تحلیل اثر مؤلفه‌های هندسی گنبد بر کیفیت آکوستیکی فضای سخنرانی

چکیده

مهم‌ترین دغدغه‌های طراحی موردتوجه معماران از گذشتگان تا به امروز، هندسهٔ فرم سقف‌ها است. این مسئله تاکنون از دیدگاه گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است تا به کمک تحلیل و بررسی هندسه انواع گنبد بتوان به گنبد مناسب از لحاظ آکوستیکی سالن‌های سخنرانی پی‌برد. جمع‌آوری داده‌ها بر پایه داده‌های کتابخانه‌ای و گنبدهای شبیه‌سازی‌شده است. این پژوهش با استفاده از شیوه ترکیبی (شبیه‌سازی، تحلیل توصیفی) در دسته‌بندی مقالات کاربردی جای می‌گیرد. روش تحقیق بدین‌گونه که پس از ترسیم دقیق نمونه‌ها به روش استادکاران به‌صورت الگوریتمی در نرم‌افزار Grasshoper و سپس به محاسبه برازش منحنی با روش ماتریسی با نرم‌افزار SPSS ۲۲ پرداخته شد. بعد از آن شبیه‌سازی آکوستیکی با استفاده از نرم‌افزار odeon انجام‌گرفته است. تحلیل توصیفی قوس‌ها با نمودار اسکاتر و تحلیل همبستگی گنبدها میان متغیرهای معماری و آکوستیکی با روش اسپیرمن با نرم‌افزار SPSS۲۲ پرداخته شد. فرم‌های گنبدی دارای حجم، مساحت، نسبت ارتفاع به دهانه گنبد و طول قوس تقریباً برابر دارند، اما دارای شیب منحنی قوس کم‌تر هستند، از لحاظ مؤلفه‌های آکوستیکی همچون زمان واخنش، شاخص انتقال گفتار و وضوح گفتار کیفیت بالاتری دارند.

اهداف پژوهش:

۱. بررسی مؤلفه‌های زمان واخنش در انواع گنبد براساس ویژگی‌های هندسی (ریاضی و کالبد) فرم.

۲. بررسی شاخص انتقال گفتار و وضوح گفتار فضای سخنرانی در انواع گنبد براساس ویژگی‌های هندسی (ریاضی و کالبد) فرم.

سؤالات پژوهش:

۱. تأثیر پارامترهای هندسی و ریاضی انواع گنبد بر مؤلفه‌های کیفیت صوتی سالن‌های سخنرانی چیست؟

۲. تأثیر پارامترهای هندسی بر انتقال گفتار و وضوح گفتار فضای سخنرانی چگونه است؟

کلیدواژه‌ها: هندسه گنبد، آکوستیک، سقف‌های گنبدی، فضای سخنرانی، کیفیت صوتی.

مقدمه

تفاوت معماری با هنرهای دیگر در تولید هم‌زمان از نظر زیبایی‌شناسی، ساختار پایداری و کاربردی آن است(Song et al, ۲۰۱٦:۱٦٦). تعیین شکل ساختمان، مهم‌ترین کار در فرایند طراحی معماری است(Pena et al, ۲۰۲۱: ۱) شکل اولیه ساختمان بر عملکرد و هزینه ساخت، استفاده از نور روز، مصرف انرژی، عملکرد سایه، آکوستیک، قابلیت دسترسی عملکردی و بهره خورشیدی و دیگر ویژگی‌ها تأثیر می‌گذارد(Agirbas, ۲۰۱۹:۱٤۲) . جست‌وجوی اشکال به یکی از مراحل کلیدی در مرحله طراحی مفهومی تبدیل می‌شود، زیرا نتایج آن ورودی‌هایی برای مراحل بعد فرایند طراحی، مرحله ساخت‌وساز و در طول چرخه عمر ساختمان است(Pena et al, ۲۰۲۱, ۱) . اخیراً آکوستیک در مکان‌های غیرحرفه‌ای موسیقی همانند کتابخانه‌ها، اداری، فضاهای چندمنظوره، سالن‌های سخنرانی و غیره موردتوجه قرار گرفته است (Cairoli, ۲۰۱۸:۱٦۷; Kaarlela-Tuomaala et al., ۲۰۰۹:۱٤۲۳; Xiao & Aletta, ۲۰۱٦:۲٦۵). سقف یکی از بخش‌های مهم اصلی ساختمان، ساختار هندسه است که تأثیرات عمده‌ای بر کیفیت صوتی ساختمان دارد (وثیق و شیری، ۱۳۹۹: ۲۱۱). در هنگام پخش صدای سخنران در فضا، امواج صدا در مسیر انتقال تحت‌تأثیر کالبد و هندسه فرم فضا قرار می‌گیرد و سنجه‌های مؤلفه کیفیت صوتی همچون شاخص انتقال گفتار، زمان واخنش و وضوح گفتار فرکانس تغییر می‌کند و بر میزان کیفیت صوتی فضا تأثیر می‌گذارد (Munteanu et al., ۲۰۱۸:۳۳۱ ؛ Gramez & Boubenider, ۲۰۱۷:۳۹ ؛ Robinson et al., ۲۰۱٤:۵۵؛ Tervo & Tossavainen, ۲۰۱۲:۲). باتوجه‌به پایداری سقف‌های با شکل منحنی یا همان گنبدی در معماری ایران یکی از بهترین نمونه‌ها برای بررسی در کیفیت آکوستیکی هستند. شناخت روابط مؤلفه‌های معماری با مؤلفه‌های آکوستیکی برای کاربرد الگو سقف‌های گنبدی در معماری امروزه از دیدگاه کارایی آکوستیکی امری ضروری است که بتوان با شناخت تأثیر هندسه فرم‌ها در ابعاد مختلف معماری حال حاضر کاربردی شوند. برخی پژوهشگران برای بررسی و مطالعه تغییرات شکل درعین‌حال حفظ سایر متغیرهای تأثیرگذار همچون مصالح شبیه‌سازی فرم را به‌کار می‌گیرند (Abdou, ۲۰۰۳:۳۹; Ismail, ۲۰۱۳:۳۰; Oldham & Elkhateeb, ۲۰۰۸:۲۰۰). در پژوهش حاضر به بررسی مؤلفه‌های آکوستیکی فضای سخنرانی در انواع گنبد براساس هندسه فرم پرداخته می‌شود. پارامترهای معماری (سطح، حجم، ارتفاع و خیز (نسبت ارتفاع به دهانه) و معادله برازش منحنی (شیب منحنی و طول منحنی) انواع فرم گنبد به‌صورت معنی‌داری بر مؤلفه‌های زمان واخنش، شاخص انتقال گفتار، وضوح گفتار تأثیر می‌گذارد. این پژوهش تلاش دارد برای تحلیل و پاسخ به این سؤال اصلی بپردازد:

تأثیر پارامترهای هندسی و ریاضی انواع گنبد بر مؤلفه‌های کیفیت صوتی سالن‌های سخنرانی چیست؟ برای پاسخ به سؤالات فوق روند پژوهش به این شکل تعریف شده است. پارامترهای سطح، حجم، ارتفاع، نسبت ارتفاع به دهانه، شیب منحنی و طول منحنی انواع گنبد به‌صورت معنی‌داری بر شاخص انتقال گفتار و مؤلفه وضوح گفتار و مؤلفه‌های زمان واخنش تأثیر می‌گذارد. نمودار روند انجام این پژوهش در تصویر ۱ بیان شده است.

تصویر ۱. نمودار مراحل انجام پژوهش. (مأخذ: نگارندگان)

پژوهش بسیاری در معماری موضوع کیفیت صوتی و گنبد پرداخته شده است. پژوهش‌ها به چند دسته براساس متغیر و هدف مطالعات تقسیم و بررسی گردید. با بررسی پژوهش‌های انجام‌شده کم‌تر پژوهشی در خصوص هندسه و ریاضی سقف‌های گنبدی به‌طور هم‌زمان در جنبه آکوستیکی صورت‌گرفته است. گروهی از پژوهشگران با تمرکز بر ویژگی‌های هندسی(Farshad, ۱۹۷۷:۸۵ ؛ Huerta, ۲۰۰۷:۲۱۱؛ ریاضی (Capilla Tamborero et al.,۲۰۲۱:۳) و ریاضی و هندسی (برای تعیین بهترین روش معادله قوس، آن را با برازش خم به روش ماتریسی به‌کار گرفته و بهترین را بیان نموده است (ایزدپناه، ۱۳۹۷: ۴۱) و تناسبات(Capilla Tamborero et al., ۲۰۲۱:۳ ؛ Feizolahbeigi et al., ۲۰۲۱:۲) پرداخته‌اند. برخی پژوهش‌های دیگر هندسه و تناسبات را با تأکید بر تحلیل آکوستیکی (Ismail & Eldaly, ۲۰۱۸:٥٦، Inoue et al., ۲۰۰۹:۲۲۱) ارائه نموده‌اند. برای سقف‌های منحنی و آکوستیک، یالماذر و سیو (Sü & Yilmazer, ۲۰۰۸:۲۱) در سال ۲۰۰۸ روی شبیه‌سازی سقف گنبدی مسجد کوکتب در آنکارا با نرم‌افزار ادئون پرداخته‌اند و ویژگی‌های صوتی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. مهاد عارف در سال ۲۰۱۳(Mohd Arif, ۲۰۱۳:۱) به بررسی تأثیر اشکال مختلف سقف که شامل گنبدی، هرمی و اشکال مسطح را بر عملکرد صوتی آکوستیک مسجد پرداخته‌اند. کاظیم و همکاران (Kassim et al., ۲۰۱٤:۱۱۲۷) در سال ۲۰۱۴ هندسه گنبد هرمی با زاویه تند بررسی کردند. دین و انور در سال ۲۰۱۹ (Eldakdoky & Elkhateeb, ۲۰۱۷:۸) بر روی تأثیر شکل و مکان گنبد بر عملکرد صوتی مسجد با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری در مسجد پرداخته و به اینکه شکل گنبد روی زمان واخنش و وضوع گفتار تأثیر می‌گذارد و با افزایش حجم زمان واخنش کاهش می‌یابد. پژوهش‌های بیان شده به بررسی نسبت ارتفاع به دهانه، کندی و تندی، نوع فرم گنبد و محل قرارگیری آن در کیفیت آکوستیکی گنبد پرداخته که جنبه‌های ریاضی قوس‌ها همچون مؤلفه‌های طول منحنی، شیب منحنی قوس به‌طور هم‌زمان با کالبد گنبد پرداخته نشده است. این مقاله تلاش دارد کیفیت صوتی فضای سخنرانی در فرم گنبدی در انواع قوس پرکاربرد باتوجه‌به معادله برازش منحنی قوس‌ها به‌دست آمده برمبنای ترسیم سنتی قوس توسط استادکاران معماری ایران را مورد بررسی قراردهد.

نتیجه‌گیری

سقف یکی از عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آکوستیکی در بناها است. سقف‌های گنبدی باتوجه‌به کاربرد دارای برتری در پایداری سازه و حرارتی دارند. باتوجه‌به عملکرد سازه‌ای بالای آن لازم است ارتقا کارایی آن در جنبه‌های دیگر ازجمله عملکرد آکوستیکی نیز صورت گیرد. زمان واخنش(T۳۰) ، وضوح گفتار (C۸۰) ، شاخص انتقال گفتار (STI) عوامل اصلی کیفیت صوتی از دیدگاه معماران در سالن‌های سخنرانی بزرگ‌مقیاس است. افزایش حجم، مساحت، نسبت ارتفاع به دهانه گنبد، طول قوس و شیب منحنی قوس گنبد موجب افزایش میزان زمان واخنش و کاهش شاخص انتقال گفتار کاهش و وضوح گفتار می‌شود. بیانگر این است که با افزایش میزان مؤلفه‌های حجم، مساحت، نسبت ارتفاع به دهانه گنبد، طول قوس و شیب منحنی قوس گنبد کیفیت صوتی کاهش می‌یابد. این نتایج مطابق با پژوهش انجام‌شده در آکوستیک همچون کاظیم، یالماز و عارف، دین و انور است. فرم‌های گنبدی دارای حجم، مساحت، نسبت ارتفاع به دهانه گنبد و طول قوس تقریباً برابر دارند، البته دارای شیب منحنی قوس کم‌تر یا همان کند هستند، از لحاظ مؤلفه‌های آکوستیکی همچون زمان واخنش، شاخص انتقال گفتار و وضوح گفتار کیفیت بالاتری دارند.

فهرست منابع و مآخذ:

آرین، منوچهر. (۱۳۸۵). نگاهی دیگر به برج‌ها، ۱. تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.

ابن‌سینا، حسین. (۱۹۸۶). تسع الرسائل فی الحکمه و الطبیعیات، بیروت: دارقباس.

ایزدپناه، فرزین. (۱۳۹۷). «کاربرد برازش خم و روش حداقل مربعات برای بررسی هندسهٔ قوس‌های ایرانی». نشریه ریاضی و جامعه، ۳(۱)، ۴۱-۵۳.

انصاری، مجتبی؛ اخوت، هانیه سادات و علی‌اکبر، تقوایی. (۱۳۹۰). «تحقیقی پیرامون سیر تاریخی سیستم‌های تنظیم تناسبات در معماری با تأکید بر ملاحظات کاربردی و زیباشناسی». کتاب ماه (هنر)، ۱۵۱، ۴۶-۵۷.

تهرانی، فرهاد؛ مهدی‌زاده، فاطمه؛ حجازی، مهرداد و ولی بیگ، نیما. (۱۳۹۱). «ویژگی‌های هندسی و ریاضی در ساختار چفد پنج او هفت تند در پوشش تاق آهنگ ایرانی». نشریه علمی مرمت و معماری ایران، ۱(۳)، ۳۹-۵۰.

رضازاده اردبیلی، مجتبی؛ سیدی ساروی، مجید و طاهری امیری، سارا. (۱۳۹۷). «مطالعه تطبیقی پلان و گنبد جمعه مسجد اردبیل با پلان‌ها و گنبدهای مشابه به جهت بررسی ترسیم صحیح منحنی گنبد». معماری و شهرسازی (هنرهای زیبا)، ۲۳، ۲.

رحیمی، غلامحسین. (۱۳۹۱). «پدیده انتشار صوت در قراضه طبیعیات». حکمت سینوی (مشکوه النور)، ۱۶، ۴۷.

صفایی‌پور، هادی؛ پورمند، حسنعلی. (۱۳۹۱-۲۰۱۲). «معنای پوشش در معماری عصر صفوی». نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، ۱۷(۱)، ۳۹-۴۸.

معماریان، غلامحسین و صفایی‌پور، هادی. (۱۳۹۷). معماری ایرانی نیارش. تهران: گلجام.

نقره‌کار، عبدالحمید. (۱۳۹۲). حکمت هنر و معماری اسلامی، تهران: دانشگاه علم و صنعت.

فیض‌الله بیگی، آرزو؛ گلابچی، محمود و رضازاده اردبیلی، مجتبی. (۱۳۹۸). «تحلیل هندسه نظری و عملی و تناسبات گنبد دو پوسته گسسته مسجد جامع عباسی اصفهان». نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، ۲۴(۴)، ۳۵-۴۸.

فورو، ویلی. (۱۳۰۷). آکوستیک در معماری. (غلامحسین، لیاقتی). تهران: دانشگاه ملی ایران.

قطب‌الدین شیرازی، محمودبن‌مسعود. (۱۳۸۷). رساله موسیقی از دره التاج: لغره الدباج (جلد ۱)، تهران: فرهنگستان هنر .

قیابکلو، زهرا. (۱۳۹۲). مبانی فیزیک ساختمان ۱ آکوستیک. تهران: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

وثیق، بهزاد و شیری، توحید. (۱۳۹۹). «تطابق اقلیمی کالبد گنبد براساس میزان دریافت تابش (بررسی گنبدهای مساجد: امام اصفهان، شیخ لطف‌الله، مسجد النبی قزوین و جامع ارومیه). معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۱۳(۳۳)، ۲۱۱-۲۲۵.

Abdou, A. A. (۲۰۰۳). Comparison of the acoustical performance of mosque geometry using computer model studies. Eighth International IBPSA Conference.

Agirbas, A. (۲۰۱۹). Façade form-finding with swarm intelligence. Automation in Construction, ۹۹, ۱٤۰-۱٥۱.

Barnett, P., & Acoustics, A. (۱۹۹۹). Overview of speech intelligibility. Proceedings-Institute of Acoustics, ۲۱(٥), ۱-۱٦.

Blauert, J. (۲۰۱۹). Assessing the “Quality-of-the-Acoustics” at Large. Journal of the Audio Engineering Society, ٦۷(۱/۲), ٥-۱۲.

Ballou, G. (۲۰۱۳). Handbook for sound engineers, Taylor & Francis.

Cowan, H, & Smith, P. (۲۰۰٤). Dictionary of architectural and building technology, Routledge.

Crocker, Malcolm J. (۲۰۰۷). Handbook of noise and vibration control, John Wiley & Sons.

Davies, Nikolas, Jokiniemi, E. (۲۰۰۸). Dictionary of architecture and building construction, Routledge.

Cairoli, M. (۲۰۱۸). Architectural customized design for variable acoustics in a multipurpose auditorium. Applied acoustics, ۱٤۰, ۱٦۷-۱۷۷.

Capilla Tamborero, E., Calvo Roselló, V., & Gómez-Collado, M. C. (۲۰۲۱). Geometrical Analysis of Oval Domes through Architectural and Mathematical Methods. The Case of the Dome of the Camarín of the Virgin of El Puig (Valencia, Spain). International Journal of Architectural Heritage, ۱-۱٥.

Eldakdoky, S., & Elkhateeb, A. (۲۰۱۷). Acoustic improvement on two lecture auditoria: Simulation and experiment. Frontiers of Architectural Research, ٦(۱), ۱-۱٦.

Elkhateeb, A., Adas, A., Attia, M., & Balila, Y. (۲۰۱٦). Absorption characteristics of masjid carpets. Applied acoustics, ۱۰٥, ۱٤۳-۱٥٥.

Farshad, M. (۱۹۷۷). On the shape of momentless tensionless masonry domes. Building and Environment, ۱۲(۲), ۸۱-۸٥.

Feizolahbeigi, A., Lourenço, P. B., Golabchi, M., Ortega, J., & Rezazadeh, M. (٢٠٢١). Discussion of the role of geometry, proportion and construction techniques in the seismic behavior of ١٦th to ١٨th century bulbous discontinuous double shell domes in central Iran. Journal of Building Engineering, ٣٣, ١٠١٥٧٥.

GOŁAŚ, A., & SUDER-DĘBSKA, K. (٢٠٠٩). Analysis of Dome Home Hall theatre acoustic field. Archives of Acoustics, ٣٤(٣), ٢٧٣–٢٩٣.

Gramez, A., & Boubenider, F. (٢٠١٧). Acoustic comfort evaluation for a conference room: A case study. Applied acoustics, ١١٨, ٣٩-٤٩. https://doi.org/https://doi.org/١٠,١٠١٦/j.apacoust.٢٠١٦,١١,٠١٤

Hossam Eldien, H. F., Yasser. (٢٠١٣). The Effect of Domes Shape on the Acoustics of Mosques.

Huerta, S. (٢٠٠٧). Oval domes: History, geometry and mechanics. Nexus Network Journal, ٩(٢), ٢١١-٢٤٨.

Inoue, S., Sugino, K., Katou, M., & Imaizumi, H. (٢٠٠٩). Speech transmission performance and the effect of acoustical remedies in a dome. Applied acoustics, ٧٠(١), ٢٢١-٢٣٠.

Ismail, M. R. (٢٠١٣). A parametric investigation of the acoustical performance of contemporary mosques. Frontiers of Architectural Research, ٢(١), ٣٠-٤١.

Ismail, M. R., & Eldaly, H. (٢٠١٨). Acoustic of monolithic dome structures. Frontiers of Architectural Research, ٧(١), ٥٦-٦٦.

Kaarlela-Tuomaala, A., Helenius, R., Keskinen, E., & Hongisto, V. (٢٠٠٩). Effects of acoustic environment on work in private office rooms and open-plan offices–longitudinal study during relocation. Ergonomics, ٥٢(١١), ١٤٢٣-١٤٤٤.

Kassim, D. H., Putra, A., Nor, M., & Muhammad, N. (٢٠١٤). Effect of pyramidal dome geometry on the acoustical characteristics in a mosque. Journal of Mechanical Engineering and Sciences, ٧, ١١٢٧-١١٣٣.

Kuttruff, H., & Mommertz, E. (٢٠١٣). Handbook of engineering acoustics, Springer.٢٣٩-٢٦٧. Springer.

Lindsay, RB. (١٩٤٥). Historical development of acoustics to the time of Rayleigh The Theory of Sound ed JWS Rayleigh.

Rayliegh,JWSB. (١٨٩٤). The Theory of Sound, Volume ١.

Everest, F., & Alton, Pohlmann, Ken C. (٢٠١٥). Master handbook of acoustics, McGraw-Hill Education.

Mihai,T., & Iordache, V. (٢٠١٦). Determining the indoor environment quality for an educational building. Energy Procedia, ٨٥, ٥٦٦-٥٧٤.

Mohd Arif, Z. (٢٠١٣). Acustic of mosque: the effect of roof shape on it's acoustic performance.

Munteanu, C., Bogdan, D., Mihaela, M. L., Cobîrzan, N., Tămaș-Gavrea, D. R., & Babota, F. (٢٠١٨). The acoustic properties of the lecture hall of the Faculty of Building Services in Cluj-Napoca. Procedia Manufacturing, ٢٢, ٣٣١-٣٣٨.

Naylor, G. M. (١٩٩٣). ODEON—Another hybrid room acoustical model. Applied acoustics, ٣٨(٢-٤), ١٣١-١٤٣.

Oldham, D., & Elkhateeb, A. (٢٠٠٨). The Architectural Development of the Historic Masjids in Cairo and its Acoustical Impact. Building Acoustics, ١٥(٣), ١٩٧-٢٢٩.

Othman, A. R., & Mohamed, M. R. (٢٠١٢). Influence of Proportion towards Speech Intelligibility in mosque's praying hall. Procedia-Social and Behavioral Sciences, ٣٥, ٣٢١-٣٢٩.

Pena, M. L. C., Carballal, A., Rodríguez-Fernández, N., Santos, I., & Romero, J. (٢٠٢١). Artificial intelligence applied to conceptual design. A review of its use in architecture. Automation in Construction, ١٢٤, ١٠٣٥٥٠.

Robinson, P. W., Siltanen, S., Lokki, T., & Savioja, L. (٢٠١٤). Concert hall geometry optimization with parametric modeling tools and wave-based acoustic simulations. Building Acoustics, ٢١(١), ٥٥-٦٣.

Song, H., Ghaboussi, J., & Kwon, T.-H. (٢٠١٦). Architectural design of apartment buildings using the implicit redundant representation genetic algorithm. Automation in Construction, ٧٢, ١٦٦-١٧٣.

Sü, Z., & Yilmazer, S. (٢٠٠٨). The acoustical characteristics of the Kocatepe Mosque in Ankara, Turkey. Architectural Science Review, ٥١(١), ٢١-٣٠.

Terminology, A. (٢٠٠٦). American national standard. ANSI S١, ١-١٩٩٤.

Tervo, S., & Tossavainen, T. (٢٠١٢). ٣D room geometry estimation from measured impulse responses. ٢٠١٢ IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP),

Xiao, J., & Aletta, F. (٢٠١٦). A soundscape approach to exploring design strategies for acoustic comfort in modern public libraries: A case study of the Library of Birmingham. Noise Mapping, ٣(١).

Zhao, S., Qiu, X., Cheng, E., Burnett, I., Williams, N., Burry, J., & Burry, M. (٢٠١٥). Sound quality inside small meeting rooms with different room shape and fine structures. Applied acoustics, ٩٣, ٦٥-٧٤.