

تحلیل یک‌سوم اوکتاوی ساختار کالبدی در مساجد بزرگ تاریخی تبریز

فرزانه قلیزاده، عباس غفاری*، محمدعلی کی‌نژاد

دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز

دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۸، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۵

چکیده

مساجد جزو بناهایی هستند که صدا در تبیین کیفیت آن‌ها جایگاه ویژه‌ای دارد. به نظر می‌رسد ساختار کالبدی متفاوت در مساجد، در حوزه صوتیات نیز ایفای نقش می‌کند، بناهای گنبددار، ستون‌دار و طاقی کیفیت متفاوتی از صدا ارائه می‌دهند. پژوهش کنونی در راستای تحلیل این ویژگی، پنج نمونه از مساجد بزرگ تاریخی تبریز را به عنوان نمونه مطالعه انتخاب کرده است که در پنج گروه کالبدی دسته‌بندی شده‌اند. ابزار پژوهش، سنجش میدانی با استناد به ایزو ۳۳۸۲ و تصویربرداری صوتی بوده و نوفه زمینه، تراز فشار صدا و زمان واخنش در وضعیت خالی نمونه‌ها و در دو ارتفاع ایستاده و نشسته به منظور شبیه‌سازی حالات نمازگزار اندازه‌گیری شده است. یافته‌های پژوهش فرم طاقی را دارای رفتاری متعادل دانسته، بیش‌ترین زمان واخنش را هم در ارتفاع ایستاده و هم در حالت نشسته در بسامد ۱۰۰ هرتز و مربوط به نمونه گنبددار ارزیابی می‌نماید. بخش دیگری از یافته‌ها با توجه به برداشتهای تصویری نشان می‌دهند تلفیق عناصر فضایی، نقش بیش‌تری در انتشار و پخش صدا ایفا می‌کنند و پراکندگی اصلی‌ترین بسامدهای حوزه گفتار در همه مساجد مورد مطالعه مطلوب و پرشدت است.

کلیدواژه‌ها: معماری، صوتیات، ساختار کالبدی، مساجد بزرگ.

۱. مقدمه

هدف نهایی است. اما زمانی که سخن از مکان به میان می‌آید، محدوده‌ای از فضا در ذهن شکل می‌گیرد که به کمک معماری چارچوب داده شده است. این چارچوب‌دهی، ناخواسته عوامل صوتی را نیز تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. معماری مسجد می‌تواند صدای عادی را به حدی دلنشین توزیع نماید که کاربر از بودن در مسجد احساس آرامش کند. چه بداند و چه نداند برای شنیدن آوای خوش به مسجد مراجعه کند و از ارتباط با خدا در این مکان انبساط خاطر یابد. رفتار وارونه نیز ممکن است. گاهی عدم مراجعه و یا نماندن در یک مکان به جهت آزار نامحسوسی است که صدا به جسم و روان وارد می‌نماید. اما رسالت معماری «خوب» از دید صوتی، بهتر و مطلوب نمودن صداهاست و این مطلوبیت در بنای مسجد تعریفی متفاوت دارد. لازم است معماران ساختار خالق صداهای مطلوب را بشناسند و این امر ضرورت انجام این پژوهش را دوچندان می‌گرداند.

بینایی محدودکننده است در حالی که شنوایی به هم پیوند می‌زند. بینایی جهت‌دار ولی صدا همه سویه است. حس بینایی دلالت بر حالت ظاهری دارد، ولی صدا تجربه‌ای درونی می‌آفریند. معماری شنیداری همان تجارب شنیداری فضاهاست که درک فضا را پی‌ریزی و بیان می‌کند. درک شنیداری به‌عنوان تجربه ناخودآگاه در پیش زمینه ذهن باقی می‌ماند. صدا در فهم ابعاد فضا نقش مؤثری دارد و مقیاس را قابل درک می‌کند. هر شهری بسته به الگو و مقیاس خیابان‌هایش، سبک‌های معماری و مصالح متداول آن، پژواک خاصی به همراه دارد [۱]. چه از دید معماری و چه از دیدگاه صوتیات، شنیدن واجد اهمیت بسیار است و پژوهش در مورد آن امری ضروری خواهد بود. معماران و پژوهشگران، اسلام‌شناسان و عارفان همگی اذعان دارند که صدا می‌تواند حالت انسان را تغییر دهد [۱-۵]. ایجاد این تغییر در طراحی مکان عبادی

* نویسنده پاسخگو: ghaffari@tabriziau.ac.ir

در مطالعات سال‌های اخیر، سنجش میدانی هم‌چنان در اولویت مطالعات صوتیات معماری قرار دارد [۸-۹، ۱۲، ۲۰، ۲۴]. چون دقیق‌ترین نتایج را منطبق بر شرایط واقعی نمونه ارائه می‌دهد. در کنار دیگر متغیرهای صوتی، مطالعه نوفه زمینه، زمان واخنش و غالباً تراز شدت صدا در تمام پژوهش‌ها مشترک بوده و به عنوان اصلی‌ترین شبه‌سنج‌های سنجش به‌شمار می‌آیند [۱۳-۱۵، ۱۸، ۲۱]. متغیرهای معمارانه حاکم بر مطالعه در حوزه حجم، شکل پلان، اندازه و تناسبات، هندسه کالبدی و مصالح ارجح‌ترین عوامل فضا سازی به‌شمار می‌آیند [۱۰-۱۱، ۱۳، ۱۵-۱۶، ۲۲، ۲۳، ۲۵] که تدقیق آن‌ها به‌منظور انجام پژوهش‌های صوتیات معماری لازم و پیش فرض است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. شیوه شناختی

در بخش اول استاندارد ۳۳۸۲^۷ [۲۶] شرحی از انواع موقعیت‌های سنجش آمده که سه حالت برای آن متصور است: حالت خالی، حالت پُر که ۸۰ درصد تا ۱۰۰ درصد جمعیت را دارد و حالت استودیو که شرایط آزمایش بر آن حاکم است و سنجش‌گرها در فضا حضور دارند. در سنجش براساس این استاندارد باید منبع چندجهته بوده، صدای آن ۴۵ دسی‌بل بالاتر از نوفه زمینه باشد. منبع در همان مکان منبع طبیعی صدا در فضا قرار داده شده و حداقل دو موقعیت خواهد داشت. ارتفاع آن بایستی ۱/۵ متر از زمین بوده و میکروفون‌ها نیز در موقعیت شنوندگان جای‌گذاری شوند. فاصله آن‌ها از جداره‌های بازتابی هم‌چون کف و بدنه‌ها بایستی حداقل در حدود یک‌چهارم طول موج باشد که در حالت معمول ۱ متر در نظر گرفته می‌شود. فاصله میکروفون‌ها از هم باید حداقل نصف طول موج باشد که در دامنه‌ی بسامدهای معمول حدود ۲ متر است. ارتفاع آن‌ها به موقعیت شنونده بستگی دارد و نباید به منبع نزدیک باشد. در این استاندارد بازه بسامدی مورد نیاز بسته به هدف پژوهش تعریف می‌گردد. بخش دوم استاندارد ۳۳۸۲^۸ [۲۷] پس از بیان اینکه نکات فنی بخش اول در این آیین‌نامه تکرار نمی‌شود و صرفاً در مورد زمان

مطالعات صوتیات معماری از زمانی مفهوم یافت که سابقین توانست با انجام پژوهش‌های بسیار، رابطه‌ای منطقی بین زمان واخنش، حجم و سطح برقرار کند [۶]. از آن زمان، متخصصان این حوزه، به کسب تجربه و ثبت مطالعات خود روی آوردند و هر فضایی که در آن امواج صوتی نقش مؤثرتری دارد؛ از گذرگاه سنجش گذراندند. وضوح گفتار^۱ سنج‌های قابل ملاحظه‌ای است که مهم‌ترین سنج‌های صوتی برای فضا به‌شمار می‌آید و تحت تأثیر متغیرهای مختلفی تعریف می‌شود. اولین عامل مؤثر بر آن زمان واخنش (آرتی)^۲ است که هرچه بیشتر باشد وضوح صدا پایین‌تر خواهد بود. عوامل بعدی فاصله‌ی بین منبع و گیرنده و نیز تراز نوفه زمینه (بی‌ان)^۳ هستند که هرچه بیشتر باشند وضوح را کم‌تر خواهند کرد [۷].

متغیر مؤثر بعدی در صوتیات معماری، تنکش (تضعیف) گفتار هماهنگ^۴ است که به اشتباهات شنیداری در فضا اطلاق می‌شود و سال‌ها معیار وضوح گفتار بوده است [۷]. شاخص افت صدا (اس‌تی‌آی)^۵ عامل مؤثر دیگر در کیفیت صدای اتاق است که وضوح را ارائه نمی‌کند اما پیش‌بینی و حدس می‌زند و به واقع می‌توان گفت مجموعه‌ای از زمان واخنش و نوفه می‌باشد. از مجموع این عوامل است که فضاهای معماری دسته‌بندی صوتی می‌شوند [۷]. در این میان محققان بسیاری صوتیات در مساجد را محور مطالعه قرار داده و شبه‌سنج‌های کمی و کیفی مختلفی را در این بناها مورد آزمایش قرار داده‌اند.

مطالعاتی که پس از سال ۲۰۱۵ تاکنون در زمینه صوتیات مساجد انجام گرفته است؛ نشان می‌دهند حالات مختلف سنجش در نمونه‌ها عمدتاً با استناد به آیین‌نامه ۳۳۸۲^۶ تبیین می‌گردد. [۱۰، ۲۱، ۲۵] با وجود بهره از شبیه‌سازی

¹ Speech intelligibility

² RT; Reverberation Time

$$RT = \frac{0.161 \times V}{A}$$

در رابطه‌ی فوق RT زمان واخنش (ثانیه)، V حجم تالار (مترمکعب)، A جذب کلی سطوح که برابر است با مجموع حاصل ضرب سطوح برحسب (مترمربع) در ضریب جذب هریک، مقدار جذب کلی معمولاً با واحد سابقین عنوان می‌شود:

$$A = S_1 \times a_1 + S_2 \times a_2 + \dots + S_n \times a_n = \sum S_n a_n$$

³ BN; Background Noise

⁴ Alcons

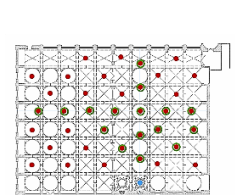
⁵ STI; Sound Transmission Index

⁶ ISO 3382

⁷ ISO 3382-1

⁸ ISO 3382-2

جدول ۲ نمونه‌های موردی مطالعه و چینش نقاط سنجش با سنجش‌گر ۲۲۶۰ (بررسی موردی مطالعه).

گنبددار	طاقی	ستون‌دار مربعی	ستون‌دار عرضی	ستون‌دار طولی
مسجد کبود	مسجد جامع	مسجد امام جمعه	مسجد ۶۳ ستون	مسجد حجت الاسلام
				
				
				

۱۰۰ هرتز تا ۵۰۰۰ می‌باشد، تحلیل کل زمان برداشت در هر نمونه است. بسامدهای تحلیل در بردارنده سنجش‌های ۲۲۶۰ است، اما از آن‌جا که سامانه دوربین صوتی در بسامدهای مضارب ۵۰ توقف دارد؛ در بازه حوزه گفتار که مورد توجه در این بخش از پژوهش است؛ بسامدهای ۶۳۰، ۳۱۵ و ۱۲۵ هرتز قابل برداشت نیست و به همین منظور بسامدهای ۶۵۰، ۳۰۰ و ۱۰۰ هرتز در مقابل بسامدهای مذکور معادل‌سازی شده‌اند. تحلیل و توضیحات این بخش مربوط به کل مدت زمان برداشت از نمونه‌ها با دوربین صوتی است، لیکن در راستای ادراک بصری توضیحات، محقق ناچار به ارائه تصویر برای تحلیل‌های خود در هر بسامد است. به همین منظور در تحلیل تصویری، ثانیه ۲۰ام سنجش در تمام نمونه‌ها مدنظر قرار گرفته است (جدول ۴). ثابت بودن زمان در تصویربرداری از فیلم‌های موجود، رفتار لحظه‌ای را به تفکیک بسامد نشان می‌دهد و رعایت این امر ضروری است. بازه ثابت برای تراز فشار صدا نیز تفاوت در نمونه‌ها را قابل مقایسه نموده و پراکندگی صدا در فضا را نمایش می‌دهد.^۲

^۲ بازه‌ی شدت حاکم بر کیفیت تصویری برداشت، ۱۰- تا ۴۵ دسی‌بل بوده و هرچه صدای موجود به عدد بیشینه نزدیک و با 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.

به لحاظ نوفه زمینه تمام نمونه‌های انتخابی به جز مسجد کبود در بافت بازار تبریز هستند و مسجد کبود در مجاورت محور اصلی شهر، خیابان امام خمینی، قرار دارد. بسته به شکل پلان و وسعت آن، تعداد نقاط سنجش در آن‌ها متفاوت بوده و در سنجش ارتفاع نشسته نقاطی مدنظر بوده‌اند که بیش‌ترین جمعیت حاضر در مسجد را پوشش دهند (جدول ۲). برداشت‌های انجام‌یافته با دوربین صوتی نیز همان‌گونه که اشاره شد در انتهای نمونه و در جهت رو به محراب صورت گرفته است.



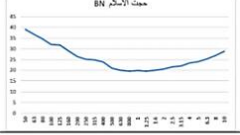
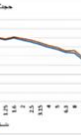

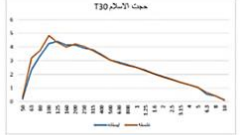
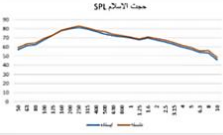
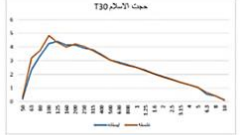


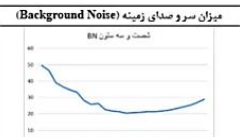
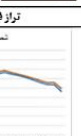
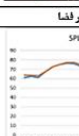
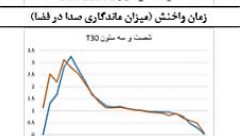

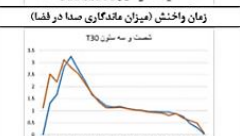



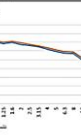
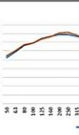

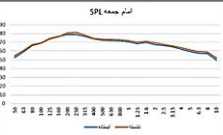



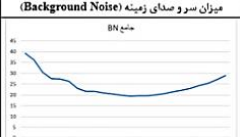







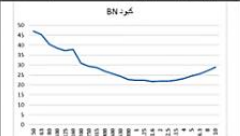
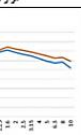
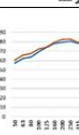
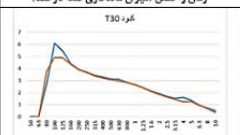
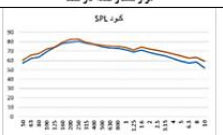
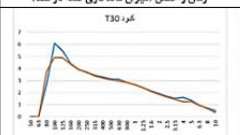

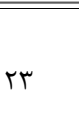






۳. نتایج

پس از سنجش عوامل نوفه زمینه (بی‌ان)، تراز شدت صدا (اس‌پی‌ال)^۱ و زمان واخنش (آرتی) در تک تک نقاط سنجش، میانگین‌گیری از آن‌ها در باند یک‌سوم اوکتاوی به منظور اخذ نتیجه واحد برای هر نمونه انجام شده که به تفکیک حالات ایستاده و نشسته ارائه گردیده است (جدول ۳).

برداشت‌های دوربین صوتی در هر نمونه با تنظیم ۶۰ ثانیه‌ای صورت گرفته و یافته‌ها و توضیحات به تفکیک بسامدهای حوزه گفتار که با استناد به استاندارد ایزو ۳۳۸۲ برای سامانه یک‌سوم اوکتاوی شامل بسامدهای

^۱ SPL

جدول ۳ میانگین‌گیری نقاط سنجش در نمونه‌ها؛ (الف) مسجد حجت‌الاسلام، (ب) مسجد ۶۳ ستون، (ج) مسجد امام جمعه، (د) مسجد جامع، (ه) مسجد کیود.

(الف)	<p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p> 
	<p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p> 
(ب)	<p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p> 
	<p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p> 
(ج)	<p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p> 
	<p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>ارتفاع ایستاده</p>  <p>ارتفاع نشسته</p>  <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p>  <p>تراز فشار صدا در فضا</p> 
(د)	<p>ارتفاع ایستاده</p> <p>ارتفاع نشسته</p> <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p> <p>ارتفاع ایستاده</p> <p>ارتفاع نشسته</p> <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p> <p>تراز فشار صدا در فضا</p> <p>تراز فشار صدا در فضا</p>
	<p>ارتفاع ایستاده</p> <p>ارتفاع نشسته</p> <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p> <p>ارتفاع ایستاده</p> <p>ارتفاع نشسته</p> <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p> <p>تراز فشار صدا در فضا</p> <p>تراز فشار صدا در فضا</p>
(ه)	<p>ارتفاع ایستاده</p> <p>ارتفاع نشسته</p> <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p> <p>ارتفاع ایستاده</p> <p>ارتفاع نشسته</p> <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p> <p>تراز فشار صدا در فضا</p> <p>تراز فشار صدا در فضا</p>
	<p>ارتفاع ایستاده</p> <p>ارتفاع نشسته</p> <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p> <p>ارتفاع ایستاده</p> <p>ارتفاع نشسته</p> <p>میزان سرو صدای زمینه (Background Noise)</p> <p>تراز فشار صدا در فضا</p> <p>تراز فشار صدا در فضا</p>

جدول ۴ تحلیل برداشت دوربین صوتی در نمونه‌ها.

برداشت دوربین صوتی					
کبود	جامع	امام جمعه	۶۳ ستون	حجت‌الاسلام	بسامد
					۵۰۰۰ هرتز
					۴۰۰۰ هرتز
					۳۱۵۰ هرتز
					۲۵۰۰ هرتز
					۲۰۰۰ هرتز
					۱۶۰۰ هرتز
					۱۲۵۰ هرتز
					۱۰۰۰ هرتز
					۸۰۰ هرتز
					۶۵۰ هرتز
					۵۰۰ هرتز
					۴۰۰ هرتز

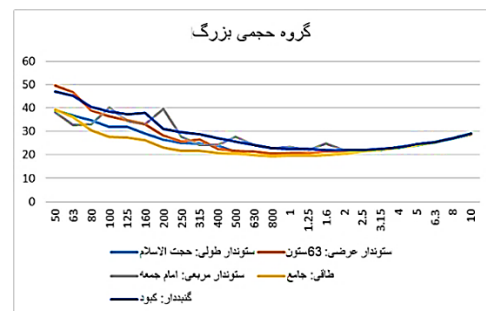
ادامه جدول ۴ تحلیل برداشت دوربین صوتی در نمونه‌ها.

برداشت دوربین صوتی					
کبود	جامع	امام جمعه	۶۳ ستون	حجت‌الاسلام	بسامد
					۳۰۰ هرتز
					۲۵۰ هرتز
					۲۰۰ هرتز
					۱۵۰ هرتز
					۱۰۰ هرتز

۴. بحث

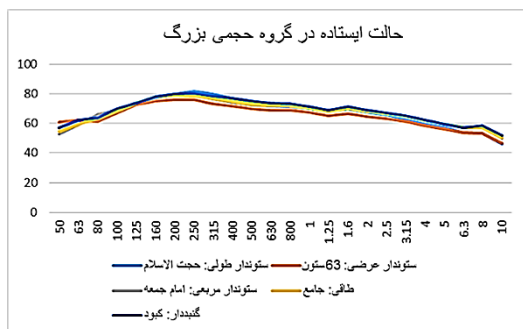
بیش‌ترین زمان واخنش ثبت شده برابر با حدود ۶ ثانیه در بسامد ۱۰۰ هرتز و مربوط به نمونه گنبددار است. در ارتفاع نشسته نیز بیش‌ترین زمان واخنش حدود ۵ ثانیه و مربوط به همین نمونه اما در بسامدهای ۱۰۰ و ۱۲۵ هرتز می‌باشد. مسجد گنبددار از لحاظ حجمی بیش‌تر از سایر نمونه‌هاست و دارا بودن بیش‌ترین زمان واخنش در تحلیل اولیه به همین دلیل خواهد بود. مسجد حجت‌الاسلام، نمونه بزرگ ستون‌دار طولی، در غالب بسامدها در کنار مسجد گنبددار مطالعه، بیش‌ترین ماندگاری صدا را از خود نشان می‌دهد. علی‌رغم اینکه تفاوت حجمی در این دو نمونه وجود دارد؛ اما مشابهت رفتار در ماندگاری صدا، نشان از تأثیر تفاوت‌های هندسی و کالبدی دارد. به نظر می‌رسد هم در حالت ایستاده و هم در حالت نشسته، رفتاری که مسجد کبود در مقابل امواج صوتی انجام می‌دهد، متأثر از حجم باشد. مساجد بزرگ ستون‌دار

طبق سنجش‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های سنجش‌گر ۲۲۶۰، در گروه حجمی بزرگ در بین مساجد تاریخی تبریز، نوفه زمینه بیشینه و کمینه به ترتیب به مسجد کبود و مسجد جامع به عنوان بزرگ‌ترین نمونه‌های گنبددار و طاقی اختصاص دارد و پس از بسامد ۲۵۰۰ هرتز هیچ تفاوت کالبدی، مکانی و حجمی بر میزان نوفه مؤثر نیست (شکل ۲).

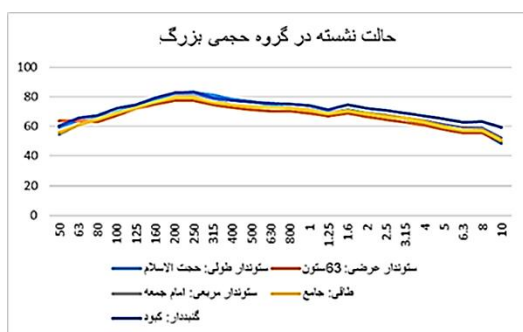


شکل ۲ تجمیع نوفه زمینه در نمونه‌های سنجش.

ستون‌دار طولی، هم در حالت ایستاده و هم در حالت نشسته بیش‌ترین مقدار و در هندسه کالبدی ستون‌دار عرضی کم‌ترین و پس از آن مربوط به نمونه طاقی است (شکل‌های ۵ و ۶).



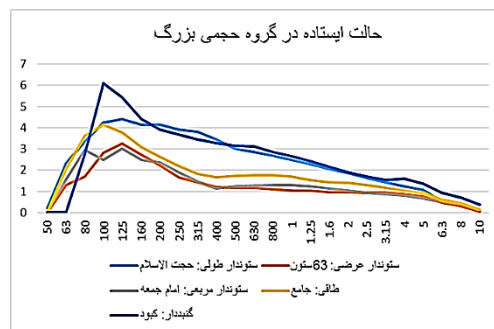
شکل ۵. تجمیع تراز فشار صدا در نمونه‌های سنجش در ارتفاع ایستاده.



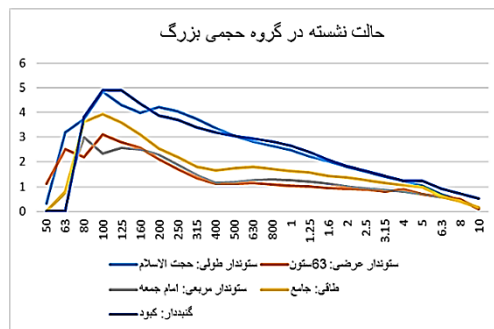
شکل ۶. تجمیع تراز فشار صدا در نمونه‌های سنجش در ارتفاع نشسته.

تحلیل برداشته‌های دوربین صوتی که در مجموع ۶۰ ثانیه برداشت صورت گرفته، نشان می‌دهد در بسامدهای بالاتر، منبع در هر پنج گروه کالبدی به خوبی خود را نشان داده، تمام بازتاب‌ها و انعکاس‌ها در حیطه این بسامدها بطور شفاف، قابل مشاهده است. تصاویر برداشتی نشان می‌دهند در پخش بسامدهای یادشده، جداره‌های برآمده، بدنه ستون‌ها و سرستون‌ها و سطوح خمیده قوس‌ها مهم‌ترین نقش را ایفا می‌نمایند. در بسامد ۵۰۰۰ هرتز شدت بازتاب‌ها افزایش یافته و تمایل به ترکیب با منبع بالاتر می‌رود. اما از بسامد ۴۰۰۰ هرتز به بعد صرفاً نمونه طاقی بیش‌ترین تمایل را در بروز این رفتار از خود نشان داده و در باقی نمونه‌ها از شدت بازتاب‌ها کاهش می‌یابد. از بسامد ۲۵۰۰ هرتز تمایل به بازآوایش (تشدید) در مرکزیت صدا

عرضی و مربعی کم‌ترین زمان واخنش را دارند و این امر با توجه به حجم نمونه‌ها، متأثر از هندسه بنا نیز می‌باشد. این دو نمونه زمان‌های واخنش تقریباً هم اندازه دارند، اما ساختار ستون‌دار عرضی هم در حالت ایستاده و هم در حالت نشسته کم‌ترین زمان ماندگاری صدا را به خود اختصاص داده است. بیشینه‌ی تمام پنج دسته‌بندی کالبدی مطالعه، بین بسامدهای ۸۰ تا ۱۲۵ هرتز و غالباً در ۱۰۰ هرتز رخ می‌دهد و ارتفاع نشسته نیز از این قاعده مستثنی نیست. مسجد طاقی مطالعه، مسجد جامع، در بسامدهای بیش از ۱۰۰ هرتز هم در حالت ایستاده و هم در حالت نشسته، زمان واخنش بیش‌تر از هندسه کالبدی ستون‌دار عرضی و مربعی و کم‌تر از هندسه کالبدی گنبددار و ستون‌دار طولی را داراست (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل ۳. تجمیع زمان واخنش در نمونه‌های سنجش در ارتفاع ایستاده.



شکل ۴. تجمیع زمان واخنش در نمونه‌های سنجش در ارتفاع نشسته.

تراز فشار صدا، علی‌رغم تفاوت‌های حجمی موجود در تمام نمونه‌ها، نزدیک به هم است و این امر نشان می‌دهد که در میزان فشار صدای حاکم بر فضا، همچنان حجم، مهم‌تر و ارجح‌تر از تفاوت‌های کالبدی و هندسی در نظر گرفته شده است. با این حال تراز فشار صدا در نمونه گنبددار و

صوتیات معماری در فضای عبادی با دوربین صوتی در هیچ پژوهشی در جهان انجام نیافته و این دو امر به عنوان بداعت این مطالعه در سطح داخلی و بین‌المللی به‌شمار می‌آیند.

۵. نتیجه‌گیری

فضاهای با حجم بزرگ در هر شهر به جهت اندازه و مقیاس خود، پرکاربر بوده و از این منظر توجه به خواست و حواس ادراکی مخاطبین در این فضاها ضرورت بیش‌تری دارد. شنوایی از برترین‌ترین حواس مذکور است که در بنای مسجد از اهمیت دوچندانی برخوردار است، چون به زعم محققین بسیار، کاربر در این بنا به منظور اقامه نماز جماعت، وعظ و خطبه خوانی و تلاوت قرآن حضور می‌یابد که لازمه این فعالیت‌ها شنیدار مطلوب در فضا است. میزان نوفه زمینه، زمان واخنش و تراز فشار صدا از اصلی‌ترین سنجه‌های وضوح گفتار به‌شمار می‌آیند که حجم و مصالح مهم‌ترین عوامل معمارانه در تحلیل متغیرهای یادشده قلمداد می‌شوند. زمانی که بازه حجمی و مصالح ثابت در نظر گرفته می‌شود می‌توان تأثیرات ناشی از تفاوت‌های کالبدی را محتمل دانست. نمونه‌های مورد مطالعه در بازه حجمی بزرگ، با مصالح یکسان آجری در پنج دسته کالبدی متفاوت انتخاب و تحلیل شده‌اند که نتایج پژوهش نشان می‌دهند زمان واخنش در نمونه ستون‌دار طولی و گنبددار مقادیر بیش‌تری دارد. در بسامدهای میانی، نمونه‌های مذکور تراز فشار صدای بالاتری نیز دارند و این درحالی‌ست که نمونه ستون‌دار عرضی در غالب بسامدهای باند یک‌سوم اوکتاوی زمان واخنش و تراز فشار صدای پایین‌تری دارد. نمونه ستون‌دار مربعی در زمان واخنش، مشابه فرم ستون‌دار عرضی رفتار می‌نماید، اما در تراز فشار صدا در بسامدهای مختلف مقادیر متفاوتی نشان می‌دهد. نمونه طاقی نیز هم در زمان واخنش و هم در تراز فشار صدا، رفتاری میانه دارد. از آن‌جا که در بسامدهای حوزه گفتار، هم در حالت نشسته و هم در حالت ایستاده، تفاوت‌های تراز فشار صدا در نمونه‌ها چندان بارز نیست و در عین حال زمان واخنش آن‌ها تا چند ثانیه اختلاف نشان می‌دهد؛ بنابراین رفتار تراز فشار صدا در نمونه‌ها مشابه هم، و زمان واخنش عامل مهم در قضاوت شرایط

در همه نمونه‌ها افزایش یافته و همچنان نمونه طاقی شدیدترین بازخورد را ارائه داده است. با نیل به بسامدهای میانی گستره صدای پرشدت از سمت منبع به انتهای مسجد در همه نمونه‌ها افزایش می‌یابد و در بسامد ۱۰۰۰ هرتز به اوج خود می‌رسد. در بسامدهای ۸۰۰ و ۶۵۰ هرتز گستره صدای پرفشار مجدداً کوچک‌تر شده عناصر انتهایی در نمونه‌ها پخش کم شدت‌تری دارند. نمونه‌های ستون‌دار بیش‌ترین فشار صدای پخش‌شده را در حیطه منبع، نمونه طاقی در پخش افقی و نمونه گنبددار در پخش عمودی دارد. این بدان معنا است که بازتاب‌های ستونی ضعیف‌تر بوده و جداره‌های برآمده طاق و بازآوایش‌های رخ داده در گنبد شدت بیش‌تری دارند. از بسامد ۵۰۰ هرتز بازآوایش اصلی در عناصر سقفی رخ می‌دهد. گنبدها، گوشه‌سازی‌ها، تیزه طاق و راس توپزه‌ها محل اصلی صدای پرشدت هستند. این رفتار که در تمام بسامدهای پایین‌تر از بسامد ۵۰۰ هرتز حاکم است، در بسامد ۲۵۰ هرتز صرفاً گستره کم‌تری را در برگرفته محدوده انتشار آن مشابه بسامدهای پیش از خود است. از بسامد ۲۰۰ هرتز شکل پخشایی به صورت دایره‌ای منظم بوده و گستره آن در حال افزایش است. بیش‌ترین محدوده انتشار در بسامد ۱۰۰ هرتز رخ می‌دهد و پخش صدا در گسترده‌ترین حالت به شکل دایره‌ای از عناصر سقفی به کل نمونه اتفاق می‌افتد.

مطالعه کنونی در انتخاب بین سنجش میدانی و شبیه‌سازی، برداشت میدانی را برتر دانسته و روی‌کرد مطالعه در بستر واقعی نمونه را ترجیح داده است [۳-۲۰]. ابزار مطالعه منطبق با بروزترین تجهیزات مطالعات صوتیات معماری است و از این منظر از منابع [۵، ۷، ۱۲، ۱۵] تبعیت کرده است. انتخاب مساجد تاریخی برای مطالعه و نگاه به امواج صوتی به عنوان بخشی از میراث فرهنگی نگاه محققین منابع [۹-۱۱] است که مورد تأکید این پژوهش نیز بوده است. توجه به هندسه کالبدی، شکل پلان و هندسه سقفی که به عنوان اصلی‌ترین چالش این مطالعه مدنظر می‌باشد، در مطالعات [۶، ۸، ۱۰، ۱۴، ۱۹-۲۰] نیز به عنوان سنجه مطالعه مورد توجه قرار گرفته است. اما هیچ پژوهشی در ایران به این امر نپرداخته و تاثیر هندسه و کالبد بنا بر شرایط آن در فضاهای ایرانی مورد سنجش قرار نگرفته است. از سویی دیگر مطالعه

فهرست منابع

- [1] J. Pallasmaa, "The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses," Wiley Publisher, Translated by R. Ghods, 2017, (In Persian).
- [2] H. Vakili, M. Mobalegh, "Cosmological explanation of hearing," Research Journal of Erfan, no. 4, pp. 119-142, 2012, (In Persian).
- [3] F. Ghodrati, S. Rahimian, "Studying the effects of music on man in a philosophical approach," Journal of Andishe Novin Dini, vol. 5, no. 18, 2009, (In Persian).
- [4] A. Salavati, "Mystical explanation of divine hearing from the perspective of Abdul Razzaq Kashani," Iranian Journal of the Religions and Mysticism, vol. 49, no. 1, 2016, (In Persian).
- [5] A. Irani, "Music: Ibn Arabi's mystical views on hearing and singing," Art Journal, no. 29, 1996, (In Persian).
- [6] J. Malcolm Crocker, "Encyclopedia of Acoustics," John Wiley & Sons, vol. 3, no. 1, 1997.
- [7] M. Ana Jaramillo, "Chris steel, Architectural acoustics," Routledge, 2015.
- [8] H. Kassim, A. Putra, "The acoustical characteristics of the Sayyidina Abu Bakar Mosque, UTeM," Journal of Engineering Science and Technology, vol. 10, no. 1, pp. 97-110, 2015.
- [9] Z. Sü Gül, N. Xiang, M. Çalıskan, "Investigations on sound energy decays and flows in a monumental mosque," Acoustical Society of America, vol. 140, pp. 344, 2016.
- [10] A. Elkhateeb, A. Adas, M. Attia, Y. Balila, "Are our masjids suffering excessive reverberation," 23rd International Congress on Sound & Vibration, Athens G, reece, 2016.
- [11] H.H. Eldien, H.A. Qahtani, "The acoustical performance of mosques main prayer hall geometry in the eastern province, Saudi Arabia," Acoustics, 2012.
- [12] Ö.Y. Karaman, N. Onat Güzel, "Acoustical Properties of Contemporary Mosques Case Study of Bedirye Tiryaki Mencik Mosque", Manisa," YBL Journal of Built Environment vol. 5, no. 1, pp. 14-30, 2017.
- [13] N.A. Adnan, R.N. Raja Shahminan, F. Khair Ibrahim, H. Tami, M. Rizal, M. Yusuff, E.M. Samsudin, I. Ismail, "Acoustic quality levels of mosques in batu pahat," IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 140, 2017.
- [14] F.Y. Sert, H. İbrahim Alpaslan, Ö. Yilmaz Karaman, "Evaluation of acoustic features of manisa sultan mosque," STD, vol. 2, pp. 243-259, 2017.

صوتی نمونه خواهد بود. با این روی‌کرد می‌توان نمونه ستون‌دار عرضی و مربعی را به جهت زمان واخنش کم‌تر دارای شرایط مطلوب صوتی برای گفتار دانسته و نمونه ستون‌دار طولی و گنبددار را به دلیل زمان واخنش بالاتر و ایجاد پژواک در فضا برای تلاوت قرآن مناسب تلقی نمود. با استناد به مطالعات پایه در تعریف صوتیات معماری، بالا بودن وضوح گفتار در زمان واخنش کم‌تر رخ می‌دهد و زمان واخنش بیش‌تر در فعالیت‌های آهنگین مانند تلاوت قرآن مدنظر قرار می‌گیرد. تنظیم تمام دستگاه‌های برقاوتی^۱ در مقابل پژواک به همین دلیل صورت می‌گیرد و افراد هنگام ادای آهنگین تکرار کلمات را در دستگاه بالا برده و صدا را ماندگارتر می‌گردانند. دو نمونه ستون‌دار طولی و گنبددار این مطالعه بدون نیاز به تجهیزات برقاوتی، به کمک معماری، ادای پرتکرار و موزون و آهنگین کلمات را برای مخاطبین خود فراهم می‌آورند. برداشتهای تصویری از نمونه‌ها نشان می‌دهند پخشایی صدا در نمونه‌های ستون‌دار حاصل منبع اصلی و بازتاب‌های آن از بدنه ستون‌هاست. نمونه گنبددار در کنار منبع از بازتاب سطوح منحنی طاقی برای پخش صدا بهره می‌برد و در نمونه طاقی، مجموعه‌ای از خود منبع، بازتاب جدارهای و انحنای قوس‌ها ارائه‌دهنده صدای نمونه خواهد بود. تلفیق عناصر بیش‌تر در پخش صدا در این نمونه سبب شده است تا سراسر نمونه بیش‌تر بسامدها را با شدت بیش‌تری دریافت نماید که دلیلی تصویری بر اثبات رفتار میانه‌ای آن در سنجش‌های دستگاه ۲۲۶۰ در برابر متغیر زمان واخنش و تراز فشار صدا به‌شمار می‌آید.

۶. تقدیر و تشکر

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

۷. تضاد منافع

این مطالعه تضاد منافع ندارد.

¹ Electroacoustic

- [27] ISO 3382-2: 2008 (E), International Organization for Standardization Provided by IHS under license with ISO, Switzerland.
- [15] N. Rahmawati Syamsiyah, A. Dharoko, S. Sosetya Utami, "Sound preservation at the Grand Mosque of Yogyakarta in Indonesia: The acoustic performance of the traditional architecture," AIP Conference Proceedings, 040032, 2018.
- [16] R. Suárez, A. Alonso, J.J. Sendra, "Virtual acoustic environment reconstruction of the hypostyle mosque of Cordoba," Applied Acoustics, vol. 140, pp. 214-224, 2018.
- [17] Z.S. Gul, E. Odabas, N. Xiang, M. Caliskan, "Diffusion equation modeling for sound energy flow analysis in multi domain structures," Acoustical Society of America, vol. 145, no. 4, pp. 2703-2717, 2019.
- [18] W. Orfali, H. Tolba, "Assessment of the occupancy's effect on speech intelligibility in al-madinah holy mosque," Aerospace and Mechanical Engineering, vol. 12, no. 9, pp. 877-881, 2018.
- [19] S.N. Rahmawati, D. Atyanto, U. Sentagi Sesotya, "The role of geometric shape of javanese traditional mosque in forming the characteristic of room acoustics," Advanced Science Letters, vol. 24, no. 12, pp. 9209-9213(5), 2018.
- [20] Z. Su Gul, "Review on acoustics timeline of Hagia Sophia and Süleymaniye Mosque in İstanbul," 23rd International Congress on Acoustics, pp. 2351-2358, 2019.
- [21] L. Hilma, I. Izziah, E. Meutia, Z. Zulfian, "The evaluation of thermal, room Acoustics and daylight performance of old indrapuri mosque in aceh besar, Indonesia," Malaysian Journal of Sustainable Environment, vol. 6, no.1, pp. 57-72, 2019.
- [22] Z. Su Gul, E. Odabas, M. Caliskan, "Single versus multi- domain analysis in diffusion equation modeling for sound field analysis of distinct room shapes," 23rd International Congress on Acoustics, pp. 6020-6027, 2019.
- [23] Z. Sü Gül, "Acoustical Impact of Architectonics and Material features in the lifespan of two monumental sacred structures," Acoustics, vol. 1, pp. 493-516, 2019.
- [24] H. Hossam Eldien, "The impact of dome-shape on the acoustic performance -a case study of a mosque in Saudi Arabia," Technical Report , 2020.
- [25] Z. Karabiber, S. Erdogan, "Comparison of the acoustical properties of an ancient and a recent mosque," Yýldýz Technical University, Faculty of Architecture, 2002.
- [26] ISO 3382-1: 2009 (E), International Organization for Standardization Provided by IHS under license with ISO, Switzerland.

(Research Article)
**1/3 Octave band analysis of physical form in the great historical mosques of
Tabriz**

F. Gholizadeh, A.Ghaffari^{*}, M.A. Keinezhad

Faculty of Architecture & Urbanism, Tabriz Islamic Art University

Received: 2021/03/18, Accepted: 2021/10/27

Abstract

Mosques are among the buildings that sound has a special role in the explanation of their quality. It seems that different physical forms in mosques also play a role in the field of acoustics, domed, columned and arched buildings offer different qualities of sound. To analyze this feature, the current study has selected 5 samples of large historical mosques in Tabriz as a study sample, which are classified into 5 formal groups. The method is field research based on ISO3382 and visual surveys and Background Noise, Sound Pressure Level and Reverberation Time were measured in the empty position of the samples and at two standing and sitting heights to simulate the prayer positions. Findings of the study consider the arched form to have a balanced behavior, evaluating the maximum RT both at standing and sitting position at a frequency of 100 Hz and related to the domed sample. Another part of the findings, according to the visual surveys, shows that the combination of spatial elements plays a great role in the distribution of sound, and the scattering of the main frequencies of the speech in all the mosques is desirable and intense.

Keywords: Architecture, Acoustics, Physical form, Great mosques.

pp. 19-29 (In Persian)

^{*} Corresponding author E-mail: ghaffari@tabriziau.ac.ir