مواجهه شغلی با یک عامل فیزیکی به تنهایی است و در صورتی که فرد به طور همزمان با سایر عوامل فیزیکی یا حتی شیمیایی تشدیدکننده اثرات این عوامل مواجهه داشته باشد، حد مجاز به حد مراقبت (اقدام) کاهش پیدا می‌کند و مسئولین ذی‌ربط باید بررسی‌های متناسبی برای پیشگیری از اثرات توأم، تا اطمینان از حفظ سلامت شاغلین به عمل آورند.

حد مراقبت صدا برای شروع برنامه حفاظت شنوایی HCP[2] برای ۸ ساعت کار روزانه برابر با ۸۲dBA تعیین شده است. اجرای برنامه حفاظت شنوایی با در نظر گرفتن کلیه

1 - Action Level
2 - Hearing Conservation Program

عوامل مؤثر شامل اندازه‌گیری و ارزیابی مدوام مواجهه کارگر، استفاده از وسایل حفاظت شنوایی، آموزش و نظارت کافی بر کارگران و آزمایش شنوایی سنجی در مواقعی که شاغلین در مواجهه با صدای بیش از حد مراقبت قرار دارند، ضروری است.

تذکر ضروری: هرگونه تغییر در فرآیند کار یا استفاده از تجهیزاتی که بتواند بر ماهیت مواجهه کارگران با ارتعاش مؤثر باشد، مستلزم اندازه‌گیری و ارزیابی مجدد ارتعاش خواهد بود.

جدول (۵) حدود مجاز مواجهه (OEL) و حد مراقبت(اقدام) مواجهه شغلی با صدا *

مدت مواجهه در روز	حد مجاز تراز معادل فشار صوت به SPL-TWA dB(A)** (فشار مبنا ۲۰ میکروپاسکال)	حد مراقبت (اقدام) تراز معادل فشار صوت به SPL-TWA dB(A)** (فشار مبنا ۲۰ میکروپاسکال)
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 دقیقه$^{\Delta}$	۱۰۳	۱۰۰
۳/۷۵ دقیقه$^{\Delta}$	۱۰۶	۱۰۳
۱/۸۸ دقیقه$^{\Delta}$	۱۰۹	۱۰۶
۰/۹۴ دقیقه$^{\Delta}$	۱۱۲	۱۰۹
۲۸/۱۲ ثانیه$^{\Delta}$	۱۱۵	۱۱۲
۱۴/۰۶ ثانیه$^{\Delta}$	۱۱۸	۱۱۵
۷/۰۳ ثانیه$^{\Delta}$	۱۲۱	۱۱۸
۳/۵۲ ثانیه$^{\Delta}$	۱۲۴	۱۲۱
۱/۷۶ ثانیه$^{\Delta}$	۱۲۷	۱۲۴
۰/۸۸ ثانیه$^{\Delta}$	۱۳۰	۱۲۷
۰/۴۴ ثانیه$^{\Delta}$	۱۳۳	۱۳۰
۰/۲۲ ثانیه$^{\Delta}$	۱۳۶	۱۳۳
۰/۱۱ ثانیه$^{\Delta}$	۱۳۹	۱۳۶

حد مجاز صدا برای شاغلین دارای فعالیت‌های دفتری

برای شاغلینی که در محیط‌های صنعتی یا مشاغل دیگر دارای فعالیت فکری می‌باشند، همانند اپراتورهای اتاق کنترل یا متصدیان امور بانکی و سایر مشاغل دفتری[1]، هر چند حدود مجاز در این مبحث برای پیشگیری از عوارض شنوایی برای آنها به تمامی مرجعیت دارد و رعایت آن اجباری می‌باشد، لیکن با توجه به فعالیت فکری آنان برای تأمین آسایش صوتی، سلامت روحی- روانی و حفظ عملکرد ذهنی آنان، حد آسایش صوتی OEL برای مواجهه ۸ ساعته ۷۰ dB(A) در حین انجام فعالیت شغلی تعیین گردیده است.

دزیمتری

قابل اعتمادترین روش برای اندازه‌گیری و ارزیابی مواجهه کارگر، دزیمتری است زیرا در تمام طول شیفت دستگاه دزیمتر به همراه کارگر مواجهه واقعی وی را اندازه‌گیری نموده و در پایان شیفت دز دریافتی صدا را نشان می‌دهد. جهت اندازه‌گیری ابتدا دزیمتر را کالیبره نموده و با استاندارد مورد قبول تنظیم می‌نمایند سپس آن را به کمر کارگر و میکروفن آن را به یقه وی نصب نموده، در پایان شیفت می‌توان با توجه به کارایی دزیمتر مقادیر دز یا تراز معادل مواجهه ۸ ساعته و یا سایر پارامترهای پیش‌بینی شده در دستگاه را قرائت و ثبت نمود. آنچه که در هنگام استفاده از دزیمترها باید مورد توجه قرار گیرد، علاوه بر کالیبراسیون، مبنای محاسبات دز توسط دستگاه است. زیرا الزاماً این مبنا باید با حد مجاز مواجهه کشوری مطابقت نماید. دز صدا عبارت است از نسبت مدت زمان شیفت موظف کاری در شرایط مواجهه به مدت زمان مجاز مواجهه ضربدر یکصد. لذا اگر کارگری در محدوده مجاز کار کند دز دریافتی وی کمتر یا مساوی صد در صد است:

$$Dose(\%) = \frac{t_i}{t_a} \times 100$$

t_i : مدت زمان مواجهه با صدا (ساعت)

t_a : مدت زمان مجاز مواجهه با توجه به تراز فشار صوت محیط (ساعت)

1 - Office Workers

فرمول کلی محاسبه دز صدا با توجه به حد مجاز مواجهه ایران(OEL) به‌قرار زیر است:

$$D(\%) = 12.5\sum_{i=1}^{n} t_i \, anti\log\left(\frac{SPL_i - 85}{10}\right)$$

مثال: کارگری ۲ ساعت با تراز فشار ۹۰ و ۶ ساعت با تراز ۸۶ دسی‌بل مواجهه دارد. با توجه به OEL ایران دز دریافتی وی را حساب کنید.

$$Dose = 12.5 \times \left[\left(2 \times anti\log\frac{(90-85)}{10}\right) + \left(6 \times anti\log\frac{(86-85)}{10}\right)\right] = 173.4\%$$

در صورتی که کارگر فقط با یک تراز فشار صوت در زمان مشخصی مواجهه داشته باشد محاسبه با استفاده از رابطه زیر خواهد بود:

$$D(\%) = 12.5t \times anti\log\left(\frac{SPL - 85}{10}\right)$$

t : زمان مواجهه با صدا به ساعت

مثال: کارگری با صدای یکنواخت برابر با 93dBA در مدت ۶ ساعت مواجهه دارد. دز دریافتی او را با توجه به حد مجاز کشوری حساب کنید.

$$Dose = 12.5 \times 6 \times anti\log\left(\frac{93-85}{10}\right) = 473\%$$

مثال: کارگری موظف به انجام کار در محیطی با تراز فشار صوت ۹۱dBA است، در صورتی که دز صد در صد مورد نظر باشد، مدت زمان مواجهه وی با استفاده از نموگرام چقدر است؟

جواب: ۲ ساعت

روش انجام دزیمتری

دزیمتری به دو روش طولانی مدت و کوتاه مدت قابل انجام می‌باشد. در روش طولانی مدت پس از آماده‌سازی دستگاه و اطمینان از کالیبراسیون و مبنای محاسبات، میکروفن دستگاه به یقه کارگر متصل می‌گردد و کابل آن از طریق پشت شانه به کمر در محل نصب دزیمتر روی کمربند هدایت و ثابت می‌شود. پس از اتمام شیفت کاری یا مدت مواجهه کارگر، قرائت دز صورت می‌گیرد. این روش هرچند بسیار دقیق و در صورت عدم مداخله مخرب قابلیت اطمینان بالایی در تعیین میزان مواجهه کارگر دارد، اما به دلیل طولانی

مدت بودن و صرف وقت زیاد برای تعداد کثیر کارگران مقرون به صرفه نیست. راه دیگر استفاده از روش دزیمتری کوتاه مدت است.

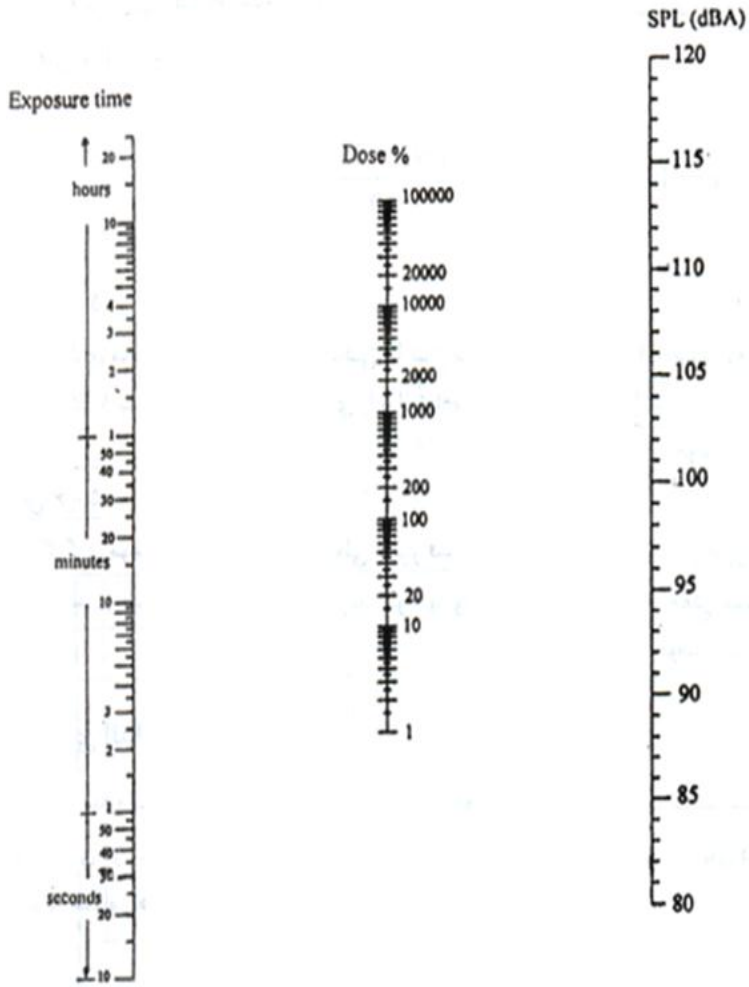
در روش دزیمتری کوتاه مدت در صورتی که الگوی مواجهه کارگر دارای تناوب معینی باشد در یک دوره کوتاه زمانی و حداقل ۱۵ دقیقه در هر بار مواجهه دزیمتری انجام می‌گردد و برای کل آن دوره دز دریافتی محاسبه می‌شود. بنا بر این بدون نیاز به دزیمتری طولانی مدت می‌توان در هر شیفت کاری برای چندین کارگر دزیمتری صدا انجام داد.

شکل (۱۰) نموگرام تعیین دز دریافتی با استفاده از تراز فشار صوت محیط و زمان مواجهه فرد در هر شیفت بر اساس استاندارد ایران است. با استفاده از این نموگرام می‌توان با داشتن دو مورد از سه کمیت: تراز فشار صوت، دز و زمان مواجهه کمیت سوم را مشخص نمود. این نموگرام می‌تواند در تعیین دز دریافتی، تعیین ساعت مجاز با توجه به تراز فشار صوت محیط مورد استفاده قرار گیرد.

نکات کلیدی در انجام دزیمتری صدا

۱. دزیمتر باید ابتدا کالیبره شود.
۲. دستگاه را روی شبکه فرکانس وزنی A و سرعت Slow تنظیم کنید.
۳. پایه محاسبات دزیمتری را تنظیم نمایید. برای این کار به دفترچه راهنمای وسیله مراجعه نمایید. این تنظیم برای ایران باید روی حد مجاز ۸۵ dBA و قاعده ۳ dB باشد. در اغلب دستگاه‌ها حد پایینی برای وارد نمودن مقادیر اندازه‌گیری شده در محاسبات دز تعریف شده است. این حد را روی ۷۰dBA تنظیم نمایید. دستگاه در این حالت مقادیر کمتر از ۷۰ دسی‌بل را که اهمیت چندانی در دزیمتری ندارد در محاسبات وارد نمی‌کند. از تنظیم این پایه محاسبات مطمئن شوید برای این کار اغلب لازم است دستگاه یک‌بار خاموش و روشن شود.
۴. در صورت نیاز پس از شروع کار دستگاه، روی صفحه کلید دستگاه را بپوشانید تا بعداً توسط کارگر دست‌کاری نشود. برای این کار از صفحه مخصوص، کیسه مخصوص یا چسب امضا شده استفاده نمایید.

۵. از نصب ایمن دستگاه روی کمر کارگر مطمئن شوید. کابل دستگاه را از پشت شانه عبور دهید. میکروفن را به‌صورت مطمئن روی یقه یا پاگون(سردوشی) نصب نمایید.
۶. در پایان هر دوره دزیمتری نتایج را در فرم مربوطه ثبت نمایید.



شکل (۱۰) نموگرام تخمین دز با استفاده از تراز فشار صوت و زمان مواجهه کارگر

راهنمای ثبت نتایج اندازه‌گیری و ارزیابی در سامانه مرکز سلامت محیط و کار

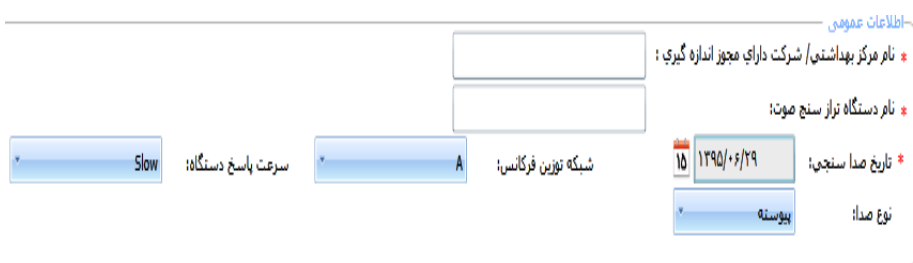
اهداف:

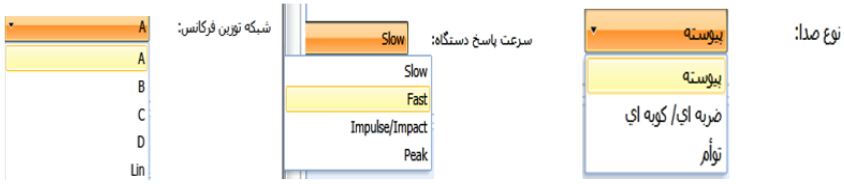
هدف از تکمیل این فرم در سامانه بازرسی مرکز سلامت محیط و کار اظهار نظر در خصوص وضعیت صدای کارگاه، با جمع‌آوری اطلاعاتی پیرامون میزان صدای محیطی و یا مواجهات فردی کارگر با صدا در کارگاه یا واحدهای کارگاهی و نیز مواردی که در نحوه توزیع و کیفیت صدا مؤثر می‌باشند است.

اطلاعات عمومی کارگاه:

در بالای فرم نام مرکز بهداشت شهرستان, نام مرکز بهداشتی درمانی شهری یا روستایی و یا آزمایشگاه یا هر مرجع صاحب صلاحیت(شرکت‌های خصوصی ارائه دهنده خدمات بهداشت حرفه‌ای) که اندازه‌گیری را انجام داده است ذکر می‌گردد.

در این قسمت نام دستگاه ترازسنج صوت مورد استفاده جهت صداسنجی و تاریخ صداسنجی ثبت می‌شود. شبکه توزین فرکانس مورد استفاده در دستگاه ترازسنج با توجه به هدف اندازه‌گیری و دستورالعمل‌های ارائه شده ثبت می‌گردد، به‌طور مثال شبکه A،... و نیز شبکه سرعت پاسخ انتخابی ترازسنج با توجه به اندازه‌گیری نوع صدای تولیدی درج می‌گردد مثلاً شبکه پاسخ slow جهت صداهای پیوسته یا موقعیت Impact/Impulse برای اندازه‌گیری اصوات ضربه‌ای یا کوبه‌ای به‌کار می‌رود. لازم به ذکر است که مبنای ارزیابی صدا و مقایسه با OEL ، شبکه پاسخ A خواهد بود

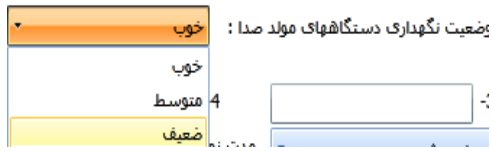


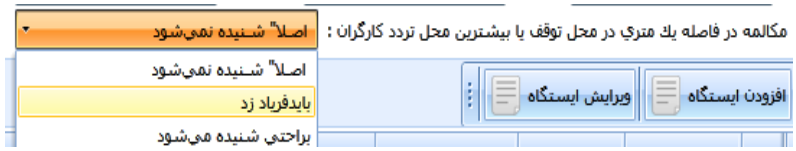


پس از تکمیل اطلاعات عمومی کارگاه با انتخاب کارگاه یا هریک از واحدهای تابعه با فشردن tab سنجش صدا وارد بخش اطلاعات اختصاصی واحدهای کارگاهی می‌شویم. در بالای این قسمت نام واحد و تعداد شاغلین واحد نمایش داده می‌شود.در ادامه مساحت واحد کارگاه برحسب مترمربع ثبت می‌شود.ثبت مساحت کارگاه می‌تواند فرد ارزیابی کننده را در تعیین تعداد ایستگاه‌های مورد نیاز جهت صداسنجی کمک نماید. در ادامه منابع اصلی مولد صدا در واحد (حداکثر ۴ منبع که بیشترین تأثیر را در صدای ایجاد شده دارند)در فرم درج می‌گردد.

وضعیت نگهداری دستگاه‌های مولد صدا در واحد به‌طور کلی از نظر تمیزکاری، روغن‌کاری، ثابت بودن ... با عبارات خوب، متوسط و ضعیف توصیف می‌شود.

در ادامه بازرس به کمک فرد دیگری (مثلاً کارگر واحد) به‌وسیله حس شنوایی خود میزان تداخل صدای کارگاه با مکالمه را در محل کار وی یا تردد کارگران در فاصله یک متری در داخل واحد کارگاهی با یکی از مؤلفه‌های به‌راحتی شنیده می‌شود، باید فریاد زد و یا اصلاً شنیده نمی‌شود تعیین می‌کند. مدت زمان شیفت کاری کارگران واحد (به ساعت)گزینه دیگری است که باید ثبت گردد.



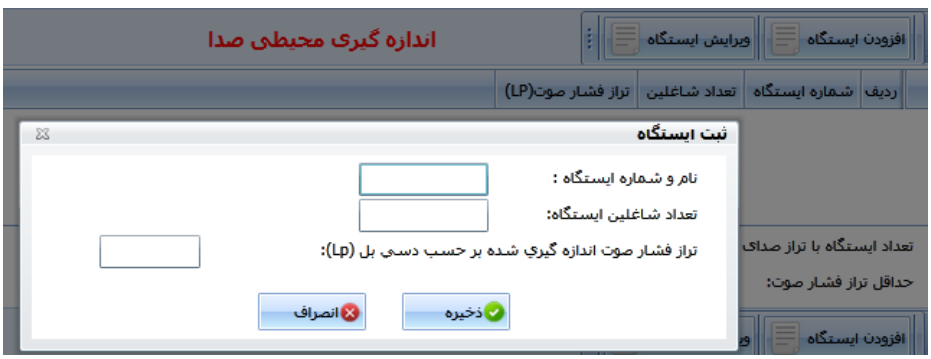


پیش از اقدام به اندازه‌گیری باید هدف کار معلوم گردد. برای دستیابی به هر هدف، روش و نحوه ارزیابی متفاوت می‌باشد. در سامانه طراحی شده امکان اندازه‌گیری شبکه‌ای یا محیطی توزیع تراز صدای محیط کار و اندازه‌گیری و ارزیابی مواجهه فردی کارگر با صدا پیش‌بینی شده است و لذا دستورالعمل ارائه شده در این مبحث نیز به‌منظور اندازه‌گیری و تعیین توزیع محیطی تراز صدا در سطح کارگاه و در مواقعی بررسی میزان مواجهه شاغل با توجه به میانگین زمانی مجاز مواجهه با صدای موجود در طی شیفت کاری در یک واحد کارگاهی می‌باشد.

اندازه‌گیری صدا به روش شبکه‌ای:

در این روش محل‌های استقرار کار گران 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 این جدول به‌منظور انعکاس نتایج سنجش تراز صدای محیطی کارگاه جهت تعیین توزیع تراز فشار صوتی(تراز فشار صوت لحظه‌ای (SPL_{rms}) در حالت تعادل تراز بر حسب dB (A) و سرعت پاسخ SLOW و محدوده‌های خطر در کارگاه‌ها به‌کار می‌رود. در این روش کارگاه با توجه به ابعاد و امکانات موجود به نواحی یکسانی تقسیم می‌شود که نقاط منتخب مورد صداسنجی قرار می‌گیرد و تراز صدای محیطی کارگاه اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مدنظر به‌صورت دامنه حداقل و حداکثری تراز فشار صوت واحد بیان می‌گردد که در این فرم، جدول نتایج جهت ثبت صداسنجی برای حداکثر ۶۰ ایستگاه در هر واحد کارگاهی پیش‌بینی شده است. در این روش کارگاه به صورت شبکه‌ای منظم به نواحی شطرنجی با ابعاد یکسان تقسیم‌بندی شده و مرکز هر خانه یک ایستگاه اندازه‌گیری می‌باشد. طبعاً هر چه مساحت کارگاه بزرگ‌تر باشد تعداد این خانه‌ها بیشتر خواهد بود. هر چند زیاد بودن تعداد خانه‌ها برای حصول به نتیجه مطلوب‌تر است ولی امکانات و نفرات و زمان نیز دارای محدودیت می‌باشد. لذا می‌توان برای کارگاه‌ها با توجه به مساحت و امکانات تعداد معین و محدودی ایستگاه انتخاب نمود. در این شیوه، کارگاه‌های تا یکصد مترمربع را به خانه‌ها با ابعادی حدود ۲ متر، کارگاه‌های وسیع‌تر را به خانه‌ها با ابعاد حداکثر ۵ متر و کارگاه‌های بیش از یک هزار مترمربع مساحت را که اغلب دارای منابع صوتی بزرگ هستند به خانه‌ها با ابعاد ۱۰ متر تقسیم‌بندی می‌شود.



اندازه‌گیری مواجهات فردی با صدا:

این جدول به‌منظور ثبت نتایج حاصل از موارد صداسنجی جهت تعیین سطح مواجهات فردی کارگر با صدا استفاده می‌گردد.این جدول زمانی تکمیل می‌شود که در ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در جدول قبلی (به روش شبکه‌ای منظم) مقادیری در حد ۸۵ دسی‌بل و بالاتر مشاهده می‌شود و یا ابعاد کارگاه به اندازه‌ای کوچک است که اندازه‌گیری به روش شبکه‌ای و ایستگاه بندی میسور نمی‌باشد. اندازه‌گیری در محل استقرار کارگر و توقف یا تردد وی بسته به چگونگی مواجهه و مدت‌زمان مواجهه یا تناوب و استمرار تماس با صدا توسط ترازسنج صوت صورت می‌گیرد. درصورتی‌که کارگر در طول شیفت کاری با صدای یکنواخت مواجهه داشته باشد و یا کارگر با ترازهای فشار صوت معین و متفاوت در زمان‌های مختلف (و مشخص) مواجهه داشته باشد مقادیر تراز صدای اندازه‌گیری شده و مجموع زمان مواجهه به تراز معادل یا دز دریافتی تبدیل و با مقادیر ساعات مجاز مواجهه مقایسه گردد . اگر کارگر در یک یا چند ایستگاه کاری در زمان‌های نامشخص با ترازهای فشار صوت متفاوت مواجهه داشته باشد دز صدای دریافتی روزانه به روش دزیمتری و یا اندازه‌گیری طولانی مدت توسط دستگاهی که توانایی انجام محاسبات در حالت Leq را داشته باشد می‌توان محاسبه نمود.

- ابتدا نام یا شماره ایستگاه در محل مربوطه درج می‌گردد.
- سپس تعداد کارگران شاغل در محدوده ایستگاه ثبت می‌گردد. (این شاغلین دارای شرایط مشابهی از نظر مواجهه هستند)
- تراز معادل مواجهه ۸ ساعته پس از محاسبه برحسب دسی‌بل در قسمت مربوطه ثبت و با عدد ۸۵ دسی‌بل جهت اظهارنظر نهایی در خصوص مواجهه فردی کارگر مقایسه می‌گردد.
- تعداد شاغلین در معرض صدای بیش از حد مجاز با نظر کارشناس مربوطه ثبت می‌گردد.

در انتها کارشناس با فشردن Tab ذخیره، اطلاعات ایستگاه را ثبت می‌نماید.

در این فرایند با توجه به وسعت کارگاه و دستورالعمل‌های موجود در خصوص ایستگاه بندی، با فشردن Tab افزودن ایستگاه، مقادیر اندازه‌گیری شده برای سایر ایستگاه‌ها نیز ثبت و به همین شکل ذخیره می‌گردد.

در قسمت پایین بخش ثبت اطلاعات واحد کارگاهی بخشی به‌منظور ثبت اطلاعات مربوط به اقدامات کنترلی موجود یا انجام شده در بازدیدهای بعدی تعبیه شده است که مطابق شکل زیر تکمیل می‌گردد:

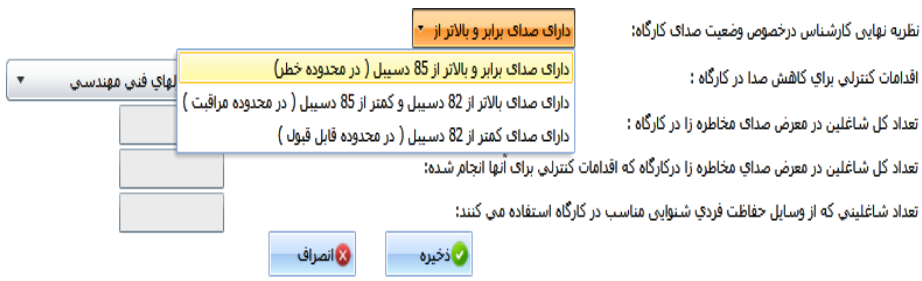
در صورتی که مواجهه شاغلین با صدای زیان‌آور کارگاه در بازدیدهای بعدی با انجام اقدامات فنی مهندسی و یا اقدامات مدیریتی و یا تلفیقی از روش‌های فوق کنترل و اصلاح گردیده است با نظر کارشناس گزینه مناسب انتخاب و تکمیل می‌گردد. در سطر پایین‌تر بازرس تعداد شاغلین واحد مربوطه را که در معرض صدای بیش از حد مجاز می‌باشند ثبت می‌نماید. دقت گردد که جهت تکمیل این بخش سنجش محیطی صدا و نیز سنجش مواجهات فردی کارگر در نظر گرفته شود. تعداد شاغلینی که مواجهه غیرمجاز آن‌ها پس از

انجام اقدامات کنترلی (کنترل‌های فنی مهندسی یا مدیریتی بدون در نظر گرفتن کاربرد وسایل حفاظت فردی) به سطح مجاز و مطلوب رسیده است، در مرحله بعد ثبت می‌شود.

در انتها تعداد شاغلینی که از وسایل حفاظت فردی مناسب استفاده می‌نمایند درج می‌گردد. پس از تکمیل مراحل فوق نتایج بازرسی در واحد ذخیره و وارد صفحه اصلی سنجش صدا در کارگاه می‌شویم.

نظریه نهایی کارشناس در خصوص وضعیت صدای کارگاه:

این قسمت از فرم با توجه به نتایج حاصل از صداسنجی واحدهای کارگاهی تکمیل می‌شود.به این شکل که در صورتی که در ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در واحدها تراز صدای بالاتر از ۸۲ دسی‌بل ثبت نکرده باشیم وضعیت صدای واحد کارگاهی مناسب و در حد قابل قبول می‌باشد، اما در صورتی که در یکی از ایستگاه‌های سنجش صدا تراز ۸۵ دسی‌بل و یا بالاتر ثبت کرده باشیم گزینه اول (در محدوده خطر) را انتخاب می‌کنیم. در صورتی که در بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده صدای بالاتر از ۸۲ و پایین‌تر از ۸۵ دسی‌بل ثبت کرده باشیم گزینه دوم در حد مراقبت را انتخاب می‌کنیم.



پس از ثبت اطلاعات مرتبط با وضعیت صدای کارگاه، اقدامات کنترلی انجام شده برای کاهش صدا در تمامی واحدهای کارگاهی علامت‌گذاری می‌شود. تعداد کل شاغلین در معرض صدای زیان‌آور در کارگاه و تعداد شاغلینی که با انجام اقدامات فنی مهندسی یا مدیریتی با صدای کنترل شده در کارگاه مواجهه دارند و تعداد شاغلینی که از وسایل حفاظت فردی مناسب جهت کنترل مواجهه با صدا در کارگاه استفاده می‌نمایند ثبت

می‌گردد. اعداد نمایش داده شده در این ۳ ردیف اخیر مجموع آمار شاغلین در معرض صدای زیان‌آور، شاغلین در معرض با صدای کنترل شده و شاغلین استفاده‌کننده از وسایل حفاظت فردی مناسب واحدهای مختلف کارگاه می‌باشد که در محل مربوطه توسط سامانه محاسبه و ثبت می‌شود. سپس Tab ذخیره را فشرده و از صفحه فوق خارج می‌شویم.

غربالگری صدا

انجام اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه با روش‌های ذکر شده در مقیاس استانی یا کشوری برای تمام کارگاه‌ها مستلزم دستگاه‌های مناسب، صرف وقت زیاد، هزینه بالا و نیروی انسانی کافی است. غربالگری صدا می‌تواند یک راه ساده و ارزان برای شناسایی کارگاه‌هایی است که احتمال آلودگی صدا در آن‌ها بالا است. در روش غربالگری کارگاه‌هایی که مشکل آلودگی صدا ندارند به‌راحتی 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 انجام می‌گردد. در این راستا با پیشنهاد این روش و فرم اولیه غربالگری توسط مؤلف و همکاران و تائید ضرورت آن توسط کمیته عوامل فیزیکی وزارت بهداشت به‌عنوان پروژه تحقیقاتی شامل ۳۰ کارگاه انجام گردید. پس از آنالیز نتایج و مقایسه دو روش، فرم پیشنهادی به‌صورت یک ماتریس ۱۰ × ۳ اصلاح گردید که در ادامه خواهد آمد. مقایسه نتایج حاصل از این فرم با اندازه‌گیری دستگاهی

دارای همبستگی ۰/۷۲۴ ، ویژگی ۰/۸۵ و حساسیت ۰/۵ است. در این فرم حد آلودگی صوتی با توجه به معیار حد مواجهه شغلی کشور ۷۲/۵ تعیین گردید.

حداقل نمره قابل کسب کارگاه با این فرم ۳۲ و حداکثر آن ۹۶ است. 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 به‌کار رود.

راهنمای تکمیل فرم بازرسی مقدماتی صدا(غربالگری):

۱- این فرم برای غربالگری کارگاه‌ها از نظر شناسایی عامل زیان‌آور صدا می‌باشد.

۲- این فرم برای مراکز بهداشتی درمانی شهری و روستایی طراحی شده است.

۳- این فرم باید توسط کاردان بهداشت حرفه‌ای یا کاردان‌های رشته‌های بهداشت که آموزش کافی در خصوص صدا دیده باشند در بازرسی‌های معمول مورد استفاده خواهد بود.

۳- تکمیل کننده این فرم باید دارای شنوایی سالم بوده و سابقه بیماری‌های گوش یا مواجهه حاد با صدا نداشته باشد.

۴- منظور از نگهداری دستگاه‌ها تنظیم فنی و مراقبت برای جلوگیری از فرسودگی و روغن‌کاری و گریس کاری و سایر مواردی است که می‌تواند در افزایش صدا مؤثر باشند.

۵- تست مکالمه در محل 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.

بسمه تعالی

فرم بازرسی مقدماتی صدا(غربالگری)

نام کارگاه اصلی : نام کارگاه فرعی : کد کارگاه :

تعداد کارگر : نوع تولید :

ردیف	ویژگی- امتیاز / وضعیت کارگاه	ویژگی	۳	ویژگی	۲	ویژگی	۱	ضریب
۱	جنس سطوح داخلی دیوارها	سخت (مانند سیمان یا کاشی)		متوسط (مانند گچ)		نرم و سبک (مانند چوب یا ورقه‌های 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 ورقه آکوستیکی)		(۱)
۴	متوسط عمر دستگاه‌های مولد صدا	بیش از ده سال		۹-۵ 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		۹-۵ دستگاه		کمتر از ۵ دستگاه		(۲)
۸	متوسط مواجهه کارگران با صدا	بیش از ۸ ساعت		۷-۴ ساعت		کمتر از ۴ ساعت		(۱)
۹	مکالمه در فاصله یک متری	اصلاً شنیده نمی‌شود		باید فریاد زد		به‌راحتی شنیده می‌شود		(۱۵)
۱۰	حجم کارگاه	کمتر از ۱۰۰متر مکعب		۱۰۰ تا ۱۰۰۰ متر مکعب		بیش از ۱۰۰۰ متر مکعب		(۶)
	نمره کل کارگاه							
ساعت و تاریخ بازرسی			نام و امضای بازرس					

گفتار سوم: جنبه‌های بهداشتی مواجهه با صدای شغلی

صدا به‌صورت امواج مکانیکی می‌تواند بر کل بدن از جمله دستگاه شنوایی تأثیر سوء داشته باشد. البته این تأثیر از نظر اپیدمیولوژیک زمانی می‌تواند اهمیت داشته باشد که سبب اختلال فیزیولوژیک در بدن نماید. در محیط‌های کاری نیز صدا از این دیدگاه مورد توجه قرار می‌گیرد. اثرات صدا بر انسان از چند جنبه مورد توجه می‌باشد:

۱ - صدمه به دستگاه شنوایی که بعداً مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲ - تداخل با مکالمه: مکالمه در محیط‌های کاری به‌عنوان یکی از راه‌های ارتباط می‌باشد که در صورت وجود صدای زمینه مخصوصاً در فرکانس‌های حدود مکالمه (۲۰۰۰ - ۱۰۰ هرتز) می‌تواند ارتباط بین افراد را از طریق کلامی مختل سازد و باعث بروز اشتباه و نیز حوادث گردد. در ارزیابی صدا، تراز تداخل با مکالمه (SIL) نیز محاسبه و مورد توجه قرار می‌گیرد.

۳ - اثر روی اندام بینایی: در مواجهه با صدا، کنترل تطابق و تعقیب اشیاء به هم می‌خورد و عکس‌العمل به نور کم می‌شود.

۴ - اثر بر سیستم تعادلی (گیجی ، تهوع ، اختلال در راه رفتن).

۵ - ناراحتی اجتماعی: مانند اثر بر خواب و روابط اجتماعی و خانوادگی خصوصاً هنگامی‌که افت شنوایی به ناحیه مکالمه سرایت نموده باشد. افرادی که دچار افت دائم شنوایی شوند میل دارند این عارضه مخفی بماند، لذا در مناسبات اجتماعی کمتر شرکت می‌نمایند.

۶ - اثرات عصبی: اثر بر دستگاه گوارش شامل اختلالات و حتی دردهای شکمی و ترشح زیاد اسید معده و تشدید بیماری‌های مرتبط

۷ - اثر روی الکترولیت‌ها: مخصوصاً روی نگهداری سدیم در ادرار نقش محدود کننده دارد. مواجهه با صدا در تطابق بدن با گرما نقش منفی دارد.

۸ - اثرات جانبی: شامل کاهش راندمان کار، افزایش ریسک حوادث.

۹ - اثرات روانی: هیجان، تحریک‌پذیری و اختلالات روانی، مطالعات نشان داده است که افرادی که با صدا مواجهه دارند بیشتر به اختلالات روانی دچار می‌گردند.

۱۰ - اثرات فیزیولوژیک عمومی: صدا می‌تواند باعث تحریک عصبی شده و ضربان قلب، فشار خون و مصرف اکسیژن و تعداد تنفس را افزایش دهد که این تغییرات بر عملکرد دستگاه‌های بدن اثر نامطلوب دارد. این عوارض برای کسانی که دارای بیماری‌های قلب و عروق دارند و همچنین زنان باردار بسیار خطرناک است.

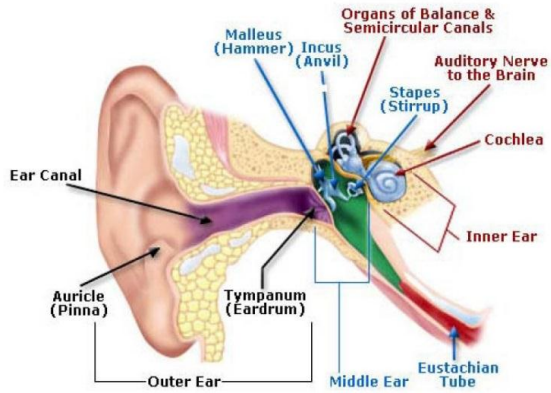
۱۱- اثر ذهنی صدا: برای همهٔ افراد چه در محیط کار و چه در اجتماع اثر ذهنی صدا یکسان نبوده و افراد مختلف از نظر اثرات روانی و عصبی آن یکسان تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند لذا ممکن است یک صدای واحد برای بعضی افراد قابل تحمل و برای دیگران آزار دهنده باشد. این عامل مستقل از تراز فشار است و منحصر به ترازهای بالا نیز نیست.

مکانیسم شنوایی

دستگاه شنوایی انسان که در شکل (۱۱) نشان داده شده است، متشکل از سه بخش عمده شامل: گوش خارجی، گوش میانی و گوش داخلی می‌باشد. گوش خارجی، شامل لالهٔ گوش و مجرا است که جزء اندام‌های حفاظتی و هدایتی گوش هستند. نقش لالهٔ گوش در شنیدن اصوات حائز اهمیت است زیرا شکل آن به‌گونه‌ای است که امواج محیط را به‌سمت مجرا هدایت می‌کند. طول مجرای گوش در بالغین ۳۰ mm - ۲۵ قطر آن ۷ mm-۵ است. وظیفهٔ مجرا هدایت صوت به‌سمت پردهٔ صماخ و هم‌چنین محافظت آن از آسیب‌های مستقیم می‌باشد. ضخامت پرده صماخ حدود ۰/۱ mm و مساحت آن حدود ۶۵ mm^2 است.

گوش میانی، شامل پردهٔ صماخ و استخوان‌های سه‌گانه (چکشی، سندانی، رکابی) است. محفظه گوش میانی در قسمت پایین دارای شکل شیپوری بوده و منتهی به یک راه ارتباطی به حلق می‌باشد که مجرای اوستاش نامیده می‌شود. مجرای اوستاش نقش مهمی در تخلیه ترشحات و تنظیم فشار در دو طرف پرده صماخ دارد. انتقال مکانیکی و تقویت

انرژی صوتی دریافت شده توسط صماخ بـه دریچـهٔ بیضـی بـه عهـده گـوش میـانی اسـت. استخوان چکشی به پردهٔ صـماخ و رکـابی بـه پـردهٔ بیضـی متصـل اسـت و رابـط ایـن دو، استخوان سندانی است.



شکل (۱۱) نمای بخش‌های سه‌گانه گوش انسان

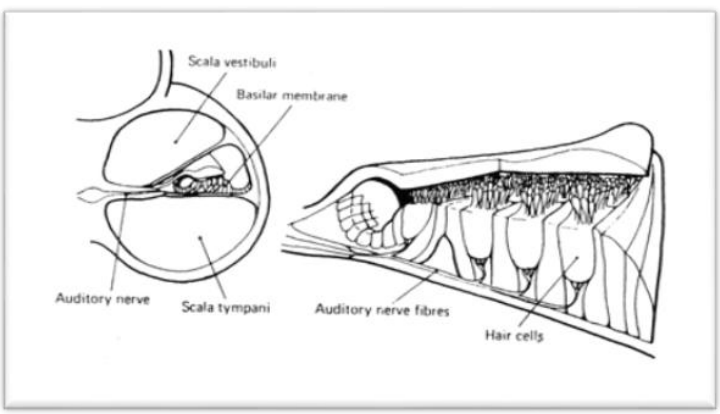
گوش داخلی شامل حلزون[1]، شبکه عصبی انتقالی و در مجاورت آن مجاری نـیم دایـره تعادلی است که نقش آن حفظ تعادل اندام‌های حرکتی می‌باشد. حلزون گوش اندامی است استخوانی و مارپیچ که ۲/۵ دور حول محور مرکزی خود چرخیده است. درون ایـن مجـرای استخوانی با سه کانال محتوی مایع آندولنف بوده و گیرنده‌های دستگاه شنوایی در آن قـرار دارد. امواج صوتی عبوری از دریچهٔ بیضی در این سیستم دریافت و به گیرنـده‌هـای عصـبی شنوایی منتقل می‌گردد.

در یک برش عرضی از حلزون (شکل ۱۲)، سه مـجرای مختلف ملاحظه می‌گـردد کـه شامل مجرای دهلیزی[2]در بالا ، که از دریچهٔ بیضی شروع می‌شود، مجرای صماخی[3] کـه بـه دریچهٔ گرد ختم می‌شود و مجرای سوم که بین این دو قرار گرفته است، مجرای میانی نـام دارد. این سه مجرا با غشای مربوطه از هم جدا شده‌اند. این سه مجرا بـه‌صـورت مـوازی تـا

1 - Cochliea
2 - Scala Vestibula
3 - Scala Tympani

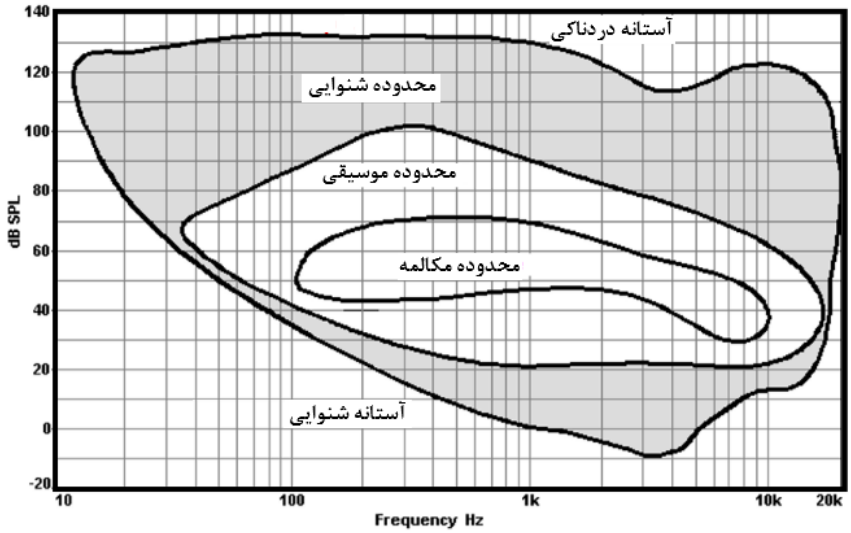
رأس حلزون ادامه دارند. مهم‌ترین مجرا از نظر شنوایی مجرای میانی است. بر روی غشاء پایه این مجرا حساس‌ترین قسمت کوکله یعنی اندام کرتی[1] قرار گرفته است. در روی غشاء پایه اندام کرتی مجموعه‌ای از سلول‌های گیرندهٔ امواج عصبی مژک‌دار[2] در مایع حلزون غوطه‌ور هستند. تعداد سلول‌های گیرنده بسیار زیاد است. طبق تخمین حدود ۳۰-۲۴ هزار سلول در طول مجرا وجود دارد. هر ناحیه از گیرنده‌ها به فرکانس‌های صوتی معینی حساسیت دارند. در نزدیکی پرده بیضی سلول‌های گیرنده به فرکانس‌های بالا حساس هستند و هرچه به سمت رأس حلزون برویم حساسیت اندام کرتی به فرکانس‌های پائین (بم) میل پیدا می‌کند. شکل (۱۳) محدوده شنوایی انسان را نشان می‌دهد.

اندام کرتی در ناحیه معینی از فرکانس‌ها حساسیت بیشتری دارد که طبق تجربیات ناحیهٔ فرکانس 4096 Hz ناحیه شکننده یا آسیب پذیر در گوش می‌باشد و در مواجهه با صدا، این ناحیه بیشترین آسیب شنوایی را متحمل می‌گردد. در منحنی اودیوگرام افرادی که با صدا مواجهه بیش از حد دارند، ملاحظه می‌گردد که همواره بیشترین آسیب شنوایی مربوط به ناحیه درک فرکانس‌های محدوده 4 KHz می‌باشد. دلایل مختلفی در کتب شنوایی‌شناسی برای این موضوع ذکر گردیده است که عمده‌ترین آن‌ها کمبود جریان عروقی در این ناحیه و بازتاب انرژی امواج صوتی در مجرا می‌باشد.



شکل (۱۲) برش عرضی حلزون و اندام کرتی

1 - Corti System
2 - Cillia



شکل (۱۳) محدوده‌های شنوایی انسان

صدمات صوتی به دستگاه شنوایی

این صدمات به‌طور عمده شامل: افت شنوایی ناشی از صدا[1] (افت موقت شنوایی[2] و افت دائم شنوایی[3]، وز وز گوش[4] و ضربه صوتی[5] می‌باشد. تغییر موقت آستانهٔ شنوایی یا افت موقت شنوایی زمانی اتفاق می‌افتد که فرد به‌طور اتفاقی یا به‌صورت غیر شغلی با امواج صوتی بالاتر از ۶۵ دسی‌بل مواجهه داشته باشد. این تغییر به‌صورت افزایش آستانه شنوایی می‌باشد. در این عارضه شخص احساس سنگینی و کیپی در گوش دارد. ویژگی این آسیب این است که موقت بوده و پس از قطع مواجهه با صدا، عمدتاً در مدت چند ساعت بهبود پیدا می‌کند.

اصوات با فرکانس پائین اثر کمتری در ایجاد TTS داشته و محدوده فرکانس۶ -۲ KHz بیشترین اثر را دارند. حداقل تراز فشاری که می‌تواند باعث TTS گردد، حداقل ۶۵dB است.

1 - Noise Induced Hearing Loss (NIHL)
2 - Temporary Threshold Shift (TTS)
3 - Permanent Threshold Shift (PTS)
4 - Tinitus
5 - Acoustic Throuma

عارضه TTS بسته به تراز فشار صوت و مدت مواجهه می‌تواند از چند ساعت تا چند هفته طول بکشد. در صورتی‌که مواجهه با صدا تکرار گردد و به‌صورت دائمی درآید افت موقت به افت دائم تبدیل می‌شود. این افت نه در اثر خستگی دستگاه شنوایی بلکه در اثر تخریب سلول‌های مژک‌دار اندام کرتی صورت می‌گیرد و اغلب بهبودی به دنبال ندارد. افرادی که دچار PTS هستند ممکن است به‌طور هم‌زمان دچار TTS نیز باشند. برای مشخص کردن مقدار واقعی PTS ، کارگر را صبح روز بعد از کار جهت شنوایی سنجی هدایت می‌نمایند.

افت دائم شنوایی در اثر صدا بسته به عوامل مختلف فردی و محیطی متفاوت می‌باشد. خصوصیات فردی مهم شامل: سن، سابقهٔ کار، نژاد، تغذیه، بیماری‌ها است. مسمومیت با اکسید کربن، جیوه، فسفر، سرب و برخی داروها نظیر استرپتومایسین، سالیسیلات، جنتامایسین نیز می‌تواند با ایجاد کم شنوایی اثر صدا را بر دستگاه شنوایی تشدید نماید. ضربه به سر، عفونت‌ها و برخی بیماری‌های غیر شغلی نیز می‌تواند دلیل افت شنوایی باشد. عوامل محیطی مؤثر بر افت شنوایی شامل: نوع صدا، تراز فشار صوت و مدت زمان مواجههٔ روزانه فرد می‌باشد.

به علت شروع افت از نواحی اطراف 4KHz ، فرد در ابتدا متوجه کاهش شنوایی خود نمی‌گردد حتی ممکن است به اشتباه اظهار نماید که به صدای محیط کار خود عادت کرده است. زمانی فرد متوجه افت شنوایی خود می‌شود که در مکالمه و ارتباط اجتماعی او محدودیت ایجاد شده باشد، در چنین شرایطی شخص دچار درجاتی از افت شنوایی می‌گردد لیکن کری شغلی[1] زمانی اطلاق می‌گردد که میزان افت شنوایی با سمعک قابل جبران نباشد و معمولاً میزان افت از ۹۰ دسی‌بل بیشتر شده است که بیمار عمدتاً برای بهبودی به درمان جواب نمی‌دهد.

بهبود TTS در صدای پیوسته به‌طور خطی است ولی در صدای کوبه‌ای به‌صورت ۳ مرحله‌ای می‌باشد(مرحلهٔ کوتاه تا ۲ ساعت، مرحلهٔ بازگشت به سطوح بالاتر۶ -۲ ساعت و مرحلهٔ بهبود تدریجی که حتی در مواردی تا چند ماه نیز ممکن است طول بکشد). با توجه

1 - Occupational diffness

به مطالب فوق لازم است که در هنگام معاینات قبل از استخدام افراد مستعد و حساس به صدا به دقت شناسایی شده و از اشتغال آنان در محیط پر صدا جلوگیری به عمل آید. برخی تست‌ها می‌تواند حساسیت فرد را به صدا قبل از ورود به شغل تعیین نماید.

به‌طور طبیعی با افزایش سن افراد دچار نقصان شنوایی می‌گردند. بر اساس بررسی‌ها اثر سن برای زنان و مردان به دست آمده است که باید قبل از محاسبه افت دائم هر گوش در فرکانس مربوطه لحاظ گردد.

دو عارضه ضربهٔ صوتی و وزوز گوش نیز می‌توانند به عنوان عوارض شغلی ناشی از صدا تلقی شوند. ضربه صوتی در اثر یک مواجهه یا چند مواجههٔ نسبی با ترازهای خیلی بالای فشار صدا مانند صدای مربوط به انفجارات به وجود می‌آید که به این ترازها، ترازهای صدای تروماتیک (آسیب‌رسان) گفته می‌شود. به محض مواجهه با این صدا که خارج از تحمل اندام شنوایی می‌باشد، صدمهٔ مکانیکی نظیر پارگی پردهٔ صماخ یا صدمه به بافت‌های متصل‌کنندهٔ قطعات استخوانی به یک یا چند عضو از اندام شنوایی وارد می‌گردد. عارضه وزوز گوش نیز اغلب به صورت مقدمه افت شنوایی، توأم با افت شنوایی شغلی یا همراه ضربهٔ صوتی می‌باشد و شخص همواره دچار احساس وزوز دریک یا دو گوش گردیده و اغلب در ساعات استراحت و سکوت فرد را مورد آزار قرار می‌دهد.

محدوده‌های افت شنوایی

بر اساس تقسیم‌بندی موسسه ملی استاندارد امریکا و آکادمی گوش و حلق و بینی امریکا محدوده زیر برای افت دائم در فرکانس‌های ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ معرفی شده است:

الف - افت هر گوش کمتر از ۲۵ دسی‌بل کم شنوایی تلقی نمی‌شود.

ب - افت بین ۲۵ تا ۴۰ دسی‌بل کم شنوایی جزئی

ج - افت بین ۴۰ تا ۵۵ دسی‌بل کم شنوایی ملایم

د - افت بین ۵۵ تا ۷۰ دسی‌بل کم شنوایی متوسط

ه - افت بین ۷۰ تا ۹۰ دسی‌بل کم شنوایی شدید

و - افت بیش از ۹۰ دسی‌بل ناشنوایی عمیق یا کری دائم

گفتار چهارم: اصول کنترل صدا

کنترل صدا[1] به‌منظور کنترل اثرات آن و راحتی کارگر بوده و شامل روش‌های: کنترل مدیریتی و کنترل فنی است. کنترل مدیریتی بر کنترل فنی مقدم و همراه آن می‌باشد. آموزش کارکنان، کاهش مواجهه غیر ضرور، انتخاب مناسب کارگران برای مشاغل پر صدا، گردشی نمودن شغل و پایش سلامت کارکنان و کارگران می‌باشد

روش‌های عمومی کنترل فنی

روش‌های عمومی کنترل خود به سه گروه قابل تقسیم هستند: کنترل مبتنی بر سازه یا پسیو[2]، کنترل مبتنی بر دفاع صوتی یا اکتیو[3] و حفاظت فردی. هر یک از این روش‌ها خود قابل تقسیم به زیر شاخه‌های خود هستند. روش کنترل مبتنی بر سازه خود دارای مراحل و روش‌هایی است که بر اساس تشخیص مهندس کنترل صدا مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس مراحل در این روش، شامل مراحل: کنترل در منبع صوتی، کنترل در مسیر و محیط انتشار صوت و حفاظت کارگران از طریق پناهگاه سازی و حفاظت فردی است.

کنترل در منبع صوتی

کنترل صدا باید اصولاً 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 قبلاً بر روی دستگاه نصب شده باشند. به‌طور مثال استفاده از سامانه‌های هیدرولیکی بجای پنوماتیکی و ضربه‌ای در پرس‌ها، به‌کارگیری اره‌های موسوم به آب صابونی بجای اره‌های آتشی، به‌کارگیری دستگاه‌های نساجی جدید با فنّاوری روز، استفاده از موتورهای درون‌سوز که روی آن‌ها انباره‌های اگزوز بهتری نصب شده باشد استفاده از روش غوطه‌وری

1 - Noise Control
2 - Passive Noise Control
3 - Active Noise control

یا پاشش خودکار رنگ روی قطعات از این روش‌ها است. اگرچه شرکت‌های سازنده تمایل به ساخت دستگاه‌هایی 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، عیب‌یابی و همچنین کشف علت‌های ایجاد و یا تشدید صدا، کنترل نمود. روش‌های اصلی کنترل صدا در منبع شامل موارد زیر است:

۱ - انتخاب صحیح تجهیزات متناسب با فرایند تولید.

۲ - انتخاب محل و نحوه نصب صحیح تجهیزات.

۳ – نگهداری صحیح تجهیزات.

۴ - کنترل ارتعاش تجهیزات.

۵ - نصب کاهش دهنده‌های صدا بر روی تجهیزات.

۶ - تغییر در اجزا و کار تجهیزات و بهینه‌سازی آن‌ها.

۷ - محصور کردن تجهیزات مولد صدای زیان‌آور.

۸- استفاده از روش‌های الکتریکی و الکترونیک

کنترل در مسیر و محیط انتشار صوت

در صورتی که کنترل صدا در منبع میسر یا مؤثر نباشد، جلوگیری از انتقال یا انتشار صدا یا به‌عبارت دیگر کنترل آن در مسیر و محیط انتشار است که خود شامل چند شیوه است مد نظر قرار می‌گیرد. اصولاً این روش مبتنی بر دو خاصیت جذب صوت[1] در محیط انتشار و عایق‌بندی (ایزولاسیون) صوت[2] برای جلوگیری از عبور صوت می‌باشد. روش‌های اصلی کنترل صدا در مسیر و محیط انتشار صدا شامل موارد زیر است:

۱- مجزا نمودن منابع اصلی صدا از سایر منابع.

۲ - جداسازی بخش‌های پر صدا از سایر بخش‌های کارگاه.

۳ - کنترل صدا مبتنی بر جذب صدا.

1 - Sound Absorption
2 - Sound Insulation

۴ - کنترل مبتنی بر ایزولاسیون صوتی.

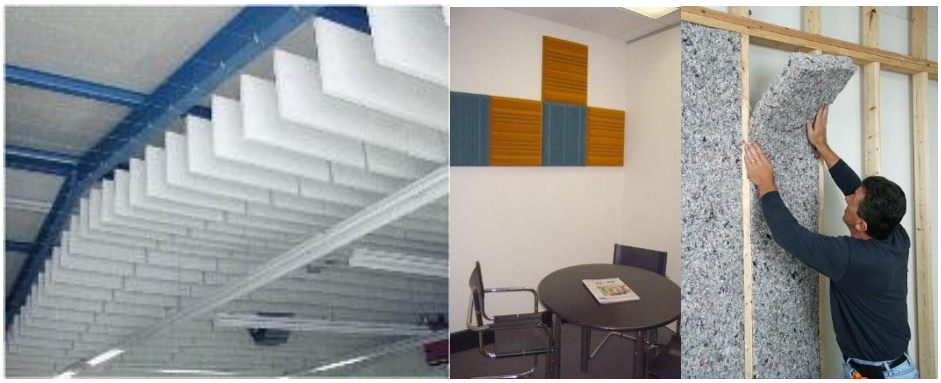
۵ – استفاده از روش‌های الکترونیک همانند کنترل فعال یا دفاع صوتی[1].

۶ – اتاقک سازی برای کارگر.

فناوری استفاده از جاذب‌های صدا

وجود سطوح بازتابشی در اطراف منابع صوتی باعث می‌شود که تراز فشار صوت به‌علت بازتابش مکرر افزایش پیدا کند. این میزان افزایش به تعداد و مشخصات سطوح بازتابشی بستگی دارد. اگر یک منبع صوتی توسط فقط سه سطح احاطه شده باشد تا ۹ دسی‌بل افزایش تراز فشار صوت خواهد داشت و افزایش سطوح به ۶ سطح می‌تواند به‌طور مضاعف باعث تشدید صدای منبع گردد. وجود جاذب صوتی مناسب می‌تواند تا حدود زیادی این پدیده را کنترل نماید. میزان جذب صوت در مصالح مختلف اختصاصی بوده و برای هر نوع ماده ثابت است. هر ماده‌ای از نظر درصد جذب انرژی صوت در کل باند فرکانسی و نیز در هر فرکانس، ضریب جذب مخصوص به خود دارد. ضریب جذب صوت در هر ماده عبارت از نسبت انرژی صوتی جذب شده به انرژی صوتی اولیه می‌باشد. پدیده جذب صوت کم‌وبیش در تمام مصالح وجود دارد اما فقط مصالحی که ضریب جذب بالاتر از ۰/۴ داشته باشند به‌عنوان مصالح آکوستیکی استفاده می‌شوند. مواد جاذب صوت در ویژگی تخلخل و چگالی کم، مشترک هستند. ضریب جذب دیواره‌ها نیز با افزایش ضخامت آن به‌طور خطی افزایش می‌یابد. از ورقه‌های جاذب به‌صورت‌های مختلفی می‌توان استفاده نمود، مثلاً روکش نمودن سطوح داخلی سازه اصلی بنا با لایه‌ای از مواد جاذب که در جلوگیری از بازتابش صوت مؤثر بوده و انتشار صوت را به میدان آزاد نزدیک می‌کند. شکل (۱۴) نمونه‌هایی از نصب جاذب‌های ورقه‌ای دیواری، سقفی و آویز به‌کار رفته در فضای داخلی را نشان می‌دهد.

1 - Active Noise Control (ANC)



شکل (۱۴) استفاده از جاذب‌های ورقه‌ای دیواری، سقفی و آویز

عایق‌بندی صوتی

عایق‌بندی صوتی[1] در مقابل عبور صوت از یک مکان به مکان دیگر با استفاده از دیـواره عایق یا مانع امکان‌پذیر می‌گردد. همان‌گونه که قبلاً نیز عنـوان گردیـد، اصـولاً تمـام مـواد کم‌وبیش دارای مقاومت در برابر عبور صوت هستند. این ویژگی تحت عنوان مقاومت صوتی نیز ذکر می‌شود. عایق‌بندی صوتی هر دیواره تابعی از ضـریب عبـور[2] صـوت اسـت. ضـریب انتقال صوت، نسبت انرژی عبوری به انرژی برخوردی به هر دیواره است. می‌توان گفـت کـه هر چه ضریب انتقال بزرگ‌تر شود، شاخص افت انتقال کمتر خواهد بود. با این بیان هرچـه ضریب جذب یک دیواره یا ضریب انتقال صوت آن که به معنی نفوذپـذیری زیـاد صـوت در دیواره است، بیشتر باشد، شاخص افت انتقال صوت در دیواره کمتر خواهد بود. دیـواره‌هـای عایق برای جلوگیری از انتقال صدا از یک محیط به محیط دیگر به‌کار می‌رود. معلـوم شـده است که افت انتقال در فرکانس‌های پایین کمتر از فرکانس‌های بالا است. لذا می‌توان گفـت که عایق‌های صوتی در فرکانس‌های پایین کارایی ضعیف‌تری دارند.

عوامل مهم مؤثر بر افت انتقال دیـواره‌هـای عـایق شـامل: جـرم[3] (چگـالی سـطحی) و یکدستی[1] مصالح می‌باشد. بر اساس قانون جرم هر ماده که چگال تر باشد نسبت بـه صـدا

1 - Sound Isolation
2 - Transmission Coefficient (TC)
3 - Weight

نفوذپذیری کمتر دارد. بنابر این افت انتقال در آن ماده بالا خواهد بود. به‌طور تجربی، برای هر ماده یک شاخص افت انتقال معین شده است. این شاخص عبارت است از اختلاف تراز فشار صوت در دو طرف یک دیواره به دسی‌بل.

با توجه به گستره فرکانس صوتی، میزان افت انتقال دیواره در همه فرکانس‌ها یکسان نیست، از طرف دیگر با افزایش ضخامت دیواره افت انتقال به‌صورت لگاریتمی افزایش پیدا می‌کند. رابطه زیر بیان کننده قانون جرم در افت انتقال دیواره است:

$$TL(dB) = 20 \log f w - 47.5$$

TL : شاخص افت انتقال

f : فرکانس به هرتز

w : چگالی سطحی (kg/m^2)

مثال: افت انتقال صدا برای یک عایق با چگالی سطحی ۲۰۰ کیلوگرم در متر مربع در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز چه میزان است؟

$$TL_2 = 20 \log 1000\,(Hz) \times 200\,(Kg/m^2) - 47 = 59\,dB$$

طبق قانون جرم، به ازای افزایش یک اکتاو باند ۶ دسی‌بل افت انتقال افزایش پیدا می‌کند. البته این اصل در تمام طیف فرکانس صادق نیست (به‌دلیل سایر عوامل مؤثر) و بیشتر مربوط به نواحی فرکانس‌های متوسط می‌باشد.

علاوه بر چگالی سطحی، یکدستی و نفوذناپذیری ماده تشکیل دهنده مصالح دیواره نیز یکی از عوامل مؤثر بر میزان افت انتقال می‌باشد. این عامل علاوه بر شرط چگال بودن ماده مورد نظر می‌باشد. هر چه یکدستی ماده بیشتر باشد، میزان انرژی عبوری از دیوار، کمتر و افت انتقال بیشتر خواهد بود. وجود هرگونه منفذ، شکاف یا بازشو می‌تواند اثر مانع را به‌شدت محدود نماید.

1 - Homogeneity or Uniformity

اتاقک صوتی

اتاقک سازی برای کارگر یک روش معمول و مؤثر کنترل صدا است. در صورتی‌که امکان اجرای موارد کنترل در منبع و یا مسیر انتشار نباشد و نیز برای دستیابی به نتیجهٔ بهتر در مکان‌هایی که لزوم کنترل در مجاورت دستگاه محرز نیست، هم‌چنین در مواردی که فرایند کار می‌تواند از فاصلهٔ دورتری هدایت گردد، از اتاقک‌های کنترل استفاده می‌گردد. این پناهگاه‌ها به‌گونه‌ای طراحی می‌گردند که کلیهٔ لوازم و ابزار کنترل فرآیند در آن پیش‌بینی شده و دارای پنجره‌هایی با شیشه دو جداره خلاء شده باشد که دید کارگر را نیز به‌طور مستقیم بر فرآیند تولید میسر می‌سازد. افت انتقال دیواره‌های این پناهگاه باید با توجه به مشخصات صوتی محیط طراحی و هم‌چنین مسائل مربوط به کنترل ارتعاش، تهویه، روشنایی و امکانات تأمین شرایط جوی مناسب در آن پیش‌بینی می‌شود.

انباره‌ها

مافلر[1] و سایلنسر[2] نام عمومی برای محفظه‌ها یا انباره‌های کنترل صدا است که می‌توانند تراز صدای ناشی از خروج پرفشار یک گاز یا هوا را در خروجی[3] کاهش دهند. این وسایل به سه دسته کلی انباره‌های: انبساطی[4]، جذبی[5] و پخشی[6] تقسیم می‌شوند. اصول کار این انباره‌ها بر اساس انبساط، جذب و پخش است. در این وسایل موج فشار گاز یا هوا وارد می‌شود و به دلیل انبساط ناگهانی یا برخورد به سطوح جذبی و تغییر مسیرهای ایجاد شده در داخل محفظه انرژی خود را تا حدی از دست می‌دهد. گاز خروجی دارای تراز فشار صوت پایین‌تری می‌باشد. انباره اگزوز خودروها متداول‌ترین مثال این گروه است. از انباره‌ها در صنعت برای کنترل صدای ابزارهای بادی، خروجی‌های سیال همچون خروجی بخار و سامانه‌های تهویه صنعتی استفاده می‌شود.

1 - Mufflers
2 - Silencer
3 - Exhaust
4 - Reactive
5 - Absorptive
6 - Dispersive

حفاظت فردی

حفاظت فردی آخرین راه برای کنترل صدا است. حفاظت فردی از دستگاه شنوایی، همواره به‌عنوان راه‌حل کمکی یا موقت توأم با موفقیت می‌باشد. این تکنیک ترجیحاً برای ساعاتی که کارگر با بیشترین تراز فشار مواجهه داشته باشد یا در زمانی که سامانه‌های کنترل صدا به‌طور موقت از کار افتاده‌اند مجاز شمرده می‌شود. درصورتی‌که کارگر مجبور باشد برای طول شیفت کاری و به‌طور همیشگی از وسایل حفاظت شنوایی استفاده نماید، مشکلاتی را خواهد داشت که مانع ادامه همکاری او در طرح کنترل صدا می‌گردد. مهم‌ترین آن‌ها ناراحتی کارگر هنگام استفاده از وسیله حفاظت فردی و ایجاد عوارض پوستی در اطراف لاله گوش یا عوارض مجرای شنوایی به‌دلیل ایجاد حساسیت در پوست می‌باشد.

در شرایطی که فرد مجبور به استفاده از وسایل حفاظت فردی باشد، باید در انتخاب وسیله کمال دقت معمول گردد. علاوه بر کیفیت و راحتی، وسیله باید تناسب کافی با شرایط صدای محیط از نظر کاهش تراز و متناسب با فرکانس صدای محیط داشته باشد و همچنین آموزش‌های لازم جهت استفاده مطلوب به کارگر داده شود. جنس مواد به‌کار رفته برای وسیله حفاظت شنوایی باید از نوعی باشد که ایجاد حساسیت در پوست ننماید. حفاظ‌های گوش بر ۴ نوع اصلی می‌باشند:

۱ - حفاظ روگوشی[1]

۲ - حفاظ توگوشی[2]

۳ – قالب گوش[3]

۴- کلاه محافظ

برای انتخاب حفاظ مناسب ابتدا باید مشخصات توزیع تراز فشار صوت کارگاه در فرکانس‌ها اندازه‌گیری و متناسب با آن از حفاظ روگوشی یا توگوشی استانداردی استفاده

1 - Ear Muff
2 - Ear Plug
3 - Ear mould

نمود که در محدوده‌های فرکانس مورد نظر کارایی مطلوب داشته باشد. کارخانجات سازنده نیز مکلف‌اند مشخصات و قابلیت‌های فنی حفاظ را ارائه نمایند.

حفاظ رو گوشی: این وسیله شامل یک محافظ است که روی لالهٔ گوش را می‌پوشاند و در محل تماس سر به علت خاصیت ارتجاعی که دارد، کاملاً درزبندی می‌شود. این حفاظ‌ها بر اساس مشخصات فنی خود در فرکانس‌های مختلف مقادیر متفاوتی را کاهش می‌دهند. این نوع حفاظ فقط قادر به کنترل صدایی است که عمدتاً از طریق هوائی به گوش می‌رسند. ولی امکان انتقال صدا از طریق استخوانی به‌وسیله جمجمه کنترل نمی‌شود. نکته بسیار مهم در انتخاب این نوع، کیفیت آن‌ها است، زیبایی ظاهری نمی‌تواند دلیل بر کیفیت مناسب آن‌ها باشد و در صورتی که مشخصه فنی کنترل صدا در آن‌ها اعلام و یا به تائید مراجع رسمی نرسیده باشد ارزش حفاظتی ندارند. در صورتی که این وسایل برای کنترل محدوده خاصی از فرکانس باشند، می‌توان با توجه به مشخصات فنی نوع مناسب را انتخاب نمود. موی بلند، سربند، عینک و اندازه غیرطبیعی جمجمه بر کارایی حفاظ روگوشی تأثیر نامطلوب دارد.

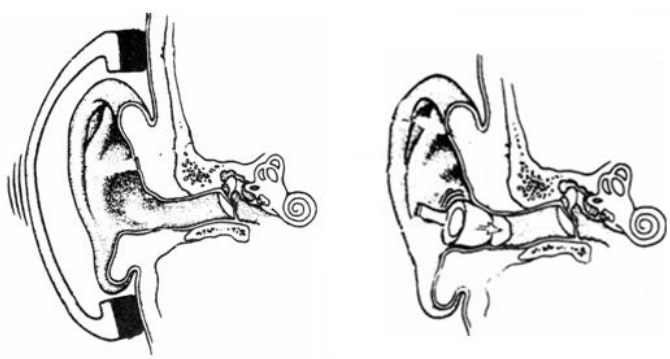
حفاظ توگوشی: این وسیله یک جسم نرم قابل اتساع و در عین حال مؤثر در کنترل صدا می‌باشد که داخل مجرای گوش قرار می‌گیرد و می‌تواند به میزان قابل توجهی صدا را کاهش دهد. میزان کاهش کلی صدا و همچنین در فرکانس‌ها بایستی توسط سازنده اعلام شده باشد. جنس این حفاظ‌ها از مواد مختلفی نظیر اسفنج‌های مخصوص یا اسفنج مومی می‌باشد که هنگام قرارگیری در مجرای گوش به شکل مجرا در آمده و آن را مسدود می‌کند. حفاظ توگوشی دو گوش با یک بند مخصوص به یکدیگر متصل بوده که یکی از کاربردهای آن سهولت برای خارج نمودن آن‌ها است. نکتهٔ اساسی در استفادهٔ از این حفاظ‌ها رعایت بهداشت فردی و نحوهٔ استفاده از آن می‌باشد. این وسیله نباید به هیچ وجه به‌طور مشترک با سایرین مورد استفاده قرار گیرد و هر فرد باید حفاظ مخصوص به خود داشته و در نگهداری و بهداشت آن بکوشد. برای دستیابی به نتیجه مطلوب باید مشخصات فنی وسیله توسط سازنده اعلام و به تائید مراجع رسمی رسیده باشد. برای انتخاب آن‌ها با استفاده از مشخصات فنی مربوط به محدوده فرکانس و میزان کاهش صدا اقدام می‌گردد و

از روی خصوصیات ظاهری نمی‌توان کیفیت آن را تأیید نمود. شکل (۱۵) طرز قرارگیری دو نوع حفاظ روگوشی و توگوشی را نشان می‌دهد.

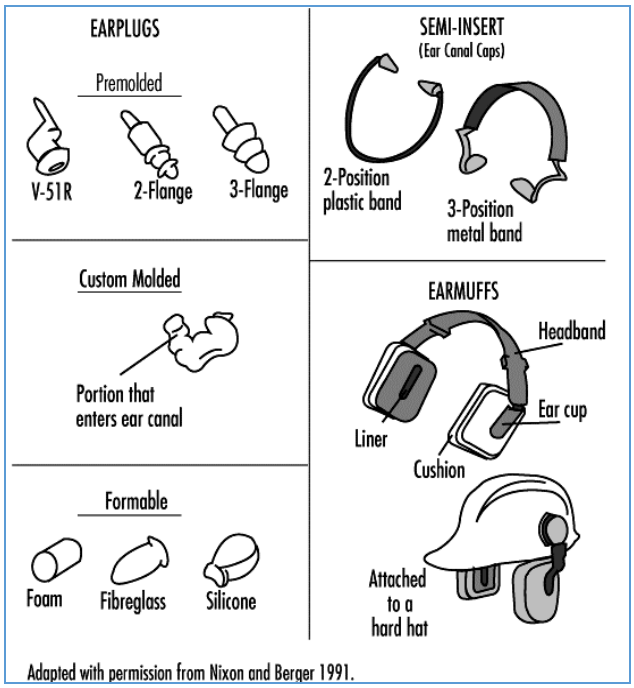
قالب گوش: قالب گوش همان‌گونه که از نام آن پیداست پس از انجام قالب‌گیری توسط کارشناس ادیومتری متناسب با شکل مجرا ساخته می‌شود و می‌تواند به‌صورت انفرادی و مؤثر مورد استفاده قرار گیرد.

کلاه محافظ: برای برخی مشاغل که امکان بروز صدمات مکانیکی به سر نیز موجود است و همچنین برای کنترل انتقال صوت از طریق جمجمه به گوش داخلی و حفاظت بافت مغز در برابر صدمات موج صوتی گروهی از حفاظ‌ها را به‌صورت کلاه محافظ عرضه نموده‌اند. این نوع برای مشاغل معدودی به‌کار می‌رود. اخیراً برای خلبان‌ها کلاه محافظی ساخته‌اند که در آن سیستم دفاع صوتی نیز تعبیه شده است. شکل (۱۶) نمونه‌هایی از حفاظ‌های شنوایی را نشان داده است.

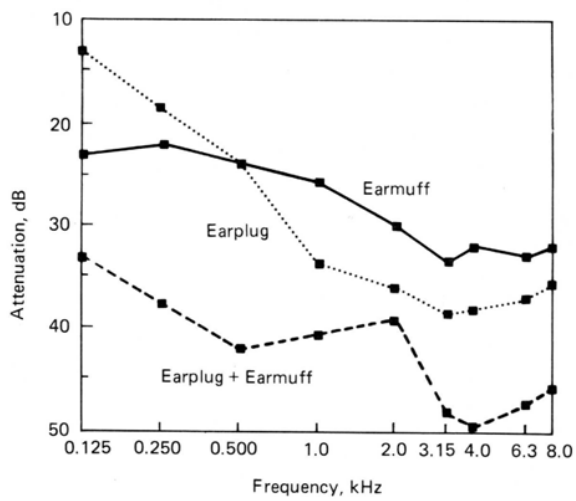
حفاظ توأم: در برخی از موارد لازم است که به‌طور هم‌زمان از حفاظ توگوشی و روگوشی با هم استفاده گردد این روش اگرچه برای کارگر ناراحت کننده است ولی استفاده موقت از آن نتیجهٔ مطلوب‌تری دارد. نمودار شکل (۱۷) تأثیر استفاده مجزا از حفاظ روگوشی و توگوشی و استفاده توأم آن‌ها (برای یک سری نمونه) را در افت انتقال صدا نشان داده است.



شکل (۱۵) طرز قرارگیری دو نوع حفاظ گوش



شکل (۱۶) انواع حفاظ گوش



شکل (۱۷) تأثیر استفاده مجزا و توأم حفاظ روگوشی و توگوشی

انتخاب حفاظ شنوایی

بر اساس قانون جرم عایق‌ها که قبلاً شرح داده شد، یک اصل کلی برای استفاده مؤثر از حفاظ‌های شنوایی وجود دارد که افت انتقال در فرکانس‌های زیر ۱۰۰۰ هرتز ضعیف می‌باشد، بنابر این حفاظ‌های شنوایی برای صداهای پرفرکانس کارایی مناسبی دارند.

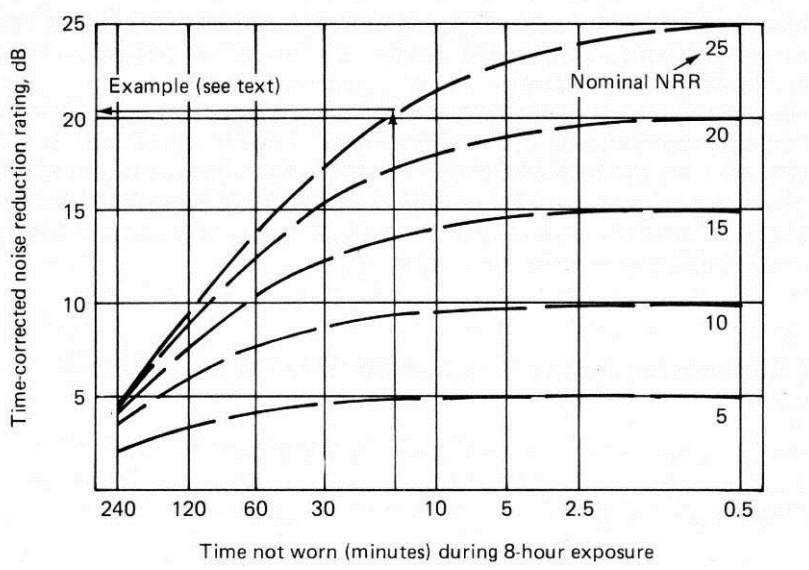
اصولاً برای هر موردی که حفاظ توصیه می‌شود باید قبلاً ارزیابی دقیقی از مواجهه کارگر با صدا انجام شده باشد. در این صورت می‌توان دریافت که کارگر با چه سطحی از خطر و چه محدوده‌هایی از فرکانس مواجهه دارد. لذا حداقل اطلاعات مورد نیاز از مواجهه کارگر شامل تراز کلی فشار صوت مواجهه، تراز معادل، طول زمان مواجهه روزانه و آنالیز فرکانس یک اکتاوباند صدا در پست کاری کارگر است. در این صورت فرکانس‌هایی که باید کنترل صدا در آن‌ها انجام شود و میزان افت انتقال صدا در هر باند فرکانسی و به‌صورت تراز کلی معلوم خواهد شد.

تشخیص قطعی کارایی حفاظ‌های شنوایی فقط با تست فنی توسط یونیتهای مخصوص میسر است. در غیر این صورت استاندارد بودن و داشتن جدول یا نمودار مشخصات فنی ضروری است. در صورتی که بتوان به جدول مشخصات همراه حفاظ اعتماد نمود، یک روش برای بیان کارای حفاظ‌های روگوشی و توگوشی، نسبت کاهش صدا (NRR)[۱] می‌باشد که با متد استاندارد ISO مورد تائید قرار گرفته است. این روش به‌صورت آزمایشگاهی و بدون توجه به ماهیت فرکانسی صدا تعیین می‌شود. امروزه NRR به‌عنوان یک شاخص عمومی برای بیان کارایی حفاظ‌ها بدون توجه به چگونگی صدای محیط مطرح می‌باشد. شرکت‌های سازنده نیز در جداول مشخصات حفاظ‌های خود اغلب به این معیار برای بیان کارایی حفاظ شنوایی اشاره می‌کنند. اما باید توجه داشت که این شاخص همواره نمی‌تواند نوع کاربری حفاظ را برای هر مورد مواجهه کارگر معین نماید. کارایی حفاظ در کاهش تراز کلی صدا در بهترین شرایط کمتر از نصف افت انتقال اسمی اعلام شده آن است. راه منطقی و مطمئن برای آزمون کارایی یک حفاظ شنوایی آزمایش آن در شرایط محیط کار

2- Noise Reducing Rating

یا در خود محیط کار توسط یونیت مخصوص است که به آن یونیت گوش مصنوعی می‌گویند. این یونیت می‌تواند مقادیر واقعی کاهش صدا را در شرایط محیط استفاده تعیین نماید.

استفاده نامرتب از حفاظ‌های شنوایی باعث می‌شود که کارایی حفاظ از آنچه که برآورد شده کمتر شود. نتایج نشان داده است که استفاده نامناسب یا نامرتب در طول شیفت می‌توان کارایی حفاظ را حتی به یک پنجم تقلیل دهد. با استفاده از نمودار شکل (۱۸) می‌توان این اثر را معلوم نمود. به‌طور مثال اگر کارگری در یک شیفت ۸ ساعته تنها یک ساعت از گوشی استفاده ننماید کارایی اسمی گوشی را از ۲۵ دسی‌بل به ۱۴ دسی‌بل کاهش می‌دهد. این میزان برای ۴ ساعت عدم استفاده کارایی را به ۵ دسی‌بل کاهش می‌دهد.



شکل (۱۸) تعیین افت کارایی حفاظ‌های شنوایی در اثر استفاده نامرتب

بخش دوم – اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش در محیط کار

گفتار پنجم: مفاهیم اساسی ارتعاش

ارتعاش[1] یکی از عوامل همراه با صدا در محیط‌های صنعتی است. ارتعاش برخی مواقع تشدید کنندهٔ صدا و حتی علت ایجاد، یا منبع تولید صدا نیز می‌تواند باشد. در برخی تعاریف عنوان شده است که ارتعاش امواج صوتی با تواتر پائین (کمتر از ۲۰۰۰ هرتز) در اجسام سخت است، اما از نظر فیزیک، ارتعاش یک حرکت نوسانی جسم حول نقطهٔ تعادل آن است. آنچه که در ارتباط بین ارتعاش اجسام در محیط و انسان (از نظر بهداشتی) حائز اهمیت است این است که انرژی امواج ارتعاشی در تماس مستقیم با اعضاء و اندام‌ها می‌تواند در محدوده‌هایی مخاطره‌آمیز باشد. تجهیزات و وسایل کاری که به‌طور فراگیر مورد استفاده کارگران بوده و مولد ارتعاش هستند شامل: ابزارهای الکتریکی چرخان، انواع موتورهای درون‌سوز و ابزارهای پنوماتیک و وسایل نقلیه و نیز دستگاه‌های که قسمت‌های متحرک دارند مانند آسیاب و میکسر از مواردی هستند که امواج ارتعاشی حاصل از آن‌ها می‌تواند مخاطره‌آمیز باشد. انتقال انرژی مکانیکی از یک منبع مرتعش به بدن کارگر می‌تواند به‌ترتیب باعث اختلال در راحتی یا آسایش فرد، کاهش بازدهی در اثر خستگی ناشی از ارتعاش و نیز اختلال در اعمال فیزیولوژیک کارگر گردد و در مواردی نیز می‌تواند باعث ضایعات اسکلتی و برخی بیماری‌ها گردد. صدا و ارتعاش هر دو از جنس امواج مکانیکی بوده و قابل تبدیل به یکدیگر می‌باشند. انتشار موج صوتی در مجاورت اجسام می‌تواند باعث ارتعاش آن‌ها گردد و بالعکس جسم مرتعش نیز می‌تواند صدا ایجاد کند.

ماهیت ارتعاش

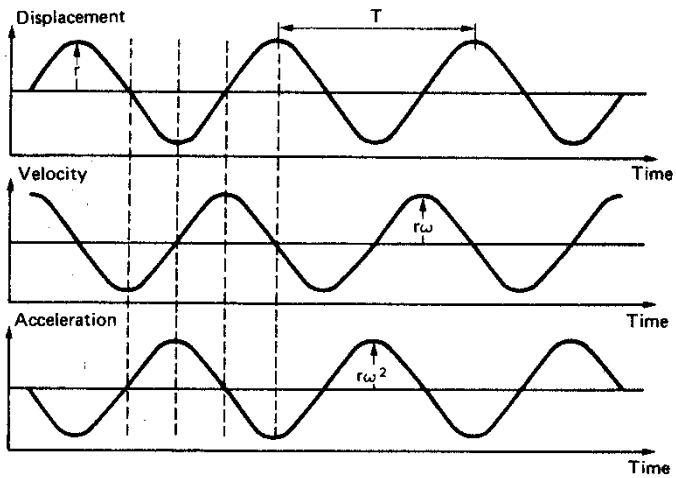
ارتعاش یک حرکت نوسانی حول نقطهٔ تعادل جسم است. وقتی تصویر این حرکت در نظر گرفته شود، فرکانس، دامنهٔ جابجائی، و زمان تناوب از مشخصات این حرکت است. کلیهٔ اجسامی که دارای جرم و فنریت باشند، قابلیت پذیرش و تولید ارتعاش را دارند. مشخصه‌های اصلی امواج ارتعاشی شامل: دامنه[2](دامنه‌های جابجایی[3]، سرعت[4] و شتاب[5])،

1 - Vibration
2 - Amplitude
3 - Displacement
4 - Velocity
5 - Acceleration

فرکانس[1] (و فرکانس زاویه‌ای[2])، طول موج[3] می‌باشد که عامل اصلی ایجاد ارتعاش نیرویی[4] است که بر جرم محیط ارتعاشی غلبه نموده است. دامنه یا بزرگی، تغییرات کمیت موج نسبت به نقطه تعادل بوده و با توجه به شکل موج سینوسی است. درک انسان از قله و دره موج (همانند تغییرات دامنه صوت) به یک اندازه است. شکل (۱۹) این مشخصه‌ها را نشان می‌دهد. فرکانس یا تواتر تعداد سیکل‌های ارتعاشی کامل در ثانیه است. واحد آن هرتز و هر هرتز برابر با یک ارتعاش کامل در ثانیه است. چون تصویر یک حرکت دورانی، حرکت نوسانی ساده است لذا فرکانس زاویه‌ای ω و طول موج ارتعاش برابر است با:

$$\omega = 2\pi . f = \frac{2\pi}{T}$$

$$\lambda(m) = \frac{V}{f}$$



شکل(۱۹)، امواج جابجایی، سرعت و شتاب

معادلات امواج ارتعاشی

معادلات ارتعاش معمولاً بر مبنای دامنه یا بزرگی حرکت ارتعاشی بیان می‌گردد. این دامنه برای جابجایی، سرعت و یا شتاب حرکت ارتعاشی قابل تعریف می‌باشد. معادله

1 - Frequency
2 - Angle Frequency
3 - Wave Length
4 - Force

جابجایی[1] لحظه‌ای، سرعت[2] و شتاب[3] حرکت ارتعاشی در سیستم متریک به‌صورت ذیل خواهد بود:

$$X(m) = X_{peak} \sin(2\pi f t) = X_{peak} \sin(\omega t)$$

$$V(m/s) = \frac{dx}{dt} = \omega X_{peak} \cos(\omega t) = V_{peak} \cos(\omega t)$$

$$A(m/s^2) = d^2X/dt^2 = dv/dt = -\omega^2 X_{peak} \sin(\omega t)$$

$$A(m/s^2) = A_{peak} \sin(\omega t)$$

X: جابجایی از نقطه تعادل (m)

X_{peak}: حداکثر جابجایی از نقطهٔ مرجع (شروع) (m)

t: زمان s

در معادلات فوق مقادیر دامنه سرعت عبارت از جابجایی در واحد زمان بر حسب m/s است که مشتق جابجایی نسبت به زمان می‌باشد. شتاب نیز برابر با تغییرات سرعت نسبت به زمان (یا تغییرات سرعت در واحد زمان) و مشتق سرعت نسبت به زمان یا مشتق دوم جابجایی نسبت به زمان است. شتاب در سیستم متریک بر حسب m/s^2 یا g (شتاب ثقل) بوده که هر g معادل m/s^2 ۹/۸۱ است. در مقاصد اندازه‌گیری به‌منظور تعیین مواجهه کارگر از کمیت شتاب ارتعاش استفاده می‌شود.

نیروی ارتعاش

علاوه بر مشخصه‌های ذکر شده، هر حرکت ارتعاشی تحت تأثیر 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. در هر حال نیروی حرکت با مقادیر دامنه‌های ذکر شده به‌صورت زیر ارتباط منطقی دارد:

$$F = -K.d$$
$$F = m.a$$
$$F = C.V$$

F: نیروی ارتعاش (N)

K: ضریب فنریت یا سختی سیستم (N/m)،

d: یا X دامنه جابجایی (m)

---

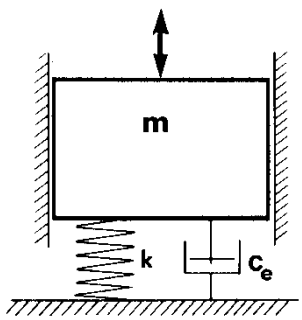
1 - Displacement Equation
2 - Velocity Equation
3 - Acceleration Equation

m : جرم محیط (kg)
a : شتاب حرکت ارتعاشی (m/s^2) و g شتاب ثقل ($9.81\ m/s^2$)
C : ضریب میرایی محیط (Ns/m)
V : سرعت ارتعاش در محیط (m/s)

روابط فوق نشان می‌دهد که هر چه سختی، جرم یا میرایی سیستم بزرگ‌تر باشد، برای حفظ دامنه (جابجایی، سرعت یا شتاب) ارتعاش باید نیروی بزرگ‌تری وارد گردد.

سیستم ارتعاشی

هر سیستم ارتعاشی[1] را با توجه به روابط بالا با سه عامل جرم، میرایی و فنریت نشان می‌دهند. شکل (۲۰) نشان دهنده سمبل یک سیستم ارتعاشی است. در صورتی‌که سیستم ارتعاشی به دلیل اعمال نیروی داخلی یا خارجی از حالت تعادل خارج شود، گر چه انرژی محرکه سیستم باعث ارتعاش می‌گردد ولی بخشی از آن نیز صرف غلبه بر سختی و میرایی سیستم خواهد گردید. میرایی ارتعاش در حالت طبیعی، از دست دادن انرژی به طریق مالش، چسبندگی و حرارت می‌باشد. دامنهٔ ارتعاشات به ضریب میرایی نیز وابسته است.



شکل(۲۰)، سمبل یک سیستم ارتعاشی

انواع ارتعاش از نظر شکل امواج

حرکات ارتعاشی همانند صدا شامل: حرکت ارتعاشی ساده، امواج ارتعاشی مختلط (شامل دوره‌ای و غیر دوره‌ای) و امواج ارتعاشی ضربه‌ای می‌باشد. ارتعاش ساده، نوسان منظم اشیاء می‌باشد که شامل موج ساده سینوسی است. این نوع موج در محیط متداول نبوده و در آزمایشگاه قابل تولید است. مشخصه‌های موج این حرکت شامل فرکانس، طول

1 - Vibration System

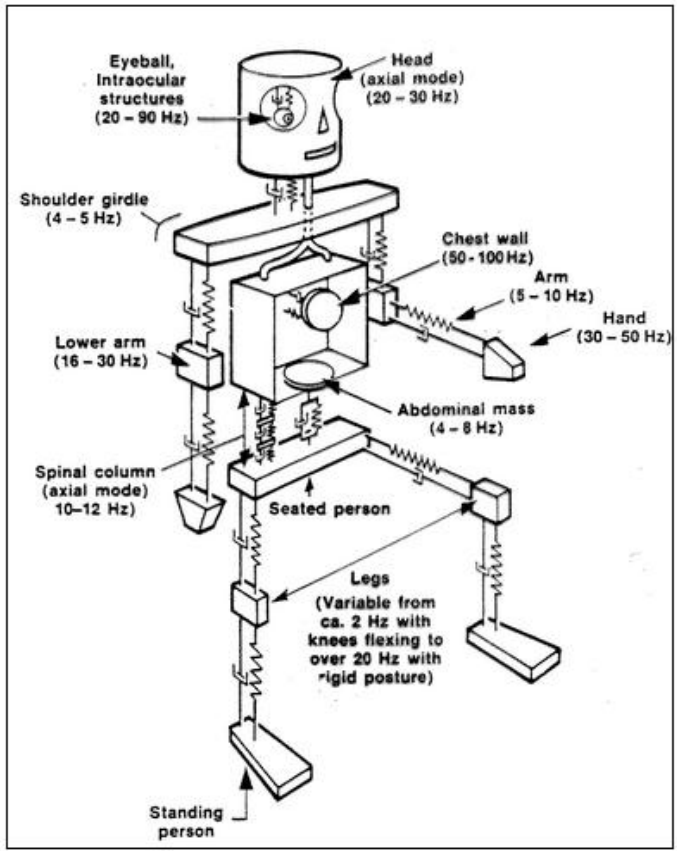
موج و دامنه (جابجایی) می‌باشد. ارتعاشات مختلط دوره‌ای از فرکانس‌هایی تشکیل شده‌اند که بین آن‌ها رابطه‌ای برقرار بوده و می‌توان معادلات آن‌ها را به دست آورده و مورد مطالعه قرار داد. این امواج عموماً از قبل طراحی شده‌اند و برای اهداف خاصی به‌کار گرفته می‌شوند. ارتعاشات مختلط غیر دوره‌ای از فرکانس‌های مختلفی که رابطهٔ منظمی بین آن‌ها وجود ندارد تشکیل شده‌اند و شامل یک مجموعه امواج با فرکانس‌ها و دامنه‌های مختلف می‌باشند. ارتعاشات صنعتی از این دست بوده و محصول عملکرد نامطلوب دستگاه‌های مکانیکی مرکب می‌باشند. ارتعاشات ضربه‌ای نیز ناشی از ابزارها و دستگاه‌های مختلفی است که موج‌های ارتعاشی مجزا و ضربه‌ای با زمان تناوب کوتاه دارند. این امواج عموماً دارای دامنه‌های بزرگی بوده و شوک ارتعاشی نیز نامیده می‌شوند. این گروه، به دلیل ضربه‌های مکانیکی و فیزیکی صدمه رسانی قابل ملاحظه‌ای دارند.

ارتعاش انسانی[1]

بدن انسان همانند سایر محیط‌های مادی قابلیت پذیرش و تولید ارتعاش را دارد. بدن انسان دارای سیستم ارتعاشی مخصوص به خود بوده و همانند سایر موجودات زنده، حرکت ارتعاشی لازمهٔ حیات می‌باشد. ارتعاش عضلات باعث تعادل بدن می‌گردد، 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 جزء 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. شکل (۲۱) مدل ارتعاشی بدن انسان را نشان می‌دهد. در این مدل هر اندام دارای محدوده‌ای از ارتعاشات طبیعی با فرکانس مربوط به خود است که لازمه انجام فعالیت‌های آن می‌باشد. برای هر اندام یک فرکانس بحرانی[2] یا فرکانس تشدید[3] تعریف شده است، زمانی که فرکانس ارتعاش وسیله‌ای که انسان با آن در ارتباط است (فرکانس نیروی محرکه) به حدود این فرکانس برسد، پدیده تشدید در عضو رخ خواهد داد. در هنگام

1 - Human Vibration
2 - Critical Frequency
3 - Resonance Frequency

تشدید عبور ارتعاش به‌راحتی انجام شده و اندام مقاومتی در مقابل ورود ارتعاش نمی‌کند. در نتیجه این عمل، ارتعاش طبیعی اندام تبدیل به ارتعاش واداشته می‌گردد. اثرات فیزیولوژیکی ناشی از ارتعاش واداشته در بدن وسیع بوده بر حسب نوع عمل اندام و حساسیت آن متفاوت است. دامنهٔ فرکانس‌های بحرانی تمام بدن بین ۸۰ -۱ هرتز است و برای ارتعاش دست - بازو تا ۱۵۰۰ هرتز نیز قابل توجه می‌باشد. به‌طور مثال فرکانس تشدید برای دست و بازو ۵۰ -۴۰ هرتز، چشم ۹۰-۲۰ هرتز، شکم ۸-۴ هرتز، سینه ۵۰ - ۱۰ هرتز و پا ۲۰ -۲ هرتز می‌باشد.



شکل(۲۱) مدل ارتعاش طبیعی بدن انسان

انواع ارتعاش انسانی

مطالعه ارتعاش انسانی شامل دو بحث مهم و اصلی شامل: ارتعاش تمام بدن[1] و ارتعاش دست-بازو (موضعی)[2] است. علت جدا نمودن مبحث ارتعاش دست - بازو بدین دلیل است که اولاً این اندام در کار اهمیت زیادی دارد و ثانیاً محدوده فرکانس بحرانی ارتعاش برای آن تا حدود 1500Hz مورد دارای اهمیت بوده و در استاندارد ISO-5439 نیز مورد بحث قرار گرفته است. ارتعاش دست - بازو از وسایل مرتعش دستی مانند مته برقی، ابزارهای بادی نظیر: مته، چکش، کلنگ و اره‌های چوب‌بری بنزینی تولید می‌گردد. ارتعاشی که به تمام بدن وارد می‌شود در محدوده فرکانس بحرانی 1-80Hz مورد مطالعه قرار می‌گیرد و طی استاندارد ISO-2631 مورد بحث قرار گرفته است. در ارتعاش تمام بدن سطح وسیعی از بدن در تماس با جسم مرتعش و حتی ممکن است کل بدن در یک محیط مرتعش مانند خودرو و بالگرد قرار گیرد. در برخی از پست‌های کاری به‌طور هم‌زمان بدن در معرض هر دو نوع ارتعاش قرار دارد.

جهات ورود ارتعاش

جهات قراردادی ورود ارتعاش به بدن و عبور آن‌ها در اثراتی که به دنبال خواهند داشت از اهمیت زیادی برخوردار است. علاوه بر اثراتی که ورود ارتعاش از جهات سه گانه بر بدن وارد می‌کند، برآیند نیروهای وارده نیز از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد. در ارتعاش انسانی جهات ورود ارتعاش به بدن را به‌صورت قراردادی به‌صورت زیر معین نموده‌اند:

جهات ورود ارتعاش تمام بدن W-B :

۱ - جهت X از پشت به سینه

۲ - جهتY از شانه به شانه

۳ - جهت Z در امتداد طول بدن (از پا به سر)

---

1 - Whole Body Vibration (W-B)

2 - Hand Arm(Segmental) Vibration (H-A)

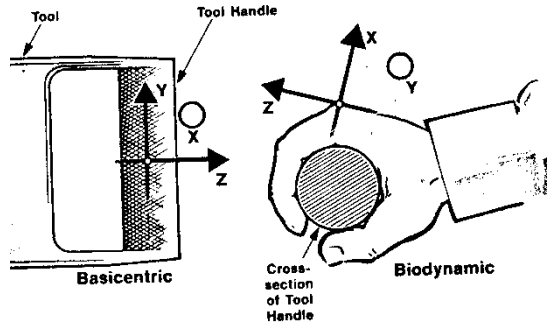
جهات ورود ارتعاش دست-بازو H-A :

۱ - جهت X از کف به پشت دست

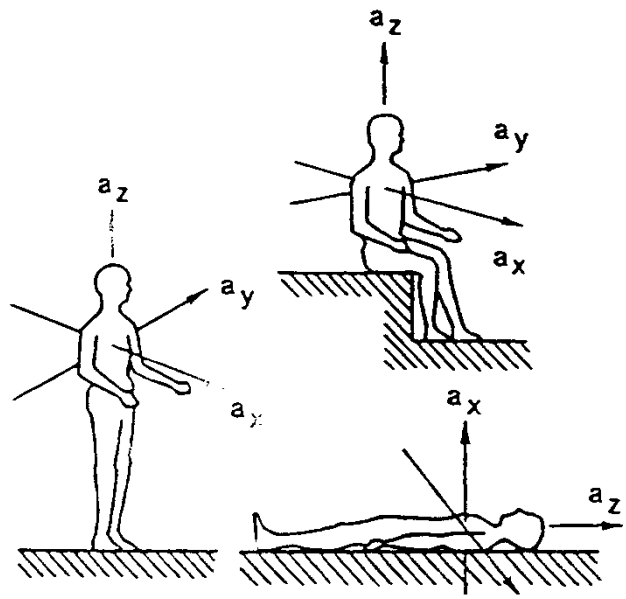
۲ - جهت Y در جهت پهنای دست، از انگشت کوچک به سمت انگشت شست

۳ -جهت Z در امتداد طول دست (از نوک انگشتان به سمت بازو)

این جهات در حالات مختلف ایستاده و یا نشسته و حتی خوابیده ثابت است. شکل (۲۲) و (۲۳) نشان دهنده این جهات است.



شکل(۲۲) جهات ورود ارتعاش دست-بازو



شکل (۲۳) جهات ورود ارتعاش به تمام بدن

همان‌گونه که در شکل (۲۲) دیده می‌شود دو جهت مختصاتی بیودینامیک[1]، در جهت امتداد طبیعی اندام و بیسی سنتریک[2] در امتداد قرارگیری وسیله دستی تعریف شده است. این دو جهت در برخی حالات غیر طبیعی کار با هم زاویه دارند. این زاویه اغلب در محور Z به وجود می‌آید. بهترین حالت کار زمانی است که این دو بر هم منطبق باشند.

کمیات اندازه‌گیری ارتعاش

برای بیان و اندازه‌گیری ارتعاش از دو دسته کمیات: فیزیکی (شامل جابجایی، سرعت و شتاب) و لگاریتمی(تراز جابجایی، تراز سرعت و تراز شتاب) استفاده می‌گردد. کمیات فیزیکی، مقادیر مطلق را نشان می‌دهد. با توجه به ماهیت ارتعاش سه کمیت جابجایی جسم از محور تعادل، سرعت ارتعاش و شتاب آن که بیانگر بزرگی ارتعاش هستند، مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

جابجایی[3]، تغییر مکان جسم مرتعش از نقطه تعادل خود است. واحد جابجایی در سیستم متریک بر حسب متر می‌باشد. این کمیت هم در اندازه‌گیری هم در مباحث کنترل ارتعاش حائز اهمیت می‌باشد. مقادیر سرعت ارتعاش عبارت است از جابجایی در واحد زمان که در سیستم متریک بر حسب m/s بیان می‌گردد. شتاب یک حرکت ارتعاشی برابر است با تغییرات سرعت نسبت به زمان (یا تغییرات سرعت در واحد زمان). شتاب در سیستم متریک بر حسب m/s^2 یا g شتاب ثقل و هر g معادل $9.81\ m/s^2$ است.

چنانکه قبلاً گفته شد هر سه کمیت از نظر ریاضی با هم ارتباط دارند. در رابطه با انسان کمیت مهم‌تر شتاب است. به همین منظور در اندازه‌گیری ارتعاش انسانی دستگاه‌ها عمدتاً این کمیت را اندازه می‌گیرند. در هر سیستم ارتعاشی در طول زمان دامنه‌های لحظه‌ای بسیار زیادی به وجود می‌آید. برای اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش این دامنه‌های

1 - Biodynamic Coordinate System
2 - Basicentric Coordinate System
3- Displacement

شتاب از مفاهیم: شتاب حداکثر(پیک)[1]، شتاب متوسط[2]، شتاب مؤثر[3] و شتاب معادل استفاده می‌شود.

شتاب حداکثر: در هر دوره اندازه‌گیری بالاترین کمیت ثبت شده از شتاب، شتاب پیک یا شتاب حداکثر نام دارد. این کمیت بیانگر بالاترین مقدار شتاب و به بیان دیگر بیشترین دامنه آن است.

شتاب متوسط: بیان کننده میانگین حسابی کلیه مقادیر شتاب در دوره اندازه‌گیری است. مطالعات نشان داده است که با توجه به درک لگاریتمی بدن از ارتعاش این کمیت در مطالعه ارتعاش انسانی اعتبار ندارد.

شتاب مؤثر: دامنه شتاب ارتعاشی در زمان تداوم خود تغییرات زیادی دارد و لحاظ نمودن همه تغییرات لحظه‌ای در مطالعه صوت عملاً ممکن نیست. در این حالت بر اساس انتگرال زمانی تغییرات شتاب می‌توان ریشه میانگین زمانی مجموع مربعات شتاب ارتعاش را محاسبه نمود که به آن شتاب مؤثر می‌گویند. در روابط مربوط به شتاب، عموماً از مقادیر مؤثر آن استفاده می‌شود. علت در نظر گرفتن مربع تغییرات دامنه شتاب این است که انسان لگاریتمی از مربعات شتاب را درک می‌کند. در امواج مختلط مقدار کلی فشار مؤثر صوت عبارت از مجموع مربعات فشار مؤثر هر موج است لذا می‌توان نوشت:

$$A_{rms}(m/s^2) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} a_i^2}$$

a: دامنه شتاب ارتعاشی ,(m/s²)

شتاب معادل: هرگاه توزیع زمانی شتاب مؤثر به‌گونه‌ای باشد که کارگر در طول شیفت با مقادیر مختلفی از شتاب مؤثر در زمان‌های معین مواجهه داشته باشد، در این صورت می‌توان مقادیر را با توجه به زمان تداوم (زمان مواجهه) طبق رابطه ذیل به شتاب معادل تبدیل نمود:

1- Peak (Max) Value
2- Average Value
3- Effective Value

$$A_{eq(T)}\,(m/s^2) = \sqrt{\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} a_{rms_i}^2 . t_i}$$

$A_{eq(t)}$: شتاب معادل کلی (m/s²)

a_{rmsi} : شتاب مؤثر (m/s²)

t_i : زمان تداوم هر شتاب یا زمان مواجهه با هر شتاب (hr)

T : کل زمان مواجهه (hr)

شتاب معادل در واقع یک متوسط زمانی (TWA[1]) از ریشه مجموع مربعات شتاب لحظه‌ای است و جایگزین منطقی و خطی برای تغییرات لحظه‌ای شتاب می‌باشد. در طول زمان مواجهه اگرچه مقادیر rms اهمیت دارد، اما برای ارزیابی و مقایسه با حدود مجاز بایستی آن را به شتاب معادل کلی تبدیل گردد. در رابطه فوق اگر T محدود به دوره زمانی خاصی مثلاً ۸ ساعته شود، شتاب مربوطه قابل مقایسه با مقادیر معیار مندرج در حدود مجاز مواجهه شغلی خواهد بود.

مثال: اگر کارگری به ترتیب ۱و۳و۵ ساعت در معرض ارتعاش با شتاب مؤثر ۱۵و۱۲و ۱۰m/s² باشد، شتاب معادل کلی و ۸ ساعته او چه میزان است؟

$$A_{eq(T)} = \sqrt{\frac{1}{9}\times\left[(15^2\times 1)+(12^2\times 3)+(10^2\times 5)\right]} = 11.34\ \ m/s^2$$

$$A_{eq(T)} = \sqrt{\frac{1}{8}\times\left[(15^2\times 1)+(12^2\times 3)+(10^2\times 5)\right]} = 12\ \ m/s^2$$

کمیات لگاریتمی

تبدیل مقادیر مطلق به کمیت لگاریتمی کار با مقادیر را ساده و درک ذهنی از آن را آسان می‌کند. در مقیاس لگاریتمی، لگاریتم یک نسبت (تراز[2]) محاسبه و بر حسب دسی‌بل(یک‌دهم بل) deci Bell (dB) بیان می‌شود. تراز عبارت از نسبت یک کمیت اندازه‌گیری شده به کمیت مبنا است. مهم‌ترین تراز مورد استفاده در مباحث مربوط به جنبه‌های بهداشتی، تراز شتاب ارتعاش می‌باشد.

1- Time Weighted Average (TWA)

2 - Level

در مقیاس لگاریتمی سه تراز: جابجایی، سرعت و شتاب با واحد دسی‌بل معرفی می‌گردد. جدول (۶) نمونه‌هایی از مقادیر شتاب و تراز شتاب را بیان می‌کند. در اینجا با توجه به اهمیت، تنها تراز شتاب مورد بحث قرار می‌گیرد. تراز شتاب از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$L_a\,(dB) = 20\log\left(\frac{A}{A_0}\right)$$

$$L_a = 20\log A + 120$$

L_a : *تراز شتاب ارتعاش (dB)*

A : *شتاب اندازه‌گیری شده معادل* ($a_{eq(T)}$)

A0 : *شتاب مبنا* ($10^{-6}\,m/s^2$)

برای محاسبه شتاب با داشتن تراز شتاب، از رابطه زیر استفاده می‌گردد:

$$A(m/s^2) = anti\log\left(\frac{L_a - 120}{20}\right)$$

جدول (۶) نمونه‌هایی از مقادیر شتاب و تراز شتاب

شتاب مطلق m/s^2	تراز شتاب dB	مثال برای ارتعاش تمام بدن	مثال برای ارتعاش دست-بازو
۰/۰۱	۸۰	توقف در سفینه	حالت استراحت
۰/۱	۱۰۰	راکبین وسایل دریایی و هوایی	نگه‌داشتن شیء در دست
۱	۱۲۰	راکبین خودرو و قطار	نگاه‌داشتن اهرم دستگاه‌ها
۱۰	۱۴۰	رانندگی لیفتراک و گریدر	کار با اره بنزینی(زنجیری)
۱۰۰	۱۶۰	رانندگی موتورسیکلت	کار با کلنگ یا مته بادی

تراز معادل شتاب

اگر توزیع زمانی شتاب مؤثر و در نتیجه شتاب معادل کلی به‌گونه‌ای باشد که کارگر در طول شیفت در زمان‌های معین با مقادیر مختلفی از شتاب مواجهه داشته باشد، در این صورت می‌توان مقادیر را با توجه به زمان تداوم (زمان مواجهه) طبق رابطه ذیل به تراز معادل کلی شتاب تبدیل نمود:

$$LA_{eq(T)} = 10\log\left[\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} 10^{L_{ai}/10} \times t_i\right]$$

$LA_{eq(t)}$: تراز شتاب معادل کلی (dB)

La_i : تراز شتاب معادل i/م

t_i : زمان تداوم هر تراز شتاب (hr)

T : مجموع زمان مواجهه (hr)

در صورتی که تراز شتاب معادل در یک محدوده زمانی معین مثلاً تراز شتاب معادل ۸ یا ۴ ساعته مد نظر باشد، در فرمول بالا به جای T زمان ثابت مثلاً ۸ ساعت قرار داده می‌شود.

مثال: اگر کارگری به ترتیب ۱و۳و۵ ساعت در معرض ارتعاش با تراز شتاب کلی ۱۴۳٫۵و۱۴۱٫۵و۱۴۰ دسی‌بل باشد، تراز شتاب معادل کلی و ۸ ساعته او چه میزان است؟

$$LA_{eq(T)} = 10\log\left[\frac{1}{9}\times[(10^{14.35}\times 1)+(10^{14.15}\times 3)+(10^{14}\times 5)]\right] = 141 \ \ dB$$

$$LA_{eq(T)} = 10\log\left[\frac{1}{8}\times[(10^{14.35}\times 1)+(10^{14.15}\times 3)+(10^{14}\times 5)]\right] = 141.5 \ \ dB$$

تراز پیک، تراز مؤثر

در صورتی که مقادیر جابجایی، سرعت و شتاب در معادلات فوق مقادیر حداکثر (پیک) باشد، ترازهای آن‌ها، تراز پیک و اگر مقادیر مؤثر باشد ترازها، تراز مؤثر خواهد بود. از طرفی چون معمولاً تراز معادل کلی به‌عنوان مبنای ارزیابی مورد استفاده قرار می‌گیرد، طبق محاسبه، تراز معادل کلی خود به نوعی بیان کننده تراز مؤثر است.

فاکتور قله[1] ارتعاش

فاکتور قله ارتعاش، نسبت یا لگاریتمی از نسبت کمیت مطلق شتاب حداکثر به شتاب مؤثر و همچنین تفاضل تراز پیک و تراز مؤثر می‌باشد. این معیار برای صدا هم کاربرد دارد. هر چه نسبت مذکور بزرگ‌تر باشد یا تفاضل ترازها بیشتر باشد، اثر صدمه رسانی موج

1 - Crest Factor

ارتعاشی بیشتر خواهد بود. به‌عبارت دیگر بزرگی این فاکتور نشان دهنده پیک‌های اتفاقی مکرر در موج ارتعاشی است:

$$CF(Ratio) = \frac{A_{peak}}{A_{rms}}$$

$$CF(dB) = Peak.Lvel - RMS.Level$$

جنبه‌های بهداشتی ارتعاش

صدماتی که ارتعاش به‌عنوان یک استرس[1] فیزیکی به بدن وارد می‌کند و همچنین پاسخ[2] فیزیولوژیک که بدن در مقابل آن ایجاد می‌کند، مختلف است. نحوه و میزان اثر ارتعاش به دو گروه عوامل خارجی(محیطی) و عوامل فردی بستگی دارد.

عوامل محیطی

۱- فرکانس ارتعاش: هر محدوده فرکانسی از دامنه ارتعاش اندام بخصوصی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در صورتی که فرکانس ارتعاش نیروی محرکه به فرکانس تشدید اندام نزدیک باشد اثرات در آن ارتعاش بیشتر است.

۲- شتاب یا سرعت ارتعاش(مؤثر): بزرگی دامنه ارتعاش به نوعی بیان کننده انرژی نیروی محرکه است و هرچه بیشتر باشد، اثر ارتعاش نیز بیشتر خواهد بود.

۳- جهت ورود ارتعاش به بدن: بیشترین صدمه وارده به بدن در جهت طول اندام و بیشترین مواجهه نیز در همان جهت است. در صورتی که جهات ورود بیش از یک جهت باشد (اغلب این گونه است) برآیند دامنه ارتعاش در همه جهات اهمیت می‌یابد.

۴- وسعت محل ورود ارتعاش: هرچه وسعت محل تماس بدن با جسم مرتعش بیشتر باشد اثر ارتعاش بیشتر و عوارض مربوطه زودتر نمایان می‌گردد.

۵- مدت مواجهه روزانه و سابقهٔ کار: طول زمان مواجهه در هر شیفت و سابقه کار با عوارض ارتعاش رابطه مستقیم دارند.

---

1 - Stress
2 - Strain

۶- درجه حرارت محیط: مواجهه با سرما، خصوصاً در ارتعاش دست-بازو اثر ارتعاش را تشدید می‌کند.

۷- میزان ضد ارتعاش بودن وسیلهٔ کار[1] : هرچه در مرحله طراحی وسیله را از نظر ارتعاش تولیدی کنترل نموده باشند مطلوب‌تر است. در صورت عدم کنترل مناسب توسط سازنده مخاطرات کار با آن بیشتر خواهد بود.

۸- زمان اثرگذاری ارتعاش: در یک دوره کاری بر اساس بررسی‌های به عمل آمده می‌توان الگویی را برای زمان اثرگذاری ارتعاش بیان نمود که مربوط به همان گروه جامعه و برای همان محدوده از ارتعاش است. لذا می‌توان گفت که هر میزان ارتعاش در یک محدوده زمانی معین می‌تواند اثرات خود را در بدن بروز دهد.

۹- وجود صدا: مواجهه با صدا در محیط کار، اثر ارتعاش را تشدید می‌کند. اثرات توأم صدا و ارتعاش بیش از جمع اثر هر کدام به تنهایی است، لذا باید در مطالعه اثر هر یک، اثر توأم دیگری نیز مورد ملاحظه قرار گیرد.

عوامل فردی

۱- طرز قرارگیری بدن در حین کار: حالات غیر طبیعی اندام می‌تواند به تسریع اثرات ارتعاش کمک نماید.

۲- وضعیت کششی بدن(ماهیچه‌ها): هرچه کشیدگی یا سفتی عضلات در هنگام کار با وسایل بیشتر باشد اثرات ارتعاش بیشتر خواهد بود. لذا به کارگران آموزش داده می‌شود که تا حد امکان چنگش عضلانی خود را محدود نمایند.

۳- چگونگی عکس‌العمل بدن به ارتعاش: پاسخ بدن انسان به تمام ارتعاشات یکسان نیست و در برخی فرکانس‌ها حساسیت کمتر می‌باشد، لذا توجه به این نکته در پیشگیری از اثرات مهم است.

1 - Anti Vibration (A/V)

۴- خصوصیات جسمانی، فردی و ارثی: ارتعاش مانند هر عامل محیطی اثرات یکسانی بر افراد ندارد، تجارب نشان داده است که خصوصیات بدنی، نژاد و آمادگی جسمانی در ایجاد عوارض ارتعاش نقش دارد. عادات فردی مانند اعتیاد به سیگار نیز می‌تواند اثر ارتعاش را تشدید نماید.

اثرات ارتعاش تمام بدن

این ارتعاشات از وسایل نقلیه زمینی، هوائی، دریایی و نیز بسیاری از محیط‌های مرتعش کاری مثل ژنراتورهای نیروگاه‌ها و سایر وسایل به بدن انسان وارد می‌شود. مهم‌ترین اثرات این نوع ارتعاش عبارتند از:

۱ - اختلال در اندام‌ها مخصوصاً ستون فقرات: به‌دلیل صدمات مکانیکی و همچنین اختلال در خون‌رسانی و تغذیه بافت‌ها که باعث تخریب سلول‌های استحکامی استئوسیت می‌شود، اندام اسکلتی مخصوصاً مفاصل تحت تأثیر ارتعاش قرار می‌گیرند، نرم و شکننده می‌شوند.

۲ - اختلالات گوارشی: به‌دلیل تقارن فرکانس ارتعاش با فرکانس طبیعی برای هضم و دفع مواد غذایی اختلالاتی ایجاد می‌گردد. یکی از این اختلالات، ناخوشی راکبین[1] وسایل نقلیه شامل: سرگیجه، عدم تمرکز و تهوع است. در مواجهه‌های شغلی با ارتعاش به‌دلیل تحریک عصبی و ترشح زیاد اسید، اختلال هضم غذا و اختلال در ترانزیت روده شایع بوده و حتی در برخی موارد هموروئید نیز گزارش شده است.

۳ - اثرات عصبی و عمومی: ارتعاش به‌عنوان استرس فیزیکی می‌تواند ترشح هورمون‌های محرک را زیاد نموده و باعث تحریک عصبی گردد. افزایش فشارخون و نبض نیز به همین دلیل است. مواجهه با ارتعاش حتی می‌تواند در ترشح برخی آنزیم‌های بدن نیز ایجاد اختلال نماید.

1 - Motion Sickness

اثرات ارتعاش دست - بازو

علاوه بر اثراتی که برای ارتعاش تمام بدن ذکر شد در تماس بدن با ارتعاش دست-بازو نیز عوارض ویژه‌ای ظاهر می‌گردد. در مطالعات اپیدمیولوژیک، عوارض ناشی از این ارتعاش شامل سندرم ارتعاش دست-بازو و عوارض استخوانی می‌باشد. این سندرم شامل اختلال در خون‌رسانی به دست به‌دلیل عکس‌العمل رفلکسی عروق به‌صورت تنگی ظاهر شده و باعث اختلال در تغذیه و اکسیژن رسانی شده و می‌تواند باعث علائم تغییرات عصبی و عروقی و نیز سندرم ارتعاشات دست - بازو[1] و نهایتاً پدیدهٔ انگشت سفید ناشی از ارتعاش[2] گردد.

مطالعات نشان داده است که در این عارضه به‌دلیل اختلالات ایجاد شده در خون‌رسانی، ابتدا تغییر رنگ انگشتان به‌سمت سفیدی، سپس سیانوزه(سیاه) شدن انگشتان، آتروفی(تحلیل بافت) تدریجی و نهایتاً قانقاریا(گانگرن) یا بافت مردگی عارض می‌گردد. بیشترین مطالعات در این زمینه مربوط به Taylor، Palmear و Pearson است. مراحل پیشرفت VWF از نظر تیلور شامل چند مرحله است که در جدول (۷) آمده است. در مراحل ۳ و ۴ این جدول نسج مردگی به‌طور پیش‌رونده ادامه داشته و انگشت کوچک بیش از همه در معرض آسیب می‌باشد. وجود سرما در محل کار اثر ارتعاش را تسریع می‌کند. در سال ۱۹۹۰ در گردهمایی استکهلم برای ارزیابی علائم و اثرات حسی و عروقی ناشی از ارتعاش، سندرم ارتعاش دست - بازو HAVS معرفی گردیده است. این علائم در درجه‌بندی ویژه‌ای که در جدول (۸) آمده است و هم اکنون مورد استناد می‌باشد.

تغییر شکل استخوان‌ها و مفاصل انگشتان به دلیل خون‌رسانی ناکافی و صدمات مکانیکی ناشی از ارتعاش موجب می‌گردد که مفاصل انگشتان تغییر شکل داده و حجیم گردند. نرمی استخوان و چنگش بالا این عارضه را تشدید می‌نماید. عوارض استخوان‌های مچ و کف دست: اختلال در خون‌رسانی و تغذیه بافت‌ها که باعث انهدام سلول‌های استحکامی استئوسیت می‌شود، استخوان‌های کف دست را تحت تأثیر ارتعاش قرار داده، نرم و شکننده نموده و حتی در برخی موارد دچار نکروز و حتی کنده شدن می‌نماید.

1 -Hand Arm Vibration Syndrome (HAVS)
2 - Vibration White Finger (VWF)

جدول (۷) مراحل سندرم ارتعاش دست بازو در تقسیم‌بندی استکهلم

مرحلهVWF	وضعیت انگشتان	میزان ممانعت از کار و زندگی
0	سفیدی در انگشتان مشهود است	شکایتی ندارد
0_T[1]	مور مور شدن متناوب	مانع فعالیت نیست.
0_N[2]	بی‌حسی متناوب	مانع فعالیت نیست.
1	سفیدی در یک یا چند انگشت همراه با مور مور شدن و بی‌حسی(یا بدون آن)	مانع فعالیت نیست.
2	سفیدی در یک یا چند انگشت به‌طور کامل همراه با بی حسی معمولاً در زمستان	محدودیت مختصر در انجام امور منزل و فعالیت‌های اجتماعی
3	سفیدی دو طرفه در تمام انگشتان به‌صورت همیشگی در تابستان و زمستان	محدودیت در کار و منزل و فعالیت‌های اجتماعی به‌جز فعالیت‌های مورد علاقه
4	سفیدی وسیع در تمام انگشتان به‌صورت دائم	در این مرحله به دلیل وسعت عوارض و محدودیت زیاد باید شغل فرد عوض شود

جدول (۸) پیشرفت VWF بر اساس نظر تیلور

ارزیابی عروقی		
مرحله	درجه	شرح
0	-	ناراحتی ندارد
1	ملایم	گاه‌گاهی ناراحتی در نوک یک یا چند انگشت
2	متوسط	گاه‌گاهی ناراحتی در بندهای بیش از یک انگشت
3	شدید	ناراحتی به‌صورت همیشگی در اغلب بندهای انگشتان
4	خیلی شدید	موارد مرحله ۳ به همراه نارسایی در تغذیه پوست در نوک انگشتان
توجه: بایستی مراحل برای هر دست جداگانه تعیین شود. مثلاً"2L(2)/1R(1) یعنی مرحله ۲ در دو انگشت دست چپ و مرحله ۱ در یک انگشت دست راست.		
ارزیابی حسی		
مرحله	علائم	
0SN	با ارتعاش مواجهه داشته ولی علامت بیماری ندارد	
1SN	بی‌حسی(کرختی) متناوب، همراه یا بدون مورمور شدن	
2SN	بی‌حسی(کرختی) متناوب یا مداوم، کاهش درک حسی	
3SN	بی‌حسی(کرختی) متناوب یا مداوم، کاهش درک حسی و کاهش مهارت دست	
توجه: بایستی مراحل برای هر دست جداگانه تعیین شود.		

3 - Tingling

4 - Numbness

گفتار ششم: اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش

ارتعاش سنج

اصولاً ارتعاش سنج‌ها را در دو نوع صنعتی و انسانی می‌سازند که نوع صنعتی در عیب‌یابی دستگاه‌ها کاربرد داشته و مقادیر ارتعاش را به‌صورت مطلق و بدون توزین فرکانس اندازه‌گیری می‌کند، ولی نوع انسانی علاوه بر امکان توزین فرکانس می‌تواند برخی محاسبات لازم را نیز انجام دهد.

دستگاه اندازه‌گیری ارتعاش انسانی[1] نوعی ارتعاش سنج است که بر اساس نحوه درک بدن نسبت به فرکانس‌های ارتعاش تنظیم و دارای شبکه توزین فرکانس[2] است. این دستگاه‌ها برای اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن و ارتعاش دست - بازو دارای توزین فرکانسی مستقل بوده و بسته به هدف و نوع اندازه‌گیری به‌کار برده می‌شوند. اندازه‌گیری توسط این وسایل می‌تواند به‌صورت مقادیر فیزیکی یا تراز، مخصوصاً تراز شتاب با مقادیر RMS یا Peak باشد. امروزه دستگاه‌های متنوعی با قابلیت‌های مختلف ساخته شده‌اند که برخی از آن‌ها فقط برای اندازه‌گیری ارتعاش دست- بازو و برخی دیگر برای اندازه‌گیری هر نوع ارتعاش قابلیت دارند. بخش‌های اصلی هر دستگاه ارتعاش سنج انسانی شامل: دریافت‌کننده، پردازشگر و نمایشگر می‌باشد.

دریافت‌کننده

دریافت‌کننده[3] شامل قسمت حساس به ارتعاش یعنی شتاب سنج[4]، قاب نگهدارنده[5] (در صورت نیاز)، فیلتر تشدید و سیم رابط است. دریافت‌کننده بر اساس نوع کاربرد به دو نوع: صفحه‌ای یا بشقابی برای اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن و مینیاتوری برای دست-بازو تقسیم می‌گردد.

---

1 - Human Responce Vibration Meter
2 - Frequency Weighting
3 - Transducer
4 - Accelerometer
5 - Holder

ویژگی‌های شتاب سنج‌ها

جرم شتاب سنج بایستی تا حد امکان کوچک باشد زیرا با افزایش جرم شتاب سنج دقت کم خواهد شد، این جرم متناسب با جرم وسیله مرتعش انتخاب می‌گردد. توصیه شده است که حداکثر نسبت جرم شتاب سنج به جرم دینامیکی ناچیز باشد لذا در ارتعاش انسانی برای اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن از سه شتاب سنج با جرم ۳۴ گرم قرار گرفته در یک محفظه بشقابی با جرم کلی کمتر از ۵۰۰ گرم و برای ارتعاش دست بازو شتاب سنج مینیاتوری با جرم حداکثر ۳۰ گرم در قاب منفرد نگهدارنده آلومینیومی استفاده می‌شود.

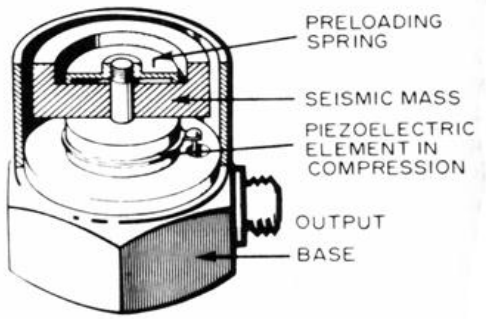
درجه حرارت‌های بالا (خصوصاً بیش از ۲۵۰ درجه سانتیگراد)، فشار غیر متعارف هوا، میدان‌های مغناطیسی و رطوبت نسبی محیط می‌تواند روی کارایی برخی شتاب سنج‌ها مؤثر باشد. به‌طور مثال درجه حرارت بالا و فشار هوا روی نوع پیزو رزیستیو اثر نامطلوب دارد. در خصوص شتاب سنج حساسیت در موقع برگشت از یک جهت ورود ارتعاش به جهت دیگر قابل توجه است. به‌صورت مطلوب این حساسیت در جهت‌ها تا حد pC/ms^{-2} ۰/۰۵-۱۰ قابل قبول است.

انواع شتاب سنج

شتاب سنج‌های انسانی شامل دو گروه: پیزوالکتریک(کریستالی)[1]، پیزو رزیستیو[2] هستند. در نوع پیزوالکتریک، هرگاه یک نیروی مکانیکی به سطح یک ماده کریستالی مانند کوارتز وارد شود، ولتاژی در سطح آن ایجاد می‌کند که این ولتاژ با نیروی وارده نسبت مستقیم دارد. اگر یک جرم بسیار کوچک را روی کریستال نصب و دوباره نیروی دیگری را به آن وارد گردد، با احتساب جرم اضافه شده ولتاژ معینی در سطح کریستال به وجود خواهد آمد. در شتاب سنج کریستالی از یک مجموعه شامل کریستال، جرم، پیش فنر نگهدارنده و خروجی ولتاژ پیش‌بینی شده است. هنگامی‌که این مجموعه به ارتعاش در می‌آید، تغییرات فشار روی سطح کریستال به‌صورت پالس الکتریکی از شتاب سنج خارج

1 - Piezoelectric
2 - Piezuresistive

می‌گردد. به علت تغییرات ناشی از طول عمر و اثر عوامل محیطی لازم است که پس از چند بار اندازه‌گیری شتاب سنج روی دستگاه کالیبره گردد. شکل (۲۴) برش ساده این نوع را نشان می‌دهد.



شکل (۲۴) برش شتاب سنج پیزوالکتریک

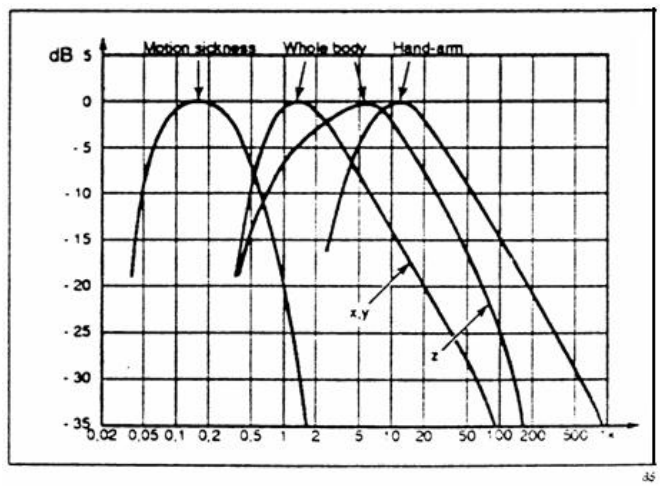
در شتاب سنج پیزو رزیستیو ، برای اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن کاربرد دارد و در آن چهار قطعه نیمه هادی P (مثبت) یا N (منفی) برای ۴ بازوی پل واتسون (پل اندازه‌گیری مقاومت مجهول در مقایسه با مقاومت معلوم) مورد استفاده قرار گرفته است. یک میله فلزی بین دو صفحه نیمه هادی به‌صورت ساندویچی قرارگرفته و انتهای دیگر میله به یک جرم کوچک ثابت شده است. فشار یا کشش باعث جابجایی میله و به هم خوردن بالانس دو صفحه نیمه‌هادی می‌شود، سپس یک جریان در حد میلی ولت در دو طرف نیمه هادی برقرار شده و توسط یک تقویت کننده کوچک این ولتاژ به پردازشگر منتقل می‌گردد.

پردازشگر

این بخش از ارتعاش سنج، پالس‌های دریافتی از جهات مختلف را پس از تقویت در ارتباط با جهت و نوع ارتعاش توزین فرکانس[1] نموده و مقادیر را بر حسب کمیات مطلق یا تراز به‌صورت انتگرال زمانی محاسبه می‌نماید. شکل (۲۵) نمودار این توزین را برای ارتعاش

1 - Frequency Weighting

دست بازو و تمام بدن در دو مؤلفه طولی(Z)[1] و عرضی (X,Y)[2] نشان داده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود کمیت ارتعاش در محدوده فرکانس بحرانی برای دست حدود ۱۶-۱۰ هرتز، و برای تمام بدن در محور عمودی ۸ -۶ هرتز و محور افقی در ۲ -۱ هرتز، توزین شده می‌شوند. محدوده کلی توزین فرکانس در پردازشگر از ۰,۴ تا ۱۰۰۰ هرتز می‌باشد. مقادیر پس از اندازه‌گیری، توزین فرکانس و محاسبات لازم برای هر جهت، در مقیاس حداکثر Peak یا مؤثر rms به نمایشگر منتقل می‌گردد. برخی دستگاه‌ها می‌توانند محاسبات دیگری را مانند تراز یا مقدار معادل زمانی همان‌طور که گفته شد کمیت مهم در اندازه‌گیری ارتعاش، شتاب و تراز شتاب آن است.

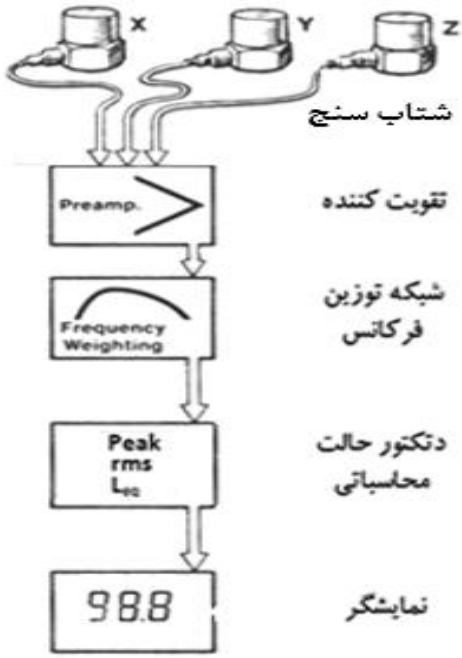


شکل (۲۵) نمودار توزین فرکانس در ارتعاش انسانی

نمایشگر[3]

نمایشگر دستگاه ارتعاش سنج امروزه به‌صورت دیجیتال با دقت یک‌دهم می‌باشد، زیرا قرائت به‌طور صحیح انجام شده و امکان خطای دید از بین می‌رود. مدار اجزای یک ارتعاش سنج در شکل (۲۶) نشان داده شده است.

1 - Longitudinal
2 - Lateral
3 - Read Out



شکل(۲۶) مدار یک ارتعاش سنج انسانی

آنالیزور ارتعاش[1]

به‌منظور مطالعه توزیع دامنه ارتعاش در پهنه فرکانسی، از آنالیزورهای مختلفی استفاده می‌گردد که به‌طور مستقل یا به همراه ارتعاش سنج انسانی ارتعاش را در پهنه فرکانس‌های ۰/۲-۲۰۰۰ Hz در مقیاس یک یا یک سوم اکتاو باند تجزیه می‌کنند.

دستگاه‌های ثبات[2]

برای مطالعات تحقیقاتی یا مواردی که لازم باشد نتایج ثبت و بعداً مورد مطالعه قرار گیرد از دستگاه‌های ثبات یا چاپگر (معمولاً روی کاغذ) استفاده می‌گردد. همچنین

1 - Frequency Analyzer
2- Recorders

دستگاه‌های پیشرفته قابلیت وصل به کامپیوتر و آنالیز آماری داده‌ها بر اساس نرم‌افزار را دارند. خروجی این دستگاه‌ها می‌تواند با اسیلوسکوپ نیز مورد مطالعه قرار گیرد. شکل(۲۷) نمای یک ارتعاش سنج پیشرفته را نشان می‌دهد که قابلیت اتصال به کامپیوتر را نیز دارد.

شکل(۲۷) نمای یک ارتعاش سنج پیشرفته همراه با نتایج آنالیز فرکانس

روش‌های اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش

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

الف - هدف اندازه‌گیری

ب - گردآوری اطلاعات دقیق از کارگاه

ج - گردآوری اطلاعات در باره نحوه مواجهه کارگر

د - وسیله اندازه‌گیری

ه - کالیبراسیون

و – حد مجاز مواجهه

هدف اندازه‌گیری

قبل از اقدام به اندازه‌گیری باید هدف کار معلوم گردد. برای هر هدف، روش، دستگاه و نحوه ارزیابی متفاوت است. اندازه‌گیری ارتعاش می‌تواند به منظورهای زیر انجام گردد:

الف - اندازه‌گیری برای اهداف صنعتی (مثلاً عیب‌یابی و بازرسی فنی دستگاه‌ها)

ب - اندازه‌گیری برای مشخص نمودن میزان مواجهه کارگر

ج - اندازه‌گیری برای کنترل ارتعاش

گردآوری اطلاعات

قبل از هر گونه اقدام به اندازه‌گیری و ارزیابی، باید اطلاعات مورد نیاز برای این کار از کارگاه و نحوه مواجهه کارگر جمع‌آوری گردد. ابتدا باید نقشه ساده محیط کار که دارای مقیاس و محل نصب دستگاه‌ها و خصوصاً دستگاه‌های مولد ارتعاش، ترسیم گردد. همچنین اطلاعات مربوط به محل‌های توقف کارگران، ساعات مواجهه هر گروه کارگران با ارتعاش، اوقات تغییر شیفت و اطلاعات مدیریتی مهم مانند اضافه‌کاری، کارکردشی و مرخصی‌ها نیز باید ثبت گردد. در صورتی که اهداف کنترل ارتعاش نیز مد نظر باشد اطلاعات دقیق و وسیعی علاوه بر موارد ذکر شده از مشخصات فنی دستگاه‌ها، مشخصات فنی سازه‌های بنای کارگاه و نیز مشخصات فنی فونداسیون محل نصب دستگاه‌ها باید به فهرست اطلاعات اضافه گردد.

انتخاب وسیله

برای هر هدف معین باید از وسیله مناسب استفاده گردد. قبلاً بایستی طرز کار و محدودیت‌های دستگاه مورد مطالعه قرار گیرد. دستگاه‌هایی که امروزه برای اندازه‌گیری در محیط ساخته شده‌اند، دارای حجم کم و قابلیت بالا هستند. گروهی از ارتعاش سنج‌های انسانی قابل اتصال به ترازسنج صوت هستند.

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 اطمیان از داشتن قابلیت شبکه وزنی برای مطابقت با پاسخ بدن انسان و مناسب بودن بخش دریافت کننده ارتعاش برای اندازه‌گیری ضروری است.

کالیبراسیون

قبل از هر بار اندازه‌گیری باید از صحت و دقت کار دستگاه مطمئن شد. دقت دستگاه وابسته به نوع دستگاه و مشخصات آن است. ولی برای اطمینان از صحت کار دستگاه بایستی آن را با وسیله یا روش استاندارد کالیبره نمود. کالیبراسیون ارتعاش‌سنج‌ها مشابه صداسنج‌ها می‌باشد که با کمک یه منع مولد خارج دستگاه انجام می‌شود. روش اختصاصی برای کالیبراسیون دستگاه ارتعاش سنج، استفاده از کالیبراتور (مولدهای) استاندارد است. طبق راهنمای هر دستگاه، شتاب سنج که بخش مهم دریافت کننده می‌باشد بر روی کالیبراتور قرار می‌گیرد و پس از روشن کردن آن، دستگاه ارتعاش سنج باید مقادیر شتاب ارتعاشی را دقیقاً نشان دهد در غیر این صورت باید توسط مدار داخلی یا پیچ تنظیم کالیبره شود.

استانداردهای اندازه‌گیری و حدود مواجهه کارگر با ارتعاش

نظر به اینکه مقادیر توصیه شده برای مواجهه مجاز متفاوت است، برای ارزیابی و اظهار نظر در مورد تعیین حدود، لازم است استانداردهای اندازه‌گیری و دستگاهی و همچنین حدود مجاز مواجهه تعیین گردد. در ادامه، این مبحث تشریح خواهد شد.

روش‌های اندازه‌گیری

برای دستیابی به نتایج روشن و قابل استفاده، بر اساس اهداف اندازه‌گیری و ارزیابی یکی از روش‌های زیر انتخاب می‌گردد:

الف - اندازه‌گیری ارتعاش صنعتی

ب - اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن

ج - اندازه‌گیری ارتعاش دست - بازو

اندازه‌گیری ارتعاش صنعتی

این اندازه‌گیری برای منظورهای مختلف کاربرد دارد که عیب‌یابی دستگاه‌ها مهم‌ترین آن است. اما آنچه در کنترل ارتعاش صنعتی مطرح است اینکه، کمیات ارتعاش را بدون توزین فرکانس اندازه‌گیری نموده و در بررسی‌های بعدی راه‌های کنترل فنی بررسی و اجرا گردد. در این روش از شتاب سنج‌های صنعتی استفاده می‌شود.

اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن

برای اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن ابتدا باید دستگاهی انتخاب شود که برای این کار طراحی شده باشد. هم‌چنین دریافت‌کننده ارتعاش باید مخصوص ارتعاش تمام بدن باشد. دریافت‌کننده ارتعاش تمام بدن به شکل صفحه‌ای با ضخامت کم و پوشش لاستیکی بوده و در محل تماس بدن با دستگاه حد فاصل بدن و دستگاه قرار داده می‌شود. مثلاً اگر فرد در حالت نشسته باشد شتاب سنج روی صندلی گذاشته شده و فرد روی آن می‌نشیند. برای حالات دیگر روی زمین یا متصل به تکیه گاه نصب می‌گردد. شکل (۲۸) نشان دهنده حالات مختلف استفاده از آن است.

اگر کارگر در تمام طول شیفت با یک ارتعاش مواجهه داشته باشد، یک اندازه‌گیری در سه جهت برای ارزیابی کافی است. ولی اگر در زمان‌های مختلف یا در حالات مختلف قرار می‌گیرد، بایستی برای هر مواجهه در سه جهت (X,Y.Z) اندازه‌گیری را انجام داده و در

صورتی که نیاز به آنالیز فرکانس باشد بایستی در هر جهت این کار انجام گردد. طبق جدول حدود مجاز مواجهه OEL لازم است مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت برآیند جهت انجام گردد و سپس با جدول ۱۱ مقایسه و ارزیابی گردد.

پس از تنظیم و کنترل اتصالات دستگاه و انتخاب محور مورد نظر، کارگر اجازه می‌یابد که بدون تغییر حالت در پست کاری خود مشغول گردد . اندازه‌گیری انجام گردد. در هنگام اندازه‌گیری باید مقادیر در هر نوبت سه بار قرائت شود تا از صحت کار اطمینان حاصل گردد سپس نتایج اندازه‌گیری بر روی فرم مخصوص ثبت می‌گردد.

شکل(۲۸) به‌کارگیری شتاب سنج تمام بدن

مثال: یک راننده اتوبوس مد نظر است. وی برای هر بار مسافرت بین تهران و همدان که ۴ ساعت به طول می‌انجامد مسیر اتوبان تهران – ساوه و ساوه – همدان را طی می‌نماید. راننده مذکور در هر شبانه‌روز یک‌بار رفت و یک‌بار برگشت جمعاً ۸ ساعت مواجهه دارد. برای اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن وی با استفاده از یک دستگاه ارتعاش سنج انسانی کالیبره شده که توانایی آنالیز فرکانس ارتعاش و اندازه‌گیری هم‌زمان سه جهت و مقادیر شتاب مؤثر به‌صورت معادل زمانی (A_{TWA}) را دارد استفاده می‌شود. مراحل کار به‌صورت زیر می‌باشد:

۱. ابتدا با راننده در مورد لزوم اندازه‌گیری ارتعاش و هدف کار صحبت می‌شود و به وی اطمینان داده می‌شود که این اندازه‌گیری برای وی هیچ‌گونه محدودیت کاری یا خطری ندارد بلکه برای مراقبت از سلامتی وی می‌باشد.
۲. سنسور بشقابی دریافت کننده سه جهته مطابق شکل ۲۸ روی کف صندلی قرار داده می‌شود. با توجه به اینکه ضخامت کمی دارد و قاب آن نیز لاستیکی است مزاحمتی برای راننده نخواهد داشت. کابل دریافت کننده ارتعاش به دستگاه ارتعاش سنج متصل می‌شود.
۳. تنظیمات دستگاه مطابق راهنمای سازنده تنظیم و روی حالت A_{eq} و آنالیز فرکانس هم‌زمان تنظیم و آماده کار می‌گردد.
۴. با توجه به اینکه مسیر رانندگی اتوبان بوده و تغییرات شتاب ارتعاشی هم قابل مشاهده است پس از طی ۳۰ دقیقه از شروع حرکت، اندازه‌گیری را شروع می‌نمایند. در این حالت باید دکمه شروع فعال و کارشناس حالت Run دستگاه را مشاهده نماید. مدت زمان اندازه‌گیری ۳۰ دقیقه کافی می‌باشد در صورتی که بخواهیم اطمینان بیشتری داشته باشیم این اندازه‌گیری را یک بار دیگر در طول سفر تکرار می‌نماییم.
۵. پس از اتمام اندازه‌گیری نتایج را با جدول شماره ۱۱ مقایسه می‌نماییم. به‌طور مثال اگر شتاب معادل سه جهته ثبت شده توسط دستگاه برابر ۰/۹۳ m/s^2 باشد، با توجه به اینکه این عدد مقدار شتاب معادل محدود نشده را نشان داده است و مدت زمان مواجهه کلی راننده مورد نظر هم در هر روز ۸ ساعت است، عدد مذکور با حد مجاز ۸ ساعته مقایسه می‌گردد که در جدول ۱۱ برابر ۰/۸۷ m/s^2 تعیین شده است. لذا اظهار نظر «مواجهه غیرمجاز» می‌باشد. اگر همین راننده بخواهد در حد مجاز رانندگی نماید، طبق درون‌یابی جدول ۱۱ باید حدود ۵ ساعت رانندگی نماید. درون‌یابی با کمک محاسبات تناسب به‌صورت زیر انجام می‌گردد:

480 - 240 min 1.1 - 0.87 m/s^2

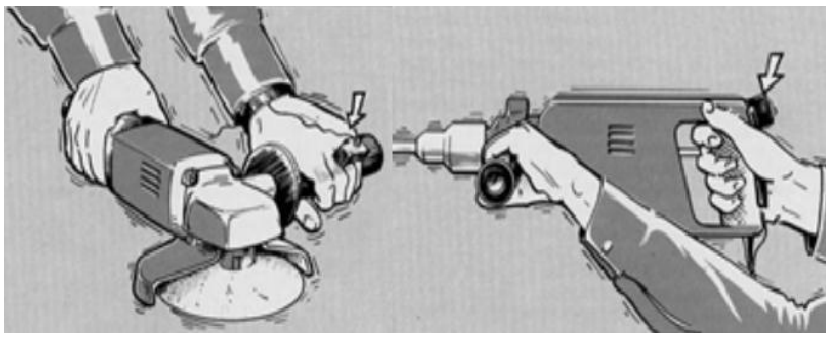
X 1.1 – 0.93 ⟶ X = 117

480 – 117 = 303 min = 50.05 hr

اندازه‌گیری ارتعاش دست-بازو

برای اندازه‌گیری ارتعاش دست - بازو از ارتعاش سنجی استفاده می‌گردد که بتواند توزین فرکانس مورد نظر را برای ارتعاش دست - بازو انجام دهد. شتاب سنج مورد استفاده برای این کار مینیاتوری است. شتاب سنج مربوطه در داخل حفره یک قاب[1] مخصوص و در جهت مورد (X,Y.Z) نظر قرار داده می‌شود و مطابق شکل (۲۹) با دست‌بند چرمی به مچ ثابت شده و به‌کار می‌رود.

اگر کارگر در تمام طول شیفت با یک ارتعاش مواجهه دارد، یک‌بار اندازه‌گیری در سه جهت برای ارزیابی کافی است. ولی اگر در زمان‌های مختلف یا در حالات مختلف قرار می‌گیرد، بایستی برای هر مواجهه در سه جهت اندازه‌گیری انجام گیرد. در صورتی که نیاز به آنالیز فرکانس باشد بایستی در هر جهت این کار انجام گردد. طبق جدول حدود مجاز مواجهه OEL لازم است مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت برآیند جهت انجام گردد و سپس با جدول ۱۰ مقایسه و ارزیابی گردد. پس از تنظیم و کنترل اتصالات دستگاه و انتخاب محور مورد نظر به کارگر اجازه داده می‌شود تا بدون تغییر حالت مچ و تغییر در نیروی چنگش دست به کار با دستگاه مشغول گردد. نتایج اندازه‌گیری در هر جهت سه بار قرائت نموده تا از صحت کار اطمینان حاصل گردد سپس نتایج اندازه‌گیری بر روی فرم مخصوص ثبت می‌گردد. شکل (۴۱) نحوه به‌کارگیری شتاب سنج دست- بازو را نشان می‌دهد. هنگام کار با شتاب سنج مینیاتوری باید کمال دقت در نگهداری آن به عمل آید.



شکل(۲۹) به‌کارگیری شتاب سنج دست-بازو

1- Holder

مثال: در صورتی که بخواهیم برای راننده اتوبوس مثال قبل میزان مواجهه با ارتعاش دست– بازو را نیز اندازه‌گیری و ارزیابی نماییم مراحل زیر باید انجام گردد.

۱. در فواصل اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن سنسور صفحه‌ای را هنگام توقف در پلیس راه، برمی‌داریم و قبل از شروع حرکت سنسور دست و بازو را مطابق راهنمای دستگاه و همانند شکل ۲۹ (سمت چپ) روی دست نصب و مچبند را می‌بندیم.
۲. کابل دریافت کننده دست و بازو را به دستگاه ارتعاش سنج انسانی متصل نموده و آن را روی حالت اندازه‌گیری دست و بازو تنظیم می‌کنیم. سایر تنظیمات شامل سنجش سه جهته شتاب مؤثر و حالت محاسباتی A_{eq} و آنالیز فرکانس هم‌زمان است.
۳. دکمه شروع را فشار می‌دهیم و به راننده می‌گوییم که فرمان را عادی در دست بگیرد. توجه داشته باشید که هنگام اندازه‌گیری دستگاه در حالت Run باشد. مدت زمان اندازه‌گیری نیم ساعت کافی است. برای اطمینان در طول مسیر رانندگی این اندازه‌گیری را دو بار تکرار می‌کنیم.
۴. پس از اتمام اندازه‌گیری نتایج را با جدول شماره ۱۰ مقایسه می‌نماییم. به طور مثال اگر شتاب معادل سه جهته ثبت شده توسط دستگاه برابر ۱/۸ m/s^2 باشد، با توجه به اینکه این عدد مقدار شتاب معادل محدود نشده را نشان داده است و مدت زمان مواجهه کلی راننده مورد نظر هم در هر روز ۸ ساعت است، عدد مذکور با حد مجاز ۸ ساعته مقایسه می‌گردد که در جدول ۱۰ برابر ۲ m/s^2 تعیین شده است. لذا اظهار نظر «مواجهه مجاز» می‌باشد. این بدان معنی است که راننده مذکور دارای مواجهه مجاز با ارتعاش دست – بازو و مواجهه غیرمجاز با ارتعاش تمام بدن است.

استانداردهای ارتعاش

الف- استاندارد ارتعاش تمام بدن (ISO 2631-1(1997-R 2004: توصیه جدید سازمان بین‌المللی استاندارد که در دو بخش آمده است، به‌جای استفاده از معیارهای قبلی و بر اساس مطالعات جدید اظهار می‌دارد که مقدار شتاب مجموع که بیان کننده برآیند سه جهت است، از فرمول زیر محاسبه گردد:

$$A_{eq(ET)} = \sqrt{\left[(k_x^2 \times A_{eq(x)}^2) + (k_y^2 \times A_{eq(y)}^2) + (k_z^2 \times A_{eq(z)}^2)\right]}$$

$A_{eq(ET)}$: *برآیند شتاب معادل کلی* $m.s^{-2}$

$A_{eq(x)}$: *شتاب معادل کلی در محور* x

$A_{eq(y)}$: *شتاب معادل کلی در محور* y

$A_{eq(z)}$: *شتاب معادل کلی در محور* z

k : *فاکتور جهت طبق الگوی جدول زیر:*

نوع ارزیابی و حالت بدن کارگر حین کار	فاکتور در جهت x	فاکتور در جهتy	فاکتور در جهت z
الف – برای تعیین مخاطره ارتعاش	۱/۴	۱/۴	۱
ب – برای تعیین افت تمرکز و افت راحتی:			
۱ - ایستاده:	۱	۱	۱
۲ - نشسته:			
- با تکیه‌گاه	۰/۸	۱،۵	۰/۴
- ارتعاش منتقله به پاها	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۴
۳ - ایستاده:	۱	۱	۱
۴ - در حالت خم شده:	۱	۱	۱

پس از محاسبه شتاب برآیند کلی، مقادیر با توجه به دو الگوی معین که در ادامه خواهد آمد، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. پاسخ بدن به ارتعاش، متناسب با میزان انرژی وارده به بدن است. لذا اگر یک محدوده معینی از اثر یا پاسخ فیزیولوژیک در نظر گرفته شود، همواره بین میزان شتاب وارده و زمان در معرض بودن ارتباط برقرار است. این بدان معنی است که برای ایجاد اثرات یکسان با افزایش شتاب وارده به بدن زمان مواجهه کوتاه‌تری مورد نیاز است و برعکس هرگاه شتاب وارده به بدن کوچک باشد زمان طولانی‌تری را برای ایجاد اثرات می‌طلبد (این نقش در تأثیر عوامل مخاطره زا، این یک اصل است). بنا براین بر اساس دو الگو این تناسب معرفی می‌شود:

$$(B.1) \qquad A_{eq(T1)} \times T_1^2 = A_{eq(T2)} \times T_2^2$$

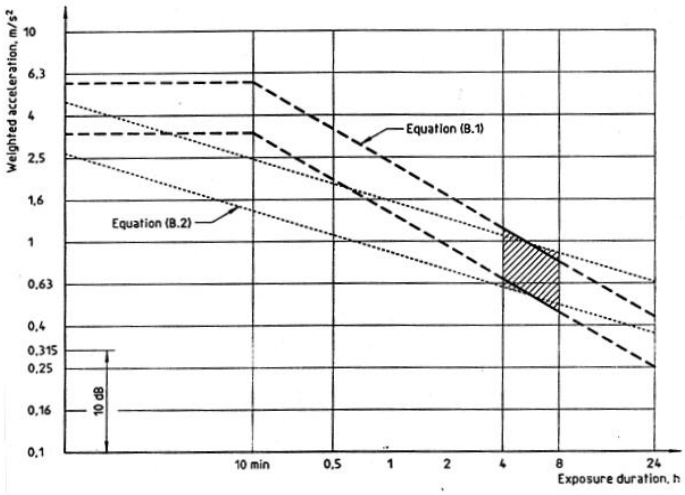
$$(B.2) \qquad A_{eq(T1)} \times T_1^{1/4} = A_{eq(T2)} \times T_2^{1/4}$$

B.1 و B.2 : دو الگوی متداول معرفی‌شده

$A_{eq(Ti)}$: *شتاب معادل کلی مواجهه در مواجهه‌های ۱ و ۲*

T_1 و T_2 : *زمان‌های مواجهه در دو وضعیت*

با توجه به هر دو الگو، نموداری معرفی‌شده است که محدوده مخاطره را با در نظر گرفتن زمان مواجهه روزانه (به ساعت) و شتاب معادل کلی تعیین می‌کند. شکل (۳۰) نشان دهنده این استاندارد است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دو مرز برای هر یک از روابط الگوهای B.1 و B.2 معین شده است. مواجهه با ارتعاش در زیر مرز حداقل بدون مخاطره و مواجهه در بالای مرز حداکثر، شروع ناحیه مخاطره بهداشتی خواهد بود. به بیان دیگر محدوده دو مرز منطقه مجاز مواجهه و در عین حال احتیاط است. چنانکه از این الگو برمی‌آید در ناحیه مواجهه بین ۸ -۴ ساعت هر دو الگو تقریباً تطابق دارند. البته این استاندارد برای مواردی که فاکتور قله (CF) بیش از ۹ دسی‌بل باشد با ملاحظاتی مورد استفاده می‌باشد که در استاندارد مورد بحث ذکر شده است.



شکل (۳۰) استاندارد(ISO-2631-1(1997-R2004، حدود مجاز مواجهه با ارتعاش تمام بدن

ب- استانداردهای ارتعاش دست- بازو (ISO-5349(2001

این استاندارد رئوس کلی چگونگی اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش دست - بازو را اعلام نموده است. مهم‌ترین ویژگی این استاندارد معرفی حد اثر گذاری ارتعاش دست - بازو است. این توصیه نتایج ۴۰ مطالعه بر روی کارگرانی است که در معرض ارتعاش که مواجهه آنان تا ۲۵ سال و شتاب ۴ ساعته تا ۵۰ m/s^2 بوده‌اند. در تعیین حد اثر گذاری باید ابتدا

شتاب مؤثر ۴ ساعته($A_{eq(4)}$) محاسبه، سپس اثر دز تجمعی مواجهه با ارتعاش به‌صورت در صد افراد مبتلا به عوارض عصبی عروقی (VWF) با رابطه زیر محاسبه گردد:

$$C(\%) = \left[\frac{A_{eq(4)} \times T_F}{95} \right]^2 \times 100$$

برای محاسبه T_F از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$T_F\,(year) = \sqrt{\frac{C(\%) \times 95}{(A_{eq(4)})^2}}$$

C : درصدی از افراد که مبتلا به ناراحتی‌های عصبی عروقی می‌شوند

$A_{eq(4)}$: شتاب معادل ۴ ساعته (m/s^2) مواجهه بر اساس rms در هر جهت

T_F : طول زمان مواجهه با ارتعاش قبل از بروز سفیدی در انگشتان یا قبل از اولین علائم عصبی عروقی (سال)

رابطه فوق برای سال‌های مواجهه بین ۱ تا ۲۵ سال و درصد بین ۱۰ تا ۵۰ درصد صادق است. جدول (۹) این رابطه را به‌صورت عددی نشان می‌دهد. طبق توصیه در بین این مقادیر آنترپولاسیون داده‌ها مجاز است.

جدول (۹) زمان اثر گذاری ارتعاش دست- بازو با توجه به شتاب مواجهه ۴ ساعته مؤثر

شتاب معادل ۴ ساعته m/s^2	درصد جمعیت کارگران مبتلا به عوارض عصبی عروقی				
	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۴۰	٪۵۰
	طول زمان مواجهه (سال)				
۲	۱۵	۲۳	<۲۵	<۲۵	<۲۵
۵	۶	۹	۱۱	۱۲	۱۴
۱۰	۳	۴	۵	۶	۷
۲۰	۱	۲	۲	۳	۳
۵۰	<۱	<۱	<۱	۱	۱

مثال: اگر شخصی به ترتیب ۲و۵ ساعت در معرض ارتعاش با شتاب مؤثر ۱۱و $10 m/s^2$ باشد، شتاب معادل کلی و ۴ ساعته او چه میزان است؟ همچنین اگر افرادی مانند وی در

این محیط فعالیت داشته باشند پس از ۳ سال چه درصد از آنان به عوارض عصبی عروقی امکان ابتلاء خواهند داشت؟

$$A_{eq(T)} = \sqrt{\frac{1}{7} \times \left[(11^2 \times 2) + (10^2 \times 5)\right]} = 10.29 m/s^2$$

$$A_{eq(4)} = 10.29 \times \sqrt{\frac{7}{4}} = 13.61 m/s^2$$

$$C = \left[\frac{13.61 \times 3}{95}\right]^2 \times 100 = 18.47\%$$

حد مجاز مواجهه شغلی OEL

جدول (۱۰) حد مجاز مواجهه شغلی برای ارتعاش دست بازو و جدول (۱۱) حد مجاز مواجهه شغلی برای ارتعاش تمام بدن را نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های (۳۱) و (۳۲) حدود مجاز مواجهه شغلی تمام بدن را بر حسب آنالیز فرکانسی نشان می‌دهد. مواجهه با ارتعاش شغلی نباید از این حدود فراتر رود.

مرز کاهش آسایش[1] و مرز کاهش مهارت و خستگی[2] به استناد نسخه [ISO-2631(1985)] نیز به‌منظور جلوگیری از خستگی(FDPB) و کاهش تمرکز و آسایش (RCB) شاغلین مورد پذیرش کمیته عوامل فیزیکی می‌باشد. نحوه محاسبه هر یک از مرزهای مذکور با توجه به مرز مقادیر مجاز مندرج در جدول ۶ به‌صورت زیر می‌باشد:

$OEL(m/s^2) = FDPB(m/s^2) \times 2$

$OEL(m/s^2) = RCB(m/s^2) \times 6.30$

$FDPB(m/s^2) = RCB(m/s^2) \times 3.15$

1 - Reduced Comfort Boundary (RCB)
2 - Fatigue-Decreased Proficiency Boundary (FDPB)

جدول (۱۰): مقادیر حد مجاز مواجهه شغلی با ارتعاش دست-بازو
(مستند به استاندارد ISO 5349(2001))

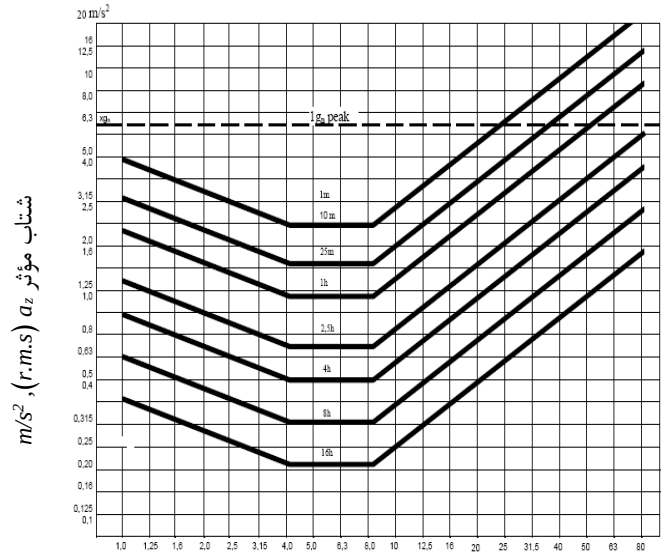
مدت مواجهه روزانه* (دقیقه)	حد مجاز شتاب مؤثر** معادل(برآیند سه جهت) (m/s^2)	حد مراقبت(عمل) شتاب مؤثر** (برآیند سه جهت) (m/s^2)
۹۶۰	۱/۵	۰/۹
۴۸۰	۲/۰	۱/۲
۲۴۰	۲/۸	۱/۷
۱۲۰	۴/۰	۲/۴
۶۰	۵/۵	۳/۳
۳۰	۸/۰	۴/۸
۱۵	۱۲/۰	۷/۲
۷/۵	۱۷/۰	۱۰/۲

** کل زمانی که ارتعاش طی یک روز کاری به‌صورت پیوسته یا متناوب به دست منتقل می‌شود.*

*** مقدار RMS مد نظر است. معمولاً ارتعاش در یک محور بیشتر از دو محور دیگر می‌باشد. اگر در یک یا چند محور میزان ارتعاش از "کل مدت مواجهه مجاز روزانه" تجاوز کند، از حد مجاز مواجهه شغلی نیز تجاوز کرده است لیکن معیار مقایسه مقادیر برآیند سه جهت خواهد بود.*

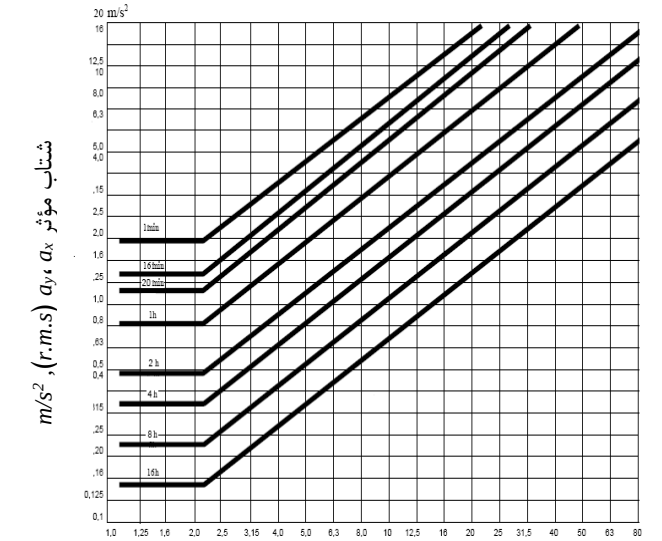
جدول (۱۱)- حد مجاز مواجهه شغلی با ارتعاش تمام بدن
(مستند به معادله B2 استاندارد [ISO 2631-1997(R2004)])

مدت مجاز مواجهه (دقیقه)	حد مجاز شتاب مؤثر معادل (برآیند سه جهت) (m/s^2)	حد مراقبت(عمل) شتاب مؤثر (برآیند سه جهت)(m/s^2)
۱۴۴۰	۰/۶۳	۰/۳۸
۹۶۰	۰/۷۰	۰/۴۲
۴۸۰	۰/۸۷	۰/۵۰
۲۴۰	۱/۱۰	۰/۵۹
۱۲۰	۱/۳۰	۰/۷۲
۶۰	۱/۶۰	۰/۸۵
۳۰	۱/۸۵	۱/۱۰
۱۰	۲/۴۵	۱/۴۵



فرکانس یا فرکانس مرکزی یک سوم اکتاوباند (هرتز)

شکل (۳۱): حدود مجاز شتاب محور طولی (a_z) بر حسب فرکانس مرکزی



فرکانس یا فرکانس مرکزی یک سوم اکتاوباند (هرتز)

شکل (۳۲) : حدود مجاز شتاب محورهای عرضی (a_y ، a_x) بر حسب فرکانس مرکزی

حد مراقبت ارتعاش

منظور از حد مراقبت[1] یا حد اقدام، مقادیری است که باید مراقبت‌های پیشگیرانه و احتیاطی در مواجهه با عامل زیان آور شروع گردد. این مراقبت‌ها شامل تدابیر مدیریتی، پزشکی، فنی و حفاظت فردی می‌باشد تا از صدمات ناشی از مواجهه افراد حساس و مواجهه‌های توأم با عوامل تشدید کننده جلوگیری شود. اعداد ذکر شده در این کتابچه تعیین کننده حد مجاز مواجهه شغلی با یک عامل فیزیکی به تنهایی است و در صورتی که فرد به طور همزمان با سایر عوامل فیزیکی یا حتی شیمیایی تشدیدکننده اثرات این عوامل مواجهه داشته باشد، حد مجاز به حد مراقبت (اقدام) کاهش پیدا می‌کند و مسئولین ذی‌ربط باید بررسی‌های متناسبی برای پیشگیری از اثرات توأم، تا اطمینان از حفظ سلامت شاغلین به عمل آورند. در جداول حدود مجاز مواجهه شغلی با ارتعاش تمام بدن و دست – بازو نیز حد مراقبت تعریف شده الزامی می‌باشد. برای هر مدت مجاز مواجهه مندرج در جداول ۱۰ و ۱۱، حد مراقبت متناظر که از ۶۰ ٪ شتاب ارتعاشی هر ردیف تجاوز نمی‌کند قید گردیده است.

تذکر ضروری: هرگونه تغییر در فرآیند کار یا استفاده از تجهیزاتی که بر ماهیت مواجهه کارگران با ارتعاش موثر است، مستلزم اندازه‌گیری و ارزیابی مجدد ارتعاش خواهد بود

ارزیابی مواجهه کارگر

برای ارزیابی مواجهه کارگر پس از گردآوری اطلاعات ساعات و نحوه مواجهه کارگر و اندازه‌گیری شتاب ارتعاش به شرح زیر عمل می‌شود. لازم به ذکر است که نتایج باید در فرم گزارش دهی که در انتهای این مبحث آمده وارد گردد:

ارزیابی مواجهه ارتعاش تمام بدن

برای ارزیابی مواجهه کارگر با ارتعاش تمام بدن ابتدا بایستی در جهات سه گانه شتاب مؤثر اندازه‌گیری شده، آنگاه بسته به اینکه برای ارزیابی از کدام معیار استفاده می‌شود، مقادیر مربوطه به شرح ذیل متناسب می‌گردد:

1 - Action Level

الف- در صورتی که معیار مورد نظر بر اساس شتاب کلی باشد باید مقادیر را ابتدا با توجه به زمان هر مواجهه طبق فرمول مربوطه به شتاب معادل کلی تبدیل می‌گردد. چون طبق توصیه در این نوع ارتعاش برآیند شتاب در سه جهت مهم است، بر اساس فرمول‌های ذکر شده در استاندارد (1997-R2004) ISO- 2631-1 برآیند شتاب معادل کلی در سه جهت محاسبه و آنگاه با نمودارها یا جداول مربوطه مقایسه می‌شود. مزیت محاسبه برآیند در این است که اثر برآیند نیروها نیز لحاظ می‌گردد.

لازم به ذکر است که چون در محاسبه شتاب معادل کلی مقادیر شتاب مؤثر rms به‌کار می‌رود، مقادیر به‌صورت شتاب (یا تراز شتاب مؤثر) در نظر گرفته می‌شود. هرگونه اظهار نظر بایستی طبق الگویی باشد که در استاندارد مربوطه عنوان گردیده است.

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. در صورتی که معیار مورد نظر برای یک دوره ۸ ساعته کاری در روز پیشنهاد شده باشد، باید شتاب یا تراز شتاب معادل ۸ ساعته محاسبه و مورد مقایسه قرار گیرد. در این حالت مقادیر محاسبه شده بر روی منحنی آنالیز فرکانس معیار(استاندارد) ثبت و با آن مقایسه می‌گردد.

ارزیابی ارتعاش دست-بازو

برای این کار ابتدا در جهت‌های سه گانه شتاب مؤثر یا تراز آن اندازه‌گیری شده و با توجه به زمان هر مواجهه و به‌کارگیری فرمول مربوطه مقادیر به شتاب معادل کلی یا تراز آن تبدیل می‌گردد، آنگاه فقط مقادیر مربوط به جهات سه گانه به‌صورت برآیند محاسبه و برای مقایسه با حد مجاز شغلی OEL به‌کار می‌رود. روش‌های اجرایی به شرح زیر است:

الف- در صورتی که کمیت معیار بر اساس مقادیر شتاب یا تراز شتاب کلی برای یک شیفت کار ۸ ساعته باشد، ابتدا کمیت معادل ۸ ساعته محاسبه و بعد مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

ب- درصورتی که در معیار مورد نظر زمان مواجهه روزانه ذکر شده باشد فقط مقادیر شتاب یا تراز آن به همراه ساعت مواجهه مجموع روزانه با معیار مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

ج- در صورتی که 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 اقدام به اظهار نظر شود.

محاسبه دز ارتعاش[1]

همان‌گونه که در بیان مواجهه کارگر با صدا از درصد دز دریافتی استفاده می‌شود. یکی از روش‌های اعلام چگونگی مواجهه کارگر با ارتعاش، محاسبه و اعلام دز دریافتی ارتعاش به درصد می‌باشد. در این تعریف دز صد در صد یا کمتر مجاز شناخته می‌شود. در ادامه روش‌های محاسبه دز دریافتی آمده است:

محاسبات دز با عنایت به مفاد استانداردهای ISO-2631(1997-R2004) و ISO-5349 و توصیه OEL انجام می‌گردد. روش توصیه شده بدین صورت است که بایستی برای مواجهه کارگر با ارتعاش در زمان معین، یک زمان مجاز مواجهه بر اساس حد مجاز معین شده و نسبت این دو زمان اگر در عدد یکصد ضرب گردد، دز دریافتی را بر حسب درصد نشان می‌دهد. حال اگر کارگر چند مواجهه مختلف در طول شیفت داشته باشد، برای محاسبه دز، جمع نسبت‌های ذکر شده در عدد یکصد ضرب می‌گردد. در این محاسبه زمان مجاز مواجهه بر اساس معیار OEL برای شتاب یا تراز شتاب تعیین می‌گردد:

$$Dose(\%) = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{t_i}{t_a} \right) \times 100$$

t_i : زمان مواجهه کارگر با ارتعاش (ساعت)

t_a : زمان مجاز مواجهه با ارتعاش (ساعت)

1 - Vibration Dose

مثال: اگر کارگری در یک شیفت کاری در مواجهه با ارتعاش تمام بدن، ۲ ساعت با شتاب کلی ۱/۶ m/s^2و یک ساعت با شتاب کلی ۰/۷۰ m/s^2 مواجهه داشته باشد، دز دریافتی این کارگر چند درصد است؟ *حل: بر اساس نمودار استاندارد (شکل ۳۰) و جدول ۱۰ زمان مجاز به ترتیب ۱ و ۱۶ ساعت است. لذا خواهیم داشت:*

$$D = \left[\frac{2}{1} + \frac{1}{16}\right] \times 100 = 206\%$$

بسمه تعالی

فرم گزارش اندازه‌گیری ارتعاش انسانی

الف - نام کارگاه: کد کارگاه: نام کارگر: کد کارگر:

- دستگاه‌های مولد ارتعاش مورد مواجهه :۱ - ۲ - ۳ –

- تاریخ اندازه‌گیری ارتعاش: ساعت اندازه‌گیری ارتعاش:

ب - نوع و مدل ارتعاش سنج انسانی: - کالیبراتور:

- نوع ارتعاش مورد اندازه‌گیری: تمام بدن O دست- بازو O

- نوع ارتعاش: پیوسته O ضربه‌ای O توأم (نوبتی) O

ج - نتایج اندازه‌گیری کلی ارتعاش:

وضعیت / کمیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
A(rms)									
A(max)									
Crest Factor									
مدت مواجهه (hr)									
$A_{eq(\ hr)}$ (m/s^2)									
Dose (%)									

- جدول فوق می‌تواند با کمیت لگاریتمی(دسی‌بل) نیز ثبت گردد

د - نتایج آنالیز فرکانس ارتعاش:

Hz / وضعیت	۱	۲	۴	۸	۱۶	۳۲	۶۴	۱۲۵
۱								
۲								
۳								
۴								
۵								
۶								
۷								
۸								

ه - شرح نتایج ارزیابی طبق مقایسه با حدود مجاز مواجهه با ارتعاش با ذکر عنوان و شماره مرجع آن:

و- نظریه نهایی: مواجهه کارگر در حد مجاز است O مواجهه کارگر غیرمجاز است O

نام و امضای کارشناس:

گفتار هفتم: اصول کنترل ارتعاش

تولید ارتعاش در سامانه‌های مکانیکی، جز در مواردی که ارتعاش جزء ماهیت کار آن می‌باشد، نشانگر ضعف فن‌آوری است. این پدیده یکی از راه‌های اتلاف انرژی به حساب می‌آید. کنترل ارتعاش می‌تواند منجر به کنترل صدا گردد زیرا در سیستم که صدا تولید می‌گردد، ارتعاش نیز وجود دارد، به‌علاوه کنترل ارتعاش می‌تواند از استهلاک اضافی سامانه‌های مکانیکی جلوگیری نماید. همواره باید توجه داشت که کنترل صدا و ارتعاش از طراحی سیستم یا فرآیند شروع می‌شود. گروه‌های طراحی صنعت، لازم است که یک بخش مهم کار خود را به کنترل عوامل مخرب در فرآیند اختصاص دهند. هدف عالی در کنترل صدا و ارتعاش، حفظ سلامت نیروی کار است.

اصول کلی کنترل ارتعاش شامل کنترل مدیریتی (مانند: آموزش، کاهش مواجهه، گردشی نمودن شغل)، کنترل فنی و حفاظت فردی می‌باشد. کنترل فنی خود شامل: کنترل در منبع تولید، نصب میراننده روی دستگاه‌ها یا در محل‌های تماس با بدن کارگر است. استفاده از وسایل حفاظت فردی نظیر کفش، دستکش، زیر پایی ضد ارتعاش نیز توصیه می‌شود. اقدامات پزشکی نظیر ارزیابی سلامت کارگر در معاینات قبل از استخدام، پایش سلامت در معاینات دوره‌ای و تشخیص زودرس عوارض می‌تواند نقش مهمی در کاهش صدمات ناشی از ارتعاش باشد. کنترل‌های فنی شامل موارد زیر است:

کنترل ارتعاش در مرحله طراحی و ساخت

ارتعاش دستگاه‌های صنعتی به دو دلیل تولید می‌گردد: اول، ارتعاشی که به‌دلیل ماهیت کار بوده و جزئی از کارایی دستگاه است، مانند ارتعاش یک دستگاه میکسر (مخلوط‌کن) که برای عمل مخلوط نمودن مواد بایستی محیط مرتعش باشد. دوم، ارتعاشی که به‌دلیل اتلاف انرژی مکانیکی ایجاد می‌گردد. این نوع ارتعاش همانند صدا و گرما راهی برای اتلاف انرژی دستگاه‌هایی است که بازدهی کافی ندارند.

برای هر دو گروه بایستی کارخانجات سازنده با الگوهای فنی تدابیری بیندیشند که ارتعاش تولیدی آن‌ها کمتر باشد. اگرچه سازندگان خود به این نکته واقف‌اند که این‌گونه دستگاه‌ها مقبولیت کمتر و عمر کوتاه‌تری دارند، ولی در بسیاری از موارد در کنترل فنی

موفقیت چندانی ندارند. مناسب‌ترین راه این است که شرکت‌های سازنده خود اقدام به رفـع معایب و کنترل ارتعاش نمایند. از نظر تجارتی، در معرفی دستگاه‌ها عاملی بنام ضد ارتعاش بودن[۱] وسیله نیز مد نظر قرار می‌گیرد.

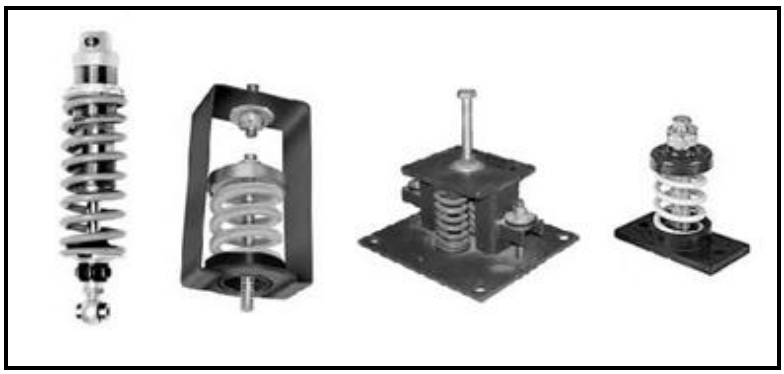
کنترل ارتعاش در مرحله نصب و بهره‌برداری

با استفاده از مشخصه‌های ذاتی سیستم ارتعاشی و روش‌های متناسب می‌توان تا حدود زیادی ارتعاش را کنترل نمود. اصولاً برای کنترل ارتعاش از سه مشخصه جرم به همراه فنریت (برای فرکانس‌های پایین) و میرایی(برای فرکانس‌های بالا) به‌صورت زوج یا ترکیبی استفاده می‌گردد. به‌کارگیری این اجزا در درون دستگاه یا در محل نصب میسر می‌باشد. تمام مواد یا سامانه‌هایی که برای کنترل ارتعاش بکار می‌روند تحت نام کلی عایق‌های ارتعاشی[۲] نام‌گذاری می‌شوند. مهم‌ترین این عایق‌ها و تکنیک‌های کنترل ارتعاش شامل موارد زیر است:

۱. بالشتک‌های هوا[۳] برای فرکانس‌های پایین (۳ هرتز و کمتر)
۲. کمک‌فنرها[۴] (ایزولاتورهای روغنی و گازی) برای شوک‌های ارتعاشی
۳. فنرهای فلزی[۵] (تسمه‌ای یا حلقوی) برای فرکانس‌های ۷-۲ هرتز
۴. پایه‌ها و قطعات لاستیکی[۶] برای فرکانس‌های ۴۰-۵ هرتز
۵. عایق‌های صفحه‌ای[۷] (لاستیکی، چوب‌پنبه، نمد) برای فرکانس‌های وسیع ۷۰-۵ هرتز
۶. اتصالات قابل ارتجاع[۸] برای جلوگیری از انتقال ارتعاش بین بخش‌های مکانیکی
۷. کنترل از راه دور[۹] دستگاه‌ها
۸. کنترل الکترونیک بر مبنای کنترل فعال ارتعاش[۱]

1 - Anti vibration Devices (A/V)
2 - Vibration Isolators
3 - Pneumatic Isolators
4 - Shock absorbers
5 - Spring Isolators
6 - Elastomeric Isolators
7 - Pad Isolators
8 - Flexible Coupling
9 - Remote control

استفاده از عایق‌های ارتعاشی نیاز به محاسبات فنی مخصوص دارد. به‌طور کلی ابتدا باید خصوصیات ارتعاش دستگاه مورد نظر از دید دامنه و فرکانس غالب باید تعیین شود و مشخص گردد که میزان شتاب باید چقدر کاهش یابد تا با کمک آن میزان ایزولاسیون ارتعاش تعیین شود.. در مرحله بعد پس از انتخاب ایزولاتور مناسب و روش استفاده از آن، محاسبات مربوط به کاهش مقادیر دامنه ارتعاش انجام می‌گردد. در کنترل فنی اصولاً عبور ارتعاش از تجهیزات به محیط اطراف و بدن کاربران کنترل می‌گردد. شکل (۳۳) و (۳۴) نمونه‌هایی از عایق‌های ارتعاشی را نشان می‌دهد.



شکل (۳۳)، نمونه‌هایی از عایق‌های ارتعاشی فنری

شکل (۳۴)، نمونه‌هایی از عایق‌های ارتعاشی لاستیکی

1 - Active Vibration Control (AVC)

حفاظت فردی

استفاده از لوازم حفاظت فردی نظیر کفش و دستکش ضد ارتعاش می‌تواند به همراه سایر روش‌ها اهمیت داشته باشد. برخلاف محدودیت‌های استفاده از لوازم حفاظت فردی در مقابل سایر عوامل مخاطره زا از این روش می‌توان در کنترل ارتعاش، بدون مقاومت کارگر یا ایجاد عوارض و حتی بدون محدودیت در انجام کار استفاده نمود. نمونه‌هایی از دستکش‌های ضد ارتعاش در شکل (۳۵) آمده است.

شکل (۳۵): نمونه‌هایی از دستکش و کفش عایق ارتعاش

منابع:

۱. رائو، ارتعاشات مکانیکی، ترجمه منصور درویزه و ابوالفضل درویره، ساری: انتشارات دانشگاه گیلان، ۱۳۸۶.

۲. سرز فرانسیس و همکاران، فیزیک دانشگاهی، ترجمه فضل‌الله فروتن، تهران: نشر علوم دانشگاهی. ۱۳۸۶.

۳. قضایی صمد و همکاران، بیماری‌های ناشی از عوامل فیزیکی محیط کار. چاپ سوم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۸۴.

۴. کوتروف هانریش، مقدمه‌ای بر آکوستیک-ترجمه امیرمسعود عباسی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۰.

۵. گلمحمدی رستم، مهندسی صدا و ارتعاش، چاپ ششم، همدان: انتشارات دانشجو، ۱۳۹۴.

۶. معتمدی اسفندیار، موج و صوت، تهران: انتشارات مدرسه، ۱۳۹۱.

۷. هالیدی دیوید و زرینک رابرت، مبانی فیزیک ، جلد سوم- ویرایش ششم، ترجمه محمدرضا جلیلیان، عابدینی و خوش‌بین، تهران: انتشارات صفار، ۱۳۸۶.

۸. مقررات ملی ساختمان، مبحث هجدهم: عایق‌بندی و تنظیم صدا، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران، ۱۳۷۹.

۹. مرکز سلامت محیط و کار، حدود مجاز مواجهه شغلی OEL، ویرایش چهارم، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، ۱۳۹۵.

10. ACGIH, Threshold Limit Values(TLV) and Biological Exposure Index(BEI), American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, 2014.

11. Barron R F,. Industrial Noise Control and Acoustics – Barron, New York, Marcel Dekker, Inc, 2003.

12. Bell Lewis H and Bell D H, Industrial Noise Control, New York, Marcel Dekkel, 1994.

13. Berank Leo L. et.al., Noise and Vibration Control Engineering, New York, John Weilly & Sons Inc,1992.

14. Bies D.A. & Hansen C.H., Engineering Noise Control, London. E&FN Spon Ltd. 2003.

15. Crocker Malcolm J, Noise & Noise Control - VOL1, Ohaio: CRC Press, 2007.

16. Faly Frank & John Walter, Fundamentals of Noise and Vibration, London-New York, E&FN Spon, 1998.
17. Golmohammadi R et. al., Evaluation of Noise Propagation Characteristics of Compressors in Tehran Oil Refinery Center and Presenting Control Methods, Journal of Research in Health Sciences (JRHS). 2010.
18. Golmohammadi R et. al., Noise Characteristics of Pumps at Tehran's Oil Refinery and Control Module Design, Pakistan Journal of Scientific And Industrial Research. 2009.
19. Golmohammadi R et. al., A rapid method for estimating of noise exposure in workplaces, Journal of Research in Health Sciences (JRHS). 2008.
20. Golmohammadi R et. al., Time delay based noise control in centrifugal fans, Noise and Vibration Worldwide. 2008.
21. Harris Cyril M, Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control, USA, McGraw-Hill, 1991.
22. Harris David H, Noise Control Manual, USA, Van Nolson Reinhold, 1991.
23. Hinchcliffe H, Noise and Hearing, London, Whurr Publisher, 2001.
24. Inman Daniely J, Vibration, New York, Prentice-Hall, 1989.
25. ISO, Mechanical Vibration & Shock Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration, International Standard Organization ISO-2631-1 & ISO-2631-2, 1997(R2004).
26. ISO 5349, Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration, International Standard Organization ISO-5349 part 1&2, 2001.
27. ISO-1999, Acoustics -- Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment, International Standard Organization ISO-1999, 1990.
28. ISO 9612, Acoustics - Determination of occupational noise exposure -- Engineering method, ISO-9612, 2009.
29. Staloff R T and Statalof J, Occupational hearing loss, USA, Taylor&Francis, 2006.
30. South T, Managing noise and vibration at work, Oxford, Elsevier, 2004.
31. Ver I L, Noise and Vibration Control Engineering. Canada, John Wiley, 2005.
32. WHO, Occupational Noise, World Health Organization, 2004.
33. WHO, Occupational exposure to noise evaluation, prevention and control, 2008.

Islamic Republic of IRAN
Ministry of Health and Medical Education
Environmental and Occupational Health Center
(EOHC)

OEL ASSESSMENT GUIDELINE

for

Noise and Vibration

OEL - NV - 9505

2017

OEL ASSESSMENT GUIDELINE for

Noise and Vibration

OEL – NV - 9505

9 789645 430403