

بررسی ملاحظات ناظر بر کاهش تراز نوفه در ساختمان

سعید خدای
کارشناس ارشد پدافند غیرعامل
پژوهشکده صوتیات
ebnesina@yandex.com

احسان سلکی*
دکتری مهندسی مکانیک
پژوهشکده صوتیات
solki@alumni.iust.ac.ir/
e.solki@gmail.com

احسان روحی
کارشناس ارشد مهندسی مکانیک
پژوهشکده صوتیات
Ehsan-roohi-9111362@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۲۹

چکیده

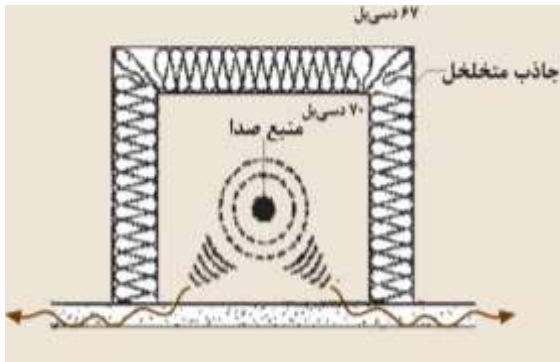
نوفه محیطی یکی از عمده‌ترین عواملی است که سبب ناسالم شدن سکونت‌گاه‌های بشری و افزایش مخاطرات شغلی بسیاری از انسان‌ها گردیده و کاهش اثرات زیان‌بار آن، موضوع بسیاری از تحقیقات در سال‌های اخیر بوده است. این موارد، اهمیت شناخت راه‌کارهای کنترل نوفه را آشکار می‌سازد. نوشتار حاضر، ضمن بررسی روش‌های مختلف موجود برای کاهش نوفه، برخی ملاحظات طراحی کم‌نوفه در ساختمان‌ها را ارائه می‌نماید. ملاحظات فوق‌الذکر مشتمل بر دو نوع کلی است؛ یکی ملاحظات جذب صدا که به کاهش نوفه موجود در فضای داخلی ساختمان اختصاص داشته و دیگری ملاحظات عایق‌سازی صدا که مربوط به کاهش انتقال نوفه از محیط خارج، به داخل ساختمان است. رعایت نمودن توأمان اصول عایق‌سازی و جذب، دستیابی به تراز نوفه مطلوب را در یک ساختمان میسر می‌نماید.

واژگان کلیدی: کاهش نوفه، عایق‌سازی ساختمان، جذب صدا، آکوستیک

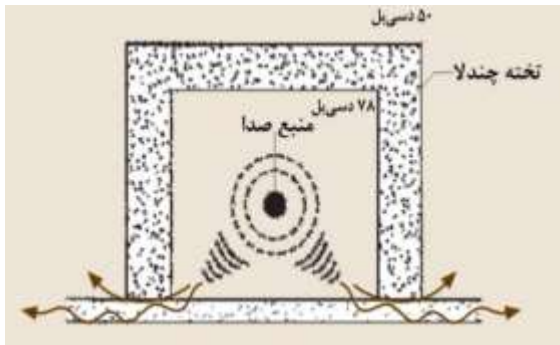
۱. مقدمه

دارند نیز دارای ملاحظات صوتی خاصی است که عدم شناخت این ملاحظات و اهمال نسبت به رعایت آنها در فرآیند ساخت، کارایی اتاق‌های مذکور را به شدت کاهش خواهد داد. تمامی این موارد، ضرورت کنترل نوفه و شناخت روش‌های موجود برای نیل به این مهم را آشکار می‌سازد. بطور کلی دو راهکار عمده برای کاهش نوفه در یک ساختمان وجود دارد. این راهکارها عبارتند از عایق‌سازی^۲ ساختمان و نیز تعبیه مواد جاذب صدا بر روی دیوارها، سقف و یا کف ساختمان. عایق‌سازی ساختمان، تا حد ممکن از ورود صدای بیرون ساختمان به داخل آن ممانعت به عمل می‌آورد. این

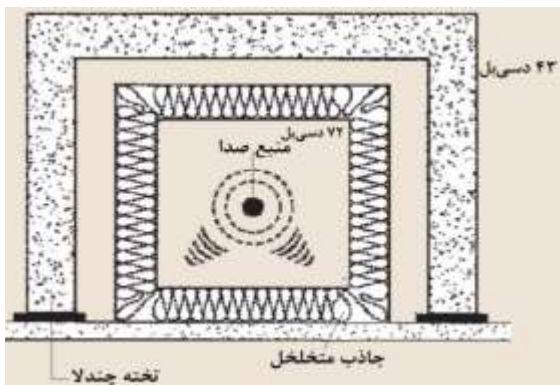
امروزه حجم وسیعی از مطالعات به بررسی روش‌های طراحی نوفه کم در ساختمان‌ها معطوف شده است که اهداف مترتب بر این امر را می‌توان کاهش اثرات مخرب ناشی از تراز نوفه بالا در زیست‌گاه‌های بشری، تأمین آرامش و ارتقاء سطح سلامتی انسان‌ها عنوان نمود. از سوی دیگر، طراحی برخی از اماکن همچون آزمایشگاه‌های صوتی و استودیوها هم به دلیل شرایط کاری ویژه‌ای که در آنها برقرار است، مستلزم رعایت ملاحظات ویژه‌ای در راستای کاهش نوفه محیطی است. علاوه بر موارد یاد شده، طراحی برخی از بناها همچون اتاق‌های سکوت^۱ که به برگزاری جلسات محرمانه اختصاص



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۱ اثرات مترتب بر عایق‌سازی و تعبیه مواد جاذب صدا [۲].

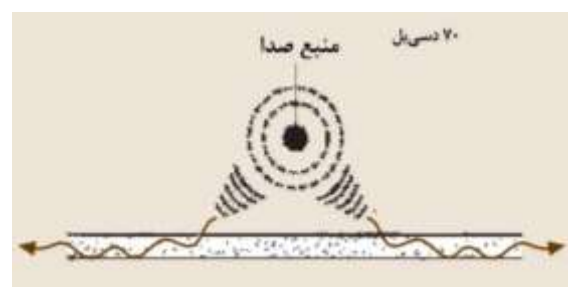
اکنون اگر منبع صدا را با مواد چگال و سنگین همچون تخته چندلا^۳ محصور نماییم، شدت نوفه به میزان ۲۸ دسیبل کاهش می‌یابد، شکل ۱- ج. این تغییر محسوس، مستقیماً به عملکرد مطلوب تخته چندلا در عایق‌سازی صدا بازمی‌گردد. نهایتاً در صورت استفاده همزمان از مواد جاذب و تخته چندلا، کاهش تراز صدا، معادل ۲۹ دسیبل خواهد بود، شکل ۱- د [۱ و ۲].

در حالی است که جاذب‌های صدا عمدتاً انعکاس‌های مکرر صدای منتشر شده از منابع واقع در داخل ساختمان را کنترل می‌نمایند. با این حال اگر به دلیل عایق‌سازی نامناسب، صدایی از فضای بیرونی به داخل ساختمانی که دارای مواد جاذب است راه یابد، وجود مواد جاذب در کاهش سطح نوفه بی‌تأثیر نیست.

نوشتار حاضر ملاحظات مختلف ناظر بر جذب صدا و عایق‌سازی در ساختمان‌ها را به اختصار مورد بررسی قرار می‌دهد؛ در این راستا، ابتدا توضیحی در ارتباط با جذب و عایق‌سازی صدا و تفاوت این دو با یکدیگر ارائه می‌شود و در ادامه کلیه پارامترهایی که می‌بایست در انتخاب و یا طراحی بخش‌های مختلف ساختمان مشتمل بر دیوارهای داخلی و خارجی، درها و پنجره‌ها لحاظ شوند، ذکر شده و به نکات حائز اهمیت در رابطه با انتخاب جاذب‌های صوتی و نحوه نصب آنها نیز اشاره خواهد شد.

۲. تفاوت جذب و عایق‌سازی

شکل ۱، ماهیت پدیده‌های جذب و عایق‌سازی و تفاوت آنها را آشکار می‌سازد. همانطور که مشاهده می‌شود، در صورتی که هیچ تدبیری در راستای جذب و عایق‌سازی اتخاذ نگردد، توان صوتی در نواحی واقع در مجاورت منبع صدا، معادل ۷۰ دسیبل است، شکل ۱- الف. در صورتی که منبع صدا با مواد جاذب متخلخل دارای چگالی کم، همچون پشم شیشه احاطه شود، تراز صدا تنها ۳ دسیبل کاهش یافته و معادل ۶۷ دسیبل خواهد شد، شکل ۱- ب [۱].



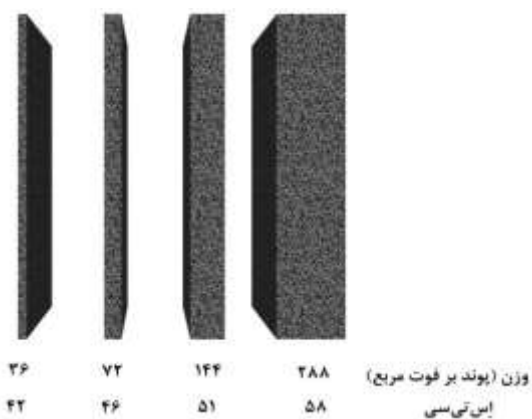
(الف)

۳-۱-۱. دیوارهای تک جداره

بطور کلی افزایش وزن هر سازه، افزایش توان عایق‌سازی آن را در پی خواهد داشت. در سازه‌های بتنی با دو برابر کردن وزن بتن، شاخص اس‌تی‌سی^۶ تقریباً معادل ۵ واحد افزایش می‌یابد.

شکل ۲، نمایی شماتیک از دیوارهای بتنی با قطر و وزن مختلف را نمایش داده، و شاخص اس‌تی‌سی متناظر با هر یک از آنها را ارائه می‌نماید. شکل ۳ نیز نمودار تغییرات افت انتقال نسبت به بسامد برای دیوارهای بتنی با قطر ۳ و ۱۲ اینچ را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۳، تفاوت قابلیت عایق‌سازی دو دیوار در بسامدهای بالا و پایین کاملاً مشهود است. لیکن در محدوده مشخصی از بسامدهای میانی، منحنی افت انتقال مربوط به دو دیوار بر یکدیگر منطبق شده است. در واقع می‌توان گفت که قابلیت عایق‌سازی دو دیوار در این محدوده با یکدیگر یکسان می‌باشد [۱].

با تکیه بر توضیحاتی که ارائه شد، نکات مهم در طراحی دیوارهای تک‌جداره را می‌توان به شرح ذیل عنوان نمود [۱] و [۳].



شکل ۲ تأثیر وزن سازه بر شاخص اس‌تی‌سی [۱].

نکته دیگری که در خصوص شکل ۱ می‌بایست بدان اشاره نمود آن است که محصور نمودن منبع صدا با تخته چندلا، به رغم اثرات مطلوبی که در کاهش انتقال صدا به محیط اطراف داشته است، اما در عین حال، تراز صدا در نواحی مجاور منبع را از ۷۰ دسی‌بل، شکل ۱-الف، به ۷۸ دسی‌بل، شکل ۱-ج، افزایش داده که این نقیصه ناشی از ضعف تخته چندلا در جذب انعکاس‌های مکرر امواج صدا در فضای داخلی محفظه است. این در حالی است که استفاده همزمان از مواد جاذب و تخته چندلا، سبب کاهش نوفه فضای داخلی محفظه تا مقدار ۷۲ دسی‌بل شده است، شکل ۱-د. در نتیجه می‌توان گفت که بهره‌گیری همزمان از مواد جاذب و عایق‌ساز^۴ در یک ساختمان، از سویی از انتشار صدا به محیط خارج جلوگیری نموده و از سوی دیگر، سلامت فضای داخلی را از حیث تراز نوفه، بهبود می‌بخشد [۱ و ۲].

۳. ملاحظات عایق‌سازی

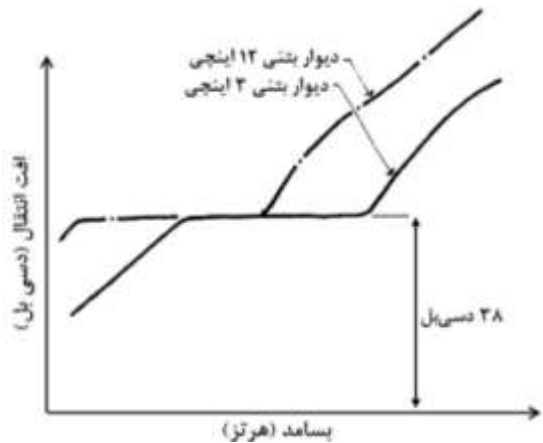
برای دستیابی به سطوح بالای عایق‌سازی در یک ساختمان می‌بایست از ورود صدا از تمامی طرق ممکن اعم از دیوارها، درها، پنجره‌ها، سقف و کف ساختمان جلوگیری شود. هر یک از طرق یاد شده ملاحظات عایق‌سازی مخصوص به خود را دارند که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

۳-۱. دیوارهای خارجی و داخلی

ملاحظات مربوط به طراحی دیوارهای داخلی و خارجی به شرح ذیل می‌باشند:

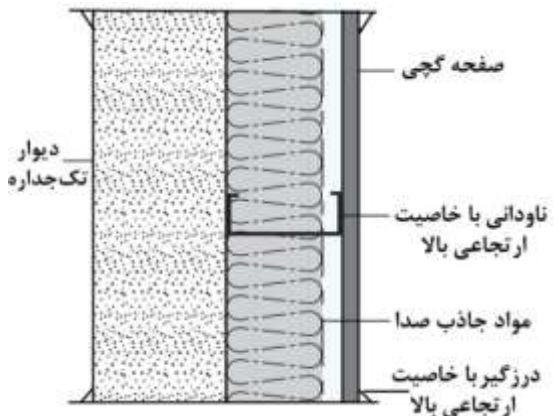
۳-۱-۱. دیوارهای خارجی

دیوارهای خارجی یک ساختمان را می‌توان به دو صورت تک‌جداره و یا دوجداره طراحی نمود. دیوارهای دوجداره عملکرد بسیار مطلوب‌تری را در عایق‌سازی صدا به‌ویژه در بسامدهای پایین از خود نشان می‌دهند [۱]. در ادامه به راه‌کارهایی که موجب افزایش افت انتقال^۵ در دیوارهای تک‌جداره و دوجداره می‌شوند، اشاره می‌گردد.



شکل ۳ نمودار افت انتقال برای دیوارهایی با قطر متفاوت [۱].

بهبود می‌بخشد. در شرایطی که هر دو سطح دیوار با صفحات گچی پوشانده شده باشد، تعبیه مواد جاذب صدا در فضای خالی بین دیوار و صفحات گچی برای جلوگیری از انباشت صدا ضرورت پیدا می‌کند. شایان ذکر است که در صورت استفاده از صفحات گچی می‌بایست تمامی پیرامون آنها را درزگیری نمود تا از نشت صدا از این نواحی جلوگیری شود.



شکل ۴. ساختار صفحه گچی تعبیه شده بر روی دیوار تک‌جداره به جهت افزایش افت انتقال [۴].

۴- تمامی کلیدها و پریزها می‌بایست در بلوک‌های پر شده از ماسه و یا ملات نصب گردند.

۲-۱-۱-۳. دیوارهای دوجداره

برای ارتقاء کیفیت عایق‌سازی نسبت به دیوارهای تک‌جداره، می‌توان دیوارها را بصورت دوجداره طراحی نمود. نکات حائز اهمیت در طراحی دیوارهای دوجداره به شرح ذیل می‌باشند [۱، ۳ و ۵]:

- ۱- در شرایطی که دستیابی به سطح بسیار بالایی از عایق‌سازی مدنظر سازندگان یک بنا باشد، می‌بایست فاصله بین جداره‌های دیوارهای دوجداره را افزایش داد. با این حال فواصل بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر عملاً مرسوم نمی‌باشند.
- ۲- حتی‌المقدور بهتر است هر یک از جداره‌ها از لحاظ سازه‌ای با یکدیگر اتصال نداشته باشند. این کار از انتقال ارتعاشات از یک جداره به جداره دیگر ممانعت به عمل می‌آورد.

۱- از آنجا که افت انتقال با افزایش وزن، افزایش می‌یابد، می‌بایست در ساخت دیوارها از بلوک‌هایی با وزن و ضخامت زیاد استفاده نمود. در مورد دیوارهای بتنی نیز با افزایش ضخامت دیوار، افت انتقال افزایش می‌یابد. بدیهی است هر چه میزان بتن استفاده شده در یک سازه افزایش یابد، هزینه ساخت و ساز نیز فزونی می‌یابد. از این روی، ساخت سازه‌هایی با دیوارهای بتنی بسیار قطور از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست؛ مگر آنکه مقاصد خاصی که در طراحی یک بنا مد نظر می‌باشند، هزینه مصرف شده را توجیه نمایند.

۲- در صورتی که از بلوک‌های سیمانی برای ساخت دیوار استفاده می‌شود، می‌بایست بلوک‌ها را بر روی بستری مستحکم از جنس ملات قرار داده و از ایجاد هرگونه منفذی هم جلوگیری نمود. ضمناً می‌توان حفره‌های موجود در بلوک‌ها را با ملات و یا ماسه پر کرد و از این طریق موجبات افزایش وزن سازه و متعاقباً افت انتقال آن را فراهم آورد.

۳- همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، یکی از راه‌هایی که موجب دستیابی به سطوح بالاتری از عایق‌سازی در دیوارهای تک‌جداره می‌گردد، تعبیه صفحات گچی بر روی این دیوارها است. برای نصب صفحات گچی می‌توان از ناودانی‌های ارتجاعی استفاده نمود. علاوه بر این، پوشاندن فضای خالی میان دیوار و صفحات گچی، از انباشت صدا در این ناحیه جلوگیری نموده و کیفیت عایق‌سازی را

۳- اگر الزامی مبنی بر اتصال سازه‌ای بین جداره‌ها وجود دارد، می‌بایست از اتصالات ساخته‌شده از نوپرین^۸ استفاده نمود که خاصیت ارتجاعی بالایی داشته و افت انتقال را افزایش می‌دهند.

۴- تعبیه جاذب‌های صدا در فضای خالی میان جداره‌ها، از انباشت صدا در این ناحیه و نیز از نشت صدا از درزها و ترک‌ها جلوگیری می‌نماید.

۲-۱-۳. دیوارهای داخلی

در بسیاری از ساختمان‌ها از دیوارهای پیش‌ساخته برای تفکیک فضای داخلی ساختمان استفاده می‌شود. نصب این دیوارها ملاحظات صوتی ویژه‌ای دارد؛ برای مثال، برای جلوگیری از نشت صدا می‌بایست محل اتصال دیوارهای پیش‌ساخته با سقف و کف را با درزگیر پوشاند [۱]. لذا در صورتی که کاربری خاصی برای ساختمانی لحاظ شده و جلوگیری از انتقال صدا از یک اتاق به اتاق‌های دیگر ضرورت دارد، بهتر است از دیوارهای پیش‌ساخته در فضای داخلی ساختمان استفاده نشده و سازه‌های مستحکم‌تری جایگزین آن گردد.

۲-۳. درها

نکات مهم در انتخاب و تعبیه درها به شرح ذیل می‌باشند [۱]، ۳ و ۵:

۱- از کارگذاری درب در ضلعی از ساختمان که در مجاورت اماکن پرسروصدا همچون بزرگ‌راه‌ها قرار دارد تا حد ممکن اجتناب شود. این امر انتقال نوفه به محیط داخلی ساختمان را تا حدی کاهش خواهد داد.

۲- برای دستیابی به افت انتقال بالا می‌بایست از درهای چوبی توپر و یا درهای فلزی توخالی که با الیاف جاذب صدا پر شده‌اند، استفاده نمود.

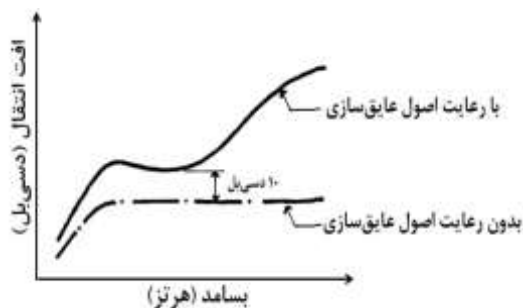
۳- چارچوب در را باید با الیاف جاذب صدا و یا دوغاب^۹ پر نمود.

۴- تمامی درها و چارچوب‌های آنها می‌بایست بطور کامل درزگیری شوند. بهتر است از درزگیرهایی با سفتی پایین‌تر

(خاصیت ارتجاعی بیشتر) استفاده نمود، این کار کیفیت عایق‌سازی را ارتقاء می‌بخشد.

۵- درهایی که آستانه ورودی^{۱۰} برجسته دارند در قیاس با درهایی که آستانه هم‌سطح دارند، نشت صدا را بیشتر مهار کرده و افت انتقال را به میزان ۳ تا ۶ دسی‌بل افزایش می‌دهند، از این روی تعبیه درهایی با آستانه برجسته می‌بایست در دستور کار قرار گیرد.

۶- در اماکنی همچون استودیوها و آزمایشگاه‌های صوتی که دارای ملاحظات صوتی خاص می‌باشند، نباید از درهایی که دارای هواکش هستند استفاده نمود، زیرا تعبیه هواکش، افت انتقال را به شدت کاهش می‌دهد. شکل ۵، مقایسه‌ای از نمودار افت انتقال برای دو نوع مختلف از در، که یکی از آنها با رعایت کامل اصول عایق‌سازی و دیگری بدون رعایت این اصول ساخته و تعبیه شده را نمایش می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود، تفاوت افت انتقال این درها در بسامدهای میانی در حدود ۱۰ دسی‌بل بوده و در بسامدهای بالاتر، از این مقدار هم فراتر رفته است. همین امر ضرورت پایبندی به اصول عایق‌سازی درها (یعنی استفاده از درزگیر و آستانه برجسته و اجتناب از نصب هواکش) را آشکار می‌سازد.



شکل ۵. نمودار افت انتقال برای دو نوع مختلف از در [۱].

۳-۳. پنجره‌ها

۱- در اماکنی همچون اتاق‌های سکوت که مختص برگزاری جلسات محرمانه بوده و یا در شرایطی که کاربری بسیار ویژه‌ای در طراحی یک بنا مدنظر می‌باشد، می‌بایست از تعبیه پنجره، خاصه در دیوارهای خارجی ساختمان، اجتناب شود.

لیکن اگر ملاحظات تا این حد جدی نیست، بهره‌گیری از پنجره‌های دوجداره انتخاب مناسبی به شمار می‌آید.

۲- افت انتقال در پنجره‌های دو و یا چندجداره با افزایش ضخامت جداره‌ها افزایش می‌یابد. بالاترین میزان افت انتقال در پنجره مربوط به حالتی است که ضخامت جداره‌ها با یکدیگر برابر نبوده و فضای خالی بین آنها هم زیاد باشد [۱].

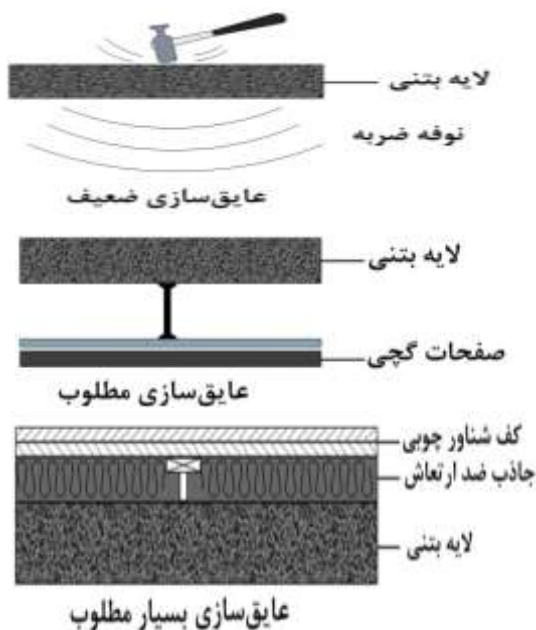
۴-۳. سقف‌های کاذب

بهینه‌ترین حالت در طراحی سقف‌های کاذب زمانی حاصل می‌شود که از انتشار صدا از یک اتاق به اتاق‌های دیگر جلوگیری به عمل آید. بر این اساس، صفحات جاذب متخلخل سبک وزن، به دلیل آنکه عایق‌های صوتی ضعیفی هستند، گزینه‌های مناسبی به شمار نمی‌آیند. لیکن سقف‌های کاذب ساخته‌شده از مواد جاذب غیرمتخلخل و دارای چگالی بالا، از قابلیت توأمان جذب و عایق‌سازی بالا برخوردار بوده و لذا انتخاب مناسبی محسوب می‌گردند. از دیگر نکات حائز اهمیت در خصوص سقف‌های کاذب، ضرورت درزگیری محل اتصال سقف و دیوارها، به جهت جلوگیری از نشت صدا از یک اتاق به سایر اتاق‌ها است [۱].

۵-۳. کف

مهم‌ترین مسئله در طراحی کف اتاق در یک ساختمان، چگونگی مهار نمودن نوفه ضربه^{۱۱} است. نوفه ضربه عمدتاً از یک طبقه از ساختمان به طبقات دیگر و یا از اتاقی به سایر اتاق‌ها انتقال یافته و عواملی همچون راه رفتن، سقوط اجسام و کشیده شدن اثاثیه منزل بر روی کف اتاق، منشأ شکل‌گیری آن می‌باشند. برای ارزیابی میزان عایق‌سازی یک بنا در برابر نوفه ضربه، از شاخصی موسوم به کلاس عایق‌سازی ضربه^{۱۲} استفاده می‌شود که افزایش آن به معنای افزایش سطح عایق‌سازی و متعاقباً کاهش نوفه ضربه است. شاخص مذکور از ۲۵ (برای کف بتنی بدون پوشش) تا ۵۷ (برای کف‌های شناور^{۱۳}) متغیر است. از میان راهکارهای موجود برای افزایش کلاس عایق‌سازی ضربه مناسب‌ترین راه بهره‌گیری از کف‌های شناور است، لیکن در صورت میسر

نبودن این امر، می‌بایست کف اتاق را با فرش پوشاند و از بدون پوشش رها نمودن کف اجتناب نمود. شکل ۶، سه سطح متفاوت از عایق‌سازی در برابر نوفه ضربه را به ازاء سه ساختار مختلف کف، نشان می‌دهد [۱].



شکل ۶. سه سطح متفاوت از عایق‌سازی به ازاء سه ساختار مختلف کف.

۶-۳. سایر ملاحظات عایق‌سازی

۱-۶-۳. جاذب‌های تعبیه‌شده در درها و دیوارهای

دوجداره

مطابق آنچه پیش‌تر اشاره شد، یکی از تدابیری که در عایق‌سازی ساختمان‌ها اتخاذ می‌گردد، پوشاندن فضای خالی میان درها و یا دیوارهای دوجداره با مواد جاذب صدا است. توجه به این نکته ضروری است که تعبیه این جاذب‌ها می‌بایست با در نظر گرفتن ملاحظات همراه باشد. بطور کلی هنگامی که از جاذب‌هایی با تراکم پایین همچون پشم شیشه استفاده می‌شود، بهتر است تمامی فضای خالی با مواد جاذب پوشانده شود. لیکن هنگام استفاده از جاذب‌های پرتراکم همچون الیاف معدنی نباید تمامی فضای خالی را با مواد جاذب پر نمود، زیرا این مواد پرتراکم، خود سبب انتقال ارتعاشات خواهند شد [۱].

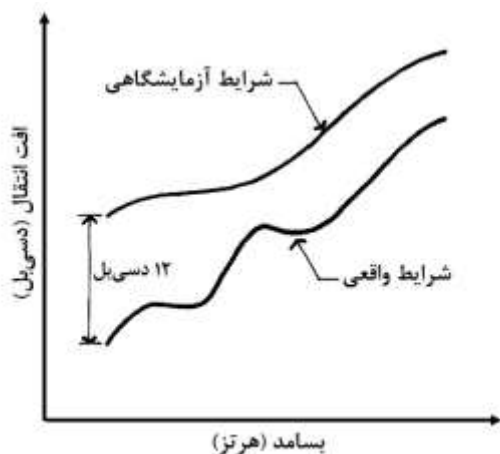
۲-۶-۳. تفاوت شرایط میدانی و آزمایشگاهی

مقادیر افت انتقالی که در آزمایشگاه محاسبه می‌شوند را می‌توان به عنوان شاخص و مبنا در عایق‌سازی یک بنا مورد استفاده قرار داد. اما می‌بایست به این نکته مهم نیز توجه نمود که داده‌های آزمایشگاهی در شرایط آرمانی و توسط متخصصین و تکنیسین‌های خبره مورد محاسبه قرار می‌گیرند. همین امر سبب می‌شود تا مقادیر افت انتقال آزمایشگاهی بسیار بالاتر از مقادیر واقعی باشند. زیرا در عمل وجود درزهایی که در اثر بی‌توجهی و اهمال کارگران ساختمانی در سازه به‌وجود می‌آیند، افت انتقال را به‌شدت کاهش می‌دهند. به همین جهت تمامی مراحل ساخت و ساز می‌بایست با نظارت کارشناسان انجام پذیرد. در شرایطی که مراحل ساخت بطور کامل توسط متخصصین نظارت نشود، شاخص اس‌تی‌سی سازه تا ۱۵ واحد نسبت به شرایط آزمایشگاهی کاهش می‌یابد. این در حالی است که اگر ملاحظات نصب رعایت شوند، شاخص اس‌تی‌سی تنها به میزان ۵ واحد با شرایط آزمایشگاهی متفاوت خواهد بود [۱].

مهمترین وظیفه ناظرین برای دستیابی به این هدف، جلوگیری از ایجاد درزهایی است که موجب نشت صدا می‌شوند. برای مثال، زمانی که کارگران، حفره‌های بلوک‌های سیمانی یک دیوار تک‌جداره را با سیمان و ملات پر می‌کنند تا افت انتقال آن را افزایش دهند، می‌بایست مرتباً ضرباتی را به بلوک‌ها وارد نمایند. این کار موجب توزیع یکنواخت ماسه و ملات شده و از ایجاد حفره‌های هوا در داخل آن جلوگیری می‌نماید. لذا این وظیفه ناظران است که بر روند اجرای این فرآیند، نظارت کامل داشته باشند تا از وجود خلل و فرج در دیوار جلوگیری شود [۱].

شکل ۷، نمودار تغییرات افت انتقال در شرایط واقعی و آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود، افت انتقال شرایط واقعی و آزمایشگاهی در تمامی بسامدها، به ویژه در بسامدهای پایین تفاوتی محسوس (حدود ۱۲ دسی‌بل) با یکدیگر دارند. لذا در صورت وجود نوفه محیطی بسامد پایین در محل احداث یک ساختمان، نظارت بر

عملکرد کارگران و پابندی به ملاحظات نصب از ضرورت بسیاری برخوردار خواهد بود [۱].



شکل ۷. نمودار افت انتقال در شرایط واقعی و آزمایشگاهی [۱].

۴. ملاحظات جذب

بهره‌گیری از صفحات جاذب در یک اتاق از طریق کاهش پژواک یا همان انعکاس صدا از سطوح مختلف، تراز ناشی از منابع مولد صدایی که درون اتاق هستند را کاهش می‌دهد. لیکن چنانکه پیشتر نیز اشاره شد، جاذب‌های صدا عوامل مؤثری برای جلوگیری از انتشار صدا از یک اتاق به اتاق دیگر محسوب نشده و برای این کار می‌بایست از عایق‌سازها استفاده نمود. قابلیت جذب مجموع جاذب‌های یک اتاق، از رابطه ۱ قابل محاسبه است [۲].

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n \quad (1)$$

در رابطه فوق، α_i نشان‌دهنده ضریب جذب صفحات جاذب واقع بر وجوه مختلف اتاق اعم از سقف، کف و دیوارها و S_i مساحت هریک از وجوه است. پارامتر A ، نیز موسوم به ضریب جذب کلی^{۱۴} بوده و واحد اندازه‌گیری آن ساین^{۱۵} است. پس از محاسبه ضریب جذب کلی یک اتاق، می‌توان میزان کاهش نوفه در آن اتاق را نیز از رابطه ۲ محاسبه نمود [۲].

$$NR = 10 \times \log \frac{A_2}{A_1} \quad (2)$$

در این رابطه A_1 و A_2 به ترتیب نشان‌دهنده ضریب جذب کلی اتاق، قبل و بعد از نصب صفحات جذب و NR، میزان کاهش نوفه بر حسب دسی‌بل می‌باشد. بیشترین مقدار NR که با جاذب‌های متداول می‌توان بدان دست یافت، عموماً از ۱۲ تا ۱۵ دسی‌بل فراتر نمی‌رود. این در حالی است که دستیابی به کاهش نوفه‌ای معادل ۶ تا ۸ دسی‌بل به راحتی میسر است. نکته مهمی که می‌بایست بدان توجه نمود آن است که تمامی مقادیری که برای NR ذکر گردید، مربوط به مناطقی از اتاق است که به اندازه کافی از منبع صدا دور هستند؛ زیرا جاذب‌ها اساساً اثرات نامطلوب پرتوهای که از وجوه اتاق منعکس می‌شوند را کاهش داده و تأثیری بر پرتوهای صدایی که مستقیماً از منبع به سوی شنونده گسیل می‌شوند، نخواهند داشت [۲].

انتخاب، طراحی و تعبیه جاذب‌ها می‌بایست با لحاظ نمودن ملاحظات ویژه‌ای صورت پذیرد که اهم آنها به شرح ذیل می‌باشند:

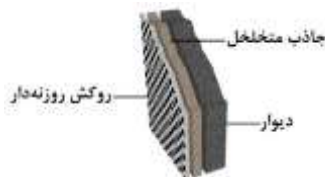
۱- اولین گام در طراحی یک سازوکار جاذب صدا در ابنیه مختلف، تعیین نوع جاذب‌ها است. جاذب‌های متخلخل^{۱۶} و تشدیدی^{۱۷} دو نوع از متداول‌ترین جاذب‌های صدا به‌شمار می‌آیند. در این میان جاذب‌های تشدیدی را عمدتاً برای جذب صدای بسامد پایین و جاذب‌های متخلخل را برای جذب صدای بسامد بالا مورد استفاده قرار می‌دهند [۶]. نوع جاذب‌هایی که در یک مکان مورد استفاده قرار می‌گیرد، با توجه با طیف نوفه محیطی آن مکان تعیین می‌شود. به بیان دیگر، در شرایطی که کاهش نوفه بسامد پایین اولویت داشته باشد، نوع جاذب‌های به‌کار گرفته شده نسبت به حالتی که کاهش نوفه بسامد بالا در اولویت باشد، متفاوت می‌باشد. از این روی انتخاب جاذب کاملاً به اولویت‌ها و ملاحظات صوتی مکان مورد نظر وابسته است. به‌عنوان مثال، برای تعبیه جاذب در یک آزمایشگاه صوتی و یا یک استودیو ضبط

صدا که در محیط پر رفت‌وآمد شهری قرار دارد، توجه به نوفه پهن باند خودروها امری ضروری به‌شمار می‌آید. مضاف بر این، منابع مولد نوفه دیگری همچون رایانه‌ها و سامانه تهویه و ... با محدوده بسامدی گوناگون نیز ممکن است در خود ساختمان آزمایشگاه یا استودیو وجود داشته و در روند آزمایش‌ها و یا ضبط صدا اختلال ایجاد نمایند که تعبیه جاذب، اثرات نامطلوب آنها را کاهش می‌دهد. لذا با توجه به پهن باند بودن نوفه محیطی در مثال فوق، می‌بایست ترکیبی از جاذب‌های متخلخل و تشدیدی را مورد استفاده قرار داد؛ این امر جذب صدا را به‌طور مطلوب و در محدوده بسامدی گسترده، امکان‌پذیر می‌سازد [۱ و ۶].

۲- همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، بهتر است جاذب‌های متخلخل را مستقیماً بر روی دیوارها قرار نداده و آنها را به گونه‌ای تعبیه نمود که یک فضای خالی بین جاذب و دیوار موجود باشد. این امر ضریب جذب در بسامدهای پایین را افزایش می‌دهد. یکی دیگر از روش‌هایی که سبب افزایش جذب صدای بسامد پایین در جاذب‌های متخلخل می‌شود، بهره‌گیری از روکش‌های روزنه‌دار^{۱۸} است. در عین حال استفاده از این روکش‌ها ضریب جذب در بسامدهای بالا را کاهش می‌دهد. نمایی از روکش‌های روزنه‌دار در شکل ۹ نشان داده شده است [۱].



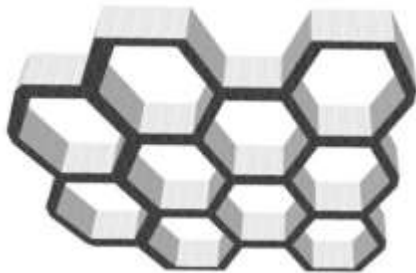
شکل ۸. تعبیه جاذب‌های متخلخل با فاصله از دیوار، به‌جهت افزایش ضریب جذب در بسامدهای پایین.



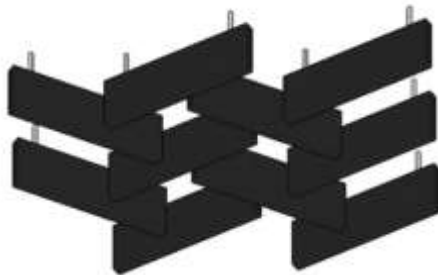
شکل ۹. تعبیه جاذب‌های متخلخل با روکش‌های روزنه‌دار، برای افزایش ضریب جذب در بسامدهای پایین.



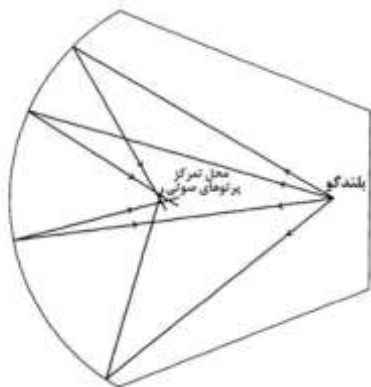
شکل ۱۰. شیوه صحیح کارگذاری جاذب‌ها [۸].



شکل ۱۱. جاذب‌های لانه زنبوری [۱].



شکل ۱۲. معلق نمودن صفحات جاذب از سقف [۱].



شکل ۱۳. تمرکز پرتوهای صوتی در برخورد با سطوح مقعر [۹].

۳- نصب تمامی جاذب‌ها می‌بایست مطابق روش تعیین شده از سوی سازندگان جاذب انجام گیرد. به بیان دیگر، ضریب جذبی که برای یک جاذب در کاتالوگ آن ذکر شده بر اساس روش نصب پیشنهاد شده از سوی سازنده آن بوده و در صورتی که روش نصب آن تغییر یابد، ضریب جذب به طرز چشمگیر و بعضاً تا نصف مقدار نامی کاهش می‌یابد [۷].

۴- جاذب‌های متخلخل را نباید بطور کامل رنگ نمود زیرا این کار موجب انسداد خلل و فرج‌های موجود در سطح جاذب و متعاقباً کارایی آن می‌گردد. در صورت لزوم می‌توان لایه نازکی از رنگ را با اسپری بر جاذب‌ها پاشید [۷].

۵- قابلیت جذب صدا با افزایش سطح مواد جاذب افزایش می‌یابد. لذا بهتر است جاذب‌ها را به‌گونه‌ای تعبیه نمود که تمامی وجوه آنها در معرض برخورد با امواج صوتی قرار گیرند. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، صفحات جاذب به یکدیگر چسبانده نشده و با فاصله از هم قرار گرفته‌اند تا سطوح جاذب صدا و متعاقباً قابلیت جذب صدا افزایش یابد. از راه‌کارهای دیگر موجود برای افزایش جذب صدا، استفاده از جاذب‌های لانه زنبوری است که نمایی از آن در شکل ۱۱ ارائه شده است. نیز می‌توان به جای نصب صفحات جاذب بر روی سقف، آنها را به‌گونه‌ای که در شکل ۱۲ نمایش داده شده، معلق نمود [۱ و ۸].

۶- مواد جاذب صدا را می‌بایست بر روی سطوحی نصب کرد که منشأ تولید پژواک به‌شمار می‌آیند. برای مثال، سطوحی مقعری که صدا را در یک نقطه متمرکز می‌کنند، از سطوحی هستند که می‌بایست با مواد جاذب پوشانده شوند [۷ و ۹]. چگونگی تمرکز پرتوهای صوتی پس از برخورد با سطوح مقعر را نمایش می‌دهد.

۷- یکی از راه‌های موجود برای کنترل نوفه سامانه تهویه، استفاده سامانه‌های الغاء نوفه عامل^{۱۹} است. این سامانه‌ها بر روی بسامد غالب^{۲۰} نوفه منتشر شده از سامانه تهویه، تنظیم می‌شوند و سپس با تولید امواج صدایی با بسامدی یکسان اما با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه نسبت به نوفه سامانه تهویه، موجبات الغاء نوفه آن را فراهم می‌آورند. راه دیگر برای کنترل نوفه سامانه تهویه، پوشاندن کانال‌های سامانه تهویه با مواد جاذب است [۱].

۵. نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، تعدادی از ملاحظات طراحی ناظر بر کنترل نوفه در ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفت. اعمال این ملاحظات با دو رویکرد عمده انجام می‌شود؛ نخست، کاهش انتقال نوفه از فضای بیرون ساختمان به محیط داخلی

۶. مأخذ

(ملاحظات عایق‌سازی) و دوم، کاهش نوفه موجود در فضای داخلی ساختمان با بهره‌گیری از مواد جاذب صدا (ملاحظات جذب). اشاره شد که اجزاء مختلف ساختمان مشتمل بر درها، دیوارهای داخلی و خارجی، پنجره‌ها، سقف و کف، هریک می‌تواند راهی برای انتقال نوفه تلقی گردد و لذا می‌بایست با اتخاذ تدابیری، کلیه طرق انتقال صدا از آنها را مسدود نمود. از سوی دیگر، نوفه ناشی از منابع مولد صدا در داخل ساختمان نیز با تعبیه مواد جاذب صدا قابل مهار است. انتخاب نوع جاذب می‌بایست با توجه به محدوده بسامدی نوفه، انجام شده و نصب آن نیز با رعایت اصولی که به تفصیل بدان اشاره شد، و مطابق با روش‌های پیشنهاد شده از سوی سازندگان صورت پذیرد.

- [1] Egan, D. M., *Architectural Acoustics*. J. Ross Publishing, 2007
- [2] Rossing, T. D., *Springer Handbook of Acoustics*. Springer, 2007.
- [3] Cowan, J., *Architectural Acoustics Design Guide*. McGraw-Hill, 2007.
- [4] Hopkins, C., *Sound Isolation*. Butterworth-Heinemann, 2007.
- [5] Maling, G. C., *Technology for Quieter America*. The National Academy Press, 2010.
- [6] Vigran T. E. *Building Acoustic*. Taylor & Francis, 2008.
- [7] Cox, T. J. and P. D'Antonio, *Acoustic Absorber and Diffusers*. Spon Press, 2005.
- [8] <http://www.envirotech-acoustics.com/acoustic-baffles.html>.
- [9] Porges, G., *Applied Acoustics*. Edward Arnold, 1977.

پی‌نوشت

1. Silence Room
2. Isolation
3. Plywood
4. Isolator
5. Transmission Loss

۶. اس‌تی‌سی یا کلاس انتقال صدا (STC; Sound Transmission Class) یکی از شاخص‌هایی است که برای ارزیابی قابلیت یک ماده در عایق‌سازی صدا، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص مختص صداهای واقع در بازه بسامدی ۱۲۵ تا ۴۰۰۰ هرتز بوده و در بسامدهای بسیار بالا و یا پایین، کاربرد ندارد. افزایش کلاس انتقال صدا به مثابه افزایش کارایی ماده در عایق‌سازی صدا است [۱].

۷. به‌طور کلی افت انتقال هر ماده با افزایش جرم و کاهش سفتی (Stiffness) آن افزایش می‌یابد. از این روی، در صورتی که از قطعاتی با قابلیت ارتجاعی بالا در طراحی سازه استفاده شود، افت انتقال سازه نیز افزایش می‌یابد [۲].

8. Neoprene
9. Grout
10. Threshold
11. Impact Noise

-
12. IIC; Impact Isolation Class
 13. Floated Floor
 14. Total Absorption
 15. Sabin
 16. Porous Absorber
 17. Resonant Absorber
 18. Perforated Coating
 19. ANC; Active Noise Cancelation
 20. Dominant Frequency