

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 هنگامی که 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.

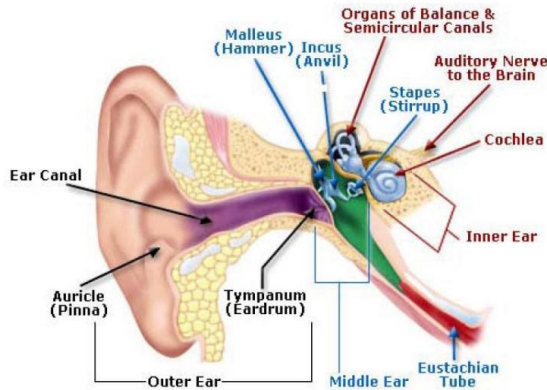
- ۹ - اثرات روانی: هیجان، تحریک‌پذیری و اختلالات روانی، مطالعات نشان داده است که افرادی که با صدا مواجهه دارند بیشتر به اختلالات روانی دچار می‌گردند.
- ۱۰ - اثرات فیزیولوژیک عمومی: صدا می‌تواند باعث تحریک عصبی شده و ضربان قلب، فشار خون و مصرف اکسیژن و تعداد تنفس را افزایش دهد که این تغییرات بر عملکرد 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 همه 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 لاله گوش و مجرا است که جزء اندام‌های حفاظتی و هدایتی گوش هستند. نقش لاله گوش در شنیدن اصوات حائز اهمیت است زیرا شکل آن به گونه‌ای است که امواج محیط را به سمت مجرا هدایت می‌کند. طول مجرای گوش در بالغین ۳۰ - ۲۵ mm قطر آن ۷-۵ mm است. وظیفه مجرا هدایت صوت به سمت پرده صماخ و همچنین محافظت آن از آسیب‌های مستقیم می‌باشد. ضخامت پرده صماخ حدود ۰/۱ mm و مساحت آن حدود ۶۵ mm² است.

گوش میانی، شامل پرده صماخ و استخوان‌های سه‌گانه (چکشی، سندان، 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 به دريچه بيضی به عهده گوش میانی است. استخوان چکشی به پرده صماخ و رکابی به پرده بيضی متصل است و رابط این دو، استخوان سندانى است.



شکل (۱۱) نمای بخش‌های سه‌گانه گوش انسان

گوش داخلی شامل حلزون^۱، شبکه عصبی انتقالی و در مجاورت آن مجاری نیم دایره تعادلی است که نقش آن حفظ تعادل اندام‌های حرکتی می‌باشد. حلزون گوش اندامی است استخوانی و مارپیچ که $\frac{2}{5}$ دور حول محور مرکزی خود چرخیده است. درون این مجرای استخوانی با سه کانال محتوی مایع آندولنف بوده و گیرنده‌های دستگاه شنوایی در آن قرار دارد. امواج صوتی عبوری از دريچه بيضی در این سیستم دریافت و به گیرنده‌های عصبی شنوایی منتقل می‌گردد.

در یک برش عرضی از حلزون (شکل ۱۲)، سه مجرای مختلف ملاحظه می‌گردد که شامل مجرای دهلیزی^۲ در بالا، که از دريچه بيضی شروع می‌شود، مجرای صماخی^۳ که به دريچه گرد ختم می‌شود و مجرای سوم که بین این دو قرار گرفته است، مجرای میانی نام دارد. این سه مجرا با غشای مربوطه از هم جدا شده‌اند. این سه مجرا به صورت موازی تا

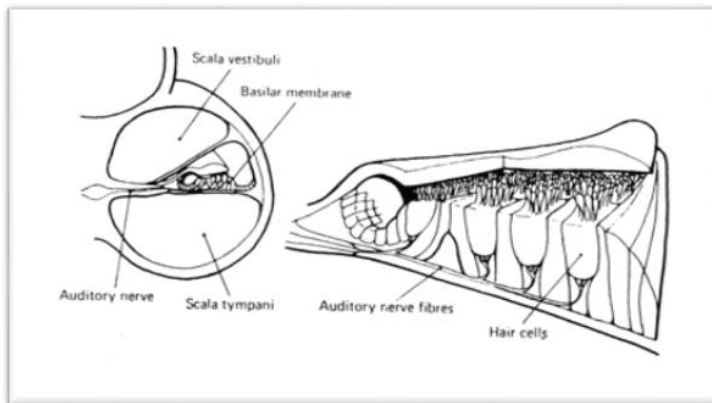
1 - Cochlea

2 - Scala Vestibula

3 - Scala Tympani

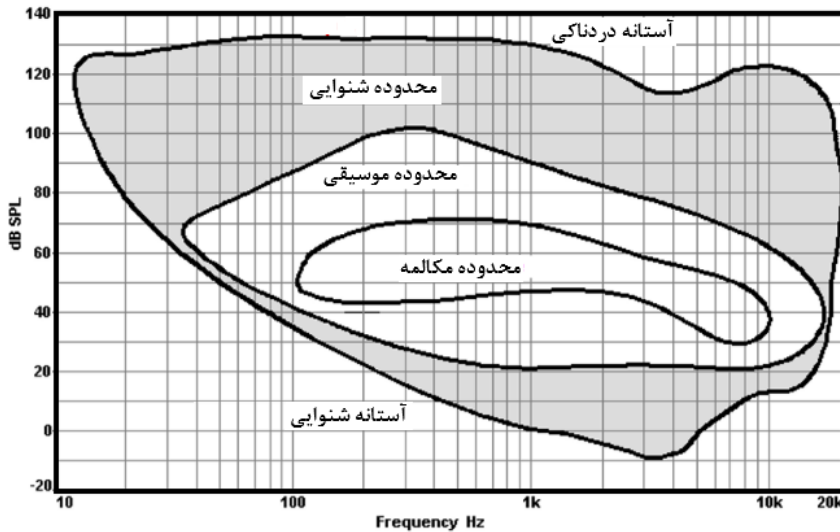
رأس حلزون ادامه دارند. مهم‌ترین مجرا از نظر شنوایی مجرای میانی است. بر روی غشاء پایه این مجرا حساس‌ترین قسمت کوکله یعنی اندام کرتی^۱ قرار گرفته است. در روی غشاء پایه اندام کرتی مجموعه‌ای از سلول‌های گیرنده امواج عصبی مژک‌دار^۲ در مایع حلزون غوطه‌ور هستند. تعداد سلول‌های گیرنده بسیار زیاد است. طبق تخمین 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 ناحیه 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 - Cilia



شکل (۱۳) محدوده‌های شنوایی انسان

صدمات صوتی به دستگاه شنوایی

این صدمات به‌طور عمده شامل: افت شنوایی ناشی از صدا^۱ (افت موقت شنوایی^۲ و افت دائم شنوایی^۳، وز وز گوش^۴ و ضربه صوتی^۵ می‌باشد. تغییر موقت آستانه 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 کپپی 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 پایین اثر کمتری در ایجاد TTS داشته و محدوده فرکانس ۶-۲۰ 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 - Tinnitus
 - 5 - Acoustic Throuma

عارضه TTS بسته به تراز فشار صوت و مدت مواجهه می‌تواند از چند ساعت تا چند هفته طول بکشد. در صورتی که 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، سابقه 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 مواجهه 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^۱ 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 (مرحله کوتاه تا ۲ ساعت، مرحله بازگشت به سطوح بالاتر ۶-۲ ساعت و مرحله بهبود تدریجی که حتی در مواردی تا چند ماه نیز ممکن است طول بکشد). با توجه

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 ضربه صوتی و وزوز گوش نیز می‌توانند به عنوان عوارض شغلی ناشی از صدا تلقی شوند. ضربه صوتی در اثر یک مواجهه یا چند مواجهه 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، صدمه مکانیکی نظیر پارگی پرده صماخ یا صدمه به بافت‌های متصل‌کننده 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 ضربه صوتی می‌باشد و شخص همواره دچار احساس وزوز در یک 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^۱ 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^۲، کنترل مبتنی بر دفاع صوتی یا اکتیو^۳ 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 فنآوری 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 به عبارت 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^۱ در محیط انتشار و عایق‌بندی (ایزولاسیون) صوت^۲ 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

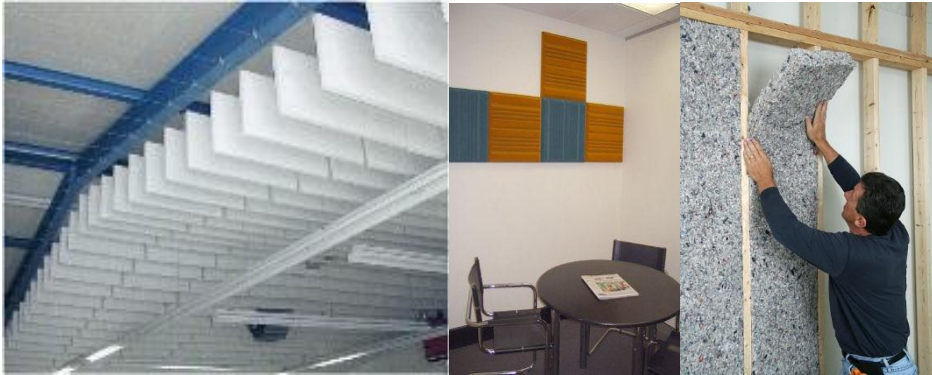
۴ - کنترل مبتنی بر ایزولاسیون صوتی.

۵ - استفاده از روش‌های الکترونیک همانند کنترل فعال یا دفاع صوتی^۱.

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.



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

عایق‌بندی صوتی

عایق‌بندی صوتی^۱ در مقابل عبور صوت از یک مکان به مکان دیگر با استفاده از دیواره عایق یا مانع امکان‌پذیر می‌گردد. همان‌گونه که قبلاً نیز عنوان گردید، اصولاً تمام مواد کم‌وبیش دارای مقاومت در برابر عبور صوت هستند. این ویژگی تحت عنوان مقاومت صوتی نیز ذکر می‌شود. عایق‌بندی صوتی هر دیواره تابعی از ضریب عبور^۲ صوت است. ضریب انتقال صوت، نسبت انرژی عبوری به انرژی برخوردی به هر دیواره است. می‌توان گفت که هر چه ضریب انتقال بزرگ‌تر شود، شاخص افت انتقال کمتر خواهد بود. با این بیان هرچه ضریب جذب یک دیواره یا ضریب انتقال صوت آن که به معنی نفوذپذیری زیاد صوت در دیواره است، بیشتر باشد، شاخص افت انتقال صوت در دیواره کمتر خواهد بود. دیواره‌های عایق برای جلوگیری از انتقال صدا از یک محیط به محیط دیگر به کار می‌رود. معلوم شده است که افت انتقال در فرکانس‌های پایین کمتر از فرکانس‌های بالا است. لذا می‌توان گفت که عایق‌های صوتی در فرکانس‌های پایین کارایی ضعیف‌تری دارند.

عوامل مهم مؤثر بر افت انتقال دیواره‌های عایق شامل: جرم^۳ (چگالی سطحی) و یکدستی^۱ مصالح می‌باشد. بر اساس قانون جرم هر ماده که چگال تر باشد نسبت به صدا

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 بیان‌کننده 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 تشکیل‌دهنده 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.

اتاقک صوتی

اتاقک سازی برای کارگر یک روش معمول و مؤثر کنترل صدا است. در صورتی که امکان اجرای موارد کنترل در منبع و یا مسیر انتشار نباشد و نیز برای دستیابی به نتیجه بهتر در مکان‌هایی که لزوم کنترل در مجاورت دستگاه محرز نیست، هم‌چنین در مواردی که فرایند کار می‌تواند از فاصله دورتری هدایت گردد، از اتاقک‌های کنترل استفاده می‌گردد. این پناهگاه‌ها به‌گونه‌ای طراحی می‌گردند که کلیه 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^۱ و سایلنسر^۲ نام عمومی برای محفظه‌ها یا انباره‌های کنترل صدا است که می‌توانند تراز صدای ناشی از خروج پرفشار یک گاز یا هوا را در خروجی^۳ کاهش دهند. این وسایل به سه دسته کلی انباره‌های: انبساطی^۴، جذبی^۵ و پخشی^۶ 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. انباره‌ها اگرچه خودروه‌ها 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. در صورتی که 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^۱

۲ - حفاظ توگوشی^۲

۳ - قالب گوش^۳

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 استاندارد 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 روگوشی: این وسیله شامل یک محافظ است که روی لاله 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 هوایی به گوش می‌رسند. ولی امکان انتقال صدا از طریق استخوانی به وسیله 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 تأیید 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.

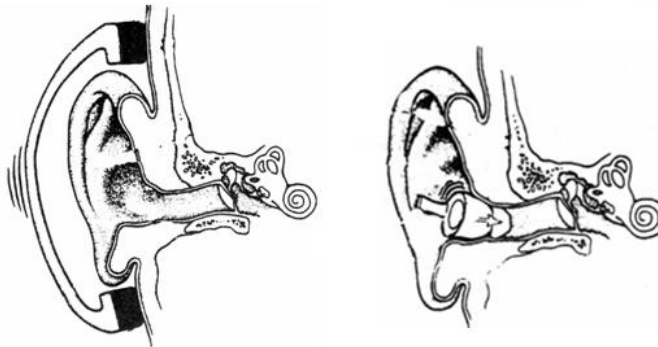
حفاظ توگوشی: این وسیله یک جسم نرم قابل اتساع و در عین حال مؤثر در کنترل صدا می‌باشد که داخل مجرای گوش قرار می‌گیرد و می‌تواند به میزان قابل توجهی صدا را کاهش دهد. میزان کاهش کلی صدا و همچنین در فرکانس‌ها بایستی توسط سازنده اعلام شده باشد. جنس این حفاظ‌ها از مواد مختلفی نظیر اسفنج‌های مخصوص یا اسفنج مومی 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. نکته اساسی در استفاده از این حفاظ‌ها رعایت بهداشت فردی و نحوه استفاده از آن می‌باشد. این وسیله نباید به هیچ وجه به طور 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 تأیید 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.

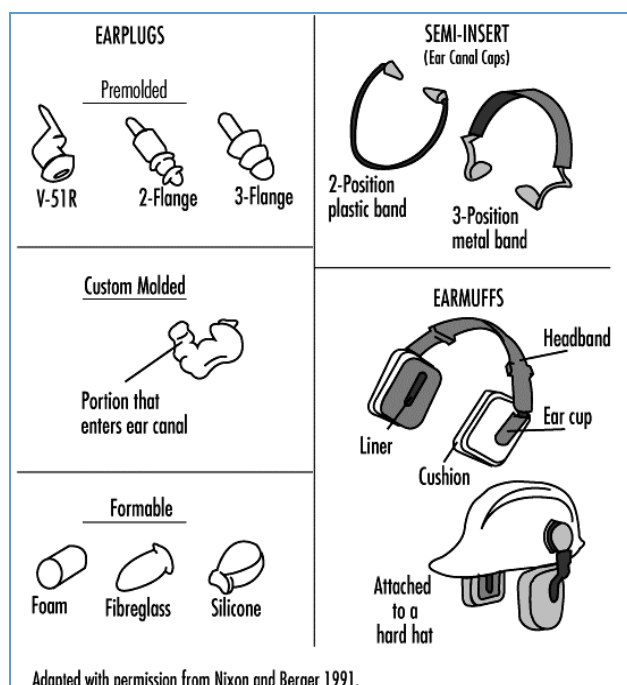
قالب گوش: قالب گوش همان‌گونه که از نام آن پیداست پس از انجام قالب‌گیری توسط کارشناس ادیومتری متناسب با شکل مجرا ساخته می‌شود و می‌تواند به‌صورت انفرادی و مؤثر مورد استفاده قرار گیرد.

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 به کار 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.

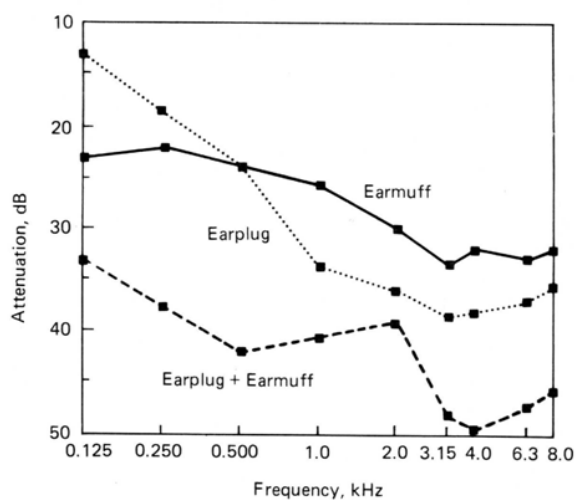
حفاظ توأم: در برخی از موارد لازم است که به‌طور هم‌زمان از حفاظ توگوشی و روگوشی با هم استفاده گردد این روش اگرچه برای کارگر ناراحت‌کننده است ولی استفاده موقت از آن نتیجه مطلوب‌تری دارد. نمودار شکل (۱۷) تأثیر استفاده مجزا از حفاظ روگوشی و توگوشی و استفاده توأم آن‌ها (برای یک سری نمونه) را در افت انتقال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

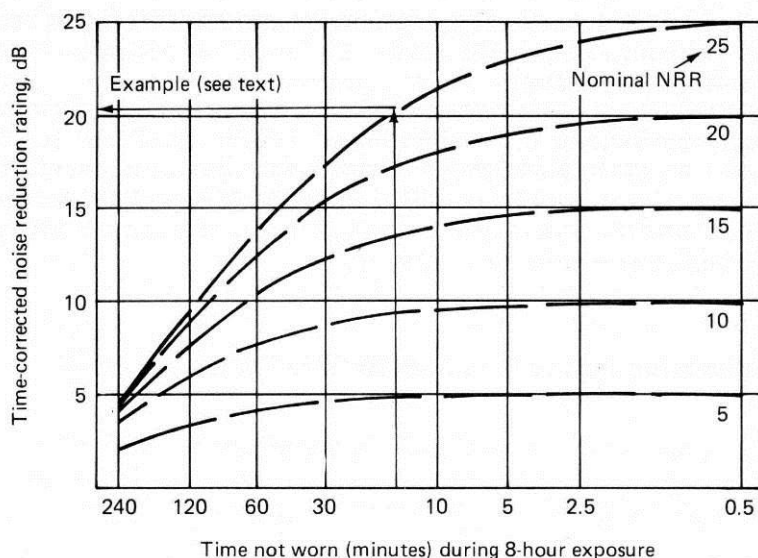
انتخاب حفاظ شنوایی

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، بنابراین 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 کارایی حفاظ‌های روگوشی و توگوشی، نسبت کاهش صدا^۱ (NRR) می‌باشد که با متد استاندارد ISO مورد تأیید 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

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^۱ یکی از عوامل همراه با صدا در محیط‌های صنعتی است. ارتعاش برخی مواقع تشدید کننده 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 نقطه 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 به ترتیب 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 نقطه تعادل جسم است. وقتی تصویر این حرکت در نظر گرفته شود، فرکانس، دامنه جابجایی، و زمان تناوب از مشخصات این حرکت است. کلیه اجسامی که دارای جرم و فنریت باشند، قابلیت پذیرش و تولید ارتعاش را دارند. مشخصه‌های اصلی امواج ارتعاشی شامل: دامنه^۲ (دامنه‌های جابجایی^۳، سرعت^۴ و شتاب^۵)،

1 - Vibration

2 - Amplitude

3 - Displacement

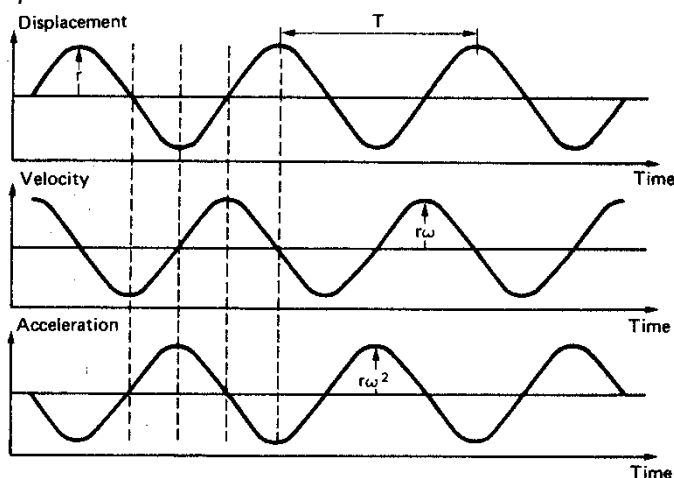
4 - Velocity

5 - Acceleration

فرکانس^۱ (و فرکانس زاویه‌ای^۲)، طول موج^۳ می‌باشد که عامل اصلی ایجاد ارتعاش نیرویی^۴ 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:

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

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



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^۱ لحظه‌ای، سرعت^۲ و شتاب^۳ 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 نقطه 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 $9.81 m/s^2$ 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 ($9.81 m/s^2$)

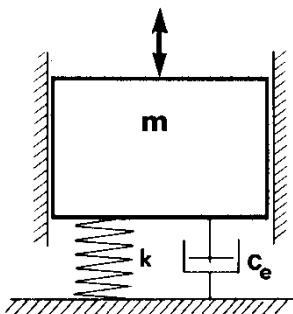
C : ضریب میرایی محیط (Ns/m)

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^۱ 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 صورتی که سیستم ارتعاشی به دلیل اعمال نیروی داخلی یا خارجی از حالت تعادل خارج شود، گرچه 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. دامنه 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

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 به کار گرفته می‌شوند. ارتعاشات مختلط غیر دوره‌ای از فرکانس‌های مختلفی که رابطه‌ی 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^۱

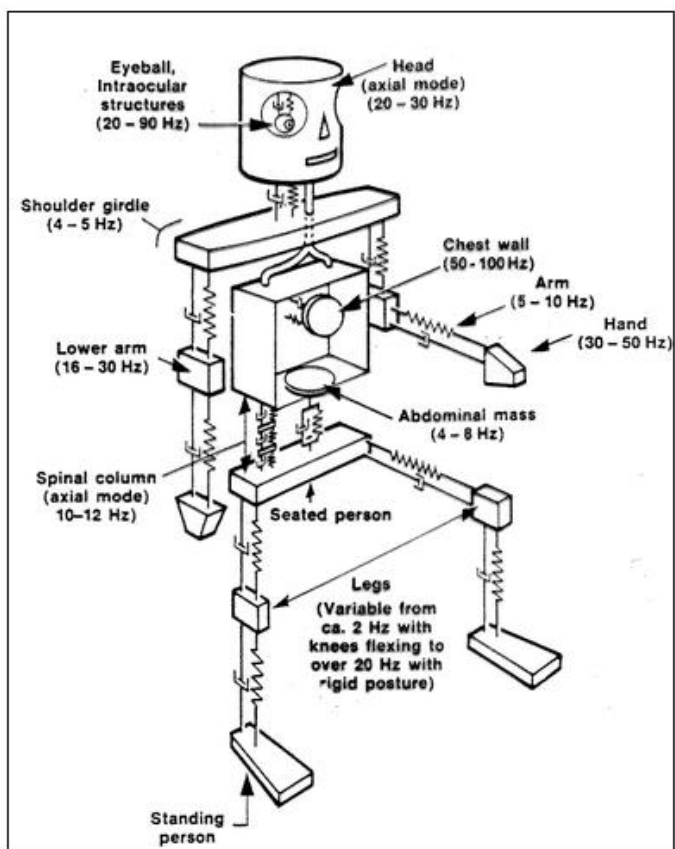
بدن انسان همانند سایر محیط‌های مادی قابلیت پذیرش و تولید ارتعاش را دارد. بدن انسان دارای سیستم ارتعاشی مخصوص به خود بوده و همانند سایر موجودات زنده، حرکت ارتعاشی لازمه‌ی حیات می‌باشد. ارتعاش عضلات باعث تعادل بدن می‌گردد، ارتعاش کره چشم در دیدن اشیاء ساکن نقش ممتازی را برای انسان ایجاد نموده است، هضم 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^۲ یا فرکانس تشدید^۳ 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. دامنه 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^۱ و ارتعاش دست-بازو (موضعی)^۲ 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 جهت ورود ارتعاش به بدن را به‌صورت قراردادی به‌صورت زیر معین نموده‌اند:

جهات ورود ارتعاش تمام بدن W-B :

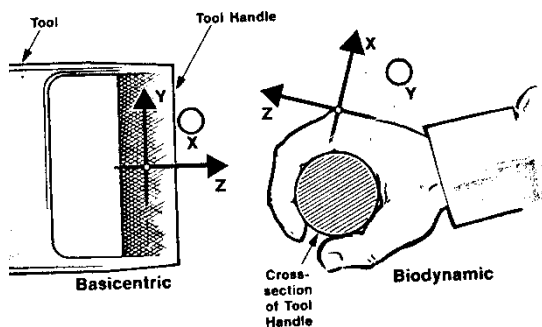
- ۱ - جهت X از پشت به سینه
- ۲ - جهت Y از شانه به شانه
- ۳ - جهت Z در امتداد طول بدن (از پا به سر)

1 - Whole Body Vibration (W-B)

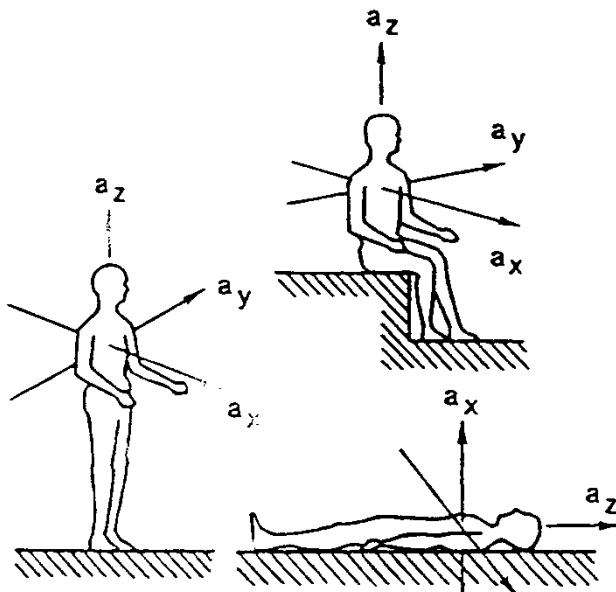
2 - Hand Arm(Segmental) Vibration (H-A)

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^۱، در جهت امتداد طبیعی اندام و بیسی سنتریک^۲ 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^۳، 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