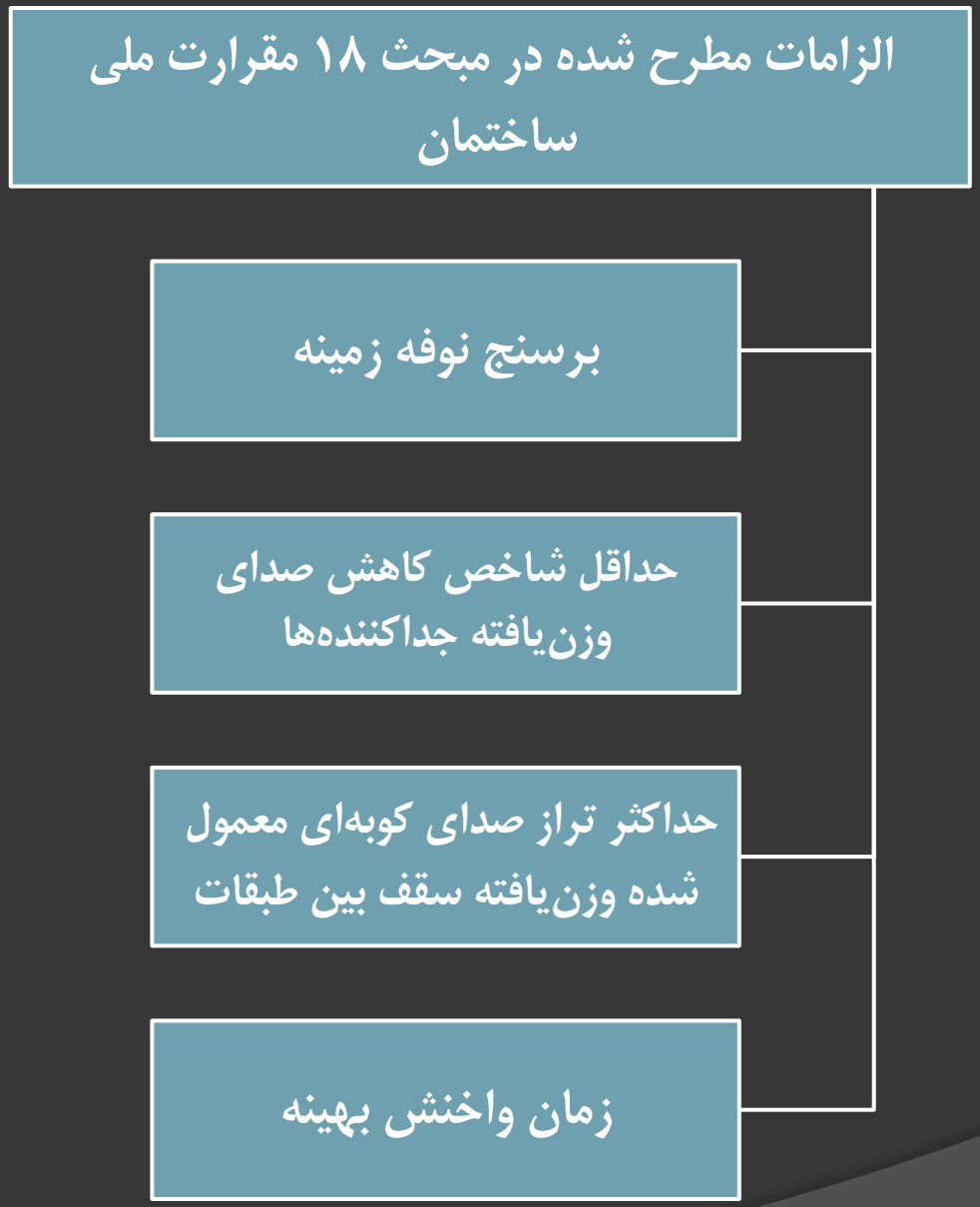
آکوستیک

دانش آکوستیک به معنای وسیع کلمه، تولید،تراگسیل و دریافت انرژی به‌صورت ارتعاش در ماده است

آکوستیک در معماری

آکوستیک در معماری را می‌توان فن طراحی فضاها و بناها و سیستم‌های مکانیکی مطابق با نیازهای شنوایی دانست که با طراحی صحیح بتوان صداهای خواسته را بطور مطلوبی شنید(**آکوستیک داخلی**) و صداهای ناخواسته (نوفه) را تا حدی کاهش داد که آزاردهنده نباشد یعنی قابل قبول باشد (**کنترل نوفه**)

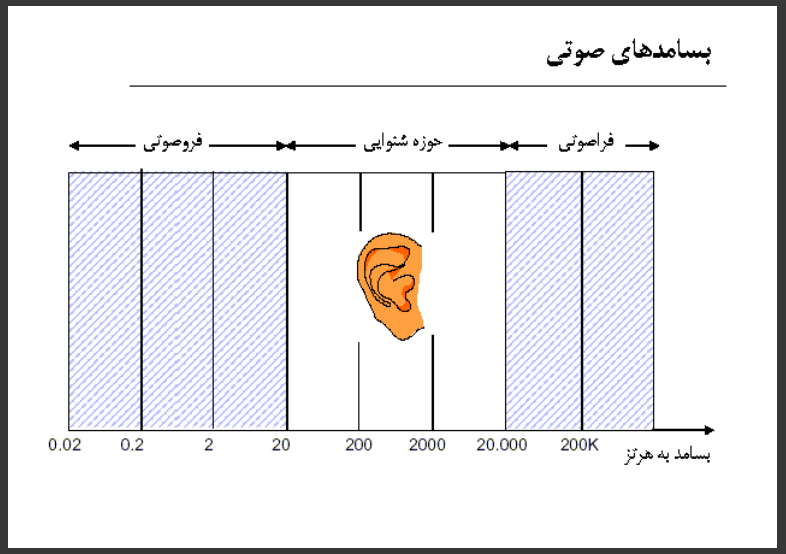

الزامات مطرح شده در مبحث ۱۸ مقرارت ملی ساختمان
برسنج نوفه زمینه
حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته جداکننده‌ها
حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن‌یافته سقف بین طبقات
زمان واخنش بهینه

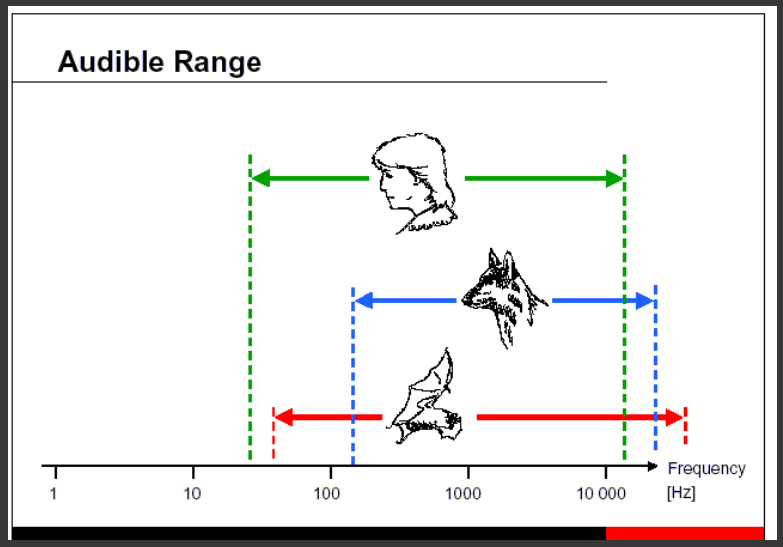
مبانی صدا

صدا

صدا ، امواج مکانیکی طولی که در جامدات ، مایعات و گازها منتشر می‌شوند . گستره امواج قابل بین ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز می‌باشد . امواج صوتی کمتر از ۲۰ هرتز را امواج فروصوتی و امواج صوتی بالاتر را از ۲۰۰۰۰ هرتز امواج فراصوتی نامیده می‌شود . به‌عبارت دیگر صدا را می‌توان حرکات موجی در یک فراگیر کشسان و یا متحرک حس‌شنوایی تفسیر کرد

گستره بسامدی





فشار صدا

تغیرات فشاردر یک فراگیر که در آن تعادل آن به‌هم خورده باشد فشار صدا گویند . واحد آن نیوتن بر متر مربع ($N/_{m}2$) است و با P نشان داده می‌شود .فشار متعارفی جو $P_0=$ 10^5 $N/_{m}2$ معادل یک اتمسفر است .

توان صوتی یک منبع

مقدار انرژی صوتی که در واحد زمان بوسیله منبع تولید می‌شود . و از ویژگیهای صداست و مستقل از محیط انتشار است ، واحد آن وات (W) .

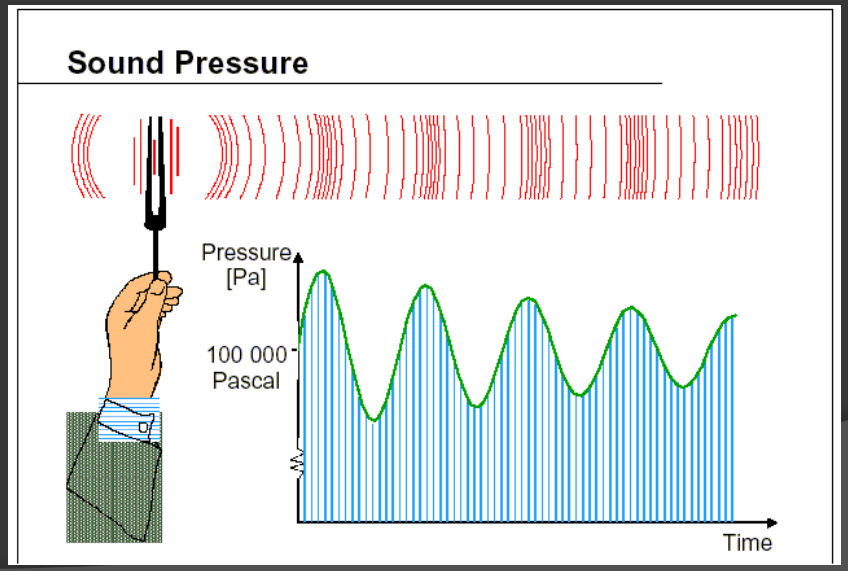
شدت صوت

توان صوتی منبعی است که از واحد سطح می‌گذرد یا مقدار انرژی صوتی که در واحد زمان از واحد سطح عمود بر امتداد انتشار صوت است می‌گذرد . و واحد آن وات بر متر مربع ($W/_{m2}$) است و با I نشان داده می‌شود . و از ویژگیهای گیرنده است ، مانند یک میکروفن ، یا گوش انسان .

انواع صداها

نغمه ناب: (Pure tone)

- صوتی که تنها از یک بسامدی تشکیل شده باشد یا منبع صوتی که موج تک بسامدی تولید نماید مانند صدای یک دیاپازون و به‌ندرت یافت می‌شود . که مورد استفاده آن در کارهای پژوهشی و بررسی فنی و فیزیکی می‌باشد (تنظیم دستگاهها) مانند کالیبراتور . شنیدن نغمه ناب نامطبوع و آزار دهنده می‌باشد.



مشخصات یک نغمه ناب

بسامد

زمان تناوب

دامنه

شکل موج

سرعت انتشار صدا

طول موج

بیناب موج

بسامد (Frequency) :

تعداد نوسانات در واحد زمان در یک حرکت نوسانی دیاپازون : تعداد دفعاتی که چرخه تراکم و انبساط هوا در یک ثانیه روی می‌دهد . و واحد بسامد در دستگاه SI دور در ثانیه یا هرتز Hz است. بسامد مستقل از دامنه است .

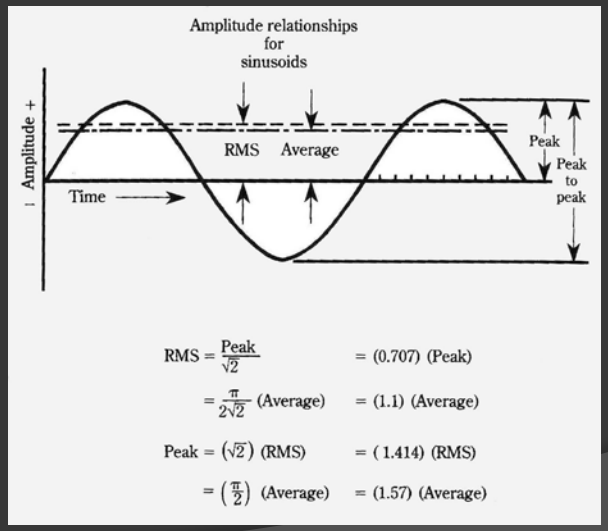
◉ زمان تناوب (Period) :

◉ مدت زمانی که یک نوسان کامل انجام پذیرد و واحد آن ثانیه است.

$$f = \frac{1}{T}$$

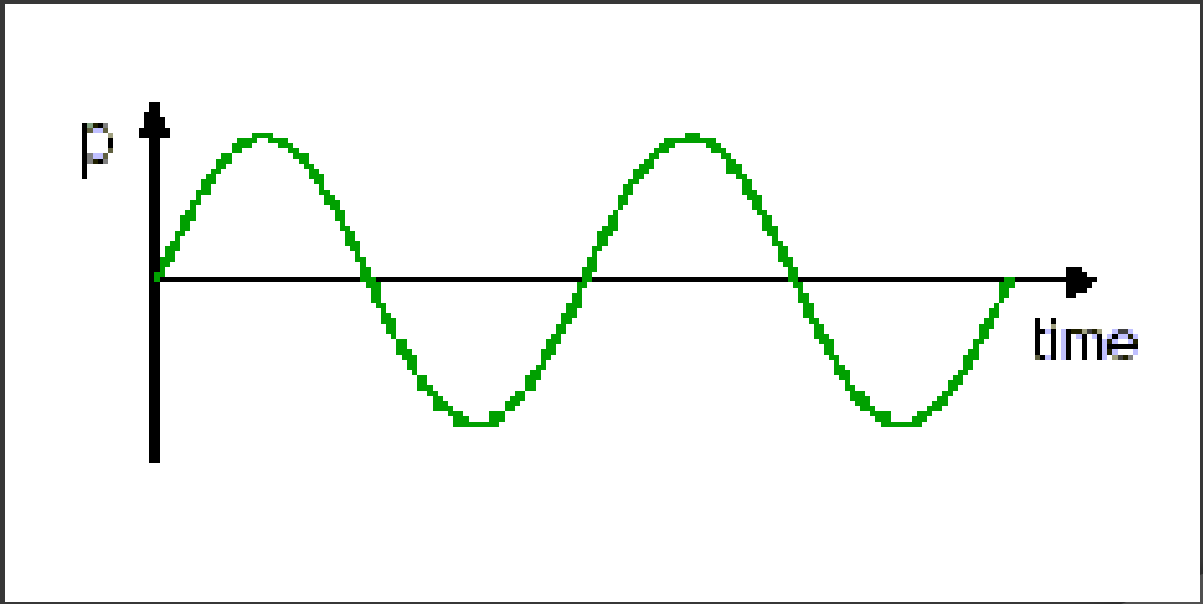
دامنه (Amplitude)

- دامنه به فاصله‌ای اطلاق می‌شود که ذره نوسان کننده از موضع تعادلش دارد .
- دامنه قله، حداکثر فاصله‌ای ذره نوسان کننده از وضع تعادلش گفته می‌شود
- دامنه لحظه‌ای، فاصله‌ای است که ذره نوسان کننده در هر لحظه از موضع تعادلش دارد .
- دامنه میانگین، میانگین دامنه‌های لحظه‌ای،که موج در هر نیم چرخه دارد.
- دامنه موثر (RMS)، ریشه (جذر) میانگین مربع دامنه‌های لحظه‌ای است. بعبارت دیگر به مقدار ولتاژ یکسو یا مستقل از زمان می‌باشد که توان ناشی از آن روی مقاومت R برابر توان مصرف شده موج موردنظر روی همان مقاومت R می‌باشد.



شکل موج (Wave Form)

- شکل موج، دامنه در هر لحظه از زمان را نشان می‌دهد



سرعت انتشار صدا در محیط‌های مختلف: سرعت انتشار صدا به محیط انتشار بستگی دارد . سرعت انتشاردر یک محیط همگن که شرایط فیزیکی تمام نقاط آن یکسان است امواج در تمام جهات باسرعت ثابت منتقل می‌شود . سرعت انتشار صدا در هوا با توجه به درجه حرارت از رابطه زیر بدست میآید :

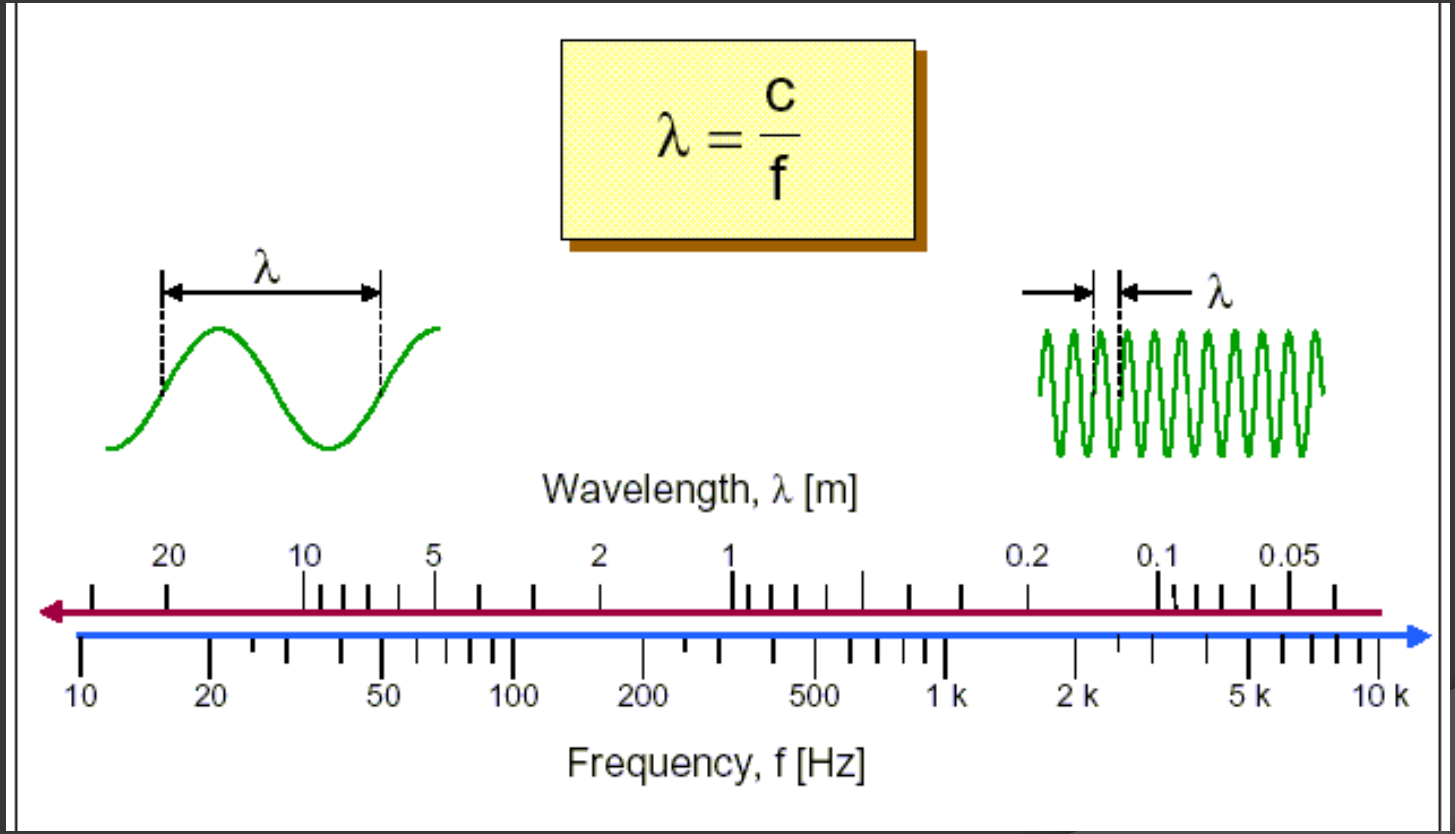
$$c = ۳۳۱ + ۰/٦\,T$$

که در آن T درجه حرارت به سانتیگراد می‌باشد .

محیط	سرعت	
	متر در ثانیه m/s	فوت در ثانیه ft/s
هوا	۳٤٤	۱۱۳۰
آب	۱٤۱۰	٤٦۲٥
چوب	۳۳۰۰	۱۰۸۲٥
آجر	۳٦۰۰	۱۱۸۰۰
بتن	۳۷۰۰	۱۲۱۰۰
فولاد	٤۹۰۰	۱٦۰۰۰
شیشه	٥۰۰۰	۱٦٤۰۰
آلومینیوم	٥۸۰۰	۱۹۰۰۰

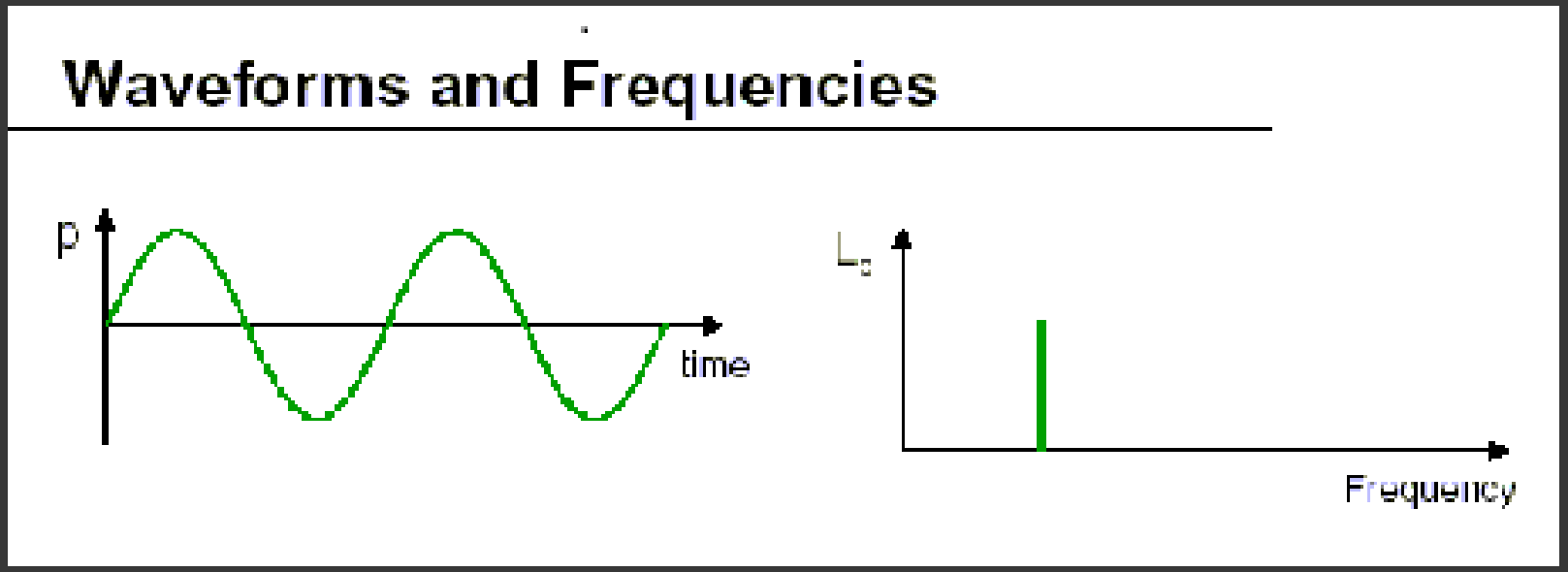
طول موج (Wavelength) :

مسافتی که موج در یک پریود طی کند و واحد آن متر است.

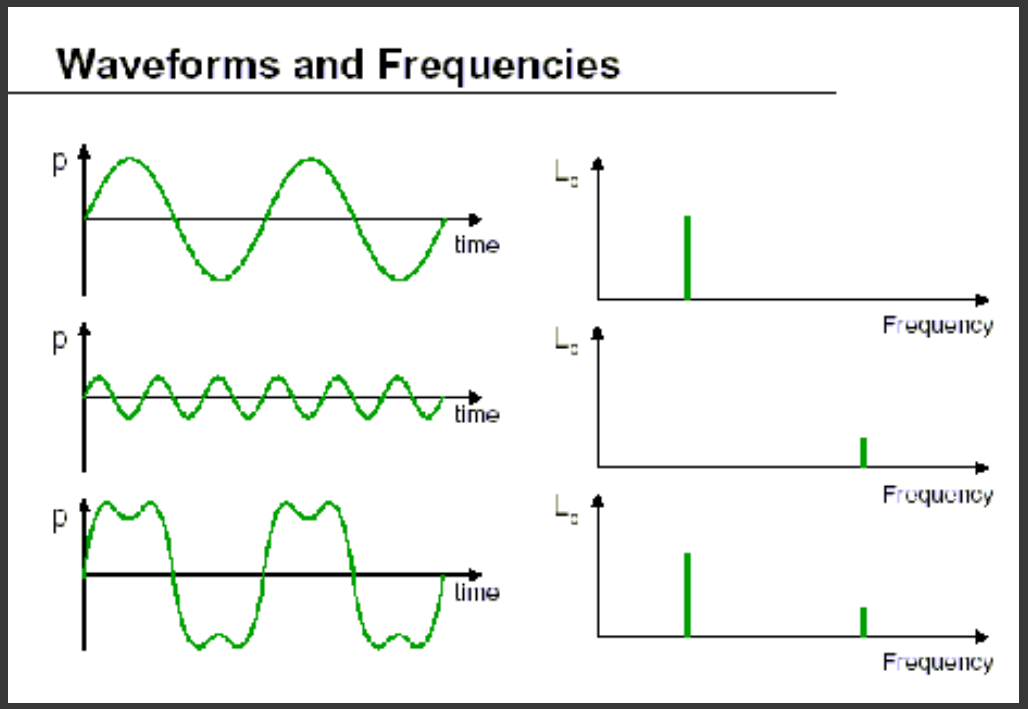


بیناب موج (Wave Spectrum):

توزیع انرژی در بسامدهای تشکیل دهنده آن.

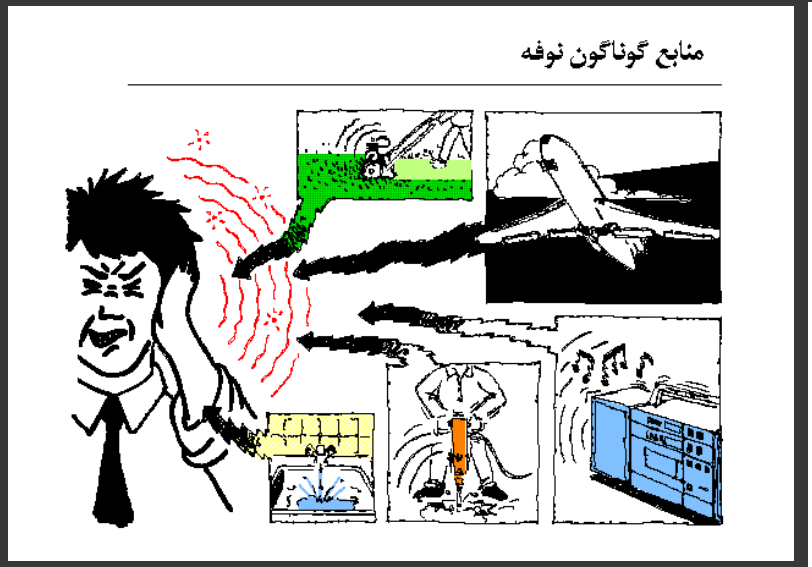


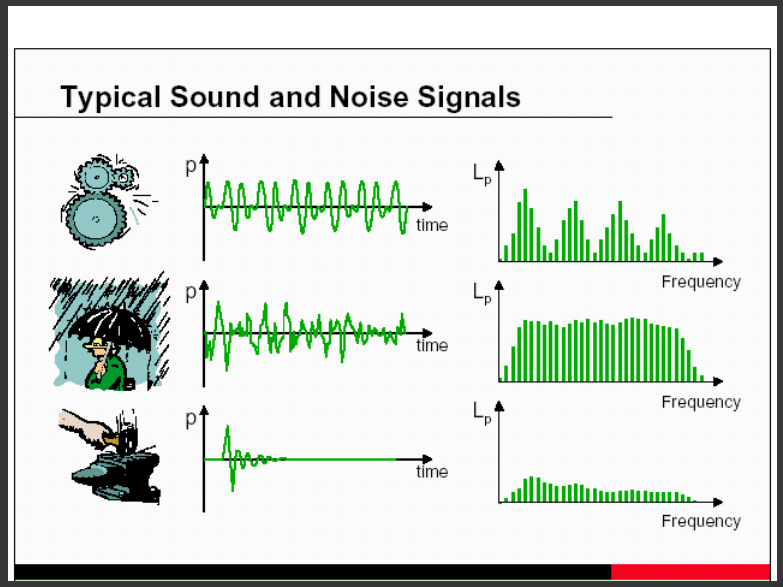
نغمه : (Tone) صداهایی که از یک تواتر اصلی و مضربهای صحیح تواتر اصلی (هارمونیکهای آن) تشکیل شده باشد . منحنی نمایش آنها برحسب زمان تکراری ولی غیرسینوسی می‌باشد شنوایی نغمه مطبوع و صدای سازهای گوناگون که همگی دارای نغمه ناب بنیادی یکسان ولی به گوش انسان اثری متفاوت دارند که ناشی از نغمات هم آهنگ ناب بنیادی آنها می‌باشد.



نوفه : (Noise)

چنانچه در یک صدا رابطه‌ای میان نغمات آن نباشد شنوایی آن صدا را گوشخراش می‌شنود





رابطه بین عوامل فیزیکی وفیزیک روانی

عوامل فیزیکی	عوامل فیزیک روانی
بسامد (Frequency)	ارتفاع یا نواک (Pitch)
شدت (Intensity)	بلندی (Loudness)
شکل موج (Wave Form)	تمبر یا کیفیت (Timber -Quality)

تراز (Level)

نسبت یک فراسنج کمی (پارامتر) به حد بخصوصی از همان فراسنج کمی را تراز گویند . تراز با مقیاس لگاریتمی بیان می‌شود و مقیاس آن دسی‌بل است . این مقیاس در اندازه‌گیری‌های آکوستیکی بکار می‌رود .

تراز شدت صدا(L_I) : تراز شدت صدا برحسب دسی‌بل، بر اساس رابطه زیر مشخص می‌گردد:

$$L_i = 10Log\frac{I}{I_0}dB$$

I_0 : شدت مؤثر صدای مبنا که مقدار آن برابر است با $۱۰^{-۱۲}$ وات بر متر مربع

I : شدت صدای مؤثر مورد نظر، به وات بر متر مربع

تراز فشار صدا (L_p) : تراز فشار صدا برحسب دسی‌بل، بر اساس رابطه زیر مشخص می‌گردد:

$$L_p = 20Log\frac{p}{p_0}dB$$

P_0 : فشار مؤثر صدای مبنا که مقدار آن برابر است با ۲×۱۰^{-۵} نیوتن بر متر مربع؛

P : فشار صدای مؤثر مورد نظر، به نیوتن بر متر مربع (پاسکال)؛

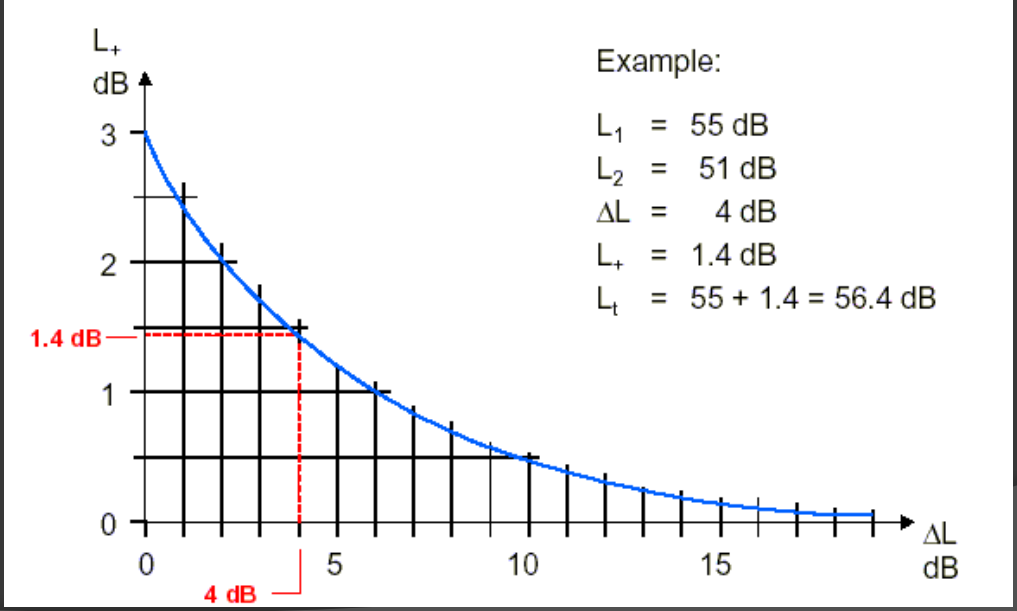
$$L_i = 10Log\frac{I}{I_0}$$

جمع تراز شدت ها ی صدا(L_t) :

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n$$

با توجه به رابطه تراز شدت صدا، تراز کل (L_{total}) برابر است با:

$$L_{i(total)} = 10Log\frac{I_{(total)}}{I_0}$$



اگر تراز شدت صداها مساوی باشد ، تراز کل (L_{total}) برابر است با:

$$I_{total} = I_1 + I_1 + I_1 + ... + I_1 = N.I_1$$

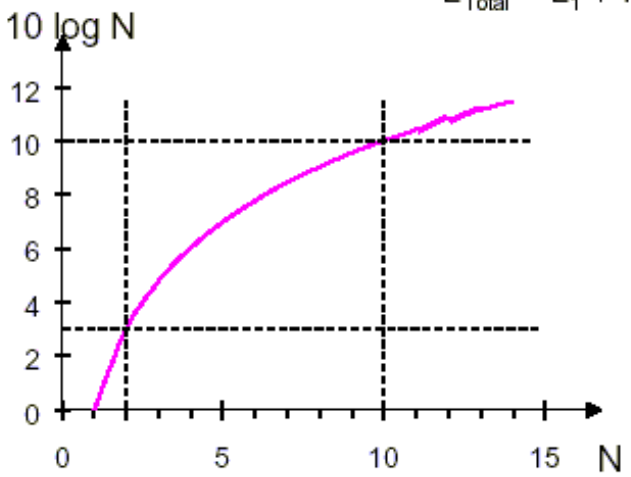
$$L_{i(total)} = L_i + 10LogN$$

- تراز کل به دسی بل

Addition of sound levels : $L_1 + L_2 ..... + L_N = ?$

For $L_1 = L_2 = L_3 ..... = L_N$

$L_{Total} = L_1 + 10 \log N$



Examples:

N = 2: $L_{Total} = L_1 + 3$ dB

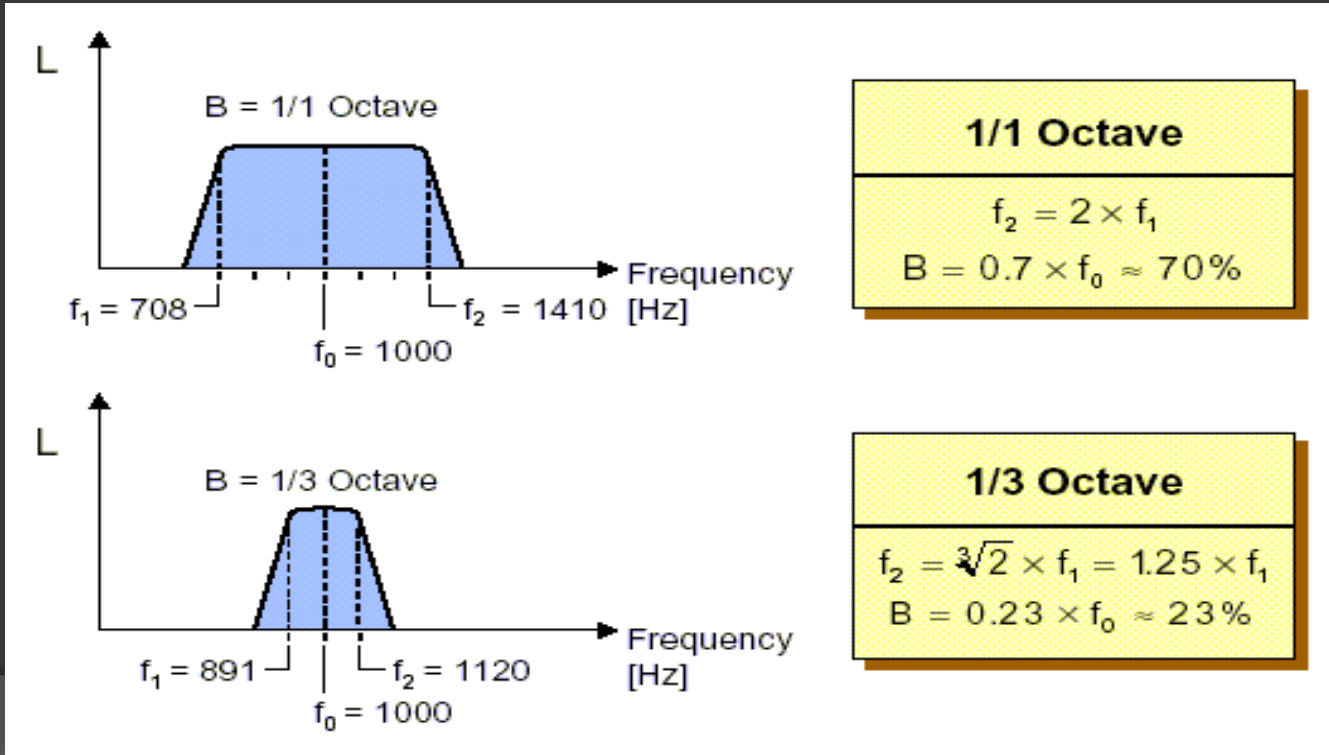
N = 10: $L_{Total} = L_1 + 10$ dB

جدول تقریبی برای جمع تراز‌ها

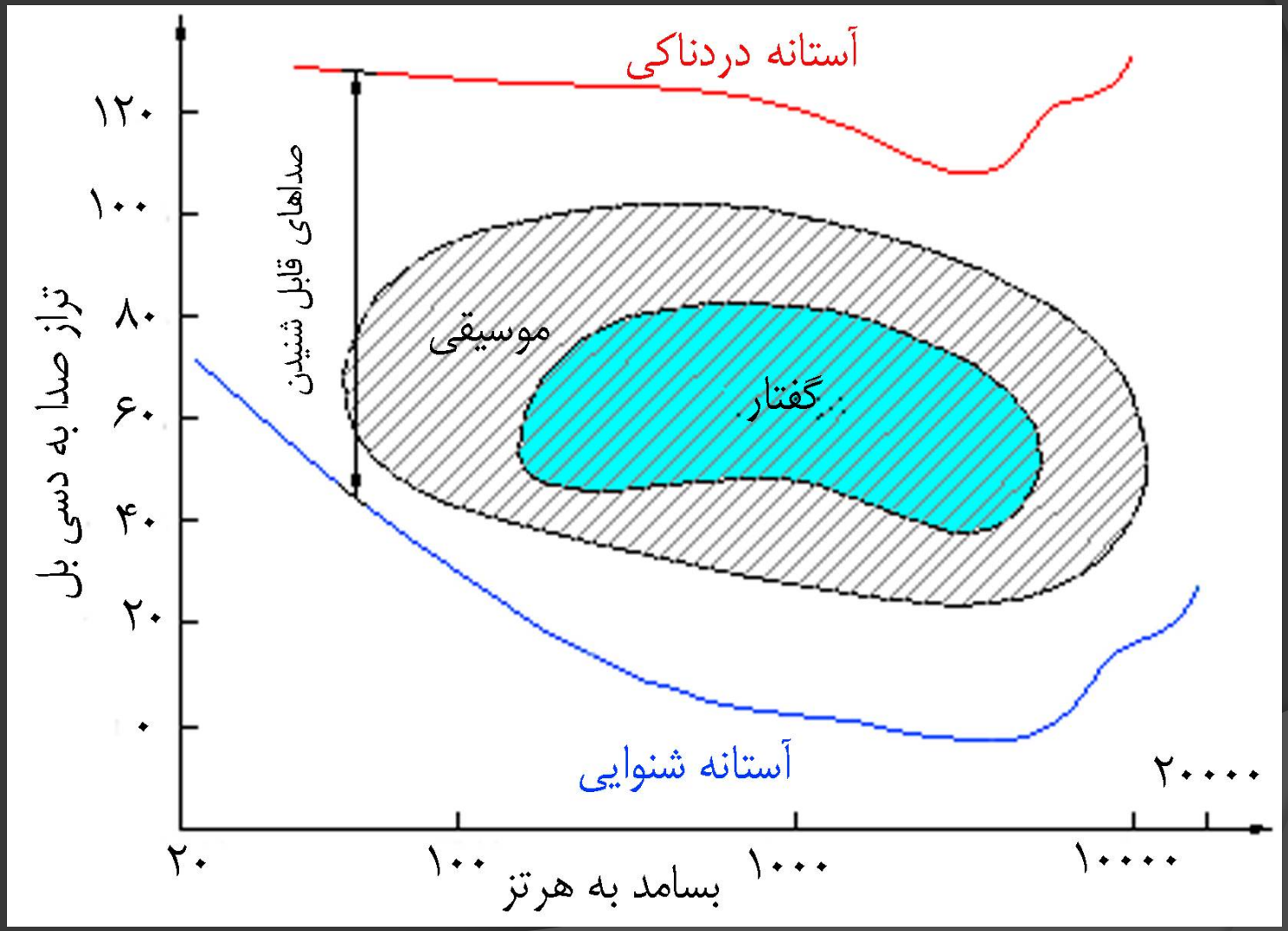
اختلاف بین دو تراز به دسی بل	مقدار افزایش به تراز صدای بیشتر به دسی بل
۱-۰	۳
۳-۲	۲
۸-٤	۱
۹ بیشتر	۰

بررسی بیناب (طیف) صدا

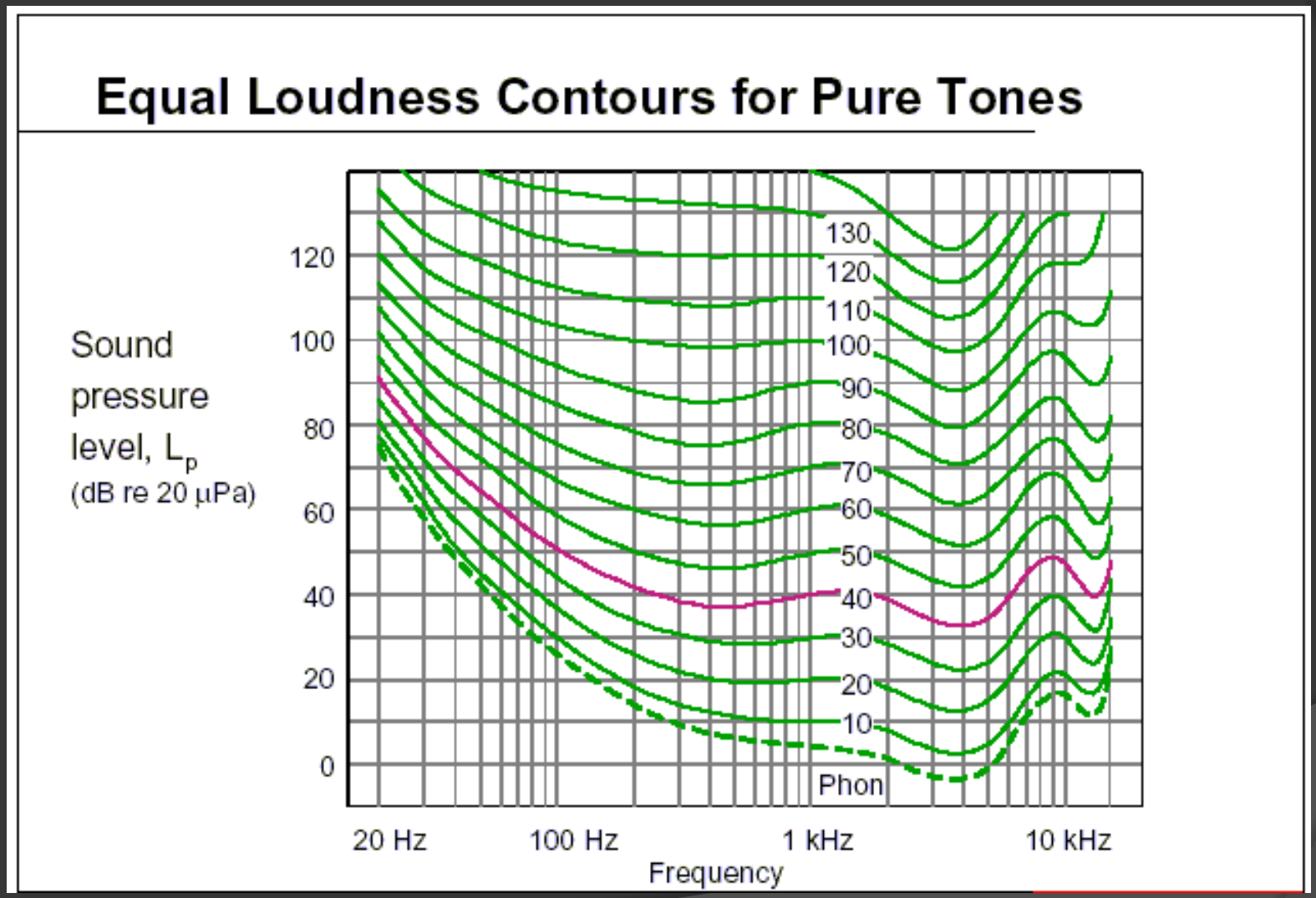
- روش ریاضی با استفاده از سری فوریه
- روش آزمایشگاهی با استفاده از فیلترهای صوتی یک هنگامی و یک سوم هنگامی



نمودار آستانه شنوایی و دردناکی، گستره بسامدی گفتار و موسیقی



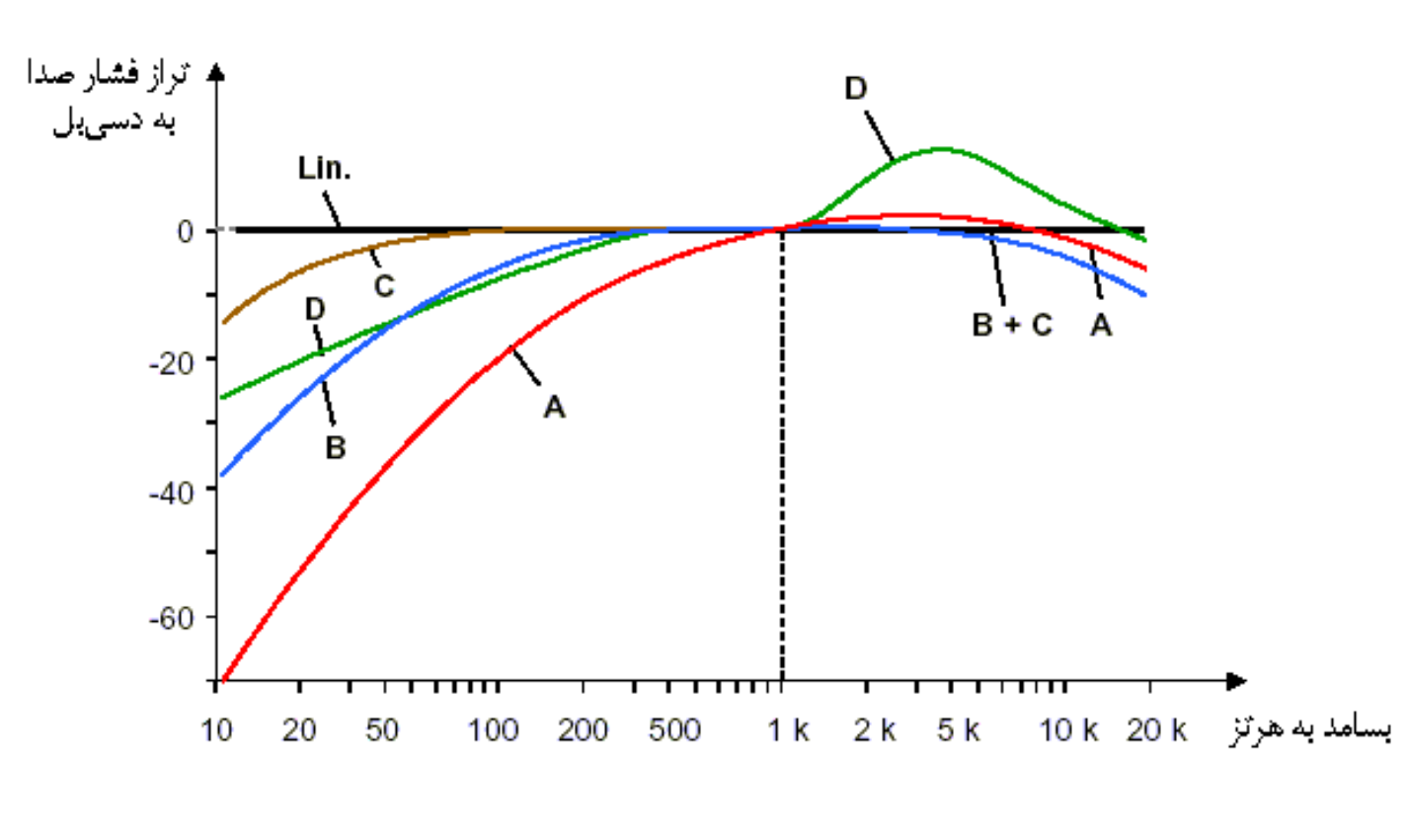
نمودارهای همتراز شنوایی



دستگاه اندازه‌گیری تراز فشار صدا

فشار صدایی که دستگاه اندازه‌گیری صدا دریافت می‌نماید، معادل فشار صدای دریافتی گوش انسان نیست، به همین دلیل یک مدار الکترونیکی به‌نام شبکه وزن‌دهی بسامد، در داخل دستگاه اندازه‌گیری تعبیه شده است تا عملکرد دستگاه را همانند عملکرد گوش انسان نماید. شبکه‌های وزنی که در دستگاه‌های اندازه‌گیری وجود دارند عبارتند از شبکه وزنی A, B, C, D و Lin که در این گزارش شبکه وزنی A به‌کار می‌رود.

نمودارهای وزن‌دهی بسامدی



مقادیر تراز نوفه برخی منابع متداول نوفه در جدول زیر ارائه شده است

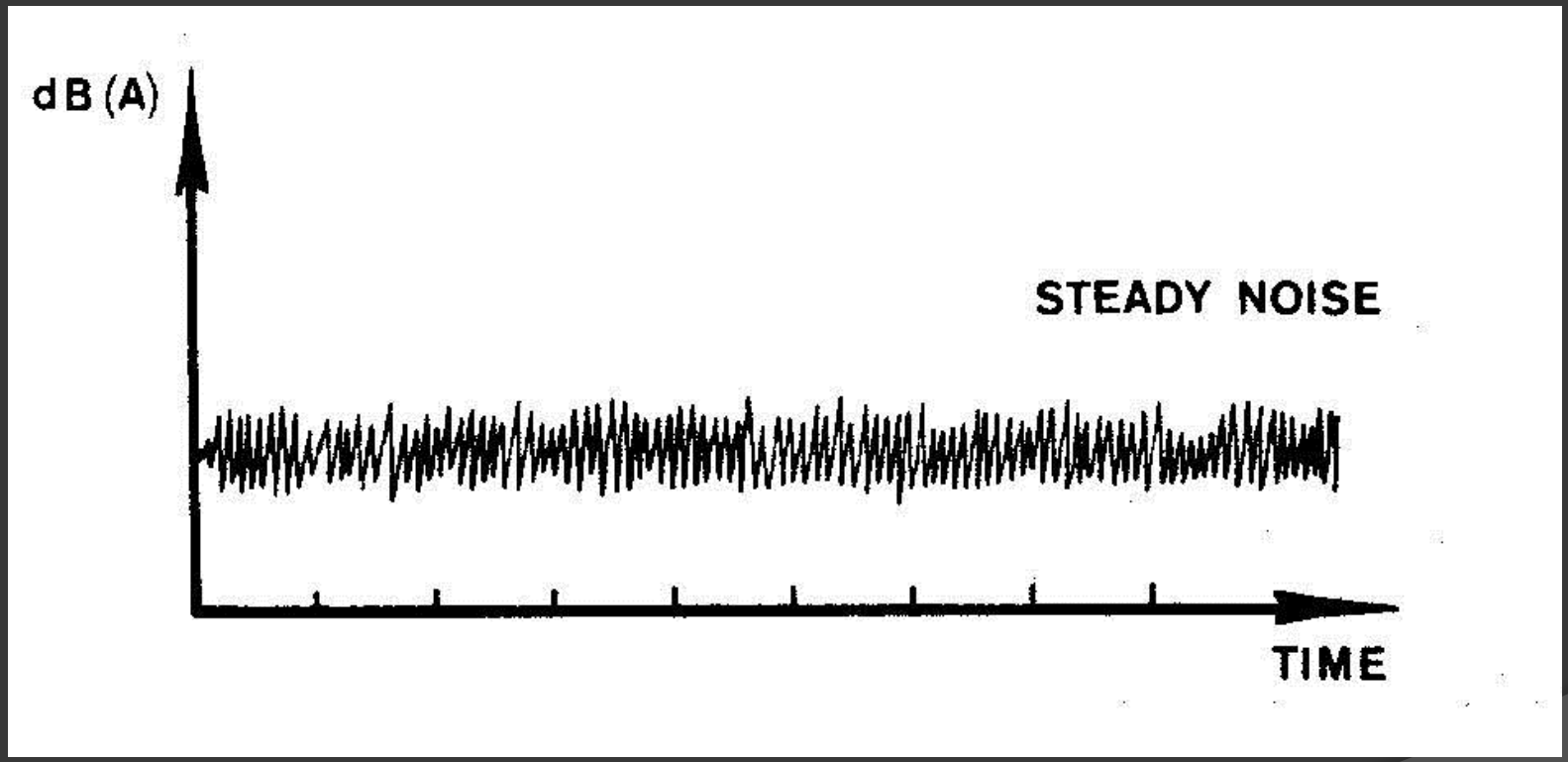
نمونه (نوع) صدا	تراز صدا به dB_A	احساس ذهنی
آستانه دردناکی گوش	۱۳۰	کر کننده
کارگاه صنعتی مانند کارگاه چوب‌بری فریاد زدن	۱۱۰ ۹۵	خیلی بلند
بزرگراه خیابان‌های شلوغ شهری	۸۵ ۸۲	بلند
گفتگوی بلند در فاصله یک متری مکالمه معمولی در فاصله یک متری	۷۰ ۶۰	معمولی
محله مسکونی آرام	۵۰	آرام
نجوا در فاصله یک متری حرکت برگ درختان	۳۰ ۲۰	خیلی آرام
آستانه شنوایی	۰	–

جدول تغییرات بلندی ذهنی و تغییرات تراز شدت مربوطه

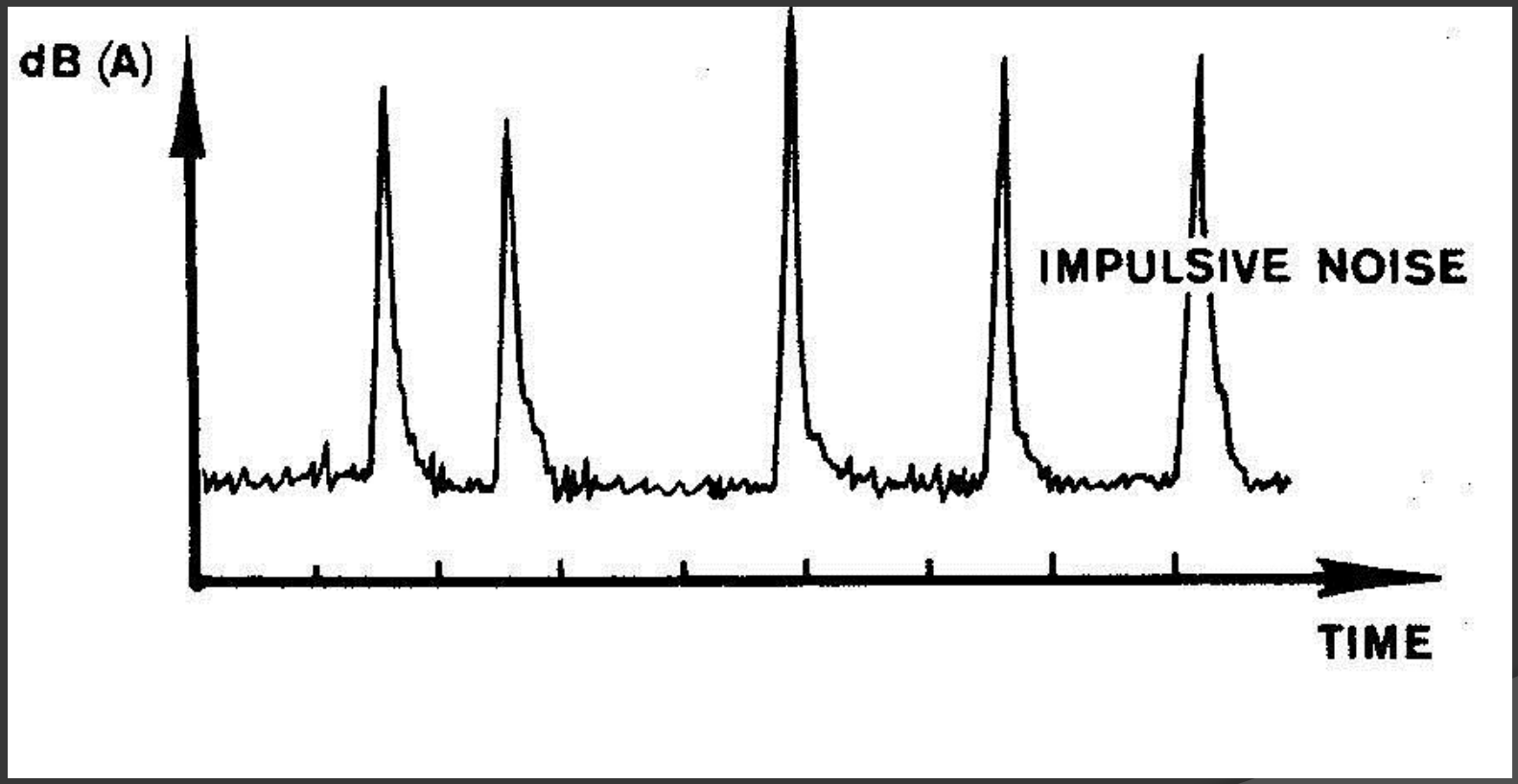
تغییر درتراز به دسی بل	تغییر ذهنی در بلندی
۳	تا اندازه‌ای محسوس
۶	محسوس
۷	کاملاً محسوس
۱۰	دو برابر یا نصف بلندی

طبقه بندی نوفه با توجه به تغییرات در زمان

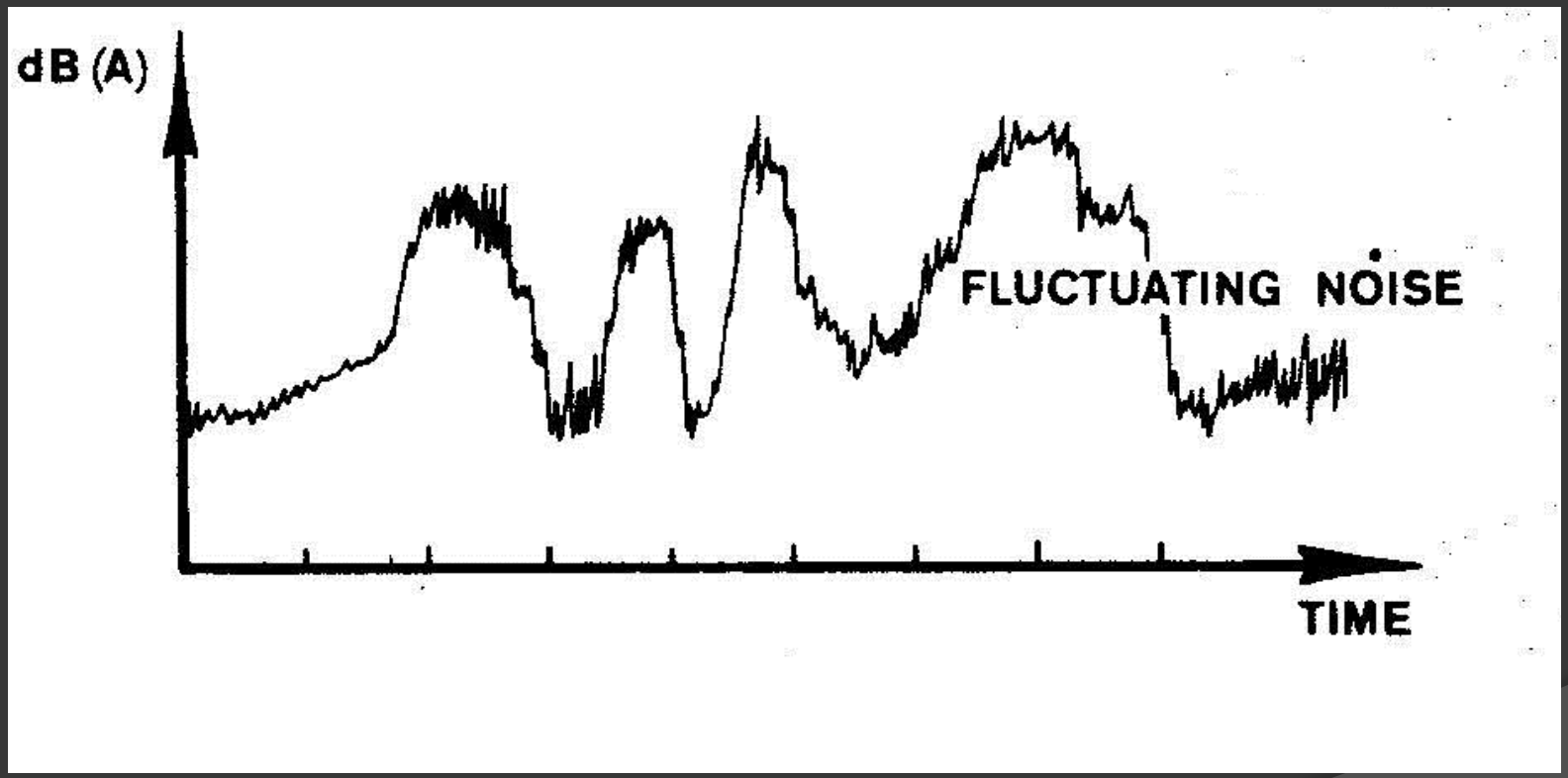
نوفه یک نواخت (Steady Noise) نوفه ای است که تراز آن در یک پنجره زمانی تغییرات محسوسی ندارد، مانند صدای سیستم تهویه



نوفه ضربه ای(Impulsive Noise) نوفه ای است که تغییرات تراز آن در کمتر از یک ثانیه باشد، مانند صدای چکش کاری



نوفه متغییر (Fluctuating Noise) نوفه ای است که تراز آن در یک پنجره زمانی تغییرات محسوسی دارد، مانند صدای ترافیک



تراز معادل صدای وزن‌یافته(تراز میانگین) A، L_{PAeqT}

شاخصی برای اندازه‌گیری تراز صدای متغیر (مانند نوفه ترافیک) در یک مدت زمان معین T (L_{AeqT})، به دسی‌بل می‌باشد. تراز معادل صدای وزن‌یافته A برحسب دسی‌بل، این زمان می‌تواند از یک ثانیه تا بیست و چهار ساعت در نظر گرفته شود، که بر اساس مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان ایران (عایق بندی و تنظیم صدا) و مقررات سازمان حفاظت محیط زیست، ۳۰ دقیقه تعیین شده است.

تراز درصدی ، L_{AN} (Percentile Level)

- تراز درصدی ، تراز فشاری است که در N درصد زمان اندازه‌گیری تراز صدا از L_{AN} بیشتر است مثلا L_{A10}=۸۰dB یعنی در ده درصد زمان اندازه‌گیری ، تراز صدا در شبکه وزنی A بیش از ۸۰dB است . مقدار عددی N را می‌توان از ۱ تا ۹۹ در نظر گرفت .

آلودگی صوتی

آلودگی صوتی به صداهای ناخواسته‌ای گفته می‌شود که برای انسان مزاحمت جدی به‌وجود آورده و سلامت او را به خطر اندازد. شاخص تراز معادل و تراز درصدی برای توضیح و درک صدا کافی نیست، زیرا تراز معادل، تغییرات تراز صدا را بررسی نمی‌کند و تراز درصدی نمی‌تواند کل نوفه را اندازه‌گیری کند، ولی تراز آلودگی نوفه که به آن تراز آلودگی صوتی هم گفته می‌شود ترکیبی از دو پارامتر تراز معادل و تغییرات تراز درصدی صداست که مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$L_{NP} = L_{Aeq} + (L_{10} - L_{90})$$

که در آن:

L_{Aeq} : تراز معادل صدا در شبکه وزنی A، برحسب دسی‌بل؛

L_{10}، L_{90} : تراز درصدی در شبکه وزنی A، برحسب دسی‌بل.

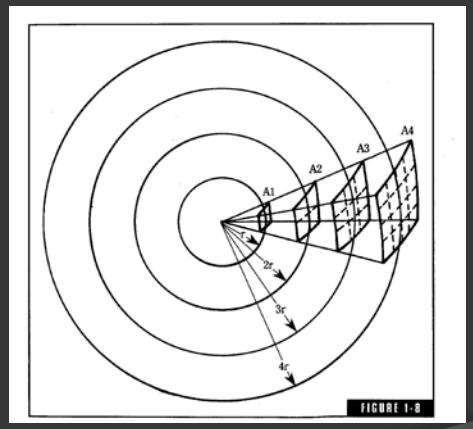
عوامل عمده کاهش صدا در فضای باز

فاصله گرفتن ازمنبع صدا در فضای باز

منبع نقطه ای (Point Source)

- رابطه آن :

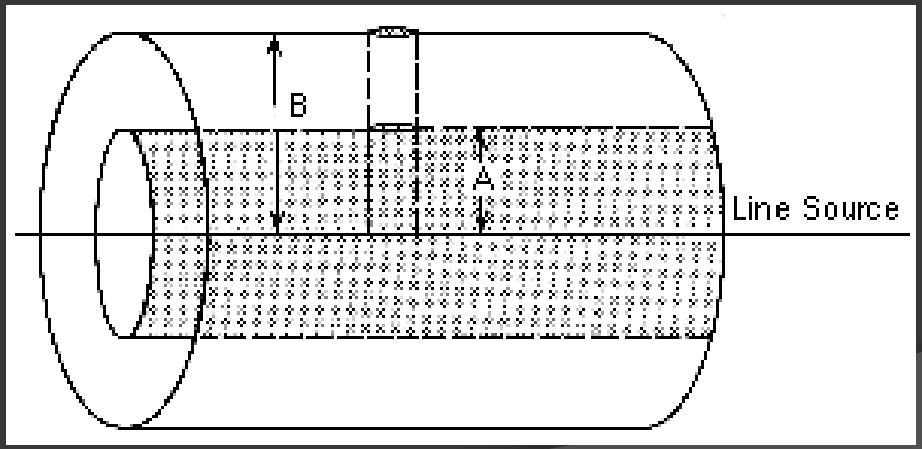
$$NR = 20Log\frac{r_2}{r_1}dB$$



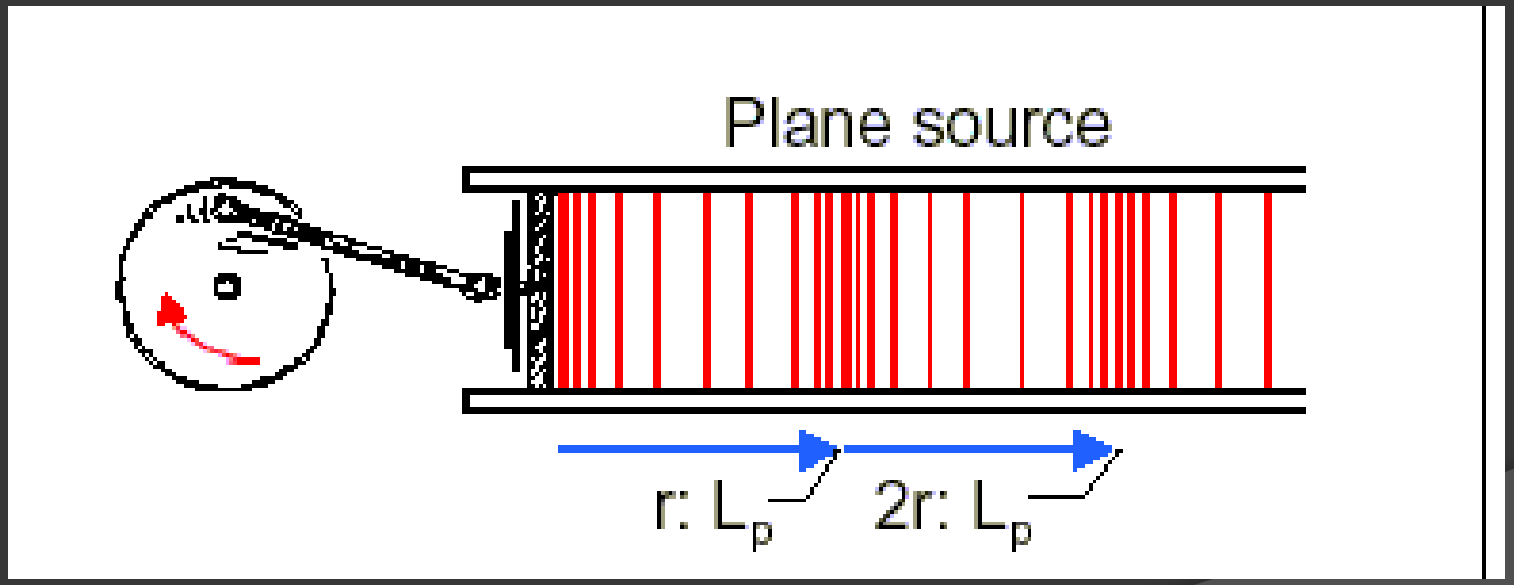
منبع خطی

- رابطه آن :

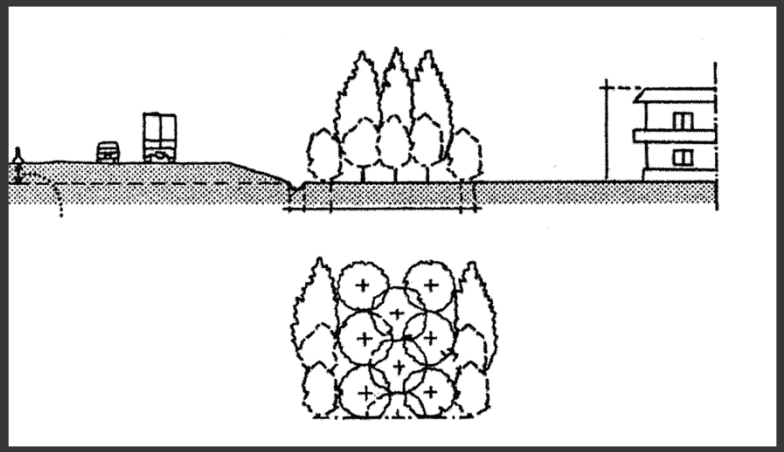
$$NR = 10Log\frac{r_2}{r_1}dB$$



منبع سطحی



کاشت گیاهان بین منبع صدا و دریافت در فضای باز



نوع گیاه	مقدار کاهش تراز در شبکه وزنی A در ۱۰۰ متر عمق
علفزار	۱-۵
گیاهان نیمه متراکم	۵-۱۰
گیاهان متراکم مانند جنگل	۱۰-۱۵

انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب

از گونه‌های مناسب گیاهی جهت جذب بیشتر صدا و ایجاد سایه صوتی برای ساختمان‌ها استفاده شود .

باید به مقدار کافی مرتفع و متراکم بوده به گونه ای که قابلیت دید را به کمترین حد برساند که در این حالت قابلیت کاهش صدای ناشی از ترافیک را دارا خواهد بود.

بطور کلی پوشش گیاهی متراکم باعرض ۳۰ متر صدا را حدوداً به میزان ۵ دسی بل کاهش میدهد

استفاده از سد صوتی بین منبع صدا و دریافت

یادآوری ها در مورد رابطه محاسبه سد صوتی

یادآوری ۱ : رابطه فوق در شرایطی صدق می‌کند که ۰ < Б <۳ باشد .

یادآوری ۲ : در شرایطی که ۳ < Бباشد ، مقدار کاهش در اثر سد صوتی برابر ۲۰- دسی بل میشود .

یادآوری ۳ : مقادیر کاهش برای دریافت کننده‌ای است که در سایه صوتی قرار داشته باشد . در شرایطی که درون ناحیه روشن باشد ، ۰= LBمی‌گردد . (شکل فوق)

یادآوری ٤ : از آنجایی که امواج نزدیک به زمین مسدود می‌گردد ، هنگامی که تأثیر سد صوتی مورد محاسبه قرار می‌گیرد ، تأثیرات مربوط به زمین جاذب نادیده گرفته می‌شود . ولی در موارد استثنایی که جذب زمین از اثر پوششی سد صوتی بیشتر باشد (مانند سد کوتاهی که بر روی زمین علفزار انبوه ساخته شده باشد) هر دو اثر محاسبه می‌شود و هر کدام که کاهش بیشتری داشته باشد ، در نظر گرفته می‌شود .

یادآوری ٥ : چنانچه چگالی سطحی سد صوتی (M) برابر KG/M^2 ٥ باشد، L_B بین ۰ تا ۱۰- دسی بل، برای $M = ۱۰K\ G/M^2$ ، مقدار L_B بین ۱۰- تا ۱٥- دسی بل و برای $M = ۲۰\ KG/M^2$ ، مقدار L_B بین ۱٥- تا ۲۰- دسی بل خواهد بود.

برسنج نوفه در یک فضا یا حداکثر تراز نوفه مجاز

نوفه زمینه

بر سنج نوفه زمینه

منابع نوفه زمینه

تاثیر نوفه زمینه

عوامل تعیین کننده بر سنج نوفه

شاخص‌های اندازه‌گیری نوفه زمینه

برسنج نوفه عبارت است از حداکثر نوفه زمینه در یک فضا که می‌توان آن را تحمل کرد به‌طوریکه به عملکرد خواسته در آن فضا لطمه‌ای وارد نکند.

- **نوفه زمینه** به همه نوفه‌ها (صداهای ناخواسته) به جزء صدای خواسته در یک فضا گفته می شود که می‌تواند از منابع خارجی مانند، نوفه ترافیک یا منبع داخلی مانند، نوفه سیستم تهویه سرچشمه بگیرد.

تاثیر نوفه زمینه

۱- از بین بردن وضوح گفتار
۲- از بین بردن آسایش

عوامل تعیین کننده بر سنج نوفه

کاربرد فضا
فرهنگی
اقتصادی

شاخص‌های اندازه‌گیری نوفه زمینه

مقدار صدای یک منبع صوتی یا نوفه زمینه در یک فضا معمولاً به دو روش تک عددی یا نموداری ارائه می‌شود که به‌طور مختصر به شرح زیر می‌باشد:

روش اول ـ شاخص تک عددی : تراز صدای معادل وزن‌یافته یا تراز میانگین (L_{AeqT}) ، شاخصی است که تراز نوفه زمینه یا منابع صوتی را بوسیله یک عدد تنها بیان می‌کند، که این شاخص معمولاً در شبکه وزنی A ، اندازه‌گیری می‌شود. این زمان می‌تواند از یک ثانیه تا بیست و چهار ساعت در نظر گرفته شود، که بر اساس مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان ایران (عایق بندی و تنظیم صدا) و مقررات سازمان حفاظت محیط زیست، ۳۰ دقیقه تعیین شده است.

حداکثر ترازهای نوفه مجاز در مناطق مختلف شهری در ایران (سازمان حفاظت محیط زیست)

نوع منطقه (کاربری اراضی)	تراز معادل صدای وزن یافته A (L_{AeqT}) در مدت ۳۰ دقیقه برحسب دسی بل	
	۷ صبح تا ۱۰ شب روزانه	از ۱۰شب تا ۷ صبح شبانه
مسکونی	۵۵	٤۵
مسکونی ، تجاری	٦۰	۵۰
تجاری	٦۵	۵۵
مسکونی ، صنعتی	۷۰	٦۰
صنعتی	۷۵	٦۵

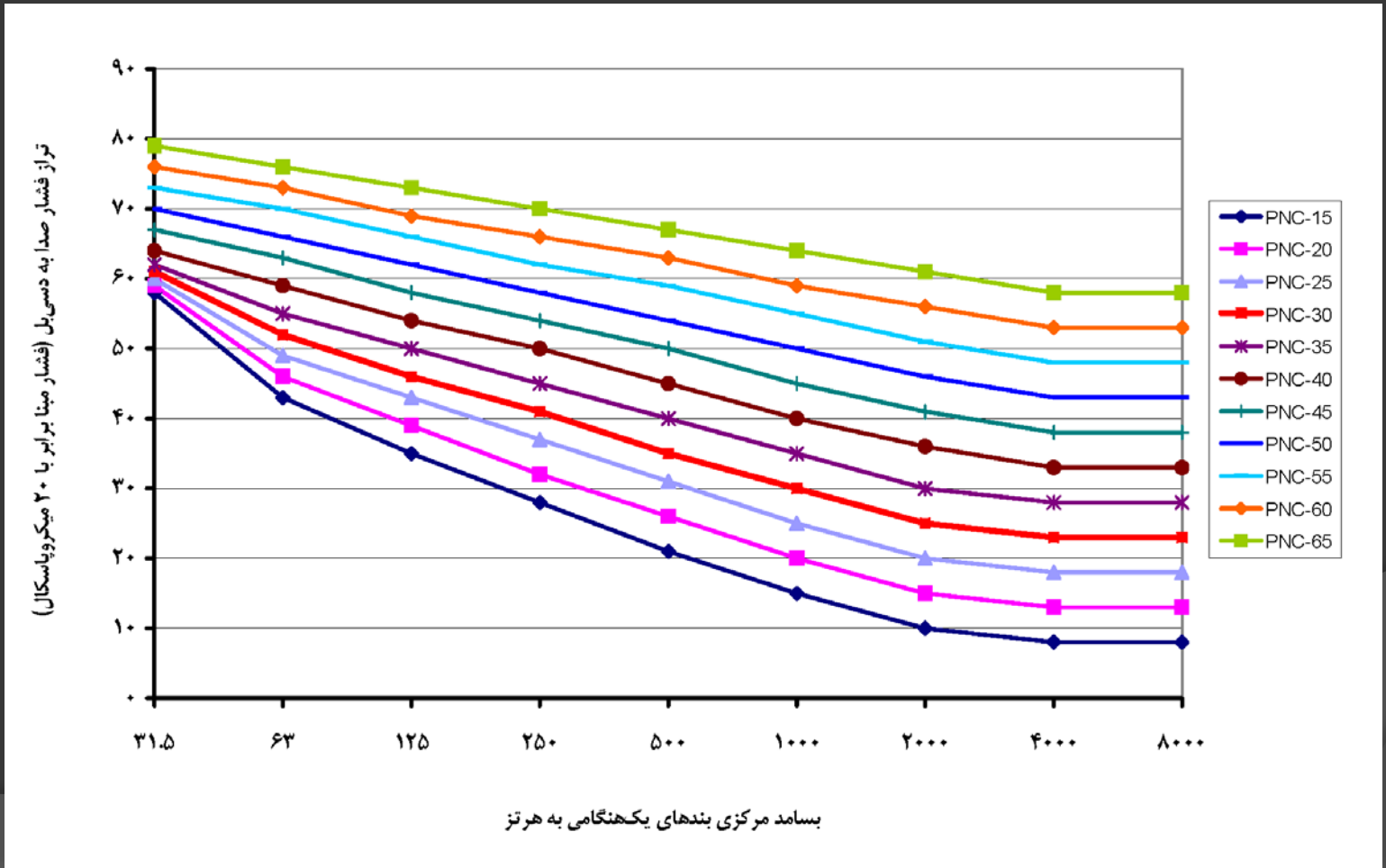
منطقه بندی شهری از نظر تراز نوفه محیطی

نوع منطقه شهری از نظر نوفه	حداکثر تراز معادل صدا به دسی بل		کاربری های مجاز
	از ۷ صبح تا ۱۰ شب	از ۱۰ شب تا ۷ صبح	
با نوفه بسیار پایین	۵۵	٤۵	مسکونی,مراکز جهانگردی و پذیرایی,بهداشتی درمانی,فرهنگی,تجاری در حد محله
با نوفه پایین	٦۰	۵۰	آموزشی,اداری,مختلط مسکونی,تجاری,اداری
با نوفه معمولی	٦۵	۵۵	مجتمع تجاری,بازار,نمایشگاه
با نوفه بالا	۷۰	٦۰	ترمینال,پارکینگ,انبار,استادیم ورزشی,میادین میوه و تره بار
با نوفه بسیار بالا	۷۵	٦۵	صنعتی,نظامی,فرودگاه

حداکثر تراز نوفه در فضاهای داخلی ساختمان‌های مسکونی بر اساس مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان، "عایق‌بندی و تنظیم صدا"

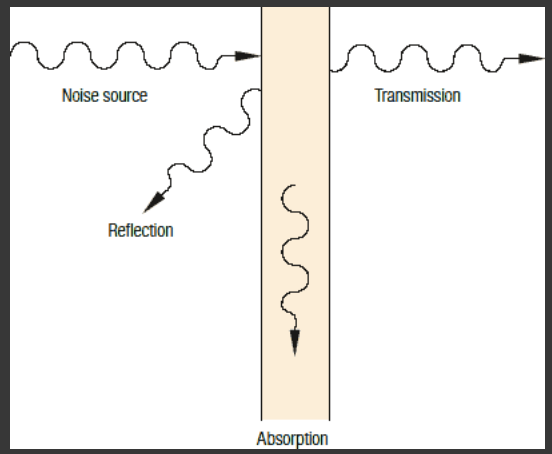
نوع فضا	حداکثر تراز نوفه زمینه وزن یافته A برحسب دسی‌بل تراز معادل در مدت ۳۰ دقیقه L_{AeqT}
اتاق خواب و مطالعه	۳۵
اتاق‌های نشیمن	٤٠
آشپزخانه	٤٥
سرویس بهداشتی و فضاهای بسته عمومی	٥٠

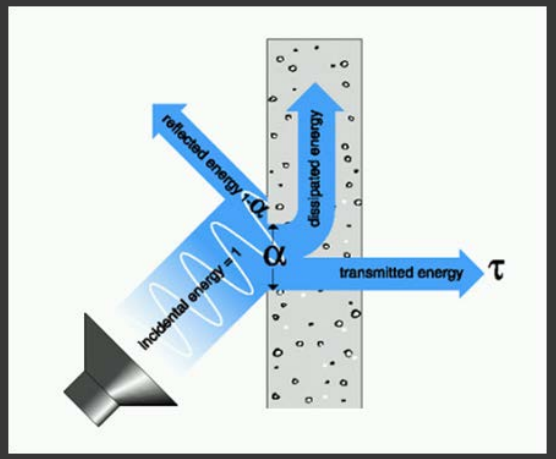
روش دوم ـ شاخص نموداری: در این روش تراز صدا بوسیله صافی‌های صوتی در یک گستره بسامدی مثلاً از ۵/۳۱ تا ۸۰۰۰ هرتز اندازه‌گیری و به‌صورت نمودار ارائه می‌شود. سپس با نمودارهای توصیه شده از طرف آیین‌نامه‌ها **(مانند: نمودارهای برسنج ترجیحی نوفه PNC)** مقایسه و درجه‌بندی می‌گردد. این روش معمولاً برای فضاهای بسته مانند سالن سخنرانی، سینما و آمفی تأتر و امثال آن‌ها بکار برده می‌شود.



آکوستیک داخلی

رفتار یک جدار در برابر تابش امواج صوتی





- وقتی امواج صوتی روی جداری فرود می‌آید انرژی آن به سه بخش تقسیم می‌شود . بخشی از انرژی توسط جدار بازتاب شده ، بخش دیگری جذب شده، و بقیه آن تراگسیل می‌گردد.

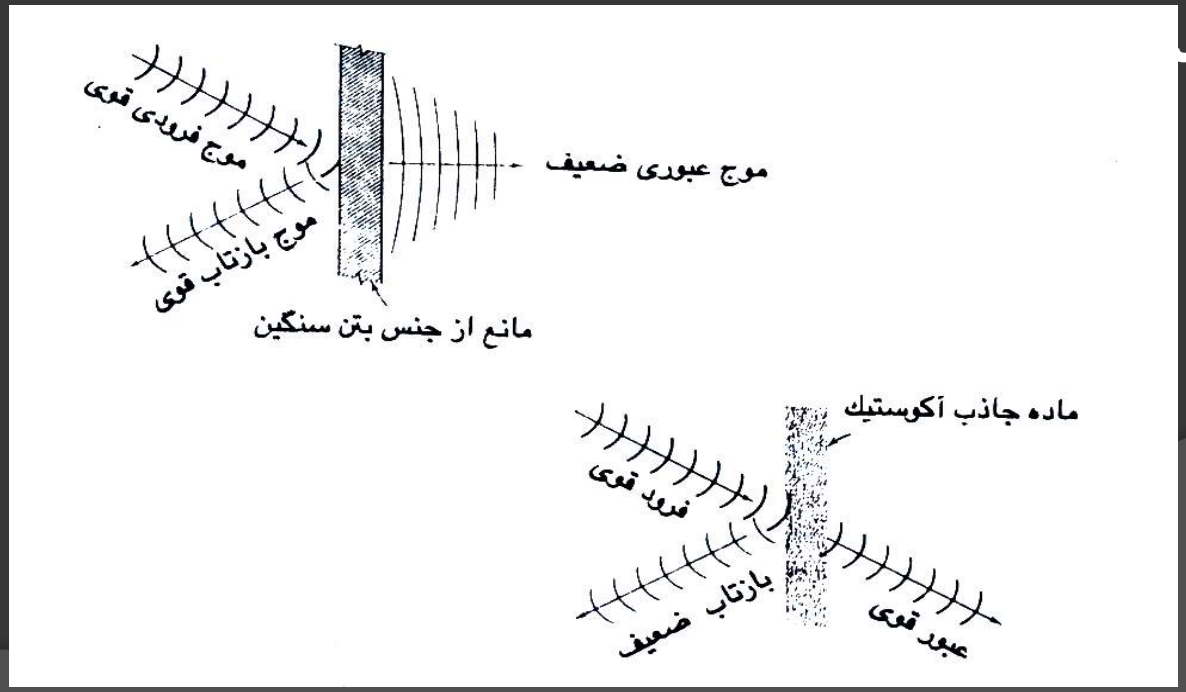
$$\alpha = \frac{I_\alpha}{I_i}$$

$$\tau = \frac{I_\tau}{I_i}$$

$$r = \frac{I_r}{I_i}$$

عایق صدا، جاذب صدا

- به تصور اینکه مواد الیاف معدنی یا آکوستیک تایل، ۸۰ تا ۹۰ درصد انرژی آکوستیکی را جذب می‌کنند نباید این مصالح را با مصالحی که دارای صدابندی زیادی هستند، اشتباه کرد . در تأیید این مسئله شکل و جدول زیر، میزان افت صوتی و ضریب جذب صوتی دو نوع از مصالح مختلف با ضخامت یکسان را نشان می‌دهد



مقایسه افت صوتی و ضریب جذب صوتی دو نوع از مصالح مختلف با ضخامت یکسان

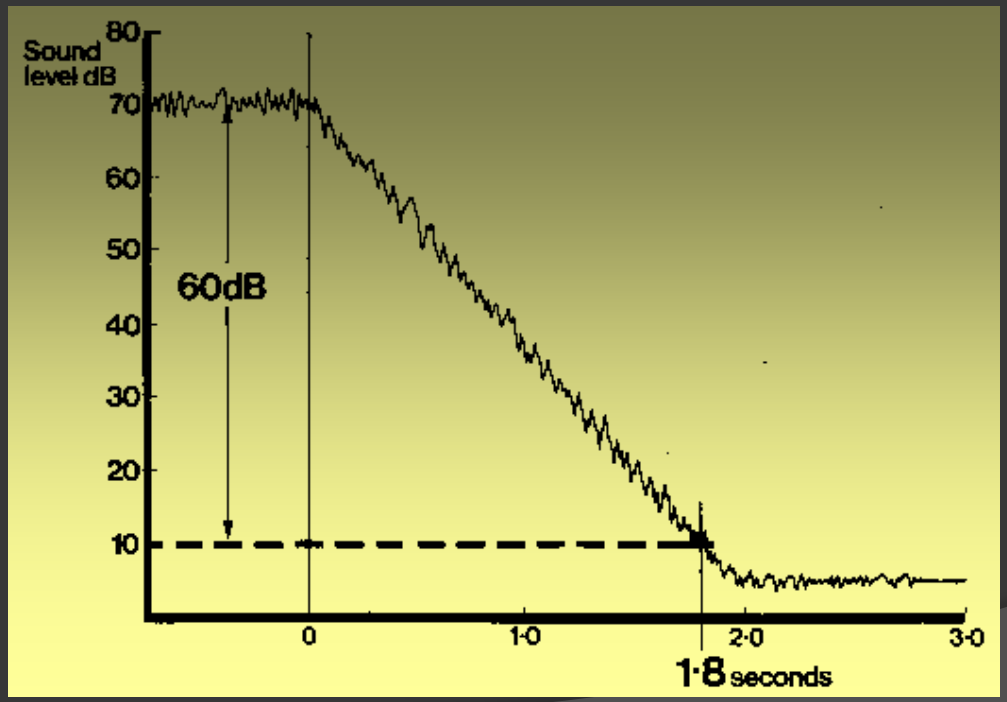
نوع مصالح	میزان افت صوتی به دسی بل	ضریب جذب صوتی
	$\left(TL = 10LOg\frac{1}{t}\right)$	$\alpha = \frac{E\alpha}{E_i}$
ورق تخته دو سانتیمتری	۲۲	۰/۰۳
ورق الیاف معدنی دو سانتیمتری	۳	۰/۷

تأمین شرایط آکوستیک داخلی مناسب

عامل مهمی که در تعیین کیفیت آکوستیکی داخل یک فضای بسته نقش عمده‌ای دارد زمان واخنش (زمان پس آوا) آن فضا است . برای رسیدن به زمان واخنش بهینه در هر فضا دانستن جذب صوتی مواد و مصالحی که در داخل آن بکار می‌رود ضروری است

واخنش و زمان واخنش

واخنش در یک فضای بسته ، انعکاسهای پی در پی پس از قطع منبع صدا است زمان واخنش در یک فضای بسته ، مدت زمانی است که لازم خواهد بود تا پس از قطع کردن منبع صدا ، تراز فشار صدا در فضا ، ٦٠ دسی بل افت کند .



رابطه محاسبه زمان واخنش یک فضا(سابین)

$$T = \frac{0/16V}{A + 4mV}$$

$$A = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i s_i$$

که در آن :

T : زمان واخنش اتاق ، به ثانیه

V : حجم اتاق ، به متر مکعب

A : سطح معادل جذب کننده های اتاق ، به متر مربع

α_i : ضریب جذب صوتی هر یک از سطوح موجود در اتاق

S_i : مساحت هر یک از سطوح موجود در اتاق، به متر مربع

m: جذب صو
یک

$$A = a_1 s_1 + a_2 s_2 + a_3 s_3 + \ldots\ldots + a_n s_n = \sum_{i=1}^{n} a_i s_i$$

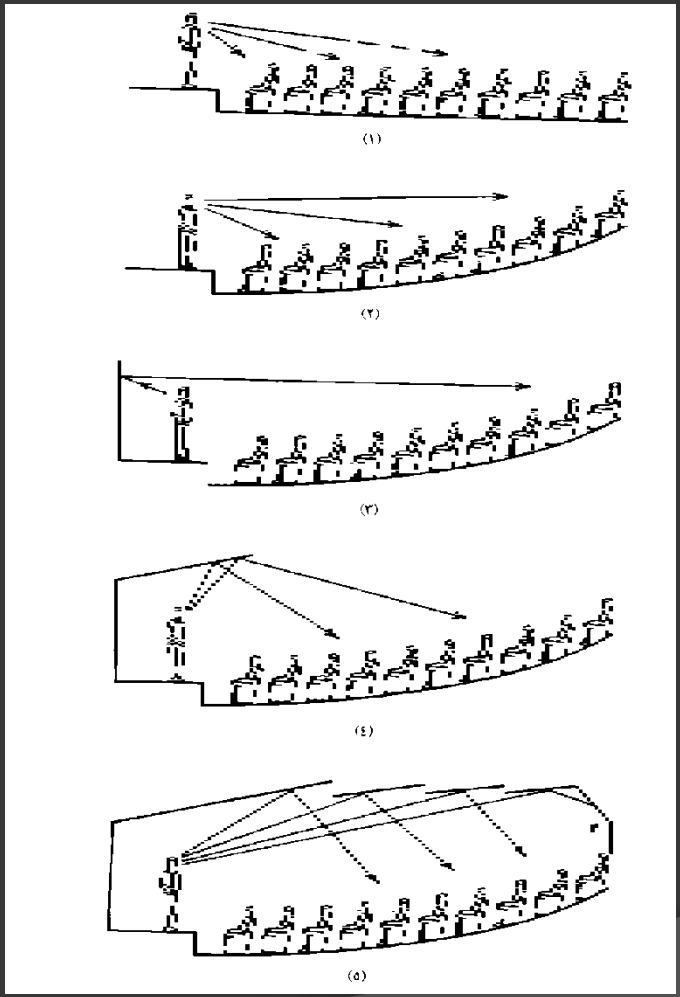
رابطه محاسبه زمان واخنش یک فضا(ایرینگ)

- T : زمان واخنش اتاق ، به ثانیه
- S : مجموعه سطوح اتاق ، به متر مربع
- V : حجم اتاق ، به متر مکعب
- m : جذب طولی هوا ، به متر به توان منفی یک
- : ضریب جذب میانگین اتاق
- ln : لگاریتم در پایه e

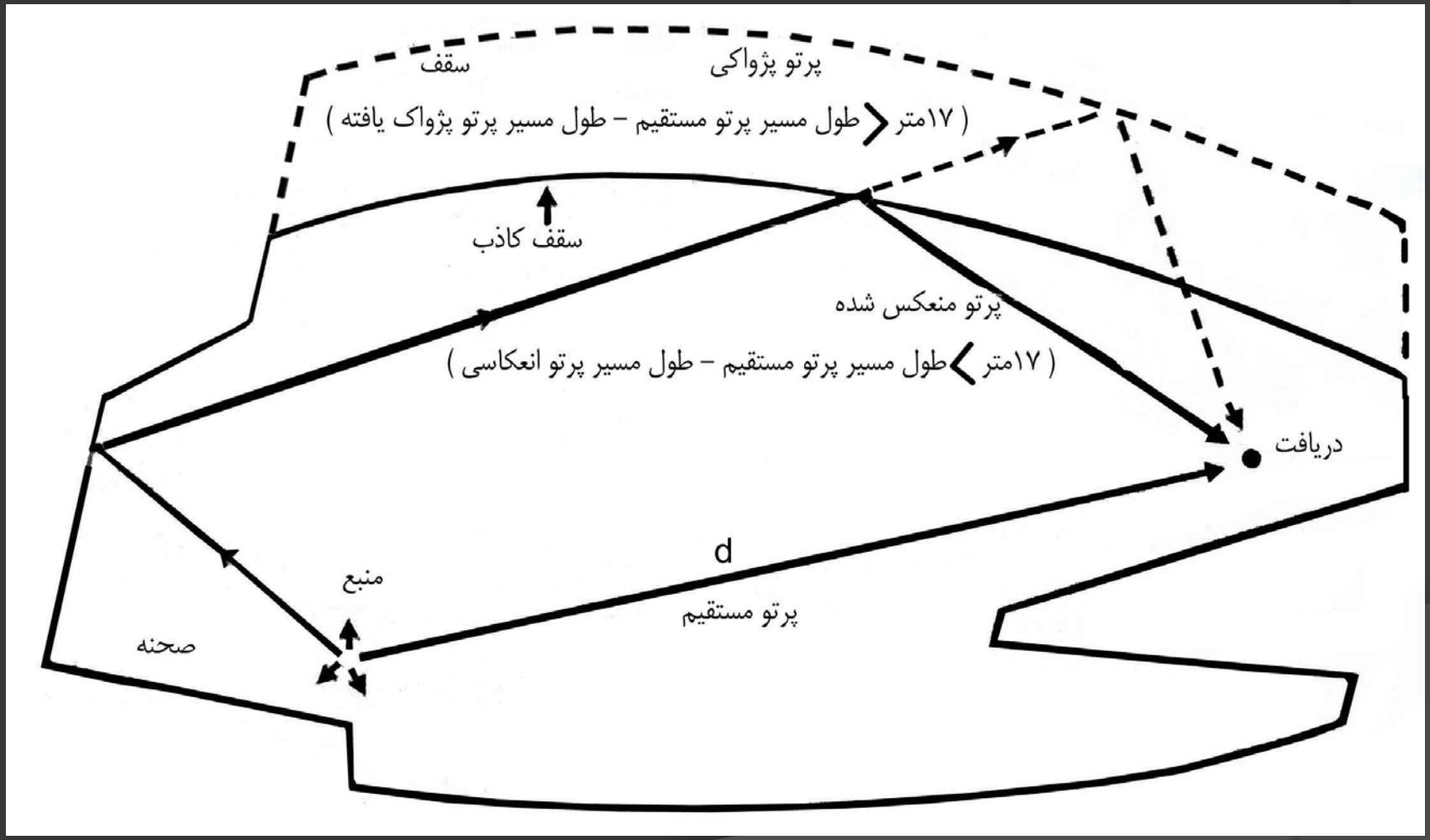
$$T = \frac{0/163V}{4mV - S\ln(1-\bar{\alpha})}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{a_1 s_1 + a_2 s_2 + a_3 s_3 + \ldots\ldots + a_n s_n}{s_1 + s_2 + s_3 + \ldots\ldots + s_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^{n} s_i} = \frac{A}{S}$$

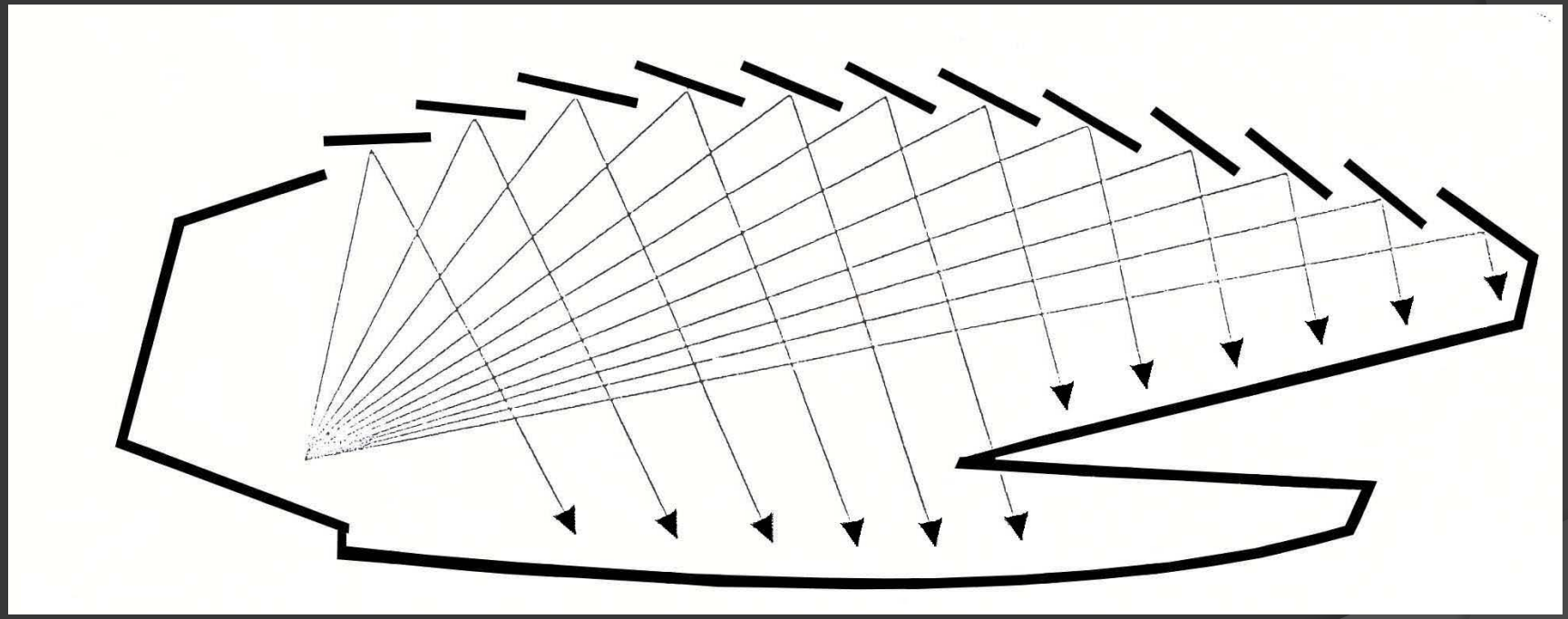
گذار از آکوستیک خارجی به آکوستیک داخلی



راه‌حلی برای حذف پژواک در یک سالن



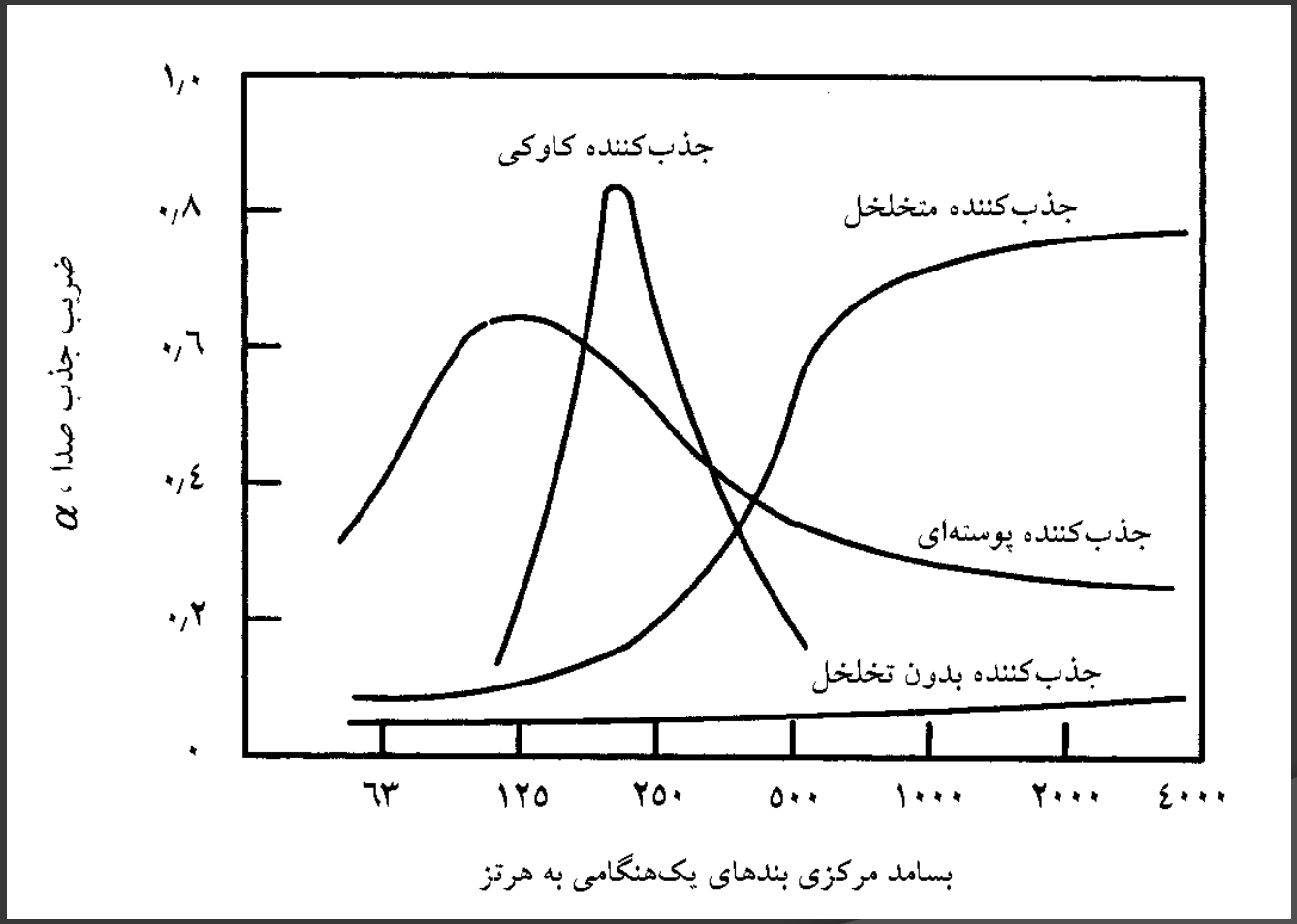
مقطعی از شکل سالن به‌منظور صدارسانی مناسب



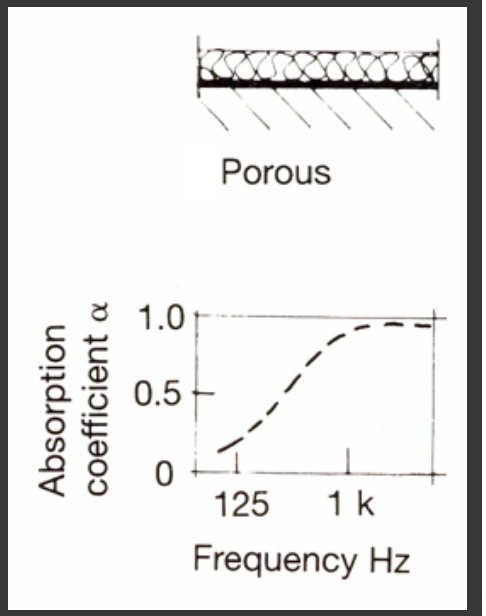
انواع جذب‌کننده‌های صوتی از نظر جذب در بسامدهای مختلف

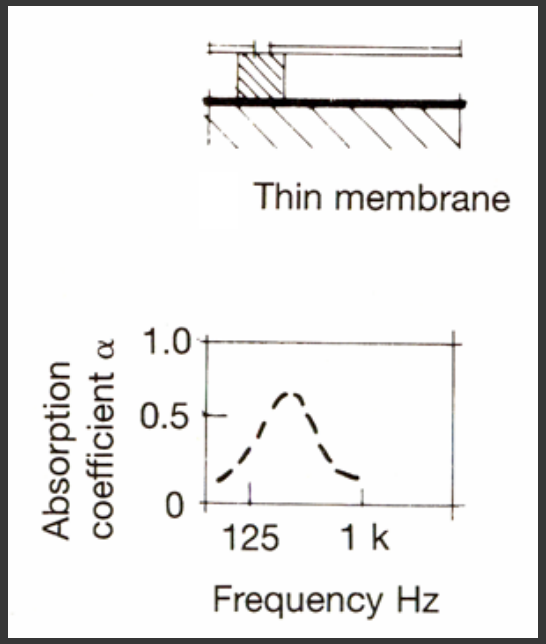
الف) مواد متخلخل
ب) پوسته‌ها
پ) کاوک‌ها (محفظه‌ها)
ت) جذب کننده‌های روزنه‌دار

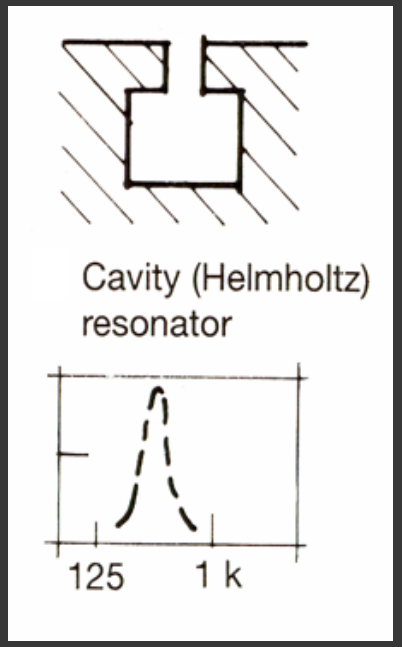
انواع مواد از نظر جذب صدا در بسامدهای مختلف

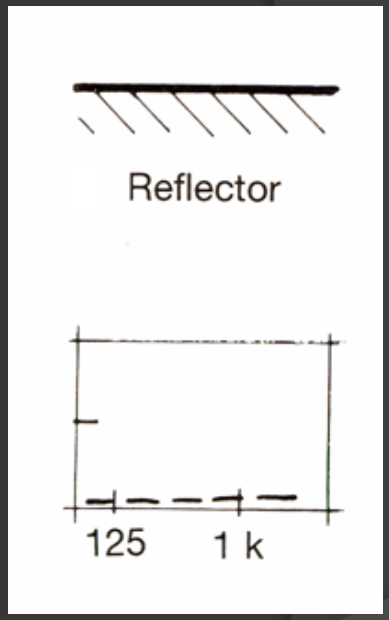


انواع مواد از نظر جذب صدا در بسامدهای مختلف

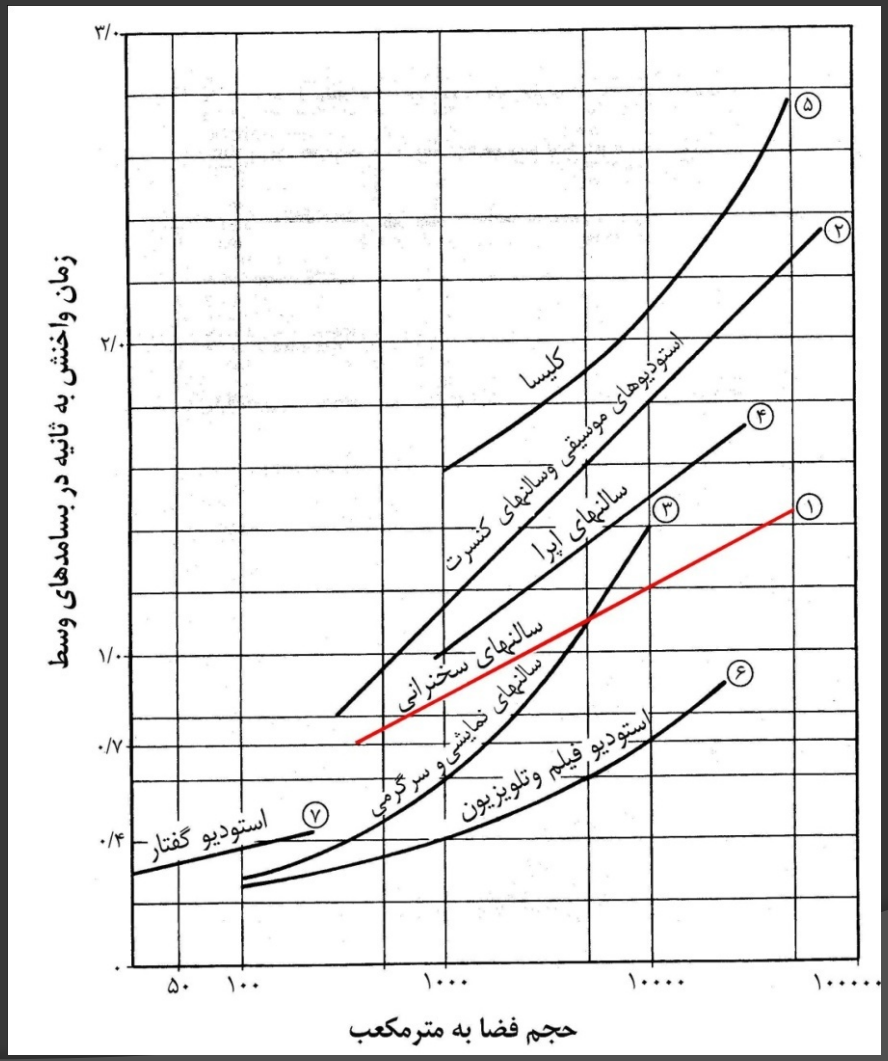








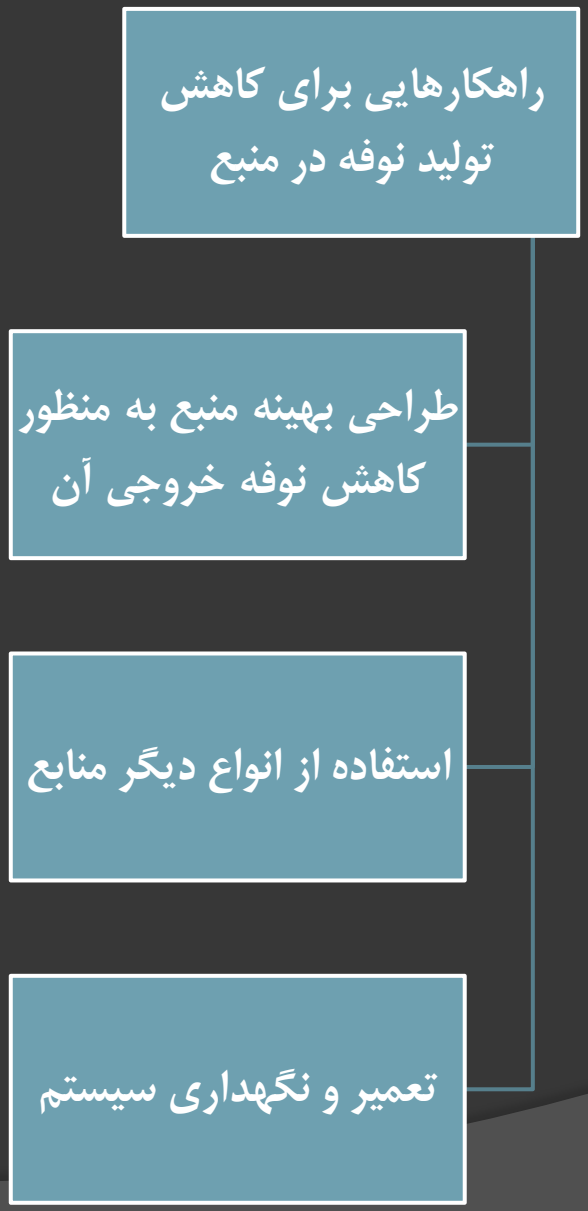
نمودار زمان واخنش بهینه در فضاهای مختلف



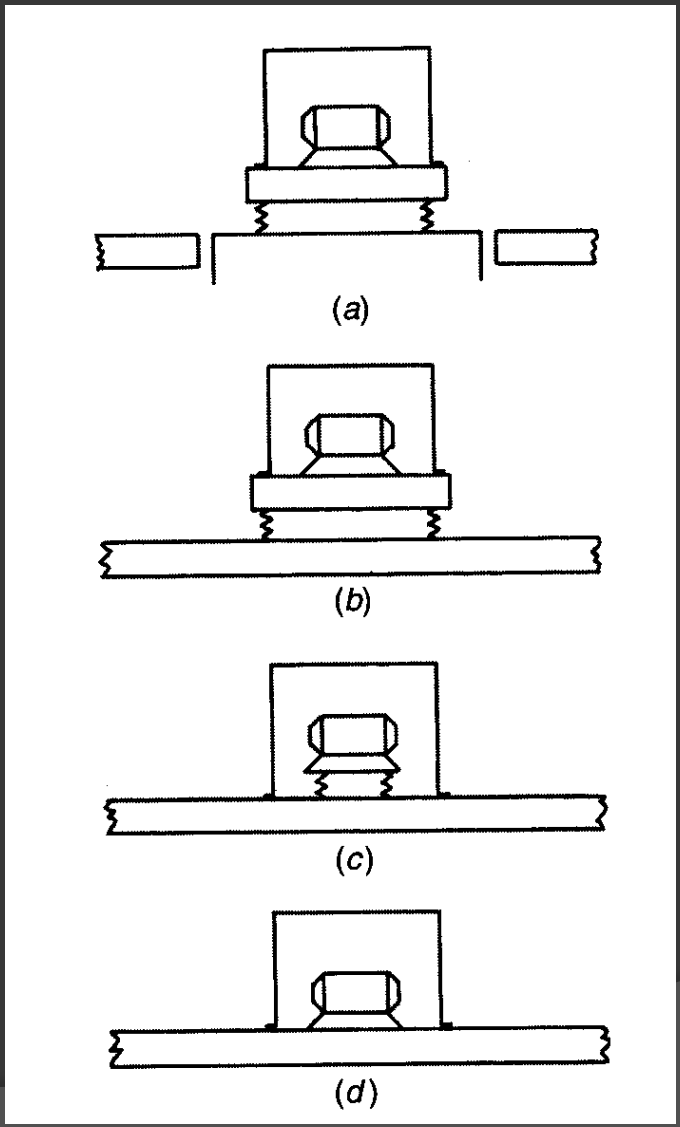
کنترل نوفه (سر و صدا)

روش‌هایی برای کنترل نوفه در ساختمان

- کاهش تولید نوفه در منبع با انتخاب مناسب و نصب صحیح وسایل
- کاهش نوفه با انتخاب مناسب جداکننده از نظر صدابندی(عایق صوتی)
- کاهش نوفه با استفاده از مواد جاذب در اتاق دریافت

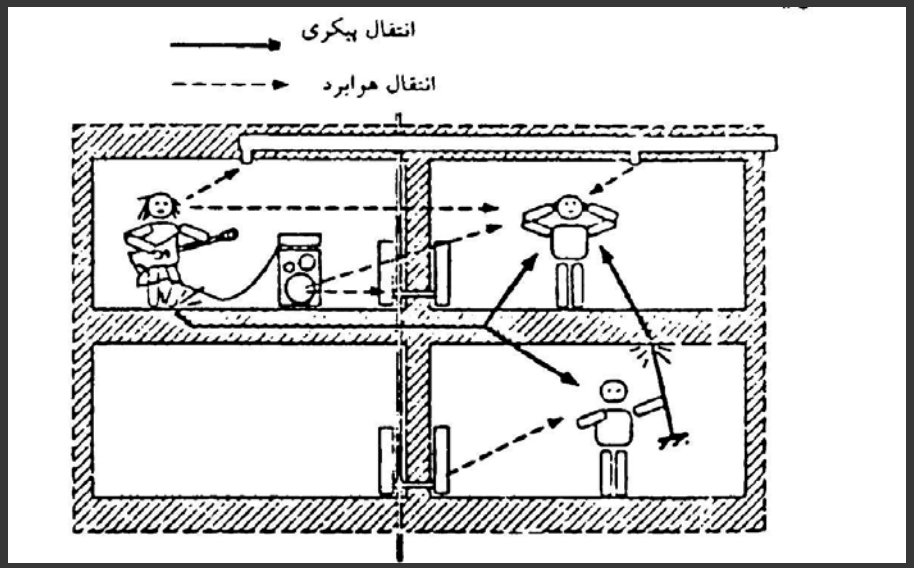

راهکارهایی برای کاهش تولید نوفه در منبع
طراحی بهینه منبع به منظور کاهش نوفه خروجی آن
استفاده از انواع دیگر منابع
تعمیر و نگهداری سیستم

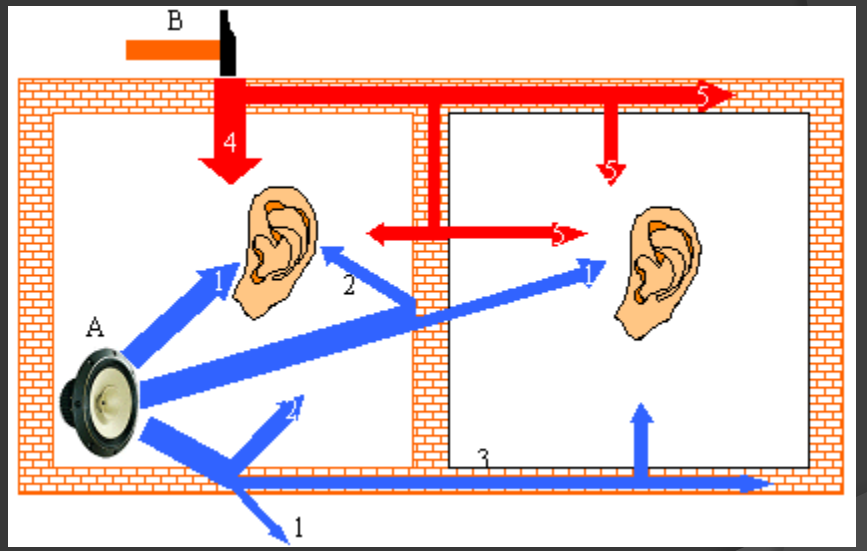
جدا سازی منبع محفظه‌دار از ساختار ساختمان (a بهترین حالت)



عایق‌های صوتی

راه های انتقال صدا به ساختمان





صدابندی در ساختمان

در بحث صدابندی در ساختمان می‌بایست بین انتقال صدای هوابرد و صدای کوبه‌ای اجزاء ساختمانی تفاوت قائل شد.

تراگسیل صدای هوابرد یک جدار

هرگاه جداکننده‌ای بوسیله امواج صوتی هوابرد به ارتعاش درآید نحوه انتقال صدا از آنرا به ساختمان انتقال صدای هوابرد گویند.

تراگسیل صدای پیکری (کوبه‌ای) یک جدار

هرگاه جداکننده‌ای بوسیله یک شیء به ارتعاش درآید نحوه انتقال صدا از آنرا به ساختمان انتقال پیکری گویند.

افت صوتی (TL) یا شاخص کاهش صدا (R) یک جداکننده

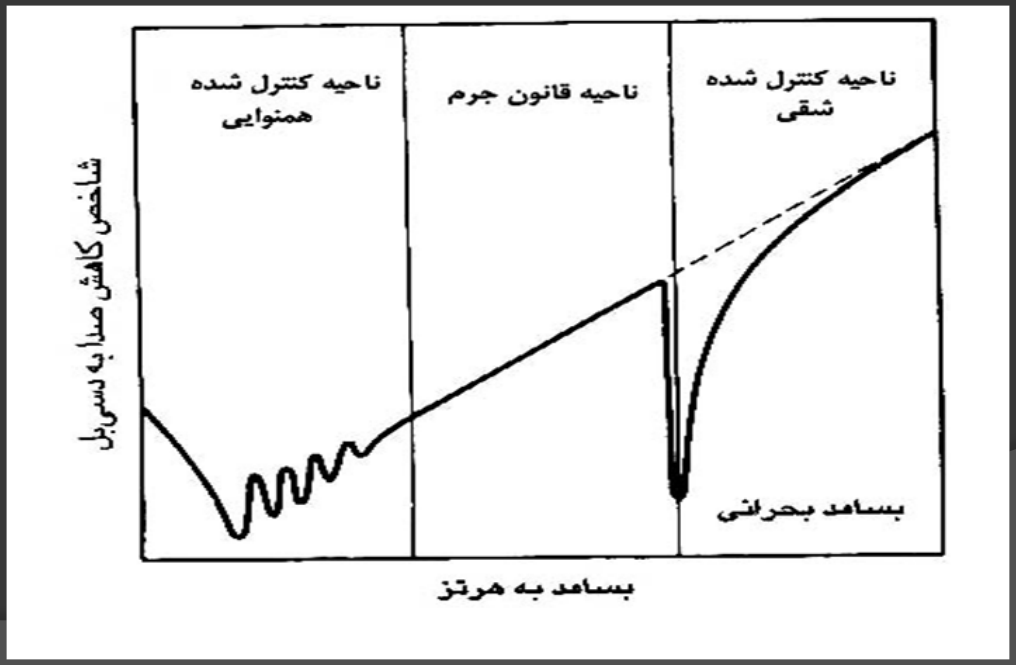
افت صوتی (صدا بندی صدای هوابرد) جداکننده عبارت است از کاهش لرزش ناشی از برخورد صدای هوابرد (صدایی که محیط انتشار آن هوا است) به جداکننده به دسی بل که طبق رابطه زیر تعریف می گردد .

$$TL = 10\mathrm{Log}\frac{1}{\tau}$$

t : ضریب تراگسیل (انتقال) جداکننده

رفتار بررسی افت صوتی یک جداکننده بدون منفذ در بسامدهای مختلف

- نمودار تغییرات افت صوتی (شاخص کاهش صدا) جداکننده برحسب بسامد دارای سه بخش می‌باشد که در شکل زیر نشان داده شده است



صدابندی جداکننده در برابر صدای هوابرد

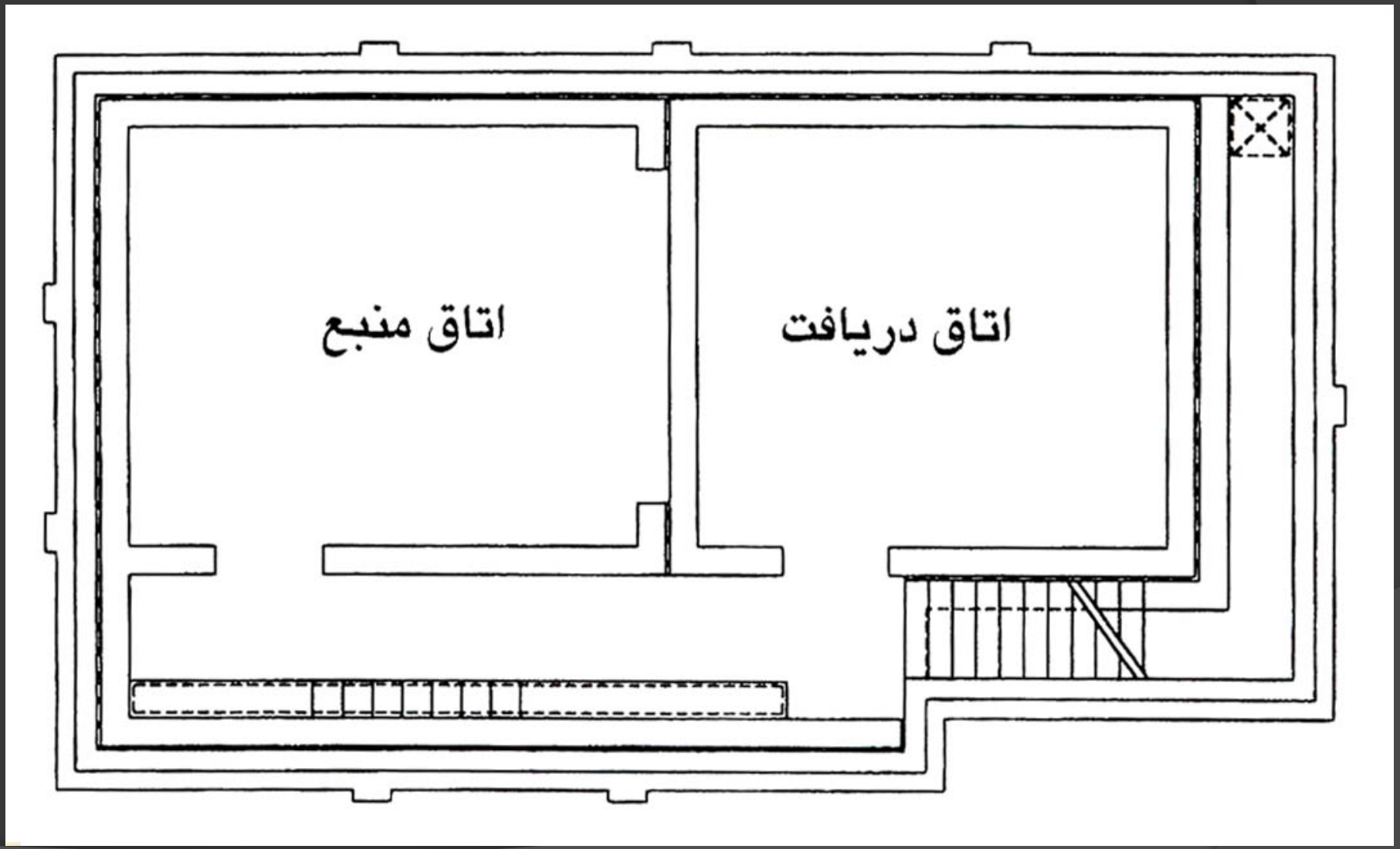
شاخصی که برای صدابندی یک جدار در برابر صدای هوابرد به‌کار می‌رود، شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) نامیده می‌شود و براساس تعریف این شاخص از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$R = TL = 10Log\frac{1}{\tau}$$

ولی در عمل این شاخص در آزمایشگاه صدابندی در بسامدهای مختلف از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$R = L_1 - L_2 + 10Log\frac{S}{A}$$

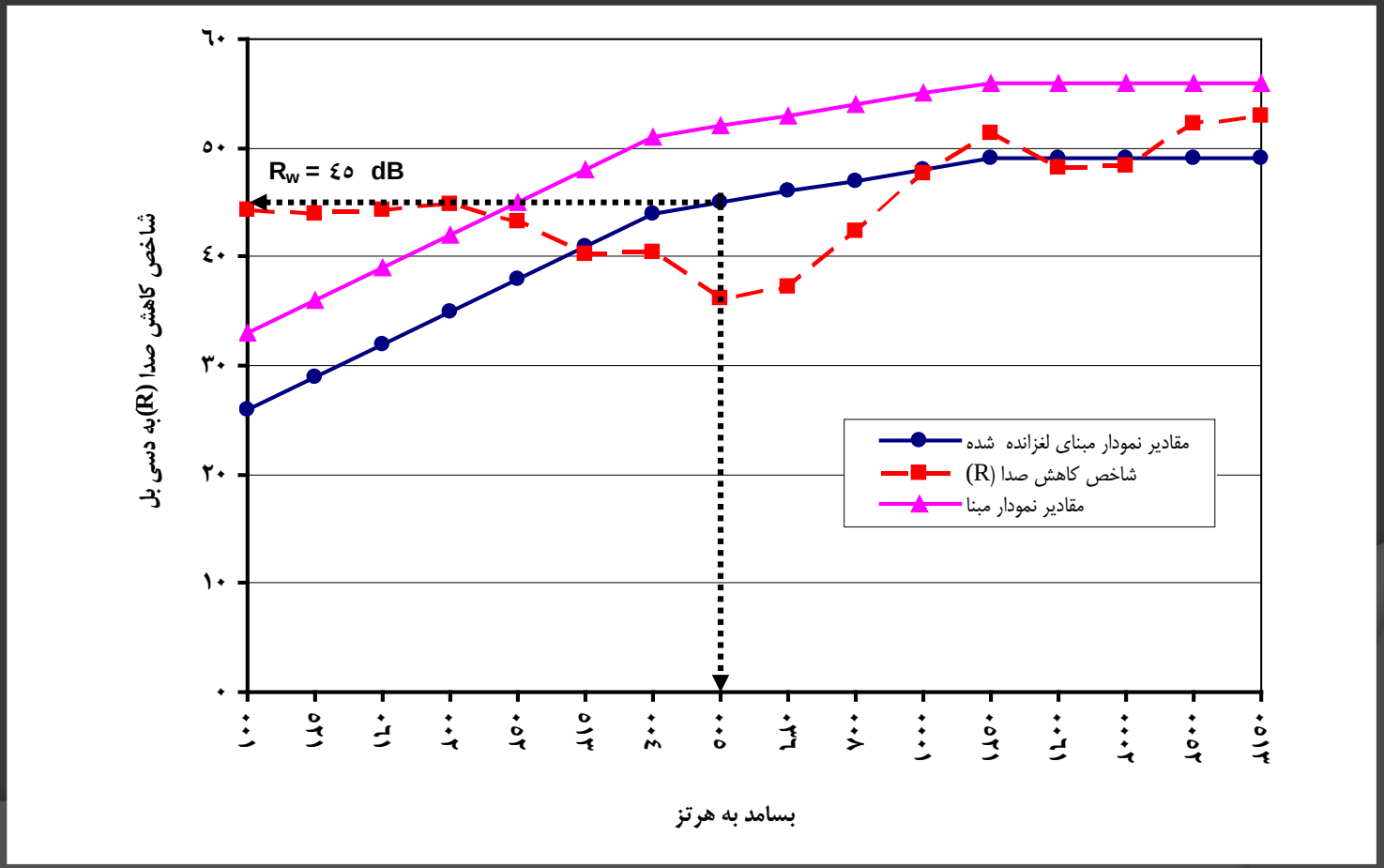
پلان آزمایشگاه صدابندی گروه آکوستیک مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



شاخص کاهش صدای وزن‌یافته یک جداکننده، R_W

برای سهولت بیشتر درآئین نامه‌های آکوستیکی صدابندی یک جداکننده را در مقابل صدای هوابرد، به‌وسیله یک عدد تنها، که گویای صدابندی آن باشد بیان می‌کنند. این عدد تنها براساس روشی که در استاندارد ISO-717-1 آمده انجام می‌پذیرد.

روش بدست آوردن شاخص کاهش صدای وزن یافته



نمونه‌هایی از تأثیر مقادیر مختلف درجه تراگسیل صدا در وضعیت شنیداری

وضعیت شنیداری (صدایی که شنیده می‌شود)	درجه تراگسیل صدا STC
گفتار معمولی به‌راحتی و با وضوح قابل درک است	۲۵
گفتار بلند به‌خوبی قابل درک است. گفتار معمولی شنیده می‌شود ولی مفهوم نیست	۳۰
گفتار بلند شنیده می‌شود ولی مفهوم نیست	۳۵
آستانه صدابندی مناسب	۴۰
گفتار بلند به‌صورت زمزمه (پچ‌پچ) شنیده می‌شود	۴۲
گفتار بلند قابل شنیدن نیست. به‌طور آماری از نظر ۹۰٪ مردم صدابندی مناسبی است	۴۵
صداهای بسیار بلند مانند صدای آلات موسیقی یا پخش استریو به‌طور ضعیف شنیده می‌شوند	۵۰
صدابندی بسیارخوب که در این شرایط بیشتر صداها غیر قابل شنیدن است	۶۰ به بالا

حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای جداکننده‌ها در ساختمان، " ساختمان مسکونی، بر اساس مبحث هجدهم مقررات ملی عایق‌بندی و تنظیم صدا "

نوع ساختمان	عملکرد جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) به دسی‌بل
مسکونی	بین اتاق خواب و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۰
	بین اتاق نشیمن و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۰
	بین آشپزخانه و فضاهای بیرونی ساختمان	۳۵
	بین واحد مسکونی و راهرو عمومی	۳۵
	بین دو واحد مسکونی مجاور	۵۰

منطقه بندی شهری از نظر تراز نوفه محیطی

نوع منطقه شهری از نظر نوفه	حداکثر تراز معادل صدا به دسی بل		کاربری های مجاز
	از ۷ صبح تا ۱۰ شب	از ۱۰ شب تا ۷ صبح	
با نوفه بسیار پایین	۵۵	٤۵	مسکونی,مراکز جهانگردی و پذیرایی,بهداشتی درمانی,فرهنگی,تجاری در حد محله
با نوفه پایین	٦۰	۵۰	آموزشی,اداری,مختلط مسکونی,تجاری,اداری
با نوفه معمولی	٦۵	۵۵	مجتمع تجاری,بازار,نمایشگاه
با نوفه بالا	۷۰	٦۰	ترمینال,پارکینگ,انبار,استادیم ورزشی,میادین میوه و تره بار
با نوفه بسیار بالا	۷۵	٦۵	صنعتی,نظامی,فرودگاه

راه های افزایش صدابندی جداکننده در برابر صدای هوابرد

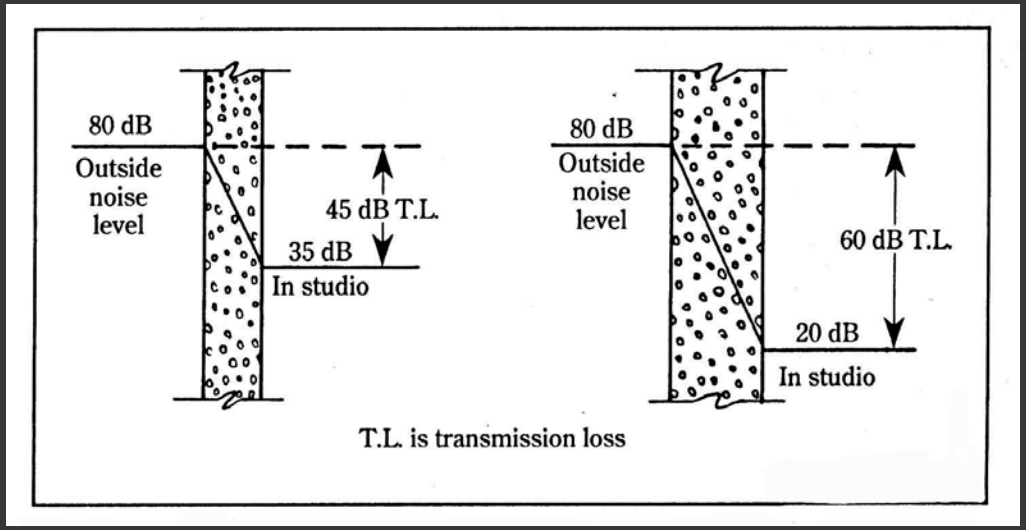
- سنگین کردن جداکننده

در یک محدود بسامدی ، افت صوتی تابعی از قانون جرم می‌باشد.

- دو جداره‌کردن جداکننده

در صورتیکه ساختن دیوار سنگین مورد نظر نباشد با ساختن دیوار دوجداره (دوبل) می‌توان به صدابندی مناسب رسید.

سنگین کردن جداکننده

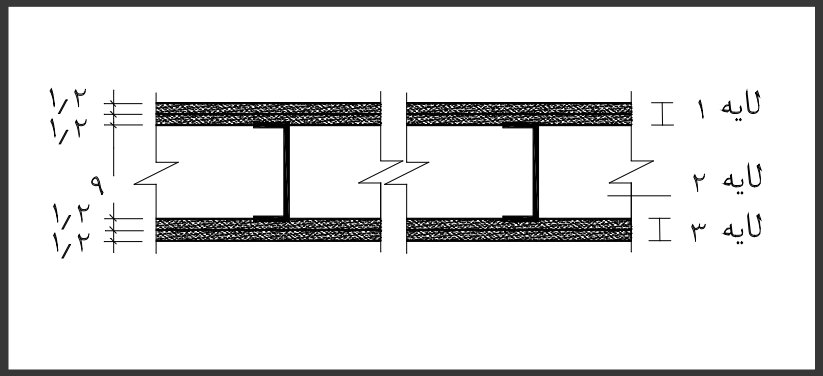


$$TL = 20Logfm - 47.7dB$$

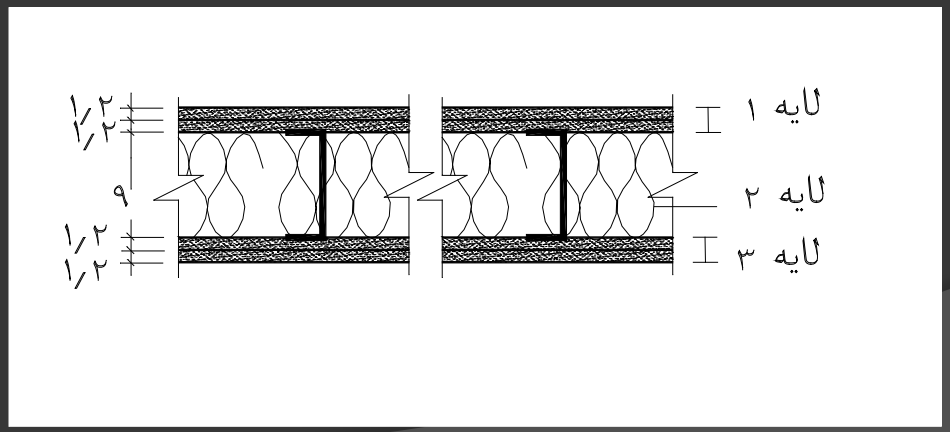
TL	افت صوتی جدار
f	بسامد به هرتز
m	چگالی سطحی به کیلوگرم بر متر مربع
dB	دسی بل مقیاس افت صوتی

نقش مواد الیاف معدنی در افزایش صدابندی جداکننده‌ها

افت صوتی بدون استفاده از مواد الیاف معدنی STC=۵۰

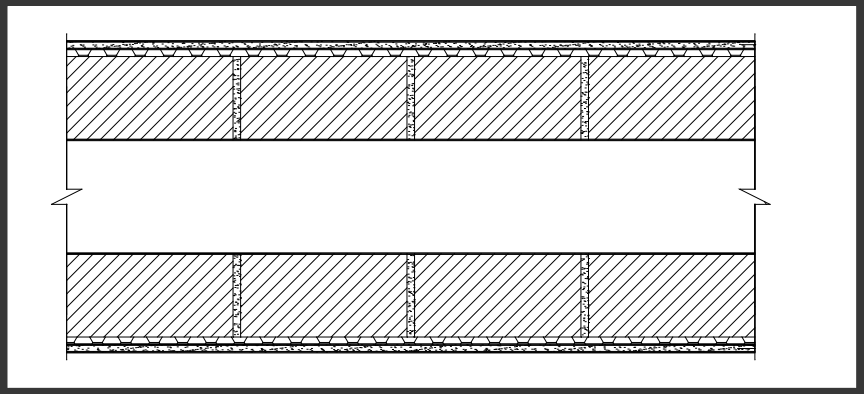


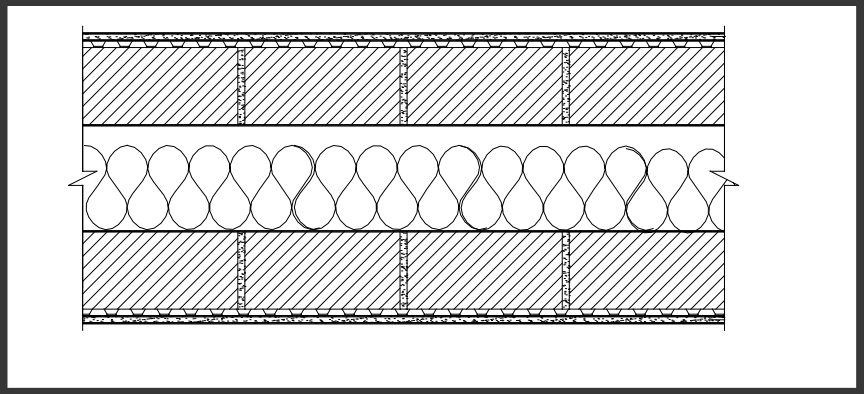
افت صوتی با استفاده از مواد الیاف معدنی STC=۵۶



دوجداره کردن جداکننده

در صورتیکه ساختن دیوار سنگین مورد نظر نباشد، با ساختن دیوار دوجداره (دوبل) می‌توان به صدابندی مناسب رسید.



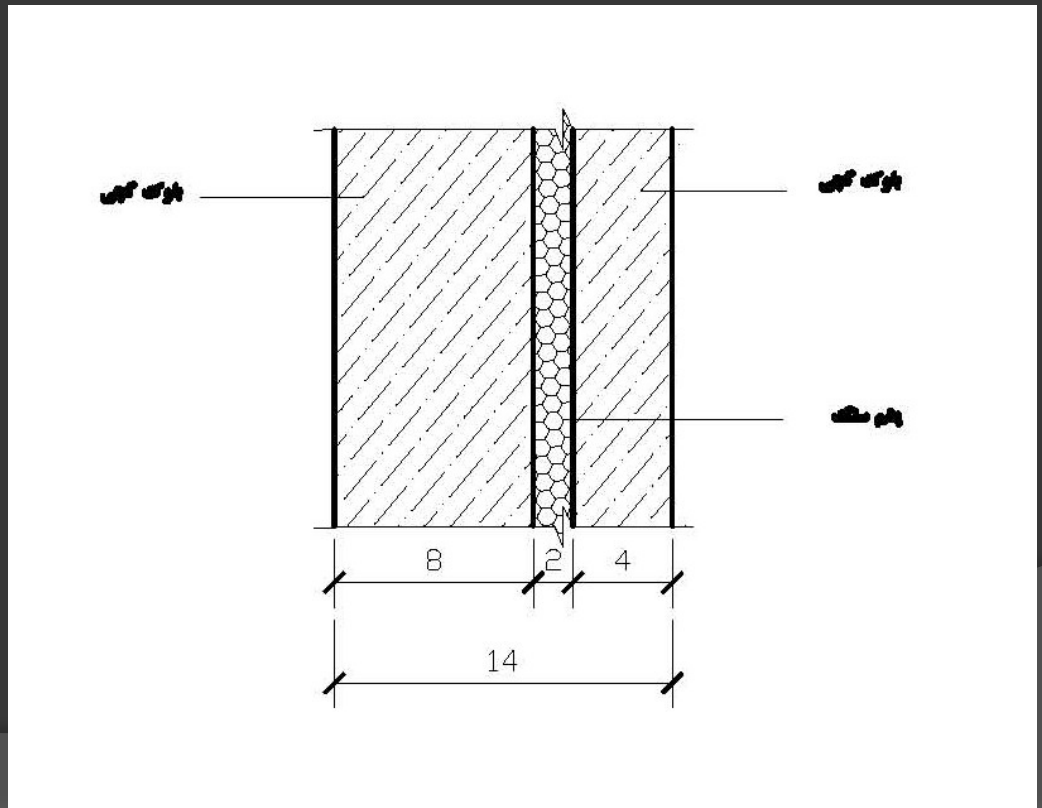


مقایسه مقادیر صدابندی جداکننده‌های یک جداره و دوجداره

نوع جداکننده	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته به دسی‌بل
دیوار بتنی	۱۲	۲۶۵	۴۷
دیوار بتنی	۱۵	۳۳۰	۵۰
جدار اول : صفحات گچی ۶ سانتیمتری لایه وسط : الیاف معدنی ۲ سانتیمتری جدار دوم : صفحات گچی ۵/۲ سانتیمتری	۱۰/۵	۱۲۱	۴۸
جدار اول : صفحات گچی ۸ سانتیمتری لایه وسط : الیاف معدنی ۲ سانتیمتری جدار دوم : صفحات گچی ۴ سانتیمتری	۱۴	۱۷۰	۵۰

مقادیر صدابندی برای تعدادی از دیوارهای دوجداره

نوع جدا کننده	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته به دسی‌بل
جدار اول از صفحات گچی ۸ سانتیمتری لایه وسط از پشم سنگ ۲ سانتیمتری جدار دوم از صفحات گچی ٤ سانتیمتری سانتیمتر	١٤	١٢٠	٥٠



میزان صدابندی تعدادی از شیشه‌های دوجداره

نوع پنجره			درجه تراگسیل صدا به دسی‌بل (STC)
شیشه	فاصله	شیشه	
٦	٢٠	٦	٣٨
٦	٣٠	٦	٤٠
٦	٥٠	٦	٤٢
٦	٨٠	٦	٤٤
٦	١٢٠	٦	٤٦
٦	١٠	*٧	٣٨
٦	١٦	*٧	٤٠
٦	٢٥	*٧	٤٢
٦	٤٠	*٧	٤٤
٦	٦٠	*٧	٤٦
٦	١٠٠	*٧	٤٨

* شیشه‌های لایه دار laminated

مقادیر صدابندی هوابرد تعدادی از پنجره‌های تولیدی شرکت های مختلف

نوع پنجره	ضخامت	شاخص کاهش صدای وزن یافته به دسی‌بل (Rw)
پنجره الومینیومی ترمال بریک	٦+١٢+٤	٣٨
پنجره UPVC	٥+١٢+٤	٣٦
پنجره UPVC	٦+١٢+٤	٣٧
پنجره UPVC	٦+١٢+٤	٣٦
پنجره UPVC	٦+١٢+٤	٣٩

روش تعیین شاخص کاهش صدای یک جداکننده مرکب

$$R = 10\mathrm{Log}\frac{1}{\tau} \quad \rightarrow \quad \tau = 10^{-(0/1)R}$$

ضریب تراگسیل جداکننده مرکب

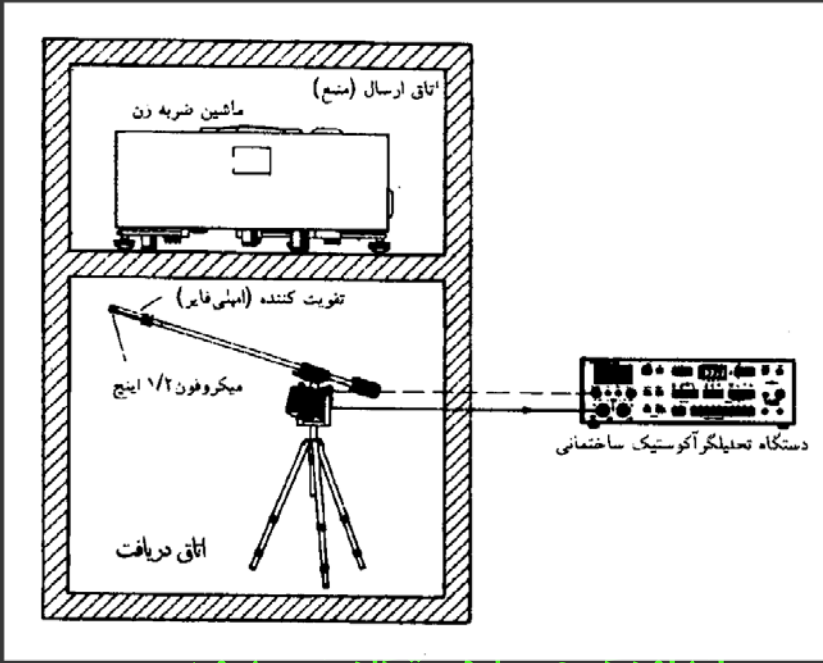
$$\bar{\tau} = \frac{\tau_1 s_1 + \tau_2 s_2 + \ldots + \tau_n s_n}{s_1 + s_2 + \ldots + s_n}$$

شاخص کاهش صدای جداکننده مرکب

$$\bar{R} = 10\mathrm{Log}\frac{1}{\bar{\tau}}$$

صدابندی کوبه‌ای

روش اندازه‌گیری صدابندی کوبه‌ای سقف



روش اندازه‌گیری با دستگاه ضربه زن

سقف مورد آزمایش بین دو اتاق منبع و دریافت ساخته می‌شود . سپس در اتاق منبع ، دستگاه ضربه‌زن روی کف سقف قرار گرفته و تولید ضربه می‌کند و تراز فشار صدای کوبه‌ای در اتاق دریافت براساس استاندارد ملی ایران در بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی اندازه‌گیری می‌گردد (L_i) .
پس از آن با توجه به وضعیت آکوستیک داخلی اتاق دریافت، تراز فشار صدای کوبه‌ای معمول‌شده (L_n) بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید:

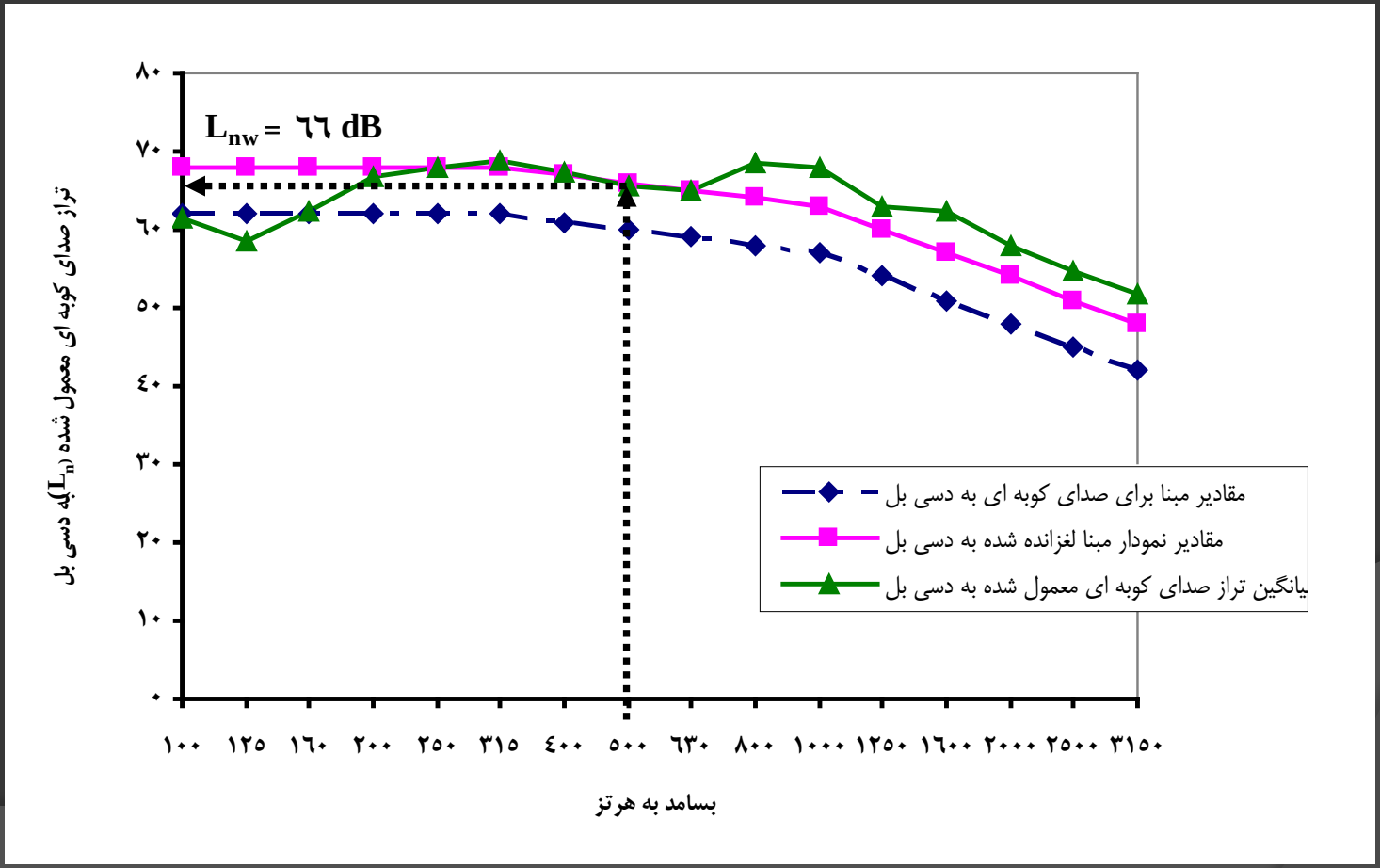
$$L_n = L_i - 10\mathrm{Log}\frac{A_0}{A}\,\mathrm{dB}$$

تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن‌یافته یک سقف، L_{nw}

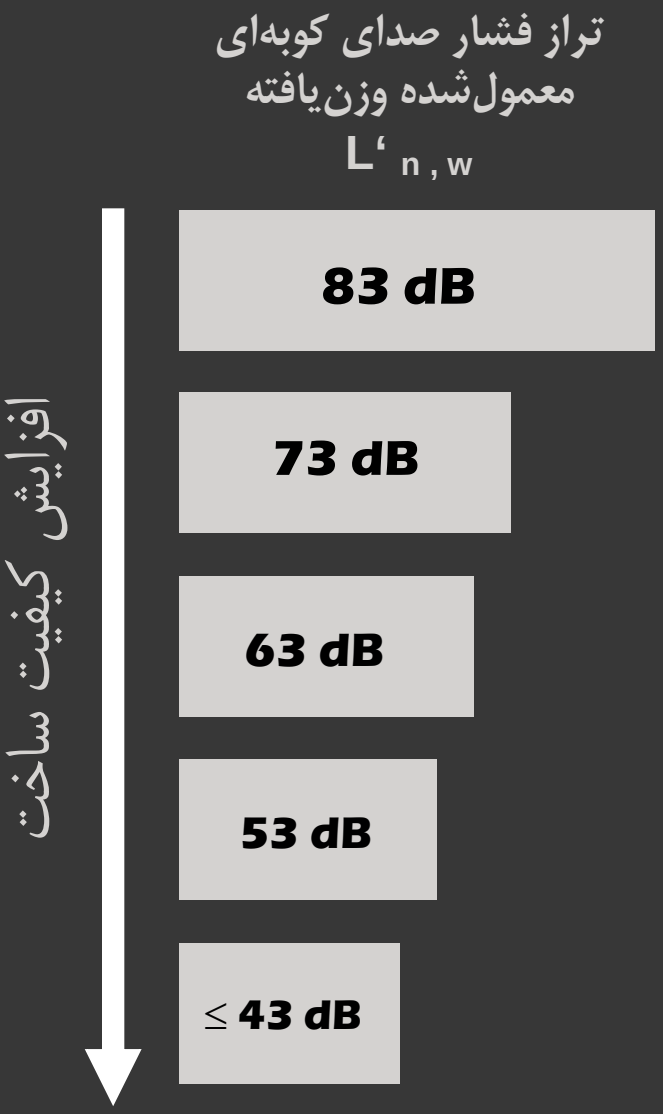
برای سهولت بیشتر درآئین نامه‌های آکوستیکی صدابندی یک سقف را در مقابل صدای کوبه‌ای، به‌وسیله یک عدد تنها، که گویای صدابندی آن باشد بیان می‌کنند. این عدد تنها براساس روشی که در استاندارد ISO-717-2 آمده، انجام می‌پذیرد.

$IIC=110-L_{nw}$

روش بدست آوردن تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن‌یافته



تفاوت احساس بلندی با تغییرات تراز فشار صدای کوبه‌ای



ادراک ذهنی شنوایی

راه رفتن: به‌راحتی شنیده می‌شود.
جابجایی مبلمان: با صدای بلند شنیده می‌شود.

راه رفتن: به‌راحتی شنیده می‌شود.
جابجایی مبلمان: به‌خوبی شنیده می‌شود.

راه رفتن: شنیده می‌شود.
جابجایی مبلمان: به‌خوبی شنیده می‌شود.

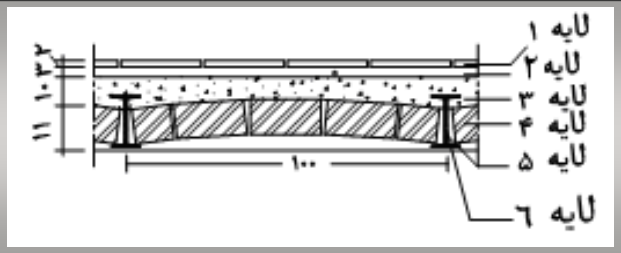
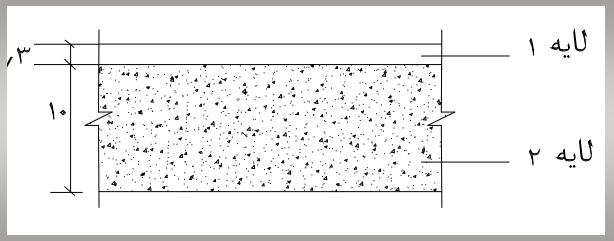
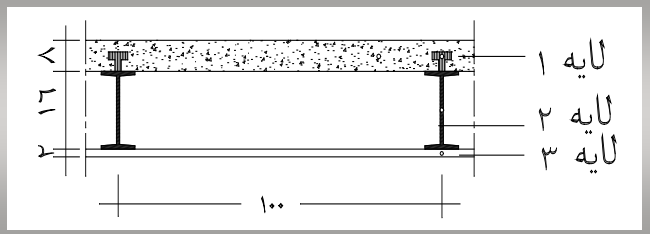
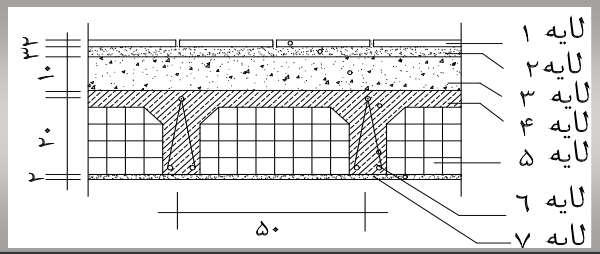
راه رفتن: به‌طور ضعیف شنیده می‌شود.
جابجایی مبلمان: شنیده می‌شود.

راه رفتن: غیرقابل شنیدن
جابجایی مبلمان: به‌طور ضعیف شنیده می‌شود.

ضوابط صدابندی کوبه‌ای سقف بین طبقات در ساختمان مسکونی، بر اساس مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان، " عایق‌بندی و تنظیم صدا

موقعیت سقف	حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول‌شده وزن‌یافته (L_{nw}) به دسی‌بل ÷
آشپزخانه، راهرو، سرویس بهداشتی بالای اتاق خواب	٤٨
اتاق نشیمن بالای اتاق خواب	٥٣
آشپزخانه، راهرو، سرویس بهداشتی بالای نشیمن	
اتاق خواب بالای اتاق خواب	٥٨
اتاق نشیمن بالای اتاق نشیمن	
آشپزخانه بالای آشپزخانه	
اتاق خواب بالای نشیمن	٥٨
سرویس بهداشتی بالای سرویس بهداشتی	
راهرو بالای راهرو	٦٢

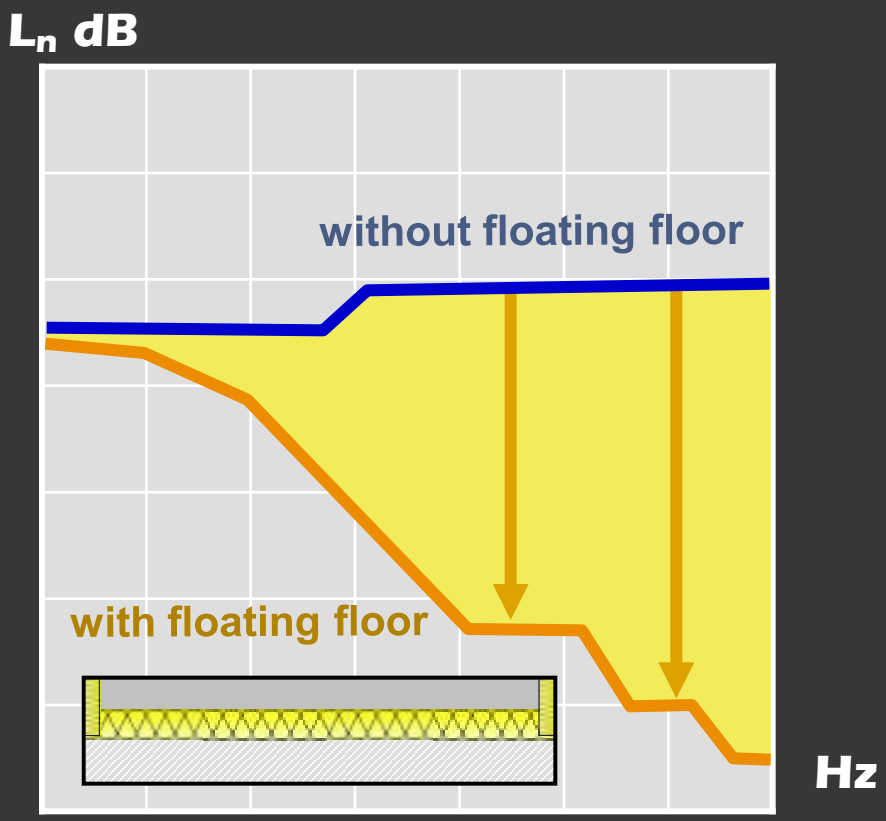
مقادیر صداابندی چند نمونه سقف سازه‌ای در برابر صدای کوبه‌ای

نوع سقف	ضخامت (cm)	جزئیات اجرایی	تراز صدای کوبه‌ای معمول‌شده وزن‌یافته (L_{nw}) به دسی‌بل	درجه‌بندی صداابندی کوبه‌ای (IIC) به دسی‌بل
سقف طاق ضربی با کف‌سازی موزائیک	۲۸		۶۸	۴۲
سقف بتنی	۱۰		۸۱	۲۹
سقف مرکب	۲۸		۷۶	۳۴
سقف تیرچه و بلوک با کف‌سازی موزائیک	۴۰		۷۷	۳۳

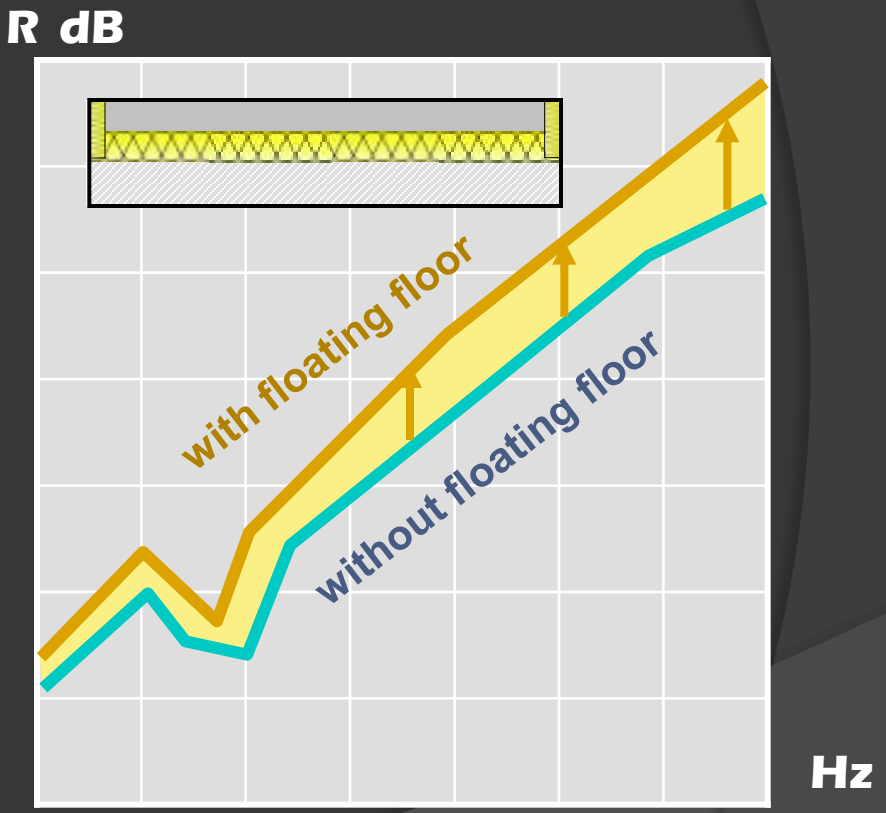
راه‌های افزایش صدابندی جداکننده (سقف) در برابر صدای کوبه‌ای

- استفاده از لایه سطحی کشسان روی کف، مانند مفروش کردن کف با موکت ، فرش و غیره
- استفاده از سقف کاذب که به سقف اصلی متصل می‌گردد.
- استفاده از کف شناور با بکار بردن یک ماده کشسان بین کف تمام شده و سقف اصلی

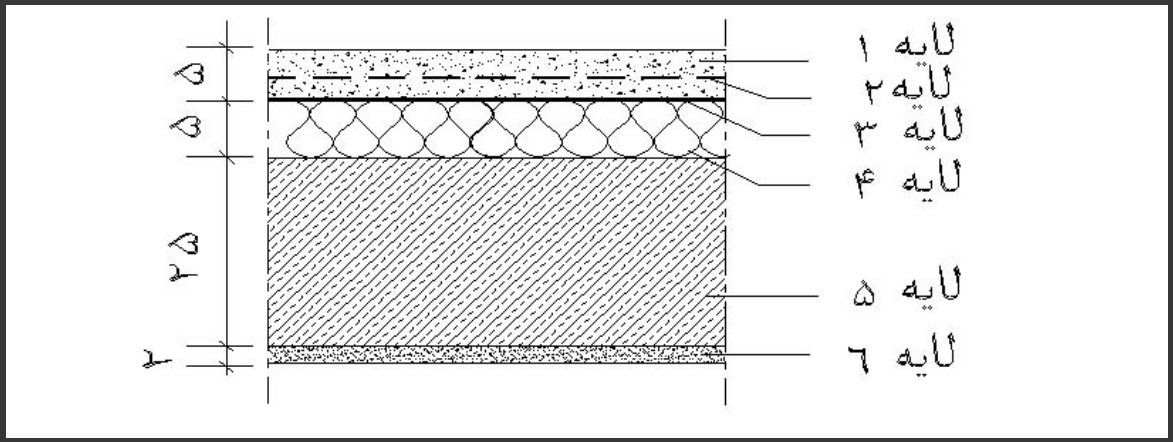
کاهش صدای کوبه‌ای



افزایش صدابندی هوابرد



استفاده از کف شناور بر روی سقف



کف شناور اجراء شده بر روی سقف تیرچه بلوک (L_{nw}=۴۶)

لایه ۱- بتون به ضخامت ۵ سانتیمتر

لایه ۲- شبکه میلگرد ٦ میلیمتری

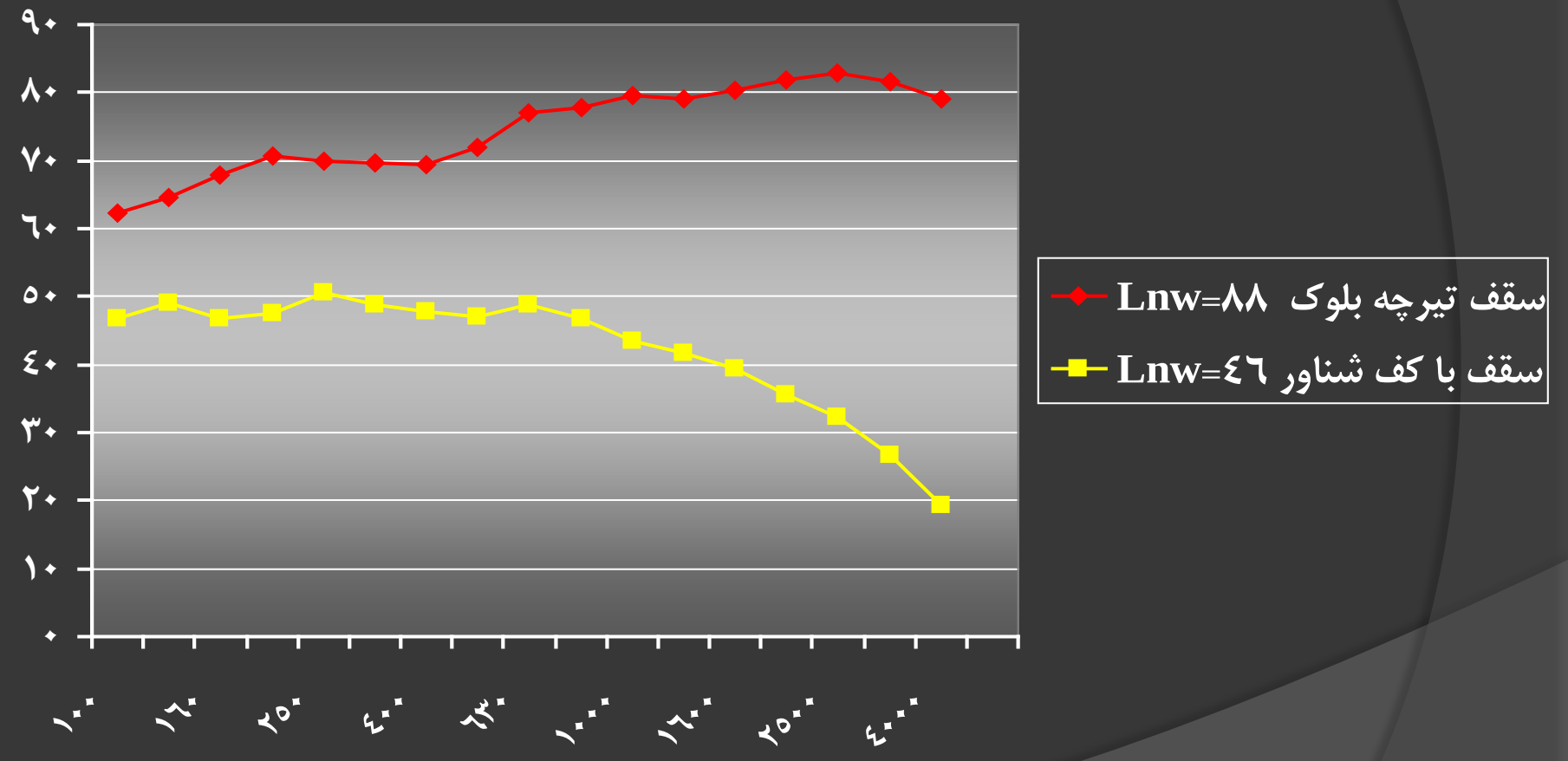
لایه ۳- لایه مشمع

لایه ٤- پشم سنگ به ضخامت ۵ سانتیمتر و چگالی ۱۲۰ کیلو گرم بر متر مکعب

لایه ۵- سقف تیرچه بلوک به ضخامت ۲۵ سانتیمتر

لایه ٦- گچ کاری به ضخامت ۲ سانتیمتر

نمودارهای تراز صدای کوبه‌ای معمول شده برای سقف تیرچه بلوک در دو وضعیت

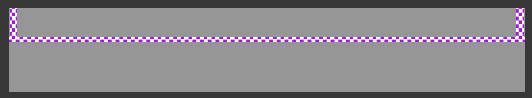


چند نوع از مواد عایق در برابر صدای کوبه‌ای

پشم شیشه

پشم سنگ

فوم الاستیکی



لایه نازک فوم