

**ارزیابی و تعیین جنس و ضخامت عایق صوتی بهینه به منظور کاهش
آلودگی های صوتی ناشی از تاسیسات مکانیکی و جدارهای مشترک در
ساختمان های مسکونی**

..... شناسه پژوهش:

..... مجری:

..... ناظر:

چکیده

یکی از عوامل موثر در ایجاد شرایط آسایش در ساختمان های مسکونی، آرامش صوتی و حذف صداهای مزاحم است. در این پژوهش به راهکارهای بهینه در حذف دو مورد از صداهای ناشی از دیوارهای مشترک در اتاق خواب واحد های مجاور و همچنین صداهای ناشی از لوله های فاضلاب پرداخته میشود. نتایج بدست آمده نشان میدهد با هزینه کرد بسیار پایینی میتوان صداهای مزاحم در شرایط گفته شده را تا حد آسایش بنا بر استاندارد های مقررات ملی ساختمان کاهش داد. استفاده از عایق های با جنس و ضخامت بهینه میتواند تامین کننده این شرایط باشد.

در این گزارش، در فصل اول به برخی تعاریف و مفاهیم در زمینه صوت پرداخته و سپس عایق های رایج که به منظور صدابندی مورد استفاده قرار می گیرند معرفی می شود. در فصل دوم به معرفی برخی از مهمترین الزامات آکوستیکی موجود در مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان متناوب با ساختمان های مسکونی پرداخته شده است. در فصل سوم برخی از انواع دیوارهای رایج در ساختمان مورد شبیه سازی قرار گرفته شده است. به این منظور از نرم افزار اینسول (Insul) استفاده شده است و نمودار شاخص کاهش صدا برای دیوارهای فوق به عنوان خروجی تعیین شده است. ابتدا نتایج شبیه سازی دیوارها با مقادیر موجود در مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان صحت سنجی شده و سپس شبیه سازی برای دیوارهای فوق همراه با عایق های صوتی انجام می شود. در فصل چهارم به بررسی و نتیجه گیری نتایج استخراج شده پرداخته می شود. همچنین دو پیوست جهت آشنایی با کارکرد نرم افزار اینسول و نحوه نصب عایق های آکوستیک فومی آورده شده است.

فهرست

۱	مفاهیم و تعاریف	۱
۱-۱	صوت	۱
۲-۱	عایقهای صوتی	۱۳
۱-۲-۱	دسته بندی بر اساس نوع عملکرد	۱۴
۲-۲-۱	دسته بندی عایق صوتی از لحاظ موقعیت و زمان بکارگیری	۱۴
۲	الزامات و مقررات	۲۴
۱-۲	استفاده از جداکننده با صدابندی مناسب	۲۴
۲-۲	تعریف پارامتر	۲۵
۱-۲-۲	زمان واخسش	۲۵
۲-۲-۲	تراز فشار صدا (L_p)	۲۵
۳-۲-۲	تراز صدای معادل (L_{eq})	۲۶
۴-۲-۲	شبکه وزنی A	۲۶
۵-۲-۲	تراز صدای معادل وزن یافته (L_{AeqT})	۲۷
۶-۲-۲	شاخص کاهش صدا (R)	۲۸
۷-۲-۲	شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w)	۲۸
۸-۲-۲	تراز فشار صدای کوبهای معمول شده (L_n)	۲۹
۹-۲-۲	تراز فشار صدای کوبهای معمول شده وزن یافته (L_{nw})	۳۰
۳-۲	مقررات آکوستیکی	۳۱
۱-۳-۲	مراکز فرهنگی	۳۱
۲-۳-۲	مراکز ورزشی و تفریحی	۳۴
۳-۳-۲	ساختمانهای اداری و تجاری	۳۵
۴-۳-۲	ساختمانهای مسکونی	۳۷
۵-۳-۲	هتل ها	۳۹

- ۴۱ ۶-۳-۲ ساختمان های آموزشی
- ۴۳ ۷-۳-۲ بیمارستان ها و مراکز بهداشتی درمانی
- ۴۵ ۴-۲ محاسبه شاخص کاهش صدا
- ۴۵ ۱-۴-۲ روش تئوری
- ۴۷ ۲-۴-۲ روش تخمینی با استفاده از نمودار
- ۴۹ ۵-۲ مقادیر شاخص کاهش صدای وزن یافته
- ۴۹ ۱-۵-۲ دیوارها
- ۵۶ ۲-۵-۲ شیشهها
- ۵۷ ۳-۵-۲ پنجرهها
- ۵۷ ۴-۵-۲ درها
- ۵۸ ۶-۲ مقادیر ضریب جذب
- ۶۱ ۳ شبیه سازی
- ۶۱ ۱-۳ اعتبار سنجی
- ۶۹ ۲-۳ دیواره
- ۶۹ ۱-۲-۳ دیوار آجر فشاری (ضخامت ۱۵)
- ۷۳ ۲-۲-۳ دیوار آجر فشاری (ضخامت ۲۶)
- ۷۷ ۳-۲-۳ دیوار آجر سفالی (ضخامت ۱۲)
- ۸۱ ۴-۲-۳ دیوار آجر سفالی (ضخامت ۲۱)
- ۸۵ ۵-۲-۳ دیوار دو جداره (ضخامت ۳۰)
- ۸۹ ۶-۲-۳ دیوار بلوک تو خالی (ضخامت ۲۱)
- ۹۵ ۳-۳ لوله
- ۹۶ ۱-۳-۳ دیوار آجر سفالی همراه با لایه گچ
- ۱۰۰ ۲-۳-۳ دیواره گچ
- ۱۰۴ ۴ نتیجه گیری
- ۱۰۶ ۵ مراجع

- ۶ پیوست..... ۱۰۸
- ۶-۱ پیوست الف- نرم افزار اینسول..... ۱۰۸
- ۶-۱-۱ مدل سازی..... ۱۰۸
- ۶-۱-۲ تعریف جنس جدید..... ۱۱۰
- ۶-۲ پیوست ب- نحوه اجرای عایق صوتی فوم آکوستیک..... ۱۱۲
- ۶-۲-۱ اندازهگیری دقیق..... ۱۱۲
- ۶-۲-۲ برش مقوا و فوم پنل آکوستیک..... ۱۱۲
- ۶-۲-۳ چسباندن پنل آکوستیک به پنل مقوایی..... ۱۱۲
- ۶-۲-۴ اتصال پنل آکوستیک به سطح..... ۱۱۳
- ۶-۲-۵ ملاحظات اجرای عایق صوتی..... ۱۱۳

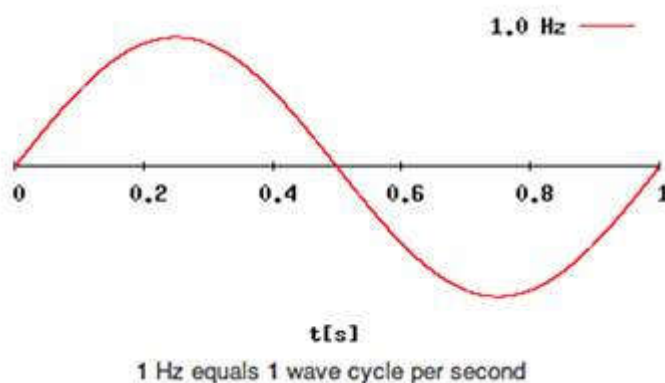
۱ مفاهیم و تعاریف

۱-۱ صوت

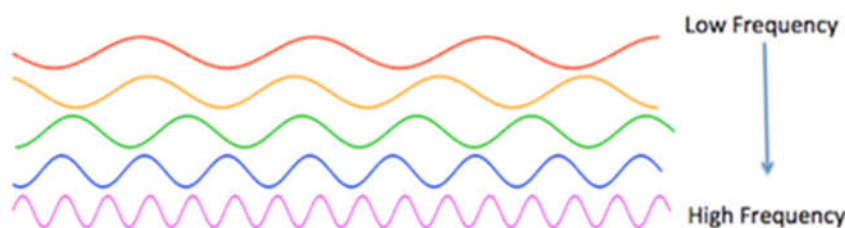
صدا یکی از پدیده‌هایی است که در حیطه‌های مختلف کاربردهای بسیاری دارد و تاثیر آن به طور محسوسی در زندگی روزمره قابل مشاهده است. صوت می‌تواند تاثیر مفید و یا مضر داشته باشد. ابتدا به تعریف مفاهیم صوت پرداخته خواهد شد.

تغییرات فشار هوا به واسطه ارتعاش مولکول‌های هوا را صوت گویند. موج صوت، از نوع موج طولی بوده یعنی راستای ارتعاش مولکول‌های هوا با راستای انتشار موج یکسان است [۱].

نرخ تکرار یک رویداد نوسانی را فرکانس می‌نامند. صوت نیز در اثر نوسانات ذرات محیط ایجاد شده و لذا می‌توان فرکانس صوت را نیز بر اساس تعداد نوساناتی که هریک از ذرات محیط انتشار حول نقطه تعادل خود در واحد زمان انجام می‌دهند، تعریف نمود. هر اندازه تعداد نوسانات ذرات محیط بیشتر باشد، فرکانس صدا نیز بالاتر خواهد بود. واحد فرکانس یک بر ثانیه یا هرتز می‌باشد. هر چه فرکانس بالاتر، صوت زیرتر و انرژی آن بیشتر خواهد بود و جذب آن توسط جاذب‌ها و دیواره‌های صوتی راحت‌تر و هر چه فرکانس کمتر، صدا بم‌تر و جذب صدا سخت‌تر خواهد بود [۱] [۲].



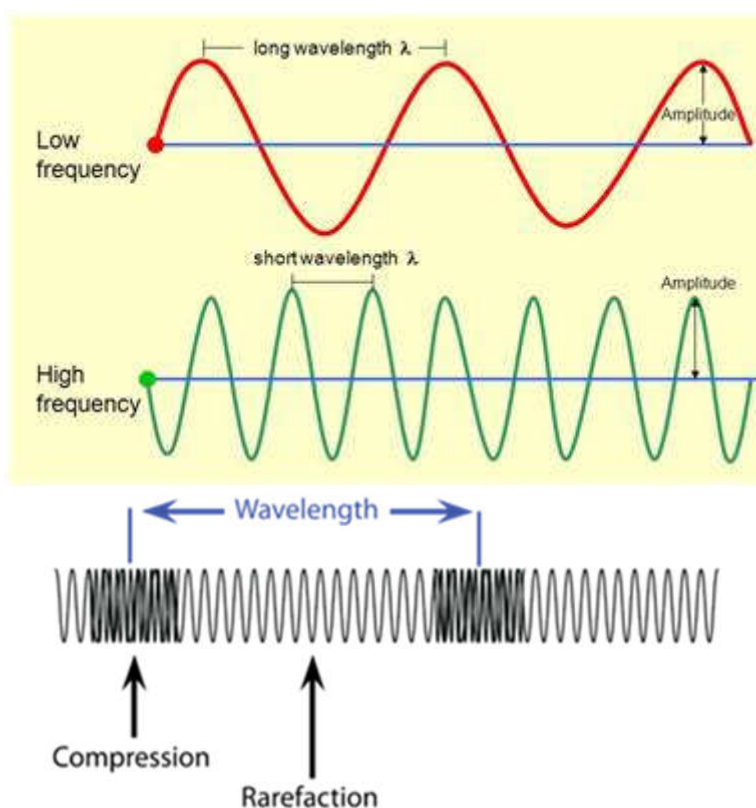
شکل ۱-۱ یک هرتز برابر انجام یک سیکل کامل در مدت زمان یک ثانیه [۲]



شکل ۲-۱ رابطه طول موج و فرکانس [۲]

همچنین فاصله‌ای که موج در طول سیکل نوسانی هریک از ذرات محیط طی می‌کند را طول موج می‌نامند. به عبارت دیگر فاصله بین دو قله و یا دو دره متوالی در یک موج را طول موج می‌نامند [۲]. دانستن طول موج صوت برای ارائه راهکار کنترلی و طراحی دیواره‌های صوتی ضروری است. امواج صوتی ناشی از ترافیک دارای طول موج در گستره ۰/۰۵ تا ۵ متر هست [۱].

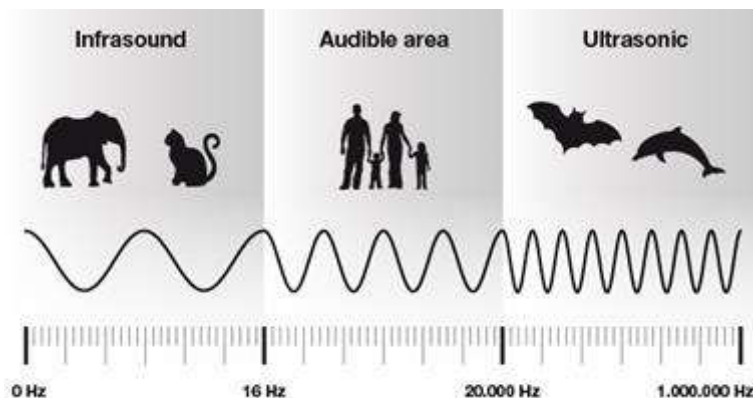
شکل‌های زیر طول موج را در نوسان طولی یک فنر نشان می‌دهد.



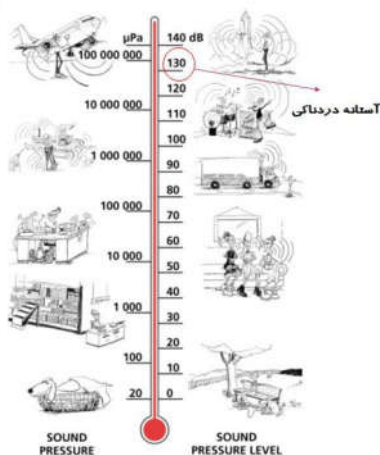
شکل ۱-۳ طول موج در نوسان طولی یک فنر [۲]

هر انسان تنها قادر به شنیدن صداهایی است که در یک محدوده فرکانسی مشخص (۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز و صداهایی با فشار ۲۰ میکرو پاسکال تا ۱۰۰ پاسکال) قرار دارد. اصواتی که دارای فرکانس کمتر از ۲۰ هرتز هستند را فروصوت و اصواتی که فرکانس آن‌ها از ۲۰ کیلوهرتز بیش‌تر است را فراصوت می‌نامند. به رغم آن‌که گوش انسان توانایی دریافت فروصوت و فراصوت را ندارد، اما ویژگی‌ها منحصر به فرد هریک از آن‌ها موجب شده است تا مطالعات گسترده‌ای بر روی آن‌ها انجام شده و در حوزه‌های گوناگونی از خواص فروصوت و فراصوت بهره گرفته شود. فراصوت در علم پزشکی اعم از فعالیت‌های تشخیصی (که منجر به تعیین بیماری می‌شود) و فعالیت‌های درمانی (که سبب ترمیم و بهبود بافت‌های آسیب‌یافته می‌گردد) کاربرد وسیعی دارد. به کارگیری فراصوت در اکتشافات علمی و فعالیت‌های صنعتی نیز بسیار وسیع است. امواج فروصوت دارای طول‌موج‌های بسیار بزرگی هستند و همین امر سبب می‌شود آشکار سازی پدیده‌هایی که مولد فروصوت می‌باشند از فواصل بسیار دور میسر باشد. این ویژگی

فروصوت می‌تواند در شناخت پدیده‌هایی هم‌چون فعالیت‌های آتشفشانی، حرکت گسل‌های زمین و حرکت شهاب‌سنگ‌ها سودمند باشد [۲].



شکل ۴-۱ بازه آستانه شنوایی [۲]



شکل ۵-۱ آستانه دردناکی [۱]

همان‌طور که فرکانس اصوات مختلف، محدوده گسترده‌ای را پوشش می‌دهد، دامنه اصوات و متعاقباً فشار صوتی و شدت صوت نیز مقادیر مختلفی را دارا هستند. منابع گوناگون مولد صدا از فشار صوتی متفاوتی برخوردار بوده و تفاوت میان کمینه و بیشینه فشار صوتی ناشی از منابع مختلف موجود در طبیعت نیز بسیار چشمگیر است. همین امر سبب شده است تا برای سنجش بزرگای اصوات یا همان فشار صوتی، از واحد لگاریتمی دسی‌بل بهره گرفته شود. این واحد اندازه‌گیری برگرفته از نام مخترع سرشناس آمریکایی آلکساندر گراهام بل است که نام او در خاطر همگان به عنوان مخترع تلفن ثبت شده است. روابط ذیل کاربرد مقیاس دسی‌بل را در محاسبه تراز توان صدا، تراز شدت صدا و تراز فشار صدا بیان می‌کند. فشار صوتی تغییر فشاری است که در اثر عبور موج صوتی در محیط انتشار حادث می‌شود. معمولاً فشار صوتی از لحاظ مرتبه بزرگی بسیار کوچک‌تر از فشار اتمسفر است. فشار صوت با فاصله از منبع صوتی رابطه عکس داشته و میزان فشار به صورت خطی کاهش می‌یابد. توان صدا نیز میزان انرژی گسیل شده از یک منبع مولد صدا است. شدت صدا هم به صورت نسبت میان توان صدا بر مساحت سطحی که انرژی صوتی بر روی آن توزیع شده

است، تعریف می‌گردد. شدت صدا مشابه فشار صوت، با فاصله از منبع صوتی رابطه عکس داشته با این تفاوت که میزان شدت صوت با مجذور فاصله کاهش می‌یابد [۱] [۲].

$$P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Newtons / m}^2$$

$$I(\text{dB}) = 10 \log_{10} \left[\frac{I}{I_0} \right] = 10 \log_{10} \left[\frac{P^2}{P_0^2} \right] = 20 \log_{10} \left[\frac{P}{P_0} \right]$$

$$L_W = 10 \log \left[\frac{W}{W_0} \right] = 10 \log_{10} \left[\frac{W}{10^{-12}} \right]$$

$$\Rightarrow L_W = 10 \log_{10}(W) - 10 \log_{10}(10^{-12}) \quad [۲]$$

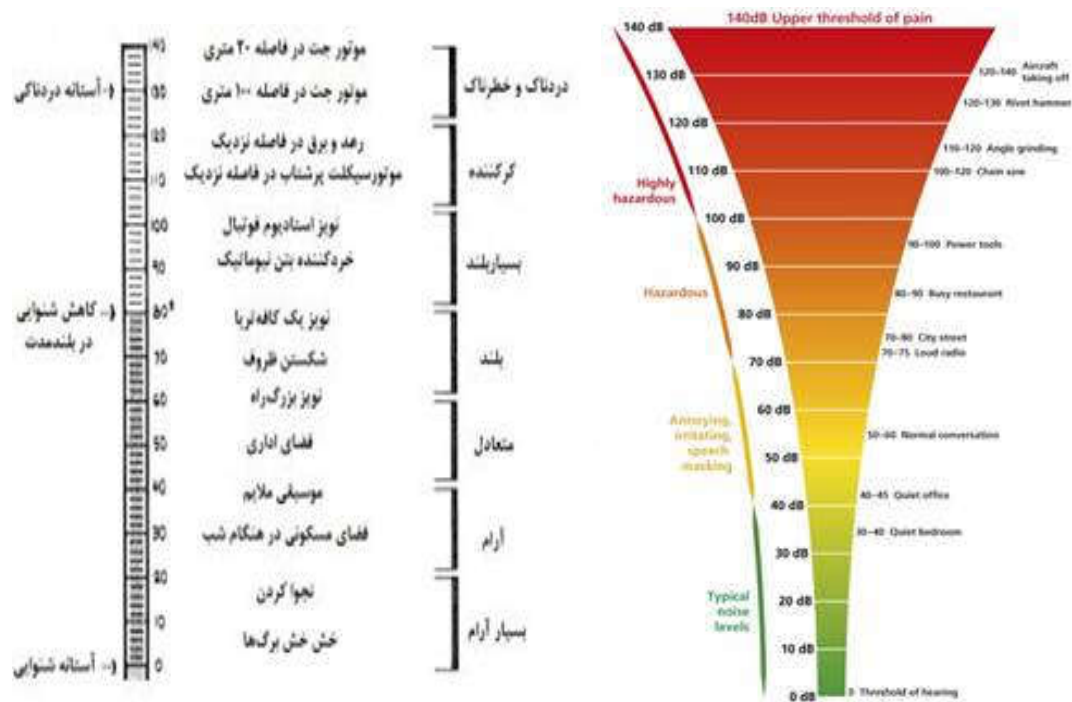
$$\Rightarrow L_W = 10 \log_{10}(W) + 120$$

$$\Rightarrow \log_{10}(W) = \frac{L_W - 120}{10}$$

$$\Rightarrow W = 10^{(L_W - 120)/10}$$

در این رابطه W ، I و P به ترتیب نشان‌دهنده توان صدا، شدت صدا و فشار صدا می‌باشد. همان‌طور که از این روابط برمی‌آید، برای محاسبه تراز صدا می‌بایست بلندای صدا را نسبت به یک حالت مرجع اندازه‌گیری نمود و کمیت‌های W ، I و P در روابط فوق نیز نشان‌دهنده مقادیر مرجعی هستند که تمامی اندازه‌گیری‌ها در قیاس با آن‌ها صورت می‌پذیرد. در این میان فشار مرجع معادل با آستانه شنوایی انسان یا آرام‌ترین صدایی است که گوش انسان در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز قادر به شنیدن آن می‌باشد. به این ترتیب برای اندازه‌گیری تراز فشار صدا، فشار صوتی اصوات مختلف را با فشار مرجع قیاس نموده و حاصل آن را در قالب مقیاس لگاریتمی دسی‌بل ارائه می‌کنند. زمانی که فشار صوتی متناظر با یک منبع صدا دقیقاً برابر با آستانه شنوایی انسان باشد، تراز فشار صدا معادل با صفر دسی‌بل خواهد بود. با این توضیح می‌توان گفت که اصواتی که فشار صوتی آن‌ها پایین‌تر از آستانه شنوایی است دارای تراز صدای منفی خواهند بود که البته این اصوات چنان که پیدا است، توسط انسان شنیده نخواهند شد [۲].

شکل زیر گستره‌ای از اصوات گوناگون موجود در فضای اطراف ما را به انضمام شدت صدای متناظر با هر یک از این اصوات ارائه نموده است که بررسی آن می‌تواند در شناخت صحیح‌تر از واحد دسی‌بل سودمند واقع گردد. لازم به ذکر است که آستانه‌های مختلفی که در این شکل بدان اشاره شده اعم از آستانه شنوایی و آستانه دردناکی، تا حدی متغیر بوده و قدری هم به شنونده صدا بستگی دارد.



شکل ۱-۶ بلندای برخی از اصوات طبیعی و انسان‌ساز [۲]

از دیگر تعاریف حوزه صوت می‌توان به دامنه صوت اشاره کرد. دامنه صوت معیاری از شدت صوت و بلندای صوت است و با دور شدن از منبع رفته رفته کاهش خواهد یافت. دامنه صوت الزاماً معیاری از بلندی صوت نیست [۱].

بلندای صوت با دامنه صوت تفاوت داشته و معیاری حسی از میزان بلند بودن صدا است. بلندای صوت تابعی از فشار، مدت و فرکانس است. آسیب دیدن گوش با شدت صوت و نه با بلندی صوت رابطه دارد. شدت صدا مستقیماً توسط گوش ارزیابی نمی‌شود. زیرا شنوایی نتیجه فرآیند پیچیده‌ای است که در اثر ارسال امواج عصبی از گوش به مغز و تحلیل این امواج در مغز انسان حاصل می‌گردد. با این توضیح می‌توان دریافت که واکنش انسان نسبت به اصوات گوناگون علاوه بر شدت آن اصوات، به عملکرد سامانه شنوایی و عصبی انسان نیز وابسته است. در واقع ممکن است اشخاص گوناگون یک صدای واحد را با شدت مختلف احساس نمایند. مضاف بر این، واکنش دستگاه شنوایی به نوع صدا، محتوای فرکانسی صدا، میزان دوام صدا و شرایط روانی فرد شنونده نیز بستگی دارد. از نظر شنوایی زمانی که احساس می‌شود صدا دو برابر شده است در واقع ۱۰ دسیبل افزایش یافته است (شدت ۱۰ برابر شده است). برای مثال اگر صدای ناشی از جارو برقی ۶۰ دسیبل باشد برای رسیدن به صدای ۷۰ دسیبل (بلندای دو برابر) نیاز به ۱۰ جارو برقی و برای رسیدن به تراز ۸۰ دسیبل نیاز به ۱۰۰ جارو برقی خواهد بود (بلندای ۴ برابر). با این حال در علم آکوستیک شاخص‌هایی ارائه شده تا بتوان به‌طور نسبی واکنش گوش انسان را در قبال صداهای مختلف به‌طور کمی مورد ارزیابی قرار داد. جدول ذیل این شاخص‌ها را بیان نموده است [۱] [۲].

جدول ۱-۱ حساسیت گوش به تغییر تراز صدا [۲]

تغییر در تراز صدا (دسی بل)	تغییر در بلندی صدای احساس شده در گوش انسان
۱	تغییری احساس نمی شود.
۳	تغییر به سختی قابل درک است.
۶	تغییر به راحتی احساس می شود
۱۰	صدا دو برابر بلندتر احساس می شود.
۲۰	صدا چهار برابر بلندتر احساس می شود.

دیگر مفهوم حوزه صدا، سرعت صوت است. سرعت صوت در هر محیط مستقیماً از الاستیسیته و چگالی آن محیط تأثیر می پذیرد. سرعت صوت در هوا در فشار ۲۱ درجه سلسیوس معادل با ۳۴۴ متر بر ثانیه است. این رقم در قیاس با سرعت نور بسیار اندک است اما صوت از شدیدترین تندبادها نیز سریع تر حرکت می کند. سرعت صوت در هوا مستقل از فشار بوده و به دما وابسته است. به بیان جامع تر، سرعت صوت تابعی از جذر دمای مطلق بوده و از رابطه زیر محاسبه می گردد [۲].

$$v_{air} = 331 \frac{m}{s} \sqrt{\frac{T_K}{273K}} = 331 \frac{m}{s} \sqrt{1 + \frac{T_{°C}}{273°C}} \quad [۲]$$

$$v_{sound \ in \ gas} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

در این رابطه v ، سرعت صوت γ/M ، نسبت گرمای ویژه در فشار ثابت به حجم ثابت، R ثابت گاز و T دمای مطلق گاز می باشد [۲].

از دیگر مفاهیم صوت، طیف صوت یا اکتاو باند (Octave Band) می باشد. گوش انسان قادر به شنیدن صداهایی است که در محدوده فرکانسی ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز قرار دارد. واکنشی که گوش در قبال صداهای مختلف بروز می دهد، کاملاً متأثر از فرکانس آن است. از این روی، بررسی صداها از حیث محتوای فرکانسی آن ها از اهمیت بسیاری برخوردار می باشد. به این منظور، محدوده فرکانس شنیداری، یعنی بازه ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز را به هشت باند یا زیربازه تقسیم می کنند. فرکانس بیشینه هر زیربازه، دو برابر فرکانس کمینه همان زیربازه است. از سوی دیگر، فرکانس بیشینه هر زیربازه، فرکانس کمینه زیربازه بعدی نیز محسوب می گردد. نحوه تقسیم این زیربازه های هشت گانه تاحدی دلخواه است، اما یکی از تقسیمات موجود، در جدول ۲-۱ ارائه شده است.

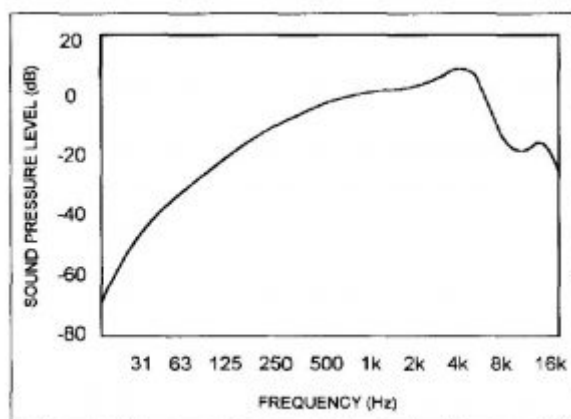
جدول ۲-۱ تقسیم محدوده فرکانس شنیداری به هشت زیربازه [۲]

شماره باند	محدوده فرکانسی (هرتز)	فرکانس میانی (هرتز)
۱	۲۰ تا ۷۵	۵۳
۲	۷۵ تا ۱۵۰	۱۰۶
۳	۱۵۰ تا ۳۰۰	۲۱۲

۴۲۵	۶۰۰ تا ۳۰۰	۴
۸۵۰	۱۲۰۰ تا ۶۰۰	۵
۱۷۰۰	۲۴۰۰ تا ۱۲۰۰	۶
۳۴۰۰	۴۸۰۰ تا ۲۴۰۰	۷
۶۸۰۰	۱۰۰۰۰ تا ۴۸۰۰	۸

اگر چه ابتدا و انتهای هریک از زیربازه‌ها اعداد رُندی هستند، لیکن فرکانس‌های میانی زیربازه‌ها چنین خاصیتی را دارا نمی‌باشند. لذا با توجه به آن که به کار بردن فرکانس‌های میانی متداول‌تر از مقادیر ابتدایی و انتهایی زیربازه‌ها است، می‌توان این فرکانس‌ها را نیز رند نموده و اعداد ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۶۰۰، ۳۲۰۰، ۶۴۰۰ هرتز را به عنوان فرکانس‌های میانی بیان نمود. البته اعدادی که در اغلب مراجع به عنوان فرکانس‌های میانی ذکر شده با اندکی تغییر نسبت به اعداد فوق، و به صورت: ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز ارائه شده است. در بسیاری از مسائل مطرح در حوزه آکوستیک تنها کافی است که مشخصه‌های یک موج صوتی را با استفاده از فرکانس‌های میانی هریک از اکتاو باندهای آن موج معرفی نموده و به عبارت دیگر، دامنه موج را در هریک از فرکانس‌های میانی بیان کنیم. اما اگر بخواهیم بررسی دقیق‌تری انجام دهیم، می‌توانیم هریک از اکتاو باندها را به سه زیربازه تقسیم کنیم که چنین تحلیلی، تحلیل یک‌سوم اکتاو نامیده می‌شود [۲].

میزان حساسیت دستگاه شنوایی انسان به اصوات مختلف، کاملاً متأثر از فرکانس صدا است. در واقع می‌توان گفت که گوش هر انسان به اصواتی که در بازه فرکانسی ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز قرار دارد، حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. به بیان جامع‌تر می‌توان گفت که به دلیل بروز پدیده رزونانس، دستگاه شنوایی انسان اصواتی که در محدوده فرکانسی ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز باشد را تقویت نموده و به همین دلیل است که ما حساسیت بیشتری را نسبت به اصوات دارای این محدوده فرکانسی دارا هستیم. شکل ۱-۷ نشان می‌دهد که میزان شنوایی انسان تا چه حد به فرکانس بستگی داشته و لذا بازدهی دستگاه شنوایی در فرکانس‌های زیر ۵۰۰ هرتز و بالای ۴۰۰۰ هرتز با کاهش محسوس مواجه می‌گردد.

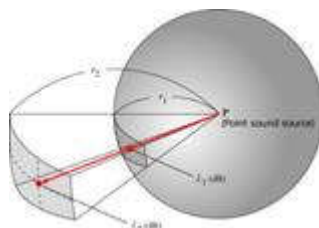


شکل ۱-۷ کاهش شنوایی در خارج از باند ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز [۲]

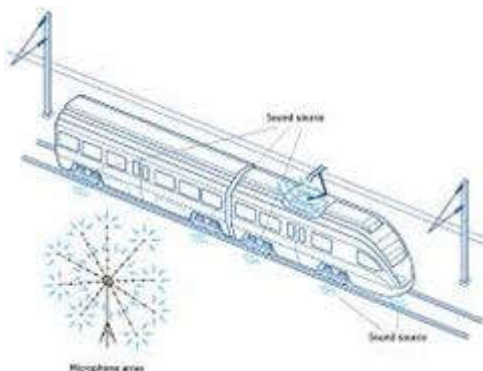
برای آن که بتوان شدت صداهایی که در فضای اطراف ماست را دقیقاً به همان ترتیبی توسط گوش انسان دریافت می‌شود، مورد ارزیابی قرار داد می‌بایست از مقیاس‌های ویژه‌ای در سنسورهای گیرنده صدا (صدا سنج‌ها) بهره گرفت. این مقیاس‌ها برای اصواتی که در محدوده ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز قرار دارند اهمیت بیشتری لحاظ کرده، دامنه اصواتی که در خارج از این محدوده فرکانسی قرار دارند را کاهش می‌دهند و این عیناً همان اتفاقی است که در گوش انسان به وقوع می‌پیوندد. از این عمل تحت عنوان وزن‌دهی فرکانسی یاد می‌شود. وزن‌دهی فرکانسی مشتمل بر انواع گوناگون A تا E بوده و به تبع آن، شدت صدای متناظر با هر نوع از وزن‌دهی را ضمن اشاره به نام آن و به صورت dB_A، dB_B، dB_C و ... نشان می‌دهند. تفاوت بنیادین میان سیستم‌های مختلف وزن‌دهی را می‌توان این طور بیان کرد که وزن‌دهی نوع A، ذاتاً تمایل به صرف‌نظر نمودن از اصوات فرکانس پایین دارد، در حالی که در وزن‌دهی نوع B این کار با شدت کمتری صورت پذیرفته و در وزن‌دهی نوع C عملاً انجام نمی‌شود. لازم به ذکر است که وزن‌دهی نوع B کمترین کاربرد را دارا بوده و وزن‌دهی نوع A از بیشترین اقبال در قیاس با سایر سیستم‌های وزن‌دهی فرکانسی برخوردار است [۲].

مفهوم بعدی، منابع تولید صدا هستند که به تعریف آن پرداخته خواهد شد. منابع تولید صدا را با توجه به الگوی انتشار صدا در آن‌ها عمدتاً به منابع نقطه‌ای و خطی تقسیم‌بندی می‌کنند. هنگامی که منبع صدا نسبت به شنونده ساکن بوده و ابعاد آن نیز در قیاس با فاصله‌ای که از شنونده دارد کوچک باشد، از آن با عنوان منبع نقطه‌ای یاد می‌شود. اصوات ساطع شده از منبع نقطه‌ای، انرژی صوتی را به طور یکسان و در تمامی جهات منتشر می‌کنند. این الگوی انتشاری شباهت بسیاری به یک کره با مرکزیت منبع صدا به دارد. از تعریفی که برای منبع نقطه‌ای بیان شد، به وضوح می‌توان دریافت که یک قطار در حال حرکت و یا جریان سیال درون لوله را نمی‌توان معادل با منبع نقطه‌ای در نظر گرفت. همین امر ما را بر آن می‌دارد تا نوع دیگری از منبع صدا موسوم به منبع خطی را تعریف نماییم که در آن الگوی انتشار صدا شبیه به یک استوانه است. شایان ذکر است که الگوهای که برای انتشار صدا از منابع نقطه‌ای و خطی ذکر شد تا زمانی صادق است که امواج صوتی به مانعی برخورد نکرده باشند. زیرا برخورد صوت با مانع، پدیده انعکاس را به دنبال

خواهد داشت که ضمن تغییر راستا و شدت صوت، الگوی انتشار را نیز دستخوش تغییر می‌کند. نمایی شماتیک از منبع نقطه‌ای و خطی در شکل ۸-۱ و شکل ۹-۱ قابل مشاهده هستند [۲].

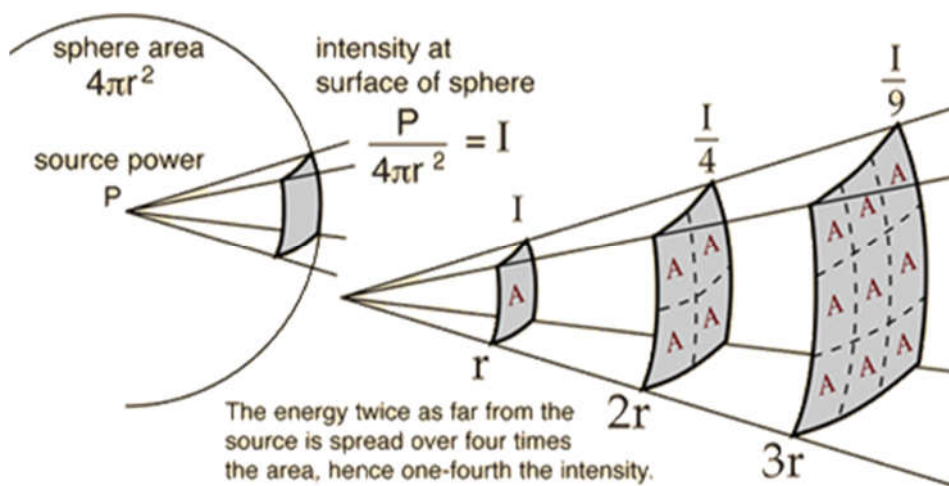


شکل ۸-۱ منبع صدای نقطه‌ای [۲]



شکل ۹-۱ منبع صدای خطی [۲]

بر اساس قانون مجذور معکوس صدای گسیل شده از یک منبع نقطه‌ای در شرایط میدان آزاد با الگویی مشابه آن‌چه در شکل ۱۰-۱ به تصویر کشیده شده، منتشر می‌گردد. شدت صدای ناشی از یک منبع صدا در فاصله r از منبع مذکور برابر است با نسبت توان صوتی منبع بر سطحی که انرژی صوتی بر روی آن توزیع می‌شود [۲].



شکل ۱۰-۱ انتشار کروی و قانون مجذور معکوس [۲]

به این ترتیب می‌توان نسبت میان شدت صدا در دو فاصله مختلف را به صورت ذیل بیان نمود:

Sound pressure p - Sound intensity I - Distance r

$$I \propto p^2 \quad p \propto \sqrt{I} \quad I \propto \frac{1}{r^2} \quad p \propto \frac{1}{r}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{r_1}{r_2} \quad p_2 = p_1 \cdot \frac{r_1}{r_2}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \quad I_2 = I_1 \cdot \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{p_1}{p_2} = \sqrt{\frac{I_1}{I_2}} \quad \boxed{r_2 = r_1 \cdot \frac{p_1}{p_2}} = r_1 \cdot \sqrt{\frac{I_1}{I_2}}$$

شکل ۱-۱۱ نسبت میان شدت صدا، فشار صدا و فاصله [۲]

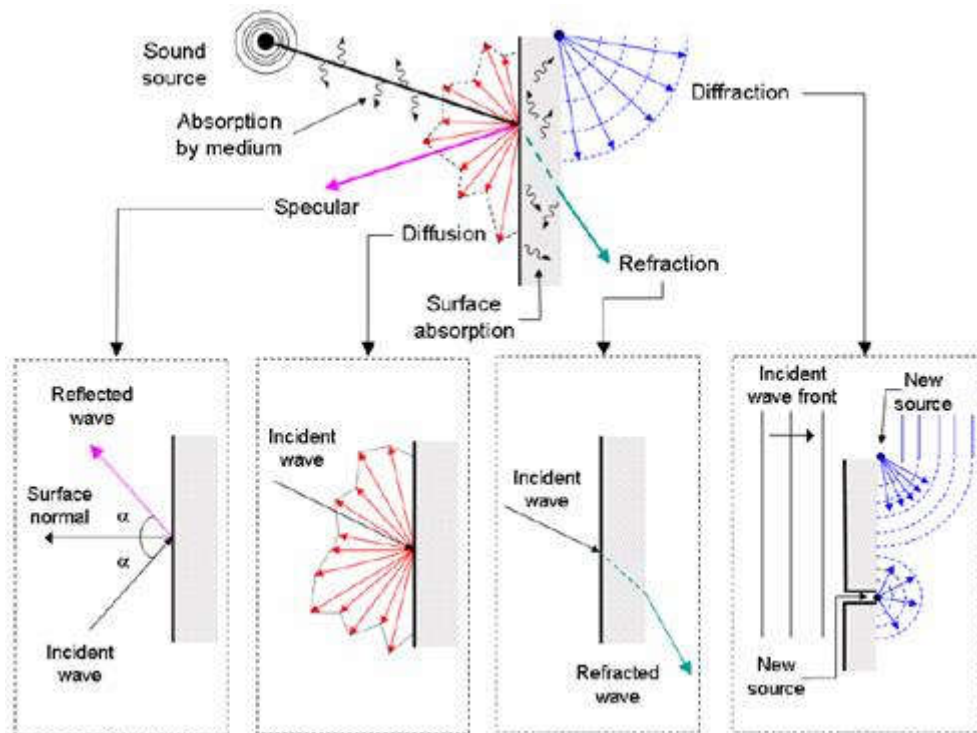
لذا می‌توان گفت که شدت صدا در فواصل مختلف از منبع صدا به نسبت عکس مجذور فاصله از منبع، تغییر می‌یابد. بر اساس این رابطه، انرژی صوتی ناشی از یک منبع نقطه‌ای که به صورت کروی منتشر می‌شود، به ازاء دو برابر شدن فاصله از منبع صدا به میزان ۶ دسی‌بل کاهش می‌یابد. این در حالی است که انرژی صوتی گسیل شده از یک منبع صدای خطی که به صورت استوانه‌ای انتشار می‌یابد، با دو برابر شدن فاصله از منبع صدا تنها ۳ دسی‌بل افت خواهد کرد [۲].

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad [۲]$$

در ادامه مفاهیم نوفه، جذب و افت انتقال تعریف می‌شود که از مفاهیم مرتبط با مبحث کاهش اثر صوت است. از جمله کاربردهای کاهش اثر صوت می‌توان به عایق‌های صوتی اشاره کرد.

اولین مفهوم از موارد فوق، نوفه است. به هر صدای ناخواسته و نامطلوب که موجب آزار انسان شود نوفه یا نویز گویند. نوفه‌ها دارای یک فرکانس مشخصی نیستند و عموماً دارای طیف فرکانسی هستند [۱].

مفهوم دیگری که مطرح شد مفهوم پدیده جذب است. یکی از سازوکارهایی که سبب کاهش دامنه امواج صوتی می‌شود، تبدیل انرژی صوتی به انرژی حرارتی است که این پدیده را جذب می‌نامند. فرآیند جذب هم در داخل محیط انتشار صوت اعم از جامد، مایع و گاز، رخ داده و هم در مرزهای محیط انتشار (مثلاً دیواره‌های اتاقی که صوت در آن منتشر می‌شود) به وقوع می‌پیوندد. از عواملی که سبب بروز پدیده جذب در درون محیط انتشار می‌شود می‌توان به خاصیت لزجت یا ویسکوزیته سیالات و همچنین انتقال حرارت به صورت رسانش اشاره نمود. متداول‌ترین شاخصی که برای سنجش میزان جذب یک سطح و یا یک محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد، ضریب جذب است که به صورت نسبت انرژی جذب شده، به انرژی اصابت کننده به سطح و یا محیط مزبور، بیان می‌شود. در واقع می‌توان گفت، محیطی که دارای ضریب جذب صفر است، تمامی انرژی صوتی را بازتابانده و محیطی با ضریب جذب یک، تمامی انرژی صوتی را جذب می‌کند [۲].



شکل ۱-۱۲ انعکاس، عبور و جذب امواج صوتی هنگام برخورد با مانع [۲]

در رابطه با مفهوم افت انتقال لازم به توضیح چند مفهوم دیگر است که در ذیل به تعریف آن‌ها پرداخته می‌شود.

پراکندگی (Scattering): در پدیده انعکاس زاویه برخورد پرتوهای صوتی در طول فرآیند انعکاس ثابت می‌ماند که این انعکاس را انعکاس کامل یا آینه‌وار می‌نامند. باید دانست که وقوع پدیده انعکاس آینه‌وار در طبیعت چندان رایج نبوده و در عمل زاویه برخورد پرتوهای برخوردکننده به یک سطح با زاویه برخورد پرتوهایی که از آن منعکس می‌شوند، متفاوت است که در این حالت به جای انعکاس، شاهد شکل‌گیری پدیده دیگری موسوم به پراکندگی خواهیم بود. پراکندگی عموماً هنگام برخورد یک دسته پرتوی صوتی به یک سطح ناصاف اعم از سطح مقعر و یا محدب ایجاد می‌شود. در صورتی که زاویه برخورد پرتوهای انعکاسی تفاوت مشهودی با زاویه برخورد پرتوهای اصابت‌کننده به یک سطح داشته باشد، پراکندگی را ناهمدوس (Incoherent) و در صورتی که زاویه برخورد تغییر چندانی را تجربه نکند، پراکندگی را همدوس (Coherent) می‌نامند. پدیده پراکندگی را به گونه دیگری نیز می‌توان دسته‌بندی نمود. در صورتی که پراکندگی پرتوهای صوتی از یک سطح ناهموار به گونه‌ای باشد که مولفه افقی پرتوهای انعکاسی در خلاف راستای پرتوهای برخوردی بوده و به بیان دیگر، پرتوهای برخوردی به سمت منبع صدا بازگردانده شوند، پراکندگی رو به عقب یا پس‌پراکندگی رخ داده و در غیر این صورت شاهد وقوع پراکندگی رو به جلو خواهیم بود [۲].

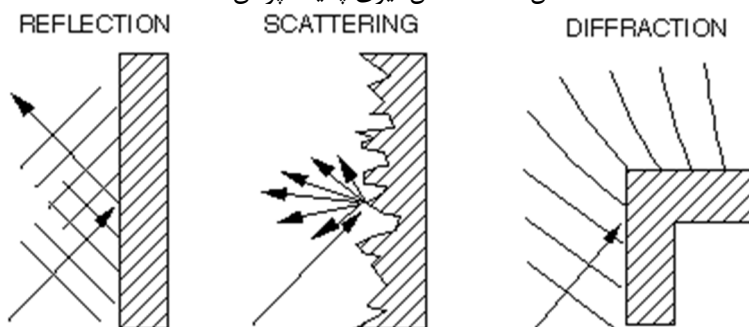
پرش (Diffraction): یکی از نکات حائز اهمیت در رابطه با انتشار امواج صوتی آن است که هنگامی که موج صوتی به مانعی برخورد می‌کند، در لبه نوک‌تیز مانع دستخوش خمیدگی شده و در واقع

گویا مانع را دور می‌زند. به همین دلیل است که صدای کامیونی که در یک سوی دیوار در حال حرکت است توسط فردی که در سوی دیگر دیوار قرار داشته و قادر به دیدن کامیون نیست، دریافت می‌شود. این پدیده که از آن با عنوان پراش یاد می‌شود بازدهی مانع‌های صوتی هم‌چون دیوارهایی که در حاشیه بزرگراه‌ها تعبیه می‌شود را کاهش می‌دهد [۲].

شکل ۱-۱۳ نمونه‌ای از وقوع پدیده پراش را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در این حالت نیز به رغم آن که مسیر مستقیم بین فرد و ساعت توسط دیوار مسدود شده است، لیکن گویا امواج صوتی لبه نوک تیز دیوار را دور زده و به همین دلیل است که فرد قادر به شنیدن صدای زنگ هشدار ساعت می‌باشد [۲].



شکل ۱-۱۳ شکل‌گیری پدیده پراش [۲]

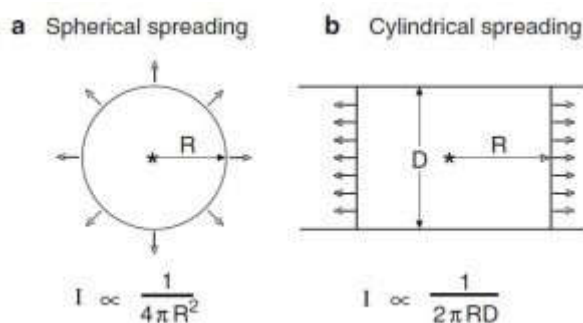


شکل ۱-۱۴ پراش، پراکندگی و انعکاس [۲]

تضعیف (Attenuation): تضعیف عنوانی عام است که در رابطه با کاهش دامنه صوت از طریق سازوکارهای مختلفی مشتمل بر پراکندگی و جذب، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع از آن جا که در بسیاری از پدیده‌هایی که در طبیعت با آن سروکار داریم، امکان آن وجود ندارد که کاهش شدت صدای ناشی از جذب را از افت ناشی از پراکندگی تمایز دهیم، تمامی این پدیده‌ها را به صورت توأم و تحت عنوان کمیت تضعیف مورد ارزیابی کمی قرار می‌دهیم [۲].

افت پخش هندسی (Spreading Loss): در شرایطی که هیچ یک از سازوکارهای تضعیف‌کننده صوت هم‌چون جذب و پراکندگی وجود نداشته باشد، باز هم دامنه صوت حین انتشار در محیط کاهش

خواهد یافت. برای فهم این پدیده می‌توان انتشار صوت از یک منبع نقطه‌ای و یا خطی صدا را به خاطر آورد. در این حالت هر اندازه که امواج صوتی از منبع صدا فاصله می‌گیرند، بر روی سطح بزرگتری از میدان کروی و یا استوانه‌ای صدا توزیع می‌شوند. لذا حتی اگر از تمامی سازوکارهایی که موجب بروز تضعیف می‌شوند هم صرف نظر نموده و فرض کنیم که توان صوتی اولیه منبع در تمامی محیط انتشار ثابت می‌ماند، باز هم با دور شدن از منبع صدا، توان منبع بر روی سطح وسیع‌تری توزیع می‌گردد و این امر به معنای کاهش شدت صدا با افزایش فاصله از منبع است. این نوع افت که تنها ناشی از پخش شدن صوت بر روی میدان کروی و یا استوانه‌ای انتشار است را افت پخش هندسی می‌نامند و چنان که اشاره شد می‌توان آن را به دو نوع افت استوانه‌ای و افت کروی تقسیم نمود. در زمانی که شرایط انتشار کروی برقرار باشد، شدت صدا متناسب با سطح کره خواهد بود و هنگام وجود میدان استوانه‌ای، شدت صدا متناسب با سطح خارجی استوانه است. در این تناسب‌ها R ، نشان‌دهنده کمیت بُرد (Range) یا همان فاصله از منبع انتشار است [۲].



شکل ۱-۱۵ الگوی پخش کروی و استوانه‌ای و شدت صدای متناظر با هریک از آن‌ها [۲]

با توجه به مفاهیم بالا می‌توان مفهوم افت انتقال را به صورت زیر بیان نمود.

دامنه امواج صوتی تحت دو سازوکار کلی کاهش می‌یابد؛ یکی افت تضعیف (Attenuation Loss) و دیگری افت پخش (Spreading Loss). افت نهایی که از مجموع این دو سازوکار بر سیگنال صوتی تحمیل می‌شود را افت انتقال (Transmission Loss) می‌نامند. در واقع می‌توان گفت که کاهش شدت صدای ناشی از کلیه عوامل اعم از پارامترهایی که به محیط انتشار بستگی داشته و عواملی که مرتبط با مرزهای محیط است، در افت انتقال لحاظ شده است [۲].

۲-۱ عایق‌های صوتی

همانطور که در بخش پیشین مطرح شد، صوت می‌تواند تاثیر مثبت و منفی داشته باشد. در این بخش به صوت از منظر منفی آن پرداخته می‌شود. یکی از اثرات منفی صوت، ایجاد نوفه توسط صوت می‌باشد. نوفه به خصوص در منازل مسکونی، بیمارستان‌ها، استودیوها و ... که آرامش و عدم وجود صدای ناخواسته مهم است بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. در بخش قبل مفاهیمی در رابطه با جذب و کاهش میزان

انتقال صدا مطرح شد. در این بخش به معرفی عایق‌ها که به منظور کاهش میزان انتقال صدا و ایجاد محیطی با شرایط صوتی مناسب استفاده می‌شود، پرداخته خواهد شد.

۱-۲-۱ دسته بندی بر اساس نوع عملکرد

عایق صوتی از لحاظ نوع کاربرد و عملکرد در فضای داخلی به دو دسته تقسیم می‌شود، عایق کاری به منظور حذف نویز و صداهای مزاحم محیط بیرونی و یا جذب نویزهای موجود در محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد. مورد اول مانند مانعی در برابر سر و صدا و نویزهای محیطی عمل می‌کند و تا حد زیادی مانع ورود و یا خروج آن می‌شود. مورد دوم که با نام عایق صوتی آکوستیک نیز شناخته می‌شود، به منظور جذب امواج صوتی موجود در فضای داخلی و جلوگیری از انعکاس آن صورت می‌گیرد [۳].

۱-۲-۲ دسته بندی عایق صوتی از لحاظ موقعیت و زمان بکارگیری

۱-۲-۲-۱ عایق صوتی توکار

این نوع عایق‌ها به عنوان مصالح ساختمانی سازه و در حین ساخت و ساز به بدنه و یا بخش‌های مختلف اضافه می‌شوند. از معروف‌ترین و کاربردی‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۳].

۱-۲-۲-۱-۱ فوم اکس پی اس

فوم اکس پی اس علاوه بر عایق صوتی، عایقی حرارتی و رطوبتی نیز به شمار می‌رود. استحکام این محصول و طول عمر آن بسیار بالا است و در عین حال وزن بسیار کمی دارند. فوم‌های اکس پی اس دارای قیمت خوبی می‌باشند و می‌توان به آسانی آن‌ها را تهیه کرد. از طرف دیگر به دلیل این که هزینه‌های حمل و نقل پایینی هم دارا می‌باشند، در مجموع استفاده از آن‌ها هزینه‌ها را که امری مهم است کاهش می‌دهند. این فوم‌ها از نظر مقاومت در برابر آتش استاندارد می‌باشند و در نتیجه موجب می‌شوند که امنیت بهتر و بیشتری را برای ساختمان فراهم کنند. استفاده از این عایق صوتی موجب می‌شود که سر و صداهای اضافی به میزان قابل توجهی کاهش یابد. زیرا عایق بسیار خوبی برای صوت می‌باشند. فوم‌های اکس پی اس در دسترس هستند و می‌توان به آسانی آن‌ها را تهیه کرد. علاوه بر این تعمیر آن‌ها کار آسانی خواهد بود که به راحتی قابل انجام است. ویژگی مهم عایق صوتی اکس پی اس این است که وزن کمی دارد. همین سبک بودن سبب می‌شود که استفاده از آن با امنیت بالاتری همراه باشد. گاه برخی عایق‌ها در هنگام آتش گرفتن تولید گازهای سمی می‌کنند که بسیار خطرناک است. فوم‌های اکس پی اس در صورت سوختن هیچ گاز سمی تولید نمی‌کنند. باکتری‌ها و کپک‌ها به آسانی نمی‌توانند به این فوم‌ها نفوذ کنند و در واقع مقاومت فوم در مقابل این عوامل بسیار بالا است. فوم‌های اکس پی اس ابعاد و اندازه‌های دقیقی دارند و چگالی سطح آن‌ها یکواخت است. این فوم‌ها بسیار انعطاف پذیر بوده و در برابر جذب کردن آب مقاومت خیلی بالایی دارند. البته دارای معایبی نیز هستند که می‌توان به عدم امکان برش موج‌دار به دلیل فشردگی زیاد هنگام

استفاده از پانل‌های ذورنقه‌ای اشاره کرد. ویژگی‌های بیان شده این نوع عایق را به یکی از کاربردی‌ترین و رایج‌ترین نمونه مصالح عایقی تبدیل کرده است [۳].



شکل ۱-۱۶ نمونه‌ای از فوم اکس پی اس [۳]

۱-۲-۲-۲-۱ ورقه‌های یونولیتی

از دیگر مواردی که در حین ساخت به ساختمان اضافه می‌شود، ورقه‌های یونولیتی است، این محصول در مرحله سفت کاری به سازه اضافه می‌شود و جزء عایق‌های صوتی مناسب برای جذب صدا به شمار می‌رود. وزن این محصول نیز بسیار کم است و بار اضافی بر ساختمان اضافه نمی‌کند [۳].



شکل ۱-۱۷ نمونه ورق یونولیت [۴]

این نوع عایق بندی از طریق اسپری کردن محلول واکنش پذیر فوم پلی یورتان در نواحی مورد نظر اجرا می‌شود. پس از اسپری محلول با هوا واکنش داده و حجم گرفته و جامد می‌شود. این نوع عایق بندی درزها را به خوبی می‌پوشاند اما نیازمند ابزار خاص، اجرای حرفه ای و تمیز کاری ثانویه است [۳]. این فوم‌ها دارای سه نوع سخت، نرم و نیمه سخت (یا نیمه نرم) هستند.

● فوم سخت

فوم‌های سخت پلی یورتان دارای درصد زیادی سلول بسته همراه با ویژگی‌های خاص است. فوم سخت می‌تواند در مقابل نفت و بنزین و سایر حلال‌های غیر قطبی مقاومت کند. این فوم در صورتی که دانسیته پایینی داشته باشد دارای خواص عایق حرارتی بسیار بالایی است. فوم سخت را می‌توان بدون نیاز به گرمایش تولید کرد. این فوم می‌تواند به مواد مختلف از قبیل فولاد، چوب، رزین‌های ترموست، فیبر و فوم بچسبد. دانسیته آن می‌تواند در طیف گسترده‌ای تنظیم شود. بسیار متنوع و کم مصرف در انرژی بوده و می‌تواند در حین افزایش ایمنی و رفاه افراد تا حدود زیادی مقدار مصرف سوخت و هزینه‌های مصرف و تولید را کاهش دهد [۵].

■ کاربرد فوم سخت

- در صنعت ساختمان در داخل دیواره فلز و پلاستیک یخچال‌ها و فریزرها و در پشت کاغذ، فلزات و مواد دیگر در پانل‌های عایق
- به عنوان عایق حرارتی در ساختمان کاربرد ویژه‌ای دارد.
- در صنعت خودرو سازی برای ساخت داشبورد و ضربه گیرهای خودرو
- در ساخت ساندویچ پنل‌ها و شناورها، کشتی‌ها و بسته بندی
- در صنایع مبلمان برای تولید قطعات دکوراتیو و فوم چوب پلی یورتان، همچنین عمران و معدن [۵].

● فوم نرم

فوم‌های نرم دارای سلول‌های باز بوده و هوا به راحتی از آن‌ها عبور می‌کند. همچنین فوم نرم یا همان فوم فلکس دارای کاربردهای وسیعی در صنعت امروز هستند. فوم فلکس می‌تواند درجه سفتی متفاوت داشته باشد. فوم نرم دارای وزن بسیار سبکی بوده و دانسیته این فوم بین ۳۵ تا ۵۵ کیلوگرم بر متر مکعب است. این فوم بسیار بادوام و راحت است. فوم‌های نرم خود دارای انواع زیر هستند:

- پلی یورتان نرم بلوکی: فوم ابر و اسفنج، فوم بالشتک پشت سری، تشک‌ها و تزئینات داخل خودرو از این نوع فوم هستند.

- پلی یورتان نرم قالبی یا فوم سرد: این فوم به طور عمده در تولید صندلی وسایل نقلیه از قبیل صندلی قطار، صندلی هواپیما، خودرو و حتی مبلمان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- ویسکو الاستیک: به عنوان عایق صدا و صوت بسیار کارایی دارد [۵].

• فوم نیمه سخت

فوم پلی یورتان نیمه سخت از نظر خواص در بازه میانی فوم‌های پلی یورتان نرم و سخت قرار می‌گیرد. در واقع بخشی از سلول‌های ساختاری تشکیل دهنده فوم پلی یورتان نیمه سخت همانند فوم‌های نرم از نوع سلول باز بوده و بخش دیگر همانند فوم سخت از نوع سلول بسته می‌باشد. فوم ضربه گیر سپر خودرو، فوم‌های ضربه گیر صنایع ریلی، دریایی و حمل و نقل، قطعات مرتبط با تزیینات داخلی خودرو (دستگیره درب، زیر آرنجی، فوم داشبورد و فوم سقفی) و قطعات تزئینی و اسباب بازی‌های کودکان از جمله موارد مورد استفاده از این نوع فوم‌ها هستند [۵].

• مزایای فوم عایق پلی یورتان

- ضریب انتقال حرارتی فوم پلی یورتان بسیار پایین است، از این رو یک عایق حرارتی ایده آل برای جلوگیری از هدررفت انرژی گرمایی محسوب می‌شود.

- پلی یورتان مقاومت بالایی در برابر میکروب‌ها، قارچ‌ها و باکتری‌ها دارد و محل مناسبی برای تجمع این عوامل نمی‌باشد.

- این فوم قابل تزریق و قالب گیری است و برای عایق کاری‌های حجیم و مکان‌های غیر قابل دسترس گزینه‌ای ایده آل به شمار می‌آید.

- این عایق حرارتی دچار خوردگی و ساییدگی نمی‌شود.

- فوم عایق پلی یورتان در برابر رطوبت دچار آسید نمی‌شود و کاملاً نفوذناپذیر است. علاوه بر آن در برابر مواد اسیدی و حلال‌ها تخریب نمی‌شود.

- افزایش حجمی که فوم پلی یورتان پاششی پیدا می‌کند قادر به پوشش تمام حفره‌های مکان مورد نظر است.

- وزن این عایق بسیار سبک است و بار اضافی بر سازه وارد نمی‌کند.

- دوام و طول عمر این عایق فوم مانند بسیار بالاست.

- بخار آب و رطوبت در این فوم نفوذ نخواهند کرد.

- این عایق نوعی عایق حرارتی است که مقاومت آن در برابر حرارت‌های بالا فوق العاده می‌باشد.

- این فوم به صورت درزگیر برای پر کردن درزها و شکاف‌های ساختمان نیز کاربرد دارد.

- فوم پلی یورتان را می‌توان پس از خشک شدن شکل داد و آن را رنگ آمیزی نمود.
- این فوم‌ها به میزان قابل توجه از هدر رفت انرژی در ساختمان جلوگیری می‌کنند.
- عایق پلی یورتان یک عایق اکوستیک مناسب است که از انتقال سر و صدا به داخل ساختمان جلوگیری می‌کند.
- این نوع فوم‌ها به راحتی به ورق‌های گالوانیزه و لایه‌های پانل می‌چسبند.
- در مقایسه با عایق پلی استایرن، این عایق‌ها مقاومت حرارتی بالاتری دارند.
- دانسیته این فوم‌ها را می‌توان طبق نیاز تغییر داد.
- این فوم در برابر تغییرات ناگهانی دما، انبساط و انقباض از مقاومت لازم برخوردار است.
- دوام و استحکام این عایق در برابر ضربه و ترک خوردگی بسیار بالاست [۵].

• معایب عایق پلی یورتان

- این فوم برای مکان‌هایی که نیاز به بازسازی و یا تعمیر ندارند مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا در صورت چسبیدن به سطح دیگر نمی‌توان آن را جدا نموده و یا پاک کرد.
- هنگام استفاده از این عایق باید از پوشش‌های ایمنی استفاده شود زیرا گازی که حین کار با این فوم‌ها در فضا پخش می‌شود سلامتی انسان را به خطر می‌اندازد.
- چرخه بازیافت و بازگشت فوم پلی یورتان به طبیعت بسیار طولانی است و در واقع جزء مواد تجدیدنپذیر به شمار می‌آید [۵].

۱-۲-۲-۱-۴ فوم بازیافتی ریباند

یکی از محصولات بازیافتی در زمینه عایق‌های صوتی، فوم ریباند است. این عایق از کامپوزیت فوم پلی یورتان و چسب ساخته شده است و جزء نمونه‌های دوستدار محیط زیست است. این محصول به صورت رولی ارائه شده و می‌توان در حین اجرا آن را در اندازه‌های مورد نظر، برش داد [۳].



شکل ۱۸-۱ نمونه‌ای از فوم بازیافتی ریباند [۶]

۵-۱-۲-۲-۱ عایق پشم شیشه

از پشم شیشه برای عایق سازی دیوارهای داخلی استفاده می‌شود و از نمونه‌هایی است که هم عایق صوتی و هم عایق حرارتی است. طول عمر بالا و مقاومت بالای این محصول در برابر موارد فرسایشی و مخرب مانند قارچ، باکتری و موارد دیگر، آن را به گزینه‌ای بی‌ضرر و بسیار سازگار و کارآمد تبدیل می‌کند. چگالی‌های متنوعی داشته و دارای وزن سبک و نصب آسان است. همچنین کند سوز بوده و ضریب انتشار گاز سمی کمی دارد. البته دارای معایبی از جمله مقاومت رطوبتی کم به دلیل ساختار فیبری شکل و ایجاد مشکلات پوستی و ریوی و تنفسی و ضعف در دید در صورت تماس مستقیم نیز هست. این محصول در دو نوع رولی و تخته‌ای تقسیم می‌شود [۳] [۷].



شکل ۱۹-۱ نمونه‌ای از عایق پشم شیشه [۷]

۱-۲-۲-۱ فوم‌های عایق لوله

این فوم‌های آکوستیک برای جلوگیری از انتقال صدای لوله کشی‌های ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند و بر روی لوله کشی‌های ساختمانی نصب می‌شود [۳].

۱-۲-۲-۱ عایق صوتی روکار

این عایق‌ها را می‌توان با اعمال زیرسازی‌های اولیه و یا حتی بدون نیاز به زیرسازی، در سطوح مختلف محیط داخلی مورد نظر اعمال کرد. این نوع عایق‌ها دارای صنعت رو به رشدی می‌باشند و روز به روز به نوآوری و تنوع این دسته از عایق‌ها اضافه می‌شود [۳].

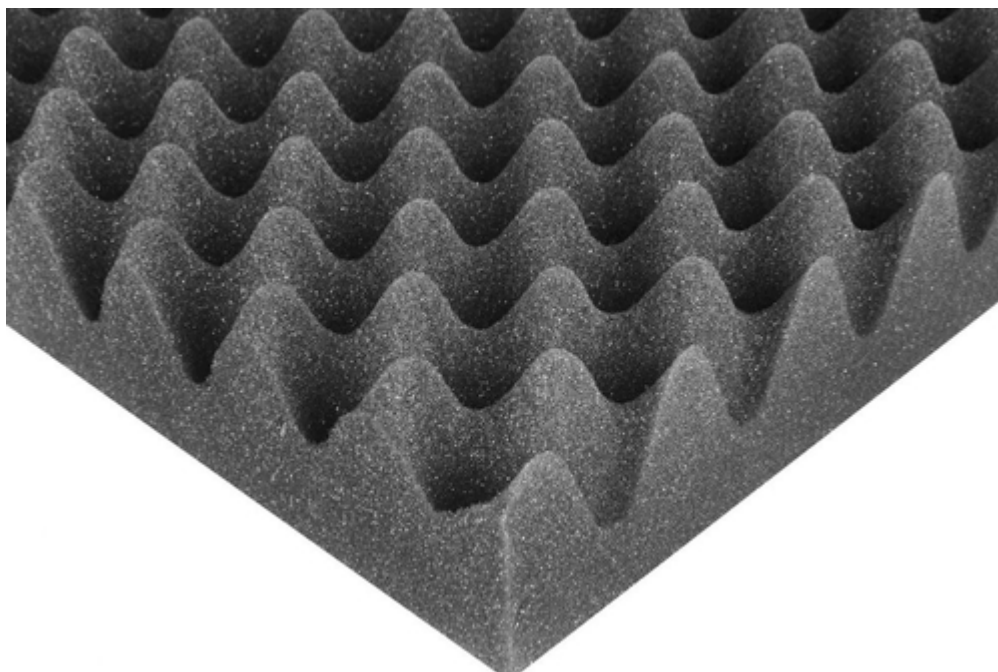
۱-۲-۲-۱ فوم شانه تخم مرغی

این محصول از جنس اسفنج است و جذب بسیار بالایی دارد و انعکاس صدا را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد فرم دندانه‌دار و شبیه شانه تخم مرغ این عایق صوتی، عملکرد آن را بسیار بالا می‌برد. این عایق صوتی را در مکان‌های ضبط صدا و یا استدیوها برای پوشش دیوارها و سقف مورد استفاده قرار می‌دهند. نوع نصب این عایق اهمیت زیادی دارد چرا که جهت گیری هرم‌های روی عایق می‌تواند بر روی میزان کاهش بازتاب صدا تاثیر زیادی بگذارد. این محصول در دو نوع ساده و پشت چسب‌دار ارائه می‌شود [۳]. از جمله مزایای این عایق‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استحکام فیزیکی بسیار بالا و مقاوم در برابر پارگی حین اجرا و در زمان استفاده.
- عایقی کاملاً سبک و انعطاف‌پذیر که به راحتی بر روی دیوارهای مشترک یا سایر سطوح نصب می‌شوند. در واقع نصب این فوم‌ها بسیار راحت بوده و می‌توان با میخ یا پیچ و یا چسب آهن فوم‌ها را در سطوح مختلف چسباند.
- عایق شانه تخم مرغی به صورت شیت‌های ورقه‌ای بوده و در صورت نیاز با تیغ و یا چاقوی تیز به راحتی قابل برش زدن می‌باشد.
- این نوع از عایق‌ها ضد باکتری، ضد قارچ و کاملاً سازگار با محیط زیست می‌باشد.
- قابلیت استفاده از فوم شانه تخم مرغی نسوز به عنوان عایق صوتی حرارتی وجود دارد.
- با توجه به دارا بودن چسب مسلح نخ‌دار در پشت آن، به راحتی بر روی تمامی سطوح صاف و صیقلی تمیز (بدون گردو خاک، روغن، گریس و هرگونه کثیفی) اعم از گچ، چوب، پلاستیک، بتن و فلزات چسبیده و نصب می‌گردد [۸].

البته این فوم‌ها دارای معایبی نیز هستند. فوم شانه تخم مرغی به مرور زمان رنگ عوض می‌کند و به زرد تغییر رنگ می‌دهد. البته این موضوع تغییر رنگ، بستگی به مواد استفاده شده در فوم خام و همچنین دانسیته

فوم دارد. بنابراین در هنگام خرید حتماً به مسئله چگالی این نوع از فوم‌ها باید توجه شود. همچنین از آنجایی که هرچه قدر رنگ روشن‌تر باشد زردی خودش را زودتر نشان می‌دهند در نتیجه رنگ سفید برای این فوم‌ها گزینه مناسبی نمی‌باشد و رنگ‌های تیره زردی را کمتر نشان می‌دهد [۸].



شکل ۱-۲۰ نمونه‌ای از عایق شانه تخم مرغی [۸]

- فوم عایق صدای صاف

از این نوع عایق می‌توان برای فضاهای داخلی مسکونی استفاده کرد و با برش به اندازه مناسب، بدون نیاز به زیرسازی خاصی، بر روی سطح دیوار و یا سقف اجرا کرد. این نمونه عایق صوتی به علت میزان جذب صدای کم به نسبت نمونه‌های شکل دار، برای فضاهایی با نیاز کاهش نویز بالا، به صورت زمینه و بستری برای عایق‌های دندان‌دار مانند عایق‌های شانه تخم مرغی ساده، به کار می‌رود. فوم‌های صاف در دیوار و سقف کار گذاشته می‌شود و می‌توان آن‌ها را جدا و در فضای دیگری مجدداً نصب و اجرا کرد. این نوع عایق در دو نوع چسب‌دار یک رو و دو رو ارائه می‌شود [۳].

- فوم منشوری (گوه‌ای و یا هرمی)

این عایق صوتی مانند نمونه شانه تخم مرغی، سطح غیر صاف و فرم دار دارد. فوم‌های منشوری و یا گوه‌ای، دارای واحدهایی مشابه هرم است و نما و تنوع رنگ آن باعث شده نمونه‌ای مناسب برای استفاده روکار در فضاهای داخلی باشد. جهت گیری این نوع عایق صوتی در حین اجرا و نصب نیز تاثیر زیادی بر روی کارایی آن دارد [۳].



شکل ۱-۲۱ نمونه‌ای از فوم منشوری [۳]

- پنل‌های آکوستیک دکوراتیو

این پنل‌ها که امروزه در طرح‌ها، رنگ‌ها و بافت‌های بسیار متنوعی ارائه می‌شوند و علاوه بر کاربرد اصلی، دارای نمایی زیبا و منحصر به فردی می‌باشند. نصب و تغییر موقعیت این نوع پنل‌ها بسیار آسان بوده و از این رو، تنوع بسیار زیادی در زمینه چیدمان آن‌ها قابل اعمال است. پنل‌های صوتی می‌توانند تا حدود ۸۵٪ انعکاس نویزهای داخلی را کاهش دهند که این امر، کارآمدی آن‌ها را به عنوان عنصری دکوراتیو، بسیار بالا می‌برد. تنوع بالای این محصول و نصب آسان آن، امکان اجرای آن را در اکثر فضاهای داخلی مسکونی و غیر مسکونی فراهم می‌کند [۳].

- عایق‌های دکوراتیو

این محصولات نوین، به فرم المانی دکوراتیو در سقف، دیوار و به صورت مستقل، به کار می‌روند. از نمونه‌های آن‌ها می‌توان به عایق‌های آویزی از سقف اشاره کرد که برای فضاهای اداری طراحی شده‌اند. عایق‌های دکوراتیو از محصولاتی می‌باشند که سابقه کمی نسبت به نمونه‌های دیگر دارند ولی در عین حال محبوبیت خوبی پیدا کرده‌اند [۳].

- المان‌های دیگر با قابلیت عایق صدا

محصولات دیگری مانند پنجره‌های دوجداره (پنجره UPVC)، موکت‌های عایق، دیوارپوش‌ها، برخی مدل‌های سقف کاذب و همچنین درزبندی درب‌ها و دیواره‌ها نیز از راهکارهای جانبی برای عایق بندی صوتی فضاهای داخلی محسوب می‌شود که می‌توانند میزان ایزوله بودن فضای داخلی را از نظر صداهای مزاحم، بالا ببرند. همچنین در حین اجرای مواردی مانند کفپوش (مثل کفپوش اپوکسی، لمینت‌ها، پارکت‌ها و...)، می‌توان به عنوان زیر سازی مازاد، از فوم‌های عایق صوتی در استفاده کرد و از این طریق، کف اتاق و فضا را عایق کرد [۳].

۲ الزامات و مقررات

مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان به تشریح مقررات و الزامات آکوستیکی ساختمان پرداخته است. در ادامه به برخی از این مقررات اشاره خواهد شد.

۲-۱ استفاده از جداکننده با صدابندی مناسب

کنترل نوفه در فضاهای مختلف ساختمان از عوامل مهم طراحی از نظر تامین محیط آکوستیکی مطلوب می‌باشد. چنانچه بنا به نیاز طرح با محدودیت‌های موجود، فضاهایی با شرایط آکوستیکی مختلف در مجاورت یکدیگر قرار گیرند، استفاده از جداکننده‌هایی با صدابندی مناسب توصیه می‌گردد.

همچنین محدودیت‌های زمین در بسیاری از موارد باعث افزایش تعداد طبقات و در نتیجه قرارگیری فضاهایی با شرایط آکوستیکی مختلف بر روی یکدیگر می‌گردد که در این مورد نیز مسائل مربوط به صدابندی مناسب اهم مطالب است. مقدار صدابندی در ساختمان از نقطه نظر شناخت منابع صدای ورودی و تراز صدای قابل قبول برای فضای مورد نظر، باید مورد توجه قرار گیرد. آگاهی بنیادی از مسائل صدابندی و اطلاعاتی از ویژگی‌های فیزیکی موانع صوتی و همچنین چگونگی استفاده بهینه از آنها در عایق‌سازی یک فضا در مقابل صداهای هوابرد و کوبه‌ای ضروری است.

برای جلوگیری از نفوذ نوفه و تامین آسایش صوتی فضای مورد نظر در ساختمان باید از جداکننده‌هایی استفاده شود که میزان صدابندی کافی داشته باشد. بدین منظور رعایت ضوابط تعیین شده برای حداقل صدابندی هوابرد و کوبه‌ای جداکننده‌ها در فضای آموزشی و برای فضاهای مسکونی – اداری بر اساس مطالبی که در ادامه عنوان می‌شود، الزامی است.

برای انتخاب صحیح جداکننده‌ها ضروری است طراح علاوه بر ضوابط آکوستیکی مقادیر صدابندی جداکننده‌ها مانند دیوار، در و پنجره در برابر صدای هوابرد و صدابندی سقف در برابر صدای کوبه‌ای را نیز در اختیار داشته باشد. در ادامه صدابندی هوابرد جداکننده‌ها شامل انواع گوناگونی از دیوارها، درها، پنجره‌ها و شیشه‌ها و مقادیر صدابندی کوبه‌ای انواع مختلفی از کف – سقف‌ها ارائه خواهد شد.

به عنوان مثال برای جداکننده بین کلاس‌های درس یا بین دو واحد مسکونی می‌توان از دیوار ساخته شده با بلوک‌های بتن سبک ۲۵ سانتی‌متری دو طرف اندود یا دیوار با ساخت و ساز خشک با وادار ۱۰ سانتی‌متری با دولایه تخته گچی در هر طرف استفاده نمود. در مورد نمای ساختمان دیوار آجر سفال ۱۵ سانتی‌متری دو طرف اندود، دیوار بتنی ۱۵ سانتی‌متری، سیستم‌های 3D و ICF توصیه می‌شود. پنجره‌های به کار رفته در نما باید با شیشه دو جداره و کاملاً درزبندی شده باشند. در مورد صدابندی کوبه‌ای، استفاده از کف شناور بر روی سقف بین طبقات می‌تواند الزامات مربوط را فراهم آورد [۹].

۲-۲ تعریف پارامتر

پیش از بیان برخی از مقررات آکوستیکی به تعریف چند پارامتر پرداخته خواهد شد.

۱-۲-۲ زمان واخنش

زمان واخنش در یک فضای بسته مدت زمانی است که پس از قطع کردن منبع صدا، تراز فشار صدا ۶۰ دسی بل افت کند. زمان واخنش با توجه به مشخصات فضا از یکی از دو معادله زیر محاسبه می‌شود [۹]:

$$T = \frac{0.16V}{4mV + A} \quad [۹]$$

معادله سابین

$$T = \frac{.163V}{4mV - S \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad [۹]$$

معادله ایرینگ

که در آن:

T : زمان واخنش اتاق، بر حسب ثانیه

S : مجموعه سطوح اتاق، بر حسب متر مربع

V : حجم اتاق، بر حسب متر مکعب

A : سطح معادل جذب کننده‌های اتاق، بر حسب متر مربع

m : جذب طولی هوا، بر حسب متر به توان منفی یک

$\bar{\alpha}$: ضریب جذب میانگین اتاق

\ln : لگاریتم در مبنای e [۹]

۲-۲-۲ تراز فشار صدا (L_p)

تراز فشار صدا عبارت است از ده برابر لگاریتم (بر پایه ده) نسبت مربع فشار صدای به مربع فشار صدای مبنا بر حسب دسی بل، که از معادله زیر به دست می‌آید [۹]:

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad dB \quad [۹]$$

که در آن:

p : فشار صدای موثر مورد نظر، بر حسب نیوتن بر متر مربع (پاسکال)؛

p_0 : فشار موثر صدای مبنا که مقدار آن برابر است با 2×10^{-5} نیوتن بر متر مربع (پاسکال) [۹].

۳-۲-۲ تراز صدای معادل (L_{eq})

تراز صدای معادل یک موج صوتی غیر یکنواخت، عبارت است از مقدار تراز فشار صدای پیوسته و پایدار که در یک مدت زمان مشخص T ، دارای همان فشار صدای موثری باشد که صدای مورد نظر با تراز متغیر دارد. این کمیت بر حسب دسی بل از معادله زیر به دست می‌آید [۹]:

$$L_{eqT} = 10 \text{Log} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad \text{dB} \quad [9]$$

که در آن:

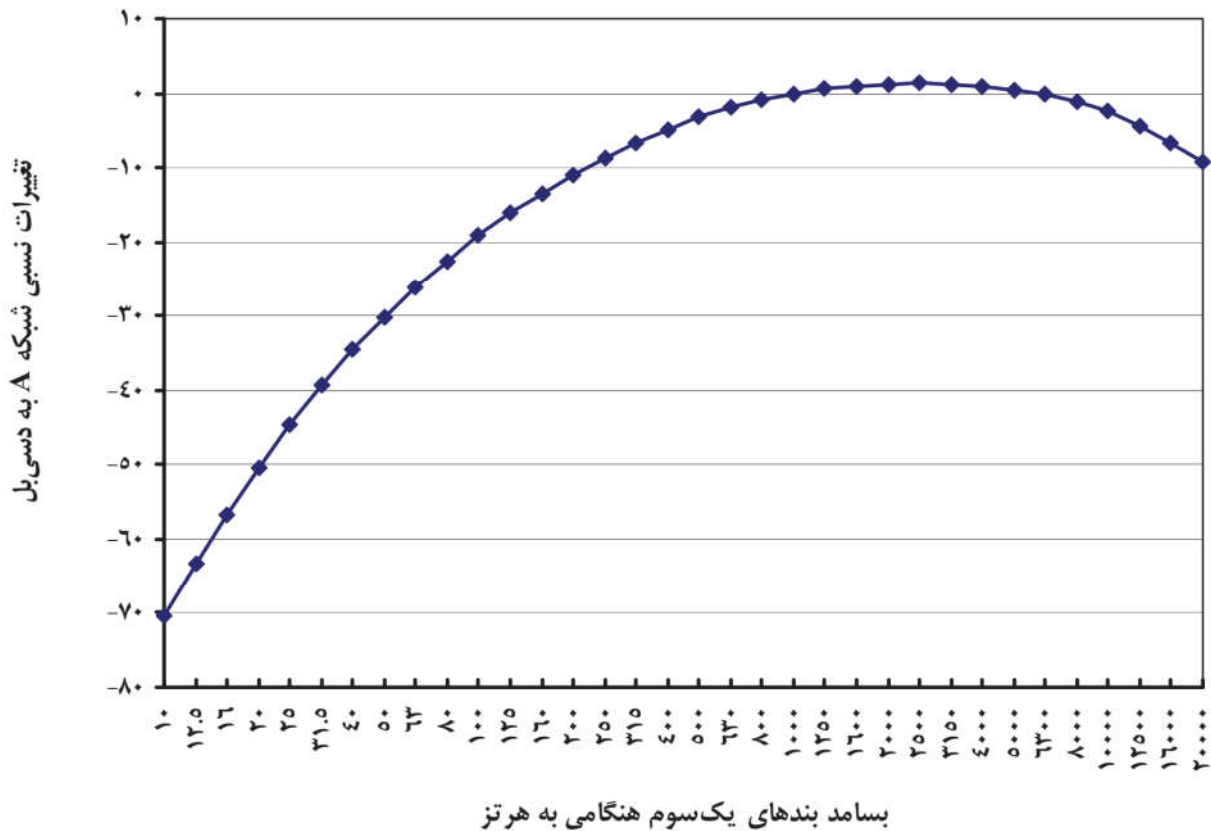
$p(t)$: فشار صدای لحظه‌ای، بر حسب نیوتن بر متر مربع (پاسکال)؛

p_0 : فشار موثر صدای مبنا که مقدار آن برابر است با 2×10^{-5} نیوتن بر متر مربع (پاسکال)؛

T : مدت زمان اندازه‌گیری تراز صدا [۹]

۴-۲-۲ شبکه وزنی A

شبکه وزنی A، شبکه‌ای است که طور تقریبی پاسخ بسامدی گوش انسان را در بسامدهای مختلف به وسیله‌ی یک مدار الکترونیکی در دستگاه ترازسنج صدا تقلید کرده و بر روی صدای مورد اندازه‌گیری اعمال می‌کند. در شکل زیر نمودار تغییرات نسبی شبکه وزنی A در بسامدهای مختلف نمایش داده شده است [۹].



شکل ۱-۲ تغییرات نسبی شبکه وزنی A در بسامدهای مختلف [۹]

۲-۲-۵ تراز صدای معادل وزن یافته (L_{AeqT})

این کمیت تراز معادل فشار صدای پیوسته‌ای است که پیش از مربع کردن و میانگین‌گیری، با اعمال شبکه A وزن‌دهی شده است. مقدار این کمیت بر حسب دسی بل از معادله زیر به دست می‌آید [۹]:

$$L_{AeqT} = 10 \text{Log} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right] \quad \text{dB} \quad [9]$$

که در آن:

$P_A(t)$: فشار صدای لحظه‌ای وزن یافته با شبکه وزنی A، بر حسب نیوتن بر متر مربع (پاسکال)؛

P_0 : فشار موثر صدای مبنا که مقدار آن برابر است با 2×10^{-5} نیوتن بر متر مربع (پاسکال)؛

T: مدت زمان اندازه‌گیری تراز صدا [۹]

۲-۲-۶ شاخص کاهش صدا (R)

این شاخص بیانگر میزان صدابندی جداکننده در برابر صدای هوابرد است (اصطلاح "افت تراگیسیل صدا" (TL) که هم چنان در کشورهای انگلیسی زبان مورد استفاده قرار می‌گیرد، معادل با "شاخص کاهش صدا" است). شاخص کاهش صدا یا افت تراگیسیل صدا از معادله زیر بر حسب دسی بل تعیین می‌شوند:

$$TL \text{ یا } R = 10 \log \frac{W_1}{W_2} = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad [9]$$

که در آن:

W_1 : توان صدای فرودی بر روی جداکننده تحت آزمون؛

W_2 : توان صدای تراگیسیل شده از طریق آزمون؛

τ : ضریب تراگیسیل جداکننده [۹].

شاخص کاهش صدا در آزمایشگاه بر اساس استاندارد ملی ایران ۳-۸۵۶۸ از رابطه زیر قابل محاسبه است [۱۰].

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad [10]$$
$$A = \frac{0.163V}{T} \quad (\text{m}^2)$$

که در این رابطه:

L_1 : میانگین تراز فشار صدا (Sound Pressure Level) در اتاق منبع صوت

L_2 : میانگین تراز فشار صدا (Sound Pressure Level) در اتاق دریافت کننده صوت

S : مساحت نمونه تست

A : سطح معادل جذب در اتاق دریافت صوت

V : حجم اتاق دریافت صوت (m^3)

T : زمان واخس در اتاق دریافت (s) [۱۰]

۲-۲-۷ شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w)

شاخص کاهش صدای وزن یافته، کمیتی تک عددی برای درجه بندی جداکننده در برابر صدای هوابرد است که بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌های شاخص کاهش صدا در بسامد بندهای یک سوم هنگامی به دست می‌آید. مقدار این کمیت، برابر است با مقدار نمودار مبنا در بسامد ۵۰۰ هرتز، پس از لغزاندن آن به

روشی که در استاندارد ملی ایران ۱-۸۸۳۴ م مشخص شده است. همچنین شاخص تک عددی (دیگری بر اساس استاندارد ASTM E413 درجه تراگسیل صدا) برای بیان صدابندی جداکننده در برابر صدای هوابرد به نام STC به کار می‌رود که مقدار آن از نظر عددی تقریباً برابر با R_w است. مقادیر مبنا برای صدای هوابرد در جدول زیر ارائه شده است [۹].

جدول ۱-۲ مقادیر مبنا برای صدای هوابرد [۹]

مقادیر مبنا به دسی بل		بسامد به هرتز
بندهای یک سوم هنگامی	بندهای یک دهم هنگامی	
۳۶	۳۳	۱۰۰
	۳۶	۱۲۵
	۳۹	۱۶۰
۴۵	۴۲	۲۰۰
	۴۵	۲۵۰
	۴۸	۳۱۵
۵۲	۵۱	۴۰۰
	۵۲	۵۰۰
	۵۳	۶۳۰
۵۵	۵۴	۸۰۰
	۵۵	۱۰۰۰
	۵۶	۱۲۵۰
۵۶	۵۶	۱۶۰۰
	۵۶	۲۰۰۰
	۵۶	۲۵۰۰
	۵۶	۳۱۵۰

۲-۲-۸ تراز فشار صدای کوبه‌ای معمول شده (L_n)

این شاخص، بیانگر میزان تراز فشار صدای کوبه‌ای انتقال یافته از سقف است و از معادله زیر بر حسب دسی بل به دست می‌آید [۹]:

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad dB \quad [9]$$

که در آن:

L_i : تراز فشار صدای میانگین در یک بند یک سوم هنگامی در اتاق دریافت بر حسب دسی بل؛

A : سطح جذب معادل اندازه‌گیری شده در اتاق دریافت؛

A_0 : سطح جذب معادل مبنا، برابر با ۱۰ متر مربع [۹].

۲-۲-۹ تراز فشار صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw})

تراز فشار صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته کمیته است تک عددی برای درجه صدابندی بسامدهای یک سوم هنگامی که بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌های تراز فشار صدای کوبه‌ای معمول شده در بسامدهای یک سوم هنگامی به دست می‌آید. این کمیته، برابر است با مقدار نمودار مبنا برای صدای کوبه‌ای در بسامد ۵۰۰ هرتز، پس از لغزاندن آن به روشی که در استاندارد ملی ایران ۲-۸۸۳۴ مشخص شده است. در جدول زیر مقادیر مبنا برای صدای کوبه‌ای ارائه شده است [۹].

جدول ۲-۲ مقادیر مبنا برای صدای کوبه‌ای [۹]

مقادیر مبنا به دسی بل		بسامد به هرتز
بندهای یک هنگامی	بندهای یک سوم هنگامی	
۶۷	۶۲	۱۰۰
	۶۲	۱۲۵
	۶۲	۱۶۰
۶۷	۶۲	۲۰۰
	۶۲	۲۵۰
	۶۲	۳۱۵
۶۵	۶۱	۴۰۰
	۶۰	۵۰۰
	۵۹	۶۳۰
۶۲	۵۸	۸۰۰
	۵۷	۱۰۰۰
	۵۴	۱۲۵۰
۴۹	۵۱	۱۶۰۰
	۴۸	۲۰۰۰
	۴۵	۲۵۰۰
	۴۲	۳۱۵۰

با توجه به آنکه هر چقدر میزان صدای تراگسیل شده کمتر باشد صدابندی بهتری حاصل می‌شود، بنابراین کاهش L_{nw} بیانگر افزایش صدابندی در برابر صدای کوبه‌ای است [۹].

شاخص تک عددی دیگری بر اساس استاندارد ASTM E989 درجه صدابندی کوبه‌ای به نام IIC به کار می‌رود که مقدار آن از معادله زیر به دست می‌آید [۹]:

$$IIC = 110 - L_{nw} \quad [9]$$

با توجه به رابطه‌ی فوق افزایش IIC نشان دهنده افزایش صدابندی در برابر صدای کوبه‌ای است [۹].

۳-۲ مقررات آکوستیکی

با توجه به تراز نوفه محیطی، جدول زیر به منظور منطقه بندی شهری ارائه شده است.

جدول ۳-۲ منطقه بندی شهری از نظر تراز نوفه محیطی [۹]

کاربری های مجاز	حداکثر تراز معادل صدا L_{AeqT} به دسی بل		نوع منطقه شهری از نظر نوفه
	از ۱۰ شب تا ۷ صبح	از ۷ صبح تا ۱۰ شب	
مسکونی، مراکز جهانگردی و پذیرایی، مراکز بهداشتی درمانی، مراکز فرهنگی، مراکز تجاری در حد محله	۴۵	۵۵	با نوفه بسیار پایین (سروصدای بسیار کم)
آموزشی، اداری مختلط مسکونی، تجاری، اداری	۵۰	۶۰	با نوفه پایین (سروصدای کم)
مجتمع های تجاری، بازار، نمایشگاه	۵۵	۶۵	با نوفه معمولی (سروصدای متوسط)
ترمینال ها، انبارها، پارکینگ ها، استادیوم های ورزشی، میداین میوه و تره بار	۶۰	۷۰	با بالا (سروصدای زیاد)
صنعتی، نظامی، فرودگاه ها	۶۵	۷۵	با نوفه بسیار بالا (سروصدای بسیار زیاد)

در ادامه مقررات آکوستیکی مراکز مختلف تشریح خواهد شد.

۱-۳-۲ مراکز فرهنگی

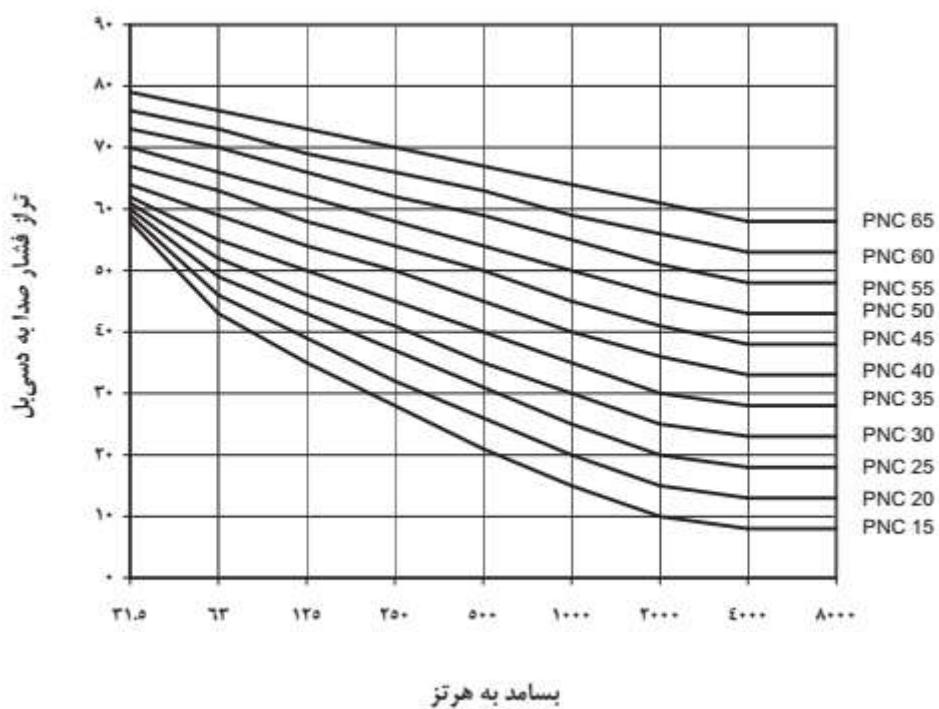
رعایت مقررات آکوستیکی تعیین شده در بندهای زیر در مراکز فرهنگی الزامی است.

۱-۱-۳-۲ تراز نوفه زمینه

حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در مراکز فرهنگی در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۴-۲ حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی در مراکز فرهنگی [۹]

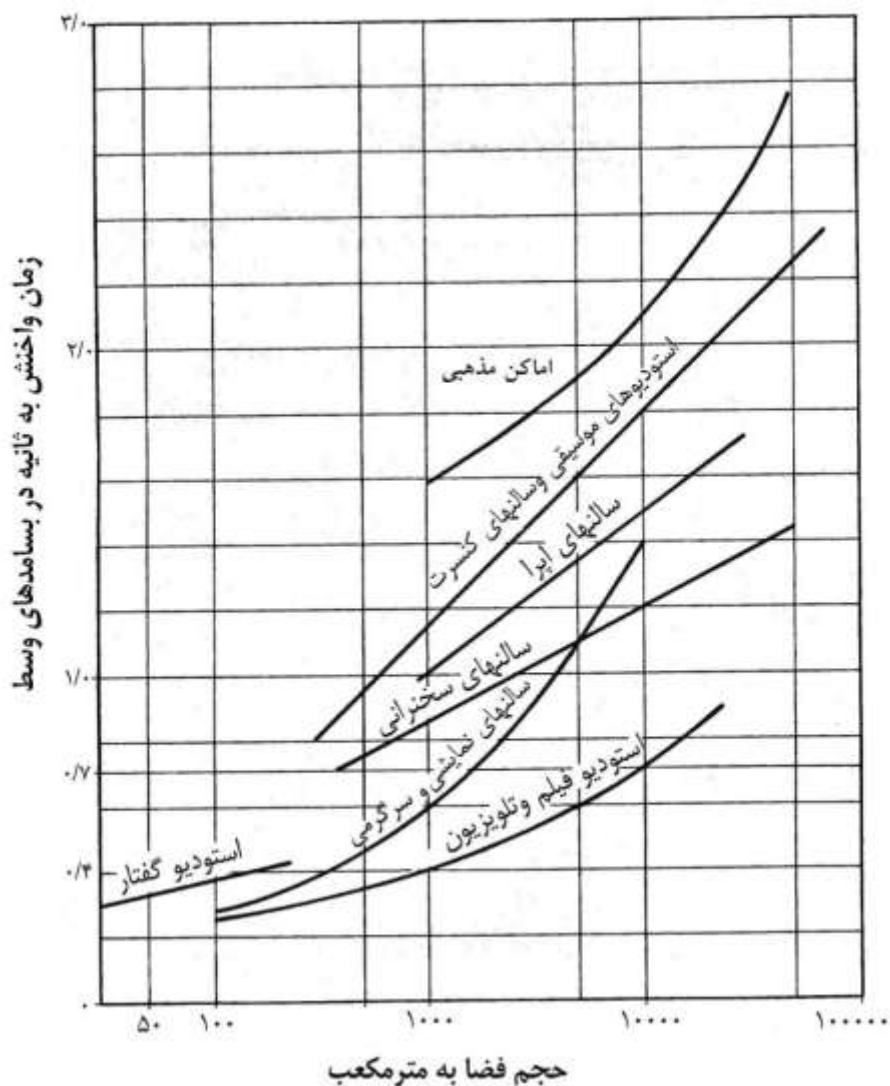
نمودار برسنج نوفه	حداکثر تراز نوفه زمينه معادل $L_{Aeq}(30)$ بر حسب دسی بل	نوع فضا
PNC-35	۳۵	سالن های سخنرانی، سینماها، سالن های کنسرت، سالن های تئاتر
		کتابخانه ها (قسمت مطالعه)
-	۳۵	موزه ها
		اماکن مذهبی
	۴۰	کتابخانه ها (قسمت قفسه ها)
	۴۵	راهروها و سالن های انتظار



شکل ۲-۲ نمودارهای برسنج ترجیحی نوفه PNC [۹]

۲-۱-۳-۲ زمان واخنش

زمان واخنش بهینه در فضاهای داخلی مراکز فرهنگی در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۳-۲ نمودار زمان واخنش بهینه در فضاهای مختلف [۹]

۳-۱-۳-۲ شاخص کاهش صدای وزن یافته مورد نیاز برای جداکننده‌ها

حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکننده‌ها در ساختمان مراکز فرهنگی در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۵-۲ حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکننده‌ها در مراکز فرهنگی [۹]

حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) بر حسب دسی‌بل	نوع جداکننده
۵۵	پوسته خارجی سالن‌های سخنرانی، تئاتر، کنسرت و سینماها

	دیوار جداکننده و سقف سالن‌های فوق از فضاهای مجاور
۴۵	پوسته خارجی کتابخانه‌ها، موزه‌ها و اماکن مذهبی
۳۵	جداکننده بین سالن سخنرانی و راهرو

۲-۳-۱-۴ تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته مورد نیاز برای سقف بین طبقات

حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در مراکز فرهنگی در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۶-۲ حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در مراکز فرهنگی [۹]

موقعیت سقف	L_{nw} (dB)
سقف بین سالن‌های سخنرانی، تئاتر، کنسرت، سینماها و فضاهای فوقانی	۵۰

۲-۳-۲ مراکز ورزشی و تفریحی

رعایت مقررات آکوستیکی تعیین شده در بندهای زیر در مراکز ورزشی و تفریحی الزامی است.

۲-۳-۲-۱ تراز نوفه زمینه

حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در مراکز ورزشی و تفریحی در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۷-۲ حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی در مراکز ورزشی و تفریحی [۹]

نوع فضا	حداکثر تراز نوفه زمینه معادل L_{Aeq} (30) بر حسب دسی بل
سالن‌های بیلیارد	۴۵
سالن‌های بولینگ	۵۰
استخرهای شنا	
سالن‌های ورزشی سرپوشیده	
راهروها، سرویس‌های بهداشتی	
راهروها و سالن‌های انتظار	۴۵

۲-۲-۳-۲ زمان واخنش

حداکثر میانگین زمان واخنش در بسامدهای ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز برای فضاهای بسته عمومی در مراکز ورزشی و تفریحی ۲/۵ ثانیه تعیین می‌شود.

۲-۲-۳-۲ شاخص کاهش صدای وزن یافته مورد نیاز برای جداکننده‌ها

حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکننده‌ها در مراکز ورزشی و تفریحی در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۸ حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکننده‌ها در مراکز ورزشی و تفریحی [۹]

نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) بر حسب دسی‌بل
پوسته خارجی سالن‌های ورزشی، استخرهای شنا، سالن‌های بولینگ	۵۰
دیوار جداکننده و سقف سالن‌های ورزشی، استخرهای شنا، سالن‌های بولینگ از فضاهای مجاور	
پوسته خارجی سرویس‌های بهداشتی و راهروها	۴۰
جداکننده سالن‌های ورزشی، استخرهای شنا، سالن‌های بولینگ از راهرو	۳۵

۲-۳-۳-۲ ساختمان‌های اداری و تجاری

رعایت مقررات آکوستیکی تعیین شده در بندهای زیر در ساختمان‌های اداری و تجاری الزامی است.

۲-۳-۳-۲ تراز نوفه زمینه

حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی ساختمان‌های اداری و تجاری در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۹ حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی در ساختمان‌های اداری و تجاری [۹]

نوع فضا	حداکثر تراز نوفه زمینه معادل L_{Aeq} (30) بر حسب دسی‌بل
اتاق جلسات	۳۵
اتاق‌های اداری و دفتری	۴۰

۴۵	مراکز کامپیوتری
	سالن بانکها
	رستورانها، فروشگاهها و سوپرمارکتها
۵۰	فضاهای بسته عمومی (مانند سرسرای ورودی، راهرو، راهپله)
	سرویسهای بهداشتی

۲-۳-۳-۲ زمان واخنش

حداکثر زمان واخنش در فضاهای داخلی ساختمانهای اداری و تجاری در جدول زیر آورده شده

است.

جدول ۱۰-۲ حداکثر زمان واخنش در فضاهای ساختمانهای اداری و تجاری [۹]

میانگین زمان واخنش به ثانیه در بسامدهای ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز	نوع فضا
۰/۸	اتاق جلسات
۱/۲	اتاقهای اداری و دفتری
	مراکز کامپیوتری
	سالن بانکها
۱/۵	رستورانها
	راهروها
۲/۰	فروشگاهها و سوپرمارکتها

۲-۳-۳-۳ شاخص کاهش صدای وزن یافته مورد نیاز برای جداکنندهها

حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکنندهها در ساختمانهای اداری و

تجاری در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۱۱-۲ حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکنندهها در ساختمانهای اداری و تجاری [۹]

نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) بر حسب دسی بل
دیوار جداکننده و سقف بین اتاق جلسات و فضاهای مجاور	۵۰
پوسته خارجی اتاق جلسات	۴۵
دیوار جداکننده و سقف بین اتاق‌های اداری و دفتری	
پوسته خارجی اتاق‌های اداری و دفتری، سالن بانک‌ها و اتاق‌های کامپیوتر	۴۰
پوسته خارجی رستوران‌ها، فروشگاه‌ها و سوپرمارکت‌ها	
پوسته خارجی فضاهای سربسته عمومی	
جداکننده اتاق‌های اداری و دفتری از راهرو	۳۰

۲-۳-۳-۴ تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته مورد نیاز برای سقف بین طبقات

حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در ساختمان‌های اداری و تجاری در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲-۱۲ حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در ساختمان‌های اداری و تجاری [۹]

موقعیت سقف	L_{nw} (dB)
سقف بین دفاتر اداری	۶۵

۲-۳-۴-۴ ساختمان‌های مسکونی

رعایت مقررات آکوستیکی تعیین شده در بندهای زیر در ساختمان‌های مسکونی الزامی است.

۲-۳-۴-۱ تراز نوفه زمینه

حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی ساختمان‌های مسکونی در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۱۳ حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی هر ساختمان مسکونی [۹]

نوع فضا	حداکثر تراز نوفه زمینه معادل L_{Aeq} (30) بر حسب دسی بل
اتاق خواب و مطالعه	۳۵
اتاق نشیمن و کار	۴۰
آشپزخانه	۴۵
سرویس بهداشتی	۵۰
فضاهای بسته عمومی	

۲-۳-۴-۲ زمان واخنش

حداکثر میانگین زمان واخنش در بسامد های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز برای فضاهای بسته عمومی در ساختمان‌های مسکونی، ۱/۵ ثانیه تعیین می شود.

۲-۳-۴-۳ شاخص کاهش صدای وزن یافته مورد نیاز برای جداکننده‌ها

حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکننده‌ها در ساختمان‌های

مسکونی

در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۱۴ حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکننده‌ها در ساختمان‌های مسکونی [۹]

نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) بر حسب دسی بل
دیوار جداکننده بین دو واحد مجاور، سقف و کف	۵۰
پوسته خارجی اتاق خواب یا نشیمن	۴۰
پوسته خارجی آشپزخانه	۳۵

۲-۳-۴-۴ تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته مورد نیاز برای سقف بین طبقات

حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در ساختمان‌های مسکونی در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲-۱۵ حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در ساختمان‌های مسکونی [۹]

(dB) L_{nw}	موقعیت سقف
۴۸	آشپزخانه، راهرو، سرویس بهداشتی بالای اتاق خواب
۵۳	اتاق نشیمن بالای اتاق خواب
	آشپزخانه، راهرو، سرویس بهداشتی بالای نشیمن
۵۸	اتاق خواب بالای اتاق خواب
	اتاق نشیمن بالای اتاق نشیمن
	آشپزخانه بالای آشپزخانه
	اتاق نشیمن بالای نشیمن
۶۰	سرویس بهداشتی بالای سرویس بهداشتی
۶۲	راهرو بالای راهرو

۲-۳-۵ هتل‌ها

رعایت مقررات آکوستیکی تعیین شده در بندهای زیر در هتل‌ها الزامی است.

۲-۳-۵-۱ تراز نوفه زمینه

حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی هر هتل در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۱۶ حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی هتل‌ها [۹]

نوع فضا	حداکثر تراز نوفه زمینه معادل L_{Aeq} (30) بر حسب دسی بل
اتاق مهمان	۳۵
سالن انتظار (لابی)	۴۰
سالن‌های پذیرایی	۴۵
مکان‌های ورزشی - تفریحی	

۵۰	آشپزخانه
	سرویس های بهداشتی
	فضاهای بسته عمومی

۲-۳-۵-۲ زمان واخنش

حداکثر زمان واخنش در فضاهای داخلی هتل در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲-۱۷ حداکثر زمان واخنش در فضاهای داخلی هتلها [۹]

نوع فضا	میانگین زمان واخنش به ثانیه در بسامد های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز
اتاق مهمان	۰/۸
سالن انتظار (لابی)	۱/۰
راهرو ها	۱/۲
سالن های پذیرایی	۱/۵
مکان های ورزشی تفریحی	۲/۰

۲-۳-۵-۳ شاخص کاهش صدای وزن یافته مورد نیاز برای جداکنندهها

حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکنندهها در هتلها

در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۱۸ حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکنندهها در هتلها [۹]

نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) بر حسب دسی بل
دیوار جداکننده و سقف اتاق مهمان از سایر فضاهای مجاور (رستوران، آشپزخانه، دفاتر اداری و ...)	۵۵
دیوار جداکننده و سقف بین اتاق های مهمان	۵۰
پوسته خارجی اتاق مهمان	۴۵
پوسته خارجی فضاهای بسته عمومی	۴۰
جداکننده فضاهای ورزشی تفریحی و سرویس های بهداشتی از راهرو	۳۵

جداکننده بین اتاق مهمان و راهرو

۲-۳-۴ تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته مورد نیاز برای سقف بین طبقات

حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در هتل ها در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲-۱۹ حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در هتلها [۹]

موقعیت سقف	L_{nw} (dB)
اتاق مهمان بالای اتاق مهمان	۵۵
سایر فضاها بالای اتاق مهمان	۵۰
سرویس بهداشتی بالای سرویس بهداشتی	۶۰

۲-۳-۶ ساختمان های آموزشی

رعایت مقررات آکوستیکی تعیین شده در بندهای زیر در ساختمان های آموزشی الزامی است.

۲-۳-۶-۱ تراز نوفه زمینه

حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی هر واحد آموزشی در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۲۰ حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی ساختمان‌های آموزشی [۹]

نوع فضا	حداکثر تراز نوفه زمینه معادل L_{Aeq} (30) بر حسب دسی بل
کلاس درس نظری	۳۵
فضاهای سمعی بصری	
اتاق تمرین موسیقی	
آزمایشگاه ها	۴۰
کارگاه های کارهای دستی	
نمازخانه	
اتاق کامپیوتر	۴۵
راهرو ها	
غذاخوری و بوفه	
کارگاه های تخصصی	۵۰

۲-۳-۶-۲ زمان واخنش

حداکثر زمان واخنش در فضاهای داخلی ساختمان های آموزشی در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲-۲۱ حداکثر زمان واخنش در فضاهای داخلی ساختمان های آموزشی [۹]

نوع فضا	میانگین زمان واخنش به ثانیه در بسامد های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز
اتاق کامپیوتر	۰/۹
کلاس درس نظری (بدون حضور افراد)	۱/۰
کارگاه های کارهای دستی	
اتاق تمرین موسیقی	
فضاهای سمعی بصری	
آزمایشگاه ها	۱/۲
کارگاه های تخصصی	
غذاخوری و بوفه	
راهرو ها	۱/۵

۲-۳-۶-۳ شاخص کاهش صدای وزن یافته مورد نیاز برای جداکننده ها

حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکننده ها در ساختمان های

آموزشی

در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۲۲ حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکننده ها در ساختمان های آموزشی [۹]

نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) بر حسب دسی بل
دیوار جداکننده و سقف کلاس درس نظری، آزمایشگاه، اتاق تمرین موسیقی، اتاق کامپیوتر و کارگاه ها از فضاهای مجاور	۵۰
پوسته خارجی کلاس درس نظری، آزمایشگاه، اتاق تمرین موسیقی، اتاق کامپیوتر و کارگاه ها	۴۰
جداکننده کارگاه های تخصصی از راهرو	۳۵

	جداکننده سرویس های بهداشتی از فضاهای مجاور
۳۰	جدا کننده کلاس درس نظری، آزمایشگاه، اتاق تمرین موسیقی، اتاق کامپیوتر و کارگاه های کارهای دستی از راهرو

۲-۳-۶-۴ تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته مورد نیاز برای سقف بین طبقات

حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در ساختمان های آموزشی در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲-۲۳ حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در ساختمان‌های آموزشی [۹]

موقعیت سقف	L_{nw} (dB)
کلاس درس نظری بالای کلاس درس نظری	۶۰
سایر فضاها بالای کلاس درس نظری	۵۵

۲-۳-۷ بیمارستان ها و مراکز بهداشتی درمانی

رعایت مقررات آکوستیکی تعیین شده در بندهای زیر در بیمارستان ها و مراکز بهداشتی درمانی الزامی است.

۲-۳-۷-۱ تراز نوفه زمینه

حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی بیمارستان ها و مراکز بهداشتی درمانی در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۲۴ حداکثر تراز نوفه زمینه مجاز در فضاهای داخلی بیمارستان ها و مراکز بهداشتی درمانی [۹]

نوع فضا	حداکثر تراز نوفه زمینه معادل L_{Aeq} (30) بر حسب دسی بل
اتاق های بخش بستری، مراقبت های ویژه، جراحی، اتاق زایمان	۳۰
راهرو های مجاور بخش های فوق	۴۰
آشپزخانه	۵۰
سرویس های بهداشتی	
فضاهای بسته عمومی	

۲-۳-۷-۲ زمان واخنش

حداکثر زمان واخنش در فضاهای داخلی بیمارستان ها و مراکز بهداشتی درمانی در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲-۲۵ حداکثر زمان واخنش در فضاهای داخلی بیمارستان ها و مراکز بهداشتی درمانی [۹]

نوع فضا	میانگین زمان واخنش به ثانیه در بسامد های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز
اتاق های بخش بستری، مراقبت های ویژه، جراحی، اتاق زایمان	۱/۲
راهروهای مجاور بخش های فوق فضاهای بسته عمومی	۱/۵

۲-۳-۷-۳ شاخص کاهش صدای وزن یافته مورد نیاز برای جداکننده ها

حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکننده ها در فضاهای داخلی بیمارستان ها و مراکز بهداشتی درمانی در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۲۶ حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) مورد نیاز برای جداکننده ها در بیمارستان ها و مراکز بهداشتی درمانی [۹]

نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w) بر حسب دسی بل
دیوار جداکننده و سقف بین اتاق های بخش بستری، مراقبت های ویژه، جراحی، اتاق زایمان و سایر فضاها (مانند آشپزخانه، دفاتر اداری و ...)	۵۵
دیوار جداکننده و سقف بین اتاق های بخش بستری، مراقبت های ویژه، جراحی، اتاق زایمان	۵۰
پوسته خارجی اتاق های بخش بستری، مراقبت های ویژه، جراحی، اتاق زایمان	۴۵
جداکننده سرویس های بهداشتی از فضاهای مجاور	۴۰
پوسته خارجی فضاهای بسته عمومی	۴۰
جدا کننده اتاق های بخش بستری، مراقبت های ویژه، جراحی، اتاق زایمان از راهرو	۳۵

۳۰	جداکننده سرویس های بهداشتی از راهرو
----	-------------------------------------

۲-۳-۴ تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته مورد نیاز برای سقف بین طبقات

حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در بیمارستان ها و مراکز بهداشتی درمانی در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲-۲۷ حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) مورد نیاز برای سقف بین طبقات در بیمارستان ها و مراکز بهداشتی درمانی [۹]

موقعیت سقف	(L_{nw}) (dB)
سقف بین اتاق های بخش بستری، مراقبت های ویژه، جراحی، اتاق زایمان	۶۵
سقف بین اتاق های بخش بستری، مراقبت های ویژه، جراحی، اتاق زایمان و سایر فضاها	۵۵

۲-۴ محاسبه شاخص کاهش صدا

۲-۴-۱ روش تئوری

برای محاسبه شاخص کاهش صدا (R) یا افت گسیل (TL) یک جداکننده مرکب از مقادیر شاخص کاهش صدای جداکننده های ساده تشکیل دهنده آن که از طرف آزمایشگاه های آکوستیک ارائه شده است استفاده می گردد. ابتدا با داشتن شاخص کاهش صدای جداکننده ساده و با توجه به رابطه زیر که وابستگی متقابل بین ضریب تراگسیل و شاخص کاهش صدای هر جداکننده را مشخص می کند، ضریب تراگسیل جداکننده ساده محاسبه می شود [۹].

$$TL \text{ یا } R = 10 \log \frac{1}{\tau} \Rightarrow \tau = 10^{-(0/1)R} \quad [9]$$

که در آن:

R : شاخص کاهش صدای جداکننده، بر حسب دسی بل

τ : ضریب تراگسیل جداکننده [۹].

سپس با داشتن ضریب تراگسیل برای هر جداکننده ساده و با استفاده از رابطه فوق، ضریب تراگسیل جداکننده مرکب محاسبه می شود [۹].

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_1 S_1 + \tau_2 S_2 + \dots + \tau_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad [9]$$

که در آن:

$\bar{\tau}$: ضریب تراگیسیل جداکننده مرکب

$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$: ضریب تراگیسیل هر یک از جداکننده‌های ساده تشکیل دهنده جداکننده مرکب

S_1, S_2, \dots, S_n : سطح هر یک از جداکننده‌های ساده تشکیل دهنده جداکننده مرکب، به متر مربع

[9].

با قرار دادن $\bar{\tau}$ در رابطه زیر شاخص کاهش صدای جداکننده مرکب محاسبه می‌گردد.

$$\bar{R} = 10 \text{Log} \frac{1}{\bar{\tau}} \quad [9] \text{ یا } TL$$

که در آن:

$\bar{\tau}$: ضریب تراگیسیل جداکننده مرکب

\bar{R} : شاخص کاهش صدای جداکننده مرکب، بر حسب دسی بل [9]

به عنوان مثال: جداکننده مرکبی به ابعاد $10 \times 4/7$ متر، شامل دو دیوار بیست و دو سانتی آجری و یک در به ابعاد 1×2 متر و پنجره‌ای به ابعاد 5×1 متر است. در صورتی که شاخص کاهش صدای وزن یافته دیوار، در و پنجره به ترتیب 50 ، 15 و 20 دسی بل باشد، شاخص کاهش صدای وزن یافته این جداکننده مرکب به صورت زیر محاسبه می‌شود [9]:

حل:

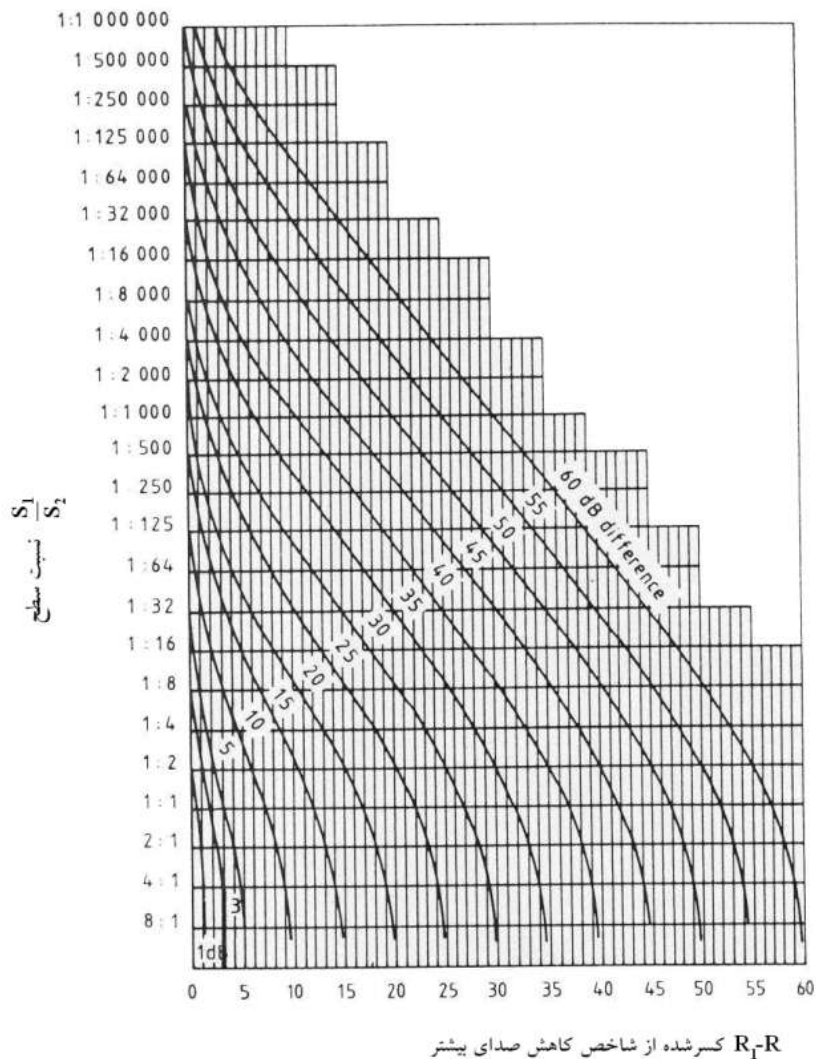
پنجره	$S_1 = 5 \times 1 = 5$	متر مربع	$\tau_1 = 10^{-(0.1) \times 20}$	پنجره
در	$S_2 = 1 \times 2 = 2$	متر مربع	$\tau_2 = 10^{-(0.1) \times 15}$	در
دیوار	$S_3 = 47 - (2 + 5) = 40$	متر مربع	$\tau_3 = 10^{-(0.1) \times 50}$	دیوار
جداکننده	$S = 10 \times 4/7 = 47$	متر مربع		

$$\bar{\tau} = \frac{5 \times 10^{-(0.1) \times 20} + 22 \times 10^{-(0.1) \times 15} + 40 \times 10^{-(0.1) \times 50}}{47} = 2.42 \times 10^{-3}$$

$$\bar{R} = 10 \text{Log} \frac{1}{2.42 \times 10^{-3}} = 26 \text{dB}$$

۲-۴-۲ روش تخمینی با استفاده از نمودار

در مواردی که سرعت محاسبه از دقت آن اهمیت بیشتری دارد، می‌توان مقدار شاخص کاهش صدای جداکننده مرکب را با استفاده از نمودارهای شکل زیر تخمین زد. محدودیت این روش، این است که از مجموعه ساختارهای یک جدار مرکب در هر مرحله دو ساختار در نظر گرفته شده و نتیجه به دست آمده با ساختار بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد [۹].



شکل ۲-۴ نمودار تخمین شاخص کاهش صدای جداکننده مرکب [۹]

در شکل فوق:

R_1 : شاخص کاهش صدای ساختاری که افت صوتی بیشتری دارد

R_2 : شاخص کاهش صدای ساختاری که افت صوتی کمتری دارد

S_1 : سطح جداری که افت صوتی بیشتری دارد

S_2 : سطح جداری که افت صوتی کمتری دارد

R : شاخص کاهش صدای جدار مرکب [۹].

به عنوان نمونه، جواب مثالی را که در قسمت قبل مطرح شده است می‌توان به روش تخمینی به دست آورد. بدین منظور ابتدا دیوار به عنوان یک ساختار و پنجره به عنوان ساختاری دیگر در نظر گرفته شده است و به صورت زیر عمل می‌شود [۹]:

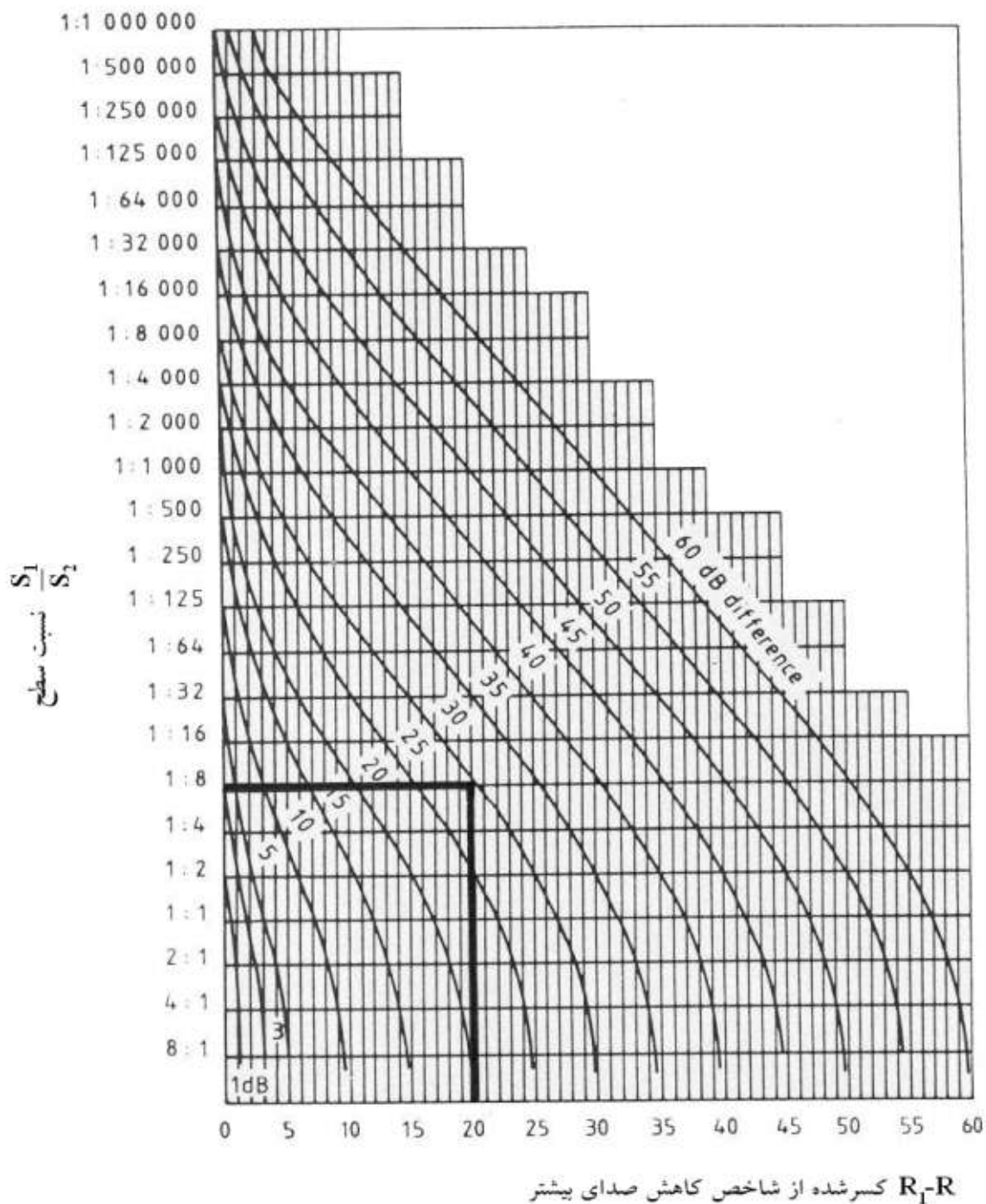
الف: اختلاف دو کاهش صدای دیوار و پنجره را به دست آورده ($R_1 - R_2 = 50 - 20 = 30$) و سپس منحنی ۳۰ از روی شکل مشخص می‌گردد [۹].

ب: نسبت دو سطح تشکیل دهنده دیوار و پنجره را به دست آورده ($\frac{S_1}{S_2} = \frac{5}{40} = \frac{1}{8}$) و از نقطه

مربوط به این نسبت در روی محور عمودی خطی به موازات محور افقی رسم کرده تا نمودار اختلاف ۳۰ دسی‌بل را قطع کند. سپس از محل تلاقی به دست آمده خطی عمود بر محور افقی رسم کرده تا محور «کسر شده از شاخص کاهش صدا» را قطع کند. در نتیجه شاخص کاهش صدای مرکب R ، به صورت زیر به دست می‌آید [۹]:

$$R_1 - R = 20 \Rightarrow 50 - R = 20 \Rightarrow R = 50 - 20 = 30$$

مراحل فوق روی شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۲-۵ نمودار تخمین شاخص کاهش صدای جداکننده مرکب [۹]

۲-۵ مقادیر شاخص کاهش صدای وزن یافته

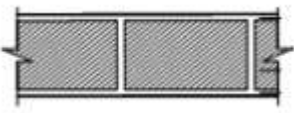
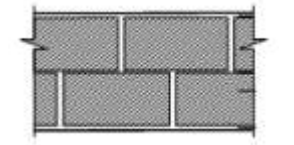
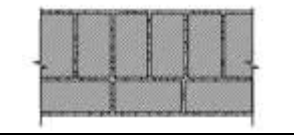
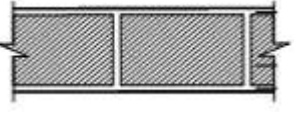
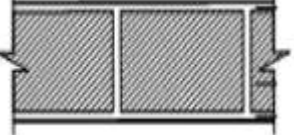
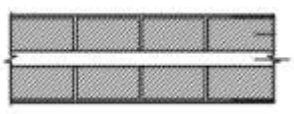
مقادیر شاخص کاهش صدای وزن یافته تعدادی از اجزای ساختمان در جداول زیر ارائه شده است.

۲-۵-۱ دیوارها

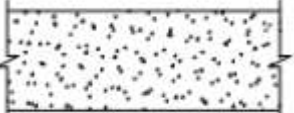
مقادیر شاخص کاهش صدای وزن یافته تعدادی از دیوارهای ساخته شده با آجر فشاری یا سفالی، بتنی، بلوک‌های بتن سبک و همچنین دیوارهای ساخته شده با صفحات روکش دار گچی (drywall)،

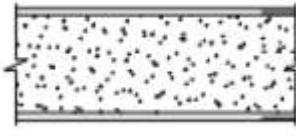
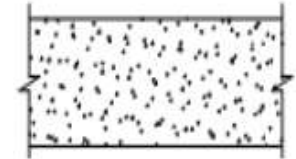
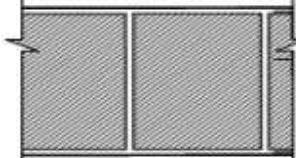
ساندویچ پنل 3D و قالب عایق ماندگار بتنی (ICF) برگرفته از منابع گوناگون داخلی و خارجی، در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲-۲۸ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارها [۹]




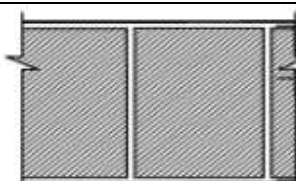
STC یا R_w (dB)	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (cm)	ساختار دیوار
۴۷		۱۵	دیوار آجر فشاری ۱۱ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک پرداختی، به ضخامت ۲ سانتیمتر
۵۲		۲۶	دیوار آجر فشاری ۲۲ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک پرداختی، به ضخامت ۲ سانتیمتر
۵۶		۳۵/۵	دیوار آجر فشاری ۳۳ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک پرداختی، به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر
۴۲		۱۲	دیوار آجر سفالی ۱۰ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک پرداختی، به ضخامت ۱ سانتیمتر
۴۶		۲۱	دیوار آجر سفالی ۱۵ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک پرداختی، به ضخامت ۳ سانتیمتر
۵۴		۳۰	دیوار دو جداره با آجر فشاری ۱۱ سانتیمتری با ۵ سانتیمتر فاصله هوایی، دو رو اندود به ضخامت ۱/۵ سانتیمتر

جدول ۲-۲۹ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارها [۹]

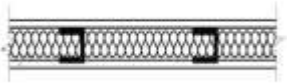
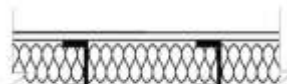
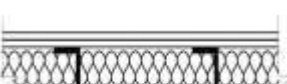

STC یا R_w (dB)	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (cm)	ساختار دیوار
۴۷		۷/۵	دیوار بتنی به ضخامت ۷/۵ سانتیمتر

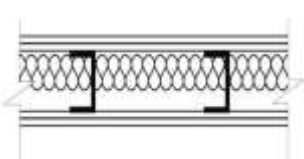
۵۳		۱۷/۵	دیوار بتنی به ضخامت ۱۵ سانتیمتر، دو رو اندود با گچ ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر
۵۸		۲۰	دیوار بتنی به ضخامت ۲۰ سانتیمتر
۶۳		۴۲/۵	دیوار با بلوک‌های توپر بتنی به ضخامت ۴۰ سانتیمتر، دو رو اندود گچ به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر

جدول ۲-۳۰ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارها [۹]

R _w یا STC (dB)	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (cm)	ساختار دیوار
۴۵		۱۲	دیوار با بلوک بتن سبک به ضخامت ۱۰ سانتیمتر، دو رو اندود با گچ به ضخامت ۱ سانتیمتر
۴۵		۱۷	دیوار با بلوک بتن سبک به ضخامت ۱۵ سانتیمتر، دو رو اندود با گچ به ضخامت ۱ سانتیمتر
۴۶		۲۱	دیوار با بلوک تو خالی از بتن سبک به ضخامت ۱۹ سانتیمتر، دو رو اندود گچ به ضخامت ۱ سانتیمتر
۵۱		۲۷	دیوار با بلوک تو پر از بتن سبک به ضخامت ۲۵ سانتیمتر، دو رو اندود گچ به ضخامت ۱ سانتیمتر

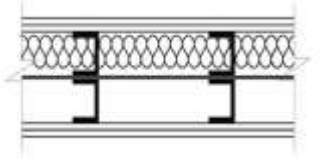
جدول ۲-۳۱ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارها [۹]

R _w یا STC (dB)	جزئیات اجرایی	ضخامت (cm) کلی	ساختار دیوار
۴۵		۷/۵	<p>دیوار با صفحات روکش دار گچی (drywall): یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر در هر طرف و ادارهای ۵ سانتیمتری در فواصل ۶۲/۵ سانتیمتر الیاف معدنی به ضخامت ۴ سانتیمتر در وسط</p>
۴۵		۱۰	<p>دیوار با صفحات روکش دار گچی (drywall): یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر در هر طرف و ادارهای ۷/۵ سانتیمتری در فواصل ۶۲/۵ سانتیمتر الیاف معدنی به ضخامت ۶ سانتیمتر در وسط</p>
۵۰		۱۰	<p>دیوار با صفحات روکش دار گچی (drywall): دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر در هر طرف و ادارهای ۵ سانتیمتری در فواصل ۶۲/۵ سانتیمتر الیاف معدنی به ضخامت ۴ سانتیمتر در وسط</p>
۴۷		۱۲/۵	<p>دیوار با صفحات روکش دار گچی (drywall): یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر در هر طرف و ادارهای ۱۰ سانتیمتری در فواصل ۶۲/۵ سانتیمتر الیاف معدنی به ضخامت ۴ سانتیمتر در وسط</p>

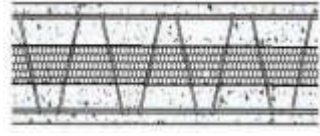
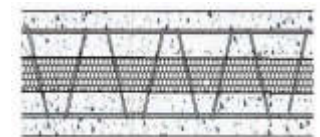
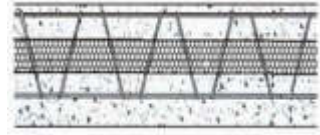
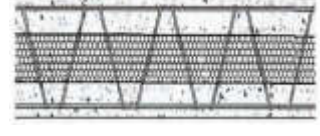
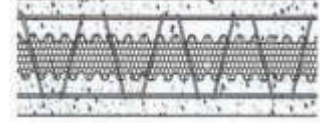
۵۱		۱۲/۵	<p>دیوار با صفحات روکش دار گچی (drywall): دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر در هر طرف وادارهای ۱۰ سانتیمتری در فواصل ۶۲/۵ سانتیمتر الیاف معدنی به ضخامت ۶ سانتیمتر در وسط</p>
----	---	------	--

جدول ۲-۳۲ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارها [۹]

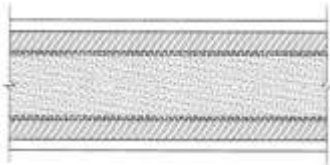
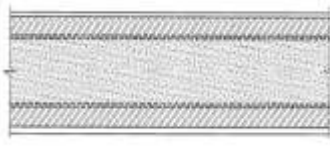
R _w یا STC (dB)	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (cm)	ساختار دیوار
۵۲		۱۲/۵	<p>دیوار با صفحات روکش دار گچی (drywall): دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر در هر طرف وادارهای ۷/۵ سانتیمتری در فواصل ۶۲/۵ سانتیمتر الیاف معدنی به ضخامت ۶ سانتیمتر در وسط</p>
۵۳		۱۵	<p>دیوار با صفحات روکش دار گچی (drywall): دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر در هر طرف وادارهای ۱۰ سانتیمتری در فواصل ۶۲/۵ سانتیمتر الیاف معدنی به ضخامت ۴ سانتیمتر در وسط</p>
۶۱		۱۵/۵	<p>دیوار دوبل با صفحات روکش دار گچی (drywall): دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر در هر طرف وادارهای ۵ سانتیمتری در فواصل ۶۲/۵ سانتیمتر الیاف معدنی به ضخامت ۴ سانتیمتر در وسط</p>

۶۳		۲۰/۵	<p>دیوار دوبل با صفحات روکش دار گچی (drywall): دو لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر در هر طرف و اداریهای ۷/۵ سانتیمتری در فواصل ۶۲/۵ سانتیمتر الیاف معدنی به ضخامت ۴ سانتیمتر در وسط</p>
----	---	------	--

جدول ۲-۳۳ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارها [۹]

R _w یا STC (dB)	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (cm)	ساختار دیوار
۴۶		۱۲	<p>دیوار با ساندویچ پنل 3D: پلی استایرن به ضخامت ۴ سانتیمتر بتن با رویه لیسهای به ضخامت ۴ سانتیمتر در دو طرف</p>
۴۷		۱۵	<p>دیوار با ساندویچ پنل 3D: پلی استایرن به ضخامت ۴ سانتیمتر بتن با رویه لیسهای به ضخامت ۵/۵ سانتیمتر در دو طرف</p>
۴۸		۱۵	<p>دیوار با ساندویچ پنل 3D: پلی استایرن به ضخامت ۴ سانتیمتر بتن با رویه لیسهای به ضخامت ۴ سانتیمتر در یک طرف بتن با رویه لیسهای به ضخامت ۷ سانتیمتر در طرف دیگر</p>
۴۳		۱۴	<p>دیوار با ساندویچ پنل 3D: پلی استایرن به ضخامت ۶ سانتیمتر بتن با رویه لیسهای به ضخامت ۴ سانتیمتر در دو طرف</p>
۴۵		۲۰	<p>دیوار با ساندویچ پنل 3D: پلی استایرن به ضخامت ۱۰ سانتیمتر بتن با رویه لیسهای به ضخامت ۵ سانتیمتر در دو طرف</p>

جدول ۲-۳۴ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارها [۹]

STC یا R_w (dB)	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (cm)	ساختار دیوار
۴۲		۲۷/۵	دیوار با ساختار قالب‌های بلوکی عایق ماندگار بتنی (ICF) به ضخامت ۲۵ سانتیمتر (رابط پلی‌استایرن)، پر شده با بتن مسلح (ضخامت بتن ۱۴ سانتیمتر)، هر طرف یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر
۴۵		۲۹	دیوار با ساختار قالب عایق ماندگار بتنی (ICF): بلوک‌های ۲۵ سانتیمتری (رابط پلی-استایرن)، پر شده با بتن مسلح، دو رو اندود با گچ و خاک و گچ پرداختی به ضخامت ۲ سانتیمتر
۴۷		۲۷	دیوار با ساختار قالب پانلی تخت عایق ماندگار بتنی (ICF) (ضخامت هر پانل ۵/۲۰ سانتیمتر) که به وسیله بست‌های پلاستیکی به یکدیگر متصل شده‌اند و بخش میانی پر شده با بتن مسلح به ضخامت ۱۴/۶۰ سانتیمتر، یک طرف یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۳۰ سانتیمتر، طرف دیگر یک لایه تخته گچی به ضخامت ۰/۷۰ سانتیمتر
۴۸		۲۷/۵	دیوار با ساختار قالب پانلی تخت عایق ماندگار بتنی (ICF): (ضخامت هر پانل ۵ سانتیمتر) که به وسیله بست‌های پلاستیکی به یکدیگر متصل شده‌اند پر شده با بتن مسلح به ضخامت ۱۵ سانتیمتر، یک لایه تخته گچی به ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر در هر طرف دیوار

۲-۵-۲ شیشه‌ها

مقادیر شاخص کاهش صدای وزن یافته تعدادی از شیشه‌ها برگرفته از منابع گوناگون داخلی و خارجی، برای راهنمایی در جدول زیر ارائه شده است. بدیهی است اطلاعات مربوط به صدابندی هوابرد شیشه‌ها باید از طرف شرکت‌های تولید کننده آن‌ها ارائه شود. لازم به یادآوری است که آزمایش‌های مربوط به این اطلاعات باید توسط آزمایشگاه‌های آکوستیک معتبر انجام شده باشد.

جدول ۲-۳۵ مقادیر شاخص کاهش صدای وزن یافته برای تعدادی از شیشه‌ها [۹]

نوع شیشه	نوع لایه و ضخامت به میلی‌متر			STC یا R_w (dB)
ساده	۴			۳۱
	۶			۳۲
	۱۰			۳۴
	۱۲			۳۶
لمینیت	لایه‌ها			
	شیشه	PVB	شیشه	
	۳	۰/۳۸	۳	۳۳
	۳	۰/۷۶	۳	۳۵
	۴	۰/۳۸	۴	۳۴
	۴	۰/۷۶	۴	۳۵
	۴	۰/۳۸	۶	۳۵
۶	۰/۳۸	۶	۳۶	
دو جداره	لایه‌ها			
	شیشه	فاصله هوایی	شیشه	
	۳	۶	۳	۲۸
	۳	۹	۳	۳۱
	۴	۸	۴	۳۲
	۶	۸	۴	۳۴
	۶	۱۰	۴	۳۵
	۶	۱۲	۴	۳۶
	۶	۱۹	۶	۳۸
	۸	۱۳	۶	۳۸
	۱۰	۱۳	۶	۳۹
	۱۰	۱۳	۸	۴۱
	۳	۵۰	۶	۳۹
۳	۱۰۰	۶	۴۳	
دو جداره لمینیت	۶	۸	*۷	۳۶
	۴	۱۲	*۷	۳۷
	۶	۲۵	*۷	۴۲

۴۴	۶	۴۰	*۷	
۴۶	۶	۶۰	*۷	
۴۸	۶	۱۰۰	*۷	

* شیشه‌های لمینیت با ضخامت تقریبی ۷ میلیمتر، متشکل از دو شیشه ۳ میلیمتری با یک لایه

PVB

۲-۵-۳ پنجره‌ها

مقادیر صدابندی هوابرد تعدادی از پنجره‌ها برگرفته از منابع گوناگون داخلی و خارجی، برای راهنمایی در جدول زیر ارائه شده است. بدیهی است اطلاعات مربوط به صدابندی هوابرد هر پنجره با هر گونه ساختاری باید از طرف شرکت‌های سازنده آن ارائه شود تا طراح بتواند در محاسبات آکوستیکی از آن‌ها استفاده نماید. لازم به یادآوری است که آزمایش‌های مربوط به این اطلاعات باید توسط آزمایشگاه‌های آکوستیک معتبر انجام شده باشد.

جدول ۲-۳۶ مقادیر شاخص کاهش صدای وزن یافته برای تعدادی از پنجره‌ها [۹]

نوع پنجره	STC یا R_w (dB)
پنجره کاملاً باز	تقریباً ۵
هر نوع پنجره‌ای در نما، هنگامی که اندکی باز باشد	۱۰-۱۵
پنجره تک جدار با شیشه ۴ میلیمتری، درزبندی شده	۲۵
پنجره تک جدار با شیشه ۶ میلیمتری، درزبندی شده	۲۷
پنجره تک جدار با شیشه ۱۰ میلیمتری، درزبندی شده	۳۰
پنجره با شیشه دو جداره (۶+۱۲+۶ میلیمتر)، درزبندی شده	۳۵
پنجره با شیشه دو جداره (۶ لمینیت+۱۹+۶ میلیمتر)، درزبندی شده	۳۸
پنجره با شیشه دو جداره (۹ لمینیت+۱۹+۶ میلیمتر)، درزبندی شده	۳۹
پنجره با شیشه دو جداره (۵+۱۳+۹ میلیمتر) هر دو شیشه لمینیت، درزبندی شده	۴۰
پنجره با شیشه دو جداره (۶+۶۴+۵ میلیمتر)، درزبندی شده	۴۳
پنجره با شیشه دو جداره (۱۳+۶۴+۹ میلیمتر)، درزبندی شده	۴۶
پنجره با شیشه دو جداره (۶+۱۰۰+۹ میلیمتر)، درزبندی شده	۵۱

۲-۵-۴ درها

مقادیر صدابندی هوابرد تعدادی از درها برگرفته از منابع گوناگون، برای راهنمایی در جدول زیر ارائه شده است. بدیهی است اطلاعات مربوط به صدابندی هوابرد هر در با هر گونه ساختاری باید از طرف شرکت‌های تولید کننده آن ارائه شود تا طراح بتواند در محاسبات آکوستیکی از آن‌ها استفاده نماید. لازم به یادآوری است که آزمایش‌های مربوط به این اطلاعات باید توسط آزمایشگاه‌های آکوستیک معتبر انجام شده باشد.

جدول ۲-۳۷ مقادیر کاهش صدای وزن یافته برای تعدادی از درها [۹]

نوع در	STC یا R _w (dB)
در چوبی تو خالی به ضخامت ۴/۵ سانتیمتر، درزبندی شده	۲۰
در فلزی تو خالی به ضخامت ۴/۵ سانتیمتر، درزبندی شده	۲۸
در چوبی تو پر به ضخامت ۴/۵ سانتیمتر، به چگالی سطحی ۱۹ کیلوگرم بر متر مربع، بدون درزبندی	۲۰
در چوبی تو پر به ضخامت ۴/۵ سانتیمتر، به چگالی سطحی ۱۹ کیلوگرم بر متر مربع، درزبندی شده	۲۸
در چوبی تو پر به ضخامت ۴/۵ سانتیمتر، به چگالی سطحی ۲۴/۵ کیلوگرم بر متر مربع، درزبندی شده	۳۱
در چوبی تو پر به ضخامت ۴/۵ سانتیمتر، به چگالی سطحی ۲۵/۵ کیلوگرم بر متر مربع، درزبندی شده	۳۶
در چوبی تو پر به ضخامت ۴/۵ سانتیمتر، به چگالی سطحی ۳۲/۷ کیلوگرم بر متر مربع، درزبندی شده	۳۹
در چوبی تو پر به ضخامت ۴/۵ سانتیمتر، به چگالی سطحی ۳۴/۲ کیلوگرم بر متر مربع، درزبندی شده	۴۵

۲-۶ مقادیر ضریب جذب

مقادیر ضریب جذب برخی از مواد بر گرفته از مبحث ۱۸ قانون مقررات ساختمانی در جدول زیر

ارائه شده است:

جدول ۲-۳۸ مقادیر جذب صدای مواد و مصالح ساختمانی [۹]

ضریب جذب صدا در بسامد مرکزی بندهای یک هنگامی						نوع جذب کننده
۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	
سطوح سخت						
۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	بتن تراز شده، رنگ نشده
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	بتن تراز شده، رنگ شده
۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	بتن زیر
۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	آجری با بند کشی هم سطح
۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۸	آجر کاری با بندکشی به عمق ۱۰ میلیمتر
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	اندود گچی
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	اندود گچی، رنگ شده
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	کاشی سرامیکی
۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱	۰/۲	۰/۳	شیشه ۴ میلیمتری
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱	شیشه ۶ میلیمتری

۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۵	شیشه دو جداره
پانل‌ها						
۰/۱	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۴	در چوبی توپر
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۲	۰/۳	صفحات گچی به ضخامت ۹ میلیمتر روی نوارهای چوبی، ۱۸ میلیمتر فاصله هوایی با الیاف معدنی
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۲	۰/۳۵	۰/۴	تخته چندلایی به ضخامت ۵ میلیمتر روی نوارهای چوبی، ۵۰ میلیمتر فاصله هوایی با الیاف معدنی
۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۰۸	صفحات گچی به ضخامت ۱۳ میلیمتر روی قاب، ۱۰۰ میلیمتر فاصله هوایی
۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۳	صفحات گچی به ضخامت ۱۳ میلیمتر روی قاب، ۱۰۰ میلیمتر فاصله هوایی با الیاف معدنی
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۵	دو لایه صفحه گچی به ضخامت ۱۳ میلیمتر روی قاب، ۵۰ میلیمتر فاصله هوایی با الیاف معدنی
۰/۱	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۰۵	تخته‌های چوبی به ضخامت ۲۲ میلیمتر به پهنای ۱۰۰ میلیمتر و به فواصل ۱۰ میلیمتر از یکدیگر، ۵۰۰ میلیمتر فاصله هوایی با الیاف معدنی

جدول ۲-۳۹ مقادیر ضریب جذب صدای مواد و مصالح ساختمانی [۹]

ضریب جذب صدا در بسامد مرکزی بندهای یک هنگامی						نوع جذب کننده
۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	
سقف کاذب						
۰/۶	۰/۷	۰/۸۵	۰/۷	۰/۲۵	۰/۱	تایل آکوستیکی به ضخامت ۱۳ میلیمتر، نصب مستقیماً روی سقف
۰/۸	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۶۵	۰/۷	۰/۷۵	تایل آکوستیکی به ضخامت ۱۳ میلیمتر به صورت سقف کاذب به فاصله ۵۰۰ میلیمتر از سقف
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	سقف کاذب گچی
مواد الیافی						
۰/۸۵	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۶	۰/۱۵	الیاف معدنی به ضخامت ۵۰ میلیمتر با چگالی ۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب
۰/۸۵	۰/۹	۰/۸۵	۰/۹۵	۰/۸۵	۰/۳	الیاف معدنی به ضخامت ۷۵ میلیمتر با چگالی ۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب
۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۲	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۳۵	الیاف معدنی به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر با چگالی ۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب
۰/۸۲	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۶	۰/۱۱	الیاف معدنی به ضخامت ۵۰ میلیمتر با چگالی ۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب
۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۲	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۳۴	الیاف معدنی به ضخامت ۷۵ میلیمتر با چگالی ۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۷	۰/۴	۰/۱	الیاف معدنی به ضخامت ۲۵ میلیمتر، ۲۵ میلیمتر فاصله هوایی
۰/۸	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۷	۰/۵	الیاف معدنی به ضخامت ۵۰ میلیمتر، ۵۰ میلیمتر فاصله هوایی
۰/۸	۰/۹	۰/۸۵	۰/۶۵	۰/۳۵	۰/۲	الیاف معدنی به ضخامت ۵۰ میلیمتر با چگالی ۹۶ کیلوگرم بر متر مکعب، در پشت صفحه فلزی سوراخ‌دار با ۲۵٪ سطح باز
۰/۸	۰/۸۵	۰/۸	۰/۵	۰/۱۵	۰/۰۳	اندود آکوستیکی به ضخامت ۲۵ میلیمتر روی دیوار سخت
۰/۹	۰/۸	۰/۶	۰/۳	۰/۰۸	۰/۰۲	اندود آکوستیکی به ضخامت ۹ میلیمتر روی دیوار سخت

۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۸	۰/۶	۰/۳	۰/۳	اندود آکوستیکی به ضخامت ۹ میلیمتر روی تخته گچی به فاصله هوایی ۷۵ میلیمتر از دیوار
------	------	-----	-----	-----	-----	---

جدول ۲-۴۰ مقادیر ضریب جذب صدای مواد و مصالح ساختمانی [۹]

ضریب جذب صدا در بسامد مرکزی بندهای یک هنگامی						نوع جذب کننده
۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	
کف پوش						
۰/۷۲	۰/۷	۰/۵۴	۰/۲	۰/۰۹	۰/۰۳	موکت نازک ۶ میلیمتری با زیر لایه
۰/۸	۰/۷۵	۰/۶	۰/۳	۰/۰۸	۰/۰۸	موکت ضخیم ۹ میلیمتری با زیر لایه
۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۵	کف چوبی (لمبه کوبی چوبی) بر روی تیرچه
۰/۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	کف پارکت روی زیرسازی چوبی
۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۴	کف پارکت بر روی بتن
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۲	وینیل یا لینولیوم روی بتن
صندلی و شونده						
۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۶۹	۰/۵۶	۰/۲۴	۰/۱۶	شونده نشسته روی صندلی چوبی
۰/۷	۰/۸۲	۰/۸۸	۰/۸	۰/۶۶	۰/۴۹	صندلی با پوشش پارچه‌ای
۰/۵	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵	۰/۴	صندلی با پوشش چرمی
۰/۷	۰/۶	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴	۰/۵	مبلمان اداری (میزکار)

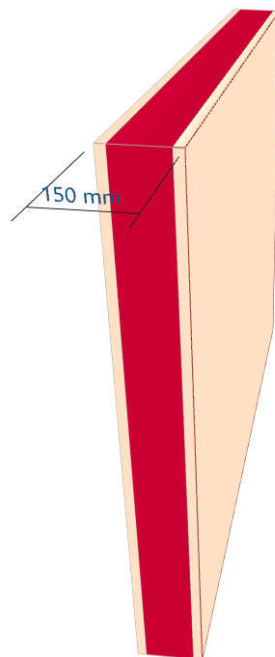
۳ شبیه سازی

یکی از راه‌هایی که به منظور کاهش هزینه‌های تست تجربی پیشنهاد می‌شود، شبیه سازی است. در این پژوهش نیز به منظور کاهش هزینه‌های تست تجربی از نرم افزار ایندسول^۱ جهت شبیه سازی استفاده می‌شود. این نرم افزار با در اختیار داشتن یک کتابخانه از مواد مصرفی رایج در ساخت دیوار، کمک به مدل سازی دیوارها، سقف‌ها و ... کرده و در خروجی نمودار شاخص کاهش صدا را در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

۳-۱ اعتبار سنجی

به منظور اعتبار سنجی ابتدا ۶ دیوار را که در قسمت پیش مقدار شاخص کاهش صدا وزن یافته‌ی آنها موجود است مدل نموده و مقدار آن با مقدار شبیه سازی مقایسه می‌شود. ابعاد ارتفاع و طول دیوارها در نرم افزار ایندسول به ترتیب ۲٫۷ و ۴ متر می‌باشد. همچنین حجم اتاق در نرم افزار ۵۰ متر مکعب و زمان واخنش ۰٫۵ میلی ثانیه در نظر گرفته شده است.

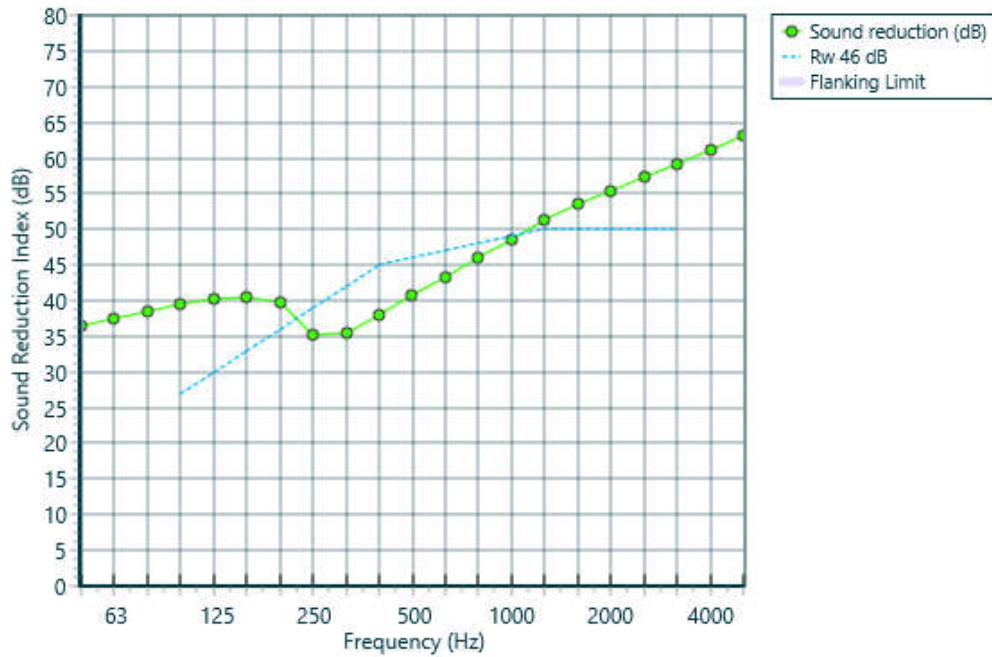
ابتدا دیوار آجر فشاری ۱۱ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک و گچ پرداختی به ضخامت ۲ سانتیمتر مدل می‌شود. ضخامت کلی دیوار ۱۵ سانتیمتر بوده و مقدار R_w (شاخص کاهش صدای وزن یافته) یا STC آن مطابق اطلاعات موجود در جداول بخش پیشین ۴۷ می‌باشد. به منظور شبیه سازی و مدل سازی دیوارها در نرم افزار برای گچ از داخل کتابخانه 10mm Plasterboard و برای آجر فشاری از داخل کتابخانه Brick انتخاب می‌شود. سپس ضخامت‌های هر جنس مطابق تعریف دیوار به آن اختصاص داده می‌شود.



شکل ۳-۱ مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۵ سانتی متر

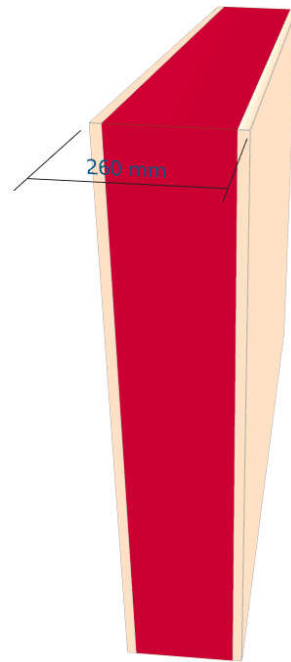
^۱ Insul

نمودار شاخص کاهش صدا به صورت زیر شبیه سازی شد.



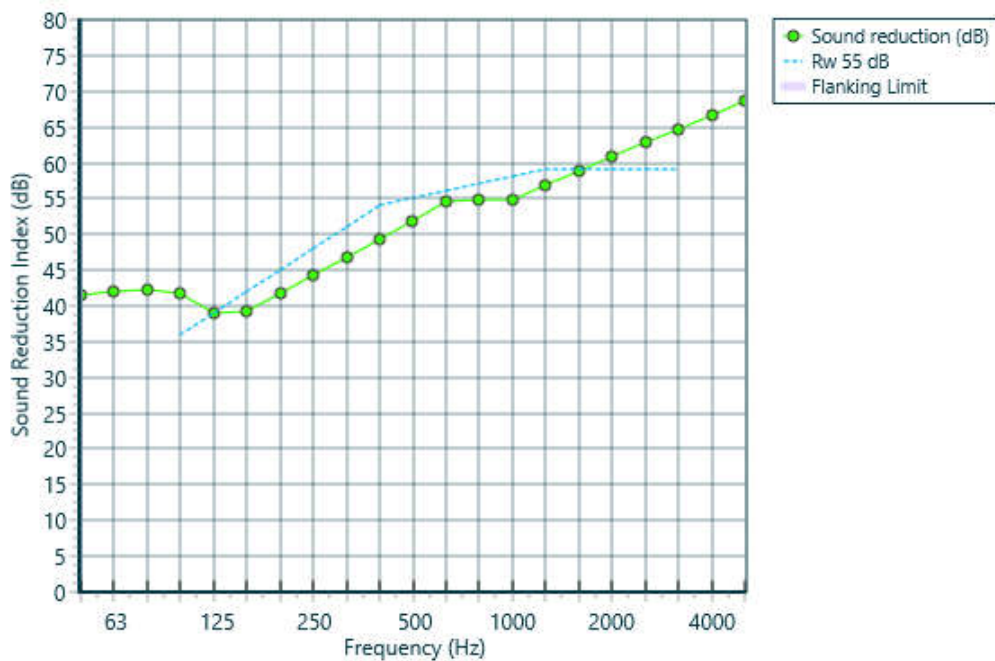
شکل ۳-۲ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۵ سانتی متر
خطا با توجه به نتایج ۲,۱ درصد می باشد.

دیوار بعدی دیوار آجر فشاری ۲۲ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک و گچ پرداختی به ضخامت ۲ سانتیمتر مدل می شود. ضخامت کلی دیوار ۲۶ سانتیمتر بوده و مقدار R_w یا STC آن مطابق اطلاعات موجود در جداول بخش پیشین ۵۲ می باشد. مانند مدل سازی پیشین به منظور شبیه سازی و مدل سازی دیوارها در نرم افزار برای گچ از داخل کتابخانه 10mm Plasterboard و برای آجر فشاری از داخل کتابخانه Brick انتخاب می شود. سپس ضخامت های هر جنس مطابق تعریف دیوار به آن اختصاص داده می شود.



شکل ۳-۳ مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۶ سانتی متر

خروجی نمودار شاخص کاهش صدا به صورت زیر شبیه سازی شد.

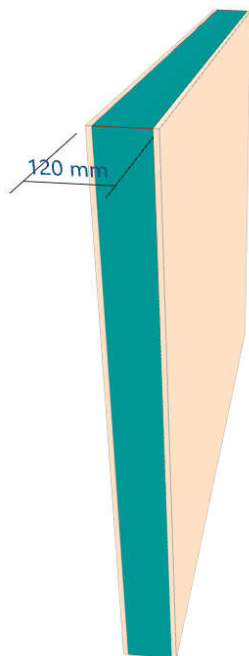


شکل ۳-۴ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۶ سانتی متر

خطا با توجه به نتایج ۵,۷ درصد می باشد.

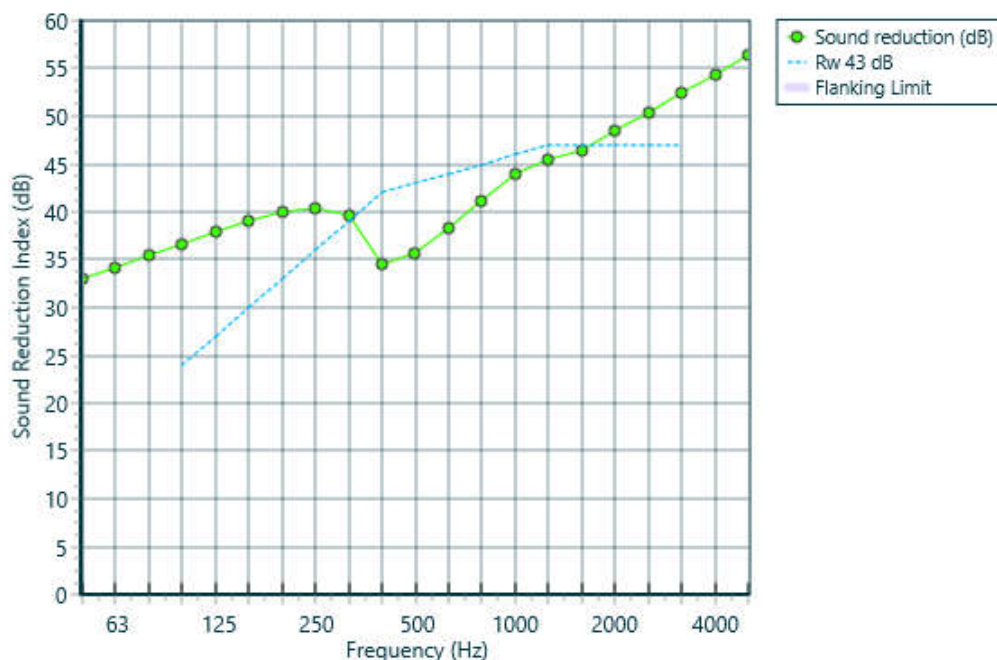
دیوار بعد دیوار آجر سفالی ۱۰ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک و گچ پرداختی به ضخامت ۱ سانتیمتر می باشد. ضخامت کلی دیوار ۱۲ سانتیمتر بوده و مقدار R_w یا STC آن مطابق اطلاعات موجود در جداول بخش پیشین ۴۲ می باشد. به منظور شبیه سازی و مدل سازی دیوارها در نرم افزار برای گچ از داخل کتابخانه 10mm Plasterboard انتخاب می شود. به منظور انتخاب آجر سفالی، ماده جدید تعریف می شود. به

علت عدم دستیابی به مقادیر دقیق ضرایب مورد نیاز آجر سفالی، با تقریب زیر قرار داده می‌شود. چگالی ۱۲۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب، مدول یانگ ۳ گیگاپاسکال، نرخ انیستروپیک ۱ و ضریب دمپینگ ۰,۰۱ قرار داده می‌شود. سپس ضخامت‌های هر جنس مطابق تعریف دیوار به آن اختصاص داده می‌شود.



شکل ۳-۵ مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۲ سانتی متر

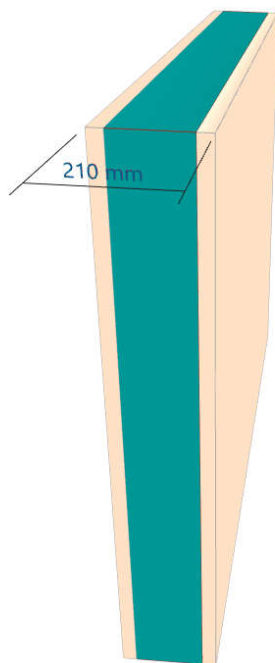
نمودار به صورت زیر شبیه سازی شد.



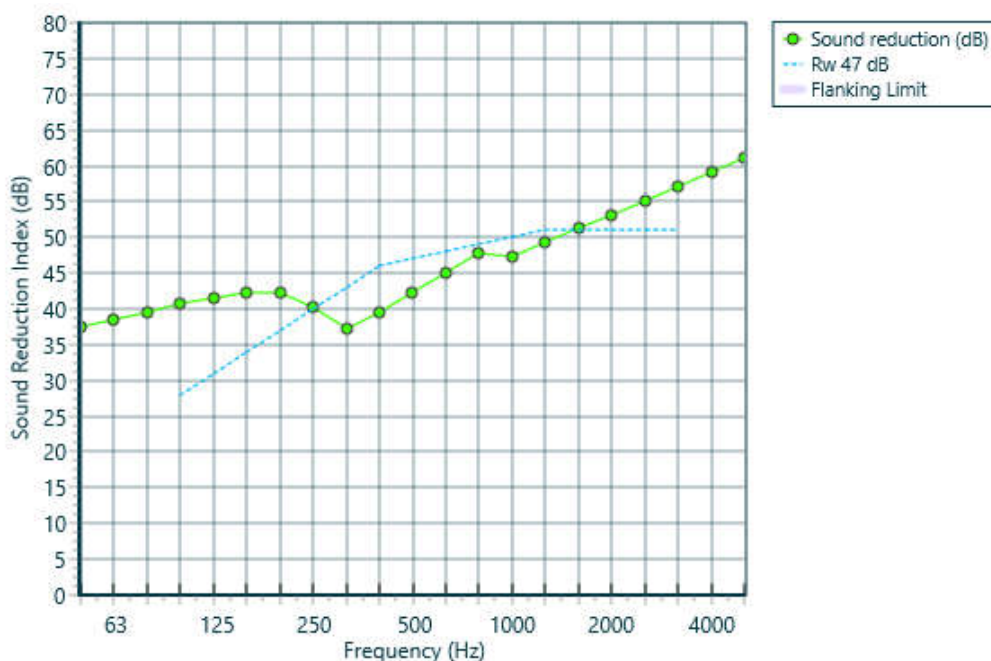
شکل ۳-۶ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۲ سانتی متر

خطا با توجه به نتایج ۲,۳ درصد می‌باشد.

برای دیوار آجر سفالی ۱۵ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک و گچ پرداختی به ضخامت ۳ سانتیمتر با ضخامت کلی ۲۱ سانتیمتر و مقدار R_w یا STC آن مطابق اطلاعات موجود در جداول بخش پیشین ۴۶ نیز مدل سازی به صورت قبل تکرار شده و نتایج به صورت زیر قابل مشاهده است.



شکل ۳-۷ مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر

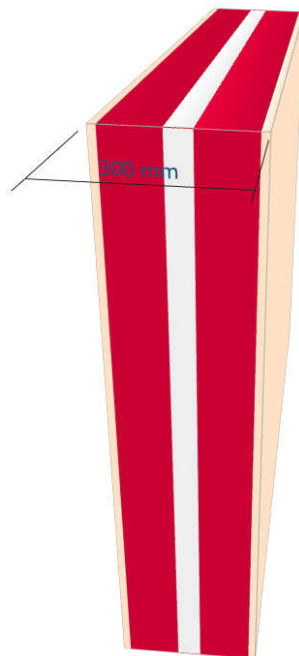


شکل ۳-۸ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر

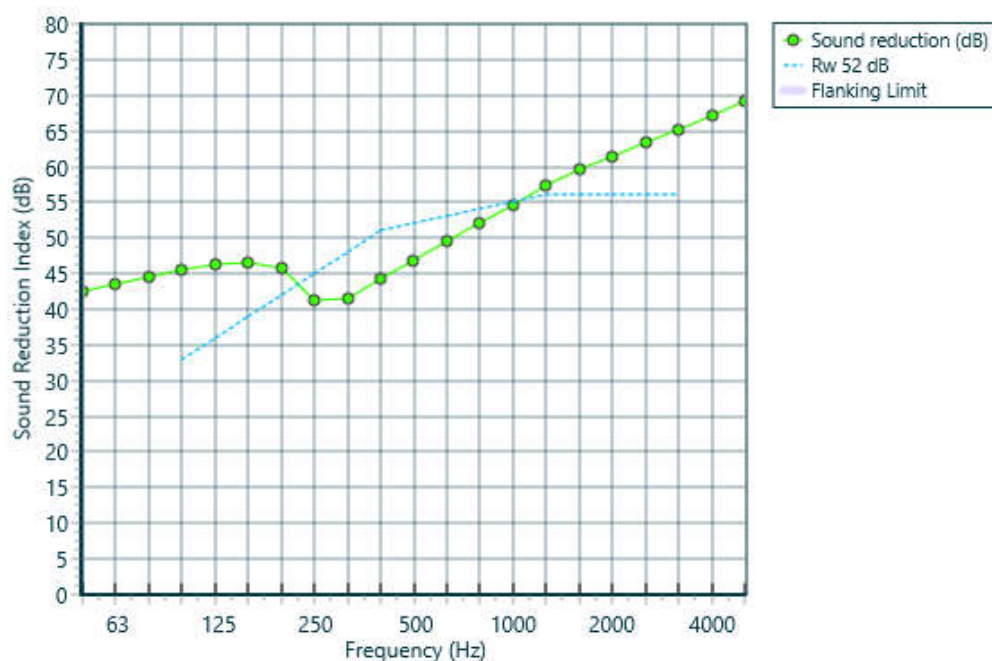
خطا با توجه به نتایج ۲,۱ درصد می باشد.

دیوار بعدی، دیوار دو جداره با آجر فشاری ۱۱ سانتیمتری با ۵ سانتیمتر فاصله هوایی، دو رو اندود به ضخامت ۱,۵ سانتیمتر و با ضخامت کلی مطابق اطلاعات موجود در جداول بخش پیشین ۳۰ سانتیمتر

است. تفاوت این دیوار با دیوارهای قبلی وجود یک فاصله هوایی بین در میان دیوار است. مقدار R_w یا STC این دیوار ۵۴ بوده و در مدل سازی نیز مانند قبل مراحل تکرار شده و یک فاصله هوایی نیز در میان دیوار با انتخاب None در جنس‌های موجود در کتابخانه اضافه می‌شود.



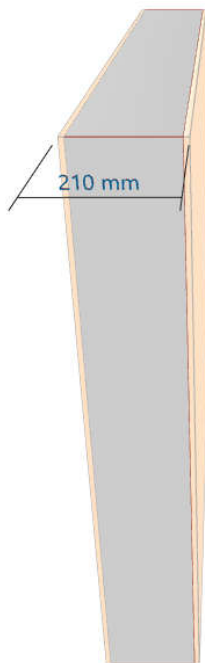
شکل ۳-۹ مدل دیوار دو جداره با فاصله هوایی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۳۰ سانتی متر نتایج نمودار به صورت زیر شبیه سازی شد.



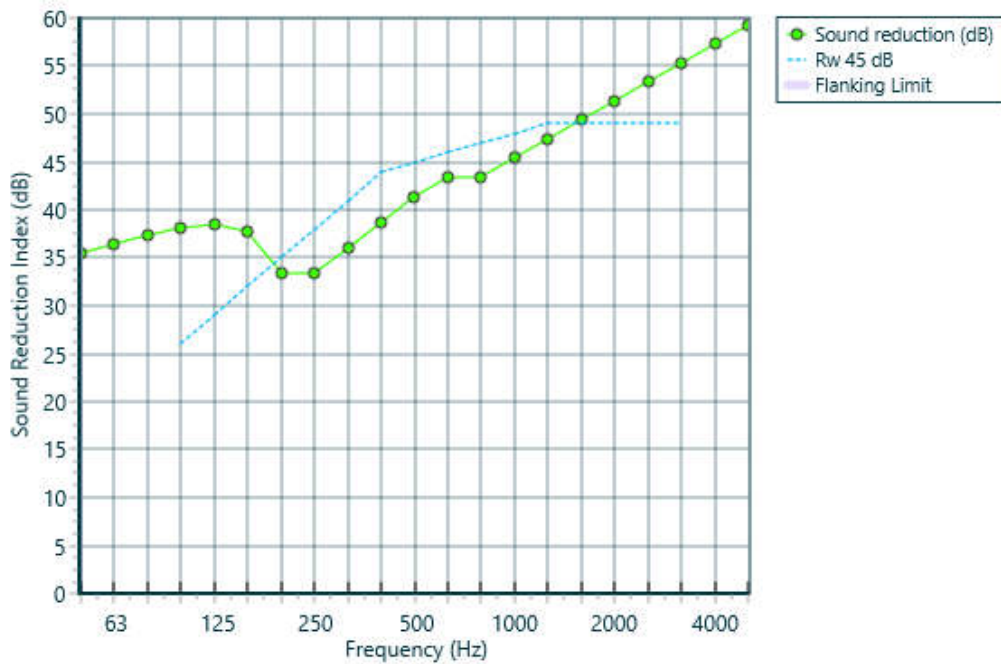
شکل ۳-۱۰ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار دو جداره با فاصله هوایی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۳۰ سانتی متر

خطا با توجه به نتایج ۳,۷ درصد می‌باشد.

آخرین دیوار، دیوار با بلوک تو خالی از بتن سبک به ضخامت ۱۹ سانتیمتر، دو رو اندود با گچ به ضخامت ۱ سانتیمتر می‌باشد. ضخامت کلی دیوار ۲۱ سانتیمتر و R_w یا STC آن مطابق اطلاعات موجود در جداول بخش پیشین ۴۶ می‌باشد. بلوک تو خالی سبک با توجه به چگالی انواع مختلفی را شامل می‌شود. در اینجا به دلیل عدم تعریف چگالی مد نظر، دو چگالی ۹۰۰ و ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته می‌شود و مقادیر شبیه سازی برای این دو دیوار استخراج می‌شود.

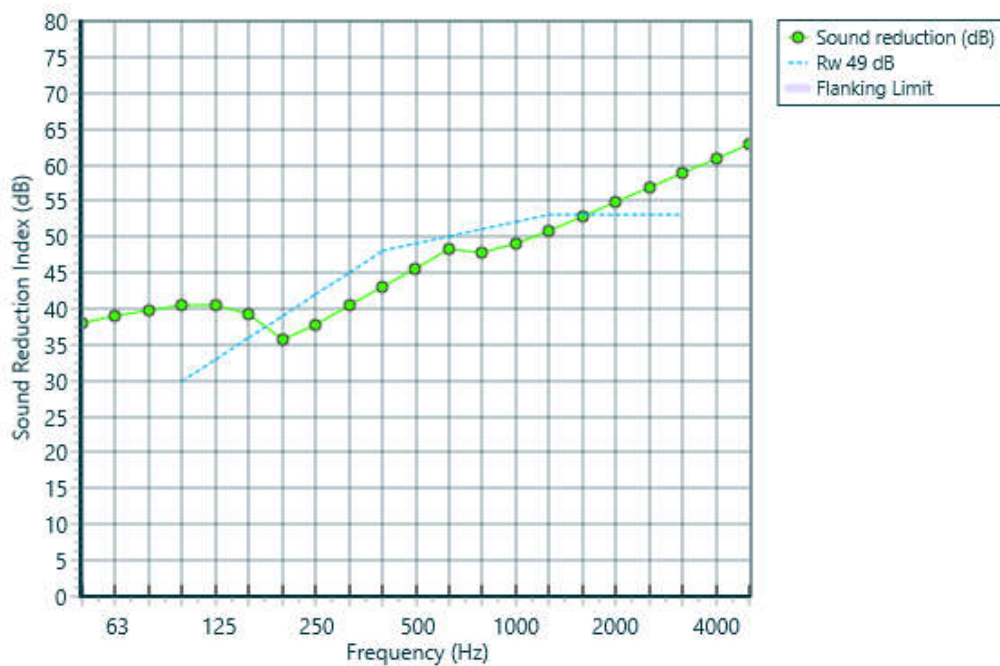


شکل ۳-۱۱ مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر نمودار چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب به شرح زیر است.



شکل ۳-۱۲ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک با چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر

همچنین نمودار برای چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب نیز در زیر قابل مشاهده است.



شکل ۳-۱۳ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک با چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر

خطا با توجه به نتایج برای چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب ۲,۱ درصد و برای چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب ۶,۵ درصد می باشد.

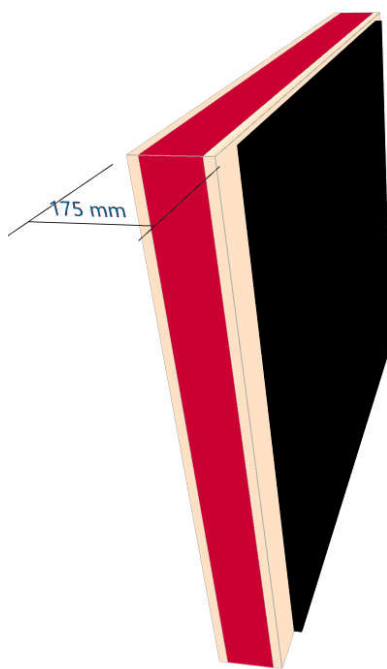
۲-۳ دیواره

پس از اعتبار سنجی، دیوارهای صحت سنجی شده همراه با عایق مورد شبیه سازی قرار می گیرند تا نتایج شبیه سازی آنها مورد بررسی قرار گرفته شود. اندازه ضخامت هر عایق مقدار ضخامت تا قله است. چون ضرایب برای یک فوم مسطح با ضخامت مورد نظر در تعریف عایق شانه تخم مرغی استفاده شده است، پستی و بلندی‌های عایق شانه تخم مرغی به صورت مسطح و به اندازه ضخامت هر عایق تا قله تقریب زده شده است.

۱-۲-۳ دیوار آجر فشاری (ضخامت ۱۵)

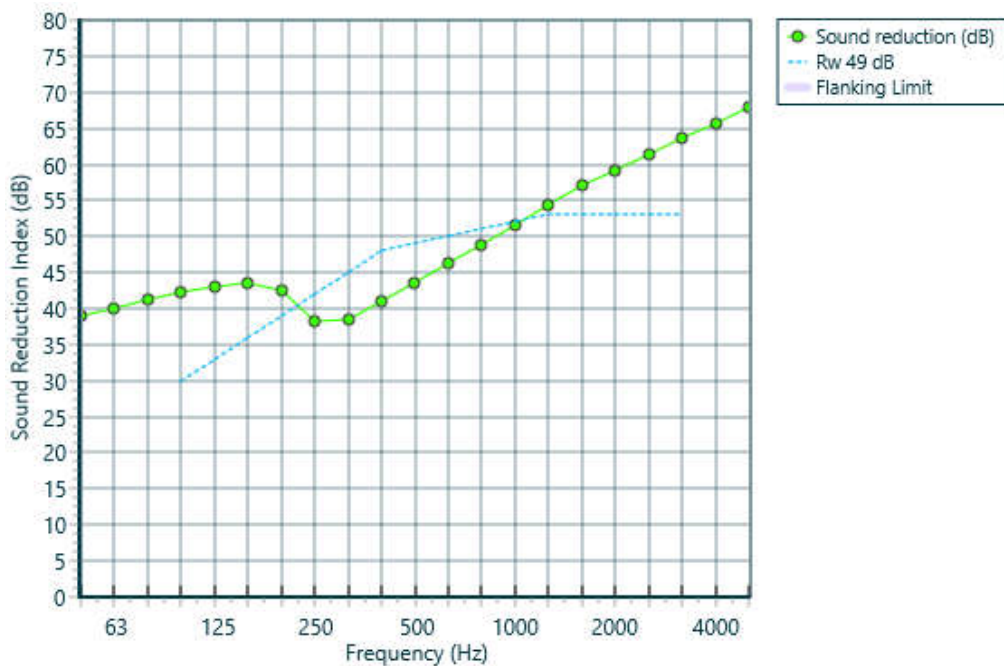
دیوار آجر فشاری ۱۱ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک و گچ پرداختی به ضخامت ۲ سانتیمتر به صورتی که توضیح داده شد مدل می شود. سپس از قسمت Frame عایق صوتی از قسمت Absorption اضافه می شود. عایق صوتی ۵، ۲،۵ و ۱،۵ سانتی متری با چگالی ۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان به ترتیب ۱۸۹۱۶، ۱۳۴۹۸ و ۱۴۰۹۱ rayl/m مورد استفاده قرار می گیرد [۱۱].

ابتدا عایق ۲،۵ سانتی متری شبیه سازی می شود.



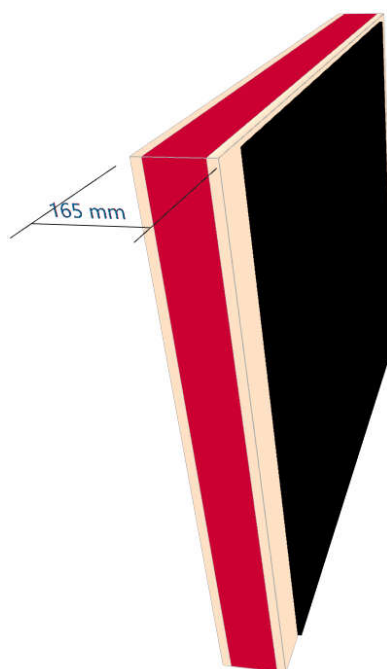
شکل ۱۴-۳ مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۵ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲،۵ سانتی متری

نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق به صورت زیر استخراج می شود.



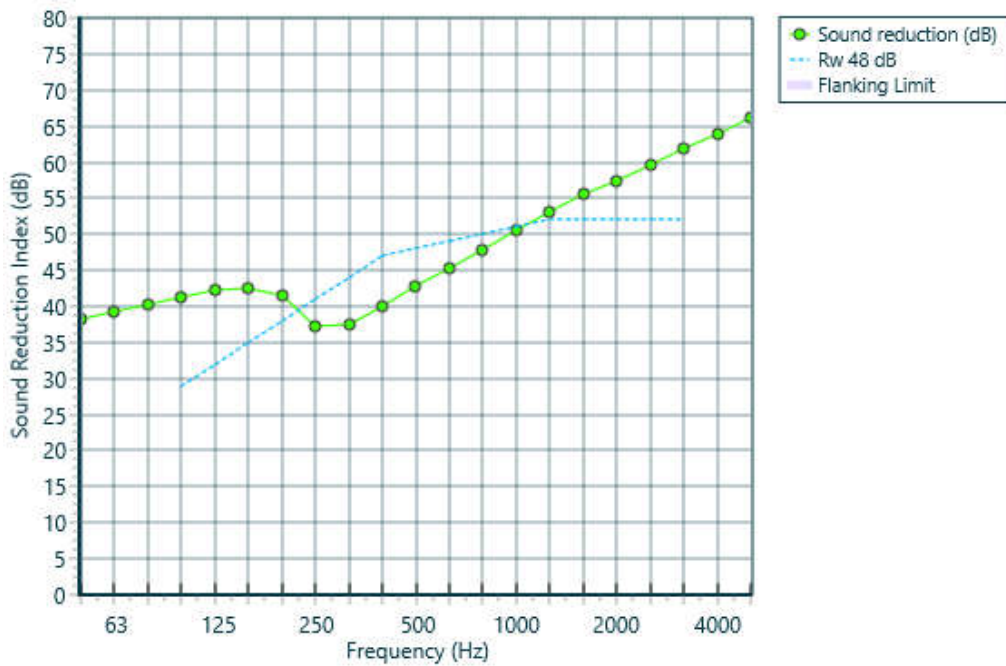
شکل ۳-۱۵ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۵ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲٫۵ سانتی متری

همانطور که از نمودار مشخص است مقدار R_w به عدد ۴۹ دسی بل افزایش یافته است. سپس عایق ۱٫۵ سانتی متری شبیه سازی می شود.



شکل ۳-۱۶ مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۵ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱٫۵ سانتی متری

نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق به صورت زیر استخراج می شود.

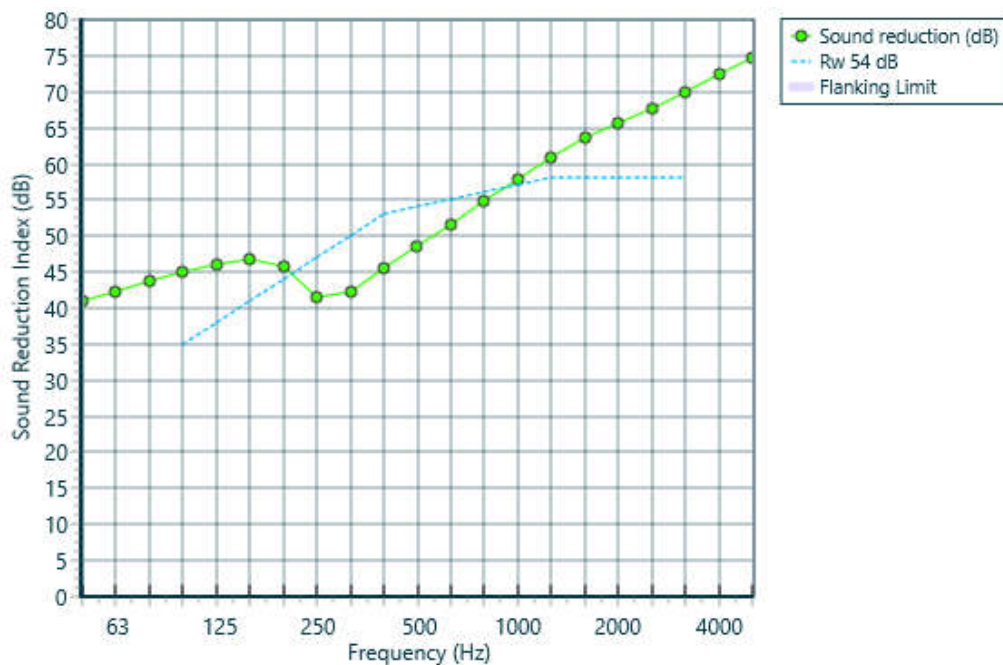


شکل ۳-۱۷ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۵ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری

مقدار R_w برای عایق ۱,۵ سانتی متری برابر ۴۸ دسی بل می شود.

شبه سازی برای عایق ۵ سانتی متری نیز انجام می شود و نمودار شاخص کاهش صدا به صورت زیر

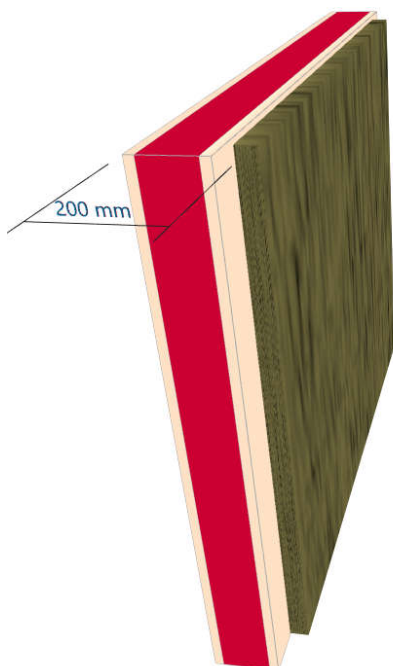
قابل مشاهده است.



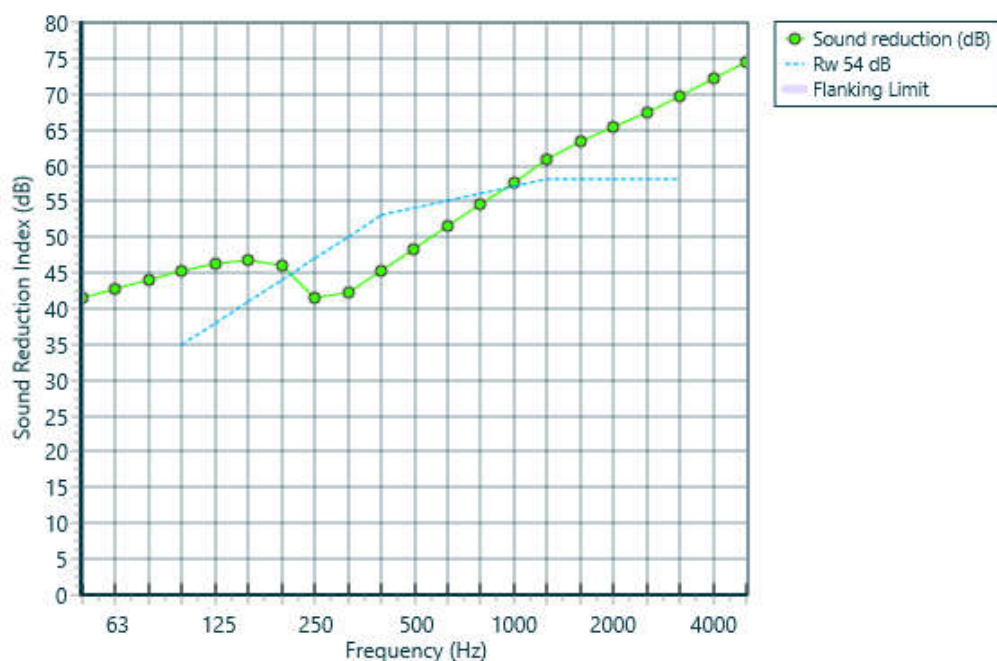
شکل ۳-۱۸ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۵ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری

مقدار R_w برای ضخامت ۵ سانتی متری برابر ۵۴ دسی بل می شود.

همچنین دیوار فوق با عایق پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی متر و چگالی ۴۸ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان ۱۸۴۰۰ rayl/m نیز مورد شبیه سازی قرار گرفته و نتایج مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل ۳-۱۹ مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۵ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری نتایج برای این نوع عایق به صورت زیر است.



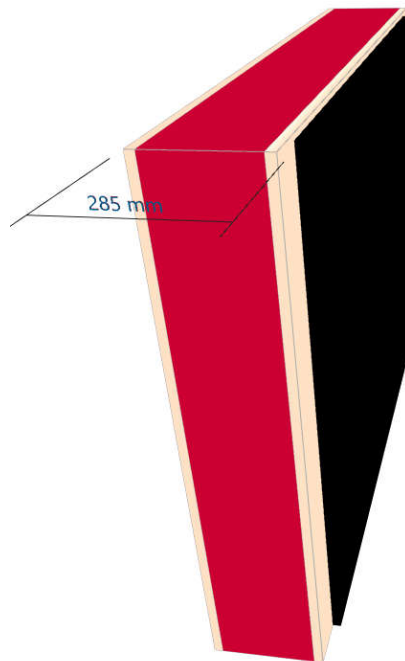
شکل ۳-۲۰ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۵ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری

R_w در این نوع عایق برابر ۵۴ دسی بل می شود.

۲-۲-۳ دیوار آجر فشاری (ضخامت ۲۶)

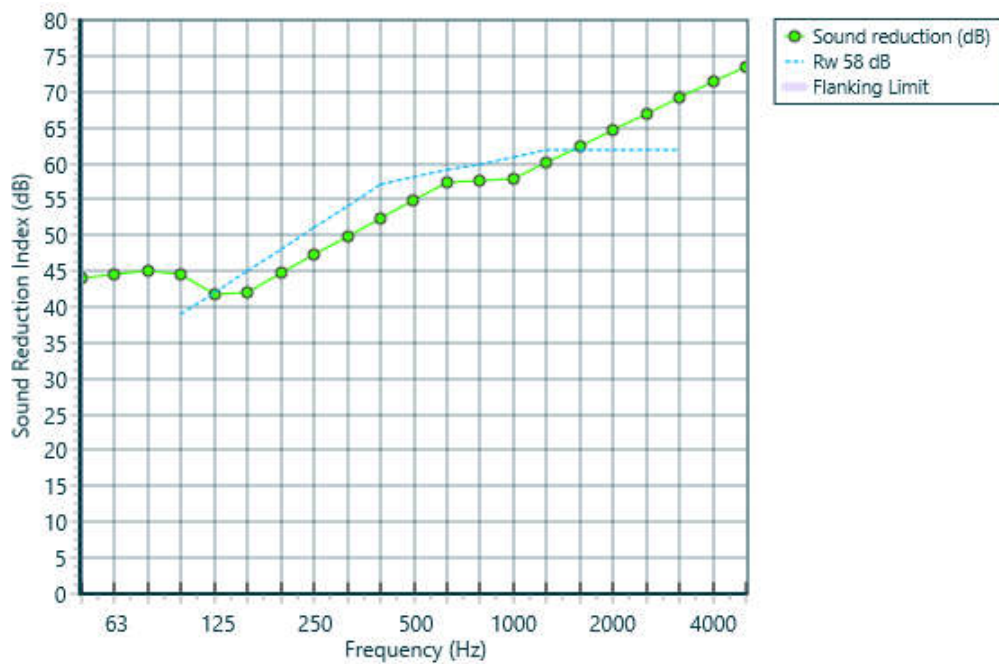
دیوار آجر فشاری ۲۲ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک و گچ پرداختی به ضخامت ۲ سانتیمتر به صورتی که توضیح داده شد مدل می شود. سپس از قسمت Frame عایق صوتی از قسمت Absorption اضافه می شود. عایق صوتی ۵، ۲،۵ و ۱،۵ سانتی متری با چگالی ۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان به ترتیب ۱۸۹۱۶، ۱۳۴۹۸ و ۱۴۰۹۱ rayl/m مورد استفاده قرار می گیرد [۱۱].

ابتدا عایق ۲،۵ سانتی متری شبیه سازی می شود.



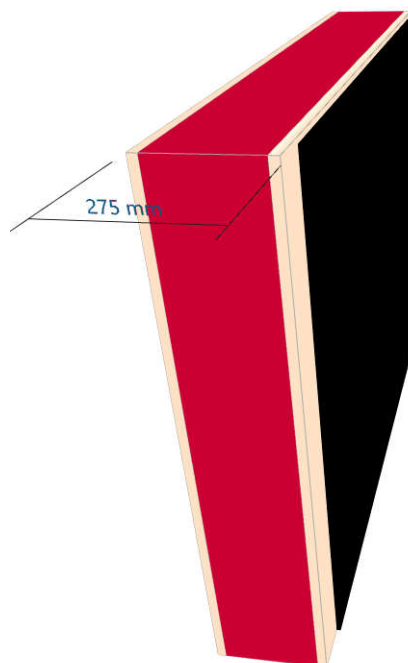
شکل ۲۱-۳ مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۶ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲،۵ سانتی متری

نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق به صورت زیر استخراج می شود.



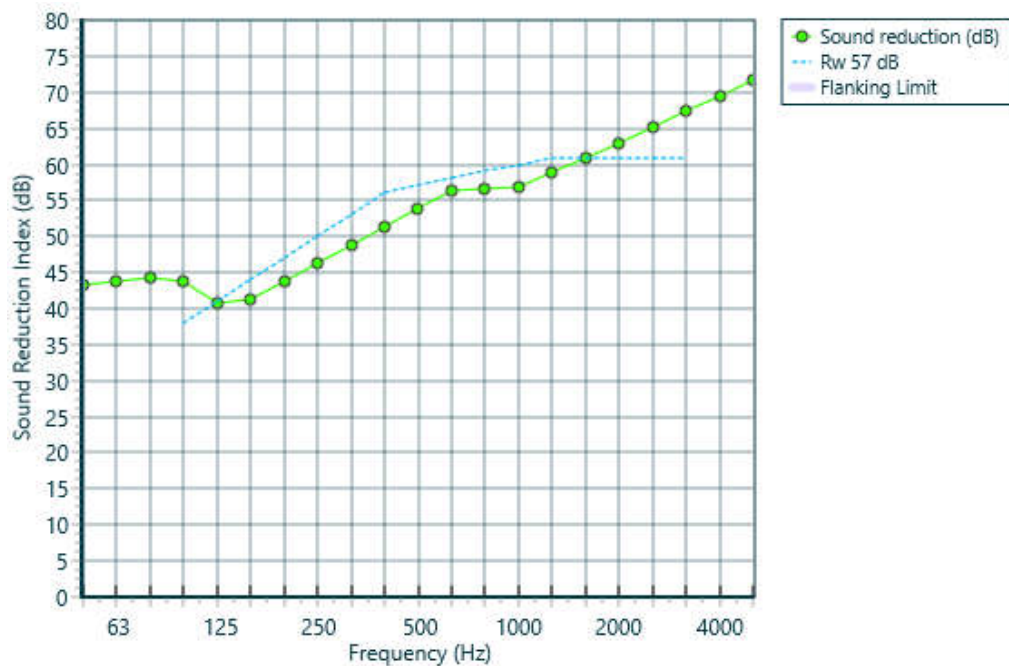
شکل ۳-۲۲ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۶ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲,۵ سانتی متری

همانطور که از نمودار مشخص است مقدار R_w به عدد ۵۸ دسی بل افزایش یافته است. سپس عایق ۱,۵ سانتی متری شبیه سازی می شود.



شکل ۳-۲۳ مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۶ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری

نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق به صورت زیر استخراج می شود.

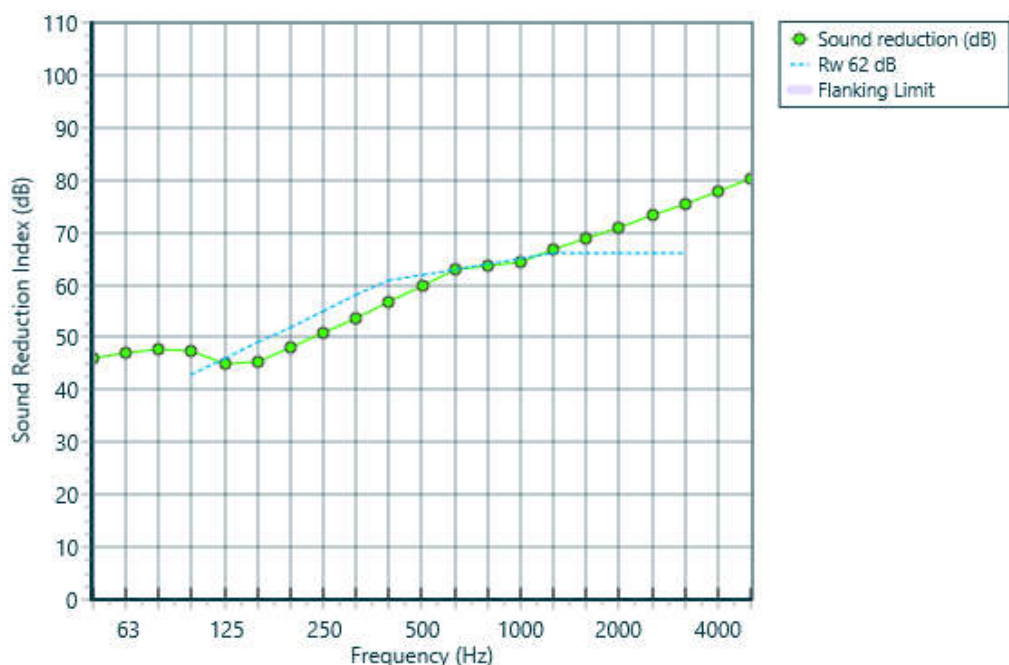


شکل ۳-۲۴ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۶ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری

مقدار R_w برای عایق ۱,۵ سانتی متری برابر ۵۷ دسی بل می شود.

شبه سازی برای عایق ۵ سانتی متری نیز انجام می شود و نمودار شاخص کاهش صدا به صورت زیر

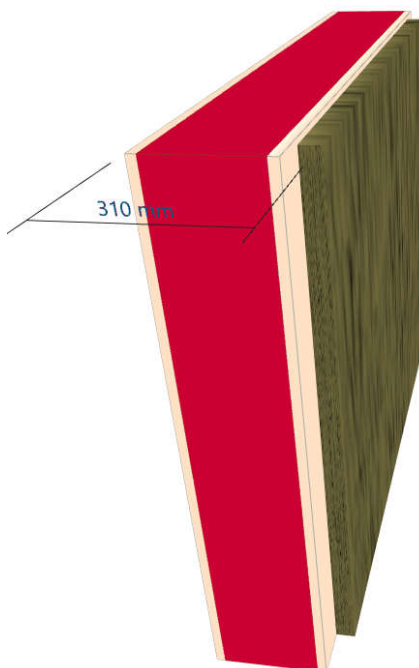
قابل مشاهده است.



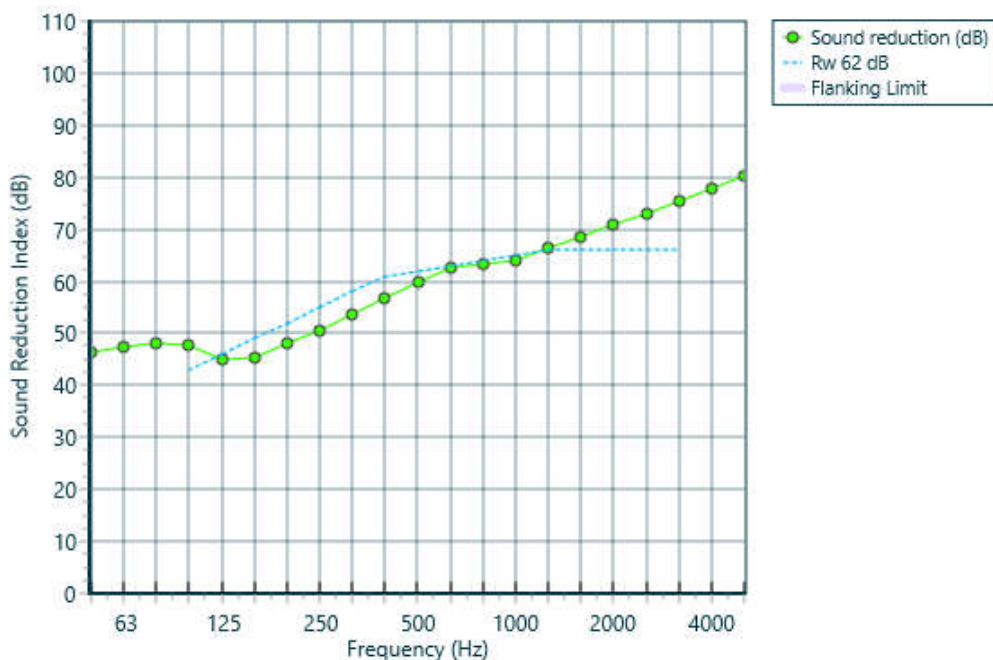
شکل ۳-۲۵ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۶ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری

مقدار R_w برای ضخامت ۵ سانتی متری برابر ۶۲ دسی بل می شود.

همچنین دیوار فوق با عایق پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی متر و چگالی ۴۸ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان ۱۸۴۰۰ rayl/m نیز مورد شبیه سازی قرار گرفته و نتایج مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل ۳-۲۶ مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۶ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری نتایج برای این نوع عایق به صورت زیر است.

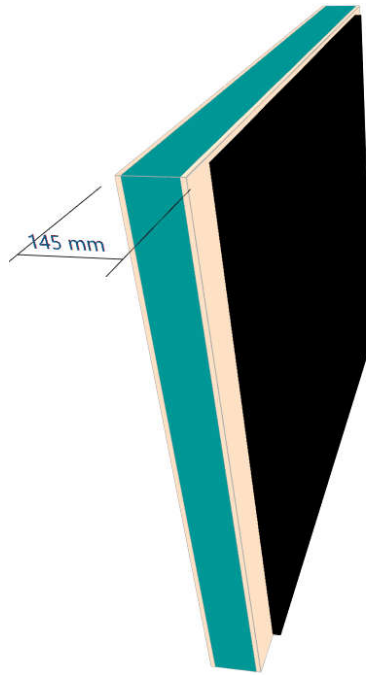


شکل ۳-۲۷ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر فشاری همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۶ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری

R_w در این نوع عایق برابر ۶۲ دسی بل می شود.

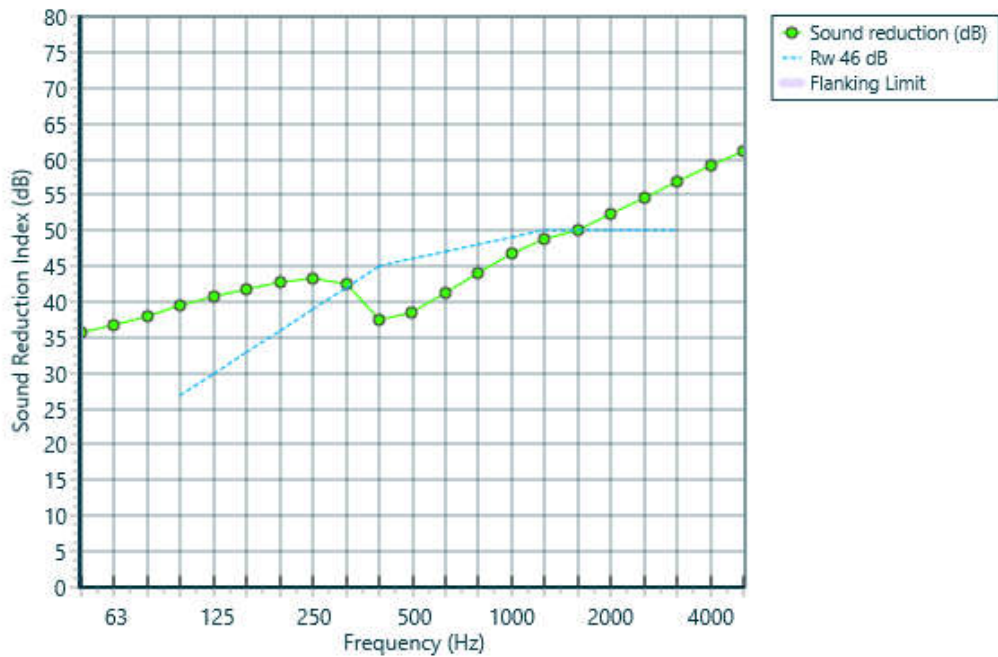
۳-۲-۳ دیوار آجر سفالی (ضخامت ۱۲)

دیوار آجر سفالی ۱۰ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک و گچ پرداختی به ضخامت ۱ سانتیمتر به صورتی که توضیح داده شد مدل می شود. سپس از قسمت Frame عایق صوتی از قسمت Absorption اضافه می شود. عایق صوتی ۵، ۲٫۵ و ۱٫۵ سانتی متری با چگالی ۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان به ترتیب ۱۸۹۱۶، ۱۳۴۹۸ و ۱۴۰۹۱ rayl/m مورد استفاده قرار می گیرد [۱۱].
ابتدا عایق ۲٫۵ سانتی متری شبیه سازی می شود.



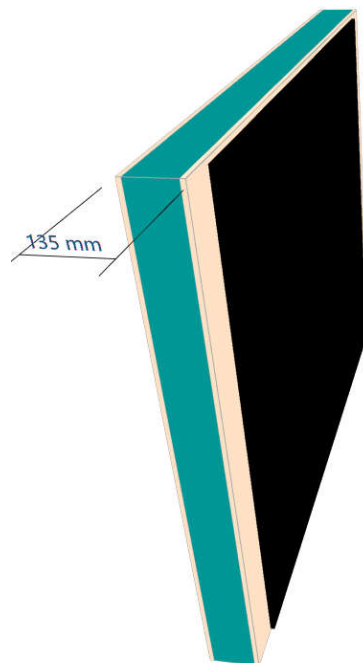
شکل ۳-۲۸ مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۲ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲٫۵ سانتی متری

نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق به صورت زیر استخراج می شود.



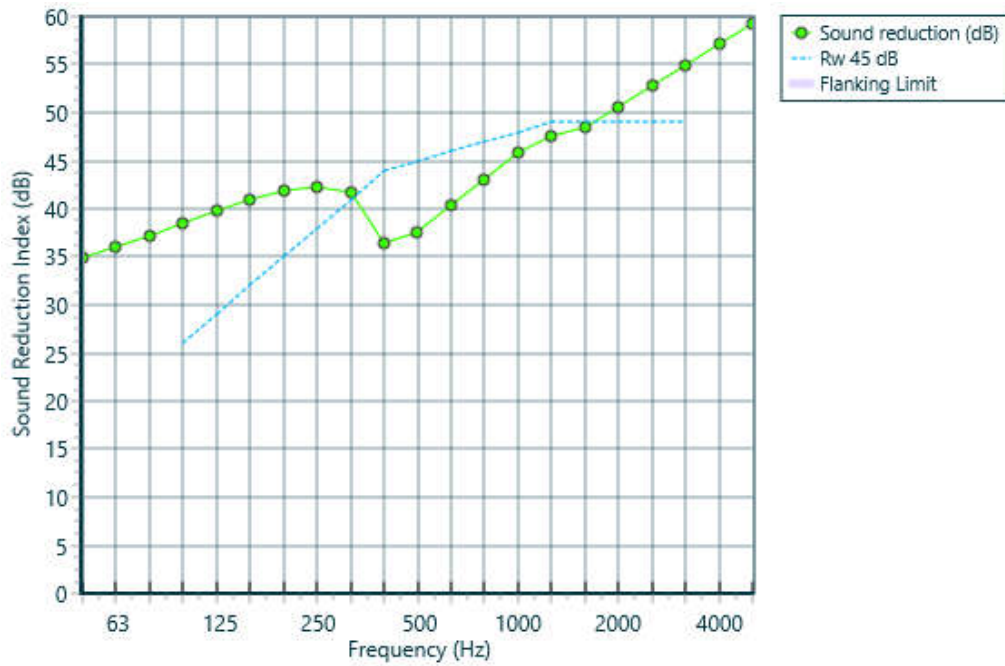
شکل ۳-۲۹ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۲ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲٫۵ سانتی متری

همانطور که از نمودار مشخص است مقدار R_w به عدد ۴۶ دسی بل افزایش یافته است. سپس عایق ۱٫۵ سانتی متری شبیه سازی می شود.



شکل ۳-۳۰ مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۲ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱٫۵ سانتی متری

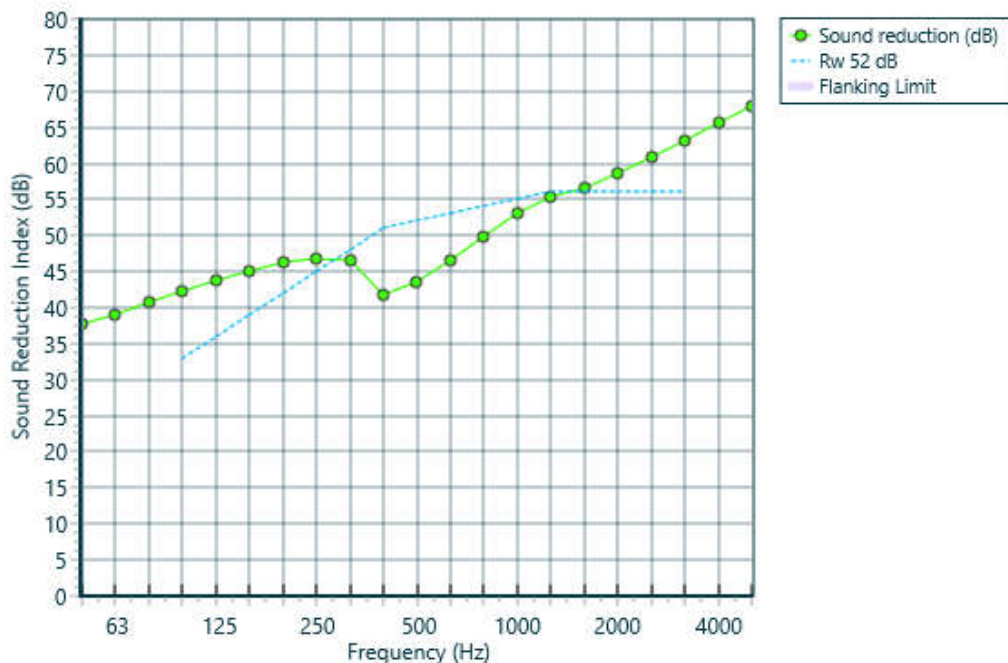
نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق به صورت زیر استخراج می شود.



شکل ۳-۳۱ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۲ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری

مقدار R_w برای عایق ۱,۵ سانتی متری برابر ۴۵ دسی بل می شود.

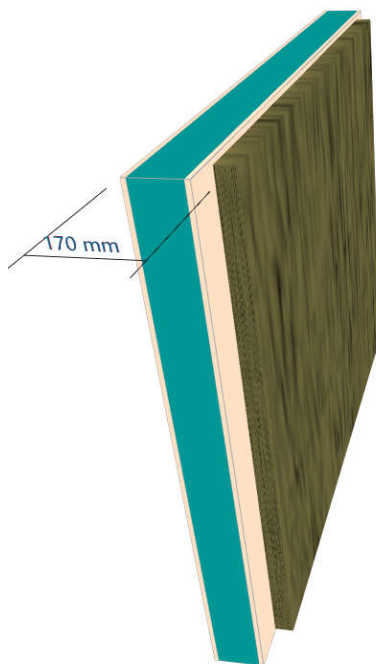
شبه سازی برای عایق ۵ سانتی متری نیز انجام می شود و نمودار شاخص کاهش صدا به صورت زیر قابل مشاهده است.



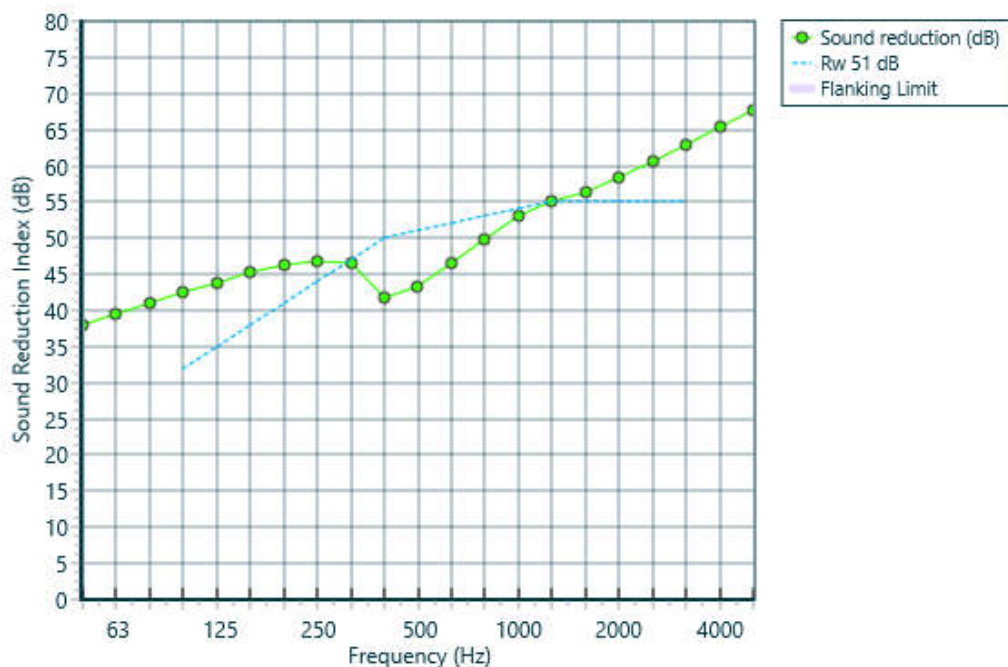
شکل ۳-۳۲ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۲ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری

مقدار R_w برای ضخامت ۵ سانتی متری برابر ۵۲ دسی بل می شود.

همچنین دیوار فوق با عایق پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی متر و چگالی ۴۸ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان ۱۸۴۰۰ rayl/m نیز مورد شبیه سازی قرار گرفته و نتایج مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل ۳-۳ مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۲ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری نتایج برای این نوع عایق به صورت زیر است.



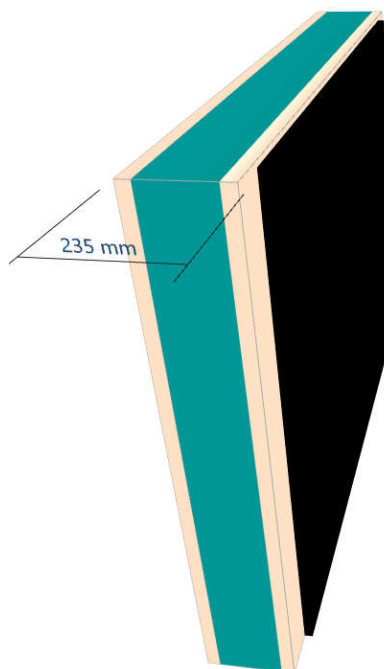
شکل ۳-۴ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۱۲ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری

R_w در این نوع عایق برابر ۵۱ دسی بل می شود.

۳-۲-۴ دیوار آجر سفالی (ضخامت ۲۱)

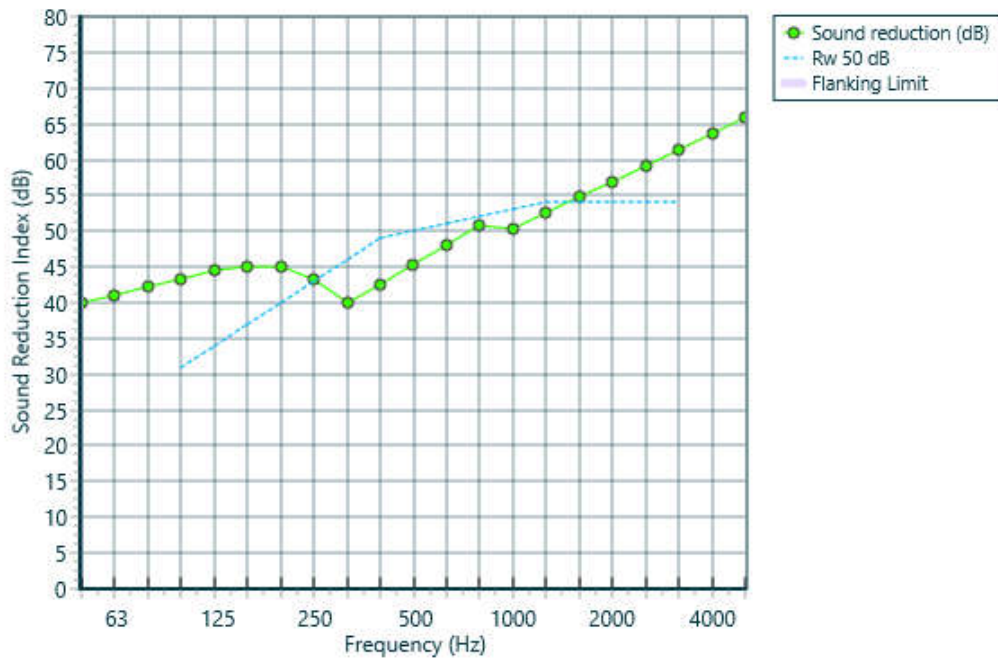
دیوار آجر سفالی ۱۵ سانتیمتری، دو رو اندود با گچ و خاک و گچ پرداختی به ضخامت ۳ سانتیمتر به صورتی که توضیح داده شد مدل می شود. سپس از قسمت Frame عایق صوتی از قسمت Absorption اضافه می شود. عایق صوتی ۵، ۲،۵ و ۱،۵ سانتی متری با چگالی ۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان به ترتیب ۱۸۹۱۶، ۱۳۴۹۸ و ۱۴۰۹۱ rayl/m مورد استفاده قرار می گیرد [۱۱].

ابتدا عایق ۲،۵ سانتی متری شبیه سازی می شود.



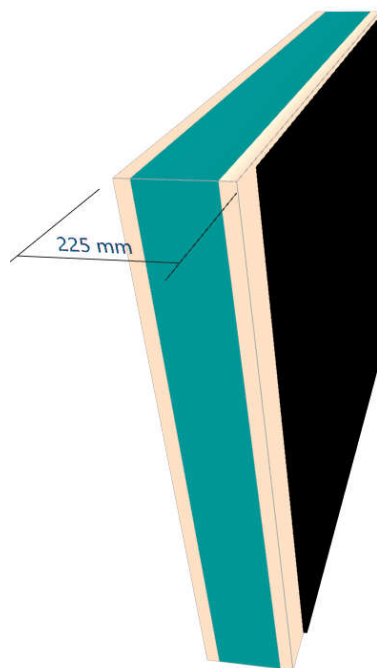
شکل ۳-۳ مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲،۵ سانتی متری

نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق به صورت زیر استخراج می شود.



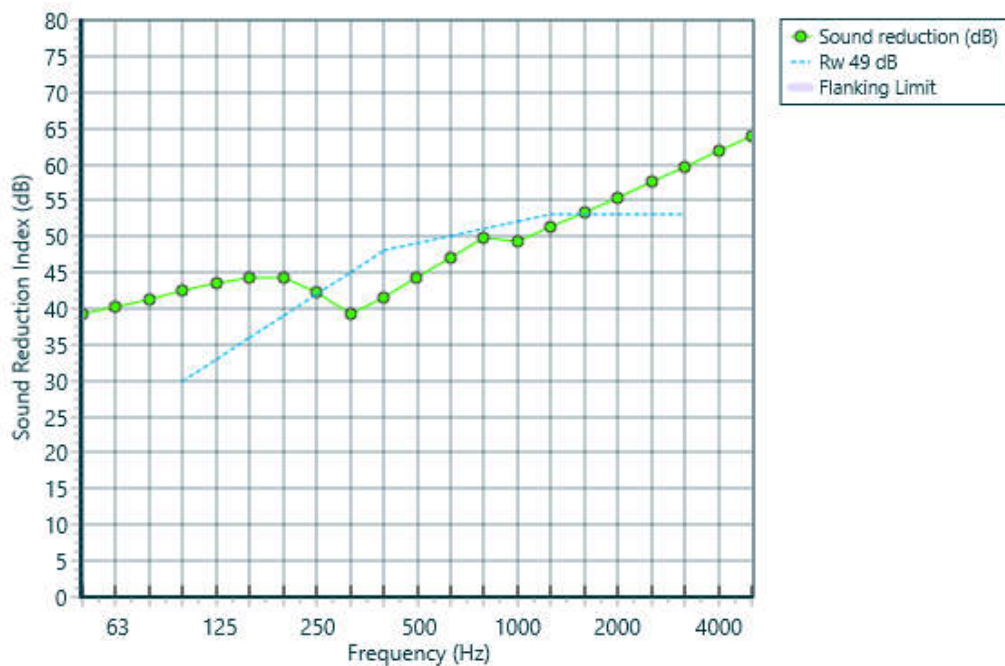
شکل ۳-۳۶ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲،۵ سانتی متری

همانطور که از نمودار مشخص است مقدار R_w به عدد ۵۰ دسی بل افزایش یافته است. سپس عایق ۱،۵ سانتی متری شبیه سازی می شود.



شکل ۳-۳۷ مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱،۵ سانتی متری

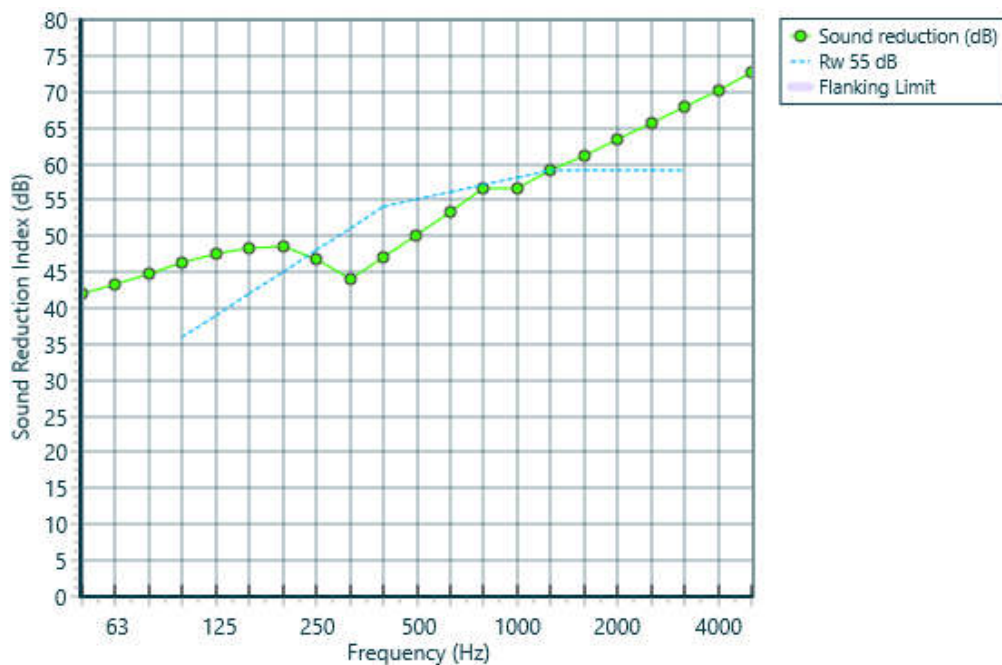
نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق به صورت زیر استخراج می شود.



شکل ۳-۳۸ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری

مقدار R_w برای عایق ۱,۵ سانتی متری برابر ۴۹ دسی بل می شود.

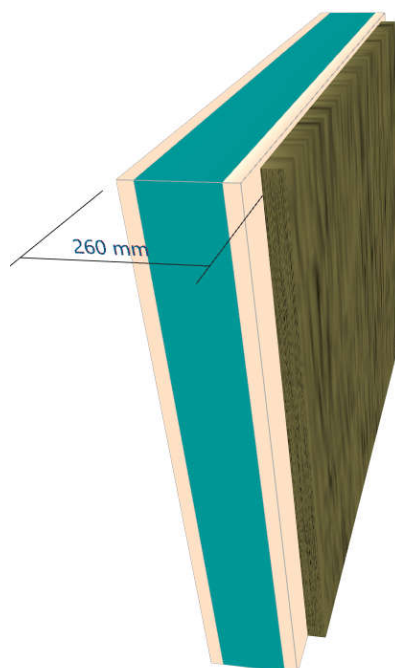
شبه سازی برای عایق ۵ سانتی متری نیز انجام می شود و نمودار شاخص کاهش صدا به صورت زیر قابل مشاهده است.



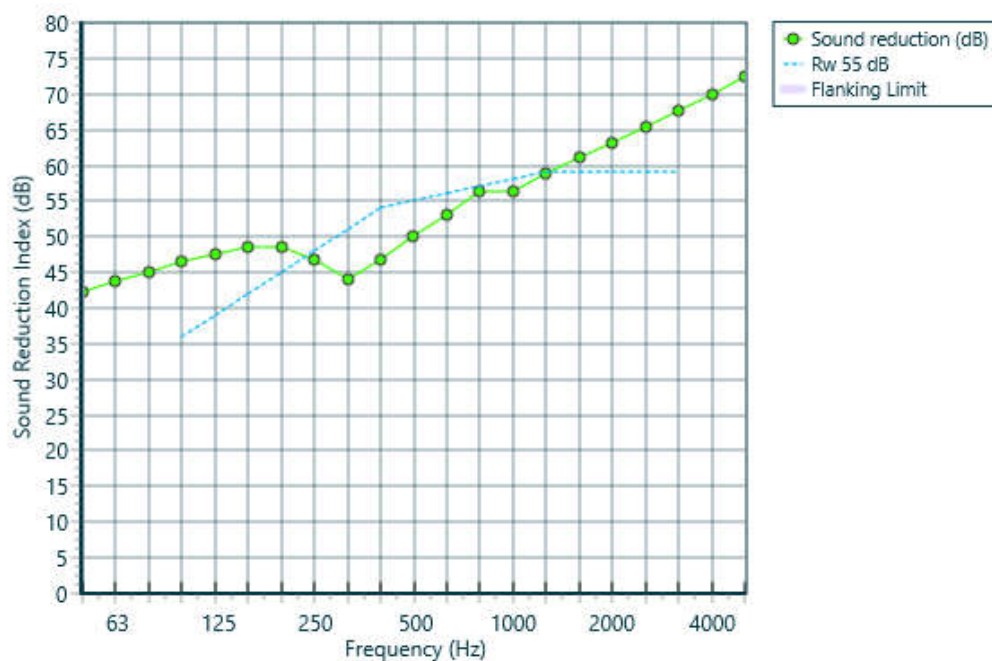
شکل ۳-۳۹ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری

مقدار R_w برای ضخامت ۵ سانتی متری برابر ۵۵ دسی بل می شود.

همچنین دیوار فوق با عایق پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی متر و چگالی ۴۸ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان ۱۸۴۰۰ rayl/m نیز مورد شبیه سازی قرار گرفته و نتایج مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل ۳-۴۰ مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری نتایج برای این نوع عایق به صورت زیر است.



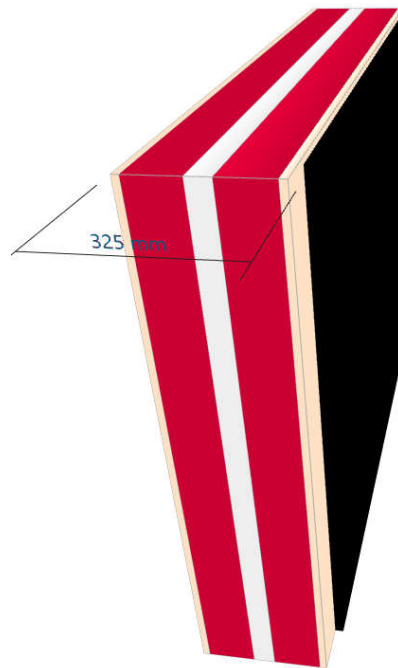
شکل ۳-۴۱ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل آجر سفالی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری

R_w در این نوع عایق برابر ۵۵ دسی بل می شود.

۳-۲-۵ دیوار دو جداره (ضخامت ۳۰)

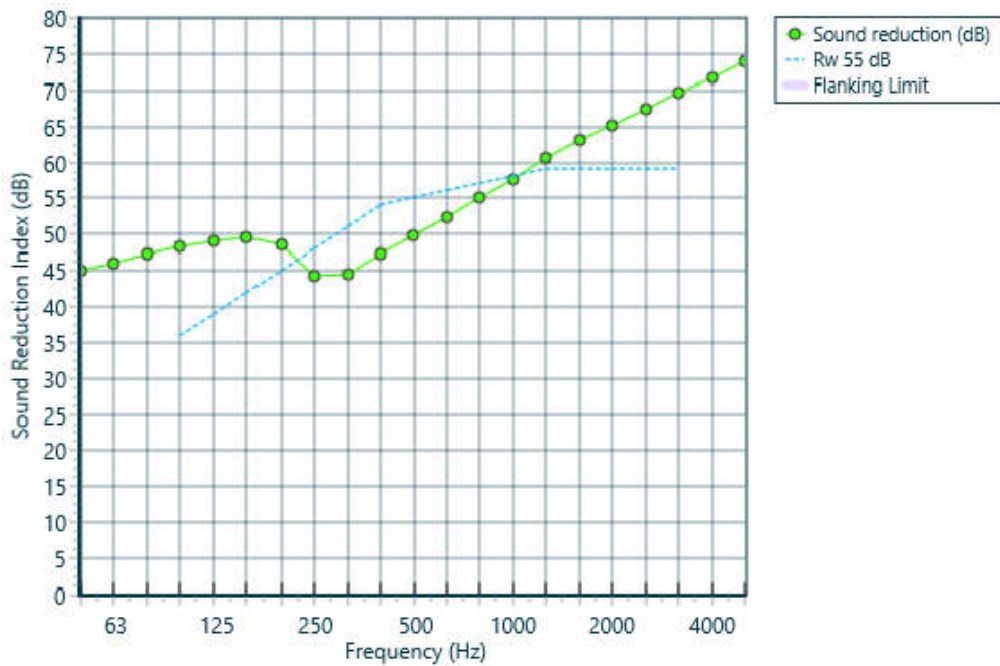
دیوار دو جداره با آجر فشاری ۱۱ سانتیمتری با ۵ سانتیمتر فاصله هوایی، دو رو اندود به ضخامت ۱,۵ سانتیمتر به صورتی که توضیح داده شد مدل می‌شود. سپس از قسمت Frame عایق صوتی از قسمت Absorption اضافه می‌شود. عایق صوتی ۵، ۲,۵ و ۱,۵ سانتی متری با چگالی ۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان به ترتیب ۱۸۹۱۶، ۱۳۴۹۸ و ۱۴۰۹۱ rayl/m مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۱].

ابتدا عایق ۲,۵ سانتی متری شبیه سازی می‌شود.



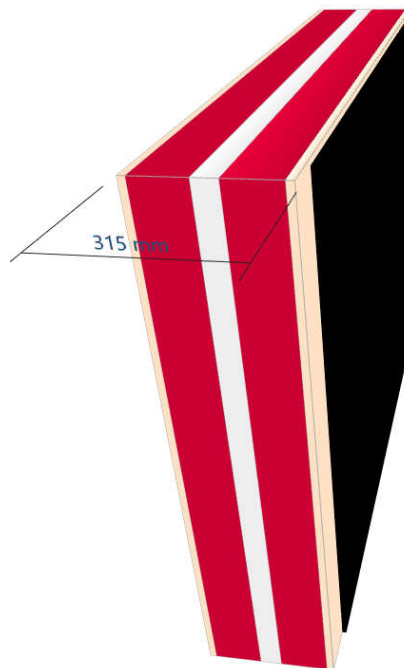
شکل ۳-۴۲ مدل دیوار دو جداره با فاصله هوایی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۳۰ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲,۵ سانتی متری

نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق به صورت زیر استخراج می‌شود.



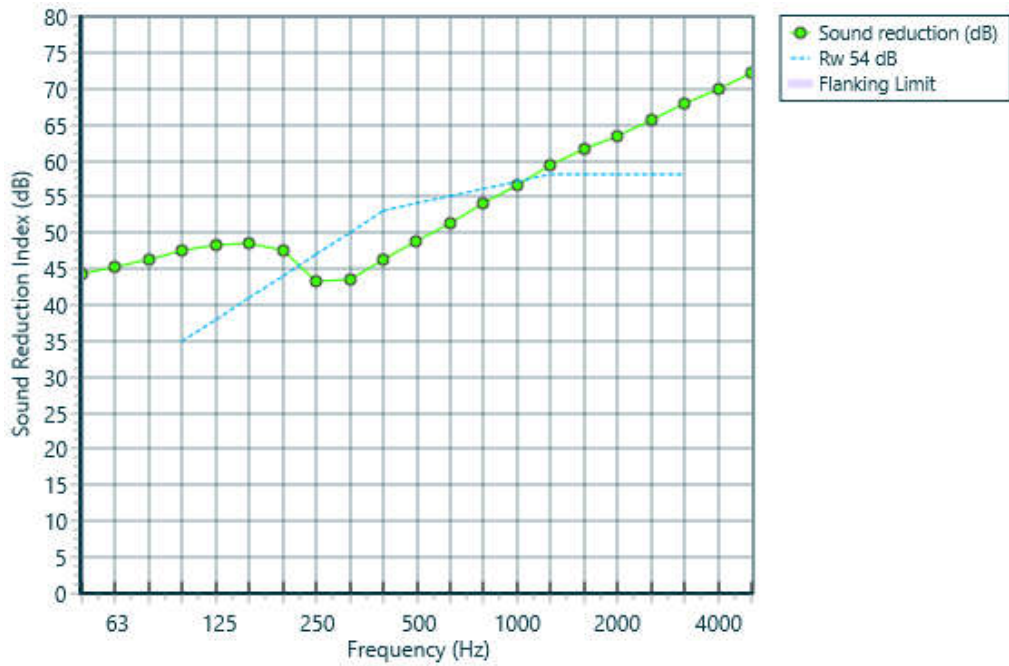
شکل ۳-۴۳ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار دو جداره با فاصله هوایی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۳۰ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲,۵ سانتی متری

همانطور که از نمودار مشخص است مقدار R_w به عدد ۵۵ دسی بل افزایش یافته است. سپس عایق ۱,۵ سانتی متری شبیه سازی می شود.



شکل ۳-۴۴ مدل دیوار دو جداره با فاصله هوایی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۳۰ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری

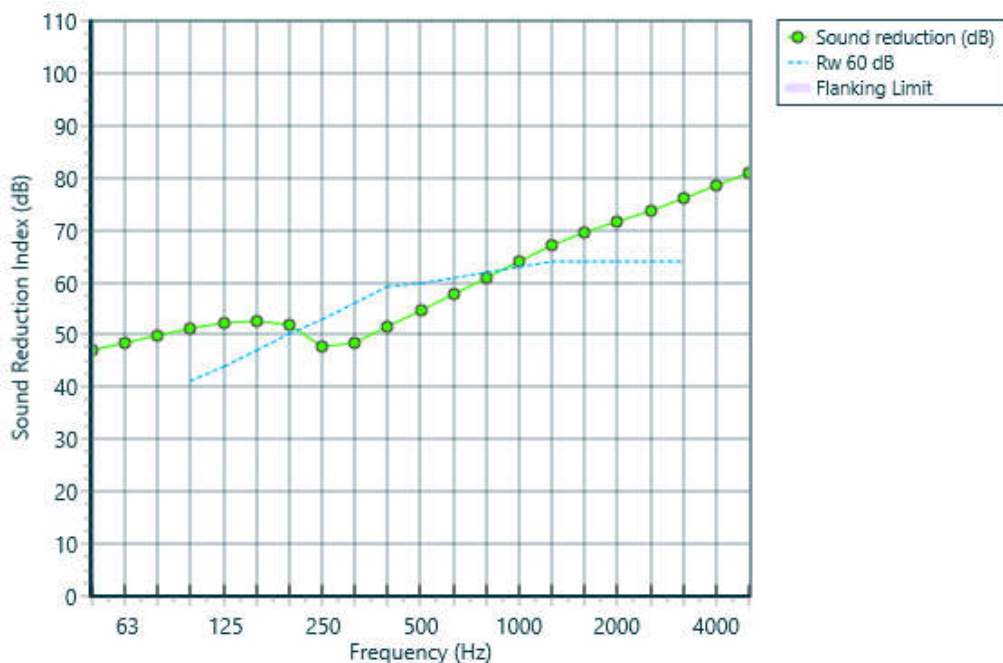
نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق به صورت زیر استخراج می شود.



شکل ۳-۴۵ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار دو جداره با فاصله هوایی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۳۰ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری

مقدار R_w برای عایق ۱,۵ سانتی متری برابر ۵۴ دسی بل می شود.

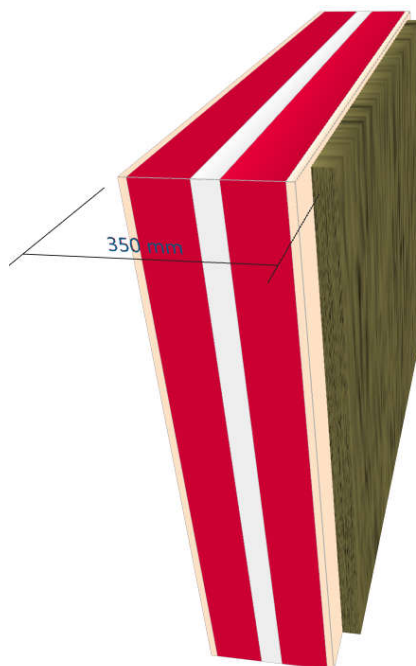
شبه سازی برای عایق ۵ سانتی متری نیز انجام می شود و نمودار شاخص کاهش صدا به صورت زیر قابل مشاهده است.



شکل ۳-۴۶ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار دو جداره با فاصله هوایی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۳۰ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری

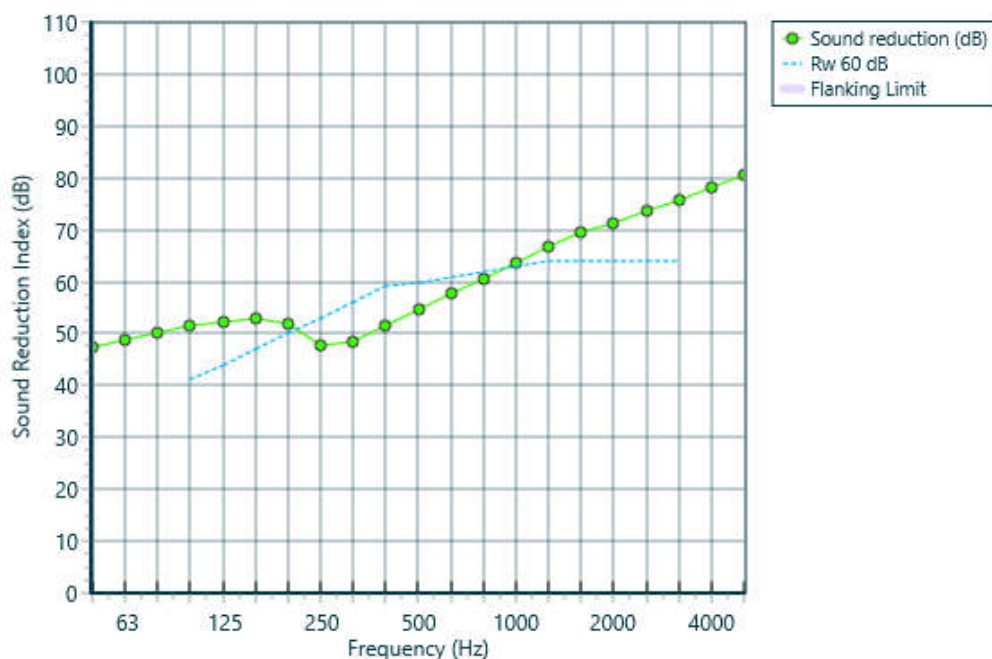
مقدار R_w برای ضخامت ۵ سانتی متری برابر ۶۰ دسی بل می شود.

همچنین دیوار فوق با عایق پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی متر و چگالی ۴۸ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان ۱۸۴۰۰ rayl/m نیز مورد شبیه سازی قرار گرفته و نتایج مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل ۳-۴۷ مدل دیوار دو جداره با فاصله هوایی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۳۰ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری

نتایج برای این نوع عایق به صورت زیر است.

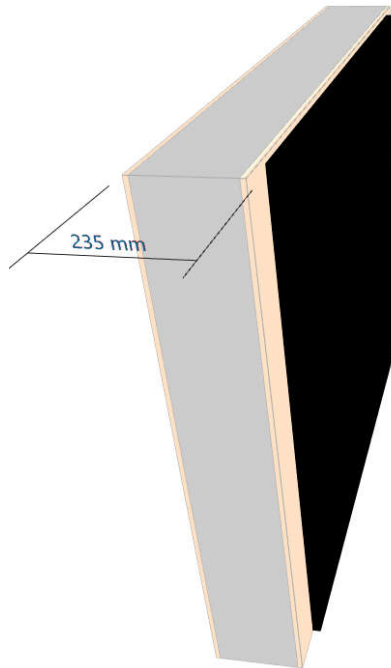


شکل ۳-۴۸ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار دو جداره با فاصله هوایی همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۳۰ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری

Rw در این نوع عایق برابر ۶۰ دسی بل می شود.

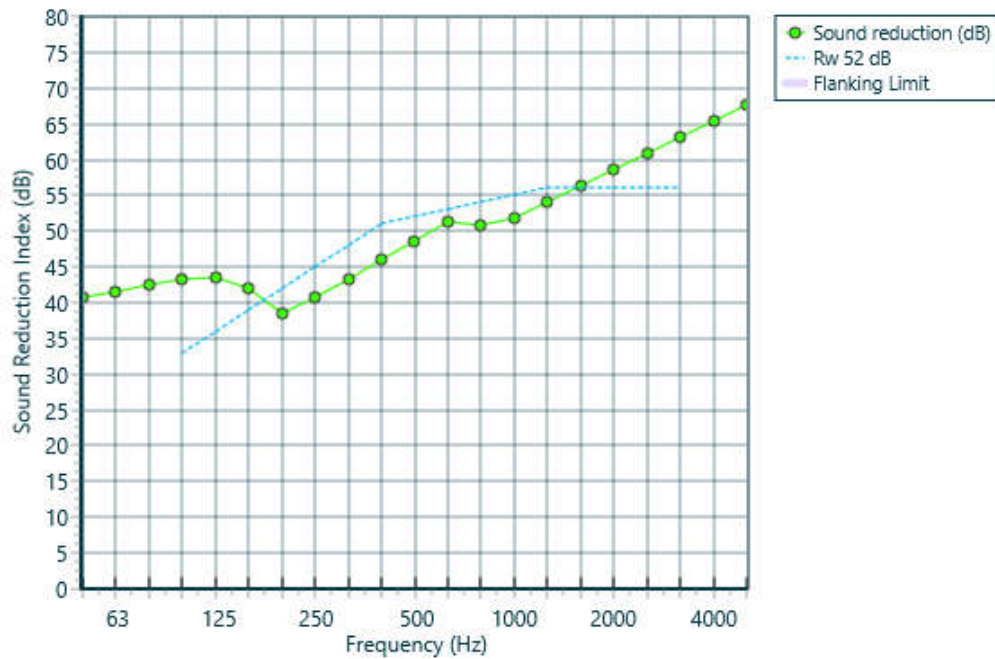
۳-۲-۶ دیوار بلوک تو خالی (ضخامت ۲۱)

دیوار با بلوک تو خالی از بتن سبک به ضخامت ۱۹ سانتیمتر، دو رو اندود با گچ به ضخامت ۱ سانتیمتر به صورتی که تو ضیح داده شد مدل می شود. سپس از قسمت Frame عایق صوتی از قسمت Absorption اضافه می شود. عایق صوتی ۵، ۲،۵ و ۱،۵ سانتی متری با چگالی ۳۶ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان به ترتیب ۱۸۹۱۶، ۱۳۴۹۸ و ۱۴۰۹۱ rayl/m مورد استفاده قرار می گیرد [۱۱].
ابتدا عایق ۲،۵ سانتی متری شبیه سازی می شود.

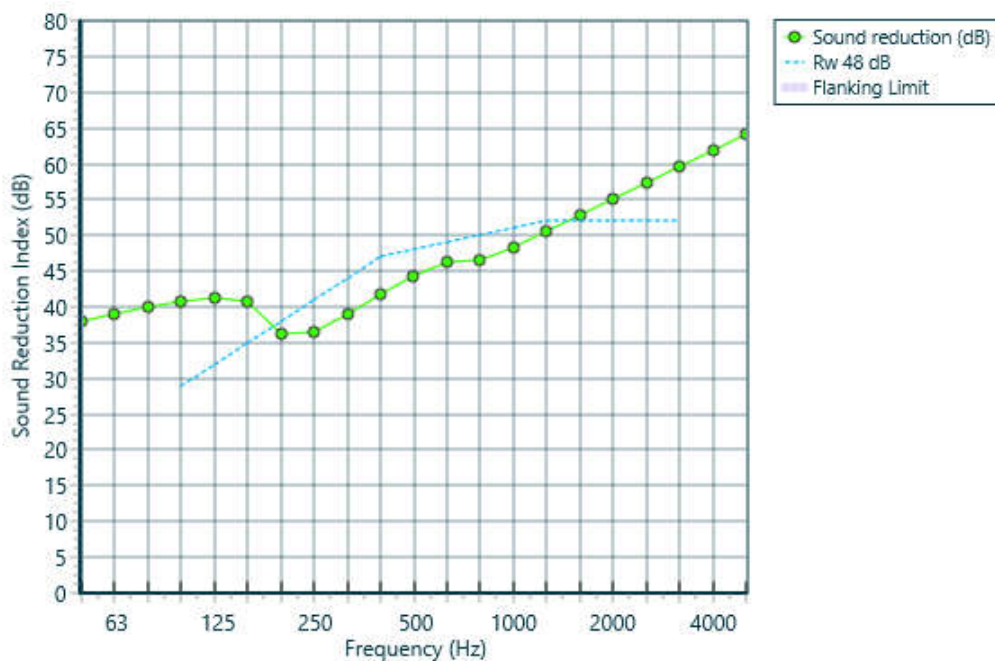


شکل ۳-۴۹ مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲،۵ سانتی متری

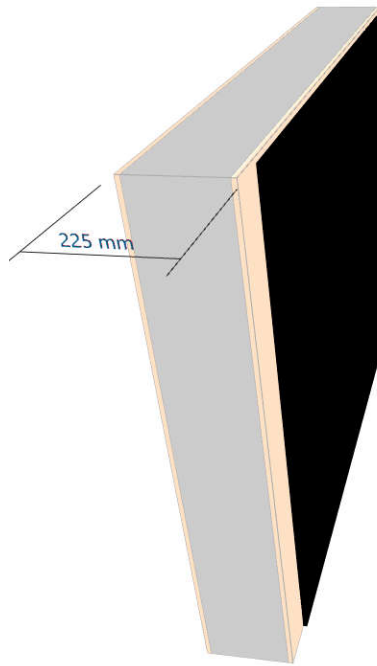
نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق برای چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب به صورت زیر استخراج می شود.



شکل ۳-۵۰ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک با چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲٫۵ سانتی متری همچنین برای چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب نیز نتایج در نمودار زیر قابل مشاهده است.

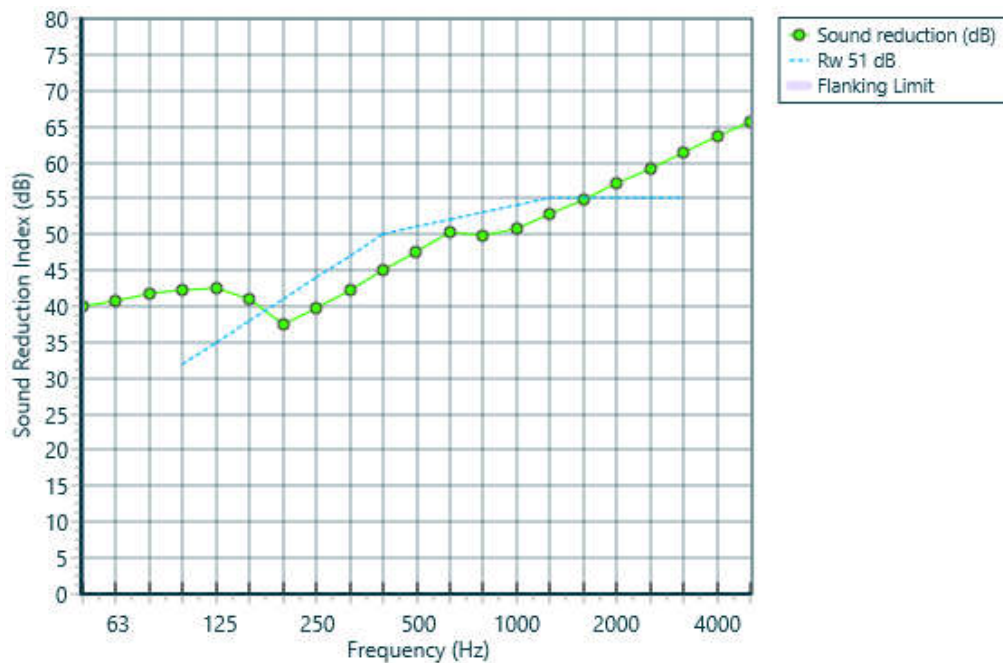


شکل ۳-۵۱ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک با چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲٫۵ سانتی متری همانطور که از نمودار مشخص است مقدار R_w برای چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب به عدد ۵۲ دسی بل و برای چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب به عدد ۴۸ دسی بل افزایش یافته است. سپس عایق ۱٫۵ سانتی متری شبیه سازی می شود.



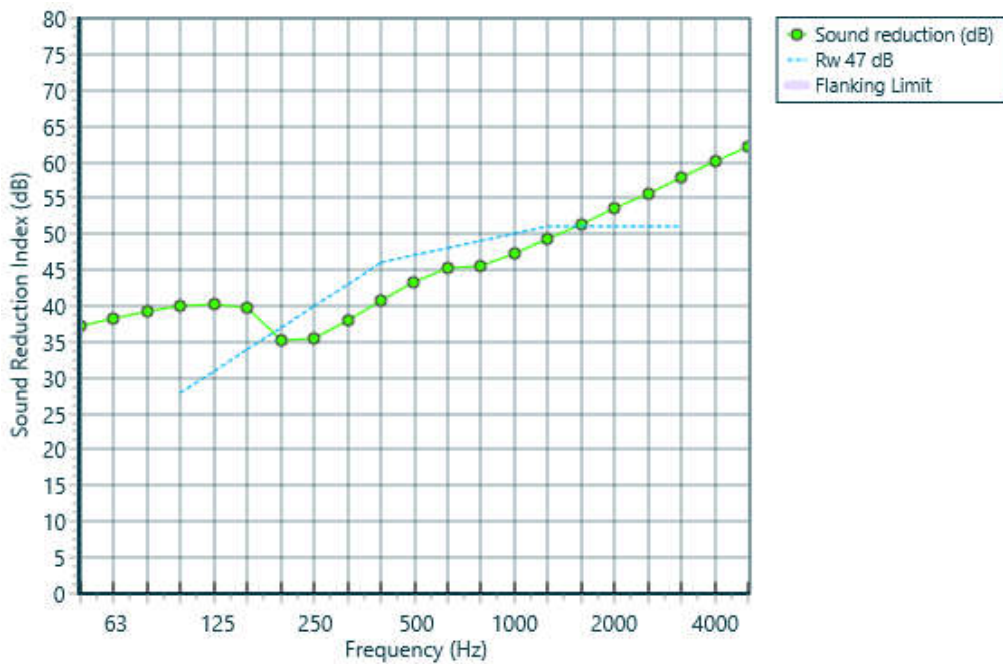
شکل ۳-۵۲ مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری

نمودار شبیه سازی شده برای عایق فوق برای چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب به صورت زیر استخراج می شود.



شکل ۳-۵۳ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک با چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری

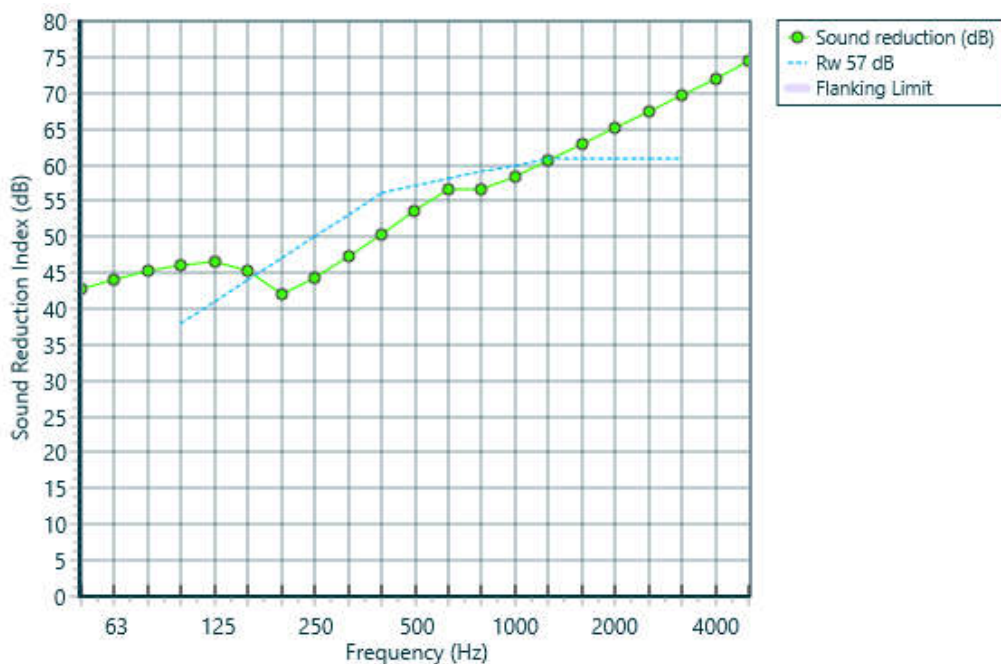
همچنین نمودار برای چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب به صورت زیر است.



شکل ۳-۵۴ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک با چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری

مقدار R_w برای عایق ۱,۵ سانتی متری برای چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر ۵۱ دسی بل و برای چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر ۴۷ دسی بل می شود.

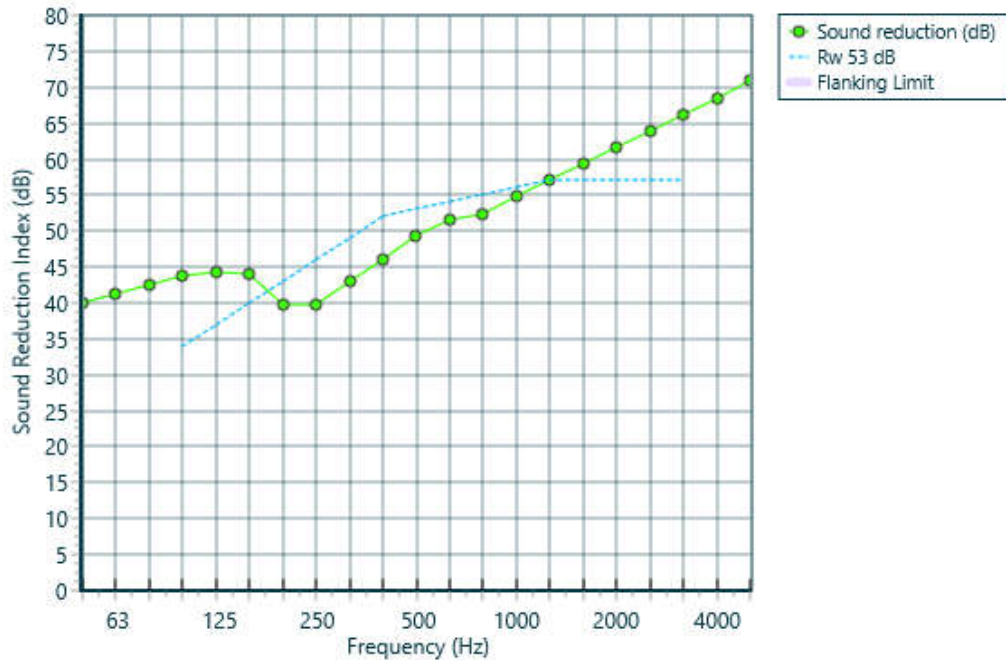
شبه سازی برای عایق ۵ سانتی متری نیز انجام می شود و نمودار شاخص کاهش صدا برای چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب به صورت زیر قابل مشاهده است.



شکل ۳-۵۵ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک با چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری

مقدار R_w برای ضخامت ۵ سانتی متری برابر ۵۷ دسی بل می شود.

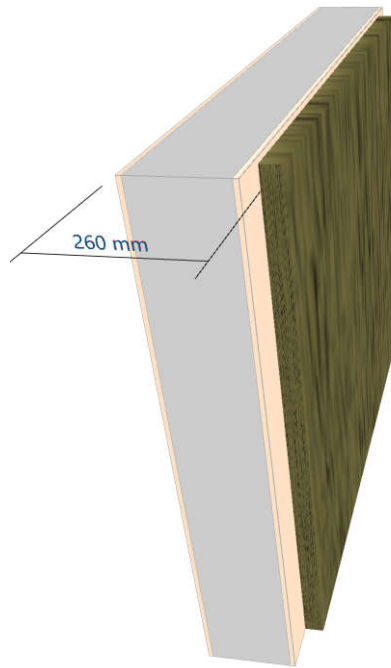
شبیه سازی برای عایق ۵ سانتی متری نیز انجام می شود و نمودار شاخص کاهش صدا برای چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب به صورت زیر قابل مشاهده است.



شکل ۳-۵۶ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک با چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری

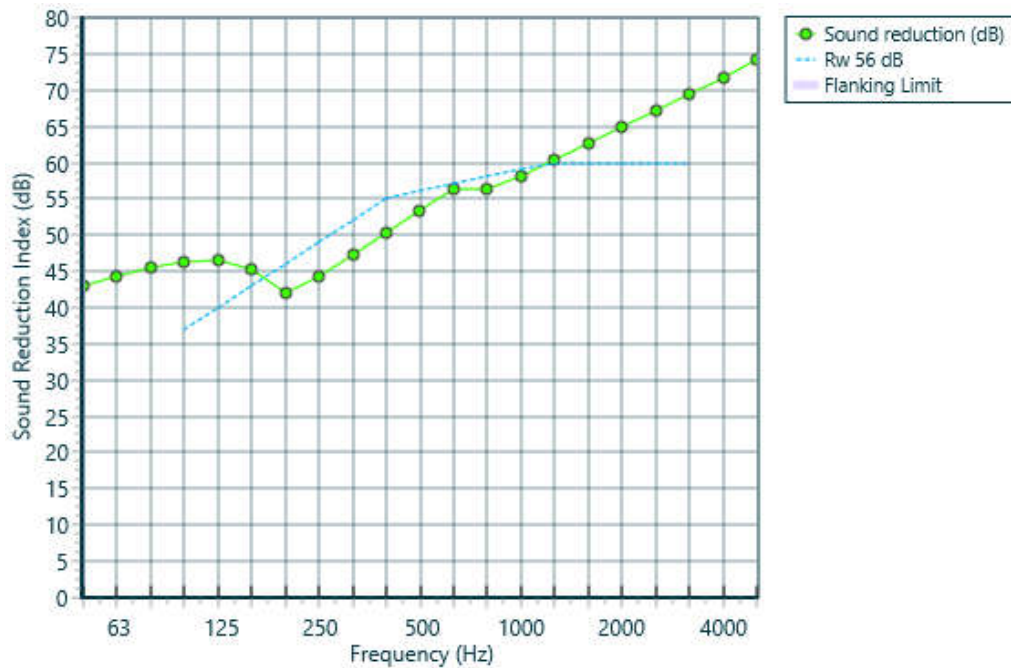
مقدار R_w برای ضخامت ۵ سانتی متری برابر ۵۳ دسی بل می شود.

همچنین دیوار فوق با عایق پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی متر و چگالی ۴۸ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت جریان ۱۸۴۰۰ rayl/m نیز مورد شبیه سازی قرار گرفته و نتایج مورد بررسی قرار می گیرد.



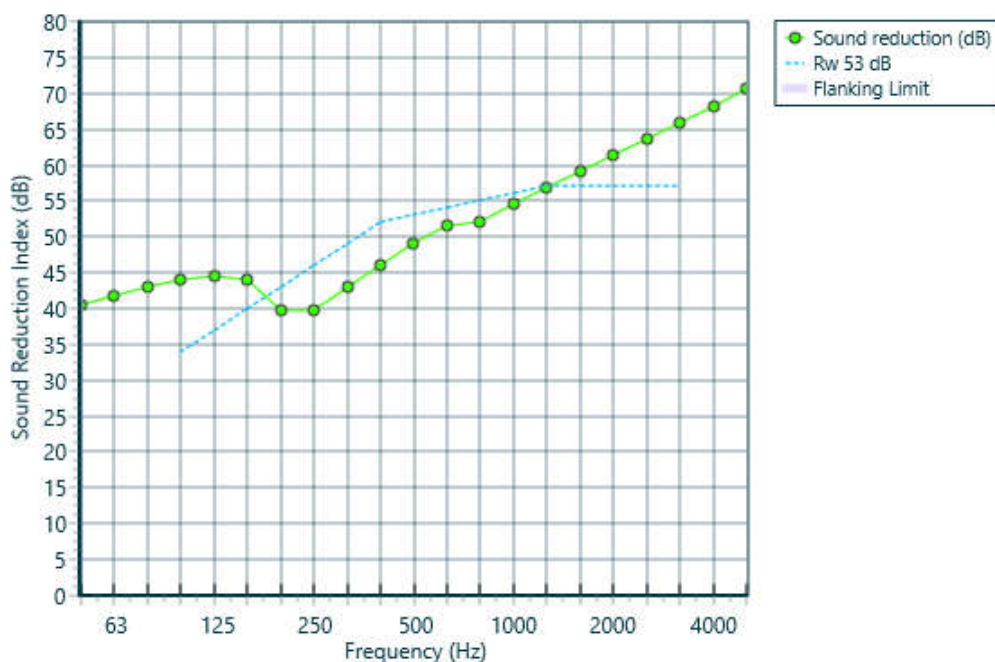
شکل ۳-۵۷ مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری

نتایج برای این نوع عایق و برای چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب به صورت زیر است.



شکل ۳-۵۸ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک با چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری

همچنین نتایج عایق پشم سنگ برای چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب نیز به صورت زیر است.



شکل ۳-۵۹ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل دیوار بلوک تو خالی از بتن سبک با چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب همراه با دو لایه گچ با ضخامت کلی ۲۱ سانتی متر همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری

R_w در این نوع عایق برای چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر ۵۶ دسی بل و برای چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب برابر ۵۳ دسی بل می‌شود.

۳-۳ لوله

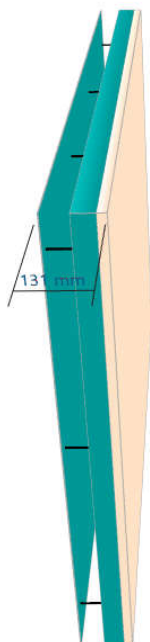
یکی از قسمت‌هایی که در ساختمان می‌تواند با ایجاد صدا باعث مختل نمودن آسایش شود لوله‌های رایزر داخل داکت و سیفون‌های سرویس بهداشتی داخل سقف است. در این لوله‌ها تخلیه ناگهانی آب باعث تولید صدا می‌شود. به همین منظور در این بخش به شبیه سازی یک لوله PVC با ضخامت ۱ میلی متر و بررسی تاثیر عایق بر نمودار شاخص کاهش صدا پرداخته می‌شود. لوله و عایق به صورت دیوار با پیش فرض‌های قسمت پیشین تقریب زده شده و طراحی می‌شود. سپس با ایجاد یک فاصله، دیوار روی کار مدل می‌شود. برای دیواره روی لوله از دو نوع دیوار استفاده می‌شود. یکی یک لایه گچ ۲ سانتی متری و دیگری یک دیوار آجر سفالی ۵ سانتی متری و یک لایه گچ ۲ سانتی متری. لوله PVC با چگالی 1400 Kg/m^3 ، مدوا الاستیسیته ۳,۰۳۴ گیگاپاسکال و ضریب دمپینگ ۰,۰۱ تعریف می‌شود [۱۲] و برای عایق شانه تخم مرغی، دیوار سفالی و گچی از ضرایبی که در بخش پیشین استفاده شد، استفاده می‌شود. برای مدل سازی از پنل دوپل با فاصله بین دو قسمت ۶ سانتی متری و قاب از جنس Mansory>Point Connection با مشخصات زیر استفاده می‌شود.

Frame Material	Frame Type	Frame Parameters
All	Butterfly Tie	Cavity Width 60.00 (mm)
Masonry	Butterfly Tie (UK)	Stud Spacing 500.0 (mm)
Metal	Ligaduras Pared	Stud Width 45.00 (mm)
Timber	Point Connection	Stud Depth 60.00 (mm)
	Line Connection	<input checked="" type="checkbox"/> Keep cavity width constant
	Liaison ponctuelle	

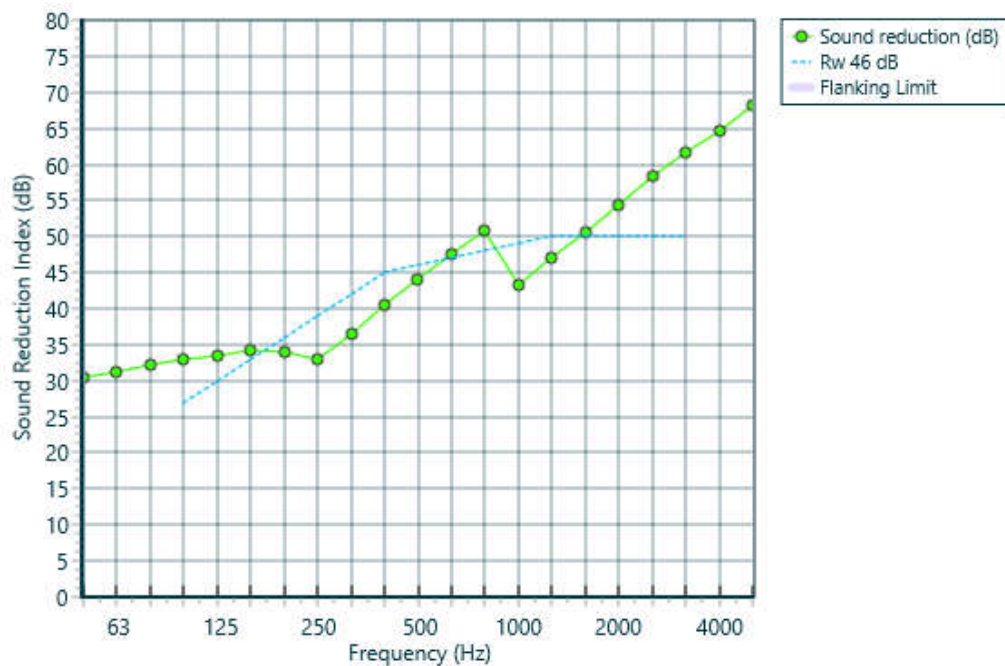
شکل ۳-۶۰ تنظیمات مربوط به قسمت قاب

۳-۱-۳ دیوار آجر سفالی همراه با لایه گچ

نمودار شاخص کاهش صدا برای حالت بدون عایق برای دیوار آجر سفالی با لایه گچ به صورت زیر استخراج می‌شود.



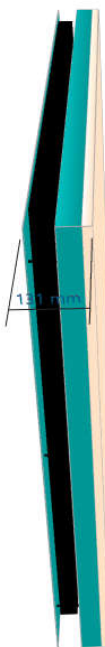
شکل ۳-۶۱ مدل لوله PVC با دیوار آجر سفالی با لایه گچ



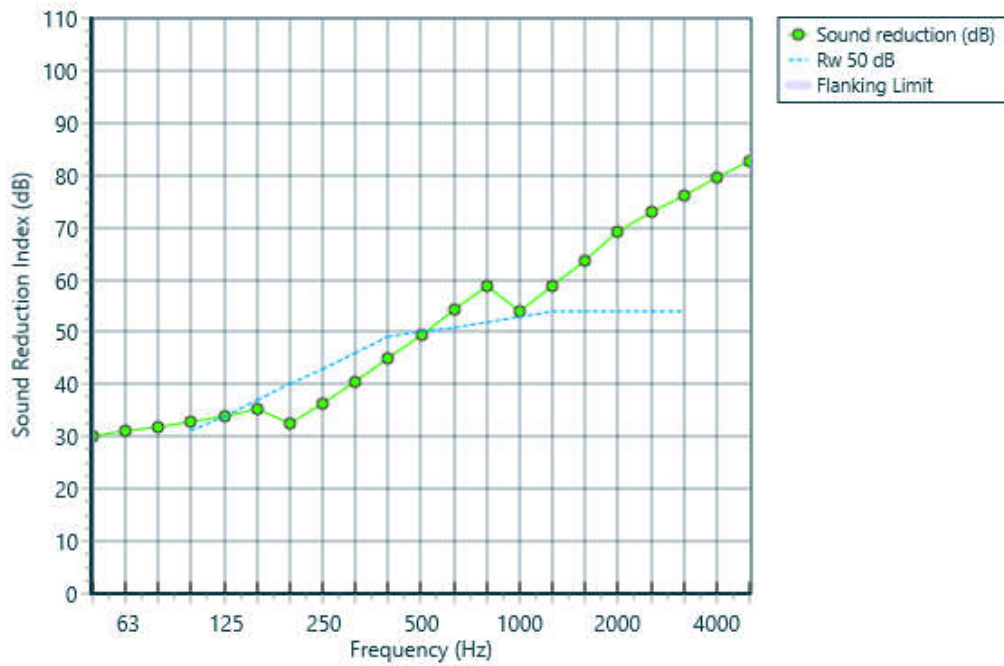
شکل ۳-۶۲ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل لوله PVC با دیوار آجر سفالی با لایه گچ

مقدار R_w برابر ۴۶ دسی بل می شود.

سپس همراه با عایق ۵ سانتی متری شبیه سازی می شود. نتایج نمودار شاخص کاهش صدا برای عایق با ضخامت ۵ سانتی متری به صورت زیر قابل مشاهده است.



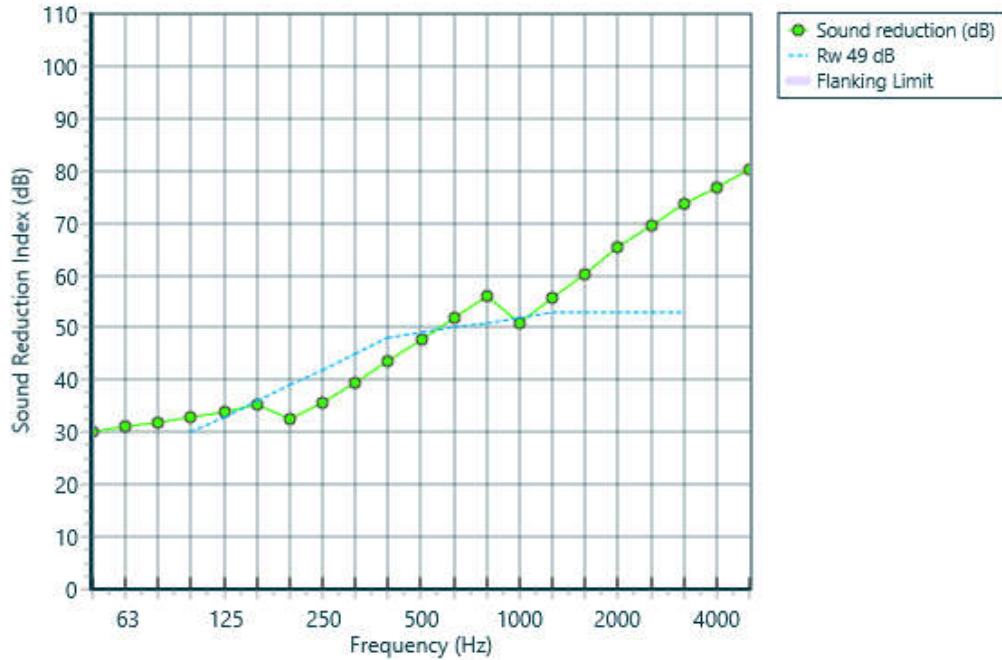
شکل ۳-۶۳ مدل لوله PVC همراه با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری با دیوار آجر سفالی با لایه گچ



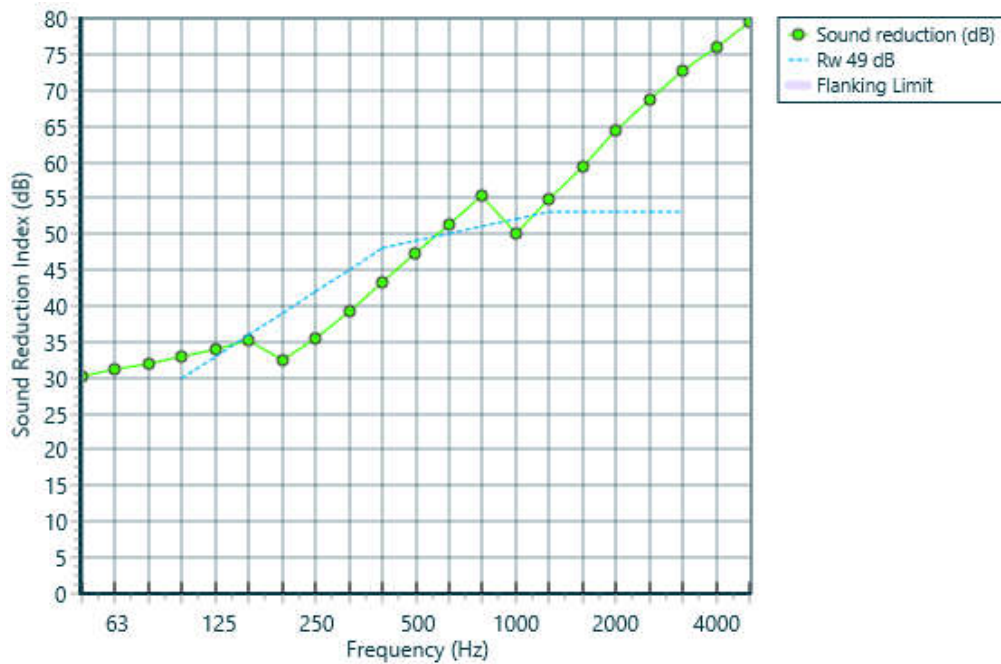
شکل ۳-۶۴ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل لوله PVC همراه با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری با دیوار آجر سفالی با لایه گچ

مقدار R_w به عدد ۵۰ دسی بل افزایش یافته است.

برای عایق ۲٫۵ و ۱٫۵ سانتی متری نتایج به صورت زیر به دست می آید.



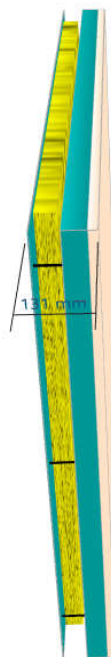
شکل ۳-۶۵ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل لوله PVC همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲٫۵ سانتی متری با دیوار آجر سفالی با لایه گچ



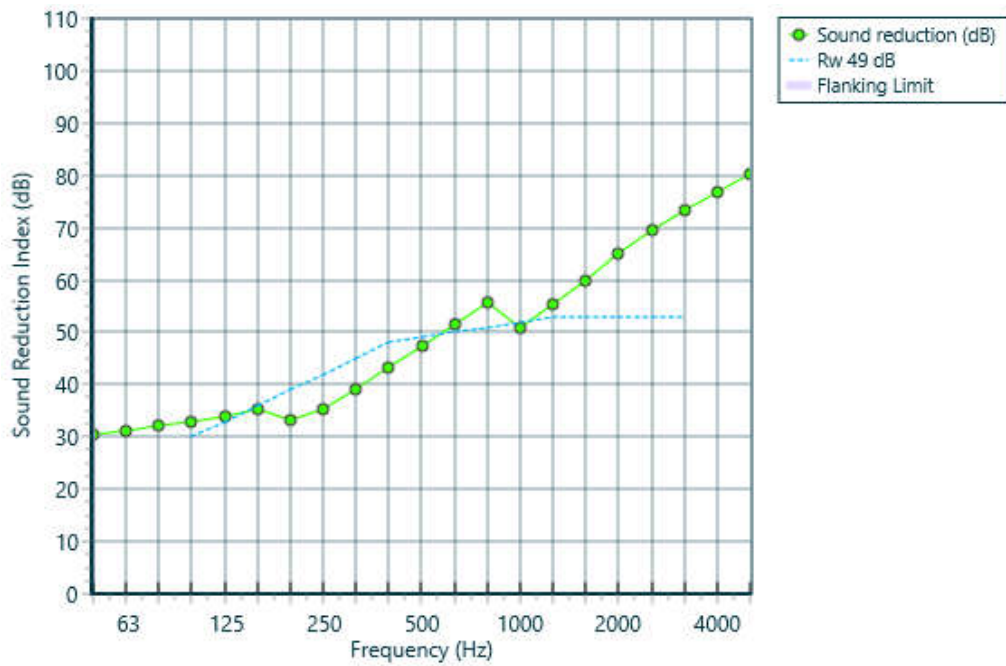
شکل ۳-۶۶ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل لوله PVC همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری با دیوار آجر سفالی با لایه گچ

مقدار R_w به ترتیب برای عایق ۲,۵ و ۱,۵ سانتی متری نزدیک یکدیگر و برابر ۴۹ دسی بل به دست می‌آید.

عایق دیگری که مورد بررسی قرار می‌گیرد پشم شیشه است. از داخل کتابخانه نرم افزار و در قسمت مربوط به جاذب‌ها، عایق پشم شیشه شرکت Lana de vidrio با ضخامت ۵ سانتی متر انتخاب می‌شود. نتیجه برای این عایق نیز به صورت زیر به دست می‌آید.



شکل ۳-۶۷ مدل لوله PVC همراه با عایق پشم شیشه ۵ سانتی متری با دیوار آجر سفالی با لایه گچ

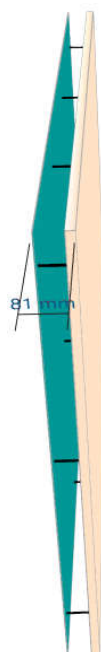


شکل ۳-۶۸ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل لوله PVC همراه با عایق پشم شیشه ۵ سانتی متری با دیوار آجر سفالی با لایه گچ

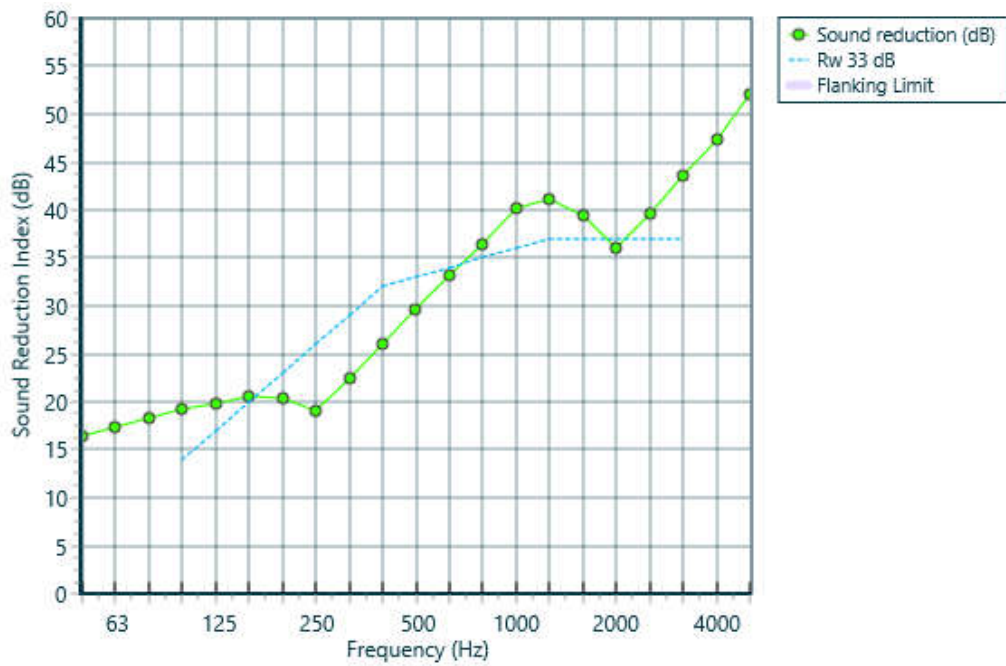
همانطور که در نمودار قابل مشاهده است، مقدار R_w عدد ۴۹ دسی بل به دست می‌آید.

۳-۲ دیواره گچ

برای حالتی که تنها یک لایه گچ ۲ سانتی متری بر روی کار قرار می‌گیرد نمودار شاخص کاهش صدا به صورت زیر قابل مشاهده است.



شکل ۳-۶۹ مدل لوله PVC با لایه گچ



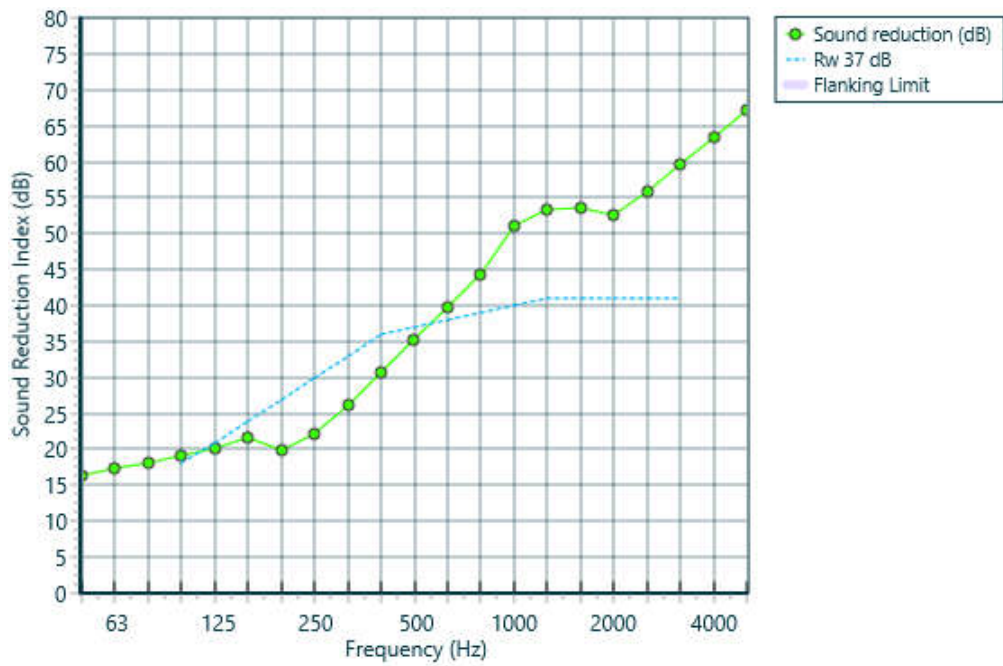
شکل ۳-۷۰ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل لوله PVC با لایه گچ

مقدار R_w برابر ۳۳ دسی بل می شود.

سپس همراه با عایق ۵ سانتی متری شبیه سازی می شود. نتایج نمودار شاخص کاهش صدا برای عایق با ضخامت ۵ سانتی متری به صورت زیر قابل مشاهده است.

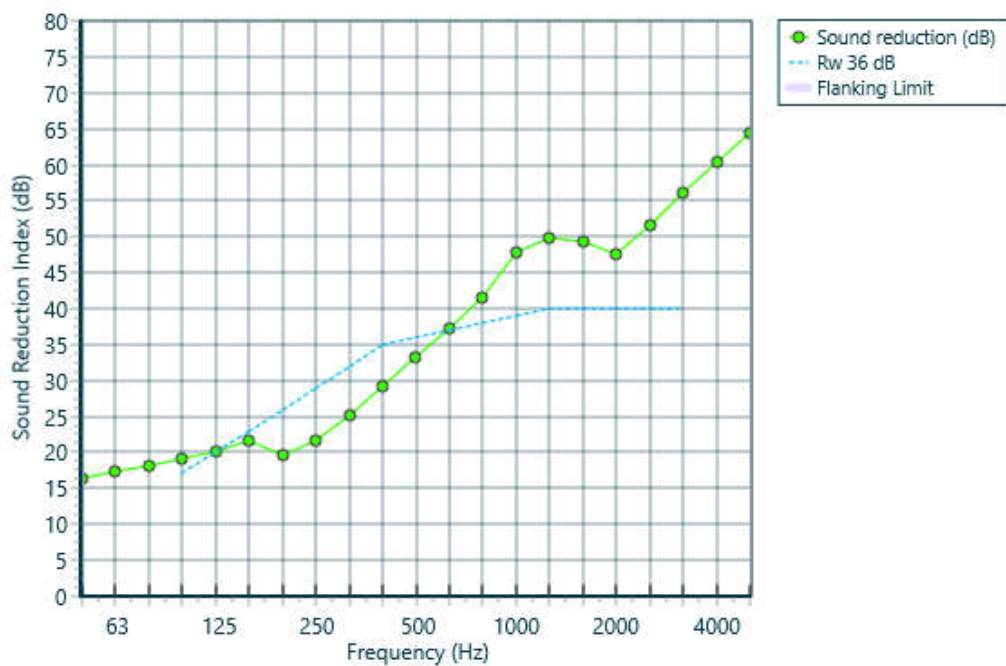


شکل ۳-۷۱ مدل لوله PVC همراه با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری با لایه گچ

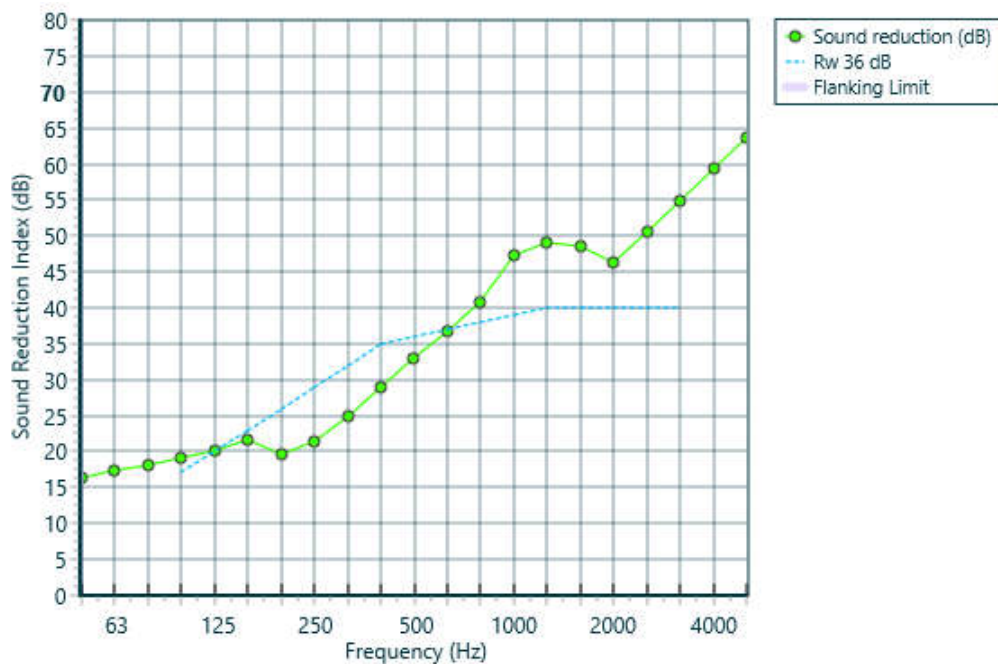


شکل ۳-۷۲ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل لوله PVC همراه با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری با لایه گچ مقدار R_w به عدد ۳۷ دسی بل افزایش یافته است.

برای عایق ۲,۵ و ۱,۵ سانتی متری نتایج به صورت زیر به دست می‌آید.

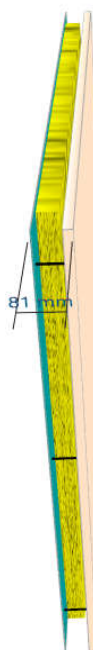


شکل ۳-۷۳ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل لوله PVC همراه با عایق شانه تخم مرغی ۲,۵ سانتی متری با لایه گچ

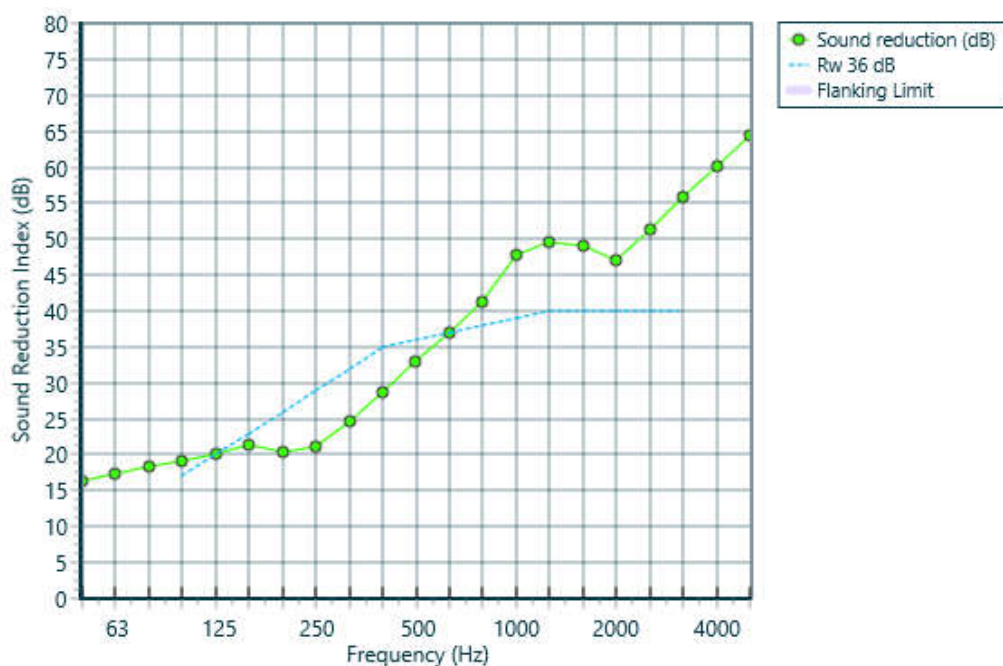


شکل ۳-۷۴ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل لوله PVC همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری با لایه گچ مقدار R_w به ترتیب برای عایق ۲,۵ و ۱,۵ سانتی متری نزدیک یکدیگر و برابر ۳۶ دسی بل به دست می آید.

عایق دیگری که مورد بررسی قرار می گیرد پشم شیشه است. از داخل کتابخانه نرم افزار و در قسمت مربوط به جاذبها، عایق پشم شیشه شرکت Lana de vidrio با ضخامت ۵ سانتی متر انتخاب می شود. نتیجه برای این عایق نیز به صورت زیر به دست می آید.



شکل ۳-۷۵ مدل لوله PVC همراه با عایق پشم شیشه ۵ سانتی متری با لایه گچ



شکل ۳-۷۶ نمودار شاخص کاهش صدا برای مدل لوله PVC همراه با عایق پشم شیشه ۵ سانتی متری با لایه گچ همانطور که در نمودار قابل مشاهده است، مقدار R_w عدد ۳۶ دسی بل به دست می‌آید.

۴ نتیجه گیری

نتایج استخراج شده از شبیه سازی برای لوله PVC در جدول زیر قابل مشاهده است.

جدول ۴-۱ نتایج استخراج شده از شبیه سازی برای لوله PVC

R_w همراه با عایق (db)				R_w (db)	دیوار
عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری	عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری	عایق شانه تخم مرغی ۲,۵ سانتی متری	عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری		
۴۹	۵۰	۴۹	۴۹	۴۶	دیوار آجر سفالی همراه با لایه گچ
۳۶	۳۷	۳۶	۳۶	۳۳	دیواره گچ

نتایج استخراج شده از شبیه سازی در جدول زیر قابل مشاهده است.

جدول ۴-۲ نتایج استخراج شده از شبیه سازی برای دیواره‌ها

R_w همراه با عایق (db)	R_w (db)	دیوار
--------------------------	------------	-------

عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری	عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری	عایق شانه تخم مرغی ۲,۵ سانتی متری	عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری		
۵۴	۵۴	۴۹	۴۸	۴۶	دیوار آجر فشاری (ضخامت ۱۵ سانتی متر)
۶۲	۶۲	۵۸	۵۷	۵۵	دیوار آجر فشاری (ضخامت ۲۶ سانتی متر)
۵۱	۵۲	۴۶	۴۵	۴۳	دیوار آجر سفالی (ضخامت ۱۲ سانتی متر)
۵۵	۵۵	۵۰	۴۹	۴۷	دیوار آجر سفالی (ضخامت ۲۱ سانتی متر)
۶۰	۶۰	۵۵	۵۴	۵۲	دیوار دو جداره (ضخامت ۳۰ سانتی متر)
۵۳	۵۳	۴۸	۴۷	۴۵	دیوار بلوک تو خالی (ضخامت ۲۱ سانتی متر و چگالی 900 Kg/m^3)
۵۶	۵۷	۵۲	۵۱	۴۹	دیوار بلوک تو خالی (ضخامت ۲۱ سانتی متر و چگالی 1250 Kg/m^3)

با توجه به مقدار R_w کاربری مسکونی در مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان برای دیوار جدا کننده بین دو واحد مجاور (و دیوار جدا کننده بین فضاهای تاسیساتی و واحد مسکونی) که برابر ۵۰ دسی بل می باشد، نتایج زیر را می توان گرفت:

- دیوار آجر فشاری ۱۵ سانتی متری بدون عایق و همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ یا ۲,۵ سانتی متری به عنوان دیوار جداکننده مناسب نبوده و با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری یا پشم سنگ ۵ سانتی متری مناسب می باشد.
- دیوار آجر فشاری ۲۶ سانتی متری بدون عایق، همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ یا ۲,۵ یا ۵ سانتی متری و یا عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری به عنوان دیوار جداکننده مناسب می باشد.
- دیوار آجر سفالی ۱۲ سانتی متری بدون عایق و همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ یا ۲,۵ سانتی متری به عنوان دیوار جداکننده مناسب نبوده و با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری یا پشم سنگ ۵ سانتی متری مناسب می باشد.

- دیوار آجر سفالی ۲۱ سانتی متری بدون عایق و همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ سانتی متری به عنوان دیوار جداکننده مناسب نمی باشد اما دیوار فوق همراه عایق شانه تخم مرغی ۲,۵ یا ۵ سانتی متری یا همراه با عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری به منظور دیوار جدا کننده مناسب است.
- دیوار دو جداره ۳۰ سانتی متری بدون عایق، همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ یا ۲,۵ یا ۵ سانتی متری و یا عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری به عنوان دیوار جداکننده مناسب می باشد.
- دیوار بلوک تو خالی ۲۱ سانتی متری با چگالی ۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بدون عایق و همراه با عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ یا ۲,۵ سانتی متری به عنوان دیوار جداکننده مناسب نبوده و با عایق شانه تخم مرغی ۵ سانتی متری یا عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری مناسب می باشد.
- دیوار بلوک تو خالی ۲۱ سانتی متری با چگالی ۱۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب بدون عایق به عنوان دیوار جداکننده مناسب نبوده اما به همراه عایق شانه تخم مرغی ۱,۵ یا ۲,۵ یا ۵ سانتی متری و یا عایق پشم سنگ ۵ سانتی متری مناسب می باشد.

۵ مراجع

- [1] acgih.ir
- [2] sotemaneli.com
- [3] sakhtemoon.com
- [4] afkarnews.com
- [5] sakhtemanchi.com
- [6] iranpu.com
- [7] iranapars.com
- [8] sazeafzar.com
- [۹] مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۰
- [۱۰] استاندارد ملی ایران ۳-۸۵۶۸-۱۰

- [11] P. S. S. J. a. N. K. M.P. Joshi, “A Comparative Study on Flow Resistivity for Different Polyurethane Foam Samples,” *Journal of Acoustical Society of India* , Vol 38, pp. 153-157, 2011.
- [12] NAPCO PVC Pipe Technical Bulletin
- [13] buildingplus.ir
- [14] soundacoustics.com.au
- [15] swamp.net.au

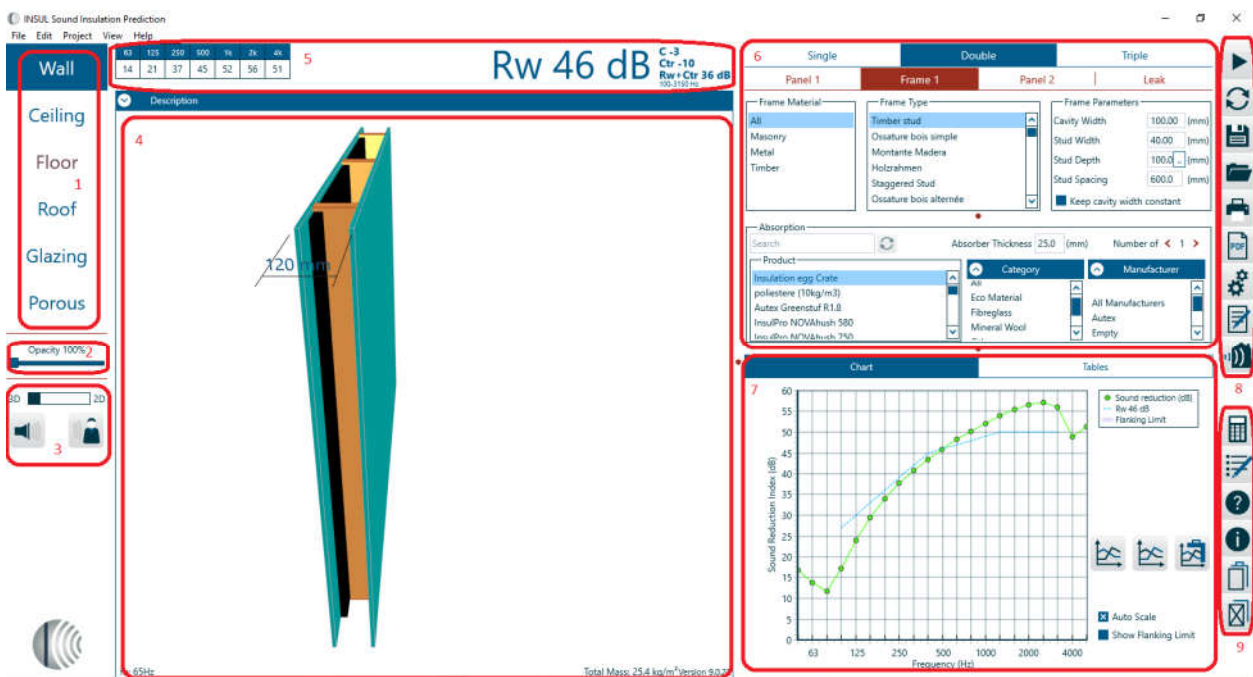
۶ پیوست

۱-۶ پیوست الف - نرم افزار اینسول

نرم افزار اینسول نرم افزاری است که در زمینه شبیه سازی آکوستیکی مورد استفاده قرار می گیرد. در زیر شرح مختصری جهت آشنایی با نرم افزار ارائه می شود.

۱-۱-۶ مدل سازی

پس از اجرای نرم افزار، صفحه های مطابق شکل زیر باز می شود.



شکل ۱-۶ محیط نرم افزار

با توجه به شماره گذاری انجام شده در تصویر فوق:

۱- انتخاب نوع دیواره:

در این قسمت نوع دیواره مورد تحلیل (دیوار، سقف، کف و ...) مشخص می شود.

۲- تنظیم میزان پرشدگی دیواره ها هنگام نمایش مدل

در این قسمت تنظیم نحوه نمایش مدل از توپر تا نمایش خطوط مرزی به صورت درصدی انجام

می شود.

۳- تنظیم نمایش سه بعدی یا دو بعدی دیواره، شنیدن میزان صوت قبل و بعد دیواره:

در این قسمت می‌توان نحوه نمایش مدل به صورت دو بعدی یا سه بعدی را تعیین نمود. همچنین دو آیکن موجود در پایین امکان شنیدن صدای قبل و بعد از دیوار مدل شده را می‌دهد.

۴- مدل طراحی شده:

در این قسمت مدل طراحی شده نمایش داده می‌شود.

۵- خروجی محاسبه شده برای مدل:

مشخصات آکوستیکی محاسبه شده برای مدل در این قسمت نمایش داده شده است. با کلیک بر روی این قسمت می‌توان این مقادیر را بر حسب STC نیز مشاهده نمود.

۶- انتخاب و ساخت مدل:

در این قسمت امکان انتخاب تعداد دیواره‌ها، جنس دیوار و ... به منظور ساخت مدل در اختیار کاربر قرار داده می‌شود.

۷- نمودار و جدول مقادیر خروجی:

نمودار شاخص کاهش صدای خروجی برای مدل در این قسمت قابل مشاهده است. همچنین می‌توان جدول مقادیر نمودار را نیز از قسمت Table مشاهده نمود.

۸- تنظیمات:

تنظیماتی نظیر ذخیره سازی، چاپ، تنظیمات نرم افزار، تعریف جنس جدید و ... در این قسمت قرار دارد.

۹- تنظیمات نمودار:

تنظیمات مربوط به نمودار در این قسمت قابل انجام است.

به منظور مدل سازی ابتدا از قسمت ۱ نوع دیواره (دیوار، سقف، کف و ...) انتخاب می‌شود. سپس از قسمت ۶ به منظور انتخاب دیوار استفاده می‌شود. ابتدا تعداد پنل‌ها انتخاب می‌شود. تک پنل، دو پنل و سه پنل قابل انتخاب است. سپس با توجه به گزینه انتخاب شده، پنل ۲ و قاب ۳ انتخاب شده و تنظیمات مربوط به نشتی ۴ انجام می‌شود. در قسمت پنل، می‌توان تعداد لایه‌ها و جنس، ضخامت و تعداد هر لایه را انتخاب نمود. ۶ لایه با جنس و ضخامت متفاوت می‌توان انتخاب نموده و در هر لایه می‌توان تعداد مورد نیاز از لایه انتخاب شده با ضخامت و جنس تعیین انتخاب شده را تعیین نمود. کادر موجود می‌توان در بین کتابخانه ماده‌های مختلف موجود جستجو نموده و از قسمت Thickness ضخامت لایه انتخابی را تعیین نمود. در

² Panel

³ Frame

⁴ Leackage

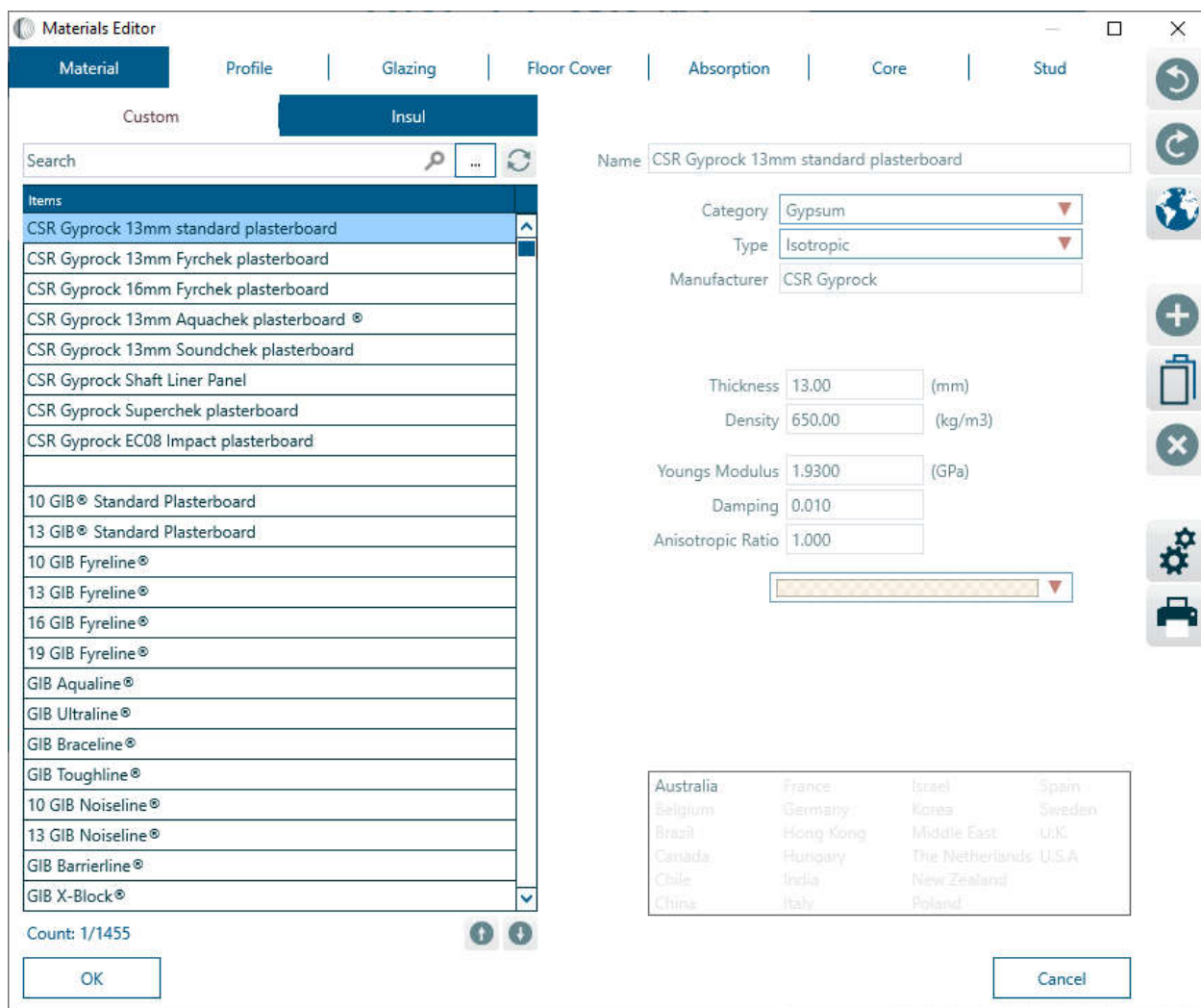
قسمت Number of تعداد لایه تعیین می شود. در قسمت Product جنس هر لایه از میان ماده‌های موجود انتخاب می شود. همچنین می توان جنس‌های موجود را در قسمت Category بر اساس نوع دسته بندی و در قسمت Manufacturer بر اساس شرکت سازنده دسته بندی نمود.

در قسمت قاب، می توان در قسمت Frame Material جنس قاب و در قسمت Frame Type نوع قاب را از میان انواع موجود انتخاب کرده و در قسمت Frame Parameter اندازه‌های قاب را تعیین نمود. سپس در قسمت Absorption در صورت وجود جاذب، مشابه قسمت پنل، جاذب را انتخاب نمود. در قسمت نشستی هم می توان تنظیمات مربوط به نشستی را انجام داد.

پس از ساخت مدل، نتایج نمودار شاخص کاهش صدا به فرکانس در قسمت ۷ قابل مشاهده است. همچنین می توان با استفاده از گزینه Set Comparison در کنار نمودار، بین دو یا سه مدل نمودار شاخص کاهش صدا را مقایسه نمود.

۶-۱-۲ تعریف جنس جدید

به منظور تعریف جنس جدید در نرم افزار اینسول، از قسمت ۸ گزینه Material Editor انتخاب می شود. پنجره‌ای مطابق شکل زیر باز می شود.



شکل ۶-۲ پنجره قسمت Material Editor

به منظور تعریف جنس جدید ابتدا نوع دسته بندی ماده مورد نظر انتخاب می شود. با توجه به نوع دسته بندی، ضرایب مورد نیاز برای تعریف جنس جدید تغییر می کند. پس از انتخاب نوع دسته بندی، سر برگ Custom در بالای لیست مواد انتخاب می شود. در قسمت سمت راست گزینه Add Item به منظور اضافه نمودن جنس جدید استفاده می شود. سپس در قسمت Category دسته بندی ماده، در قسمت Type بسته به نوع دسته بندی انتخاب شده، از میان گزینه های موجود گزینه مورد نظر انتخاب می شود. همچنین در صورت نیاز می توان شرکت سازنده ماده را نیز از قسمت Manufacturer انتخاب نمود. سپس در قسمت بعد ضرایب ماده که با توجه به نوع دسته بندی تعیین می شود، وارد می شود. در نوار رنگی نیز می توان رنگ ماده جهت نمایش در هنگام نمایش مدل انتخاب نمود. در کادر پایین صفحه که نام کشورها در آن قابل مشاهده است می توان کشورهایی که این جنس در آنجا موجود است و استفاده می شود را انتخاب نمود.

۲-۶ پیوست ب- نحوه اجرای عایق صوتی فوم آکوستیک

قبل از اجرای عایق صوتی تمامی منافذ ورود و خروج هوا که قابلیت انتقال صوت را دارند باید بسته شوند. این فوم‌ها می‌توانند در قسمت مورد نیاز و یا کل سطح اجرا شوند. مراحل اجرای عایق صوتی پنل آکوستیک در ادامه آمده است [۱۳].

۶-۲-۱ اندازه‌گیری دقیق

ابتدا سطح باید با یک پارچه خشک تمیز شود. در ادامه، برای نصب فوم‌های پنل آکوستیک، باید دیوار، سقف و یا کفی که قرار است عایق کاری شود را به طور کامل و دقیق اندازه‌گیری نمود. اندازه کلی و عرض و ارتفاع سطح مورد نظر باید اندازه‌گیری شود تا میزان فوم آکوستیک مورد نیاز برای کار تعیین شود [۱۳].

۶-۲-۲ برش مقوا و فوم پنل آکوستیک

بر اساس ابعاد اندازه‌گیری شده اتاق، فوم آکوستیک باید برش داده شود. برای سهولت در نصب، هر سمت از دیوار و یا سقف باید با توجه به ابعاد تقسیم بندی و تعداد پنل‌های مورد نیاز در آن محاسبه گردد و بر اساس آن فوم عایق صوتی برش داده شود. برای سهولت در حمل و نقل، پنل‌های آکوستیک برش داده شده را به زیر لایه‌های مقوایی و یا چوبی اتصال می‌دهند. این امر علاوه بر امکان اتصال پنل آکوستیک به دیوار، قابلیت جابجایی و انتقال آسان آن‌ها را، در صورت لزوم، فراهم می‌کند. از این رو فوم آکوستیک دارای نصب آسان، بدون آسیب رساندن به دیوار است. هنگام برش فوم آکوستیک باید از عینک ایمنی و ماسک استفاده شود و با استفاده از چاقوی الکتریکی برش بر اساس اندازه‌های تعیین شده انجام گیرد [۱۳].

۶-۲-۳ چسباندن پنل آکوستیک به پنل مقوایی

با استفاده از چسب و یا به کار بردن تعداد زیادی میخ یا پونز، اتصال پنل آکوستیک به پنل مقوایی انجام می‌شود. میخ فوم به طور خاص برای محصولات و مشتقات فوم و سایر عملکردهای عایق صدا استفاده می‌شود. این میخ‌ها به منظور جلوگیری از افتادن و یا خم شدن و شکم دادگی فوم به کار می‌روند. برای اتصال فوم به مقوا توسط چسب، باید از مقدار زیادی از چسب استفاده شود. بر خلاف میخ، چسب باید به تمام قسمت پشت پنل آکوستیک آغشته و اسپری شود. در صورت استفاده از چسب، تنها در قسمت‌های لبه فوم احتمال سقوط آن وجود دارد. حداقل ۲ ساعت قبل از شروع اتصال پنل‌ها به دیوار باید چسب زنی تمام شود تا به چسب فرصت کافی برای خشک شدن داده شود [۱۳].

۶-۲-۴ اتصال پنل آکوستیک به سطح

با استفاده از چکش و میخ، اسپری چسب و یا چسب دو طرفه، باید هر پنل را به سطح سخت مورد نظر متصل کرد. برای ایجاد امکان حذف پنل‌ها و یا جایجایی آن‌ها در آینده و سهولت کار، باید تنها نقاط گوشه پنل‌ها را به دیوار و هر سطح سخت عایق شونده متصل کرد. عملیات اتصال از گوشه پایین و یا بالا شروع شده و ادامه می‌یابد. در صورت نیاز به قطعه کوچکتر و برش پنل‌ها می‌توان از تیغه برش الکتریکی استفاده کرد. در صورت نیاز به درزگیری در قسمت‌های دیگر اتاق مانند در و پنجره، با استفاده از درزگیر آکوستیک عایق کاری صورت می‌گیرد. بعد از اتمام عملیات اجرای عایق صوتی و برای اطمینان از درست چسباندن فوم‌ها و نداشتن فاصله از سطح، می‌توان ویژگی‌های عایق صدا را مورد آزمایش قرار داد [۱۳].

۶-۲-۵ ملاحظات اجرای عایق صوتی

در نصب فوم پنل آکوستیک و به طور کلی اجرای عایق صوتی، باید از تماس کامل عایق صوتی با دیوار، سقف و یا کف زیرین و پر کردن شکاف‌ها، سوراخ‌ها و درزهای عبور دهنده جریان صدا اطمینان حاصل شود. برای اجرای عایق صوتی در اطراف باکس‌ها و جعبه‌های الکتریکی، لوله‌ها و موانع دیگر باید از ابزار برش مناسب استفاده کرد. همچنین اطمینان خاطر از خشک بودن پوشش عایق صدا در کلیه مراحل نگهداری تا اجرای عایق صوتی الزامی است [۱۳].



شکل ۶-۳ استفاده از منگنه برای نصب فوم آکوستیک [۱۴]



شکل ۴-۶ استفاده از چسب برای نصب فوم آکوستیک [۱۵]