



صفرتاصد بهداشت حرفه‌ای همانند سایر کتابهای صفرتاصد سنا شامل خلاصه‌ای جامع، تکنیکی و طبقه‌بندی شده. می‌باشد که برای دانشجویان لیسانس و داوطلبان آزمون‌های تحصیلات تکمیلی نگارش شده است.

در کتاب‌های صفرتاصد سعی شده است که هر مطلب و نکته‌ای که برای پوشش‌دهی سؤالات امتحانات پایان ترم و کنکور ارشد و دکتری نیاز است به همراه تست‌های پرتکرار در یک کتاب جمع‌آوری شود به‌طوری‌که خواننده به آنچه که خوبان همه دارند! یکجا دسترسی داشته باشد!! لذا به جای اینکه چند کتاب حجیم رفرنس را مطالعه کند، فقط با تهیه یک منبع این‌چنینی از سایر منابع بی‌نیاز گردد.

اگر برای کنکور مطالعه می‌کنید، بدون شک تست‌زنی و تمرین در کنار مطالعه این کتاب لازم است، لذا کتاب‌هایی همچون تاس، جعبه‌ی سیاه و گنجینه جامع سؤالات برای شما می‌تواند بسیار مفید باشد. یک نکته مشاوره‌ای: اگر پس از مطالعه هر فصل قصد تست زدن و تمرین را دارید از کتاب‌های تاس (تست‌های تألیفی طبقه‌بندی شده) و کتاب گنجینه جامع سؤالات (تست‌های کنکوری طبقه‌بندی شده) استفاده کنید. اگر در دوران جمع‌بندی و نزدیک کنکور به سر می‌برید از کتاب جعبه‌ی سیاه (آزمون‌های کنکور سال به سال با پاسخ تشریحی) استفاده کنید.

مسلماً این اثر حاصل تلاش یک زنجیره از افرادی است که برای آن از مؤلف گرفته تا تایپست، صفحه‌آرا، گرافیک، لیتوگرافی و کارگر چاپ، زحمات زیادی کشیده‌اند و از فروش هر نسخه از کتاب، روزی این افراد تأمین می‌شود. لذا از خوانندگان بخاطر اینکه از حقوق این افراد با کپی نکردن این کتاب چه به‌صورت فایل و یا کپی کاغذی حمایت می‌کنند متشکریم.

مدیریت مؤسسه علمی انتشاراتی سنا «سامانه نوین‌آموز»
دکتر منیره ملکی - دکتر هادی طغیانی



مقدمه مؤلف

موفقیت در رقابت علمی آزمون‌های مقاطع تحصیلی بالاتر، مستلزم درک عمیق مطالب تخصصی می‌باشد در این کتاب حداکثر امکان مباحث به صورت شیوا و کاربردی آورده شده‌اند. در تدوین مطالب سعی گردیده از منابع متنوع روز و کتب مرجع و همچنین نکات مهم مطرح شده توسط بزرگان و اساتید بهداشت حرفه‌ای استفاده گردد. مجموعه گردآوری شده مشتمل بر فصل‌های عوامل فیزیکی، عوامل شیمیایی، تهویه صنعتی، سم‌شناسی شغلی، ارگونومی، ایمنی و ارزیابی ریسک همراه با نکات طبقه‌بندی شده آزمون‌های کارشناسی ارشد و دکتری بهداشت حرفه‌ای، ایمنی صنعتی، ارگونومی و HSE می‌باشد.

مطالعه دقیق این مجموعه به دانشجویان و فارغ‌التحصیلان رشته‌های بهداشت حرفه‌ای، ایمنی صنعتی، ارگونومی، HSE و سایر رشته‌های مرتبط که قصد شرکت در آزمون‌های ورودی مقاطع تحصیلی بالاتر و یا آزمون‌های استخدامی را دارند، توصیه می‌شود.

اسماعیل رادپور



فهرست مطالب

۷	فصل اول: صدا و ارتعاش
۷۲	فصل دوم: روشنایی
۱۰۶	فصل سوم: پرتو و روش‌های کنترل پرتو
۱۶۴	فصل چهارم: تنش‌های حرارتی محیط کار
۱۹۹	فصل پنجم: روش‌های نمونه‌برداری و تجزیه آلاینده‌های هوا
۲۵۹	فصل ششم: تهویه صنعتی
۲۹۴	فصل هفتم: سهم‌شناسی
۳۵۴	فصل هشتم: ایمنی و صنعتی
۴۷۴	فصل نهم: ارگونومی



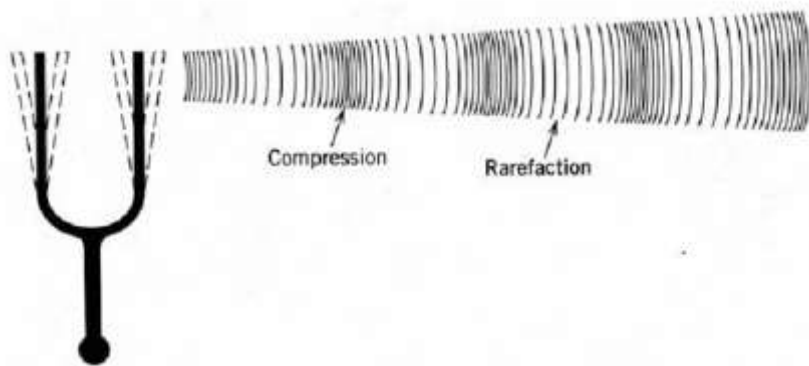
نشر علمی سنا

SANA



صدا و ارتعاش

۱





۱-۱- مفاهیم اساسی صوت

موج: عبارت است از آشفته‌گی یا برهم خوردن تعادل محیط به صورت منظم یا نامنظم و راهی برای انتقال انرژی می‌باشد.

امواج مکانیکی

این امواج از تغییر مکان قسمتی از یک محیط کشسان نسبت به وضعیت تعادل خود ناشی می‌شود، این امر به نوبه خود سبب نوسان محیط می‌گردد. برای ایجاد و انتقال امواج مکانیکی نظیر صدا و ارتعاش وجود محیط مادی ضروری است.

امواج مکانیکی به شکل‌های مختلف ایجاد و منتشر می‌گردد، سه شکل عمده آن به قرار زیر است:

الف) عرضی ب) طولی ج) پیچشی

موج عرضی

اگر حرکت ذرات ماده حامل موج بر راستای انتشار موج عمود باشد موج را موج عرضی می‌نامند. مانند امواج آب

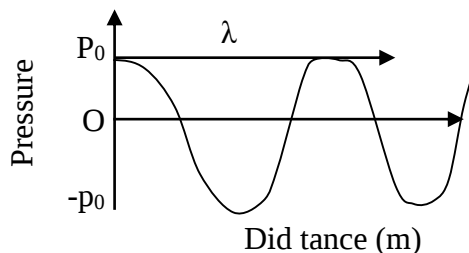
موج طولی

اگر حرکت ذرات ماده حاصل موج مکانیکی در راستای انتشار موج باشد، موج را طولی می‌نامند. **تکانه** امواج صوتی، از دسته‌ی موج‌های طولی هستند.

موج پیچشی

این دسته امواج در واقع ترکیبی از دو شکل عرضی و طولی بوده و در محیط‌های مخصوصی قابل تولید و انتشار می‌باشد.

امواج صوتی: شکلی از امواج مکانیکی طولی هستند که عموماً در هوا منتشر شده و در برخورد با گوش انسان احساس شنیدن را ایجاد می‌کنند، محدودی فرکانس قابل درک برای انسان بین ۱۶ تا ۲۰ هرتز است. عوامل محدودکننده‌ی صوت برای درک حسی آن فرکانس و بلندی است.





ساده‌ترین امواج صوتی، امواج سینوسی هستند که دارای ۳ مشخصه‌ی، فرکانس f ، طول موج λ و دامنه‌ی فشار P مربوط به خود بوده، در یک منحنی سینوسی یک نقطه قله و یک نقطه دره از دامنه وجود دارد و این دو تغییرات از دامنه به یک اندازه احساس می‌گردد.

نکته در صورتی که دامنه‌ی تغییرات بر حسب فشار هوا در نظر گرفته شود، معادله موج فشار به صورت زیر خواهد بود:

$$P_{(t)} = P_0 \sin(\omega t + \phi), \quad \omega = 2\pi f$$

$P_{(t)}$: دامنه فشار در زمان t

P_0 : حداکثر دامنه فشار هوا

ω : سرعت زاویه‌ای

ϕ : اختلاف فاز

گوش انسان به‌طور طبیعی قادر به درک امواج صوتی با حداقل دامنه فشار 20 میکرو پاسکال ($2 \times 10^{-5} \text{ pa}$) یا ($2 \times 10^{-6} \text{ mbar}$) است که آن را آستانه‌ی شنوایی می‌نامند. هر پاسکال ده میکروبار است.
 $1 \text{ pa} = 10 \text{ mbar}$

سرعت موج صوتی

سرعت موج صوتی که جزء امواج طولی است در یک محیط مادی بستگی به خواص محیط دارد هر چه دانسیته‌ی محیط انتشار بیشتر باشد سرعت موج صوتی نیز بیشتر خواهد بود، بدین ترتیب سرعت موج در جامدات از مایعات و گازها بیشتر است.

سرعت موج صوتی گازها > مایعات > جامدات

در جامدات سرعت موج وابسته به مدول یانگ و چگالی آن است که مدول یانگ عبارت از نسبت تنش تراکمی یا تنش کششی محیط به کرنش تراکمی است.

$$C = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

Y : مدول یانگ (pa)

ρ : چگالی (kg/m^3)

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L_0}$$

مثال با فرض اینکه مدول یانگ فولاد $2 \times 10^{11} \text{ pa}$ و $\rho = 7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ باشد سرعت موج

طولی را حساب کنید؟

$$C = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \rightarrow C = \sqrt{\frac{2 \times 10^{11}}{7.8 \times 10^3}} = 5064 \text{ m/s}$$



در محیط‌های انتشار مایع، سرعت موج صوتی تابع مدول حجمی (تغییر فشار به تغییر حجم نسبی) و چگالی مایع است.

نکته مدول حجمی عکس ضریب تراکم است، برای محاسبه‌ی سرعت موج در مایعات از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$C = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad B = \frac{1}{K}$$

مثال سرعت موج صوتی و طول موج نظیر فرکانس ۲۵۰ هرتز را در آب به دست آورید؟ اگر ضریب تراکم $45/8 \times 10^{-11}$ باشد.

$$C = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \rightarrow C = \sqrt{\frac{1}{\frac{45/8 \times 10^{-11}}{1000}}} \approx 1478 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \rightarrow \lambda = \frac{1478}{250} = 5/91 \text{ m}$$

در گازهای کامل و هوا، خاصیت الاستیکی بستگی به خواص ترمودینامیکی گاز شامل تغییرات حجم و فشار گاز با تغییرات دما در محل انتشار صوت دارد. طبق فرمول لاپلاس سرعت موج صوتی در گاز کامل و هوا به شرح زیر است:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P_0}{\rho}}$$

ρ : چگالی گاز

P_0 : فشار گاز

γ : ضریب اتمیسیته (نسبت گرمای ویژه محیط در فشار ثابت به گرمای ویژه در حجم ثابت)

مقدار γ برای گازهای دو اتمی و هوا برابر ۱/۴ می‌باشد.

فرمول دیگر برای به دست آوردن سرعت موج صوتی در گازها:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}}$$

R : ثابت گازها $8/314 \text{ J/mol}^\circ\text{K}$

T : دمای مطلق گاز یا هوا ($^\circ\text{K}$)

C : سرعت انتشار موج صوتی m/s

M : جرم مولی kg/mol

نکته در گازها و هوا با افزایش دما، سرعت صوت افزایش می‌یابد زیرا انرژی جنبشی گاز به انتشار صوت کمک می‌کند. در این حالت فرمول زیر به کار می‌رود.

$$C(\text{m/s}) = 20/05 \sqrt{T(^{\circ}\text{K})}, \quad ^{\circ}\text{K} = 273/2 + t(^{\circ}\text{C})$$



$$C(\text{ft/s}) = 49 / 0.3 \sqrt{T(^{\circ}\text{R})}, \quad {}^{\circ}\text{R} = 459 / 5 + t(^{\circ}\text{F})$$

مثال سرعت صوت را در هوای صفر درجه سانتیگراد حساب کنید؟

$${}^{\circ}\text{K} = 273 / 2 + 0 = 273 / 2$$

$$C = 20 / 0.5 \sqrt{273 / 2} = 331 / 2 \text{ m/s}$$

امپدانس صوتی: مقاومت نسبی محیط مادی را نسبت به انتشار موج صوتی، امپدانس صوتی گویند. این ویژگی صوت متمایز از سرعت آن در محیط‌های مختلف است.

$$Z = \frac{P}{u} = \rho \cdot c$$

Z : مقاومت صوتی ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$) یا (mks.rayis)

P : فشار (rms) میانگین موج صوتی (N/m^2)

u : سرعت ذره محیط (m/s)

ρ : چگالی محیط انتشار (kg/m^3)

c : سرعت صوت (m/s)

مثال امپدانس صوتی هوا در شرایط ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و چگالی هوای معادل ۱/۲۱ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

چقدر است؟

$$C = 20 / 0.5 \sqrt{293 / 2} = 343 / 3 \text{ m/s} \rightarrow Z = \rho \cdot c = 343 / 3 \times 1 / 21 = 415 / 3 \text{ mks.rayis/s}$$

$${}^{\circ}\text{K} = 273 / 2 + 20 = 293 / 2$$

نکته هر چه محیط چگال‌تر باشد مقاومت صوتی بیشتری خواهد داشت، این ویژگی در کنترل صدا نقش مهمی ایفا می‌کند.

نکته امپدانس ویژه‌ی صوت در دمای 25°C ، $415 / 3 \text{ mks.rayis/s}$ و در 20°C ، 428 mks.rayis/s می‌باشد.

نکته رفتارهای موج صوتی: رفتارهای امواج صوتی شامل: بازتابش، انحراف و پخش، تداخل و شکست می‌باشد.

انواع صوت از نظر توزیع انرژی: در اصوات مختلط (صوتی که دارای یک موج سینوسی ساده نیست) هر موج صوتی می‌تواند در پهنه‌ی فرکانسی متفاوتی منتشر گردد، از این نظر اصوات را به دو دسته تقسیم می‌کنند:

الف) اصوات با باند باریک: حداکثر انرژی صوتی یا فشار صوتی در یک پهنه محدود از فرکانس منتشر می‌شود. صوت زنگ اخبار، بوق و صوت از این دسته‌اند.

ب) اصوات با باند پهن: انرژی صوتی در یک پهنه وسیع فرکانس توزیع و منتشر می‌شود. اصوات مربوط به وسایل و ماشین‌های مرکب مانند موتورهای درون‌سوز و آسیاب از این دسته‌اند.



بیناب صوتی: به دلیل وسیع بودن طیف فرکانس قابل درک برای انسان و همچنین وسیع بودن باند اصوات صنعتی، محدودی فرکانس صوتی قابل درک را به نواحی قراردادی تقسیم می‌کنند و به هر ناحیه‌ی آن یک باند صوتی گویند، مطالعه صوت در هر ناحیه و به‌طور قراردادی در فرکانس مرکزی آن انجام می‌گیرد. مقادیر دامنه در فرکانس مرکزی نماینده هر ناحیه خواهد بود. به‌طور قراردادی کل محدوده‌ی قابل شنیدن را به ۸ تا ۱۰ یا ۳۰ و ۱۰۰ ناحیه تقسیم می‌نمایند. در هر باند صوتی ۳ محدوده در نظر گرفته می‌شود:

(الف) فرکانس حد پایین F_n

(ب) فرکانس حد مرکزی F_c

(ج) فرکانس حد بالا F_{n+1}

اکتا تفاضل فرکانس حد بالا و حد پایین را پهنای باند می‌نامند

$$BW = F_{n+1} - F_n$$

(Band width)

به‌طور مثال اگر حد بالا ۲۰۰ و حد پایین ۱۰۰ هرتز باشد، پهنای باند ۱۰۰ هرتز خواهد بود.

نسبت حد بالای فرکانس به حد پایین آن مقدار مهمی است که در تعیین نواحی کاربرد دارد.

K عدد پهنای باند است:

$$\frac{F_{n+1}}{F_n} = 2^k$$

با در نظر گرفتن حالات مختلف نتایج به شرح زیر خواهد بود:

(الف) اگر $k = 1$ باشد در نتیجه:

$$\frac{F_{n+1}}{F_n} = 2^1 \rightarrow F_{n+1} = 2F_n$$

این رابطه نشان می‌دهد که فرکانس حد بالا دو برابر فرکانس حد پایین است، در این حالت پهنای باند را در تجزیه‌ی صوت، یک اکتا و باند (شامل ۸ یا ۱۰ باند) می‌نامند.

فرمول فرکانس مرکزی:

$$F_c = \sqrt{F_{n+1} \times F_n} \Rightarrow F_c = \sqrt{2F_n \times F_n} \rightarrow F_c = \sqrt{2F_n^2} \Rightarrow F_c = \sqrt{2}F_n$$

$$\text{اگر } F_{n+1} = 2F_n$$

$$F_c = 1/4 f_n$$

(ب) اگر $k = \frac{1}{3}$ باشد:

$$\frac{F_{n+1}}{F_n} = 2^{\frac{1}{3}} \Rightarrow F_{n+1} = \sqrt[3]{2}F_n \Rightarrow \boxed{F_{n+1} = 1/26 F_n}$$

$$F_c = 2^{\frac{1}{6}} F_n \Rightarrow \boxed{F_c = 1/12 F_n}$$

این تقسیم‌بندی را یک‌سوم اکتا و باند می‌نامند، در این حالت ۳۲ ناحیه وجود خواهد داشت.



ج) اگر $k = \frac{1}{10}$ باشد: این حالت، دقیق‌ترین حالت می‌باشد.

$$\frac{F_{n+1}}{F_n} = 2^{\frac{1}{10}} \Rightarrow F_{n+1} = \sqrt[10]{2} f_n \Rightarrow \boxed{F_{n+1} = 1/0.7 F_n}$$

$$F_C = 2^{\frac{1}{20}} F_n \Rightarrow \boxed{F_C = 1/0.4 F_n}$$

مثال اگر فرکانس حد مرکزی ۱۲۵ هرتز و آنالیز فرکانس از نوع $\frac{1}{3}$ اوکتا و باند باشد، فرکانس حد

بالا و حد پایین چند هرتز خواهد بود؟

درحالی‌که $k = \frac{1}{3}$ باشد:

$$F_C = 1/12 F_n \rightarrow F_n = \frac{125}{1/12} = 111/6 \text{ Hz}$$

$$F_{n+1} = 1/26 F_n \rightarrow F_{n+1} = 1/26 \times 111/6 = 140 \text{ Hz}$$

نکته در مطالعه‌ی صوت دقیق‌ترین حالت زمانی است که $k = \frac{1}{10}$ باشد.

اثر دوپلر

هرگاه منبع صوت یا شنونده یا هر دوی آنها نسبت به هم در حرکت باشند، فرکانس صوت در گوش شنونده با زمانی که هر دو ساکن باشند تفاوت خواهد داشت. اگر شنونده به طرف منبع ثابت حرکت نماید یا منبع به طرف شنونده در حال حرکت باشد، فرکانسی بیش از فرکانس منبع دریافت می‌کند به عبارت دیگر شنونده صوت را زیرتر احساس می‌کند. اگر شنونده از منبع صوتی دور شود، فرکانس دریافتی کمتر از فرکانس واقعی صدای منبع درک می‌شود و شنونده صوت را به‌تر احساس می‌کند، این پدیده را پدیده‌ی دوپلر می‌نامند.

۲-۱- کمیات اندازه‌گیری صوت

برای بیان و اندازه‌گیری صوت دو گروه از کمیات بکار می‌رود. گروه اول کمیات فیزیکی یا کمیات مطلق است که شامل: فشار، شدت و توان صوت است. گروه دوم کمیات لگاریتمی یا تراز شامل: تراز فشار، تراز شدت و تراز توان صوت می‌باشد.

توان صوت (w) sound power

توان صوت برحسب وات (w) مقدار انرژی صوتی است که در واحد زمان در منبع صوتی تولید می‌شود.

$$w = \frac{j}{s} \quad \text{نکته} \quad \text{برای کارهای کنترلی از توان صوت استفاده می‌کنند.}$$

نکته کمترین توان صوتی که می‌تواند گوش انسان را تحریک کند برابر 10^{-12} وات است این میزان را توان مبنا یا آستانه‌ی درک توان صوت می‌نامند. ولی بیشترین توان صوتی که گوش می‌تواند بدون احساس درد آن را تحمل نماید 100 w است.



شدت صوت (I) sound Intensity

شدت صوت برحسب $\frac{W}{m^2}$ ، مقدار انرژی صوتی است که در واحد زمان از واحد سطح می‌گذرد، سطح مذکور عمود بر راستای انتشار موج صوتی است.

$$I\left(\frac{W}{m^2}\right) = \frac{W}{A}$$

نکته کمترین شدت صوتی که می‌تواند برای گوش انسان قابل درک باشد برابر با $10^{-12} \frac{W}{m^2}$ است. این میزان را شدت صوت مبنا یا آستانه درک شدت صوت می‌نامند. در حالی که بیشترین شدت صوت که گوش انسان بدون درد قادر به تحمل آن است، $10^0 \frac{W}{m^2}$ می‌باشد.

نکته اگر در مسیر انتشار صوت مانع یا سطوح بازتابش وجود نداشته باشد، صوت در سطح یک فضای کروی منتشر می‌شود و میدان نیز آزاد نامیده می‌شود. در این صورت اگر شعاع را واحد در نظر بگیریم:

$$I = \frac{W}{A} = \frac{W}{4\pi r^2} \Rightarrow I = \frac{W}{12.57 r^2}$$

A: سطح عبوری صوت (یا سطح کره) m^2

r: فاصله از منبع یا شعاع کره m

مثال شدت صوت منبعی با توان ۱۰۰۰ وات را در فواصل ۱۰ و ۲۰ متری در یک میدان آزاد محاسبه کنید؟

$$I_{10} = \frac{1000}{12.57 \times 100} = 0.0795 \frac{W}{m^2}, \quad I_{20} = \frac{1000}{12.57 \times 400} = 0.0199 \frac{W}{m^2}$$

نکته نتیجه گرفته می‌شود که با دو برابر شدن فاصله، شدت صوت به یک‌چهارم $\frac{1}{4}$ میزان اولیه کاهش می‌یابد.

فشار صوت (P) sound pressure: عبارت از نیروی وارد بر سطح است، در سیستم متریک یا mks فشار صوت برحسب پاسکال $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ و در سیستم CGS، میکرو بار $\left(\frac{dyn}{cm^2}\right)$ است.

نکته فشار صوت با فرکانس و طول موج رابطه‌ای ندارد.

$$1 \text{ pa} = 10 \mu\text{bar}$$

نکته کمترین فشار موج صوتی که می‌تواند گوش انسان را تحریک کند، $2 \times 10^{-5} \text{ pa}$ یا 2×10^{-4} میکرو بار است که به آن فشار مبنا گویند ولی بیشترین فشار صوتی که گوش می‌تواند آن را بدون احساس درد تحمل کند ۲۰۰ pa یا ۲۰۰۰ میکرو بار است.

نکته رابطه‌ی بین فشار صوت و شدت صوت:

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



P: فشار صوت (pa)

ρc: امپدانس صوتی هوا، برابر با ۴۱۵ (mks rayls) است.

مثال اگر فشار مؤثر صوت ۲۰۰ پاسکال باشد، شدت صوت چقدر خواهد بود؟

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

انواع فشار صوت: Average sound pressure

الف) فشار میانگین: عبارت است از میانگین حسابی مقادیر لحظه‌ای فشار مطلق در طول زمان اندازه‌گیری یا زمان انتشار صوت. این مقدار قابل اعتبار نیست. زیرا از نظر فیزیولوژیک برای ما مربعات فشار اهمیت دارد و این کمیت مربوط به میانگین مقادیر مطلق است.

ب) فشار مؤثر effective.p: در روابط مربوط به فشار صوت عموماً از مقادیر مؤثر آن استفاده می‌شود. علت در نظر گرفتن مربع تغییرات دامنه‌ی 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. به همین دلیل به‌طور کلی فشار مؤثر را ریشه مجموع مربعات فشار می‌گویند.

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

$$P_{rms} = \frac{P_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707 P_{max} \quad \text{لگاریتمی}$$

ج) فشار ماکزیمم: حداکثر دامنه فشار در دوره‌ی اندازه‌گیری صوت نیز از نظر ارزیابی مهم است.

$$P_{Max} = \sqrt{2} P_{rms}$$

کمیات لگاریتمی

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) محاسبه و برحسب دسی‌بل با علامت (dB) بیان می‌شود.

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

- ۱- تراز توان صوت
- ۲- تراز شدت صوت
- ۳- تراز فشار صوت

الف) تراز توان صوت sound power level: (SWL) یا LW

توان صوت مربوط به منبع صوتی است. اگر بخواهیم آلودگی صدای منتشره از یک دستگاه کاهش یابد با کمیت تراز توان سروکار داریم.



$$SWL(d_B) = LW = 10 \log\left(\frac{W}{W_0}\right) \rightarrow \boxed{SWL = 10 \log w + 120}$$

$$\boxed{W = 10^{\left(\frac{SWL-120}{10}\right)}}$$

w : توان مطلق منبع صوتی (w)

w_0 : توان مبنا یا آستانه درک فیزیولوژیک توان صوت $10^{-12} w$

نکته در صورتی که بخواهیم تراز توان صورت ناشی از ارتعاش یک دستگاه را کاهش دهیم این میزان کاهش به صورت تئوری حداکثر ۲۰dB خواهد بود.

مثال اگر توان منبع صوتی ۲۰ برابر شود، تراز توان چند dB افزایش می‌یابد؟

$$SWL = 10 \log 20 + 120 \rightarrow SWL = 13 + 120 = 133 \quad 133 - 120 = 13 \text{dB}$$

نکته با ۲ برابر شدن توان صوت، تراز توان صوت ۳dB افزایش می‌یابد.

(ب) تراز شدت صوت (SIL) یا LI

$$SIL(d_B) = LI = 10 \log \frac{I}{I_0} \rightarrow SIL = 10 \log I + 120$$

$$I = 10^{\left(\frac{SIL-120}{10}\right)}$$

I : شدت مطلق صورت در نقطه اندازه‌گیری $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

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

مثال اگر در یک فاصله معین از منبع صوت تراز شدت صوت ۱۴۰ دسی‌بل باشد. میزان شدت مطلق صوت چند وات بر مترمربع است؟

$$I = 10^{\left(\frac{SIL-120}{10}\right)} \rightarrow I = 10^{\left(\frac{140-120}{10}\right)} \rightarrow I = 10^2 = 100 \rightarrow I = 100 \frac{W}{m^2}$$

مثال مشخص کنید با ۲ برابر شدن شدت صوت (مثلاً از ۱۰ به ۲۰) در یک نقطه تراز شدت آن چند دسی‌بل افزایش می‌یابد؟

$$I = 10 \text{ و } 20 \frac{W}{m^2}$$

$$1- SIL = 10 \log 10 + 120 = 130 \text{dB}$$

$$2- SIL = 10 \log 20 + 120 = 133 \text{dB}$$

نکته با دو برابر شدن شدت صوت در یک نقطه، تراز شدت آن ۳dB افزایش پیدا می‌کند.

مثال اگر شدت صوت ۱۰۰ برابر شود، تراز شدت صوت آن چگونه تغییر می‌کند؟

$$SIL = 10 \log I + 120 \rightarrow SIL = 10 \log 100 + 120 \rightarrow SIL = 20 + 120 = 140 \text{dB}$$

$$140 - 120 = 20 \text{dB}$$



۲۰ dB افزایش می‌یابد.

ج) تراز فشار صوت (SPL) یا L_p

در بررسی‌های محیط کار به منظور ارزیابی محیطی و نیز ارزیابی مواجهه کارگر، تراز فشار صوت بیشترین استفاده را دارا می‌باشد. علت این امر در ماهیت فشار و نحوه‌ی انتشار صوت و بالاخره نحوه وارد شدن فشار بر پرده‌ی صماخ گوش می‌باشد. از طرف دیگر اندازه‌گیری فشار و تراز فشار صوت هوایی نیز عملی‌تر می‌باشد.

$$SPL(d_B) = L_p = 10 \cdot \log\left(\frac{P^2}{P_0^2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{P_0}\right) \rightarrow SPL = 20 \cdot \log P + 94$$

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

P : فشار مطلق صوت در نقطه‌ی اندازه‌گیری (pa)

P_0 : فشار مبنا یا آستانه درک فیزیولوژیک فشار صوت 2×10^{-5} pa

در صورتی که فشار صوت برحسب میکرو بار در نظر گرفته شود خواهیم داشت:

$$SPL = 20 \cdot \log P + 74$$

$$P = 10^{\left(\frac{SPL-74}{20}\right)}$$

با دو برابر شدن فشار صوت در یک نقطه، تراز فشار ۶ dB افزایش پیدا می‌کند.

در صورتی که در یک فاصله معین از منبع صوت، تراز فشار صوت ۱۴۰ dB باشد، میزان فشار

مطلق صوت چند پاسکال است؟

$$P = 10^{\left(\frac{SPL-94}{20}\right)} \rightarrow P = 10^{\left(\frac{140-94}{20}\right)} = 199 / 5 \text{ pa}$$

آستانه‌ی شنوایی و آستانه‌ی دردناکی برای ترازهای توان، شدت و فشار به ترتیب برابر صفر و ۱۴۰ dB است.

بلندی صوت sound loudness: ثابت شده که احساس شنونده نسبت به مقادیر در فرکانس‌های مختلف یکسان نبوده و به همین دلیل علاوه بر کمیت صدا، نحوه‌ی درک شنوایی نیز در فرکانس مربوطه اهمیت دارد. ترازهای یکسان در فرکانس‌های مختلف به یک اندازه درک نمی‌شوند. در این حالت یک مشخصه درک صوت بنام بلندی صوت تعریف می‌گردد. اگرچه بلندی صوت وابسته به تراز صوت است ولی برابر با آن نیست.

تنها در فرکانس هزار هرتز، تراز فشار صوت با تراز بلندی صوت برابر است.

بلندی صدا تابعی از حساسیت گوش است و معرف درک انسان از دامنه صدا می‌باشد.

بلندی صوت بیان‌کننده اثرات subjective (ادراک ذهنی) است.

واحد تراز بلندی صوت فون (Phone) است. درحالی که واحد بلندی سون (Sone) نام دارد.

$$(۱) \quad SL(Phone) = 33 / 2 \log S + 40$$



$$(۲) \quad S = 10^{\left(\frac{SL - 40}{33/2}\right)}$$

SL: تراز بلندی (فون)

S: واحد مطلق بلند (سون)

سون خود تابعی از منحنی‌های هم بلندی است که از رابطه‌ی زیر مقدار آن به دست می‌آید.

$$S_t = I_m(1 - K) + K \sum_{i=1}^n I_i$$

S_t : بلندی مجموع بر حسب سون

I_m : بلندی حداکثر

I_i : هریک از مقادیر بلندی (شامل I_m نیز می‌شود) که از منحنی‌های بلندی‌های هم‌اندازه به دست می‌آید.

K: فاکتور توزین باند صوتی (برای یک اوکتا و باند معادل ۰/۳ و برای ۱/۳ اوکتا و باند معادل ۰/۱۵)

مثال آنالیز فرکانس یک اوکتا و باند صدای یک منبع به شرح زیر است، بلندی مجموع و تراز بلندی آن را محاسبه کنید.

۶۳ (Hz)	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰ فرکانس
۵۶ (SPL)	۶۲	۶۵	۷۰	۸۱	۷۵	۷۳	۶۲ تراز فشار
۱/۲ (li)	۲/۷	۴/۷	۷/۵	۱۸	۱۵	۱۵	۹ مقادیر بلندی

$$s_t = I_m(1 - k) + k \sum_{i=1}^n I_i \rightarrow s_t = 18(1 - 0/3) + 0/3(1/2 + 2/7 + 4/7 + 7/5 +$$

$$18 + 15 + 15 + 9) = 34/5$$

$$SL = 33/2 \log s + 40 \rightarrow SL = 33/2 \log 34/5 + 40 = 91/1 \text{ phone}$$

نکته در فرکانس‌های بم (پایین) آستانه‌ی شنوایی انسان بالاتر است، به‌طور مثال، اگر شخصی در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز دارای آستانه‌ی شنوایی ۱۰ دسی‌بل است در فرکانس ۲۰ هرتز این آستانه بیش از ۷۰ دسی‌بل می‌باشد.

نکته با ۲ برابر شدن سون، مقدار فون، ۱۰ فون بیشتر می‌شود.

ارتباط بین فون و دسی‌بل: شباهت فون و دسی‌بل به گونه‌ای است که در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز باهم برابرند. ولی در سایر فرکانس‌ها باهم تفاوت دارند. در فرکانس‌های پایین (صداهاى بم) آستانه‌ی شنوایی انسان بالاتر است براساس این ویژگی در فون آستانه‌ی شنوایی انسان را در کلیه فرکانس‌ها با وجود تغییرات تراز فشار صوت یکسان در نظر می‌گیرند.

منحنی دسته‌ای (NR): در این منحنی نواحی تراز بسیار کم (کمتر از ۱۵ dB)، ناحیه‌ی آسایش (dB) ۴۵-۱۵، ناحیه‌ی مکالمه (dB) ۶۵-۴۵، ناحیه‌ی احتیاط (dB) ۸۵-۶۵ و ناحیه‌ی خطر (بیش از ۸۵ dB) معین و با نام منحنی دسته‌ای (NR) آمده است.

همچنین منحنی دیگری به نام منحنی معیار (NC) نیز معرفی گردیده که مشابه منحنی دسته‌ای است. در مقایسه‌ی تراز فشار صوت با منحنی دسته‌ای می‌توان در خصوص وضعیت صدای محیط مخصوصاً در مطالعات محیط زیست اظهار نظر کرد.

نکته در منحنی‌های دسته‌ای NR، اثر تداخل با مکالمه نیز بیان می‌گردد.

منحنی تراز سنجۀ برگزیده (PNC): به وسیله برانک و همکاران معرفی و تکامل یافت، منحنی بر پایه امتیاز گذاری ذهنی کارمندان دفتری از اثرات صدا به دست آمده‌اند. امتیاز گذاری‌ها در چندین آزمایش انجام گرفتند این آزمایشات برای تعیین فرکانس‌هایی انجام شده‌اند که عمدتاً در گفتگو تداخل می‌کنند. از این منحنی‌ها در محیط‌های کار غیر صنعتی مانند محیط‌های کار آموزشی، اداری و ... برای مقایسه صدای زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مقادیر PNC و تراز فشار صوت توصیه شده برای شرایط گوناگون

شرایط صوتی	PNC	dB A
شرایط بسیار عالی برای شنیدن	≤ 20	≤ 30
شرایط خوب برای شنیدن	۲۰-۳۵	۳۰-۴۲
شرایط نسبتاً خوب برای شنیدن	۳۵-۴۵	۴۲-۵۲
شرایط متوسط برای شنیدن	۴۰-۵۰	۴۷-۵۶
شرایط پذیرفتنی برای ارتباط کلامی و تلفنی	۵۰-۶۰	۵۶-۶۶

فاکتور قله crest factor

نشان‌دهنده‌ی فاصله مقادیر پیک از مقادیر مؤثر فشار صوت یا تراز آن می‌باشد، هرچه این معیار بیشتر باشد، صدمه فیزیولوژیک صوت، به بدن بیشتر خواهد بود.

$$CF(\text{ratio}) = \frac{\text{فشار}}{\text{فشار}} - 12 - CF(\text{dB}) = 10 \cdot \log \left(\frac{\text{فشار}}{\text{فشار}} \right)^2$$

$$CF(\text{dB}) = 20 \cdot \log \frac{\text{فشار}}{\text{فشار}} - (3) \quad 4 - (\text{dB}) = \text{peak.level} - \text{RMS.level}$$

نکته هرچه CF بیشتر باشد مقدار بیماری‌زایی به همان مقدار بیشتر است.

مثال فاکتور قله برای موج صوتی با حداقل فشار ۰/۰۸۳ Pas، فشار صوت مؤثر ۰/۱ pas فشار میانگین ۱۰۹۵ pas و حداکثر فشار ۰/۱۷ pas چند dB است؟ (ارشد ۹۳)

$$CF = 10 \cdot \log \left(\frac{0.17}{0.083} \right)^2 = 4.6 \text{ dB}$$



انواع صوت از نظر زمان تداوم براساس تغییرات دامنه‌ی صوت

۱- اصوات پیوسته

۲- اصوات ضربه‌ای و کوبه‌ای

اصوات پیوسته continuous Noise

به اصواتی اطلاق می‌گردد که در طول زمان انتشار خود وقفه نداشته باشند، اصوات مکالمه و اصوات صنعتی اغلب از این گروه هستند، این گروه خود به ۳ دسته تقسیم می‌گردند که عبارتند از:

الف) اصوات یکنواخت steady Noise: در این گروه تراز فشار صوت تغییرات قابل ملاحظه نداشته و اغلب کمتر از ۵ دسی‌بل است.

ب) اصوات متغیر با زمان fluctuating noise: در این دسته تغییرات تراز فشار در طول زمان بین ۵-۱۵ dB است.

ج) اصوات منقطع یا نوبتی Intermittent noise: تغییرات تراز فشار صوت بیش از ۱۵ دسی‌بل در طول زمان است.

۲- **اصوات ضربه‌ای و کوبه‌ای Impact or Impulsive Noise or Sound:** در این نوع اصوات موج فشار صوت در هر ضربه، در کسری از زمان (ثانیه) و معمولاً در کمتر از ۰/۵ ثانیه شروع و خاتمه می‌یابد. مثال صدای ناشی از شلیک گلوله، پرس‌های ضربه‌ای و ابزارهای پنوماتیک. این گروه خود به دو دسته A و B تقسیم می‌شوند:

الف) دسته‌ی A: نام اختصاصی این دسته از اصوات، ضربه‌ای است، زمان اوج‌گیری موج فشار کوتاه بوده و دامنه فشار بسیار بزرگ است، به‌طوری‌که در نقطه پیک خود ممکن است به ۱۹۰ دسی‌بل نیز برسد. در هر ضربه، موج فشار به تندی و فقط با یک بازگشت به نقطه‌ی صفر فشار برمی‌گردد، در این نوع از صدا، موج فشار شکل ساده‌ای دارد، در این دسته زمان تداوم هر ضربه هم کوتاه است. مانند شلیک گلوله‌های سبک مانند قبضه تفنگ و سنگین مانند توپ، انفجار گلوله‌های خمپاره و توپ.

ب) دسته‌ی B: نام اختصاصی این دسته از اصوات، کوبه‌ای است، در این دسته هم 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، در این دسته زمان تداوم هر ضربه بلندتر از دسته‌ی A است. در هر ضربه، موج فشار به تندی به نقطه صفر برمی‌گردد، اما چند موج پس ضربه به دنبال خود دارد که به دلیل اصوات پیکری اجزای دستگاه مولد صوت می‌باشد. مثال‌های این دسته، شامل صدای ناشی از پرس‌های ضربه‌ای و ابزارهای بادی و به‌طور کلی منابع مرکب ضربه زن است.



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. حاصل چند تراز موجود چه در فرکانس‌های مختلف و چه در اثر منابع مختلف یک تراز است که به آن تراز کلی صوت یا SPL_T می‌گویند که از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود:

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

LP_T : تراز مجموع فشار صوت (dB)

LP_i : تراز فشار صوت هر منبع (dB)

مثال اگر تراز فشار صوت ۳ منبع به ترتیب ۸۵ dB و ۹۲ و ۶۸ باشد، تراز فشار صوت مجموع

آن‌ها زمانی که هر ۳ منبع روشن باشد چند دسی‌بل می‌باشد؟

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

تکذیب 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 آن‌ها اضافه می‌شود.

مرز اثر افزایشی تراز صدای دو منبع ۹ دسی‌بل است.

تکذیب در صورتی که تعداد N منبع صوتی با تراز یکسان وجود داشته باشد، می‌توان با استفاده از فرمول زیر

تراز مجموع آن‌ها را محاسبه نمود، برای این کار ابتدا عددی که باید به تراز هر منبع صوتی اضافه شود محاسبه آنگاه تراز کلی به دست می‌آید:

$$1- A = 10 \cdot \log(N)$$

$$2- LP_T = LP_i + A$$

N : تعداد منابع صوتی با تراز یکسان

A : عددی که به تراز یکی از منابع افزوده می‌شود (dB)

LP_i : تراز فشار صوت هر منبع (dB)

مثال اگر تعداد ۱۰ دستگاه ماشین بافندگی که هرکدام دارای تراز فشار صوت یکسان ۸۰ dB

می‌باشند به‌طور همزمان کار نمایند، تراز فشار صوت کلی آن‌ها چقدر خواهد شد؟

$$A = 10 \cdot \log N \rightarrow A = 10 \cdot \log 10 = 10 \text{ dB}$$

$$LP_T = LP_i + A \rightarrow LP_T = 80 + 10 = 90 \text{ dB}$$

مثال اگر در یک محیط ۱۵ دستگاه با تراز فشار صوت یکسان داشته باشیم که برآیند آن‌ها

۹۰/۷۶ dB باشد. چه تعداد دستگاه باید کم کنیم تا به حد مراقبت برسد؟

حد مجاز صدا: ۸۵ dB

$$LP_T = LP_i + 10 \cdot \log N$$

حد مراقبت: ۸۲ dB



$$90/76 = L_{p_i} + 10 \log(15) \Rightarrow L_{p_i} = 79 \text{ dB}$$

$$82 = 79 + 10 \log N \Rightarrow 3 = 10 \log N \Rightarrow 0/3 = \log N \Rightarrow N = 10 \Rightarrow N = 10^3$$

نکته بیشترین کاربرد روش جمع ترازهای صوتی در مرحله طراحی صنعت می‌باشد.

تفاضل ترازهای صوتی

برای تعیین تأثیر یک دستگاه مولد صوت بر تراز مجموع منابع، از روش تفاضل ترازهای صوتی استفاده می‌گردد. این روش برای شناسایی منابع اصلی تولید صوت در محیط‌های صنعتی بسیار حائز اهمیت است. برای اجرای این روش می‌توان به دو صورت عمل نمود:

۱- شرایطی که فقط بتوان دستگاه موردنظر را خاموش کرد:

برای تعیین تأثیر تراز فشار صوت یک منبع معین (L_{p_s})، ابتدا تراز فشار مجموع (L_{p_T}) را اندازه‌گیری نموده، سپس دستگاه موردنظر را خاموش کرده تا تراز فشار صوت زمینه (L_{p_b}) اندازه‌گیری شود، آنگاه می‌توان تراز فشار صوت منبع موردنظر را محاسبه نمود.

$$L_{p_s} = 10 \log \left[10^{\frac{L_{p_T}}{10}} - 10^{\frac{L_{p_b}}{10}} \right]$$

L_{p_s} : تراز منبع موردنظر (dB)

مثال در یک کارگاه تراز کلی صدا ۹۴ dB است. با خاموش نمودن دستگاه A، تراز زمینه ۸۵ dB اندازه‌گیری شده است. تراز فشار صوت دستگاه A چقدر است؟

$$L_{p_s} = 10 \log \left[10^{\frac{94}{10}} - 10^{\frac{85}{10}} \right] = 93/4 \text{ dB}$$

نکته هر چه فاصله تراز زمینه و کلی بیشتر باشد مانند مثال بالا، نشانه آن است که تراز صدای زمینه نسبت به صدای منبع موردنظر تأثیر کمتری بر تراز کل دارد. در واقع منبع موردنظر، عامل اصلی انتشار صوت در کارگاه است.

۲- شرایطی که امکان خاموش نمودن منبع موردنظر نباشد:

در این حالت ابتدا تراز کلی فشار صوت اندازه‌گیری می‌شود و سپس همه‌ی دستگاه‌ها به جز دستگاه مذکور را خاموش می‌کنند، در این حالت تراز منبع نیز اندازه‌گیری می‌گردد. با داشتن این دو تراز می‌توان تراز فشار زمینه را محاسبه نمود:

$$L_{p_b} = 10 \log \left[10^{\frac{L_{p_T}}{10}} - 10^{\frac{L_{p_s}}{10}} \right]$$

متوسط‌گیری یا میانگین‌گیری از ترازهای صوتی

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 نقطه اکتفا نمود.



برای این کار در چند نقطه از اطراف منبع معمولاً نقاط توقف کارگر تراز فشار صوت را اندازه‌گیری می‌کنیم و تراز متوسط فشار صوت که نماینده تراز فشار صوت آن دستگاه است را محاسبه می‌نماییم:

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

$\bar{LP}$: متوسط تراز فشار صوت منبع

n : تعداد نقاط اندازه‌گیری

LP_i : تراز فشار صوت در هر نقطه

مثال متوسط تراز فشار را برای نتایج زیر که تراز فشار صوت در اطراف یک منبع است را محاسبه نمایید؟
(۹۴ - ۸۹ - ۹۸ - ۹۹ dB)

$$\bar{LP} = 10 \log \left[\frac{1}{4} \times (10^{\frac{99}{10}} + 10^{\frac{98}{10}} + 10^{\frac{89}{10}} + 10^{\frac{94}{10}}) \right] = 96.4 \text{ dB}$$

تراز معادل مواجهه (Leq): Equivalent sound level از آنجایی که کارگران در طول شیفت کاری در معرض ترازهای مختلف قرار دارند، در بررسی صدا به منظور ارزیابی مواجهه کارگر، از ترازهای مواجهه کارگر متوسط زمانی می‌گیرند که از فرمول زیر استفاده می‌شود:

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

L_{eq} : تراز معادل مواجهه (dB)

t_i : طول زمانی مواجهه i ام به ساعت

T : زمان مرجع معمولاً ۸ ساعت

LP_i : تراز فشار صوت مواجهه i ام (dB)

این تراز محاسبه شده همان معدل زمانی ترازاها (SPL_{TWA}) که می‌توان بر مبنای مجموع زمان‌های مواجهه با بر مبنای مدت زمان معین محاسبه گردد.

در اکثر موارد تراز برای یک شیفت ۸ ساعته محاسبه می‌شود که به آن تراز معادل مواجهه ۸ ساعته می‌گویند.

نکته هنگام اندازه‌گیری فشار صوت در یک کارگاه اگر مقادیر تراز معادل و تراز کلی صوت برابر باشد ($Leq = Lp_T$) و اختلاف این دو پایین باشد. یعنی تراز فشار صوت در فرکانس‌های مختلف و دوره‌های زمانی مختلف یکسان و حتی دستگاه‌های مختلف دارای تراز فشار صوت یکسان باشند. در نتیجه محیط دارای صدای یکنواختی می‌باشد.

نکته در صورتی که در یک محیط تغییرات تراز فشار صوت بین ۵-۱۵ dB باشد بایستی تراز معادل مواجهه صوت اندازه‌گیری شود.



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

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i 10^{\frac{L_{p_i}}{10}} \right] = 10 \log \left[\frac{6}{8} \times 10^{\frac{90}{10}} \right] = 88.7 \text{ dB}$$

نتیجه می‌گیریم که مواجهه این کارگر معادل با کارگری است که در یک شیفت ۸ ساعته با تراز ۸۸.۷ dB مواجهه داشته باشد.

تراز نشری E_A: انجمن بهداشت حرفه‌ای انگلستان BOHS معیاری را تحت عنوان E_A معرفی نموده است با این تراز می‌توان حد تجمعی مواجهه با صدا در یک دوره‌ی شغلی چندساله را محاسبه کرد. براساس تراز نشری مقادیری معین نموده‌اند که مواجهه‌ی بیش از آن سبب صدمات صوتی وارده به گوش در طول یک دوره‌ی کاری چند ساله خواهد شد.

$$E_A (\text{dB}) = L_{eq} + 10 \log \frac{T}{T_0}$$

T: تعداد سال‌های مواجهه

t: تعداد روزهای مواجهه فرد در سال

$$T1 = T \times \frac{t}{240}$$

۲۴۰: تعداد روزهای کاری در ۴۸ هفته سال و هفته‌ای ۵ روز

T: دوره‌ی مبنا و برابر یک سال

تراز آماری L_N

برای تعیین مدت زمانی که صدای محیط کار از حد معینی تجاوز می‌نماید، از تراز آماری استفاده می‌شود. اندیس N بیان‌کننده درصد زمانی است که تراز فشار صوت از مقدار معینی بالاتر بوده است. برای مثال L_N = ۹۰ dB به این معنا است که ۱۰٪ از کل دوره‌ی اندازه‌گیری تراز فشار صوت مساوی یا بالاتر از ۹۰ dB بوده است.

تراز آلودگی صوتی در محیط (NPL): این تراز برای محیط‌های باز و مقایسه با استاندارد زیست محیطی (۶۰ dB-۴۵) استفاده می‌شود. برای محاسبه‌ی این تراز لازم است تراز آماری برای محدوده‌های زمانی ۵۰٪ و ۱۰٪ و ۹۰٪ معین شده و با استفاده از معادله تراز آلودگی محیط مشخص شود. این تراز همان‌طور که گفته شد بیشتر در مباحث آلودگی محیط زیست کاربرد دارد.

$$NPL (\text{dB}) = L_{90} + (L_{10} - L_{90}) \quad \text{یا} \quad NPL (\text{dB}) = L_{eq} + (L_{10} - L_{90})$$

تراز تداخل با مکالمه Speech Interference Level: به دلیل امکان تداخل صدای محیط کار با فرکانس‌های مکالمه، که این امر می‌تواند در بروز حوادث نقش داشته باشد، تراز را محاسبه می‌نمایند که میزان مزاحمت یا محدودیت در ارتباط کلامی را نشان می‌دهد که از فرمول زیر به دست می‌آید:

فرمول زیر براساس محاسبه میانگین حسابی ترازهای فشار صوت در فرکانس‌های مکالمه تعیین می‌گردد.



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

مثال تراز فشار صوت در یک کارگاه برای فرکانس‌های ۵۰۰-۱۰۰۰-۲۰۰۰ به ترتیب ۷۵-۷۸-۸۵ می‌باشد. تراز تداخل با مکالمه در این محیط را محاسبه نمایید؟

$$SIL = \frac{75 + 78 + 85}{3} = 79.3 \text{ dB}$$

تراز مواجهه صوت (SEL) Sound Exposure Level: تراز مواجهه صوت که با L_{ET} یا L_{AT} بیان‌کننده انرژی صوت در یک قطاع زمانی - مثلاً یک ثانیه است، تراز مواجهه اغلب برای ثبت وقایع گذرا مانند عبور یک وسیله نقلیه یا یک صدای کوبه‌ای استفاده می‌شود.

تراز مواجهه بیان‌کننده معدل زمانی تغییرات تراز فشار صوت گذرا در حالتی است که دامنه صدا از تراز مبنا به اندازه‌ی عینی اوج می‌گیرد. اغلب این میزان تغییر دامنه برابر ۱۰ dB قرار داده می‌شود، پس می‌توان بیان کرد که SEL، معدل زمانی ترازهای فشار صوت در محدوده‌ی زمانی است که تراز فشار صوت به اندازه ۱۰ دسی‌بل افزایش و سپس به تراز پایه می‌گردد.

$$SEL = L_{eq} + 10 \log(t)$$

t = زمان اندازه‌گیری (به‌طور پیشنهادی ۶۰ ثانیه)

مثال کارگری در یک کارگاه به ترتیب با صدا مواجهه داشته است، تراز معادل ۸ ساعته را برای او حساب کنید:

مقدار SEL برای زمان ۶۰ ثانیه چقدر می‌باشد؟

یک ساعت با تراز ۸۰ dB

یک ساعت با تراز ۹۶ dB

یک ساعت با تراز ۸۸ dB

یک ساعت با تراز ۶۹ dB

یک ساعت با تراز ۶۰ dB

$$SEL = L_{eq} + 10 \log(t)$$

ابتدا L_{eq} را محاسبه می‌نماییم، بعد مقدار SEL را به دست می‌آوریم:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{8} \times \left(1 \times 10^{\frac{80}{10}} + 1 \times 10^{\frac{96}{10}} + 1 \times 10^{\frac{88}{10}} + 1 \times 10^{\frac{69}{10}} + 1 \times 10^{\frac{60}{10}} \right) \right] = 90.4 \text{ dB}$$

$$SEL = 90.4 + 10 \log(60) = 108$$

۳-۱- انتشار صوت

صوت به راحتی می‌تواند در اکثر محیط‌های مادی منتشر گردد، نحوه‌ی انتشار صوت به عوامل متعددی مانند مشخصات صوتی منبع، فاصله از منبع و نیز وضعیت سطوح انعکاس بستگی دارد، منابع صوتی در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند: نقطه‌ای، خطی، سطحی.