بسم الله الرحمن الرحیم

جمهوری اسلامی ایران

راهنمای طراحی آکوستیکی
فضاهای آموزشی

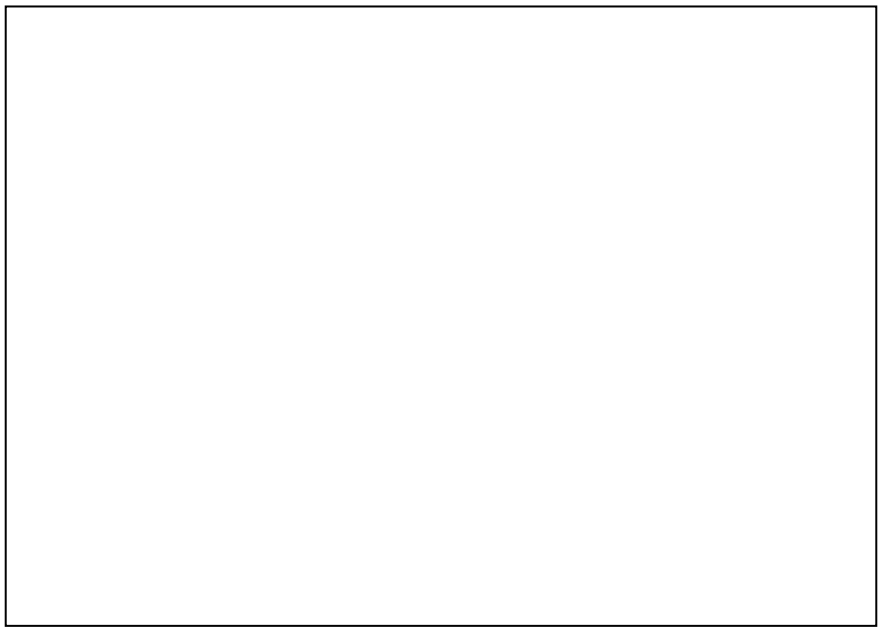
نشریه شماره ۳۴۳

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی، تدوین معیارها
و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
http://tec.mporg.ir

وزارت مسکن و شهرسازی
مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
http://www.bhrc.ac.ir

۱۳۸۵

فهرستبرگه



ریاست جمهوری

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

رئیس سازمان

بسمه تعالی

به دستگاه‌های اجرایی ، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره : ۱۰۰/۶۳۹۶۸
	تاریخ : ۱۳۸۵/۴/۱۹

موضوع : راهنمای طراحی آکوستیکی فضاهای آموزشی

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۳۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت۱۴۸۹۸هـ، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران به پیوست، نشریه شماره ۳۴۳ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «**راهنمای طراحی آکوستیکی فضاهای آموزشی**» از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها و یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، ارسال دارند.

فرهاد رهبر

معاون رییس جمهور و رییس سازمان

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، ***از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:***

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، خیابان شیخ بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

صندوق پستی ۴۵۴۸۱- ۱۹۹۱۷ **http://tec.mporg.ir**

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط و معیارها در مراحل تهیه (مطالعات امکان‌سنجی)، مطالعه، طراحی و اجرای طرحهای تملک دارایی سرمایه‌ای به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها و ارتقای کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) از اهمیت ویژه برخوردار است. از این‌رو نظام فنی و اجرایی طرحهای عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت۱۴۸۹۸ هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت وزیران) به‌کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح را مورد تأکید قرار داده است.

بنابر مفاد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و معیارهای مورد نیاز طرحهای عمرانی می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرحهای عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین این‌گونه مدارک علمی از مراکز تحقیقات دستگاه‌های اجرایی ذی‌ربط استفاده شود. در این راستا مقرر شده است مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن وزارت مسکن و شهرسازی در تدوین ضوابط و معیارهای فنی بخش ساختمان و مسکن، ضمن هماهنگی با دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، عهده‌دار این مهم باشد.

در سال ۱۳۸۳، به منظور هدایت، راهبری و برنامه‌ریزی امور مرتبط با تدوین ضوابط و معیارهای فنی بخش ساختمان و مسکن، کمیته راهبری متشکل از نمایندگان سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور عمران شهری و روستایی و دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله) و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تشکیل گردید. این کمیته با تشکیل جلسات منظم نسبت به هدایت و راهبری پروژه‌های جدید و جاری، در مراحل مختلف تعریف و تصویب پروژه‌ها، انجام، نظارت و آماده‌سازی نهایی و ابلاغ آنها، اقدامهای لازم را انجام داده است. یکی از پروژه‌های حاصل از این فرآیند نشریه حاضر می‌باشد.

یکی از مهم‌ترین اهداف در طراحی ساختمان‌های آموزشی تأمین آسایش صوتی در فضاهای بیرون و داخل ساختمان است. برای دستیابی به طراحی بهینه آکوستیکی برای این‌گونه ساختمان‌ها، همکاری مشاور آکوستیکی با طراحان و مهندسین ساختمانی امری ضروری است. این نشریه راهنمای قدم به قدم برای طراحی آکوستیکی در ساختمان‌های آموزشی است که از بررسی محوطه و کاربری زمین تا جزئیات اجزای ساختمانی و انتخاب مصالح را در بر می‌گیرد. علاوه بر آن مقادیر مورد نیاز طراحی شامل: تراز صدا، زمان واخنش، صدابندی هوابرد جدارها و صدابندی کوبه‌ای سقف، برای ساختمان‌های آموزشی ارائه شده است.

در پایان از تلاش و جدیت مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و کارشناسان مشروح زیر که در تهیه و تدوین این مجموعه همکاری داشته و زحمات فراوانی کشیده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نماید.

دکتر حمید باقری
دکتر طیبه پرهیزکار
مهندس بهناز پورسید
مهندس علی تبـار
مهندس شاهرخ رامزی
مهندس مریم شاهوردیان
مهندس میرمحمود ظفری
مهندس محمدرضا ماجدی
مهندس مینا مکانیک
دکتر خسرو مولانا
مهندس محمدجعفر هدایتی

امید است در آینده شاهد توفیق روزافزون این کارشناسان، در خدمت به جامعه فنی مهندسی کشور باشیم.

حبیب امین‌فر
معاون امور فنی
۱۳۸۵

فهرست تفصیلی مطالب

عنوان **صفحه**

۱ تعاریف ۱
۱-۱ نوفه زمینه ۱
۱-۲ امواج صوتی هوابرد ۱
۱-۳ تراگسیل ۱
۱-۴ دسی‌بل ۱
۱-۵ تراز صدا ۱
۱-۶ تراز صدای وزن یافته A ۲
۱-۷ تراز معادل صدای وزن‌یافته A ۲
۱-۸ انواع جداکننده‌ها ۲
۱-۹ شاخص‌های تعیین نوفه زمینه ۳
۱-۱۰ واخنش در یک فضا ۳
۱-۱۱ زمان واخنش یک فضا ۳
۱-۱۲ صدابندی هوابرد جداکننده و شاخص تک عددی آن ۴
۱-۱۳ صدابندی کوبه‌ای جداکننده و شاخص آن ۴
۲ روش پژوهش ۴
۳ شرایط بهینه آکوستیکی در فضاهای آموزشی ۵
۳-۱ منابع نوفه در فضاهای آموزشی ۵
۳-۲ حداکثر تراز نوفه قابل قبول در فضاهای آموزشی ۵
۳-۳ زمان واخنش بهینه در فضاهای آموزشی ۱۰
۳-۴ حداقل صدابندی جداکننده‌ها در فضاهای آموزشی ۱۳

۳-۵ حداکثر تراز صدای کوبه‌ای تراگسیل شده از سقف میان طبقات در ساختمان‌های آموزشی ... ۱۷
۴ راهنمای طراحی ۱۷
۴-۱ مراحل مختلف طراحی آکوستیکی ۱۹
۴-۲ استفاده از جداکننده با صدابندی مناسب ۲۸
۴-۳ استفاده از مواد و مصالح جاذب صوتی ۴۷
۵ نتیجه‌گیری ۵۰
۶ مراجع ۵۲
پیوست ۵۵
پیوست-۱ تعاریف ۵۷
پیوست-۲ تعیین صدابندی جداکننده مرکب ۶۱

۱ تعاریف

۱-۱ نوفه زمینه

نوفه زمینه به صداهای ناخواسته موجود در یک فضا گفته می‌شود که می‌تواند از منابع خارجی مانند: نوفه ترافیک یا منبع داخلی مانند: نوفه سیستم تهویه سرچشمه بگیرد.

۱-۲ امواج صوتی هوابرد

امواج صوتی هوابرد به امواج صوتی گفته می‌شود که محیط انتشار آن هوا است.

۱-۳ تراگسیل

تراگسیل به پدیده‌ای گفته می‌شود که فرایند انتقال انرژی در یک محیط یا از درون یک جداکننده را مشخص می‌کند.

۱-۴ دسی‌بل

دسی‌بل مقیاسی نسبی و لگاریتمی برای اندازه‌گیری تراز صدا می‌باشد.

۱-۵ تراز صدا

تراز صدا بر حسب دسی‌بل، براساس یکی از دو رابطه زیر مشخص می‌گردد که مقدار آن‌ها در عمل با یکدیگر برابرند.

$$L_I = 10Log\frac{I}{I_0} \quad dB \qquad (۱-۱) \qquad \text{یا} \qquad L_p = 20Log\frac{P}{P_0} \quad dB \qquad (۱-۵)$$

که در آن:

L_I: تراز شدت صدا، به مقیاس dB

L_P: تراز فشار صدا، به مقیاس dB

I_0: شدت صدای مبنا که مقدار آن برابر است با ۲×۱۰^{-۱۲} وات بر مترمربع

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

I: شدت صدای موردنظر، به وات بر مترمربع

P: فشار صدای موثر مورد نظر، به نیوتن بر مترمربع (پاسکال)

Log: لگاریتم به پایه ده نسبت موردنظر.

۱-۶ تراز صدای وزن یافته A

چنانچه تراز صدا به کمک سیستم وزن‌دهنده بسامدی A اندازه‌گیری شود تراز صدای وزن یافته بدست می‌آید که با واکنش شنوایی انسان تطبیق یافته است.

۱-۷ تراز معادل صدای وزن‌یافته A

شاخصی است برای اندازه‌گیری تراز صدای متغیر در یک مدت زمان معین T (L_{AeqT})، به دسی‌بل

۱-۸ انواع جداکننده‌ها

جداکننده‌ها به دوگروه جداکننده ساده و مرکب تقسیم می‌شوند:

۱-۸-۱ جداکننده ساده

جداکننده ساده به جداکننده‌ای گفته می‌شود که در مقطع، از یک یا چند لایه تشکیل شده است، لذا چگالی سطحی (وزن واحد سطح) آن در نقاط مختلف یکسان است. مانند: در، پنجره، دیوار آجری با اندود گچ و خاک یا دیوار دو جداره آجری.

۱-۸-۲ جداکننده مرکب

جداکننده مرکب به جداکننده‌ای گفته می‌شود که سطح آن از چند جداکننده ساده تشکیل شده باشد. مانند دیواری که در و پنجره دارد.

۱-۹ شاخص‌های تعیین نوفه زمینه

شاخص‌های استفاده شده در این مطالعه جهت تعیین نوفه زمینه شامل سه شاخص L_{PA}، L_{AeqT}، و نمودارهای PNC می‌باشد.

۱-۱۰ واخنش در یک فضا

صداهایی که در یک فضای بسته پخش می‌شوند، انعکاس‌های متوالی و متعددی خواهند داشت و شنونده پس از شنیدن صدای مستقیم، سلسله‌ای از این انعکاس‌ها را دریافت می‌کند. اگر فاصله زمانی موجود بین دو انعکاس مجاور، کمتر از ۵۰ میلی ثانیه (کمتر از مدت جمع‌بندی شنوایی) باشد، گوش انسان صدای مستقیم و تمام انعکاس‌های آنرا به صورتی پیوسته خواهد شنید. این مجموعه انعکاس‌ها، "واخنش" نامیده می‌شود.

۱-۱۱ زمان واخنش یک فضا

زمان واخنش در یک فضای بسته، مدت زمانی است که پس از قطع منبع صدا، تراز فشار صدا در فضا، ۶۰ دسی بل افت کند.

۱-۱۲ صدابندی هوابرد جداکننده و شاخص تک‌عددی آن

هرگاه به ارتعاش درآمدن جداکننده‌ها در ساختمان ناشی از صدای هوابرد (صدایی که محیط انتشار آن هوا است) باشد، آنرا تراگسیل صدای هوابرد می‌نامند. مانند، انتقال صدای بلندگو از حیاط مدرسه به داخل کلاس درس.

صدابندی جداکننده به صورت نموداری بر حسب بسامد داده می‌شود که به آن افت صوتی (TL) یا شاخص کاهش صدا (R) گفته می‌شود و برای سهولت بیشتر در آئین‌نامه‌ها، با شاخص‌های تک عددی ارائه می‌گردد. این شاخص تک عددی، R_W (شاخص کاهش صدای وزن یافته) یا STC (درجه تراگسیل)، به دسی بل می‌باشد. مقدار عددی R_w و STC تقریباً برابرند.

۱-۱۳ صدابندی کوبه‌ای جداکننده و شاخص آن

چنانچه به ارتعاش درآمدن جداکننده‌ها در ساختمان ناشی از ضربه باشد آن را تراگسیل صدای‌کوبه‌ای گویند. مانند، راه رفتن دانش‌آموزان در کلاس و انتقال صدای کوبه‌ای آن به فضاهای زیرین. صدابندی کوبه‌ای جداکننده به صورت نموداری برحسب بسامد داده می‌شود که به آن تراز صدای کوبه‌ای معمول شده (L_n) گفته می‌شود و برای سهولت بیشتر در آئین‌نامه‌ها، با شاخص‌های تک عددی ارائه می‌گردد که این شاخص تک عددی IIC (درجه صدابندی صدای کوبه‌ای) یا L_{nw} (تراز فشار صدای کوبه‌ای معمول شده، وزن یافته)، به دسی بل می‌باشد. L_{nw} بطور تقریبی برابر با "IIC –۱۱۰" است.

۲ روش پژوهش

به منظور اجرای این پژوهش، نتایج تحقیقات انجام شده در ایران و همچنین ضوابط و مقررات سایر کشورها و کتب و مدارکی که به این زمینه مربوط می‌شود، مورد بررسی قرار گرفته و بر این اساس حداکثر تراز نوفه زمینه، حداقل صدابندی جداکننده‌ها و زمان واخنش بهینه جهت ارائه راهنمای طراحی برای فضاهای موجود در ساختمان‌های آموزشی کشور پیشنهاد شده است.

۳ شرایط بهینه آکوستیکی در فضاهای آموزشی

به‌منظور تأمین آسایش صوتی در فضاهای مختلف داخلی ساختمان‌های آموزشی، با در نظر گرفتن وضعیت اقتصادی، حداکثر تراز نوفه قابل قبول و زمان واخنش مناسب تعیین می‌شود.

۳-۱ منابع نوفه در فضاهای آموزشی

از منابع مهم نوفه خارجی در فضاهای آموزشی، نوفه ترافیک، همهمه افراد و نوفه ناشی از محوطه بازی و ورزش شاگردان می‌باشد. محوطه بازی، در زمان زنگ تفریح و تعطیلی کلاس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی از همین محوطه در زنگ ورزش موقعی استفاده می‌شود که کلاس‌های درس و تدریس برقرار است. منابع مهم نوفه داخلی فضاهای آموزشی عبارتند از: نوفه معلم از کلاس‌های مجاور، همهمه رفت و آمد در راهروها و راه‌پله‌ها و سایر فضاهای ارتباطی، نوفه آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌ها، جابجایی صندلی‌ها، نیمکت‌ها و میزها برای فضاهای زیرین کلاس‌ها.

۳-۲ حداکثر تراز نوفه قابل قبول در فضاهای آموزشی

حداکثر تراز نوفه قابل قبول در یک فضا که به آن "برسنج نوفه" می‌گویند به عوامل مختلف از جمله، کاربرد فضا، جنبه‌های آکوستیک روانی، پشتوانه فرهنگی و اکتسابی شنونده و محدودیت‌های مالی موجود بستگی دارد. چنین برسنجی بین اقوام یا فرهنگ‌ها و شرایط اقتصادی مختلف، متفاوت است. حتی در بین فرهنگ‌های غربی، که وجوه مشترکی با یکدیگر دارند، در مورد برسنج نوفه‌ای که باید در فضاهای مختلف ملاک عمل قرار گیرد اختلاف نظر وجود دارد و هر یک از آنها سعی کرده‌اند مسئله را با شرایط خاص محیط خود منطبق سازند. از این رو لازم است برای فضاهای مختلف ساختمان‌های آموزشی در ایران نیز "برسنج نوفه" مناسبی تعیین گردد. تنها پژوهش انجام شده در مورد وضعیت آکوستیکی مدارس، در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن صورت گرفته [مرجع شماره ۶] که در این بررسی در تعدادی از مدارس شهر تهران آزمایش‌های آکوستیکی و آکوستیک روانی انجام شده است. برسنج‌های

نوفه بدست‌آمده از این پژوهش در مقایسه با ارقام داده شده در کشورهای پیشرفته بسیار بالا بوده و قابل استناد نمی‌باشد. دلایل این امر در مرجع فوق‌الذکر به تفصیل توضیح داده شده است.

۳-۲-۱ حداکثر تراز نوفه قابل قبول در فضاهای آموزشی در سایر کشورها

با توجه به موارد فوق‌الذکر، برای آنکه ضوابطی قابل قبول برای کشور تعیین شود آئین‌نامه‌های کشورهای مختلف از جمله سوئد، استرالیا، آفریقای جنوبی، هندوستان، بنگلادش، ایران و کتاب‌های آکوستیکی در این زمینه بررسی گردیده و مقادیر"برسنج نوفه" گردآوری شده از این بررسی در جدول‌های ۳-۱ و ۳-۲ ارائه شده است.

جدول ۳-۱ حداکثر تراز نوفه زمینه قابل قبول در فضاهای مختلف ساختمان‌های آموزشی در آئین‌نامه کشورهای مختلف

نوع فضا	تراز نوفه زمینه، به dB_A						تراز نوفه زمینه براساس مقررات ملی ساختمانی ایران مبحث ۱۸		
	استرالیا		آفریقای جنوبی		سوئد	هندوستان	حداکثر dB_A	L_{Aeq} (۳۰)	نمودار PNC
	بهینه	حداکثر	بهینه	حداکثر					
کلاس انفرادی	۳۵	۴۰	۳۰	۳۵	–	–	–	–	–
کلاس درس نظری	۴۰	۴۵	۳۵	۴۰	۳۰	۴۵–۴۰	۴۰	۳۵	PNC-35
کلاس گفتار درمانی	۳۰	۳۵	–	–	–	–	–	–	–
*سالن سخنرانی و تئاتر تا۲۵۰ نفر	۳۰	۳۵	۳۰	۳۵*	–	۴۵–۳۵	۴۰	۳۵	PNC-35
*سالن سخنرانی و تئاتر بیش از ۲۵۰ نفر	۲۵	۳۰	۲۵	۳۰*	–	–	–	–	–
کتابخانه	۴۰	۴۵	۴۰	۴۵	۳۵	۴۰–۳۵	۴۰	۳۵	PNC-35
آزمایشگاه (تدریس)	۳۵	۴۰	۳۵	۴۰	–	–	۴۵	۴۰	PNC-40
آزمایشگاه (آزمایش)	۴۰	۵۰	۴۰	۵۰	–	–	–	–	–
راهرو	۴۵	۵۰	۴۵	۵۰	۴۰	–	–	–	–
فضای سمعی و بصری	۴۰	۴۵	۳۵	۴۰	–	–	–	–	–
سالن ورزش	۴۵	۵۵	۴۵	۵۵	۴۰	–	–	–	–
اتاق کمکهای اولیه	۴۰	۴۵	–	–	–	–	–	–	–
دفتر مسئولین	۳۵	۴۰	۳۵	۴۰	۳۵	۴۰–۳۵	–	–	–
دفتر دبیران	۴۰	۴۵	۴۵	۵۰	۳۵	۵۰–۴۵	–	–	–
اتاق کامپیوتر(تدریس)	۴۰	۵۰	–	–	–	–	–	–	–
اتاق کامپیوتر(تمرین)	۴۵	۵۵	–	–	–	–	–	–	–
اتاق تمرین موسیقی	۴۰	۴۵	۳۴	۴۵	–	۳۰–۲۵	–	–	–
کارگاه کارهای دستی و خانه‌داری	۴۰	۴۵	۴۰	۴۵	۴۰	–	–	–	–
کارگاه مهندسی	۴۵	۵۵	۴۵	۵۵	۴۰	–	۵۰	۴۵	–
سالن غذاخوری	۴۰	۴۵	–	–	۴۰	۵۵–۵۰	–	–	–
کافه تریا	۴۵	۵۵	۴۵	۵۵	–	–	–	–	–

*در صورت استفاده از بلندگو (سیستم تقویت گفتار) در سالن، حداکثر تراز نوفه را میتوان تا dB_A ٤٠ در نظر گرفت.

جدول ۳-۲ حداکثر تراز نوفه زمینه قابل قبول درفضاهای مختلف ساختمان‌های آموزشی توصیه شده از منابع مختلف

نوع فضا	تراز نوفه زمینه							
	نمودار NC منبع ۳۰	نمودار NR منبع ۲۶	نمودار NC منبع ۱۸	نمودار NC منبع ۱۷	نمودار PNC منبع ۱۰	نمودار NC منبع ۲۱	dB_A منبع ۲۱	dB_A منبع ۳
کلاس درس	۳۰–۳۵	۲۵–۳۵	۳۰–۳۵	۳۰–۳۵	۳۰–۴۰	۳۰–۴۰	۳۵–۴۵	۳۵–۴۰
کتابخانه	۳۰–۳۵	۲۵–۳۵	۳۰–۳۵	۳۰–۳۵	۳۰–۴۰	۳۵–۴۰	۴۰–۴۵	۴۰–۴۵
آزمایشگاه	۴۰–۴۵	–	۴۰–۴۵	۴۰–۴۵	۴۰–۵۰	–	–	–
دفتر	۳۰–۳۵	۳۰–۴۰	–	۳۰–۳۵	< ۳۵	۳۵–۴۰	۴۰–۴۵	–
سالن سخنرانی و تاتر	۲۵–۳۰	۲۰–۲۵	۲۰–۳۰	۲۰–۳۰	< ۳۵	۲۰–۲۵	۳۰–۳۵	۳۰–۳۵
اتاق تمرین موسیقی	۲۵–۳۰	–	۲۰–۳۰	۲۰–۳۰	< ۳۵	۲۰–۲۵	۳۰–۳۵	–
اتاق سمعی و بصری	–	–	۲۰–۳۰	۲۰–۳۰	–	–	–	–
اتاق کامپیوتر	–	< ۵۰	۴۵–۵۵	۴۵–۵۵	۴۵–۵۰	–	–	–
کارگاه	۴۰–۴۵	–	۴۰–۴۵	۴۰–۴۵	۴۵–۵۵	–	–	–
سالن ورزش	–	–	۳۵–۴۰	۳۵–۴۰	–	–	–	–
سالن غذاخوری	۳۵–۵۰	۲۵–۳۰	۳۵–۴۰	۳۵–۴۰	۳۵–۴۵	۴۰–۵۰	۴۵–۵۵	۵۰–۵۵

منابع در بخش ٦ صفحه ۵۸ مشخص شده‌اند.

۳-۲-۲ حداکثر تراز نوفه قابل قبول پیشنهادی برای فضاهای مختلف ساختمان‌های آموزشی در ایران

مقادیر حداکثر "تراز نوفه زمینه قابل قبول" پیشنهادی برای فضاهای موجود در ساختمان‌های آموزشی کشور، با در نظر گرفتن مقادیر جدول‌های ۳-۱ و ۳-۲ و با استفاده از تجارب صاحبنظران در این زمینه، تهیه و در جدول ۳-۳ ارائه شده است.

جدول ۳-۳ تراز نوفه زمینه قابل قبول پیشنهادی برای فضاهای مختلف ساختمان‌های آموزشی در ایران

نوع فضا	تراز فشار صدای وزن‌یافته A (L_{PA})، به dB		تراز معادل وزن‌یافته A در ۳۰ دقیقه ($L_{Aeq(۳۰)}$)، به dB		نمودار برسنج نوفه	
	حداکثر	توصیه شده	حداکثر	توصیه شده	حداکثر	توصیه شده
* کلاس درس نظری	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	PNC - 35*	PNC - 30
* سالن سخنرانی تا ۲۵۰ نفر	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	PNC - 35*	PNC - 30
دفاتر اداری	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	PNC - 35	PNC - 30
فضای سمعی و بصری	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	PNC - 35	PNC - 30
* کتابخانه	۴۰	۳۵	۳۵	۳۰	PNC - 40*	PNC - 35
* اتاق تمرین موسیقی	۴۵	۴۰	۴۰	۳۵	PNC - 35*	PNC - 30
کارگاه کارهای دستی و خانه‌داری	۴۵	۴۰	۴۰	۳۵	PNC - 40	PNC - 35
آزمایشگاه	۴۵	۴۰	۴۵	۴۰	PNC - 45	PNC - 40
اتاق کامپیوتر	۴۵	۴۰	۵۰	۴۰	PNC - 50	PNC - 40
دفتر دبیران	۴۵	۴۰	۴۰	۳۵	PNC - 40	PNC - 35
اتاق بهداشت	۴۵	۴۰	۴۰	۳۵	PNC - 40	PNC - 35
نمازخانه	۴۵	۴۰	۴۵	۴۰	PNC - 45	PNC - 40
راهرو	۵۰	۴۵	۴۵	۴۰	PNC - 45	PNC - 40
غذاخوری و بوفه	۵۰	۴۵	۴۵	۴۰	PNC - 45	PNC - 40
کارگاه تخصصی	۵۵	۴۵	۵۰	۴۰	PNC - 45	PNC - 40
سالن ورزشی	۵۵	۴۵	۵۰	۴۰	PNC - 45	PNC - 40

* تذکر: در فضاهای ستاره‌دار رعایت نمودار برسنج PNC اجباری است.

۳-۳ زمان واخنش بهینه در فضاهای آموزشی

شرایط آکوستیکی مناسب در یک فضا به تراز نوفه زمینه و زمان واخنش آن فضا بستگی دارد. نوفه و واخنش فضای مورد نظر باید حد و حدودی خاص داشته باشد تا عملکرد آکوستیکی مطلوب حاصل شود. مهارکردن نوفه و تأمین واخنش مناسب، برای آن است که وضوح کافی گفتار فراهم گردد.

۳-۳-۱ زمان واخنش بهینه در فضاهای آموزشی سایر کشورها

برای تعیین زمان واخنش بهینه در فضاهای ساختمان‌های آموزشی، تعدادی از کتب آکوستیکی و آیین‌نامه‌های کشورهای سوئد، استرالیا، آفریقای جنوبی، هندوستان، بنگلادش و مقررات ملی ساختمانی ایران مبحث ۱۸ بررسی شد. جهت سهولت مقایسه، ارقام موجود در آئین‌نامه‌ها در جدول ۳-۴ ارائه گردیده است.

جدول ۳-۴ مقادیر زمان واخنش بهینه در فضاهای مختلف ساختمان‌های آموزشی در آئین‌نامه کشورهای مختلف

نوع فضا	زمان واخنش بهینه، به ثانیه، در بسامدهای قیدشده				
	استرالیا ۵۰۰ یا ۱۰۰۰ هرتز	سوئد در ۵۰۰ هرتز	هندوستان در ۵۰۰ هرتز		مقررات ملی ساختمانی ایران مبحث ۱۸ میانگین در بسامدهای ۵۰۰ – ۱۰۰۰ – ۲۰۰۰ هرتز
			اشغال نشده	اشغال شده	
کلاس درس جمعی	۰/۶ تا ۰/۵	۰/۸	۱/۲۵	۰/۷۵	۱
سالن سخنرانی تا۲۵۰ نفر	۰/۹ تا ۰/۸	–	–	–	–
سالن سخنرانی تا ۵۰۰ نفر	۰/۸ تا ۰/۶	–	–	–	–
کتابخانه	–	۰/۸	–	–	–
اتاق تمرین موسیقی	۰/۹ تا ۰/۷	–	–	–	–
آزمایشگاه	۰/۸ تا ۰/۶	–	–	–	۱/۲
اتاق کامپیوتر(تمرین)	۰/۶ تا ۰/۴	–	–	–	–
فضای سمعی و بصری	۰/۸ تا ۰/۶	–	–	–	–
کارگاه کارهای دستی و خانه‌داری	–	۰/۵	–	–	–
کارگاه تخصصی	–	–	–	–	۱/۵
*سالن ورزش	*نمودار ۱ شکل ۴/۴	۱/۵	۱/۵		
دفتر دبیران	۰/۴	۰/۸	۱	۱ – ۰/۵	–
دفاتر اداری	۰/۸ تا ۰/۶	–	۱	۱ – ۰/۵	–
اتاق بهداشت	۰/۸ تا ۰/۶	–	–	–	–
راهرو	–	۰/۸	–	–	۱/۵
غذاخوری و بوفه	–	۰/۸	۱/۲۵	–	–

۳-۳-۲ زمان واخنش بهینه پیشنهادی برای فضاهای آموزشی در ایران

مقادیر زمان واخنش بهینه پیشنهادی برای فضاهای آموزشی در ایران با درنظر گرفتن مقادیر جدول ۳-۴ و با استفاده از تجارب صاحبنظران در این زمینه، تهیه و در جدول ۳-۵ ارائه گردیده است. ارقام این جدول با رواداشت ۰/۱۵± ثانیه در نظر گرفته شده است.

جدول ۳-۵ مقادیر زمان واخنش بهینه پیشنهادی برای فضاهای مختلف ساختمان‌های آموزشی در ایران

نوع فضا	زمان واخنش، به ثانیه میانگین در بسامدهای ۵۰۰ ، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ Hz	ملاحظات
کلاس درس نظری	۱	رابطه محاسبه زمان واخنش بهینه سالن سخنرانی با توجه به حجم (V) سالن : $T_{500} = 0.3Log_{10}V \pm \Delta T$ ** ΔT = ۰/۱۵± ثانیه
*سالن سخنرانی تا ۲۵۰ نفر	طبق رابطه	
کتابخانه	۱	
اتاق تمرین موسیقی	۱/۲	
آزمایشگاه	۱/۲	
اتاق کامپیوتر	۰/۹	
فضای سمعی و بصری	۱/۲	
کارگاه تخصصی	۱/۲	
سالن ورزش	۱/۵	
دفتر دبیران	۱	
دفاتر اداری	۱/۲	
اتاق بهداشت	۱/۲	
راهرو	۱/۵	
غذاخوری و بوفه	۱/۲	

* رقم ارائه شده به تنهایی جوابگوی مبانی طراحی سالن‌های سخنرانی نمی‌باشد و در این جهت لازم است به ضوابط و مقررات خاص سالنهای سخنرانی مراجعه شود.

** ارقام ارائه شده زمان واخنش در فضاهای خالی از حضار می‌باشد.

۳-۴ حداقل صدابندی جداکننده‌ها در فضاهای آموزشی

مشکل اصلی در اغلب ساختمان‌ها جلوگیری از انتقال نوفه به فضاهایی است که به آرامش نیاز دارند. نوفه زمینه بالا در محل ساختمان و فقدان صدابندی مناسب جداکننده‌ها در ساختمان، عامل اصلی مزاحمت ناشی از نوفه خارجی می‌باشد. دلیل این امر ساختار ضعیف دیوارها، پنجره‌ها و درها، کف و سقف است.

نقش جداکننده‌ها در ساختمان به دو عامل بستگی دارد:

- کاربری فضایی که محافظت آن مورد نظر است.
- میزان مورد نیاز کاهش نوفه (اعم از خارجی یا داخلی). این مقدار به صدابندی جداکننده‌ها بستگی دارد.

۳-۴-۱ حداقل صدابندی هوابرد جداکننده‌ها در فضاهای آموزشی در ایران

برای تعیین میزان صدابندی جداکننده‌ها در ساختمان‌های آموزشی، آئین‌نامه‌ها و منابع مختلف در این زمینه بررسی و مقادیر صدابندی گردآوری شده در این بررسی در جدول ۳-۶ ارائه گردید. با بررسی این اطلاعات، حداقل میزان صدابندی پیشنهادی برای جداکننده‌های فضاهای آموزشی در ایران، تهیه و در جدول ۳-۷ ارائه گردیده است.

جدول ۳-۶ میزان صدابندی هوابرد جداکننده‌های میان فضاهای مختلف در ساختمان‌های آموزشی برگرفته از منابع گوناگون

جداکننده میان دو فضای مجاور	میزان صدابندی هوابرد، به dB						
	STC منبع ۱۷	STC منبع ۳۰	STC منبع ۳۲	STC منبع ۱۸	TL منبع ۱۵	TL منبع ۲۱	Ia منبع ۳
کلاس درس از کلاس درس	۴۰	۴۰–۴۲	۴۰	۳۵	۳۵–۴۵	۴۰	۴۵–۵۵
کلاس درس از کتابخانه، اتاق کامپیوتر	۴۰	–	–	۳۵	۳۵–۴۵	–	–
کلاس درس از آزمایشگاه	۴۰	–	–	۳۵	–	–	–
کلاس درس از دفتر دبیران، دفتر اداری	–	–	–	–	۳۵–۴۵	–	–
کلاس درس از اتاق آموزش موسیقی	–	۵۰–۵۵	–	–	۴۵–۵۵	–	–
کلاس درس از راهرو	–	۳۸–۴۰	–	–	۲۵–۳۵	–	۳۵–۴۵
سالن سخنرانی از راهرو	–	–	–	–	۳۵–۴۵	–	–
سالن سخنرانی از کلاس درس	–	–	–	–	۴۵–۵۵	–	–
کتابخانه – اتاق سمعی بصری	–	–	–	۵۰	–	–	–
کتابخانه از آزمایشگاه	۴۰	–	–	–	–	–	–
کتابخانه – دفتر	–	–	–	–	۳۵–۴۵	–	–
کتابخانه – آموزش موسیقی	–	–	–	۵۰	۴۵–۵۵	–	–
تمرین موسیقی – آزمایشگاه	–	–	–	۱۵	–	–	–
تمرین موسیقی – دفتر	–	–	–	–	۴۵–۵۵	–	–
آزمایشگاه – آزمایشگاه	۳۵	–	–	–	–	–	–
آزمایشگاه – سمعی بصری	–	–	–	۵۰	–	–	–
آزمایشگاه – دفتر	–	–	–	–	۳۵–۵۰	–	–

۳-۴-۲ حداقل صدابندی پیشنهادی برای جداکننده‌های فضاهای آموزشی در ایران

حداقل میزان صدابندی جداکننده‌های فضاهای آموزشی، با درنظر گرفتن مقادیر جدول ۳-۶ و با استفاده از تجارب صاحبنظران در این زمینه، تهیه و در جدول ۳-۷ ارائه شده است.

جدول ۳-۷ حداقل میزان صدابندی پیشنهادی برای جداکننده‌های فضاهای آموزشی در ایران

فضاهای مختلف	حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w)، به dB
کلاس درس نظری	
جداکننده ساده کلاس درس نظری از:	
کلاس درس نظری مجاور، کتابخانه، اتاق کامپیوتر. فضای بیرون ساختمان	۵۰
جداکننده ساده کلاس درس نظری از:	
آزمایشگاه، اتاق بهداشت، دفتر دبیران و دفاتر اداری	۴۵
جداکننده مرکب کلاس درس نظری از فضای بیرونی ساختمانی	۴۰
جداکننده مرکب کلاس درس نظری از راهرو	۳۵
در ورودی	۲۰
پنجره دوجداره	۳۵
سالن سخنرانی	
جداکننده ساده سالن سخنرانی از فضاهای مجاور بیرونی	۵۵
جداکننده ساده سالن سخنرانی از فضاهای مجاور داخلی	۵۰
جداکننده مرکب سالن سخنرانی از فضاهای مجاور داخلی	۴۵
در ورودی	۳۰
آزمایشگاه، اتاق کامپیوتر و کارگاه کارهای دستی و خانه‌داری	
جداکننده ساده فضاهای فوق از فضاهای مجاور بیرونی	۴۵
جداکننده مرکب فضاهای فوق از فضاهای بیرونی	۴۰
جداکننده مرکب فضاهای فوق از راهرو	۳۰
در ورودی	۲۰
پنجره دوجداره	۳۵

ادامه جدول ۳-۷ حداقل میزان صدابندی پیشنهادی برای جداکننده‌های فضاهای آموزشی در ایران

فضاهای مختلف	حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته (R_w)، به dB
کتابخانه، سالن مطالعه و اتاق بهداشت	
جداکننده ساده فضاهای فوق از فضاهای مجاور بیرونی	۵۰
جداکننده مرکب فضاهای فوق از فضاهای بیرونی	۴۰
جداکننده مرکب فضاهای فوق از راهرو	۳۵
در ورودی	۲۵
پنجره دوجداره	۳۵
دفتر دبیران و دفاتر اداری	
جداکننده ساده فضاهای فوق از فضاهای مجاور داخلی	۴۵
جداکننده مرکب فضاهای فوق از فضاهای مجاور بیرونی	۳۵
جداکننده مرکب فضاهای فوق از راهرو	۳۰
در ورودی	۲۰
پنجره	۳۵
سالن ورزش	
جداکننده ساده سالن ورزش از فضاهای مجاور داخلی	۵۰
جداکننده مرکب سالن ورزش از راهرو	۳۵
جداکننده مرکب سالن ورزش از فضاهای مجاور بیرونی	۳۰
در ورودی	۲۵
پنجره دوجداره	۳۵
کارگاه تخصصی: مانند، نجاری، مکانیکی، تراشکاری و غیره	
جداکننده ساده فضاهای فوق از فضاهای مجاور داخلی	۵۰
جداکننده مرکب فضاهای فوق از راهرو	۴۰
جداکننده مرکب فضاهای فوق از فضاهای مجاور بیرونی	۳۵
در ورودی	۲۵
پنجره دوجداره	۳۵

۳-۵ حداکثر تراز صدای کوبه‌ای تراگسیل شده از سقف میان طبقات در ساختمان‌های آموزشی

حداکثر تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته (L_{nw}) در سقف ما بین کلاس‌های درس و سایر فضاهای آموزشی ۵۰ دسی‌بل پیشنهاد می‌گردد. این مقدار باتوجه به تعریف بند ۱-۱۳ قابل محاسبه به شاخص IIC می‌باشد که در این مورد مقدار آن ۶۰ دسی‌بل خواهد شد.

۴ راهنمای طراحی

به طور کلی محیط آکوستیکی مناسب برای هر نوع فعالیتی در ساختمان را می‌توان قبلاً تعیین کرده و پیش‌بینی‌های لازم را در طراحی اعمال کرد. اغلب مشکلات آکوستیکی برای استفاده‌کنندگان ساختمان به روشنی قابل تشخیص نیست، به‌عنوان مثال برهمگان روشن است که یک سالن سخنرانی و یا یک سالن موسیقی به طراحی آکوستیکی نیاز دارد ولی عده معدودی از لزوم طراحی آکوستیکی در هر نوع ساختمانی از جمله ساختمان‌های آموزشی آگاهی دارند. در نتیجه، تعداد زیادی از ساختمان‌ها مشکلات آکوستیکی دارند. این مشکلات را می‌توان در مرحله طراحی با راه‌حل‌های مناسب برطرف کرد. تمامی عناصر طراحی و ساختاری ساختمان در وضعیت آکوستیکی ساختمان مؤثرند و می‌بایستی این عوامل به وضوح شناخته شده و ترکیب مناسب آن‌ها در طراحی اعمال گردد. مسئله مهم، شناخت نوع و چگونگی تأثیر عناصر مختلف ساختمانی می‌باشد.

معمولاً کنترل آکوستیکی یک فضا به کنترل صحیح سه عامل منبع صدا، مسیر انتقال صدا، و دریافت‌کننده صدا بستگی دارد.

از آنجا که کنترل آکوستیکی معمولاً با پایین‌آوردن تراز نوفه ارتباط مستقیم دارد، در نتیجه باید سعی کرد در مرحله اول تراز نوفه را در محل منبع کاهش داد. از آنجا که در بعضی موارد امکان پایین آوردن تراز نوفه در محل منبع به طور کامل میسر نمی‌باشد در مرحله بعد در مسیر انتقال (تراگسیل) صدا باید با

استفاده از تمهیدات آکوستیکی این امکان را فراهم آورد. در آخرین مرحله با اصلاح وضعیت آکوستیکی در محل دریافت نوفه می‌توان محیط مناسبی را برای دریافت‌کننده فراهم ساخت.

معمولاً کاهش تراز نوفه در محل منبع و در مسیر تراگسیل صدا سهل‌تر و کم هزینه‌تر از اصلاح وضعیت آکوستیکی در محل دریافت نوفه می‌باشد. بنابراین برای ارائه راه‌حل مناسب باید به این مهم توجه خاص مبذول گردد. در بعضی موارد راه‌حل‌های ترکیبی می‌تواند کمک مؤثری در جهت حل مسئله باشد. به‌عنوان مثال چنانچه کارکرد سیستم تهویه باعث ایجاد نوفه در یک فضا گردد به ترتیبی که در بالا گفته شد، در مرحله اول سعی می‌شود که با انتخاب یک سیستم آرام‌تر، نصب مناسب و ساخت پوشش آکوستیکی در محل قرارگیری دستگاه تهویه، نوفه کاهش یابد. در مرحله بعد با استفاده از جداکننده‌های فنری و لایه‌های جاذب صدا در مسیر کانال‌ها، تراز نوفه کاهش می‌یابد. در مرحله آخر چنانچه هنوز تراز نوفه به حد مناسب تقلیل نیافته باشد، می‌توان با استفاده از مصالح مناسب در داخل فضا به این مهم دست یافت.

هدف بنیادی طراحی آکوستیکی در ساختمان فراهم‌کردن محیط رضایت بخش برای فضاهایی با کاربری مورد نظر می‌باشد. مسائل آکوستیکی نه تنها به انتخاب مصالح پوششی فضاها، بلکه به آرایش بنیادی فضاها، مانند نحوه قرار گرفتن فضاهای آرام با فاصله مناسب از فضاهای پر نوفه بستگی دارد. برنامه‌ریزی مناسب کاربری فضاها شامل جداسازی فضاهای حساس به نوفه، از فضاهایی که نوفه تولید می‌کنند، می‌تواند بسیاری از مشکلات آکوستیکی را برطرف کند.

این بخش شامل اطلاعاتی در مورد طراحی آکوستیکی ساختمان‌های آموزشی است تا طراحان ساختمانی با استفاده از آنها، طراحی را به گونه‌ای انجام دهند که پس از ساخت به اصلاحات اساسی آکوستیکی نیازی نباشد. مسائل آکوستیکی در ساختمان‌ها باید در اولین مراحل طراحی در نظر گرفته شود. در هر صورت مشاوره با متخصصین آکوستیک ساختمانی توصیه می‌شود.

۴-۱ مراحل مختلف طراحی آکوستیکی

در طراحی ساختمان‌های آموزشی جدید و یا اصلاح ساختمان‌های موجود باید منابع نوفه مشخص شده و تأثیر آن‌ها بر فضاهای مختلف بررسی گردد. برای ارائه راه‌حل‌های مناسب و اقتصادی در جهت تأمین آسایش صوتی در فضاهای آموزشی، می‌توان به ترتیب زیر عمل کرد:

الف- محل انتخاب شده یا موجود، جهت ساخت ساختمان آموزشی با توجه به منابع نوفه مجاور آن بررسی و تراز نوفه در تمام نقاط آن مشخص گردد.

ب- شرایط آکوستیکی فضاهای مختلف، مشخص شده و فضاها در این رابطه دسته‌بندی گردند.

ج- با توجه به دو مطلب بالا، محل صحیح قرارگیری هر دسته از فضاها در محل انتخاب شده برای ساختمان، مشخص گردد.

د- با توجه به قرارگیری مناسب دسته‌های فضاها طرح اولیه ساختمان تهیه گردد.

ه- چنانچه بنا به نیاز طرح یا محدودیت‌های موجود، فضاهایی با شرایط آکوستیکی مختلف در مجاورت یا بر روی یکدیگر قرار گیرند، استفاده از جداکننده‌هایی با صدابندی مناسب توصیه می‌گردد.

و- بدیهی است که استفاده از مواد و مصالح مناسب برای کاهش نوفه و تأمین واخنش بهینه در فضاهای مختلف ضروری می‌باشد.

ز- در انتخاب سیستم‌های سازه‌ای و تأسیساتی باید تطابق این سیستم‌ها با مسائل آکوستیکی بررسی و مناسب‌ترین سیستم پیشنهاد گردد.

یکایک این مراحل در بندهای بعدی توضیح داده شده و تأثیر هر کدام در نحوه طراحی یک مجموعه آموزشی بر روی یک سایت فرضی نشان داده می‌شود.

۴-۱-۱ بررسی و انتخاب محل

حفاظت در برابر نوفه می‌تواند به‌عنوان بخشی از حفاظت زیست محیطی باشد. ساختمان‌های آموزشی به‌لحاظ نیازهای آکوستیکی خاص باید در سایتی با حداکثر تراز نوفه‌ای برابر با $L_{Aeq(T)}$ = ۵۵dB [مرجع شماره ۴] ساخته شود. این گونه سایت‌ها معمولاً در مناطق مسکونی و اداری

متمرکز می‌گردند. چنانچه این امر میسر نباشد و یا منطقه مسکونی و اداری انتخاب شده دارای شرایط متفاوتی باشد، برای نیل به طراحی صحیح آکوستیکی، نوفه محیط بیرون باید ارزیابی شود. در صورتی که در این ارزیابی، نوفه محیط در نقاطی بیش از ۵۵ دسی‌بل باشد با ایجاد فاصله مناسب و یا سدهای صوتی، تراز نوفه را می‌توان تا حد لازم کاهش داد. منابع نوفه خارجی که باید مورد بررسی قرار گیرد به شرح زیر می باشد:

- نوفه ترافیک
- نوفه ناشی از محوطه‌های ساخته شده (مناطق تجاری و اداری، مناطق صنعتی).

مقادیر تراز نوفه برخی منابع متداول نوفه در جدول ۴-۱ ارائه شده است.

جدول ۴-۱ نمونه‌ای از صداهای متداول محیط (مرجع شماره ۳۰)

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

ایجاد فاصله مناسب از منبع صوتی بستگی به نوع منبع دارد. منابع نوفه بنا به شکل و قرارگیری آن‌ها به سه دسته نقطه‌ای، خطی و سطحی (به‌عنوان مثال به ترتیب، ژنراتور برق، بزرگراه، مجتمع صنعتی)

تقسیم می‌شوند که با ایجاد فاصله از منبع، تراز نوفه کاهش می‌یابد. حداکثر کاهش تراز نوفه با ایجاد فاصله برابر ۶ دسی‌بل خواهد بود (برای منبع نقطه‌ای). از آنجا که این مقدار کاهش نوفه در بیشتر موارد نیازهای صوتی را تأمین نمی‌کند ایجاد سد صوتی لازم خواهد بود.

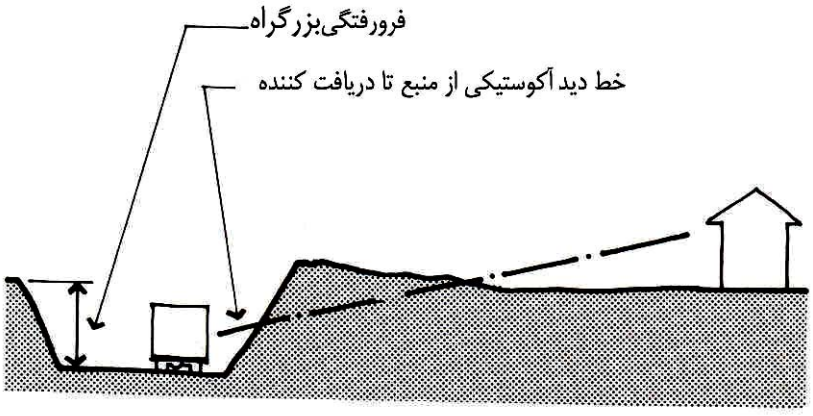
به منظور کاهش نوفه محیطی به ویژه نوفه ترافیک می‌توان از موانع صوتی استفاده کرد. موانع صوتی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- موانع صوتی طبیعی
- موانع صوتی مصنوعی یا ساخته شده

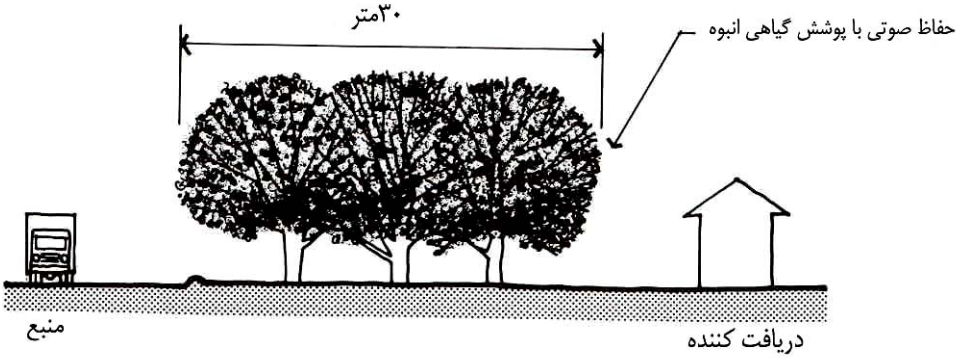
موانع صوتی طبیعی شامل تپه‌ها، خاکریزهای طبیعی، جنگل‌ها و غیره می باشد.

موانع صوتی مصنوعی شامل درختکاری، خاکریزهای مصنوعی و پارک‌ها می‌باشد.

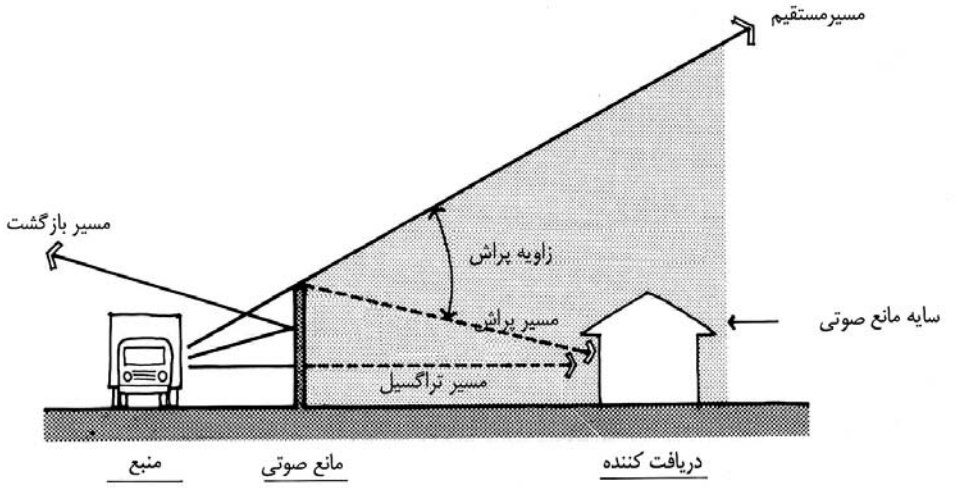
شکل‌های شماره ۴-۱، ۴-۲ و ۴-۳ عملکرد انواع موانع صوتی را نمایش می‌دهد.



شکل ۴-۱ نمایش کاهش نوفه ترافیک توسط خاکریز طبیعی [مرجع شماره ۱۷، صفحه ۲۵۵]



شکل ۴-۲ نمایش کاهش نوفه ترافیک توسط پوشش گیاهی [مرجع شماره ۱۷، صفحه ۲۵۴]



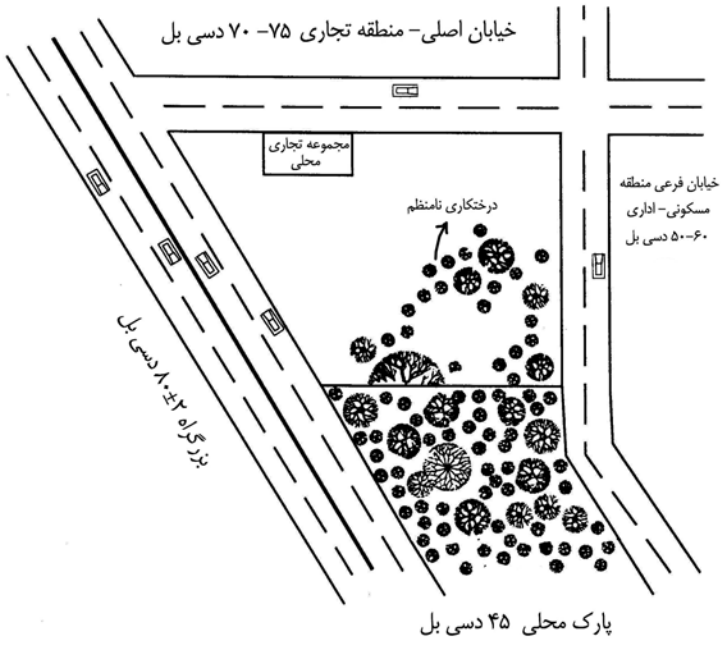
شکل ۴-۳ نمایش کاهش نوفه توسط مانع صوتی [مرجع شماره ۱۷، صفحه ۲۶۳]

با ایجاد درختکاری با درختان متراکم و بوته‌ها با حداقل ۳۰متر عمق، تراز نوفه ترافیک حدود ۷ تا۱۱ dB_A کاهش می‌یابد.

در اینجا برای روشن‌شدن مطالب بالا یک سایت فرضی جهت احداث مجموعه آموزشی در نظر گرفته می‌شود. سایت فرضی (شکل ۴-۴) به شکل ذوزنقه می‌باشد که در جنوب آن یک بزرگراه قرار دارد. نوفه اندازه‌گیری شده در حاشیه بزرگراه dB_A ۲± ۸۰ می‌باشد.

در غرب سایت، خیابان اصلی- منطقه تجاری قرار دارد و نوفه اندازه‌گیری شده در حاشیه خیابان برابر dB_A ۷۵-۷۰ است، در شمال سایت، خیابان فرعی منطقه مسکونی- اداری با تراز نوفه اندازه‌گیری شده برابر dB_A ۶۰-۵۰ و شرق سایت، یک پارک محلی با نوفه اندازه‌گیری شده برابر dB_A ۴۵ واقع است.

در داخل سایت از مرکز به سمت شرق درخت‌کاری نامنظم دیده می‌شود. در قسمتی از حاشیه غربی آن یک مجموعه تجاری محلی قرار گرفته است.



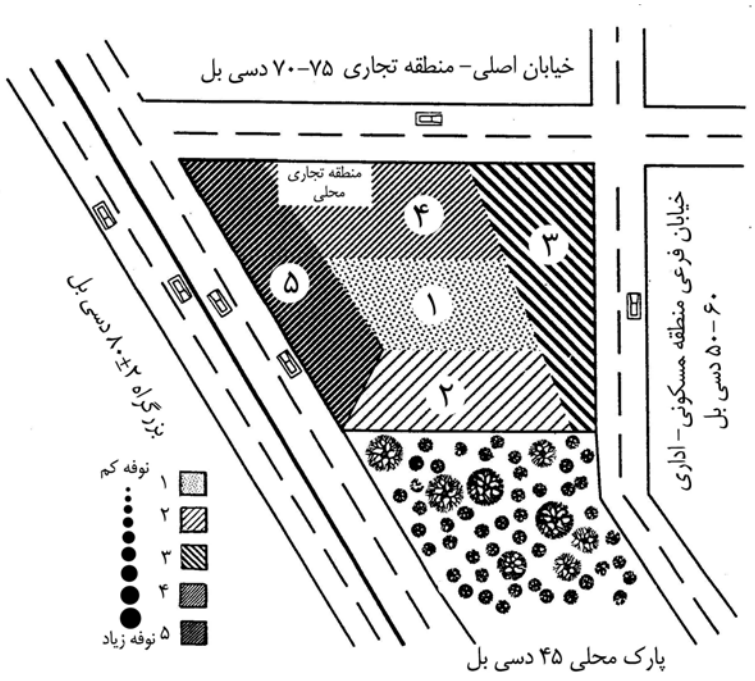
شکل ۴-۴ سایت فرضی جهت ساخت مجموعه آموزشی [مرجع شماره ۱۴، صفحه ۱۴۴]

۴-۱-۲ دسته‌بندی آکوستیکی فضاهای مختلف یک مجموعه آموزشی

به طورکلی در هر ساختمان فضاهای مختلف با کاربری‌های مختلف، نیازهای آکوستیکی متفاوتی دارند. به‌منظور تأمین این نیازها، در مرحله اول محدوده محل ساختمان از لحاظ آکوستیکی منطقه‌بندی می‌شود و فضاهای مختلف ساختمان با توجه به نیازهای آکوستیکی در این مناطق جانمایی می‌گردند.

در سایت فرضی موردنظر، با توجه به نوفه موجود در محیط اطراف، پنج منطقه آکوستیکی پیش‌بینی شده است.

این مناطق در شکل ۴-۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۵ منطقه‌بندی از نظر آکوستیکی در سایت فرضی [مرجع شماره ۱۴، صفحه ۱۴۵]

فضاهای داخلی ساختمان را نیز می‌توان برمبنای تراز نوفه زمینه قابل قبول در رابطه با عملکرد فضا

به چند دسته تقسیم کرد. هرکدام از این دسته فضاها را از لحاظ شباهت آکوستیکی که دارند می‌توان در یک بخش ساختمان متمرکز کرد که این مسئله را دسته‌بندی آکوستیکی فضاهای مختلف می‌گویند.

بدین منظور براساس جدول تراز نوفه زمینه قابل قبول پیشنهادی برای فضاهای آموزشی در ایران، جدول شماره ۳-۳، فضاهای مختلف یک مجموعه آموزشی در جدول ۴-۲ دسته‌بندی شده است.

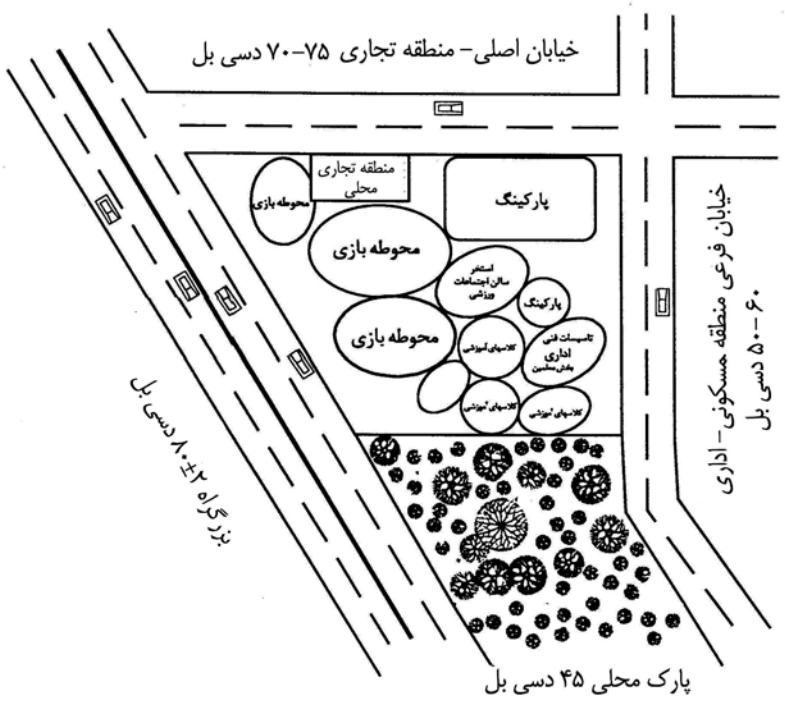
جدول ۴-۲ دسته‌بندی آکوستیکی فضاهای آموزشی

نوع فضا	تراز نوفه زمینه dB_A	درجه‌بندی آکوستیکی
کلاس درس نظری	۳۵-۴۰	۱
کتابخانه		
فضای سمعی و بصری		
دفاتر اداری		
سالن سخنرانی تا ۲۵۰ نفر		
آزمایشگاه	۴۰-۴۵	۲
اتاق کامپیوتر		
دفتر دبیران		
اتاق بهداشت		
اتاق تمرین موسیقی	۴۵-۵۰	۳
کارگاه کارهای دستی و خانه‌داری		
نمازخانه		
غذاخوری و بوفه		
راهرو		
کارگاه تخصصی	۵۰-۵۵	۴
سالن ورزشی		
سالن تاسیسات	۶۰	۵

۴-۱-۳ آرایش آکوستیکی فضاها بر روی سایت فرضی

با توجه به جدول دسته‌بندی، فضاهای مختلف موقعیت هر دسته فضا بر روی سایت مشخص می‌گردد. در دسته‌بندی فضاها به منظور سهولت پیداکردن موقعیت مناسب بر روی سایت، از منطقه‌بندی آکوستیکی شکل ۴-۵ استفاده شده است.

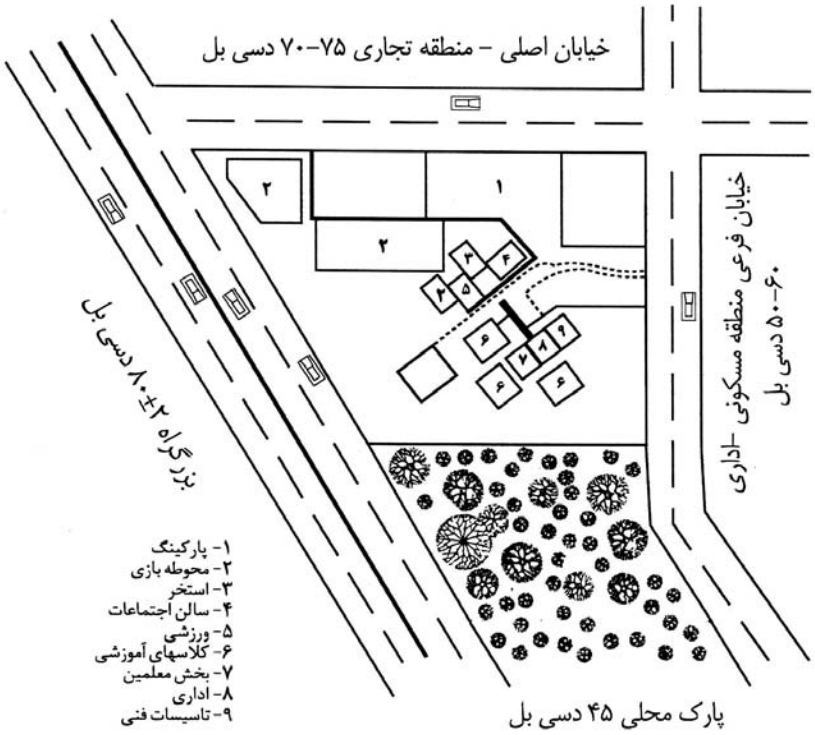
در مورد پیداکردن موقعیت فضا ممکن است موارد استثنا نیز وجود داشته باشد، مثلاً سالن اجتماعات که از نظر سازه‌ای از سایر فضاها جداشده و ضمناً پنجره‌ای به بیرون ندارد باید کاملاً صدابندی گردد.



شکل ۴-۶ جانمایی محوطه و استقرار فضاها در یک ساختمان آموزشی [مرجع شماره ۱۴، صفحه ۱۴۵]

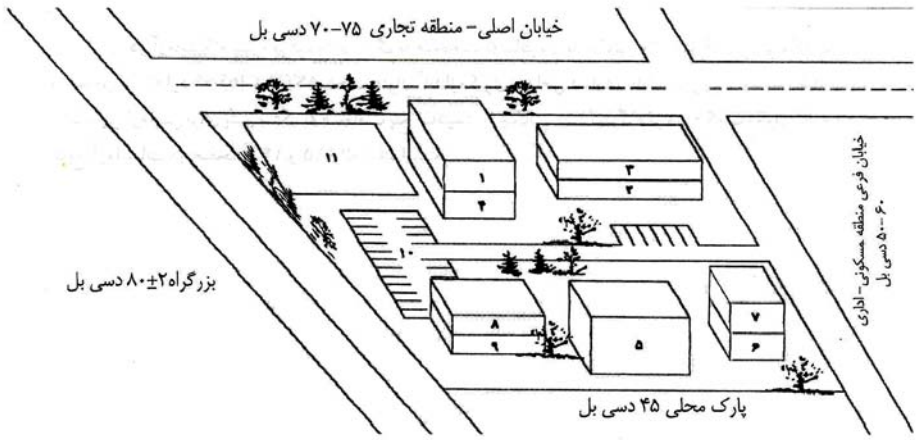
۴-۱-۴ تهیه طرح اولیه ساختمان

با توجه به قرارگیری فضاهای مختلف بر روی سایت فرضی در رابطه با مسایل آکوستیکی می‌توان طرح اولیه ساختمان را تهیه نمود. درنظر گرفتن نکاتی همانند قرار گرفتن فضاهایی با شرایط آکوستیکی متفاوت در مجاورت و یا بر روی یکدیگر، می‌تواند تأثیر بسزایی در شکل‌گیری مجموعه داشته باشد. (شکل‌های ۴-۷ و ۴-۸)



شکل ۴-۷ جانمایی محوطه و استقرار فضاها دریک ساختمان آموزشی

– تمامی فضاها در یک طبقه هم‌سطح [مرجع شماره ۱۴، صفحه ۱۴۵]



۱- ورزشی
۲-کنفرانس
۳- سالن اجتماعات
۴- کارگاه‌های صنعتی
۵- آموزشی
۶- اداری
۷- سمینار
۸- پارکینگ
۹- تاسیسات
۱۰- پارکینگ روباز
۱۱ - زمین ورزشی

شکل ۴-۸ جانمایی محوطه و استقرار فضاها دریک ساختمان آموزشی

فضاها در طبقات مختلف [مرجع شماره ۱۴، صفحه ۱۴۵]

۴-۲ استفاده از جداکننده با صدابندی مناسب

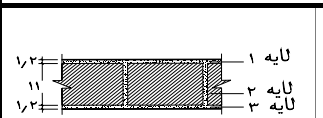
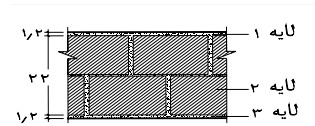
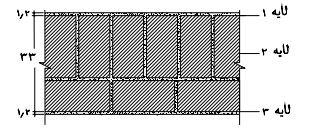
کنترل نوفه در فضاهای مختلف ساختمان از عوامل مهم طراحی از نظر تأمین محیط آکوستیکی مطلوب می‌باشد. چنانچه بنا به نیاز طرح یا محدودیت‌های موجود، فضاهایی با شرایط آکوستیکی مختلف در مجاورت یکدیگر قرار گیرند، استفاده از جداکننده‌هایی با صدابندی مناسب توصیه می‌گردد.

همچنین محدودیت‌های زمین در بسیاری از موارد باعث افزایش تعداد طبقات و در نتیجه قرارگیری فضاهایی با شرایط آکوستیکی مختلف بر روی یکدیگر می‌گردد که دراین مورد نیز مسایل مربوط به صدابندی مناسب از اهم مطالب است.

مقدار صدابندی در ساختمان از نقطه نظر شناخت منابع صدای ورودی و تراز صدای قابل قبول برای فضای موردنظر، باید مورد توجه قرار گیرد. آگاهی بنیادی از مسائل صدابندی و اطلاعاتی از ویژگی‌های فیزیکی موانع صوتی و همچنین چگونگی استفاده بهینه از آنها در عایق‌سازی یک فضا در مقابل صداهای هوابرد و کوبه‌ای ضروری است.

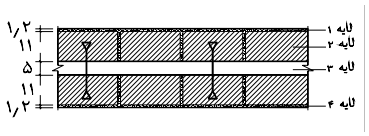
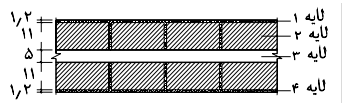
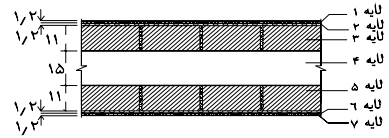
برای جلوگیری از نفوذ نوفه و تأمین آسایش صوتی فضای مورد نظر در ساختمان باید از جداکننده‌هایی استفاده شود که میزان صدابندی کافی داشته باشد. برای انتخاب صحیح جداکننده‌ها ضروری است طراح علاوه بر ضوابط آکوستیکی، مقادیر صدابندی جداکننده‌ها مانند دیوار، در و پنجره در برابر صدای هوابرد و صدابندی سقف در برابر صدای کوبه‌ای را نیز در اختیار داشته باشد. بدین منظور جزئیات اجرایی و میزان صدابندی تعدادی از جداکننده‌ها در جداول ۴-۳ تا ۴-۶ ارائه شده است.

جدول شماره ۴-۳ مقادیر صدابندی تعدادی از جداکننده‌ها (دیوار) [مرجع شماره ۳۰ صفحه ۱۷۲۰]

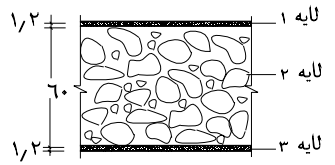
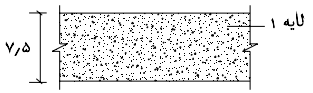
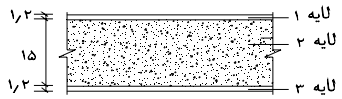
شماره	نوع جداکننده	جزئیات اجرائی	ضخامت به سانتیمتر	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	افت صوتی به دسی‌بل، در بسامدهای مرکزی بندهای یک هنگامی، به هرتز						*درجه تراگسیل صدا به دسی‌بل (STC)
					۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	
۱	دیوار آجری معمولی لایه ۱- اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه ۲- دیوار آجری به ضخامت ۱۱ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۱۴	۲۶۸	۳۴	۳۴	۴۱	۵۰	۶۶	–	۴۲
۲	دیوار آجری معمولی لایه ۱- اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه ۲- دیوار آجری به ضخامت ۲۲ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۲۵	۴۸۸	۴۱	۴۳	۴۹	۵۵	۵۷	–	۵۲
۳	دیوار آجری معمولی لایه ۱- اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه ۲- دیوار آجری به ضخامت ۳۳ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۳۲/۵	۵۹۰	۴۵	۴۵	۵۳	۵۸	۶۰	۶۱	۵۶

* STC در بند ۲-۳-۱ "شاخص‌های صدابندی جداکننده" تعریف شده است.

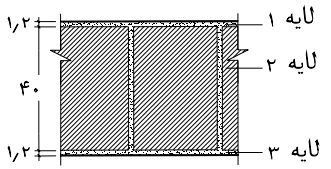
ادامه جدول ۴-۳ مقادیر صدابندی تعدادی از جداکننده‌ها (دیوار) [مرجع شماره ۳۰ صفحه ۱۷۲۰]

شماره	نوع جداکننده	جزئیات اجرائی	ضخامت به سانتیمتر	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	افت صوتی به دسی بل ، در بسامدهای مرکزی بندهای یک هنگامی ، به هرتز						درجه تراگسیل صدا به دسی‌بل (STC)
					۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	
۴	دیوارهای دوجداره آجری معمولی لایه ۱– اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه ۲– دیوار آجری به ضخامت ۱۱ سانتیمتر لایه ۳– لایه هوا به عرض ۵ سانتیمتر باضافه مهار سیمی لایه ۴– دیوار آجری به ضخامت ۱۱ سانتیمتر لایه ۵– اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۳۰	۴۸۸	۳۷	۴۱	۴۸	۶۰	۶۰/۵	–	۴۹
۵	دیوارهای دوجداره آجری معمولی مانند دیوار دوجداره ردیف ۴ ، بدون مهار سیمی		۳۰	۴۸۸	۴۰	۴۴	۵۵	۶۷	۷۰	–	۵۴
۶	دیوارهای دوجداره آجری معمولی لایه ۱– اندودگچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه ۲– صفحه نئوپان به ضخامت ۲/۵ سانتیمتر لایه ۳– دیوار آجری به ضخامت ۱۱ سانتیمتر لایه ۴– لایه هوا بعرض ۱۵ سانتیمتر لایه ۵– دیوار آجری به ضخامت ۱۱ سانتیمتر لایه ۶– صفحه نئوپان به ضخامت ۲/۵ سانتیمتر لایه ۷– اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۴۵	۵۸۶	۴۸	۵۴	۵۸	۶۴	۶۹	–	۶۲

ادامه جدول شماره ۴-۳ مقادیر صدابندی تعدادی از جداکننده‌ها (دیوار) [مرجع شماره ۳۰ صفحه ۱۷۲۰]

شماره	نوع جداکننده	جزئیات اجرائی	ضخامت (سانتیمتر)	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	افت صوتی به دسی بل ، در بسامدهای مرکزی بندهای یک هنگامی ، به هرتز						درجه تراگسیل صدا به دسی‌بل (STC)
					۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	
۷	دیوار سنگی لایه ۱- اندود به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه ۲- دیوار سنگی به ضخامت ۶۰ سانتیمتر لایه ۳- اندود به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۶۲/۵	۱۳۶۷	۵۰	۵۳	۵۲	۵۸	۶۱	–	۵۶
۸	دیوار بتنی لایه ۱ – دیوار بتنی توپر به ضخامت ۷/۵ سانتیمتر سوراخهای سطحی با لایه نازک ملات مخلوط، اندود شده است.		۷/۵	۱۹۰	۳۵	۴۰	۴۴	۵۲	۵۸	۶۴	۴۷
۹	دیوار بتنی لایه ۱- اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه ۲- دیوار بتنی تو پر به ضخامت ۱۵ سانتیمتر لایه ۳- اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۱۷/۵	۳۹۱	۳۹	۴۲	۵۰	۵۸	۶۴	–	۵۳

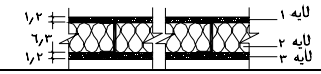
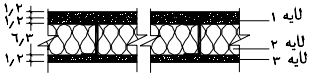
ادامه جدول ۴-۳ مقادیر صدابندی تعدادی از جداکننده‌ها (دیوار) [مرجع شماره ۳۰ صفحه ۱۷۲۰]

شماره	نوع جداکننده	جزئیات اجرائی	ضخامت به سانتیمتر	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	افت صوتی به دسی بل، در بسامدهای مرکزی بندهای یک هنگامی، به هرتز						درجه تراگسیل صدا به دسی‌بل (STC)
					۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	
۱۰	دیوار بلوک بتنی تو پر لایه ۱– اندود سیمان و گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه ۲– بلوکها به ابعاد ۴۰×۲۰×۱۰ سانتیمتر ۴۰×۲۰×۴۰ سانتیمتر ۴۰×۲۰×۲۰ سانتیمتر لایه ۳– ۱/۲ سانتیمتر اندود سیمان و گچ		۴۲/۵	۸۹۸	۵۰	۵۴	۵۹	۶۵	۷۱	۶۸	۶۳

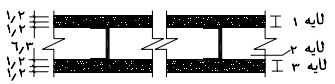
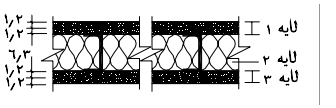
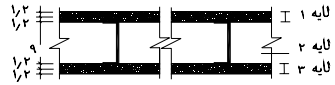
ادامه جدول ۴-۳ مقادیر صدابندی تعدادی از جداکننده‌ها (دیوار) [مرجع شماره ۳۰ صفحه ۱۷۲۰]

شماره	نوع جداکننده	ضخامت (سانتیمتر)	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	افت صوتی به دسی بل، در بسامدهای مرکزی بندهای یک هنگامی، به هرتز						درجه تراگسیل صدا به دسی‌بل (STC)
				۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	
۱۱	دیوار با بلوک تو پر از بتن سبک به ابعاد ۱۰×۱۹×۴۹، با یک سانتیمتر اندود در هر طرف	۱۲	۱۴۴	۳۴	۳۶	۴۰	۴۸	۵۳	۵۸	۴۵
۱۲	دیوار با بلوک تو پر از بتن سبک به ابعاد ۱۵×۲۵×۶۰، با یک سانتیمتر اندود در هر طرف	۱۷	۱۵۰	۳۱	۳۹	۳۹	۴۵	۴۹	۵۳	۴۵
۱۳	دیوار با بلوک تو خالی از بتن سبک به ابعاد ۱۹×۱۹×۴۹ ، با یک سانتیمتر اندود در هر طرف	۲۱	۱۸۶	۳۴	۳۷	۳۹	۴۷	۵۱	۵۷	۴۶
۱۴	دیوار با بلوک تو پر از بتن سبک به ابعاد ۲۵×۲۵×۶۰ ، با یک سانتیمتر اندود در هر طرف	۲۷	۲۳۰	۳۸	۴۲	۴۷	۵۲	۵۳	۵۸	۵۱

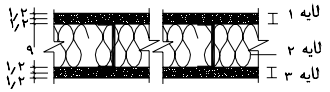
ادامه جدول ۴-۳ مقادیر صدابندی تعدادی از جداکننده‌ها (دیوار) [مرجع شماره ۲۰ صفحه ۳۵۹]

شماره	نوع جداکننده	جزئیات اجرائی	ضخامت (سانتیمتر)	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	افت صوتی به دسی بل ، در بسامدهای مرکزی بندهای یک هنگامی ، به هرتز						درجه تراگسیل صدا به دسی‌بل (STC)
					۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	
۱۵	دیوار با ساخت و ساز خشک (dry wall) لایه۱ – صفحه گچی به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه۲ – پروفیل عمودی به عرض ۶/۳ سانتیمتر هر ۶۰ سانتیمتر لایه۳ – صفحه گچی به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۸/۷	–	۱۸	۲۵	۴۲	۴۷	۵۱	۴۱	۳۷
۱۶	دیوار با ساخت و ساز خشک (dry wall) لایه۱ – صفحه گچی به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه۲ – پروفیل عمودی به عرض ۶/۳ سانتیمتر هر ۶۰ سانتیمتر باضافه پشم شیشه به ضخامت ۶/۳ سانتیمتر لایه۳ –صفحه گچی به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۸/۷	–	۲۱	۳۵	۴۸	۵۵	۵۶	۴۳	۴۵
۱۷	دیوار با ساخت و ساز خشک (dry wall) لایه۱ – دولایه صفحه گچی هر کدام به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه۲ – پروفیل عمودی به عرض ۶/۳ سانتیمتر هر ۶۰ سانتیمتر باضافه پشم شیشه به ضخامت ۶/۳ سانتیمتر لایه۳ –صفحه گچی به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۱۰	–	۳۰	۴۲	۵۱	۵۹	۶۲	۵۱	۵۰

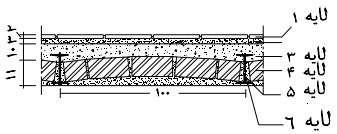
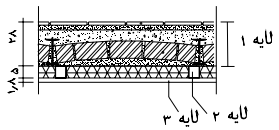
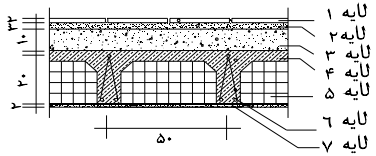
ادامه جدول ۴-۳ مقادیر صدابندی تعدادی از جداکننده‌ها (دیوار) [مرجع شماره ۲۰ صفحه ۳۵۹]

شماره	نوع جداکننده	جزئیات اجرائی	ضخامت به سانتیمتر	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	افت صوتی به دسی بل، در بسامدهای مرکزی بندهای یک هنگامی، به هرتز						درجه تراگسیل صدا به دسی‌بل (STC)
					۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	
۱۸	دیوار با ساخت و ساز خشک (dry wall) لایه۱ – دولایه صفحه گچی هر کدام به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه۲ – پروفیل عمودی به عرض ۶/۳ سانتیمتر هر ۶۰ سانتیمتر لایه۳ – دولایه صفحه گچی هر کدام به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۱۱/۳								۴۶
۱۹	دیوار با ساخت و ساز خشک (dry wall) لایه۱ – دولایه صفحه گچی هر کدام به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه۲ – پروفیل عمودی به عرض ۶/۳ سانتیمتر هر ۶۰ سانتیمتر باضافه پشم شیشه به ضخامت ۶/۳ سانتیمتر لایه۳ – دولایه صفحه گچی هر کدام به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر										۵۸
۲۰	دیوار با ساخت و ساز خشک (dry wall) لایه۱ – دولایه صفحه گچی هر کدام به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه۲ – پروفیل عمودی به عرض ۹ سانتیمتر هر ۶۰ سانتیمتر لایه۳ – دولایه صفحه گچی هر کدام به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۱۴		۳۰	۴۰	۴۹	۵۵	۵۸	۵۲	۵۰

ادامه جدول ۴-۳ مقادیر صدابندی تعدادی از جداکننده‌ها (دیوار)[مرجع شماره ۲۰ صفحه ۳۵۹]

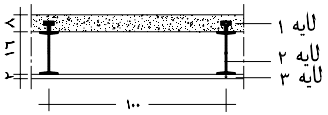
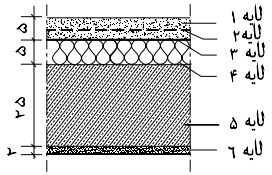
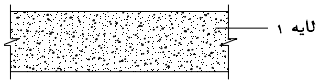
شماره	نوع جدا کننده	جزئیات اجرائی	ضخامت به سانتیمتر	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	افت صوتی به دسی بل ، در بسامدهای مرکزی بندهای یک هنگامی ، به هرتز						درجه تراگسیل صدا به دسی‌بل (STC)
					۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	
۲۱	دیوار با ساخت و ساز خشک (dry wall) لایه۱ – دولایه صفحه گچی هر کدام به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه۲ – پروفیل عمودی به عرض ۹ سانتیمتر هر ۶۰ سانتیمتر باضافه پشم شیشه به ضخامت ۹ سانتیمتر لایه۳ – دولایه صفحه گچی هر کدام به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۱۴		۳۸	۴۷	۵۵	۵۸	۵۳	۵۷	۵۶

جدول ۴-۴ مقادیر صدابندی صدای کوبه‌ای تعدادی از سقف‌های بین طبقات[مرجع شماره ۸ صفحات ۳۳و ۵۸]

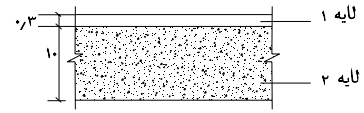
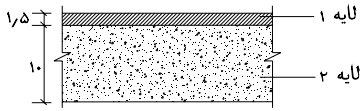
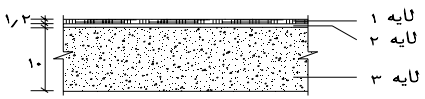
شماره	نوع سقف	جزئیات اجرائی	ضخامت به سانتیمتر	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	*درجه تراگسیل صدای کوبه‌ای به دسی بل (IIC)	*تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته به دسی‌بل (L_{nw})
۱	سقف طاق ضربی لایه ۱- موزائیک به ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- ملات ماسه و سیمان به ضخامت ۳ سانتیمتر لایه ۳- پوکه معدنی به ضخامت۱۰ سانتیمتر لایه ۴- آجرکاری با ملات گچ و خاک به ضخامت ۱۱ سانتیمتر لایه ۵- تیرآهن ۱۴ با فاصله ۱۰۰ سانتیمتر لایه ۶- اندود گچ پرداختی ۱/۲ سانتیمتر		۲۸		۴۲	۶۸
۲	سقف طاق ضربی با سقف کاذب سقف طاق ضربی مانند سقف شماره ۱ لایه ۱- سقف طاق ضربی یه ضخامت ۲۸ سانتیمتر لایه ۲- پشم سنگ به ضخامت ۵ سانتیمتر و چگالی $30 kg/m^3$ - چوبهای چهارتراش برای اتصال نئوپان به سقف لایه ۳- نئوپان به ضخامت ۱/۸ سانتیمتر		۳۵		۵۰	۶۰
۳	سقف تیرچه بلوک سفالی لایه ۱- موزائیک به ضخامت ۲ سانتیمتر لایه ۲- ملات ماسه سیمان به ضخامت ۳ سانتیمتر لایه ۳- پوکه معدنی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر لایه ۴- بتون ۵ سانتیمتر لایه ۵- تیرچه‌ها به ضخامت ۲۰ سانتیمتر و به فاصله ۵۰ سانتیمتر لایه ۶- بلوکهای سفالی لایه ۷- گچ کاری به ضخامت ۲ سانتیمتر		۲۷		۳۳	۷۷

ادامه جدول ۲-۳-۱ « شاخص‌های صداایندی صداکننده» تعریف شده‌اند *L_{nw} و IIC

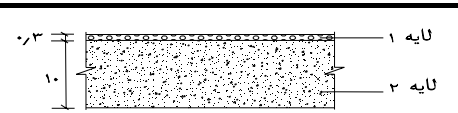
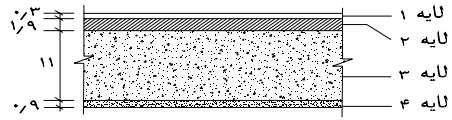
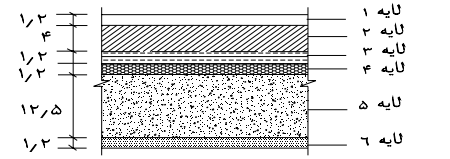
جدول ۲-۳-۱ مقادیر صداایندی صدای کوبه‌ای تعدادی از سقف‌های بین طبقات [مرجع شماره ۸ صفحات ۳۳و ۵۸]

شماره	نوع سقف	جزئیات اجرائی	ضخامت به سانتیمتر	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	درجه تراگسیل صدای کوبه‌ای به دسی بل (IIC)	تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته به دسی‌بل (L_{nw})
۴	سقف مرکب شامل تیرچه‌های فولادی و بتن (بدون کفپوش) لایه ۱- بتون به ضخامت ۸ سانتیمتر لایه ۲- تیرچه‌های فولادی ۱۶ و فاصله تیرها ۱۰۰ سانتیمتر لایه ۳- سقف کاذب گچی با رابیتس‌بندی یه ضخامت ۲ سانتیمتر		۳۰		۳۴	۷۶
۵	کف شناور (بدون کفپوش) لایه ۱- بتون به ضخامت ۵ سانتیمتر لایه ۲- شبکه میلگرد ۶ میلیمتری لایه ۳- لایه مشمع لایه ۴- پشم سنگ به ضخامت ۵ سانتیمتر و چگالی $۱۲۰ kg^{m3}$ لایه ۵- سقف تیرچه بلوک به ضخامت ۲۵ سانتیمتر لایه ۶- گچ کاری به ضخامت ۲ سانتیمتر		۳۷		۶۴	۴۶
۶	دال بتنی مسلح (بدون کفپوش) رویه با ملات رقیق ماسه و سیمان تراز شده است.		۱۰	۲۵۹	۲۵	۸۵

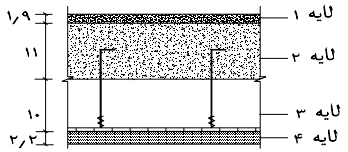
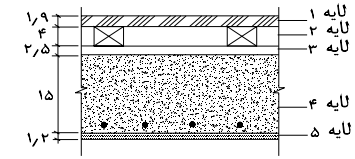
ادامه جدول ۴-۴ مقادیر صدابندی تعدادی از سقف‌های بین طبقات[مرجع شماره ۳۰ صفحه ۱۷۳۲]

شماره	نوع سقف	جزئیات اجرائی	ضخامت به سانتیمتر	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	درجه تراگسیل صدای کوبه‌ای به دسی بل (IIC)	تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته به دسی‌بل (L_{nw})
۷	دال بتنی مسلح با پوشش روی کف لایه ۱- کف پوش از وینیل به ضخامت ۰/۳ سانتیمتر لایه ۲ - دال بتنی مسلح ، رویه با ملات رقیق ماسه و سیمان تراز شده است .		۱۰		۲۹	۸۱
۸	دال بتنی مسلح با پوشش روی کف لایه۱- موکت ۱/۵ سانتیمتری متشکل از پرزهایی به ارتفاع ۰/۶ سانتیمتر و کنف بافته شده به ارتفاع ۰/۳ سانتیمتر و چگالی ۲/۲۹ کیلوگرم بر مترمربع با فوم لاستیکی به ضخامت ۰/۶ سانتیمتر و چگالی ۲/۵۹ کیلوگرم بر متر مربع در پشت موکت لایه۲- دال بتنی مسلح با ضخامت ۱۰ سانتیمتر				۸۰	۳۰
۹	دال بتنی مسلح لایه۱- پارکت به ابعاد ۲۲/۵ × ۲۲/۵ × ۱/۲ سانتیمتر و چگالی ۸/۷۹ کیلوگرم بر مترمربع لایه۲- ماستیک روی بتن لایه۳- دال بتنی مسلح به ضخامت ۱۰ سانتیمتر			۴۱	۴۱	۶۹

ادامه جدول ۴-۴ مقادیر صدابندی تعدادی از سقف‌های بین طبقات[مرجع شماره ۳۰ صفحه ۱۷۳۲]

شماره	نوع سقف	جزئیات اجرائی	ضخامت به سانتیمتر	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	درجه تراگسیل صدای کوبه‌ای به دسی بل (IIC)	تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته به دسی‌بل (L_{nw})
۹	دال بتنی مسلح با پوشش بتنی روی کف لایه ۱- چوب پنبه به ضخامت ۰/۳ سانتیمتر روی کف لایه ۲- دال بتنی مسلح به ضخامت ۱۰ سانتیمتر				۸۰	۳۰
۱۰	دال بتنی مسلح با پوشش بتنی روی کف لایه ۱- پوشش لینولئوم به ضخامت ۰/۳ سانتیمتر لایه ۲- ملات ماسه سیمان به ضخامت ۱/۹ سانتیمتر جهت تسطیح کف لایه ۳- دال بتنی مسلح به ضخامت ۱۱ سانتیمتر لایه ۴- گچ کاری طرف سقف به ضخامت ۰/۹ سانتیمتر		۱۳	۲۹۸	۴۸	۶۲
۱۱	دال بتنی مسلح با کف شناور متشکل از لایه‌های زیر: لایه ۱- پوشش لینولئوم به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه ۲- ملات ماسه سیمان مسلح شده با شبکه آرماتور سبک ۴ سانتیمتر لایه ۳- مقوای قیراندود به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه ۴- پشم شیشه به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر لایه ۵- سقف بتنی یه ضخامت ۱۲/۵ سانتیمتر لایه ۶- اندود گچ به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۲۰/۶	۴۴۰	۵۳	۵۷

ادامه جدول ۴-۴ مقادیر صدابندی تعدادی از سقف‌های بین طبقات[مرجع شماره ۳۰ صفحه ۱۷۳۲]

شماره	نوع سقف	جزئیات اجرائی	ضخامت به سانتیمتر	چگالی به کیلوگرم بر متر مربع	درجه تراگسیل صدای کوبه‌ای به دسی بل (IIC)	تراز صدای کوبه‌ای معمول شده وزن یافته به دسی‌بل (L_{nw})
۱۲	سقف دال بتنی مسلح با سقف کاذب لایه ۱- ملات ماسه سیمان به ضخامت ۱/۹ سانتیمتر جهت تسطیح کف لایه ۲- سقف بتنی به ضخامت ۱۱ سانتیمتر لایه ۳- رابیتس‌بندی با لایه هوا به عرض ۱۰ سانتیمتر لایه ۴- اندود گچ کاری به ضخامت ۲/۲ سانتیمتر		۲۵	۳۰۳	۴۷	۶۳
۱۳	سقف دال بتنی مسلح با لایه های زیر: لایه ۱- کف سازی چوبی به ضخامت ۱/۹ سانتیمتر لایه ۲- تخته‌های چهار تراش ۵× ۴ سانتیمتر لایه ۳- پشم شیشه به ضخامت ۲/۵ سانتیمیتر لایه ۴- دال بتنی مسلح به ضخامت ۱۵ سانتیمتر لایه ۵- گچ کاری به ضخامت ۱/۲ سانتیمتر		۲۴	۴۰۵	۵۷	۵۳

جدول ۴-۵ میزان صدابندی تعدادی از پنجره‌ها در شرایط مختلف
[مرجع‌های شماره ۱۷ و ۱۴ صفحه‌های ۳۱/۲۵ و ۲۸۹]

نوع پنجره					درجه تراگسیل صدا، به دسی‌بل (STC)
پنجره یک جداره					
باز شو	کاملا باز				۵
	کمی باز				۱۰ -۱۵
	کاملا بسته				۲۰ -۱۸
ثابت : (کاملا بسته)	شیشه ۳ تا ۴ میلیمتری				۳۰
	شیشه ۶ میلیمتری				۳۲
	شیشه لایه‌دار* به ضخامت ۶ میلیمتر				۳۴
	شیشه ۱۲ میلیمتری				۳۶
	شیشه لایه‌دار به ضخامت ۱۲ میلیمتر				۳۸
پنجره دو جداره ثابت (ضخامت، فاصله دو شیشه از یکدیگر، به میلیمتر)					
	شیشه	فاصله	شیشه		
	۳	۶	۳		۳۰
	۳	۱۰	۳		۳۲
	۳	۲۰	۳		۳۴
	۳	۳۰	۳		۳۶
	۳	۵۰	۳		۳۸
	۳	۷۰	۳		۴۰
	۳	۱۰۰	۳		۴۲
	۳	۱۵۰	۳		۴۴
	۶	۸	۶		۳۴
	۶	۱۳	۶		۳۶

ادامه جدول ۴-۵ میزان صدابندی تعدادی از پنجره‌ها در شرایط مختلف
[مرجع‌های شماره ۱۷ و ۱۴ صفحه‌های ۳۱/۲۵ و ۲۸۹]

نوع پنجره				درجه تراگسیل صدا، به دسی‌بل (STC)
شیشه	فاصله	شیشه		
۶	۲۰	۶		۳۸
۶	۳۰	۶		۴۰
۶	۵۰	۶		۴۲
۶	۸۰	۶		۴۴
۶	۱۲۰	۶		۴۶
۶	۱۰	*۷		۳۸
۶	۱۶	*۷		۴۰
۶	۲۵	*۷		۴۲
۶	۴۰	*۷		۴۴
۶	۶۰	*۷		۴۶
۶	۱۰۰	*۷		۴۸

* شیشه‌های لایه‌دار (laminated)

– ارقام جدول فوق برای پنجره‌های ثابت (کاملاً بسته) با درزبندی است. برای پنجره‌هایی با مشخصات مشابه ولی بازشو با نوار درزبندی، مقدار STC حدوداً ۳ تا ۵ دسی‌بل کمتر است.

– اعداد جدول نشان می‌دهد که دو برابر شدن ضخامت شیشه، میزان صدابندی پنجره، STC، را به میزان تقریبی ۴ دسی‌بل افزایش می‌دهد.

جدول ۴-۶ مقادیر صدابندی تعدادی از درها
[مرجع شماره ۱۷ صفحه ۳۱/۱۹]

نوع در	جرم سطحی به کیلوگرم بر متر مربع	درجه تراگسیل صدا به دسی‌بل (STC)	
		بدون درزبندی	با درزبندی‌خوب
در چوبی تو خالی	۷	۱۷	۲۰
در چوبی تو پر	۲۰	۲۰	۲۸
در فلزی تو خالی	۲۵	۲۰	۳۰
درهای دوتایی ، ترکیبی از دو در چوبی توخالی به فاصله ۱۰ سانتیمتر از یکدیگر	هریک ۷	۲۲	۲۶
درهای دوتایی ، ترکیبی از دو در چوبی توپر یا فلزی تو خالی به فاصله ۷ سانتیمتر از یکدیگر	هریک ۲۰	۲۸	۴۰
درهای دوتایی ، ترکیبی از دو در چوبی توپر یا فلزی تو خالی به فاصله ۷ سانتیمتر از یکدیگر با مواد جاذب روی سطح در	هریک ۲۰	۴۰	۴۴
درهای دوتایی ، ترکیبی از دو در چوبی توپر یا فلزی تو خالی به فاصله ۲۳ سانتیمتر از یکدیگر با مواد جاذب روی سطح در	هریک ۲۰	۴۲	۵۰

۴-۳ استفاده از مواد و مصالح جاذب صوتی

در طراحی آکوستیکی یک فضا ، مواد و مصالح جاذب صدا در موارد زیر بکار می‌رود:

۱ – کاهش ترازهای نوفه (کنترل نوفه)

۲ – بهینه کردن زمان واخنش (کنترل واخنش)

۳ – کنترل انعکاس‌های صوتی ناخواسته.

مهم‌ترین کار طراح فضاهای آموزشی تعیین هریک از موارد فوق به‌منظور طراحی صحیح آکوستیکی فضا است. موفقیت در برآوردن این اهداف، تا حد زیادی به دانش طراح و مهارت در انتخاب و استفاده از مواد بستگی دارد. کاربرد عمده مواد جاذب صوتی، استفاده آن‌ها در جهت بهینه‌سازی داخلی یک فضاست. استفاده از این مواد به‌علت خواص فیزیکی آن‌ها و میزان جذب متفاوت در بسامدهای مختلف، باید با دقت کافی انجام شود.

در بعضی از این فضاها ممکن است کاهش تراز نوفه از طریق استفاده از مواد جاذب صوتی، مهم‌تر از بهینه کردن زمان واخنش و یا کنترل انعکاس‌های صوتی ناخواسته باشد که برای مثال از سالن‌های ورزشی و فضاهای تأسیساتی یک ساختمان آموزشی می‌توان نام برد. از طرف دیگر بهینه‌کردن زمان واخنش در فضاهایی مانند کلاس‌های درس و آزمایشگاه‌ها و سالن‌های سخنرانی در یک مجموعه آموزشی اهمیت بیشتری از دو مورد دیگر دارد. کنترل انعکاس‌های صوتی ناخواسته با آن‌که باید در عموم فضاهای آموزشی مورد توجه قرار گیرد ولی در بعضی فضاها مانند سالن سخنرانی از اهمیت بیشتری نسبت به فضایی مانند سالن ورزش برخوردار است.

به‌منظور استفاده صحیح از مواد و مصالح ساختمانی در هریک از موارد بالا، ضریب جذب تعدادی از این مواد در جدول ۴–۷ نشان داده شده است.

جدول ۴-۷ مقادیر ضریب جذب صوتی مواد و مصالح ساختمانی

[مرجع شماره ۲۹ صفحه ۵۰]

نوع مواد و مصالح ساختمانی	ضریب جذب صوتی در بسامد مرکزی بندهای یک هنگامی					
	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰
جداکننده‌ها						
بتن تراز شده، رنگ نشده	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۵
بتن تراز شده، رنگ شده	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
بتن زبر	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۷
آجر کاری با بندکشی به عمق ۱۰ میلی‌متر	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۲۴
آجری با بندکشی هم سطح	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۷
آجری اندودنشده، رنگ شده	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳
دیوار با اندود	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵
دیوار با اندود گچی، رنگ شده	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
شیشه‌ها						
شیشه ۴ میلیمتری	۰/۳	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۲
شیشه ۶ میلیمتری	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲
شیشه دولایه	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲
پانل‌ها						
در چوبی توپر	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۰
صفحات گچی به ضخامت ۹ میلیمتر روی نوارهای چوبی، ۱۸ میلیمتر فاصله هوایی و پشم شیشه	۰/۳	۰/۲	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
تخته چندلایی به ضخامت ۵ میلیمتر روی نوارهای‌چوبی،۵۰ میلیمتر فاصله هوایی با پشم شیشه	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۵
صفحات گچی به ضخامت ۱۳ میلیمتر روی قاب، ۱۰۰ میلیمتر فاصله هوایی با پشم شیشه	۰/۳۰	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۵
صفحات گچی به ضخامت ۱۳ میلیمتر روی قاب، ۱۰۰ میلیمتر فاصله هوایی	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳
صفحات گچی به ضخامت ۱۳×۲ روی قاب، ۵۰ میلیمتر فاصله هوایی با پشم سنگ	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵

ادامه جدول ۴-۷ مقادیر ضریب جذب صوتی مواد و مصالح ساختمانی

[مرجع شماره ۲۹ صفحه ۵۰]

نوع مواد و مصالح ساختمانی	ضریب جذب صوتی در بسامد مرکزی بندهای یک هنگامی					
	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰
سقف						
تایل آکوستیکی به ضخامت ۱۳ میلیمتر، نصب مستقیما روی کف (سقف)	۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۷۰	۰/۸۵	۰/۷۰	۰/۶۰
تایل آکوستیکی به ضخامت ۱۳ میلیمتر بصورت سقف کاذب به فاصله ۵۰۰ میلیمتر زیر سقف	۰/۷۵	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۰
سقف کاذب گچی زیر سقف	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
مصالح جاذب صوتی						
پشم شیشه به ضخامت ۲۵ میلیمتر با چگالی ۱۶ kg/m^3	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۵۵	۰/۷۱	۰/۷۴	۰/۸۳
پشم شیشه به ضخامت ۵۰ میلیمتر با چگالی ۱۶ kg/m^3	۰/۱۷	۰/۴۵	۰/۸۰	۰/۸۹	۰/۹۷	۰/۹۴
پشم شیشه به ضخامت ۲۵ میلیمتر با چگالی ۲۴ kg/m^3	۰/۱۱	۰/۳۲	۰/۵۶	۰/۷۷	۰/۸۹	۰/۹۱
پشم شیشه به ضخامت ۵۰ میلیمتر با چگالی ۲۴ kg/m^3	۰/۲۷	۰/۵۴	۰/۹۴	۱	۰/۹۶	۰/۹۶
پشم شیشه به ضخامت ۵۰ میلیمتر با چگالی ۳۳ kg/m^3	۰/۲۰	۰/۵۵	۱	۱	۱	۱
پشم شیشه به ضخامت ۵۰ میلیمتر با چگالی ۴۸ kg/m^3	۰/۳۰	۰/۸۰	۱	۱	۱	۱
پشم سنگ به ضخامت ۵۰ میلیمتر با چگالی ۳۳ kg/m^3	۰/۱۵	۰/۶۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۵
پشم سنگ به ضخامت ۵۰ میلیمتر با چگالی ۶۰ kg/m^3	۰/۱۱	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۸۲
کف پوش‌ها						
موکت نازک ۶ میلیمتری روی لایه	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۵۴	۰/۷۰	۰/۷۲
موکت ضخیم ۹ میلیمتری روی لایه	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۸۰
کف پارکت روی زیر سازی چوبی						
کف پارکت بر روی بتن	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۷
لینولیوم روی بتن	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵
صندلی و شنونده						
شنونده نشسته روی صندلی چوبی (یک نفر در متر مربع)	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۵۶	۰/۶۹	۰/۸۱	۰/۷۸
شنونده نشسته روی صندلی چوبی (دو نفر در متر مربع)	۰/۲۴	۰/۴۰	۰/۷۸	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۸۷
دانش‌آموزان با پوشش معمولی نشسته روی صندلی دسته‌دار						
مدرسه‌ای	۰/۳۰	۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۸۴
صندلی با پوشش پارچه‌ای	۰/۴۹	۰/۶۶	۰/۸۰	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۷۰
صندلی با پوشش چرمی	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵۰
صندلی با نشیمن چوبی یا فلزی	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۳۰

۵ نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، مسائل آکوستیکی در ساختمان‌ها باید در اولین مراحل طراحی در نظر گرفته شود. در برنامه‌ریزی و طراحی آکوستیکی ساختمان‌های آموزشی باید تمامی منابع نوفه سایتی که ساختمان در آن ساخته می‌شود مورد توجه قرار گرفته و برای کنترل آن در داخل ساختمان پیش‌بینی‌های لازم به عمل آید. در این مورد می‌توان توصیه‌های زیر را به کار گرفت تا ضوابط آکوستیکی که برای فضاهای مختلف مشخص گردیده حاصل شود.

الف – انتخاب مکان مناسب

ب – ملاحظات آکوستیکی در طراحی ساختمان‌های آموزشی

ج – استفاده از جداکننده‌ها با صدابندی مناسب

د – استفاده از مواد و مصالح جاذب صوتی مناسب

پیشنهاد می‌شود که ساختمان‌های آموزشی در محوطه‌ای حداکثر با تراز معادل صدا (L_{Aeq}) برابر ۵۵ دسی‌بل ساخته شود. در صورتی که تراز معادل صدا در محوطه بیش از ۵۵ دسی‌بل باشد، باید فاصله مناسب از منبع نوفه رعایت گردد. موارد دیگری مانند درخت‌کاری متراکم با درختان پهن برگ و هم‌چنین ایجاد سد صوتی که به‌اندازه کافی مرتفع و عریض باشد نفوذ صدا به محوطه ساختمان را کاهش می‌دهد.

انتخاب محل ساختمان و طراحی مناسب آرایش فضاها، مزاحمت ناشی از نوفه بیرونی را به کم‌ترین حد می‌رساند و این امر از نظر اقتصادی اهمیت زیادی داشته و از هزینه‌های اضافی استفاده از ساختار جداکننده‌هایی با افت صوتی بالا جلوگیری می‌کند.

در طراحی کلی ساختمان آموزشی توصیه می‌شود که محوطه باز، مابین منبع نوفه و ساختمان قرار گیرد و به این ترتیب فاصله‌ای بین فضاها و منبع نوفه ایجاد می‌شود. فضاهای آرام مانند کلاس درس و غیره، از زمین بازی و خیابان پر نوفه و کارگاه‌ها بقدر کافی دور بوده و بازشوهای آن‌ها به خیابان

اصلی، محوطه ورزش، کارگاه‌ها و غیره، مشرف نباشد. برای جلوگیری از مزاحمت نوفه محوطه ورزشی برای ساختمان‌های مجاور، متناسب با ارتفاع ساختمان‌ها و کاربری آنها فاصله‌ای مناسب در نظر گرفته شود و دیوارهای محوطه ساختمان به اندازه کافی مرتفع ساخته شده و در صورت نیاز، طرح سد صوتی، بالای دیوار اجرا گردد تا به این ترتیب محوطه ورزشی نیز در برابر نوفه بیرونی محافظت گردد. تا آنجا که به طراحی مربوط می‌شود کنترل نوفه با استفاده از صدابندی مناسب امکان‌پذیر است. در این مورد باید از جداکننده‌هایی استفاده شود که میزان صدابندی کافی داشته باشند. برای انتخاب صحیح جداکننده‌ها ضروری است طراح علاوه بر ضوابط آکوستیکی، مقادیر صدابندی جداکننده‌ها مانند دیوار، در، پنجره و سقف مابین طبقات را نیز در اختیار داشته باشد. برای کاهش تراز نوفه‌ای که به‌واسطه انعکاس صدا از سطوح اتاق ایجاد می‌شود و اجتناب از انعکاس صدای ناخواسته که فهم گفتار را مشکل می‌کند نیز می‌توان مواد و مصالح جاذب صدا را بکار برد که این موارد تا حد زیادی به دانش طراح و مهارت در انتخاب و استفاده از مواد بستگی دارد.

۶ مراجع

۱ – دفتر تدوین وترویج مقررات ملی ساختمان. "مقررات ملی ساختمان ایران، عایق‌بندی و تنظیم صدا"، انتشارات مدیریت، تهران چاپ اول، ۱۳۷۹.

۲ – سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس."اصول و مبانی طراحی فضاهای آموزشی". سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس، تهران، ۱۳۷۷.

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

۴ – مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. "ضوابط و مقررات صدابندی در ساختمان‌ها (آئین‌نامه پیشنهادی)"، تهران. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. زمستان ۱۳۷۷.

۵ – مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. "روش اندازه‌گیری میزان صدابندی اجزای ساختمانی میان دو اتاق، در برابر صدای هوابرد در محل ساختمان (استاندارد پیشنهادی)"، تهران. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. زمستان ۱۳۷۷.

۶ – مکانیک، مینا؛ مولانا، خسرو. "بررسی وضعیت آکوستیکی مدارس" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۷۹.

۷ – هدایتی، محمد جعفر؛ لیاقتی، غلامعلی. "بررسی افت صوتی دیوارهای سبک"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۷۶.

۸ – هدایتی، محمد جعفر؛ لیاقتی، غلامعلی؛ مولانا، خسرو. "بررسی صدابندی سقفهای متداول در ایران"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۸۰.

9- AS 2107 . "Acoustics – Recommended Design Sound Levels and Reverberation Times for Building Interiors", Australian Standard, Australia, 1987.

10- Beranek, leo . "Noise and vibration control", Mc Grow – Hill, USA,1971.

11- BS, 8233 . "Sound Insulation and noise reduction for buildings, British Standards Insulation", British, 1987.

12- Callender, John Hancock, "Time-saver Standards for Architectural Design Data", Mc Grow – Hill, USA,1974.

13- Castaldi, Basil. "Educational Facilities", Allyn and Bacon, London, Toronto, 1987.

14- Chiara, Joseph, and, Callender, John Hancock, "Time-saver Standards for building types", Mc Grow – Hill, USA, 1973.

15- Colven, Ronald. "Today's design - Tomorrow's use", Akadamitryck AB Edsbruk, Sweden, 1990.

16- Croome, Derek j. "Noise, Buildings and People", Pergamon Press, Grait Britain, 1977.

17- Egan, M. David. "Architectural Acoustics", Mc Grow – Hill, USA, 1988.

18- Egan, M. David. "Concepts in Architectural Acoustics", McGrow-Hill, USA, 1972.

19 – Harris, Cyril M. "Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control", Mc Grow- Hill, USA, 1991.

20 - Harris, David A. "Noise control Manual for Residental Buildings", Mc Grow- Hill, USA, 1997.

21 - Knudsen. Verno; Harris. Cyril M. "Acoustical Designing in Architecture", Acoustical Society of America, USA, 1978.

22 - Lord, Peter; Templeton, Duncan."Detailing for Acoustics", E & FN Spon, English,1996.

23 - Markus, T.A; Whyman. p; Morgan. J. "Building Performance", Applied Science Publishers LTD, London, 1972.

24 - National Building code: chapter 4, "Acoustics sound Insulation and noise control". Bangladesh, 1993.

25 - Nannariello, Joseph; Hodgson, Murray; Fricke, Fergus R. "Neural network predictions of speech levels in university classrooms", Applied Acoustic, vol 62, No.7, July. 2002, P.P 749 – 767.

26 - Parkin, P.H; Humphreys, H. R. "Acoustics, Noise and Buildings", FABER and FABER, London, 1979.

27 - SABS 0103. "The Measurement and Rating of Environmental Noise with respect to Annoyance and to Speech Communication", South African Bureau of Standards, South Africa, 1994.

28 - SI, National Building Code: Part VIII, Building Services, Section 4, "Insulation and Noise Control. Acoustics, Sound", India, 1983.

29 - Smith, BJ; peters, RJ; Owen, S. "Acoustics and noise control", Longmen, USA, 1982.

30 - Stein, Benjamin; Reynolds, Johns. "Mechanical and Electrical Equipment for Buildings", Wiley 8 Sons, USA, 2000.

31 - Swed, Boverkel. "Building Department, Acoustic Climate", N. P: Boverket. SBN. Chapter 34, Swedish Building Code, 1980.

32 - Templeton, Duncan. "Acoustics in the Built Environment", Butterworth – Architecture, English, 1993.

پیوست

پیوست-۱ تعاریف

پ-۱-۱ نوفه

نوفه به هر گونه صدای ناخواسته گفته می‌شود.

پ-۱-۲ ضریب تراگسیل

ضریب تراگسیل یک جداکننده براساس رابطه ۱-۱ تعریف می‌گردد:

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

که در آن:

τ: ضریب تراگسیل جداکننده

I_i: شدت موج صوتی فرود آمده به یک طرف جداکننده به وات بر مترمربع.

I_τ: شدت موج صوتی تراگسیل یافته از طرف دیگر جداکننده به وات بر مترمربع.

پ-۱-۳ دسی بل

دسی‌بل مقیاسی است نسبی و لگاریتمی که در مورد صدا، براساس یکی از دو رابطه زیر مشخص شده و به dB نمایش داده می‌شود.

$$dB = 10Log\frac{I_1}{I_2} \qquad (۲-۱) \qquad \text{یا} \qquad dB = 20Log\frac{p_1}{p_2} \qquad (۳-۱)$$

که در آن:

I_1: شدت صدا در نقطه ۱، به وات بر مترمربع.

I_2: شدت صدا در نقطه ۲، به وات بر مترمربع.

p_1: فشار مؤثر صدا در نقطه ۱، به نیوتن بر مترمربع (پاسکال).

p_2: فشار مؤثر صدا در نقطه ۲، به نیوتن بر متر مربع (پاسکال).

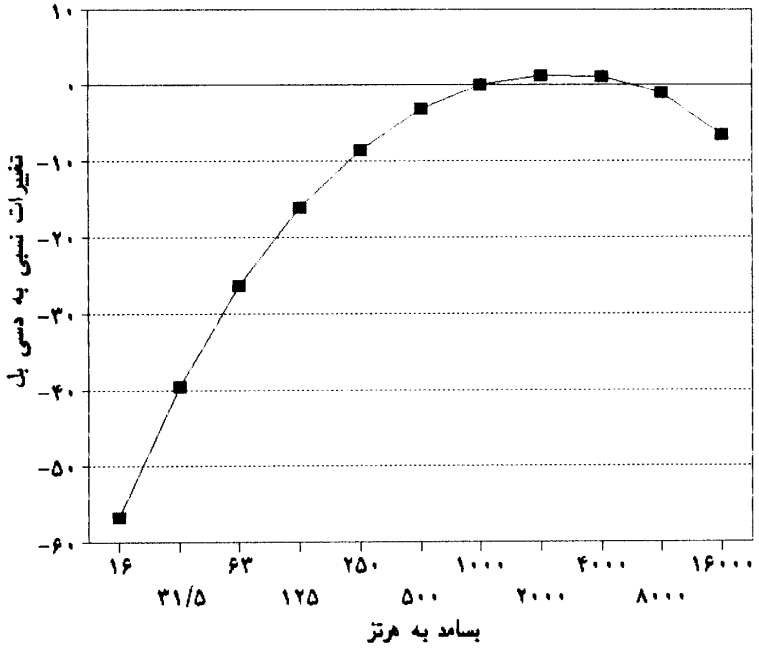
Log : لگاریتم به پایه ده نسبت مورد نظر.

پ-۱-۴ نمودار استاندارد A

نمودار استاندارد A نموداری است که عملکرد مورد نیاز یک مدار الکترونیکی را تعریف می‌کند. هدف از این عملکرد، که بر اساس تجربه به دست آمده، این است که مدار مذکور بتواند واکنش شنوایی انسان را با سهولت و دقت کافی در صدا سنجی تقلید کند. نمودار مذکور بر اساس مقادیر تغییرات نسبی مدار برحسب بسامد در جدول ۱-۱ رسم گردیده و درشکل ۱-۱ نشان داده شده است. بینایی (طیفی) که به صورت شکل این نمودار، تغییر یا به اصطلاح "وزن" داده شود، با پسوند A مشخص می‌گردد.

جدول ۱-۱ مقادیر تغییرات نسبی مدار A

بسامد بندهای یک هنگامی به هرتز	۱۶۰۰۰	۸۰۰۰	۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۶۳	۳۱/۵	۱۶
تغییرات نسبی مدار A به دسی بل	-۶/۶	-۱/۱	۱	۱/۲	۰	-۳/۲	-۸/۶	-۱۶/۱	-۲۶/۲	-۳۹/۴	-۵۶/۷



شکل ۱-۱ نمودار تغییرات نسبی مدار A در بسامدهای مختلف

پ-۱-۵ تراز فشار صدای وزن یافته A (L_{PA})

تراز فشار صدای وزن یافته A که بر حسب dB است، بر اساس رابطه زیر مشخص می‌گردد:

$$L_{PA} = 20Log\left(\frac{p_A}{p_0}\right) \qquad (۴-۱)$$

که در آن:

P_A: فشار مؤثر صدای وزن یافته بر اساس نمودار استاندارد A به نیوتن بر مترمربع (پاسکال)

P_0: فشار مؤثر صدای مبنا که مقدار آن برابر است با ۲×۱۰^{-۵} نیوتن بر مترمربع (پاسکال)

پ-۱-۶ تراز معادل صدای وزن یافته

تراز معادل صدای وزن یافته با نمودار استاندارد A، که اصطلاحاً L_{eq} گفته می‌شود، عبارت است از مقدار تراز فشار صدای ممتد، پایدار و وزن یافته با نمودار A، که در یک مدت زمان معین T دارای همان فشار صدای مؤثر است که هر صدای مورد نظر با تراز متغیر دارد. این تراز معادل طبق رابطه زیر مشخص می‌گردد و بر حسب dB است.

$$L_{AeqT} = 10Log\left[\frac{1}{T}\int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2}dt\right] \qquad (۵-۱)$$

که در آن:

$P_A(t)$: فشار صدای لحظه‌ای وزن یافته با نمودار استاندارد A

P_0: فشار مؤثر صدای مبنا که مقدار آن برابر است با ۲×۱۰^{-۵} نیوتن بر مترمربع (پاسکال)

T : مدت زمان اندازه‌گیری تراز صدا است که در این ضوابط، ۳۰ دقیقه قید شده است.

پیوست-۲ تعیین صدابندی جداکننده مرکب

پ-۲-۱ روش محاسبه

برای محاسبه شاخص کاهش صدای یک جداکننده مرکب از مقادیر شاخص کاهش صدای جداکننده‌های ساده تشکیل‌دهنده آن که از طرف آزمایشگاه‌های آکوستیک ارائه شده استفاده می‌گردد. ابتدا با داشتن شاخص کاهش صدای جداکننده ساده و با توجه به رابطه (۴-۱) که وابستگی متقابل بین ضریب تراگسیل و شاخص کاهش صدای هر جداکننده را مشخص می‌کند ضریب تراگسیل جداکننده ساده محاسبه می‌شود.

$$R = 10Log\frac{1}{\tau} \qquad \Rightarrow \qquad \tau = 10^{-(0/1)R} \qquad (۱-۲)$$

که در آن :

R : شاخص کاهش صدای جداکننده، به دسی بل

τ : ضریب تراگسیل جداکننده

سپس با داشتن ضریب تراگسیل برای هر جداکننده ساده و با استفاده از رابطه (۴-۲) ضریب تراگسیل جداکننده مرکب محاسبه می‌شود.

$$\tau = \frac{\tau_1 S_1 + \tau_2 S_2 + \ldots + \tau_n S_n}{S_1 + S_2 + \ldots + S_n} \qquad (۲-۲)$$

که در آن:

τ : ضریب تراگسیل جداکننده مرکب

τ_1 ، τ_2 ، ....و τ_n : ضریب تراگسیل هر یک از جداکننده‌های ساده تشکیل دهنده جداکننده مرکب .

S_1 ، S_2 ، ....و S_n : سطح هر یک از جداکننده‌های ساده تشکیل‌دهنده جداکننده مرکب، به مترمربع.

با قرار دادن τ در رابطه (۲-۳) شاخص کاهش صدای جداکننده مرکب محاسبه می‌گردد.

$$R = 10Log\frac{1}{\tau} \qquad (۳-۲)$$

که در آن:

τ : ضریب تراگسیل صدای جداکننده مرکب.

R : شاخص کاهش صدای جداکننده، به دسی بل.

به‌عنوان مثال: جداکننده مرکبی به ابعاد ۴/۷ ×۱۰ متر، شامل دیوار بیست و دو سانتی آجری و یک در به ابعاد ۲×۱ و پنجره‌ای به ابعاد ۱×۵ متر است. در صورتی که شاخص کاهش صدای وزن یافته دیوار، در و پنجره به ترتیب ۵۰، ۱۵، ۲۰ دسی بل باشد، شاخص کاهش صدای وزن یافته این جداکننده مرکب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

حل:

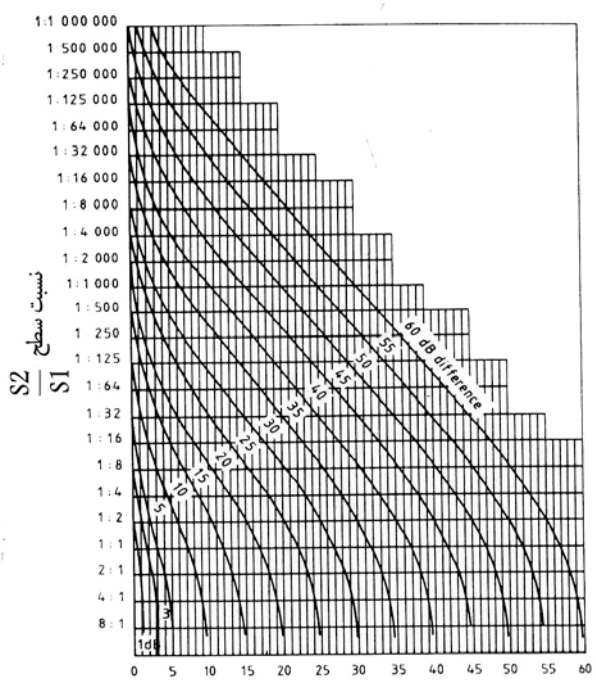
پنجره	S_1= ۵ ×۱ = ۵	متر مربع	پنجره	$\tau_1 = ۱۰^{-(۰/۱)\times ۲۰}$
در	S_2= ۱ × ۲ = ۲	متر مربع	در	$\tau_2 = ۱۰^{-(۰/۱)\times ۱۵}$
دیوار	S_3= ۴۷ − (۲+۵) = ۴۰	متر مربع	دیوار	$\tau_3 = ۱۰^{-(۰/۱)\times ۵۰}$
جداکننده	S = ۱۰ × ۴/۷ = ۴۷	متر مربع		

$$\tau = \frac{5\times10^{-(0.1)\times20} + 2\times10^{-(0.1)\times15} + 40\times10^{-(0.1)\times50}}{47} = 2.42\times10^{-3}$$

$$\mathbf{R} = 10\,\mathbf{Log}\frac{1}{2.42\times10^{-3}} = 26\ \mathbf{dB}$$

پ-۲-۲ روش تخمینی با استفاده از نمودار

در مواردی که سرعت محاسبه از دقت آن اهمیت بیشتری دارد می‌توان مقدار شاخص کاهش صدای جداکننده مرکب را با استفاده از نمودارهای شکل ۲-۱ تخمین زد. محدودیت این روش، این است که از مجموعه ساختارهای یک جدار مرکب در هر مرحله دو ساختار در نظر گرفته شده و نتیجه به دست آمده با ساختار بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۲-۱ نمودار تخمین شاخص کاهش صدای جدا کننده مرکب

[مرجع شماره ۱ ، صفحه ۲۸]

در شکل ۲-۱:

R_1: شاخص کاهش صدای ساختاری که افت صوتی بیشتری دارد

R_2: شاخص کاهش صدای ساختاری که افت صوتی کمتری دارد

S_1: سطح جداری که افت صوتی بیشتری دارد

S_2: سطح جداری که افت صوتی کمتری دارد

R: شاخص کاهش صدای جدار مرکب

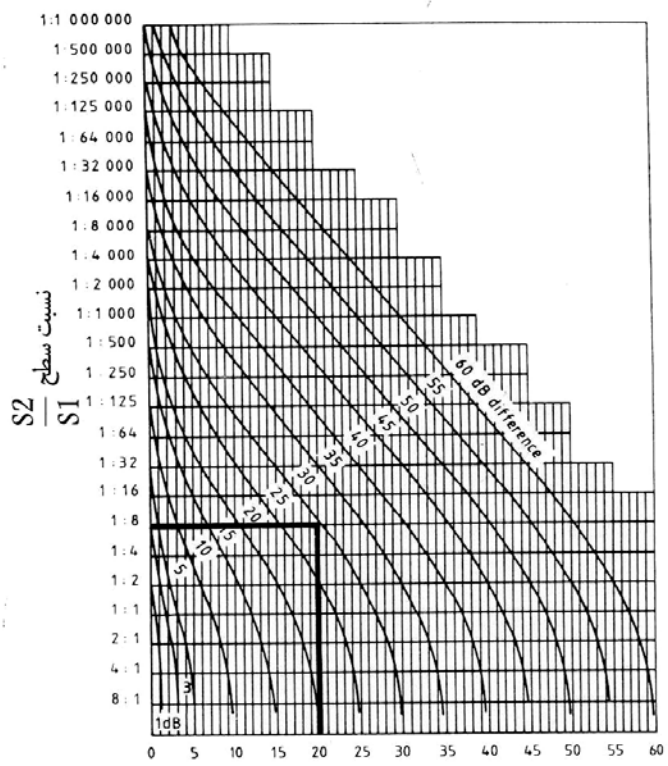
به عنوان نمونه، جواب مثالی را که در بند ۴-۱ مطرح شده است میتوان به روش تخمینی بدست آورد. بدین منظور ابتدا دیوار را به عنوان یک ساختار و پنجره را به عنوان ساختاری در نظر گرفته و به صورت زیر عمل می‌شود:

الف: اختلاف دو کاهش صدای دیوار و پنجره را بدست آورده (R_1-R_2 = ۵۰ − ۲۰ = ۳۰) و سپس منحنی ۳۰ از روی شکل مشخص می‌گردد.

ب: نسبت دو سطح تشکیل‌دهنده دیوار و پنجره را بدست آورده ($\frac{S_1}{S_2} = \frac{5}{40} = \frac{1}{8}$) و از نقطه مربوط به این نسبت در روی محور عمودی خطی به موازات محور افقی رسم کرده تا نمودار اختلاف ۳۰ دسی‌بل را قطع کند. سپس از محل تلاقی بدست آمده خطی عمود بر محور افقی رسم کرده تا محور «کسر شده از شاخص کاهش صدا» را قطع کند. در نتیجه، شاخص کاهش صدای مرکب R، به صورت زیر بدست می‌آید:

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

مراحل فوق روی شکل ۴-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲ نمودار تخمین شاخص کاهش صدای جداکننده مرکب

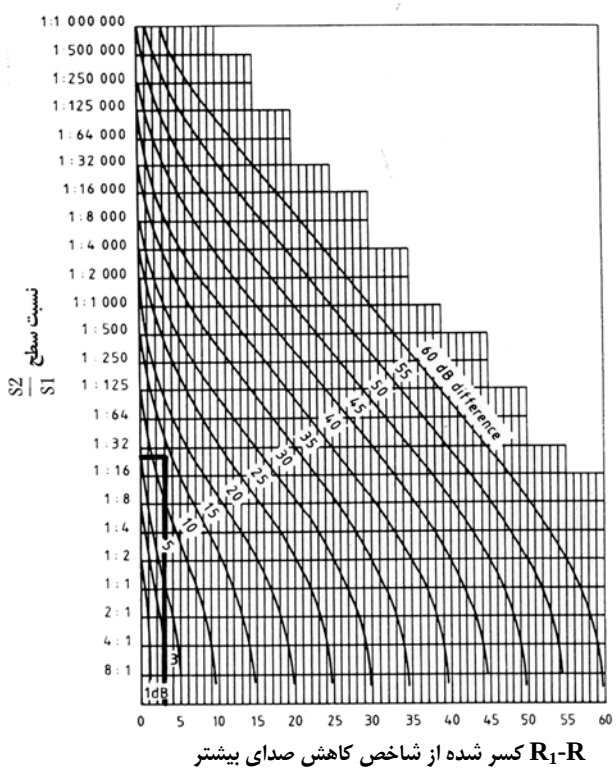
سپس به همین روش ساختار مرکب دیوار و پنجره به‌عنوان یک ساختار با ساختار در به‌عنوان ساختاری دیگر در نظر گرفته می‌شود:

جداکننده	$S = ۱۰ \times ۴/۷ = ۴۷$	متر مربع
در	$S_2 = ۱ \times ۲ = ۲$	متر مربع
دیوار و پنجره	$S_1 = ۴۷ - (۲) = ۴۵$	متر مربع

$$\frac{2}{45} = \frac{1}{22.5} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$R_1 - R_2 = 30 - 15 = 15 \quad \text{و} \quad R_1 - R = 4 \quad \Rightarrow \quad R = 30 - 4 = 26$$

مراحل فوق روی شکل ۴-۳ نشان داده شده است.



شکل ۲-۳ نمودار تخمین شاخص کاهش صدای جداکننده مرکب

در نتیجه مقدار جداکننده مرکب از روش تخمینی ۲۶ دسی‌بل و از روش محاسبه ۲۶ دسی‌بل بدست آمده است.

خواننده گرامی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی – فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیتهای عمرانی به کار برده شود. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی سالهای اخیر به چاپ رسیده است به اطلاع استفاده‌کنندگان و دانش‌پژوهان محترم رسانده می‌شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی **http://tec.mporg.ir** مراجعه نمایید.

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

Islamic Republic of Iran

Acoustical guide lines for Educational Buildings

No: 343

Management and Planning Organization
Deputy for Technical Affairs
Criteria Codification and
Earthquake Risk Reduction Affairs Bureau

Ministry of Building and Urban Development
Buiiding and Housing Research Center

2006

این نشریه
با عنوان «راهنمای طراحی آکوستیکی فضاهای آموزشی»، راهنمای قدم به قدم برای طراحی آکوستیکی در ساختمان‌های آموزشی است که از بررسی محوطه و کاربری زمین تا جزئیات اجزای ساختمانی و انتخاب مصالح را در بر می‌گیرد. علاوه بر آن مقادیر مورد نیاز طراحی شامل: تراز صدا، زمان واخنش، صدابندی هوابرد جدارها و صدابندی کوبه‌ای سقف، برای ساختمان‌های آموزشی ارائه شده است.
دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند.