

آکوستیک | عایق صوتی | عایق صدا

از مشاهداتی که در قدیم المایام شد و بدست ما رسیده ، معلوم می شود که صوت بوسیله آزمایشهای مربوط به هوا از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل می گردد. در حقیقت ارسطو اصرار داشت که حرکت آزمایشهای مربوط به هوا در نقل و انتقالات صوت موثر است، ولی این موضوع مانند سایر مطالبی که در فیزیک بیان نموده است همراه با ابهام است. چون در موقع انتقال صوت ، آزمایشهای مربوط به هوا حرکتی نمی کند، بنابراین جای تعجب نیست که بگوییم که فلاسفه دیگر معاصر ارسطو این عقیده او را تکذیب نمودند.

به همین ترتیب در زمان گاليله ، یک فیلسوف فرانسوی گاساندی (Gassandi) ، انتشار صوت را جزئی از اجزا کوچک غیر مرئی بسیار ریز می دانست که از جسم صدا دار برخاسته و پس از عبور از آزمایشهای مربوط به هوا به گوش ما رسیده و آنرا متأثر می سازد. اولین کسی که تجربه زنگ زیر سرپوش خالی از آزمایشهای مربوط به هوا را امتحان کرد، آتانازیرس کیرشر (Kircher Athanasuis Jesuit) می باشد.

از ابتدای تاریخ آکوستیک تا به امروز ، تنها گیرنده صوتی مفید و جالب توجهی که دائماً بکار رفته عبارت از گوش انسان می باشد. از اینرو قسمت عمده موضوع اخذ صوت به مطالعه و بررسی خواص آکوستیکی این عضو انحصار یافته است. جالب توجه این است که تا بحال یک نظریه کامل و قابل قبولی راجع به کیفیت شنوایی پیدا نشده است و موضوع شنوایی انسان یکی از مسایل پیچیده و گیج کننده علم جدید پسیکو فیزیک (Physics Psycho) می باشد.

ارتباط صوت و ارتعاش تجربیات روزانه نشان می دهد که احساس شنیدن وقتی برای ما پیدا می شود که شی که در مجاورت ما واقع شده است به ارتعاش در آید. مثلاً اگر پهلوی ما جامی فلزی قرار داشته باشد، چنانچه با یک قطعه فلز به بدنه جام بزنیم صدایی از آن به گوش می رسد و اگر با دقت به آن نگاه کنیم ملاحظه می گردد که در حین صدا دادن لبه جام غیر واضح می باشد و این علامت ارتعاش سریع است. اگر در این هنگام پاندول سبک وزن ساده ای را به بدنه جام نزدیک کنیم ضربه های پشت سر هم بدنه جام را روی پاندول که دلیل ارتعاش آن است بخوبی مشاهده می کنیم. اما بعضی اوقات ارتعاش به اندازه ای سریع است که با چشم دیده نمی شود و باید با وسایل مختلف از قبیل وسیله فوق وجود آنرا در اجسام ظاهر ساخت.

آیا فقط آزمایشهای مربوط به هوا وسیله انتقال صوت است؟ علاوه بر آزمایشهای مربوط به هوا جامدات و مایعات نیز برای صوت ناقل خوبی هستند. هر کس می داند که با گذاشتن گوش خود به زمین می تواند حرکت عابری پیاپی و چهارپایان را از مسافت نسبتاً زیادی بشنود. همچنین اگر گوش خود را به ریل راه آهن بچسبانیم حرکت قطار را ممکن است از چندین کیلومتر بشنویم. خاصیت انتقال صوت در جامدات و مایعات قویتر از خاصیت مزبور در گازها می باشد.

اغلب دیده ایم که با وجودی که پهلوی ریل راه آهن ایستاده ایم ، صدای حرکت قطاری را که دور از ما واقع شده است نمی شنویم و اگر بخواهیم صدای حرکت قطار مزبور را بشنویم یا باید گوش خود را به ریل بچسبانیم و یا اینکه یک سر میله چوبی و یا فلزی را به ریل چسبانده و سر دیگر را روی گوش خود بگذاریم، طوری که در هر دو حالت استخوان خارجی گوش به ارتعاش در آید. به همین دلیل است که دیپاپازون را روی جعبه مخصوص قرار می دهند تا صدایش قوی شود. نقش شیشه های چند جداره به عنوان عایق صوتی

در دنیای امروز آلودگی صوتی بخش عمده ای از مشکلات زندگی در شهرهای بزرگ به شمار می رود و اثرات زیان آور آن در واکنشهای اجتماعی و سلامتی شهروندان قابل مشاهده است.

بلندی صوت با اندازه گیری انرژی امواجی که این صوت تولید میکند قابل اندازه گیری است □ این انرژی که به آن شدت صوت گفته میشود با واحدی بنام دسی بل (db) سنجش میشود. آستانه شنوایی برای گوش انسان صفر دسی بل و

شدت صوت ۱۲۰ دسی بل بیانگر شدتی است که درد برای گوش قابل احساس است .

سطوح شدت قابل قبول برای مکانهای مختلف به شرح ذیل است:

بیمارستانها ۲۰ الی ۲۵ □ اماکن مسکونی ۳۰ الی ۴۵ □ مدارس ۳۵ الی ۴۰ □ و ادارات ۴۰ الی ۵۰ دسی بل.

استفاده از شیشه های دو جداره و تزریق گاز مناسب (SF6) سطح صدادار را به ۳۰ تا ۳۵ دسی بل کاهش می دهد و محیطی آرام را برای زندگی فراهم میکند.

میکنند مشخص را ساختمانی مصالح از یک هر توسط صوت انتقال کاهش میزان که است عددی □ صدا انتقال میزان یا STC و بر حسب دسی بل بیان میشود. بنابراین هر چه این عدد برای یک ماده بیشتر باشد بیانگر این است که ماده مورد نظر صدای کمتری را به داخل ساختمان انتقال می دهد. با توجه به جدول زیر میزان کاهش انتقال صوت با استفاده از شیشه های دو جداره بجای تک جداره مشخص می شود.

نوع شیشه ضخامت شیشه (mm) ضخامت عایق (mm) مقدار STC

شیشه تک جداره ۶-۲۴

شیشه دو جداره ۴-۱۲ ۳۳

دو جداره با گاز ۴-۱۲ ۳۵

آکوستیک و عایق صوتی اتاق

بسیاری از مواقع موسیقی را در داخل اتاق یا سالن گوش می دهیم تا در محیط باز، بنابراین آشنایی با قوانین آکوستیک و نحوه انعکاس صوت در محیط بسته می تواند تاثیر بسیار زیادی در نحوه استفاده صحیح از امکانات اتاق یا سالن برای بدست آوردن بهترین کیفیت داشته باشد. در نظر داریم طی چند نوشته به موضوع آکوستیک اتاق پردازیم، هر چند این مباحث ممکن است بیشتر جنبه فیزیکی داشته باشد اما یقیناً برای علاقمندان به موسیقی می تواند مفید باشد.

شاید فکر کنید برای اجرای موفق یک موسیقی تنها نیاز به سازهای خوب، نوازندگان ماهر و یک رهبر خوب است، اما متأسفانه این گونه نیست و این موضوعی نیست که دست اندرکاران موسیقی اخیراً به آن رسیده باشند. در یک اجرای خوب موارد زیر باید رعایت شود :

- شنونده باید صدای تمامی سازها و احیاناً خواننده را با یک بالانس متعادل بین آنها بشنود.

- هر یک از خواننده یا نوازنده ها باید بتوانند اجرای خود و دیگران را به وضوح بشنوند.

- میزان طنین یا انعکاس صدا در سالن باید بگونه ای باشد که نه تنها مزاحمتی برای موسیقی نداشته باشد، بلکه بر کیفیت اجرای موسیقی بیفزاید.

- صداهای اضافی از بیرون یا آنها که احیاناً توسط تماشاچیان و شنوندگان ایجاد می شود نباید تأثیری بر اجرای کلی داشته باشد.

- صدای سالن ، حتی المقدور نباید به بیرون از آن نفوذ کند.

موارد بالا کم و بیش می تواند برای هنگامی که در منزل به موسیقی گوش می دهیم نیز صادق باشد. برای رسیدن به چنین ایده آلی لازم است تا قبل از همه با قوانین و نحوه انعکاس صوت در یک فضای بسته کمی آشنا شویم.

انعکاس صوت در یک اتاق

به شکل اول نگاه کنید. فرض کنید که در نقطه قرمز رنگ یک منبع صوتی وجود دارد که می تواند بلندگوهای یک دستگاه پخش، نوازنده یک ساز، خواننده و یا یک ارکستر باشد. برای سادگی بررسی فرض می کنیم نسبت منبع صوتی به فضای اتاق آنقدر کم است که می توان آنرا یک منبع نقطه ای صوت در نظر گرفت.

شنونده در نقطه سبز رنگ قرار دارد. حال فرض کنید که در یک لحظه این منبع صوتی، صوتی را تولید کند، کوتاه ترین فاصله میان منبع صوتی و شنونده خط سبز رنگ است که با مسیر a نمایش داده شده است. بدیهی است شنونده ابتدا این صدا را خواهد شنید.

انرژی انعکاسهای صوت با توجه به مسیری که طی می کنند بتدریج کاسته می شود.

از فیزیک دبیرستان بخاطر داریم که امواج صوتی هنگام برخورد به موانع با زاویه تابش نسبت به خط مماس بر نقطه

برخورد بازتابیده خواهند شد. بنابراین همانطور که در شکل مشاهده می کنید به دلیل اینکه این اتاق دارای چهار دیوار

است، چهار بازتابش داریم که همان صوت تولید شده را پس از طی مسافت طولانی تری به گوش شنونده می رسانند. این انعکاسها با حروف b, c, d, e و نمایش داده شده اند.

سرعت صوت در هوا از رابطه تقریبی زیر می توان محاسبه کرد :

$$C = (331.5 + 0.6 T) \text{ m/s}$$

که در آن C سرعت صوت به متر بر ثانیه و T درجه حرارت محیط بر حسب درجه سانتیگراد است. بنابراین با فرض ثابت بودن دمای اطلاق در تمام نقاط می توان سرعت بازتابش های مختلف صوت از منبع به سمت شنونده را یکسان فرض کرد. همچنین می دانیم که انتشار صوت در محیط به دلیل وجود مقاومت هوا بتدریج باعث کمتر شدن انرژی آن می شود. به عبارت دیگر هرچه از منبع بیشتر دور شویم انرژی صوتی کمتر خواهد شد. بنابراین مشخص است که بازتابشهایی از منبع اصلی صوت که مسافت بیشتری را برای رسیدن به گوش شنونده طی می کنند؛ اولاً دیرتر به گوش شنونده می رسند و ثانیاً حامل انرژی کمتری هستند. برای مثال به شکل دوم نگاه کنید، منبع صوتی در لحظه صفر تولید صوت می کند، شنونده در لحظه T_a آنرا با بیشترین قدرت می شنود و انعکاسهای بعدی را بتدریج ضعیفتر و دیرتر در دیگر لحظات خواهد شنید. نکته قابل توجه آنکه با وجود اسباب و اثاثیه، پوشش های دیوار، پنجره، سقف و کف اتاق، در یک اتاق معمولی منزل (مثلاً ۱۲ متر مربع) اولاً انرژی صوت با عبور و انعکاس در محیط بسیار کم خواهد شد و ثانیاً اختلاف زمانی رسیدن صوت مستقیم با انعکاسهای اول که قوی تر هستند (به نوشته قبل مراجعه کنید) بقدری ناچیز است (کمتر از ۵۰ - بیست میلی ثانیه) که شنونده تقریباً هیچ احساس مشخصی از وجود انعکاس صدا نخواهد داشت. اما در اصل اینگونه هم نیست! در واقع صدایی که در یک اتاق معمولی شما می شنوید آن چیزی نیست که بصورت خالص از دستگاه صوتی یا سازی که می نوازید بیرون می آید. با وجود آنکه انرژی صوت در اثر انعکاسهای متوالی از بین می رود ترکیب صداهای گذشته با آنچه شما مستقیماً می شنوید بشدت صدای اصلی را تحت تاثیر قرار می دهد. بیابید قبل از ادامه این بحث نگاهی به انعکاسهای متوالی صوت در اتاق داشته باشیم، فراموش نکنید که در نوشته قبل به موضوع تنها به انعکاس اول صوت پرداختیم.

انعکاسهای متوالی

در یک اتاق معمولی انعکاسهای مستقیم اول مسافتی حدود ۳-۴ متر را باید طی کنند تا به گوش مخاطب برسند و به همین دلیل با توجه به سرعت نسبتاً بالایی صوت اختلاف زمانی محسوسی با صوتی که بصورت مستقیم به گوش ما می رسد نخواهد داشت.

اما اگر به شکل اول نگاه کنید، متوجه می شوید که ممکن است امواج صوتی در برخی از جهت ها آنقدر در دیوارها منعکس شوند تا در نهایت پس از طی این مسافت طولانی به گوش شما برسند. بدیهی است این دسته از امواج در مسافت زیادی را طی کرده و به همین دلیل با تاخیر زمانی بسیار به گوش می رسند؛ هرچند با توجه به شرایط اتاق ممکن است ضعیف شده باشند اما در صورت داشتن انرژی کافی، بوضوح قابل تشخیص از صدایی که در حال حاضر بصورت مستقیم می شنویم خواهند بود. به بیان دیگر تاثیر قابل توجهی به آنچه هم اکنون از منبع صوتی بیرون می آید می گذارند.

نمودار انرژی و زمان Reverb ناشی از انعکاسهای متوالی صوت

بنابراین می توان نتیجه گرفت که با توجه به میزان کاهش انرژی صوتی پس از عبور و انعکاس در محیط یا بهتر بگوییم با توجه به مقدار ضریب جذب صوت در دیوارها و محیط، صوت از لحظه تولید می تواند تا مدتها وجود داشته باشد و به گوش برسد، هرچند به تدریج میرا شده و انرژی آن برای به حرکت درآوردن پرده گوش ما کاهش پیدا می کند.

Reverb

مجموعه انعکاسهایی از صوت که ناشی از بیش از یک انعکاس باشند، با اختلاف قابل ملاحظه ای به گوش می رسند که به آن آن طی که است تاخیری میزان، باشد موج - انرژی یا - دامنه آنکه از بیشتر Reverb اصلی مشخصه. شود می گفته Reverb به گوش می رسد.

برخلاف انعکاسهای اول که از یکدیگر فاصله دارند، از آنجایی که Reverb ممکن است پس از انعکاسهای متوالی در بسیاری از جهت ها به گوش شنونده برسد، معمولاً پوشی پیوسته دارد که در شکل بوضوح نشان داده شده است. تجربه نشان می دهد که مقادیر کم Reverb بین ۰.۵ تا یک ثانیه برای گفتار می تواند بسیار دلنشین باشد و مقادیر بین ۱ تا ۳ ثانیه برای انواع سبکهای موسیقی. همچنین نباید فراموش کرد که استفاده از Reverb از سالهای اولیه پیدایش موسیقی نیز متداول بوده است. بعنوان مثال بسیاری از قطعات آوازی مخصوص فضا و آکوستیک کلیساها با میزان Reverb زیاد نوشته شده اند که اجزای آن در سالنهای معمولی جالب نخواهد بود.

بیابید موضوع را از زاویه دیگری بررسی کنیم؛ پاسخ فرکانسی یک Reverb خوب باید حالت مسطح (Flat) داشته باشد و یا اگر بخواهیم کمی زیبا تر و به گوش خوش آهنگ تر باشد باید علاوه بر Flat بودن، بصورت یک فیلتر پایین گذر عمل کند. این چیزی است که برخی از دست اندر کاران مهندسی صدا از آن به عنوان انعکاس گرم یا Reverb Warm یاد می کنند.

همانگونه می دانید و در شکل نیز مشاهده می کنید یک فیلتر پایین گذر - منظور شرایط آکوستیک یا یک فیلتر مصنوعی الکترونیکی با چنین پاسخ فرکانسی - تمایل بیشتری برای ماندگاری صداهای فرکانس پایین دارد تا فرکانس بالا که این موضوع کاملاً با آکوستیک سازهای معمولی تطابق دارد؛ یعنی نت های بم دیرتر مستهلک می شوند.

ویژگیهای فنی در ساخت سازها باعث می شود تا خصیصه استهلاک صدا (Decay) برای نتهای زیر سریعتر صورت بگیرد چه در این صورت موسیقی تولید شده به هیچ وجه برای گوش خوش آیند نخواهد بود و حتی باعث آزار و اذیت می شود. برای بدست آوردن ایده واقعی اگر به استخرهای سرپوشیده رفته باشید حتماً متوجه شدید که سر و صدای مردم - بخصوص کودکان - در این مکان چقدر گوش خراش است. علت این موضوع آن است که آکوستیک انعکاس در چنین محیطی بیشتر حالت بالاگذر دارد.

یکی دیگر از مشخصه های مهم یک انعکاس پوش یا همان Envelope صوت منعکس شده است. منحنی پوش انعکاس، باید پیوسته و بدون برآمدگی یا فرو رفتگی مستهلک شود، تقریباً همانند آنچه در شکل دوم مشاهده می کنید.

دقت کنید که یک اتاق خالی با دیوارهای صاف هرگز چنین پوشی را تولید نمی کنند و انعکاس حاصله در این اتاق ها، نوع خاصی است که به آن Back Slap گفته می شود، چرا که انعکاس بطور متوالی با فاصله های زمانی قابل تشخیص تکرار می شود. (اگر آنرا تا کنون امتحان نکردید حتماً یکبار در یکی از اتاقهای یک ساختمان نو که هنوز کسی در آن زندگی نمی کند، آزمایش کنید).

بنابراین مشاهده می کنید که برای رسیدن به یک انعکاس ساده اما مشخص، باید تمهیدات بسیاری از جنس پوش دیوار، کف و سقف گرفته تا چیدمان وسایل مد نظر باشد. جالب اینجاست که بدانید برخی از سازه های موجود در منازل تاثیر خاصی در ویژگی انعکاس صدا در منزل دارند، که یکی از متداول ترین آنها راه پله ها هستند که پوش منحنی انعکاس خاصی تولید می کنند که به انعکاس لرزان یا Flutter مشهور است.

پارامترهای مهم یک Reverb معمولی با پوش پیوسته

پارامترهای مهم یک Reverb عادی

منظور از Reverb عادی آن است که پوش آن پیوسته باشد و در منحنی آن انفصال، برآمدگی یا فرو رفتگی وجود نداشته باشد، در اینصورت سه پارامتر اصلی وجود خواهد داشت که عبارتند از :

انعکاس اولین به زمان این گاهی. شود شنیده اصلی صدای از انعکاس اولین تا کشد می طول که است زمانی : Predelay که مربوطه به Reverb نیست و به آن انعکاسهای اولیه یا Reverb Early گفته می شود، اطلاق می گردد، اما در اینجا منظور اولین زمانی است که شما Reverb یا همان انعکاسهای متوالی را می شنوید. (به نوشته های قبل مراجعه کنید).

به گاهی. بود نخواهد شنیدن قابل دیگر شده مستهلک، شروع از پس Reverb که است زمانی مدت کننده مشخص : Decay این زمان Time Reverb هم گفته می شود.

تضعیف همان یا Damping بعد به فرکانسی چه از که دهد می نشان را گذر پایین فیلتر عملکرد نحوه : Reverb Damping آغاز می شود.

یادآوری : نکته ای که بسیاری در آن ابهام دارند تفاوت میان اکو (Echo) و Reverb است که در اینجا اشاره ای به آن می کنیم. اکو مربوط می شود به اولین انعکاسهای صدا - یا همان Reverb Early - که در نوشته اول به آن اشاره کردیم و در شکل دوم می توانید آنها را مشاهده کنید. از آنجایی که این انعکاسها مسافت کمی را طی می کنند تا از منبع به گوش شنونده برسند فاصله زمانی کمی با اصل صدا دارند لذا معمولاً تاثیر ناچیزی بر کیفیت صدا می گذارند، هرچند نبود اکو در یک صدای خام کاملاً قابل احساس است.

کنترل میزان انعکاس صدا و مقدار خروج صدا در یک اتاق از اولین و مهمترین اهدافی است که یک مهندس صدا (Sound Engineer) در، شود می صوت زیبایی باعث موارد بسیاری در صدا انعکاس آنکه وجود با. کند پیدا دست آن به باید (Engineer) حال می تواند از کیفیت صدا بکاهد بنابراین معمول بر این است که به هنگام ضبط صدا آنرا بطور خالص و بدون هیچ افکتی ضبط می کنند و پس از آن افکت های لازم را به هر میزان که بخواهند اضافه می کنند.

این نیاز بحثی بنام ایزوله کردن یا Isolation را به میان می آورد که در آن باید از مجموعه مواد و تکنولوژیهای در ساخت دیوارها، سقف و کف سالن استفاده کرد تا بتوان میزان انعکاس صدا را به میزان دلخواه تنظیم نمود و مانع از خروج صدا به بیرون از اتاق شد.

برای جلوگیری از خروج صدا از یک اتاق است نه تنها باید مواردی که برای کنترل انعکاس مد نظر قرار دارد را رعایت کرد، بلکه باید دیوارها، درها، کف و سقف و ... را ایزوله کرده و در مواردی که ممکن است آنها را دو جداره ساخت. مهندس صدا باید دقت کند که نباید هیچ منفذی برای خروج صدا از اتاق وجود داشته باشد، توجه به برخی نکات هنگام ساخت اتاق می تواند به ایزوله کردن بهتر آن کمک کند، بعنوان مثال از مهمترین نکاتی که باعث خروج صدا از یک اتاق

می شود کانالهای تهویه هوا، کولر، حتی ترانکهای سیم های برق و تلفن و ... است. پس از آنکه شما مطمئن شدید از اتاق شما یا سالن مورد نظر صدایی بیرون نمی رود، برای استفاده بهتر از موسیقی باید منابعی که بالمقوه می توانند تولید سر و صدای ناخواسته یا نویز کنند را از کار بیندازید.