مقاله

تحلیل اندازه‌گیری زمان واخنش و نوفهٔ زمینه در اتاق موسیقی عمارت عالی‌قاپــوی اصفهان

مسعود محمدی*
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صدا
دانشگاه صدا و سیما
masud_eng1986@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۰۱

چکیده

عمارت عالی‌قاپو در شهر اصفهان به‌دلیل معماری باشکوهش شهرتی جهانی دارد. اما دلیل اصلی شهرت این عمارت، طبقهٔ فوقانی آن است که به اتاق موسیقی معروف است. در این مقاله به‌کمک دستگاه اندازه‌گیری ۲۲۶۰ تراز صدا[۱] و زمان واخنش فضای موجود اندازه‌گیری و با معیارهای استاندارد مقایسه شده است. نتایج حاکی از آن است که زمان واخنش بنا در مقایسه با نمودار زمان واخنش بهینه در حد مطلوبی قرار دارد. علاوه بر هندسهٔ خاص فضا، تنگ‌بری‌های این اتاق نیز نقش کاوک را ایفا می‌کنند که در بهبود فرکانس‌های پایین این فضا مؤثرند.

واژگان کلیدی: زمان واخنش[۲]، نوفهٔ (نویز) زمینه، تنگ‌بری[۳]

۱. مقدمه

بنای عالی‌قاپو درب ورودی دولتخانهٔ صفوی بوده است. این بنا در ابتدا شکلی ساده داشته که به‌مرور زمان و در طول سلطنت شاه عباس صفوی طبقاتی بدان افزوده شده است. عالی‌قاپو در زمان شاه عباس اول بنا و در دورهٔ شاه عباس دوم ایوان ستوندار بدان افزوده شد. این اثر شگرف، که در ضلع غربی میدان نقش جهان و روبروی مسجد شیخ لطف‌الله واقع شده است، محل رسیدگی به امور کشور و به‌حضور پذیرفتن سفیران و شخصیت‌ها بوده است؛ بنایی که آن را دولتخانهٔ مبارکه می‌نامیده‌اند. ارتفاع آن ۳۶ متر است و ۶ طبقه دارد که با راه‌پله‌های مارپیچ می‌توان به آنها دسترسی پیدا کرد. این بنا پس از انتقال پایتخت از قزوین به اصفهان توسط شاه عباس اول بین سال‌های ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۶ هـ.ق به‌عنوان مقر و دولتخانهٔ حکومتی شاهان صفوی شروع به ساخت شد. ساخت این عمارت طی پنج مرحله معماری و در زمان جانشینان شاه عباس اول، به‌خصوص شاه عباس دوم و شاه سلیمان، بین ۷۰ تا ۱۰۰ سال، ادامه یافته و تکمیل شده است [۱-۲]. جالب‌ترین بخش این عمارت طبقهٔ ششم آن است که سالن آن از تمام اتاق‌های بنا بزرگ‌تر است. در این اتاق، که به اتاق صوت مشهور است، بزم‌های شادی در حضور شاه برگزار می‌شده

است. تزئینات گچبری آن بسیار زیبا و چشم‌نواز است و به‌شکل ظروف متنوعی چون جام، و صراحی و جز این‌ها ساخته شده و منظور از آن غیر از زیبایی، انعکاس نغمه‌های موسیقی به‌طور طبیعی بوده است.

شکل ۱. نمای خارجی عمارت عالی‌قاپو

شکل ۲. اتاق صوت واقع در عمارت عالی‌قاپو

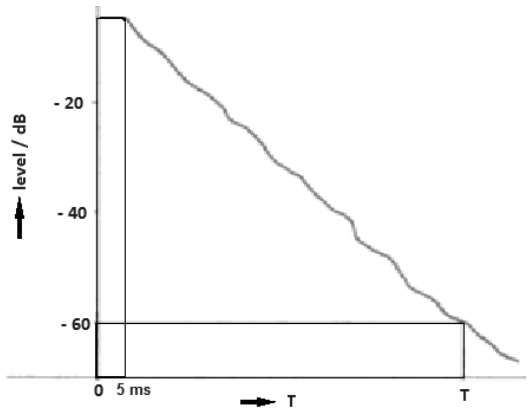
۲. پارامترهای اکوستیکی بنا

۲-۱. واخنش (بازتاب‌های دیرهنگام)

بازتاب‌های دیرهنگام بعد از بازتاب‌های اولیه شنیده شده و شامل واکنش‌هایی بین سطوح مختلف است. بنابراین محتمل تغییرات فضایی و زمانی قابل توجهی می‌شود. چگالی این بازتاب‌ها به‌سرعت افزایش یافته و میدان صدا از میدان مستقیم به پخشا تبدیل می‌شود. منحنی پاسخ در این ناحیه به‌صورت نمایی با زمان کاهش می‌یابد. طبق استاندارد ایـزو ۳۳۸۲[۴] زمان واخنش، مدت زمانی است که بعد از قطع منبع مرجع (صدای پایدارشده) به‌طول می‌انجامد تا تراز صدا به میزان ۶۰ دسی‌بل کاهش یابد [۳]. زمان واخنش به‌عنوان مهمترین پارامتر برای سنجش کیفیت

اکوستیکی یک اتاق محسوب می‌شود. نخستین کسی که اقدام به اندازه‌گیری عینی کیفیت ذهنی واخنش نمود، سابین[5] بود. وی این کار را در دهۀ ۱۹۰۰ م انجام داد. طبق نظر سابین زمان واخنش، زمانی است که انرژی صوتی ۶۰ دسی‌بل کاهش می‌یابد.

$$W(RT) = 10^{-6} W_0 \qquad (۱)$$



شکل ۳. نمودارتعریف زمان واخنش [٤]

معمولاً روابط سابین و ایرینگ[6] برای محاسبۀ این زمان به‌کار می رود. این روابط براساس فرضیۀ میدان پخشا هستند. ایرینگ فرمول سابین را کامل کرد و به رابطۀ ۲ را معرفی نمود:

$$RT = 0.163(0.049)\frac{v}{-\ln(1-\overline{\alpha})S_{tot} + 4mv} \qquad (۲)$$

به‌طوری‌که در این رابطه RT زمان واخنش برحسب ثانیه، V حجم اتاق برحسب متر مکعب، $\overline{\alpha}$ ضریب جذب متوسط اتاق، A_{tot} سطح جذب کل برحسب متر مربع، S_{tot} سطح اتاق برحسب متر مربع و نهایتاً m فاکتور کاهش انرژی هوا است.

۲-۲. روش اندازه‌گیری

ابزار سنجش در این پروژه دستگاه ۲۲۶۰ است این دستگاه توسط شرکت بی. اند کی.[7] طراحی و ساخته شده است. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری پارامترهای اکوستیکی فضاهای بسته را دارد و شامل اجزایی بدین قرار است:

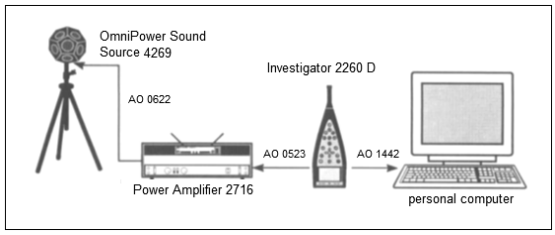
۱. دستگاه واکاو نوع ۲۲۶۰[8]

۲. تقویت‌کنندۀ نوع ۲۷۱۶[9]

۳. بلندگوی تمام جهتی ۱۲ وجهی نوع ۴۲۶۹[10]

میانگین نوفۀ زمینه در چند نقطه از این اتاق در باند فرکانس‌های اکتاوی اندازه‌گیری و مقادیر به‌دست آمده با نمودارهای NC[11] مقایسه شدند.

برای اندازه‌گیری زمان واخنش طبق استاندارد ایـزو ۳۳۸۲ فضا را مش‌بندی کرده و یک مکان برای بلندگو روی بزرگترین طول و با فاصلۀ ۱/۲۵ سانتی‌متر از دیوار و نقاطی برای قراردادن میکروفن انتخاب شد. با استفاده از دستگاه ۲۲۶۰ که قابلیت اندازه‌گیری در دو حالت T30 و T20 را دارد، T30 را در این مکان اندازه‌گیری نمودیم. با استفاده از روش منقطع و با سه بار اندازه‌گیری در هر نقطه و میانگین‌گیری از آنها، مقادیر زمان واخنش در باند فرکانسی اکتاوی به‌دست آمد. حجم این فضا حدود ۸۰۰ متر مکعب به‌دست آمد.

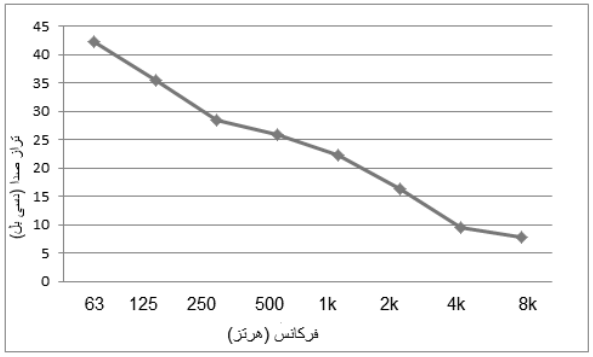


شکل ٤. دستگاه ۲۲٦۰ و نحوۀ اتصالات آن [٥]

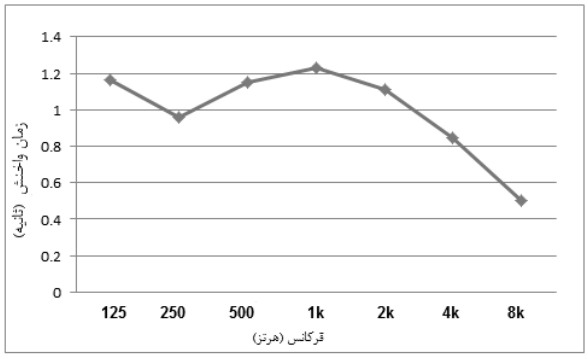
۳. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اندازه‌گیری نوفۀ زمینه و مقایسۀ آن با منحنی‌های برسنج نوفه نشان می‌دهد که مقدار نوفۀ زمینۀ این فضا مطابق با منحنی‌های برسنج نوفه است. با توجه به حجم این فضا و مقادیر حاصل از اندازه‌گیری میانگین زمان واخنش و مقایسۀ آن با نمودار زمان واخنش، که در مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان آمده است، نشان داد که این فضا استاندارد یک سالن موسیقی را دارد و این نکتۀ حائز اهمیت است که این ویژگی‌ها اتفاقی نبوده و طراحی و ساخت این فضا در آن زمان براساس دانش اکوستیک بنا شده است.

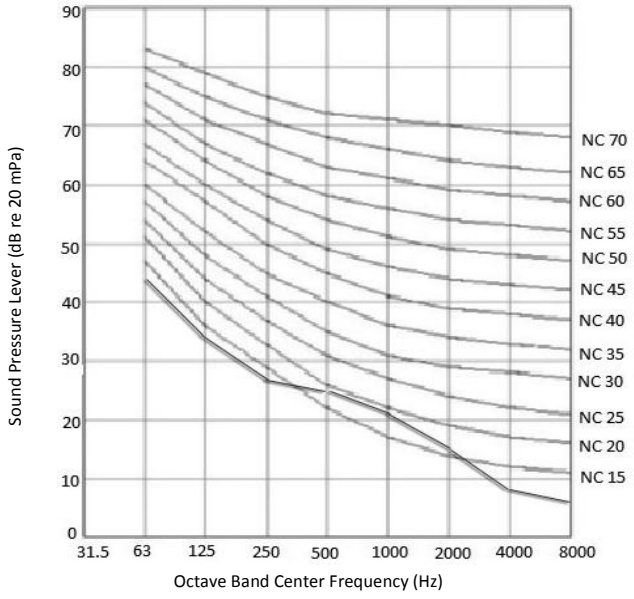
شکل ۵. اندازه‌گیری زمان واخنش



شکل ٦. میانگین نوفهٔ زمینه



شکل ۷. نمودار میانگین زمان واخنش در اتاق موسیقی



شکل ۸ منحنی‌های برسنج نوفه [۳]

جدول ۱. مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ نوفهٔ زمینه

فرکانس (هرتز) / مکان نقاط	۶۳	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰
۱	۳۹/۱	۳۴/۸	۲۷/۵	۲۵/۶	۲۲/۵	۱۵/۵	۷/۸	۷/۴
۲	۴۲/۱	۳۷/۴	۳۴/۲	۳۱/۵	۲۳/۵	۲۰/۷	۱۱/۷	۷/۹
۳	۴۵/۶	۳۹/۴	۳۱/۴	۲۷/۳	۲۵/۹	۱۹	۱۰/۶	۷/۶
۴	۴۵	۳۷/۷	۳۰/۵	۲۶/۶	۲۳/۲	۲۰/۱	۱۷	۱۳/۸
۵	۴۳/۱	۳۶/۵	۲۹/۸	۲۶/۴	۲۳/۱	۱۷/۱	۹/۱	۸/۷
۶	۴۱/۸	۳۵/۲	۲۷/۲	۲۴/۱	۲۲	۱۵/۵	۸/۶	۷/۴
۷	۴۱/۳	۳۳/۷	۲۵/۷	۲۲/۲	۲۰/۲	۱۲/۷	۶/۸	۳/۳
۸	۳۹	۳۳/۴	۲۶/۱	۲۲/۸	۱۹/۵	۱۳	۵/۶	۵/۳
میانگین	۴۲/۲۶	۳۵/۵	۲۸/۴۵	۲۶/۰۱	۲۲/۲۶	۱۶/۲۴	۹۶/۵	۷/۹۴

جدول ۲. مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ زمان واخنش

فرکانس (هرتز) / مکان نقاط	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰
۱	۱/۴۱	۰/۸۴	۱/۱۲	۱/۲۹	۱/۰۶	۰/۸۷	۰/۴۶
۲	۱/۰۷	۱/۰۸	۱/۱۴	۱/۲۴	۱/۱	۰/۸۸	۰/۵
۳	۰/۸۵	۰/۹۴	۱/۱۹	۱/۲۲	۱/۱۶	۰/۸۶	۰/۵۱
۴	۱/۵	۱/۱۶	۱/۱۱	۱/۲۳	۱/۱۱	۰/۹۳	۰/۵۴
۵	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۱	۱/۲۳	۱/۱۴	۰/۸	۰/۴۸
۶	۱/۰۷	۱/۰۸	۱/۱۴	۱/۲۴	۱/۱	۰/۸۸	۰/۵
۷	۱/۰۶	۰/۹	۱/۲۱	۱/۲	۱/۱۳	۰/۸۸	۰/۵۲
۸	۱/۰۵	۰/۹۴	۱/۲۳	۱/۲۳	۱/۰۹	۰/۸۳	۰/۵۲
۹	۱/۱۹	۰/۹۴	۱/۰۵	۱/۲۴	۱/۱	۰/۸۳	۰/۵۴
۱۰	۱/۱۵	۱/۰۸	۱/۱۹	۱/۲۹	۱/۱	۰/۸	۰/۴۸
۱۱	۱/۱	۰/۸	۱/۱۲	۱/۲۳	۱/۱۱	۰/۸	۰/۴۸
۱۲	۱/۱۴	۰/۹۴	۱/۱۶	۱/۲۴	۱/۰۷	۰/۸۳	۰/۵
میانگین	۱/۱۳	۰/۹۴	۱/۱۴	۱/۲۴	۱/۱۰	۰/۸۴	۰/۵۰

۴. مآخذ

[۱] نوروزی اصل، سونا، یوسفعلی عابدینی. "بررسی آکوستیکی سازه های تاریخی با تاکید بر عالی‌قاپو"، *مقالهنامهٔ کنفرانس فیزیک ایران*، ۱۳۸۶.

[۲] کاخ عالی‌قاپو، وبگاه تیشینه، قابل دسترسی در:

http://www.tishineh.com (accessed September 01, 2015)

[3] Gonzales, Virginia Gomariz .*Acoustic study of churchs* .Berlin, Germany.2009.

[4] Kuttruff, Heinrich .*Room Acoustics*, Aachen: Spon Press, 2009.

[5] Bruel & Kjar, *Technical Documentation*, .Bruel & Kjar Sound & Vibration Measurement A/S, 2002.

پی‌نوشت

1. sound pressure level (SPL)
2. reverberation time (RT)
3. cutout
4. ISO 3382
5. Wallace Clement Sabine
6. Eyring
7. Brüel & Kjær
8. Investigator 2260
9. Power Amplifier Type 2716
10. Omni Power Sound Source Type 4269
11. noise criteria curves