Archive of SID

مقاله پژوهشی

واکاوی شرایط آکوستیکی مساجد تاریخی تبریز از منظر گونه‌بندی حجمی و فرمی[1]

فرزانه قلی‌زاده
دکترای معماری اسلامی
دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز
f.gholizadeh@tabriziau.ac.ir

عباس غفاری*
دانشیار
دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز
ghaffari@tabriziau.ac.ir

محمدعلی کی‌نژاد
استاد
دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز
ma_kaynejad@tabriziau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۵

چکیده

صدا یکی از عوامل مهم در ایجاد حس مطلوب در یک مسجد است و می‌تواند به‌عنوان واسطه‌ای حسی برای برقراری ارتباط روحی با خدا باشد. از سویی دیگر فاکتورهای معمارانه متعددی بر کیفیت آکوستیک تأثیر می‌گذارند و لذا می‌توان صدا را عامل ارتباط‌دهنده معماری به عملکرد مسجد دانست. پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی شرایط آکوستیکی کاربری مسجد، دو حالت ایستاده و نشسته را به‌منظور شبیه‌سازی حالات نمازگذار اندازه‌گیری میدانی نموده است. فرم و حجم دو پارامتر معماری مدنظر و نوفه زمینه[2]، زمان واخنش[3] و تراز فشار صدا[4] سه متغیر آکوستیکی مطالعه بوده و ۱۵ مسجد تاریخی تبریز در ۴ رده حجمی و ۵ دسته فرمی مورد آزمون قرار گرفته‌اند. استناد مطالعه استاندارد ۳۳۸۲[5] بوده و سنجش‌ها با تجهیزات شرکت B&K و دوربین صوتی انجام یافته است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد دسته‌بندی فرمی مورد نظر مطالعه تأثیر چندانی در وضعیت آکوستیکی ایجاد نمی‌کند و عمده تفاوت‌ها ناشی از تغییرات حجمی است. همین امر وجود شناسه صوتی مشخصی را برای مساجد تاریخی در تبریز به اثبات می‌رساند که منبعث از ساختار اجرایی مصالح است. نمونه‌ها عناصر ساختاری مشترکی همچون قوس‌ها، جداره‌های برآمده، گوشه‌سازی‌ها، تزییناتی چون کاربندی، سطح ستون‌ها و ... با مصالح یکسان دارا هستند که با پخش و پراکنش صدا سبب ایجاد بازخوردهای آکوستیکی مشابه می‌شوند.

واژگان کلیدی: آکوستیک معماری، مسجد، فرم، حجم.

۱. مقدمه

مطالعه پیرامون آکوستیک فضاهای عبادی گستره‌ای به وسعت تمام ادیان و پهنایی به جغرافیای کل جهان دارد. هر آیین و دینی بسته به عملکردی که از فضای عبادی انتظار دارد، شرایط آکوستیکی مختلفی را درنظر می‌گیرد. اسلام که مهم‌ترین عملکرد آیینی خود را اقامه نماز و ارجح‌ترین بنای عبادی را مسجد تعریف کرده است؛ پژوهشگرانی را از سراسر جهان اسلام ترغیب به مطالعاتی با موضوعیت آکوستیک

www.SID.ir

Archive of SID

نموده است. مساجد مشهور جهان اسلام مورد تحلیل قرار گرفته و فاکتورهای فیزیکی و ادراکی مختلفی در آنها سنجیده شده است. اگر تاریخ‌نگاری مطالعات به دهه اخیر قرن ۲۰ محدود شود؛ نخستین پژوهش‌ها به مساجدی از اردن مربوط بوده و در سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ انجام گرفته است که در آنها متغیرهای مختلفی در بستر میدانی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند [۱-۲].

زمان واخنش و تراز فشار صدا متغیرهای ارجح در مطالعات بوده و در اماکن عبادی متعددی در جهان به‌منظور تحلیل شرایط آکوستیکی سنجش شده‌اند. در این میان از همان سال‌های نخستین مطالعات آکوستیک مساجد تاکنون، از آنجا که چالش اصلی در چنین فضایی، وضوح گفتار است، پارامترهای عینی و ذهنی وضوح گفتار مورد توجه محققین این عرصه قرار گرفته و در مساجد مشهور جهان اسلام همچون مسجد شاه عالم مالزی [۳]، مسجد دولتی کویت [۴]، مسجد ابوالعباس مصر [۵]، مساجد متعددی از عربستان [۶]، مسجد جامع داکا[۶] در بنگلادش [۷]، مسجد الفیضین [۷]، تامان پوتری کولای[۸] [۸]، مساجد بومی [۹-۱۰]، مسجد جامع[۹] و مسجد یو پی ام[۱۰] [۱۱] که همگی در مالزی قرار دارند، مسجد سلیمانیه ترکیه [۱۲، ۱۵]، مسجد قرطبه [۱۳]، مسجد ایاصوفیه [۱۴]، مسجد ایندراپوری[۱۱] اندونزی [۱۶]، مسجد گل بهار خاتون[۱۲] در ترابزون [۱۷]، مسجد سلطان عبدالله در اردن [۱۸]، شبیه‌سازی مسجد دانشگاه عبدالرحمن ابن فیصل عربستان [۱۹] و مساجد متعدد بسیار دیگری تحلیل شده است.

با استناد به مطالعاتی که ضرورت تحلیل رفتار صدا در مساجد تاریخی را از منظر توجه به میراث فرهنگی مهم می‌دانند و با این نگاه به مقوله آکوستیک که صدا نیز بخشی از میراث فرهنگی به‌شمار می‌آید؛ [۲۲-۲۵] توجه به آکوستیک مساجد تاریخی اهمیت دوچندان می‌یابد. مسجد سلطان[۱۳] در مانیسای ترکیه [۲۰]، مسجد جامع یوگیاکارتا[۱۴] در اندونزی [۲۲-۲۱]، و بازسازی مجازی آکوستیک مسجد قرطبه [۲۳]، از جمله مساجد تاریخی هستند که دیدگاه پژوهشگران به آکوستیک آنها، از بُعد میراث فرهنگی مطرح شده است. ایران علی‌رغم دارا بودن معماری تاریخی بسیار در مطالعات محدودی به این مسأله پرداخته است. مساجد دوره قاجار تبریز و مقایسه کیفیت آکوستیکی آنها با کلیساها [۲۴]، تأثیر گنبد مسجد امام اصفهان بر رفتار صوتی فضا [۲۵-۲۶]، عالی قاپو و مسجد شیخ لطف‌اله [۲۷] و آکوستیک مسجد جامع یزد [۲۸] از اماکن تاریخی مورد توجه در ایران و در حیطه آکوستیک هستند. با این دیدگاه می‌توان انجام پژوهش‌های آکوستیک در مساجد تاریخی ایران را ضرورت دانسته، بر مساجد شهر تبریز که شهری با بافت سنتی است، تأکید بیشتری نمود. مطالعه حاضر با عنایت به این امر نمونه‌هایی را در دسته‌بندی حجمی و فرمی انتخاب و به تحلیل شرایط آکوستیکی در آنها پرداخته است.

۲. مواد و روش‌ها:

۲-۱. روش‌شناسی سنجش با استناد به ISO3382

ISO3382 که به نحوه سنجش آکوستیکی فضای معماری اختصاص دارد، برای اندازه‌گیری و شبیه‌سازی کاربری هر عملکرد سه راهکار ارائه می‌دهد: سنجش اول در حالت کاملا پر است، به‌طوری‌که ۸۰ تا ۱۰۰ درصد جمعیت یک فضا در آن حاضر باشند. سنجش دوم در نمونه کاملا خالی از جمعیت انجام می‌شود و سنجش سوم حالت استودیو نامیده می‌شود که نفرات آزمایش‌کننده در مکان حضور دارند. منبع و میکروفون‌ها بایستی حالت واقعی پخش صدا را شبیه‌سازی نمایند و هر یک در موقعیت اصلی خود قرار داده شوند. ارتفاع سنجش بایستی حداقل ۱/۵ متر از زمین، ۱ متر از جداره‌ها و ۲ متر از یکدیگر فاصله داشته باشد. در سه سطح تعریف شده برای سنجش در این استاندارد، سطح نخست پیمایشی میدانی است که در آن موقعیت استقرار منبع بایستی ۱ حالت و بیشتر از آن، موقعیت میکروفون ۲ حالت و بیشتر از آن

www.SID.ir

Archive of SID

باشد. سطح دوم که مهندسی نامیده می‌شود هم برای منبع و هم برای میکروفون ۲ حالت و بیشتر متصور است. سطح سوم که فنی و دقیق است حالت منبع را ۲ مدل و بیشتر و حالت میکروفون را ۳ مدل و بالاتر از ان درنظر می‌گیرد [۲۹-۳۰].

پژوهش حاضر با انتخاب وضعیت استودیو و با رعایت تمام فاصله‌های اندازه‌گیری، سطح پیمایشی را برای سنجش برگزیده و در تمام نمونه‌ها منبع را فقط در محراب و با ارتفاع ۱/۷ متر جای داده است. این مطالعه قرارگیری میکروفون در دو موقعیت را به دو ارتفاع ایستاده و نشسته تعمیم داده و در کمترین تعداد سنجش که در کوچکترین نمونه‌ها رخ داده است؛ ۴ نقطه را اندازه‌گیری نموده است.

۲-۲. نمونه‌های موردی

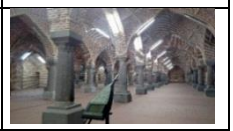
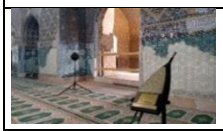
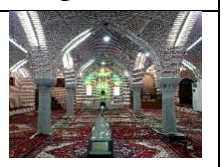
تبریز شهری تاریخی است و فضاهای معمارانه سنتی بسیاری در آن جای دارد. از بین مساجد تاریخی متعدد موجود در آن، ۵۶ نمونه به ثبت سازمان میراث فرهنگی و گردشگری رسیده است که در اندازه‌های مختلف و فرم‌های متعدد هستند. مصالح آنها آجری، گچی، سنگی و گاه کاشی است و کشیدگی آنها در راستای قبله، عمود بر آن و یا به شکل مربعی طرح شده است. ۱۳ نمونه در بین آنها به جهت فرم خاص، تعمیرات و یا الحاقات غیرقابل جابه‌جایی امکان مطالعه اکوستیکی ندارد.

در پژوهش حاضر نمونه‌های با مصالح غیرهمسان همچون نمونه‌های گچی و سنگی، به‌منظور کنترل متغیرهای مداخله‌گر حذف می‌شوند و مساجدی که شرایط فرمی آنها، همانند دیگری ندارد؛ مانند نمونه‌های گنبددار با کشیدگی عرضی که تعداد آنها محدود و قابل مقایسه با اکثریت نمونه‌ها نیستند؛ نیز در روند مطالعه قرار نمی‌گیرند. به این ترتیب می‌توان از بین ۵۶ مسجد تاریخی ثبت شده در شهر تبریز، ۱۵ نمونه را با مشابه‌ترین شرایط ساختاری انتخاب و در ۳ دسته حجمی بزرگ، متوسط و کوچک و ۵ گروه فرمی ستون‌دار طولی (کشیدگی طولی در محور قبله)، ستون‌دار عرضی (کشیدگی عرضی در محور قبله)، ستون‌دار مربعی (طول و عرض برابر)، طاقی (ساختار طاق و تویزه در سقف) و گنبددار (دارای گنبد شاخص) به‌عنوان نمونه‌های موردی مطالعه حاضر مورد تحلیل قرار داد. که در جدول ۱ و ۲ مشاهده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. نمونه‌های موردی مطالعه و چینش نقاط سنجش در آنها

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبددار
بزرگ	مسجد حجت‌الاسلام	مسجد ۶۳ ستون	مسجد امام جمعه	مسجد جامع	مسجد کبود
					
	داخل بافت بازار تبریز	داخل بافت بازار تبریز	داخل بافت بازار تبریز	داخل بافت بازار تبریز	مجاورت خیابان امام
متوسط	مسجد شهیدی	مسجد شهدا	مسجد قیزیللی	مسجد جامع کوچک	مسجد حاج صفرعلی
	داخل بافت بازار تبریز	داخل بافت بازار تبریز	داخل بافت بازار تبریز	داخل بافت بازار تبریز	داخل بافت بازار تبریز
کوچک	مسجد خلخالی	مسجد شهید صدوقی	مسجد حاج غفار	مسجد حاج غنی	مسجد میل‌لی
					
	داخل بافت بازار تبریز	داخل کوچه ماشین رو	خیابان ۱۷ شهریور	داخل کوچه ماشین رو	مجاورت خیابان بهار

جدول ۲. مشخصات اندازه‌ای نمونه‌ها

	ستون‌دار طولی			ستون‌دار عرضی			ستون‌دار مربعی			طاقی			گنبددار		
نمونه‌ها	حجت الاسلام	شهیدی	خلخالی	۶۳ستون	شهدا	شهید صدوقی	امام جمعه	قیزیللی	حاج غفار	جامع	جامع کوچک	حاج غنی	کبود	حاج صفرعلی	میل‌لی
حجم کلی	۷۳۰۰	۵۸۰۰	۱۲۰۰	۶۱۰۰	۲۶۰۰	۵۰۰	۵۰۰۰	۲۸۰۰	۱۱۵۰	۸۶۰۰	۵۱۰۰	۳۰۰	۱۲۷۰۰	۱۹۰۰	۸۰۰
طول محور قبله	۶۰/۴	۴۱/۱	۱۸/۷۵	۳۵/۲۵	۲۰/۳	۸/۵	۳۱	۲۴	۱۳/۶	۶۰	۳۴	۱۱/۵	۲۹/۸	۲۳/۹	۱۱/۵
عرض عمود بر قبله	۲۹/۱	۲۹/۵	۱۶/۹	۴۷/۴۵	۳۰/۲	۱۳/۹	۳۰/۱	۲۵/۴	۱۶/۷۸	۱۵/۲	۱۵/۹	۵/۷	۴۱/۵	۸/۷	۱۰/۲
بیشترین ارتفاع	۵/۹	۶/۳	۵/۳	۴/۹۵	۵/۷	۵	۵/۹۵	۵/۸	۶	۱۱/۷۵	۱۱/۷۵	۶/۷	۲۰/۵۵	۱۱	۱۱

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۳. سنجش‌های سنجش‌گر ۲۲۶۰

با استناد به مطالعات آکوستیکی انجام یافته در سراسر جهان، سنجش‌گر ۲۲۶۰ یکی از کارآترین دستگاه‌های سنجش میدانی آکوستیک است که به کمک بلندگوی چندوجهی و آمپلی‌فایر، قادر به تحلیل صدای تولید شده است که در جدول ۳ آمده است. این پژوهش نیز سنجش نمونه‌های خود را با بهره از سنجش‌گر ۲۲۶۰ انجام داده است که در تمام نمونه‌ها، بلندگو در محراب و در ارتفاع قد انسانی (۱/۷ متر) تعبیه شده است. سنجش‌گر علاوه‌بر محور محراب در سراسر سطح نمونه‌ها، بسته به موقعیت‌های مختلف فضایی، در نقاط متعددی قرار گرفته و در تمام نقاط دو حالت ایستاده (۱/۷ متر) و نشسته (۰/۸ متر) مورد ارزیابی بوده است. سه متغیر نوفه زمینه، تراز فشار صدا و زمان واخنش که در تحلیل آکوستیکی فضای معماری مؤثرترین فاکتورها به‌شمار می‌آیند، به کمک این دستگاه قابل اندازه‌گیری است. بنابراین در تمام نمونه‌ها علاوه‌بر سنجش سر و صدای زمینه، دو متغیر دیگر در حالت ایستاده و نشسته در نقاط مختلفی بسته به اندازه سطح نمونه، اندازه‌گیری شده‌اند. فاصله نقاط سنجش محور محراب در نمونه‌های بزرگ ۶ متر در نمونه‌های میانی ۳ متر و در نمونه‌های کوچک ۲ متر درنظر گرفته شده است.

۲-۴. سنجش‌های دوربین صوتی

هدف پژوهش حاضر تحلیل تأثیر فرم و حجم بر واکنش‌های آکوستیکی فضا است و لذا علت‌یابی تصویری وضعیت پخشایی صدا لازم به‌نظر می‌رسد. به همین منظور بازخورد فضا در قبال شدت مشخصی از صدا به تفکیک فرکانس با یکدیگر قیاس می‌شود و لذا نمونه‌های مطالعه، در مراجعه‌ای مجدد با دوربین صوتی برداشت شده‌اند.

منبع صدا در این مرحله از مطالعات، منبع صدای مرجع[۱۵] ساخت شرکت نورسونیک[۱۶] است که میزان صدای تولیدی مشخصی دارد و برداشت‌های تصویری نیز با دوربین صوتی برند سینوس[۱۷] پیش رفته است. در جدول ۳ می‌توان دید دوربین صوتی در هر نمونه، در دو موقعیت انتهای محور محراب و میانه آن قرار گرفته و منبع نیز در محراب جای دارد. نقطه انتهایی در جهت روبه‌رو، راست و چپ چرخش داشته و سنجش در موقعیت میانی علاوه‌بر جهات روبه‌رو، راست و چپ، در جهت پشت سر نیز انجام یافته است. تمام برداشت‌ها با تنظیم ۶۰ ثانیه‌ای صورت گرفته و یافته‌ها و توضیحات به تفکیک فرکانس در هر نمونه تحلیل مجموعه‌ای زمان برداشت است.

تمام فرکانس‌های تحلیل منطبق بر سیستم یک سوم اوکتاوی و مطابق با سنجش‌های ۲۲۶۰ است، لیکن از آنجا که سیستم دوربین صوتی در هر ۵۰ فرکانس یک‌بار توقف دارد؛ در فرکانس ۶۳۰، ۳۱۵ و ۱۶۰ هرتز قابل برداشت نیست و به همین منظور به‌ترتیب ۶۵۰ هرتز، ۳۰۰ هرتز و ۱۵۰ هرتز در مقابل فرکانس‌های مذکور معادل‌سازی شده‌اند.

تحلیل‌ها در این بخش مربوط به تمام برداشت‌هایی است که از نمونه انجام یافته، لیکن در راستای ادراک بصری توضیحات، محقق ناچار به ارائه تصویر برای هر فرکانس است. به همین منظور سنجش انجام گرفته در انتهای محور محراب و جهت رو به قبله انتخاب شده و در تحلیل تصویری، ثانیه ۲۰ ام سنجش در تمام نمونه‌ها مدنظر قرار گرفته است. ثابت بودن زمان در تصویربرداری از فیلم‌های موجود، رفتار یک لحظه واحد را به تفکیک فرکانس نشان می‌دهد و لذا رعایت این امر ضروری است. بازه‌ی فشار حاکم بر کیفیت تصویری برداشت نیز، ۱۰- تا ۴۵ دسی‌بل بوده و هرچه صدای موجود به عدد بیشینه نزدیک و یا بیشتر از آن باشد، رنگ صدا سفید و با نزدیکی به میانه طیف به رنگ زرد و در کمینه طیف به رنگ قرمز متمایل می‌شود. فشار ثابت نیز تفاوت در نمونه‌ها را قابل مقایسه نموده پراکندگی صدا در فضا را نمایش می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. تجهیزات داده‌برداری

سنجش‌گر ۲۲۶۰ و تجهیزات همراه

دوربین صوتی و منبع RSS

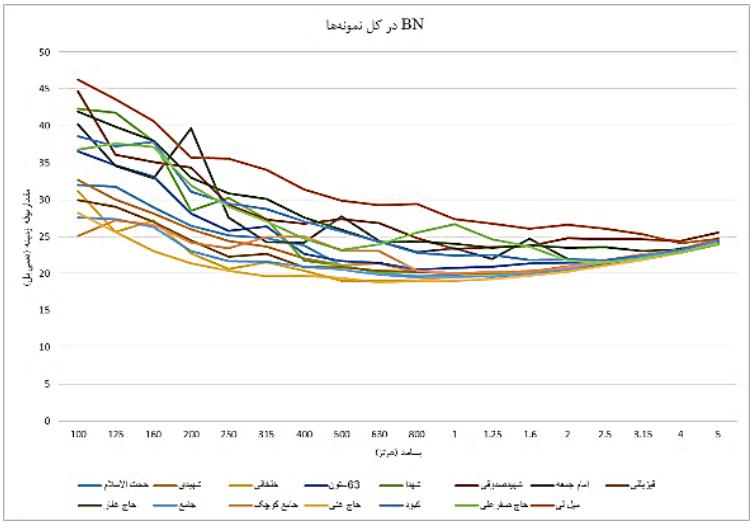
۳. نتایج

۳-۱. نوفه زمینه

نوفه زمینه در تمام نمونه‌های سنجش، فارغ از مکان، فرم و حجم نمونه الگوی ثابتی دارد. در تمام نمونه‌ها فرکانس‌های پایین، میزان نوفه بیشتری ثبت نموده و با افزایش فرکانس در غالب نمونه‌ها، کاهش میزان نوفه زمینه[۱۸] وجود دارد. هرچه فرکانس بیشتر می‌شود، تأثیر حجم بر نوفه زمینه کاهش می‌یابد و اختلافات فاحش موجود در فرکانس‌های پایین، کمرنگ‌تر می‌شوند. به‌عبارتی دیگر با افزایش فرکانس، عوامل معمارانه، همچون حجم و فرم بر نوفه کم‌تأثیرتر می‌شوند و تغییرات مشابه‌تر می‌گردند.

بیشترین BN در نمونه گنبددار کوچک مطالعه، مسجد میل‌لی واقع در مجاورت خیابان بهار، ثبت گردیده و کمترین میزان آن، تقریبا به نمونه کوچک طاقی مطالعه، مسجد حاج غنی واقع در درب گجیل اختصاص یافته است. نوسانات و تنش‌های تقریبا شدیدی در بزرگترین نمونه ستون‌دار مربعی، مسجد امام جمعه، وجود دارد که شاید بتوان گفت به‌دلیل حجم بزرگ آن و همسایگی‌های مختلفی باشد که در جداره‌های آن متعددند. نمونه گنبددار با حجم متوسط در مطالعه، مسجد حاج صفرعلی، نیز شیب ثابتی در فرکانس‌های مختلف از خود نشان نمی‌دهد و سر و صدای پرنوسانی را در فرکانس‌ها ثبت کرده است.

در حالت کلی می‌توان گفت رفتار متفاوت و خاصی در BN نمونه‌های مطالعه وجود ندارد و تمام صداهای ثبت شده الگوی تقریبا مشخصی دارند. نمونه‌ها و تفاوت‌های نوفه آنها حول یک محور فرضی در نوسان است و لذا می‌توان گفت فارغ از مکان، حجم و فرم مساجد، میزان نوفه در مساجد تاریخی تبریز رفتار قابل پیش‌بینی دارد که در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱. میزان سر و صدای زمینه در نمونه‌های مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲. زمان واخنش

در حالت ایستاده، بین نمونه‌های مورد مطالعه، بیشترین زمان واخنش در بزرگترین نمونه گنبددار مطالعه، مسجد کبود رخ می‌دهد. ۶/۱۱ ثانیه در ۱۰۰ هرتز بیشترین زمان واخنش ثبت شده در حالت ایستاده بین نمونه‌ها است. نمونه متوسط ستون‌دار طولی، مسجد شهیدی، ۴/۴۱ ثانیه در ۱۰۰ هرتز، زمان واخنش دارد و پس از آن مسجد حجت‌الاسلام به‌ترتیب بیشینه‌های زمان واخنش را در فرکانس های ۱۲۵ و ۱۰۰ هرتز با ۴/۴ و ۴/۲۶ ثانیه از آن خود کرده است. پس از آن مسجد جامع در ۱۰۰ هرتز ۴/۱۶ ثانیه زمان واخنش دارد و پس از آن همه نمونه‌ها زمان واخنش کمتری در تمام فرکانس‌ها ثبت کرده‌اند.

در حالت نشسته مقادیر بیشینه در بین همه نمونه‌ها کاهش دارند و اینبار بیشترین مقدار زمان واخنش برابر با ۴/۹۱ و ۴/۹ ثانیه در فرکانس‌های ۱۰۰ و ۱۲۵ هرتز، مربوط به نمونه بزرگ گنبددار، مسجد کبود، است. در بزرگترین نمونه ستون‌دار طولی، مسجد حجت‌الاسلام، نشستن، باعث افزایش زمان واخنش تا ۴/۸۴ ثانیه می‌شود و نوسانات این نمونه در دیگر فرکانس‌ها نیز شدیدتر می‌گردد. ۴/۴۲ ثانیه بیشترین مقدار زمان واخنش بعدی است که مربوط به نمونه متوسط ستون‌دار طولی در ۱۰۰ هرتز است.

صرف‌نظر از مقادیر بیشینه، دو نمونه بزرگ گنبددار و ستون‌دار طولی بیشترین RT را هم در حالت ایستاده و هم در حالت نشسته در تمام فرکانس‌ها دارند و دیگر نمونه‌ها با اختلاف اندکی از یکدیگر مخصوصا در فرکانس‌های بالاتر از ۱۲۵ هرتز، تابع الگوی منظمی هستند که با افزایش فرکانس، زمان واخنش در آنها با شیب ملایم کاهش می‌یابد. از فرکانس ۴۰۰ هرتز به بالا تفاوت مقادیر RT در بین نمونه‌ها ثابت بوده و جایگاه نمونه از نظر میزان زمان واخنش بین دیگر نمونه‌ها بدون تغییر می‌ماند. به‌جز دو نمونه بزرگ در گروه گنبددار و ستون‌دار طولی که تفاوت بارزی با دیگر نمونه‌ها دارند و ۵ نمونه کوچک مطالعه از هر ۵ دسته فرمی که کمترین مقادیر زمان واخنش را در هر دو حالت ایستاده و نشسته نشان می‌دهند؛ دیگر نمونه‌ها در ۶۳۰ تا ۱۰۰۰ هرتز که غالبا در ۸۰۰ هرتز رخ می‌دهد؛ اوج دیگری تجربه می‌کنند که با مقادیر بیشینه در فرکانس‌های ابتدایی تفاوت بالایی دارد. در هر دو حالت ایستاده و نشسته، کمترین میزان زمان واخنش مربوط به کوچکترین نمونه طاقی، مسجد حاج غنی است که در اغلب فرکانس‌ها، کمتر از ۱ ثانیه است.

این روند نشان می‌دهد در حالت کلی و فارغ از فرم‌های متعدد نمونه‌ها، حجم بالاتر ارائه‌دهنده زمان واخنش بالاتر است و کفپوش‌های ضخیم‌تر با افزایش جذب در فضا، زمان واخنش را کمتر می‌نمایند. همان‌گونه که در تحلیل حجمی حالت ایستاده نمونه‌ها بیان شد؛ در نمونه‌های بزرگ، مسجد گنبددار و ستون‌دار طولی، در نمونه‌های میان حجم، مسجد ستون‌دار طولی تا ۳۱۵ هرتز و نمونه طاقی در فرکانس‌های بالاتر از آن و در گروه حجمی کوچک، مسجد ستون‌دار مربعی و طولی بیشترین مقدار زمان واخنش را از آن خود کرده‌اند. این درحالی است که کمترین مقدار برای زمان واخنش در نمونه‌های حجمی بزرگ و متوسط برای نمونه ستون‌دار عرضی و مربعی و در گروه حجمی کوچک برای نمونه طاقی ثبت گردیده است.

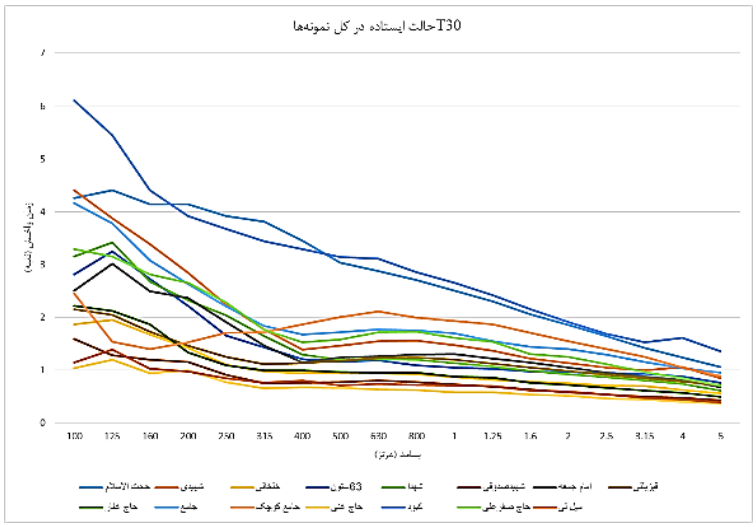
به‌طورکلی می‌توان گفت چه در حالت ایستاده و چه در حالت نشسته هندسه فرمی بر زمان واخنش تأثیر چندانی ندارد و آنچه مهم‌تر است، حجم فضاست. الگوی حاکم بر زمان واخنش تمام نمونه‌ها، به استثنای دو نمونه بزرگ با کفپوش موکت، فارغ از حجم و هندسه فرمی نمونه، بالا بودن زمان واخنش در فرکانس‌های ابتدایی و کاهش آن تا ۴۰۰ هرتز، افزایش نسبی تا تقریبا ۸۰۰ هرتز و کاهش دوباره در فرکانس‌های بعدی است.

کاهش حجم شیب کاهش RT را تقلیل می‌دهد و نمونه‌های کوچکتر تفاوت‌های بارزی در مقادیر RT بین فرکانس‌ها نشان نمی‌دهند. لذا می‌توان گفت الگوی رفتاری نمونه‌ها در زمان واخنش و در هر دو حالت ایستاده و نشسته نیز تقریبا

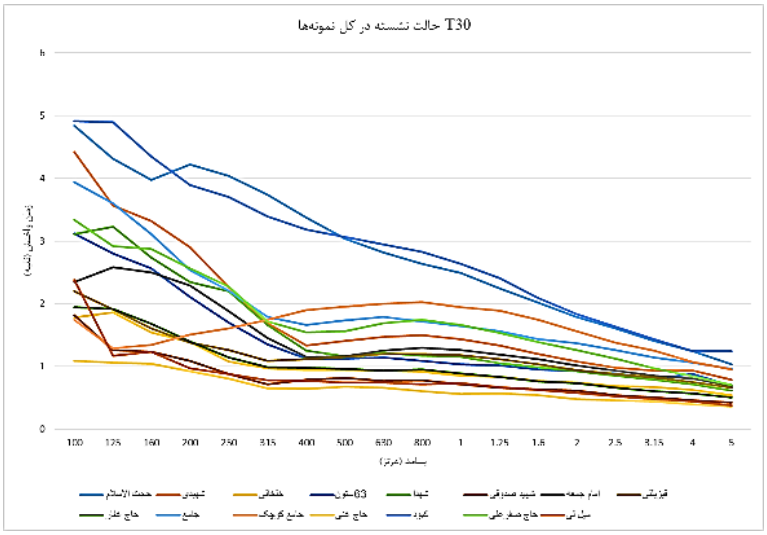
www.SID.ir

Archive of SID

ثابت است. نوسان زمان واخنش در غالب نمونه‌ها حول یک محور فرضی است و لذا در خصوص متغیر RT یا T30 نیز پارامتر حجم ارجح‌تر از هندسه فرمی عمل می‌نماید که در شکل ۲ و ۳ آمده است.



شکل ۲. میزان زمان واخنش نمونه‌ها در حالت ایستاده



شکل ۳. میزان زمان واخنش نمونه‌ها در حالت نشسته

۳-۳. تراز فشار صدا

تراز فشار صدا تغییر قابل‌توجهی در قبال هندسه‌های فرمی از خود نشان نمی‌دهد. این امر که در هر دو حالت ایستاده و نشسته ثابت است؛ بیانگر این مطلب است که فشار صدایی که در فضا ثبت می‌شود ارتباط چندانی به هندسه فرمی ندارد. تمام نمونه‌ها با هر حجم و فرمی، چه در حالت ایستاده و چه در حالت نشسته تا ۲۵۰ هرتز افزایش تراز فشار صدا و پس از آن کاهش SPL دارند. در فرکانس‌های پایین‌تر از ۲۵۰ هرتز، نوسانات نمونه‌ها بیشتر است و در فرکانس‌های بالاتر، الگوی حاکم مشخص‌تر است. تمام نمونه‌ها فارغ از حجم و فرم آن، در ۱۲۵۰ هرتز افت فشار دارند که هم در حالت ایستاده و هم در حالت نشسته وجود دارد.

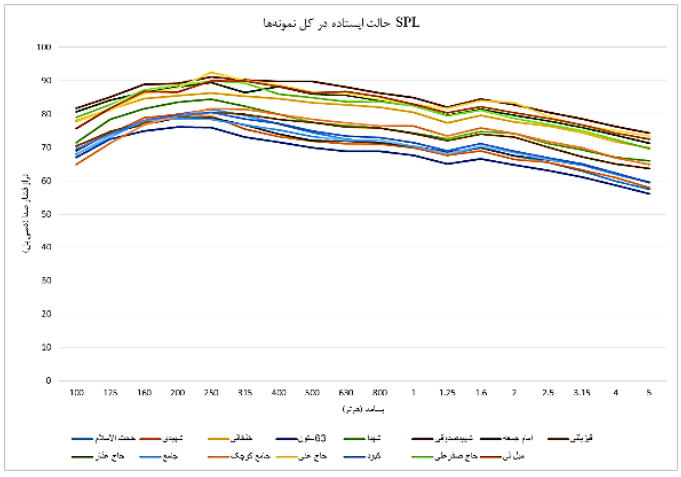
کمترین میزان تراز فشار صدا در غالب فرکانس‌ها هم در حالت ایستاده و هم در حالت نشسته مربوط به بزرگترین

www.SID.ir

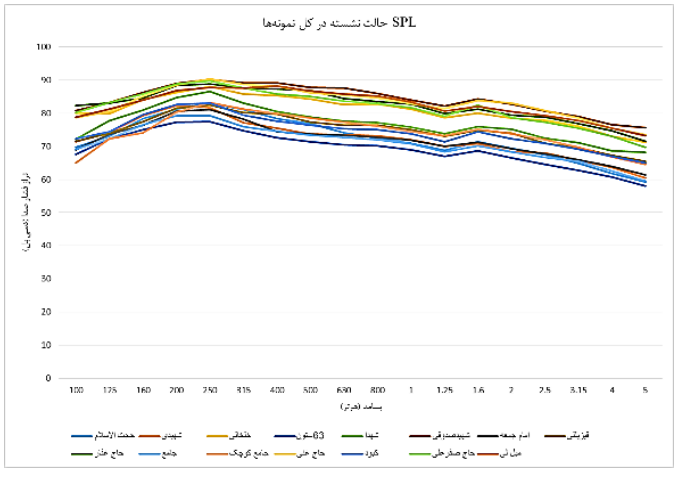
Archive of SID

نمونه ستون‌دار عرضی، مسجد ۶۳ ستون، است و بیشترین SPL در هر دو حالت به کوچکترین نمونه ستون‌دار عرضی، مسجد شهید صدوقی، و کوچکترین نمونه طاقی، مسجد حاج غنی، اختصاص دارد که در فرکانس‌های مختلف متغیر است. لیکن بیشترین مقدار تراز فشار صدا در کل نمونه‌ها مربوط به فرکانس ۲۵۰ هرتز در مسجد حاج غنی است که در حالت ایستاده برابر با ۹۲/۵۵ و در حالت نشسته ۹۰/۳۳ دسی‌بل است.

در حالت کلی حالت نشسته تراز فشار صدای کمتری دارد، لیکن مقادیر آن به حالت ایستاده نزدیک است. نمونه‌های کوچک تراز فشار صدای بالایی را در خود حفظ می‌کنند و این درحالی است که بزرگترین نمونه طاقی و ستون‌دار مربعی تراز فشار صدای کمتری دارند. این امر که هم در حالت نشسته و هم در حالت ایستاده ثابت است؛ نشان می‌دهد حجم در تعیین مقادیر تراز فشار صدا نقش اساسی‌تری ایفا می‌نماید. در متغیر SPL نیز همچون BN و RT، رفتار کلی نمونه‌ها تقریبا ثابت است. تبعیت از الگوی ثابت فارغ از هندسه فرمی و حجم نمونه، در تراز فشار صدا، قطعی‌تر است و عدم تأثیر هندسه فرمی بر تراز فشار صدای حاکم بر فضا، با اطمینان بیشتری تأیید می‌شود که در شکل ۴ و ۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۴. میزان تراز فشار صدای نمونه‌ها در حالت ایستاده



شکل ۵. میزان تراز فشار صدای نمونه‌ها در حالت نشسته

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۴. نحوه پراکنش صدا در نمونه‌ها

در ۵۰۰۰ تا ۳۱۵۰ هرتز نقش بازتاب‌ها بارز است و تشدید در آنها بالا است. در محدوده این فرکانس‌ها مؤلفه‌های معماری صرفا عملکرد بازتابی ندارند و شدت در آنها به حدی است که به‌عنوان منبعی دیگر عامل انتشار صدا در فضا به‌شمار می‌آیند. بدنه ستون‌ها و ساختار سرستون‌ها یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌های انتشار در این محدوده به‌شمار می‌آید. جداره‌های برآمده که پاطاق هستند عامل بارزی در انتقال صدا هستند. بدنه قوس‌ها و سطوح خمیده آنها نیز تا حدودی به پخش صدا در فضا کمک می‌کنند که در جداول ۴، ۵ و ۶ آورده شده‌اند.

جدول ۴. پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۵۰۰۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بالا	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیتریلی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
پایین	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

جدول ۵ . پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۴۰۰۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بالا	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیتریلی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
پایین	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶ . پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۳۱۵۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیرپلی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

از ۲۵۰۰ هرتز تمایل به تمرکز صدا در تمام نمونه‌ها افزایش می‌یابد و در ۲۰۰۰ هرتز منابع انتشار تقریبا در تلفیق با یکدیگر هستند. فضا از مرجعی واحد صدا را دریافت می‌کند که درحال گسترش به سطح بیشتری از فضا است.

غالب نمونه‌ها به جز نمونه‌های کاملا بزرگ در تمام نقاط خود ۲۵۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز را با شدت کمتری می‌شنوند. در ۱۶۰۰ هرتز منبع و بازتاب‌های آن با یکدیگر تلفیق شده‌اند و پخش صدا بسته به مکان تشدید آن اشکال مختلفی به خود می‌گیرد. در نمونه‌هایی که بازتاب‌های سقفی غالب است با ترکیب منابع با یکدیگر، شکل انتشار به راستای عمود می‌گراید و در نمونه‌های با بازتاب‌های ستونی و جداره‌ای، پراکنش صدا در سطح افق اتفاق می‌افتد که در جداول ۷، ۸ و ۹ نشان داده شده است.

جدول ۷ . پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۲۵۰۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیرپلی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸. پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۲۰۰۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیرللی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

جدول ۹. پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۱۶۰۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیرللی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

در فرکانس‌های ۱۲۵۰ و ۱۰۰۰ هرتز، تشدید در ترکیب منابع به حدی قوی است که بخش اعظمی از فضا با فرکانس ۱۲۵۰ و تمام فضا با ۱۰۰۰ هرتز تعامل دارد. این دو فرکانس به خوبی در تمام نمونه‌های مورد مطالعه شنیده می‌شوند و این امر به دلیل هر مؤلفه معمارانه‌ای که باشد وجهی مثبت در ساختار مساجد مطالعه به‌شمار می‌رود.

این دو فرکانس غالب‌ترین فرکانس‌های حوزه گفتارند و لذا می‌توان گفت ساختار فرمی مساجد به کمک بازتاب‌ها، تشدیدها و انعکاس‌های متعدد صورت گرفته، گفتار انسانی را با شدتی بالا در سراسر سطح نمونه با هر اندازه و حجمی منتشر می‌نماید و در جداول ۱۰ و ۱۱ آمده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۰ . پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۱۲۵۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	گبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیتریللی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

جدول ۱۱ . پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۱۰۰۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	گبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیتریللی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

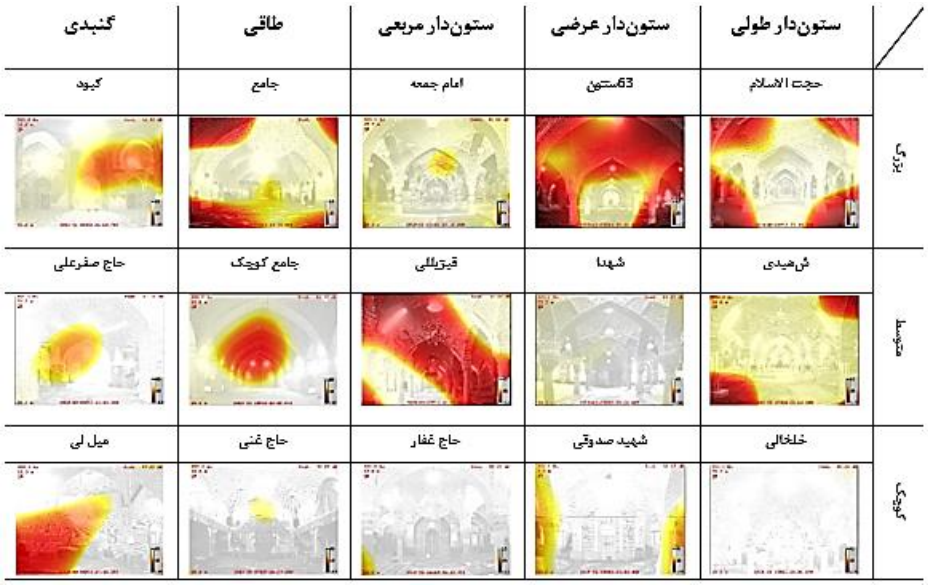
۸۰۰ هرتز فرکانسی با عملکرد متنوع در نمونه‌ها محسوب می‌شود. برخی نمونه‌ها همچنان این فرکانس را در تمام نقاط با شدت بالا منتشر می‌کنند و در برخی دیگر نقطه اوج فضا با هر فرم معمارانه، محلی برای تخلیه انرژی صدا به‌شمار می‌آید. اغلب مساجد مورد مطالعه تمایل دارند که فشار بالا در منبع را حفظ نموده پخش آن در سراسر نمونه با ملایمت در تراز فشار صدا صورت گیرد و ۸۰۰ هرتز فرکانس آغازین رفتار آکوستیکی مذکور بوده، نقاط پرارتفاع در مقابل منبع محل انجام این رفتار به‌شمار می‌آید که در جدول ۱۲ آمده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۲ . پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۸۰۰ هرتز

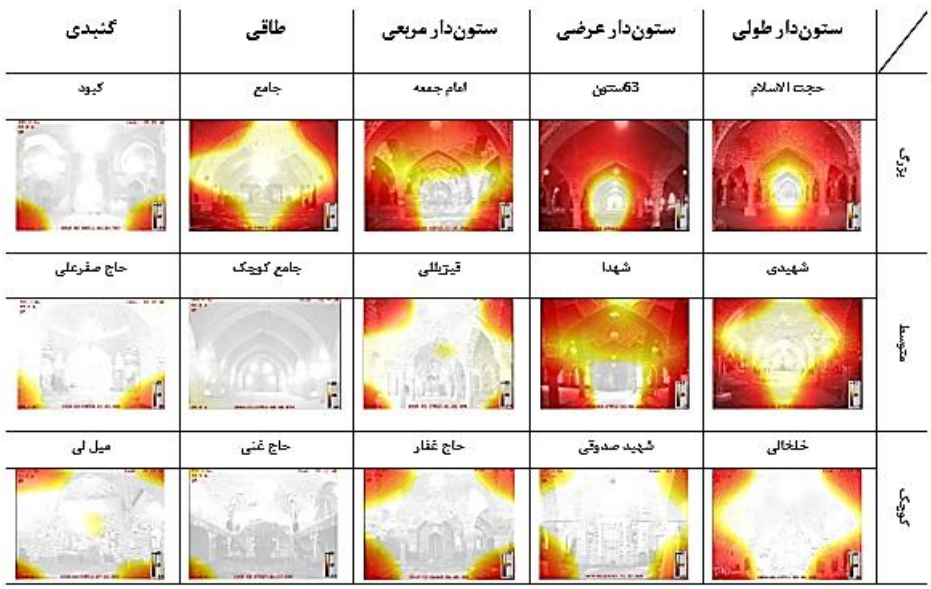
	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	ش‌هیدی	شهدا	قیرللی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی



برخلاف فرکانس‌های پیشین که مؤلفه‌های معماری رفتار آکوستیکی نمونه را تعیین می‌نمود، در فرکانس ۵۰۰ هرتز، حجم در عملکرد اکوستیکی ایفای نقش دارد. رفتار نمونه‌ها به‌نظر با تغییر در حجم، از الگوی مشخصی پیروی می‌کنند و هرچه نمونه بزرگتر باشد شدت بالای صدا به محدوده منبع معطوف بوده سایر نقاط فضا میزان کمتری تراز فشار صدا خواهند داشت. هرچه نمونه کوچکتر می‌شود نقش حجم بارزتر می‌گردد. نمونه‌های متوسط به‌طور واضح پخش پرشدت صدا را منوط به منبع و نقاط بازتابی نموده‌اند و در نمونه‌های کوچک انتشار پرشدت در محور عمودی و افقی مسجد مشهود است. به‌طورکلی می‌توان گفت ۵۰۰ هرتز در سراسر فضا با کیفیتی مطلوب شنیده می‌شود و این امر به دلیل ترکیب موفق منبع و بازتاب‌های فضایی است که از جداره‌های برآمده پاطاق، سطوح خمیده قوس طاق‌ها، سطح ستون‌ها، ساختار سرستون‌ها و ... صورت می‌گیرد که در جداول ۱۳ و ۱۴ دیده می‌شود.

جدول ۱۳ . پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۶۵۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیرللی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی



www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۴ . پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۵۰۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیرقلی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

از ۴۰۰ هرتز به طرف فرکانس‌های بم‌تر، شاخصه بارز فضا انتقال محل انتشار صدا به مؤلفه‌های فرمی سقف است. در ۴۰۰ هرتز نمونه‌های طاقی و گنبددار همچنان فضا را با تلفیقی از منبع و بازتاب آن از سقف پوشش می‌دهند. لیکن نمونه‌های ستون‌دار، انرژی صوتی فضا را از یک منبع واحد که در غالب نمونه‌ها از مؤلفه‌های فرمی سقف در نزدیکی مرجع تولید صدا منتشر می‌شود، تأمین می‌نمایند. در ۳۰۰ و ۲۵۰ هرتز انتشار مرتفع مشهودتر است و محل آن از عنصری در جداره محراب تا مؤلفه‌های سقف متغیر است. هر عاملی که فرمی منحنی داشته باشد چه طاق محراب، چه کاربندی‌های دهانه محراب و چه سطح خمیده گنبدچه‌ها در نمونه‌های ستون‌دار، محلی برای تمرکز انرژی صدا در این فرکانس‌ها و پخش آن به سراسر نمونه به‌شمار می‌آیند که در جداول ۱۵، ۱۶ و ۱۷ مشاهده می‌شود.

جدول ۱۵ . پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۴۰۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیرقلی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۶ . پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۳۰۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیرتلی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

جدول ۱۷ . پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۲۵۰ هرتز

	ستون‌دار طولی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	63ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیرتلی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

تفاوت‌های فرمی مدنظر پژوهش علاوه‌بر اینکه تاکنون ایفای نقش چندانی در رفتار آکوستیکی نمونه‌ها ایجاد نکرده و پخشایی صدا منوط به مؤلفه‌های فرمی مشترک همچون جداره‌ها، سطوح خمیده طاق و کاربندی‌ها، سطح ستون و ساختار سرستون‌ها و ... بوده است؛ در فرکانس‌های ۲۰۰ تا پایین‌تر از آن هیچ عنصری غیر از گوشه‌سازی‌های منحنی انتشار صدا را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. هرچه فرکانس بم‌تر می‌شود محل انتشار از منظر فاصله به منبع تغییر می‌کند، لیکن نوع آن ثابت می‌ماند. تمام نمونه‌ها با هر حجم و فرمی پراکنش صدای ۲۰۰ هرتز را از سطوح منحنی نزدیک محراب که منبع تولید صدا در آن قرار دارد منبعث می‌گردانند. این منبعِ بازتابی گستره کوچکی داشته، هاله‌های کم شدت‌تری به دیگر نقاط فضا می‌رساند. محل انتشار در ۱۵۰ هرتز از منبع دورتر می‌شود و به میانه نمونه می‌رسد. همچنان کاربندی و گوشه‌سازی و فرم منحنی است که محل تشدید صداست و گستره آن بزرگ‌تر شده است. ۱۰۰ هرتز در

www.SID.ir

Archive of SID

انتهای مسجد تشدید می‌شود و همان مؤلفه‌های قوس‌دار و منحنی در پراکنش صدا به اطراف، نقش منبع ایفا می‌نمایند. شدت بالای صدای ۱۰۰ هرتز سطح وسیع‌تری را در برگرفته، هاله زردِ با وسعت پیرامون آن حاکی از آن است که کاهش شدت صدا به اطراف از تدریج منظم‌تری برخوردار بوده صدا آرام آرام تضعیف می‌شود. ساختار سقف چه فرم مسجد ستون‌دار باشد، چه طاقی و چه گنبددار، دارای مؤلفه‌های منحنی شکلی است که اساس پراکنش صدا در این فرکانس‌ها محسوب می‌شوند که در جدول ۱۸ الی ۲۰ آورده شده است.

جدول ۱۸. پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۲۰۰ هرتز

	ستوندار طولی	ستوندار عرضی	ستوندار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	۶۳ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیزیللی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

جدول ۱۹. پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۱۵۰ هرتز

	ستوندار طولی	ستوندار عرضی	ستوندار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	۶۳ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیزیللی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲۰. پراکنش صدا در نمونه‌های سنجش در ۱۰۰ هرتز

	ستوندار طولی	ستوندار عرضی	ستوندار مربعی	طاقی	گنبدی
بزرگ	حجت الاسلام	۶۳ستون	امام جمعه	جامع	کبود
متوسط	شهیدی	شهدا	قیزیللی	جامع کوچک	حاج صفرعلی
کوچک	خلخالی	شهید صدوقی	حاج غفار	حاج غنی	میل لی

۴. بحث

اتخاذ رویکردهای مختلف درخصوص سنجش‌های انجام یافته با سنجش‌گر ۲۲۶۰، شامل تحلیل فرمی، حجمی و آنالیز کلی در تمام نمونه‌ها نشان می‌دهد رفتار کلی در تمام متغیرهای آکوستیکی مطالعه، در تمام دسته‌بندی‌های فرمی مشابه هم عمل می‌کند. نوفه زمینه در تمام نمونه‌ها، در کنار تأثیرپذیری از مکان نمونه، الگوی مشخصی به لحاظ فرم نمونه ندارد. به بیانی دیگر نمی‌توان ادعا نمود مساجد با هندسه فرمی خاص رفتار مشخصی در نوفه زمینه دارند.

زمان واخنش در هر دو حالت ایستاده و نشسته نیز عملکردی مشابه دارد و همان‌گونه که اشاره شد؛ تمام نمونه‌ها، بدون دخالت فرم حاکم بر آنها، افزایش زمان واخنش در فرکانس‌های پایین و سپس کاهش زمان واخنش با افزایش فرکانس دارند. می‌توان ادعا نمود هندسه فرمی در خصوص متغیر زمان واخنش تقریبا تابع حجم عمل می‌کند و در دسته‌بندی‌های مختلف حجمی می‌توان الگوهای رفتاری جداگانه‌ای تعریف نمود. به‌طورکلی، الگوی ثابتی بر نمودارهای زمان واخنش حاکم است که تأثیر هندسه فرمی را به حاشیه می‌برد.

تراز فشار صدا واکنش خاصی به فرم نشان نمی‌دهد و تنها عامل افزایش و یا کاهش آن، حجم نمونه است. الگوی حاکم بر این پارامتر مشخص‌تر و رفتار نمونه‌ها تعریف شده‌تر است. این امر نشان می‌دهد رفتار آکوستیکی فضاهای مورد مطالعه، در صورت وابستگی به عاملی معمارانه، به حجم وابسته‌ترند تا به هندسه فرمی. به بیانی دیگر، متغیر آکوستیکی یا به عوامل معماری مورد تأکید در این پژوهش ارتباط ندارد و یا در صورت ارتباط، حجم، عامل تعیین‌کننده است.

تاکنون نتایج پژوهش نشان می‌دهد عاملی که در رفتار آکوستیکی نمونه‌ها تأثیرگذار است؛ فراتر از دیدگاه حاکم بر این مطالعه خواهد بود و هندسه فرمی ستون‌دار در انواع مختلف خود، گنبدی و طاقی نتوانسته است تفاوت بارزی در تعیین متغیرهای آکوستیکی ایجاد نماید. آنچه رفتار آکوستیکی نمونه‌ها را تابع الگوی مشخصی نگه داشته است؛ عاملی است که محتملا در تمام نمونه‌ها ثابت است. تمام نمونه‌ها مصالح و فرم اجرای یکسانی دارند و می‌توان ادعا نمود که واکنش آکوستیکی یک فضا به ساختار مصالحی آن ارتباط علنی دارد. این عامل، فاکتوری است که در مقیاس خرد فرمی مطرح می‌شود و فراتر از مصالح است. به بیانی دیگر نمی‌توان بیان کرد که اجرای همگن خاک در بدنه‌های نمونه‌های مورد مطالعه رفتار صوتی مشابهی ارائه دهد. آنچه تکلیف معماری را در قبال آکوستیک روشن می‌کند با استناد به یافته‌های این پژوهش، فرم ساختاری مصالح است. آجر در کنار بندهای برآمده یا تورفته خود، کاربندی‌های ساده به‌کار رفته در اطراف گنبدهای کوچک و ...، از آنجا که در تمام نمونه‌ها ثابت است، توانسته واکنش اکوستیکی نمونه‌ها را ثابت نگه دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین بایستی در تبیین فرمی مطالعات آکوستیکی، علاوه‌بر نگاه کلان به بحث، مقیاس خرد مطالعه را نیز مدنظر قرار داده، ارجحیت بیشتری بر آن قائل شد. هندسه فرمی نمونه‌ها علی‌رغم تفاوت‌های بارز، تأثیر چندانی در متغیرهای آکوستیکی ندارد و فرم ساختاری مصالح در اولویت قرار می‌گیرد. ادعای مذکور در حوزه مطالعات آکوستیک سخنی تازه است و تقریبا غالب مطالعات مربوط به تفاوت‌های ساختاری را دچار چالش می‌گرداند. در مطالعات پیشینه تحقیق به پژوهش‌های بسیاری اشاره شد که تفاوت‌های ساختاری سقف را به‌عنوان عامل تغییرکننده درنظر گرفته و رفتار آکوستیکی را در قبال این تغییر مورد مطالعه قرار داده‌اند. پژوهش‌های مذکور به تفاوت‌های کوچک در حد اختلاف چند سانتی‌متری در ارتفاع گنبد تاکید می‌کنند و این مطالعه نشان می‌دهد چنین اختلافاتی در صورت بهره از فرم ساختاری یکسان در مصالح، اهمیت چندانی بروز نمی‌دهد. تمام مطالعات مذکور، با بهره از ابزار شبیه‌سازی انجام شده‌اند و فضایی فرضی را در قبال تغییرات متعدد فرمی سنجش نموده‌اند.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد ابزار سنجش میدانی در قیاس با شبیه‌سازی دستاورد قابل اطمینان‌تری ارائه می‌دهد. چراکه در شبیه‌سازی و مطالعات نرم‌افزاری، حالت بهینه‌ای برای نمونه درنظر گرفته می‌شود و این درحالی است که سنجش‌های واقعی در بستر میدانی توانسته است نقش تفاوت‌های بارز هندسه فرمی را در مقابل فاکتورهای آکوستیکی بسیار ناچیز نشان دهد. دستاورد اول این پژوهش که حاصل مطالعه ۱۵ نمونه مختلف در هندسه‌های فرمی متعدد و احجام مختلف به کمک سنجش‌گر B&K ۲۲۶۰ است؛ نشان می‌دهد تعریف فرم معماری در مقابل مطالعات اکوستیکی در دو مقیاس کلان و خرد مطرح می‌شود و مقیاس خرد آن که شامل فرم ساختاری مصالح است؛ بر هندسه فرمی در مقیاس کلان ارجحیت دارد.

نتایج حاصل از برداشت‌های سنجش‌گر ۲۲۶۰ که تشابه در رفتار آکوستیکی نمونه‌ها را نشان می‌دهد، با تحلیل‌های دوربین صوتی اثبات می‌کند که آنچه سبب بازخوردهای یکسان فضایی در نمونه‌ها شده به دسته‌بندی فرمی و دید کلان مطالعه ارتباط چندان بارزی ندارد.

مؤلفه‌های فرمی در مقیاس خرد، عناصر معمارانه‌ای خلق نموده‌اند که در تمام نمونه‌ها تقریبا وجود داشته، علت اصلی یکسان بودن واکنش آکوستیکی در فضاست. هر سطحی که برآمده‌تر از جداره‌سازی کلی نمونه باشد، هر مانعی مانند ستون که در میانه فضا قرار می‌گیرد، افزایش سطح در نمونه که با خلق سرستون‌ها در مساجد پژوهش عینیت یافته است، هر سطح منحنی به داخلی که گوشه‌های تیز فضا را در ارتفاع سقف پوشش می‌دهد، کاربندی‌ها که علاوه‌بر خلق انحنا افزایش سطح نیز دارند، و عناصر مشابه سبب خلق رفتار همسان آکوستیکی می‌شوند. این مؤلفه‌ها که در حوزه جزییات اجرایی قرار می‌گیرند، در تحلیل اولیه فضا بارز نیستند و دستاوردهای پژوهش حاضر محقق را متوجه این وجه اشتراک در نمونه‌ها گردانده است. اهمیت آنها در فضاسازی به قدری درخور توجه است که سبب بازخورد واحد از ۱۵ نمونه مطالعه با ساختار معمارانه متنوع، شده است. فرم‌های مختلف معماری با وجود مؤلفه‌های فضایی مذکور که در مقیاس خرد قرار دارند، نقش همسان اکوستیکی ایفا می‌کنند و چگونگی تحقق این امر به فرکانس مربوطه وابسته است. مساجد تاریخی در شهر تبریز علی‌رغم برخورداری از هندسه‌های فرمی مختلف، شناسه مشخصی در قبال متغیرهای آکوستیکی ارائه می‌دهند و می‌توان وضعیت آکوستیکی را در نمونه‌ای با جنس و هندسه ساختاری مشابه پیش‌بینی نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

۷. مآخذ

[1] Hammad, Riziq NS., "RASTI measurements in mosques in Amman, Jordan", *Applied Acoustics*, 1990, Vol.30, no.4, pp.335-345.

[2] Abdelazeez, Mohamed K., Riziq N. Hammad, and Ahmed A. Mustafa, "Acoustics of King Abdullah Mosque", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1991, Vol.90, no.3, pp.1441-1445.

[3] Dimon, Mohamad Ngasri, Asawana Abd Jalil, and Ahmad Khan Said, "Acoustics and Sound System of Shah Alam Mosque: A Review and Computer Modeling Analysis", In *Audio Engineering Society Convention 97*. Audio Engineering Society, 1994.

[4] Hamadah, Hamed A., and Hassan M. Hamouda, "Assessment of speech intelligibility in large auditoria case study: Kuwait State Mosque", *Applied Acoustics*, 1998, Vol.54, no.4, pp.273-289.

[5] Alim, Onsy Abdel, and Mona Hassan El—Masry, "Field Study for Measuring the Architectural Acoustical Qualities of Abou El-Abass Mosque in Alexandria—Egypt", 1999.

[6] Abdou, Adel A. "Measurement of acoustical characteristics of mosques in Saudi Arabia," *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2003, Vol.113, no.3, pp.1505-1517.

[7] Najmul Imam, Sheikh Muhammad, "Speech intelligibility in the community mosques of Dhaka City." *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2002, Vol.112, no.5, pp.2332-2332.

[8] Dimon, Mohamad Ngasri, Siti Dhalia Adzim Muhamod Adzim, Hasnizom Hassan, Nor Azliza, and Mohd Zamri Jusoh, "Good speech intelligibility through novel acoustics material of geometric perforated panel in mosques".

[9] Ahmad, Y., N. C. Din, and R. Othman, "Mihrab design and its basic acoustical characteristics of traditional vernacular mosques in Malaysia," *Journal of Building Performance*, 2013, Vol.4, no.1.

[10] Che Din, Nazli, Nurul Amira Abd Jalil, Yahaya Ahmad, Rosniza Othman, and Toru Otsuru, "Measurement of the acoustical performance of traditional vernacular mosques in Malaysia", 2013, pp.1-7.

[11] Abdullah, Abdul Hakim, and Zamir A. Zulkefli, "A Study of the Acoustics and Speech Intelligibility Quality of Mosques in Malaysia," In *Applied Mechanics and Materials*, 2014, Vol.564, pp.129-134. Trans Tech Publications Ltd.

[12] Gül, Zühre Sü, Mehmet Çalışkan, and Ayşe Tavukçuoğlu, "On the Acoustics of Süleymaniye Mosque: From Past to Present//Geçmişten günümüze Süleymaniye Camii akustiği", *Megaron*, 2014, Vol.9, no.3, p.201.

[13] Suárez, Rafael, Alicia Alonso, and Juan J. Sendra, "Virtual acoustic environment reconstruction of the hypostyle mosque of Cordoba", *Applied Acoustics*, 2018, Vol.140, pp.214-224.

[14] Lingas, Alexander, Bissera Pentcheva, J. Abel, Cappella Romana, D. Eruçman, S. Antonopoulos, and E. Canfield-Dafilou,"Lost Voices of Hagia Sophia: Medieval Byzantine Chant Sung in the Virtual Acoustics of Hagia Sophia. The Feast of the Exaltation of the Holy Cross in Constantinople", 2019.

[15] Gul, Zuhre Su, Erinc Odabas, and Mehmet Caliskan, "*Single versus multi-domain analysis in diffusion equation modeling for sound field analysis of distinct room shapes",* Universitätsbibliothek der RWTH Aachen, 2019.

[16] Hilma, Laina Hilma Laina, Izziah Izziah, Erna Meutia, and Zulfian Zulfian, "The evaluation of thermal, room acoustics and daylight performance of old Indrapuri Mosque in Aceh Besar, Indonesia", *Malaysian Journal of Sustainable Environment*, 2020, Vol.6, no.1, pp.57-72.

[17] İLBAN, Barış, and Mustafa KAVRAZ, "Acoustic Evaluation of Worship Buildings: Gülbahar Hatun Mosque Case," *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Vol.24, no.2, pp.105-114.

www.SID.ir

Archive of SID

[18] Alomari, Omar Mustafa, Firas Gandah, and Dema Khraisat, "The Impact of Geometrical Structure of Domes on the Acoustic Performance within Mosques", *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2019, Vol.13, pp.244-250.

[19] Alomari, Omar Mustafa, Firas Gandah, and Dema Khraisat, "The Impact of Geometrical Structure of Domes on the Acoustic Performance within Mosques", *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 2019, Vol.13, pp.244-250.

[20] Fatma yelkenci sert, h. İbrahim alpaslan, and özgül yilmaz karaman, "evaluation of acoustic features of manisa sultan mosque," *STD*, 2017, XXVI / two, Ekim, pp.243-259.

[21] Syamsiyah, Nur Rahmawati, Atyanto Dharoko, and Sentagi Sosetya Utami, "MIXED METHOD APPROACH TOWARDS ACOUSTIC RESEARCH ON THE GRAND MOSQUE OF YOGYAKARTA", 2016.

[22] Syamsiyah, Nur Rahmawati, Atyanto Dharoko, and Sentagi Sosetya Utami, "Sound preservation at the Grand Mosque of Yogyakarta in Indonesia: The acoustic performance of the traditional architecture", In *AIP Conference Proceedings*, Vol.1977, no.1, p.040032. AIP Publishing LLC, 2018.

[23] Suárez, Rafael, Alicia Alonso, and Juan J. Sendra, "Virtual acoustic environment reconstruction of the hypostyle mosque of Cordoba", *Applied Acoustics*, 2018, Vol.140, pp.214-224.

[24] Ghaffari, Abbas, and Seyyed Majid Mofidi, "Comparing Reverberation Time in West Churches and Mosques of Qajar Era in Tabriz", *معماری و شهرسازی آرمان شهر*, 2014, Vol.7, no.12, pp.13-29.

[25] Khoeini, Reza, and Zohreh Torabi, "Study Of Echo Feature In Imam Mosque In Isfahan And Its Function In New Buildings Like Amphitheater", 2016.

[۲۶] هاشمیان، محمدحسین، " تحلیل طراحی آکوستیک مسجد امام (شاه عباسی) اصفهان گسترش آن در مباحث توسعه پایدار"، *اولین کنگره بین‌المللی صنعت ساختمان با محوریت تکنولوژی های نوین در صنعت ساختمان. تبریز - مجمع مهندسان جوان استان آذربایجان شرقی*، ۱۳۹۷.

[۲۷] رضایی دوگاهه، ن.، صابرزعیمیان، ی.، صیادمنش، ح.، و پورصفر، ز.، "چینی خانه در معماری (نمونه ی موردی عمارت عالی قاپو و مسجد شیخ لطف‌الله در اصفهان)."*کنفرانس بین المللی عمران،معماری و شهرسازی ایران معاصر. تهران - دانشگاه اسوه - تهران - دانشگاه شهید بهشتی*، ۱۳۹۶.

[۲۸] صفی، س.، غفاری، ع. و فرحزا، ن. "ارزیابی کیفیت آکوستیکی مسجد جامع یزد"، دومین کنفرانس بین‌المللی آکوستیک و ارتعاشات. تهران - دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۱.

[29] ISO 3382-1. (2009), International Organization for Standardization Provided by IHS under license with ISO, Switzerland.

[30] ISO 3382-2. (2008), International Organization for Standardization Provided by IHS under license with ISO, Switzerland.

www.SID.ir

Archive of SID

پی‌نوشت:

۱. این مقاله مستخرج از رساله دکتری با عنوان "مؤلفه‌های فرم‌آوا در معماری مساجد (مطالعه موردی: مساجد تاریخی شهر تبریز)" است که با راهنمایی دکتر عباس غفاری و دکتر محمدعلی کی‌نژاد در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام گرفته است.

2. Background Noise: BN
3. Reverberation Time: RT
4. Sound Pressure Level: SPL
5. ISO 3382
6. Dhaka
7. Al Faizin
8. Taman Putri Kulai
9. JameK
10. UPM
11. Indrapuri
12. Gülbahar Hatun Mosque
13. Manisa Sultan Mosque
14. Grand Mosque of Yogyakarta
15. Reference Sound Source:RSS
16. Norsonic
17. SINUS
18. Background Noise

www.SID.ir