

صلى الله عليه وسلم

## صدا و ارتعاش در محیط کار

---

## 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<sup>1</sup>) 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 در حال 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

---

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. مواجهه 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 اکسیژن‌رسانی 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 بافت‌مردگی نیز می‌تواند 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<sup>1</sup> HCP 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 نشان‌دهنده 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<sup>2</sup>) 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 به صورت 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 تأیید 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 قاعده‌تاً 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 به منظور 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.

## جنبه‌های بهداشتی مواجهه با صدای شغلی

صدا به صورت 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.

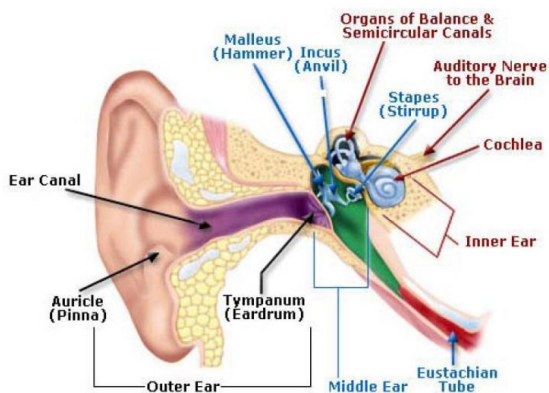
### مکانیسم شنوایی

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  $65 \text{ mm}^2$  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 دریچه بیضی به عهده گوش میانی است. استخوان چکشی به پرده صماخ و رکابی به پرده بیضی متصل است و رابط این دو، استخوان سندان است.



شکل (۱۱) نمای بخش‌های سه‌گانه گوش انسان

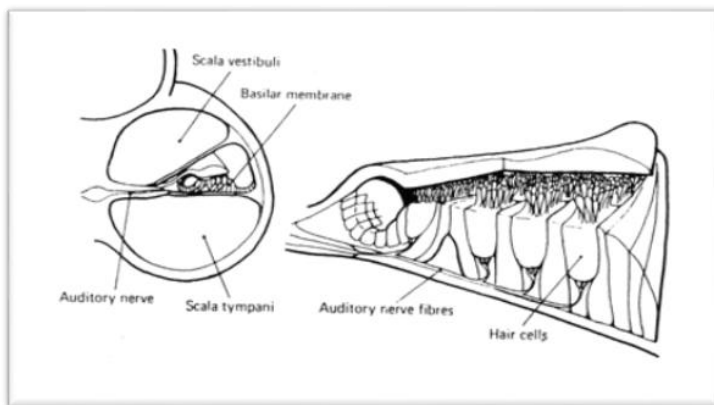
گوش داخلی شامل حلزون<sup>۱</sup>، شبکه عصبی انتقالی و در مجاورت آن مجاری نیم دایره تعادلی است که نقش آن حفظ تعادل اندام‌های حرکتی می‌باشد. حلزون گوش اندامی است استخوانی و مارپیچ که  $\frac{2}{5}$  دور حول محور مرکزی خود چرخیده است. درون این مجرای استخوانی با سه کانال محتوی مایع آندولنف بوده و گیرنده‌های دستگاه شنوایی در آن قرار دارد. امواج صوتی عبوری از دریچه بیضی 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<sup>۲</sup> در بالا، که از دریچه بیضی شروع می‌شود، مجرای صماخی<sup>۳</sup> که به دریچه 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 - Cochliea
  - 2 - Scala Vestibula
  - 3 - Scala Tympani

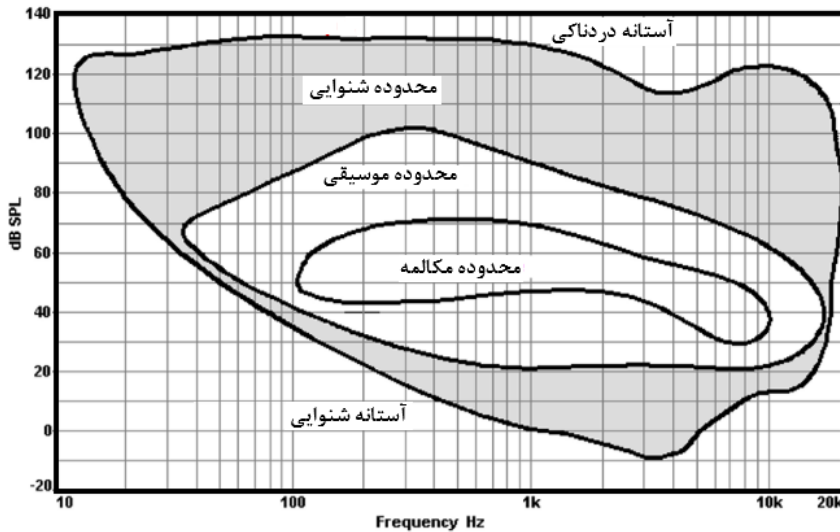
رأس حلزون ادامه دارند. مهم‌ترین مجرا از نظر شنوایی مجرای میانی است. بر روی غشاء پایه این مجرا حساس‌ترین قسمت کوکله یعنی اندام کرتی<sup>۱</sup> قرار گرفته است. در روی غشاء پایه اندام کرتی مجموعه‌ای از سلول‌های گیرندهٔ امواج عصبی مژک‌دار<sup>۲</sup> در مایع حلزون غوطه‌ور هستند. تعداد سلول‌های گیرنده بسیار 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<sup>۱</sup> (افت موقت شنوایی<sup>۲</sup> و افت دائم شنوایی<sup>۳</sup>، وز وز گوش<sup>۴</sup> و ضربه صوتی<sup>۵</sup> 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 پائین اثر کمتری در ایجاد TTS داشته و محدوده فرکانس ۶-۲ 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 - 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 به صورت 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 کوری شغلی<sup>۱</sup> 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

---

## اصول کنترل صدا

کنترل صدا<sup>۱</sup> به منظور 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<sup>۲</sup>، کنترل مبتنی بر دفاع صوتی یا اکتیو<sup>۳</sup> 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<sup>۱</sup> در محیط انتشار و عایق‌بندی (ایزولاسیون) صوت<sup>۲</sup> 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.

---

۴ - کنترل مبتنی بر ایزولاسیون صوتی.

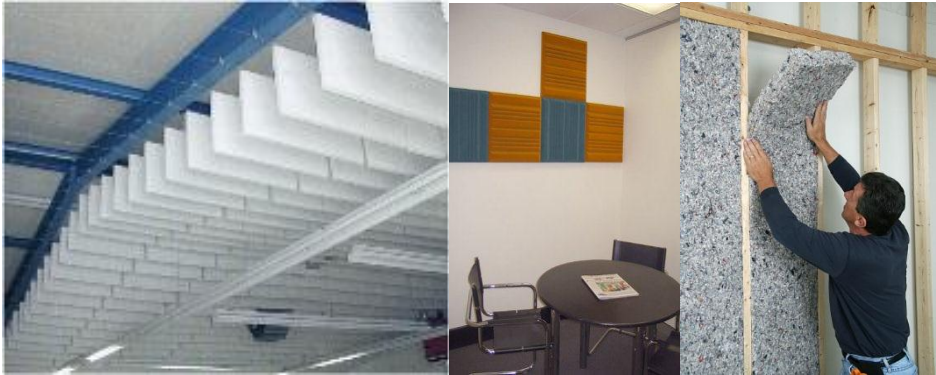
۵ - استفاده از روش‌های الکترونیک همانند کنترل فعال یا دفاع صوتی<sup>۱</sup>.

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<sup>۱</sup> 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<sup>۲</sup> 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 به‌کار 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<sup>۳</sup> (چگالی سطحی) و یکدستی<sup>۱</sup> 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. به طور 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 دسی بل.

---

---

## 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<sup>۱</sup> و سایلنسر<sup>۲</sup> نام عمومی برای محفظه‌ها یا انباره‌های کنترل صدا است که می‌توانند تراز صدای ناشی از خروج پرفشار یک گاز یا هوا را در خروجی<sup>۳</sup> کاهش دهند. این وسایل به سه دسته کلی انباره‌های: انبساطی<sup>۴</sup>، جذبی<sup>۵</sup> و پخشی<sup>۶</sup> 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 آگزوز 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 به عنوان راه حل کمکی یا موقت توأم با موفقیت می باشد. این تکنیک ترجیحاً برای ساعاتی که کارگر با بیشترین تراز فشار مواجهه داشته باشد یا در زمانی که سامانه های کنترل صدا به طور موقت از کار افتاده اند مجاز شمرده می شود. در صورتی که کارگر مجبور باشد برای طول شیفت کاری و به طور همیشگی از وسایل حفاظت شنوایی استفاده نماید، مشکلاتی را خواهد داشت که مانع ادامه همکاری او در طرح کنترل صدا می گردد. مهم ترین آن ها ناراحتی کارگر هنگام استفاده از وسیله حفاظت فردی و ایجاد عوارض پوستی در اطراف لاله گوش یا عوارض مجرای شنوایی به دلیل ایجاد حساسیت در پوست می باشد.

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 آموزش های لازم جهت استفاده مطلوب به کارگر داده شود. جنس مواد به کار رفته برای وسیله حفاظت شنوایی باید از نوعی باشد که ایجاد حساسیت در پوست ننماید. حفاظ های گوش بر ۴ نوع اصلی می باشند:

۱ - حفاظ روگوشی<sup>۱</sup>

۲ - حفاظ توگوشی<sup>۲</sup>

۳ - قالب گوش<sup>۳</sup>

۴ - کلاه محافظ

برای انتخاب حفاظ مناسب ابتدا باید مشخصات توزیع تراز فشار صوت کارگاه در فرکانس ها اندازه گیری 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.

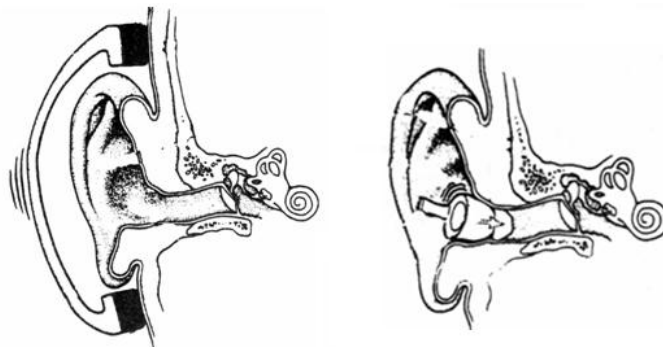
حفاظ توگوشی: این وسیله یک جسم نرم قابل اتساع و در عین حال مؤثر در کنترل صدا می‌باشد که داخل مجرای گوش قرار می‌گیرد و می‌تواند به میزان قابل توجهی صدا را کاهش دهد. میزان کاهش کلی صدا و همچنین در فرکانس‌ها بایستی توسط سازنده اعلام شده باشد. جنس این حفاظ‌ها از مواد مختلفی نظیر اسفنج‌های مخصوص یا اسفنج مومی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

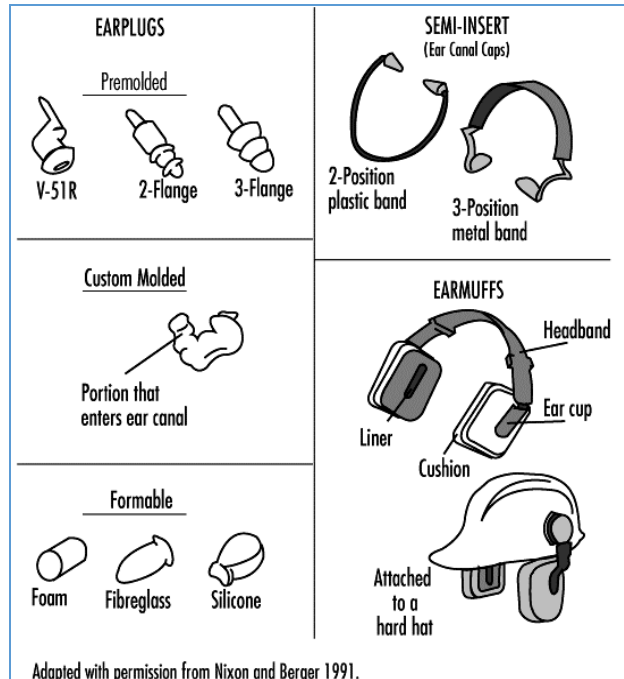
قالب گوش: قالب گوش همان‌گونه که از نام آن پیداست پس از انجام قالب‌گیری توسط کارشناس ادیومتری متناسب با شکل مجرا ساخته می‌شود و می‌تواند به‌صورت انفرادی و مؤثر مورد استفاده قرار گیرد.

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.

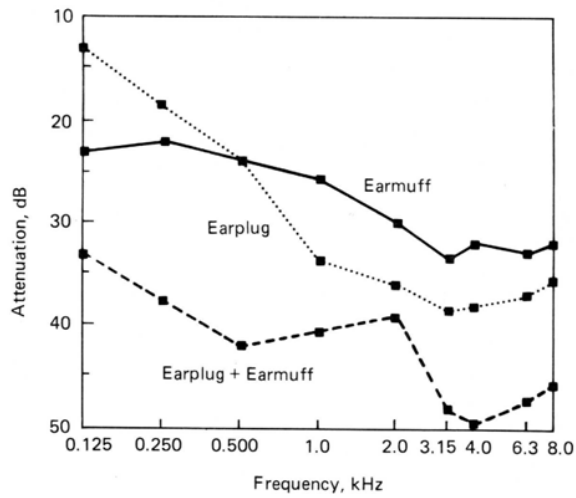
حفاظ توأم: در برخی از موارد لازم است که به‌طور هم‌زمان از حفاظ توگوشی و روگوشی با هم استفاده گردد این روش اگرچه برای کارگر ناراحت‌کننده است ولی استفاده موقت از آن نتیجه مطلوب‌تری دارد. نمودار شکل (۱۷) تأثیر استفاده مجزا از حفاظ روگوشی و توگوشی و استفاده توأم آن‌ها (برای یک سری نمونه) را در افت انتقال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



شکل (۱۵) طرز قرارگیری دو نوع حفاظ گوش



شكل (١٦) انواع حفاظ گوش



شكل (١٧) تأثير استفاده مجزا و توأم حفاظ روگوشی و توگوشی

---

## انتخاب حفاظ شنوایی

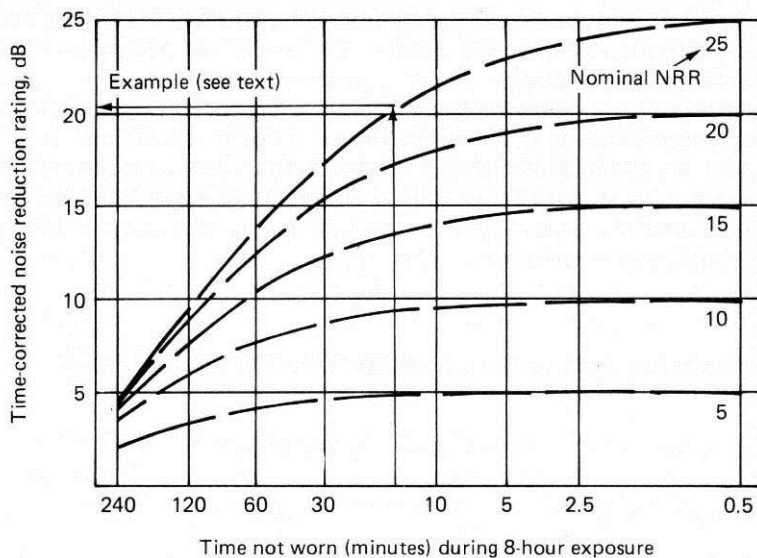
بر اساس قانون جرم عایق‌ها که قبلاً شرح داده شد، یک اصل کلی برای استفاده مؤثر از حفاظ‌های شنوایی وجود دارد که افت انتقال در فرکانس‌های زیر ۱۰۰۰ هرتز ضعیف می‌باشد، بنابراین این حفاظ‌های شنوایی برای صداهای پرفرکانس کارایی مناسبی دارند. اصولاً برای هر موردی که حفاظ توصیه می‌شود باید قبلاً ارزیابی دقیقی از 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<sup>۱</sup> (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

---

## مفاهیم اساسی ارتعاش

ارتعاش<sup>۱</sup> 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<sup>۲</sup> (دامنه‌های جابجایی<sup>۳</sup>، سرعت<sup>۴</sup> و شتاب<sup>۵</sup>)،

---

1 - Vibration

2 - Amplitude

3 - Displacement

4 - Velocity

5 - Acceleration

فرکانس<sup>۱</sup> (و فرکانس زاویه‌ای<sup>۲</sup>)، طول موج<sup>۳</sup> می‌باشد که عامل اصلی ایجاد ارتعاش نیرویی<sup>۴</sup> 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.

---

## جنبه‌های بهداشتی ارتعاش

صدماتی که ارتعاش به‌عنوان یک استرس<sup>۱</sup> فیزیکی به بدن وارد می‌کند و همچنین پاسخ<sup>۲</sup> 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 سابقه 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 وسیله کار<sup>۱</sup>: 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 (ماهیه‌ها): 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.

---

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، هوایی، 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: به دلیل 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: به دلیل تقارن فرکانس ارتعاش با فرکانس طبیعی برای هضم و دفع مواد غذایی اختلالاتی ایجاد می‌گردد. یکی از این اختلالات، ناخوشی راکبین<sup>۱</sup> و وسایل نقلیه شامل: سرگیجه، عدم تمرکز و تهوع است. در مواجهه‌های شغلی با ارتعاش به دلیل تحریک عصبی و ترشح زیاد اسید، اختلال هضم غذا و اختلال در ترانزیت روده شایع بوده و حتی در برخی موارد هم‌روید 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.

---

## 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 به دلیل عکس‌العمل رفلکسی عروق به صورت تنگی ظاهر شده و باعث اختلال در تغذیه و اکسیژن‌رسانی شده و می‌تواند باعث علائم تغییرات عصبی و عروقی و نیز سندرم ارتعاشات دست - بازو<sup>۱</sup> و نهایتاً پدیدهٔ انگشت سفید ناشی از ارتعاش<sup>۲</sup> گردد.

مطالعات نشان داده است که در این عارضه به دلیل اختلالات ایجاد شده در خون‌رسانی، ابتدا تغییر رنگ انگشتان به سمت 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

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

جدول (۸) پیشرفت VWF بر اساس نظر تیلور

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

3 - Tingling

4 - Numbness



---

## 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 پای 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 رفع معایب و کنترل ارتعاش نمایند. از نظر تجارتي، در معرفی دستگاه‌ها عاملی بنام ضد ارتعاش بودن<sup>۱</sup> 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<sup>۲</sup> نام‌گذاری می‌شوند. مهم‌ترین این عایق‌ها و تکنیک‌های کنترل ارتعاش شامل موارد زیر است:

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

---

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

## 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 مخاطره‌زا 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