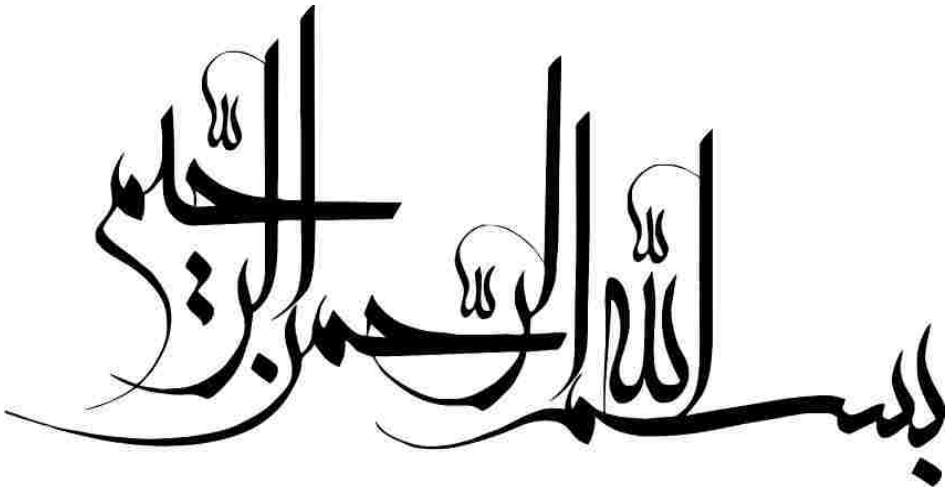

بسم الله الرحمن الرحيم

جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

بررسی عملکرد آکوستیکی تعدادی از جداکننده‌های متداول و نوین در ساختمان‌ها

مجری: محمدجعفر هدایتی

همکاران: آزاده رئیسیان

نادیا هرم‌وند

شماره نشر: گ - ۸۰۲

چاپ اول: ۱۳۹۷

سرشناسه	: هدایتی، محمدجعفر،۱۳۳۵
عنوان و نام پدیدآور	: بررسی عملکرد آکوستیکی تعدادی از جداکننده‌های متداول و نوین در ساختمان‌ها/ مجری محمدجعفر هدایتی؛ همکاران آزاده رئیسیان، نادیا هرموند؛ [برای] مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
مشخصات نشر	: تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی،۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ح، ۱۵٤ ص.: مصور
فروست	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر:گ- ۸۰۲؛
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۸۳-۷
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
موضوع	: کتابنامه: ص. ۱٤۸
موضوع	: دیوارهای جداکننده
موضوع	: Partitions (Building)
موضوع	: دیوارهای جداکننده -- طرح و ساختمان
موضوع	: Partitions (Building) -- Design and construction
موضوع	: ساختمان‌ها -- عایق‌سازی
موضوع	: Buildings -- Insulation
شناسه افزوده	: رئیسیان، آزاده، ۱۳۵۵
شناسه افزوده	: هرموند، نادیا، ۱۳٦۰
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
شناسه افزوده	: Road, Housing and Urban Development Research Center
رده بندی کنگره	: TH۲۵٤۱/ه٤ب ۱۳۹۷
رده بندی دیویی	: ۷۲۱/۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۱٤٤۳٦۸

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نام کتاب: بررسی عملکرد آکوستیکی تعدادی از جداکننده های متداول و نوین در ساختمان ها

مجری: محمدجعفر هدایتی

همکاران: آزاده رئیسیان، نادیا هرموند

شماره نشر: گ-۸۰۲

ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۷

تیراژ: ۲۰۰نسخه

قطع: وزیری

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره انتشارات و چاپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

قیمت: ۱۲۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۸۳-۷ **ISBN:** 978-600-113-183-7

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.
کلیهٔ حقوق چاپ و انتشار اثر برای مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محفوظ است.

نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شیخ فضل ا... نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵ تلفن: ۶-۸۸۲۵۵۹۴۲ دورنگار: ۸۸۳۸۴۱۳۲
پست الکترونیکی:pub@bhrc.ac.ir فروش الکترونیکی: http:// pub.bhrc.ac.ir

سخن مرکز

در عصر حاضر انجام تحقیقات کاربردی و هدفمند، یکی از ارکان پیشرفت علمی و توسعه کشورها است. تلاش برای ساختن ایرانی آباد، ایجاب می‌کند که در تمام زمینه‌ها و به‌ویژه در مسایل ساخت و ساز و فعالیت‌های عمرانی با تدوین آیین‌نامه‌ها و استانداردها و انتشار اطلاعات و مدارک فنی، در راه تأمین نیازهای اطلاعاتی جامعه گام برداشته شود.

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی برای دستیابی به اهداف فوق از طریق هماهنگ نمودن، متمرکز ساختن، اجرای برنامه‌های مطالعاتی و تحقیقاتی در مورد ساختمان، مسکن، مصالح، روش‌های ساختمان‌سازی و تهیه ضوابط مربوط به آن‌ها و انجام راهنمایی‌های لازم در اجرای برنامه‌های خانه‌سازی و تولیدات ساختمانی متناسب با احتیاجات کشور فعالیت می‌نماید.

از جمله این فعالیت‌ها، تحقیقات کاربردی بر روی مسایل آکوستیکی ساختمان به‌منظور تأمین آسایش صوتی ساکنان می‌باشد. دانش آکوستیک در ساختمان، عمدتاً به کنترل صداهای ناخواسته در حدقابل قبول و تأمین شرایط آکوستیک داخلی مناسب به‌منظور صدارسانی مطلوب در فضاهای داخلی ساختمان‌ها می‌پردازد و بدین منظور خواص مصالح و اجزای ساختمانی از نظر آکوستیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

امید است مجموعه حاضر تحت عنوان " بررسی عملکرد آکوستیکی تعدادی از جداکننده‌های متداول و نوین در ساختمان‌ها" که نمایی از فعالیت‌های پژوهشی و انتشاراتی مرکز است، سهم اندکی در خدمت به جامعه علمی و فنی کشور داشته باشد.

محمد شکرچی زاده

رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

قدردانی و تشکر

در پیشرفت مراحل اجرایی و تهیه گزارش این پروژه از سرکار خانم مهندس الهه ثـابتی برای تهیه جزئیات اجرایی دیوارها و جناب آقای مهنـدس حمیدرضـا امیـدظهیر بـرای همکاری در انجام آزمون‌ها صمیمانه سپاسگزاری و قدردانی می‌گردد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

قدردانی و تشکر.....د
پیشگفتار .....و
پیشگفتار مؤلف .....ی
چکیده .....ل
فصل اول: مفاهیم پایه و تعاریف..... ۱
۱-۱ صدا..... ۱
۱-۲ نوفه زمینه..... ۱
۱-۳ تراگسیل صدای هوابرد ۲
۱-٤ ضریب تراگسیل صدا..... ۲
۱-۵ تراز صدا، L..... ۳
۱-٦ زمان واخنش، T..... ۳
۱-۷ شاخص کاهش صدا،R..... ۳
۱-۸ شاخص کاهش صدای وزن‌یافته، R_w..... ٤
۱-۹ شاخص افزایش کاهش صدا، ΔR..... ٦
۱-۱۰ شاخص افزایش کاهش صدای وزن‌یافته، ΔR_w..... ۷
۱-۱۱ جداکننده ساده همگن..... ۷
۱-۱۲ پوستهٔ خارجی ۷
۱-۱۳ ضریب هدایت حرارت، λ..... ۷
۱-۱٤ عایق (عایق حرارت) ۸
۱-۱۵ مقاومت حرارتی، R..... ۸
فصل دوم: روش محاسبه و پیش‌بینی افت صوتی برای جداکننده‌ها..... ۹
۲-۱ جداکننده‌های تک جداره همگن..... ۹
۲-۱ جداکننده‌های تک جداره همگن ۱۰
۲-۲ جداکننده‌های دوجداره با فاصله هوایی..... ۱۷

۲-٤ جداکننده‌های دوجداره با اتصالات مکانیکی (روش شارپ) ۲۵
۲-۵ افت صوتی یک جدار در آزمایشگاه صدابندی ۳۸
فصل سوم: روش اندازه‌گیری افت صوتی جداکننده‌ها در آزمایشگاه ٤۳
۳-۱ آزمایشگاه آکوستیک مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ٤۳
۳-۲ تجهیزات اندازه‌گیری ٤۵
۳-۲-۱ سیستم پالس مدل ۳۵٦۰ C ٤٦
۳-۲-۲ دستگاه تجزیه و تحلیل‌گر آکوستیک ساختمانی مدل ٤٤۱۸ ..... ٤۷
۳-۲-۳ دستگاه منبع صدا مدل ٤۲۲٤ ..... ٤۷
۳-۲-٤ بلندگوی دوازده وجهی مدل Nor276 با تقویت‌کننده توان مدل Nor280 ..... ٤۸
۳-۲-۵ میکروفون ٤۹
۳-۲-٦ پایه دوار میکروفون مدل ۳۹۲۳ ..... ۵۰
۳-۲-۷ کالیبراتور تراز صدا مدل ٤۲۳۱ ..... ۵۰
۳-۳ روش اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای دیوار در آزمایشگاه ۵۱
۳-۳-۱ اندازه‌گیری تراز صدای میانگین در اتاق منبع و دریافت ۵۱
۳-۳-۲ روش اندازه‌گیری زمان واخنش در اتاق دریافت ۵۲
۳-۳-۳ روش محاسبه شاخص کاهش صدای دیوار در آزمایشگاه ۵۲
۳-۳-٤ درجه‌بندی صدابندی دیوار در مقابل صدای هوابرد ۵٤
فصل چهارم: بررسی صدابندی هوابرد چند سیستم ساختمانی ۵٦
٤-۱ فرآورده‌های رسی ۵۷
٤-۱-۱ آجر رسی ۵۷
٤-۱-۲ بلوک سفالی ٦۲
٤-۲ فرآورده‌های بتنی ۷۹
٤-۲-۱ فرآورده‌های بتنی سنگین و نیمه سنگین ۷۹
٤-۲-۲ فرآورده‌های بتنی سبک ۸۱
٤-۳ فرآورده‌های گچی ۱۰۰
٤-٤ سیستم قاب سبک فولادی، LSF ۱۰۹
٤-۵ سیستم قالب ماندگار بتنی، ICF ۱۳۳

٤-٦ سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی، 3D..... ١٤٠
پیوست الف مشخصات فیزیکی برخی از جامدات..... ١٤٤
پیوست ب مقررات آکوستیکی انواع ساختمان‌ها بر اساس مبحث ۱۸ مقررات‌ملی ساختمان ١٤٥
پیوست پ حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای جداکننده‌ها..... ١٤٦
مراجع..... ١٤٨

پیشگفتار مؤلف

مسائل آکوستیکی در یک ساختمان را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد، یکی کنترل نوفه یا صدای ناخواسته و یا به عبارت دیگر، آلودگی صوتی که از منابع مختلف (مانند وسایل نقلیه، سیستم تهویه و...) به فضای مورد نظر، مثل یک اتاق کار نفوذ می‌کند، و دیگری فراهم نمودن شرایط آکوستیک داخلی یک فضا، که به منظور صدارسانی مطلوب می‌باشد.

برای کنترل نوفه، ابتدا باید حداکثر نوفه قابل تحمل در فضای مورد نظر مشخص شود. این ارقام در آیین‌نامه‌های آکوستیکی هر کشور ارائه شده است. پس از آن باید نوفه منطقه‌ای که ساختمان در آنجا ساخته می‌شود، مشخص گردد. این نوفه که بیشتر ناشی از نوفه ترافیک است، باید توسط اجزای ساختمانی (دیوار، پنجره و...) کاهش یابد. این کاهش باید به حدی باشد که به ارقام ارائه شده در آیین‌نامه‌های آکوستیکی کشور برسد. در این صورت داشتن اطلاعات از صدابندی جداکننده‌ها، الزامی است.

در اکثر موارد نیاز است که انتظارات صوتی- حرارتی در بخش‌های مختلف جدارهای خارجی ساختمان و جدارهای بین فضای کنترل‌شده و فضای کنترل‌نشده به صورت هم‌زمان تأمین گردد. کاربرد انواع مختلف عایق‌های حرارتی در ساختمان، هر چند انتظارات حرارتی را تأمین می‌کند، در بعضی شرایط باعث بهبود عملکرد صوتی جدارها شده ولی در برخی موارد امکان دارد تأثیری در افزایش افت صوتی نداشته باشد. با درک برخی از مبانی پایه آکوستیکی و حرارتی چگونگی عایق‌بندی صدا و حرارت توسط اجزای ساختمانی، می‌توان از بسیاری از مشکلات جلوگیری کرد و یا حداقل در مراحل اولیه آن را حل نمود و باعث کاهش هزینه‌های بازسازی گردید. در حقیقت اگر برای یک ساختمان تمام شده که در آن ساکن گردیده‌اند، مشکل نوفه (آلودگی صوتی) و اتلاف حرارتی وجود داشته باشد، تنها راه‌حل ممکن اصلاح و بازسازی است که با صرف هزینه بیشتری انجام خواهد شد. در نتیجه بررسی این‌گونه جدارها، هم از نقطه‌نظر صدابندی هوابرد و هم از نظر عایق حرارتی اهمیت فراوانی

خواهد داشت. در اختیار داشتن اطلاعات به‌دست آمده از این تحقیق راهنمایی برای استفاده بهتر از مباحث ۱۸ (عایق‌بندی و تنظیم صدا) و ۱۹ (صرفه‌جویی در مصرف انرژی) مقررات ملی ساختمان خواهد بود.

چکیده

در اکثر موارد نیاز است که انتظارات صوتی ـ حرارتی در بخش‌های مختلف جدارهای خارجی ساختمان به صورت هم‌زمان تأمین گردد. کاربرد انواع مختلف عایق‌های حرارتی در ساختمان، هر چند انتظارات حرارتی را تأمین می‌کند، امکان دارد در بعضی شرایط باعث بهبود عملکرد صوتی جدارها شده ولی در برخی موارد دیگر، تأثیری در افزایش افت صوتی نداشته باشد. در نتیجه بررسی این‌گونه جدارها از نقطه‌نظر صدابندی هوابرد، اهمیت فراوانی خواهد داشت. در این تحقیق تحت عنوان "بررسی عملکرد آکوستیکی تعدادی از جداکننده‌های متداول چندلایه غیر باربر با استفاده از عایق‌های حرارتی مطرح‌شده در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران و هم‌چنین برخی از سیستم‌های نوین جداکننده در ساختمان‌ها" افت صوتی جداکننده‌های ساخته شده با مصالح متداول گوناگون از جمله آجر فشاری، آجر سفالی، بلوک‌های بتن سبک، بلوک‌های گچی (با و بدون استفاده از عایق‌های حرارتی از قبیل پلی استایرن) و هم‌چنین سیستم‌های نوین جداکننده در ساختمان، از قبیل سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی (3D)، قاب سبک فولادی (LSF) و قالب ماندگار بتنی (ICF) مورد بررسی قرار گرفته است. هم‌چنین به‌منظور استفاده دست‌اندرکاران امر ساخت و ساز، توصیه‌های کاربردی لازم برای تأمین الزامات مورد نیاز در زمینه آکوستیک و هم‌چنین رهنمودهایی برای انواع کاربردهای آن با توجه به مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان ارائه شده است.

در اختیار داشتن اطلاعات به‌دست آمده از این تحقیق راهنمایی برای استفاده بهتر از مباحث ۱۸ (عایق‌بندی و تنظیم صدا) و ۱۹ (صرفه‌جویی در مصرف انرژی) مقررات ملی ساختمان خواهد بود.

فصل اول
مفاهیم پایه و تعاریف

۱-۱- صدا[1]

صدا موج مکانیکی طولی است که در گازها، مایعات و جامدات منتشر می‌شود. گسترهٔ بسامدی امواج صوتی قابل شنیدن، بین ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز است. به تعبیر ساده‌تر، صدا را می‌توان به‌صورت حرکات موجی در یک فراگیر کشسان و یا به‌عنوان محرک حس شنوایی تعریف کرد.

۱-۲- نوفه زمینه[2]

نوفه زمینه به صداهای ناخواسته موجود در یک فضا گفته می‌شود. نوفه زمینه می‌تواند از منابع خارجی مانند نوفه ترافیک و نوفه ناشی از ساختمان‌های مجاور و هم‌چنین منابع داخلی مانند نوفه ناشی از سیستم‌های تأسیسات مکانیکی و الکتریکی از قبیل تهویه، آبرسانی و آسانسور سرچشمه بگیرد.

---

1 Sound
2 Background noise

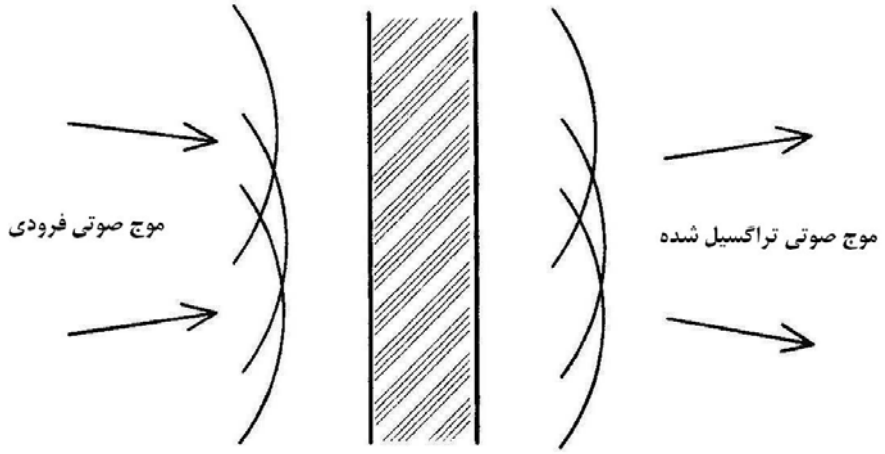
۱-۳- تراگسیل صدای هوابرد[3]

هرگاه جداکننده‌ای به‌وسیله امواج صوتی هوابرد به ارتعاش درآید، نحوه انتقال یافتن صدای اولیه به فضای مورد نظر را تراگسیل صدای هوابرد از طریق آن جداکننده گویند. مانند صدای ناشی از ترافیک که به داخل ساختمان انتقال می‌یابد.

۱-٤- ضریب تراگسیل صدا[4]

هنگامیکه موج صوتی با یک جداکننده برخورد می‌کند، بخشی از انرژی از طریق جداکننده تراگسیل می‌شود (شکل۱-٤-۱). نسبت شدت موج تراگسیل‌شده (I_τ) به شدت موج فرودی (I_i)، ضریب تراگسیل جداکننده (τ) نامیده می‌شود و از معادله (۱) به‌دست می‌آید:

$$\tau = \frac{I_\tau}{I_i} \qquad (۱)$$



شکل ۱-٤-۱- تراگسیل صدا از یک جداکننده

3 Airborne sound transmission
4 Sound transmission coefficient

۱-۵- تراز صدا[5]، L

تراز صدا برحسب دسی‌بل بر اساس یکی از دو معادله (۲) یا (۳) مشخص می‌گردد که مقدار آن‌ها در عمل با یکدیگر برابر است:

$$L_I = 10Log\frac{I}{I_0} \quad \text{dB} \qquad (۲) \qquad \text{یا} \qquad L_P = 20Log\frac{p}{p_0} \quad \text{dB} \qquad (۳)$$

که در آن:

L_I : تراز شدت صدا، برحسب دسی‌بل؛

L_p : تراز فشار صدا، برحسب دسی‌بل؛

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

I : شدت مؤثر صدای مورد نظر، برحسب وات بر مترمربع؛

p_0 : فشار مؤثر صدای مبنا که مقدار آن برابر است با ۲×۱۰^{-۵} پاسکال.

p : فشار صدای مؤثر مورد نظر، برحسب پاسکال.

۱-۶- زمان واخنش[6]، T

زمان واخنش در یک فضای بسته، مدت زمانی است که پس از قطع کردن منبع صدا، تراز فشار صدا ۶۰ دسی‌بل افت کند. این کمیت برحسب ثانیه بیان می‌شود.

۱-۷- شاخص کاهش صدا[7]، R

این شاخص بیانگر میزان صدابندی جداکننده در برابر صدای هوابرد است (اصطلاح "افت تراگسیل صدا" (TL) که هم‌چنان در کشورهای انگلیسی زبان مورد استفاده قرار می‌گیرد، معادل با "شاخص کاهش صدا" است). شاخص کاهش صدا یا افت تراگسیل صدا از معادله (٤) برحسب دسی‌بل تعیین می‌شوند:

---

5 Sound level
6 Reverberatin time
7 Sound reduction index

$$R = 10\mathrm{Log}\frac{W_1}{W_2} = 10\mathrm{Log}\frac{1}{\tau} \quad \text{dB} \quad (٤) \qquad \text{یا} \quad TL$$

که در آن:

W_1: توان صدای فرودی بر روی جداکننده تحت آزمون؛

W_2: توان صدای تراگسیل شده از طریق آزمونه؛

τ : ضریب تراگسیل جداکننده.

یادآوری: در آزمایشگاه صدابندی، این کمیت بر اساس استاندارد ملی ایران ۳-۸۵۶۸ و در شرایط میدانی بر اساس استاندارد ملی ایران ٤-۸۵٦۸ به‌دست می‌آید. اندازه‌گیری صدابندی نمای ساختمان بر اساس استاندارد ملی ایران ۵-۸۵٦۸ انجام می‌شود.

۱-۸- شاخص کاهش صدای وزن‌یافته[8]، R_w

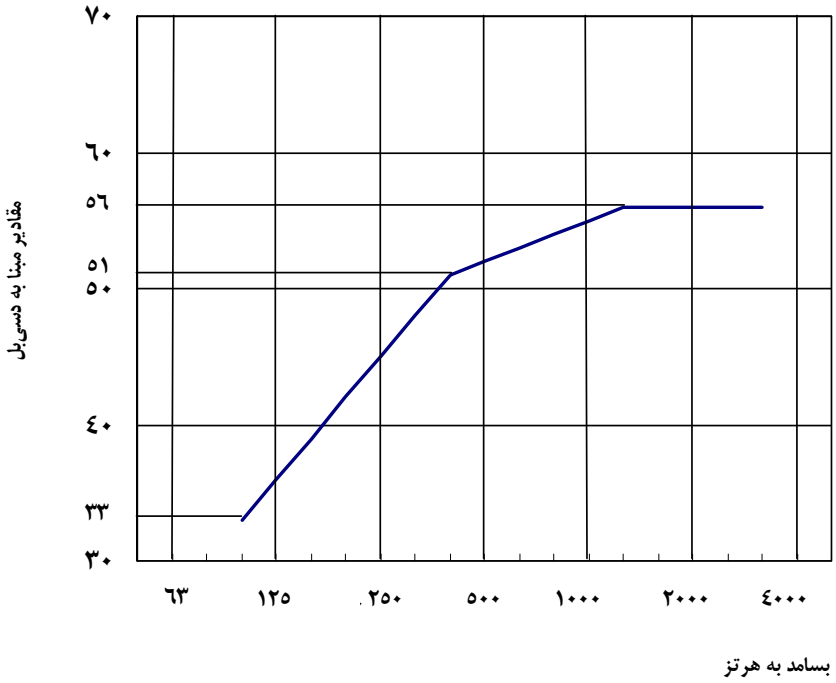
شاخص کاهش صدای وزن‌یافته، کمیتی تک‌عددی برای درجه‌بندی صدابندی جداکننده در برابر صدای هوابرد است که بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌های شاخص کاهش صدا در بسامد بندهای یک‌سوم هنگامی به‌دست می‌آید. مقدار این کمیت، برابر است با مقدار نمودار مبنا در بسامد ۵۰۰ هرتز، پس از لغزاندن آن به روشی که در استاندارد ملی ایران ۱-۸۸۳٤ مشخص شده است. مقادیر مبنا برای صدای هوابرد در جدول (۱-۸-۱) و نمودار شکل (۱-۸-۱) ارائه شده است.

8 Weighted sound reduction index

جدول ۱-۸-۱- مقادیر مبنا برای صدای هوابرد

بسامد به هرتز	مقادیر مبنا به دسی‌بل	
	بندهای یک‌سوم هنگامی	بندهای یک‌هنگامی
۱۰۰	۳۳	۳۶
۱۲۵	۳۶	
۱۶۰	۳۹	
۲۰۰	٤۲	٤۵
۲۵۰	٤۵	
۳۱۵	٤۸	
٤۰۰	۵۱	۵۲
۵۰۰	۵۲	
٦۳۰	۵۳	
۸۰۰	۵٤	۵۵
۱۰۰۰	۵۵	
۱۲۵۰	۵٦	
۱٦۰۰	۵٦	۵٦
۲۰۰۰	۵٦	
۲۵۰۰	۵٦	
۳۱۵۰	۵٦	

شاخص تک‌عددی دیگری که برای بیان صدابندی جداکننده در برابر صدای هوابرد به‌کار می‌رود، بر اساس استاندارد ASTM E413 درجه تراگسیل صدا، STC است که مقدار آن از نظر عددی تقریباً برابر با R_w است.



شکل ۱-۸-۱- نمودار مقادیر مبنا برای صدای هوابرد، در بندهای یک‌سوم هنگامی

۱-۹- شاخص افزایش کاهش صدا[9]، ΔR

شاخص افزایش کاهش صدا (افزایش صدابندی هوابرد) در هر بند یک‌سوم هنگامی، عبارت است از اختلاف شاخص کاهش صدای جزء پایه با پوشش و بدون آن، که از معادله (۵) به‌دست می‌آید:

$$\Delta R = R_{\text{with}} - R_{\text{without}} \qquad \text{dB} \qquad (۵)$$

9 Sound reduction improvement index

۱-۱۰- شاخص افزایش کاهش صدای وزن‌یافته[10]، ΔR_w

شاخص افزایش کاهش صدای وزن‌یافته، عبارت است از کمیت تک- عددی محاسبه‌شده از شاخص افزایش کاهش صدا، ΔR.

۱-۱۱- جداکننده ساده همگن[11]

جداکننده ساده همگن به جداکننده‌ای گفته می‌شود که در مقطع، از یک لایه تشکیل شده است و چگالی حجمی (جرم واحد حجم) آن در تمام نقاط یکسان است. مانند شیشه یا دیوار بتنی یکپارچه.

۱-۱۲- پوستهٔ خارجی[12]

تمام سطوح پیرامونی ساختمان، اعم از دیوارها، سقف‌ها، کف‌ها، بازشوها، سطوح نورگذر و مانند آنها، که از یک طرف با فضای خارج یا فضای کنترل نشده، و از طرف دیگر با فضای کنترل‌شده داخل ساختمان در ارتباط هستند.

پوستهٔ خارجی در تمام موارد الزاماً با پوسته کالبدی ساختمان یکی نیست، زیرا پوستهٔ کالبدی ممکن است دربرگیرندهٔ فضاهای کنترل‌نشده نیز باشد. پوستهٔ خارجی ساختمان همچنین شامل عناصری است که، در وجه خارجی خود، مجاور خاک و زمین هستند.

۱-۱۳- ضریب هدایت حرارت[13]، λ

مقدار حرارتی که در یک ثانیه از یک متر مربع عنصری همگن به ضخامت یک متر، در حالت پایدار می‌گذرد، در زمانی که اختلاف دمای دو سطح طرفین عنصر برابر یک درجه کلوین است. واحد ضریب هدایت حرارت [W/m.K] است.

---

10 Weighted sound reduction improvement index
11 Isotropic Panel
12 Building envelope
13 Thermal conductivity

۱-۱۴- عایق (عایق حرارت)[14]

مصالح یا سیستم مرکبی که انتقال گرما را از محیطی به محیطی دیگر به طور مؤثر کاهش دهد. عایق حرارت قابل استفاده در ساختمان به عایقی اطلاق می‌شود که دارای ضریب هدایت حرارت کمتر یا مساوی ۰٫۰۶۵ W/m.K و مقاومت حرارتی مساوی یا بیشتر از ۰٫۵ m^2.K/W باشد.

۱-۱۵- مقاومت حرارتی[15]، R

مقاومت حرارتی یک لایه، نسبت ضخامت لایه به ضریب هدایت حرارتی آن است. مقاومت حرارتی جدار متشکل از چند لایه مساوی با مجموع مقاومت‌های هر یک از لایه‌هاست.

مقاومت حرارتی مشخص‌کننده قابلیت عایق بودن یک یا چند لایه از پوسته یا کل پوسته از نظر حرارتی است. مقاومت حرارتی با R نشان داده می‌شود و واحد آن $[m^2K/W]$ است.

14 Thermal insulation (Insulating material)
15 Thermal resistance

فصل دوم
روش محاسبه و پیش‌بینی افت صوتی برای جداکننده‌ها

۲-۱- جداکننده‌های تک جداره همگن

یکی از روش‌های کنترل نوفه، فراهم آوردن سد آکوستیکی یا یک جدار برای کاهش تراگسیل صدا است. برای طراحی باید بتوان افت تراگسیل برای یک جدار را در گستره وسیعی از بسامدها پیش‌بینی نمود.

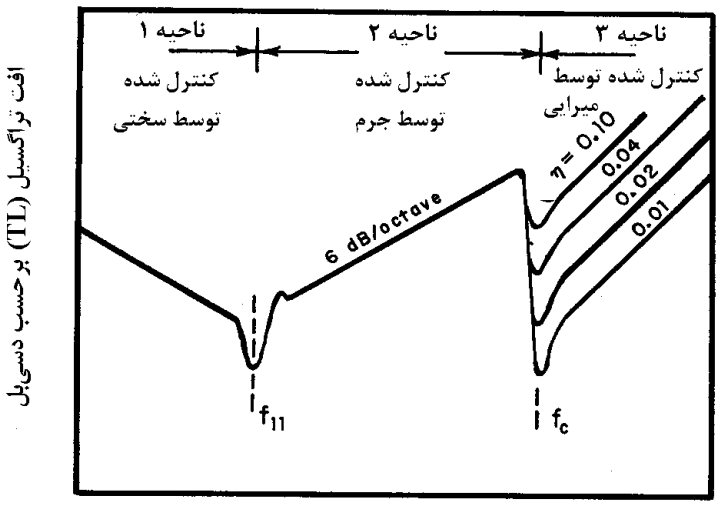
تغییرات کلی افت صوتی یک دیوار همگن نسبت به بسامد در شکل ۲-۱-۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل ملاحظه می‌شود، برای افت صوتی جدارها اعم از دیوار یا پانل سه ناحیه کلی وجود دارد:

ناحیه ۱: ناحیه کنترل شده توسط سختی[۱۶]

ناحیه ۲: ناحیه کنترل شده توسط جرم[۱۷]

ناحیه ۳: ناحیه انطباق موج (ناحیه کنترل شده توسط میرایی)[۱۸]

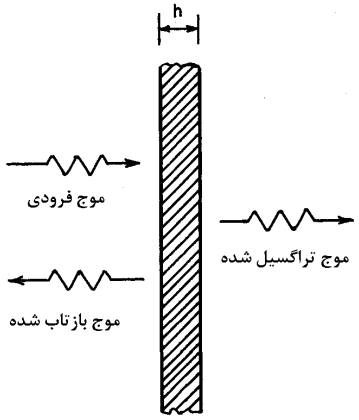
16 Stiffness-Controlled Region
17 Mass- Controlled Region
18 Wave- Coincidence region (Damping-Controlled Region)



شکل ۲-۱-۱- تغییرات کلی افت تراگسیل با بسامد برای یک جدار همگن

ناحیه ۱؛ ناحیه کنترل شده توسط سختی:

در بسامدهای پایین، تمامی جدار به ارتعاش درمی‌آید و افت صوتی جدار توسط سختی آن تعیین می‌شود. مطابق شکل (۲-۱-۲) پانل بسیار نازکی را در نظر می‌گیریم که محیط دو طرف آن یکسان است.



شکل ۲-۱-۲- رفتار یک پانل در مواجهه با موج فرودی

در صورتی‌که پانل دارای سختی معینی باشد، نیروی خالص وارد بر پانل برابر با "نیروی فنر" پانل است. در این حالت مقدار افت تراگسیل برای ناحیه کنترل شده سختی از معادله (٦) به‌دست می‌آید:

$$TL = 10\log\left(\frac{1}{K_s^2}\right) - 10\log\left[\ln\left(1 + K_s^{-2}\right)\right] \qquad (٦)$$

K_S عبارت است از ثابت سختی که از معادله (۷) تعیین می‌گردد:

$$K_s = 4\pi f \rho_0 c C_s \qquad (۷)$$

که در آن f عبارت است از بسامد تشدید برحسب هرتز، c سرعت صوت برحسب متر بر ثانیه، ρ_0 چگالی هوا برحسب کیلوگرم بر مترمکعب و C_S نرمی مکانیکی ویژه یا نرمی مکانیکی بر واحد سطح است و از معادله (۸) به‌دست می‌آید:

$$C_s = \frac{768\left(1-\sigma^2\right)}{\pi^3 E h^3 \left(1/a^2 + 1/b^2\right)^2} \qquad (۸)$$

که در آن:

a و b ابعاد پانل، h ضخامت پانل، σ ثابت پواسون و E مدول یانگ است.

بسامد تشدید

با افزایش بسامد موج فرودی، دیوار در مجموعه‌ای از بسامدها که بسامدهای تشدید نامیده می‌شود، شروع به تشدید می‌کند. پایین‌ترین بسامد تشدید، گذار بین ناحیه ۱ (کنترل شده توسط سختی) و ناحیه ۲ (کنترل شده توسط جرم) را در رفتار جدار مشخص می‌کند (شکل ۳). بسامدهای تشدید تابع ابعاد جدار هستند برای دیواری مستطیل شکل به ابعاد $a \times b \times h$ ، بسامدهای تشدید بر اساس معادله (۹) محاسبه می‌شوند:

$$f_{mn} = \left(\pi / \left(4\sqrt{3}\right)\right) c_L h \left[\left(m/a\right)^2 + \left(n/b\right)^2\right] \qquad (۹)$$

ضرایب m و n اعداد صحیح ۱، ۲، ۳ و .... هستند. کمیت c_L سرعت امواج صوتی طولی در ماده تشکیل دهنده پانل است و از معادله (۱۰) به‌دست می‌آید:

$$c_L = \left[\frac{E}{\rho_w(1-\sigma^2)}\right]^{1/2} \qquad (۱۰)$$

کمیت ρ_w چگالی پانل است. معمولاً پایین‌ترین بسامد تشدید (بسامد پایه)، بسامد غالب است. این بسامد مربوط به $m=n=1$ است. به این ترتیب با جاگذاری در معادله (۹)، اولین بسامد بحرانی برابر است با:

$$f_{11} = \left(\frac{\pi}{4\sqrt{3}}\right) c_L h \left[\left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2\right] \qquad (۱۱)$$

بزرگی افت تراگسیل در چند بسامد تشدید نخست، به شدت به میرایی در مرزهای پانل بستگی دارد.

ناحیه ۲؛ ناحیه کنترل شده توسط جرم:

برای بسامدهای بالاتر از اولین بسامد تشدید، افت تراگسیل پانل توسط جرم آن کنترل می‌گردد و مستقل از سختی آن است. در این ناحیه، مقداری از انرژی آکوستیکی از طریق پانل تراگسیل می‌گردد و باقی آن از سطح پانل بازتاب می‌شود.

ضریب تراگسیل توان صدا در فرود عمودی از معادله (۱۲) به‌دست می‌آید:

$$\frac{1}{a_{tn}} = 1 + \left(\frac{\pi f \rho_w h}{\rho_1 c_1}\right)^2 = 1 + \left(\frac{\pi f M_S}{\rho_1 c_1}\right)^2 \qquad (۱۲)$$

کمیت M_S جرم سطحی یا جرم پانل در واحد سطح نامیده می‌شود و از معادله (۱۳) به‌دست می‌آید:

$$M_S = \rho_w h \qquad (۱۳)$$

کمیت ρ_w چگالی دیوار یا پانل و ρ_1 و c_1 به‌ترتیب چگالی هوا و سرعت صدا در هوای اطراف پانل هستند.

افت تراگسیل برای فرود عمودی، به ضریب تراگسیل توان صدا برای فرود عمودی وابسته است و از معادله (۱٤) به‌دست می‌آید:

$$TL_n = 10Log(\frac{1}{a_{tn}}) \qquad (۱٤)$$

برای فرود تصادفی (فرود میدانی)، نتایج آزمایشگاهی نشان داده است که افت تراگسیل برای ناحیه کنترل شده توسط جرم، از طریق معادله (۱۵) به TL_n وابسته است:

$$TL = TL_n - 5 = 10Log\left[1+\left(\frac{\pi f M_S}{\rho_1 c_1}\right)^2\right] - 5 \qquad (۱۵)$$

در بیشتر موارد، عبارت دوم معادله (۱۲) بسیار بزرگتر از ۱ است، بنابراین با صرفنظر از عدد ۱، معادله (۱۵) به معادله (۱٦) ساده می‌شود:

$$TL = 20Log\left(fM_S\right) - 20Log\left(\frac{\rho_1 c_1}{\pi}\right) - 5 \qquad (۱٦)$$

در شرایط فشار هوای 101.3 kPa و دمای 22ºC :

ρ_1= 1.196 kg/m^3 و c_1=344 m/s

بنابراین افت صوتی جدار برابر بر اساس معادله (۱۷) محاسبه می‌شود:

$$TL = 20Log\left(M_S\right) + 20Log\left(f\right) - 47.3 \qquad (۱۷)$$

بنابراین در صورتی‌که بسامد دو برابر شود، افت تراگسیل به میزان $20Log_{10}(2)$ یا ٦ دسی‌بل در هر هنگام برای ناحیه کنترل جرم خواهد بود.

بسامد بحرانی

با افزایش بسامد موج صوتی فرودی، در ناحیه کنترل جرم طول موج آن به طول موج امواج خمشی در جدار که به بسامد وابسته است، نزدیک می‌شود. به این پدیده انطباق (برابری طول موج‌ها) گفته می‌شود که در نتیجه هنگامی‌که چنین شرایطی رخ می‌دهد، امواج صوتی فرودی و امواج خمشی در جدار، یکدیگر را تقویت می‌کنند. ارتعاش پانل که به این طریق حاصل شده است، باعث کاهش شدید در افت صوتی جدار می‌گردد. این نقطه متناظر با گذار از ناحیه ۲ (کنترل شده توسط جرم) به ناحیه ۳ (کنترل شده توسط میرایی) است.

بسامد بحرانی براساس معادله (۱۸) محاسبه می‌شود:

$$f_c = \frac{\sqrt{3}\, c^2}{\pi\, c_L h} \qquad (۱۸)$$

که در آن:

c: سرعت موج بر حسب متر بر ثانیه؛

c_L: سرعت طولی موج خمشی بر حسب متر بر ثانیه؛

h: ضخامت جدار برحسب متر.

در صورت تلفیق معادله‌های (۱۳) و (۱۸)، حاصلضرب $M_S f_c$ طبق معادله (۱۹) تابعی از ویژگی‌های فیزیکی جدار و سرعت صوت در هوای اطراف جدار است:

$$M_S f_c = \frac{\sqrt{3} c^2 \rho_W}{\pi c_L} \qquad (۱۹)$$

ناحیه ۳؛ ناحیه کنترل شده توسط میرایی:

در مورد بسامدهای بالاتر از بسامد بحرانی، افت صوتی به شدت به بسامد امواج صوتی فرودی و میرایی داخلی جدار وابسته است. برای امواج صوتی که در زوایای مختلف با جدار برخورد می‌کنند (فرود تصادفی)، در بسامدهای بالاتر از بسامد بحرانی، افت تراگسیل از معادله تجربی زیر مربوط به فرود تصادفی در ناحیه کنترل میرایی به‌دست می‌آید:

$$TL = TL_n(f_c) + 10Log_{10}(\eta) + 33.22Log_{10}(f / f_c) - 5.7 \qquad (۲۰)$$

کمیت $TL_n(f_c)$ عبارت است از افت تراگسیل برای فرود عمودی در بسامد بحرانی و از معادله (۲۱) به‌دست می‌آید:

$$TL_n(f_c) = 10Log_{10}\left[1 + \left(\frac{\pi M_S f_c}{\rho_1 c_1}\right)^2\right] \qquad (۲۱)$$

که در آن کمیت η ضریب میرایی جدار است. مقادیر عددی ضریب میرایی برای مواد گوناگون در پیوست ارائه شده است.

برای ناحیه کنترل میرایی، افت تراگسیل با $33.22Log_{10}(f)$ متناسب است. بنابراین در صورت دو برابر شدن بسامد، افت تراگسیل به میزان $33.22Log_{10}(2)$ یعنی ۱۰ دسی‌بل در هر هنگام افزایش می‌یابد.

مثال ۱: افت صوتی را برای یک پانل شیشه‌ای به ابعاد ۱ متر × ۲ متر و به‌ضخامت ٦ میلی‌متر، محاسبه کنید.

دمای هوا در اطراف پانل ٢٤ درجه سلسیوس است که در نتیجه آن، $\rho = 1.188 kg/m^3$ و $c = 345.6 m/s$. ضریب جذب سطحی برای شیشه $\alpha = 0.03$. افت تراگسیل را در بسامدهای (a) ۲۵۰ هرتز، (b) ۱۰۰۰ هرتز و (c) ٤۰۰۰ هرتز تعیین کنید.

ویژگی‌های شیشه با توجه به جدول پیوست عبارتند از:

$c_L = 5450 \text{ m/s}$ سرعت طولی موج صدا

$\rho_w = 2500 \text{ kg/m}^3$ چگالی

محصول بسامد بحرانی

$$M_S f_c = (30{,}300\ Hz - kg/m^2)(345.6/346.1) = 30{,}210\ Hz - kg/m^2$$

$\eta = 0.002$ ضریب میرایی

$E = 71.0\ GPa$ مدول یانگ

$\sigma = 0.21$ نسبت پواسون

اولین بسامد تشدید پانل مطابق معادله (۱۱) عبارت است از:

$$f_{11} = 0.4534 c_L h\left[\left(\frac{1}{a}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2\right]$$

$$f_{11} = (0.4534)(5450)(0.006)\left[\left(\frac{1}{1.00}\right)^2 + \left(\frac{1}{2.00}\right)^2\right] = 18.5 \text{ Hz}$$

مطابق با معادله (۱۸) بسامد بحرانی پانل برابر است با:

$$f_c = \frac{\sqrt{3}\,(345.6)^2}{\pi\,(5450)(0.006)} = 2014 \text{ Hz}$$

بنابراین در بسامدهای ۲۵۰ هرتز و ۱۰۰۰ هرتز، پانل در ناحیه ۲، ناحیه کنترل شده توسط جرم، قرار گرفته و افت صوتی آن مطابق با معادله (۱۵) به‌دست می‌آید.

با توجه به این که ضریب تراگسیل توان صدا در فرود عمودی از معادله (۱۲) برابر است با:

$$\frac{1}{a_{tn}} = 1 + \left(\frac{\pi f \rho_w h}{\rho_1 c_1} \right)^2 = 1 + \left(\frac{(\pi)(250)(2500)(0.006)}{(1.188)(345.6)} \right)^2 = 1 + 823.3 = 824.3$$

افت تراگسیل عمودی از معادله (۱٤) برابر است با:

$$TL_n = 10Log(\frac{1}{a_{tn}}) = 10Log(824.3) = 29.2 \text{ dB}$$

با توجه به معادله (۱۵) افت صوتی پانل شیشه‌ای در بسامد ۲۵۰ هرتز برابر است با:

$$TL = TL_n - 5 = 29.2 - 5 = 24.2 \text{ dB}$$

با تکرار مراحل فوق برای بسامد ۱۰۰۰ هرتز، مقادیر زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{1}{a_{tn}} = 1 + \left(\frac{\pi f \rho_w h}{\rho_1 c_1} \right)^2 = 1 + \left(\frac{(\pi)(1000)(2500)(0.006)}{(1.188)(345.6)} \right)^2 = 1 + 13174 = 13175$$

$$TL_n = 10Log(13175) = 41.2 \text{ dB}$$

$$TL = TL_n - 5 = 41.2 - 5 = 36.2 \text{ dB}$$

در بسامد ٤۰۰۰ هرتز افت صوتی جدار که در ناحیه۳ ، ناحیه کنترل شده توسط میرایی، قرار دارد، بر اساس معادله (۲۱) برابر است با:

$$TL_n(f_c) = 10Log_{10}\left[1 + \left(\frac{\pi M_S f_c}{\rho_1 c_1} \right)^2 \right] = 10Log_{10}\left[1 + \left(\frac{(\pi)(2014)(2500)(0.006)}{(1.188)(345.6)} \right)^2 \right] = 47.3 \text{ dB}$$

افت تراگسیل برای شیشه تک‌جدار در بسامد ٤۰۰۰ هرتز از معادله (۲۰) برابر است با:

$$TL = TL_n(f_c) + 10Log_{10}(\eta) + 33.22Log_{10}(f / f_c) - 5.7$$

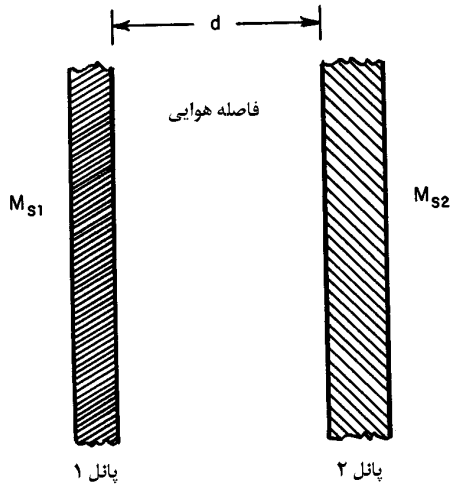
$$TL = 47.3 + 10Log_{10}(0.002) + 33.22Log_{10}(4000/2014) - 5.7$$

$$TL = 47.3 - 27 + 9.9 - 5.7 = 24.5 \text{ dB}$$

نمودار افت تراگسیل کل برای شیشه تک‌جدار در جدول (۲) و نمودار شکل (٦) نشان داده شده است.

۲-۲- جداکننده‌های دوجداره با فاصله هوایی

ساختار دیوار دوجداره، متشکل از دو پانل که با یک فاصله هوایی از یکدیگر جداشده‌اند، اغلب به‌عنوان سد صوتی برای کاهش تراگسیل نوفه مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این ساختار، که در شکل (۲-۲-۱) نشان داده شده است، افت تراگسیل کل، علاوه بر تأثیر افت تراگسیل برای هر پانل مجزا، تحت تأثیر جرم هوای داخل فضای خالی بین دو جدار قرار می‌گیرد. رفتار منحنی TL برای یک دیوار مرکب، را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود. (برانک، 1971)



شکل ۲-۲-۱- دیوار دوجداره با فاصله هوایی بین دو جدار

دسته A، دسته بسامد پایین، برای پانل‌های نزدیک به‌هم رخ می‌دهد. هنگامی‌که دو پانل خیلی به یکدیگر نزدیک باشند، پانل‌ها مانند یک واحد عمل می‌کنند تا جایی‌که تراگسیل صدا این امر را تعیین می‌کند. در این حالت تأثیر فاصله هوایی بین پانل‌ها قابل چشم‌پوشی است. این رفتار برای گستره بسامدی زیر رخ می‌دهد:

$$\frac{\rho c}{\pi(M_{S1}+M_{S2})} < f < f_0 \qquad (۲۲)$$

مقادیر چگالی و سرعت صدا در معادله بالا، مربوط به هوا (فضای) اطراف پانل‌ها است. بسامد f_0 بسامد تشدید جفت شده توسط فاصله هوایی است و مقدار آن از معادله (۲۳) به‌دست می‌آید:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi}\left[\frac{\rho}{d}\left(\frac{1}{M_{S1}}+\frac{1}{M_{S2}}\right)\right]^{1/2} \qquad (۲۳)$$

کمیت‌های M_{S1} و M_{S2} به‌ترتیب جرم ویژه دو پانل‌های ۱ و ۲ هستند. کمیت d فاصله بین دو پانل است.

افت تراگسیل برای دسته A از معادله (۲٤) تعیین می‌شود:

$$TL = 20Log_{10}(M_{S1}+M_{S2}) + 20Log_{10}(f) - 47.3 \qquad (۲٤)$$

هنگامی‌که پانل‌ها در فاصله بیشتری از یکدیگر قرار گیرند، در فاصله هوایی بین دو پانل امواج ایستاده تشکیل می‌شود و رفتار دسته B مشاهده می‌گردد. این رویه برای گستره بسامدی زیر رخ می‌دهد:

$$f_0 < f < c/2\pi d \qquad (۲۵)$$

افت تراگسیل برای دسته B از معادله (۲٦) تعیین می‌شود:

$$TL = TL_1 + TL_2 + 20Log_{10}(4\pi f d/c) \qquad (۲٦)$$

کمیت‌های TL_1 و TL_2 عبارتند از مقادیر افت تراگسیل هر کدام از پانل‌ها به‌تنهایی.

زمانی‌که پانل‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای از یکدیگر فاصله داشته باشند، دو پانل به‌صورت مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند و رفتار ناحیه C مشاهده می‌شود. در این حالت فاصله هوایی بین پانل‌ها مانند یک "اتاق" کوچک عمل می‌کند. این رفتار برای گستره بسامدی $f > (c/2\pi d)$ رخ می‌دهد. افت تراگسیل برای دسته C از معادله (۲۷) تعیین می‌شود:

$$TL = TL_1 + TL_2 + 10Log_{10}\left[\frac{4}{1+(2/\alpha)}\right] \qquad (۲۷)$$

کمیت α ضریب جذب سطح پانل‌ها است.

عبارت‌های افت تراگسیل ارائه شده در این قسمت، تنها برای صدای تراگسیل یافته از طریق فاصله هوایی است. مسیر دومی که صدا می‌تواند طی کند، مسیر جانبی پیکره‌ای نامیده می‌شود که شامل تراگسیل صدا از طریق اتصالات مکانیکی بین پانل‌ها است. روش‌های پیش‌بینی برای این توزیع افت تراگسیل، توسط شارپ ارائه شده است که در بند ۲-٤ مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مثال ۲: دو پانل شیشه‌ای هر کدام به‌ضخامت ٦ میلی‌متر برای کاهش تراگسیل صدا از طریق یک بازشو به ابعاد ۱ متر (ارتفاع) در ۲ متر (عرض) باید مورد استفاده قرار گیرد. دو پانل در فاصله ۷۵ میلی‌متر از یکدیگر قرار دارند و دمای هوا در اطراف پانل‌ها ۲٤ درجه سلسیوس است که در نتیجه آن، $\rho = 1.188 kg/m^3$ و $c = 345.6 m/s$. ضریب جذب سطحی برای شیشه $\alpha = 0.03$. افت تراگسیل را در بسامدهای (a) ۲۵۰ هرتز، (b) ۱۰۰۰ هرتز و (c) ٤۰۰۰ هرتز تعیین کنید.

ویژگی‌های شیشه عبارتند از:

سرعت طولی موج صدا $c_L = 5450 \text{ m/s}$

چگالی $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$

محصول بسامد بحرانی

$$M_S f_c = (30{,}300 Hz - kg/m^2)(345.6/346.1) = 30{,}210 Hz - kg/m^2$$

ضریب میرایی $\eta = 0.002$

مدول یانگ $E = 71.0 GPa$

نسبت پواسون $\sigma = 0.21$

اکنون مثال ۲ را برای دو پانل شیشه‌ای هر کدام به جرم سطحی $M_{S1} = M_{S2} = 15.0 kg/m^2$ حل می‌کنیم. بسامدهای مختلفی که رفتار جدار را به نواحی مختلف تقسیم می‌کنند، می‌توان به‌دست آورد:

$$\frac{\rho c}{.\pi(M_{S1}+M_{S2})}=\frac{(410.6)}{(\pi)(15.0+15.0)}=4.4Hz$$

با استفاده از معادله (۲۳) می‌توان بسامد تشدید جدار را محاسبه نمود:

$$f_0=\frac{(345.6)}{(2\pi)}\left[\frac{(1.188)}{(0.075)}\left(\frac{1}{15.0}+\frac{1}{15.0}\right)\right]^{1/2}=79.9Hz$$

$$\frac{c}{2\pi d}=\frac{(345.6)}{(2\pi)(0.075)}=733Hz$$

بسامد $f=63Hz$ درون ناحیه A قرار می‌گیرد.

(a) بـرای $f=250Hz$ ، از آن‌جـایی‌کـه $79.9Hz<f=250Hz<733Hz$ ایـن بسامد در ناحیه B قرار می‌گیرد. بنابر ایـن افـت تراگسـیل را مـی‌تـوان از معادلـه (۲۶) محاسبه نمود:

$$TL=24.2+24.2+20Log_{10}\left[\frac{(4\pi)(250)(0.075)}{(345.6)}\right]=48.4+(-3.3)dB$$

$$TL=45.1dB$$

(b) برای $f=1000Hz$ ، از آن‌جایی‌که $733Hz<f=1000Hz$ این بسامد در ناحیه C قرار می‌گیرد. بنابر این افت تراگسیل را می‌توان از معادله (۲۷) محاسبه نمود:

$$TL=36.2+36.2+10Log_{10}\left[\frac{4}{1+(2/0.03)}\right]=72.4-12.3=60.1dB$$

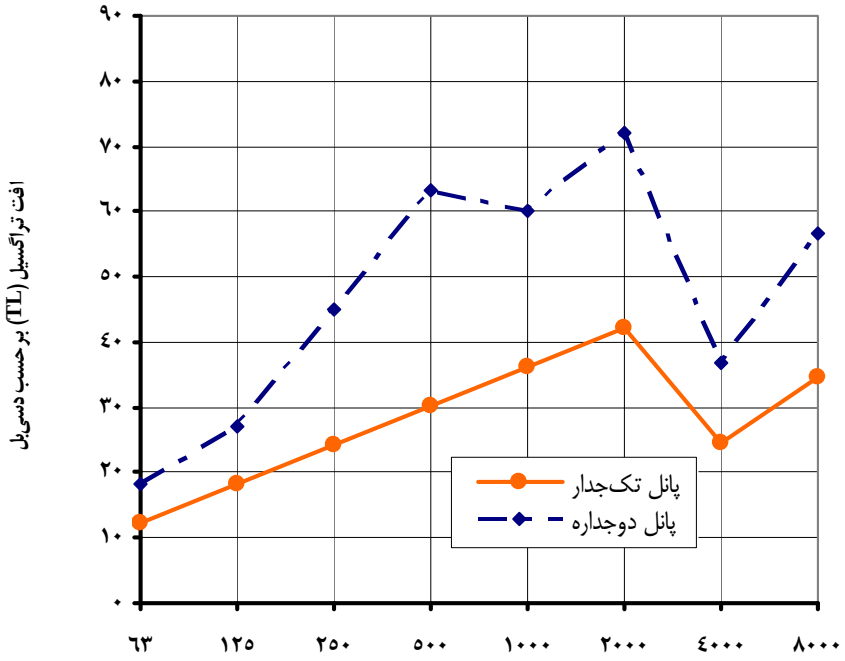
(c) برای $f=4000Hz$ ، از آن‌جایی‌که رفتار پانل دوجداره مورد نظر مـی‌باشـد، ایـن بسامد در ناحیه C قرار می‌گیرد؛ این در حالی است که هـر کـدام از دو جـدار نیـز بـه تنهایی در این بسامد در ناحیه۳، یعنی ناحیه کنترل شده توسط میرایی قـرار مـی‌گیرنـد. افت تراگسیل را در این حالت می‌توان از معادله (۲۷) با استفاده از مقادیر افت تراگسیل پانل تک‌جدار برای ناحیه ۳ در بسامد ٤۰۰۰ هرتز محاسبه نمود:

$$TL=24.5+24.5+(-12.3)=36.7\ \text{dB}$$

افت تراگسیل کل برحسب بسامد در جدول (۲-۲-۱) و نمودار شکل (۲-۲-۲) نشان داه شده است.

جدول ۲-۲-۱- مقادیر صدابندی شیشه در مثال ۲

عنوان		بسامد مرکزی بندهای یک هنگامی برحسب هرتز							
		۸۰۰۰	٤۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	٦۳
پانل تک‌جدار	ناحیه	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲
	TL(dB)	۳٤٫۵	۲٤٫۵	٤۲٫۲	۳٦٫۲	۳۰٫۲	۲٤٫۲	۱۸٫۲	۱۲٫۳
پانل دوجداره	دسته	C	C	C	C	B	B	B	A
	TL(dB)	۵٦٫۷	۳٦٫۷	۷۲٫۱	٦۰٫۱	٦۳٫۱	٤۵٫۱	۲۷٫۱	۱۸٫۲



شکل ۲-۲-۲- نمودار افت صوتی شیشه تک‌جدار و دوجداره در مثال‌های ۱ و ۲

۲-۳- جداکننده‌های متشکل از دو لایه لمینیت شده

پانل‌هایی که از دو لایه یا بیشتر تشکیل شده‌اند، اغلب به‌عنوان جداکننده در فضاهای بسته یا فضاهای آکوستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورتی که مطابق شکل (۲-۳-۱) لایه‌ها بر روی فصل مشترکشان، بدون هیچ فاصله هوایی به‌یکدیگر متصل شده باشند، پانل کمپوزیت[19] حول محور خنثی کل خم خواهد شد.

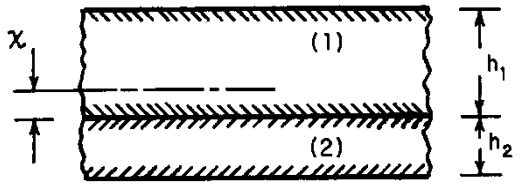
کمیت χ که برابر است با فاصله میان فصل مشترک دو لایه و محور خنثی کل، بر اساس معادله (۲۸) محاسبه می‌شود:

$$\chi = \frac{E_1 h_1^2 - E_2 h_2^2}{2\left(E_1 h_1 + E_2 h_2\right)} \qquad (۲۸)$$

که در آن E مدول یانگ و h ضخامت لایه است.

چنان‌چه محور خنثی به سمت ماده ۱ باشد مقدار آن مثبت و چنان‌چه به سمت ماده ۲ باشد، مقدار آن منفی خواهد بود.

با توجه به رابطه ۱۳ کمیت را می‌توان با دانستن خواص تک تک لایه‌ها محاسبه کرد. خواص فیزیکی مواد را می‌توان با استفاده از جدول پیوست الف به‌دست آورد.



شکل ۲-۳-۱- پانل لمینیت دو لایه

در مورد این جداکننده‌ها، افت صوتی در ناحیه ۲، ناحیه کنترل جرم، بر اساس معادله (۱۵) برابر است با:

19 Overal neutral axis

$$TL = 10\,Log\left[1+\left(\frac{\pi f M_S}{\rho_0 c}\right)^2\right]-5$$

که در آن جرم واحد سطح پانل لمینیت براساس معادله (۲۹) محاسبه می‌شود:

$$M_S = \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 \qquad (۲۹)$$

بسامد بحرانی یا بسامد انطباق موج برای پانل لمینیت را می‌توان از معادله (۳۰) محاسبه کرد:

$$f = \frac{c^2}{2\pi}\left(\frac{M_S}{B}\right)^{1/2} \qquad (۳۰)$$

که در آن c سرعت صوت در هوای اطراف پانل و B سختی خمشی پانل است و بر اساس معادله (۳۱) محاسبه می‌شود:

$$B = \frac{E_1 h_1^3}{12\left(1-\sigma_1^2\right)}\left[1+3\left(1-2\chi/h_1\right)^2\right]+\frac{E_2 h_2^3}{12\left(1-\sigma_2^2\right)}\left[1+3\left(1-2\chi/h_2\right)^2\right] \qquad (۳۱)$$

باید علامت جبری χ باید در این معادله در نظر گرفته شود. هنگامی‌که محور خنثی کل روی ماده ۱ باشد مقدار χ مثبت است.

افت تراگسیل برای پانل لمینیت از معادله (۳۰) به‌دست می‌آید که در آن ضریب افت براساس معادله (۳۲) محاسبه می‌شود:

$$\eta = \frac{\left(\eta_1 E_1 h_1 + \eta_2 E_2 h_2\right)\left(h_1+h_2\right)^2}{E_1 h_1^3\left[1+3\left(1-2\chi/h_1\right)^2\right]+E_2 h_2^3\left[1+3\left(1-2\chi/h_2\right)^2\right]} \qquad (۳۲)$$

مثال ۳- یک ورقه آلومینیومی به ضخامت ۱٫۶ میلی‌متر به یک ورقه لاستیکی به ضخامت ٤٫۸ میلی‌متر متصل شده است. ابعاد پانل ۷۵۰ × ٤۰۰ میلی‌متر است. دمای هوای در طراف پانل ۲۱ درجه سانتیگراد، چگالی هوا ۱٫۲ کیلوگرم بر مترمکعب و سرعت صوت ۳٤۳٫۸ متر بر ثانیه است. افت صوتی این پانل را در بسامدهای ۵۰۰ هرتز و ۸۰۰۰ هرتز محاسبه کنید.

خواص فیزیکی آلومینیوم و لاستیک با استفاده از جدول پیوست الف عبارت است از:

چگالی:

ρ_1= 2800 kg/m^3
ρ_2= 950 kg/m^3

مدول یانگ:

E_1=73.1 Gpa
E_2=2.30 Gpa

نسبت پواسون:

σ_1=0.33
σ_2=0.400

ضریب افت:

η_1= 0.001
η_2= 0.080

چگالی سطحی پانل براساس معادله (۱۹) برابر است با:

$$M_S = \rho_1 h_1 + \rho_2 h_2$$
$$M_S = (2800)(0.0016) + (950)(0.0048)$$
$$M_S = 4.48 + 4.56 = 9.04 \quad kg/m^2$$

مکان محور خنثی پانل بر اساس معادله (۲۸) محاسبه می‌شود:

$$\chi = \frac{(73.1)(0.0016)^2 - (2.30)(0.0048)^2}{2[(73.1)(0.0016) + (2.30)(0.0048)]} = 0.000524\, m = 0.524\, mm$$

مطابق معادله (۳۱) سختی خمشی برابر است با:

$$B = 175.6\, Pa - m^3 = 175.6\, N - m$$

بر اساس معادله (۳۰) بسامد بحرانی برابر است با:

$$f = \frac{(343.8)^2}{2\pi}\left(\frac{9.04}{175.6}\right)^{1/2} = 4268 \quad Hz$$

درصورتی‌که پانل تنها از آلومینیوم ساخته شده بود، بسامد بحرانی آن از معادله (۱۸) به‌دست می‌آید:

$$f_c(1) = \frac{\sqrt{3}(343.8)^2}{\pi(5420)(0.0016)} = 7515 \quad Hz$$

الف) در بسامد ۵۰۰ هرتز: از آن‌جایی‌که این بسامد کوچکتر از بسامد بحرانی است، بنابراین رفتار پانل در ناحیه ۲، ناحیه کنترل جرم خواهد بود و افت تراگسیل برای پانل مرکب از معادله (۱۵) برابر است با:

$$\frac{1}{a_{tn}} = 1 + \left[\frac{(\pi)(500)(9.04)}{(1.20)(343.8)}\right]^2 = 1186$$

$$TL = 10Log(1186) - 5 = 30.7 - 5 = 25.7 \ dB$$

در بسامد f=8 kHz افت صوتی در ناحیه۳ قرار می‌گیرد و مطابق معادله (١٤) محاسبه می‌شود. ضریب افت این پانل بر اساس معادله (۲۱) برابر است با:

η= 0.00469
TL(f=8000)= 29.5 dB

۲-٤- جداکننده‌های دوجداره با اتصالات مکانیکی (روش شارپ)

در بحث سبک‌سازی جدار، به‌منظور تأمین افت صوتی قابل‌قبول، از دیوارهای دوجداره یا سه‌جداره استفاده می‌شود. در مواردی‌که نیاز به تأمین عایق حرارتی نیز وجود داشته باشد (مانند نمای ساختمان) می‌توان با ایجاد تمهیداتی این شرایط را فراهم نمود. روش‌های طراحی برای هر دو نوع این دیوارها پیشرفت کرده است. ولی بحث فعلی تنها به ملاحظات مربوط به ساختار دیوار دوجداره محدود می‌شود.

برای دستیابی به بهترین نتیجه، باید هر دو پانل دیوار دوجداره هم از نظر مکانیکی و هم از نظر آکوستیکی از یکدیگر جداسازی شوند. جداسازی مکانیکی از طریق نصب پانل‌ها بر روی استادهایی که به‌صورت شطرنجی (یک در میان و غیرمتقابل) و جدا از هم هستند یا با نصب پانل‌ها به‌صورت ارتجاعی بر روی استادهای معمولی حاصل می‌شود. جداسازی آکوستیکی هم معمولاً با ایجاد فاصله تا حد ممکن عریض بین پانل‌ها و پر کردن فضای خالی با مواد جذب‌کننده صدا (عایق حرارت) فراهم می‌شود.

به‌طوری‌که این ماده، پل مکانیکی بین پانل‌ها ایجاد نکند. هم‌چنین برای دستیابی به بهترین نتیجه توصیه می‌شود که پانل‌ها همگن باشند.

افت صوتی یک پانل تک‌جدار همگن توسط دو بسامد تعیین می‌شود. یکی به‌نام پایین‌ترین مرتبه تشدید پانل، f_1 و دیگری بسامد انطباق (بسامد بحرانی)، f_c . ساختار دیوار دوجداره، سه بسامد جدید و مهم دیگر را معرفی می‌کند. نخست، پایین‌ترین مرتبه تشدید آکوستیکی، دوم، پایین‌ترین مرتبه تشدید پیکره‌ای و سوم، بسامد محدودکننده مربوط به فاصله هوایی بین پانل‌ها.

پایین‌ترین مرتبه تشدید آکوستیکی، f_2 ، جایگزین پایین‌ترین مرتبه تشدید پانل مربوط به ساختار تک‌جداره می‌شود و در جایی‌که c، سرعت صوت در هوا و L بلندترین بعد فضای خالی بین دو پانل باشد، می‌توان آن را از معادله (۳۳) محاسبه کرد:

$$f_2 = c/2L \qquad (۳۳)$$

پایین‌ترین مرتبه تشدید پیکره‌ای را می‌توان با فرض این‌که دو پانل جرم‌های نرم هستند که توسط یک ماده انعطاف‌پذیر بدون جرم به یکدیگر متصل شده‌اند، برآورد کرد. که این شرایط توسط هوای داخل فاصله بین پانل‌ها تأمین می‌شود. در عمل لازم است تا یک ضریب تجربی به‌میزان ۱٫۸ وارد معادله شود تا توافق بهتری با داده‌های موجود برای ساختارهای معمول دیوار داشته باشد.[۲۰]

با معرفی ضریب تجربی ۱٫۸، عبارت زیر برای پایین‌ترین مرتبه تشدید فضای خالی بین پانل‌ها، f_0، برای پانل‌هایی که در مقایسه با عرض فاصله هوایی بین‌شان بزرگ هستند، به‌دست می‌آید:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{1.8\,\rho c^2\left(m_1+m_2\right)}{d m_1 m_2}\right) \qquad \text{Hz} \qquad (۳٤)$$

در این معادله m_1 و m_2 به‌ترتیب عبارتند از جرم سطحی دو پانل برحسب کیلوگرم بر مترمربع و d عبارت است از عرض فاصله هوایی برحسب متر.

20 Sharp 1973

درنهایت بسامد حد f_L که مربوط به عرض فاصله هوایی بین پانل‌ها، d است، از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$f_L = \frac{c}{2\pi d} \approx \frac{55}{d} \qquad \text{Hz} \qquad (۳۵)$$

بسامدهای f_2، f_0 و f_L که در معادله‌های (۳۳) تا (۳۵) برای ساختار دوجداره ارائه شده‌اند، در تعیین رفتار تراگسیلی دیوار دوجداره حائز اهمیت هستند.

بسامدهای f_{c1} و f_{c2} که با استفاده از معادله زیر برای هر پانل محاسبه شده‌اند، نیز اهمیت دارند:

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi}\sqrt{\frac{m}{\beta}} \qquad \text{Hz}$$

در مورد آن دسته از ساختارهای دیوار دوجداره که دو جدار آن‌ها به‌طور کامل هم از نظر آکوستیکی و هم از نظر مکانیکی از یکدیگر جداسازی شده‌اند، افت تراگسیل قابل انتظار با استفاده از معادله‌های زیر تعیین می‌شود[۲۱]:

$$TL = \begin{cases} TL_M & f < f_0 \\ TL_1 + TL_2 + 20Log_{10} fd - 29 & f_0 < f < f_L \\ TL_1 + TL_2 + 6 & f > f_L \end{cases} \qquad (۳۶)$$

در معادله ٤ کمیت‌های TL_1، TL_2 و TL_M با جاگذاری m (مقادیر مربوط به چگالی سطحی پانل‌ها، m_1 و m_2 و چگالی سطحی کل یعنی $M = m_1 + m_2$) در معادله‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$TL = 20Log_{10}[\pi fm/\rho c] - 5 \qquad \text{dB}$$

برای بسامدهای بالاتر یا برابر با بسامد بحرانی، برای یک پانل همگن از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$TL = 20Log_{10}[\pi fm/\rho c] + 10Log_{10}[2\eta f/\pi f_c] \qquad \text{dB}$$

معادلات (۳٦) بر این فرض استوار است که از تشکیل امواج ایستاده در فضای خالی بین پانل‌ها جلوگیری به‌عمل آمده است و بنابراین، جفت‌شدگی هوابرد قابل

21 Sharp 1978

چشم‌پوشی است. برای اطمینان از عدم جفت‌شدگی، معمولاً فضای خالی توسط یک ماده جذب‌کننده صدا پر می‌شود. چگالی ماده باید به اندازه کافی بالا انتخاب شود تا مقاومت شار کل از طریق آن از مرتبه $3\rho c$ یا بزرگتر باشد.

هنگام نصب یک ماده متخلخل باید دقت لازم به‌عمل آید تا جفت‌شدگی مکانیکی بین پانل‌های دیوار دوجداره شکل نگیرد. بنابراین، حد بالاتری برای مقاومت شار کل به‌میزان $5\rho c$ پیشنهاد می‌شود یا به‌صورت جایگزین می‌توان ماده را تنها به یکی از جدارها متصل نمود به‌طوری که هیچ‌گونه تماسی با دیوار دیگر نداشته باشد. به‌طور کلی ماده جذب‌کننده صدا باید تا حد ممکن ضخیم باشد با حداقل ضخامتی به‌میزان $15/f$ برحسب متر، که در آن f پایین‌ترین بسامد موردنظر است.

افت تراگسیل پیش‌بینی شده در معادلات ٤، درعمل قابل تحقق نیست. تأثیر اتصال پانل‌ها (دو جدار) به استادهای حامل در چند نقطه (با استفاده از فاصله‌گذار[22]ها) یا در امتداد چند خط، به‌منظور فراهم آوردن پل مکانیکی برای تراگسیل صدای پیکره‌ای از یک جدار به جدار دیگر مشاهده می‌شود. بالاتر از یک بسامد معین که بسامد پل نامیده می‌شود، چنین هدایت پیکره‌ای باعث می‌شود که افت تراگسیل محدود شود. به‌طوری‌که ممکن است تا مقداری بسیار کمتر از آنچه در معادله ٤ به‌دست آمده است برسد. بالاتر از بسامد پل، که بالاتر از بسامد تشدید پیکره‌ای، f_0 ، ارائه شده در معادله ۲ و پایین‌تر از بسامد حد، f_L ، ارائه شده در معادله ۳ قرار می‌گیرد، افت تراگسیل در هر هنگام افزایش در بسامد، به‌میزان ٦ دسی‌بل افزایش پیدا می‌کند.

از آن‌جایی‌که نوع اتصال یک جدار به استادهای حامل‌اش، بازده هدایت صدای پیکره‌ای از پانل به استاد و برعکس را تعیین می‌کند، لازم خواهد بود که بین دو وسیله ممکن برای اتصال و در مورد دیوارهای دوجداره مورد بررسی، بین چهار ترکیب ممکن برای چنین اتصالاتی تمایز قایل شویم.

22 spacer

پانلی که به‌طور مستقیم به استاد حامل متصل می‌شود، معمولاً در امتداد طـول آن اسـتاد تماس ایجاد می‌کند. چنین حمایتی، حمایت خطی نامیده می‌شود با این فرض‌که فاصله بـین اسـتادها، b، مـنظم باشـد. بـه‌صـورت جـایگزین حمایـت یـک پانـل بـرروی فاصله‌گذارهای کوچک که برروی استادها نصب شده‌اند، حمایت نقطه‌ای نامیده خواهد شد و فرض می‌شود که فاصله e بین تکیه‌گاه‌های نقطه‌ای، یک شـبکه مسـتطیلی مـنظم تشکیل می‌دهد. اندازه‌های e و b در تعیین افت تراگسیل حائز اهمیت هستند.

در بحث زیر فرض می‌شود که دو پانل شماره‌گذاری شـده‌انـد بـه‌گونـه‌ای کـه بسـامد بحرانی پانل ۱، همواره کوچکتر از بسامد بحرانی یا در بیشترین مقـدار خـود، برابـر بـا بسامد بحرانی پانل ۲ است. با این توافق، چهار ترکیب ممکن برای اتصال پانل‌ها به این قرار است: خط– خط، خط– نقطه، نقطه– خط و نقطه – نقطه. در بین این چهار ترکیب ممکن برای تکیه‌گاه پانل، ترکیب نقطه – خط از دیگر ترکیب‌ها مستثنی است زیرا افت تراگسیل مربوط به آن همواره نسبت به آن‌چه از تکیه‌گاه خط– نقطه به‌دسـت مـی‌آیـد، پایین‌تر است. به بیان دیگر در صورتی‌که اتصال نقطه‌ای یکی از پانل‌ها مورد نظر باشد، توصیه می‌شود برای دستیابی به بهترین نتایج، پانل با بسامد بحرانـی بـالاتر بـه‌صـورت نقطه تکیه‌گاه داشته باشد. در گستره بسامدی بالاتر از بسامد پل و پایین‌تـر از تقریبـاً ½ بسامد بحرانی پانل ۲ (با بسامد بحرانی بالاتر)، افت تراگسـیل مـورد انتظـار بـرای سـه حالت به قرار زیر خواهد بود:

برای تکیه‌گاه خط– خط (sharp 1973):

$$TL = 10Log_{10}m_1 + 10Log_{10}\left(f_{c_2}b\right) + 20Log_{10}f + 20Log_{10}\left(1+\frac{m_2 f_{c_1}^{1/2}}{m_1 f_{c_2}^{1/2}}\right) - 77 \quad \text{dB} \qquad \text{(۳۷) الف}$$

در مورد اتصال (تکیه‌گاه) خط – نقطه:

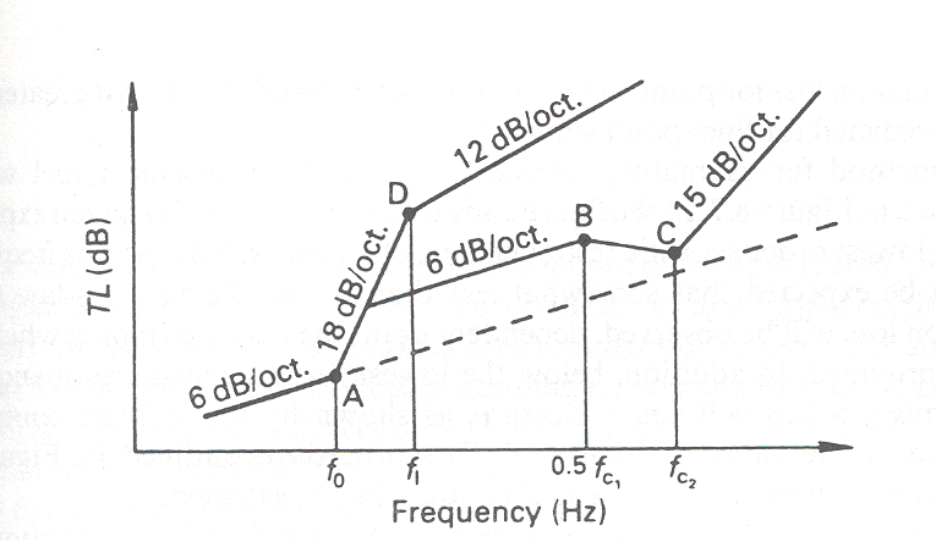
$$TL = 20Log_{10}m_1 + 20Log_{10}\left(f_{c_2}e\right) + 20Log_{10}f + 10Log_{10}\left(1 + 2X + X^2\right) - 99 \quad \text{dB}$$

$$X = \frac{77.7 m_2}{m_1 e\sqrt{f_{c1} f_{c2}}} \qquad \text{(۳۷) ب}$$

برای تکیه‌گاه نقطه – نقطه:

$$TL = 20Log_{10}m_1 + 20Log_{10}(f_{c_2}e) + 20Log_{10}f + 20Log_{10}\left(1+\frac{m_2 f_{c_1}}{m_1 f_{c_2}}\right) - 99 \qquad \text{dB} \qquad \text{(۳۷) پ}$$

بر اساس یکسری از داده‌های تجربی (آزمایشی) محدود، به‌نظر می‌رسد که معادله (۳۷) الف مقایسه بسیار خوبی بین برآورد و اندازه‌گیری ارائه می‌دهد، در حالی‌که معادله (۳۷)ب قیاس ضعیفی را به‌دست می‌دهد. در مورد تکیه‌گاه خط- نقطه، عبارت x معمولاً بسیار کوچک است و بنابراین می‌توان آن را نادیده گرفت. هم‌چنین بر پایه داده‌های تجربی محدود، به‌نظر می‌رسد که معادله (۳۷)پ، افت تراگسیلی بیشتر از آن‌چه مشاهده می‌شود را پیش‌بینی می‌کند.



شکل ۲-٤-۱- این شکل طرحی از برآورد افت تراگسیل یک دیوار دوجداره را نشان می‌دهد.

در ادامه جدارها شماره شده در نظر گرفته شده‌اند، بنابراین بسامد بحرانی جدار ۱، f_{c1}، همواره کوچکتر یا برابر با بسامد بحرانی جدار ۲، f_{c2} است یعنی $f_{c1} \le f_{c2}$ ، m_1 و m_2 (برحسب کیلوگرم بر مترمربع) چگالی‌های سطحی مربوط به هر جدار و d برحسب متر، فاصله بین دو جدار است. b برحسب متر عبارت است از فاصله بین تکیه‌گاه‌های خطی، در حالی‌که e برحسب متر عبارت است از فاصله مربوط به شبکه تکیه‌گاه

مستطیلی فرضی بین تکیه‌گاه‌های نقطه‌ای. c و c_L برحسب متر بر ثانیه، به‌ترتیب عبارتند از سرعت صوت در هوا و در ماده تشکیل‌دهنده پانل و h ضخامت پانل است. η_1 و η_2 ، به‌ترتیب ضرایب افت مربوط به جدارهای ۱ و ۲ هستند. نقاط مشخص شده برروی منحنی به قرار زیر محاسبه می‌شوند:

(افت تراگسیل در نقاط مشخص شده بر روی شکل ۲-٤-۱)

نقطه A:

$$f_0 = 80\sqrt{(m_1 + m_2)/dm_1m_2} \qquad \text{Hz}$$

$$TL_A = 20Log_{10}(m_1 + m_2) + 20Log_{10} f_0 - 48 \qquad \text{dB}$$

نقطه B:

$$f_{c2} = 0.55\, c^2 / c_{L2} h_2 \qquad \text{Hz}$$

در صورتی‌که هیچ ماده جذب‌کننده صدایی در فضای خالی بین دو جدار قرار نگرفته باشد، افت تراگسیل در نقطه B، برابر با TL_B خواهد بود. در غیر این صورت، از بین TL_{B1} و TL_{B2} ، TL_B برابر با مقدار بزرگتر در بین آن‌ها خواهد بود که از طریق زیر محاسبه می‌شوند:

$$TL_{B_1} = TL_A + 20Log_{10}(f_{c1} / f_0) - 6 \qquad \text{dB}$$

الف- تکیه‌گاه خط- خط:

$$TL_{B_2} = 20Log_{10}m_1 + 10Log_{10}b + 30Log_{10} f_{c2} + 20Log_{10}\left(1 + \frac{m_2 f_{c_1}^{1/2}}{m_1 f_{c_2}^{1/2}}\right) - 77 \qquad \text{dB}$$

ب- تکیه‌گاه خط- نقطه:

$$TL_{B_2} = 20Log_{10}m_1 e + 40Log_{10} f_{c_2} - 99 \qquad \text{dB}$$

تکیه‌گاه نقطه- نقطه از روی معادله مربوط به محاسبه تکیه‌گاه خط- نقطه، با اضافه کردن ۲ دسی‌بل به‌دست می‌آید. معادله مربوط به تکیه‌گاه نقطه- خط، با تعویض

اندیس‌ها در معادله خط- نقطه به‌دست می‌آید، ولی این کار منجر به افت تراگسیل کمتری شده و توصیه نمی‌شود.

نقطه C:

(الف) اگر $f_{c_2} \neq f_{c_1}$ $TL_c = TL_B + 6 + 10Log_{10}\eta_2$ dB

(ب) اگر $f_{c_2} = f_{c_1}$ $TL_c = TL_B + 6 + 10Log_{10}\eta_2 + 5Log_{10}\eta_1$ dB

نقطه D:

$f_1 = 55/d$ Hz

به‌نظر می‌رسد که افت تراگسیل برای تکیه‌گاه نقطه- نقطه، حدود ۲ دسی‌بل بزرگتر از مقدار پیش‌بینی شده برای تکیه‌گاه خط- نقطه باشد.

روش برآورد افت تراگسیل برای دیوار دوجداره در شکل (۲-٤-۱) نشان داده شده است. در این شکل، ملاحظات مربوط به پایین‌ترین مرتبه تشدید آکوستیکی، f_2 در معادله (۳۳)، صریحاً ارائه نشده است. در این بسامد، می‌توان انتظار داشت که مقداری کمتر از مقدار افت تراگسیل پیش‌بینی شده از قانون جرم مشاهده خواهد شد، بسته به آن‌که صداگیری فضای خالی فراهم شده باشد. به‌علاوه، پایین‌تر از پایین‌ترین مرتبه تشدید آکوستیکی، همان‌گونه که توسط ناحیه کنترل شده شقی در منحنی شکل (۲-۱-۱) نشان داده شده است، افت تراگسیل مجدداً افزایش پیدا خواهد کرد. فرآیند نشان داده شده در شکل صریحاً بر این فرض استوار است که نامساوی $Mf > 2\rho c$ برقرار باشد.

معادلات پیشین برای دیوار دوجداره بر این فرض بنا نهاده شده است که استادهای متصل‌کننده دو جدار دارای ساختار بسیار شق هستند. این فرض در صورتی‌که استادها چوبی باشند قابل قبول و در صورتی‌که از استادهای فلزی استفاده شده باشد، غیر قابل

قبول است. (معمولاً مقاطع با دیوارهای نازک به‌طوری‌که دیوارهای جداکننده به دو لبه مقابل هم وصل شده باشند[۲۳].)

Davy در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۱ روشی برای برآورد افت تراگسیل دیوار دوجداره نشان داد که در آن نرمی[۲۴] استادها، C_M (معکوس شقی) در نظر گرفته شده است. با وجود آن‌که این روش پیش‌بینی بسیار پیچیده‌تر از روش مورد بحث قبلی ما است، نشان دادن نتایج آن در اینجا ارزشمند است.

تراگسیل از یک جدار به دیگری، شامل تراگسیل انرژی هوابرد از طریق فضای خالی بین دو جدار و تراگسیل انرژی پیکره‌ای از طریق استادها است. برای بسامدهای بین f_0 و f_{c1} (که در آن f_{c1} بسامد بحرانی پایین‌تر از بین دو بسامد بحرانی مربوط به جدارها است)، ضریب تراگسیل صدای پیکره‌ای از معادله (۳۸) به‌دست می‌آید:

$$\tau_{Fc} = \frac{64\rho^2 c^3}{\left[g^2 + \left(4(2\pi f)^{3/2} m_1 m_2 c C_M - g\right)^2 \right] \beta b (2\pi f)^2} \qquad (۳۸)$$

که در آن:

$$g = m_1 (2\pi f_{c2})^{1/2} + m_1 (2\pi f_{c1})^{1/2} \qquad (۳۹)$$

$$\beta = \left[1 - \left(\frac{f}{f_{c1}}\right)^2\right]\left[1 - \left(\frac{f}{f_{c2}}\right)^2\right] \qquad (۴۰)$$

و b فاصله بین استادها است.

در مورد استادهای فولادی متداول $C_M = 10^{-6} \ \ m\ N^{-1}$[۲۵] و برای استادهای چوبی $C_M = 0$. یکای نرمی مکانیکی[۲۶] استادها، متر بر نیوتون یا جابجایی بر نیوتون، مربوط به نیروی وارد بر واحد طول در امتداد استادها و در جهت عمود بر صفحه پانل‌های

23 Davy 1990
24 Compliance
25 Davy 1990
26 Mechanical compliance

متصل به استادها است. ضریب تراگسیل فرودی میدانی برای تراگسیل صدای هوابرد از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\tau_{Fa} = \frac{1-\lambda/\left(2\pi\sqrt{A}\right)}{\left[\frac{m_2^2+m_1^2}{2m_1m_2}+a_1a_2\overline{\alpha}\frac{\lambda}{2\pi\sqrt{A}}\right]\left[\frac{m_2^2+m_1^2}{2m_1m_2}+a_1a_2\overline{\alpha}\right]} \qquad (٤١)$$

که در آن:

$$a_i = \left[\frac{\pi f m_i}{\rho c}\right]\left[1-\left(\frac{f}{f_{ci}}\right)^2\right] \qquad (٤٢)$$

در معادله‌ای بالا، f_{ci} ، بسامد بحرانی پانل i (۲ و ۱ =i)، m_1 و m_2 چگالی سطحی پانل‌های ۱ و ۲ و $\overline{\alpha}$ ضریب جذب فضای خالی بین دو پانل هستند که مقدار $\overline{\alpha}$ برای فضای خالی که با مواد جذب‌کننده صدا از قبیل پشم‌شیشه یا پشم‌سنگ پر شده باشد، معمولاً ۱ در نظر گرفته می‌شود. در مورد فضاهای خالی که در آن‌ها هیچ ماده جذب‌کننده صدایی وجود ندارد، مقدار $\overline{\alpha}$ به میزان قابل ملاحظه‌ای کوچک‌تر و برآورد آن بسیار دشوار است. در نبود اطلاعات مناسب‌تر، مقدار ۰٫۰۵ را می‌توان در نظر گرفت و مورد استفاده قرار داد.

ضریب تراگسیل کل عبارت است از:

$$\tau_F = \tau_{Fa} + \tau_{Fc} \qquad f_0 < f < f_{c_1} \qquad (٤٣)$$

مقدار τ_F از معادله بالا در معادله زیر برای محاسبه افت تراگسیل (TL) مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$TL = -10Log_{10}\tau \qquad \text{dB} \qquad (٤٤)$$

در بسامدهای بالاتر از f_{c1} ، استاد، صلب فرض می‌شود و Davy روش زیر را برای محاسبه τ_F ارائه می‌دهد:

$$\tau_F = \frac{\pi\left(\xi_1+\xi_2\right)n}{4\overline{a}_1^2\overline{a}_2^2\eta_1\eta_2\xi_1\xi_2\left(n^2+v^2\right)} \qquad (٤٥)$$

$$\xi_i = \left(\frac{f}{f_{ci}} \right)^{1/2} \qquad i = ۱ \text{ و } ۲ \qquad (٤٦)$$

$$a_i = \frac{\pi f m_i}{\rho c} \qquad (٤٧)$$

$$n = \eta_1 \xi_2 + \eta_2 \xi_1 \qquad (٤٨)$$

$$v = 4(\eta_1 - \eta_2) \qquad (٤٩)$$

کمیت‌های η_1 و η_2 ضرایب افت دو پانل و f بسامد مرکزی بند یک‌سوم هنگامی است. مجدداً معادله (٤٤) با استفاده از مقدار τ_F به‌دست آمده از معادله $f < f_{c_1}$، برای محاسبه TL مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مثال ٤: یک دیوار تخته گچی دوجداره از پیرامون در بازشویی به ابعاد ۲٫٤٤ × ۳ متر در یک آزمایشگاه نصب شده است. فاصله بین دو جدار ۰٫۱ متر است. چگالی سطحی و بسامدهای بحرانی دو جدار به‌ترتیب ۱۲٫٦۷ kg/m^2 و ۲۵۰۰ هرتز است. با استفاده از تئوری sharp، افت تراگسیل مورد انتظار را محاسبه کنید. فاصله بین دیوارها با استفاده از یک لایه ماده جذب‌کننده صدا به‌ضخامت ۵۰ میلی‌متر به‌خوبی صداگیری شده است ولی خود پانل‌ها با هیچ ماده صداگیری اصلاح نشده‌اند.

راه‌حل:

با ارجاع به شکل (۲-٤-۱) در مختصات نقطه A محاسبات به قرار زیر است:

$$f_0 = 80\sqrt{2 \times 12.67 / 0.1 \times 12.67^2} = 100 \text{ Hz}$$

$$TL_A = 20Log_{10}(2 \times 12.67) + 20Log_{10}100 - 48 = 20 \text{ dB}$$

محاسبات در نقطه B انجام می‌شود. از آن‌جایی‌که پانل از کناره حمایت شده است (اتصال دارد)، مساحت مربوط به هر تکیه‌گاه، کم‌تر از نصف مقدار فرض شده در تئوری است و بنابراین، ٤ دسی‌بل به افت تراگسیل محاسبه شده اضافه می‌شود:

$$TL_{B_1} = 20 + 20Log_{10}(2500/100) - 6 = 42 \text{ dB}$$

$$TL_{B_2} = 20Log_{10}12.67 + 10Log_{10}2.44 + 30Log_{10}2500 + 6 - 77 + 4 = 61 \text{ dB}$$

بنابراین:

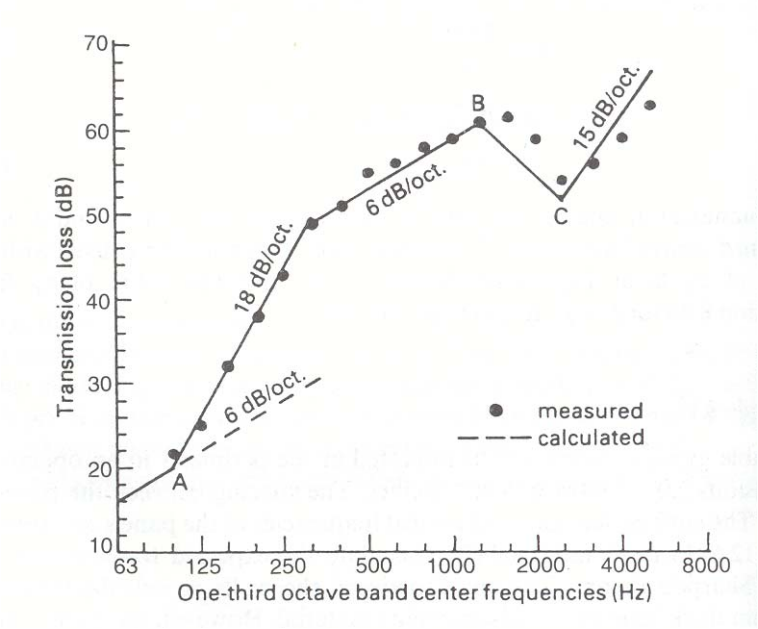
$$TL_B = 61 \text{ dB}$$

مختصات در نقطه C محاسبه می‌شود. در غیاب اطلاعات بهتر، برای هر پانل، ضریب افت $\eta = 0.1$ فرض می‌شود:

$$TL_C = 61 + 6 - 10 - 5 = 52 \text{ dB}$$

نمودار افت تراگسیل برآورد شده که در شکل (۲-٤-۲) نشان داده شده است، به‌دست می‌آید:

(برای مقایسه، نقاط تعیین شده از طریق آزمایش نیز نشان داده شده‌اند.)



شکل ۲-٤-۲- نمودار محاسبه افت صوتی دیوار تخته گچی دوجداره

برای دستیابی به افت تراگسیل بالا، معمولاً از چیدمان استادها به‌طور شطرنجی استفاده می‌شود. در این چیدمان، استادهای یک دیوار مشترک به‌صورت یک در میان قرار می‌گیرند و پانل‌هایی که از طرف دیگر به آن‌ها متصل می‌شوند، توسط استادهای یک در میان حمایت می‌شوند. تنها تکیه‌گاه‌های مشترک بین پانل‌های مقابل، در پیرامون دیوار مشترک است، برای مثال در پایین و بالا.

برای محاسبه افت تراگسیل مورد انتظار، می‌توان ساختار استادهای شطرنجی را به‌صورت دیوار دوجداره که از پیرامون متصل شده است، همانند تمرین قبل مدل کرد. ولی به‌کار بردن استادها، جفت‌شدگی پیکره‌ای را افزایش و افت تراگسیل به‌دست آمده را تنزل می‌دهد. برای مثال هنگامی‌که استادها به‌صورت شطرنجی به فواصل مرکزی ۰٫۶۱ متر از یکدیگر قرار گیرند، هرچند به‌طور مستقیم هیچ‌گونه جفت‌شدگی را به‌وجود نمی‌آورند، ولی افت تراگسیل اندازه‌گیری شده مربوط به ترکیب مثال قبل را به‌میزان ۱۰ دسی‌بل پایین می‌آورند. از سوی دیگر، در صورتی‌که اطمینان حاصل شود که حداقل یکی از دو پانل به‌خوبی صداگیری شده‌اند، حتی می‌توان با استفاده از استادهای شطرنجی، افت تراگسیلی بیشتر از آن‌چه در مثال قبل نشان داده شد، به‌دست آورد. بنابراین درصورتی‌که حداقل یکی از پانل‌ها به‌خوبی صداگیری نشده باشد، افت تراگسیل مورد انتظار برای دیوار دوجداره برروی استادهای شطرنجی، در محدوده‌ای بین آن‌چه که برای نصب از پیرامون (متصل از کناره‌ها) و تکیه‌گاه خط– خط در معادله (۳۷) الف نشان داده شده بود، قرار خواهد گرفت. به‌طور جایگزین درصورتی‌که حداقل یکی از پانل‌ها به‌خوبی صداگیری شده باشد، آن‌گاه دیوار دوجداره به‌صورت حمایت شده از پیرامون، مدل می‌شود و افت تراگسیل اندکی بیشتر از آن‌چه پیش‌بینی شده را می‌توان انتظار داشت.

روش ساده‌ای برای دستیابی به صداگیری بسیار زیاد پانل که در بالا به آن اشاره شد، ساخت پانل ضخیمی متشکل از دو پانل نازک است که در نقاطی به فواصل منظم، به‌صورت شبکه‌ای به یکدیگر چسبانده شده باشند. حرکت اندک (ملایم) پانل‌ها منجر به برش بین آن‌ها در فواصل بین اتصالات می‌شود و در نتیجه صداگیری بسیار مؤثری برای پانل حاصل می‌گردد که مربوط به حرکت برشی است و در آن انرژی به‌صورت گرما اتلاف می‌شود. به‌طور جایگزین می‌توان پانل را از یک طرف توسط یک ماده صداگیر ویسکوالاستیک موجود در بازار پوشش داد که برای مؤثر بودن، باید ضخامت این لایه حداقل برابر با ضخامت خود پانل باشد.

نکته مهم دیگر در مورد دیوارهای استادی با لایه‌های تخته‌گچی، این است که نشان داده شده است[۲۷] فاصله‌گذاری استادها در محدوده بین ۳۰۰ و ٤۰۰ میلی‌متر، به مقدار زیادی عملکرد دیوار دوجداره را در بندهای بسامدی یک‌سوم هنگامی ١٦۰ و ۲۰۰ هرتز، تا میزان ۱۳ دسی‌بل کاهش می‌دهد. دیگر فاصله‌گذاری‌های استادی (حتی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر) چنین کاهش عملکردی را نشان نمی‌دهند. اگر چه فاصله‌گذاری کوچکتر استادها عملکرد در بسامدهای پایین را افزایش می‌دهد (پایین ۲۰۰ هرتز) ولی این افزایش به‌قیمت از دست دادن اندکی دسی‌بل افت در تمام بسامدهای بین ۲۵۰ و ۲۰۰۰ هرتز خواهد بود.

۲-۵- افت صوتی یک جدار در آزمایشگاه صدابندی

آزمایشگاه صدابندی از دو اتاق مجاور هم تشکیل شده است که برای اندازه‌گیری افت صوتی یا شاخص کاهش صدای جدارها به‌کار برده می‌شود. جدار مورد آزمایش بین دو اتاق نصب می‌گردد (شکل ۲-۵-۱). باید اطمینان حاصل شود که صدای تراگسیل شده از طریق مسیرهای غیرمستقیم در مقایسه با صدای تراگسیل شده از طریق جدار مورد آزمون، قابل چشم‌پوشی باشد. امواج صوتی به وسیله بلندگوی نصب شده در یکی از این اتاق‌ها که منبع نامیده می‌شود، پخش می‌شود. مقدار توان صوتی فرودی روی جدار مورد آزمایش، بر اساس معادله (۵۰) برابر است با :

$$W_i = I_i \times S \qquad (۵۰)$$

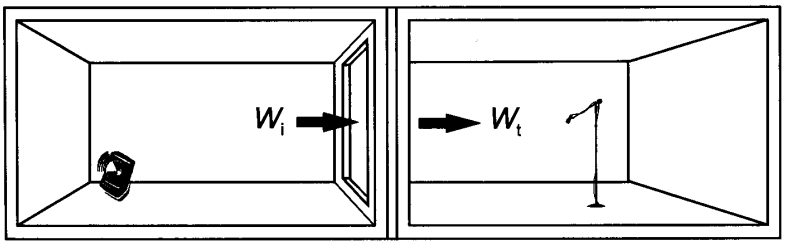
که در آن :

W_i : توان صوتی فرودی روی جدار برحسب وات

I_i : شدت صوتی فرودی روی جدار برحسب وات بر مترمربع

S : سطح جدار مورد آزمایش برحسب مترمربع

27 Rindel and Hoffmeyer, 1991



شکل ۲-۵-۱- طرح کلی از چیدمان آزمایشگاه صدابندی برای تعیین شاخص کاهش صدا

اگر اتاق منبع، پخشا در نظر گرفته شود، یعنی چگالی انرژی یا شدت صدا در شرایط پایدار در نقاط مختلف اتاق یکسان باشد، شدت صدا در هر نقطه برابر است با :

$$I_i = \frac{c}{4} E_i \qquad (۵۱)$$

که در آن :

E_i : چگالی انرژی در اتاق منبع برحسب ژول بر مترمکعب

C : سرعت انتشار صدا در هوا به متر بر ثانیه

با مقایسه روابط بالا می‌توان معادله (۵۲) زیر را نتیجه گرفت :

$$W_i = \frac{c}{4} E_i . S \qquad (۵۲)$$

از طرفی توان امواج صوتی انتقال‌یافته از جدار مورد آزمایش به اتاق مجاور (اتاق دریافت) با توجه به روابط فوق و در صورتی که صدا در این اتاق پخشا باشد برابر است با :

$$W_\tau = W_i . \tau = \frac{c}{4} E_i . S . \tau \qquad (۵۳)$$

مقدار کل توان صوتی جذب شده توسط جدارها در اتاق دریافت در شرایط پایدار برابر است با :

$$W_{2\tau} = \frac{c}{4} E_2 . S_2 . \alpha_2 \qquad (۵٤)$$

که در آن :

E_2 : چگالی انرژی در اتاق دریافت برحسب ژول بر مترمکعب

α_2 : ضریب جذب میانگین جدارها

S_2 : مجموع سطوح داخلی اتاق دریافت برحسب مترمربع

$W_{2\tau}$: توان صوتی جذب شده توسط جدارها برحسب وات

طبق اصل بقای انرژی، مقدار انرژی وارد شده به اتاق دریافت با مقدار انرژی جذب شده توسط جدارهای همان اتاق برابر است، در نتیجه:

$$W_\tau = W_{2\tau}$$

از مقایسه معادلات (۵۲) و (۵۳) و (۵۴)، معادله زیر بدست می‌آید :

$$\frac{1}{\tau} = \frac{E_i S}{E_2 S_2 \alpha_2} \qquad (۵۵)$$

اگر از طرفین رابطه ۱۳ لگاریتم گرفته و به جای نسبت $\frac{E_i}{E_2}$ معادل آن $\frac{I_i}{I_2}$ قرار داده شود، معادله (۵۶) زیر به دست خواهد آمد:

$$TL = 10\log\frac{1}{\tau} = 10\log\frac{I_i}{I_2} + 10\log\frac{S}{S_2\alpha_2} \qquad (۵۶)$$ یا R

عبارت $10\log\frac{I_i}{I_2}$ ، اختلاف تراز صدا بین دو طرف جدار مورد آزمایش است. ضمناً حاصل ضرب S_2 α_2 را سطح جذب معادل صدا در اتاق دریافت می‌نامند که به A نشان می‌دهند. در نتیجه شاخص کاهش صدا با توجه به معادله (۵۷) برابر است با :

$$R = L_1 - L_2 + 10\log\frac{S}{A} \qquad (۵۷)$$

که در آن :

L_1 : تراز میانگین صدا در اتاق منبع برحسب دسی‌بل

L_2: تراز میانگین صدا در اتاق دریافت برحسب دسی‌بل

A : سطح معادل جذب کننده در اتاق دریافت برحسب مترمربع که از رابطه $A = \sum S_i\alpha_i$ محاسبه می‌گردد و در آن S_i، سطح هر یک از مصالح به‌کار رفته در نازک‌کاری اتاق برحسب مترمربع و α_i، ضریب جذب هر یک از این مصالح است.

S : سطح جدار مورد آزمایش برحسب مترمربع

برای محاسبه شاخص کاهش صدا، L_1 و L_2 و S در آزمایشگاه قابل اندازه‌گیری بوده و سطح معادل جذب‌کننده صدا (A) با استفاده از اندازه‌گیری زمان واخنش اتاق دریافت و برطبق رابطه (۵۸) محاسبه می‌گردد:

$$A = \frac{0/16V}{T} \qquad (۵۸)$$

که در آن :

T : زمان واخنش اتاق دریافت برحسب ثانیه

V : حجم اتاق دریافت برحسب مترمکعب

فصل سوم
روش اندازه‌گیری افت صوتی جداکننده‌ها در آزمایشگاه

۳-۱- آزمایشگاه آکوستیک مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

در بخش آکوستیک مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، آزمایشگاهی براساس استاندارد ملی ایران ۱-۸۵٦۸ (استاندارد بین‌المللی ISO 140-1) ساخته شده است که در آن می‌توان درباره مسائل آکوستیکی ساختمان، پژوهش و سنجش نمود. بخشی از این آزمایشگاه به سنجش صدابندی جدارها در مقابل صدای هوابرد اختصاص دارد (شکل ۳-۱-۱). مشخصات این آزمایشگاه به شرح زیر است:

الف: حجم اتاق منبع ۹۸ مترمکعب

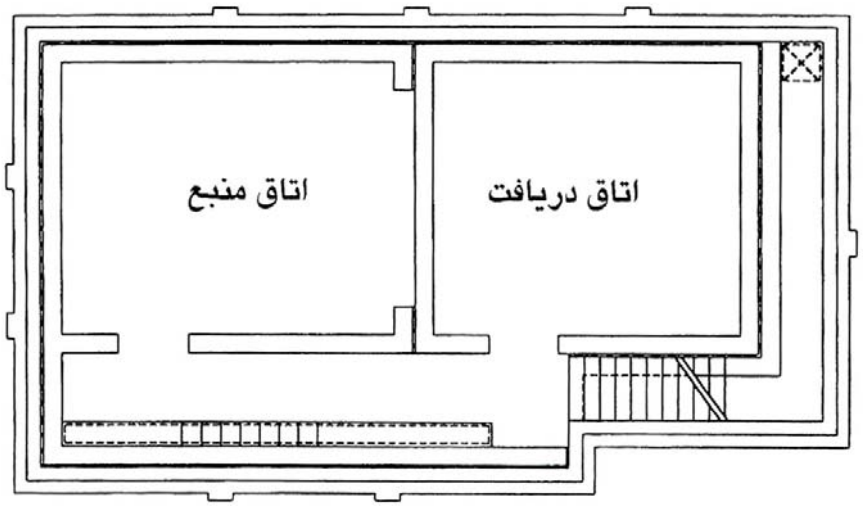
ب: حجم اتاق دریافت ۱۰۳ مترمکعب

ج: سطح بازشو بین دو اتاق برای ساخت دیوار مورد آزمایش ۱۲ مترمربع

د: نوفه زمینه در اتاق دریافت و منبع طبق جدول (۳-۱-۱)

جدول ۳-۱-۱- تراز نوفه زمینه در اتاق منبع و دریافت

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	میانگین تراز نوفه زمینه در اتاق منبع به دسی‌بل	میانگین تراز نوفه زمینه در اتاق دریافت به دسی‌بل
۱۰۰	۱۹٫۱	۱٤٫۰
۱۲۵	۱۱٫۸	۸٫۹
۱٦۰	۱۱٫۲	٦٫۵
۲۰۰	۱٦٫۰	٤٫٦
۲۵۰	۱۳٫۵	۷٫۷
۳۱۵	۱۷٫۹	۹٫٦
٤۰۰	۸٫۰	۵٫۰
۵۰۰	۹٫۳	۷٫۱
٦۳۰	۹٫۵	٦٫٦
۸۰۰	۹٫۵	۱۲٫۱
۱۰۰۰	۵٫٤	۹٫٤
۱۲۵۰	٤٫٤	٤٫۰
۱٦۰۰	٦٫۰	٤٫۵
۲۰۰۰	۱۰٫٦	۷٫۰
۲۵۰۰	۷٫۵	۷٫۰
۳۱۵۰	٦٫۹	۸٫٤
٤۰۰۰	۹٫۱	۸٫۲
۵۰۰۰	۹٫۱	۹٫۷



شکل ۳-۱-۱- پلان آزمایشگاه صدابندی بخش آکوستیک مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

۳-۲- تجهیزات اندازه‌گیری

تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمون صدابندی جداکننده‌ها شامل موارد زیر است:

- بلندگو به عنوان منبع تولید صدا
- میکروفون به عنوان دریافت‌کننده
- دستگاه تحلیل‌گر صدا برای اندازه‌گیری تراز صدا و زمان واخنش در اتاق‌های آزمون
- پایه دوار برای میکروفون‌ها (جهت میانگین‌گیری مکانی)
- کالیبراتور برای کالیبره کردن سیستم اندازه‌گیری

یادآوری – درصورت استفاده از پایه ثابت برای میکروفون، اندازه‌گیری باید در چند نقطه انجام شود.

دستگاه‌هایی که برای آزمایش‌های صدابندی جدار در مقابل صدای هوابرد به‌کار برده می‌شوند باید بر اساس استانداردهای IEC ساخته شوند. در آزمایشگاه آکوستیک این مرکز، دستگاه‌هایی که بدین منظور مورد استفاده قرار گرفته، در بندهای زیر توضیح داده شده است. لازم به ذکر است به‌منظور اطمینان بیشتر از صحت نتایج، کلیه اندازه‌گیری‌ها

به‌طور کامل توسط دو سیستم مجزای پالس و دستگاه تجزیه و تحلیل‌گر آکوستیکی مدل ٤٤١٨، با روشی یکسان انجام شده است. هم‌چنین از دو نوع منبع صدای مدل ٤٢٢٤ و بلندگوی دوازده وجهی مدل Nor276 به‌همراه تقویت‌کننده توان مدل Nor280 استفاده شده است که در مورد هرکدام به اختصار توضیح داده می‌شود.

۳-۲-۱- سیستم پالس مدل C ۳۵٦۰

سیستم اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیلگر پالس (شکل ۳-۲-۱-۱) با قابلیت اتصال به کامپیوتر و نصب نرم‌افزارهای مختلف آکوستیکی و قفل سخت‌افزاری مربوطه و در ضمن قابل حمل بودن، امکان انجام انواع اندازه‌گیری‌های آکوستیکی آزمایشگاهی و میدانی را فراهم می‌نماید. از جمله: زمان واخنش، تراز صدا، صدابندی هوابرد دیوار، در، پنجره و شیشه، صدابندی کوبه‌ای سقف‌ها و ضریب جذب مطابق با استانداردهای ISO 140 در مورد روش‌های اندازه‌گیری صدابندی در ساختمان‌ها و اجزای ساختمانی و ISO 354 در مورد اندازه‌گیری ضریب جذب صدا در اتاق واخنش

با اتصال دستگاه پالس به کامپیوتر می‌توان تمامی اطلاعات اندازه‌گیری شده را به صورت جدول و نمودار در اختیار داشت و برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی به کار برد.

شکل ۳-۲-۱-۱- سیستم پالس مدل ۳٥٦۰C

۳-۲-۲- دستگاه تجزیه و تحلیل‌گر آکوستیک ساختمانی مدل ٤٤١٨

این دستگاه برای اندازه‌گیری خودکار، تجزیه و تحلیل نتایج و مقایسه مقادیر موردنظر در آکوستیک ساختمانی طرح‌ریزی شده است (شکل ۳-۲-۲-۱). این مقادیر شامل زمان واخنش، تراز فشار صدا، اختلاف تراز صدا، شاخص کاهش صدا، تراز صدای کوبه‌ای معمول‌شده و غیره است که نتایج آن را به‌صورت ارقام نمایش می‌دهد. این دستگاه دارای ۲۰ بند بسامد مرکزی یک‌سوم هنگامی از ۱۰۰ هرتز تا ۸۰۰۰ هرتز است. در ضمن دارای دارای یک مولد نوفه اتفاقی است که با میکروفون نیم یا یک اینچ یا تقویت‌کننده مربوطه ساخت B&K و دستگاه منبع صدا مدل ٤٢٢٤ یک سیستم اندازه‌گیری‌های آکوستیکی را تشکیل می‌دهند.

شکل ۳-۲-۲-۱- دستگاه تجزیه و تحلیل‌گر آکوستیک ساختمانی مدل ٤٤١٨

۳-۲-۳- دستگاه منبع صدا مدل ٤٢٢٤

این دستگاه ساخت B&K دانمارک و برای اندازه‌گیری‌های آکوستیکی طرح‌ریزی گردیده و دارای یک بلندگو با کیفیت مناسب، تقویت‌کننده توان صوتی و مولد نوفه است (شکل ۳-۲-۳-۱). این منبع با نیروی باتری توان ۱۱۵ دسی‌بل و با نیروی برق توان ۱۱۸ دسی‌بل در گستره بسامدی ۱۰۰ هرتز تا ٤۰۰۰ هرتز را تولید می‌کند. هم‌چنین تقویت‌کننده توان و مولد نوفه صورتی است. به‌علاوه، قابل تنظیم با شیب صفر، ۳۰ و ٤٥ درجه برای اندازه‌گیری‌های آکوستیکی سازگار با دستگاه تجزیه و تحلیل‌گر آکوستیک ساختمانی مدل ٤٤١٨ می‌باشد.

شکل ۳-۲-۳-۱- دستگاه منبع صدا مدل ٤٢٢٤

۳-۲-٤- بلندگوی دوازده وجهی مدل Nor276 با تقویت‌کننده توان مدل Nor280

منبع مولد صدای دیگری که در این اندازه‌گیری‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، بلندگوی دوازده وجهی مدل Nor276 ساخت کارخانه Norsonic نروژ است (شکل ۳-۲-٤-۱). این بلندگو دارای توان بالا و همه‌جهتی است و کلیه الزامات ارائه شده در استانداردهای ISO 140-3 مربوط به اندازه‌گیری آزمایشگاهی صدابندی هوابرد جدارها، ISO 140-4، اندازه‌گیری میدانی صدابندی هوابرد جدارها و ISO 3382، اندازه‌گیری زمان واخنش را برآورده می‌کند. تراز توان خروجی آن، ۱۲۰دسی‌بل بر مبنای توان یک پیکو وات برای نوفه صورتی است. این بلندگو می‌تواند به مدت یک ساعت به‌طور پیوسته در بالاترین توان خود کار کند. Nor276 تنها برای کار کردن با تقویت‌کننده توان مدل Nor280 طراحی شده است و کار کردن با دیگر تقویت‌کننده‌ها به سیستم داخلی دستگاه آسیب می‌رساند.

تقویت‌کننده توان مدل Nor280 به‌طور خاص برای اندازه‌گیری‌های آکوستیکی با نصف وزن و دو برابر توان تقویت‌کننده‌های پیش از خود طراحی شده است. دارای مولد نوفه داخلی است و همراه با بلندگوی ۱۲ وجهی Nor276 تراز توان صدا به میزان ۱۲۰ دسی‌بل در گستره بسامدی ۵۰ تا ۵۰۰۰ هرتز منتشر می‌کند.

شکل ۳-۲-٤-۱- بلندگوی دوازده وجهی مدل Nor276 و تقویت‌کننده توان مدل Nor280

۳-۲-۵- میکروفون

میکروفون به‌کار رفته در این اندازه‌گیری‌ها میکروفون ½ اینچ میدان آزاد مدل 4190-L-001 است که با پیش‌تقویت‌کننده مدل 2669-L سیستم دریافت‌کننده را تشکیل می‌دهد (شکل ۳-۲-۵-۱).

این میکروفون برای اندازه‌گیری‌های دقیق آکوستیکی به‌کار می‌رود و مطابق با مشخصات کلاس یک استاندارد IEC 61672 است.

شکل ۳-۲-۵-۱- میکروفون ½ اینچ مدل 4190-L-001

۳-۲-٦- پایه دوار میکروفون مدل ۳۹۲۳

این دستگاه به‌عنوان تکمیل‌کننده وسایل اندازه‌گیری‌های آکوستیک ساختمانی و توان صوتی طرح‌ریزی شده است که در هنگام آزمایش بر روی یک سه‌پایه نصب می‌گردد (شکل ۳-۲-٦-۱). این دستگاه دارای بازویی است که می‌توان طول آن را از ۵۰ تا ۲۰۰ سانتیمتر تغییر داد. موتور آن شامل مدار تغذیه و جک‌های ورودی و خروجی است. زمان گردش بازو به دور خود ١٦، ۳۲ و ٦٤ ثانیه انتخاب شده است که سطح چرخش بازو را به‌وسیله یک کلاج دنده‌ای در بندهای ده درجه‌ای می‌توان تنظیم کرد.

شکل ۳-۲-٦-۱- میکروفون پایه دوار مدل ۳۹۲۳

۳-۲-۷- کالیبراتور تراز صدا مدل ٤۲۳۱

این دستگاه به‌منظور کالیبره کردن ترازسنج صدا و سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری آکوستیکی طرح‌ریزی شده است (شکل ۳-۲-۷-۱). تراز فشار صوتی کالیبراسیون در بسامد ۱۰۰۰ هرتز، ۹٤ دسی‌بل بر مبنای فشار 2×10^{-5} نیوتون بر مترمربع است.

شکل ۳-۲-۷-۱- کالیبراتور تراز صدا مدل ٤۲۳۱

۳-۳- روش اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای دیوار در آزمایشگاه

۳-۳-۱- اندازه‌گیری تراز صدای میانگین در اتاق منبع و دریافت

در بازشوی بین دو اتاق منبع و دریافت آزمایشگاه، دیوارهای مورد نظر ساخته می‌شود. در این آزمایش‌ها ابعاد دیوار ۳٫۹۳ × ۳٫۲۳ متر در نظر گرفته شده است. سپس براساس استاندارد ملی ایران ۳-۸۵۶۸ (استاندارد بین‌المللی ISO 140-3) نوفه یکنواخت درگستره بسامدی موردنظر و دارای بیناب پیوسته در اتاق منبع، تولید و توسط میکروفون با پایه دوار اندازه‌گیری می‌گردد (L_1). همین نوفه پس از تولید، در اتاق دریافت اندازه‌گیری می‌گردد (L_2) و با توجه به رابطه زیر شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در هر بسامد اندازه‌گیری می‌شود:

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

در این اندازه‌گیری‌ها فواصل زیر رعایت شده است:

۰٫۷ متر بین موقعیت‌های میکروفون؛

۰٫۷ متر بین موقعیت میکروفون و مرزهای اتاق یا پخشاگر[۲۸]ها؛

۱٫۰ متر بین موقعیت میکروفون و منبع صدا؛

۱٫۰ متر بین موقعیت میکروفون و جدار مورد آزمون.

شعاع جاروب میکروفون پایه دوار، ۱۲۰ سانتیمتر با زاویه ۳۰ درجه نسبت به سطح افق و مدت زمان چرخش ۱۶ ثانیه بوده است.

صدا در اتاق دریافت در بسامدهای مورد اندازه‌گیری حداقل ۲۰دسی‌بل بیشتر از نوفه زمینه است.

پیش از انجام دادن هر آزمون، سیستم اندازه‌گیری به‌وسیله دستگاه کالیبراتور تنظیم می‌شود.

---

28 diffuser

فاصله منبع صدا از کلیه سطوح اتاق حداقل ۰/۵ متر بوده است.
گستره بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز به شرح زیر است.

۱۰۰	۱۲۵	۱۶۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۱۵
۴۰۰	۵۰۰	۶۳۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۲۵۰
۱۶۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۱۵۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰

۳-۳-۲- روش اندازه‌گیری زمان واخنش در اتاق دریافت

روش اندازه‌گیری زمان واخنش در اتاق دریافت بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۹۴۵ (ISO 354) انجام می‌گیرد. برای اندازه‌گیری زمان واخنش نکات زیر نیز رعایت گردیده است:

الف- زمان واخنش بر اساس تنزل یافتن صدا بین ۵- تا ۳۵- دسی‌بل نسبت به تراز صدای پخش شده در اتاق دریافت، مورد محاسبه قرار گرفته است.

ب- زمان واخنش در سه نقطه اندازه‌گیری شده و مقدار میانگین مبنای محاسبه سطح معادل جذب کننده صدا می‌باشد.

ج- منبع نوفه، نوفه اتفاقی است که هنگام پخش تراز آن باید حداقل ۴۰ دسی‌بل بیشتر از نوفه زمینه باشد. در این روش اندازه‌گیری، کلیدهای روی دستگاه‌های تجزیه و تحلیلگر آکوستیک ساختمانی، منبع صدا و بازوی دوار میکروفون وجود دارد، که با تنظیم آنها اندازه‌گیری زمان‌واخنش به صورت خودکار انجام می‌گردد.

۳-۳-۳- روش محاسبه شاخص کاهش صدای دیوار در آزمایشگاه

در این روش، مقادیر ترازهای صدا در اتاق منبع (L_1) و اتاق دریافت (L_2) زمان واخنش (T) و حجم اتاق (V) در حافظه دستگاه ذخیره و با استفاده از کلیدهای محاسباتی دستگاه، ابتدا اختلاف تراز صدا و سپس شاخص کاهش صدا به دسی‌بل در بسامد

مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی، محاسبه شده و به وسیله صفحه نمایش دهنده دستگاه، مشخص می‌گردد. به‌عنوان مثال، مقادیر شاخص کاهش صدا برای دیوار ساخته شده از آجر فشاری ۱۰ سانتیمتری دو طرف اندود به‌ضخامت کل ۱٤ سانتیمتر در جدول (۳-۳-۳-۱) ارائه شده است.

جدول ۳-۳-۳-۱- مقادیر اندازه‌گیری‌های آکوستیکی در آزمایشگاه صدابندی به‌منظور تعیین شاخص کاهش صدای دیوار ساخته شده با آجر فشاری ۱۰ سانتیمتری دوطرف اندودشده

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	میانگین تراز صدا در اتاق منبع به دسی‌بل (L_1)	میانگین تراز صدا در اتاق دریافت به دسی‌بل (L_2)	اختلاف دو تراز به دسی‌بل $D=(L_1-L_2)$	زمان واخنش اتاق دریافت به ثانیه	شاخص کاهش صدا (R) به دسی‌بل
۱۰۰	۹۵٫۸	٦۲٫۵	۳۳٫۳	۳٫۵٤	۳٤٫۹
۱۲۵	۹۳٫۸	۵۹٫٦	۳٤٫۲	۲٫٦۲	۳٤٫۵
۱٦۰	۹۸٫٤	۵۹٫٤	۳۹٫۰	۳٫۲۰	٤۰٫۲
۲۰۰	۱۰۰٫۵	٦۰٫۸	۳۹٫۷	۲٫۵۲	۳۹٫۹
۲۵۰	۱۰۱٫۱	٦۱٫۱	٤۰٫۰	۲٫۱۷	۳۹٫٤
۳۱۵	۱۰۲٫۹	٦٤٫۰	۳۸٫۰	۱٫۹۷	۳۷٫۹
٤۰۰	۱۰۳٫٦	٦۳٫۵	٤۰٫۱	۲٫۱۸	۳۹٫٦
۵۰۰	۱۰٤٫٦	٦۲٫۳	٤۲٫۳	۲٫۲۳	٤۱٫۹
٦۳۰	۱۰۵٫۸	٦۰٫۰	٤۵٫۸	۱٫۹۹	٤٤٫۹
۸۰۰	۱۰۵٫٦	۵۹٫٦	٤٦٫۰	۲٫۱۵	٤۵٫٤
۱۰۰۰	۱۰۳٫۱	۵٤٫۷	٤۸٫٤	۲٫۲۱	٤۷٫۹
۱۲۵۰	۹۹٫۷	٤۹٫۰	۵۰٫۷	۲٫۳۵	۵۰٫٤
۱٦۰۰	۱۰۱٫٤	۵۱٫۷	٤۹٫۷	۲٫۳٦	٤۹٫۵
۲۰۰۰	۱۰۲٫۸	۵۰٫۹	۵۱٫۹	۲٫۲٤	۵۱٫۹
۲۵۰۰	۱۰۲٫۱	٤۷٫۱	۵۵٫۰	۲٫۱۷	۵٤٫٤
۳۱۵۰	۹٦٫۱	٤۰٫۲	۵۵٫۹	۱٫۹٤	۵٤٫۹
٤۰۰۰	۹۳٫٤	۳٦٫۰	۵۷٫٤	۱٫۷٤	۵٦٫۰

۳-۳-٤- درجه‌بندی صدابندی دیوار در مقابل صدای هوابرد

برای مشخص نمودن صدابندی یک جدار در مقابل صدای هوابرد به وسیله یک عدد تنها که گویای صدابندی جدار باشد نمودار افت صوتی جدار را درجه‌بندی می‌نماید. برای این درجه‌بندی از سوی مؤسسه استاندارد جهانی (ISO) روشی تدوین گردیده است که نمودار شاخص کاهش صدای اندازه‌گیری شده را با نمودار مبنا مقایسه و ارزیابی می‌کنند. این نمودار بر اساس مقادیر مندرج در جدول (۱-۸-۱) و نمودار شکل (۱-۸-۱) نمایش داده شده است.

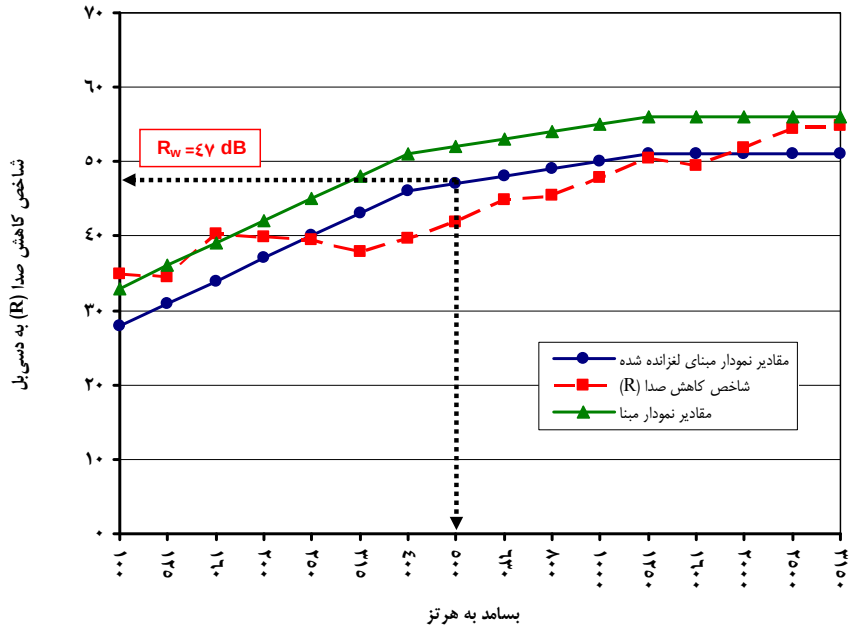
برای مقایسه، نمودار مبنا را در بندهای یک دسی‌بل به سوی نمودار اندازه‌گیری شده باید آن چنان لغزاند تا شرایط زیر برقرار گردد :

الف: میانگین انحراف ناخواسته که از تقسیم مجموع انحراف‌های ناخواسته بر مجموع تعداد بسامدهای مورد اندازه‌گیری به‌دست می‌آید، بزرگتر از یک و کمتر از دو دسی‌بل باشد. انحراف ناخواسته به انحرافاتی گفته می‌شود که مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص کاهش صدا کمتر از مقادیر نمودار مبنا باشد.

ب: حداکثر انحراف ناخواسته نباید بیشتر از هشت دسی‌بل برای هر بسامد مرکزی بندهای یک سوم هنگامی باشد.

مقدار عددی نمودار مبنای لغزانده شده در بسامد ۵۰۰ هرتز برحسب دسی‌بل به‌عنوان شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) برای آن جدار می‌باشد.

به‌عنوان مثال نمودار شاخص کاهش صدای دیوار ساخته شده با آجر فشاری ۱۰ سانتیمتری دوطرف اندود شده در شکل (۳-۳-٤-۱) ارائه شده است.



شکل ۳-۳-٤-۱- نمودار شاخص کاهش صدای دیوار ساخته شده با آجر فشاری ۱۰ سانتیمتری دوطرف اندود به‌ضخامت کل ١٤ سانتیمتر

فصل چهارم
بررسی صدابندی هوابرد چند سیستم ساختمانی

٤-١- فرآورده‌های رسی

فرآورده‌های رسی به دو دسته اصلی آجر و بلوک سفالی تقسیم می‌شوند.

٤-١-١- آجر رسی

آجر رسی شامل آجرهای فشاری و آجرهای ماشینی می‌باشد.

آجر فشاری: دلیل نامگذاری این نوع آجر این است که در ابتدای تولید آن، خشت با دست زده می‌شد و با فشار دستی کارگران خشت زن گوشه‌های قالب به وسیله گل مخصوص پر می‌گردید. ابعاد این نوع آجر ۵×۱۰×۲۰ و یا ۵٫۵×۱۱×۲۲ سانتیمتر است (شکل ٤-١-١-١). این نوع آجر برای کلیه کارهای ساختمانی مانند: طاق ضربی، دیوارهای باربر و تیغه چینی مناسب است.

آجر ماشینی: آجر ماشینی یا آجر سوراخ‌دار که بر روی سطح بزرگتر آن ۸ یا ۱۰ سوراخ به قطر ۵٫۱ تا ۲ سانتیمتر وجود دارد، در بازار ایران به آجرهای هشت یا ده سوراخه ماشینی معروف است.

بر اساس استاندارد شماره ۷ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران این سوراخ‌ها باید تمام ضخامت آجر را طی نموده و سطح مقطع مجموع سوراخ‌ها نباید بیشتر از ۲۵ درصد سطح بزرگ‌تر آجر باشد و فاصله سوراخ‌ها از لبه آجر و هم‌چنین فاصله سوراخ‌ها از یکدیگر در هر بعد آجر نباید کمتر از ۳۰ درصد طول همان بعد باشد. ابعاد متداول این نوع آجر ۵/۵×۱۱×۲۲ سانتیمتر می‌باشد. اضلاع این نوع آجر گونیاتر بوده و دارای سطوح صافتری نسبت به آجرهای فشاری است.

شکل ٤-۱-۱-۱- نمونه‌هایی از آجر فشاری و دیوار ساخته شده با آن در آزمایشگاه

دیوار با استفاده از آجرهای فشاری در محل بازشو بین دو اتاق منبع و دریافت در آزمایشگاه ساخته شده (شکل ٤-۱-۱-۱) و صدابندی هوابرد (شاخص کاهش صدا) آن بر اساس بند ۳ اندازه‌گیری می‌شود. در صورت نیاز برای افزایش صدابندی هوابرد و مقاومت حرارتی، اجرای دیوارهای پوششی با لایه عایق حرارتی (شکل ٤-۱-۱-۲) یا دوجداره کردن دیوار با لایه عایق حرارتی سرتاسری مورد نیاز است. استفاده از این دیوارها به روش طراحی و گروه انرژی ساختمان طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بستگی دارد. نتایج صدابندی هوابرد اندازه‌گیری شده به‌صورت جدول و نمودار در بسامدهای مختلف در جدول ٤-۱-۱-۲ و شکل ٤-۱-۱-۳ ارائه شده است. هم‌چنین نتایج صدابندی هوابرد به‌صورت تک عددی، تحت عنوان شاخص کاهش

صدای وزن‌یافته (R_w) برحسب dB با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته در آزمایشگاه آکوستیک در جدول ٤-١-١-١ ارائه شده است.

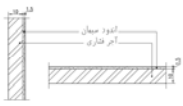
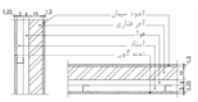
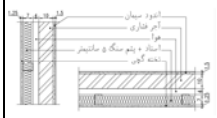
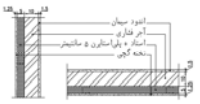
سیستم پوششی با استفاده از پلی استایرن ۵ سانتیمتری

سیستم پوششی با فاصله هوایی و نصب صفحات گچی

سیستم پوششی با استفاده از الیاف معدنی ۵ سانتیمتری و نصب صفحات گچی

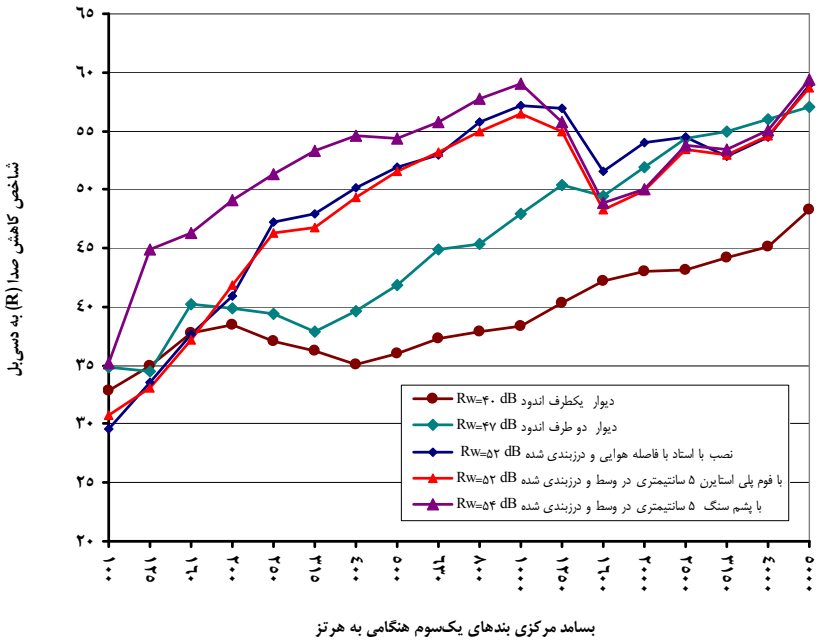
شکل ٤-١-١-٢- نمونه‌هایی از دیوارهای پوششی بر روی دیوار ساخته شده با آجر فشاری در آزمایشگاه

جدول ٤-١-١-١- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای پوششی بر روی دیوار ساخته شده با آجر فشاری

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_w)
۱	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۱٫۵سانتیمتر لایه ۲- آجر فشاری به ضخامت ۱۰ سانتیمتر		۱۱٫۵	۲۲۲	٤۰
۲	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- آجر فشاری به‌ضخامت ۱۰سانتیمتر لایه ۳- هوا به‌ضخامت٤ سانتیمتر لایه ٤- استاد به عرض ۷ سانتیمتر لایه ٥ – تخته‌گچی به ضخامت ۱٫۲٥ سانتیمتر		۲۳٫۷٥	۲۳۲	٥۲
۳	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۱٫٥ سانتیمتر لایه ۲- آجر فشاری به‌ضخامت ۱۰ سانتیمتر لایه ۳- هوا به‌ضخامت ٤ سانتیمتر لایه ٤- استاد به عرض ۷ سانتیمتر با الیاف معدنی به‌ضخامت ٥ سانتیمتر و چگالی ٥۰ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ٥ – تخته گچی به ضخامت۱٫۲٥ سانتیمتر		۲۳٫۷٥	۲۳٤	٥٤
٤	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۱٫٥ سانتیمتر لایه ۲- آجر فشاری به‌ضخامت ۱۰ سانتیمتر لایه ۳- هوا به‌ضخامت ٤ سانتیمتر لایه ٤- استاد به عرض ۷ سانتیمتر با پلی استایرن به‌ضخامت ٥ سانتیمتر و چگالی ۱٥ کیلوگرم بر مترمکعب		۲۳٫۷٥	۲۳۳	٥۲
٥	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- آجر فشاری به‌ضخامت ۱۰ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر		۱٤	۲٤۸	٤۷

جدول ٤-١-١-٢- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-١-١-١، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (**R**) یا افت صوتی (**TL**) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل				
	ردیف ١	ردیف ٢	ردیف ٣	ردیف ٤	ردیف ٥
١٠٠	٣٣٫٢	٢٩٫٦	٣٥٫٢	٣٠٫٨	٣٤٫٩
١٢٥	٣٥٫١	٣٣٫٥	٤٤٫٩	٣٣٫١	٣٤٫٥
١٦٠	٣٧٫٤	٣٧٫٧	٤٦٫٢	٣٧٫٢	٤٠٫٢
٢٠٠	٣٨٫٢	٤٠٫٩	٤٩٫٢	٤١٫٨	٣٩٫٩
٢٥٠	٣٧٫٦	٤٧٫٣	٥١٫٣	٤٦٫٣	٣٩٫٤
٣١٥	٣٦٫٦	٤٧٫٩	٥٣٫٤	٤٦٫٨	٣٧٫٩
٤٠٠	٣٥٫٩	٥٠٫٢	٥٤٫٦	٤٩٫٣	٣٩٫٦
٥٠٠	٣٦٫٤	٥١٫٩	٥٤٫٣	٥١٫٦	٤١٫٩
٦٣٠	٣٧٫٧	٥٢٫٩	٥٥٫٨	٥٣٫٢	٤٤٫٩
٨٠٠	٣٧٫٦	٥٥٫٧	٥٧٫٧	٥٥٫٠	٤٥٫٤
١٠٠٠	٣٨٫٦	٥٧٫٢	٥٩٫١	٥٦٫٥	٤٧٫٩
١٢٥٠	٤٠٫٨	٥٦٫٩	٥٥٫٨	٥٥٫٠	٥٠٫٤
١٦٠٠	٤٢٫٣	٥١٫٥	٤٨٫٩	٤٨٫٣	٤٩٫٥
٢٠٠٠	٤٣٫٢	٥٤٫٠	٥٠٫٠	٥٠٫٠	٥١٫٩
٢٥٠٠	٤٣٫٢	٥٤٫٥	٥٣٫٧	٥٣٫٤	٥٤٫٤
٣١٥٠	٤٤٫١	٥٢٫٩	٥٣٫٤	٥٣٫٠	٥٤٫٩
٤٠٠٠	٤٥٫١	٥٤٫٥	٥٥٫١	٥٤٫٦	٥٤٫٠
٥٠٠٠	٤٨٫٠	٥٨٫٩	٥٩٫٤	٥٨٫٧	٥٦٫٥
R_w	٤٠	٥٢	٥٤	٥٢	٤٧



شکل ٤-١-١-٣ - نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-١-١-٢، در بسامدهای مختلف

٤-١-٢- بلوک سفالی

در سالهای اخیر صنعت ساختمان با افزایش تولید بلوک‌های سفالی سبک روبه‌رو بوده است. آجرها و بلوک‌ها با ۳۰ تا ۵۰ درصد سوراخ را آجرها و بلوک‌های توخالی می‌نامند. در برخی موارد حفره‌های موجود در بلوک در جهت افقی و در دیگر موارد به صورت قائم در نظر گرفته شده است. عموماً بلوک‌های دیواری، گچ‌کاری یا اندود می‌شوند. البته در بعضی موارد، بلوک‌ها دارای اندازه و شکل منظم و ظاهری مناسب هستند و برای دیوارسازی بدون اندود مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ٤-١-٢-١) .

شکل ٤-١-٢-١- نمونه‌هایی از بلوک سفالی و دیوار ساخته شده با آن‌ها در آزمایشگاه

دیوار با استفاده از از آجرهای سفالی در محل بازشو بین دو اتاق منبع و دریافت در آزمایشگاه ساخته شده (شکل ٤-١-٢-١) و صدابندی هوابرد (شاخص کاهش صدا) آن بر اساس بند ٣ اندازه‌گیری می‌شود. در صورت نیاز برای افزایش صدابندی هوابرد و مقاومت حرارتی، اجرای دیوارهای پوششی با لایه عایق حرارتی (شکل ٤-١-٢-٢) و یا دوجداره کردن دیوار با لایه عایق حرارتی (شکل ٤-١-٢-٣) مورد نیاز است. کار گذاشتن عایق حرارتی به‌صورت ناپیوسته (مقطع) در آجرهای سفالی، اثربخشی مناسبی ندارد. پیشنهاد می‌شود به‌جای آن یک لایه عایق حرارتی سرتاسری در نظر گرفته شود. استفاده از این دیوارها به روش طراحی و گروه انرژی ساختمان طبق مبحث ١٩ مقررات ملی ساختمان بستگی دارد. نتایج صدابندی هوابرد اندازه‌گیری شده به‌صورت جدول و نمودار در بسامدهای مختلف در جدول‌های ٤-١-٢-٢، ٤-١-٢-٤، ٤-١-٢-٦ و ٤-١-٢-٨ و شکل‌های ٤-١-٢-٤ تا ٤-١-٢-٧ ارائه شده است. همچنین نتایج صدابندی هوابرد به‌صورت تک عددی، تحت عنوان شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) برحسب dB با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته در آزمایشگاه آکوستیک در جدول‌های ٤-١-٢-١، ٤-١-٢-٣، ٤-١-٢-٥ و ٤-١-٢-٧ ارائه شده است.

سیستم پوششی با فاصله هوایی و نصب صفحات گچی

سیستم پوششی با استفاده از الیاف معدنی ٥ سانتیمتری

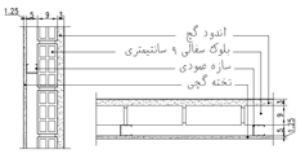
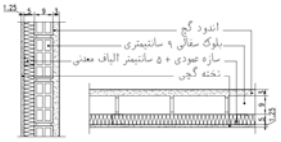
شکل ٤-١-٢-٢- نمونه‌هایی از دیوارهای پوششی بر روی دیوار ساخته شده با بلوک‌های سفالی در آزمایشگاه

دیوار دوجداره ساخته شده با بلوک‌های سفالی لایه میانی الیاف معدنی

دیوار ساخته شده با بلوک‌های سفالی

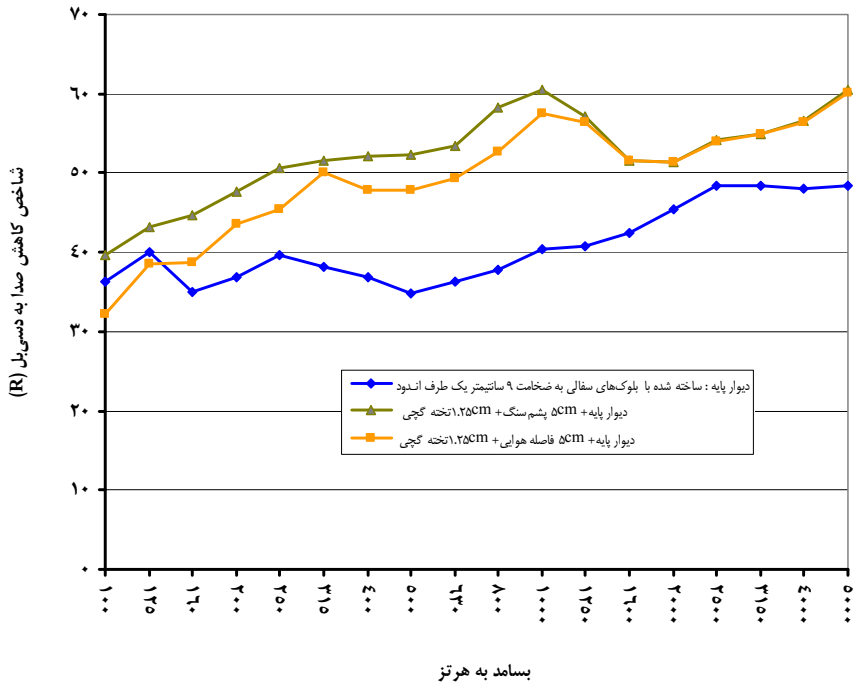
شکل ٤-١-٢-٣-نمونه‌هایی از دیوارهای دوجداره ساخته شده با بلوک سفالی در آزمایشگاه

جدول ٤-١-٢-١: نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای پوششی بر روی دیوار ساخته شده با بلوک سفالی به ضخامت ۹ سانتیمتر

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
۱	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۳ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی به‌ضخامت ۹ سانتیمتر		۱۲	۱۲۱	٤۱
۲	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۳ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی به‌ضخامت ۹ سانتیمتر لایه ۳- سازه عمودی به فاصله ۵ سانتیمتر از دیوار پایه لایه ٤ – تخته گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۱۸٫۲۵	۱۳۱	۵۲
۳	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۳ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی به‌ضخامت ۹ سانتیمتر لایه ۳- سازه عمودی به فاصله ۵ سانتیمتر از دیوار پایه با الیاف معدنی به‌ضخامت ۵ سانتیمتر و چگالی ۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب		۱۸٫۲۵	۱۳۵	٥٤

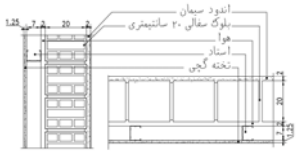
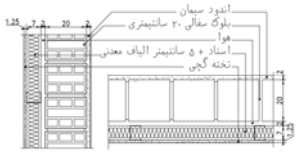
جدول ٤-١-٢-٢- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-١-٢-١، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل		
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳
۱۰۰	۳٦٫٤	۳۲٫۲	۳۹٫۷
۱۲۵	٤۰٫۰	۳۸٫٦	٤۳٫۱
۱٦۰	۳۵٫۰	۳۸٫۸	٤٤٫۸
۲۰۰	۳٦٫۸	٤۳٫۵	٤۷٫۸
۲۵۰	۳۹٫٦	٤۵٫۵	۵۰٫٦
۳۱۵	۳۸٫۱	۵۰٫۰	۵۱٫٦
٤۰۰	۳٦٫۹	٤۷٫۹	۵۲٫۲
۵۰۰	۳٤٫۸	٤۷٫۹	۵۲٫۳
٦۳۰	۳٦٫۲	٤۹٫٤	۵۳٫۵
۸۰۰	۳۷٫۹	۵۲٫۷	۵۸٫۳
۱۰۰۰	٤۰٫۵	۵۷٫۵	٦۰٫۵
۱۲۵۰	٤۰٫۷	۵٦٫۵	۵۷٫۲
۱٦۰۰	٤۲٫٤	۵۱٫٦	۵۱٫۵
۲۰۰۰	٤۵٫۳	۵۱٫۵	۵۱٫۳
۲۵۰۰	٤۸٫٤	۵٤٫۰	۵٤٫۱
۳۱۵۰	٤۸٫٤	۵۵٫۰	۵۵٫۰
٤۰۰۰	٤۸٫۱	۵٦٫۵	۵٦٫۷
۵۰۰۰	٤۸٫٤	٦۰٫۲	٦۰٫۵
R_w	٤۱	۵۲	۵٤

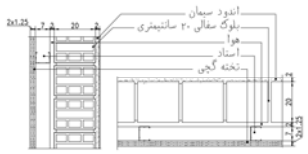


شکل ٤-١-٢-٤- نمودار نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-١-٢-٢، در بسامدهای مختلف

جدول ٤-١-٢-٣- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای پوششی بر روی دیوار ساخته شده با بلوک سفالی به‌ضخامت ۲۰ سانتیمتر

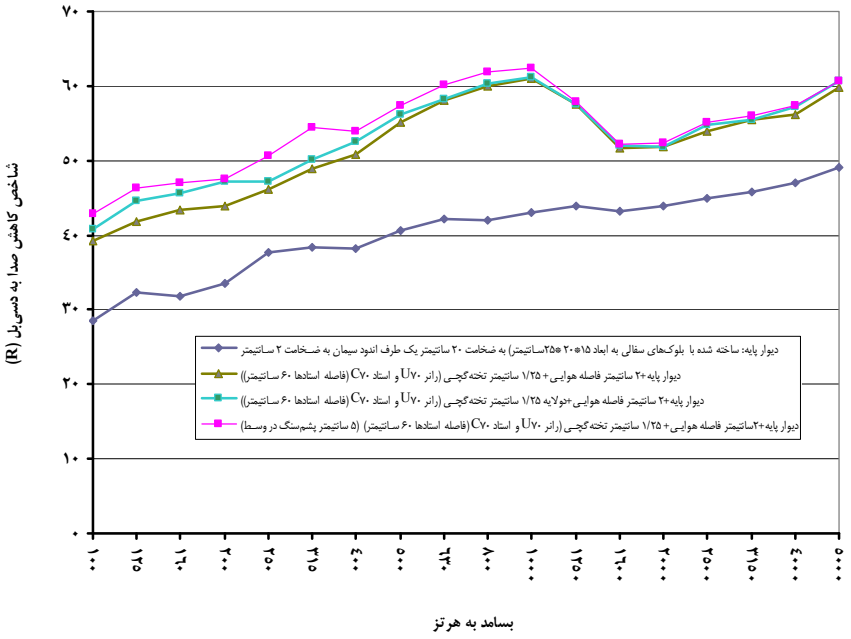
ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_w)
۱	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی به‌ضخامت ۲۰ سانتیمتر		۲۲	۱٦۸	٤۳
۲	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی به‌ضخامت ۲۰ سانتیمتر لایه ۳- فاصله هوایی به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ٤- استاد به عرض ۷ سانتیمتر لایه ٥ – تخته گچی به- ضخامت		۳۲٫۲٥	۱۷۹	٥٤
۳	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی به‌ضخامت ۲۰ سانتیمتر لایه ۳- فاصله هوایی به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ٤- استاد به عرض ۷ سانتیمتر با الیاف معدنی به‌ضخامت ٥ سانتیمتر و چگالی ۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ٥ – تخته گچی به ضخامت ۱٫۲٥ سانتیمتر		۳۲٫۲٥	۱۸۳	٥٦

ادامه جدول ٤-١-٢-٣- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای پوششی بر روی دیوار ساخته شده با بلوک سفالی به‌ضخامت ۲۰ سانتیمتر

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
٤	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی به‌ضخامت ۲۰ سانتیمتر لایه ۳- فاصله هوایی به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ٤- استاد به عرض ۷ سانتیمتر لایه ۵ – دو لایه تخته گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۳۳٫۵	۱۸۸	۵۵

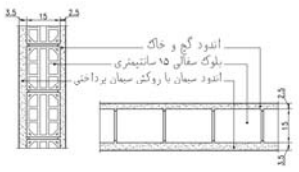
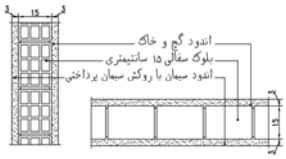
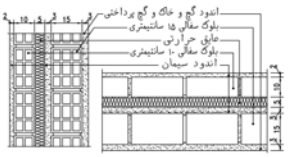
جدول ٤-١-٢-٤- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-١-٢-٣، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل			
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳	ردیف ٤
۱۰۰	۲۸٫٦	۳۹٫۳	٤۲٫۸	٤۰٫۸
۱۲۵	۳۲٫٤	٤۱٫۹	٤٦٫۳	٤٤٫٦
۱٦۰	۳۱٫۸	٤۳٫٤	٤۷٫۰	٤۵٫٦
۲۰۰	۳۳٫٦	٤۳٫۹	٤۷٫٦	٤۷٫۳
۲۵۰	۳۷٫۸	٤٦٫۲	۵۰٫۷	٤۷٫۲
۳۱۵	۳۸٫٤	٤۹٫۰	۵٤٫۵	۵۰٫۱
٤۰۰	۳۸٫۲	۵۰٫۹	۵٤٫۰	۵۲٫٦
۵۰۰	٤۰٫٦	۵۵٫۲	۵۷٫٤	۵٦٫۲
٦۳۰	٤۲٫۲	۵۸٫۲	٦۰٫۲	۵۸٫۳
۸۰۰	٤۲٫۰	٦۰٫۱	٦۱٫۸	٦۰٫٤
۱۰۰۰	٤۳٫۰	٦۱٫۰	٦۲٫٤	٦۱٫۲
۱۲۵۰	٤۳٫۹	۵۷٫٦	۵۷٫۹	۵۷٫٦
۱٦۰۰	٤۳٫۲	۵۱٫۷	۵۲٫۲	۵۲٫۰
۲۰۰۰	٤۳٫۹	۵۱٫۸	۵۲٫٤	۵۱٫۹
۲۵۰۰	٤٤٫۹	۵٤٫۰	۵۵٫۱	۵٤٫۸
۳۱۵۰	٤۵٫۹	۵۵٫٤	۵٦٫۰	۵۵٫۵
٤۰۰۰	٤۷٫۰	۵٦٫۳	۵۷٫٤	۵۷٫۳
۵۰۰۰	٤۹٫۱	۵۹٫۸	٦۰٫۷	٦۰٫۸
R_w	٤۳	۵٤	۵٦	۵۵



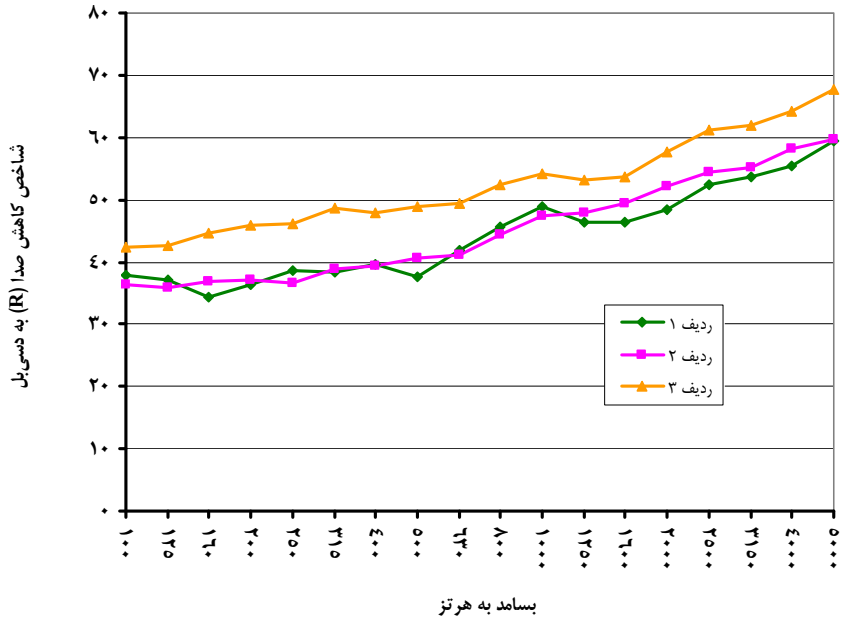
شکل ٤-١-٢-٥- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-١-٢-٤، در بسامدهای مختلف

جدول ٤-١-٢-٥- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای تک‌جدار و دوجدار ساخته شده با بلوک سفالی

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
۱	لایه ۱- اندود گچ و خاک به‌ضخامت ۲٫۵ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی به‌ضخامت ۱۵ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان با روکش سیمان پرداختی به‌ضخامت ۳٫۵ سانتیمتر		۲۱	۲۱۲	٤٥
۲	لایه ۱- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ۳ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی به‌ضخامت ۱۵ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۳ سانتیمتر		۲۱	۱۹۳	٤٦
۳	لایه ۱- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ۳ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی به‌ضخامت ۱۵ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۳ سانتیمتر لایه ٤- الیاف معدنی به‌ضخامت ۵ سانتیمتر لایه ۵- بلوک سفالی به‌ضخامت ۱۰ سانتیمتر لایه ٦- اندود سیمان		۳۸	۳۱۹	۵۳

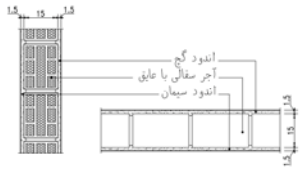
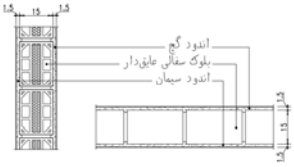
جدول ٤-۱-۲-٦- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-۱-۲-٥، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل		
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳
۱۰۰	۳۷٫۸	۳٦٫۳	٤۲٫۳
۱۲٥	۳۷٫۱	۳٥٫۸	٤۲٫٦
۱٦۰	۳٤٫٤	۳٦٫۹	٤٤٫٦
۲۰۰	۳٦٫۳	۳۷٫۱	٤٥٫۹
۲٥۰	۳۸٫٦	۳٦٫٦	٤٦٫۲
۳۱٥	۳۸٫۲	۳۸٫۹	٤۸٫٦
٤۰۰	۳۹٫٦	۳۹٫۳	٤۷٫۸
٥۰۰	۳۷٫۷	٤۰٫٦	٤۸٫۹
٦۳۰	٤۱٫۸	٤۱٫۲	٤۹٫۳
۸۰۰	٤٥٫۷	٤٤٫٥	٥۲٫۳
۱۰۰۰	٤۸٫۸	٤۷٫٥	٥٤٫۱
۱۲٥۰	٤٦٫٤	٤۸٫۰	٥۳٫۱
۱٦۰۰	٤٦٫٤	٤۹٫٥	٥۳٫۷
۲۰۰۰	٤۸٫۳	٥۲٫۲	٥۷٫۷
۲٥۰۰	٥۲٫٤	٥٤٫٤	٦۱٫٦
۳۱٥۰	٥۳٫۷	٥٥٫۱	٦۱٫۹
٤۰۰۰	٥٥٫٤	٥۸٫۲	٦٤٫۳
٥۰۰۰	٥۹٫۳	٥۹٫۷	٦۷٫۸
R_w	٤٥	٤٦	٥۳



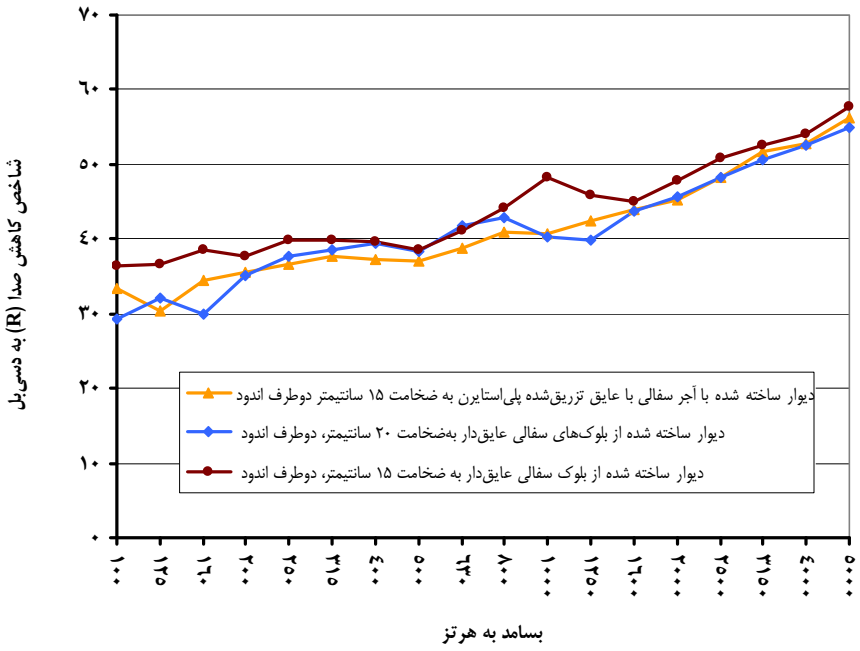
شکل ٤-١-٢-٦ – نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-١-٢-٦، در بسامدهای مختلف

جدول ٤-١-٢-٧- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با بلوک سفالی عایق‌دار

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
۱	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- آجر سفالی با عایق تزریق‌شده پلی‌استایرن به‌ضخامت ۱۵ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر		۱۸	۱۶۵	٤۲
۲	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی عایق‌دار به‌ضخامت ۱۵ سانتیمتر با یک لایه پلی استایرن به‌ضخامت ۵ سانتیمتر در داخل حفره‌های بلوک لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر		۱۸	۱۲٦	٤٥
۳	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سفالی عایق‌دار به‌ضخامت ۲۰ سانتیمتر با یک لایه پلی استایرن به‌ضخامت ۵ سانتیمتر در داخل حفره‌های بلوک لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر		۲٤	۱۷٤	٤۳

جدول ٤-١-٢-٨- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-١-٢-٧، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل		
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳
۱۰۰	۳۵٫٤	۳٦٫۳	۲۹٫۳
۱۲۵	۳۰٫۱	۳٦٫۷	۳۲٫۱
۱٦۰	۳٤٫۵	۳۸٫۵	۲۹٫۹
۲۰۰	۳۵٫۹	۳۷٫۷	۳۵٫۱
۲۵۰	۳٦٫٦	۳۹٫۹	۳۷٫۷
۳۱۵	۳۸٫۲	۳۹٫۸	۳۸٫۷
٤۰۰	۳۷٫۱	۳۹٫۷	۳۹٫٤
۵۰۰	۳٦٫٦	۳۸٫٦	۳۸٫٤
٦۳۰	۳۹٫۲	٤۱٫۲	٤۱٫۷
۸۰۰	٤۰٫۹	٤٤٫۱	٤۲٫۹
۱۰۰۰	٤۰٫٤	٤۸٫۲	٤۰٫۳
۱۲۵۰	٤۲٫٤	٤٦٫۰	٤۰٫۰
۱٦۰۰	٤۳٫۹	٤۵٫۱	٤۳٫۸
۲۰۰۰	٤٤٫۹	٤۷٫۸	٤۵٫۷
۲۵۰۰	٤۸٫٦	۵۰٫۹	٤۸٫۲
۳۱۵۰	۵۲٫۱	۵۲٫۵	۵۰٫٦
٤۰۰۰	۵۲٫۸	۵٤٫۱	۵۲٫۵
۵۰۰۰	۵٦٫۵	۵۷٫۸	۵٤٫۹
R_w	٤۲	٤۵	٤۳



شکل ٤-١-٢-٧- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-١-٢-٨ در بسامدهای مختلف

٤-۲- فرآورده‌های بتنی

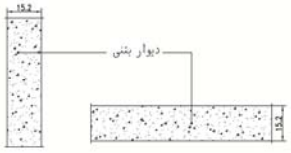
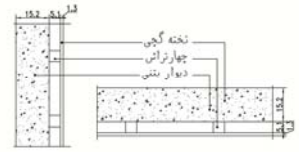
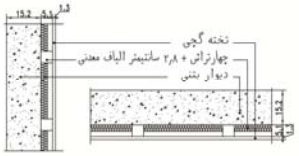
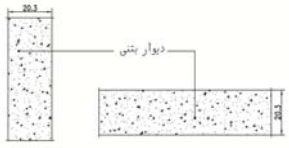
فرآورده‌های بتنی را با توجه به چگالی حجمی آن‌ها، به فرآورده‌های سنگین، نیمه‌سنگین و سبک تقسیم می‌کنند.

٤-۲-۱- فرآورده‌های بتنی سنگین و نیمه سنگین

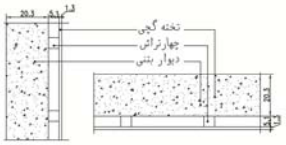
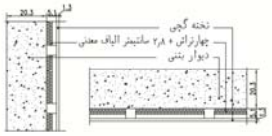
فرآورده‌های بتنی سنگین (وزن حجمی آن بیشتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است) به صورت دیوار برشی درجا و یا پیش‌ساخته بتنی یا به‌صورت بلوک سیمانی از اختلاط سیمان و آب با شن ریزدانه و ماسه یا دیگر سنگدانه‌های مناسب و لرزاندن و متراکم کردن مخلوط و عمل آوردن و مراقبت از آن‌ها در محیط مناسب اجرا می‌گردد. بلوک‌های سیمانی به اشکال تو خالی و توپر ساخته شده و در دیوارهای خارجی و داخلی به‌صورت غیر باربر و در تیغه‌های جداکننده و سقف‌های تیرچه بلوک به مصرف می‌رسند. بلوک‌های سیمانی با ایده سبک‌سازی دیوار و بیشتر در نقاطی مرسوم هستند که برای تولید آجر محدودیت‌هایی وجود داشته باشد. فرآوردهای بتنی که وزن حجمی آن بین ۱٦۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد، به‌عنوان فرآوردهای بتنی نیمه سنگین نامیده می‌شود.

این دیوارها در صورت داشتن ضخامت حداقل ۱۲ سانتیمتر، از نظر صدابندی هوابرد با ضوابط مطرح شده در مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان هم‌خوانی دارد. ولی برای افزایش مقاومت حرارتی، اجرای دیوارهای پوششی با لایه عایق حرارتی تکمیلی مورد نیاز است. استفاده از این دیوارها به روش طراحی و گروه انرژی ساختمان طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بستگی دارد. نتایج صدابندی هوابرد تعدادی از دیوارهای ساخته شده با بتن سنگین در جدول ٤-۲-۱-۱ ارائه شده است.

جدول ٤-۲-۱-۱- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با بتن سنگین

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_I)
۱	دال بتنی		۱۵٫۲	۳۷٤	۵۷
۲	لایه ۱- دال بتنی ۱۵٫۲ سانتیمتر لایه ۲- چهار تراش به عرض ۵٫۱ سانتیمتر لایه ۳ – تخته گچی به‌ضخامت ۱٫۳ سانتیمتر		۲۱٫٦	۳۸۸	۵۹
۳	لایه ۱- دیوار دال بتنی ۱۵٫۲ سانتیمتر لایه ۲- چهار تراش به عرض ۵٫۱ سانتیمتر با الیاف معدنی به‌ضخامت ۲٫۸ سانتیمتر و چگالی حجمی ٦٤ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ۳ – تخته گچی به‌ضخامت ۱٫۳ سانتیمتر		۲۱٫٦	۳۹۰	٦۳
٤	دال بتنی		۲۰٫۳	٤٦۹	۵۸

ادامه جدول ٤-۲-۱-۱- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با بتن سنگین

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_I)
٥	لایه ۱- دال بتنی به‌ضخامت ۲۰٫۳ سانتیمتر لایه ۲- چهار تراش به عرض ٥٫۱ سانتیمتر لایه ۳ – تخته گچی به‌ضخامت ۱٫۳ سانتیمتر		۲٦٫۷	٤۸۳	٥۹
٦	لایه ۱- دال بتنی به‌ضخامت ۲۰٫۳ سانتیمتر لایه ۲- چهار تراش به عرض ٥٫۱ سانتیمتر با الیاف معدنی به‌ضخامت ۳٫۸ سانتیمتر و چگالی حجمی ٦٤ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ۳ – تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۳ سانتیمتر		۲۰٫۷	٤۸٥	٦۳

٤-۲-۲- فرآورده‌های بتنی سبک

بتن سبک یکی از مصالح ساختمانی از نوع بتن است که با اعمال شرایط و اختلاط خاص، وزن مخصوص آن کاهش یافته است. (وزن حجمی بتن سبک کمتر از ۱٦۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد) بلوک‌های تهیه شده از آن را برای ساخت دیوار به‌کار می‌برند. انواع گوناگون بتن سبک را می‌توان با توجه به روش تولید آن‌ها، به صورت‌های زیر طبقه‌بندی نمود:

الف : تولید با سنگ‌دانه‌های متخلخل سبک با وزن مخصوص ظاهری کم، که به جای سنگدانه‌های معمولی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ب : تولید بتن سبک بر اساس روش ایجاد منافذ بسیار متعددی در داخل بتن یا ملات، که این نوع بتن را به اسم‌های مختلف بتن اسفنجی، بتن منفذدار یا بتن گازی می‌شناسند.

ج : تولید بتن سبک با حذف سنگدانه‌های ریز از مخلوط بتن، به‌طوری‌که منافذ متعددی بین ذرات به وجود می‌آیند، در این روش عموماً سنگدانه‌های درشت با وزن معمولی مصرف می‌شوند. این نوع بتن را به طور خلاصه به اسم بتن بدون سنگدانه ریز می‌نامند.

شکل ٤-٢-٢-١: نمونه‌ای از بلوک بتن سبک و دیوار ساخته شده با آن در آزمایشگاه

دیوار با استفاده از بلوک‌های بتن سبک در محل بازشو بین دو اتاق منبع و دریافت در آزمایشگاه ساخته شده (شکل ٤-٢-٢-١) و صدابندی هوابرد (شاخص کاهش صدا) آن بر اساس بند ۳ اندازه‌گیری می‌شود. در صورت نیاز برای افزایش صدابندی هوابرد و مقاومت حرارتی، اجرای دیوارهای پوششی با لایه عایق حرارتی (شکل ٤-٢-٢-٢) و یا دوجداره کردن دیوار با لایه عایق حرارتی (شکل ٤-٢-٢-٤) مورد نیاز است. کار گذاشتن عایق حرارتی به‌صورت ناپیوسته (مقطع) در بلوک‌های بتن سبک، اثربخشی مناسبی ندارد. پیشنهاد می‌شود به‌جای آن یک لایه عایق حرارتی سرتاسری در نظر گرفته شود. استفاده از این دیوارها به روش طراحی و گروه انرژی ساختمان طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بستگی دارد. نتایج صدابندی هوابرد اندازه‌گیری شده

به‌صورت جدول و نمودار در بسامدهای مختلف در جدول‌های ٤-٢-٢-٢، ٤-٢-٢-٤، ٤-٢-٢-٦ و ٤-٢-٢-٨ و شکل‌های ٤-٢-٢-٣ تا ٤-٢-٢-٧ ارائه شده است. همچنین نتایج صدابندی هوابرد به‌صورت تک عددی، تحت عنوان شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) برحسب dB با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته در آزمایشگاه آکوستیک در جدول‌های ٤-٢-٢-١، ٤-٢-٢-٣، ٤-٢-٢-٥ و ٤-٢-٢-٧ ارائه شده است.

سیستم پوششی با استفاده از پلی استایرن ۵ سانتیمتری

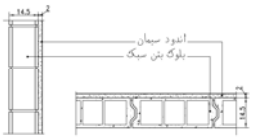
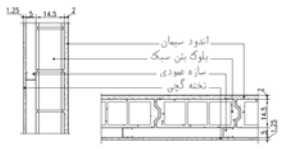
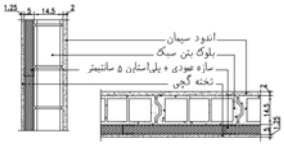
سیستم پوششی با فاصله هوایی و نصب صفحات گچی

سیستم پوششی با استفاده از الیاف معدنی ۵ سانتیمتری و نصب صفحات گچی

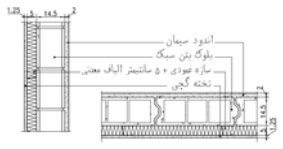
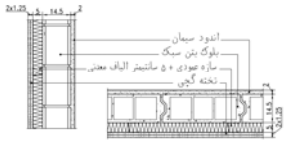
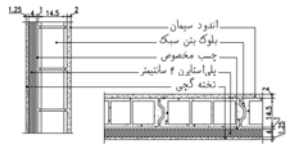
سیستم پوششی با استفاده از الیاف معدنی ۵ سانتیمتری و نصب صفحات گچی

شکل ٤-٢-٢-٢: نمونه‌هایی از دیوارهای پوششی بر روی دیوار ساخته شده با بلوک بتن سبک در آزمایشگاه

جدول ٤-۲-۲-۱: نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای پوششی بر روی دیوار ساخته شده با بلوک بتن سبک

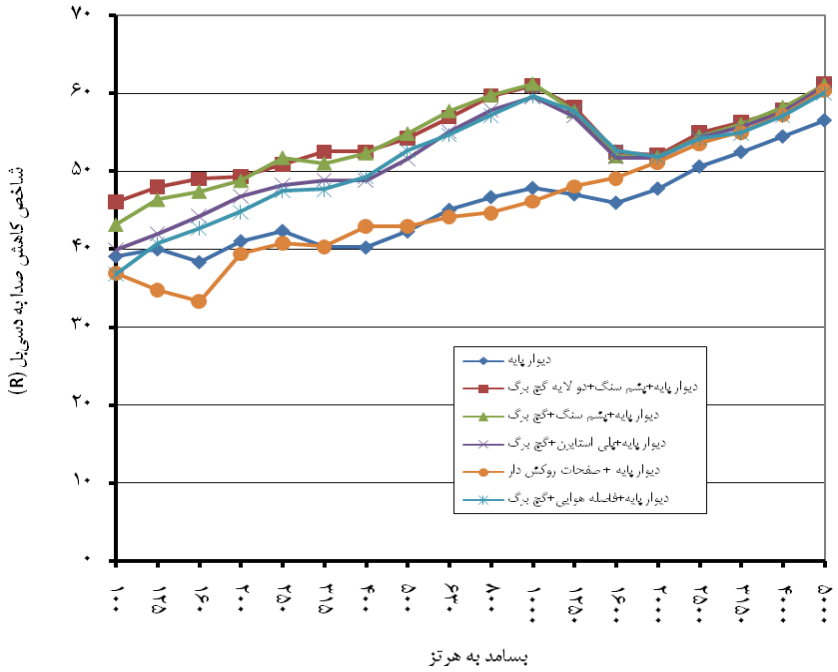
ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_w)
۱	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک به‌ضخامت ۱٤/۵ سانتیمتر		۱٦/۵	۱۵٦	٤٦
۲	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک به‌ضخامت ۱٤/۵ سانتیمتر لایه ۳- سازه عمودی به فاصله ۵ سانتیمتر از دیوار پایه لایه ٤ – تخته گچی به‌ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر		۲۲/۷۵	۱٦٦	٥٤
۳	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک به‌ضخامت ۱٤/۵ سانتیمتر لایه ۳- سازه عمودی به فاصله ۵ سانتیمتر از دیوار پایه با پلی‌استایرن به‌ضخامت ۵ سانتیمتر و چگالی حجمی ۱٤ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ٤ – تخته گچی به‌ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر		۲۲/۷۵	۱٦۷	٥٤

ادامه جدول ٤-۲-۲-۱- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای پوششی بر روی دیوار ساخته شده با بلوک بتن سبک

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
٤	لایه ۱- اندود سیمان به ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک به ضخامت ۱٤/۵ سانتیمتر لایه ۳- سازه عمودی به فاصله ۵ سانتیمتر از دیوار پایه با الیاف معدنی به‌ضخامت ۵ سانتیمتر و چگالی ۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ٤ – تخته گچی به‌ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر		۲۲/۸	۱۷۰	۵۵
۵	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک به‌ضخامت ۱٤/۵ سانتیمتر لایه ۳- سازه عمودی به فاصله ۵ سانتیمتر از دیوار پایه با پلی‌استایرن به‌ضخامت ۵ سانتیمتر و چگالی حجمی ۱٤ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ٤ – تخته گچی به‌ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر		۲٤	۱۸۰	٥٦
	لایه ۱- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک به‌ضخامت ۱٤/۵ سانتیمتر لایه ۳- چسب مخصوص به‌ضخامت ۱ سانتیمتر لایه ۳- پلی‌استایرن به‌ضخامت ٤ سانتیمتر و چگالی حجمی ۱٤ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ٤ – تخته گچی به‌ضخامت ۱/۲۵ سانتیمتر		۲۲/۸	۱۷۲	٤۷

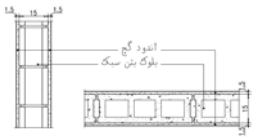
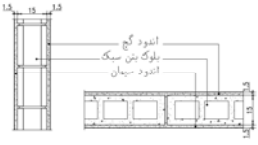
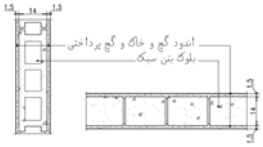
جدول ٤-۲-۲-۲- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-۲-۲-۱، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل					
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳	ردیف ٤	ردیف ٥	ردیف ٦
۱۰۰	۳۹٫۱	۳٦٫۸	۳۹٫۹	٤۳٫۲	٤٦٫۱	۳۷٫۰
۱۲٥	٤۰٫۰	٤۰٫۷	٤۲٫۰	٤٦٫٤	٤۸٫۰	۳٤٫۸
۱٦۰	۳۸٫٤	٤۲٫۷	٤٤٫۳	٤۷٫٥	٤۹٫۱	۳۳٫۳
۲۰۰	٤۱٫۱	٤٤٫۸	٤٦٫۸	٤۸٫۹	٤۹٫۳	۳۹٫٤
۲٥۰	٤۲٫٤	٤۷٫٥	٤۸٫۳	٥۱٫۸	٥۰٫۹	٤۰٫۸
۳۱٥	٤۰٫۳	٤۷٫۷	٤۸٫۹	٥۱٫۱	٥۲٫٦	٤۰٫٤
٤۰۰	٤۰٫۲	٤۹٫۳	٤۸٫۹	٥۲٫٤	٥۲٫٦	٤۳٫۰
٥۰۰	٤۲٫۳	٥۲٫۷	٥۱٫۷	٥٤٫۹	٥٤٫۳	٤۳٫۰
٦۳۰	٤٥٫۱	٥٤٫۷	٥٥٫۲	٥۷٫۸	٥۷٫۰	٤٤٫۲
۸۰۰	٤٦٫۷	٥۷٫۲	٥۷٫۹	٥۹٫۹	٥۹٫۸	٤٤٫۷
۱۰۰۰	٤۷٫۹	٥۹٫۷	٥۹٫٦	٦۱٫۳	٦۱٫۰	٤٦٫۲
۱۲٥۰	٤۷٫۱	٥۷٫۷	٥۷٫۱	٥۷٫۸	٥۸٫۳	٤۸٫۱
۱٦۰۰	٤٦٫۰	٥۲٫۷	٥۱٫۸	٥۲٫۰	٥۲٫٥	٤۹٫۱
۲۰۰۰	٤۷٫۸	٥۱٫۸	٥۱٫۸	٥۱٫۹	٥۲٫۱	٥۱٫۲
۲٥۰۰	٥۰٫٦	٥٤٫۳	٥٤٫٥	٥٤٫٦	٥٥٫۱	٥۳٫٦
۳۱٥۰	٥۲٫٥	٥٤٫۹	٥٥٫۷	٥٦٫۱	٥٦٫۳	٥٥٫۰
٤۰۰۰	٥٤٫٥	٥۷٫۱	٥۷٫۷	٥۸٫۳	٥۷٫۹	٥۷٫۳
٥۰۰۰	٥٦٫٦	٦۰٫۱	٦۱٫۱	٦۱٫۲	٦۱٫۳	٦۰٫٥
R_w	٤٦	٥٤	٥٤	٥٥	٥٦	٤۷

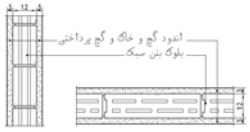
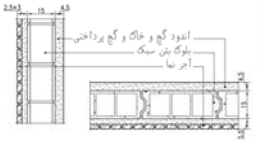


شکل ٤-٢-٢-٣ - نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٢-٢-٢، در بسامدهای مختلف

جدول ٤-۲-۲-۳ - نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با بلوک بتن سبک حفره‌دار

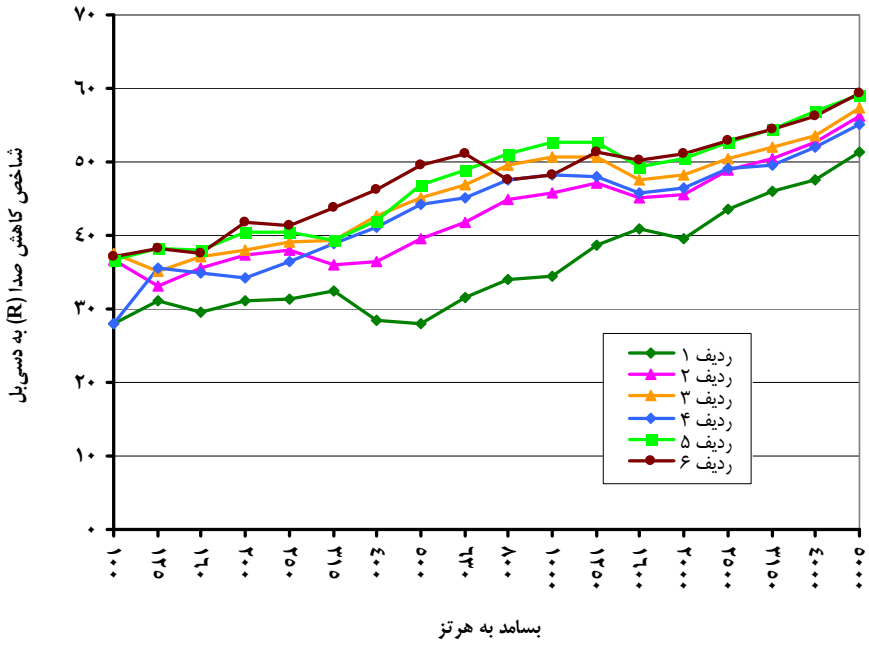
ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_I)
۱	لایه ۱- اندود گچ پرداختی به‌ضخامت ۱ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک عایق‌دار به‌ضخامت ۸ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ پرداختی به‌ضخامت ۱ سانتیمتر		۱۰	۸۷	۳٦
۲	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک حفره‌دار به ضخامت ۱۵ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر		۱۸	۱۵۷	٤٤
۳	لایه ۱- اندود سیمان به ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک حفره‌دار به‌ضخامت ۱۵ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر		۱۸	۱٦۷	٤۸
٤	لایه ۱- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک حفره‌دار به‌ضخامت ١٤ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر		۱۷	۱۳۸	٤٦

ادامه جدول ٤-۲-۲-۳- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با بلوک بتن سبک حفره‌دار

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
٥	لایه ۱- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ۳ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک حفره‌دار به ضخامت ۱۲ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ۳ سانتیمتر		۱۸	۲۰۸	٤۹
٦	لایه ۱- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ٤/٥ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک حفره‌دار به ضخامت ۱٥ سانتیمتر لایه ۳- ملات سیمان به‌ضخامت ۳ سانتیمتر لایه ٤- آجر نما به‌ضخامت ۲/٥ سانتیمتر		۲٥	۲۷۷	٥۰

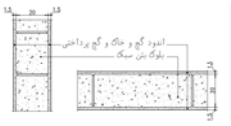
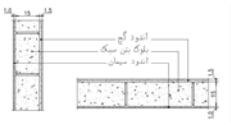
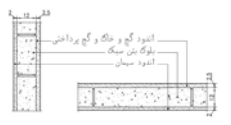
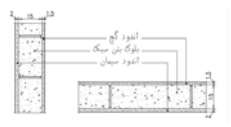
جدول ٤-۲-۲-٤- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-۲-۲-۳، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل					
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳	ردیف ٤	ردیف ٥	ردیف ٦
۱۰۰	۲۷٫۹	۳٦٫٦	۳۷٫٥	۲۸٫۱	۳٦٫٦	۳۷٫۲
۱۲٥	۳۱٫۱	۳۳٫۱	۳٥٫۰	۳٥٫٥	۳۸٫۲	۳۸٫۲
۱٦۰	۲۹٫٦	۳٥٫٦	۳۷٫۰	۳٤٫۸	۳۸٫۱	۳۷٫٥
۲۰۰	۳۱٫۱	۳۷٫۳	۳۸٫۰	۳٤٫۲	٤۰٫٦	٤۱٫۸
۲٥۰	۳۱٫۳	۳۷٫۹	۳۹٫۱	۳٦٫٤	٤۰٫٦	٤۱٫٤
۳۱٥	۳۲٫٥	۳٦٫۰	۳۹٫۳	۳۹٫۰	۳۹٫٤	٤۳٫۹
٤۰۰	۲۸٫٥	۳٦٫٤	٤۲٫٦	٤۱٫۱	٤۲٫۰	٤٦٫۲
٥۰۰	۲۸٫۰	۳۹٫٦	٤٥٫۲	٤٤٫۲	٤٦٫۹	٤۹٫٥
٦۳۰	۳۱٫٦	٤۱٫۹	٤٦٫۹	٤٥٫۱	٤۸٫۸	٥۱٫۱
۸۰۰	۳۳٫۹	٤٤٫۹	٤۹٫٥	٤۷٫٥	٥۱٫۱	٤۷٫٥
۱۰۰۰	۳٤٫٥	٤٥٫۸	٥۰٫۷	٤۸٫۲	٥۲٫۸	٤۸٫۲
۱۲٥۰	۳۸٫٦	٤۷٫۲	٥۰٫۸	٤۸٫۰	٥۲٫۷	٥۱٫٤
۱٦۰۰	٤۰٫۹	٤٥٫۲	٤۷٫٦	٤٥٫۸	٤۹٫٤	٥۰٫۲
۲۰۰۰	۳۹٫٥	٤٥٫٦	٤۸٫۱	٤٦٫٤	٥۰٫٦	٥۱٫۱
۲٥۰۰	٤۳٫٥	٤۸٫۸	٥۰٫٤	٤۹٫۱	٥۲٫٦	٥۲٫۹
۳۱٥۰	٤٥٫۹	٥۰٫٥	٥۲٫۰	٤۹٫٥	٥٤٫٦	٥٤٫٥
٤۰۰۰	٤۷٫٦	٥۲٫٦	٥۳٫۷	٥۱٫۹	٥۷٫۰	٥٦٫۳
٥۰۰۰	٥۱٫۳	٥٦٫۲	٥۷٫٤	٥٥٫۱	٥۹٫۲	٥۹٫٤
R_w	۳٦	٤٤	٤۸	٤٦	٤۹	٥۰

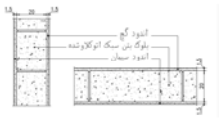
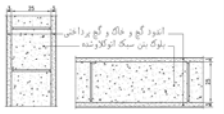


شکل ٤-۲-۲-۵- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-۲-۲-٤، در بسامدهای مختلف

جدول ٤-۲-۲-۵- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با بلوک بتن سبک

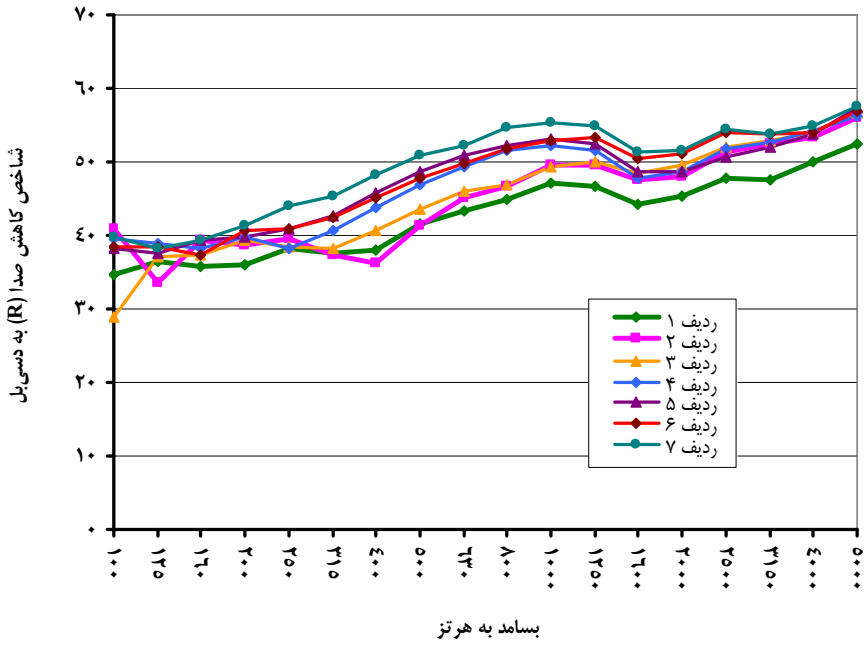
ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
۱	لایه ۱- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک توپر اسفنجی به‌ضخامت ۲۰ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر		۲۳	۱۵۵	٤٥
۲	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک به ضخامت ۱۵ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۱ سانتیمتر		۱۷٫۵	۱٦۷	٤٦
۳	لایه ۱- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ۲٫۵ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک به ضخامت ۱۲ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر		۱٦٫۵	۱۷۸	٤۷
٤	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک به‌ضخامت ۱۵ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر		۱۸٫۵	۱٦۱	٤۹

ادامه جدول ٤-۲-۲-۵- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با بلوک بتن سبک

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_w)
۵	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک اتوکلاوشده به‌ضخامت ۲۰ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر		۲۳	۱۹۸	۵۰
٦	دیوار ساخته شده با بلوک بتن سبک اتوکلاوشده به‌ضخامت ۲۵ سانتیمتر		۲۵	١٦٤	۵۰
۷	لایه ۱- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ۳ سانتیمتر لایه ۲- بلوک بتن سبک اتوکلاوشده به‌ضخامت ۲۵ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ و خاک با گچ پرداختی به‌ضخامت ۳ سانتیمتر		۳۱	۲۵۷	۵۲

جدول ٤-٢-٢-٦- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٢-٢-٥، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل						
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳	ردیف ٤	ردیف ٥	ردیف ٦	ردیف ۷
۱۰۰	۳٤/٦	٤۱/۰	۲۹/۰	۳۹/٥	۳۸/۲	۳۸/٤	۳۹/۸
۱۲٥	۳٦./٥	۳۳/٦	۳۷/۲	۳۸/۸	۳۷/٥	۳۸/٥	۳۸/۳
۱٦۰	۳٥/۸	۳۹/۳	۳۷/۳	۳۸/۱	۳۹/٤	۳۷/۳	۳۹/۳
۲۰۰	۳٥/۹	۳۸/۷	۳۹/٤	۳۹/۸	۳۹/۷	٤۰/۷	٤۱/۳
۲٥۰	۳۸/۲	۳۹/٦	۳۸/٤	۳۸/۲	٤۰/۹	٤۰/۹	٤٤/۰
۳۱٥	۳۷/٦	۳۷/٤	۳۸/۳	٤۰/٦	٤۲/٦	٤۲/٥	٤٥/۳
٤۰۰	۳۷/۹	۳٦/۳	٤۰/۷	٤۳/۸	٤٥/۹	٤٥/۱	٤۸/۲
٥۰۰	٤۱/٦	٤۱/۲	٤۳/٦	٤٦/۸	٤۸/٦	٤۷/۸	٥۰/۹
٦۳۰	۳٤/٤	٤٥/۱	٤٦/۱	٤۹/۳	٥۰/۸	٤۹/۸	٥۲/۳
۸۰۰	٤٤/۸	٤٦/۷	٤٦/۸	٥۱/٤	٥۲/۲	٥۱/۷	٥٤/٦
۱۰۰۰	٤۷/۱	٤۹/٦	٤۹/۳	٥۲/۲	٥۳/۲	٥۲/۹	٥٥/۳
۱۲٥۰	٤٦/۷	٤۹/٦	٥۰/۱	٥۱/٥	٥۲/٥	٥۳/۳	٥٥/۰
۱٦۰۰	٤٤/۳	٤۷/٦	٤۸/٥	٤۷/۸	٤۸/۷	٥۰/٤	٥۱/٤
۲۰۰۰	٤٥/٤	٤۸/۱	٤۹/٥	٤۸/٦	٤۸/٦	٥۱/۰	٥۱/٥
۲٥۰۰	٤۷/۷	٥۱/۳	٥۲/۱	٥۱/۸	٥۰/۷	٥٤/۰	٥٤/٥
۳۱٥۰	٤۷/٦	٥۲/٤	٥۳/۰	٥۲/۷	٥۱/۹	٥۳/۹	٥۳/۷
٤۰۰۰	٤۹/۹	٥۳/۲	٥٤/۱	٥٤/۳	٥۳/۸	٥٤/۰	٥٤/۸
٥۰۰۰	٥۲/٥	٥٥/۹	٥٦/۸	٥٦/۲	٥۷/٤	٥۷/۰	٥۷/٥
R_w	٤٥	٤٦	٤۷	٤۹	٥۰	٥۰	٥۲



شکل ٤-٢-٢-٦- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٢-٢-٦، در بسامدهای مختلف

بلوک‌های سیمانی حفره‌دار

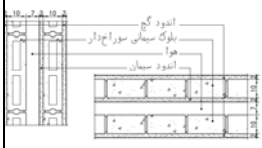
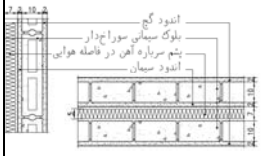
دیوار ساخته شده با بلوک‌های سیمانی حفره‌دار

دیوار دوجداره ساخته شده با بلوک‌های سیمانی حفره‌دار با فاصله هوایی

دیوار دوجداره ساخته شده با بلوک‌های سیمانی حفره‌دار با فاصله هوایی پرشده با الیاف معدنی

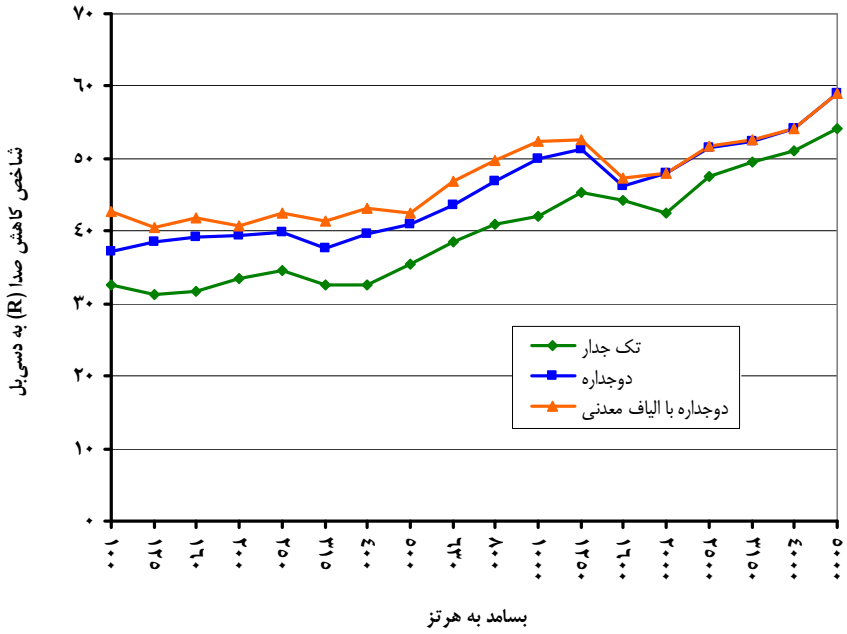
شکل ٤-٢-٢-٤- ساخت دیوار دوجداره با بلوک‌های سیمانی حفره دار در آزمایشگاه

جدول ٤-۲-۲-۷- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با بلوک بتن سبک

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
۱	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سیمانی حفره‌دار به‌ضخامت ۱۰ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر		١٤	١٢٦	٤١
۲	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سیمانی حفره‌دار به‌ضخامت ۱۰ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ٤- فاصله هوایی به‌ضخامت ۷ سانتیمتر لایه ٥- بلوک سیمانی حفره‌دار به‌ضخامت ۱۰ سانتیمتر لایه ٦- اندود گچ به‌ضخامت ۲ سانتیمتر		٣٣	٢٠٩	٤٦
۳	لایه ۱- اندود گچ به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- بلوک سیمانی حفره‌دار به‌ضخامت ۱۰ سانتیمتر لایه ۳- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ٤- فاصله هوایی به‌ضخامت ۷ سانتیمتر با الیاف معدنی به‌ضخامت ٥ سانتیمتر و چگالی حجمی ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ٥- بلوک سیمانی حفره‌دار به‌ضخامت ۱۰ سانتیمتر لایه ٦- اندود گچ به‌ضخامت ۲ سانتیمتر		٣٣	٢١٤	٤٨

جدول ٤-۲-۲-۸- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-۲-۲-۷، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل		
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳
۱۰۰	۳۲٫٦	۳۷٫۲	٤۲٫۷
۱۲۵	۳۱٫۳	۳۸٫٦	٤۰٫٦
۱٦۰	۳۱٫۷	۳۹٫۱	٤۱٫۸
۲۰۰	۳۳٫٤	۳۹٫۵	٤۰٫٦
۲۵۰	۳٤٫۵	۳۹٫۷	٤۲٫٤
۳۱۵	۳۲٫٦	۳۷٫۷	٤۱٫٤
٤۰۰	۳۲٫۵	۳۹٫۷	٤۳٫۲
۵۰۰	۳۵٫٤	٤۱٫۰	٤۲٫٤
٦۳۰	۳۸٫۵	٤۳٫۷	٤٦٫۸
۸۰۰	٤۰٫۹	٤٦٫۹	٤۹٫۷
۱۰۰۰	٤۲٫۰	٤۹٫۹	۵۲٫٤
۱۲۵۰	٤۵٫۳	۵۱٫٤	۵۲٫۷
۱٦۰۰	٤٤٫۳	٤٦٫۳	٤۷٫۳
۲۰۰۰	٤۲٫٤	٤۷٫۹	٤۷٫۹
۲۵۰۰	٤۷٫۵	۵۱٫٦	۵۱٫۸
۳۱۵۰	٤۹٫٦	۵۲٫٤	۵۲٫۷
٤۰۰۰	۵۱٫۱	۵٤٫۱	۵٤٫۲
۵۰۰۰	۵٤٫۲	۵۹٫۰	۵۹٫۱
R_w	٤۱	٤٦	٤۸



شکل ٤-۲-۲-۷- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-۲-۲-۸ در بسامدهای مختلف

٤-٣- فرآورده‌های گچی

بلوک‌های گچی قطعات سبکی هستند از گچ ساختمانی که با مواد افزودنی، مواد پرکننده یا مواد متخلخل کننده یا بدون آن‌ها ساخته می‌شوند.

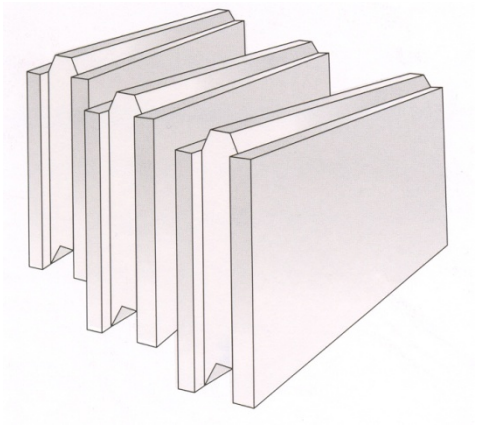
مواد افزودنی یا مواد پرکننده می‌توانند آلی یا معدنی باشند. این مواد نباید در کیفیت بلوک‌های گچی تأثیر نامطلوب (مانند شکفته شدن یا شوره زدن) ایجاد کنند.

برای تولید بلوک‌های گچی، مخلوطی از گچ نیمه هیدرات با آب (نسبت آب و گچ بین ۰٫۹ – ۱) در مخلوط‌کن به صورت دوغاب همگن تهیه کرده و در قالب‌های مخصوص می‌ریزند. پس از گذشت ۸ تا ۱۰ دقیقه این بلوک‌ها را از قالب خارج و خشک می‌کنند.

بلوک‌های گچی معمولاً با ابعاد ٥٠٠ × ٦٦٦ میلی‌متر و به ضخامت‌های ٥٠ ، ٦٠ ، ٧٠، ٨٠ و ١٠٠ میلی‌متر تولید می‌شود. وزن مخصوص ظاهری آنها مطابق استاندارد ملی ایران شماره ٢٧٨٦ به سه دسته با چگالی‌های کم ، متوسط و زیاد رده‌بندی شده است. این قطعات پیش‌ساخته گچی برای جداسازی فضاها و دیوار داخل ساختمان مورد مصرف قرار می‌گیرد. اطراف بلوک گچی دارای فرورفتگی و برآمدگی ویژه‌ای است (کام و زبانه) که در همدیگر چفت می‌شوند و درز آن‌ها به وسیله گچ مخصوص بتونه‌کاری پوشیده و مسطح می‌شود. در بلوک‌های گچی بسته به نوع مصرف می‌توان از الیاف، پرکننده‌ها، سنگدانه‌ها و سایر افزودنی‌ها استفاده کرد. بلوک‌های گچی در انواع مختلف تولید می‌شوند.

الف: بلوک گچی توپر

این نوع بلوک ها بدون سوراخ یا هرگونه‌حفره‌ای تولید می‌شوند (شکل ٤-۳-۱)



شکل ٤-۳-۱- بلوک گچی توپر

ب: بلوک گچی سوراخ‌دار

این نوع بلوک‌ها به‌صورت سوراخ‌دار ساخته می‌شود. سوراخ‌ها موازی با رویه‌های بلوک بوده و ممکن است کاملاً از درون آن گذشته یا نگذرد. سوراخ‌ها ممکن است موازی با ارتفاع یا طول بلوک باشند.

دیوار با استفاده از بلوک‌های گچی در محل بازشو بین دو اتاق منبع و دریافت در آزمایشگاه ساخته شده (شکل ٤-۳-۲) و صدابندی هوابرد (شاخص کاهش صدا) آن بر اساس بند ۳ اندازه‌گیری می‌شود. در صورت نیاز برای افزایش صدابندی هوابرد و مقاومت حرارتی، اجرای دیوارهای پوششی با لایه عایق حرارتی و یا دوجداره کردن دیوار با لایه عایق حرارتی سرتاسری (شکل ٤-۳-۲) مورد نیاز است. استفاده از این دیوارها به روش طراحی و گروه انرژی ساختمان طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بستگی دارد. نتایج صدابندی هوابرد اندازه‌گیری شده به‌صورت جدول و

نمودار در بسامدهای مختلف در جدول‌های ٤-٣-٢ و ٤-٣-٤ و شکل‌های ٤-٣-٣ و ٤-٣-٤ ارائه شده است. همچنین نتایج صدابندی هوابرد به‌صورت تک‌عددی، تحت عنوان شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) برحسب dB با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته در آزمایشگاه آکوستیک در جدول‌های ٤-٣- ١ و ٤-٣-٣ ارائه شده است.

دیوار ساخته شده با بلوک‌های گچی

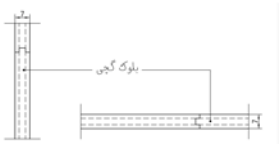
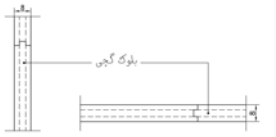
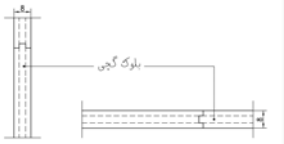
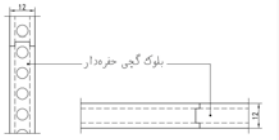
دیوار دوجداره ساخته شده با بلوک‌های گچی با فاصله هوایی

دیوار دوجداره ساخته شده با بلوک‌های گچی با فاصله هوایی پرشده با پلی‌استایرن

دیوار دوجداره ساخته شده با بلوک‌های گچی با فاصله هوایی پرشده با الیاف معدنی

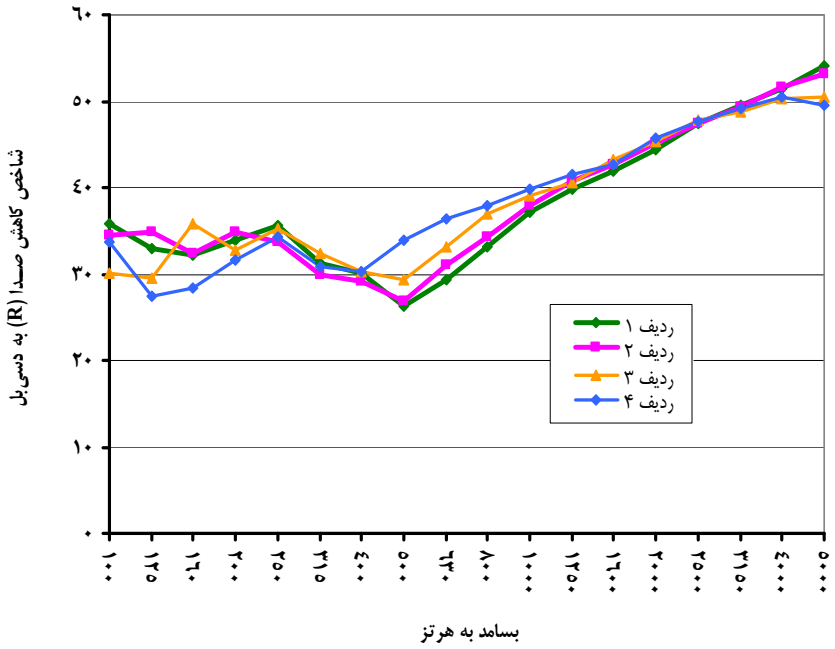
شکل ٤-٣-٢- نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با بلوک گچی در آزمایشگاه

جدول ٤-۳-۱- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با بلوک گچی

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته ($dB_)$
۱	دیوار ساخته شده با بلوک‌های گچی به‌ضخامت ۷ سانتیمتر		۷	۵۷	۳٦
۲	دیوار ساخته شده با بلوک‌های گچی به‌ضخامت ۸ سانتیمتر		۸	٦۳	۳٦
۳	دیوار ساخته شده با بلوک‌های گچی به‌ضخامت ۸ سانتیمتر		۸	۷۹	۳۸
٤	دیوار ساخته شده با بلوک‌های گچی حفره‌دار به‌ضخامت ۱۲ سانتیمتر		۱۲	۸۹	۳۹

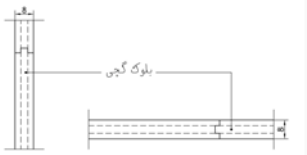
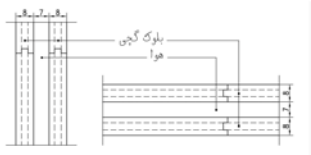
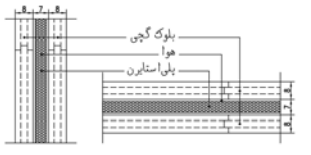
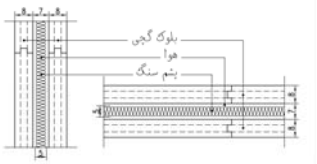
جدول ٤-۳-۲- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-۳-۱، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل			
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳	ردیف ٤
۱۰۰	۳۵٫۹	۳٤٫٤	۳۰٫۱	۳۳٫۸
۱۲۵	۳۳٫۰	۳٤٫۸	۲۹٫٦	۲۷٫٤
۱٦۰	۳۲٫۱	۳۲٫۳	۳۵٫۸	۲۸٫٤
۲۰۰	۳٤٫۰	۳٤٫۸	۳۲٫۷	۳۱٫٦
۲۵۰	۳۵٫۷	۳۳٫۷	۳۵٫۲	۳٤٫۲
۳۱۵	۳۱٫۳	۳۰٫۰	۳۲٫۳	۳۰٫۹
٤۰۰	۳۰٫۱	۲۹٫۲	۳۰٫۲	۳۰٫۳
۵۰۰	۲٦٫۲	۲٦٫۸	۲۹٫٤	۳۳٫۹
٦۳۰	۲۹٫۳	۳۱٫۰	۳۳٫۱	۳٦٫۳
۸۰۰	۳۳٫۲	۳٤٫۳	۳٦٫۹	۳۸٫۰
۱۰۰۰	۳۷٫۲	۳۸٫۰	۳۹٫۰	۳۹٫۸
۱۲۵۰	۳۹٫۸	٤۰٫۸	٤۰٫٦	٤۱٫۵
۱٦۰۰	٤۱٫۹	٤۲٫۷	٤۳٫۳	٤۲٫۷
۲۰۰۰	٤٤٫۳	٤۵٫۱	٤۵٫٤	٤۵٫۷
۲۵۰۰	٤۷٫٤	٤۷٫۵	٤۷٫۸	٤۷٫۷
۳۱۵۰	٤۹٫۵	٤۹٫٤	٤۸٫۷	٤۹٫۲
٤۰۰۰	۵۱٫۵	۵۱٫٦	۵۰٫۲	۵۰٫٤
۵۰۰۰	۵٤٫۱	۵۳٫۱	۵۰٫۵	٤۹٫٦
R_w	۳٦	۳٦	۳۸	۳۹



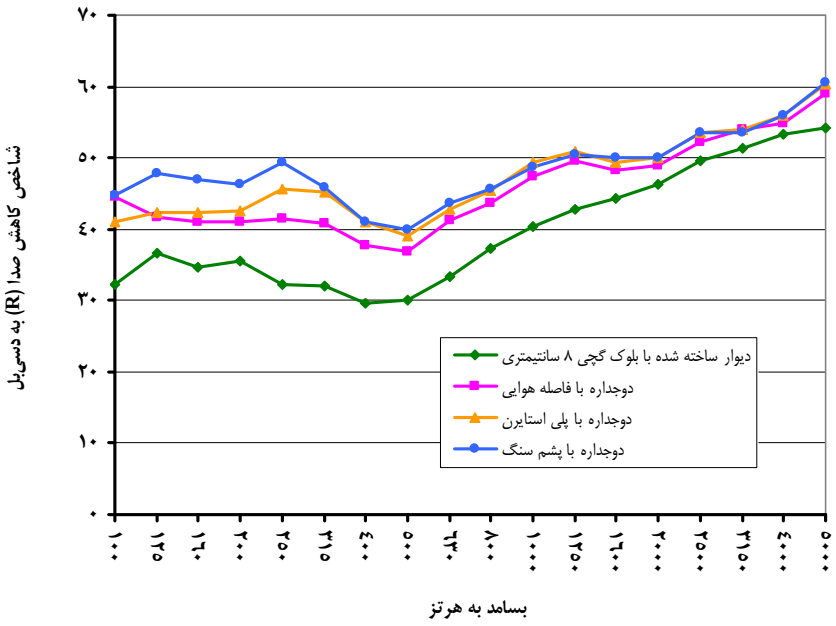
شکل ٤-۳-۳- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-۳-۲، در بسامدهای مختلف

جدول ٤-۳-۳- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با بلوک گچی

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_I)
۱	دیوار ساخته شده با بلوک‌های گچی به‌ضخامت ۸ سانتیمتر		۸	۷۸	۳۸
۲	لایه ۱- بلوک گچی به‌ضخامت ۸ سانتیمتر لایه ۲- فاصله هوایی به‌ضخامت ۷ سانتیمتر لایه ۳- بلوک گچی به‌ضخامت ۸ سانتیمتر		۲۳	۱٥٤	٤٥
۳	لایه ۱- بلوک گچی به‌ضخامت ۸ سانتیمتر لایه ۲- فاصله هوایی به‌ضخامت ۷ سانتیمتر، پرشده با پلی‌استایرن به‌ضخامت ٥ سانتیمتر لایه ۳- بلوک گچی به‌ضخامت ۸ سانتیمتر		۲۳	۱٥٥	٤۷
٤	لایه ۱- بلوک گچی به‌ضخامت ۸ سانتیمتر لایه ۲- فاصله هوایی به‌ضخامت ۷ سانتیمتر، پرشده با الیاف معدنی به‌ضخامت ٥ سانتیمتر و چگالی حجمی ٥۰ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ۳- بلوک گچی به‌ضخامت ۸ سانتیمتر		۲۳	۱٥۷	٤۸

جدول ٤-۳-٤- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-۳-۳، در بسامدهای مختلف

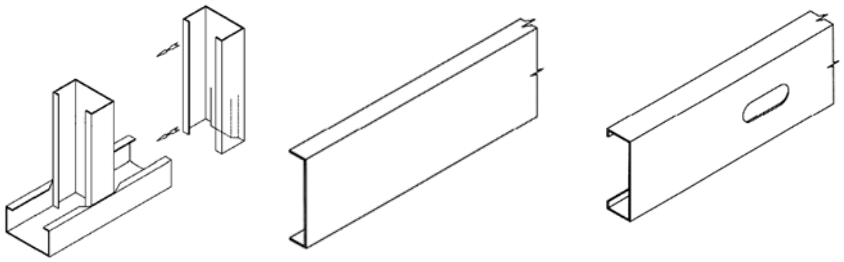
بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (**R**) یا افت صوتی (**TL**) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل			
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳	ردیف ٤
۱۰۰	۳۲٫۳	٤٤٫٦	٤۱٫۱	٤٤٫۷
۱۲۵	۳٦٫۷	٤۱٫۷	٤۲٫۵	٤۷٫۹
۱٦۰	۳٤٫۸	٤۰٫۹	٤۲٫۳	٤٦٫۹
۲۰۰	۳۵٫۵	٤۰٫۹	٤۲٫٦	٤٦٫٤
۲۵۰	۳۲٫۲	٤۱٫۵	٤۵٫٦	٤۹٫٤
۳۱۵	۳۲٫۱	٤۰٫۸	٤۵٫۱	٤۵٫۹
٤۰۰	۲۹٫٦	۳۷٫۸	٤۱٫۰	٤۰٫۹
۵۰۰	۳۰٫۱	۳٦٫۸	۳۹٫۱	۳۹٫۹
٦۳۰	۳۳٫۳	٤۱٫٤	٤۲٫۷	٤۳٫٦
۸۰۰	۳۷٫٤	٤۳٫٦	٤۵٫٤	٤۵٫٦
۱۰۰۰	٤۰٫٤	٤۷٫۵	٤۹٫۳	٤۸٫۸
۱۲۵۰	٤۲٫۹	٤۹٫۵	۵۰٫۹	۵۰٫٤
۱٦۰۰	٤٤٫۳	٤۸٫۳	٤۹٫۳	٤۹٫۹
۲۰۰۰	٤٦٫۳	٤۹٫۰	۵۰٫۰	۵۰٫۰
۲۵۰۰	٤۹٫۷	۵۲٫۱	۵۳٫۵	۵۳٫٦
۳۱۵۰	۵۱٫۳	۵٤٫۱	۵٤٫۰	۵۳٫٦
٤۰۰۰	۵۳٫۳	۵٤٫۸	۵٦٫۱	۵٦٫۰
۵۰۰۰	۵٤٫۳	۵۹٫۱	٦۰٫۳	٦۰٫۷
R_w	**۳۸**	**٤۵**	**٤۷**	**٤۸**



شکل ٤-۳-٤- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-۳-٤، در بسامدهای مختلف

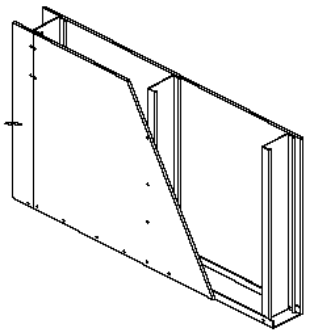
٤-٤- سیستم قاب سبک فولادی، LSF

سیستم ساخت قاب سبک فولادی یک سیستم ساختمانی است. این سیستم که شباهت زیادی به روش‌های ساخت ساختمان‌های چوبی دارد، بر اساس کاربرد اجزایی به نام استاد (یا وادار) و تراک (یا رانر) شکل گرفته است، و از ترکیب نیمرخ‌های فولادی گالوانیزه سرد نوردشده، ساختار اصلی ساختمان برپا می‌شود. مقاطع مورد استفاده در این سیستم C، U و Z است، که معمولاً با اتصالات سرد به یکدیگر متصل می‌شوند.
هر دیوار از تعدادی اجزای عمودی C شکل (استاد) به فواصل ٤٠ تا ٦٠ سانتی‌متر، که در بالا و پایین به اجزای افقی ناودانی U یا C شکل (تراک یا رانر) متصل شده‌اند، تشکیل می‌شود. در صورتی که از مقاطع C شکل به عنوان تراک (رانر) استفاده می‌شود (شکل ٤-٤-١)،



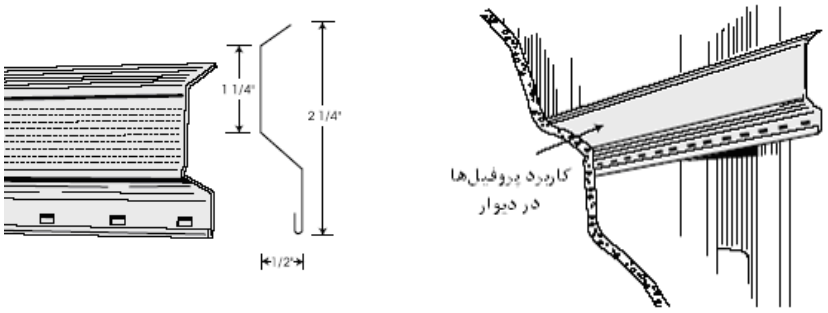
شکل ٤-٤-١- پروفیل‌های C و U شکل و نحوه قرارگیری استادها در رانرها

پوشش نهایی این سیستم می‌تواند با انواع تخته های ساختمان از جمله، تخته سیمانی، چوب، تخته گچی صورت گیرد. (شکل ٤-٤-٢)



شکل ٤-٤-٢- نمایی از پوشش نهایی سیستم LSF

یادآوری۱: استفاده از پروفیل‌های ارتجاعی یک روش بسیار مؤثر و کم‌هزینه برای کاهش تراگسیل صدا از طریق دیوارها است. به‌ویژه برای دیوارهای ساختمان‌های چند واحدی، استودیوهای ضبط صدا و امثال آن‌ها مناسب است. این پروفیل‌ها مطابق با استانداردهای ASTM ساخته شده‌اند. (شکل ٤-٤-٣)



شکل ٤-٤-٣- پروفیل ارتجاعی

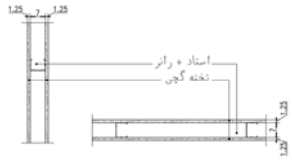
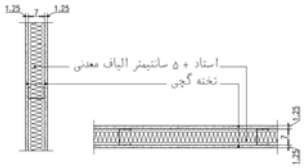
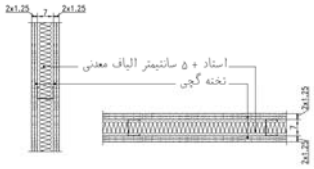
دیوار با استفاده از سیستم LSF در محل بازشو بین دو اتاق منبع و دریافت در آزمایشگاه ساخته شده و صدابندی هوابرد (شاخص کاهش صدا) آن بر اساس بند ۳ اندازه‌گیری می‌شود. در صورت نیاز برای افزایش صدابندی هوابرد و مقاومت حرارتی، استفاده از سیستم‌های دوجداره توصیه می‌گردد (شکل‌های ٤-٤-٤ و ٤-٤-٥). استفاده از این دیوارها به روش طراحی و گروه انرژی ساختمان طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بستگی دارد. نتایج اندازه‌گیری به‌صورت جدول و نمودار در بسامدهای مختلف در جدول‌های ٤-٤-٢، ٤-٤-٤، ٤-٤-٦، ٤-٤-٨، ٤-٤-١٠، ٤-٤-١٢ و شکل‌های ٤-٤-٦ تا ٤-٤-١١ ارائه شده است. همچنین نتایج صدابندی هوابرد به‌صورت تک عددی، تحت عنوان شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) برحسب dB با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته در آزمایشگاه آکوستیک

در جـدول‌هـای ٤-٤-١، ٤-٤- ٣، ٤-٤-٥، ٤-٤- ٧، ٤-٤- ٩ و ٤-٤- ١١ ارائـه شـده است.

شکل ٤-٤- نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با سیستم LSF با فاصله هوایی و نصب صفحات گچی در آزمایشگاه

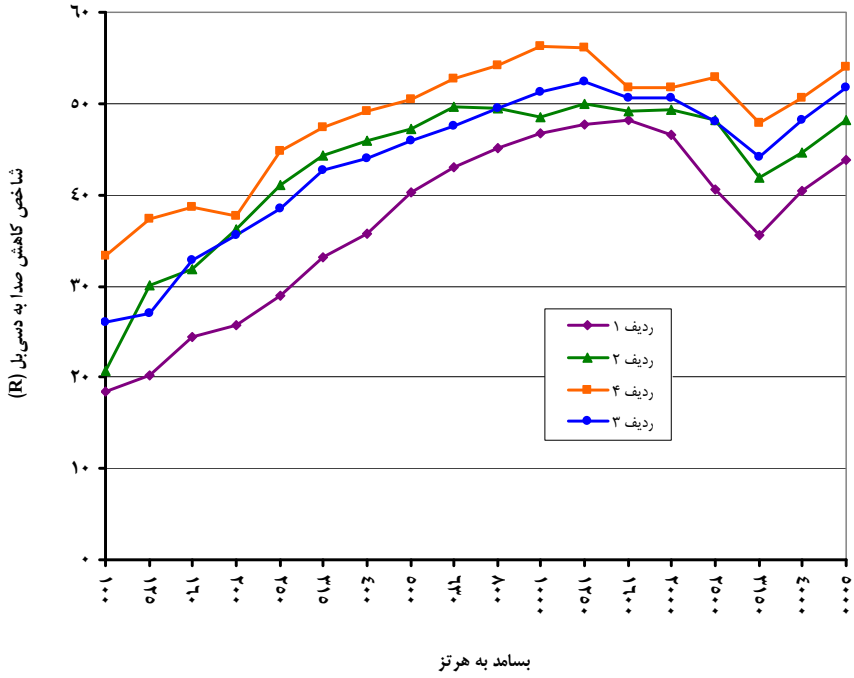
شکل ٤-٤-٥- سیستم LSF با فاصله هوایی و نصب صفحات گچی
با استفاده از الیاف معدنی

جدول ٤-٤-١- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای LSF

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_w)
۱	لایه ۱- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- استاد به عرض ۷ سانتیمتر لایه ۳- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۹٫۵	۲۰	۳۹
۲	لایه ۱- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- استاد به عرض ۷ سانتیمتر پایه با الیاف معدنی به‌ضخامت ۵ سانتیمتر و چگالی ۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ۳- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۹٫۵	۲٤	٤۷
۳	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- استاد به عرض ۷ سانتیمتر لایه ۳- - دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۱۲	۳۸٫۵	٤۷
٤	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- استاد به عرض ۷ سانتیمتر پایه با الیاف معدنی به‌ضخامت ۵ سانتیمتر و چگالی ۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ۳- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۱۲	٤۲٫۵	۵۲

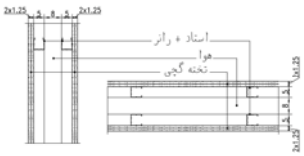
جدول ٤-٤-٢- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-١، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل			
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳	ردیف ٤
۱۰۰	۱۸٫۵	۲۰٫۷	۲٦٫۰	۳۳٫٤
۱۲۵	۲۰٫۲	۳۰٫۲	۲۷٫۰	۳۷٫٤
۱٦۰	۲٤٫۵	۳۱٫۹	۳۲٫۹	۳۸٫٦
۲۰۰	۲۵٫۷	۳٦٫۳	۳۵٫٦	۳۷٫۸
۲۵۰	۲۹٫۰	٤۱٫۱	۳۸٫۵	٤٤٫۸
۳۱۵	۳۳٫۲	٤٤٫۳	٤۲٫۸	٤۷٫۵
٤۰۰	۳۵٫۷	٤۵٫۹	٤٤٫۰	٤۹٫۲
۵۰۰	٤۰٫۳	٤۷٫۲	٤٦٫۰	۵۰٫٤
٦۳۰	٤۳٫۰	٤۹٫۷	٤۷٫٦	۵۲٫۷
۸۰۰	٤۵٫۱	٤۹٫۵	٤۹٫۵	۵٤٫۳
۱۰۰۰	٤٦٫۸	٤۸٫٦	۵۱٫۳	۵٦٫۳
۱۲۵۰	٤۷٫۸	۵۰٫۱	۵۲٫٤	۵٦٫۱
۱٦۰۰	٤۸٫۲	٤۹٫۲	۵۰٫۷	۵۱٫۸
۲۰۰۰	٤٦٫٦	٤۹٫۳	۵۰٫۷	۵۱٫۸
۲۵۰۰	٤۰٫٦	٤۸٫۲	٤۸٫۰	۵۲٫۹
۳۱۵۰	۳۵٫٦	٤۱٫۹	٤٤٫۲	٤۷٫۹
٤۰۰۰	٤۰٫٤	٤٤٫۷	٤۸٫۲	۵۰٫٦
۵۰۰۰	٤۳٫۹	٤۸٫۲	۵۱٫۷	۵٤٫۰
R_w	۳۹	٤۷	٤۷	۵۲



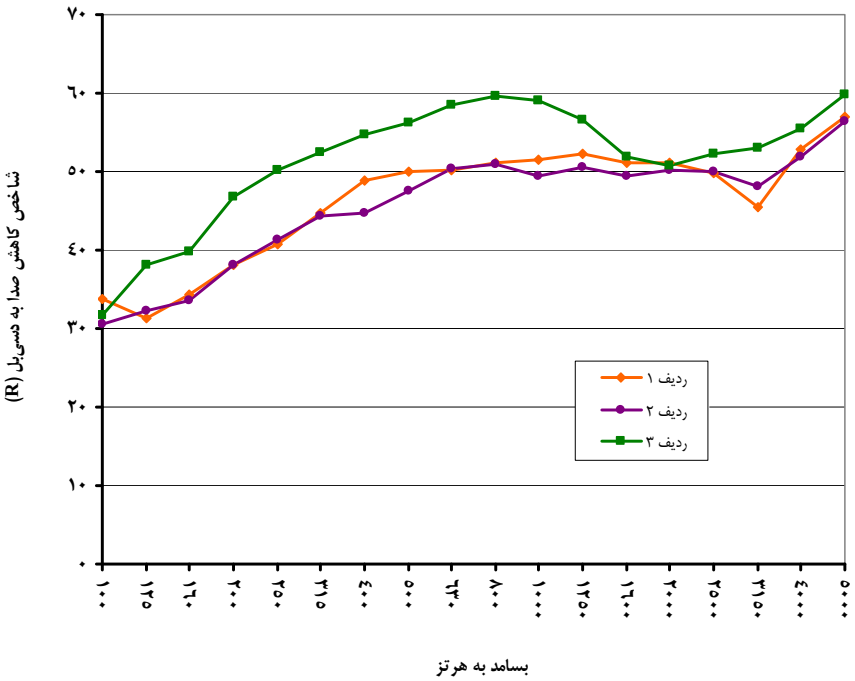
شکل ٤-٤-٦- نمودار نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-٢، در بسامدهای مختلف

جدول ٤-٤-٣ - نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای LSF

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_w)
۱	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- دو ردیف استاد به عرض ۷ سانتیمتر در کنارهم با فاصله یک نوار فوم به ضخامت ۷ میلیمتر لایه ۳- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۱۹	٤۰	٤۹
۲	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- استاد به عرض ۵ سانتیمتر لایه ۳- فاصله هوایی به‌ضخامت ۸ سانتیمتر لایه ٤- استاد به عرض ۵ سانتیمتر لایه ۵- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۲۳	٤۲	٤۹
۳	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- استاد به عرض ۵ سانتیمتر با الیاف معدنی به‌ضخامت ۵ سانتیمتر و چگالی ۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ۳- فاصله هوایی به‌ضخامت ۸ سانتیمتر لایه ٤- استاد به عرض ۵ سانتیمتر لایه ۵- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۲۳	٤٦	٥٤

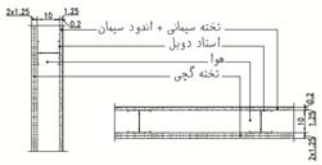
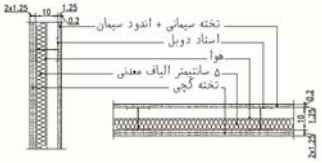
جدول ٤-٤-٤- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-٣، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل		
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳
۱۰۰	۳۳٫۹	۳۰٫۷	۳۱٫۷
۱۲۵	۳۱٫٤	۳۲٫۳	۳۸٫۱
۱٦۰	۳٤٫۳	۳۳٫٦	۳۹٫۸
۲۰۰	۳۸٫۱	۳۸٫۲	٤٦٫۷
۲۵۰	٤۰٫۷	٤۱٫٤	۵۰٫۳
۳۱۵	٤٤٫۷	٤٤٫٤	۵۲٫۵
٤۰۰	٤۸٫۹	٤٤٫۷	۵٤٫۸
۵۰۰	۵۰٫۰	٤۷٫۵	۵٦٫۳
٦۳۰	۵۰٫۲	۵۰٫۵	۵۸٫۵
۸۰۰	۵۱٫۱	۵۱٫۰	۵۹٫٦
۱۰۰۰	۵۱٫۵	٤۹٫٤	۵۹٫۱
۱۲۵۰	۵۲٫۳	۵۰٫٦	۵٦٫۷
۱٦۰۰	۵۱٫۱	٤۹٫۵	۵۱٫۹
۲۰۰۰	۵۱٫۱	۵۰٫۳	۵۰٫۸
۲۵۰۰	٤۹٫۸	۵۰٫۱	۵۲٫۲
۳۱۵۰	٤۵٫۵	٤۸٫۱	۵۳٫۱
٤۰۰۰	۵۲٫۸	۵۱٫۹	۵۵٫۵
۵۰۰۰	۵۷٫۰	۵٦٫۵	۵۹٫۸
R_w	٤۹	٤۹	۵٤



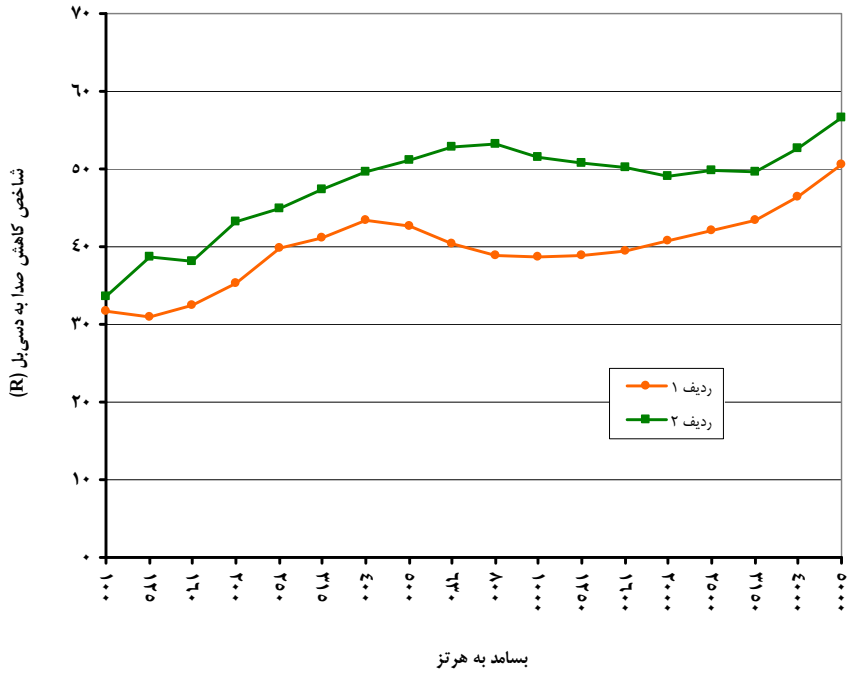
شکل ٤-٤-٧- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-٤، در بسامدهای مختلف

جدول ٤-٤-٥- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای LSF

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_w)
۱	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- استاد به عرض ۱۰ سانتیمتر لایه ۳- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ٤- یک لایه تخته سیمانی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر و چگالی ۱۲۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ۵- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ میلیمتر		۱۳٫۸	٤۲	٤۱
۲	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- استاد به عرض ۱۰ سانتیمتر با الیاف معدنی به‌ضخامت ۵ سانتیمتر و چگالی ۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ۳- دو لایه تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ٤- یک لایه تخته سیمانی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر و چگالی ۱۲۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب لایه ۵- اندود سیمان به‌ضخامت ۲ میلیمتر		۱۳٫۸	٤٦	۵۱

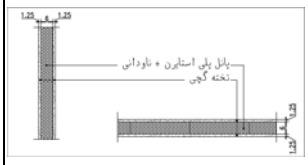
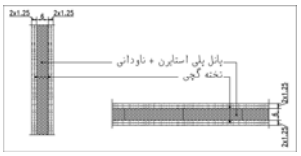
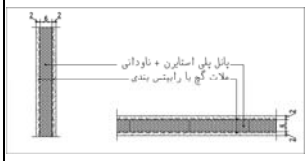
جدول ٤-٤-٦- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-٥، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل	
	ردیف ۱	ردیف ۲
۱۰۰	۳۱٫۷	۳۳٫٦
۱۲۵	۳۱٫۰	۳۸٫۸
۱٦۰	۳۲٫۵	۳۸٫۲
۲۰۰	۳۵٫۲	٤۳٫۲
۲۵۰	۳۹٫۸	٤۵٫۰
۳۱۵	٤۱٫۱	٤۷٫٤
٤۰۰	٤۳٫٤	٤۹٫۷
۵۰۰	٤۲٫٦	۵۱٫۱
٦۳۰	٤۰٫٤	۵۲٫۹
۸۰۰	۳۸٫۹	۵۳٫۲
۱۰۰۰	۳۸٫٦	۵۱٫٦
۱۲۵۰	۳۸٫۹	۵۰٫۷
۱٦۰۰	۳۹٫۵	۵۰٫۲
۲۰۰۰	٤۰٫۸	٤۹٫۱
۲۵۰۰	٤۲٫۱	٤۹٫۸
۳۱۵۰	٤۳٫٤	٤۹٫٦
٤۰۰۰	٤٦٫۵	۵۲٫٦
۵۰۰۰	۵۰٫٦	۵٦٫٦
R_w	٤۱	۵۱



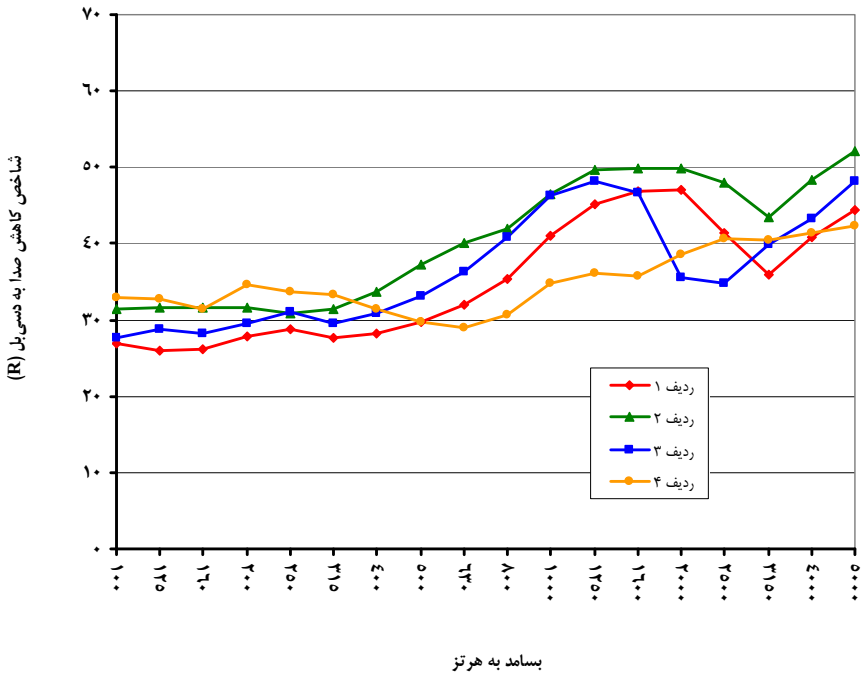
شکل ٤-٤-٨- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-٦، در بسامدهای مختلف

جدول ٤-٤-٧- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با پارتیشن پلی‌استایرن ٦ سانتیمتری

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
۱	لایه ۱- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- پانل‌های پلی‌استایرن ٦ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه ۳- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۸٫۵	۲۲	۳٦
۲	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی هر کدام به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- پانل‌های پلی‌استایرن ٦ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه ۳- دو لایه تخته‌گچی هر کدام به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۱۱	٤۰	٤۲
۳	لایه ۱- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- پانل‌های پلی‌استایرن ٦ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه ۳- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر		۹	۲٦	۳۷
٤	لایه ۱- ملات گچ با رابیتس‌بندی به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- پانل‌های پلی‌استایرن ٦ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه ۳- ملات گچ با رابیتس‌بندی به‌ضخامت ۲ سانتیمتر		۱۰	٥٦	۳٥

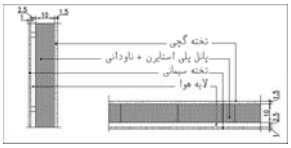
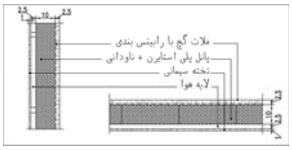
جدول ٤-٤-٨- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-٧، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل			
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳	ردیف ٤
۱۰۰	۲۷٫۰	۳۱٫۵	۲۷٫۸	۳۳٫۰
۱۲۵	۲٦٫۱	۳۱٫٦	۲۸٫۹	۳۲٫۷
۱٦۰	۲٦٫۳	۳۱٫٦	۲۸٫۳	۳۱٫۵
۲۰۰	۲۷٫۹	۳۱٫۷	۲۹٫۵	۳٤٫٦
۲۵۰	۲۸٫۹	۳۰٫۹	۳۱٫۱	۳۳٫۷
۳۱۵	۲۷٫۷	۳۱٫۵	۲۹٫٦	۳۳٫٤
٤۰۰	۲۸٫۳	۳۳٫۷	۳۱٫۰	۳۱٫٤
۵۰۰	۲۹٫۷	۳۷٫۳	۳۳٫۱	۲۹٫۷
٦۳۰	۳۲٫۱	٤۰٫۰	۳٦٫٤	۲۹٫۰
۸۰۰	۳۵٫٤	٤۲٫۱	٤۰٫۹	۳۰٫۷
۱۰۰۰	٤۱٫۰	٤٦٫۵	٤٦٫۳	۳٤٫۸
۱۲۵۰	٤۵٫۱	٤۹٫۷	٤۸٫۱	۳٦٫۲
۱٦۰۰	٤٦٫۹	٤۹٫۹	٤٦٫۷	۳۵٫۷
۲۰۰۰	٤۷٫۱	۵۰٫۰	۳۵٫۵	۳۸٫٦
۲۵۰۰	٤۱٫٤	٤۸٫۰	۳٤٫۹	٤۰٫۷
۳۱۵۰	۳۵٫۹	٤۳٫٦	۳۹٫۹	٤۰٫٦
٤۰۰۰	٤۰٫۸	٤۸٫۳	٤۳٫۳	٤۱٫٤
۵۰۰۰	٤٤٫۵	۵۲٫۱	٤۸٫۲	٤۲٫۳
R_w	۳٦	٤۲	۳۷	۳۵

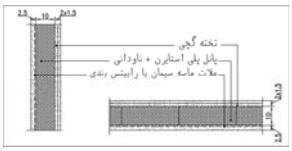


شکل ٤-٤-۹- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-۸ در بسامدهای مختلف

جدول ٤-٤-٩- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با پارتیشن پلی‌استایرن ۱۰ سانتیمتری

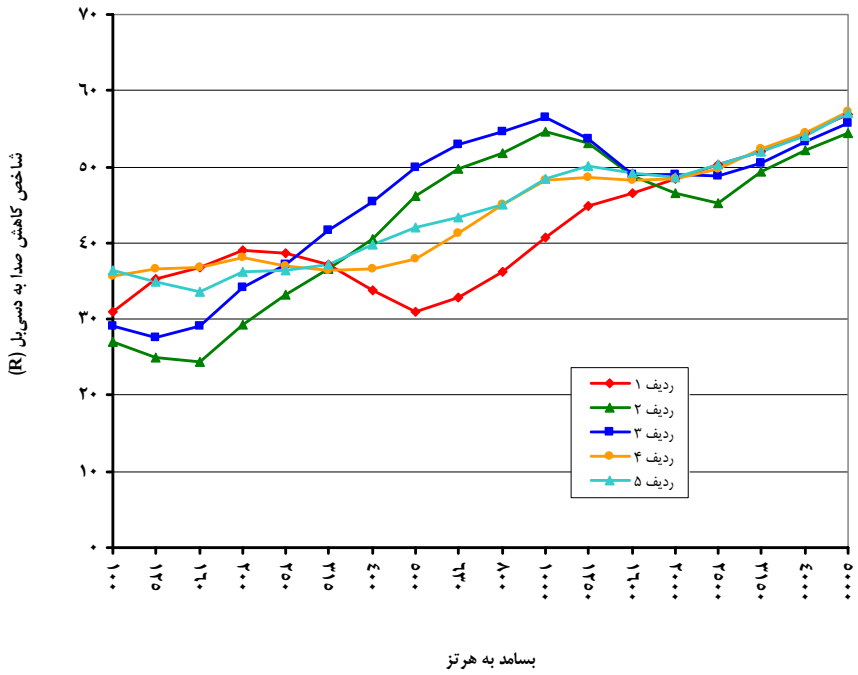
ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_w)
۱	لایه۱- ملات سیمان با رابیتس‌بندی به‌ضخامت ۲٫۵ سانتیمتر لایه۲- پانل‌های پلی‌استایرن ۱۰ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه۳- ملات گچ به‌ضخامت ۲٫۵ سانتیمتر		۱۵	۹۰	٤۰
۲	لایه۱- تخته سیمانی به‌ضخامت ۱ سانتیمتر با فاصله هوایی ۲٫۵ سانتیمتر لایه۲- پانل‌های پلی‌استایرن ۱۰ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه۳- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر		۱۵	۳۳	٤٤
۳	لایه۱- تخته‌سیمانی به‌ضخامت ۱ سانتیمتر با فاصله هوایی ۲٫۵ سانتیمتر لایه۲- پانل‌های پلی‌استایرن ۱۰ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه۳- ملات گچ با رابیتس‌بندی به‌ضخامت ۲٫۵ سانتیمتر		۱٦	٥٤	٤۷

ادامه جدول ٤-٤-٩: نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با پارتیشن پلی‌استایرن ۱۰ سانتیمتری

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
٤	لایه۱- ملات سیمان با رابیتس‌بندی به‌ضخامت ۲٫۵ سانتیمتر لایه۲- پانل‌های پلی‌استایرن ۱۰ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه۳- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۵سانتیمتر		١٤	٦٨	٤٥
٥	لایه ۱- ملات سیمان با رابیتس‌بندی به‌ضخامت ۲٫۵ سانتیمتر لایه ۲- پانل‌های پلی‌استایرن ۱۰ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه ۳- دو لایه تخته‌گچی هر کدام به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر		١٥٫٥	٧٩	٤٦

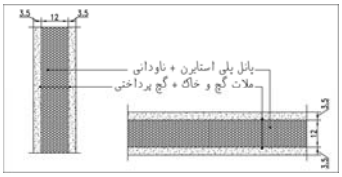
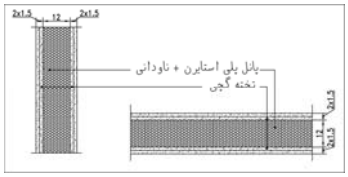
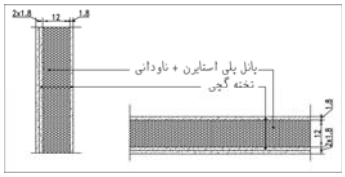
جدول ٤-٤-١٠- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-٩، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل				
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳	ردیف ٤	ردیف ٥
۱۰۰	۳۰٫۹	۲۷٫۰	۲۹٫۱	۳٥٫٦	۳٦٫٥
۱۲٥	۳٥٫۳	۲٥٫۰	۲۷٫٦	۳٦٫٦	۳٥٫۰
۱٦۰	۳٦٫۹	۲٤٫٥	۲۹٫۲	۳٦٫۸	۳۳٫٦
۲۰۰	۳۹٫۰	۲۹٫۳	۳٤٫۲	۳۸٫۱	۳٦٫۲
۲٥۰	۳۸٫٦	۳۳٫۳	۳۷٫۲	۳۷٫۰	۳٦٫٥
۳۱٥	۳۷٫۳	۳٦٫۷	٤۱٫٦	۳٦٫٥	۳۷٫۳
٤۰۰	۳۳٫۹	٤۰٫٥	٤٥٫٤	۳٦٫٦	۳۹٫۹
٥۰۰	۳۱٫۱	٤٦٫۲	٤۹٫۹	۳۸٫۰	٤۲٫۱
٦۳۰	۳۲٫۸	٤۹٫۸	٥۲٫۹	٤۱٫٤	٤۳٫٤
۸۰۰	۳٦٫۲	٥۱٫۸	٥٤٫۷	٤٥٫۱	٤٥٫۱
۱۰۰۰	٤۰٫۷	٥٤٫۷	٥٦٫٥	٤۸٫۳	٤۸٫٤
۱۲٥۰	٤٤٫۹	٥۳٫۲	٥۳٫٦	٤۸٫۷	٥۰٫۲
۱٦۰۰	٤٦٫٦	٤۸٫۸	٤۹٫۱	٤۸٫۳	٤۹٫۱
۲۰۰۰	٤۸٫٥	٤٦٫٥	٤۸٫۹	٤۸٫٤	٤۸٫۷
۲٥۰۰	٥۰٫۳	٤٥٫۲	٤۸٫۹	٤۹٫۸	٥۰٫۳
۳۱٥۰	٥۲٫۱	٤۹٫٤	٥۰٫٥	٥۲٫٥	٥۲٫۰
٤۰۰۰	٥٤٫٤	٥۲٫۲	٥۳٫۳	٥٤٫٥	٥٤٫۰
٥۰۰۰	٥٦٫۸	٥٤٫٥	٥٥٫۸	٥۷٫۲	٥۷٫۰
R_w	٤۰	٤٤	٤۷	٤٥	٤٦

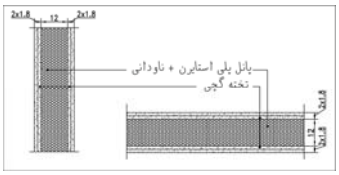
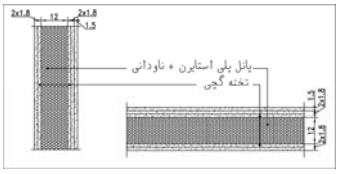


شکل ٤-٤-١٠- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-١٠، در بسامدهای مختلف

جدول ٤-٤-١١- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با پارتیشن پلی‌استایرن ۱۲ سانتیمتری

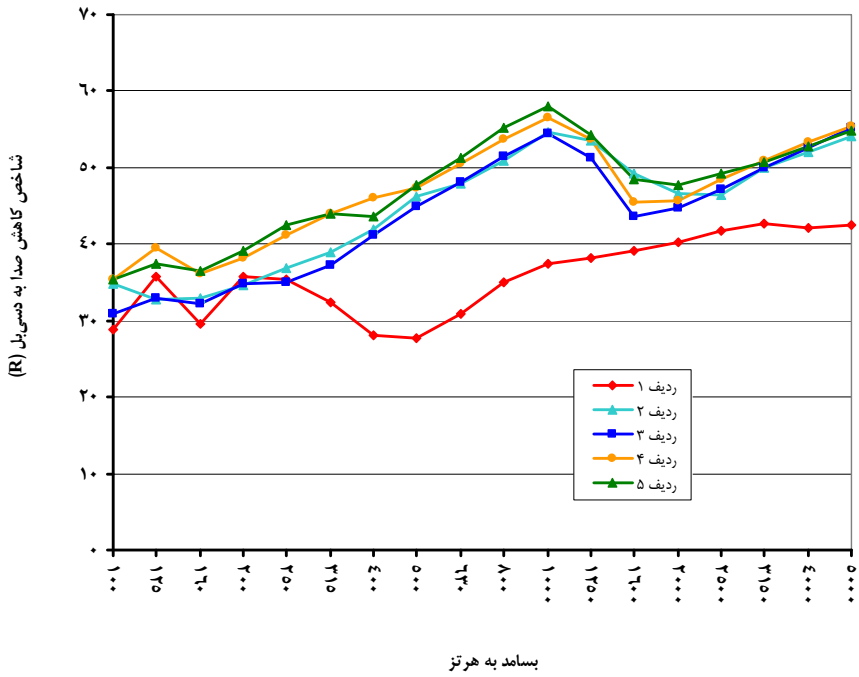
ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
۱	لایه ۱- ملات گچ و خاک به‌ضخامت ۳ سانتیمتر و گچ پرداختی به‌ضخامت ۰٫۵ سانتیمتر لایه ۲- پانل‌های پلی‌استایرن ۱۲ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه ۳- ملات گچ و خاک به‌ضخامت ۳ سانتیمتر و گچ پرداختی به‌ضخامت ۰٫۵ سانتیمتر		۱۹	۱۱۵	۳٦
۲	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی هر کدام به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- پانل‌های پلی‌استایرن ۱۲ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه ۳- دو لایه تخته گچی هر کدام به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر		۱۸	۵۰	٤۷
۳	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی هر کدام به‌ضخامت ۱٫۸ سانتیمتر لایه ۲- پانل‌های پلی‌استایرن ۱۲ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه ۳- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۸ سانتیمتر		۱۷٫٤	٤٦	٤٦

ادامه جدول ٤-٤-١١- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ساخته شده با پارتیشن پلی‌استایرن ۱۲ سانتیمتری

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
٤	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی هر کدام به‌ضخامت ۱٫۸ سانتیمتر لایه ۲- پانل‌های پلی‌استایرن ۱۲ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه ۳- دو لایه تخته‌گچی هر کدام به‌ضخامت ۱٫۸ سانتیمتر		۱۹٫۲	۵۹	٤۹
۵	لایه ۱- دو لایه تخته‌گچی هر کدام به‌ضخامت ۱٫۸ سانتیمتر لایه ۲- تخته گچی به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- پانل‌های پلی‌استایرن ۱۲ سانتیمتری با ناودانی از ورق ۰٫٦ میلیمتری لایه ۳- دو لایه تخته‌گچی هر کدام به‌ضخامت ۱٫۸ سانتیمتر		۲۰٫۷	۷۰	۵۰

جدول ٤-٤-١٢- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-١١، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل				
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳	ردیف ٤	ردیف ٥
۱۰۰	۲۸٫۹	۳٤٫۸	۳۰٫۹	۳٥٫۳	۳٥٫۳
۱۲٥	۳٥٫۷	۳۲٫۸	۳۲٫۹	۳۹٫٦	۳۷٫٥
۱٦۰	۲۹٫٥	۳۲٫۹	۳۲٫۳	۳٦٫۲	۳٦٫٥
۲۰۰	۳٥٫۷	۳٤٫٦	۳٤٫۹	۳۸٫۱	۳۹٫۱
۲٥۰	۳٥٫٤	۳٦٫۹	۳٥٫۱	٤۱٫۳	٤۲٫٥
۳۱٥	۳۲٫۳	۳۸٫۹	۳۷٫۲	٤۳٫۹	٤٤٫۰
٤۰۰	۲۸٫۰	٤۲٫۰	٤۱٫۳	٤٦٫۱	٤۳٫۷
٥۰۰	۲۷٫۷	٤٦٫۲	٤٥٫۰	٤۷٫٤	٤۷٫۸
٦۳۰	۳۰٫۹	٤۸٫۰	٤۸٫۱	٥۰٫٥	٥۱٫۲
۸۰۰	۳٥٫۰	٥۱٫۰	٥۱٫٥	٥۳٫۷	٥٥٫۳
۱۰۰۰	۳۷٫٥	٥٤٫۷	٥٤٫٥	٥٦٫٥	٥۸٫۱
۱۲٥۰	۳۸٫۲	٥۳٫٦	٥۱٫٤	٥۳٫۷	٥٤٫۲
۱٦۰۰	۳۹٫۲	٤۹٫۳	٤۳٫۷	٤٥٫٦	٤۸٫٤
۲۰۰۰	٤۰٫۳	٤٦٫٦	٤٤٫۷	٤٥٫۷	٤۷٫۷
۲٥۰۰	٤۱٫۷	٤٦٫٤	٤۷٫۲	٤۸٫٤	٤۹٫۲
۳۱٥۰	٤۲٫٦	٤۹٫۹	٤۹٫۹	٥۱٫۰	٥۰٫۸
٤۰۰۰	٤۲٫۲	٥۲٫۰	٥۲٫۷	٥۳٫۳	٥۲٫۹
٥۰۰۰	٤۲٫٤	٥٤٫۲	٥٥٫۳	٥٥٫٤	٥٤٫۹
R_w	۳٦	٤۷	٤٦	٤۹	٥۰

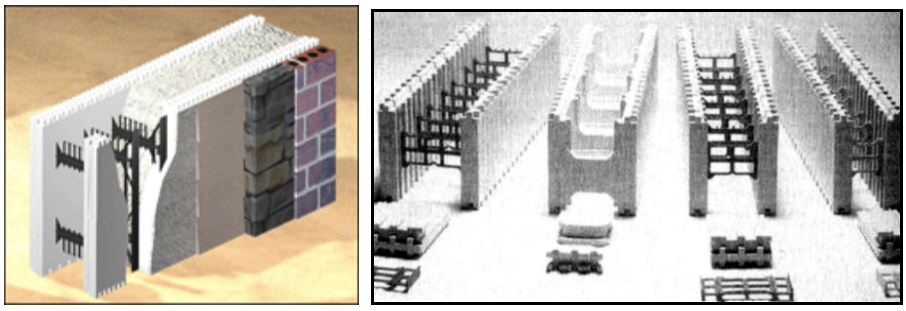


شکل ٤-٤-١١- نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٤-١٢، در بسامدهای مختلف

٤-٥- سیستم قالب ماندگار بتنی، ICF

سیستم‌های قالب ماندگار ICF (Insulated Concrete Forms) اساساً شامل قالب‌های دائمی هستند که برای بتن‌ریزی و ساخت دیوارهای بتن مسلح استفاده شده و پس از بتن‌ریزی جزئی از دیوار محسوب می‌شوند. در کشورهای صنعتی، این محصول برای ساخت واحدهای کوچک مسکونی توسط افراد متخصص و غیر متخصص مورد استفاده قرار می‌گیرد. عمده قالب‌ها در این سیستم از جنس پلی‌استایرن منبسط‌شده است. دراین سیستم، قطعات به‌عنوان قالب گم (ماندگار) برای بتن سازه‌ای اعم از دیوار باربر و غیرباربر، زیر سطح زمین یا روی سطح زمین به‌کار می‌روند. قطعات برای ساخت تیر، نعل درگاه، دیوار خارجی و داخلی، شالوده و دیوار حایل بتنی مسلح یا غیرمسلح نیز به‌کار می‌روند. این قطعات پس از بتن‌ریزی و عمل‌آوری بتن، در محل باقی می‌مانند و می‌بایست با مواد نازک‌کاری داخلی و خارجی محافظت شوند.

قالب های ICF از نظر شکل و ابعاد کلی به سه دسته بلوکی، تخته‌ای یا نواری و پانلی تقسیم می‌شوند. (شکل ٤-٥-١) بلوک‌ها ابعاد کوچک‌تری نسبت به انواع دیگر دارند و معمولاً تا ابعاد ۳۰ ×۱۲۰ سانتی‌متر تولید می‌شوند. قالب‌های تخته‌ای یا نواری دارای ابعاد بزرگ‌تر تا حدود ۳۰ × ۲٤۰ سانتی‌متر هستند که معمولاً به شکل دو تخته جداگانه با ضخامت ۵ سانتی‌متر به محل ساختمان منتقل و سپس به وسیله اتصالات پلاستیکی به هم متصل می‌شوند. ابعاد پانل‌ها بسیار متنوع است و معمولاً تا ابعاد ۱۲۰ در ۳٦۰ سانتی‌متر نیز تولید می‌شود.



شکل ٤-٥-١- نمونه‌هایی از انواع مختلف قطعات بلوکی و نواری ICF

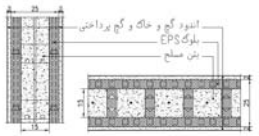
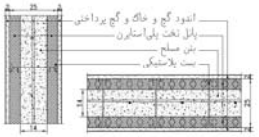
همان‌گونه که مطرح شد، سیستم ساختمانی قالب ماندگار ICF یک سیستم دیوار سازه‌ای از نوع بتنی است که پس از اجرا از دو لایه پلی استایرن منبسط در طرفین دیوار و یک لایه بتنی در قسمت میانی تشکیل می‌شود. با توجه به اینکه در این سیستم معمولاً از بتن عادی با چگالی بالا استفاده می‌شود و اینکه اختلاف قابل توجهی بین ضریب هدایت حرارت این نوع بتن و عایق پلی استایرن منبسط وجود دارد، معمولاً اثر تغییرات در ضریب هدایت حرارتی بتن مورد استفاده قابل چشم‌پوشی است. پوشش داخلی و خارجی دیوار نیز معمولاً با ضخامت کم انجام می‌شود و هرچند مقاومت حرارتی ناشی از آن در محاسبات در نظر گرفته می‌شود، ولی باید در اینجا به این نکته اشاره کرد که اثر نوع و ضخامت پوشش‌های مختلف داخلی و خارجی بر روی مقدار مقاومت کل ناچیز است و اثر تعیین‌کننده‌ای در این زمینه ندارد.

شکل ٤-٥-٢- ساخت دیوار با سیستم ICF با اتصالات پلاستیکی در آزمایشگاه

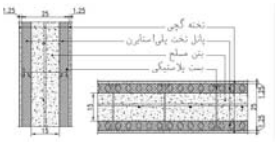
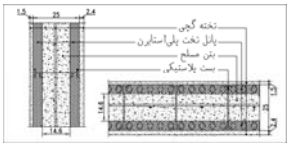
شکل ٤-٥-٣- ساخت دیوار با سیستم ICF با بلوک‌های پلی استایرن انبساطی در آزمایشگاه

دیوار با استفاده از سیستم ICF در محل بازشو بین دو اتاق منبع و دریافت در آزمایشگاه ساخته شده (شکل‌های ٤-٥-٢ و ٤-٥-٣) و صدابندی هوابرد (شاخص کاهش صدا) آن بر اساس بند ۳ اندازه‌گیری می‌شود. این سیستم به سبب استفاده از دو لایه عایق حرارتی پلی استایرن که هر کدام به طور معمول ضخامتی برابر ۵ سانتیمتر دارند، دارای مقاومت حرارتی بالایی است. استفاده از این دیوارها به روش طراحی و گروه انرژی ساختمان طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بستگی دارد. نتایج اندازه‌گیری به‌صورت جدول و نمودار در بسامدهای مختلف در جدول ٤-٥-٢ و شکل ٤-٥-٤ ارائه شده است. همچنین نتایج صدابندی هوابرد به‌صورت تک عددی، تحت عنوان شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) برحسب dB با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته در آزمایشگاه آکوستیک و منابع دیگر در جدول‌های ٤-٥-١ ارائه شده است.

جدول ٤-٥-١- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ICF

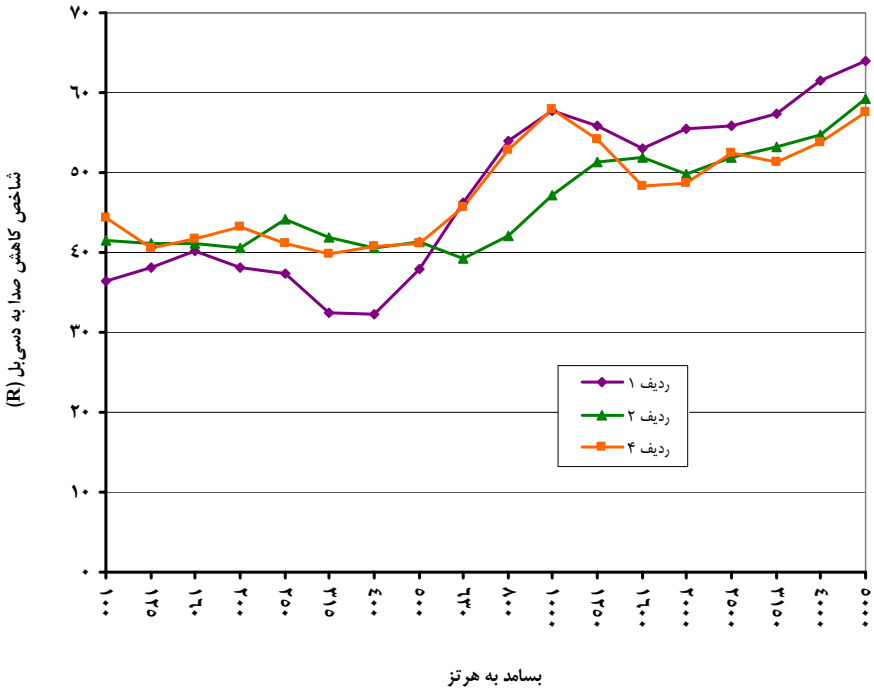
ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB)
۱	لایه ۱- اندود گچ و خاک و گچ پرداختی به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- دیوار با ساختار قالب عایق ماندگار بتنی (ICF): بلوک‌های ۲۵ سانتیمتری پلی‌استایرن انبساطی (EPS)، پرشده با بتن مسلح لایه ۳- اندود گچ و خاک و گچ پرداختی به‌ضخامت ۲ سانتیمتر		۲۹	۲۲٦	٤٥
۲	لایه ۱- اندود گچ و خاک و گچ پرداختی به‌ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- دیوار با ساختار قالب عایق ماندگار بتنی (ICF): پانل‌های تخت ۲۵ سانتیمتری پلی‌استایرن که به‌وسیله بست‌های پلاستیکی به یکدیگر متصل شده‌اند پر شده با بتن مسلح به‌ضخامت ١٤ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ و خاک و گچ پرداختی به‌ضخامت ۲ سانتیمتر		۲۹	۳۹۰	٤۷

ادامه جدول ٤-٥-١- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای ICF

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_w)
۳	لایه ۱- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر لایه ۲- دیوار با ساختار قالب عایق ماندگار بتنی (ICF): پانل‌های تخت ۲۵ سانتیمتری پلی‌استایرن که به‌وسیله بست‌های پلاستیکی به یکدیگر متصل شده‌اند پر شده با بتن مسلح به‌ضخامت ۱۵ سانتیمتر لایه ۳- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۲۵ سانتیمتر		۲۷٫۵	۳۸۵	٤۸
٤	لایه ۱- تخته‌گچی به‌ضخامت ۱٫۵ سانتیمتر لایه ۲- دیوار با ساختار قالب پانلی تخت عایق ماندگار بتنی (ICF) (ضخامت هر پانل ۵٫۲۰ سانتیمتر) که به‌وسیله بست‌های پلاستیکی به یکدیگر متصل شده‌اند و بخش میانی پر شده با بتن مسلح به‌ضخامت ۱٤٫٦۰ سانتیمتر لایه ۳- تخته‌گچی به‌ضخامت ۲٫٤۰ سانتیمتر		۲۸٫۹	۳۸٦	۵۱

جدول ٤-٥-٢- نتایج شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤-٥-١، در بسامدهای مختلف

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) یا افت صوتی (TL) در بسامدهای مختلف برحسب دسی‌بل		
	ردیف ۱	ردیف ۲	ردیف ۳
۱۰۰	۳٦/٤	٤۱/٦	٤٤/٤
۱۲۵	۳۸/۲	٤۱/۲	٤۰/۵
۱٦۰	٤۰/۲	٤۱/۲	٤۱/۷
۲۰۰	۳۸/۲	٤۰/٦	٤۳/۳
۲۵۰	۳۷/٤	٤٤/۱	٤۱/۱
۳۱۵	۳۲/٤	٤۱/۹	۳۹/۸
٤۰۰	۳۲/۳	٤۰/۵	٤۰/۸
۵۰۰	۳۷/۹	٤۱/۳	٤۱/۲
٦۳۰	٤٦/۲	۳۹/۳	٤۵/٦
۸۰۰	۵۳/۹	٤۲/۱	۵۲/۸
۱۰۰۰	۵۷/۸	٤۷/۳	۵۷/۹
۱۲۵۰	۵۵/۹	۵۱/٤	۵٤/۱
۱٦۰۰	۵۳/۱	۵۱/۹	٤۸/۳
۲۰۰۰	۵۵/٤	٤۹/۸	٤۸/٦
۲۵۰۰	۵۵/۸	۵۱/۹	۵۲/٤
۳۱۵۰	۵۷/٤	۵۳/۲	۵۱/٤
٤۰۰۰	٦۱/٦	۵٤/۷	۵۳/۸
۵۰۰۰	٦۳/۹	۵۹/۳	۵۷/٦
R_w	٤۵	٤۷	٤۸

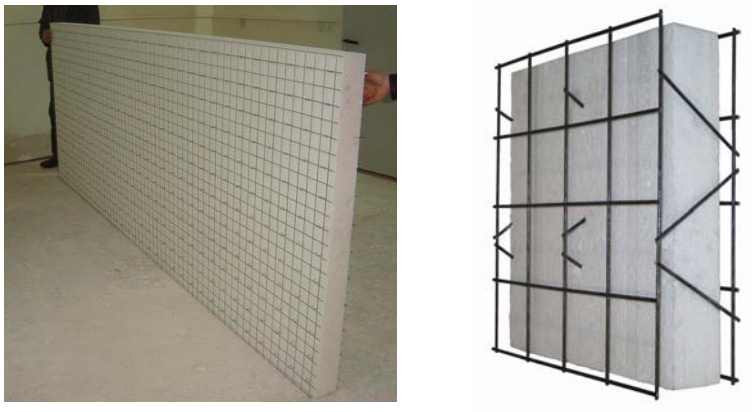


شکل ٤–٥–٤ – نمودار شاخص کاهش صدا برای جزئیات اجرایی درج شده در جدول ٤–٥–٢، در بسامدهای مختلف

٤-٦- سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی، 3D

سیستم 3D، در دهۀ هشتاد میلادی تحت عنوان « پانل‌های ساندویچی به روش بتن پاشی (در پای کار)» به بازار جهانی معرفی شد و در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار گرفت. لازم به توضیح است اولین نسل این سیستم در سال‌های قبل از انقلاب اسلامی در ایران تولید شد و مورد استفاده قرار گرفت. کشورهای ارائه کننده این سیستم در ابتدا اتریش و ایتالیا بودند. این سیستم، با توجه به ضوابط حاکم در کشورهای نام برده، کاربرد چندانی ندارد و محدود به ساخت و ساز معدود ویلایی در خارج از شهرها می‌شود. در سال‌های بعد، ساخت و فروش آن در کشورهایی مانند چین، افغانستان، عراق، ترکیه، برزیل، آرژانتین، کلمبیا و ایران گسترش یافت.

در سیستم پانل ساندویچی، صفحات متشکل از پانل عایق حرارتی (پلی‌استایرن منبسط یا پلی‌یورتان)، همراه با دو شبکه فلزی در طرفین عایق، که به وسیله مفتول‌های فولادی مورب به یکدیگر متصل شده‌اند، یک شبکه فلزی سه بعدی را تشکیل می‌دهد (شکل ٤-٦-١).



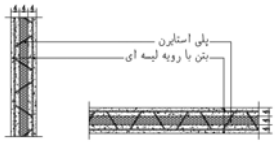
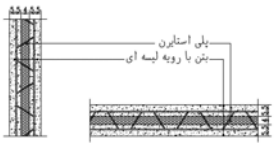
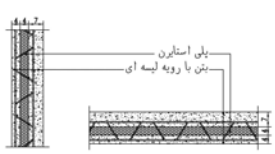
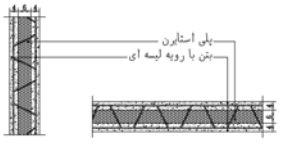
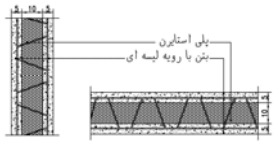
شکل ٤-٦-١- نمونه‌ای از یک پانل 3D

این قطعات پس از انتقال به محل احداث ساختمان، به یکدیگر متصل و از دو طرف به آنها بتن پاشیده می‌شود. از تلفیق پانل و بتن، سازه ساختمان حاصل می‌شود (شکل ٤-٦-٢).

ادامه شکل ٤-٦-٢- ساخت دیوار با سیستم 3D در آزمایشگاه

دیوار با استفاده از سیستم 3D در محل بازشو بین دو اتاق منبع و دریافت در آزمایشگاه ساخته شده (شکل ٤-٦-٢) و صدابندی هوابرد (شاخص کاهش صدا) آن بر اساس بند ۳ اندازه‌گیری می‌شود. در صورت نیاز برای افزایش صدابندی هوابرد و مقاومت حرارتی، استفاده از سیستم‌های پوششی و دوجداره توصیه می‌گردد. استفاده از این دیوارها به روش طراحی و گروه انرژی ساختمان طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان بستگی دارد. نتایج صدابندی هوابرد به‌صورت تک عددی، تحت عنوان شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) برحسب dB با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته در آزمایشگاه آکوستیک و منابع دیگر در جدول ٤-٦-١ ارائه شده است.

جدول ٤-٦-١- نتایج اندازه‌گیری شاخص کاهش صدای وزن‌یافته برای نمونه‌هایی از دیوارهای 3D

ردیف	شرح جزئیات اجرائی دیوار	جزئیات اجرائی	ضخامت (cm)	چگالی سطحی (kg/m^2)	شاخص کاهش صدای وزن یافته (dB_w)
۱	لایه ۱- بتن با رویه لیسه‌ای به‌ضخامت ٤ سانتیمتر لایه ۲- پلی‌استایرن به‌ضخامت ٤ سانتیمتر لایه ۳- بتن با رویه لیسه‌ای به‌ضخامت ٤ سانتیمتر		۱۲	۱۷٤	٤٦
۲	لایه ۱- بتن با رویه لیسه‌ای به‌ضخامت ۵/۵ سانتیمتر لایه ۲- پلی‌استایرن به‌ضخامت ٤ سانتیمتر لایه ۳- بتن با رویه لیسه‌ای به‌ضخامت ۵/۵ سانتیمتر		۱۵	۲۳۷	٤۷
۳	لایه ۱- بتن با رویه لیسه‌ای به‌ضخامت ٤ سانتیمتر لایه ۲- پلی‌استایرن به‌ضخامت ٤ سانتیمتر لایه ۳- بتن با رویه لیسه‌ای به‌ضخامت ۷ سانتیمتر		۱۵	۲۳۷	٤۸
٤	لایه ۱- بتن با رویه لیسه‌ای به‌ضخامت ٤ سانتیمتر لایه ۲- پلی‌استایرن به‌ضخامت ٦ سانتیمتر لایه ۳- بتن با رویه لیسه‌ای به‌ضخامت ٤ سانتیمتر		۱٤	۱۷۵	٤۳
۵	لایه ۱- بتن با رویه لیسه‌ای به‌ضخامت ۵ سانتیمتر لایه ۲- پلی‌استایرن به‌ضخامت ۱۰ سانتیمتر لایه ۳- بتن با رویه لیسه‌ای به‌ضخامت ۵ سانتیمتر		۲۰	۲۱۹	٤۵

پیوست الف

مشخصات فیزیکی برخی از جامدات

Appendix C: Plate Properties of Solids

APPENDIX C Plate Properties of Solids[a]

Material	c_L, m/s	ρ_w, kg/m^3	$M_S f_c$, Hz-kg/m^2	η	E, GPa	σ
Aluminum (2014)	5,420	2,800	34,090	0.001	73.1	0.33
Brass (red)	3,710	8,710	155,200	0.001	103.4	0.37
Brick	3,800	1,800	31,250	0.015	25.0	0.20
Chipboard	675	750	73,400	0.020	0.340	0.08
Concrete	2,960	2,400	50,200	0.020	20.7	0.13
Glass	5,450	2,500	30,300	0.0013	71.0	0.21
Granite	4,413	2,690	40,270	0.001	48.3	0.28
Gypsum board	6,790	650	6,320	0.018	29.5	0.13
Lead	1,206	11,300	819,000	0.015	13.8	0.40
Lexan™	1,450	1,200	54,650	0.015	2.12	0.40
Marble	4,600	2,800	40,200	0.001	55.2	0.26
Masonry block (6 in)	3,120	1,100	23,300	0.007	10.6	0.10
Plaster	4,550	1,700	24,700	0.005	32.0	0.30
Plexiglas™	2,035	1,150	37,300	0.020	4.00	0.40
Plywood	3,100	600	12,780	0.030	4.86	0.40
Polyethylene	765	935	80,700	0.010	0.48	0.35
Pyrex	5,350	2,300	28,400	0.004	62.0	0.24
Rubber (hard)	1,700	950	36,900	0.080	2.30	0.40
Steel (C1020)	5,100	7,700	99,700	0.0013	200.0	0.27
Wood (oak)	3,860	770	11,900	0.008	11.2	0.15
Wood (pine)	4,680	640	8,160	0.020	13.7	0.15

[a] c_L is the longitudinal speed of sound; ρ_w is the material density; $M_S = \rho_w h$ = surface density; f_c is the critical or wave coincidence frequency, η is the damping coefficient; E is Young's modulus; and σ is Poisson's ratio.

پیوست ب

مقررات آکوستیکی انواع ساختمان‌ها بر اساس مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان

برای ارائه مقررات آکوستیکی برای انواع ساختمان‌ها، مناطق مختلف شهری از نظر تراز نوفه محیطی در جدول زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

جدول ب- ۱ - منطقه‌بندی شهری از نظر تراز نوفه محیطی

نوع منطقه شهری از نظر نوفه	حداکثر تراز معادل صدا، L_{AeqT} به دسی‌بل		کاربری‌های مجاز
	از ۷ صبح تا ۱۰ شب	از ۱۰ شب تا ۷ صبح	
نوفه پایین	۵۵	۴۵	مسکونی، مراکز جهانگردی و پذیرایی، مراکز بهداشتی درمانی، مراکز فرهنگی، ورزشی، مراکز تجاری در حد محله
نوفه متوسط	۶۵	۵۵	آموزشی، اداری، باشگاه‌های ورزشی سرپوشیده مختلط مسکونی- تجاری- اداری، مجتمع‌های تجاری، بازار، نمایشگاه
نوفه بالا	۷۵	۶۵	ترمینال‌ها، انبارها، پارکینگ‌ها، استادیوم‌های ورزشی روباز، میادین میوه و تره‌بار، صنعتی، نظامی، فرودگاه‌ها

یادآوری: چنانچه کاربری‌های مجاز قید شده در مناطق شهری با نوفه پایین و متوسط در منطقه شهری با نوفه بالا ساخته شوند، باید تمهیداتی خاصی در مورد صدابندی پوسته خارجی آن‌ها در نظر گرفته شود.

پیوست پ

حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای جداکننده‌ها

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

جدول پ- ۱- حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای دیوارها در ساختمان‌ها

نوع ساختمان	عملکرد دیوار	نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) به دسی‌بل
مسکونی	پوسته خارجی	ساده	۴۵
		مرکب	۴۰
	دیوار جداکننده بین دو واحد مجاور	ساده	۵۰
	دیوار جداکننده واحد مسکونی از پارکینگ و سالن اجتماعات	ساده	۵۵
	جداکننده بین واحد مسکونی و راهرو	ساده	۴۵
		مرکب	۴۰
	سقف و کف جداکننده واحد مسکونی از پارکینگ و سالن اجتماعات	ساده	۵۵
	سقف و کف جداکننده بین واحدهای مسکونی	ساده	۵۰
آموزشی	پوسته خارجی کلاس درس نظری، آزمایشگاه، اتاق آموزش موسیقی و کلیه کارگاه‌ها	ساده	۴۵
		مرکب	۴۰
	دیوار جداکننده کلاس درس نظری، آزمایشگاه، اتاق آموزش موسیقی، کارگاه‌های سبک و سمعی بصری از فضاهای مجاور	ساده	۵۰
	دیوار جداکننده کارگاه‌های سنگین از فضاهای مجاور	ساده	۵۵
	دیوار جداکننده کارگاه‌های سنگین از راهرو	مرکب	۴۰
	دیوار جداکننده کلاس درس نظری، آزمایشگاه، اتاق آموزش موسیقی و کارگاه‌های سبک از راهرو	مرکب	۳۵
	سقف جداکننده کارگاه‌های سنگین از فضاهای مجاور	ساده	۵۵
	سقف جداکننده کلاس درس نظری، آزمایشگاه، اتاق آموزش موسیقی، کارگاه‌های سبک و سمعی بصری از فضاهای مجاور	ساده	۵۰

ادامه جدول پ- ۱- حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای دیوارها در ساختمان‌ها

نوع ساختمان	عملکرد دیوار	نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) به دسی‌بل
هتل	پوسته خارجی فضاهای بسته عمومی	ساده/ مرکب	٤٠
	پوسته خارجی اتاق مهمان	ساده	٤٥
		مرکب	٤٠
	دیوار جداکننده بین اتاق‌های مهمان	ساده/ مرکب	٥٠
	جداکننده بین اتاق مهمان و راهرو	ساده	٤٥
		مرکب	٤٠
	دیوار جداکننده بین اتاق مهمان و سایر فضاها	ساده	٥٥
	جداکننده بین سالن انتظار (لابی) و سالن اجتماعات	ساده/ مرکب	٥٠
	جداکننده بین سالن انتظار (لابی) و دفاتر اداری	ساده/ مرکب	٥٠
	جداکننده فضاهای ورزشی تفریحی و سرویس‌های بهداشتی از راهرو	ساده	٤٥
		مرکب	٤٠
	دیوار جداکننده بین فضاهای تأسیساتی و سایر فضاهای مجاور	ساده	٥٥
	دیوار جداکننده بین آسانسور و سایر فضاهای مجاور	ساده	٥٥
	کلیه سقف‌ها	ساده	٥٥

ادامه جدول پ- ۱- حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای دیوارها در ساختمان‌ها

نوع ساختمان	عملکرد دیوار	نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) به دسی‌بل
مراکز بهداشتی درمانی	پوسته خارجی فضاهای بسته عمومی	ساده	۴۰
		مرکب	۳۵
	پوسته خارجی اتاق‌های بخش بستری، مراقبت‌های ویژه، جراحی، فضاهای تشخیصی، درمانگاه‌های تخصصی و اورژانس	ساده	۴۵
		مرکب	۴۰
	دیوار جداکننده اتاق‌های بخش بستری، مراقبت‌های ویژه، جراحی از سایر فضاها	ساده	۵۵
	دیوار جداکننده بین اتاق‌های بخش بستری، مراقبت‌های ویژه، جراحی از فضاهای همانند	ساده	۵۰
	دیوار جداکننده اورژانس، فضاهای تشخیصی و درمانگاه‌های تخصصی از سایر فضاها	ساده	۴۵
	دیوار جداکننده فضاهای تشخیصی و درمانگاه‌های تخصصی از فضاهای همانند	ساده	۴۰
	جداکننده اتاق‌های بخش بستری، مراقبت‌های ویژه، جراحی، فضاهای تشخیصی و درمانگاه‌های تخصصی از راهرو	مرکب	۳۵
	سقف جداکننده اتاق‌های بخش بستری، مراقبت‌های ویژه، جراحی از سایر فضاها	ساده	۵۵
	سقف جداکننده بین اتاق‌های بخش بستری، مراقبت‌های ویژه، جراحی از فضاهای همانند	ساده	۵۰
	سقف جداکننده اورژانس، فضاهای تشخیصی و درمانگاه‌های تخصصی از سایر فضاها	ساده	۴۵
	سقف جداکننده فضاهای تشخیصی و درمانگاه‌های تخصصی از فضاهای همانند	ساده	۴۰

ادامه جدول پ- ۱- حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای دیوارها در ساختمان‌ها

نوع ساختمان	عملکرد دیوار	نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) به دسی‌بل
اداری/حرفه‌ای و کسبی/تجاری	پوسته خارجی اتاق جلسات	ساده	٤٥
		مرکب	٤٠
	پوسته خارجی اتاق‌های اداری و دفاتر تجاری، سالن بانک‌ها و سایت‌های کامپیوتر	ساده	٤٠
		مرکب	٣٥
	پوسته خارجی فروشگاه‌ها، سوپرمارکت‌ها، بازارچه‌ها و مراکز تجاری سرپوشیده	ساده	٤٠
		مرکب	٣٥
	پوسته خارجی فضاهای بسته عمومی	ساده	٤٠
		مرکب	٣٥
	دیوار جداکننده بین اتاق جلسات و فضاهای مجاور	ساده	٥٠
	دیوار جداکننده بین اتاق‌های اداری، دفاتر تجاری و سایت‌های کامپیوتر	ساده	٤٥
	دیوار جداکننده بین اتاق‌های اداری، دفاتر تجاری و سایت‌های کامپیوتر	مرکب	٤٠
	دیوار جداکننده بین اتاق جلسات و راهرو	مرکب	٣٥
	دیوار جداکننده اتاق‌های اداری و دفاتر تجاری از راهرو	مرکب	٣٠
	سقف بین اتاق جلسات و فضاهای مجاور	ساده	٥٠
	سقف بین اتاق‌های اداری، دفاتر تجاری و سایت‌های کامپیوتر	ساده	٤٥

ادامه جدول پ- ۱- حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای دیوارها در ساختمان‌ها

نوع ساختمان	عملکرد دیوار	نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) به دسی‌بل
مراکز فرهنگی	پوسته خارجی استودیوها	ساده/ مرکب	۵۵
	پوسته خارجی سالن‌های سخنرانی، تأتر، کنسرت، اپرا و سینماها	ساده	۵۵
		مرکب	۵۰
	پوسته خارجی کتابخانه‌ها، موزه‌ها، گالری‌ها و اماکن مذهبی	ساده	٤۵
		مرکب	٤۰
	دیوار جداکننده استودیوها از فضاهای مجاور	ساده	۵۵
	دیوار جداکننده سالن‌های سخنرانی، تأتر، کنسرت و سینماها از فضاهای مجاور	ساده	۵۰
	دیوار جداکننده کتابخانه‌ها، موزه‌ها، گالری‌ها و اماکن مذهبی از فضاهای مجاور	ساده	۵۰
	جداکننده بین استودیوها و راهرو	مرکب	۵۵
	جداکننده بین سالن‌های سخنرانی، تأتر، کنسرت، سینماها و راهرو	مرکب	٤۰
	جداکننده بین کتابخانه‌ها، موزه‌ها، گالری‌ها، اماکن مذهبی و راهرو	مرکب	۳۵
	سقف جداکننده استودیوها از فضاهای مجاور	ساده	۵۵
	سقف جداکننده سالن‌های سخنرانی، تأتر، کنسرت و سینماها از فضاهای مجاور	ساده	۵۰
	سقف جداکننده کتابخانه‌ها، موزه‌ها، گالری‌ها و اماکن مذهبی از فضاهای مجاور	ساده	۵۰

ادامه جدول پ- ۱- حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای دیوارها در ساختمان‌ها

نوع ساختمان	عملکرد دیوار	نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) به دسی‌بل
مراکز ورزشی و تفریحی	پوسته خارجی سالن‌های ورزشی	ساده	۵۰
		مرکب	٤٥
	پوسته خارجی مراکز تفریحی سرپوشیده	ساده	۵۰
		مرکب	٤٥
	پوسته خارجی رستوران‌ها و کافه‌ها	ساده	٤٥
		مرکب	٤٠
	دیوار جداکننده سالن‌های ورزشی از فضاهای مجاور	ساده	۵۰
	دیوار جداکننده مراکز تفریحی سرپوشیده از فضاهای مجاور	ساده	۵۰
	دیوار جداکننده رستوران‌ها و کافه‌ها از فضاهای مجاور	ساده	٤٠
	جداکننده سالن‌های ورزشی از راهرو	مرکب	۳۵
	جداکننده مراکز تفریحی سرپوشیده از راهرو	مرکب	۳۵
	جداکننده رستوران‌ها و کافه‌ها از راهرو	مرکب	۳۰
	کلیه کف‌ها	ساده	۵۵
	کلیه سقف‌ها	ساده	۵۰
مراکز ترابری	پوسته خارجی سالن‌های انتظار فرودگاه مشرف به باند پرواز	مرکب	٦٠
	پوسته خارجی سالن‌های انتظار در فرودگاه، راه‌آهن، مترو و ترمینال	ساده	٤٥

ادامه جدول پ- ۱- حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای دیوارها در ساختمان‌ها

نوع ساختمان	عملکرد دیوار	نوع جداکننده	حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) به دسی‌بل
فضاهای مشترک در کاربردهای گوناگون	پوسته خارجی سرویس بهداشتی عمومی	ساده	٤٠
		مرکب	۳۵
	پوسته خارجی آشپزخانه عمومی- صنعتی و رختشوی‌خانه	ساده	٤٠
		مرکب	۳۵
	دیوار جداکننده فضاهای تأسیساتی، موتورخانه و آسانسور از سایر فضاهای مجاور	ساده	۵۵
	دیوار جداکننده سرویس بهداشتی عمومی از سایر فضاهای مجاور	ساده	۵۰
	جداکننده سرویس بهداشتی عمومی از راهرو	مرکب	۳۵
	سقف جداکننده فضاهای تأسیساتی، موتورخانه و آسانسور از سایر فضاهای مجاور	ساده	۵۵
	سقف جداکننده سرویس بهداشتی عمومی از سایر فضاهای مجاور	ساده	۵۰
	سقف جداکننده سرویس بهداشتی عمومی از راهرو	ساده	۳۵

مراجع

۱- دفتر مقررات ملی ساختمان."مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان ایران، عایق‌بندی و تنظیم صدا"، انتشارات توسعه ایران، تهران چاپ اول، ۱۳۹۰

۲- دفتر مقررات ملی ساختمان ."مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران، صرفه‌جویی در مصرف انرژی"، انتشارات توسعه ایران، تهران چاپ دوم، ۱۳۸۹

۳- هدایتی، محمدجعفر؛ لیاقتی، غلامعلی؛ "بررسی افت صوتی دیوارهای سبک"، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ۲۵۸، ۱۳۷٦

٤- نصیری، پروین."مبانی آکوستیک در ساختمان"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۷۳ .

۵- فورر، ویلی؛ لائوبرآنسلم. "آکوستیک در معماری"، ترجمه دکتر غلامعلی لیاقتی، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی تهران. چاپ سوم، ۱۳۷۱

6- SO 140-3: Acoustics – Measurement of Sound insulation in buildings and of building elements- Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements.
7- SO 717-1: Acoustics – Rating of Sound insulation in buildings and of building elements- Part 1: Airborne Sound insulation.
8- Bies, David A. “Engineering Noise Control, Theory and Practice”, E and FN Spon, 1988.
9- Möser, Michael “Engineering Acoustics, An Introduction to Noise Control”, springer, 2004
10- Hopkins, Carl; "Sound Insulation"; Butterworth-Heinemann,Slovenia, 2007.
11- Randall F. Barron; " Transmission loss for walls"; Marcel Dekker,2003
12- Egan, M. David. “Architectural Acoustics”, Mc Grow – Hill, USA, 1988.
13- Parkin, P.H; Humphreys, H. R. “Acoustics, Noise and Buildings”, FABER and FABER, London, 1979.
14- Smith, BJ; peters, RJ; Owen, S. “Acoustics and noise control”, Longman, USA, 1982.
15- Knudsen. Verno; Harris. Cyril M. “Acoustical Designing in Architecture”, Acoustical Society of America, USA, 1978.
16- Simons, M.W. & Waters, J.R”Sound Control in Buildings, A Guide to Part E of the Building Regulations”, Blackwell Publishing
17- Harris, David A. ”Noise Control Manual for Residential Buildings”, McGraw-Hill.

Abstract

In the most cases it is required to establish proper thermal and acoustical conditions in different parts of buildings simultaneously. Although the use of various kinds of thermal insulation in buildings creates proper thermal conditions, it may have no acoustical effectiveness. So investigation on these walls from this mentioned point of view is very important. In this research project titled "Investigation on acoustical behavior of traditional non loading double leaves partitions with thermal insulation given in part 19 of national building code of Iran and also some of new partition systems in buildings", sound transmission loss of different walls constructed of various types of blocks such as clay, concrete and gypsum blocks (with and without thermal insulation) and some new building systems, such as Insulating Concrete Forms (ICF), Lightweight Steel Framing (LSF) and Lightweight Tree Dimensional Sandwich Panels (3D) are measured and given in the form of tables and curves.

The information coming from this project can be used in applying the parts 18 (Insulation and control of noise) and 19 (Saving the energy) of national building code of Iran.

Road, Housing & Urban Development Research Center

Investigation on acoustical behavior of new and traditional partitions in buildings

By:

Mohammad Jafar Hedayati

Azadeh Raissian

Nadia Heramvand

Research Report

BHRC Publication No. 802

2018