Journal of Iranian Architecture & Urbanism
(JIAU)
Homepage: https://www.isau.ir/

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Analysis of the Impact of Volume Changes on Acoustic Behavior in Mosques; Case Study: the Historic Mosques of Tabriz

Abbas Ghaffari [1], * **, Farzaneh Gholizadeh** [2]

[1] *Associate Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tariz, Iran.*
[2] *Ph.D. in Islamic Architecture, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.*

ARTICLE INFO

Article History:

Received	2020/07/16
Revised	2020/11/09
Accepted	2021/02/05
Available Online	2022/12/31

Keywords:

Acoustics
Architecture of Mosques
Changes in Volumes
Sound Behavior

Use your device to scan and read the article online

Number of References
31

Number of Figures
3

Number of Tables
9

Extended ABSTRACT

BACKGROUND AND OBJECTIVES: Hearing in humans is a sense which has no role in selecting entries and responds unconsciously to various sounds. The environment in which humans live is overfilled with such sounds and vis saturated with different types of sounds from a variety of sources. Depending on the location of the human, the maximum amount of sound exposure that the ear can tolerate is determined. Architecture limits and frames sound. This causes the sound to behave differently indoors than outdoors. The type of difference is sometimes desirable and sometimes undesirable, and this is due to different architectures. There are many effective components in the formation of architecture and the physical structure of a place. However, early studies in Acoustics for architecture, exemplified by Sabine's formula, placed emphasis on the size, materials, and surface area of space as the most important factors in shaping its acoustics. As mosques are of a particular function in terms of acoustics, they require multiple behaviors in this field. An acoustically ideal mosque should not only provide quiet spaces for individual concentration, but also distribute sound effectively for collective use. According to Sabin's formula, this can be achieved through careful consideration of the volume, materials, and surface area of the space.

METHODS: The purpose of this study was to investigate how changes in volume affect the acoustic behavior of mosques. To achieve this, the study aimed to maintain consistent parameters affecting sound measurements to analyze the impact of volume variations on the acoustic behavior of mosques. Findings suggest that traditional mosques with smaller volumes generally have more homogeneous sound behavior and exhibit higher sound pressure levels throughout the space. In contrast, larger mosques may have areas with high sound pressure levels but inconsistent sound behavior. The study was conducted in two phases - a theoretical phase and a field study - focusing on analyzing the acoustic behavior of mosques using advanced tools to obtain accurate results. The main objective of the research was to differentiate between acoustics in different volumetric types and identify effective techniques. In order to measure the Reverberation time, the 2260 device of B&K Denmark has been used, and several points have been measured in mosques depending on the size of the plan surface. The SINUS Acoustic Camera was utilized for imaging purposes and was operated in two positions. During the first stage, the samples' overall noise level was recorded. In the second position, the sound source was utilized. In all instances, the position of the source in the Mihrab was taken into account. This was done to simulate the preacher's typical placement in the Mihrab. The selected frequency range is up to 10 kHz.

FINDINGS: The findings indicate that all samples had a consistent sound distribution of 94 decibels. However, the largest volume exhibited the lowest sound pressure level, while the smaller volumes had higher sound pressure levels in proportion to their size. This shows that the effect of loud noises in space is much less felt with increasing volume. This acoustic event intensifies with increasing frequency and the effect of volume is less at low frequencies. On the other hand, increasing the volume increases the reverberation time, and this change, in contrast to the SPL, is greater at lower frequencies. In other words, the volume at lower frequencies is an effective factor in changes in the reverberation time and does not play a significant role in the reverberation time of space at high frequencies.

© 2022, JIAU. All rights reserved.

https://dx.doi.org/10.30475/isau.2021.230007.1410

OPEN ACCESS

* Corresponding Author:
Email: *ghaffari@tabriziau.ac.ir*
Phone: +98(912)6870323

Extended ABSTRACT

CONCLUSION: The results show that increasing the volume in the same structure of the samples reduces the sound pressure level in the building and, at the same time, increases the reverberation time. This is directly dependent on the frequency, and at lower frequencies, increasing the volume has less effect on the sound pressure level. In the reverberation time factor, the frequency behavior is inverse and the volume will be less effective at higher frequencies, which proves the acoustic balance in the samples. The three factors of volume, reverberation time, and sound pressure level vary in relation to the frequency range. The relationship between volume, reverberation time, and sound pressure level also varies depending on the frequency spectrum. This finding will be effective in designing mosques with a similar structure because the reverberation time and the desired sound pressure level can be predicted depending on the desired volume. On the other hand, since a standard amount is defined for reverberation time in mosques and other settings, the volume of the space can be designed, and the sound pressure level can be adjusted to achieve the desired Reverberation time.

.....

HIGHLIGHTS:

- The overall sound behavior in mosques with lower volumes is more homogeneous, the Sound Pressure Level in totality of the space is higher and in larger samples, multiple places are created with high but heterogeneous Sound Pressure Level.
- In the same structure and architecture, increasing the volume will decrease the SPL and increase the RT.
- The effect of volume on RT and SPL is dependent on frequency and at lower frequencies, volume differences have less effect on SPL. For the RT factor, the behavior of the frequency is reversed and the volume has less effect on the RT at higher frequencies.

ACKNOWLEDGMENTS:

This article is derived from the research project entitled "Analysis of acoustical Behavior in architecture of historical mosques of Tabriz bazar with Volumetric Approach" under contract number 7983/2, which was carried out with the financial support of Tabriz Islamic Art University.

CONFLICT OF INTEREST:

The authors declared no conflicts of interest.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Journal of Iranian Architecture & Urbanism (JIAU). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Ghaffari, A.; Gholizadeh, F., (2022). Analysis of the Impact of Volume Changes on Acoustic Behavior in Mosques; Case Study: the Historic Mosques of Tabriz. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism*., 13(2): 197-210.

https://dx.doi.org/10.30475/isau.2021.230007.1410
https://www.isau.ir/article_133826.html

نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران. دوره ۱۳. شماره ۲. صفحات ۲۱۰-۱۹۷. پاییز و زمستان ۱۴۰۱

نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران
(JIAU)
https://www.isau.ir/

مقاله علمی- پژوهشی

تحلیل تاثیر تغییرات حجمی بر رفتار آکوستیکی در مساجد؛
مطالعه موردی: مساجد تاریخی تبریز

عباس غفاری [۱و*]، فرزانه قلیزاده [۲]

۱. دانشیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
۲. دکترای معماری اسلامی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

مشخصات مقاله

تاریخ ارسال ۱۳۹۹/۰۴/۲۶
تاریخ بازنگری ۱۳۹۹/۰۸/۱۹
تاریخ پذیرش ۱۳۹۹/۱۱/۱۷
تاریخ انتشار آنلاین ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

واژگان کلیدی

آکوستیک
معماری مساجد
تغییرات حجمی
رفتار صوتی

چکیده

شنوایی در انسان حسی است که در انتخاب ورودی‌ها نقشی ندارد و ناخودآگاه در برابر صداها قرار می‌گیرد. محیط زندگی انسان، سرشار از این اصوات است و منابع مختلفی به ازدیاد آن کمک می‌نمایند که در هر محیطی بسته به موقعیت انسان، تعریف حداکثری برای میزان بار وارده صوتی به گوش انسان تعریف می‌شود. مساجد به عنوان عملکردی خاص در زمینه آکوستیک نیازمند رفتارهای چندگانه در این حوزه‌اند. مسجد ایده‌آلِ آکوستیکی بایستی بتواند در عین این‌که به فضاهای خلوت و تمرکز فردی اهمیت می‌دهد، در پخش مناسب صدا به منظور کاربردهای جمعی نیز موفق عمل نماید. به نظر می‌رسد رفتار کلی صوتی در مساجد با فرم و ساختار سنتی در احجام کمتر همگن‌تر بوده، تراز فشار صدا (Sound Pressure Level: SPL) را در کلیت فضا بالاتر نشان دهد و در نمونه‌های حجیم‌تر مکان‌های متعدد با فشار بالای صدا اما ناهمگن بوجود آید. به منظور واکاوی فرضیه‌ی مذکور، طرح مطالعاتی پیش‌رو، در دو فاز مطالعاتی و میدانی انجام یافته و تحلیل رفتار صوتی دغدغه اصلی پژوهش است تا بتوان در گونه‌های مختلف حجمی تفاوت‌های آکوستیکی را با تکیه بر ابزارهای سنجش بروز که ارائه‌دهنده نتایج کارآمدتری نیز خواهد بود؛ بررسی و تحلیل نمود. نتایج پژوهش نشان می‌دهد افزایش حجم در ساختار یکسان نمونه‌ها، موجب کاهش فشار صدا در بنا می‌شود و در عین حال زمان واخنش افزایش می‌یابد. این مقوله به فرکانس وابستگی مستقیم دارد و در فرکانس‌های پایین‌تر، افزایش حجم تاثیر کمتری در تراز فشار صدای فضا دارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نکات شاخص

- رفتار کلی صوتی در مساجد با احجام کمتر همگن‌تر بوده، تراز فشار صدا در کلیت فضا بالاتر است و در نمونه‌های حجیم‌تر، مکان‌های متعدد با تراز فشار بالای صدا اما ناهمگن بوجود می‌آید.
- در ساختار و معماری مشابه، افزایش حجم، موجب کاهش SPL و در عین حال افزایش RT می‌شود.
- تاثیر حجم بر RT و SPL به فرکانس وابسته بوده و در فرکانس‌های پایین‌تر، تفاوت‌های حجمی تاثیر کمتری در SPL دارد. در قبال فاکتور RT، رفتار فرکانس معکوس است و حجم در فرکانس‌های بالاتر تاثیر کمتری بر RT می‌گذارد.

نحوه ارجاع به مقاله

غفاری، عباس و قلیزاده، فرزانه. (۱۴۰۱).تحلیل تاثیر تغییرات حجمی بر رفتار آکوستیکی در مساجد؛ مطالعه موردی: مساجد تاریخی تبریز، *نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران*، ۱۳(۲)، ۱۹۷-۲۱۰.

* نویسنده مسئول
تلفن: ۰۰۹۸۹۱۲۶۸۷۰۳۲۳
پست الکترونیک: ghaffari@tabriziau.ac.ir

مقدمه

مطالعات آکوستیکی در اولویت‌های نخستین طرح‌های سراسر جهان قرار دارد. در بسیاری پایگاه‌های اطلاعاتی، موفق‌ترین پژوهش‌های به‌روز، در زمینه آکوستیک می‌باشد. لیکن موضوع هریک در طیف گسترده‌ای از مکان تا روش و متغیر قرار دارد. به عبارتی بهتر می‌توان گفت محوریت آکوستیک در مطالعات، در مکان‌های مختلف از فضاهای عبادی، آموزشی، اداری و ...، تا بافت شهری موضوعیت دارد. به علاوه نوع مطالعه نیز دارای تنوع در روش‌های انجام کار است. انواع آزمون‌ها از مطالعات نرم‌افزاری تا انسانی و میدانی به عنوان ابزار این پژوهش‌ها در نظر گرفته شده و بسته به اهداف تعیین شده، راهکار انجام، متفاوت در نظر گرفته می‌شود. در خصوص متغیر نیز می‌توان پارامترهای متعددی را محوربخش مطالعات بروز جهان دانست. وضوح گفتار، زمان واخنش، ترازهای شدت و فشار صوتی، منظر صوتی، آلودگی‌ها، عوارض ناشی از آن‌ها و بسیاری عوامل دیگر در شکل‌گیری پژوهش‌های اخیر جهان دخیل‌اند.

پژوهش حاضر با مطالعه در مساجد به عنوان مکان مطالعه، ابزار سنجش میدانی را برای خود برگزیده و ارزیابی تراز فشار صدا و زمان واخنش را به عنوان پارامتر و متغیر مورد مطالعه انتخاب نموده است. در همین راستا پس از اندازه‌گیری میدانی به کمک دوربین صوتی[1] نیز مستقیماً از رفتار صوتی فضا عکاسی نموده و کمیت را بدون نیاز به متغیر واسطه به کیفیت تبدیل می‌کند. این پژوهش پس از انجام فاز مطالعاتی و میدانی، در فاز تکمیلی، اندازه‌گیری‌ها و تصاویر صوتی را با یکدیگر تطبیق داده، پس از تحلیل یافته‌ها و برآیندسنجی در گروه‌های حجمی، نتیجه نهایی پژوهش را اخذ نموده است. روند انجام این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.

روش تحقیق

فرضیه‌ی "به نظر می‌رسد رفتار کلی صوتی در مساجد با فرم و ساختار سنتی در احجام کمتر همگن‌تر بوده، تراز فشار صدا را در کلیت فضا بالاتر نشان دهد و در نمونه‌های حجیم‌تر مکان‌های متعدد با فشار بالای صدا اما ناهمگن بوجود آید"، به منظور پاسخ به سوال "مساجد تاریخی بازار تبریز در حجم‌های مختلف چه الگوی رفتاری صوتی از خود نشان می‌دهند؟"، مدنظر این مطالعه است. به همین منظور مبانی اجرائی آن پس از مطالعات جامع کتابخانه‌ای، بر مبنای تعیین و شناسایی رفتار صوتی در محدوده فرکانس‌های تولید شده در مساجد، استوار است. در مرحله میدانی، سنجش و اندازه‌گیری‌ها انجام می‌شود که در دو بخش اندازه‌گیری تراز فشار صوت با دستگاه سنجش‌گر صوتی ۲۲۶۰ مدل BZ7210 با شماره سریال ۲۳۶۱۱۳۰ که میکروفون آن با کالیبراتور ۴۲۳۱ که بر اساس استاندارد IEC 60942 طراحی شده است، کالیبره می‌شود و فیلمبرداری آکوستیکی از رفتار فشار صدا با دوربین صوتی SINUS پیش می‌رود. در مرحله نهایی تطبیق خروجی‌های حاصل از دو دستگاه بر روی نمونه‌ها از لحاظ حجمی و نوع رفتار صوتی آنالیز می‌شود. در یک نگاه کلی روش پژوهش نیمه‌تجربی است و با رویکرد کمی، یافته‌های سنجش به توصیفات کیفی منجر می‌شود.

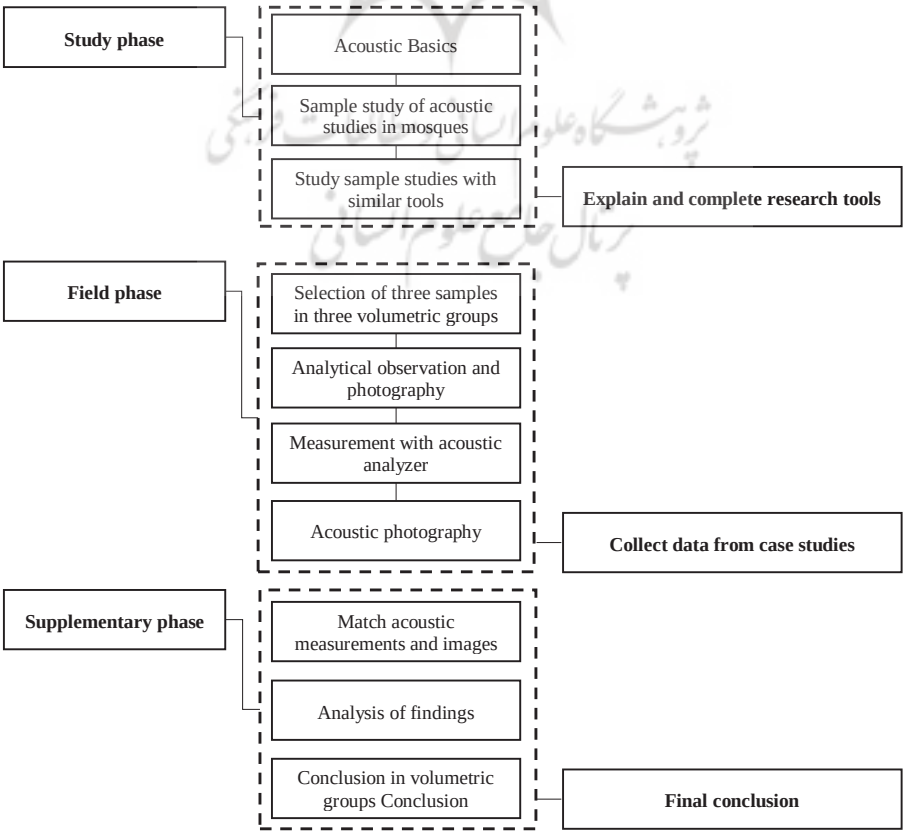


Fig. 1. Research process

مرور ادبیات

مبانی‌نظری آکوستیک

تعامل بین موج صدا و المان‌های ساختمان تحت عنوان آکوستیک هندسی ارزیابی می‌شود. یکی از اهداف کنترل صدای بازتابی با مصالح جذبی، کاهش تراز صداست که پس از صدای مستقیم بگوش می‌رسد و می‌تواند وضوح گفتار را کاهش دهد. با جذب این صدا می‌توان انرژی آن را کم نمود و فاصله‌ای را که می‌تواند پخش گردد و یا با چه میزان بلندی شنیده شود، تعیین کرد. گاهی بازتاب صدا مطلوب معماری است، لیکن بهره از مصالح جذبی برای کاهش بازتاب در مواقع غیرضروریست. اندازه، فرم و شکل اتاق در آکوستیک آن تاثیر مستقیم دارند. اندازه‌های نابجا و جای‌گیری صفحات بازتابی در مکان نادرست، آکوستیک فضا را ضعیف جلوه می‌دهد. زمان واخنش[۲] یکی از پارامترهای سنجش آکوستیک در فضای معماری است که می‌توان آن را اندازه‌گیری، محاسبه و یا شبیه‌سازی نمود. از آنجا که زمان واخنش به زمانی اطلاق می‌شود که لازم است تا صدا به میزان ۶۰ دسی‌بل افت داشته باشد، معمولاً فقط از اندازه‌گیری استفاده نمی‌شود و نتایج اندازه‌گیری با محاسبات یا شبیه‌سازی‌ها ، قیاس می‌گردد. شکل و فرم اتاق در آکوستیک فضا موثر است، سقف‌های منحنی تمرکز صدا در نقطه‌ای خاص به وجود می‌آورند و به همین ترتیب می‌توان تاثیرات متعدد فرم بر آکوستیک فضا را، نام برد. وضوح گفتار فاکتور قابل مطالعه دیگری است که مهم‌ترین پارامتر آکوستیکی برای فضا به شمار می‌آید و تحت تاثیر متغیرهای مختلفی است. اولین عامل موثر بر آن همان زمان واخنش است که هرچه بیشتر باشد، وضوح پایین‌تر خواهد بود. میزان فشار صدا در ارتباط نزدیک با زمان واخنش است و این دو عامل در کنار هم وضوح را تحت تاثیر قرار می‌دهند (M Jaramillo & Chris Steel, 2015). متغیرهای متعدد دیگری نیز بر وضوح اثرگذارند، لیکن از آنجا که این پژوهش به تحلیل دو عامل مذکور که موثرترین فاکتورها در ارزیابی وضوح در یک فضاست پرداخته است، از تعریف و توضیح دیگر پارامترها خودداری می‌نماید.

نمونه مطالعات آکوستیکی در اماکن عبادی

مطالعات آکوستیک معماری از زمانی مفهوم یافت که سابین[۳] توانست با انجام پژوهش‌های بسیار، رابطه‌ای منطقی بین زمان واخنش، حجم و سطح برقرار کند. از آن زمان، متخصصان این وادی، به کسب تجربه و لذا ثبت مطالعات خود روی آوردند و هر فضایی که در آن صوت مفهومی جدی‌تر دارد را از گذرگاه سنجش گذراندند. در این میان، فضاهای عبادی به دلیل اهمیت ویژه فیزیکی و روانی آن‌ها، مورد توجه بسیار بوده‌اند. شاید به جرأت بتوان گفت عبادتگاه‌ها، تنها فضاهای معماری‌اند که روان و روح آدمی را بیش از جسم و فیزیک او درگیر می‌سازند و آنچه در این آمیختگی، اساسی‌ترین نقش را ایفا می‌کند صوت و آواهای شنیداری‌اند. پژوهش‌های بسیاری در حوزه آکوستیک کلیساها و مساجد صورت گرفته و بسته به نیاز این دو فضا، نتایج و ره‌آوردهای متفاوتی داشته است. کلیسا، فضایی است که موسیقی در آن حرف نخست را می‌زند. لذا بررسی متغیرهای وابسته به حوزه موسیقی در آن مهم‌تر بوده و سنجش پارامترهای کلیساها نهایتاً با استانداردهای بخش موسیقی ارزیابی می‌گردد. اما مسجد، فضایی برای عبادت انفرادی و گاهاً عبادت دسته‌جمعی، وعظ و سخنرانی است. بنابراین سنجش‌های انجام یافته در این اماکن با متغیرهای گفتار ارزیابی شده و مورد تحلیل قرار می‌گیرد. می‌توان گفت مطالعه پیرامون مساجد در ایران بسیار است، لیکن حوزه پژوهش در اغلب آن‌ها کیفی بوده و عموماً به ساختار معنایی در آن‌ها توجه گردیده است. معدود مطالعاتی نیز در ایران وجود دارد که پارامترهای کمی در آن‌ها مورد تحلیل بوده است. لیکن پژوهش پیرامون آکوستیک فضاهای عبادی در خارج از کشور، سابقه‌ای دیرینه دارد. صوت همواره یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های معماری در طراحی عبادتگاه‌های سراسر جهان بوده و از دهه ۹۰ تاکنون پژوهش‌های بسیاری در این خصوص انجام یافته است. به طور خلاصه و به عنوان صرفاً یک مطالعه در هر سال، بخشی از پژوهش‌های مرتبط این حوزه را می‌توان در جدول ۱ مشاهده نمود که بر پایه سال انتشار مرتب شده‌اند. از آنجا که طبق جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی که به تفکیک با واژگان آکوستیک فضاهای عبادی و دوربین صوتی انجام گرفته است، هیچ پژوهشی برای سنجش آکوستیکی فضاهای عبادی از دوربین صوتی بهره نبرده است. جدول ۲ به مطالعات انجام شده با دوربین صوتی با موضوعاتی غیر از فضاهای عبادی اشاره دارد. همچنین دیگر پژوهش‌های حوزه اماکن عبادی نشان می‌دهد با گذر زمان ابزار اندازه‌گیری میدانی، معتبرترین و پرکاربردترین راهکار برای فهم آکوستیک معماری در چنین فضاهایی بشمار می‌آید و این پژوهش با بهره از دوربین صوتی سعی در بروزرسانی سنجش‌های میدانی حوزه فضاهای عبادی دارد. در مطالعات اشاره‌شده در زمینه آکوستیک فضاهای عبادی، آکوستیک معماری در صورت مطالعه میدانی، با دستگاه‌هایی چون آنالیزور ۲۲۶۰ و بلندگوهای چندوجهی پیشرفته و دستگاه‌های جدید همچون دوربین صوتی مورد استفاده این حوزه از آکوستیک نیست. این مطالعه در اولین پارامتر متفاوت خود با دیگر پژوهش‌ها، در جرگه‌ی پروژه‌های محدود معمارانه‌ای تعریف گردیده که دوربین صوتی را برای سنجش انتخاب نموده است. لیکن در تمام پژوهش‌های اشاره شده، دستگاه سنجش، دوربین صوتی سه‌بعدی است که در آن واحد می‌تواند به جهت ساختار کروی خود از تمام شش‌وجه یک فضا (بدنه‌ها، سقف و کف) تصویربرداری صوتی نماید

و شاید بتوان گفت این پژوهش از اولین مطالعات آکوستیک معماری با دوربین صوتی دو بعدی بشمار می‌آید که در تحلیل وجوه، رفتار مستقل دارد. همانگونه که اشاره شد، از بین پژوهش‌های آکوستیک معماری با دوربین صوتی هیچ مطالعه‌ای به فضای عبادی و مسجد اشاره ندارد و توجه به بنای دینی با یکی از پیشرفته‌ترین ابزارهای سنجش وجه تمایز دیگر این پژوهش با دیگر مطالعات است. در اکثر پژوهش‌های انجام یافته در این خصوص، پارامترهای سنجش کمی می‌باشند و متغیرهای پایه‌ایِ مطالعات آکوستیکی مورد واکاوی قرار گرفته است. این پژوهش با دیدی کیفی از سنجش‌های میدانی بهره گرفته و درصدد تحلیل اندازه‌گیری‌های خود بوده است. علیرغم تمام تفاوت‌ها و رویکردهای متفاوتی که در مطالعات معماری و آکوستیک معماری اتخاذ می‌گردد، توجه به معماری تاریخی دغدغه‌ای مشترک بین پژوهشگران است. همه محققان در معماری گذشته موفقیت‌های غیرقابل‌انکاری دریافت می‌کنند و آکوستیک از این امر مستثنی نیست. گویی صدا نیز در معماری تاریخی کیفیت قابل مطالعه‌ای داشته است که سبب می‌شود مورد توجه قرار گیرد. حتی در بین مطالعات بسیار محدود آکوستیک معماری با دوربین صوتی، به معماری تاریخی پرداخت شده و این امر یکی از اشتراکات این مطالعه با دیگر پژوهش‌هاست. کیفیت صوتی در بنای تاریخی با هر عملکردی به نحوی است که صدا بایستی بتواند بدون تجهیزات الکتروآکوستیکی در فضا پیش برود و تنها عامل کمک‌کننده در این مقوله، معماری بناست. همین امر است که آکوستیک بناهای تاریخی را حائز اهمیت می‌گرداند و برای محققان قابل توجه جلوه می‌دهد. نکته دیگر قابل بیان این است که در دیگر پژوهش‌های این عرصه، کلیت رفتار صوتی با دوربین صوتی تحلیل شده است، این در حالیست که این پژوهش به تفکیک فرکانس روی آورده و رفتارسنجی صوتی را منوط به تحلیل کلی کیفی نکرده است. شاید بتوان چینش عوامل متعدد این پژوهش در کنار هم را، مهم‌ترین تفاوت مطالعه دانست که با تلفیق ابزارهای سنجش سنتی و جدید به تحلیل آکوستیک در بنای مساجد پرداخته و تفاوت‌های حجمی را موجب تفاوت‌های کیفیت صدا تلقی کرده است. نتایج این پژوهش مجموعه‌ای از سنجش‌های دستگاه ۲۲۶۰ شرکت B&K دانمارک (به عنوان ابزار قدیمی) و دوربین صوتی (ابزار جدید سنجش صوتی) می‌باشد که با رویکرد حجمی انجام گرفته و در مجموع، دیدگاهی نو به عرصه مطالعات آکوستیکی در بناهای عبادی دارد.

Table 1. Sample studies conducted in the field of acoustics in worship spaces

Research year	Research title	Research tools	Achievements
2012	Evaluation of acoustic quality of Yazd Grand Mosque	Field measurement and simulation	Reverberation time is decreasing from low to high frequencies, which is considered due to brickwork and decorations in the building.
2013	Investigating the role of the height of the main dome in the acoustics of Imam Mosque in Isfahan	Library study	It is dedicated to the relationship between architecture and acoustics in a worship space and the main concern of the researcher in this research is the desired Intelligibility of the preacher's voice, which was done naturally during the construction of the mosque without electro-acoustic equipment and can only be justified by architectural solutions. According to the researcher, one of these factors is the height of the dome of this mosque.
2014	Investigating the effect of Moqarnas on the acoustics of the public space of the mosque	Simulation	According to the researcher, Moqarnas that built under the dome of the mosque, reduces Reverberation Time by Uniformity the distribution of sound pressure and creating a diffusion field. This decrease is more pronounced in mosques that are symmetrically modulated 1 in 1 or 2 in 2
2014	Comparing Reverberation Time in West Churches and Mosques of Qajar Era in Tabriz	Field measurement and library study	By comparing RT in mosques and churches, the researchers have Assessment less RT in mosques and consider it suitable for speech. However, according to researchers, the different functions of the church and the mosque regarding speech and music make natural the differences in RT.
2017	The formation of space due to the conceptual connection between "music-mathematics" and architecture (Case study: the front and ceiling of the dome of Sheikh Lotfollah Mosque in Isfahan)	Library study	It deals with the commonalities of music and architecture and analyzes the result in a sample of Iranian worship space. The relationship between music and mathematics is first examined, and then music is linked to architecture through a mathematical passage. The researchers of this study finally emphasize the compatibility of the physical elements of Sheikh Lotfollah Mosque in Isfahan with Iranian music.
2018	Analysis of acoustic design of Imam Mosque (Shah Abbasi) in Isfahan and its expansion in sustainable development issues	Library study	The sound is distribute throughout the space by Speaking under the dome of the mosque, and the researcher knows the reason for this in the special form of the first shell of the dome of the mosque. By analyzing the type of dome arches, the reflection and sound propagation are analyzed.
1990	RASTI Measurements in Mosques in Amman, Jordan	Field measurement	About 30mosques from Jordan have been presented that the results of which show the high RT in mosques of this country. Finally, the research concludes by providing solutions to deal with the poor acoustics of these mosques and the need to isolate this building from external noise and increase the amount of absorption inside the space.
1997	Relationships between speech intelligibility and objective acoustical parameters or architectural features in catholic churches	Field measurement and human study	Researcher of this study As a result of this research, which is taken from his PHD thesis considers the tested spaces in terms of speech comprehensibility in poor grading. After researching about churches from the 16th century onwards, he concluded that speech comprehension capacity generally declined to the Renaissance and improved significantly in the Baroque style.

Table 1. Sample studies conducted in the field of acoustics in worship spaces

Research year	Research title	Research tools	Achievements
1998	Assessment of Speech Intelligibility in Large Auditoria Case Study: Kuwait State Mosque	Field measurement	The research analyzes speech Intelligibility in the main nave of the Kuwait State Mosque. researcher refers to this space as MPH (main prayer hall) and acknowledges that although in architecture and traditional views, the use of materials has been used to amplify the sound of the naves; In this study, the discussion of speakers and microphones is also considered. The research mainly refers to the location of weak acoustic areas in order to be able to identify the correct position of the speakers and evaluate the space of a mosque from an electroacoustic perspective.
1999	Acoustical problems in mosques: A case study on the 3 mosques in Istanbul	Calculation	After examining the sound problems in mosques, it tries to provide specific rules and standards in the field of acoustic science for mosques. This article obtains the results of research from a study of 3 Ottoman mosques in Istanbul.
2000	Speech intelligibility evaluation for mosques	Calculation	In this study, mosques are referred to as Listening rooms. In this article, the researcher considers speech Intelligibility in mosques to be dependent first on the form and shape of the mosque and then on the good sound system in the mosque. After evaluating Reverberation Time with the Sabin's formula, he examines auditory errors (ALcons) at frequency 200.
2001	Church Acoustics	Library study	It is a guide to better church acoustics that first defines the science of acoustics and therefore expresses basic definitions such as absorption, reflection, room size, and RT, and then analyzes how acoustic issues are recognized in the church. Introduces popular ethnic and national music in churches and expresses the characteristics of traditional churches. Finally, it concludes that natural sound without speakers is much more desirable in churches, and thus discusses the need for speech Intelligibility and, therefore, the proper Reverberation Time in churches.
2002	The acoustical history of Hagia Sophia revived through computer simulation	Simulation	In this study, ODEON software has been used to simulate 3 mosques and 3 selected churches in Istanbul and Adrienne. The diagram of Reverberation Time is presented for all three uses of Hagia Sophia in two states, full and empty, and the lowest RT, both in full and empty, is inferred for the use of the mosque in Hagia Sophia.
2003	An improved model to predict energy bases acoustic parameters in Apulian-Romanesque churches	Field measurement	This study analyzes an advanced model for energy-based prediction of acoustic parameters in Romanesque churches. For evaluation, 9 churches from 1,500 to 33,000 m3 were selected and used the comparison between predictions and field measurements. In all churches, a frequency of 1 kHz has been selected for measurement
2005	Influences RT to Human Activities: Method to measure RT for different Measure RT For different Mosque Structure	Field measurement	Reverberation Time depending on the structure and materials of mosques is examined. In this article, three types of mosques with 90% wooden structure, 90% concrete structure and mosques with a combination of several materials with ratios close to 60% concrete, 40% wood and glass have been used, and finally the last type of mosques with a combination of different materials are the best for RT. In this study, the Reverberation Time after field measurements with the Sabin's formula was also evaluated.
2007	Used sound Reinforcement systems in mosques today	Field measurement simulation	Evaluates the sound reinforcement systems in contemporary mosques and expresses the need to use such equipment. In this article, the researcher believes that 75% of the absorption in mosques or any other structure occurs with the audience of that space, and therefore for this purpose, 8 different mosques have evaluated from the point of the effect of sound systems on acoustic variables. All of these mosques are selected from Saudi Arabia, and measuring them in their empty state provides the highest RT.
2008	Subjective study of preferred listening conditions in Italian catholic churches	Field measurement and human study	The title of the article is to study the effect of different musical motifs on people. During the field study, 9 churches and the architecture and shape and style of each were evaluated. The aim of this study was to measure the impact response that was performed on selected churches with volume from 2000 to 160000m3. RT is estimated from 2 seconds to 12 seconds and 5 musical motifs are used. Finally, a hearing test is performed on 143 people aged 20 to 60 years. The results show that despite the usual pattern of observational parameters, individual preferences with different musical motifs change fundamentally.
2009	Guidelines for acoustical measurements in churches	Field measurement	This study also classifies the acoustics of churches as part of the cultural heritage that should be preserved as the artistic and architectural aspects of this buildings. It considers two acoustic poles for the space of churches, one is the altar and the other is the rostrum, which play a major role in measuring measurable parameters. In this study, using the 3382ISO standard, three aspects of measurement are considered for measurement, one is the selection of the source position, the other is the selection of the receiver position, and the third dimension is the Usable equipment.
2011	Mathematical model of speech intelligibility in mosque with column pillars	Field measurement, calculation	it has studied the mathematical model of speech Intelligibility in mosques with columned naves. The selected mosques for this project have a minimum volume of 280 cubic meters and all of them have a dome and their main problem is that the column surface of these mosques is covered with reflective surfaces. RT with the help of Sabin's formula is one of the variables of this study and all its measurements have been done in the direction of the Mihrab and in 5 selected mosques.

Table 1. Sample studies conducted in the field of acoustics in worship spaces

Research year	Research title	Research tools	Achievements
2012	Impact of design decisions on acoustical comfort parameters: Case study of Doğramacızade Ali Paşa Mosque	Field measurement Simulation	Emphasizes the importance of acoustic design simultaneously with the initial steps of the architectural design of a mosque. Simulation and field measurement are both tools of this study and several factors including RT have been evaluated. The simulations were performed with ODEON software and the measurements were performed with B&K equipment.
2016	Absorption characteristics of masjid carpets	Laboratory measurements	In it, 8 models of carpets used in mosques have been tested experimentally and in the laboratory in a reverberant room, which has been designed based on the ISO 354 standard. Each sample was measured three times, in each of which a different type of flooring in space was considered. The results show that the absorption coefficient of carpets while the worshipers are standing in line; It will be different and more.
2018	Virtual acoustic environment reconstruction of the hypostyle mosque of Cordoba	Field measurement simulation	This study considers the sound factor and acoustic discussions as part of the cultural heritage and believes that in restoration renovations, the sound should also be highlighted. With this view, he has proved the necessity of the study and analyzed the acoustics of the Cordoba Grand Mosque with the help of various field measurements and simulations.
2019	Dome sound effect in the church of San Luis de los Franceses	Field measurement	Analyzes the effect of the dome on the desirable sound distribution. This study seeks to understand the role of the dome in the perception of sound and one of its main views is focused on how important it is to place the sound source under the dome and the position of the listeners
2020	The effect of acoustical remedies changing the reverberation time for different frequencies in a dome used for worship: A case study	Field measurement	The main concern of the study is the improvement of acoustic conditions in domed spaces, which are mainly used in worship. Analyze RT in the Line system and select a space for review that has a high RT. Spray of acoustic materials on the inner walls of the room and the dome has been used as a proposed solution and by measuring the sound transmission level (STI) acknowledges that the material used has improved the internal acoustic condition.

Table 2. Architectural studies performed with Acoustic Camera

Research year	Research title	Research tools	Achievements
2012	The acoustics of performance spaces (theatres and stadiums): a case study	Field measurement (acoustic camera)	The acoustic camera is one of the best tools in the study of historical monuments, because it is able to depict the sound heritage. On the other hand, the comparison of a common use in historical and contemporary samples with the help of acoustic camera is interesting for researchers, because the efficiency of the building can be compared with each other. performance halls are one of these notable functions for researchers that has been selected for this study. The comparison of the basketball court of University of Michigan as a contemporary case and the Colosseum of Rome in the form of historical space have led to the identification of the desired acoustic properties of the historical building and can be implemented in contemporary buildings.
2014	Room impulse response measurement with a spherical microphone array, application to room and building acoustics	Field measurement (acoustic camera)	Various factors in the field of architectural acoustics are available with acoustic camera, and three-dimensional measurement of impact response in architectural space is one of these variables. An important part of the information obtained from acoustic laboratories, which includes reverberant room and anechoic room; Obtained through the acoustic camera. The acoustic properties of various materials that are tested in these test rooms are extracted with the help of this tool. This study provides an example of these measurements with the help of three-dimensional acoustic camera designed to test absorbent materials in the anechoic room.
2015	The Acoustic Camera as a valid tool to gain additional information over traditional methods in architectural acoustics	Field measurement (acoustic camera)	In the study with acoustic camera in architectural spaces, the study variables fall into two general categories; First, the factors related to the physical indicators of sound, and second, the parameters that are the acoustic variables and overshadow the characteristics of the architectural space. Identification of reflective and absorbing surfaces, sound leakage locations, sound bridges, etc. are among the second category variables in acoustic camera measurements. This study is one of the researches that have analyzed these factors.
2018	simulation, visualization and localization of sound in a real and a virtual room acoustic environment using beamforming	Field measurement (acoustic camera)	The scope of acoustic camera also extends to human perceptions, and thus architecture is introduced as a platform for the benefit of acoustic camera. Humans are able to detect the direction and location of real and virtual audio sources in a dynamic virtual audio environment, and this finding, along with simulations and measurements of the real environment, has been proven with the help of acoustic camera in this study.

نمونه‌های موردی

هدف از انجام این مطالعه، مقایسه وضعیت آکوستیکی مساجدی با ساختار تقریباً مشابه ولی با حجم متفاوت است. پارامترهای مختلفی در رفتار صدا موثرند، لیکن از آنجا که حیطه این پژوهش در مورد حجم تعریف شده است، محققین مطالعه، دیگر متغیرهای موثر در رفتار صدا را تا حد امکان یکسان و ثابت در نظر گرفته‌اند. به عنوان مثال از منظر فرمی از نمونه‌های مشابه استفاده نموده و به لحاظ جنس و مصالح مورد استفاده، نمونه‌های با مصالح مشابه انتخاب کرده‌اند. در خصوص دیگر پارامترها نیز تا حد امکان تغییرات موثر به حداقل کاهش یافته تا بتوان نتایج مطالعه را بر تنها فاکتور متغیر انتخابی که حجم است، متکی دانست. به همین منظور در ابتدا مساجد بازار تبریز در یک بازدید کلی از نظر حجم و اندازه شناسایی گردیده و در سه گروه حجمی کوچک، میانه و بزرگ دسته‌بندی شدند. در هر دسته نمونه‌ای انتخاب شده است که از منظر ساختار، تشابه بیشتری با نمونه انتخاب شده در دسته‌های دیگر حجمی داشته باشد. از سویی دیگر نمونه‌های انتخابی از مساجد پرکاربرد و شناخته شده در گروه حجمی خود در شهر تبریز هستند که مطالعه آن‌ها از منظر کاربردی بودن نتایج نیز درخور توجه خواهد بود (جدول ۳).

مشاهده میدانی

مسجد خلخالی: این مسجد در بازار قرار دارد و تاریخچه و کتیبه ندارد. با توجه به شواهد و مقایسه با سایر بناهای تبریز، می‌توان آن را به دوره قاجار نسبت داد. این مسجد دارای شش ستون سنگی و دوازده عرق چین می‌باشد. برای پیشگیری از رانش طاق و گنبدها، جبهه‌های مختلف دارای کاربندی ساده آجری می‌باشد (Omrani & Ismaili Sangari, 2007: 72).

مسجد ثقه‌الاسلام: این مسجد در جانب شمالی دهلیز بقعه صاحب الامر و مدرسه اکبریه واقع گردیده است. مرحوم میرزا علی آقا ثقه الاسلام در رساله «تاریخ امکنه شریفه و رجال برجسته ۱۳۳۲ شمسی» درباره مسجد مزبور می‌نویسد. معادل جای دو گنبد از طرف غربی مسجد، سابقاً محل مسجد بوده که بعد جد مرحوم از جانب شرقی و شمالی به آن افزوده است (Omrani & Ismaili Sangari, 2007: 41-42).

مسجد شهیدی (میرزا مهدی قاری): این بنا در جانب جنوبی بازار قدیمی نجّاران واقع شده است و بیست و چهار ستون سنگی و سی و پنج گنبد ضربی آجری دارد. طول مسجد از شمال به جنوب و با شش ردیف ستون می‌باشد (Omrani & Ismaili Sangari, 2007: 86). سقف مسجد نسبتاً بلند و فضای آن روشن و دلگشا است (Karang, 1972: 390).

جدول ۴، نتایج مشاهده‌های میدانی نمونه‌های منتخب را نشان می‌دهد.

سنجش های میدانی

اندازه گیری با دستگاه ۲۲۶۰

در راستای سنجش میزان زمان واخنش از دستگاه ۲۲۶۰ شرکت B&K دانمارک بهره گرفته شده است. به همین منظور ابتدا نوفه زمینه در مساجد

Table 3. Architectural components of selected research samples

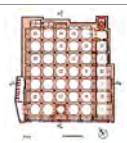
	Case Studies	Volume (m3)	Volumetric group	Images	Number of domes	Column height	Peak height	Plan
1	**Khalkhali Mosque**	1200	Small		12	2.2	5.3	
2	**Seqatoleslam Mosque**	4000	Medium		30	2.60	5	
3	**Shahidi Mosque**	5800	Large		35	2.5	6.3	

Table 4. Field observation of selected research samples

Name of the mosque	Openings	Decorations	Materials	Characters in the building	Position
Khalkhali	West to the courtyard-ceiling	Karbandi	Brick-Stone	Column- Arch	Tabriz Bazaar
Seqatoleslam	Western-Ceiling	Karbandi	Brick-Stone	Column- Arch	Daraei Street
Shahidi	Southern-ceiling	Karbandi- Shamseh in Mihrab modul	Brick-Stone	Column- Arch	Tabriz Bazaar

اندازه‌گیری و کمتر از ۳۰ دسی‌بل ارزیابی شده است. از آنجا که سنجش نوفه زمینه در همه موارد منجر به افزایش زمان اندازه‌گیری شده و طبیعتاً توسعه بازه زمانی سنجش به طرف ظهر با افزایش نوفه همراه گردیده است، لذا به صورت پیش تعریف شده، نوفه زمینه ۴۰ دسی‌بل در نظر گرفته شده و به همین منظور شدت پخش بلندگوها ۴۰ دسی‌بل افزایش داده شده است. شبکه سنجش A در نظر گرفته شده و پخش صدا به روش نویز منقطع (Interrupted Noise) بوده است. سرعت سنجش بر پایه Slow تنظیم شده و مجموع نویز در هر سنجش که با دوبار فاصله و سه پخش صدا انجام یافته (Interrupted Noise)، ۲۰ ثانیه در نظر گرفته شده است.

معیار انتخاب نقاط سنجش در نمونه‌ها پراکندگی افراد در زمان حضور در مسجد بوده است که در نمونه‌های کوچکتر نزدیک به هم و در نمونه‌های بزرگتر پراکنده جای‌گیری می‌شوند و لذا در حجم کمتر تعداد نقاط سنجش بیشتر بوده است. نکته حائز اهمیت در تعداد نقاط سنجش، تفاوت‌های ساختاری در نقاط است. در نمونه‌های کوچکتر، نقاط سنجش شناسه‌های مختلفی دارند. فضاهای کنار جداره، فضاهای کنار پنجره و فضاهای میانی ارائه دهنده مشخصات صوتی متفاوت خواهند بود، درحالی که در نمونه‌های بزرگتر فضاهای همسان در نمونه بسیار است و لذا فضاهای میانی نتایج مشابه در سنجش ارائه می‌دهند. به همین منظور در نمونه کوچک مطالعه که مسجد خلخالی می‌باشد، ۱۱ نقطه به منظور پوشش کامل سطح نمونه، در نمونه با حجم متوسط که مسجد ثقه الاسلام است، ۱۰ نقطه با حذف نقاط همسان و در مسجد شهیدی به عنوان بزرگترین نمونه مورد مطالعه، با درنظر گرفتن پراکندگی افراد در حین استفاده از فضا، ۶ نقطه مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج سنجش‌ها در این بخش ارائه دهنده زمان واخنش در نمونه‌ها بوده است که در جدول ۵ قابل مشاهده می‌باشد.

اندازه‌گیری با دوربین صوتی

سنجش با دوربین صوتی در نمونه‌های موردی مطالعه در دو حالت انجام یافت. در حالت نخست سروصدای عمومی نمونه‌ها تصویربرداری شد و این پژوهش با عنوان BN (Background Noise) یا همان نوفه از آن یاد می‌کند. در حالت دوم از منبع صدا استفاده گردید که Sound Power مورد استفاده RSSNor280 بوده و قادر است ۹۴ دسی‌بل صدا تولید کند. در همه نمونه‌ها موقعیت منبع در محراب درنظر گرفته شده تا بتواند به عنوان شبیه‌سازی بر حالت عمومی باشد که در آن واعظ در محراب جای می‌گیرد. محدوده فرکانسی انتخابی تا ۱۰ کیلوهرتز است که در حوزه RSSNor280 نیز می‌باشد. تصاویر بدست آمده از دوربین صوتی و تراز فشار صدا در حالت بدون منبع و در نوفه زمینه (BN) و با روشن شدن منبع (RSSNor280)، در جدول ۶ قابل تحلیل است.

یافته‌ها

تطبیق سنجش‌های میدانی

در این بخش از جمع‌بندی یافته‌ها، زمان واخنش بدست آمده در فرکانس‌های مختلف با تراز فشار صدا در آن فرکانس قیاس می‌گردد که می‌تواند ارائه‌دهنده کیفیت صوتی در فضای مورد مطالعه باشد. تنظیم

Table 5. Results of measurements with 2260 Sound Investigator

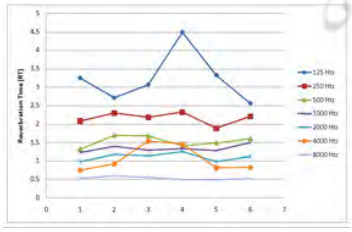
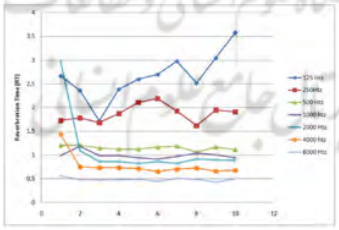
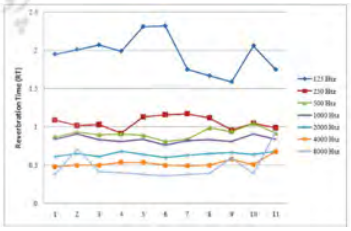
Reverberation Time measurements at different points in the samples		
Shahidi Mosque	Seqatoleslam Mosque	Khalkhali Mosque
		

Table 6. Measurement results with Acoustic camera

		Acoustic imaging of samples in both normal and source modes		
		Shahidi Mosque	Seqatoleslam Mosque	Khalkhali Mosque
BN				
RSS				
SPL	BN	5.5 db	-8 db	-6 db
	RSS	21 db	35db	45 db

فرکانس‌های سنجش در دوربین صوتی بر پایه مضارب فرکانس ۵۰ استوار است و لذا در فرکانس ابتدایی سنجش با سنجش‌گر ۲۲۶۰ متفاوت می‌باشد. لیکن از آن‌جا که در سیستم یک یکم اوکتاوی، فرکانس ۱۰۰ داخل محدوده فرکانس ۱۲۵ بررسی می‌گردد، نتایج حاصل از فرکانس ۱۰۰، برای دوربین صوتی انتخاب شده است. در تطبیق یافته‌ها از آن‌جا که سنجش زمان واخنش برمبنای بلندگوی دوجهی B&K بوده است، اخذ نتایج تراز فشار صدا نیز با وجود منبع صدا منطقی‌تر به نظر می‌رسد. بنابراین در این بخش RT با فشار RSS مقایسه می‌گردد.

مسجد خلخالی

در نمونه کم حجم پژوهش، بالاترین زمان واخنش مربوط به ۱۲۵ هرتز است که با کمترین فشار صدا مواجه است. با کاهش چشمگیری در زمان واخنش که در فرکانس ۲۵۰ رخ می‌دهد. باقی فرکانس‌ها با تناسب تقریباً واحدی کاهش زمان واخنش را نشان می‌دهند، در مقابل تراز فشار صدای آن‌ها نیز در بازه‌ی نزدیک به هم در نوسان است. با این حال در این نمونه بالاترین فشار صدا برای فرکانس ۴۰۰۰ هرتز ثبت شده که با دارا بودن زمان واخنش ۰,۵۳ ثانیه همچنان کیفیت صوتی در سطح مطلوبی خواهد ماند. چرا که در همنشینی زمان واخنش و تراز فشار صدا، بالا بودن یک فاکتور در صورت کم بودن فاکتور دیگر، کلیت آکوستیکی را مطلوب بروز می‌دهد. اوج صدای عادی (BN) برای فرکانس ۱۰۰۰ است و فرکانس‌های ماقبل بصورت صعودی (به استثنای ۲۵۰ هرتز) و فرکانس‌های مابعد به طور نزولی، رفتار می‌نمایند (جدول ۷).

مسجد ثقه الاسلام

در نمونه میان حجم پژوهش نیز، ۱۲۵ هرتز بالاترین زمان واخنش نمونه بشمار می‌آید که همچنان با کمترین تراز فشار صدا مواجه است. فرکانس ۵۰۰ دچار افت و پس از آن افزایش زمان واخنش روی می‌دهد که در فشار صدای با منبع نیز همین پدیده بصورت افزایش فشار خود را نشان می‌دهد. در حالت عادی (BN) فرکانس ۱۰۰۰ بالاترین تراز فشار صدا را دارد که با اندکی تفاوت از فرکانس ۵۰۰ ثبت شده است. فرکانس‌های ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ در حالت با منبع، بالاترین فشار صدا را دارند که زمان واخنش آن‌ها نه کمترین اما در بازه کمترین‌ها می‌باشد. به طور کل فرکانس ۱۰۰۰ در تمام سنجش‌های این مطالعه، روند همسان فاکتورها را تغییر داده و هم در BN، هم در RSS و هم در RT با افزایش یا کاهش نسبت به فرکانس‌های پیرامون مواجه است (جدول ۸).

مسجد شهیدی

بزرگترین نمونه مورد مطالعه، با زمان واخنش ۳,۲۵ ثانیه بالاترین زمان واخنش را در فرکانس ۱۲۵ هرتز داراست. در مقابل همچنان کمترین فشار برای این فرکانس ثبت شده است. روند نزولی زمان واخنش با روند افزایشی فشار صدا تا ۴۰۰۰ هرتز توام است، لیکن در این فرکانس اندکی افزایش در زمان واخنش (RT) و کاهش در تراز فشار صدا مشاهده می‌گردد. ۵۰۰ هرتز بیشترین مقدار BN را داراست و پس از کسر ۲۵۰ و ۱۰۰۰ هرتز می‌توان باقی فرکانس‌ها را دارای فشار صدای زمینه (BN) بسیار پایین نسبت به حجم دانست (جدول ۹).

برآیندسنجی در گروه‌های حجمی

می‌توان گفت اصلی‌ترین دستاورد این پژوهش به قیاس و برآیندگیری یافته‌ها در بین گروه‌های حجمی اشاره دارد. واضح است که تفاوت در معماری

Table 7. Result of 2260 measurements and Acoustic camera in Khalkhali Mosque

Khalkhali Mosque			
	SPL		RT
Fr	BN (db)	RSS (db)	RT(s)
125	15.46	23.16	1.96
250	18.50	38.61	1.06
500	16.35	47.84	0.89
1000	21.12	46.62	0.84
2000	13.28	49.96	0.68
4000	10.56	50.36	0.53
8000	3.50	46.78	0.47

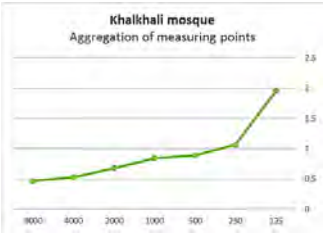


Table 8. Result of 2260 measurements and Acoustic camera in Seqatoleslam Mosque

Seqatoleslam Mosque			
	SPL		RT
Fr	BN (db)	RSS (db)	RT(s)
125	16.72	22.28	2.61
250	27.41	36.66	1.88
500	31.18	44.78	1.17
1000	31.87	42.29	1.29
2000	22.01	45.69	1.09
4000	16.03	45.11	0.8
8000	5.46	39.09	0.5

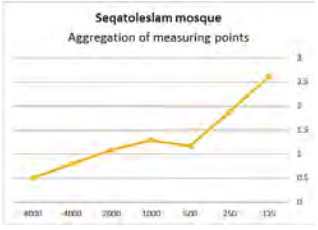
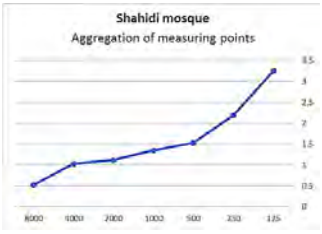


Table 9. Result of 2260 measurements and Acoustic camera in Shahidi Mosque

Shahidi Mosque			
	SPL		RT
Fr	BN (db)	RSS (db)	RT(s)
125	10.82	22.17	3.25
250	28.25	33.52	2.19
500	29.10	35.24	1.53
1000	24.69	36.22	1.35
2000	6.11	36.71	1.12
4000	11.59	35.67	1.03
8000	3.23	27.39	0.53



فضا، نوع و فشار صدای واحد را متفاوت جلوه می‌دهد و این امر در نمونه‌های مورد مطالعه‌ی این پژوهش نیز مشهود است. لیکن از آن‌جا که غالب مولفه‌های ساختاری نمونه‌های سنجش یکسان انتخاب شده است، تنها فاکتور موثر بر تغییر رفتار صدا، حجم خواهد بود. نمونه‌ها از لحاظ مصالح، نوع ساخت، آرایه‌های سقفی و حتی زمان سنجش مشابه بوده و صرفاً در حجم با یکدیگر متفاوت‌اند.

نمودار قیاسی (شکل ۲) نشان می‌دهد با پخش صدای ثابت ۹۴ دسی‌بل در تمام نمونه‌ها، مسجد شهیدی کمترین میزان و به تناسبِ حجم باقی نمونه‌ها، مقادیر تراز فشار صدای بیشتری از خود نشان می‌دهد. این امر بیانگر این مطلب است که با افزایش حجم تاثیر صداهای شدید در فضا به مراتب کمتر حس می‌شود. رخداد آکوستیکی مذکور با افزایش فرکانس شدت می‌یابد و در فرکانس‌های پایین تاثیر حجم کمتر است.

از سویی دیگر افزایش حجم موجب افزایش زمان واخنش می‌شود و این تغییر برعکس فشار صدا در فرکانس‌های پایین‌تر بیشتر است. به عبارتی دیگر حجم در فرکانس‌های پایین‌تر عاملی موثر در تغییرات زمان واخنش بشمار می‌آید و در مقابل، نقش چندانی در زمان واخنش فضا در فرکانس‌های بالا از خود نشان نمی‌دهد (شکل ۳).

نتیجه‌گیری

معماری صدا را محدود می‌کند و به آن چارچوب می‌بخشد. همین امر سبب می‌شود تا صدا در محیط بسته متفاوت‌تر از محیط باز رفتار نماید. نوع این تفاوت گاهی مطلوب است و گاهی نامطلوب است که این امر به واسطه معماری‌های مختلف بوجود می‌آید. مولفه‌های‌های موثر در شکل‌گیری معماری و کالبد یک مکان بسیار هستند، اما اولین مطالعات حوزه صدا در معماری که با رابطه سابین خود را نشان داده است، از بین تمام عوامل شکل‌دهنده کالبد، حجم، جنس و سطح فضا را اولویت بخشیده است. این پژوهش با ثابت نگه داشتن پارامترهای موثر بر سنجش‌های صوتی درصدد آن بوده است تا بتواند تاثیر تغییرات حجمی را در رفتار آکوستیکی مساجد آنالیز نماید. نتایج پژوهش نشان می‌دهد افزایش حجم در ساختار یکسان نمونه‌ها، موجب کاهش فشار صدا در بنا می‌شود و در عین حال زمان واخنش افزایش می‌یابد. این مقوله با فرکانس وابستگی مستقیم دارد و در فرکانس‌های پایین‌تر، افزایش حجم، تاثیر کمتری در تراز فشار صدای فضا دارد. در مقابل در فاکتور زمان واخنش، رفتار فرکانس معکوس است و حجم در فرکانس‌های بالاتر کمتر موثر خواهد بود که همین امر تعادل صوتی در نمونه‌ها را به اثبات می‌رساند. در فرکانس‌هایی که تراز فشار صدا بالاست، زمان واخنش کمتر است و به همین دلیل صدا در چنین بنایی اذیت‌کننده نخواهد بود.

در فضای داخلی مساجد آسایش کاربر کاملاً مشهود است، چه در نمونه کوچک، که فشار صدا در آن بالاست و چه در نمونه بزرگ که زمان واخنش بالاتری دارد، به جهت ارتباط معکوس SPL و RT در فرکانس‌های مختلف، کلیت شرایط آکوستیکی مطلوب جلوه می‌نماید. این امر ارائه دهنده رابطه مشهود بین حجم، زمان واخنش و تراز فشار صدا در مساجد با ساختار سنتی است که نشان می‌دهد رابطه این سه عامل در تعیین کیفیت آکوستیکی فضای مسجد

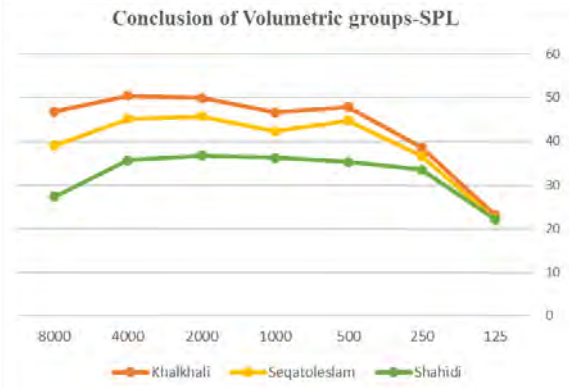


Fig. 2. Sound Pressure Level of the samples in total volumetric groups

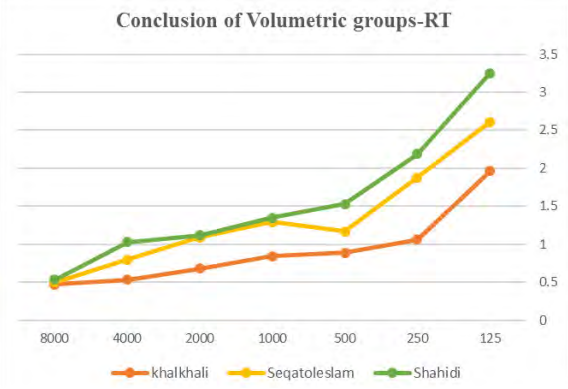


Fig. 3. Reverberation Time of samples in total volumetric groups

موثر است. همه این سه فاکتور نیز در ارتباط با محدوده فرکانسی متغیرند و بسته به طیف فرکانسی مدنظر روابط حجم، زمان واخنش و تراز فشار صدا تغییر می‌کند. کاربست این یافته در طراحی مساجد با ساختار مشابه موثر خواهد بود چرا که بسته به حجم موردنظر، زمان واخنش و تراز فشار صدای مطلوب قابل پیش‌بینی می‌گردد. از سویی دیگر از آنجا که در مساجد و هر کاربری دیگر، میزان استاندارد برای زمان واخنش تعریف شده است، به منظور نیل به زمان واخنش مورد انتظار می‌توان حجم فضا را طراحی نموده، تراز فشار صدا را تنظیم کرد. از آنجا که در آنالیز رفتار آکوستیکی یک مکان متغیرهای متفاوتی موثرند و این مطالعه صرفاً زمان واخنش و تراز فشار صدا را برای سنجش برگزیده است، می‌توان گفت با مطالعه متغیرهای بیشتر و متنوع‌تر نیل به دستاوردهای بیشتر و بهتر مورد انتظار خواهد بود.

پی‌نوشت

1. Acoustic Camera
2. Reverbration Time: RT
۳. Sabin: از پایه‌گذاران اصلی اکوستیک در معماری است که با تحلیل پیرامون حجم، سطح و جنس مصالح در فضای معماری به رابطه زمان واخنش دست یافت. سابین رابطه $T=0.161V/\pounds\alpha S$ را برای محاسبه زمان واخنش پیشنهاد داده و پس از او تمام معادلات، دستگاه ها و نرم افزارهای سنجش بر مبنای رابطه سابین و رابطه دیگری که توسط ایرینگ (Eyring) ارائه شد؛ طراحی شدند.

تشکر و قدردانی

موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی برای ایشان وجود نداشته است.

تاییدیه‌های اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیهٔ اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

منابع مالی/ حمایت‌ها

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان "تحلیل رفتار صوتی در فضاسازی مساجد تاریخی بازار تبریز با رویکرد حجمی" به شماره قرارداد ۷۹۸۳/۲ می‌باشد که با حمایت مالی دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام گرفته است.

مشارکت و مسئولیت نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته و به طور برابر مسئولیت تمام محتویات و مطالب گفته شده در مقاله را می‌پذیرند.

References

1. Abdou, Adel. (2003). Comparison of the acoustical performance of mosque. *Eight International IBPSA Conference*. August 11-14, pp. 40-43.
2. Ahmed Ali Elkhateeb, Adnan Adas, Yasser Bal‌E ila. (2016). Absorption characteristics of masjid carpets. *Applied Acoustics*. 105: 143-155. doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.005
3. Al Shimemeri, S. a, Patel, C. B., & Abdulrahman, A. F. (2011). Assessment of noise levels in 200 Mosques in Riyadh, Saudi Arabia. *Avicenna journal of medicine*, 1(2), 35–8. doi:10.4103/2231-0770.90914
4. Andreas, C., Holger, J., & Lynge, C. (n.d.). (2002). The Acoustical History of Hagia Sophia revived through Computer Simulation, (2).
5. António P. Carvalho and António E. Morgado » Alegria, R. (1997). Speech intelligibility in churches . How it relates with objective acoustical parameters and architectural features.
6. Artur Nowoświat, Marcelina Olechowska, Michał Marchacz. (2020). The effect of acoustie cal remedies changing the reverberation time for different frequencies in a dome used for worship: A case study. 160: 107-143. doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107143
7. carvalho, a. p. o., & monteiro, c. g. (2009). comparison of the acoustics of mosques and catholic churches, (july), 5–9.
8. Enedina Alberdi, Francesco Martellotta, Miguel Galindo, Ángel Luis León, (2019). Dome sound effect in the church of San Luis de los Franceses. 156: 56-65. doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.06.030
9. Ghaffari.A & Mofidi, M. (2013). Comparing Reverberation Time in West Churches and Mosques of Qajar Era in Tabriz. Armanshahr *Architecture & Urban Development*, 7(12), 13-29.
10. Hamed A. Hamadah and Hassan M. Hamouda. (1997). Assessment of Speech Intelligibility in Large Auditoria Case Study: Kuwait State Mosque. *Applied Acoustics*, Vol. 54. No, pp. 273-289.
11. Harun, M., abdul rahman, T., najib ibrahim, M., & khan said, A. (n.d.). speech intelligibility evaluation for mosques.
12. Hashemian, Mohammad Hussein. (2018). Acoustic design analysis of Imam Mosque (Shah Abbasi) in Isfahan, its development in sustainable development issues. *The first international congress of the construction industry with a focus on new technologies in the construction industry*. Tabriz. Iran. [In Persian]
13. Karang, Abdul Ali. (1972). *Monuments of Azerbaijan*. Volume 1. Tehran: National Monuments Association. [In Persian]
14. Karimi Aghda, Ahmad, and Iraj Goodarznia. (2008). Investigating the role of the height of the main dome in the acoustics of Imam Mosque in

Isfahan. *The first conference of Iranian indigenous technologies*. Tehran. Iran. [In Persian]
15. M Jaramillo, Ana, Chris Steel. (2015). *Architectural Acoustics (PocketArchitecture)*. Routledge; 1 edition (January 15, 2015)
16. M. navvab, G. heilmann, A. meyer, S. barré, M. böck, (2018). simulation, visualization and localization of sound in a real and a virtual room acoustic environment using beamforming. *7thBerlin Beamforming Conference*. BeBeC-2018-D19.
17. Magdalena Boeck, Mojtaba Navvab, Gunnar Heilmann, Fabio Bisegna. (2012). The acoustics of performance spaces (theatres and stadiums): a case study. *hal.archives-ouvertes*.fr/hal-00811385. Submitted on 23 Apr 2012
18. Mohd Faiz bin Abd Halim, Mohd Noor Arib bin Md Rejab, F. bin M. (n.d.)., (2008). Influences Reverberation Time to Human Activities: Method to Measure Reverberation Time for Different Mosque Structure.
19. Mutbul Kayili .*Acoustic Solutions in Classic Ottoman Architecture*. (2005). Gazi University, Faculty of Architecture & Engineering, Maltepe 06570 –
20. Natalia Manrique Ortiz, Sébastien Barré, Benjamin Vonrhein. (2015). The Acoustic Camera as a valid tool to gain additional information over traditional methods in architectural acoustics. *6th International Building Physics Conference*, IBPC 2015. Energy Procedia 78 (2015) 122 – 127
21. Omrani, Behrooz and Ismaili Sangari, Hossein. (2007). *Historical Mosques of East Azerbaijan*. Tabriz: Sotoudeh Publications. first edition. [In Persian]
22. Othman, A. R., & Mohamed, M. R. (2012). Influence of Proportion towards Speech Intelligibility in Mosque's Praying Hall. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 35(December 2011), 321–329. doi:10.1016/j.sbspro.2012.02.094
23. R. Suárez, J.J. Sendra, J. Navarro, A. L. L. (2005). The sound of the cathedral-mosque of Córdoba. *Journal of Cultural Heritage*, 6 , 307–312
24. Rafael Suárez, Alicia Alonso, Juan J.Sendra. (2018). Virtual acoustic environment reconstruction of the hypostyle mosque of Cordoba. *Applied Acoustics*, 140: 214-224. doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.06.006
25. rahman, f. a., harun, m. n. b. d. m. bin, & hussin, s. z. b. h. a. h. bin. (2011). mathematical model of speech intelligibility in mosque with column pillars.
26. Saadati, Seyedeh Nahideh, Bemanian, Mohammad Reza and Sarvedalir, Alireza. (2014). Investigating the effect of Moqarnas on the acoustics of the public space of the mosque. *The First International Congress on New Horizons in Architecture and Urban Planning*. Tehran. Iran. [In Persian]
27. Safi, Samira, Ghaffari, Abbas and Farahza, Nariman. (2012). Evaluation of acoustic quality of Yazd Grand Mosque. *Second International Conference on Acoustics and Vibration*. Tehran. Iran. [In Persian]
28. Sébastien BARRÉ, Dirk DÖBLER1, Andy MEYER. (2014). Room impulse response measurement with a spherical microphone array, application to room and building acoustics. *Inter-noise 2014*.
29. Tokhmechian, Ali, Ghare Baglou, Minou and Nejad Ebrahimi, Ahad. (2017). The formation of space due to the conceptual link of "music-mathematics" and architecture (Case study: Jelokhan and Asemaneh of Sheikh Lotfollah Mosque in Isfahan). *Islamic Architecture Research*. 15, 108-129. [In Persian]
30. Vadim, A., William, J., Paulo, H. T., Pm, T. U. E., Tzekakis, E. G., Commins, D. E., Workshop, C. A., et al. (1999). Tuesday afternoon , 16 march 1999 poster gallery , 12 : 00 noon to 6 : 20 p . M . Posters from various technical sessions remain on display in the poster gallery . Tuesday afternoon , 16 march 1999 session 2paaa *architectural acoustics : worship and theat*, 105(2). Acoustical problems in mosques: A case study on the 3 mosques in Istanbul
31. Zühre Sü, Mehmet Caliskan. (2013). Impact of design decisions on acoustical comfort parameters: Case study of Dog˘ramacızade Ali Pasa Mosque. *Applied Acoustics* 74(6):834–844