فصلنامه پژوهش های معماری اسلامی / شماره بیست و هفتم / تابستان ۱۳۹۹ / سال هشتم

تبیین نظریه ارجحیت فرم بر جنس مصالح در رفتار آکوستیکی فضای معماری*

عباس غفاری**

استادیار و عضو هیئت علمی دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز (نویسنده‌ی مسئول)

فرزانه قلیزاده***

دانشجوی دکترای معماری اسلامی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز

تاریخ دریافت مقاله:۹۶/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۶/۲۷

چکیـــــــده:

صوت در بنای مذهبی عمده‌ترین فاکتور درگیر با مخاطب به شمار می‌رود. حس شنوایی، به خوبی قادر است ادراک دینی و آیینی انسان را برانگیزد و در جذب و تعامل او با بنای مذهبی نقشی اساسی ایفا نماید. از طرفی دیگر، بینایی، ناخودآگاه بیشترین واسطه ارتباطی انسان با محیط پیرامون است؛ و لذا به نظر می‌رسد هر عنصری که در معماری بتواند همه حواس انسانی و عمدتاً دو حس بینایی و شنوایی را به صورت توام به ادراک مخاطب منجر گرداند؛ موجب موفقیت معماری خواهد بود. آینه‌کاری از ساختارهای تزئینی در معماری است که از بعد چشم‌نوازی و به بیانی علمی‌تر، بصری، از راهبردهای معماری اسلامی دانسته می‌شود. از آنجا که بناهای آینه‌کاری شده در معماریِ حال حاضر، به لحاظ صوتی عملکردی استاندارد دارند؛ به نظر کاربران و مخاطبان بناهای مذهبی جزو عناصر موفق در ارتباط‌گیری همزمان حس بینایی و شنوایی به شمار می‌روند و لذا مطالعه آکوستیکی آنها امری لازم خواهد بود. پژوهش حاضر به عنوان پیشینه و مبانی تحقیق پس از تحلیل مبانی آکوستیکی، ضمن تاکید بر وضوح گفتار و زمان واخنش به عنوان متغیرهای سنجش و سپس معرفی آینه‌کاری به روش توصیفی و با ابزار کتابخانه‌ای، در حوزه نمونه موردی و مطالعه بنیادین خود، از رویکرد کاملاً کمی و روش محاسبات دقیق بهره گرفته با دو ابزار شبیه‌سازی و سنجش میدانی به قیاس نتایج آنها پرداخته است. رفتار کاملاً متفاوت و معکوس بنا در دو حالتِ با آینه‌کاری، و بدون آن، که هریک بصورت جداگانه با شبیه‌سازی و سنجش میدانی انجام یافته است؛ نشان می‌دهد تفاوت‌های مشاهده شده، فراتر از تفاوت ابزار سنجش است و ساختار آینه‌کاری، موثرترین فاکتور در ایجاد شرایط بهینه آکوستیکی خواهد بود. نتایج حاصل از این مطالعه منجر به بیان نظریه‌ای جدید در علم معماری و آکوستیک گردیده است که بر تاثیر فرم در آکوستیک اشاره دارد و در راستای کاهش زمان واخنش و بهبود وضوح گفتار، نقش جنس مصالح را در قبال فرم مطلوب، کمرنگ‌تر نشان می‌دهد. پژوهش حاضر بیان می‌کند که در زمینه اکوستیکی با هر مصالح و متریالی به شرط فرم مناسب، می توان معماری مطلوب ایجاد کرد. لذا می توان گفت نظریه نهایی این پژوهش در راستای ایجاد شرایط بهینه آکوستیکی، ارجحیت فرم بر جنس مصالح را اثبات می‌نماید.

واژه های کلیدی:آکوستیک، وضوح گفتار، فرم، جنس مصالح، آینه‌کاری.

* این پژوهش، حاصل طرح پژوهشی دکتر عباس غفاری با عنوان «بررسی رفتار آینه‌کاری بر کیفیت وضوح گفتار در ابنیه مذهبی» می‌باشد که در سال ۹۳-۹۴ با اداره پژوهش دانشگاه هنر اسلامی تبریز عقد قرارداد داشته است.

** ghaffari@tabriziau.ac.ir *** f.gholizadeh@tabriziau.ac.ir

مقدمه

علم آکوستیک از علوم قدیمی است که نخستین دانشمندان علم فیزیک نیز به آن پرداخته‌اند. اولین کسی که از اصطلاح آکوستیک برای علم صدا استفاده کرد؛ ریاضی‌فیزیکدانِ فرانسوی ژوزف ساوار (۱۷۱۳-۱۶۵۳) بوده است. پس از آن پیشرفت‌های بسیاری در زمینه‌های متفاوت آکوستیک انجام گرفت و نظریه‌ی موجی‌بودنِ صوت توسط هویگنس پی‌ریزی گردید. طبقِ یک تعریفِ کُلی، صدا اغتشاشی مکانیکی است که از یک محیط کشسان عبور می کند و توسط گوش شنیده می شود و پدیده‌ای موجی تلقی می‌شود که دارای چهار خصوصیت عمده می باشد: جزو امواج مکانیکی آکوستیکی است؛ سرعت انتشار آن به پارامترهای محیط بستگی دارد؛ تنها در محیط های کشسان منتشر می شود؛ و ماهیت آن براساس جابجایی ذراتِ ماده است.

پژوهش حاضر که در راستای شاخه معماریِ آکوستیک انجام یافته؛ وضوح گفتار را به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای دخیل آکوستیک در معماری، برای مطالعه انتخاب نموده است. وضوح گفتار یا همان SI با متغیرهای متعددی منجمله زمان واخنش سنجیده می‌شود که مورد تاکید این پژوهش خواهد بود. از بعد معمارانه نیز، انتخاب این پژوهش بر آینه‌کاری معطوف است تا اثرات ناشی از این ساختار تزئینی را در بازخورد صوتی معماری تحلیل نماید. روش کار در پژوهش پس از مطالعه ادبیات موضوع، به صورت شبیه‌سازی رایانه‌ای است که بنای سید حمزه بدون تزئینات و با متریال گچ در نرم‌افزار Ease ۴,۳ در نظر گرفته شده و زمان واخنش بالای ۵۰ثانیه از آن بدست آمده است. در فاز دوم مطالعه موردی، اندازهگیری میدانی روش کار بوده و سنجش RT که مرتبطترین فاکتور با وضوح گفتار است؛ با بهره از تجهیزات صوتسنج شرکت B&K در پنج موقعیتِ مختلف قرارگیری بلندگو در بنا انجام یافته است. نتایج حاصله پس از وارد نمودن به نرمافزار به صورت میانگین میزان زمان واخنش موجود در بنا را ارائه داده است که به مراتب پایینتر از حالت شبیه سازی بوده و در فرکانس‌های پایین، حالت معکوس دارد. از آن جا که جنس سنجش در دو حالت شبیه‌سازی و اندازه‌گیری با یکدیگر متفاوت است؛ اساس مطالعه بر شبیه‌سازی حالت آینه‌کاری در نرم‌افزار و نیز ساخت محیط واقعی بدون تزئین جهت اندازه‌گیری، استوار بود که به جهت نتایج کافی و تفاوت‌های فاحش در مرحله نخست، نیاز به ادامه پژوهش مرتفع گردید. یافته‌ها نشانگر آن است که فرم خاص تزئینات آینه‌کاری با وجود استفاده از آینه که یک منعکس‌کننده صوت و نه جاذب آن است؛ می‌تواند در ایجاد محیط مناسب و مطلوب آکوستیکی نقش بسیار مهمی را ایفا نماید. بنابراین می‌توان گفت در طراحی فضاهای آکوستیکی فرم نسبت به مصالح دارای اولویت در طراحی می‌باشد و در طراحی فضاهای آکوستیکی ابتدا باید به فرم‌های به کار برده شده توجه نمود.

سوالات و فرضیات پژوهش

پژوهش حاضر در پی تحلیل و پاسخ به سوالات ذیل انجام می‌گیرد:

۱. رابطه فرم و جنس مصالح در ایجاد شرایط آکوستیکی مطلوب چگونه است؟

۲. آینه از لحاظ علم آکوستیک با تاکید بر فیزیک مواد چه تاثیری در وضوح گفتار یک مکان دارد؟

۳. آینه از منظر معماری و با تاکید بر فرم استفاده از آن، وضوح گفتار فضا را چگونه تغییر می دهد؟

و در راستای پاسخ‌دهی به پرسش‌های مذکور، فرضیاتی را در ابتدای پژوهش در نظر دارد. به نظر محققین این پژوهش ارتباطی بین آینه‌کاری و زمان واخنش وجود خواهد داشت که فرضیات مطالعه در پی تحلیل نوع ارتباط آنها به صورت مستقیم و یا معکوس گام برمی‌دارند. سه فرضیه برای این تحقیق مطرح شده است:

۱. به نظر می‌رسد در حوزه ارتباط بین علم آکوستیک و معماری، فرم ایجاد شده نقش بارزتری از جنس ایفا نماید.

۲. به نظر می‌رسد آینه‌کاری به دلیل وجود آینه و رفتار بازتابی آن، سبب افزایش RT و کاهش وضوح گفتار باشد.

۳. به نظر می‌رسد آینه‌کاری در مقایسه با پوشش متریال گچ در محیط رفتار نامطلوب‌تری در قبال پارامترهای آکوستیکی ایفا نماید.

دیاگرام ۱. چارچوب تحقیق (ماخذ: نگارندگان)

روند انجام پژوهش

این پژوهش با مطالعه ادبیات موضوع، در سه حوزه مبانی آکوستیکی، مطالعات مشابه و تزئینات معماری، به تحلیل نمونه موردی خود در دو حالت با آینه‌کاری و بدون آن به وسیله شبیه‌سازی و سنجش میدانی می‌پردازد و با قیاس دستاوردهای آن به تحلیل فرضیه خود و در نهایت تبیین نظریه منجر می‌گردد. نظریه این پژوهش، تاثیر مهم‌تر و کارآترِ فرم را نسبت به جنس مصالح در بهبود شرایط اکوستیکی به اثبات رسانده؛ به طور مشخص آینه‌کاری را نمونه‌ای موفق در اثبات نظریه خود معرفی می‌نماید.

ادبیات موضوع تحقیق

مبانی آکوستیکی

علم آکوستیک در نگاه خرد به سنجش پارامترهایی می‌پردازد که وضوح گفتار از جمله آنهاست. وضوح گفتار به واضح و روشن شنیده شدن کلمات اطلاق می‌گردد که به اختصار با نماد SI نشان داده می‌شود؛ و عمدتاً از مباحث حوزه روان‌شناختی آکوستیک به شمار می‌رود؛ از بُعدِ فیزیکِ صدا تعریف مشخص و واحدی ندارد. از این منظر متغیرهایی چون C۵۰ یا STI، ALcons، C۸۰ و شاخص سریع انتقال صدا مسیرِ تعریفِ وضوح گفتارند. شفافیت که از آن با واژه Clarity یاد می‌شود و STI یا شاخص انتقال صدا و RASTI که همان شاخص سریع انتقال صدا نامیده می‌شوند؛ متقارب‌ترین پارامترهای وضوح گفتارند. مارشال لانگ در کتاب خود، وضوح را سنجش مستقیم شکستگی کلمات یا جملات می‌داند که توسط شنونده درک می‌شود و برای سنجش آن، از خواندن یا پخش کردن کلمات به صورت زنده یا ضبط شده نام برده؛ صدای ضبط شده را قابل کنترل‌تر و لذا مناسب‌تر می‌داند. او به توضیح سه تیپ کلمات یا جملات مورد استفاده برای این امر می‌پردازد و در نموداری نتایج این سنجش را به تصویر می‌کشد (مارشال لانگ[1] ۲۰۰۶). «گفتاری که توسط یک سیستم همگانیِ آوا منتشر می‌شود؛ هرگز توسط شنوندگان به شکلی دقیقاً همانند حالت اولیه آن دریافت نمی‌گردد. علاوه بر آنکه نویز زمینه اضافه می‌شود؛ علائم صوتی توسط خواص بازتابی و پس‌آوایی اتاق نیز دچار اعوجاج (واپیچش) می‌گردند. غالباً پیامد مستقیم این اعوجاج، کاهش وضوحِ گفتار است. برای افزایش وضوح گفتار، سخنرانان معمولاً کلام خود را سازگار با مشخصات اتاق ایراد می‌نمایند؛ در اتاقی پرپس‌آوا، به آهستگی سخن‌رانده و در محیط با جاذب‌های صوتیِ قوی یا نقاط مرگ صدای خود را بلندتر می‌کنند. «وضوح گفتار پاسخی ذهنی است و معیار کمی آن تعداد کلمات بی‌معنی می‌باشد که تعادل آوایی داشته و به درستی توسط گروهی از شنوندگان آموزش‌دیده یادداشت می‌شوند. نتایج را می‌توان به صورت نمره درصدی کلمات و یا بر روی نوعی مقیاس‌بندی که از ۰ تا ۱۰ را می‌پوشاند؛ بیان

نمود. بر روی طیف مقیاس‌بندی، شاخص شمردگی (AI) کمتر از ۰/۳، عموماً به معنی غیرقابل فهم بودن گفتار می‌باشد؛ حال اگر AI بیش از ۰/۷ بدست آید؛ وضوح گفتار، عالی است» (B&K ۲۰۱۰).

پارامتر دیگر حوزه اکوستیک که در سنجش وضوح گفتار نیز کاربرد دارد؛ زمان واخنش است. Reverberation Time یا همان RT، اصطلاحی است که در حوزه علم آکوستیک، جایگاه ویژه دارد. این واژه که از مباحث اساسی آکوستیک است؛ جزو تعاریف پایهٔ کتب منبع و از کلیدواژه‌های مقالاتِ ISI بسیاری به شمار می‌رود. تعریف مشترک این کتب از RT همان زمان واخنش است که به زمانی اطلاق می‌گردد که یک صدا بعد از قطع منبع برای کاهش به میزان dB۶۰ نیاز دارد. به طور خلاصه می‌توان گفت وضوح گفتار یکی از پارامترهای دخیل در سنجش‌های بسیاری از شاخه‌های ۱۹ گانه علم آکوستیک است و زمان واخنش یکی از عوامل موثر در آن به‌شمار می‌رود. ماندگاری صوت و شنیدار مطلوب آن، منوط به این دو مقوله است که خود در حوزه معماری و فضاهای داخلی، متاثر از نحوه فضاسازی، حجم و سطح فضا، مصالح، فرم و... خواهد بود.

مطالعات مشابه

مطالعات انجام‌یافته در حوزه آکوستیک بسیار است و از آن جا که این علم جزو علوم مورد نیاز در راستای آسایش و آرامش انسانی بوده، ارتباط تنگاتنگی با علوم دیگر دارد؛ مورد توجه اندیشمندان بسیاری قرار گرفته است. صرفاً در زمینه معماری و در حوزه مربوط به فضاسازی، پژوهش‌های بسیاری در خصوص اماکن مسکونی، اداری، آموزشی، مذهبی، تولیدی، فرهنگی و... انجام یافته است. پارامترهای مورد مطالعه آنها، در طیف متغیرهای مربوط به صوت و یا فضا قرار می گیرد و برخی به تحلیل عوامل آکوستیکی چون وضوح گفتار (SI)، زمان واخنش (RT)، تراز شدت صدا (SPL)، شاخص شفافیت صوت (C50)، شاخص عبور صدای مستقیم (STI)، درصد اشتباهات شنیداری (ALcons) و... پرداخته؛ بعضی دیگر تاثیر کاراکترهای فضایی چون حجم، سطح، متریال و... در عوامل مذکور و شرایط آکوستیکی فضا را مطالعه نموده‌اند. روش‌های مطالعه و ابزار تحقیق نیز متنوع است و شامل مطالعات میدانی، نرم‌افزاری و انسانی و یا تلفیقی از آنها به منظور اخذ نتایج دقیق‌تر می‌گردد. (جدول ۱) لیکن در خصوص این مطالعه، می‌توان تحقیقات مربوط به سنجش وضوح گفتار و زمان واخنش در اماکن مذهبی که در خصوص بررسی تاثیر تزئینات در معماری باشد را؛ مربوط‌ترین ادبیات موضوع این پژوهش و پیشینه تحقیق به‌شمار آورد. ارزیابی این مطالعات به جهت استخراج نحوه مطالعه و ابزار کار است. همچنین ارائه‌دهنده اعتبارسنجی و تعمیم‌پذیری پژوهش، روش‌شناسی، متغیرهای سنجش، ابزار تحقیق، تئوری و تکنولوژی‌های مرتبط حتی انتخاب موارد مطالعه، نرم‌افزارهای سنجش و تجهیزات مورد استفاده و در نهایت اعتبارسنجی مخاطب خواهد بود. لیکن دانش‌افزایی از نتایج بدیهی این بخش است که مطالعه سابقه پژوهش را فارغ از نتایج متدلوژیکی، واجد ارزش می‌گرداند. مطالعات بسیاری مورد استفاده این پژوهش بوده‌اند و مطالعه حاضر، بخش‌های مختلفی از اعتبار، تعمیم‌پذیری، روش و محتوای علمی خود را از آنان برگرفته است. لیکن ابتدا به منظور دانش‌افزایی، مطالعات آکوستیکی با متغیرهای مشابه بدون توجه به فضای مورد آزمون مورد تاکید بوده؛ سپس مطالعات مربوط به اماکن مذهبی با نگاه جزئی‌تر و واکاوانه‌تری در اولویت قرار می‌گیرند. لیکن بایستی گفت آینه‌کاری به طور مشخص تاکنون مورد پژوهش علم آکوستیک نبوده و انجام این تحقیق طبیعتاً نتایج بدیع و پرثمری را به حوزه آکوستیک خواهد افزود.

ردیف	عنوان مقاله یا پژوهش	ارزیابی پارامتر و روش	ارزیابی تکنولوژی مرتبط
۱	Early Energy Decays in Churches in Hong Kong	۱- پاسخ ضربه به عنوان خروجی ۲- دمای ۲۵ تا ۲۸	۱- پاسخ ضربه به عنوان خروجی ۲- سنجش‌ها در دمای ثابت
۲	An Improved Model to Predict Energy Bases Acoustic Parameters in Apulian- Romanesque Churches	۱- ۹ کلیسا از حجم ۱۵۰۰ تا ۳۳۰۰ ۲- نتیجه حاصل قیاس پیش‌بینی‌ها و سنجش‌های میدانی	۱- انتخاب مسجد به تعداد کافی براساس تنوع حجم (۶ مسجد در سه دسته حجمی) ۲- استنتاج فرضیه از روش قیاس مطالعات
۳	Comparison of the Acoustical Performance of Mosque Geometry Using Computer Model Studies	۱- توجه به هندسه پلان مساجد ۲- سنجش RT با فرمول ۳- افزایش RT در مساجد از ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ ۴- معرفی نرم‌افزارهای مشابه	۱- توجه به هندسه پلان ۲- انتخاب مساجد یک شکل سنجش RT با فرمول ۳- افزایش RT در محدوده مطرح به دلیل حوزه گفتار انسان ۴- قیاس نرم‌افزارهای مشابه با نرم‌افزار کاربردی
۴	Distribution of Lateral Acoustic Energy in Mudejar–Gothic Churches	۱- بررسی قابلیت فهم گفتار ۲- انتخاب کلیساها از یک تیپ ۳- سنجش در مواقع خالی از جمعیت قیاس نتایج تجربی با مقادیر محاسبه شده	۱- وضوح گفتار به عنوان متغیر اصلی ۲- مساجد دوره قاجار ۳- مواقع خالی از جمعیت برای محاسبه دقیق وضوح ۴- قیاس نتایج
۵	Subjective Study of Preferred Listening Conditions in Italian Catholic Churches	۱- رتبه‌بندی ذهنی و پارامترهای آکوستیک ۲- باند 1/3 اُکتاوی ۳- تجهیزات B&K ۴- ارزیابی داده با MATLAB ۵- تست شنوایی	۱- بهره از پارامترهای ذهنی در راستای اهداف آکوستیکی ۲- بهره از باند 1/3 اُکتاوی ۳- تجهیزات B&K ۴- لزوم ارزیابی نتایج ۵- انجام تست شنوایی
۶	Guidelines for Acoustical Measurements in Churches	۱- کلیسا جزو میراث فرهنگی (آکوستیک) ۲- آنالیز از لحاظ آماری ۳- ۲ قطب آکوستیک در کلیساها	۱- مساجد بازار جزو میراث فرهنگی لذاتوجه به آکوستیک آن‌ها ۲- آنالیز از لحاظ آماری ۳- کلیسا قطب آکوستیک در مسجد، محراب
۷	Experimental Studies of Sound Absorption by Church Pews	۱- مدل GA ۲- باند اُکتاوی از ۱۲۵ تا ۲۰۰۰	۱- توجه به جنبه‌های هندسی در پلان ۲- باند اُکتاوی از ۱۲۵ تا ۴۰۰۰
۸	Spaces for Muslims Spiritual Meanings	۱- رویکرد کیفی ۲- ارائه ۵۶ پرسشنامه ۳- مسجد به عنوان اصلی‌ترین مکان موردپسند ۴- رنگ‌ها، موتیوها و خطاطی به عنوان عامل پرت‌کننده حواس	۱- رویکرد کیفی در انسان ۲- ارائه ۸۰ پرسش‌نامه ۳- سنجش حق دلبستگی به مکان در مساجد ۴- سادگی در مساجد قاجار به عنوان نکته مثبت

۹	Influence of Proportion Towards Speech Intelligibility in Mosque's Praying Hall	۱- روش مطالعه قیاسی ۲- وضوح ناشی از RT، نویز زمینه و فاصله گویندگان از شنوندگان ۳- تأثیر معماری ۴- انتخاب ۶ مسجد ۵- نسبت‌های مختلف ۶- مصالح یکسان ۷- منبع صدا در محراب ۸- میکروفون در صف‌ها به فاصله ۱ متر از زمین ۹- شبستان مستطیل شکل با راستای طول در جهت قبله بهترین وضوح	۱- روش مطالعه قیاسی ۲- بررسی تأثیر فرم و مصالح در وضوح در حالت بی‌نویز و صرف‌نظر از فاصله گوینده و شنونده ۳- تأثیر معماری ۴- انتخاب ۶ مسجد ۵- نسبت‌های مختلف در احجام مختلف ۶- مصالح یکسان آجری ۷- منبع صدا در محراب ۸- میکروفن در صف‌ها به فاصله ۱ متر از زمین ۹- بررسی شبستان‌های مستطیل شکل
۱۰	Introductory article about mosques architectural development and acoustics	۱- طبقه‌بندی مساجد به سنتی و مدرن ۲- ستون‌ها به عنوان وجوه انعکاسی	۱- بررسی مساجد سنتی ۲- ستون‌ها ایجاد کننده – آکوستیکی
۱۱	The acoustical history of Hagia Sophia revived through computer simulation	۱- بررسی سه کاربری و اختصاص کمترین RT به عملکرد مسجد	۱- احتمال RT کم در مساجد
۱۲	Assessment of noise levels in 200 mosques in Riyadh, Soudi Arabic	۱- استفاده از نرم‌افزار T-Testبرای ارزیابی	۱- بهره از نرم افزارهای مشابه برای ارزیابی اطلاعات
۱۳	Rasti Measurements in Mosques in Amman, Jordan	۱- لزوم ایزوله بنا در برابر نوفه خارجی ۲- استفاده از کوزه و گنبد برای مقابله با اکو	۱- بررسی ساختار مناسب مساجد بازار و کم بودن تأثیر نوفه خارجی بر آن‌ها ۲- بررسی تأثیر آجرکاری در گنبد مساجد برای مقابله با اکو
۱۴	Comparison of the Acoustics of Mosque and Catholic Churches	۱- سنجش متغیرهایی چون RT، C و RASTI ۲- RT مساجد بین ۱ تا ۳ ثانیه ۳- ارزیابی مساجد در برابر کلیساها با کاربرد آکوستیکی بهتر	۱- سنجش متغیرها ۲- تخمین RT در مساجد مورد مطالعه کمتر از این میزان ۳- احتمال رفتار بهتر مساجد مورد مطالعه شده در برابر کلیساها و مساجد معاصر در پژوهش‌های دیگر
۱۵	Acoustic Evaluation of a Contemporary Church Based on In-Situ Measurements of Reverberation Time, Definition and Computer Predicted Speech Transmission Index	۱- ارزیابی ذهنی در برابر مقادیر SIT ۲- شبیه‌سازی برای ODEON با CAD ۳- سنجش RT در کلیساهای معاصر ۴- بررسی اختلافات به دست آمده با استانداردها	۱-ارزیابی‌های ذهنی در برابر متغیرهای مورد مطالعه ۲-شبیه‌سازی با Sketchup برای Ease ۳-سنجش در مساجد سنتی ۴-توجیه‌پذیری احتمال اختلاف در سنجش‌ها
۱۶	بهبود شرایط آکوستیک در مساجد با نگرش تحلیلی وضوح گفتار در مساجد دوره قاجار تبریز (با رویکرد تأثیر آجر و تزئینات آجری)	۱- تحلیل نمونه‌ها با اولویت‌دهی به مصالح و تاکید بر وجود آجر ۲- قیاس نمونه‌ها در حالات مختلف سنجش بر اساس تفاوت های ایجاد شده با بند آجر و بدون آن ۳- دستیابی به نظریه زمان واخنش گفتار و تصحیح فرمول موجود آن	۱-انتخاب نمونه مساجد با گروه‌بندی حجمی ۲-سنجش میدانی نمونه‌ها با تجهیزات B&K ۳-شبیه‌سازی نمونه‌ها با نرم‌افزار Ease ۳-ارزیابی انسانی کلمات در نمونهها ۴- سنجش وضوح گفتار و RT

نمود. بر روی طیف مقیاس‌بندی، شاخص شمردگی (AI) کمتر از ۰/۳، عموماً به معنی غیرقابل فهم بودن گفتار می‌باشد؛ حال اگر AI بیش از ۰/۷ بدست آید؛ وضوح گفتار، عالی است» (B&K ۲۰۱۰).

پارامتر دیگر حوزه اکوستیک که در سنجش وضوح گفتار نیز کاربرد دارد؛ زمان واخنش است. Reverberation Time یا همان RT، اصطلاحی است که در حوزه علم آکوستیک، جایگاه ویژه دارد. این واژه که از مباحث اساسی آکوستیک است؛ جزو تعاریف پایهٔ کتب منبع و از کلیدواژه‌های مقالاتِ ISI بسیاری به شمار می‌رود. تعریف مشترک این کتب از RT همان زمان واخنش است که به زمانی اطلاق می‌گردد که یک صدا بعد از قطع منبع برای کاهش به میزان ۶۰dB نیاز دارد. به طور خلاصه می‌توان گفت وضوح گفتار یکی از پارامترهای دخیل در سنجش‌های بسیاری از شاخه‌های ۱۹ گانه علم آکوستیک است و زمان واخنش یکی از عوامل موثر در آن به‌شمار می‌رود. ماندگاری صوت و شنیدار مطلوب آن، منوط به این دو مقوله است که خود در حوزه معماری و فضاهای داخلی، متاثر از نحوه فضاسازی، حجم و سطح فضا، مصالح، فرم و... خواهد بود.

مطالعات مشابه

مطالعات انجام‌یافته در حوزه آکوستیک بسیار است و از آن جا که این علم جزو علوم مورد نیاز در راستای آسایش و آرامش انسانی بوده، ارتباط تنگاتنگی با علوم دیگر دارد؛ مورد توجه اندیشمندان بسیاری قرار گرفته است. صرفاً در زمینه معماری و در حوزه مربوط به فضاسازی، پژوهش‌های بسیاری در خصوص اماکن مسکونی، اداری، آموزشی، مذهبی، تولیدی، فرهنگی و... انجام یافته است. پارامترهای مورد مطالعه آنها، در طیف متغیرهای مربوط به صوت و یا فضا قرار می گیرد و برخی به تحلیل عوامل آکوستیکی چون وضوح گفتار (SI)، زمان واخنش (RT)، تراز شدت صدا (SPL)، شاخص شفافیت صوت (C50)، شاخص عبور صدای مستقیم (STI)، درصد اشتباهات شنیداری (ALcons) و... پرداخته؛ بعضی دیگر تاثیر کاراکترهای فضایی چون حجم، سطح، متریال و... در عوامل مذکور و شرایط آکوستیکی فضا را مطالعه نموده‌اند. روش‌های مطالعه و ابزار تحقیق نیز متنوع است و شامل مطالعات میدانی، نرم‌افزاری و انسانی و یا تلفیقی از آنها به منظور اخذ نتایج دقیق‌تر می‌گردد. (جدول ۱) لیکن در خصوص این مطالعه، می‌توان تحقیقات مربوط به سنجش وضوح گفتار و زمان واخنش در اماکن مذهبی که در خصوص بررسی تاثیر تزئینات در معماری باشد را؛ مربوط‌ترین ادبیات موضوع این پژوهش و پیشینه تحقیق به‌شمار آورد. ارزیابی این مطالعات به جهت استخراج نحوه مطالعه و ابزار کار است. همچنین ارائه‌دهنده اعتبارسنجی و تعمیم‌پذیری پژوهش، روش‌شناسی، متغیرهای سنجش، ابزار تحقیق، تئوری و تکنولوژی‌های مرتبط حتی انتخاب موارد مطالعه، نرم‌افزارهای سنجش و تجهیزات مورد استفاده و در نهایت اعتبارسنجی مخاطب خواهد بود. لیکن دانش‌افزایی از نتایج بدیهی این بخش است که مطالعه سابقه پژوهش را فارغ از نتایج متدلوژیکی، واجد ارزش می‌گرداند. مطالعات بسیاری مورد استفاده این پژوهش بوده‌اند و مطالعه حاضر، بخش‌های مختلفی از اعتبار، تعمیم‌پذیری، روش و محتوای علمی خود را از آنان برگرفته است. لیکن ابتدا به منظور دانش‌افزایی، مطالعات آکوستیکی با متغیرهای مشابه بدون توجه به فضای مورد آزمون مورد تاکید بوده؛ سپس مطالعات مربوط به اماکن مذهبی با نگاه جزئی‌تر و واکاوانه‌تری در اولویت قرار می‌گیرند. لیکن بایستی گفت آینه‌کاری به طور مشخص تاکنون مورد پژوهش علم آکوستیک نبوده و انجام این تحقیق طبیعتاً نتایج بدیع و پرثمری را به حوزه آکوستیک خواهد افزود.

		متغیرهای مستقل	بازه نوسان	مقدار استاندارد
متغیر وابسته	وضوح گفتار	RT	۰٫۰۵_تابعی از حجم فضا	۱_۰٫۰۵
		SPL	۶۵_۰٫۵db	با فرکانس متغیر
		STI	۱_۰٫۱	۱_۰٫۷
		ALCons	۱۰۰٪_۱	۱-۱۷٪
		C50	۰ –به بالا	۰ تا ۵
متغیرهای مستقل زمان واخنش	حجم، اندازه سطوح داخلی، فرم، ضریب جذب صوتی مصالح، تناسبات عرضی، تناسبات طولی، تناسبات ارتفاعی			

تزئینات معماری و آینه‌کاری

تزئین در معماری آرایشی است که بنای معماری را دلپذیرتر می‌نماید؛ یا به غنای اثر می‌افزاید. هنر آینه‌کاری یکی از انواع تزئینات بکار رفته در معماری است که از هنرهای اصیل ایران بوده و عمدتاً در تزئینات داخلی بناهای تاریخی کاربرد دارد. دامنه عملکردی آن از کاخ‌ها آغاز و در نهایت در بناهای متبرکه، جلوه‌گر است که در حال حاضر به جهت زیبایی خارق‌العاده بصری آن در بناهای متعددی بکار می‌رود. در تعریف کاربردی آینه‌کاری می‌توان گفت به اجرای طرح‌های منظم و نقش‌های متنوع به وسیله قطعات کوچک و بزرگ آینه برای تزئین سطوح داخلی بنا، هنر آینه‌کاری گفته می‌شود که حاصل آن بازتاب پی‌در پی‌نور در قطعات بی شمار آینه و ایجاد فضایی پرنور، دل‌انگیز و رویایی است. تالار آیینهٔ کاخ گلستان، تالارها و اتاق‌های شمس‌العماره، آینه‌کاری دارالسیادهٔ آستان قدس رضوی، ایوان آیینهٔ صحن جدید آستانهٔ حضرت معصومه(ع) در قم از جمله نمونه‌های برجسته آینه‌کاری در ایران است. بقعه سید حمزه از آینه‌کاری‌های شاخص و مطرح به شمار می‌رود که نمونه سنجش این پژوهش نیز می‌باشد (جدول ۳).

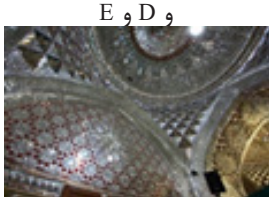
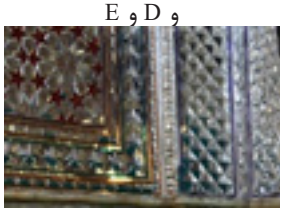
جدول ۳. نمونه‌های آینه‌کاری ایرانی (ماخذ: نگارندگان)

موزه سعد آباد	وزارت امور خارجه	دارالسعاده حرم رضوی
نارنجستان قوام شیراز	سقف کاخ گلستان تهران	دارالزهد حرم رضوی
حرم حضرت معصومه (س)	حرم حضرت معصومه(س)	رواق امام خمینی– حرم رضوی

مطالعه موردی

بقعه سید حمزه

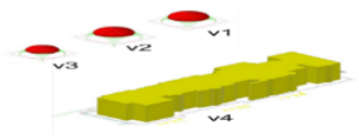
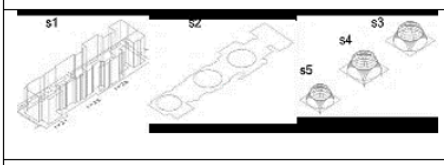
بقعه سید حمزه در محله سرخاب درکنار مقبره‌الشعرا در خیابان ثقه‌الاسلام تبریز واقع شده است. نمونه‌های حجاری ظریف باقی مانده از این بقعه، نشان‌دهنده عظمت بنای اولیه است. طاق مرمرین سر در صحن مدرسه که از چهار قطعه مرمر بزرگ تشکیل و در پیشانی آن آیه‌ای از سوره «الحجر» حک شده؛ از این جمله است. عرض طاق بقعه ۱۸۳ و بلندی قسمت اصلی ۱۲۰ سانتیمتر است. در بالای طاق سر در، سنگ‌نبشته‌ی مرمرین دیگری به تاریخ ۱۲۷۹ هجری قمری نصب شده که مربوط به زمان ناصرالدین شاه قاجار است. ازاره‌های مرمرین دیوار شرقی دهلیز در دو طرف در ورودی آن قرار گرفته و بر روی آنها نقوش زیبایی به شکل برجسته کنده شده که ظاهراً مربوط به دوره ی آق قویونلو و ترکمانان است. به این ترتیب مشخص می‌شود که بقعه سید حمزه در تمام ادوار تاریخ از ایلخانان وترکمانان، تا صفوی و قاجاریه مورد احترام بوده است. نمای طاق مرمرین در ورودی بقعه، از شاهکارهای حجاری دوره صفویه و آینه‌بندی‌های طاق بالای صندوق قبر امامزاده بسیار چشمگیر است. تاریخ بنای نخست بقعه ۷۱۴ هجری قمری یعنی همان سال در گذشت صاحب مقبره است. وی سید جلیل القدری به نام ابوالحسن حمزه بن حسن بن محمد بود که همزمان با سلطان محمود غازان خان وسلطان محمد خدابنده (اولجایتو) می‌زیست و از احترام بسیار برخوردار بود (سازمان میراث فرهنگی استان آذربایجان شرقی) (جدول ۴).

اطلاعات نمونه موردی مطالعه: بقعه سید حمزه			
نقشه‌های مجموعه سید حمزه		نقشه‌های بنای مقبره	
پلان همکف		پلان	
پلان طبقه اول		مقطع	
سه بعدی		نما	
تصاویر بنای مقبره			
راهنمای تصاویر			
تزئینات آینه‌کاری در بخش A		تزئینات آینه‌کاری بخش B	
تزئینات آینه‌کاری در بخش C و D و E		تزئینات آینه‌کاری در بخش C و D و E	

یافته‌های تحقیق

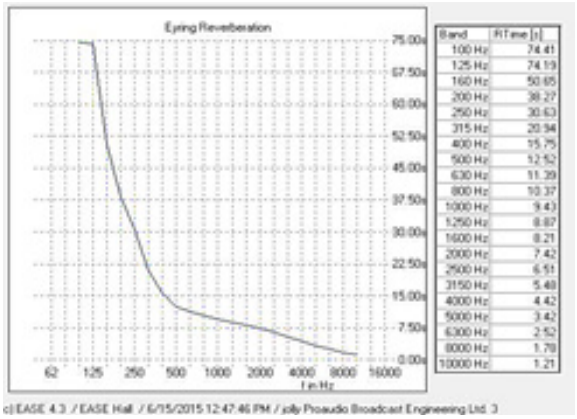
همانگونه که پیش‌تر اشاره شد؛ یافته‌های تحقیق در دو حالت با آینه‌کاری و بدون آن دسته‌بندی گردیده؛ با دو ابزار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری میدانی سنجیده می‌شود. نرم‌افزار سنجش، Ease و دستگاه اندازه گیری، دستگاه صوت سنج شرکت B&K است. برای محاسبات هردو بخش نیاز به تحلیل حجم و میزان سطوح بناست (جدول ۵) که به کمک نقشههای موجود بنا و نیز اندازهگیری با مترسنجهای نوری قابل محاسبه میباشد. نکته قابل توجه این است که تزئین آینه‌کاری حتما موجب افزایش سطح و حجم خواهد شد؛ چرا که ماهیت تعریف آن به بهره از سطوح شکسته متعدد به وسیله آینه است که به واسطه ایجاد حفرههای مختلف به‌دلیل چیدمان سطوح شکسته، باعث افزایش حجم نیز می‌گردد. پس از محاسبه حجم و سطح، حالت بدون تزئین، به وسیله شبیه‌سازی و حالتِ با تزئینات آینه‌کاری با سنجش میدانی مورد آنالیز واقع شده‌اند. متغیر سنجش وضوح گفتار است که با ارزیابی و اندازه گیری RT، SPL و... قابل واکاوی است و این پژوهش به نتایج حوزه RT پرداخته است.

جدول ۵. محاسبه حجم و سطح نمونه موردی (مأخذ: نگارندگان)

حجم m^3	 V= v1+v2+v3+v4 V=45.95+32.70+19.38+1406.41 V= **1504.44** متر مکعب
سطح m^2	 S=s1+s2+s3+s4+s5 S=681.99+163.4+49.23+39.25+27.69 S= **961.57** متر مربع

یافته های شبیه‌سازی

به منظور بررسی تاثیر آینه‌کاری موجود در بنای بقعه سید حمزه بر رفتار آکوستیکی فضا و مشخصا زمان واخنش، ابتدا به شبیه‌سازی بنا بدون تزئینات آینه کاری در نرم‌افزار ایز اقدام گردید؛ و مصالح آن، گچ در نظر گرفته شد. حجم و سطح بنا دقیقاً هم‌اندازه بقعه سید حمزه در محاسبات وارد گردید تا در قیاس با اندازه‌گیری میدانی، نتایج حاصله منطقی و قابل استدلال باشد. علت انتخاب گچ به عنوان متریال پوشش بنا، متعارف بودنِ این جنس در ساختمان‌سازی و معماری داخلی ایرانی است. به واقع اگر آینه‌کاری از بنا حذف شود؛ ساخت آن با گچ معمول‌ترین جواب ممکن است و در عین حال انتظار می‌رود پاسخ فضا به عوامل آکوستیکی منطقی‌تر از آینه‌کاری باشد؛ چرا که به نظر می‌رسد آینه به جهت خاصیت بازتابی بایستی زمان واخنش را افزایش دهد و در مقایسه با آن، گچ متریال مطلوب‌تری خواهد بود. بر همین اساس به منظور مناسب بودن متریال انتخابی در قبال پارامترهای آکوستیکی، معمول‌ترین عنصر مورد استفاده در پوشش داخلی فضاهای ایرانی (گچ) برای شبیه‌سازی بنا بدون تزئینات آینه‌کاری انتخاب گردیده است که نتایج بدست آمده از آن برای پارامتر RT به شکل نمودار ۱ قابل ارائه خواهد بود.

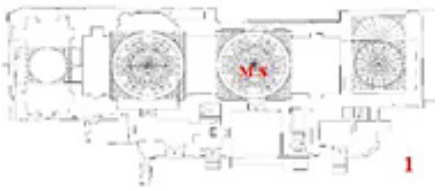
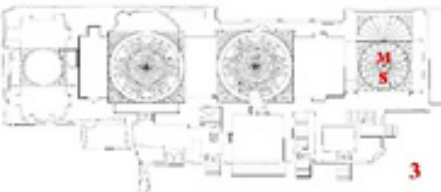
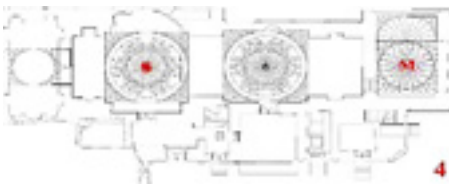
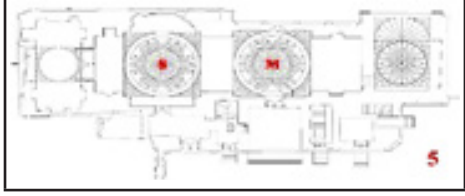


نمودار ۱. زمان واخنش شبیه‌سازی بقعه سید حمزه بدون تزئینات آینه‌کاری با متریال گچ (مأخذ: نگارندگان)

با توجه به نمودار زمان واخنش بدست آمده از شبیه‌سازی رایانه‌ای، شکل نمودار نزولی بوده و از شرایط استاندارد تعریف شده برای این نمودار پیروی می‌نماید. لیکن بازه عمومی فرکانس برای گفتار که مابین ۵۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز است؛ دارای زمان واخنشی بسیار بیشتر از حد مطلوب آن می‌باشد. بیشینه این زمان ۱۲٫۵۲ و کمینه آن ۴٫۴۲ ثانیه است. بیشینه کل، ۷۴٫۴۱ ثانیه در فرکانس ۱۰۰ هرتز به چشم می‌خورد که با توجه به استفاده از تجهیزات مختلف صوتی در ابنیه مذهبی، امکان وجود آن ممتنع نبوده و در صورت تولید، ماندگاری این صوت در فضا

تا ۷۴ ثانیه خواهد بود که بسیار نامطلوب می باشد. کمینه زمان واخنش در شبیه‌سازی ۱,۲۱ ثانیه در فرکانس ۱۰۰۰۰ هرتز است و علی‌رغم پایین ترین میزان آن، در حوزه مناسب برای زمان های واخنش فضاهای عبادی به‌شمار می‌آید (نمودار ۱). فرکانس ۱۰۰۰ به عنوان مرز پرکاربردترین اکتاوها در گفتار دارای زمان واخنش ۹,۴۳ ثانیه است که میزان بالایی برای این پارامتر به‌شمار می‌آید.

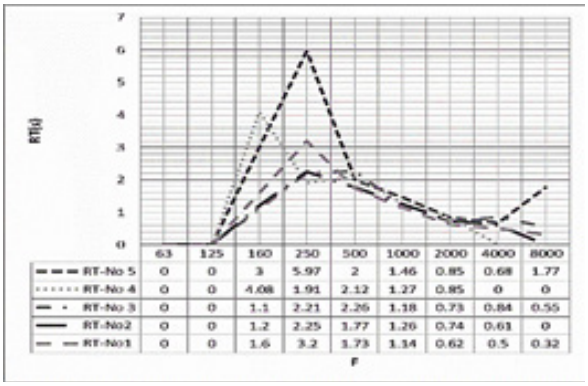
جدول ۶. معرفی موقعیت‌های مختلف منبع صوت و صوت‌سنج در آزمایش‌های متعدد نمونه موردی (مأخذ: نگارندگان)

آزمایش‌های سنجش میدانی	
	آزمایش شماره ۱
	آزمایش شماره ۲
	آزمایش شماره ۳
	آزمایش شماره ۴
	آزمایش شماره ۵

یافته‌های سنجش میدانی و اندازه‌گیری

سنجش میدانی پژوهش با توجه به فرم فضا، در پنج موقعیت و حالت مختلف طراحی گردید که در آنها محل قرارگیری تجهیزات آزمایش، متفاوت تنظیم گردیده است (جدول ۶). این امر به منظور نیل به نتایج دقیق‌تر با توجه به تنوع فرمی امری ضروری است و نتیجه نهایی سنجش برآیند حالات مختلف اندازه‌گیری در نظر گرفته می‌شود. هر موقعیت و چیدمان سنجش که از هریک از آنها تحت عنوان آزمایش نام برده می‌شود؛ به صورت متعدد تکرار شده و نتیجه کلی در آنها به عنوان دستاورد هر آزمایش مدنظر بوده است. نتایج اندازه‌گیری در نمودار ۲ نشان‌دهنده تغییرات RT نسبت به موقعیت صوتسنج (Mic) و منبع صوت (Source) است که طبق جدول ۶ در هریک از آزمایش‌های مختلف مکان منبع و صوت‌سنج نشان داده شده است (جدول ۶).

با توجه به داده‌های بدست آمده طبق نمودار ۲ میزان زمان واخنش در تمامی آزمایشات در فرکانس ۲۵۰ به پایین نزولی است که در مقایسه با نمودار استاندارد زمان واخنش، مناسب می‌باشد؛ زیرا میزان زمان واخنش در حالت استاندارد در فرکانس‌های ۲۵۰ به پایین مقادیر بیشتری است که این امر باعث ایجاد ارتعاش در سطوح و تخریب آنها در طول زمان و در نتیجه تولید گرما می‌گردد. لیکن در این مورد به دلیل وجود فرم مناسب حتی با وجود مصالح نامناسب (آینه) میزان RT پایین آمده و ارتعاش نیز از بین می‌رود. این امر سبب افزایش طول عمر مصالح نیز می‌گردد. همچنین در این نمودار، زمان واخنش در فرکانس‌های ۲۵۰ هرتز به بالا نشان از انطباق زمان واخنش با استانداردهای فضایی دارد که موجب عدم تشدید شده منجر به شنوایی با وضوح بالا می‌شود. بیشینه‌های زمان واخنش در همه حالات در فرکانس‌های پایین‌تر از ۵۰۰ هرتز روی می‌دهد و به جز زمان ۵,۹۷ ثانیه‌ی آزمایش ۵ و ۴,۰۸ ثانیه‌ی آزمایش ۴، در بقیه حالات در حدود ۲ تا ۲,۵ ثانیه می‌باشد. در این سنجش، حالت نزولی و استاندارد اندازه‌گیری در فرکانس‌های بالاتر از ۵۰۰ در همه آزمایش‌ها ثابت است. لیکن نکته قابل توجه این اندازه‌گیری در فرکانس‌های زیر ۱۲۵ هرتز است که در آنها زمان واخنش صفر بوده و کاملاً متضاد با حالت بدون آینه‌کاری عمل می‌نماید.



نمودار ۲. زمان واخنش سنجش میدانی بقعه سید حمزه با تزئینات آینه‌کاری (مأخذ: نگارندگان)

قیاس و تحلیل یافته‌ها

با توجه به نمودار ۳ نتایج مقایسه آزمایشات میدانی (با آینه‌کاری) و شبیه‌سازی رایانه‌ای (بدون آینه‌کاری) نشان می‌دهد میزان زمان واخنش در حالت آینه‌کاری شده بسیار پایین‌تر نسبت به شبیه‌سازی‌های بدون آینه‌کاری است. تفاوت زمان واخنش در این دو حالت برای فرکانس ۶۳ هرتز برابر ۹۴,۹۷ ثانیه، در فرکانس ۱۲۵ هرتز برابر ۹۴,۶۱ ثانیه، در فرکانس ۲۵۰ هرتز برابر ۳۰,۰۷ ثانیه، در فرکانس ۵۰۰ هرتز برابر ۱۲,۰۴ثانیه، در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز برابر ۹,۶۲ ثانیه، در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز برابر ۷,۹۱ ثانیه، در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز برابر ۴,۴۶ ثانیه و در فرکانس ۸۰۰۰ هرتز برابر ۱,۳۳ ثانیه می‌باشد.

نمودار ۳. میانگین زمان واخنش برداشت‌های میدانی با شبیه‌سازی رایانه‌ای (مأخذ: نگارندگان)

این تفاوت‌ها نشان می‌دهد تأثیر آینه‌کاری در فرکانس‌های پایین‌تر به مراتب بیشتر است و فضایی با شرایط اکوستیکی کاملاً نامطلوب را به فضایی با زمان واخنش بسیار پایین و لذا مطلوب از بعد آکوستیکی تبدیل می‌نماید. علاوه بر این جهات معکوس نمودار در این دو حالت و در فرکانس‌های پایین نشان‌دهنده تغییرات ارتباطی مابین فرکانس و زمان واخنش به واسطه آینه‌کاری است. رابطه معکوس زمان و فرکانس با اضافه نمودن و دخالت آینه‌کاری به رابطه مستقیم تبدیل می‌گردد و تأثیر مهم را از حیطه ابزار سنجش به فرم ایجاد شده توسط آینه‌کاری معطوف می‌دارد.

بیشینه زمان واخنش با اضافه نمودن آینه‌کاری از فرکانس ۶۳ هرتز به ۲۵۰ هرتز منتقل شده و میزان آن از ۷۴,۵ ثانیه به حدود ۵ ثانیه تقلیل می‌یابد. هرچند بیشینه حالت با تزئین در بازه گفتار قرار می‌گیرد؛ اما مقدار آن از حد غیرقابل‌قبول به حد متوسط رسیده و توجیه‌پذیر است. کمینه‌ها نیز در حالت بی‌تزئین از نهایتاً ۱,۲۱ ثانیه در ۱۰۰۰۰ هرتز به ۰ ثانیه در ۱۲۵ هرتز به پایین می‌رسد. در حالت کلی بایستی گفت وجود آینه‌کاری فضایی را که به هیچ‌وجه با استانداردهای اکوستیکی همخوانی ندارد؛ به مکانی قابل مطالعه و تامل در حوزه آکوستیک می‌رساند؛ و ارتباط فرکانس با زمان واخنش را قابل قبول می‌گرداند. به واقع در تحلیلی کلی می‌توان گفت بیشترین حوزه RT مطلوب در دو فضای کاملاً مشابه و صرفاً متفاوت از منظر وجود آینه‌کاری، مربوط به فضای آینه‌کاری شده است. به واقع بهره از آینه‌کاری بازه گستردهتری از فرکانسها را پوشش داده؛ شرایط شنیداری مطلوبی در طیف بیشتری از فرکانس‌ها ایجاد می‌نماید. تا ۴۰۰۰ هرتز آینه‌کاری، زمان واخنش را در حد مطلوب حفظ خواهد کرد و در فرکانس‌های بالاتر هرچند آینه‌کاری سبب ایجاد زمان واخنش پایین‌تر می‌گردد؛ لیکن تفاوت فضای با آینه‌کاری و فضای بدون آن اندک بوده و در این فرکانس‌ها، رفتار آکوستیکی فضا ارتباط چندانی با آینه‌کاری از خود نشان نمی‌دهد. در حالت کلی بایستی گفت فرکانس‌های حوزه گفتار (۵۰۰–۸۰۰۰ Hz) در فضای آینه‌کاری شده، رفتار مطلوب‌تری از خود نشان می‌دهند و فضای گچی بدون آینه‌کاری، علی‌رغم

متریال مناسب‌تر و ساختار منطقی‌تر، شرایط بسیار ناموفقی برای گفتار خواهد داشت.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

شنوایی دومین حس ارتباطی انسان به شمار می‌رود؛ و لذا خلق فضاهای مطلوب از منظر شنوایی، خواسته طبیعی انسان خواهد بود. آسایش صوتی لازمه یک فضاست و به عنوان انتظار حداقل انسان از محیط محسوب می‌گردد. لیکن شنیدار مطلوب، ایده‌آل و حد آرمانی و استاندارد یک مکان تلقی می‌شود. به عبارتی ساده‌تر، انتظار، از صدای محیط در شرایط حداقل، عدم آسیب‌رسانی به شنوایی و ایجاد شرایط آسایش آکوستیکی برای انسان است و در شرایط بهینه، خلق وضعیت شیداری مطلوب، مورد انتظار است. آسایش شنوایی و شرایط مطلوب آکوستیکی لازمه روان و تن سالم است و سلامت توأم این دو، سبب آرامش روان فیزیکی انسان می‌گردد. معماری، ارائه‌دهنده راهکارهای متفاوت و متنوعی در این راستاست و لذا مطالعه و توجه به راهکارهای ارائه شده‌ی آن، امری شایسته انجام تلقی می‌گردد. اساس مطالعات معمارانه در سه مقیاس کلان، میانه و خرد قابل بررسی است. نحوه فضاسازی، عملکرد فضا و... را می‌توان در نگاه کلان جای داد. انتخاب مصالح، فرم و مدیریت نحوه همنشینی ریزفضاها می‌تواند جزو مقیاس میانه باشد. لیکن جزئیات اجرایی و مانورهایی که می‌توان در اجرای یک بخش جزئی از فضا مدنظر داشت؛ نگاه خرد به مقوله معماری است. تمامی این سطوح در رفتار آکوستیکی فضا ایفای نقش دارند؛ اما می‌توان گفت راهبردهای مقیاس کلان و میانه، بر ایجاد و یا اساساً عدم وجود حداقل‌ها، تاثیر می‌گذارند و مقیاس خرد در خلق آکوستیک ایده‌آل و آرمانی، موثر واقع می‌شود. به واقع می‌توان ادعا نمود مقولات مقیاس کلان و میانه، به طور کل تعیین‌کننده قرارگیری و یا عدم قرارگیری یک مکان در حوزه استانداردهای آکوستیک است. لیکن توجه به پارامترهای مقیاس خرد معماری در ایجاد شرایط متعالی فضا از منظر آکوستیک، تعیین‌کننده خواهند بود. دو حوزه کلان و میانه، ماهیتاً در حفظ سلامت و یا آسیب به شنوایی گام برمی‌دارند و مقولات فیزیکی و روانی را پوشش می‌دهند؛ درحالی که مقیاس خرد در ایجاد شرایط بهینه و در راستای روان فیزیکی با انسان تعامل می‌نماید. آینه‌کاری از تکنیک‌های اجرایی معماری در مقیاس خرد است و می‌تواند در نوسان فضا از وضعیت مطلوب روان فیزیکی به شرایط نامطلوب و آسیب‌های در گذر زمان، نقش‌آفرینی نماید. از آنجا که آینه‌کاری به طور عمده در معماری ابنیه مذهبی مشاهده می‌گردد؛ موضوع مطالعه حاضر در حوزه ابنیه مذهبیِ اسلامی تعریف شده و معماری اسلامی به‌عنوان یکی از واژه‌های کلیدی پژوهش، مورد تأکید بوده است. به همین جهت، فرکانس‌های حوزه گفتار مورد واکاوی بیشتری در این مطالعه قرار گرفته‌اند؛ چرا که گفتار، عمده‌ترین آوای موجود در فضاهای عبادی و مکان‌های مذهبی است. چنانچه آینه‌کاری در مکان‌های دیگری مورد استفاده می‌بود؛ با در نظر گرفتن عملکرد آن و انتخاب حوزه فرکانسی مربوطه، شرایط این مطالعه قابل تحلیل در مکان مذکور قرار می‌گرفت و خللی در بنیان‌های پژوهش حاضر وارد نمی‌گشت. لیکن همانگونه که اشاره گردید؛ به جهت وجود آینه‌کاری در فضاهای عبادی و مذهبی، نمونه مطالعه پژوهش، پیرامون این فضاها شکل گرفته است. اساساً آینه‌کاری به شکل مرسوم حال حاضرِ آن، جزو تزئین‌های معماری مذهبی به‌شمار می‌آید و بایستی شناسنامه و ماهیت آن مبنی بر تعلق به خانواده معماری مذهبی و اسلامی حفظ گردد. در اماکن مذهبی، حوزه صوتی در بازه‌ای از گفتار فردی تا موعظه جمعی جای می‌گیرد که در سراسر این طیف، فرکانس حوزه گفتار که مابین ۵۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز است؛ در محیط پخش می‌گردد. پژوهش حاضر در پی تحلیل نحوه تأثیر آینه‌کاری به عنوان پارامتری در حوزه مقیاس خرد معماری بر رفتار آکوستیکی فضا و در راستای پاسخ به سوالات پژوهش، پس از شبیه سازی بقعه سید حمزه در نرم‌افزار Ease، تزئینات آینه‌کاری آن را حذف و متریال فضا را گچ در نظر گرفته است. علت این انتخاب همانگونه که در روند پژوهش نیز بیان گردید؛ به جهت دو فاکتور مهم بوده است. گچ در مطالعات آکوستیکی جزو مصالح میانه است؛ و نه خاصیت بازتابی شدیدی چون شیشه و آینه دارد و نه جاذبی قوی همچون سایر مصالح

متخلخل به‌شمار می‌رود. بنابراین می‌توان آن را دارای رفتاری متعادل دانست که ایجادکننده شرایط جانبی برای اخذ نتیجه نبوده؛ و تأثیری تشدیدی در دستاورد پژوهش نخواهد داشت. فاکتور دوم در انتخاب گچ نیز معمول بودن آن در معماری داخلی ایرانی است و برای حالتی بی‌تزئین در معماری، نخستین گزینه به‌شمار می‌رود. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد گچ در این وضعیت، زمان واخنش مکان را تا ۷۴/۴۱ ثانیه بالا برده؛ رفتار نمودار RT–فرکانس را کاملاً نزولی تعریف مینماید. در فرکانس‌های گفتار نیز فضا کاملاً نامطلوب است و میزان RT با استانداردهای شنوایی فاصله بسیار دارد. این پژوهش در بخش دوم مطالعه خود، با بهره از تجهیزات B&K در ۵ مرحله، RT موجود در فضای واقعی بقعه سید حمزه را اندازهگیری نموده؛ از برآیند آنها میزان RT را مطلوب و با فاصله بسیار زیاد با حالت بدون آینه‌کاری ارزیابی مینماید. در این حالت تا فرکانس ۲۵۰ هرتز، نمودار RT–فرکانس صعودی عمل کرده؛ کاملاً معکوس با فضای بدون آینه‌کاری گام برمی‌دارد. در کل این شرایط و به ویژه در فرکانس‌های حوزه گفتار، زمان واخنش کاملاً منطبق با شرایط ایده‌آل RT و یا نزدیک به آن قرار می‌گیرد و نشان می‌دهد آینه‌کاری تأثیر بسزایی در رساندن یک فضا از شرایط نامطلوب آکوستیکی به حد آرمانی آن، خواهد داشت.

به منظور ارائه پاسخ مشخص به سوال اول پژوهش بایستی گفت در ایجاد شرایط مطلوب آکوستیکی فرم بر مصالح اولویت دارد. این دستاورد، پیش‌تر، در نگاه میکرو و در شاخه‌های مربوط به آکوستیک مواد مورد توجه بوده است؛ لیکن در مقیاس ماکرو –که می‌توان آکوستیک معماری را جزو آن دانست– علاوه بر آنکه مغفول مانده؛ اهمیت جنس مصالح و برتری آن بر سایر پارامترها از شدت تکرار و اهمیت، بدیهی به نظر می‌آمده است. حد توجه به آن در این مقیاس، در حیطه اجرا بوده است که آینه‌کاری، خود مثالی بر این ادعاست. اما در زمینه پژوهش و مطالعات علمی و قوانین و نظریات موجود، دستاوردی در این رابطه مشاهده نمی گردد. نتایج این پژوهش ثابت می نماید آینه علیرغم خاصیت بازتابی، در صورت فرم دهی موفق که نمونه آن آینه‌کاری است؛ قادر خواهد بود وضعیت موفق تری در آکوستیک فضا خلق نماید. در همین راستا و به منظور پاسخ به سوال دوم بایستی گفت آینه به عنوان یک متریال بازتابی در زمینه آکوستیک شناخته می‌شود و مصالح این‌چنینی ماهیتاً سبب افزایش RT و لذا کاهش وضوح گفتار می‌گردند. بنابراین می‌توان اذعان داشت بهره از آینه در معماری مکان به جهت انعکاس امواج صوتی، پایداری آنها را افزایش داده؛ ماندگاری صدا را بیشتر خواهد نمود. لیکن پاسخ به سوال سوم با توجه به نتایج این مطالعه، ادعای فوق را کاملاً تحت تاثیر قرار می‌دهد. نتایج پژوهش ثابت می‌نماید که آینه‌کاری تأثیر شگرفی در کاهش زمان واخنش دارد. بنابراین می‌توان گفت از منظر معماری و به کمک مانورهای فرمی بر روی مصالح می‌توان آینه را در جهت عکس ماهوی آن بکار بست. واکاوی فرضیات تحقیق نیز فرضیه نخست را به اثبات می‌رساند و با دلایل قطعی اعلام می‌دارد که در تحلیل ارتباطی آکوستیک و معماری، فرم برتر از جنس است و در ایجاد شرایط مطلوب آکوستیکی در فضای معماری، نقش بارزتری ایفا خواهد نمود. یافته‌های پژوهش دو فرضیه نهایی را رد نموده و به واسطه عدم صحت آنها، نظریه پژوهش را نتیجه می‌دهد. بر خلاف فرض ابتدای پژوهش، آینه‌کاری بدلیل وجود آینه و خاصیت بازتابی آن، سبب افزایش RT و کاهش وضوح گفتار نمیگردد؛ بلکه به جهت چیدمان آن، خاصیت آینه‌ای آینه تحت تأثیر قرار گرفته؛ کمرنگ‌تر می‌گردد. تا حدی که آینه‌کاری، به‌عنوان راهکاری برای بهبود و بهینه‌سازی شرایط آکوستیکی تلقی می‌شود. یافته‌های تحقیق همچنین نشان می‌دهند آینه‌کاری در قیاس با گچ رفتار کاملاً متفاوتی در قبال زمان واخنش ارائه می‌دهد و به این واسطه است که فرض سوم مطالعه رد می‌گردد. رفتار آینه‌کاری و گچ مشابه هم نیست و فرم ساختاری آینه‌کاری، شرایط آکوستیکی مکان را در راستای بهینه سازی کاملاً معکوس می‌نماید. ذکر این نکته لازم است که در آینه‌کاری، اجرای صحیح آن، به منظور عدم تخریب و نیز عدم تولید گرما ضروری خواهد بود. امواج صوتی در اثر بازتاب‌های مکرر می‌توانند

تبدیل به حرارت شوند و این امر لزوم اجرای درست را اثبات می‌کند. همچنین به جهت عدم تطابق جنس آینه با گچ پشت آن، ارتعاش عاملی مهم در ریزش و تخریب آینه‌کاری خواهد بود که این مساله نیز به واسطه توجه کافی در اجرا، قابل حل می‌باشد.

راهبرد نظریه تحقیق

پژوهش حاضر به منظور ارائه نظریه نهایی خود، با تحلیل مثال نقض بر نظریات موجود علم آکوستیک، برهان خلف را به‌عنوان راهبرد خود برگزیده است. به واقع نتایج خلاف انتظار از تحلیل مصالح مورد مطالعه، نشان‌دهنده مصداقی نقض بر قوانین کلی حاکم در زمینه زمانِ واخنش می‌باشد. فرضیه نهایی این پژوهش که ابتدائاً با فرض صحت مطرح شد؛ به کمک یافته‌های تحقیق، رد گردیده و لذا منجر به نظریه این پژوهش خواهد شد؛ چرا که شرایط آزمایش به طور کامل، وضعیتی متناقض را مدنظر گرفته است. به طور واضح‌تر می‌توان گفت در این مطالعه، همزادی بین فرم، جنس، همجواری و... وجود ندارد و پارامترهای سنجش کاملاً در تضاد با یکدیگرند. به‌عنوان مثال، چنانچه تحلیل در اجرای آجرکاری و بند آجر، یا گچ و گچبری انجام می‌یافت؛ همسانی بین فاکتورها، احتمال تدقیق نتیجه در شرایط متضاد را کاهش می‌داد؛ لیکن در این تحلیل، حادترین شرایط آزمایش در نظر گرفته شده و لذا نتایج حاصل از آن دارای قطعیت بیشتری بوده؛ دربردارنده شرایط بهتر خواهد بود. جنس خود آینه در مقابله با امواج صدا قرار دارد؛ آینه‌کاری و گچ دیوار که به عنوان زمینه کار در نظر گرفته می شود؛ به لحاظ آکوستیکی متضاد هم هستند. هم‌نشینی آینه‌ها در کنار هم در اجرای آینه‌کاری و بازتاب موج صوت از آنها به یکدیگر، انتظار را برای تشدید صدا و افزایش زمان واخنش، طبیعی جلوه می‌دهد و لذا در حالت کلی این ادعا منطقی است که به جهت شرایط متناقض این آزمایش، خلفِ برهان تحلیل، ضریب اطمینان بالایی فراهم نموده؛ و نظریه‌ی حاصل از آن، تسلط و پوشش کافی بر شرایط زیردست خود خواهد داشت. بنابراین به طور خلاصه می‌توان گفت راهبرد تولید نظریه در این تحقیق، رد فرضیه ابتدایی و بهره از برهان خلف به کمک تحلیلی تناقضی با یافته‌های تاکنون علم صداشناسی خواهد بود.

بیان نظریه

همه‌ی آنچه بیان شد نشان می‌دهد از نگاه علم معماری و با رویکردی جزنگارانه، پارامترهای معمارانه در قیاس با فاکتورهای ماهوی موثر در آکوستیک فضا در یک متریال، دارای اولویت و درجه بندی بر یکدیگرند. همه فاکتورهای معمارانه به یک حد و در یک درجه، رفتار آکوستیکی ندارند و برخی نقش بیشتری ایفا می‌نمایند. پژوهش حاضر ثابت می‌نماید که در زمینه اکوستیکی با هر مصالح و متریالی به شرط فرم مناسب، می‌توان معماری مطلوب ایجاد کرد. استعداد مصالح به جهت ماهیت آن محدود است؛ اما فرم، دامنه و گستره وسیع‌تری با توجه به قابلیت‌های زیباشناختی دارد. فرم‌پردازی، طراح‌محور است؛ در حالیکه دخالت در ذات مواد و به تبع آن، ایجاد تغییر در رفتار مواد، به سادگی امکان پذیر نیست. به زبان ساده‌تر می‌توان گفت مصالح قابلیت گسترده ندارند؛ اما فرم می‌تواند در همه وجوه امکانات بی‌نهایت ایجاد نماید و در عین حال پاسخگوی نیازهای زیباشناسی نیز باشد. یافته‌های تاکنونِ علم آکوستیک، جنس را عاملی با درجه نخستِ اهمیتَ برای یک عنصر و تعیین‌کنندگی آن در فاکتورهای صوتی معرفی می‌کند. لیکن این پژوهش به کمک برهان خلف و با تحلیل مصداق نقضی بر این ادعا، ثابت می‌نماید که فاکتورهای اکتسابی مصالح بر پارامترهای انتسابی آنها ارجحیت دارند. نظریه این مطالعه حاصل همین نگاه به ارتباط عوامل ماهوی و برونذاتی یک عنصر در زمینه آکوستیک است. ماهیت یک متریال می‌تواند به طور کل تحت تاثیر عوامل برونذاتی و القایی از محیط، نادیده گرفته شود و از اولویت علم آکوستیک به درجات بعدی انتقال یابد. فرم یک عامل اکتسابی برای متریال است و جنس از فاکتورهای ذاتی و انتسابی آن به شمار می‌رود. معماری فرم، جنس متریال را تحت‌الشعاع قرار داده؛ خواص ذاتی و ماهوی آن را به نفع خود پوشش می‌دهد. نتیجه نهایی این پژوهش به کمک تحلیل آکوستیکی بقعه سید حمزه که بنایی با تنوع‌آینه‌کاری است؛ قطعاً بیان می‌دارد که یک

جنس کاملاً انعکاسی به واسطه فرم‌دهی مطلوب، تبدیل به یک پدیده پخشگر می‌شود؛ و بنابراین معماری جزئیات، بنیان‌های آکوستیکی را قابل‌تغییر جلوه می‌دهد. لذا می‌توان گفت نظریه‌ی نهایی این پژوهش در راستای ایجاد شرایط بهینه آکوستیکی، ارجحیت فرم بر جنس مصالح را اثبات می‌نماید. ایجاد شرایط مختلف آزمایشگاهی برای تست نظریه پژوهش، در جهت تعیین و تعریف روابط دقیق کمیت‌های آکوستیکی، برای فرم‌های مختلف و با مصالح متنوع پیشنهاد محققین به دیگر پژوهشگران است که به منظور تدوین آیین‌نامه‌های استاندارد و کاربردی ارائه می‌گردد.

پی‌نوشت

۱. Marshall Long

منابع

۱. غفاری، عباس. ۱۳۹۲. *بهبود شرایط آکوستیک در مساجد با نگرش تحلیلی وضوح گفتار در مساجد دوره قاجار تبریز (با رویکرد تأثیر آجر و تزئینات آجری)*. دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

References

1. Al Shimemeri, S. a, C.B. Patel, and A.F. Abdulrahman. 2011. Assessment of Noise Levels in 200 Mosques in Riyadh. Saudi Arabia. *Avicenna Journal of Medicine 1*(2): 8-35. Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23210007 [Accessed December 9, 2012].
2. Andreas, C., J. Holger, and C. Lynge. *The Acoustical History of Hagia Sophia Revived through Computer Simulation, 2.*
3. Carvalho, António P O and C.G. Monteiro. 2009. *Comparison of the Acoustics of Mosques and Catholic Churches.* , (July), pp.5–9.
4. Chu, Y., and C. M. Mak. 2009. Early Energy Decays in Two Churches in Hong Kong. *Applied Acoustics 70*(4): 579–587. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003682X08001515 [Accessed December 9, 2012].
5. Cirillo, E., and F. Martellotta. 2003. An Improved Model to Predict Energy-Based Acoustic Parameters in Apulian-Romanesque Churches. *Applied Acoustics, 64*(1): 1–23. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003682X02000683.
6. Ct, A.B. 1990. *Technical Note Rasti Measurements in Mosques in Amman, Jordan. 30*, pp.335–345.
7. Dewiyanti, D. and H. E. Kusuma. 2012. *Spaces for Muslims Spiritual Meanings. Procedia - Social and Behavioral Sciences 50(July): 969–978.* Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042812032363 [Accessed December 9, 2012].
8. Ghaffari, Abbas. 2013. *Improving the Acoustic Conditions in Mosques with an Analytical Approach to the Clarity of Speech in the Mosques of the Qajar Era in Tabriz (with the Approach of Brick Effect and Brick Decorations).* Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
9. Girón, S., M. Galindo, and T. Zamarreño. 2008. *Distribution of Lateral Acoustic Energy in Mudejar–Gothic Churches.* Sound and Vibration 315(4-5): 1125–1142. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022460X08001491 [Accessed December 9, 2012].
10. International, E., and I. Conference. 2003. Comparison of the Acoustical Performance of Mosque Geometry Using Computer Model Studies Adel A. Abdou King Fahd University of Petroleum and Minerals Architectural Engineering Department Dhahran, Saudi Arabia, 1, pp.39–46.
11. Marshall, L. 2006. *Architectural Acoustics.* Elsevier Academic.
12. Martellotta, Francesco. 2008. Subjective Study of Preferred Listening Conditions in Italian Catholic Churches. Sound and Vibration 317(1-2): 378–399. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022460X08002514 [Accessed December 9, 2012].
13. Martellotta, Francesco et al. 2009. *Guidelines for Acoustical Measurements in Churches.* Applied Acoustics, 70(2): 378–388. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003682X08000832 [Accessed December 9, 2012].
14. Martellotta, F. and E. Cirillo. 2009. *Experimental Studies of Sound Absorption by Church Pews.* Applied Acoustics 70(3): 441–449. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003682X08001345 [Accessed December 9, 2012].
15. Orfali, B.W. *Introductory Article about Mosques Architectural Development and Acoustics.*
16. Othman, A.R. and M. R. Mohamed. 2012. *Influence of Proportion towards Speech Intelligibility in Mosque's Praying Hall. Procedia, Social and Behavioral Sciences 35(December 2011): 321–329.* Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/

pii/S1877042812004065 [Accessed December 9, 2012].
17. Queiroz de Sant'Ana, D., and P. H. Trombetta Zannin. 2011. *Acoustic Evaluation of a Contemporary Church based on in Situ Measurements of Reverberation Time, Definition, and Computer-Predicted Speech Transmission index.* Building and Environment 46(2): 511–517. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132310002696 [Accessed December 9, 2012].
18. https://www.bksv.com/en. 2017.