

نور: دارای 3×10^8 سرعت متر

در ثانیه در خلاء می باشد

سرعت نور در محیطهای مختلف متفاوت است و بیشترین سرعت نور مربوط به خلاء می باشد.

امواج مادون قرمز ایجاد احساس حرارتی می کنند ولی امواج ماوراء بنفش احساس حرارتی ایجاد نمی کنند و سرطانزا می باشند بخش کمی از طول موجهای نور (فقط طیفهای رنگین کمان) قابل رویت می باشد هر چقدر طول موج بلند تر باشد انرژی آن کمتر می باشد و نامرئی تر می باشد.

با افزایش سن نیاز به نور برای دیدن بیشتر می شود از اینرو افراد مسن به ۵ درصد نور بیشتر نیاز دارند. بخش مادون قرمز نور چون ایجاد احساس گرمایی می کند از طریق پوست بدن و دوربینهای مخصوص قابل تشخیص می باشد ولی قسمت مرئی نور با چشم قابل رویت میباشد چشم بطور ذاتی خود را با تغییرات میزان نور تطبیق می دهد زمانی که ما از فضای تاریک سینما خارج می شویم برای مدت کوتاهی بینایی ما با مشکل مواجه می باشد ولی کم کم عادت می کنیم ، زمان لازم برای چشم برای تطبیق با محیط حدود ۱۵ دقیقه می باشد.

حساسیت بینایی:

حداکثر حساسیت بینایی مربوط به محدوده رنگهای زرد و سبز است . یعنی چشم انسان این رنگها را زودتر تشخیص می دهد بخاطر همین امر تاکسی ها و باجه های تلفن به این رنگ می باشد.

فیلترهای رنگی :

نور سفید تمام رنگها را شامل می شود که با استفاده از فیلتر می توانیم این رنگها را تجزیه کنیم . بطور مثال وقتی جلوی نور سفید فیلتر نارنجی قرار می دهیم فقط نور نارنجی از آن عبور می کند . یعنی در واقع نور زرد و قرمز بصورت ترکیبی خارج می شود که نارنجی دیده می شود . (می دانیم که رنگ نارنجی ترکیبی از رنگ قرمز و زرد می باشد)

عوامل اصلی رویت جسم :

چهار عامل زیر از عوامل اصلی رویت اجسام می باشند.

۱- **اندازه جسم:** این اندازه به فاصله با جسم بستگی دارد . هر چه دورتر باشیم اشیاء کوچکتر دیده می شوند.

۲- **درخشش جسم:** مقدار نوری که به جسم می خورد و انعکاس آن به ما می رسد باید به اندازه ای باشد که جسم به راحتی دیده شود.

۳- **کنتراست:** یکی از مهمترین عوامل رویت جسم کنتراست آن با محیط اطرافش می باشد. بعضی از حیوانات با از بین بردن کنتراست خود با محیط باعث می شوند که دیده نشوند.

۴- زمان : عامل دیگری که در روئیت جسم موثر می باشد زمان می باشد.

خطای دید:

خطا دید در فرم اشکال ، اندازه ها ، کنتراست و رنگ اجسام اتفاق می افتد . بطور مثال بعضی از فروشگاههای میوه و یا لباس جهت جلب مشتری با استفاده از نوع چیدمان و نوع و رنگ نور پردازی در دید مشتری ایجاد خطای دید می کنند .

میدان دید:

- ۱- **میدان مرکزی** : گسترده نبوده و تمرکز به نقطه خاص می باشد.
- ۲- **میدان بصری** : مخروطی با زاویه ۳۰ درجه می باشد وقتی ما به جسمی نگاه می کنیم جزئیات آنچه که داخل این مخروط دید باشد را متوجه می شویم.
- ۳- **میدان دید کمر بندی**: در واقع آنچه که با گوشه چشم می بینیم در این میدان دید قرار دارد که مخروطی ۱۳۰ درجه ای می باشد که ۶۰ درجه بالا و ۷۰ درجه پایین را شامل می شود. جزئیات اشیائی که در میدان دید کمربندی ما قرار دارند مشخص نیست ولی حرکات این اشیاء برای ما محسوس می باشد.

اعصاب بینایی:

- ۱- اعصاب استوانه ای : این اعصاب در تاریکی عمل می کنند و تاریک یا روشن بودن را تشخیص می دهند ولی قدرت تشخیص رنگ را ندارند.
- ۲- اعصاب مخروطی : این اعصاب رنگ نورها را تشخیص می دهند . بون وجود اعصاب مخروطی ما دنیا را سیاه و سفید می بینیم .

علت های چشم زدگی (Glare) :

- ۱- تغییر ناگهانی محیط
- ۲- وجود منبع بسیار نورانی : توزیع یکنواخت در محیط نداشته باشیم یا ارتفاع منبع نور کمتر از ارتفاع مورد نظر باشد .

انواع چشم زدگی:

- ۱- **غیره قابل تحمل** : دید کاملاً مختل می شود (نگاه به نور ماشین در شب)
- ۲- **مختل کننده** : دید دچار اختلال می شود ولی کاملاً از بین نمی رود
- ۳- **صفحات نورانی**: نگاه طولانی مدت به صفحات مانیتور و دید یکباره به محیط را مختل می کند .
- ۴- **انعکاسی** : انعکاس نور برف و یا سطح دریا در دید ما ایجاد اختلال می کند.

برای سنجش نور بستگی به موضوع تعاریف مختلفی از قبیل شدت نور، شار نوری، روشنایی و..... وجود دارد.

۱- **شدت نور (I) :** واحد شدت نور کندلا (cd) می باشد ، یک کندلا برابر است با نوری یک شمع ایجاد می کند . شدت نور به سه عامل ویژگی منبع ، زاویه تابش ، فاصله منبع تا سطح بستگی دارد شدت نور متناسب با $\sin$ زاویه نور می باشد $I_1 = I_2 \sin \theta$

۲- **شار نوری (f) :** واحد آن لومن می باشد و مقدار نوری می باشد که در یک جهت مشخص از منبع نور خارج می شود (یک لومن برابر است با مقدار نوری به توان یک کندلا در یک واحد فضایی که که استرادیان نامیده می شود)

۳- **روشنای (E) :** واحد آن لوکس (Lx) می باشد . این کمیت مربوط به برخورد نور می باشد. یک لوکس برابر است با یک لومن بر متر مربع ($E = f/A$)

$$E_1 d_1^2 = E_2 d_2^2$$

مثال: اگر در فاصله یک متری از منبع نور مقدار روشنایی ۱۵ لوکس باشد در فاصله نیم متری چقدر می

باشد؟

$$E_1 = 15 \text{ Lx}$$

$$E_2 = ?$$

$$d_1 = 1 \text{ m}$$

$$d_2 = 0.5 \text{ m}$$

$$\Rightarrow 15 \times 1 = E_2 \times 0.25 \Rightarrow E_2 = 60 \text{ Lx}$$

قانون زاویه : میزان روشنایی یک سطح با زاویه بین جهت تابش و سطح رابطه سینوسی دارد.

$$E_1 = E_2 \sin \theta$$

✓ **مثال:** اگر نوری با زاویه ۳۰ درجه ۱۰ لوکس روشنایی ایجاد کند در حالت عمودی چقدر روشنایی ایجاد می شود؟

$$10 = E_2 \sin 30 \quad E_2 = 20$$

فعالتهای مختلف بر حسب اهمیت و دقت لازم برای فعالیت نیاز به میزان نور متفاوتی دارند مثلا فعالیتی مانند جراحی به ۸۰۰۰ لوکس نور نیاز دارد ولی فعالتهای کم اهمیت به ۵۰ لوکس نور نیاز دارند

روشنایی طبیعی محیط بیرون ارتباط مستقیمی با وضعیت آسمان دارد

آسمان صاف	آسمان ابری	غروب	ماه در آسمان	آسمان صاف با ستاره
-----------	------------	------	--------------	--------------------

۱۰۰،۰۰۰ لوکس	۱۰،۰۰۰ لوکس	۵۰ لوکس	۵/۰ لوکس	۲/۰ لوکس
--------------	-------------	---------	----------	----------

۴- درخشندگی (L): این کمیت مرتبط به انعکاس نور می باشد و واحد آن کندلا بر متر مربع می باشد،

حد اقل درخشندگی لازم برای دیدن

$$L = \frac{rE}{\pi}$$
 ضریب
 انعکاس: ۲

مثال: دیواری با ضریب انعکاس ۰/۶ و روشنایی ۱۰۰ لوکس چقدر درخشندگی دارد؟

$$L = \frac{0.6 \times 100}{\pi} = 19.9 \text{ cd/m}^2$$

✓ **حد اقل درخشندگی ۱۰^{-۵} cd/m² یک جسم باید باشد تا جسم قابل رؤیت باشد.**

۵- کنتراست (C):

$$C = \frac{|L - L_b|}{L_b}$$

درخشندگی زمینه L_b
 درخشندگی موضوع L

✓ **جهت جلوگیری از کنتراست شدید محیطی که در آن تلوزیون تماشا می کنیم ۵۰ لوکس روشنایی داشته باشد.**

روشنایی بهینه فعالیتها مختلف :

- حمل و نقل
- کارهای غیره دقیق
- کارهای نیمه دقیق (مطالعه)
- کارهای دقیق (خیاطی)
- جراحی
- ۱۰۰-۵۰ لوکس
- ۲۰۰-۱۲۵ لوکس
- ۵۰۰-۲۵۰ لوکس
- بالاتر از ۱۰۰۰ لوکس
- ۸۰۰۰-۳۰۰۰ لوکس

$$n = \frac{E \times A}{F \times LLF \times UF} : \text{تعداد لامپ مورد نیاز یک فضا}$$

n: تعداد لامپ مورد نیاز

E: روشنایی

A: سطح مورد نظر

F: شار نوری هر لامپ یا دسته ای از لامپها

LLF: میزان افت نور در شرایط تمیز ۰/۸، متوسط ۰/۷، و کثیف ۰/۶.

UF: از روی جدول

محاسبه UF: ابتدا RI (Room Index) را از رابطه زیر محاسبه می کنیم:

$$RI = \frac{L \times W}{Hm \times (L + W)}$$

L: طول اتاق بر حسب متر

W: عرض اتاق بر حسب متر

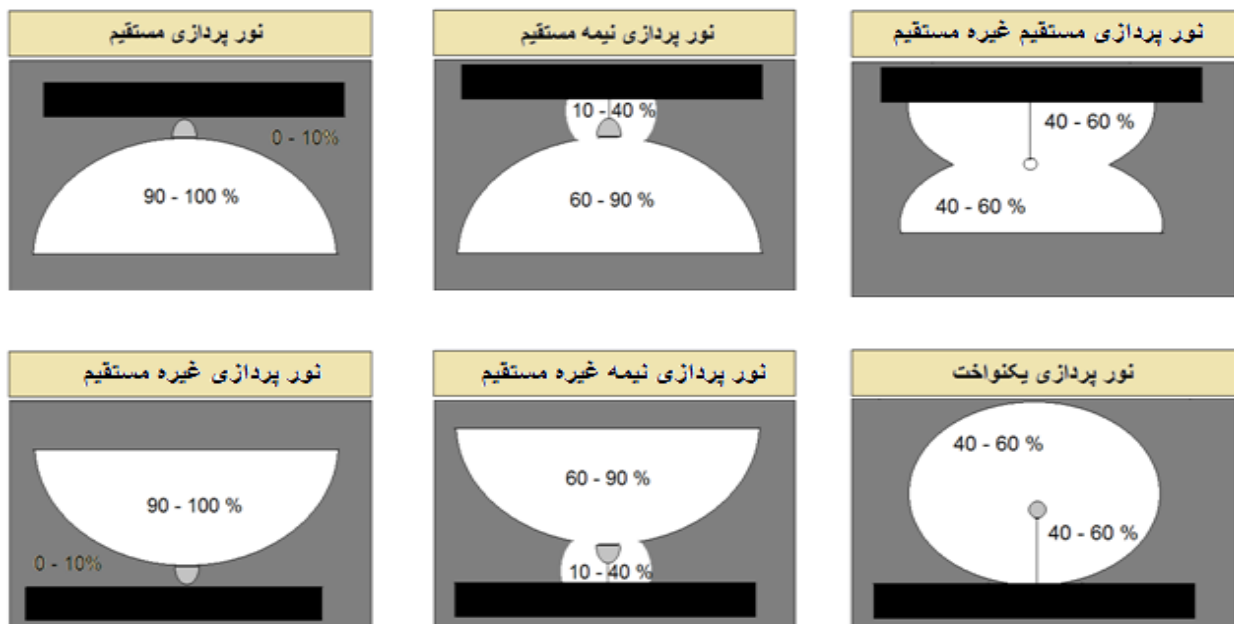
Hm: فاصله لامپ از سطح مورد نظر

RI	۰/۷۵	۱	۱/۲۵	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۴	۵
UF	۰/۳	۰/۳۷	۰/۴۲	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۶۶

$$nL = \sqrt{n \times \frac{L}{W}}$$

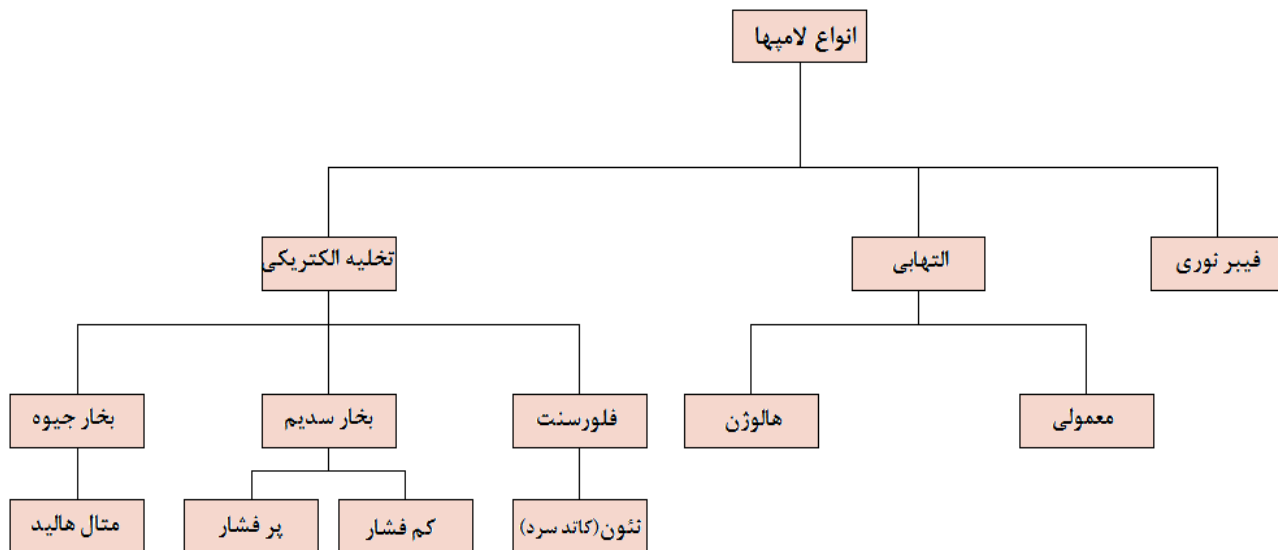
محاسبه تعداد لامپ در طول و عرض اتاق :

$$nw = \sqrt{n \times \frac{W}{L}}$$



انواع نور پردازی :

انواع لامپها:



۱- لامپهای تخلیه الکتریکی:

در این نوع لامپها غالبا در اثر ایجاد جریان در گاز داخل لامپ نور ماوراء بنفش تولید می شود که این نور توسط فسفر روی سطح حباب جذب شده و به امواج مرئی تبدیل می شود.

۱-۱- لامپهای جیوه ای پر فشار :

یک لامپ پر فشار جیوه ای نور سبز آبی تولید می کند و فاقد رنگ قرمز می باشد و باعث می گردد تا بسیاری از رنگها تحت این نور ، رنگ واقعی خود را نشان ندهند. برای بهبود کیفیت رنگ این نوع لامپ سطح داخلی حباب خارجی را فسفر اندود می کنند سه نوع تعدیل شده لین لامپها عبارتند از:

۱-۱-۱- (Color improved): دارای رنگ قرمز بسیار کم

۱-۱-۲- دولوکس سفید (DX) : افزایش در می زان رنگ قرمز

۱-۱-۳- سفید گرم دولوکس (WWX) : دارای قرمزی کافی بوده و رنگ بسیار عالی و مناسب دارد ولی شار نوری آن کمتر است.

لامپهای جیوه ای پر فشار ۲۵۰ وات در حدود ۱۳۷۰۰ لومن نور تولید می کنند.

۱-۱-۲- متال هالید: با اضافه کردن تالیوم ، انیدونیوم به لامپ های پر فشار جیوه ای رنگ نر آن سفید تر و وضوح رنگی آن مناسب تر می شود و باعث کنترل بصری بهتری می شود . بازدهی این لامپ در حدود ۸۰-۱۲۰ لومن بر وات می باشد.

ارتفاع مناسب جهت نصب انواع هالیدهای فلزی:

توان (w)	۷۰	۱۵۰-۱۲۵	۴۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰
ارتفاع مجاز (m)	۲/۵	۳/۵	۸	۱۰	۱۲	۱۵

۱-۲- لامپهای بخار سدیم :

۱-۲-۱- لامپهای بخار سدیم کم فشار : فشار داخل تیوپ آن کمتر از ۱ اتمسفر نور زرد رنگی تولید می کند از مزایای آن : بازدهی نسبتا بالا (۱۸۰-۱۳۰ لومن بر وات) و ایجاد نور زرد رنگ که باعث افزایش عمق دید می شود و در فضای مه آلود دید نسبتا مناسبی را ایجاد می کند.

طول عمر این لامپ حدود ۱۸۰۰۰ ساعت می باشد به شرطی که در هر بار روشن شدن حداقل ۵ ساعت روشن باشد.

۱-۲-۲- لامپهای بخار سدیم پر فشار: نسبت به نوع قبلی طیف رنگی متفاوت تری دارد و رنگ نور آن زردی کمتری دارد و نور آن سفید متمایل به طلایی می باشد.

- بازدهی آن ۸۰-۱۴۰ لومن بر وات می باشد .
- دارای طول عمر ۲۰۰۰۰ الی ۲۴۰۰۰۰ ساعت می باشد.
- زمان روشن شدن آن تا تولید نور ۵ دقیقه می باشد.

۱-۳- لامپهای فلورسنت:

اجزاء اصلی تشکیل دهنده لامپهای فلور سنت عبارتند از :

- الکتروود ، گاز ، فسفر
- این لامپها دارای ویژگیهایی می باشد که آن را از سایر لامپها متمایز می کند.
- حساسیت به دما و رطوبت
- بازدهی بالای این لامپ در دمای ۳۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد می باشد
- محیط هایی با رطوبت نسبی بالای ۶۵٪ تاثیر نامطلوبی بر این لامپها دارد.
- این لامپها باید در شرایط افقی مورد استفاده قرار گیرند
- این نوع لامپها در رده دور ریزهای خطر ناک طبقه بندی شده اند.
- عمر نسبتا طولانی حدود ۷۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ ساعت
- بازدهی ۹۰-۴۰ لومن بر وات
- استارت نسبتا سریع
- عدم تولید گرما
- عدم قابلیت کم وزیاد کردن نور

۱-۳-۱- لامپ نئون (کاتد سرد) :

این لامپها دارای قطر کم ۱۲/۵ میلیمتر بوده و قابلیت شکل پذیری و خم شدن را دارند جنس الکتروود آن آهنی بوده و تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد گرم می شود .

۲- لامپهای التهابی:

این لامپها از رشته سیمی از جنس تنگستن که درون حبابی شیشه ای از جنس کوارتز که حاوی یک گاز بی اثر می باشد تشکیل شده اند از مزایای تنگستن به درجه ذوب بالا ، استحکام زیاد ، تبخیر پایین و قابلیت تشعشع

مناسب می توان اشاره کرد و شیشه کوارتز هم قابلیت تحمل حرارت بالا را دارد لامپها التهابی بر خلاف لامپهای تخلیه الکتریکی نور رنگی ایجاد نمی کنند.

۱-۲- لامپهای هالوژنی:

این لامپها جزء لامپهای التهابی محسوب می شوند این لامپها از رشته سیمی از جنس تنگستن که درون حبای شیشه ای از جنس کوارتز که حاوی گاز هالوژن می باشد تشکیل شده که اتمهای تبخیر شده تنگستن بر اثر دمای بالا با گاز هالوژن ترکیب می شود ولی مجدداً به سطح سیم تنگستن بر میگردد به دلیل همین خاصیت گاز هالوژن سیم تنگستنی در این لامپ دمای بالاتری نسبت لامپ معمولی دارد بطوری که اگر این سیم در لامپ معمولی به این دما برسد تبخیر شده و باعث سیاه شدن قسمت بالای حباب لامپ می شود. این لامپها دارای مشخصاتی همچون :

- بازدهی بیش از ۲۵ لومن بر وات
- عمر نسبتاً طولانی ، ۲۰۰۰-۵۰۰۰ ساعت
- قابلیت کم وزیاد شدن نور

۲-۲- لامپهای معمولی :

این لامپها از رشته سیمی از جنس تنگستن که درون حبای شیشه ای که حاوی گاز خنثی آرگون می باشد تشکیل شده اند که آن رشته سیم در اثر قرار گرفتن در مسیر مستقیم جریان برق تا حدی ملتهب می شود که تولید نور می کند. از مشخصات آن می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- قیمت کم
- قابلیت کم و زیاد شدن نور
- روشن شدن بدو تاخیر
- بازدهی کم ، در حدود ۱۰-۲۵ لومن بر وات
- عمر کوتاه ، ۷۵۰۰ تا ۲۰۰۰ ساعت
- ایجاد حرارت بالا ، نزدیک به ۹۳ درصد انرژی را به گرما تبدیل می کند.
- یک لامپ معمولی ۱۰۰ وات حدود ۱۳۶۰ لومن و یک لامپ معمولی ۶۰ وات حدود ۶۶۰ لومن نور تولید می کند .

رنگ و روکشهای لامپهای ملتهب:

- رنگهای شفاف: با الکل رنگ شده و زود خراشیده می شوند.
- روکشهای پلاستیکی: خراشیده نمی شوند و به سختی کنده می شوند.
- روکشهای لعابی : از داخل شیشه به لعاب رنگی آغشته می شوند تا خراشیده نشوند .
- فیلترهای رنگی آبکاری حباب

۳- فیبرهای نوری :

این لامپها در واقع همان شلنگهای نوری می باشند و از آنجایی که خطر برق گرفتگی در این نوع لامپها وجود ندارد محدودیت چندانی از نظر استفاده شدن در محلهای مرطوب ندارند.



جنس آنها الیاف شیشه‌های بسیار نازک می باشد که جداره داخلی آن از مواد بازتاب کننده پوشانده شده تا نور را بصورت مداوم بازتاب کند و عبور دهد فیبر نوری نور تولید نمی کند بلکه نور را انتقال می دهد. دو نوع فیبر نوری وجود دارد که یکی از آنها شفاف است و نور از بدنه آن خارج می شود و در نوع دوم نور به انتهای فیبر نوری رسیده و در آنجا در اثر برخورد با یک کریستالی که برای همین منظور در آن جا تعبیه شده به شکلهای مختلف در در فضا پخش می شود. انتقال نور بدون حرارت و امواج فرا بنفش ، عدم نیاز به نگهداری و تعویض کابلها ، عدم خطر برق گرفتگی و قابلیت انعطاف از مزایای آن می باشد. و مهمترین نقطه ضعف آن نیاز به امکانات خاص جهت اتصال فیبر ها می باشد.

✓ **دیویدی** : علاوه بر انواع لامپهای ذکر شده نوع دیگری از لامپها نیز موجود می باشد که به لامپهای دیویدی LED موسومند که اخیرا استفاده از این لامپها رواج گرفته است این لامپها دارای کپسول بسیار کوچک بوده و معمولا بصورت گروهی برای روشنایی استفاده می شود و قابلیت روشن و خاموش شدن متوالی را دارند که از جمله کاربردهای آن در تابلوهای علائم چراغهای خودرو و می باشد . ضریب بهره برداری از نور در این لامپها ۷۵ تا ۵۰۰ لومن بر وات می باشد.

✓ **زنون** : جزء لامپهای تخلیه الکتریکی می باشد که درون آن از گاز زنون استفاده شده است. رنگ نور آن آبی مایل به سفید و ارغوانی می باشد. نور آن شبیه نور روز است و ۷۰ درصد بهتر از هالوژنها نور تولید می کند و جایگزین مناسبی برای لامپهای هالوژن اتومبیلها می باشد.

✓ **لیزر** : تولید نور بر اساس بر انگیختن اتمهای یک ماده پایه می باشد. شدت زیاد نور ، مستقیم بودن نور (خطی) ، دارای یک طول موج خاص ، از ویژگیهای لیزر می باشد . لیزرها از سه قسمت اصلی تشکیل شده اند:

- ۱- پمپ یا چشمه انرژی: این قسمت وظیفه تحریک ماده پایه را دارد
- ۲- ماده پایه و فعال : این ماده که در اثر تحریک شدن نور تولید می کند در گذشته کریستال بوده اما اکنون از مواد مختلفی استفاده می شود.
- ۳- مشدد کننده اپتیکی : نور را در بازتاب آینه ها تشدید می کند .

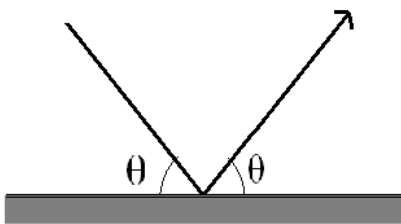
این نور برای زیبایی ، پزشکی ، تبلیغات ، و نور پردازی و کاربرد دارد و می توان با آن اشکال سه بعدی در فضا ایجاد کرد.

اثرات روانی رنگها

نام رنگ	تخیل حرارت	تخیل مسافت	اثر روانی
آبی	سرد	دور	آرامش بخش
سبز	خیلی سرد	دور	آرامش بخش
قرمز	گرم	نزدیک	تحریک کننده
زرد	خیلی گرم	نزدیک	محرک ضعیف
قهوه‌ای	بی اثر	خیلی نزدیک	بی حوصلگی
بنفش	سرد	خیلی نزدیک	اضطراب

انعکاس نور و انواع آن

هرچه ضریب انعکاس سطوح کمتر باشد دیدن آنها مشکل تر است و همچنین انعکاس سطوح داخلی نقش مهمی در توزیع روشنایی داخل دارد. به همین دلیل برای سقف ضریب انعکاس $0/7$ ، دیوار $0/5$ و کف $0/3$ مناسب است.



۱- **انعکاس آینه ای**: انعکاسی که پس از برخورد نور با سطح

صیقلی ایجاد می شود که در این حالت زاویه تابش و بازتابش با هم برابرند. انعکاس سطح آب و آینه از این نوع می باشند.

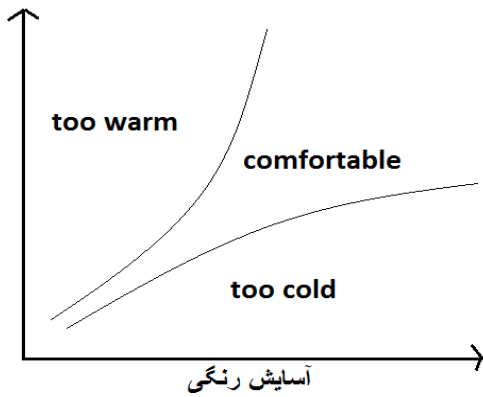
۲- **انعکاس پراکنده**: انعکاس از سطحی که صیقلی نباشد مانند انعکاس از سطح کاغذ

۳- **انعکاس گسترده**: انعکاس از سطحی نسبتاً صیقلی مانند سنگ و دیواری بارنگ روغنی یا کاغذ کلاسه

۴- **انعکاس ترکیبی**: این نوع انعکاس ترکیبی از تمامی انعکاسهای ذکر شده قبلی می باشد.

دیمر: جهت کاهش و افزایش شدت نور لامپ استفاده میشود که بصورت تدریجی نور را کم و زیاد می کند. **تباین**، همان کنتراست می باشد

بالاست: وسیله ای برای محدود نمودن جریان در حدود تعریف شده برای کار مطلوب چراغ



دمای رنگ نور (CCT): هر چقدر دمای منبع بیشتر شود رنگ آبی تر تولید می شود یعنی با افزایش دما از قرمز به زرد، سفید، سبز و آبی می رسد. دمای کمتر از ۳۳۰۰K گرم و دمای بین ۳۳۰۰ K تا ۵۳۰۰ K میانه و بالاتر از ۵۳۰۰K سرد می باشد سردی و گرمی رنگ بر حسب رنگ نور می باشد.

وضوح رنگها در نور (CRI): Colour Rendering Index این شاخص بیانگر وضوح رنگها تحت آن نور می باشد که از صفر تا ۱۰۰ می باشد اعداد کمتر از ۲۵ وضوح رنگها ضعیف و کمتر از ۶۵ متوسط و کمتر از ۹۰ خوب و بیشتر از ۹۰ عالی می باشد.

چراغ

برای بهره گیری حداکثر از توان نوری لامپ لازم است که لامپ را توسط سطوح محدود کننده ای که نور را به سمت فضای مورد استفاده متمرکز می کنند محدود گردد. چراغها انواع متنوعی دارند و بر اساس نوع لامپ به دو گروه اصلی نقطه ای و خطی تقسیم می شوند.

انواع چراغها

الف) چراغهای کفی :

۱- چراغ پایه دار (Floor lamp)

روی سطح قرار می گیرد و می تواند متحرک باشد جهت آن به سمت بالا (فراتاب) یا پایین (فروتاب) می تواند باشد و بر اساس نوع کاربرد و حس فضا و نوع مبلمان سنتی یا فانتری می تواند باشد. و برای انواع نورپردازی های عمومی، کاری (فعالیت های خاص)، تاکیدی و یا تلفیقی از آنها استفاده می گردد.

۲- چراغ رو میزی (Table lamp)

بسته به نوع دکراسیون انواع مختلفی دارد و به صورت ثابت یا متحرک می تواند باشد. انواع چراغهای مطالعه از این دسته می باشند. این چراغها جهت نورپردازی عمومی و کاری استفاده می شوند.

۳- نور افکن متحرک (Portable lamp)

این نوع چراغ جهت نورپردازی های تاکیدی و نورپردازی ویتروینها استفاده می شود.

۴- چراغ تابلو (Picture lamp)

جهت نورپردازی های تاکیدی استفاده می شود و به صورت کله ای یا نواری موجود می باشد که در گالری ها و منازل استفاده می شود.

۵- چراغ ویتترین و قفسه (Cabinet lamp)

این نوع چراغها جهت نورپردازی های نقطه ای و تاکیدی کاربرد دارند و در ویتترینهای جواهرات و کریستالها کاربرد دارد. در این نوع نورپردازی ضمن آنکه تلاش می شود تا از چشم زدگی پرهیز شود سعی می شود ظرافت و شکل آن جنس نمایش داده شده بصورت واضح و نمایان مشخص باشد.

ب) چراغهای سقفی و دیواری :

۱- لوستر (Chandelier-Pendant)

لوستر ها با فاصله از سقف نصب می شوند و آویز هستند . و به همین خاطر در فضاهایی با سقف کوتاه مناسب نمی باشند . در فضاهایی با سقف کوتاه بهتر است از فراتاب استفاده گردد تا سقف روشن شده و از انعکاس آن فضای مورد استفاده نیز روشن گردد.

۲- چراغهای سقفی و دیواری چسبیده (Scance)

این نوع چراغها بصورت نور پایین یا بالا و یا ترکیبی از آنها می تواند باشد. جهت نور کاری هم می توان از این چراغها استفاده کرد به شرط آنکه تمهیداتی اندیشیده شود که چشم زدگی ایجاد نکند.

۳- چراغهای ریلی (Track light)

در فضاهایی که از سبکهای جدید پیروی می کنند کاربرد دارد. در فضاهایی همچون گالری ها ، فروشگاهها ، آشپزخانه ها و کاربرد دارد.

۴- چراغهای جا سازی شده در سقف

در صورتی که سقف کاذب وجود داشته باشد می توان این چراغها در آن جا سازی کرد. این چراغها برای کنترل چشم زدگی مناسب می باشند . از این نوع چراغها برای نور پردازی کاری هم می توان استفاده کرد. ✓ بهترین زاویه نور پردازی تابلو این است که چراغ با افق ۶۰ و با عمود ۳۰ درجه زاویه بسازد.

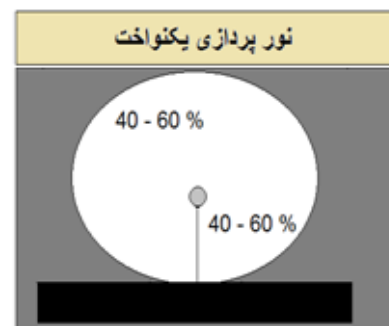
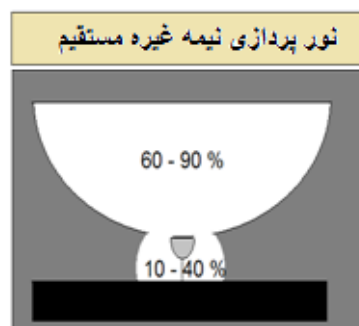
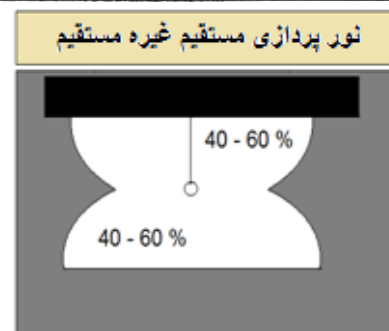
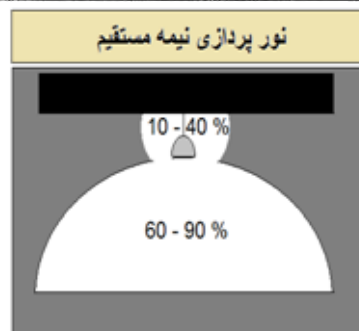
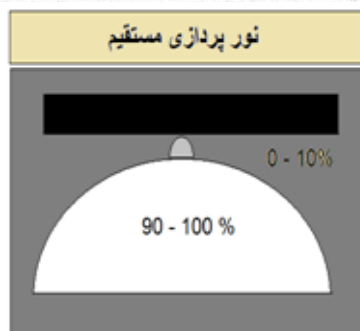
۵- چراغهای خورشیدی

شکلهای مختلفی دارند و برای نور پردازی باغچه و استفاده می شود این نوع چراغها در طول روز نور جذب می کند و در شب تولید نور می کند . معمولا دارای حسگرهایی هستند که با تاریک شدن هوا چراغ روشن می شود.

✓ **نور مخفی:** نور پردازی در شکافها و درزها به صورتی که چراغ و لامپ دیده نمی شود. و فقط امتداد نور دیده می شود فیبر های نوری و سیمهای درخشان برای این نوع نور پردازی مناسب می باشند.

انواع نور پردازی

سیستم روشنایی	نسبت پخش نور به پاتین	ضریب بهره روشنائی	شکل منحنی قطبی
مستقیم	٪۹۰-۱۰۰	۰/۴۵-۰/۷۵	
نیمه مستقیم	٪۶۰-۹۰	۰/۴۵-۰/۵۵	
پخش یکنواخت	٪۴۰-۶۰	۰/۳۵-۰/۴۵	
مستقیم- غیرمستقیم	٪۴۰-۶۰	۰/۳۵-۰/۴۵	
نیمه غیرمستقیم	٪۱۰-۴۰	۰/۲۵-۰/۳۵	
غیر مستقیم	٪۰-۱۰	۰/۱۵-۰/۲۰	



نور پردازی

ورودی، پله ها و راهروها: در این فضاها ایمنی و امنیت مهمترین و الویت می باشد نورپردازی باید متناسب با حجم فضا باشد، جهت جلوگیری از چشم زدگی از آینه کمتر استفاده شود، تمام مسیر پله روشنائی لازم را داشته باشد، کلیدها در ابتدا و انتهای مسیر قابل روشن و خاموش شدن باشند در راهرو های باریک نور باید به

گونه ای باشد که احساس گشادگی ایجاد نکند . در فضاهای بیرونی باید از چراغهایی که نسبت به شرایط جوی مقاوم می باشد استفاده گردد.



اتاق نشیمن: از آن جایی که از این فضا جهت استراحت ، مطالعه ، گفتگو و کار استفاده میشود باید نورپردازی آن بصورت عمومی ، کاری ، و تاکیدی باشد بسته به سبک اتاق نوع چراغ تعیین می گردد . نور پردازی تاکیدی برای تابلوها ، مجسمه ها و کاربرد دارد . نور رنگی ترجیحا نباید در منازل استفاده شود . قسمتی از نور بصورت طبیعی ، نور شمع یا شومینه و..... می تواند باشد. دمای رنگ نور منازل ۲۵۰۰—۳۰۰۰ می باشد. ضمینه و شیئی نباید کنتراست شدید داشته باشند از اینرو در هنگام تماشای تلویزیون نباید کاملا فضا تاریک باشد .

✓ در پلان نورپردازی جای هر چراغ ، نوع لامپ و کلید آن نشان داده می شود.

اتاق غذا خوری : روی میز باید روشن باشد ، جلوه ظروف و غذا مهم است از چراغهای آویز ، سقفی و یا پایه دار می توان استفاده کرد ، نور مستقیم مناسب این فضاها می باشد ولی از نور غیره مستقیم هم می توان استفاده نمود از نور مخفی هم می توان استفاده کرد . فاصله مناسب چراغ از میز بین ۹۰-۷۵ سانتیمتر می باشد. استفاده از لوستر در روی میز کنفرانس ممنوع می باشد.

آشپزخانه : رنگ نور باید مناسب باشد از ایجاد سایه باید اجتناب کرد و نور باید به گونه ای باشد که داخل کابینتها مشخص باشد در این فضاها نور پردازی باید جذاب و زیبا باشد در زیر کابینت بالایی می توان از نور مخفی استفاده کرد ترجیحا چراغ ، صرفا در وسط سقف به خاطر ایجاد سایه نباشد و برای هر فعالیتی نورپردازی در نظر گرفته شود همچون چراغ بالای اجاق گاز و از لامپ فلورسنت استفاده نگردد.

اتاق خواب : نور چراغ کنار تخت نباید مستقیما به چشم بخورد . ۱۰۰ لوکس نور برای این فضا کافی می باشد. نور موضعی مستقیم نباید استفاده گردد. میز توالت باید نور غیره رنگی داشته باشد (بهترین نور برای گریم نور روز می باشد) نور عمومی می تواند در دیوار یا سقف بصورت مخفی باشد. در صورت استفاده از نور رنگی نور آبی روشن مناسب می باشد.

اتاق خواب کودک : اختلال بینایی در کودکانی که عادت به خوابیدن در اتاق روشن دارند ۵ برابر بیشتر می باشد. بعلت ایمنی از چراغ پایه دار استفاده نشود بهتر است از چراغهای دیواری تایمر دار استفاده شود فضا نباید کاملا تاریک باشد. بچه ها دوست دارند منبع نور را ببینند و چشم زدگی برایشان مهم نیست.

سرویس بهداشتی : با توجه به اینکه در سرویسها آینه و سطوح صیقلی زیادی وجود دارند، تامین نورهای متفاوت با اجتناب از پیدایش بازتابهای خیره کننده کاری دقیق است. نورپردازی آینه در سرویسها مهم است نور شیری رنگ ر از اطراف آینه می تواند نور مناسبی باشد نور پایین بدترین نور است استفاده از لامپهای فلورسنت در

این فضاها توصیه نمی شود . بهتر است از نور رنگی استفاده نشود و در صورت استفاده نور آبی ملایم مناسبتر است.

نور پردازی عمومی حمام باید حدود ۱۰۰ لوکس باشد. ولی میزان نور در مقابل آینه باید حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ لوکس باشد. هنگام نگاه کردن به آینه نور باید چهره را روشن کند.

محیط اداری: از آنجایی که عموماً بیشتر فعالیت اداری در طول روز انجام میگیرد روشنایی مصنوعی جنبه ی مکمل را دارد. در ساختمانهای اداری که عرض ساختمان زیاد است، اغلب بخشهای مرکزی ساختمان نور طبیعی مستقیم و کافی ندارند در بخشهای مرکزی ساختمان نور مصنوعی اولویت دارد در مکانهای کاری نزدیک به پنجره، چنانچه پنجره رو به جنوب، غرب یا شرق باشد. اجتناب از خیرگی با استفاده از انواع وسایل شکست یا کاهش نور مستقیم اهمیت میابد. استفاده از نور زمینه اجباری می باشد و نباید از نور رنگی در این فضاها استفاده کرد. اگر میزهای کار با توجه به نور طبیعی پنجره ها طراحی شوند، نور مصنوعی میتواند در نزدیکی پنجره نیز قرار گیرد. تفاوت بین جهت تابش نور طبیعی و مصنوعی به حداقل برسد. محل های تردد، ورود و خروج باید به صورت یکنواخت و کافی روشن شوند. ۱۰۰ الی ۱۵۰ لوکس روشنایی برای اینگونه فضاها کافی است. قسمت بیرونی فضای ورودی باید حداقل ۵۰ لوکس روشنایی داشته باشد. نمای بیرونی ساختمانهای اداری به لحاظ نور پردازی مهم است. چراغها باید در رابطه با فرم معماری نما طراحی شوند. چنانچه نمای ساختمان در خیابانها و معبر عمومی قرار گیرد، بخش پایینی نما میتواند نور پردازی قویتری در مقایسه با قسمتهای بالایی نما (در مورد ساختمانهای مرتفع اداری) داشته باشد.

کلاسهای آموزشی: در این فضاها توجه به توزیع یکنواخت نور اهمیت ویژه دارد. باید به گونه ای برنامه ریزی گردد که افرادی که دور تر از پنجره قرار دارند به همان نسبتی که افراد کنار پنجره از نور بهره مند می شوند از نور استفاده کنند. نور باید روی صندلی ها متمرکز گردد از انعکاس نور روی پرده باید اجتناب کرد. نور کم در کلاس باعث خواب آلودگی می شود

گالریها: بر اساس عواملی مانند آنچه به نمایش می گذاریم از قبیل، تابلوها، مجسمه ها، اشیاء و و همچنین شرایط سنی افراد بازدید کننده نور پردازی گالریها تعیین می شود. برای حفاظت از اشیاء در مقابل نور باید به **شدت نور و مدت زمان** قرار گیری اشیاء در معرض نور توجه گردد. جهت کاهش شدت نور از لامپهای رنگی با نور کم نیز استفاده می گردد. شدت مجاز نور برای اشیاء بر اساس حساسیت آنها تعیین می گردد.

گروه نسبتاً حساس	گروه بسیار حساس
۲۰۰ لوکس و کمتر	۵۰ لوکس و کمتر

چند راهکار برای کاهش زمان قرار گیری اشیاء در مقابل نور

۱- استفاده از تایمر ۲- استفاده از دیمر ۳- استفاده از نور افکن های ضد UV

۴- تعدیل کردن نور با استفاده از سنسورهای برای پرده ها و سایه بانها

یکی از ساده ترین راههای نور پردازی در گالری ها استفاده از **trak lighting** است که قابل چرخش بوده و با استفاده از آن می توان هر نقطه دلخواه را روشن کرد.

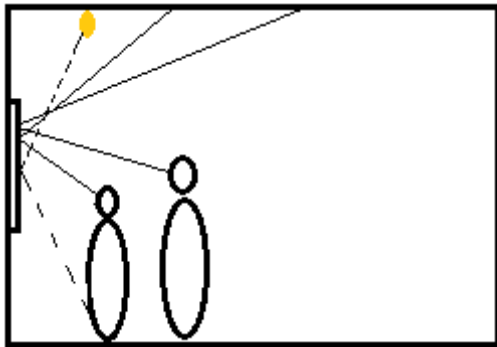
جهت نور پردازی هم یکی از مهمترین عوامل در نور پردازی می باشد . برای مثال در سطحی مانند بتن اگر نور به موازات سطح باشد به دلیل برجستگی های موجود در سطح بتن آنرا سطحی زبر و خشن نشان می دهد اما در اگر جهت نور عمود بر سطح باشد سطح صاف و نرم جلوه می کند .

Cove lighting همان نور پردازی مخفی می باشد که روی دیوار تعبیه می شود تا انعکاسی روی تابلوها ایجاد نگردد و باعث چشم زدگی نشود.

Valance lighting نوعی از نور پردازی می باشد که یک لامپ روی دیوار تعبیه شده و روی آن یک صفحه قرار می گیرد و نور از فاصله مابین آن صفحه و دیوار خارج می شود.

Cornic lighting در مقابل چراغی که در سقف قرار دارد صفحه ایی قرار می دهیم تا نور به سمت پایین بتابد . در صورتی که در زیر آن لوور تعبیه گردد می توان میزان نور را تنظیم کرد.

Baffles صفحه های معلق زیر لامپ می باشند که جهت کنترل نور و یکنواخت کردن نور فضا به کار می روند.



نور پردازی باید به شکلی باشد که مستقیم در چشم افراد انعکاس نداشته باشد بر این اساس ناحیه **offending** تعیین می گردد تا لامپ در آن ناحیه قرار نگیرد.

نور روز برای گالریها مناسب نمی باشد زیرا که تنظیم آن نسبتا مشکل می باشد .

نور پردازی فروشگاهها

مهمترین بخش در نور پردازی فروشگاهها به ترتیب ویتترین و ورودی می باشد.

قسمت پشت برخی از ویتترینها کدر می باشد و از داخل آن فروشگاه مشخص نیست برخی دیگر نیمه شفاف برخی هم شفاف می باشد که هر کدام از این نوع ویتترینها نور پردازی خاص خود را دارند.

نوع کالا در نور پرداز عامل تعیین کننده ای می باشد رنگ نور برای برخی کالاها مانند لباس و لوازم آرایش بسیار مهم است ولی در برخی موارد همچون سوپر مارکتها اهمیت چندانی ندارد.

فروشگاههای پر کار : در فروشگاههای پر رفت و آمد و عمومی مانند فروشگاههای زنجیره ای و میادین میوه و تره بار که مردم به صورت روزانه جهت خرید مجبور به مراجعه به آنها هستند نیازی به نور پردازی دعوت کننده نیست و تنها یک نور عمومی کافی می باشد.

فروشگاه میانه : کمی لوکس تر و گرانتر بوده و کالاهایی همچون لوازم خانه ، لوازم التحریر ، لباس ، لوازم صوتی و تصویری و را عرضه می کنند که در این فروشگاهها نور عمومی و در برخی جاها نور تاکیدی وجود دارد .

فروشگاه سطح بالا : در این فروشگاهها که کالاهای نسبتا گران قیمت عرضه می شود از نور عمومی کم و نور تاکیدی زیاد استفاده می شود در این فروشگاهها باید از شیشه های ضد انعکاس برای ویتترینها استفاده گردد و در روز نور داخل ویتترینها نسبتا زیاد باشد تا اشیاء داخل آنها کاملا مشخص باشد.

جهت نمایش لباسها و کالاهای کودکان باید از نورهای رنگی و مهیج مانند نارنجی ، صورتی ، قرمز ، زرد استفاده گردد.

نور پردازی هتل : اولین نور پردازی ها در هتل از بیرون است . هتل باید خود را نشان دهد و به نمایش بگذرد چون که برای افراد قریبه در شهر ساخته شده است .

ورودی هتل که به لابی منتهی می شود باید کاملا روشن بوده و با نور پردازی بر ورودی تاکید گردد. لابی مجلل ترین قسمت هتل می باشد و اولین مدلهای نور پردازی در لابیهای هتلها اجرا می شود. هنگام ورود به لابی اولین قسمتی که باید خود را نشان دهد پذیرش است به همین خاطر باید نور پردازی مناسبی داشته باشد.

راهروهای هتل باید نور کمی داشته باشند زیرا که در این صورت نا خودآگاه افراد را به سکوت دعوت می کند ، چرا که در اتاقها افراد در هر ساعتی ممکن است در حال استراحت باشند. پنجره های اتاقهای هتل باید دارای پرده هایی باشد که به هیچ وجه امکان عبور نور از آنها وجود نداشته باشد تا بتوان نور روز را کنترل کرد و در هر ساعتی استراحت کرد. در کنار تخت خواب نیز کلیدی جهت کنترل نور باید وجود داشته باشد.

نور پردازی رستوران

رنگ نور روی غذاها تاثیر می گذارد رنگ سبز کاهو و سبزیجات را خوب جلوه می کند و رنگ صورتی و قرمز گوجه و گوشت را خوب جلوه می کند. پس باید از نورهای استفاده گردد که همه چیز خوب نشان داده شود.

در فست فودها که نشستن طولانی نیست از نور شدیدتر و رنگهای تند تر که احساس آرامش ندارند استفاده می شود ولی در رستورانهای دیگر که مراحل خوردن غذا طولانی تر است نور عمومی کم است و آسایش وجود دارد نور روی میزهاست تا غذاها دیده شوند کنتراست تاریک و روشن نباید در این فضا وجود داشته باشد.

در رستورانهای سنتی باید از نور شمع و یا چراغ استفاده کرد تا طبیعی جلوه داده شود و همچنین دمای رنگ نور نیز باید پایین باشد (زرد ، طلایی و)

نور پردازی سالنها

نورپردازی بیرونی سالنها بسیار مهم است و می تواند به عنوان نماد شهری در شهر جلوه کند برای زنده نگه داشتن شهر در شب و همچنین ایجاد زیبایی و احساس امنیت نور پردازی بناهای شهری بسیار مهم است .(از نمای این بناها رسانه ها برای تبلیغات استفاده می کنند.)

به استفاده از step lighting برای روشن کردن مسیر عبور در سالنها و عدم ایجاد نور مزاحم در صحنه باید توجه کرد.

نور پردازی نما

مهمترین نکته در نور پردازی نما این است که نور فقط نما را روشن کند و منبع نور دیده نشود که باعث چشم زدگی گردد. چراغهای نور پردازی نما باید قدرت پرتاب نور را داشته باشند به همین منظور معمولاً از پرژکتور استفاده می شود. برای نور پردازی ابتدا باید نوع پروژه مشخص گردد و هدف از نور پردازی آن تعریف شود تا بر اساس ایده پردازی و با استفاده از ابزار نتیجه تعیین شده محقق گردد.

نور پردازی فضاهای باز

نور طبیعی نور مصنوعی تفاوت بصری زیادی را در اشیاء ایجاد می کنند در شب می توان یک سری از اشیاء را نشان نداد و آنچه که مد نظرمان است را با نور پردازی تاکید کرد. با نور پردازی می توان جهت ها را نشان داد وضوح بخشی به فضاها با نور در شب ایجاد احساس امنیت می کند.

انواع چراغهای محوطه : ۱- چراغهایی که داخل زمین قرار می گیرند ۲- چراغ هایی که در روی زمین قرار می گیرند و در سه نوع پایه کوتاه متوسط و بلند می باشند ۳- چراغهایی که به دیوار نصب می شوند.

اندیشیدن به اینکه چه چیزی در سایه باشد از تکنیکهای مهم نور پردازی است. ایجاد سایه روشن و کنتراست و حرکت روی دیوارها در نورپردازی می تواند جالب باشد.

اصول و مبانی صدا

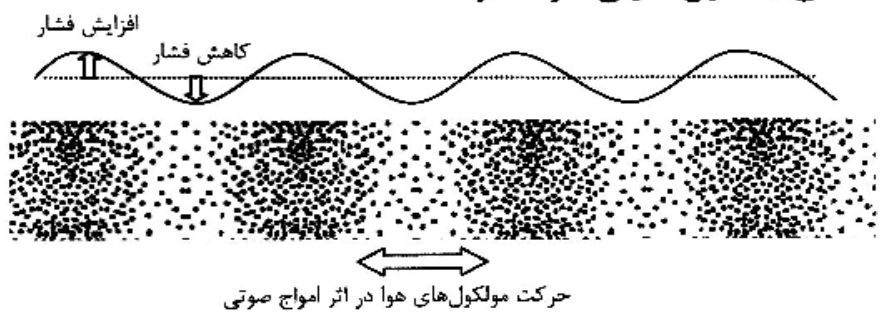
مقدمه

صدا وسیله ارتباط است، ارتباط انسانها با یکدیگر، ارتباط با طبیعت و حتی ارتباط با اشیاء ساخته شده توسط خود انسان. صدا اولین وسیله ارتباط انسانها با یکدیگر و با طبیعت بوده است و علم تولید، انتشار و دریافت صدا آکوستیک نام دارد.

ماهیت صدا

فیزیک و ماهیت صدا، شاخه‌ای از علم فیزیک است که با انعکاس و کیفیت صدا رسانی سر و کار دارد. یک جسم در حال ارتعاش، حالت ناپایدار موجی شکلی در محیط پیرامون خود که فراگیره نامیده می‌شود پدید می‌آورد. این امواج هرچه از منبع ارتعاش دورتر می‌گردند، انرژی آنها توسط فراگیره جذب و به تدریج از بین می‌روند. بنابراین پدیده‌ای احساسی که توسط یک ارتعاش گوش انسان را تحریک می‌نماید، صدا یا صوت نامیده شده و فضایی که در آن این پدیده رخ می‌دهد، میدان آکوستیکی نامیده می‌شود.

از انتشار فشار ذرات به یکدیگر موج پدید می‌آید. اگر این جابجایی‌ها بیش از ۱۶ بار در ثانیه باشد، صدا ایجاد می‌شود و اگر همین افزایش و کاهش فشار در یک مسافت خاص به تصویر کشیده شود، آنچه به دست می‌آید امواج صوتی خواهد بود.



کمیت‌های صوتی

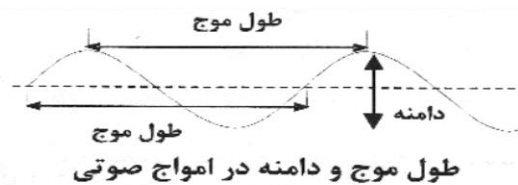
به منظور تشریح امواج صوتی از مفاهیم ذیل استفاده می‌شود:

دامنه: عبارت است از فاصله بین دو نقطه بیشینه و کمینه فشار در امواج صوتی. در بسیاری از منابع آکوستیکی، از صفر تا نقطه بیشینه مقدار مثبت و از صفر تا نقطه کمینه مقدار منفی خوانده می‌شود.

فرکانس (بسامد): عبارت است از تعداد نوسانات کامل امواج در یک ثانیه که از یک نقطه معینی عبور کنند. واحد تعداد نوسانات در ثانیه، هرتز (Hz) نامیده می‌شود. به عنوان مثال یک کیلوهرتز که معادل ۱۰۰۰ Hz است، یعنی تعداد ۱۰۰۰ موج در ثانیه.

سرعت صوت: عبارت است از مقدار مسافت طی شده توسط امواج صوتی در مدت یک ثانیه. این مسئله بستگی به جنس و دمای محیطی دارد که امواج صوتی در آن حرکت می‌کنند. از آنجایی که بحث اصلی در خصوص سرعت حرکت صدا در هوا است، رابطه زیر تأثیر درجه حرارت هوا را در سرعت حرکت امواج صوتی بیان می‌دارد:

$$V = 331.5 + (0.6 T) \quad \text{در معادله فوق: } V: \text{سرعت صدا (m/s)} \\ T: \text{دمای هوا (}^{\circ}\text{C)}$$



همچنین سرعت صدا با رطوبت نیز رابطه مستقیم دارد. هر قدر رطوبت هوا بیشتر باشد سرعت صدا نیز بیشتر است. جدول زیر سرعت حرکت امواج صوتی را در مواد مختلف نشان می‌دهد.

سرعت صدا در مواد مختلف (Hirschorn, 1989)

جنس	سرعت (m/s)	جنس	سرعت (m/s)
فولاد	۶۱۰۰	بتن	۳۲۳۱
آلومینیوم	۴۸۷۷	آب	۱۴۳۳
آجر	۴۱۷۶	سرب	۱۱۵۸
چوب	۳۹۶۲	چوب پنبه	۳۶۶
شیشه	۳۹۶۲	هوا	۳۴۴
مس	۳۹۰۱	لاستیک	۱۵۰
برنج	۳۴۷۵	الماس	۱۲۰۰۰

طول موج : عبارت است از فاصله بین دو نقطه متوالی و همانند، مانند فاصله بین دو بیشینه و یا دو کمینه.

طول موج به سرعت و نیز فرکانس صدا بستگی دارد. این ارتباط به صورت رابطه زیر نمایش داده می‌شود:

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

λ : طول موج (m)

V : سرعت صدا (m/s)

f : فرکانس (Hz)



در معادله فوق:

با توجه به معادله فوق و سرعت صدا در هوا که برابر با ۳۴۴ (m/s) است، می‌توان طول موج اصوات مختلف با فرکانس‌های متفاوت را محاسبه کرد. به عنوان مثال، طول موجی با فرکانس ۱۰۰۰ Hz برابر با ۳۴/۴ cm است.

اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های صدا با انواع مختلف میکروفون انجام می‌پذیرد. این نوع از ویژگی‌های صوتی که قابل اندازه‌گیری می‌باشند عبارتند از:

توان : عبارت است از مقدار انرژی خروجی از یک منبع صوتی در واحد زمان که با واحد وات (W) اندازه‌گیری می‌شود.

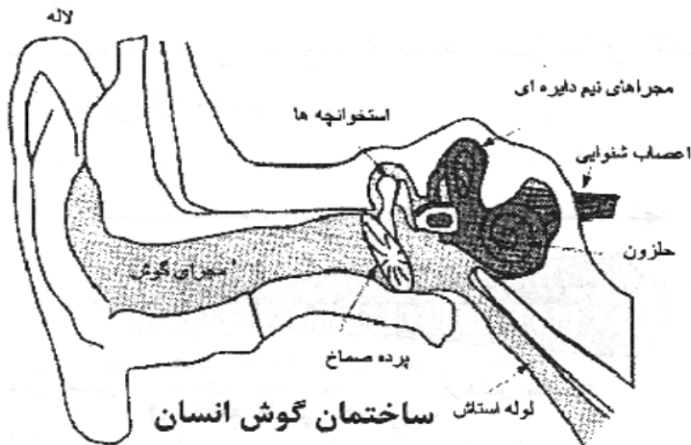
فشار : عبارت است از میزان تغییر فشار اتمسفریک ایجاد شده توسط صدا در محیط فراگیره. فشار صدا مقداری بی نهایت کوچک است که با واحد پاسکال (Pa) سنجیده می‌شود.

شدت : عبارت است از میزان انرژی صوتی که در واحد زمان بر واحد سطح عمود بر جهت انتشار موج می‌رسد و با واحد (W/m^2) اندازه‌گیری می‌شود.

امواج ساکن : در تداخل امواج چنانچه دو موج با فرکانس‌های یکسان مثلاً امواج منتشر شده و بازتاب با یکدیگر ترکیب شوند، ممکن است به علت اختلاف فاز یکصد و هشتاد درجه در بعضی نقاط یکدیگر را تضعیف کرده و نیز تساوی فازها یکدیگر را تقویت کنند. از آنجائی که محل این نقاط ثابت است الگوی بوجود آمده به امواج ساکن معروف است.

ساختمان گوش انسان

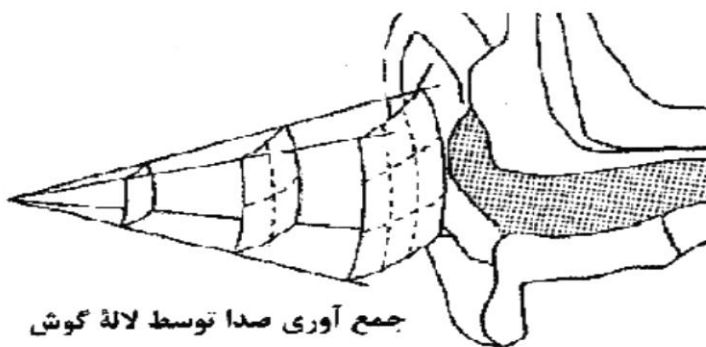
گوش عضو مربوط به حس شنوایی بوده و در استخوان گیجگاهی واقع شده است. اگر امواج صوتی در مسیر حرکت خود به جسمی از قبیل پرده گوش برخورد کنند و آن را به همان اندازه مرتعش سازند، ارتعاش پرده گوش به وسیله اندامهای گوش داخلی به مراکز اعصاب شنوایی منتقل گشته و در نتیجه صدا شنیده می شود و عکس العمل لازم صادر می شود. ساختمان گوش به سه قسمت اصلی تقسیم می شود: گوش خارجی، گوش میانی و گوش داخلی. گوش خارجی شامل لاله گوش و مجرای گوش خارجی می باشد. لاله گوش شامل یک



بخش فوقانی متشکل از غضروف و یک قسمت تحتانی به نام نرمه گوش است. مجرای گوش خارجی لوله ای در حدود ۴ سانتیمتر است که از قسمت لاله گوش تا پرده صماخ امتداد دارد. مجرای گوش خارجی توسط پرده صماخ از گوش میانی جدا می شود. پرده صماخ پرده بیضی شکلی است که به طور مایل قرار گرفته و زاویه ای در حدود ۵۵ درجه با کف مجرای گوش خارجی می سازد و قطر آن در بزرگترین قسمت ۹ الی ۱۰ میلیمتر است. جهت یابی منبع صدا توسط گوش

مغز انسان قادر است جهت یک صدا را توسط روش های زیر تشخیص دهد:

تأخیر صدا در دو گوش: این امر کاملاً بستگی به تأخیر زمانی بین تحریک هر یک از دو گوش دارد. فاصله بین دو گوش در انسان در حدود ۱۵۰mm است. مغز قادر به تشخیص تأخیر صدایی است که هم زمان از دو گوش شنیده می شود. بنابراین اعصاب شنوایی هر یک از گوش ها که زودتر تحریک شود به معنی آن است که صدا از آن جهت می آید.



تأثیر لاله گوش: فرم لاله گوش به صورتی است که صدای مقابل خود را مانند شکل جمع آوری کرده و به طرف مجرای گوش هدایت می کند. صدایی که از بالا و یا پشت سر باشد، به واسطه انعکاس صدا از نظر طیفی اندکی متفاوت می گردد که همین امر موجب تشخیص جهت آن می گردد.

تشخیص فاصله منبع صوتی

مغز همچنین قادر به تشخیص فاصله منبع صدا از راه های زیر است:

کاهش شدت صدا در اثر فاصله و جذب توسط مولکول های هوا؛

تغییرات طیفی حاصله از جذب و انعکاس صوت؛

تراز انعکاس و طنین صدا.

محدوده شنوایی

گوش انسان صدایی که نوار فرکانس آن از ۲۰ Hz الی ۲۰۰۰۰ Hz باشد را می‌شنود که به آن محدوده و یا میدان شنوایی می‌گویند. حد بالای آن با بالا رفتن سن کاهش می‌یابد و در سن چهل سالگی در حدود ۱۶۰۰۰ Hz است. نوسانات آرام‌تر از ۱۶ Hz به صورت لرزه احساس شده که در صنعت از آن استفاده می‌گردد. همچنین نوسانات بیش از ۲۰۰۰۰ Hz را برخی از جانوران مانند سگ (تا ۳۰۰۰۰ Hz) و خفاش، (بیش از ۹۰۰۰۰ Hz) می‌شنوند. این گونه امواج استفاده‌های علمی و صنعتی داشته و ارتباطی با آکوستیک و معماری ندارند. به فرکانس صوتی پایین‌تر از ۲۰ هرتز فروصوت و به فرکانس‌های صوتی بالاتر از ۲۰ هزار هرتز فراصوت اطلاق می‌گردد. با اینکه فراصوت و فروصوت توسط انسان قابل شنیدن نمی‌باشند، اما فردی که در معرض آنها قرار می‌گیرد دچار احساس سرگیجه، تهوع و سردرد می‌گردد.

گوش انسان امواج صوتی با فرکانس‌های ۵۰۰ Hz الی ۴۰۰۰ Hz را به راحتی و بدون زحمت درک می‌کند. حساسیت گوش به فرکانس‌های پایین (بم) به مراتب کمتر است. اگر گوش انسان قادر به شنیدن اصوات با فرکانس پایین‌تر از ۱۶ Hz بود، زندگی کردن بسیار دشوار می‌شد زیرا در آن صورت صدای گردش خون و یا هضم غذا شنیده و همواره صدایی شبیه به ریزش آبشار حس می‌شد.

صداها با فرکانس کمتر از ۲۵۰ هرتز صدای بم، بین ۵۰۰ الی ۱۰۰۰ هرتز صدای وسط و بالاتر از ۱۰۰۰ هرتز از لحاظ احساسی صدای زیر هستند.

شدت صدای آستانه شنوایی، ضعیف‌ترین صدایی است که گوش انسان می‌تواند آن را بشنود. آستانه شنوایی گوش انسان بر اساس دو معیار شدت و فشار صدا که در فرکانس ۱۰۰۰ Hz اندازه‌گیری شده به صورت زیر قابل بیان است:

الف- آستانه شنوایی بر حسب شدت صدا عبارت است از: $I_0 = 10^{-12} = 10^{-12} \text{ (W/m}^2\text{)}$

ب- آستانه شنوایی بر حسب فشار صدا عبارت است از: $P_0 = 2 \times 10^{-5} = 2 \times 10^{-5} \text{ (Pa)}$
مقادیر عنوان شده در بالا حداقل صدایی است که گوش انسان قادر به شنیدن آن است. حد بالای حساسیت گوش نیز آستانه دردناکی نامیده می‌شود که بیش از حد تحمل و درد آور می‌گردد. بین این دو آستانه، میدان شنوایی قرار دارد.

فرکانس (Hz)	۲۰ الی ۲۰۰۰۰
شدت (W/m^2)	10^{-12} الی ۱۰
فشار (Pa)	2×10^{-5} الی ۲۰۰

میدان شنوایی گوش انسان ←

تراز شدت و فشار صدا بر حسب دسی‌بل

از آن جایی که مقادیر شدت و فشار صدا دارای ارقام زیادی بوده و به خاطر سپردن آنها مشکل است، از این رو به منظور سهولت، از تراز شدت و تراز فشار صدا یعنی لگاریتم این اعداد به جای آنها استفاده می‌شود که به خاطر داشتن آنها به مراتب سهل‌تر و عملی‌تر بوده و واحد آن به افتخار الکساندر گراهام بل فیزیک‌دان آمریکایی، دسی‌بل نام گذاری شده است. طبق توصیه مؤسسه استاندارد جهانی، تراز فشار صدا و تراز شدت صدا که مقدار آنها در عمل با یکدیگر برابر هستند، از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

L_I : تراز شدت صدا (dB)

L_P : تراز فشار صدا (dB)

$$L_P = 20 \cdot \log \frac{P}{P_0}$$

I_0 : شدت صدای آستانه (10^{-12} W/m^2)

P_0 : فشار صدای آستانه $(2 \times 10^{-5} \text{ Pa})$

I : شدت صدای مورد نظر (W/m^2)

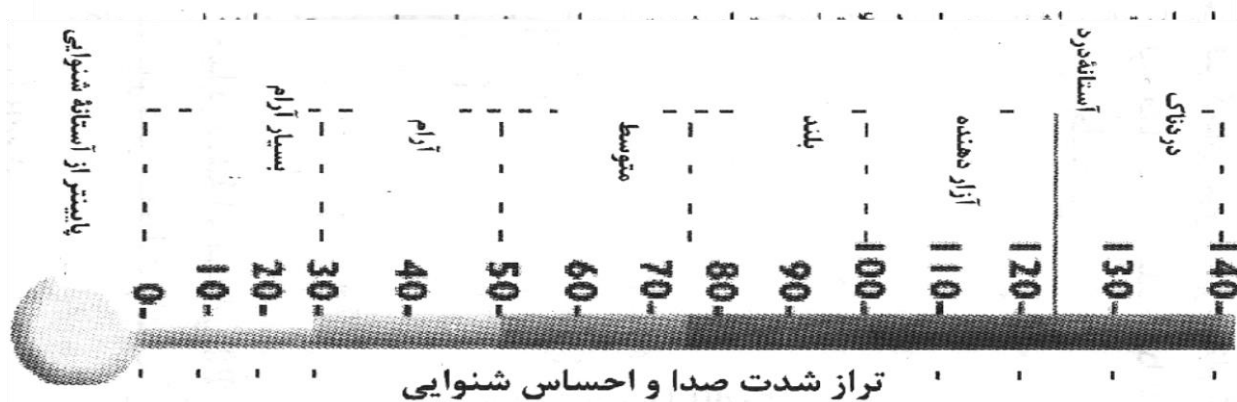
P : فشار صدای مورد نظر (Pa)

در معادلات فوق:

بنابراین می‌توان گفت که تراز صدا در نقطهٔ آستانهٔ شنوایی ($I=I_0$, $P=P_0$) برابر با صفر دسی‌بل خواهد بود. همچنین با دو برابر شدن شدت صدا، تراز شدت آن ۳dB افزایش یافته و با:

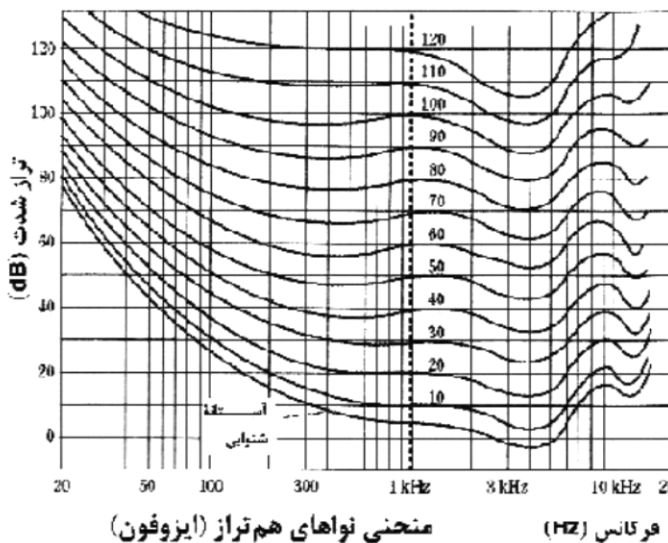
- ۱۰ برابر شدن شدت صدا، تراز صدا ۱۰dB؛
- ۱۰۰ برابر شدن شدت صدا، تراز صدا ۲۰dB؛
- ۱۰۰۰ برابر شدن شدت صدا، تراز صدا ۳۰dB؛ و به همین ترتیب افزایش می‌یابد.

محدودهٔ شنوایی انسان در مقیاس دسی‌بل بین صفر الی یکصد و چهل بوده و آستانهٔ دردناکی ۱۲۰ دسی‌بل می‌باشد. شکل تراز صداهای مختلف را از نظر احساس شنوایی مورد مقایسه قرار می‌دهد. ادراک بلندی صدا نیز در انسان لگاریتمی است بطوری که به ازای هر ۱۰ دسی‌بل افزایش در تراز شدت صدا، ادراک بلندی صدا نیز دو برابر می‌گردد. بنابراین به عنوان مثال، تراز شدت صدای ۸۰ دسی‌بل یک میلیون بار شدید تر از ۲۰ دسی‌بل بوده و ۶۴



بلندی صدا

بلندی صدا به طور کلی به دو عامل حساسیت گوش و شدت امواج بستگی دارد. شدت امواج نیز به دامنهٔ آن بستگی دارد.

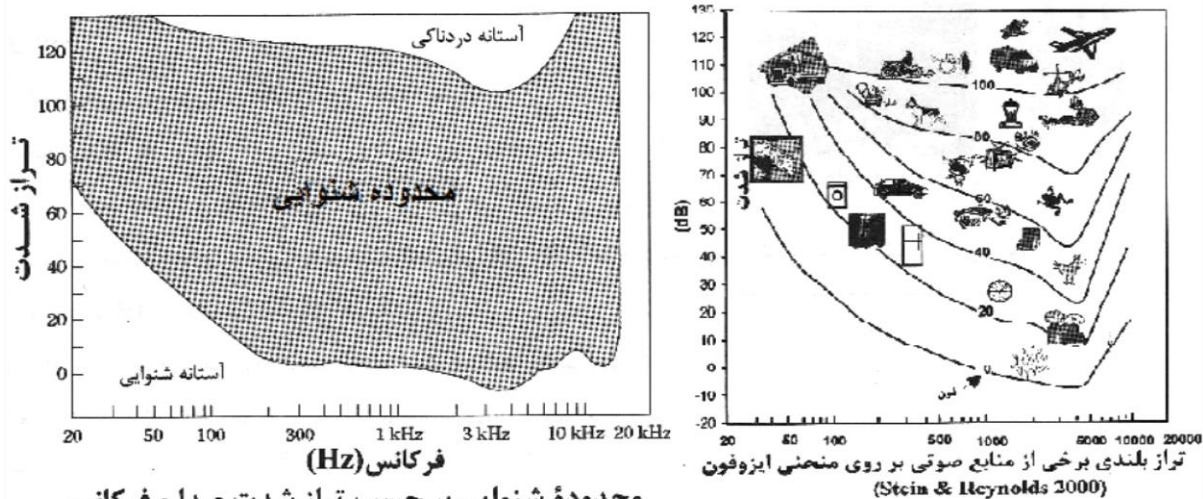


نغمهٔ نابی که تراز شدت آن ۲۰dB و فرکانس آن ۱۰۰۰Hz باشد، کاملاً قابل درک و شنیدن است. در صورتی که صدایی با فرکانس ۱۰۰Hz که تراز شدت آن همان ۲۰dB باشد، کاملاً پایین‌تر از آستانهٔ شنوایی قرار می‌گیرد و شنیده نمی‌شود. بنابراین بلندی چنین صدایی تنها تابع شدت آن نبوده بلکه تابع فرکانس آن هم هست.

بلندی صدای هریک از این منحنی‌ها، در تمام طول آن ثابت است. فون مقیاسی برای تراز

بلندی صدا است. این منحنی‌ها به این طریق رسم می‌شوند که تن مأخذ سنجش که ۱۰۰۰Hz است با تن‌های دیگر و فرکانس‌های متفاوت سنجیده می‌شود. به این صورت که تراز شدت تن دوم را طوری تغییر می‌دهند که شنونده بلندی را بین تن مأخذ و تن دوم به طور مساوی احساس کند.

به عنوان مثال تن خالصی با فرکانس ۱۲۵Hz با تراز شدت ۴۰dB به همان اندازه بلند شنیده می‌شود که تن خالصی با فرکانس ۱۰۰۰Hz که دارای تراز شدت ۳۰dB باشد. از این رو تراز بلندی صدایی با فرکانس ۱۲۵Hz و تراز شدت ۴۰dB بنا به تعریف برابر ۳۰ فون است. به سبب ماهیت لگاریتمی فون، نمی‌توان انتظار داشت که صدایی که تراز بلندی آن ۶۰ فون است دو برابر بلندتر از صدایی باشد که تراز بلندی آن ۳۰ فون باشد. به طور متوسط با دو برابر کردن بلندی صدا بر حسب فون، تنها ۶dB به بلندی واقعی آن افزوده می‌گردد.



اگر شدت صدایی ثابت ولی فرکانس آن تغییر کرده و به همین ترتیب اگر فرکانس آن ثابت و شدت آن تغییر نماید، در هر دو صورت بلندی صدا تغییر می‌یابد. شکل تراز بلندی برخی از منابع صوتی را در منحنی ایزوفون نشان می‌دهد.

جمع کردن صداها

از آن جایی که نمی‌توان تراز شدت صداها را به سادگی جمع کرد، برای سهولت بیشتر از مقیاس سون استفاده می‌گردد. هر دو برابر شدن عدد سون معادل دو برابر شدن بلندی صدا است که احساسی است ذهنی در یک مقیاس اندازه‌گیری حقیقی بلندی. در نتیجه آزمایشات مکرر، رابطه‌ای بین تراز بلندی بر حسب فون و بلندی ذهنی بر حسب سون برقرار گردیده است:

$$S = 2^{\frac{(P-40)}{10}}$$

یا: $\log_2 S = \frac{1}{10}(P-40)$

S : سون
 P : فون

لازم به ذکر است که روابط فوق فقط بین محدوده ۲۰ الی ۱۲۰ فون صدق می‌کند. بدین ترتیب به راحتی می‌توان جمع تراز بلندی دو سرچشمه را به کمک مقیاس سون به دست آورد. به عنوان مثال، مجموع بلندی صداها ۷۵ و ۵۵ فون برابر با ۱۳۰ فون نبوده بلکه برابر با ۷۸/۳ فون خواهد بود.

$$75 P = 11/3 S$$

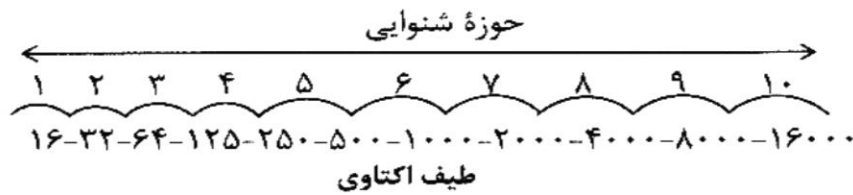
$$55 P = 2/8 S$$

$$11/3 + 2/8 = 14/8 S = 78/3 P$$

تولید و انتشار صدا

مقدمه

وزش باد، ریزش آب، رعد و برق، سقوط اجسام و حنجره انسان و حیوانات منابع طبیعی تولید صدا هستند. اما بسیاری از این صداها بر گوش خوشایند نیستند و برای ایجاد اصوات موسیقی که دارای اثر مطلوب باشند، لازم است از اسباب تولید اصوات موسیقی استفاده شود. اگر در مقایسه دو صدا $f_2/f_1 = 2^1$ باشد، می‌گویند صدای دوم یک اکتاو بلندتر بوده و صدا یک هنگامی است. اکتاو واحدی است که در موسیقی از آن استفاده می‌شود. نسبت فرکانس نغمه‌های یک اکتاو مساوی ۱:۲ است یعنی هر دو برابر شدن فرکانس معادل یک اکتاو است.



شکل مقایسه‌ای بین هارمونی و اکتاو را نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل پیداست، هارمونی‌ها به صورت خطی به هم وابسته‌اند در صورتی که در اکتاو این وابستگی به صورت لگاریتمی است.

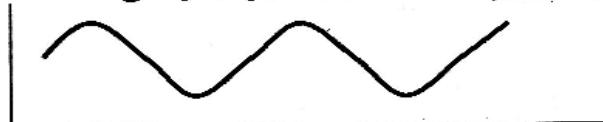
هارمونی							
	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
100 Hz	200	300	400	500	600	700	800...
اکتاو							
100 Hz	200	400					800
Octave ————— Octave ————— Octave —————							

مقایسه هارمونی و اکتاو

حوزه شنوایی انسان در حدود ۱۰ اکتاو است. در موسیقی تا ۹ اکتاو صدا تولید می‌شود. پیانوهای بزرگ ۷ اکتاو، پیانوهای خانگی ۵ اکتاو و بقیه وسایل موسیقی ۳ الی ۳/۵ اکتاو صدا تولید می‌کنند.

انواع صدا

نغمه ناب: صدایی است که یک فرکانس ثابت داشته و اسیلوگرام آن به صورت نوسان ساده سینوسی مانند شکل است. این نوع امواج در طبیعت موجود نبوده و با دستگاه‌های الکترونیکی تولید می‌شوند. گوش کردن به این نوع صداها اغلب به دلیل یکنواختی خسته کننده می‌باشد.



نمودار بیناب نغمه ناب

نغمه: صدایی است که از چند فرکانس مربوط به هم تشکیل شده باشد یعنی از یک فرکانس اصلی و ضرایب آن مانند صدای موسیقی.



نمودار بیناب نغمه

نوفه: اگر در اسیلوگرام به جای خطوط مشخص و منظم، نوار نامنظمی ایجاد گردد، آن صدا دارای اجزای مشخصی نبوده و از لحاظ فیزیکی شکل خاصی نخواهد داشت. در نتیجه این گونه صداها خوشایند و دلپذیر نبوده و نوفه نامیده می‌شوند.



سرچشمه‌های صوتی

به طور کلی سرچشمه‌های صدا به سه دسته کلی، نقطه‌ای، خطی و صفحه‌ای تقسیم می‌شوند.

سرچشمه‌های نقطه‌ای

به سرچشمه‌هایی گفته می‌شود که در آنها امواج صوتی از همه جهات به صورت کروی منتشر شده و سرچشمه صدا در مرکز کره قرار دارد، مانند صدای یک انسان و یا یک بلندگو.



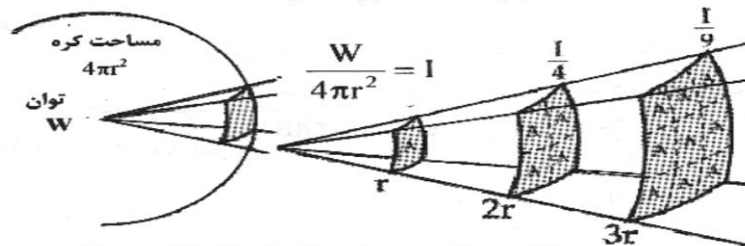
سرچشمه نقطه‌ای

از آنجاییکه شدت صدا بر حسب وات بر متر مربع (W/m^2) سطح این کره سنجیده می‌شود و سطح کره برابر است با $4\pi r^2$ ، بنابراین می‌توان گفت که شدت صدا با توان دوم افزایش فاصله، کاهش می‌یابد.

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

I : شدت صدای مورد نظر (W/m^2)
 W : توان صدای مورد نظر (W)
 r : فاصله از منبع صدای مورد نظر (m)

در رابطه فوق: ←



قانون عکس مجذور فاصله (Nave, 2003)

همان گونه که در شکل مشاهده می‌شود، با دو برابر شدن فاصله از مرکز صدا و در نتیجه بزرگتر شدن سطح کره دوم، سطح انرژی صوتی ۴ برابر شده و در نتیجه شدت آن ۴ برابر کمتر می‌شود.

بنابراین با معلوم بودن تراز صدای منبع و فاصله آن در نقطه اول به راحتی می‌توان طبق رابطه زیر تراز شدت صدا را در نقطه دوم محاسبه کرد:

$$L_1 - L_2 = 20 \log \frac{r_2}{r_1}$$

L_1 و L_2 : تراز شدت صدا در نقطه اولیه و ثانویه (dB)

r_1 و r_2 : فاصله اولیه و ثانویه از منبع صدای مورد نظر (m)

بنابراین طبق رابطه فوق، با دو برابر شدن فاصله، تراز صدا به اندازه ۶dB کاهش می‌یابد.

مثال: منبع صوتی در فاصله ۱ متری با تراز ۱۰۰dB در حال انتشار امواج صوتی می‌باشد. تعیین کنید شنونده‌ای در فاصله ۳۲ متری، چند dB صدا دریافت می‌کند.

$$L_1 = 100 \text{ dB}$$

$$r_1 = 1 \text{ m}$$

$$r_2 = 32 \text{ m}$$

حل (روش اول):

$$100 - L_2 = 20 \log \frac{32}{1} \Rightarrow L_2 = 70 \text{ dB}$$

حل (روش دوم):

طبق قانون عکس مجذور فاصله در سرچشمه‌های نقطه‌ای، با دانستن این که با دو برابر شدن فاصله ۶dB افت صدا وجود خواهد داشت، بنابراین در فاصله دو متری تراز صدا ۹۴dB، در چهار متری ۸۸dB، در هشت متری ۸۲dB و به همین ترتیب در سی و دو متری به ۷۰dB خواهد رسید.

گرد آوری و تدوین: مهدی بیات

سرچشمه‌های خطی

اگر چندین سرچشمه نقطه‌ای در یک جهت امتداد یابند (مانند صدای بزرگراه)، سرچشمه خطی تشکیل می‌گردد که امواج صوتی را به صورت استوانه‌ای پخش خواهد کرد. بنابراین در استوانه با بزرگ شدن فاصله، شدت صدا متناسب با آن کاهش یافته و با دو برابر شدن فاصله طبق رابطه فصل اول، تراز صدا تنها ۳dB کاهش خواهد یافت.

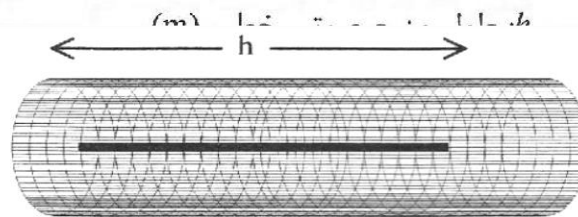
$$I = \frac{W}{2\pi r \times h}$$

I : شدت صدای مورد نظر (W/m^2)

W : توان صدای مورد نظر (W)

r : فاصله از منبع صدای مورد نظر (m)

در رابطه فوق: ←



سرچشمه خطی

بنابراین با معلوم بودن تراز صدای منبع و فاصله آن در نقطه اول به راحتی می‌توان طبق رابطه زیر تراز شدت صدا را در نقطه دوم محاسبه کرد.

$$L_1 - L_2 = 10 \log \frac{r_2}{r_1}$$

مسئله: اگر تراز صدای حرکت قطاری بر روی ریل در فاصله ۱ متری از آن ۱۰۰dB باشد، در فاصله

$$L_1 = 100 \text{ dB}$$

$$r_1 = 1 \text{ m}$$

$$r_2 = 32 \text{ m}$$

$$100 - L_2 = 10 \log \frac{32}{1} \Rightarrow L_2 = 85 \text{ dB}$$

۳۲ متری چقدر خواهد بود؟

حل (روش اول):

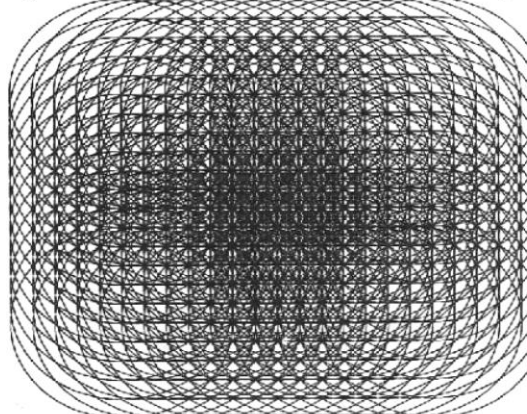
حل (روش دوم):

طبق قانون عکس مجذور فاصله در سرچشمه‌های خطی، با دانستن این که با دو برابر شدن فاصله ۳dB افت صدا وجود خواهد داشت، بنابراین در فاصله دو متری تراز صدا ۹۷dB، در چهار متری ۹۴dB، در هشت متری ۹۱dB و به همین ترتیب در سی و دو متری به ۸۵dB خواهد رسید.

سرچشمه‌های صفحه‌ای

اگر سرچشمه‌های نقطه‌ای در دو جهت امتداد یابند، یک سرچشمه سطحی را به وجود می‌آورند (مانند صدای حضار در یک سالن). در این حالت امواج صوتی در نزدیکی سرچشمه

تنها در روی یک محور پخش شده و بنابراین



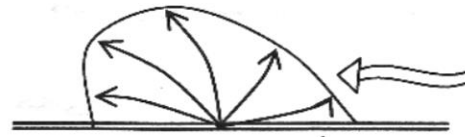
شدت صدا یکسان می‌ماند. در سرچشمه‌های صفحه‌ای، هرگاه فاصله شنونده از مرکز صفحه کمتر از ابعاد صفحه باشد ($r < a$) آنگاه تغییری در تراز شدت صدای دریافتی وجود نخواهد داشت و اگر این فاصله بیشتر باشد ($r > a$) آنگاه همانند سرچشمه نقطه‌ای فرض شده و محاسبات صورت می‌پذیرد.

سرچشمه صفحه‌ای

تأثیر شرایط محیطی بر صدا

شرایط محیطی تأثیر غیرقابل انکاری در چگونگی انتشار صدا دارند که در ذیل به برخی از مهمترین این عوامل اشاره شده است.

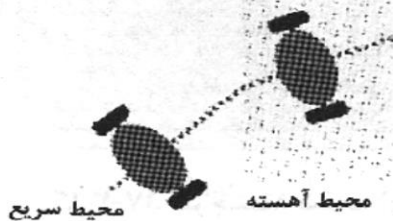
تأثیر باد: صدای حاصل از یک منبع صوتی همواره در جهت باد بیشتر بوده و در خلاف جهت باد کمتر است.



تأثیر وزش باد بر منبع صوتی

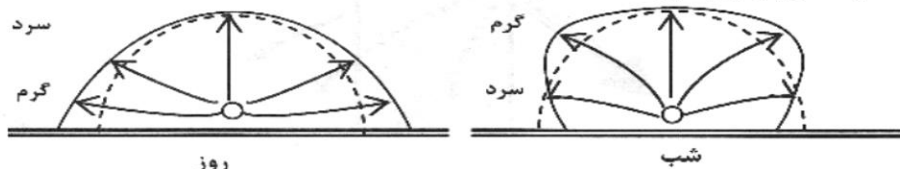
این مسئله صرفاً به دلیل تغییر سرعت صدا نبوده بلکه به علت تغییر شکل کروی انتشار صدا بر اثر باد غالب می‌باشد. به عبارت دیگر صدا را در جهت وزش باد بهتر می‌توان شنید تا در

تأثیر دما: اگر یک ماشین اسباب بازی کنترلی مانند شکل از یک سطح سخت مانند سرامیک که سرعت حرکت روی آن زیاد است به یک سطح نرم مانند فرش برسد که سرعت حرکت بر روی آن کم است، مقداری تغییر جهت در آن مشاهده می‌شود. به همین ترتیب، امواج صوتی نیز در مرز برخورد از یک محیط گرم با سرعت بالا به یک محیط سرد با سرعت کم، تمایل به انحراف داشته که به آن پدیده انکسار صوتی می‌گویند.



تغییر جهت از یک محیط سریع به محیط آهسته

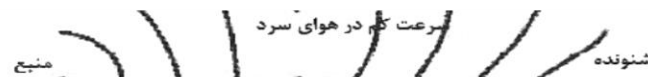
از آنجایی که سرعت صدا وابسته به دمای محیط است، در دمای بالاتر سرعت صدا نیز افزایش می‌یابد. هرگاه دمای نزدیک سطح زمین بیشتر از دمای هوای بالای آن باشد (هنگام روز)، جهت امواج صوتی متمایل به بالا میشوند، بنابراین با ازدیاد سطح انتشار، انرژی کمتری به فرد شنونده در سطح زمین میرسد.



کاهش صدا در سطح زمین

افزایش صدا در سطح زمین

در شب، هنگامی که دمای سطح زمین کمتر از دمای هوا است، به عکس، جهت انرژی امواج صوتی متمایل به پایین داشته، بنابراین با کم شدن سطح انتشار انرژی صوتی بیشتری به فرد شنونده می‌رسد.



تمایل امواج صوتی از محیط گرم به محیط سرد

هنگامی که هوای بالا گرم‌تر از هوای سطح باشد، امواج صوتی متمایل به خم شدن از محیط گرم به سمت محیط سردتر خواهند داشت. به همین دلیل همانند شکل انرژی صوتی مضاعفی از طریق انکسار علاوه بر حرکت از طریق خط مستقیم به شنونده خواهد رسید.



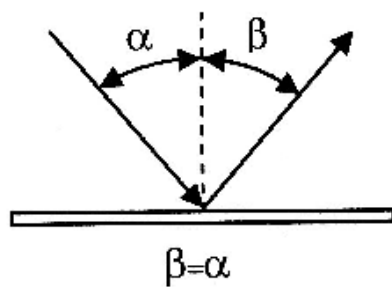
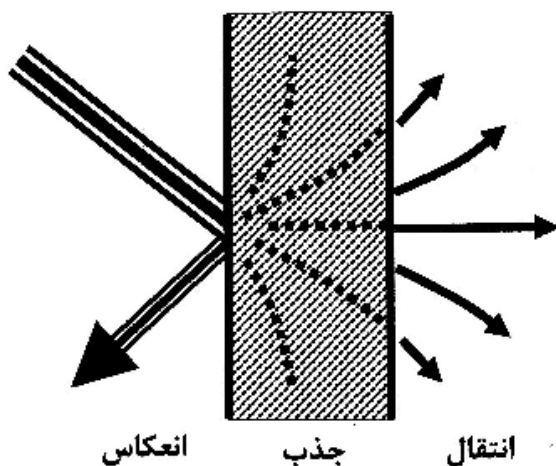
انرژی صوتی مضاعف از طریق پدیده انکسار

انعکاس صدا

مقدمه

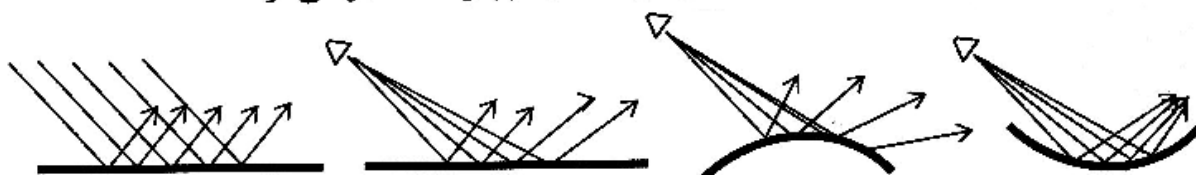
حرکت امواج صوتی در یک فضای بزرگ را می‌توان به رفتار نور تشبیه کرد. با این فرض که امواج صوتی نیز همانند نور هنگام برخورد با سطح سخت، منعکس می‌شوند. آکوستیک هندسی را همه جا نمی‌توان به کار برد و استفاده از آن حاوی محدودیت‌هایی است که باید رعایت شوند. ابعاد مکان مورد نظر باید در مقابل طول موج صدای به کار برده شده به حد کفایت بزرگ باشد. ابعاد سطوح بازتابنده نیز باید چند برابر طول موج مورد نظر باشد. در صورت عدم رعایت این شرط، انتشار صدا از حالت خطی خارج شده و دیگر قوانین آکوستیک هندسی در آن صادق نخواهد بود. به بیان دیگر، آکوستیک هندسی برای فرکانس‌های پایین‌تر از ۵۰۰ Hz و

امواج صوتی پس از تولید و انتشار، همان گونه که در شکل دیده می‌شود، در صورت برخورد با یک سطح، بخشی از امواج منعکس، بخشی دیگر جذب و بقیه آن عبور یافته و منتقل می‌گردد. نسبت این مقادیر بستگی به جنس و خواص فیزیکی ماده مورد نظر دارد که در فصل‌های آینده به طور مبسوط راجع به هر یک توضیحات لازم ارایه خواهند شد.



بدین ترتیب قانون آکوستیک هندسی را به این صورت می‌توان بیان نمود که پرتوهای صوتی برخوردنده و پرتوهای صوتی بازتابنده هر دو در یک سطح قرار داشته و زاویه تابش با زاویه

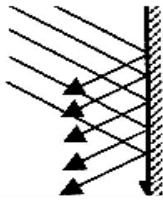
در آکوستیک هندسی مانند انتشار نور می‌توان تصور نمود که پرتوهای منتشره از یک سرچشمه کروی (سرچشمه‌ای که به تمام اطراف خود به طور یکنواخت انرژی پخش می‌کند) طبق شکل در صورت برخورد به یک سطح بازتابنده به چهار حالت باز می‌گردد.



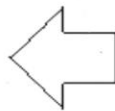
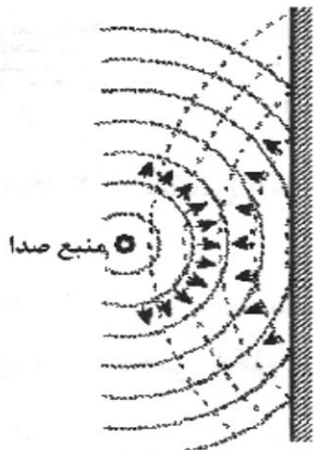
انواع بازتاب آکوستیک هندسی

بازتاب از سطوح مسطح

چنانچه پرتو صوتی از یک سرچشمه‌ای که در فاصله دوری قرار گرفته است به سطح بازتابنده که ابعاد آن نیز به حد کفایت بزرگ باشد برخورد کند و بدون هیچ تغییری بازتاب گردد، این بازتاب را اصطلاحاً پژواک می‌نامند.



انعکاس صدا از یک منبع دور به یک سطح بزرگ

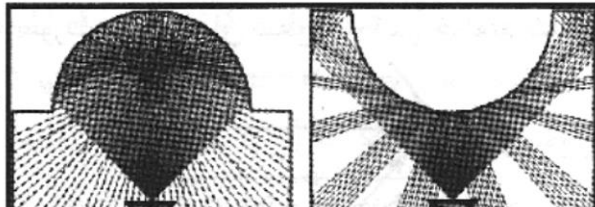


انعکاس صدا از یک منبع نزدیک به سطح

اگر سرچشمه صدا در نزدیکی سطح بازتابنده مسطح قرار گرفته باشد، فقط جهت پرتو طبق قانون آکوستیک هندسی تغییر می‌نماید و همانند آن است که سرچشمه در پشت سطح و به طور مجازی قرار داشته باشد. در این حالت امتداد پرتو پس از شکست نیز زاویه‌ای مساوی زاویه قبلی خود می‌یابد.

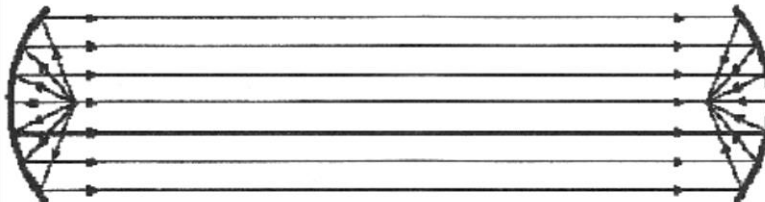
بازتاب از سطوح منحنی

سطوح منحنی بسته به آن که محدب و یا مقعر باشند، نسبت به انعکاس صدا رفتار متفاوتی دارند. هنگام بازتاب بر روی یک سطح برجسته محدب، زاویه انتشار پرتوهای صوتی و جهت آنها تغییر می‌نماید و پرتو واگرا می‌گردد.



تأثیر سطوح منحنی بر امواج صوتی

اگر دو سطح سهمی شکل با فاصله نسبتاً زیاد از یکدیگر قرار گیرند، در صورتی که منبع صوتی در کانون یکی از آنها بوده و شنونده در کانون دیگر قرار گیرد، صدا با وضوح تعجب‌آوری با وجود فاصله زیاد شنیده خواهد شد.



انعکاس صدا بین دو سطح سهمی

در صورتی که منبع صدا کاملاً نزدیک یک طرف یک سطح مدور قرار گیرد، انعکاس امواج روی سطح انجام گرفته و شنونده در سمت دیگر به راحتی می‌تواند امواج صوتی با تراز پایین را نیز دریافت نماید.



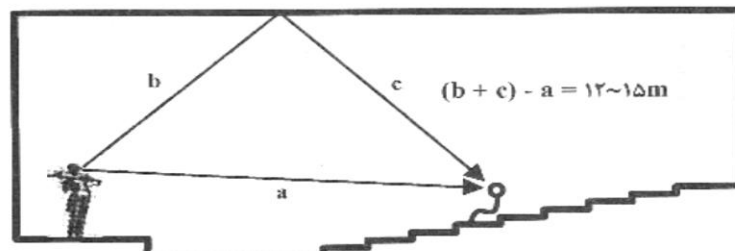
انتقال امواج با منبع صوتی مجاور به سطح مدور

بازتابنده‌های صوتی

امواج منتشره از منبع صدا در فضاهای محصور از راه‌های مختلفی (پس از بازتاب در سقف، کف و دیوارها) به گوش شنونده می‌رسد و از این رو ممکن است به علت طولانی بودن راه، برخی از بازتاب‌ها مدتی پس از صدای مستقیم به گوش برسد که اگر این فاصله زمانی بیش از ۵۰ هزارم ثانیه (۵۰ms) باشد که به دوره همبستگی معروف است، کاملاً متمایز و مشخص از صدای اصلی و به طور وضوح شنیده شود که آن را پژواک می‌نامند. ولی اگر صدای بازتابیده در مدتی کمتر از ۵۰ هزارم ثانیه بازگشت نماید، با صدای اصلی مخلوط شده و فقط اثر و دوام صدا را در گوش زیادتر می‌نماید که به آن طنین اطلاق می‌گردد. در عمل سعی می‌گردد که اختلاف زمان مابین رسیدن صدای اصلی و صدای بازتاب از ۳۵ الی ۴۵ هزارم ثانیه بیشتر نباشد که معادل با مسافتی در حدود ۱۲ الی ۱۵ متر است.

$$\frac{344 \text{ m/s}}{0.05 \text{ s}} = 6880 \text{ m/s} \quad \frac{344 \text{ m/s}}{0.045 \text{ s}} = 7644 \text{ m/s}$$

معمولاً مقدار کمتری را برای تالارهای سخنرانی و کلاس درس و مقدار متوسط را برای تالارهای کنسرت و مقدار بیشتر را برای تالارهای کر انتخاب می‌نمایند. بنابراین اگر $a \geq 17\text{m}$ $(b+c) - a$ باشد، پدیده پژواک اتفاق می‌افتد.



تفاضل صدای اصلی از بازتاب بهتر است ۱۲ الی ۱۵ متر باشد

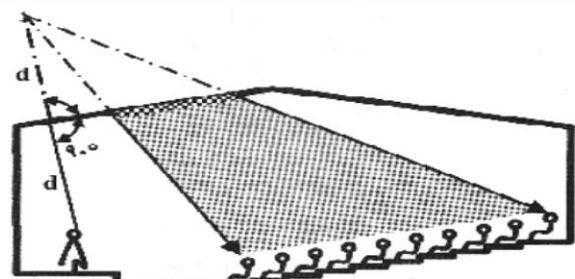
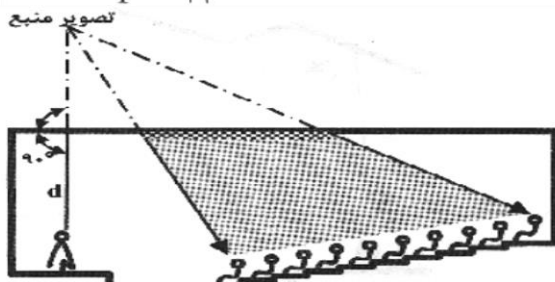
زمان تأخیر برحسب میلی ثانیه را به سادگی می‌توان از رابطه محاسبه نمود (واحد

فواصل بر حسب متر می‌باشد):

$$t = \frac{(b+c) - a}{344}$$

به طور کلی به منظور تقویت و هدایت امواج صوتی به صورت طبیعی از منبع به نقطه مورد نظر از بازتابنده‌های صوتی که در سقف و یا دیوارها تعبیه می‌شوند استفاده می‌شود. کمترین طول هر قطعه بازتابنده صوتی که در سقف سالن در نظر گرفته می‌شود، باید بزرگتر و یا مساوی طول موج کوتاه‌ترین فرکانس امواج منتشره باشد و در غیر این صورت تنها امواج با فرکانس بالا منعکس خواهند شد. به عنوان مثال در حوزه سخن گویی که بین ۱۷۰ الی ۴۰۰۰ هرتز اتفاق می‌افتد، کمترین طول هر قطعه بازتابنده به ازای کوتاه‌ترین فرکانس ۱۷۰Hz برابر است با:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{344}{170} \approx 2\text{m}$$



روش تعیین مکان نصب بازتابنده صوتی در سقف شیب دار - روش تعیین مکان نصب بازتابنده صوتی در سقف صاف

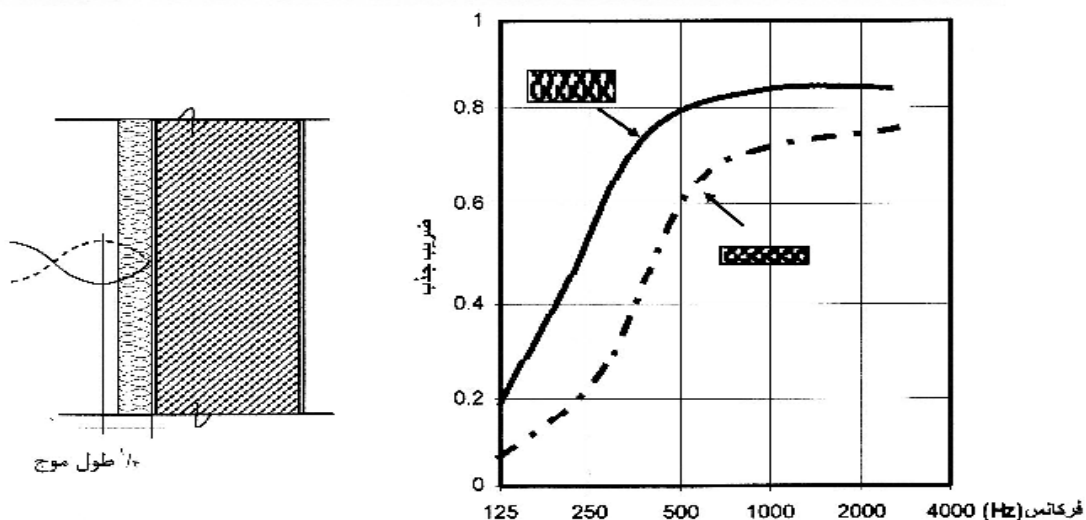
برای به دست آوردن تصویر منبع، ابتدا خط عمودی از منبع به سقف رسم و به همان اندازه امتداد داده می‌شود. آنگاه از نقطه به دست آمده خطوطی به اولین و آخرین ردیف صندلی‌ها ترسیم می‌شود. محل تقاطع این خطوط با سقف، محل نصب بازتابنده‌های صوتی است.

رد اوری و دودین: مهدی بیات

This image cannot currently be displayed.

This image cannot currently be displayed.

جذب کننده کمتر از $\frac{1}{4}$ طول موج باشد، تأثیر کمتری در جذب کنندگی خواهد داشت.



ارتباط بین ضریب جذب و ضخامت جذب کننده الیافی در تمامی فرکانس‌ها

علاوه بر ضخامت و پرزدار بودن این نوع جذب کننده‌ها که عوامل بسیار مهمی هستند، میزان فشردگی نیز سهم عمده‌ای در ضریب جذب آنها دارد. هرگاه ضخامت صفحه جذب کننده به حد کفایت ($\frac{1}{4}$ طول موج) نباشد، ضریب جذب به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. به این ترتیب که با تبدیل ضخامت جسم الیافی از ۱۰ cm به ۱ cm، حداکثر ضریب جذب از ۸۰٪ به ۵٪ کاهش می‌یابد.

خواص این گونه جذب کننده‌ها به شرح زیر خلاصه می‌شود:

- ضریب جذب جسم الیافی با افزایش فرکانس بیشتر می‌شود؛
- ضریب جذب برای فرکانس‌های پایین (آوای بم) به ضخامت زیاد اجسام الیافی (در حدود ۱۰ cm) و کم بودن فشردگی آن بستگی دارد؛
- ضریب جذب اجسام فشرده (حتی الیافی) بسیار کم بوده و افزایش ضخامت تأثیر زیادی در افزایش ضریب جذب ندارد.

 This image cannot currently be displayed.

 This image cannot currently be displayed.

 This image cannot currently be displayed.

 This image cannot currently be displayed.

The image cannot currently be displayed.

This image cannot currently be displayed.

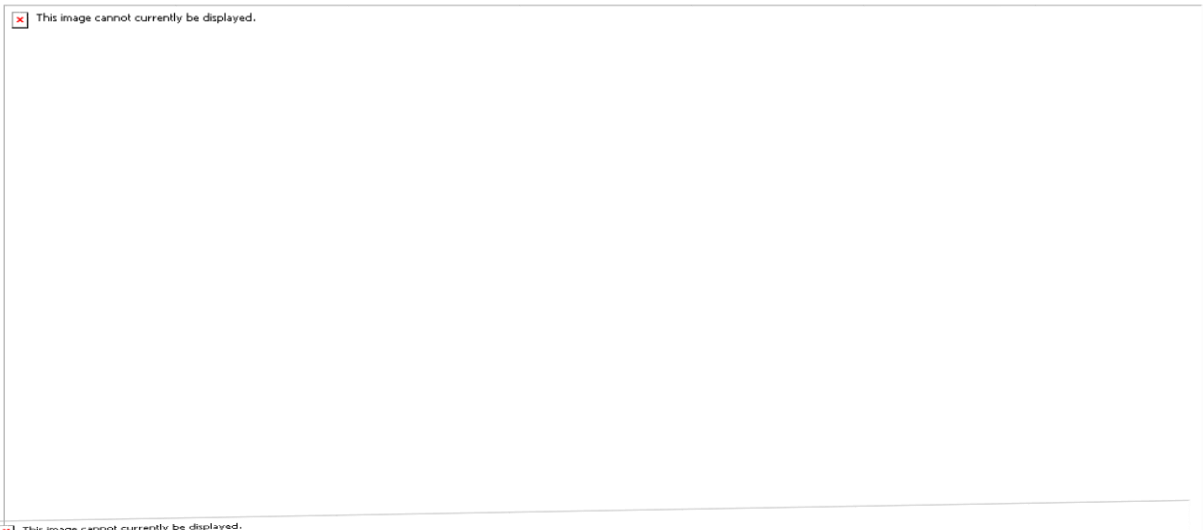
The image cannot currently be displayed.

The image cannot currently be displayed.

This image cannot currently be displayed.

The image cannot currently be displayed.

The image cannot currently be displayed.



.



The image cannot currently be displayed.

The image cannot currently be displayed.

 This image cannot currently be displayed.

 This image cannot currently be displayed.

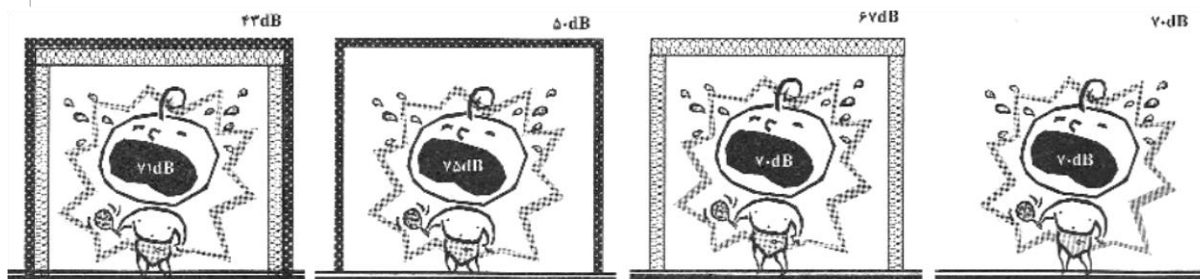
 This image cannot currently be displayed.

 This image cannot currently be displayed.

 This image cannot currently be displayed.

 This image cannot currently be displayed.

This image cannot currently be displayed.



جنس جدا کننده هر چه سخت تر باشد انتقال صدا کمتر خواهد بود

شاخص کاهش صدا

شاخص کاهش صدای یک جدا کننده (R) بر حسب دسی بل افت تراکسیل نیز نامیده شده و در برخی منابع با علامت TL نشان داده می شود. این شاخص عبارت است از میزان کاهش تراز صدای منتقل شده به واسطه عبور از یک ماده و طبق رابطه زیر تعریف می گردد:

$$R = 10 \log \left(\frac{W_i}{W_\tau} \right) = 10 \log \frac{1}{\tau} \Rightarrow \tau = 10^{-(0.1)R} \quad (dB) \text{ شاخص کاهش صدا}$$

W_i : توان صوتی وارده به جدا کننده (W)
 W_τ : توان صوتی منتقل شده از جدا کننده (W)

درجه انتقال صدا

شاخص کاهش صدای تمام مواد با فرکانس های مختلف، متغیر است و به همین علت مقادیر R معمولاً به صورت منحنی نمایش داده می شود. به منظور پیش گیری از اشتباه در مقدار متوسط R و سهولت بیشتر از شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) و یا به عبارت دیگر گروه یا درجه انتقال صدا (STC) استفاده می شود که کمیتی است تک عددی به دسی بل برای درجه بندی نمودار افت انتقال صدای جدا کننده ها در فرکانس (Hz) ۵۰۰.

قانون جرم

بدیهی است که هرچه جرم یک جداکننده بیشتر باشد، انرژی صوتی بیشتری برای به ارتعاش در آوردن آن مورد نیاز خواهد بود. بنابراین هر چه جدا کننده سنگین تر باشد شاخص کاهش صدای آن بیشتر خواهد بود.

قانون جرم بیان میدارد که به ازاء دو برابر کردن جرم یک جدا کننده بدون منفذ، افت تراز

$$R = 20 \log(fm) - 47$$

صدای منتقل شده به میزان 6dB خواهد بود.

وابستگی فرکانسی

در فرکانس‌های پایین (برای اغلب مصالح ساختمانی زیر 100 Hz)، انتقال صدا متأثر از قابلیت خمشی دیوار بوده و جرم و خاصیت میرایی تأثیر اندکی دارند. در این محدوده فرکانسی شاخص کاهش صدای دیوارها ناچیز می‌باشد.

در فرکانس‌های بالاتر، دیوار تمایل به بهره‌مندی از قانون جرم دارد.

فرکانس بحرانی

اصوات با فرکانس‌های بالا موجب تولید امواج منحنی موجی شکل در دیوار شده که به طور طولی از امتداد دیوار عبور می‌کند. با افزایش فرکانس صدا، طول موج آن در هوا کاهش یافته تا حدی که در یک نقطه معین از طول موج خمشی دیوار کمتر می‌شود که در این حالت به علت بروز پدیده همگرایی بین انرژی صوتی و نوسان خمشی دیوار، یکباره شاخص کاهش صدا تنزل می‌یابد که این فرکانس، فرکانس بحرانی نامیده می‌شود.

بنابراین علاوه بر جرم، هرچه جداکننده قابلیت خمشی کمتری داشته باشد، در کاهش انتقال صدا نقش مؤثرتری خواهد داشت. از این رو کاهش انتقال صدا در مصالح ساختمانی معمول، نتیجه تأثیر متقابل بین جرم، قابلیت خمشی و خاصیت میرایی آنها است.

بتن به دلیل بیشتر بودن جرم واحد سطح آن بسیار بالاتر از صفحات گچی و تخته‌ای است. در صفحات گچی و تخته‌ای که هردو دارای جرم سطحی مشابهی (kg/m^2) هستند، در فرکانس‌های پایین دارای شاخص کاهش صدای مشابهی بوده ولی در فرکانس‌های بالاتر، هریک در محدوده خاصی دچار افت شاخص کاهش صدا می‌گردند (ابتدا صفحه تخته چن‌دلا و برای بدست آوردن فرکانس بحرانی که در آن مصالح دچار افت شاخص کاهش صدا می‌شوند

جداکننده‌های چند جداره با لایه هوا

هنگام انتخاب و طراحی دیوارهای چند جداره باید در نظر داشت که هر چه فاصله هوایی بین دو لایه بیشتر باشد، شاخص کاهش صدای آن بیشتر خواهد بود. همچنین اگرچه بر اساس قانون جرم هرچه جرم دیوار بیشتر باشد شاخص کاهش صدا نیز بیشتر خواهد شد، اما اضافه کردن جرم در مکان نامناسب، تأثیر معکوس بر شاخص کاهش صدا خواهد گذاشت. در صورتی که اتصالات بین دو لایه خیلی زیاد نباشد، استفاده از مواد جاذب صدا در لایه هوایی نیز به افزایش شاخص کاهش صدا کمک مؤثری می‌نماید. پشم شیشه، پشم سنگ، سلولیت و سایر عایق‌هایی که به منظور کنترل اتلاف حرارتی از آنها استفاده می‌شود، به این منظور نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند و چگالی آنها نقش بسیار کمی در این خصوص خواهد داشت. ضخامت عایق، بهتر است دو سوم فاصله هوایی باشد و بیشتر از آن تأثیر خیلی زیادی نخواهد داشت.



پنجره ها

پنجره ها یکی از مهمترین عوامل منتقل کننده نوبه خارجی به درون ساختمان به شمار می روند. ضخامت شیشه، درزبندی پنجره و دوجداره بودن آن از جمله عواملی هستند که در شاخص کاهش صدای پنجره مؤثر می باشند. در پنجره های دو جداره، ضخامت لایه هوای بین دو شیشه عامل تعیین کننده ای در شاخص کاهش صدا به شمار می رود.

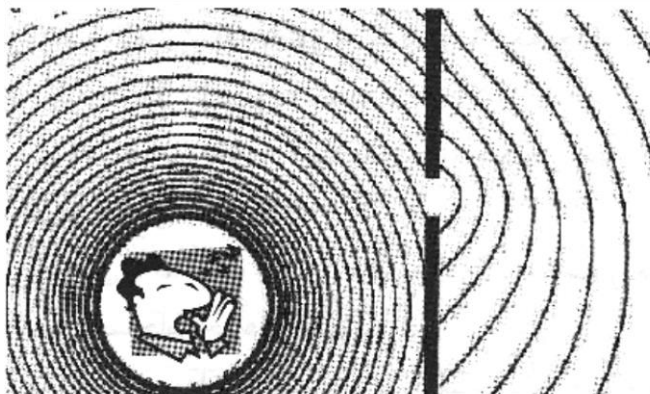
نتایج مطالعات نشان می دهد که شیشه های دو جداره با ضخامت های متفاوت عملکرد

درزبندی و جرم قاب پنجره نیز از جمله عوامل مهم تأثیر گذار بر انتقال صدا به شمار رفته و علی رغم باور عمومی تعداد جداره های بیشتر نقش چندانی در کاهش صدا ندارد و آن چه که مهم است فاصله بین دو جداره است. شاخص کاهش صدا در پنجره سه جداره با ۶mm فاصله بین هر یک از شیشه ها، تقریباً مشابه به شیشه دو جداره با ۱۲mm فاصله بین شیشه ها است.

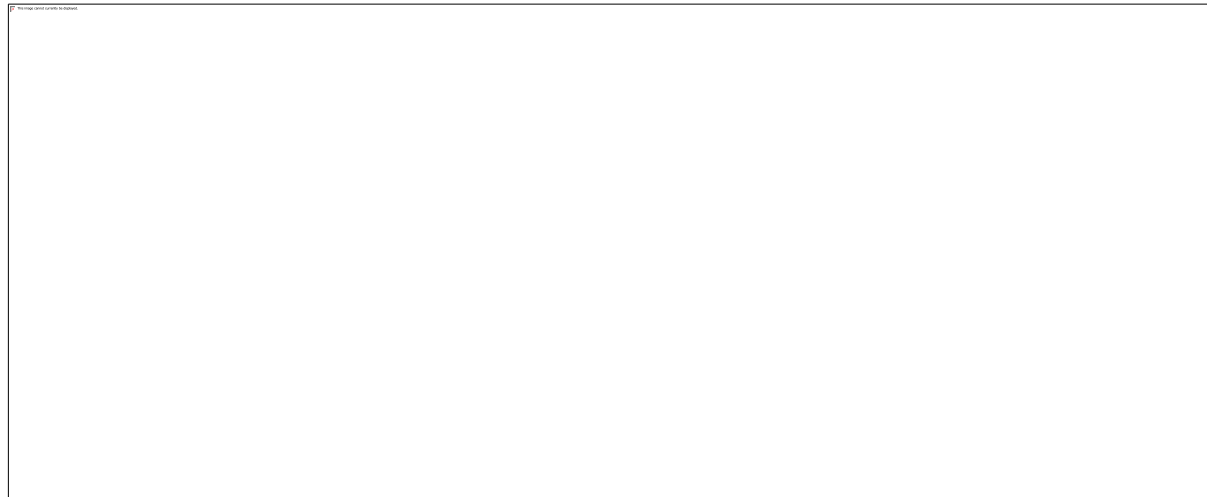
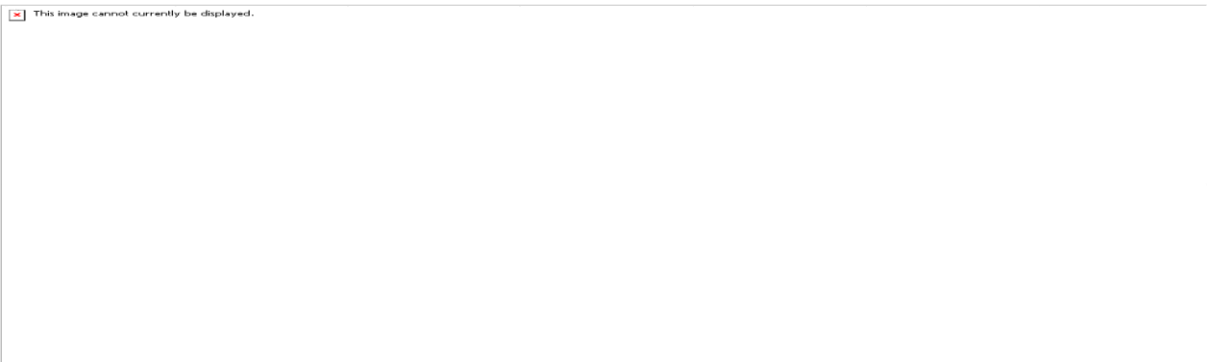
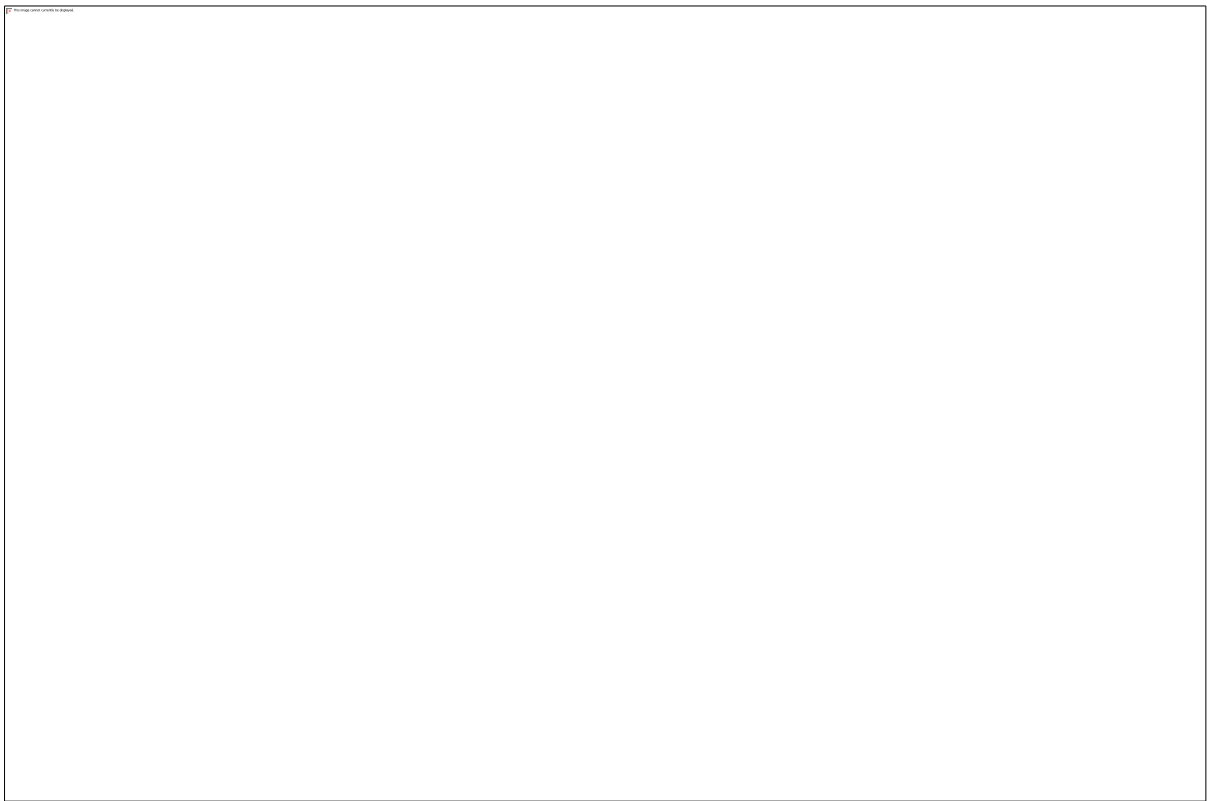
بهبود شاخص کاهش صدا در جدا کننده های چند لایه ای

به منظور دستیابی به یک جداکننده مرکب با شاخص کاهش صدای مناسب، باید به نکات زیر توجه نمود:

- با داشتن یک لایه هوایی ۱۰cm کاملاً بدون درز می توان طبق قانون جرم، در حدود ۶ الی ۸ دسی بل کاهش صدا داشت.
- استفاده از لایه های با ضخامت متفاوت تأثیر زیادی در به هم ریختن فرکانس خمشی و بحرانی از میان صفحات خواهد داشت.
- استفاده از مواد جاذب صدا تأثیر مطلوبی در کاهش انتقال صدا خواهد داشت.
- باید از مواد الاستیک بین لایه های مختلف استفاده کرد تا از تماس لایه ها به طور مستقیم با یکدیگر ممانعت کرد.
- استفاده از مواد مناسب برای درزبندی صدا تأثیر مهمی در کاهش انتقال و انتشار صدا خواهد داشت.
- بیشترین حد ممکن شاخص کاهش صدای یک جداکننده ۵۵ الی ۶۰ دسی بل است. برای حصول شاخص کاهش صدای بالای ۴۵ الی ۵۰ دسی بل، فضاهای خالی بین سقف کاذب و سقف اصلی و همین طور مسیرهای عبور کانال ها بسیار مهم می شوند. صدا علاوه بر آن که به صورت مستقیم از جداکننده ها عبور می کند، به صورت غیر مستقیم نیز از طریق کانال های تهویه و یا گوشه های اتصال صفحات به سقف یا کف نیز انتقال می یابد.



انتقال صدا از درز جدا کننده :



برای تعیین شنوایی آزمایش‌های مختلفی استفاده می‌گردد که نجوا، حرف زدن معمولی، تیک تاک ساعت، دیاپازون و ادیومتری از آن جمله‌اند. این آزمایشها اگر آگاهانه بکار روند، اطلاعات زیادی به دست می‌دهند. جدول زیر درجات مربوط به از دست دادن قدرت شنوایی را بر حسب شدت صدا نشان می‌دهد.

وضعیت شنوایی

تراز شدت صدا	درجه شنوایی
نشنیدن صدایی با شدت ۲۰ دسی‌بل	نقص مهمی بشمار نمی‌رود
نشنیدن صدایی با شدت ۳۰ دسی‌بل	نقص درمکالمه ظاهر خواهد شد
نشنیدن صدایی با شدت ۴۵ دسی‌بل	سنگینی گوش
نشنیدن صدایی با شدت ۸۵ دسی‌بل	کری

محدودیت‌های مجاز شدت نوفه

- برای خواب راحت حداکثر سروصدا ۳۰-۳۵ دسی‌بل
- حداکثر سروصدای خارج محل مسکونی ۶۰-۶۵ دسی‌بل
- هرگونه سروصدای بالای ۱۴۰ دسی‌بل غیر مجاز است.

انواع نوفه

- نوفه‌ها در رابطه با مدت زمان انتشار به سه گروه عمده زیر تقسیم می‌شوند:
- **نوفه پیوسته:** این نوع نوفه تغییراتش در طول زمان تقریباً ثابت است و با یک شاخص تک عددی تعیین می‌گردد.
- **نوفه ناگهانی:** این نوع نوفه در کسری از زمان تغییرات تراز صدایش زیاد است.
- **نوفه متغیر:** در این نوع نوفه تغییرات تراز صدا در طول زمان حداقل بین ۱۰ الی ۱۵ دسی‌بل می‌باشد.

همچنین نوفه‌ها از نظر محیط انتشار به دو گروه عمده نوفه هوابرد و نوفه پیکره‌ای تقسیم می‌گردند. امواج صوتی هوابرد امواجی هستند که محیط انتشار آنان هوا است اما اگر امواج صوتی حاصل از یک جسم مرتعش علاوه بر هوای محیط، اجسام سخت و جداره‌های ساختمانی را نیز به نوسان در آورد، امواج صوتی پیکره‌ای نامیده می‌شود.

برسنج نوفه

حداکثر صدای ناخواسته که می‌توان تحمل کرد و به کار خواسته آسیب نرساند، برسنج نوفه نامیده می‌شود. جدول زیر حداکثر تراز نوفه زمینه را برای فضاهای مختلف نشان می‌دهد.

حداکثر تراز نوفه زمینه در فضاهای مختلف (Warnock, 2001)

نوع فضا	حداکثر تراز نوفه زمینه (dB _A)
اتاق خواب	۳۰-۳۵
اتاق نشیمن	۳۵-۴۰
آشپزخانه	۵۰
اتاق هتل، متل و بیمارستان	۳۵-۴۰
سالن کنفرانس	۳۵-۴۰
کلاس درس تا ۳۰۰ m ³	۳۵-۴۰
کلاس درس بزرگتر از ۳۰۰ m ³	۳۰-۳۵
آزمایشگاهها	۴۵
کارگاهها	۵۰
سالن ورزش	۴۰-۴۵
دفاتر خصوصی	۴۰-۴۵
کتابخانه‌ها	۴۰-۴۵
استودیوهای اخبار	کمتر از ۳۰

کنترل نوفه هوابرد

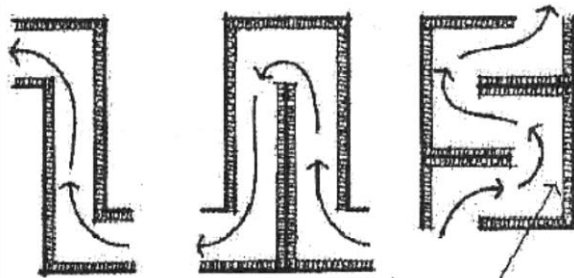
در نوفه هوابرد، انسداد درزها و تقویت شاخص کاهش صدای جداره‌ها از جمله مهمترین عوامل کنترل نوفه به شمار می‌روند.

۱ - کنترل نوفه هوابرد بین دو اتاق از طریق اتصال کف و دیوارها

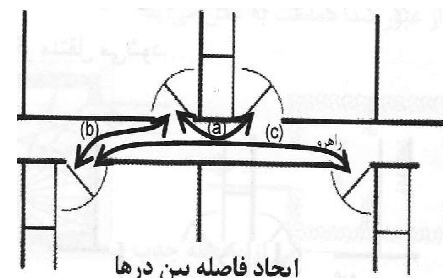
همان طوری که صدا از طریق فضای سقف بین دو اتاق مجاور قابل انتقال است، از طریق کف نیز به همان ترتیب منتقل می‌گردد. بنابراین در اتصال دیوار به کف و همچنین دیوارها به یک دیگر باید تدابیر لازم جهت کنترل انتقال صدا در نظر گرفته شود. به منظور پیش‌گیری از انتقال صدا از طریق محل اتصال دیوار به کف، باید کف نیز مانند شکل از محل نصب عایق صوتی به صورت منقطع اجرا شود تا انتقال صدا به حداقل برسد.



اجرای منقطع کف شناور (Warnock, 1987)



افت تراز بلندی نوفه
به ازای پیچ و خم کانال:



کنترل نوفه پیکره‌ای

برخلاف صداهای هوابرد، ارتعاشات مکانیکی به راحتی از میان عناصر و مصالح ساختمانی عبور می‌کنند. به عنوان مثال اگر به وسیله یک چکش به کف یک ساختمان چند طبقه کوبیده شود، این صدا به راحتی چندین طبقه پایین‌تر از محل کوبیدن به راحتی شنیده می‌شود و این در حالی است که صدای بلند یک جارو برقی حتی یک طبقه پایین‌تر به آسانی شنیده نمی‌شود. این به آن دلیل است که در صداهای ضربه‌ای، صدا با سرعت از طریق ساختار بنا منتقل شده و تباهی ناچیزی دارد. به همین دلیل است که نزدیک شدن قطار را قبل از دیدن و شنیدن صدای بوق آن می‌توان از روی صدایی که از طریق ریل منتقل می‌شود تشخیص داد.



استفاده از عناصر ارتجاعی برای اتصال به ساختمان

انتقال سریع صدای حرکت قطار از طریق ریل‌ها

حایل‌های صوتی

حایل‌هایی مانند دیوارها، صفحات جدا کننده، اختلاف سطح و نظایر آن موانعی در برابر انتشار امواج صوتی در فضای باز هستند. کاهش تراز صدا توسط این‌گونه موانع بستگی به فرکانس امواج صوتی دارد.

حایل‌های صوتی از سه طریق صدایی را که از بزرگراه‌ها به مناطق مسکونی می‌رسد را کاهش می‌دهند:

الف- جذب صدا

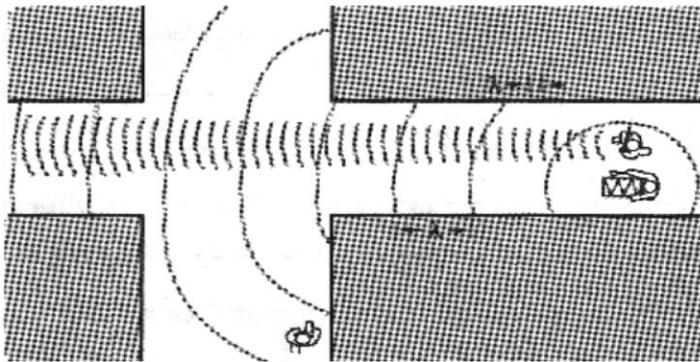
ب- بازتاب آن به داخل بزرگراه

ج- تغییر مسیر صدا به گونه ای که مجبور به طی مسیری بلند تر از حد



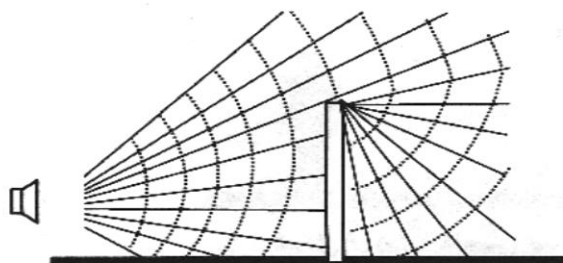
کاهش صدا توسط حایل صوتی

به طور کلی امواج با طول موج بلند و فرکانس پایین تمایل به پخش شدن دارند در صورتی که امواج با طول موج کم و فرکانس بالا تمایل به انتشار به صورت مستقیم دارند.

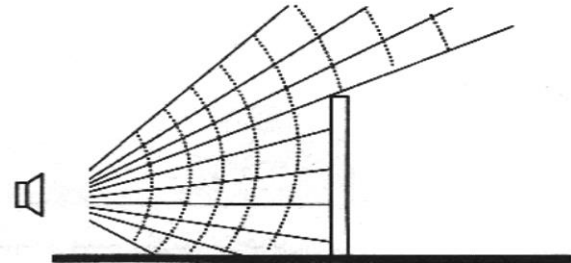


مقایسه انتشار امواج
با طول موج کوتاه و بلند

همچنین اگر مانع کوچکی سد راه انتشار امواج صوتی با طول موج بلند بوده و یا حفره کوچکی در دیوار حایلی وجود داشته باشد، این امواج به راحتی اطراف مانع و یا حفره چرخیده و به مسیر خود ادامه خواهند داد. به همین دلیل است که غالباً صداها از لای درزهای بسیار باریک درها نیز قابل شنیدن هستند. قابل ذکر است که این پدیده زمانی صورت می‌پذیرد که قطر مانع و یا درز کمتر از اندازه طول موج صدا باشد. به همین علت در فرکانس‌های بالا تأثیر دیوارها چشم‌گیرتر می‌باشد. در صورتی که در فرکانس‌های پایین بر اثر انکسار حاصله در لبه دیوارها، کاهش تراز صدا کمتر می‌گردد.



انکسار صوت در فرکانس پایین



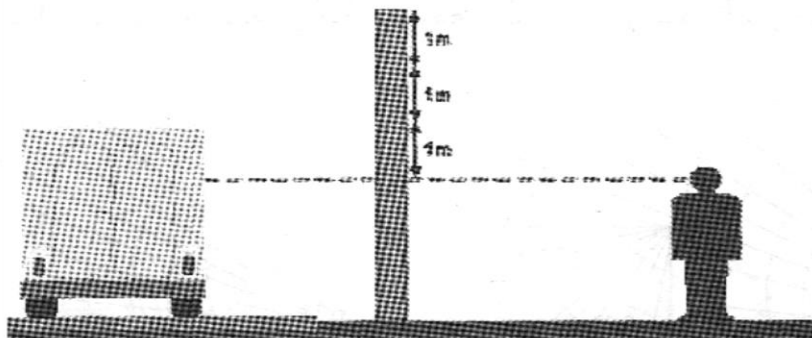
سایه آکوستیکی در فرکانس بالا

به طور کلی امواج با طول موج بلند و فرکانس پایین تمایل به پخش شدن دارند در صورتی که امواج با طول موج کم و فرکانس بالا تمایل به انتشار به صورت مستقیم دارند. شنونده دورتر بنماید. برای یک حایل با ارتفاع معین، بهتر است که بلا فاصله بعد از منبع صوتی قرار گرفته و یا کاملاً نزدیک شنونده باشد. بدترین حالت، قرارگیری حایل، دقیقاً در وسط فاصله

بین منبع و شنونده است.

گردآوری و تدوین: مهدی بیب

حایل ها در صورتیکه آن قدر بلند باشند که بتوانند خط دید خانه را به جاده قطع کنند و بپوشانند حداقل ۵ دسی بل توان کاهندگی خواهند داشت در ادامه به ازای هر متر بلند تر شدن ارتفاع حایل ۱/۵ دسی بل توان کاهندگی حایل افزوده خواهد شد. به علت مشکلات اجرایی و زیبایی معمولاً ارتفاع اینگونه حایل ها به ۸ متر محدود میشوند.



کاهش صدا با بلندتر شدن ارتفاع حایل

به منظور کارایی کامل حایل و جلوگیری از نفوذ صداهای مزاحم از کناره های آن به سمت خانه ها باید حداقل ارتفاع ۸ متر فاصله از خانه ها در محدوده ۶۰ متری بزرگراه است.

ساخت دو بازتاب کننده موازی میتواند در تئوری باعث کاهش اثر حایل های صوتی شود. باید در نظر داشت نسبتی معادل ۱ به ۱۰ بین فاصله حایل ها و ارتفاع میانگین حایل ها رعایت شود و همچنین در صورت امکان از مواد جاذب در ساخت دیواره ها استفاده شود. تپه های خاکی و خاکریز هایی در کناره بزرگراه منظره ای طبیعی و غالباً دلپذیرتر ایجاد کرده و تا حد ۳ دسی بل بیشتر از حایل های دیواری هم ارتفاع خود موجب کاهش صدا میشوند. باور عمومی بر آن است که یکی از راه های مؤثر کاهش سر و صدای ناخواسته استفاده از گیاهان است. در صورتی که استفاده از گیاهان تنها برای کاهش تراز صدا در فرکانس های بالا (بیشتر از ۲۰۰۰ Hz) مؤثر می باشد. سختی زمین عامل تعیین کننده ای در فرکانس های پایین (۵۰۰-۱۲۵ Hz) به شمار می رود. همچنین، خاصیت پراکنده سازی امواج صوتی توسط پوشش گیاهی به مراتب بیشتر از خاصیت جذب کردن آن است. یکی دیگر از مزایای پوشش گیاهی به ویژه درختان بلند، کاهش سرعت باد و در نتیجه عدم هدایت امواج صوتی به طرف شنونده است. بنابراین کاشت گیاهان تنها به منظور کاهش آلودگی صوتی نبوده و بیشتر به منظور رعایت مسائل اکولوژیکی و روانی صورت میگیرد. نواری به ضخامت ۳۰ متر از این گونه پوشش کاهشی معادل ۵ دسی بل ایجاد می نماید.

بنابر اولین مطالعات انجام شده (Embleton, 1963)، پوشش گیاهی در کاهش صدا زمانی مؤثر است که به عمق کافی یعنی بیش از ۵۰ متر باشد.



تأثیر پوشش گیاهی در کاهش صدا

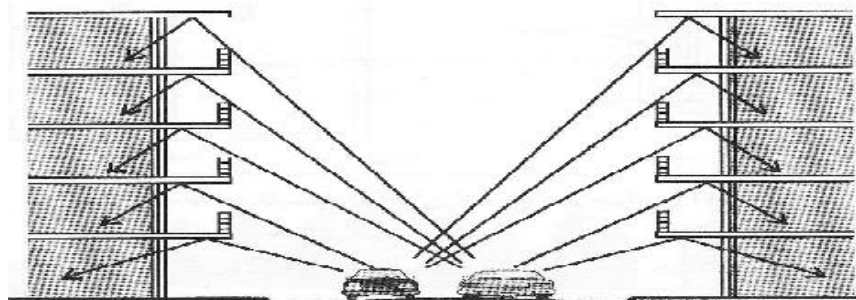
از جمله اثرات مثبت حایل های صوتی میتوان به خواب راحت تر، آسودگی در گفتگو های عادی، باز شدن بیشتر پنجره ها، استفاده کردن بیشتر از حیاط ها در تابستان و دید بهتر اشاره کرد. آثار منفی آن نیز محصوریت از نظر دید و منظر، نوعی احساس محصوریت، فقدان جریان مناسب هوا، کمبود نور آفتاب و تابش مستقیم و نگهداری بد حایل ها می باشد.

پلان صحیح بنا از نظر حفاظت آکوستیکی

یکی از نکات بسیار مهم در طراحی بناها به خصوص ساختمان‌های مسکونی از لحاظ حفاظت آکوستیکی، جایگزینی صحیح فضاهای هم جوار است.

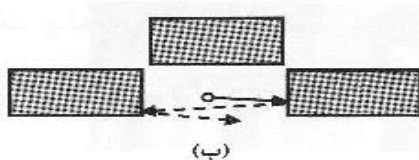
به عنوان مثال باید توجه داشت فضاهایی از قبیل موتورخانه، آشپزخانه، راه پله، کانال آسانسور، داکت پرتاب زباله، پاسیو و حیاط خلوت‌های مشترک در آپارتمان‌ها و نظایر آن اماکن پر سرو صدایی بوده و از هم جوارى آنها با اتاق‌های خواب باید جداً پرهیز کرد.

در طراحی ابنیه علاوه بر رعایت هم جوارى در رابطه با نوفه داخل ساختمانی، کنترل نوفه‌های خارجی نیز باید مد نظر قرار گیرند. بدین منظور از جهت‌گیری اتاق‌های خواب به سمت پر سروصدای محیط اطراف مانند خیابان باید جداً اجتناب نموده و حداقل شاخص K_a در صورت امکان می‌توان با ایجاد نمای پلکانی در سمت خیابان و انحراف مسیر امواج صوتی، نوفه ناشی از ترافیک را کاهش داد. همچنین امکان انعکاس صدا از طریق بالکن‌های مسقف در سمت خیابان (پر سروصدا) نیز باید مورد توجه واقع شده و تدابیر لازم از قبیل استفاده از جذب‌کننده‌های صوتی در زیر سقف پیش‌بینی گردد.

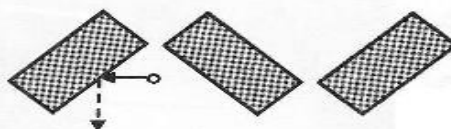


انعکاس صدا به درون
از طریق بالکن:

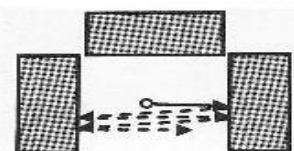
از احداث بلوک‌های موازی با فواصل کم پرهیز نمود و حتی‌الامکان بلوک‌ها به صورت زیگزاگ احداث شده و یا در صورت لزوم سطوح کوچک‌تر بنا با یکدیگر موازی گردند.



(ب)



(ج)



(الف)

پرهیز از ایجاد امواج ساکن در چیدن بلوک‌های ساختمانی

کنترل نوفه در دفاتر اداری: نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کنجکاوی و سعی در پی‌بردن به مفاد مطالبی که در مکالمات تلفنی و یا حضوری که توسط دیگران صورت می‌پذیرد، به مراتب مختل‌کننده‌تر از تراز بلندی صدای مکالمات است. براساس همین مطالعات گروه‌های اجرایی و مدیریتی بیش از کارمندان و منشی‌ها در این رابطه احساس ناراحتی می‌کنند.

مساحت $8/5$ الی 14 متر مربع به ازای هر فرد در این گونه دفاتر، محدوده مناسبی بوده و مقدار 10 متر مربع عدد قابل قبولی به نظر می‌رسد. از نقطه نظر روانی در دفاتر با جمعیت زیاد ناخودآگاه افراد تمایل به صحبت با صدای بلندتر را دارند به خصوص وقتی با تلفن صحبت می‌کنند. هدف در طراحی دفاتر اداری باز، ایجاد ارتباط مناسب و سریع با یک فاصله معین است. در این گونه دفاتر باید نسبت پهنا به ارتفاع سالن بیشتر باشد تا دیوارها نقش ناچیزی در انعکاس صدا داشته باشند.

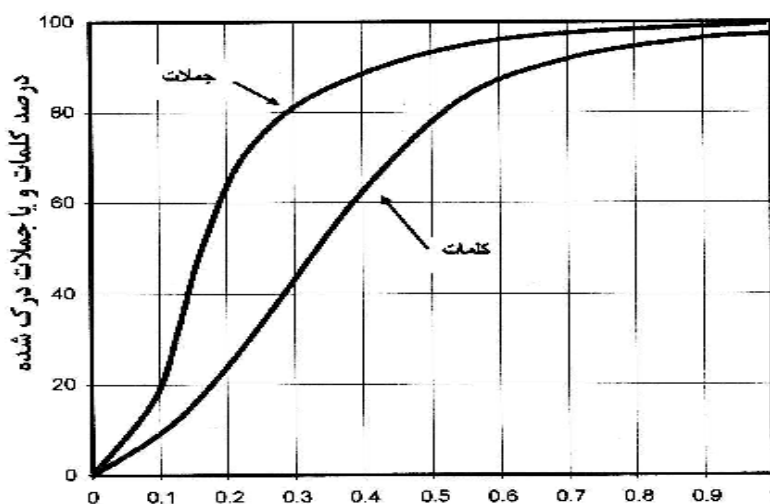
شاخص وضوح گفتار

به منظور اندازه‌گیری درصد کلمات مفهوم در یک محیط آکوستیکی با صدای زمینه موجود، و حصول به یک عدد خاص، از شاخص وضوح گفتار (AI) در پنج فرکانس مختلف ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز استفاده می‌شود. مقدار AI بین صفر تا یک متغیر دهنده محیط آکوستیکی کاملاً مخربانه و عدد یک محیط آکوستیکی کاملاً واضح را نشان می‌دهد که برای سالن‌های سخنرانی و کنفرانس ایده‌آل است. جدول زیر میزان محرمیت گفتار را به ازای مقادیر مختلف AI نشان می‌دهد.

باید توجه داشت که در یک دفتر اداری پلان باز، شاخص وضوح گفتار بیش از ۰/۳ نباشد.

شاخص وضوح و محرمیت گفتار (Hegvold, 1971)

شاخص وضوح گفتار (AI)	محرمیت گفتار
۰ - ۰/۰۵	کاملاً محرمانه
۰/۰۶ - ۰/۲	قابل قبول
۰/۲۱ - ۰/۳	ضعیف
۰/۳۱ - ۰/۷	غیر قابل قبول
۰/۷۱ - ۱	وضوح کامل گفتار



درصد کلمات و جملات درک شده نسبت به شاخص وضوح گفتار :

(Templeton, 1993)

ضریب صدای وزن یافته (G)	فرکانس‌های میانی یک هنگامی
۱	۲۵۰
۲/۵	۵۰۰
۳/۵	۱۰۰۰
۵	۲۰۰۰
۴	۴۰۰۰

ضریب صدای وزن یافته در

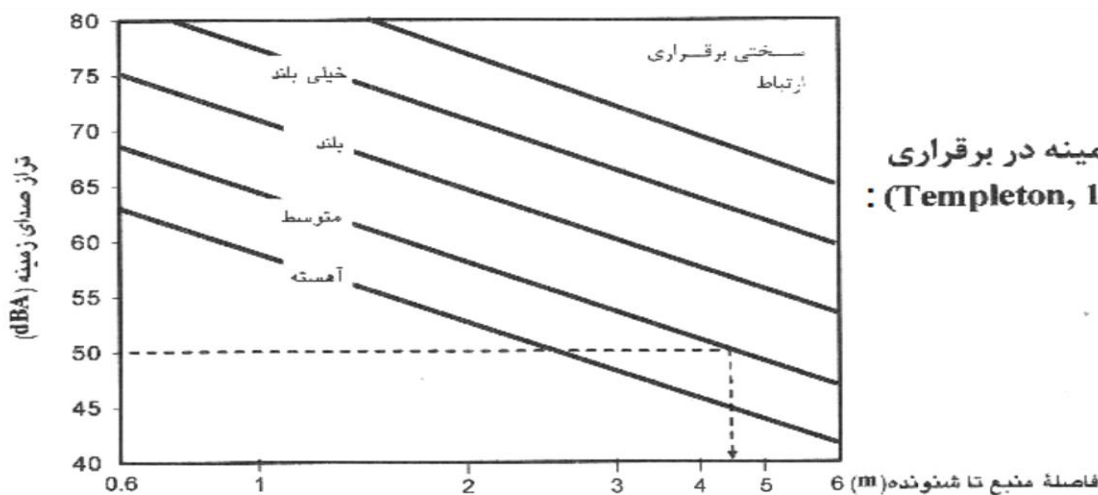
فرکانس‌های یک هنگامی :

(Stein & Rernolds, 2000)

پوشانه صوتی

در یک محیط کاملاً ساکت، کوچکترین صدا موجب برهم زدن آرامش و در نتیجه ایجاد مزاحمت می‌شود. به همین علت از امواج صوتی خاصی به نام نوفه سفید که شامل تمام فرکانس‌های بیست هرتز تا بیست هزار هرتز که دامنه در هر فرکانس بصورت تصادفی نسبت به زمان در تغییر است، استفاده می‌شود. واژه سفید از نورسفید که شامل تمام طیف رنگ‌ها است گرفته شده است.

کرد اوری و تدوین: مهدی بیات



تأثیر صدای زمینه در برقراری
ارتباط کلامی (Templeton, 1993):

به عنوان مثال در یک محیط با تراز صدای زمینه ۵۰ dB، ارتباط کلامی با تلاش صوتی متوسط تقریباً تا فاصله ۴/۵ متری امکان پذیر بوده و برای صدای زمینه بالاتر و یا فواصل بیشتر، نیاز به صدای بلندتری خواهد بود. بنابراین هرچه تراز صدای زمینه بیشتر باشد، تلاش طبق جدول صدای زمینه مجاز در یک محیط اداری بین ۳۵dB الی ۴۵dB بوده و فراتر از آن با دشواری قابل تحمل خواهد بود.

تأثیر تراز صدای زمینه در محیط آکوستیکی (Hegvold, 1971)

تراز صدای زمینه بر حسب دسی بل (A)	محیط آکوستیکی
۳۵	بسیار آرام
۴۰	آرام
۴۵	قابل قبول
۵۰	پر سروصدا

طبق مطالعات انجام شده (Prin, 1971) به ازای هر ۶dB افزایش در تراز صدای زمینه، ۰/۲ از شاخص وضوح گفتار در محیط کاسته می شود.

حذف فعال صدا

این روش یک ابداع مدرن است. ابتدا یک میکروفن صداهای محیط را جمع آوری میکند، سپس توسط رایانه امواج دریافتی تحلیل گردیده و امواج صوتی که ۱۸۰ درجه از فاز امواج دریافتی متفاوت است از طریق بلندگوی سیستم خارج میگردد. این عمل باعث پدید آمدن تداخل مخرب و حذف سروصدای آزاردهنده می گردد.



حذف فعال صدا :

زاویه گوینده به شنونده

یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر شاخص وضوح گفتار در یک محیط آکوستیکی محصور، زاویه بین گوینده و شنونده می باشد که برای سهولت از زوایای ۰، ۹۰ و ۱۸۰ درجه استفاده می شود. بدیهی است که بیشترین انرژی صوتی زمانی منتقل می شود که گوینده و شنونده روبروی یکدیگر قرار داشته و زاویه بین آنها صفر درجه باشد. به ازای هر ۹۰ درجه چرخش گوینده نسبت به شنونده ۰/۱۵ از شاخص وضوح گفتار کاسته می شود و بیشترین کاهش زمانی اتفاق می افتد که گوینده پشت به شنونده داشته باشد یعنی وقتی که زاویه ۱۸۰ درجه باشد که در این صورت ۰/۳ از شاخص وضوح گفتار کاسته می شود.

کرد اوری و ندوین: مهدی بیات

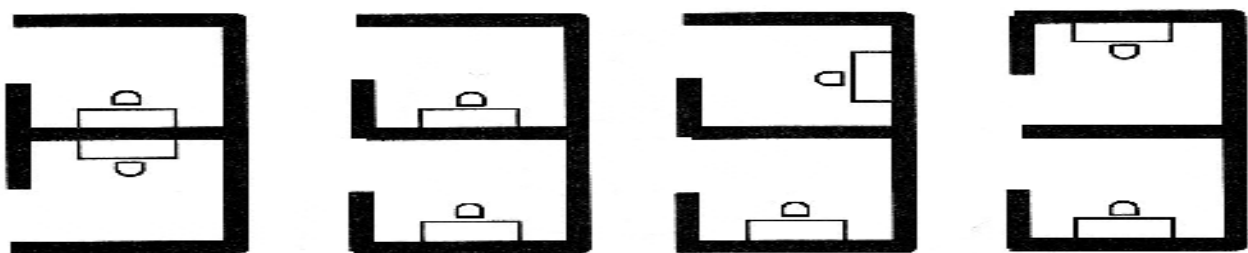
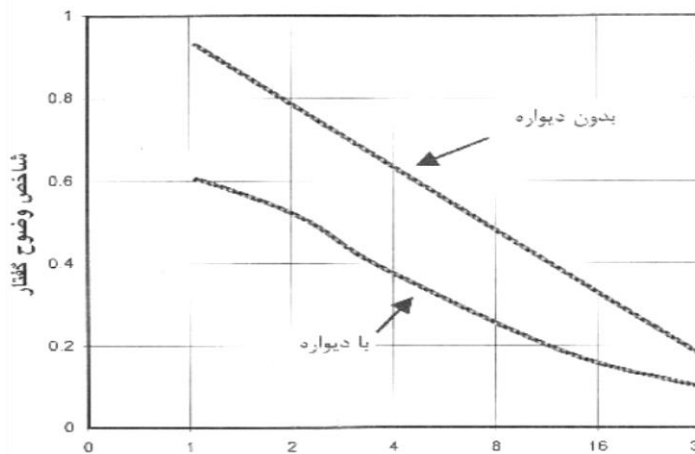
فاصله گوینده از شنونده

همان طوری که قبلاً اشاره شده، در یک محیط باز انتشار صدا از قانون عکس مجذور فاصله تبعیت کرده و به ازای دو برابر شدن فاصله، ۶dB افت صدا وجود خواهد داشت. به منظور دستیابی به افت صدای مناسب در یک دفتر اداری اولاً می‌بایست سطوح محصور دارای ضریب جذب بالایی بوده و حتی‌المقدور از یک‌دیگر فاصله داشته باشند. حداقل فاصله بین دو دیوار طبق مطالعات انجام شده باید ۱۸m بوده و کف نیز با موکت پوشیده شده باشد تا به ازای دو برابر شدن فاصله ۴dB الی ۵dB افت صدا به وجود آید. به ازای دو برابر شدن فاصله در یک

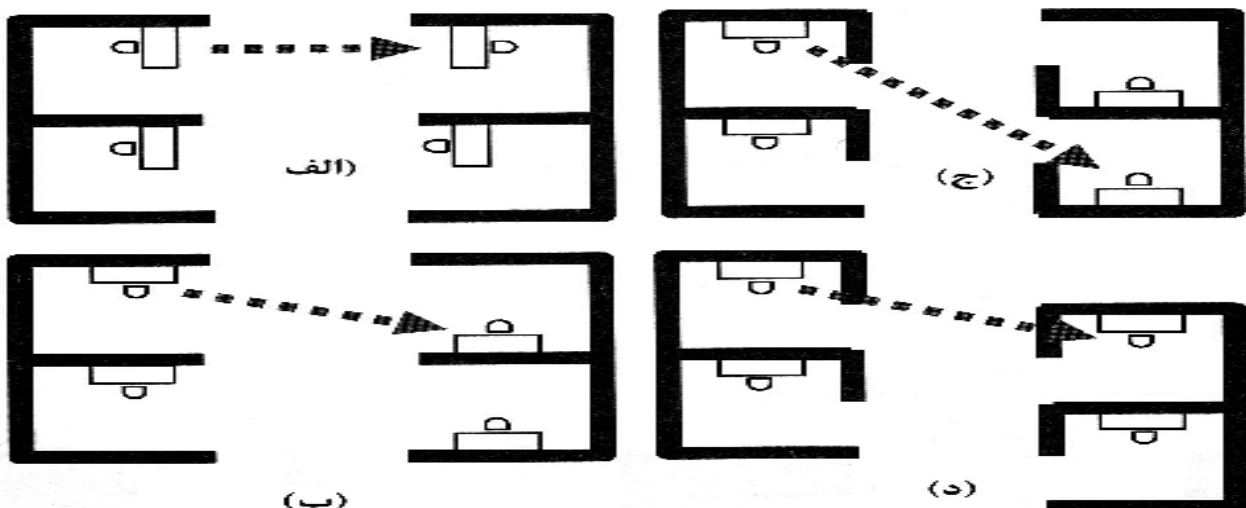
تأثیر حایل‌ها

حایل‌ها یا دیواره‌های جداکننده (پارتیشن‌ها) نیز به شرط آن که تأثیر بازتابی آنها زیاد نباشد تا حدود ۰/۳ از شاخص وضوح گفتار می‌کاهند.

تأثیر دیواره جداکننده بر شاخص وضوح گفتار (Hegvold, 1971)



بهبود وضعیت آکوستیکی از چپ به راست به لحاظ چیدمان



بهبود وضعیت آکوستیکی از (الف) تا (د) به لحاظ تقسیمات داخلی

در اتاق‌های کنفرانس برای گروه‌های کوچک و بدون سیستم‌های تقویت صوتی، فاصله گوینده تا شنونده بهتر است بیش از ۶ متر نباشد در غیر این صورت برقراری ارتباط دچار مشکل خواهد شد.

اصول طراحی آکوستیک

مقدمه: امروزه بنابر بخش بندی نهمین کنگره جهانی آکوستیک

(مادرید - ژوئیه ۱۹۸۷) رشته های گوناگون آکوستیک در ۵ گروه دسته بندی شده اند: محیط زیست، صدا و ارتعاشات، روان شناسی و فیزیولوژیکی و الکتروآکوستیک.

در این بخش رفتار صدا در یک فضای سرپوشیده مورد مطالعه قرار می گیرد. هنگامی که صدایی از منبع صوتی در این گونه اماکن تولید می شود، صدای تولید شده از منبع دور شده تا هنگامی که به سطوح اتاق و یا تالار برخورد کند. پس از برخورد امواج صوتی با سطوح، بخشی از آن جذب، بخش دیگر از دیوار عبود کرده و بقیه آن پس از برخورد بازتاب می نماید.

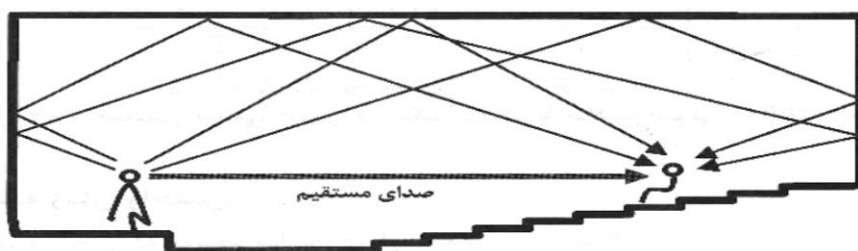
صدایی که از یک نقطه مشخصی در اتاق دریافت می شود از دو بخش جدا تشکیل می گردد. بخش اول صدایی است که مستقیماً از منبع صوتی به نقطه معین می رسد، که به عنوان امواج اصلی نامیده شده و مستقل از شکل و مصالح اتاق بوده و فقط به فاصله بین منبع و آن نقطه بستگی دارد. بخش دوم، بازتاب امواج صوتی برخورد کننده با سطوح داخلی است که به آن نقطه مفروض می رسد و امواج غیر مستقیم نامیده می شود. اگر فاصله بین منبع و سطوح دیوار زیاد باشد، تأثیر محسوسی در دریافت امواج بازتابیده شده حس خواهد شد. بنابراین بازتاب امواج ارتباطی به فاصله منبع تا نقطه مفروض یا دریافت کننده نداشته و کاملاً به ویژگی های اتاق بستگی دارد.

در تئاترهای روم علاوه بر آنچه که از لحاظ فرم در تئاترهای یونان مورد توجه بود، نکته قابل توجه محصور شدن آملی تئاترها به وسیله دیوارها می باشد که علاوه بر سایر مزایا از لحاظ آکوستیکی نیز وضعیت بهتری را ایجاد می نموده است.

از آنجایی که در آن زمان امکانات الکتریکی تقویت صدا وجود نداشت، این فضاها می بایست برای مقیاس صدای انسانی طراحی می شدند، به نحوی که صدای یک انسان در برابر جمع ۲۰۰۰ نفری به وضوح شنیده می شد. از آنجایی که صدای انسان یک برد خاصی دارد، و صحبت کردن با فریاد حداکثر دقایقی بیشتر امکان پذیر نیست، بنابراین فضاهای مذکور بایستی به گونه ای طراحی می شدند تا صدای گوینده به صورت یک نواخت به سمت تماشاچیان هدایت می شد.

تا پایان قرن نوزدهم طراحی این گونه فضاها بر اساس سعی و خطا و تجربی انجام می پذیرفت. در سال ۱۸۹۵ به دلیل غیر قابل تحمل بودن مشکل آکوستیکی تالار موزه هنر فگ، فیزیک دان جوانی به نام سابین سعی در بهبود بخشیدن به این مشکل کرد.

پس از مطالعات دقیق راجع به این بنا وی دریافت که مشکل اساسی در غیر قابل فهم بودن مطالب سخنرانی شده در اتاق به واسطه بازتاب اصوات به صورت رفت و برگشتی در سطوح داخلی بنا می باشد. وی با تغییر جای صندلی ها و به جلو آوردن آنها متوجه بهبود ناگهانی در وضعیت آکوستیکی تالار شد. این مسئله در تاریخ آکوستیک به عنوان اولین تلاش علمی در جهت بهبود بخشیدن به وضعیت آکوستیکی یک تالار به شمار می رود.

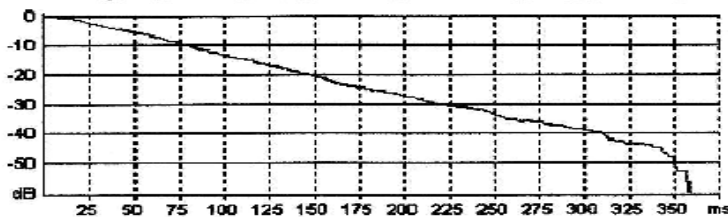


صدای مستقیم و منعکس شده در داخل تالار :

انتشار و تباهی صدا در فضای بسته

هنگامی که در یک فضای سرپوشیده یک منبع صوتی شروع به پخش انرژی صوتی می‌کند، امواج منتشر شده در لحظه اول در فضای خالی از انرژی تالار در تمام جهات پیش‌روی می‌نماید. پس از مدت معینی، امواج منتشر شده به دیوارها برخورد و بازتاب می‌نماید. امواج اصلی و امواج بازتابنده با یکدیگر تداخل کرده و به تدریج میدان آکوستیکی را پخش می‌نمایند. بنابراین هنگام قطع شدن منبع صدا، انرژی آکوستیکی در تالار بلافاصله از بین نرفته بلکه مدتی طول می‌کشد تا بر اثر تباهی انرژی، در تالار سکوت مطلق حکم‌فرما شود.

صدایی که بر اثر بازتاب مکرر منعکس می‌گردد ضعیف و ضعیف‌تر شده تا آن که کاملاً از بین برود. بدیهی است که تباهی صدا در یک تالاری که توسط جذب کننده‌ها به طور کامل پوشانده شود بسیار سریع‌تر از تالار فاقد جذب کننده اتفاق می‌افتد. مدت زمانی که از لحظه قطع سرچشمه صدا تا سکوت مطلق در تالار به طول می‌انجامد را طنین یا واخنش می‌نامند.



منحنی تباهی طنین در یک اتاقک
با جاذب صوتی (Marsh, 2003):

محاسبه زمان واخنش

تحقیقات وسیعی که توسط سابین در این زمینه صورت گرفته حاکی از آن است که رابطه ریاضی بین حجم تالار، مقدار جذب کننده و زمان واخنش وجود دارد. همان گونه که قبلاً نیز اشاره شد، زمان واخنش طبق تعریف سابین عبارت است از مدت زمانی که پس از قطع منبع صدا، تراز فشار صدا ۶۰ dB افت کند.

معمولاً تخمین RT در مرحله طراحی توسط فرمول سابین انجام می‌پذیرد. با نگاهی ساده به این فرمول مشخص می‌شود که هرچه حجم سالن بزرگتر باشد، طبیعتاً زمان واخنش نیز بزرگ‌تر می‌گردد. میزان RT با افزایش و کاهش حجم سالن توسط بالا و پایین آوردن سقف و یا احداث بالکن‌های بیشتر امکان پذیر می‌باشد.

زمان واخنش طبق رابطه تقریبی زیر قابل محاسبه است:

$$RT = \frac{0.161 \times V}{A} \quad \begin{matrix} \text{RT: زمان واخنش (s)} \\ V: \text{حجم تالار (m}^3\text{)} \end{matrix}$$

A: جذب کلی سطوح که برابر است با مجموع حاصل ضرب سطوح بر حسب (m²) در ضریب جذب هریک. مقدار جذب کلی معمولاً با واحد سابین عنوان می‌شود:

$$A = S_1 \times a_1 + S_2 \times a_2 + \dots + S_n \times a_n = \sum S_n a_n$$

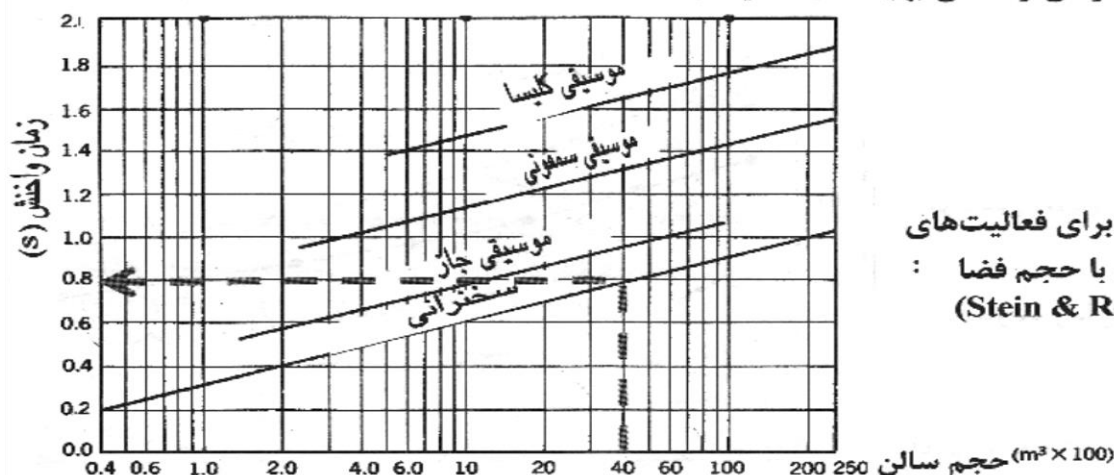
در یک اتاق با طنین متوسط که با جذب کننده‌های یکنواخت پوشیده شده باشد، رابطه سابین تخمین خوبی ارائه می‌کند. این امر به آن دلیل است که سابین فرض را بر آن گذارده که تباهی صدا به صورت یکنواخت، ممتد و به آرامی صورت پذیرفته و به‌طور کاملاً همگن به سطوح مختلف اتاق برخورد می‌نماید. هرچه مقدار جذب کننده در یک اتاق افزایش یابد، از میزان دقت رابطه فوق کاسته می‌گردد. اما رابطه سابین چنین مقداری را نشان نمی‌دهد.

کرد اوری و تدوین: مهدی بیات

در سال ۱۹۳۰ این رابطه توسط ایرینگ اصلاح شد. وی فرض نمود که پرتوهای آکوستیکی منتشر شده در فضای اتاق پس از هربار بازتاب مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهند.

اگر چنانچه در یک تالار از مواد و مصالح مختلف با ضرایب جذب متفاوت استفاده گردد، رابطه‌ای که توسط سته ارائه شده است یکی از دقیق‌ترین معادلات به شمار می‌رود.

فرکانس‌های میانه (۵۰۰Hz-۱۰۰۰Hz) را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، برای سالن سخنرانی با حجم 4000 m^3 زمان واخنش بهینه 0.8 ثانیه است.

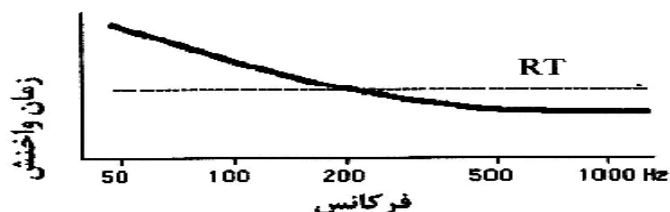


زمان واخنش بهینه برای فعالیت‌های مختلف در رابطه با حجم فضا :
(Stein & Reynolds, 2000)

جدول حداکثر مجاز زمان واخنش را در فضاهای مختلف در فرکانس‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز نشان می‌دهد.
(مقررات ملی ساختمان، ۱۳۷۹)

نوع فضا	میانگین زمان واخنش به ثانیه در فرکانس‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز
اتاق میهمان	۰/۸
سالن انتظار	۱
راهروهای هتل	۱/۲
کلاس درس نظری (در شرایط خالی)	۱
آزمایشگاه‌ها	۱/۲
کارگاه‌ها و راه پله‌ها	۱/۵
اتاق بیمارستان	۱/۲
اتاقهای اداری، مراکز کامپیوتری و بانک‌ها	۱/۲

همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، زمان واخنش در فرکانس‌های پایین در حدود ۳۰٪ از متوسط آن بالاتر است که این مسئله موجب بروز برخی مشکلات آکوستیکی از قبیل فقدان اصوات بم در تالار می‌گردد.

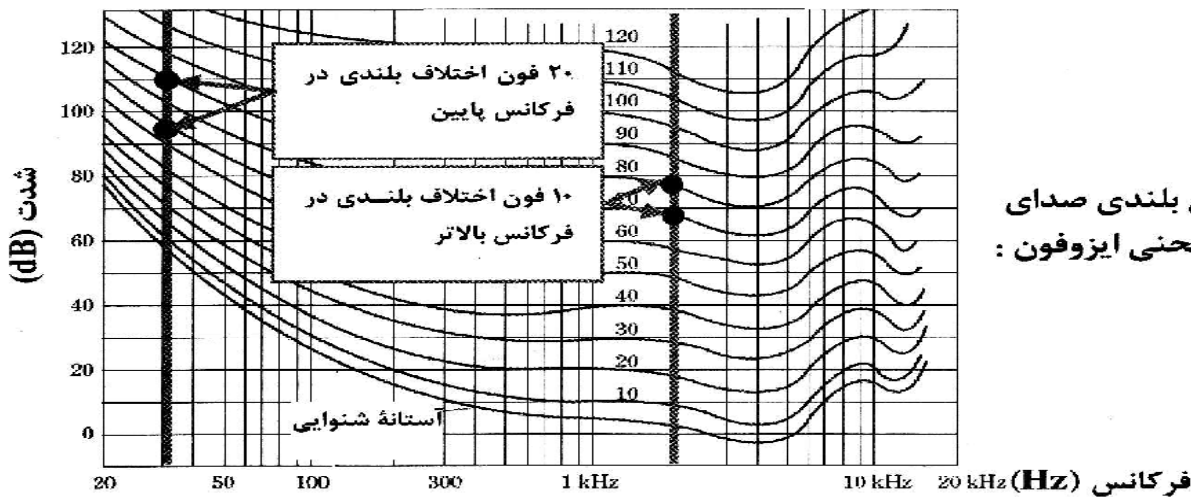
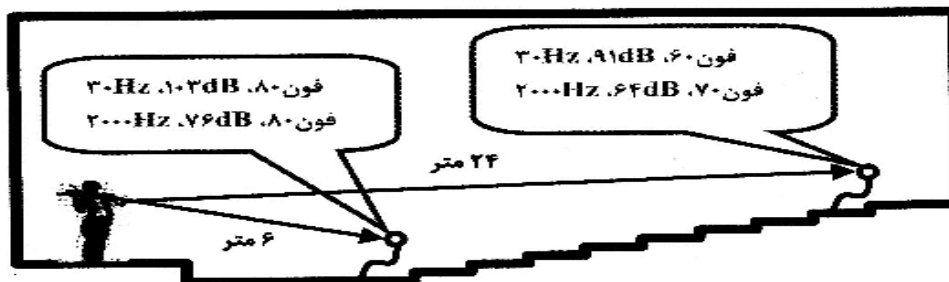


زمان واخنش بیشتر در فرکانس‌های پایین تر :

بر این اساس، با فرض آن که شنونده‌ای در فاصله ۶ متری صدایی به بلندی ۸۰ فون در فرکانس‌های ۳۰ و ۲۰۰۰ هرتز که تراز شدت آن به ترتیب ۱۰۳ و ۷۶ دسی‌بل باشد بشنود، شنونده دیگر در فاصله ۲۴ متری بر حسب قانون عکس مجذور فاصله، در فرکانس‌های ۳۰ و ۲۰۰۰ هرتزی، به ترتیب ۹۱ و ۶۴ دسی‌بل که معادل با ۶۰ و ۷۰ فون بلندی می‌باشد دریافت

خواهد کرد.

گرد اوری و بدوین: مهدی بیاب



مقایسه کاهش بلندی صدای
بم در منحنی ایزوفون:

از نمودار ایزوفون استنباط می‌شود که بلندی صدا که در فاصله ۶ متری برای هر دو فرکانس ۸۰ فون بوده است، در فاصله ۲۴ متری صدای بم ۱۰ فون ضعیف‌تر از صدای ۲۰۰۰ هرتزی شنیده می‌شود.

اندازه‌گیری زمان واخنش توسط اسیلوسکوپ

با استفاده از یک اسیلوسکوپ و به کمک عکاسی از صفحه آن و یا با استفاده از اسیلوسکوپ‌های توری که مستقیماً نوسانات را بر روی نوار کاغذ حساس ضبط می‌کنند می‌توان روند خسران طراز فشار صدا را ثبت و از مقایسه با نوسان مقیاس زمان (۱۰۰۰ هرتز) زمان واخنش را بدست آورد.

اندازه‌گیری زمان واخنش توسط مدل

در این روش با ساختن مدل مقطع و ریختن آب درون آن و ایجاد موج در آن چگونگی بازتاب امواج را ملاحظه می‌کرده‌اند. ولی با توجه به کندی امواج آب و دو بعدی بودن نمونه حرکت واقعی امواج صدا معلوم نمی‌شد.

وضوح و آشکاری

وضوح و آشکاری صدا مربوط به شنیدن اجزای یک صدا به راحتی و وضوح از میان اصوات جاری موجود است. اصوات جاری می‌توانند شکل‌های مختلفی از قبیل: گفتگو، موسیقی، فریاد بلند، صدای ماشین‌آلات و غیره داشته باشند. درجه وضوح و صافی صدا بستگی به نسبت مقدار انرژی صوتی اولیه دریافت شده به انرژی صوتی ثانویه دریافت شده دارد. این مقادیر اجازه می‌دهند تا میزان ترکیب اصوات موسیقی در یک فضای بسته ارزیابی گردد.

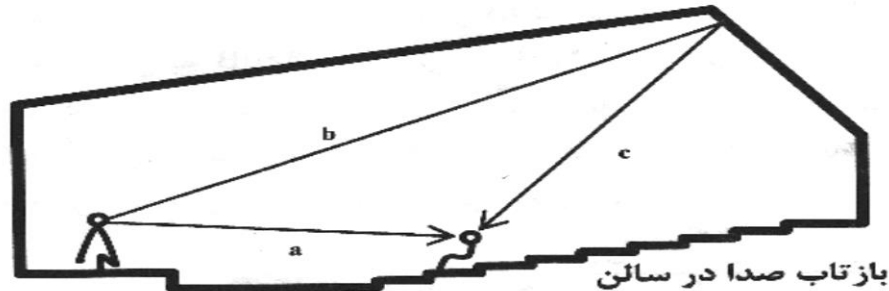
هنگامی که دو صدا (اصلی و بازتاب) در فاصله زمانی ۵۰ هزارم ثانیه به گوش می‌رسد، گوش آنها را به عنوان یک صدای یک‌پارچه تشخیص می‌دهد. این بدان معنا است که هر صدایی که در این فاصله زمانی به گوش برسد، در واقع میزان شدت صدای مستقیم دریافتی را تشدید خواهد کرد. زیرا صدای اصلی به اضافه صدای بازتاب موجب بالا رفتن شدت انرژی صوتی دریافتی و اصطلاحاً طنین می‌گردد.

گردآوری و تدوین: مهدی بیات

نیازهای آکوستیکی سخن گویی

صدای مستقیم تابع فاصله بین سخنران و موقعیت شنونده است و با کم شدن فاصله صدا بلندتر می‌گردد. صدای پرتنین حاصل از انعکاس مکرر نیز تابع مدت زمانی است که صدا به اندازه ۶۰dB کاهش یابد که به حجم سالن، مقدار جذب کننده‌ها و فرکانس امواج صوتی برای محاسبه زمان تأخیر صدای بازتابی بر حسب میلی ثانیه می‌توان از رابطه زیر که در فصل سوم نیز آمده استفاده کرد (واحد فواصل بر حسب متر می‌باشد).

$$t = \frac{(b + c) - a}{344}$$



تراز سخن گویی

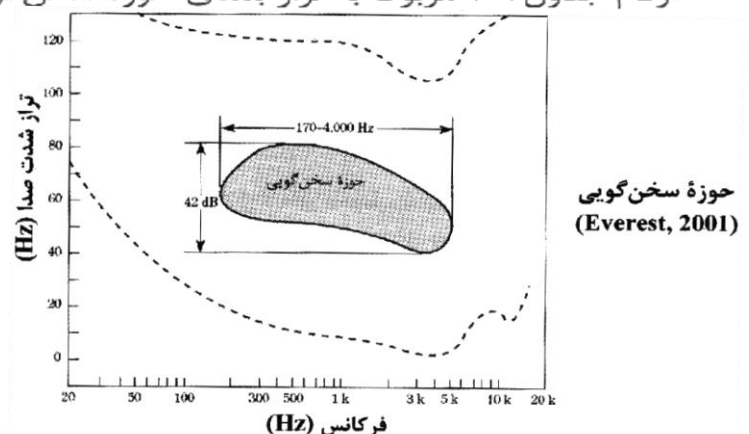
درک وضوح سخن گویی با فریاد بسیار مشکل است. به علاوه، اگر در یک سخنرانی عادی، تراز صدایی که به گوش شنونده می‌رسد بالاتر از ۸۰dB باشد، فشار زیادی به گوش خواهد رسید. ارقام جدول ۷-۲ مربوط به تراز بلندی حوزه سخن گویی است:

تراز صدا (dB)	حوزه سخن گویی
۳۲	نچوا و زمزمه
۳۷	آهسته
۴۲	ملایم
۴۷	عادی (خصوصی)
۵۲	عادی (عمومی)
۵۷	رسا
۶۲	بلند
۶۷	خیلی بلند
۷۲	فریاد
۷۷	فریاد بسیار بلند

تراز سخن گویی

درک وضوح سخن گویی با فریاد بسیار مشکل است. به علاوه، اگر در یک سخنرانی عادی، تراز صدایی که به گوش شنونده می‌رسد بالاتر از ۸۰dB باشد، فشار زیادی به گوش خواهد رسید. ارقام جدول ۷-۲ مربوط به تراز بلندی حوزه سخن گویی است:

تراز صدا (dB)	حوزه سخن گویی
۳۲	نچوا و زمزمه
۳۷	آهسته
۴۲	ملایم
۴۷	عادی (خصوصی)
۵۲	عادی (عمومی)
۵۷	رسا
۶۲	بلند
۶۷	خیلی بلند
۷۲	فریاد
۷۷	فریاد بسیار بلند



ادراک سخن گوئی

بخش مهمی از ادراک سخنرانی به حرکات، رفتار و اشارات سخنران بستگی دارد. در مواقعی که صدای سخنرانی از پیش ضبط شده و پخش می‌گردد و یا ازدحام جمعیت مانع از دیدن سخنران می‌شود، این بخش از ادراک حذف می‌شود، در نتیجه وضوح صدای شنیده شده باید کیفیت بسیار مطلوبی داشته باشد. در یک سخنرانی عادی، حتی اگر بعضی کلمات شنیده نشوند، شنوندگان قادر خواهند بود مفهوم کلی مطالب و جملات را درک بنمایند. تحت شرایط بسیار مطلوب شنوندگان به دلیل اشکالات اجتناب ناپذیر، قادر به درک ۹۵٪ کلمات هستند. انسان با درک حتی ۸۵٪ کلمات نیز قادر به دریافت مفاهیم می‌باشد. هرگاه این رقم به ۷۰٪ برسد، برای درک مطالب باید تمرکز داشت و رقم ۶۰٪ شنونده را به زحمت انداخته و قابلیت درک مفاهیم کاهش می‌یابد.

صدای زمینه

درون هر محیط آکوستیکی، غالباً یک تراز صدای محیطی و زمینه وجود دارد. تراز این صدا بستگی به فعالیت‌های درون و اغلب خارج از فضا دارد. یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش نسبت پیام به صدای ناخواسته که شنونده را مجبور به تمرکز بیشتر می‌نماید، وجود همین صدای زمینه است که برخی اوقات بر صدای سخنرانی چیره می‌شود.

هنگامی که گوش در معرض دو یا چند صدای مختلف قرار می‌گیرد ممکن است یکی از صداها صدای دیگر را پوشش دهد، در این حالت صدای پوشش گرفته شنیده نمی‌شود یا فقط در صورت دقت و تمرکز شنونده شنیده می‌شود. در این صورت منحنی آستانه شنوایی در حضور صدای پوشش دهنده جابجا شده است و میزان این جابجایی به محدوده فرکانس دو صدا بستگی دارد.

بدیهی است که در یک سخنرانی کوتاه تلاش صوتی بیشتری صورت می‌پذیرد تا در یک مباحثه و سخنرانی طولانی‌تر که مستلزم تراز صوتی کمتری است.

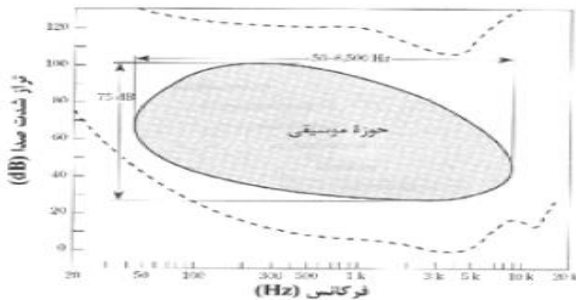
نیازهای آکوستیکی موسیقی

حضور و شنوندگان یک موسیقی انتظار بالایی از کیفیت آکوستیکی تالار دارند. عوامل زیادی در شنیدن یک موسیقی دخیل می‌باشند. وضوح موسیقی باید به گونه‌ای باشد که اجزاء موسیقی قابل تشخیص باشد. طنین نیز باید به اندازه‌ای باشد که شنونده احساس کند که حاله‌ای از صدا او را احاطه کرده است. شنونده باید احساس نزدیکی به منبع و بلندی صدا را داشته باشد.

موسیقی مجلسی که توسط گروه کوچکی از نوازندگان انجام می‌پذیرد در مقایسه با موسیقی‌های شور انگیز سمفونی، هریک فضای آکوستیکی خاص خود را می‌طلبد تا رضایت کامل شنوندگان حاصل گردد. طراحی فضا برای موسیقی مجلسی، ایجاد احساس صمیمیت و نزدیکی بیشتر شنوندگان و گروه اجرا کننده را می‌طلبد و باید شنیدن صدای مستقیم در زمان همبستگی بر صدای طنین غلبه داشته باشد. به این ترتیب بدون آن که پژواک صدا شنیده شود، صدای اولیه و کلیه صداها بازتابیده در دوره همبستگی (۳۵-۵۰ms) موجب بالا رفتن شدت اولیه صدا می‌گردد.

در این موارد طنین صدای اولیه باید افزایش یابد تا تأثیر بلندی صدا و طنین آن توأماً احساس گردد. هرچند که مفهوم بودن تک تک کلمات، یکی از ویژگی‌های سخنرانی است، در موسیقی، ترکیب مناسب اصوات دلپذیرتر است. وضوح بیش از حد اصوات در موسیقی حالت خشکی به موسیقی می‌دهد. بنابراین در تالارهای موسیقی باید زمان واخنش نسبت به تالارهای سخنرانی بیشتر باشد. زمان واخنش می‌تواند تا ۲/۴ ثانیه برای تالارهای بزرگ افزایش یابد.

مطالعات علمی نشان میدهد که حتی می‌توان برای هر سبک موسیقی، زمان واخنش مشخصی را مجاز دانست. به این معنی که زمان واخنش در تالارهای بزرگ از ۲۰۰۰ الی ۱۴۰۰۰ متر مکعب، تابع حجم تالار نبوده و بلکه تابع نوع موسیقی است. به عنوان مثال، برای موسیقی کلاسیک و مدرن زمان واخنش ۱/۵ ثانیه و برای موسیقی رمانتیک ۲/۱ ثانیه و اگر تالار برای انواع مختلف موسیقی ساخته شود، زمان واخنش ۱/۷ ثانیه مناسب می‌باشد.



در استودیوهای ضبط موسیقی، زمان واخنش از تفاوت‌های سالن موسیقی و سخنرانی در این باید کم بوده و به اصطلاح خشک باشد. یکی است که در تالارهای موسیقی فرکانس اصوات از ۵۰ الی ۸۵۰۰ هرتز گسترده است در حالی که در سخنرانی نوار محدودی از فرکانس ۱۷۰ الی ۴۰۰۰ هرتز را در بر می‌گیرد.

بنابراین پر واضح است که نمی‌توان فضایی داشت که برای هر دو فعالیت سخنرانی و موسیقی توأماً بسیار عالی باشد مگر این که امکان آن وجود داشته باشد که حجم سالن و یا جنس سطوح و مقدار جذب کننده‌ها و در نتیجه زمان واخنش را تغییر داد. حتی در این صورت نیز باید یکی از این فعالیت‌ها در اولویت باشد مگر آن که تقویت‌کننده‌های الکترونیکی دخیل گردند که در این صورت بیشتر مناسب عملکرد سخنرانی خواهد بود.

در سالن‌های متوسطی که برای اجرای اپرا و کنسرت هر دو به کار برده می‌شوند

ابعاد، شکل و حجم سالن

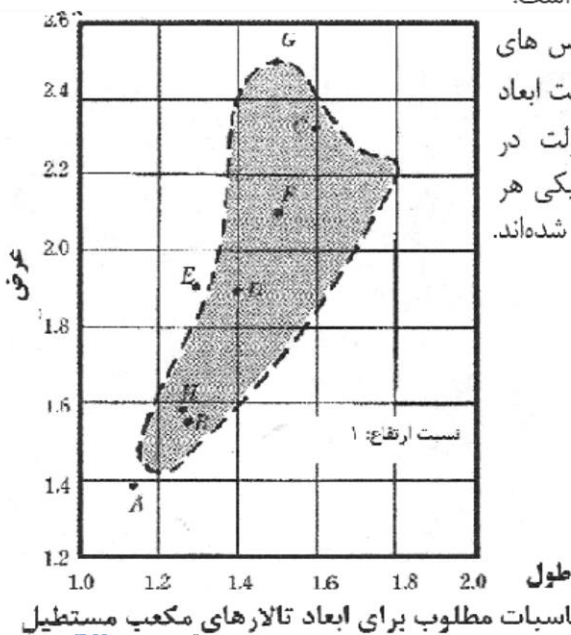
در طراحی فرم مهم ترین نکته، نسبت طول، عرض و ارتفاع است. در گذشته از نسبت ۲:۳:۵ یا همان ۱:۱/۵:۲/۵ که توسط ولکمن در سال ۱۹۴۲ ارایه شده بود استفاده می‌شد. شکل سالن می‌تواند به صورت اشکال منظم مستطیل جعبه کفشی و یا نامنظم هندسی و تابوتی و یا اشکال منحنی و دایره‌ای بنا به سلیقه طراح متغیر باشند. آنچه که مهم است فراهم نمودن زمان واخنش مناسب برای فعالیت‌های مورد نظر است. گرچه در گذشته از پلان‌های دوزنقه‌ای به عنوان فرم‌های موفق یاد می‌شده و تأکید بر استفاده از آنها بوده است، لکن امروزه شکل جعبه کفش به دلیل بازتاب‌های افقی میان دیواره‌های مجاور و در نتیجه زمان واخنش بالاتر برای سالن‌های کنسرت دوباره پیشنهاد و احیا شده است. در این سالن‌ها تماشاچیان روبروی ارکستر موسیقی می‌نشینند و برای برخورداری از بهترین ترکیب صدا، در بیشترین فاصله ممکن از صحنه قرار می‌گیرند. نمونه‌های معاصر در دالاس و برمینگهام است که عموم مردم را به خود جذب می‌نماید.

شکل سالن‌های تأثر باید به گونه‌ای باشد که شنوندگان حتی المقدور به منبع صوتی نزدیک باشند. البته نحوه چیدن صندلی‌ها می‌تواند از شکل سالن تبعیت نکرده و به صورتی باشد که مسافت و دید مطلوب حاضرین را تأمین نماید. در تالارهای بزرگ استفاده از بالکن روش مناسبی برای نزدیک‌تر کردن تعداد صندلی‌های بیشتر به منبع صوتی است.

آنچه باید مورد توجه قرار گیرد این است که ابعاد و فرم به گونه‌ای انتخاب شوند که فرکانس‌های خاصی از امواج صوتی را به صورت یکنواخت پخش نمایند. در شکل محدوده خاکستری نسبت ابعاد مناسب برای تالارهای مربع مستطیل در فرکانس‌های کمتر از ۱۸۰ هرتز را که توسط بولت در سال ۱۹۴۶ ارایه شده نشان می‌دهد. پس از آن محققین و صاحب‌نظران علوم آکوستیکی هر یک تناسباتی را به عنوان تناسبات مطلوب معرفی کردند که با حروف انگلیسی مشخص شده‌اند.

محققین	ارتفاع	عرض	طول	قرار داشتن در محدوده بولت
سومر (۱۹۶۵)	A	۱/۰۰	۱/۱۲	۱/۲۹
	B	۱/۰۰	۱/۲۸	۱/۵۴
	C	۱/۰۰	۱/۶۰	۲/۲۳
لادن (۱۹۷۱)	D	۱/۰۰	۱/۴	۱/۹
	E	۱/۰۰	۱/۳	۱/۹
	F	۱/۰۰	۱/۵	۲/۵
ولکمن (۱۹۴۲)	G	۱/۰۰	۱/۵	۲/۵
یونر (۱۹۴۲)	H	۱/۰۰	۱/۲۶	۱/۵۹

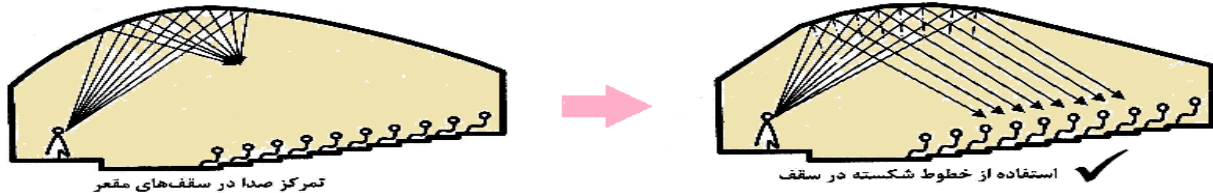
تناسبات مطلوب تالارهای مستطیل شکل از دیدگاه‌های محققین
بره‌آوری و دویین. مهدی بیات



تناسبات مطلوب برای ابعاد تالارهای مکعب مستطیل

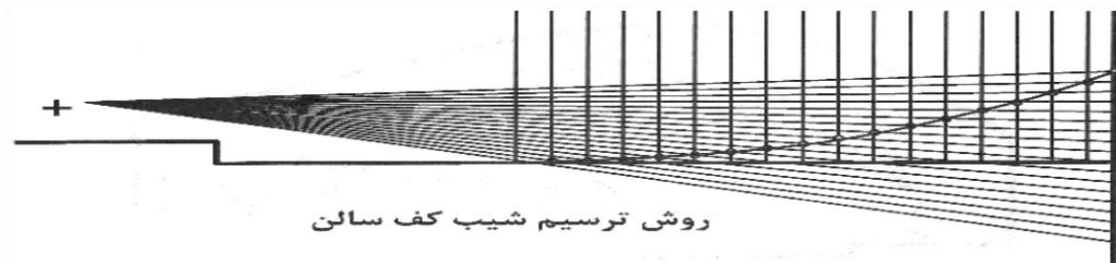
سقف سالن

تقسیم بندی سطح سقف به بخش های متعدد کوچکتر سبب سهولت در انتشار امواج صوتی می شود.
در سقف هایی که به صورت منحنی مقعر هستند باید دقت داشت که امواج انعکاسی به سمت نقطه خاصی متمرکز نشده و یکدیگر را قطع ننمایند بلکه به صورت موازی به سمت شنوندگان هدایت شوند.
بدین منظور از خطوط شکسته به جای خطوط منحنی استفاده می شود تا بازتاب امواج به صورت موازی هدایت شوند.



کف سالن

کف سالن باید دارای شیب مناسبی باشد تا تمامی امواج صوتی از میان تماشاچیان عبور نکرده و جذب نشود. شیب کف به دلایل ایمنی بهتر است که بیش از ۱:۸ نباشد. به عبارت دیگر اختلاف بلندی هر ردیف با ردیف قبلی باید مساوی ۸ سانتی متر باشد اگرچه این تناسب در بسیاری از تالارهای ساخته شده مشاهده نمی شود.
ابتدای شروع شیب کف پس از ۱۰ متر اول است زیرا در این فاصله صدا نیاز به تقویت نداشته و به طور مستقیم به گوش شنونده می رسد. به منظور ترسیم شیب کف سالن، ابتدا از پایین صحنه روی خط افقی کف سالن در فاصله ۱۰ متری منبع، به ازای هر یک متر تا آخرین ردیف صندلی ها خطوط عمودی ترسیم می شود. سپس از منبع صوتی به محل تقاطع اولین خط عمودی با کف خطی ترسیم می شود، آنگاه از منبع صوتی به ازای هر یک درجه خطوطی ترسیم می شوند تا خطوط عمودی را به ترتیب قطع نمایند. بدین ترتیب اگر نقاط به دست آمده به یکدیگر وصل شوند، خط شیب کف سالن به دست خواهد آمد.



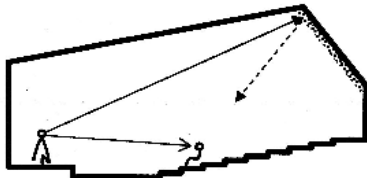
اشکالات مهم آکوستیکی

از جمله مهمترین اشکالات آکوستیکی یک سالن عبارتند از:

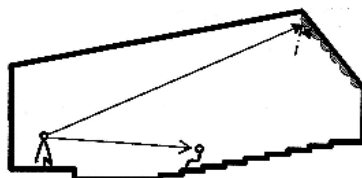
- پژواک ناخواسته
- پژواک ردیفی
- امواج ساکن
- نقاط کور و سایه آکوستیکی
- تمرکز صدا
- فضاهای الحاقی

پژواک ناخواسته

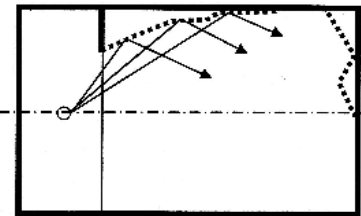
پژواک یکی از رایج ترین مشکلات آکوستیکی سالن ها به شمار می رود. این مسئله زمانی رخ می دهد که یک بازتاب قوی از یک صدا توسط شنونده به خوبی شنیده شود، بدان معنا که فاصله زمانی شنیدن صدای اصلی و بازتاب شده زیاد باشد. این مشکل زمانی اتفاق می افتد که امواج صوتی با یک سطح بسیار بزرگ بازتابنده برخورد کرده و با یک تأخیر زمانی بیش از ۵۰ هزارم ثانیه به گوش شنونده برسد.



استفاده از جذب کننده جهت پیش گیری از تولید پژواک



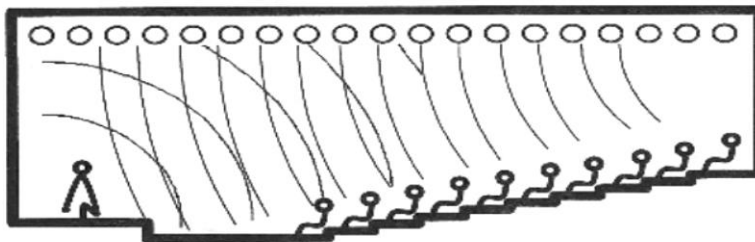
استفاده از پخش کننده های صوتی جهت پیش گیری از پژواک



هدایت امواج صوتی به سمت عقب سالن در پلان

پژواک ردیفی

این نوع پژواک در نتیجه برخورد امواج صوتی با ردیف های موازی و مسطح و فاصله یکسان سطوح مختلف مانند ردیف های موازی مصالح فشرده سقف های کاذب و یا ردیف های پله ای محل نشستن تماشاچیان می باشد. تعداد پله ها و فاصله بین آنها تعیین کننده صدای این نوع پژواک است.



پژواک ردیفی :

فرکانس پژواک ردیفی را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$f = \frac{v}{2d}$$

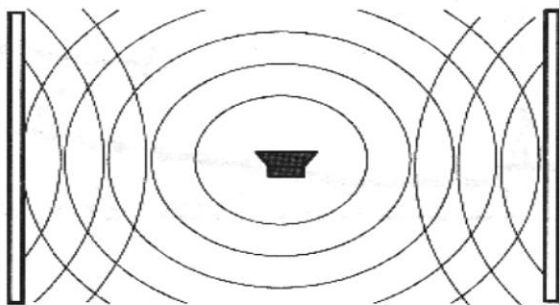
v : سرعت حرکت صدا در هوا (m/s)

d : فاصله بین ردیف های متوالی (m)

امواج ساکن

در تداخل امواج چنانچه دو موج با فرکانس های یکسان مثلاً امواج تابشی و بازتاب با یکدیگر ترکیب شوند ممکن است به علت اختلاف فاز یکصد و هشتاد درجه در بعضی نقاط یکدیگر را تضعیف کرده و نیز تساوی فازها در نقاطی یکدیگر را تقویت کنند از آنجائی که محل این نقاط ثابت است الگوی بوجود آمده به امواج ساکن معروف است.

این مسئله زمانی اتفاق می افتد که هر دو منبع صوتی و شنونده بین دو سطح سخت و موازی قرار گرفته باشند. امواج ساکن در تالارهای مکعب مستطیل در سه جهت، دیوار روبرو و پشت سر، بین دو دیوار جانبی و بین سقف و کف به وجود می آیند. در این صورت بخشی از صدا که توسط منبع صوتی تولید می گردد به صورت رفت و برگشتی بین دو سطح محصور شده و در نتیجه تباهی صدا به کندی صورت می پذیرد. در نتیجه شنونده این امواج را به صورت لرزشی دریافت نموده و یک نواختی صدا از بین می رود و به همین علت در برخی منابع به فلاتر اکو موسوم است. اگر فاصله بین دو دیوار d فرض شود، فرکانس پژواک لرزه ای نیز از همان رابطه پژواک ردیفی قابل محاسبه خواهد بود.

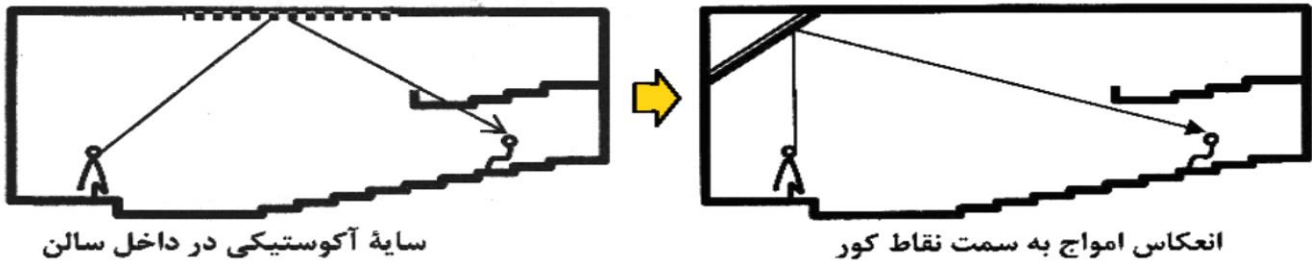


تولید امواج ساکن

راه حل از بین بردن امواج ساکن این است که یا باید در شکل اتاق تغییراتی داد و یا این که سطح بزرگی که منتج به این مسئله می گردد را حذف کرده و یا از جذب کننده ها و پخش کننده ها استفاده کرد.

نقاط کور و سایه آکوستیکی

این مسئله در نقاطی از سالن اتفاق می‌افتد که از منبع صوتی دور بوده و صدا پس از طی مسافت و جذب توسط جذب کننده‌ها ضعیف شده و همچنین صداهای بازتابیده شده نیز بر اثر برخورد با موانع مانند پیش‌آمدگی‌ها و یا بالکن آمفی تئاتر به گوش شنونده نرسد.



تمرکز صدا

تمرکز صدا در برخی نقاط به دلیل وجود سطوح مقعر در سقف و یا دیوارها پیش می‌آید. شدت صدا در نقاط مذکور به طور غیر طبیعی بالاتر از سایر نقاط می‌باشد. راه حل، استفاده از جذب کننده و یا پخش کننده امواج صوتی است. به هر حال بهتر است از ابتدا از ایجاد این گونه سطوح در داخل سالن استفاده نکرده و یا سطوح طوری بازسازی شوند تا نقطه تمرکز به بیرون سالن منتقل گردد.

فضاهای الحاقی

هنگامی که یک فضای الحاقی به یک تالار با زمان واخنش متفاوت مجاور گردد، این دو فضا تشکیل یک زوج فضایی می‌دهند. در حد فاصل بین این دو فضا اختلالات آکوستیکی به وجود می‌آید. راه حل این مشکل این است که دو فضا را با یک در جدا کرد و یا این که میزان RT هر دو فضا را یکسان نمود.

سیستم های الکترونیکی تقویت صدا

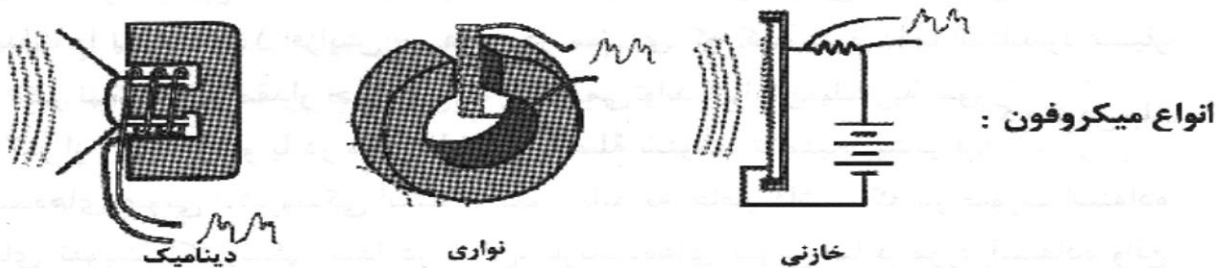
تحت شرایط عادی، صدای یک انسان برای یک فضای سرپوشیده تا 300 m^3 به اندازه کافی رسا است. دلایل متعددی برای استفاده از تجهیزات برقی و بلندگوها وجود دارد که برخی از آنها عبارتند از:

- افزایش تراز بلندی صدا هنگامی که منبع صوتی ضعیف است؛
- فراهم آوردن صدای کافی برای افرادی که از منبع صوتی دور هستند؛
- بازگرداندن صدا به سن؛
- تغییر زمان واخنش در یک تالار؛
- کاهش تأثیر صدای زمینه به وسیله پخش موسیقی ملایم و پایین آوردن شاخص وضوح گفتار در فضاهای عمومی؛
- فراهم آوردن امکان فراخواندن افراد، اطلاعات و اخطار؛
- امکان ترجمه همزمان در همایش ها؛
- امکان سرویس دهی به افراد کم شنوا در تالارها؛
- امکان ایجاد افکت های مختلف بر روی صدا؛
- فراهم آوردن امکان ضبط و تکثیر.

به طور کلی یک سیستم تقویت صوتی از سه بخش کلی؛ میکروفون، آمپلی فایر و بلندگو تشکیل شده است. صدای تولید شده از منبع صوتی توسط میکروفون جمع آوری و با آمپلی فایر تقویت و از طریق بلندگو همانند صدای اصلی پخش می شود.

میکروفون

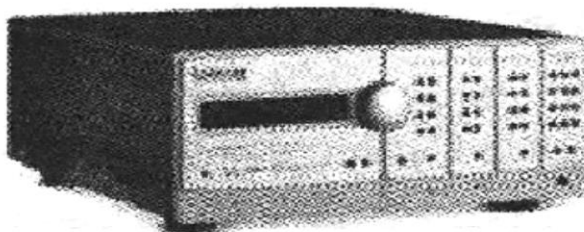
میکروفون ها امواج صوتی را دریافت کرده و آنها را به علائم الکتریکی تبدیل می کنند. ازجمله مهمترین انواع میکروفون ها می توان به میکروفون های دینامیک، نواری و خازنی اشاره کرد که هر یک از آنها دارای توانایی های مخصوص به خود هستند.



میکروفون تا حد امکان باید به منبع صوتی نزدیک باشد. هنگامی که بیش از یک منبع صوتی وجود داشته و یا منبع متحرک است، در این مواقع از چند میکروفون قوی که صدا را دریافت می کنند استفاده می شود. باید دقت کافی داشت که به هیچ وجه میکروفون در جهتی قرار نگیرد تا صدای بلندگو را دریافت کند زیرا در غیر این صورت، باز خور صدا از میکروفون دریافت شده و به صورت ناهنجاری مجدداً از بلندگوها پخش خواهد شد. چنانچه بلندگو در داخل جعبه قرار داده نشده باشد یا به بیان دیگر ارتباط جلو و پشت مخروط قطع نشده باشد، ارتعاشات هوای جلوی مخروط با ارتعاشات هوای پشت آن ترکیب شده و راندمان بلندگو به شدت کاهش پیدا می کند. این پدیده نیز در بلندگو به بازخور آکوستیکی معروف است.

آمپلی فایر

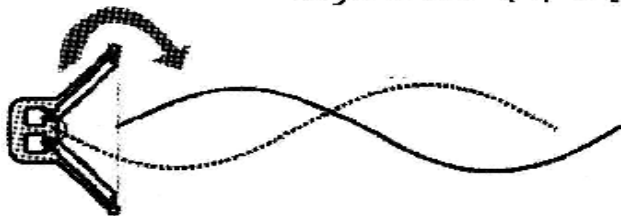
سیستم های تقویت الکترونیکی صدا باید قابلیت انتقال صدا با فرکانس های وسیع ۳۰ تا ۱۲۰۰۰ هرتز را به منظور حفظ تعادل بین فرکانس های پایه و هارمونی داشته باشند. همچنین قابلیت انتقال صحیح صدا از زمزمه تا فریاد بلند بدون تغییر شکل در صدا را داشته و عاری از پژواک باشند. آمپلی فایرها سیگنال ضعیف ورودی را به سیگنالی قوی که قابلیت راه یافتن به بلندگو را داشته باشد تبدیل می کنند.



آمپلی فایرها دارای دو مجرای اصلی هستند؛ یکی برای مدار ورودی و دیگری برای مدار خروجی. سیگنال مدار ورودی می تواند از روی صدای ضبط شده و یا از طریق میکروفون ایجاد شده باشد. به محض بارگذاری، مدار خروجی قادر به لرزاندن مخروط بلندگو می شود.

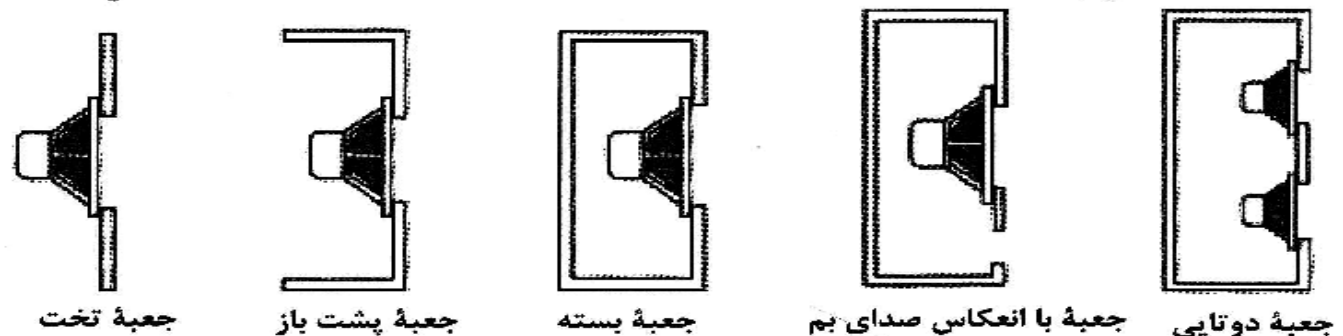
بلندگو

واحد نهایی در روند تقویت و پخش صدا بلندگو می باشد که سیگنال های الکتریکی را به امواج صوتی تبدیل می کند. مفهوم توان آکوستیکی برای اکثریت مردم به جز افرادی که با طراحی و ساخت بلندگوها سروکار دارند قابل درک نیست. فشار یک صدای مفروض بر حسب پاسکال، ناشی از توان آن صدا بر حسب وات میباشد. در واقع بلندگو یک مبدل الکتروآکوستیک است که توان الکتریکی را به انرژی صوتی تبدیل می کند و این انرژی را در محیط منتشر می کند. انواع مختلف بلندگو عبارتند از: دینامیک، خازنی و پیزوالکتریک که نوع معمول آن دینامیک است. عناصر اصلی بلندگو عبارتند از: آهنربای دائمی، سیم پیچ و دیافراگم مخروطی شکل که معمولاً از کاغذ، پلاستیک و یا فلز انعطاف پذیر ساخته شده و با حرکت خود سبب لرزش ذرات هوا و تولید صدا می شود. تنها اتصال مخروط، به سیم پیچ مولد بوده و لبه خارجی آن نیز بوسیله ماده یلاستیک، انعطاف پذیر، به قاب خارجی متصل است. به منظور نصب آسان بلندگو در محل مناسب، تولید صدا با کیفیت مناسب و نیز جهت جلوگیری از تحت تأثیر قرار دادن امواج تولیدی از جلو توسط صدای تولید شده از پشت و بنا به دلایل متعدد دیگر، بلندگوهای مخروطی نیاز به یک جعبه محافظ دارند.

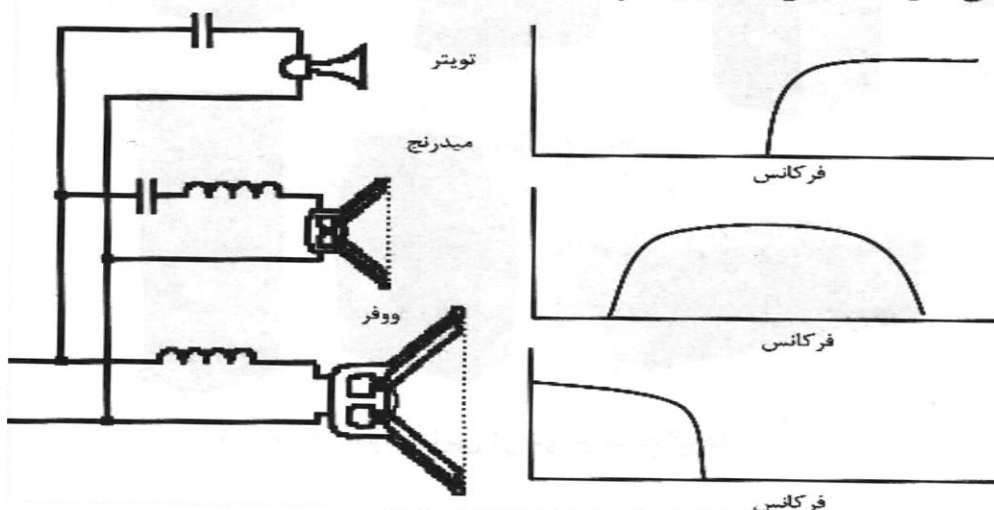


مزاحمت امواج تولیدشده از پشت بلندگو :

انواع جعبه محافظ بلندگو :



همان گونه که قبلاً اشاره شد، سیستم صوتی مناسب سیستمی است که بتواند تمامی فرکانس های صدای اصلی را بدون هیچ تغییری در آن منتقل نماید، بنابراین لازم است که از بلندگوهای متناسب با فرکانس های مشخص استفاده گردد.



محدوده پوشش

فرکانسی بلندگوها :

به طور کلی از سه دسته از بلندگوها بدین منظور استفاده می‌شود:

الف- بلندگوهای مربوط به امواج با طول موج کم به نام ووفر که مخروط این بلندگو نرم و بزرگ بوده و معمولاً فرکانس‌های پایین‌تر از پانصد هرتز توسط این بلندگو پخش می‌شوند؛

ب- بلندگوهای مربوط به امواج متوسط با نام مید رنج ؛

ج- بلندگوهای مربوط به امواج با طول موج بالا به نام تویتر که معمولاً برای پخش فرکانس‌های سه هزار هرتز تا بیست هزار هرتز مورد استفاده قرار می‌گیرد و ابعاد کوچکتری نسبت به بلندگوی ویژه فرکانس‌های میانی یا بلندگوی ویژه فرکانس‌های پایین دارد و مخروط صدا از منبع به یک مکان ویژه امکان‌پذیر نیست زیرا در فرکانس‌های کوتاه، امواج صوتی تمایل به پخش شدن در تمام جهات را دارند و به عکس امواج صوتی با فرکانس بالا (زیر) می‌توانند به صورت جهت‌دار هدایت شوند. البته شکل بلندگو (انواع بلندگوهای مخروطی و نظایر آن) نیز در هدایت صدا در مسیر خاص مؤثر است.

شیوه‌های پخش صدا

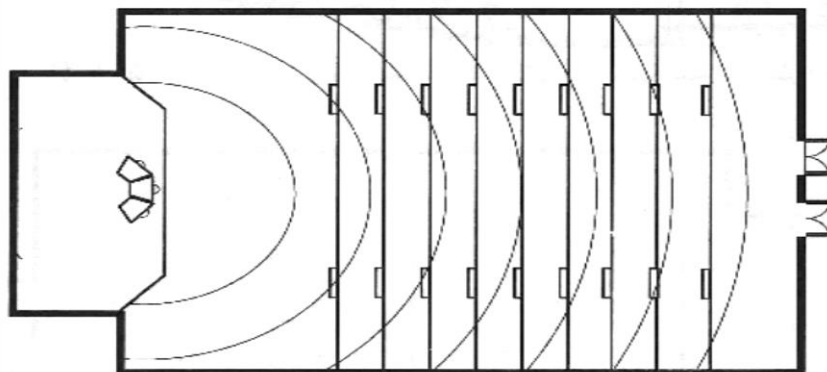
از لحاظ شیوه پخش، صدا به سه صورت مونو، استریو و محیطی قابل پخش است. در شیوه مونو، پخش از طریق یک یا چند بلندگوی یکسان (یک کانال) انجام شده و در سیستم‌های اطلاع رسانی، رادیو (به جز موج FM) و مکان‌های عمومی مورد استفاده واقع می‌شود.

تعیین مکان بلندگوها

اصولاً چهار روش مکان یابی در سیستم تقویت الکترونیکی صدا وجود دارد: مرکزی، دو طرفه، پراکنده و سقفی.

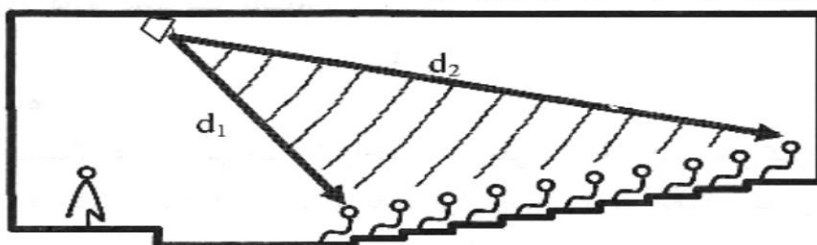
مرکزی

در این نوع جایگزینی، در واقع یک دسته از بلندگوها در نزدیکی یا بالای منبع صدا در سقف قرار گرفته و به دلیل نزدیکی به منبع احساس واقعی‌تری از یک صدای تقویت شده را ایجاد می‌کند. این سیستم به سیستم رده بالا مشهور است زیرا باید صدای قوی‌تری پخش نماید.



محل قرار گیری بلندگوها
در سیستم مرکزی :

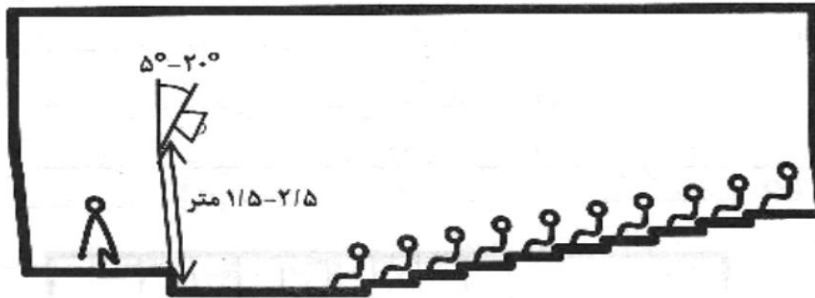
در سیستم مرکزی باید دقت داشت که بلندگوهایی که تولید امواج با فرکانس بالا می‌نمایند، کلیه شنوندگان را تحت پوشش قرار دهند در غیر این صورت به دلیل ماهیت امواج با فرکانس بالا که به صورت خطی پخش می‌شوند، تنها بخش محدودی از شنوندگان قادر به دریافت صداهای زیر خواهند شد. بنابراین در سیستم مرکزی باید $d_2 \div d_1 \leq 2$ باشد.



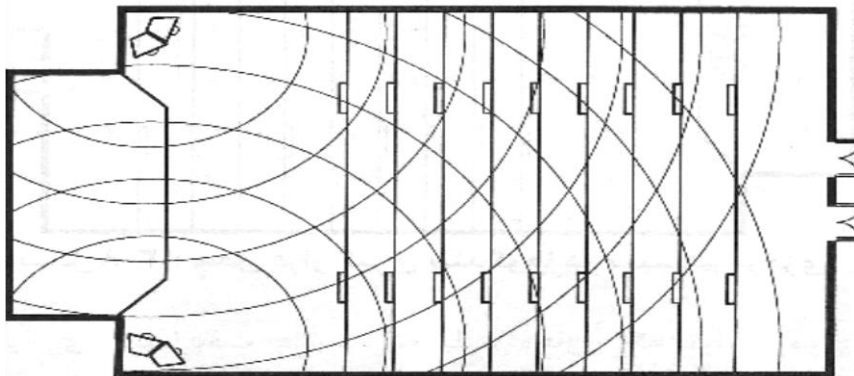
پوشش صوتی بلندگوهای با
فرکانس بالا در سیستم مرکزی :

دو طرفه

هنگامی که دو یا چند دسته از بلندگوها در موقعیت استراتژیک (معمولاً طرفین سن) در یک سالن قرار گیرند، به آن سیستم دو طرفه گفته می‌شود. در این روش دو یا چند میکروفون به صورت جداگانه صدا را به دو یا چند دسته از بلندگوها به صورت استریو می‌رساند.



ارتفاع و زاویه نصب بلندگو
در سیستم دو طرفه :



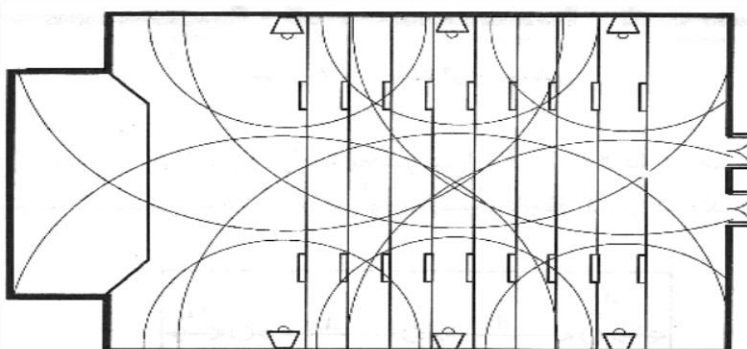
محل قرار گیری بلندگوها
در سیستم دو طرفه :

پراکنده

در این روش، بلندگوها به صورت یکنواخت در اطراف تالار قرار می‌گیرند و به سیستم‌های رده پایین مشهور هستند زیرا هر بلندگو باید تراز صدا را به مقدار کمی افزایش دهد تا به صورت یکنواخت در سالن پخش گردد و هر بلندگو تنها محدوده کوچکی از تالار را سرویس می‌دهد. حداکثر فاصله میان دو بلندگو در این سیستم نباید بیش از ۱۵-۱۲ متر باشد. سر بلندگوها باید به سمت پایین باشد تا پوشش کافی را داشته باشد. حداکثر فاصله بلندگوها در مواردی که مانند شکل ۸-۱۸ به سمت یکدیگر قرار دارند، نباید بیش از ۲۵ متر باشد.

از روش پراکنده در موارد زیر استفاده می‌گردد:

- هنگامی که ارتفاع سالن برای استفاده از سیستم مرکزی کم باشد؛
- هنگامی که برخی از شنوندگان در مسیر مستقیم صدا قرار نگیرند؛
- برای غلبه بر صدای زمینه زیاد؛
- هنگامی که تالار متشکل از چند فضای کوچکتر باشد؛
- در تالارهای بسیار بزرگ که منبع صوتی متحرک بوده و یا ممکن است با تغییرات وسیعی جابه‌جا گردد.



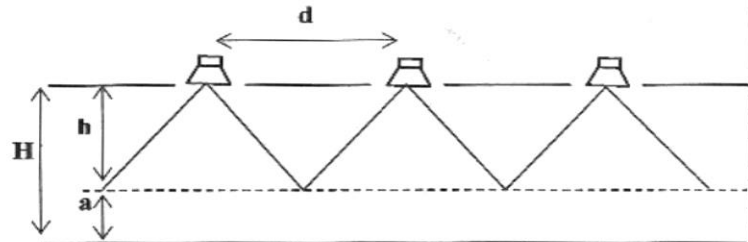
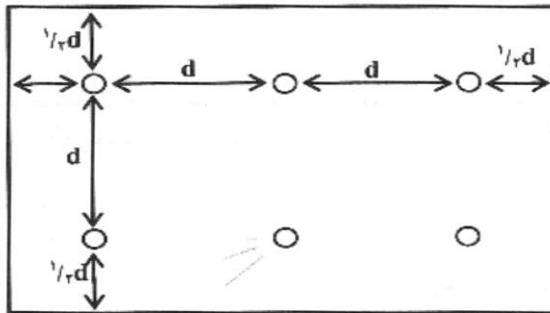
محل قرار گیری بلندگوها
در سیستم پراکنده :

سقفی

از این روش برای مکانهایی با ارتفاع کم استفاده می‌شود که حداکثر ارتفاع ۵ الی ۶ متر باشد. این سیستم برای فضاهایی مانند اتاق‌های کنفرانس، دفاتر اداری با سیستم باز و راهروها به منظور فراخوانی و اطلاع رسانی کاملاً مناسب است.

بلندگوهای سقفی معمولاً دارای زاویه پخشی بین ۶۰ الی ۹۰ درجه هستند. بنابراین تعیین فواصل بین بلندگوها بستگی به ارتفاع سالن و همچنین فاصله گوش شنونده از زمین دارد.

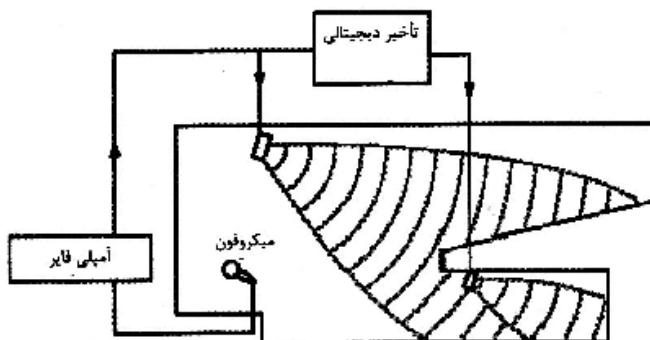
بلندگوهای سقفی معمولاً دارای زاویه پخشی بین ۶۰ الی ۹۰ درجه هستند. بنابراین تعیین فواصل بین بلندگوها بستگی به ارتفاع سالن و همچنین فاصله گوش شنونده از زمین دارد.



تعیین فواصل بین بلندگوها در پلان و مقطع :

پدیده هس

این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که صدای بلندگو زودتر از صدای مستقیم به گوش شنونده برسد. بنابراین نیاز است که بلندگوها با یک زمان تأخیر حساب شده صدا را به شنونده منتقل کنند. زمان تأخیر باید بر اساس تفاوت فاصله میان شنونده با منبع و بلندگو محاسبه شود.

سیستم الکترونیکی
تقویت صدا در سالن :

همان گونه که قبلاً اشاره شد، امواج با فرکانس کوتاه تمایل به پخش شدن داشته و امواج با فرکانس بالا به صورت جهت‌دار قابل هدایت هستند. از آنجاییکه فرکانس حوزه سخن گویی در محدوده فرکانس‌های متوسط قرار دارد، بنابراین بخشی پخش و بخش دیگر به صورت مستقیم حرکت می‌نماید. این مسئله سبب ایجاد ناهماهنگی در پخش امواج به صورت یک‌نواخت می‌گردد. در این صورت بخش زیادی از جمعیت فرکانس‌های پایین را شنیده و تنها بخش اندکی فرکانس‌های بالا را دریافت خواهند کرد. بنابراین در این مواقع استفاده از بلندگوهای خوشه‌ای که هریک قدرت پخش فرکانس‌های خاصی را داشته باشند ضروری می‌باشد.

اگرچه تعیین سیستم صوتی الکترونیکی در یک سالن توسط مشاوره با مهندسان مرتبط با این موضوع صورت می‌پذیرد، اما داشتن اطلاعات کافی توسط معماران موجب فراهم آوردن محیط مناسب جهت استفاده از این گونه تجهیزات خواهد بود.

گردآوری و تدوین: مهدی بیات