

تحلیل تاثیر هندسه قوس‌های کند و تند بر کیفیت صوتی سالن‌های سخنرانیفرشته کامرانی^۱، منصور یگانه^۲ و محمدرضا بمانیان^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸

چکیده

بیان مساله: از گذشتگان تا امروز کیفیت صوتی در کالبد فرم معماری فضاهای جمعی مورد توجه معماران قرار داشته است. تا به حال معادله برازش (تعیین معادله درجه سه نقاط روی خم‌ها با تقسیم مساوی) و کالبد فرم قوس‌های کند و تند از دیدگاه آکوستیکی فضای سخنرانی بزرگ مقیاس مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است. با تحلیل و بررسی معادله برازش و کالبد فرم در قوس‌های تند و کند پر کاربرد از دیدگاه آکوستیک، می‌توان به ساختار شکلی و ریاضی قوس متناسب با کیفیت صوتی پی‌برد که به صورت مستقیم تحت تاثیر حجم، سطح، ارتفاع به دهانه و برازش منحنی قوس می‌باشد. پژوهشگران کیفیت صوتی فرم سقف منحنی باتوجه به نوع قوس، مصالح، ارتفاع و تاریخچه آن‌ها پرداخته‌اند. این مقاله تاثیر قوس کند و تند با تفکیک بر اساس معادله برازش منحنی و بر اساس کندی و تندی ترسیمی در معماری سنتی در قوس‌های پر کاربرد ایرانی از دید کیفیت صوتی فضای سخنرانی مورد بررسی قرار می‌دهد.

سوال تحقیق: سوال اصلی این است که پارامترهای معماری و معادله برازش منحنی انواع قوس‌های کند و تند چه تاثیری بر کیفیت صوتی سالن سخنرانی دارند؟

اهداف تحقیق: پژوهش حاضر به بررسی مولفه‌های آکوستیکی فضای سخنرانی در سه گروه فرم گنبدی و تاقی و تاقی چرخشی در انواع چفد پر کاربرد با توجه به کندی و تندی قوس‌ها از لحاظ عنوان سنتی توسط استاد کاران معماری ایران و کندی و تندی قوس‌ها بر اساس معادله‌های برازش منحنی پرداخته شود.

روش تحقیق: جمع‌آوری داده‌ها بر پایه داده‌های کتابخانه‌ای و قوس‌های شبیه سازی شده می‌باشد. با استفاده از شیوه ترکیبی (شبیه‌سازی، تحلیل توصیفی) در دسته‌بندی مقالات کاربردی جای می‌گیرد، روش تحقیق بدین گونه که پس از ترسیم دقیق نمونه‌ها به روش استادکاران به صورت الگوریتمی در نرم‌افزار Grasshoper و سپس به محاسبه برازش منحنی با روش ماتریسی با نرم افزار SPSS ۲۲ پرداخته شد. بعد از آن شبیه‌سازی آکوستیکی با استفاده از نرم‌افزار odeon انجام گرفته است. تحلیل توصیفی قوس‌ها با نمودار ویلیون توسط نرم افزار RStudio و تحلیل همبستگی قوس کند و تند میان متغیرهای معماری و آکوستیکی با روش اسپیرمن با نرم افزار SPSS پرداخته شد.

مهم‌ترین یافته‌ها و نتیجه‌گیری تحقیق: تحلیل‌ها آشکار ساخت که قوس‌های کند در زمان واخشی و شاخص انتقال‌گفتار دارای میانه بالاتر و در مولفه وضوح گفتار دارای میانه پایین‌تر از قوس تند می‌باشد. کاهش حجم فرم‌ها موجب افزایش مقدار شاخص انتقال گفتار و کاهش زمان واخشی و وضوح گفتار می‌گردد. بهتر است در فضاهای سخنرانی با سقف گنبدی یا طاقی از قوس‌های کند استفاده گردد در فرم‌های طاقی محل قرار گیری سخنران در ضلع کناری یا در محور عمود بر محور اصلی قرار گیرد.

کلمات کلیدی: سالن سخنرانی، قوس کند، قوس تند، برازش منحنی.

^۱ دانشجوی دکتری، معماری، هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران.

^۲ استاد مدعو، گروه معماری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران. (هیأت علمی گروه معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران).

(نویسنده مسئول) پست الکترونیکی: yeganeh@modares.ac.ir

^۳ استاد مدعو، گروه معماری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران. (هیأت علمی گروه معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران).

۱- مقدمه

معماری آکوستیک، علم مطالعه آکوستیک محیط‌ها در معماری است (ایزدپناه و فرزین، ۲۰۱۸:۴۲، Yeh & Tsay, 2021:2). طراحی فضاهای دارای کیفیت صوتی هم برای معماران و هم مهندسان، از گذشته به عنوان یک چالش در طراحی مورد توجه معماران بوده است. اختلال در ارتباطات گفتاری و مکالمات (Savale, 2014:1027) از نتایج عدم توجه به کیفیت آکوستیکی محیط است. با این حال، محیط‌های آکوستیکی داخلی محدود به فضاهای عملکرد حرفه‌ای نیستند. در سال‌های اخیر، آکوستیک معماری در فضاهای غیرحرفه‌ای از موسیقی استفاده شده است، همچون فضاهایی مانند ادارات، کتابخانه‌ها، فضاهای چند منظوره، سالن‌های سخنرانی و غیره مورد توجه قرار گرفته است (Kaarlela- , Cairoli, 2018:167، Xiao & Tuomaala et al, 2009:1423 و Aletta, 2016:265). هنگامی که در یک فضا سیگنال گفتاری پخش می‌شود، شاخص انتقال گفتار^۱، زمان واخنش^۲ و وضوح گفتار^۳ این سامد^۴ در مسیر انتقال تحت تأثیر فرم معماری قرار می‌گیرد و دچار تغییرات شده و بر کیفیت صوتی محیط تأثیر می‌گذارد (Munteanu et al, 2018:332، (al, 2017:39)، (Robinson et al, 2014:56)، (Tervo & Tossavainen, 2012). برای ایجاد کیفیت آکوستیکی از طریق فرم معماری، هندسه فرم سقف یکی از مهمترین عوامل موثر می‌باشد. با توجه به اهمیت شرایط آسایش حرارتی فضاها، سقف‌های با شکل منحنی یا همان گنبدی و تاقی در معماری ایران یکی از بهترین نمونه‌ها در این زمینه می‌باشند که می‌توان از جهات دیگر همچون کیفیت صوتی نیز افزایش یابد. کاربرد این الگوها در معماری معاصر از منظر کارایی آکوستیکی، نیازمند شناخت رابطه مولفه‌های کالبد معماری با مولفه‌های آکوستیکی است. بر این اساس پژوهش حاضر به بررسی مولفه‌های آکوستیکی فضای سخنرانی در سه گروه فرم گنبدی و تاقی و تاقی چرخشی در انواع چفد کاربرد با توجه به کندی و تندی قوس‌ها از لحاظ عنوان سنتی توسط استاد کاران معماری

ایران و کندی و تندی قوس‌ها بر اساس معادله‌های برازش منحنی پرداخته شود.

۲- پرسش تحقیق

بر آن است که در این پژوهش به تحلیل و پاسخ این سوال اصلی زیر برسد:

- تاثیر پارامترهای معماری و معادله برازش منحنی انواع قوس‌های کند و تند بر مولفه‌های کیفیت صوتی سالن سخنرانی چیست؟
- رابطه میان مولفه‌های معماری و آکوستیکی چیست؟

۳- فرضیه تحقیق

قوس‌های کند در مولفه‌های زمان واخنش، شاخص انتقال گفتار و مولفه وضوح گفتار کیفیت صوتی بهتری نسبت به قوس‌های تند دارند.

۴- پیشینه تحقیق

در مورد موضوع کیفیت صوتی و فرم سقف منحنی در معماری پژوهش بسیاری انجام شده است. برخی از پژوهش‌ها بر اساس متغیر و هدف مطالعات به چند دسته تقسیم بررسی شدند. پژوهش‌های بسیاری در گستره فرم سقف‌های منحنی همچون پیرنیا و وحدت طلب و همکاران به تکامل گنبد مساجد در دوره‌های مختلف تاریخی با تمرکز بر تناسب ابعادی گنبد به عنوان یکی دیگر از اجزای زیبایی شناسی پرداخته است (پیرنیا، ۱۹۹۴:۵)، (وحدت طلب و همکاران ۲۰۱۶). ولی بیگ که به تجزیه و تحلیل طاق‌های مختلف پنج و هفت از طریق رویکردهای ریاضی و هندسی انجام و سپس روش‌های مختلف ترسیم با یکدیگر مقایسه کرده‌اند تا مزایا و معایب هر یک برای اهداف مختلف آشکار شود (ولی بیگ، ۲۰۱۲). ایزدپناه از برازش خم به روش ماتریسی برای تعیین معادله هر قوس استفاده کرده و بهترین روش بیان نموده است (ایزدپناه، ۲۰۱۸:۴۲). در گستره سقف‌های منحنی و آکوستیک یالماذر و سیودر سال ۲۰۰۸ بر روی ویژگی‌های صوتی مسجد کوکئب در آنکارا با شبیه سازی مسجد با سقف گنبدی با نرم‌افزار ادئون مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است (Sü & Yilmazer, 2008:21). کاظیم و همکاران در سال



پرداخته شد. در انتها تحلیل همبستگی میان مولفه‌های معماری و آکوستیکی با روش اسپیرمن با نرم افزار SPSS مورد تحلیل قرار گرفته است. ابتدا در جدول ۱، به تفکیک متغیرها و سنجه‌های مورد بررسی ارایه شده‌اند که متغیر کیفیت صوتی دارای سنجه‌های زمان واخنش، وضوح گفتار و شاخص انتقال گفتار می‌باشد و متغیر فرم معماری (متغیر مستقل) دارای سنجه‌های معادله برازش منحنی و کالبدی شامل حجم، سطح، ارتفاع و کندی و تندی دهانه‌ها می‌باشد.

جدول ۱ متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش

شماره	متغیر	فرم معماری (متغیر مستقل)	
		هندسه	فرم سقف
۱	کیفیت صوتی	کیفیت صوتی	آسایش صوتی
۲	متغیر	محاسباتی و شکلی	قوس
۳	سنجه‌ها	محاسباتی: معادله برازش منحنی کالبدی: حجم، سطح، ارتفاع به دهانه، کندی و تندی	زمان واخنش (RT)، وضوح گفتار (C ₅₀)، تراز فشار صدا (SPL)، شاخص انتقال گفتار (STI)

نمودار روند انجام این پژوهش در تصویر ۱ بیان شده است.



تصویر ۱ روند تحقیق

۶- مبانی نظری:

۶-۱- کاربست الگوهای چفد در فرم معماری

همساز با صوت

پوشش از اولویت و اهمیت زیادی نسبت به دیگر اندام‌ها در معماری ایرانی برخوردار است. در قیاس با معماری جهان در اعصار مختلف، معماری ایرانی از لحاظ تنوع و غنای پوشش‌ها خیره کننده است. این معماری چنان به سقف می‌پردازد که گویی دغدغه‌ای به جز آن ندارد. به سادگی از سطوح پایینی می‌گذرد و توجه خاصش را به آسمانه می‌کند (صفایی پور و پورمند، ۲۰۱۲:۳۹). در گذر زمان برای ساخت پوشش‌های تاق آهنگ (تاق به مفهوم پوشش فضای بین دو دیوار و شکلی که تاق از نظر ترکیب تابع آن می‌شود همان چفد می‌باشد و همچنین

۲۰۱۴ تأثیر هندسه گنبد هرمی بر ویژگی‌های صوتی در یک مسجد که زمان واخنش (RT) و وضوح (C₅₀) را بررسی نموده که مشخص شده گنبد هرمی با زاویه تند به وضوح صوتی ضعیف کمک می‌کند (Kassim et al, 2014:1130). الداوکی و الخاتب در سال ۲۰۱۷ به ارزیابی تأثیر شکل و مکان گنبد بر عملکرد صوتی مسجد با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری چهار نوع گنبد عربی، بخشی، نیمکره‌ای و پیازی که معمولاً در مسجد پرداخته و به اینکه شکل گنبد روی RT و STI تأثیر می‌گذارد و هرچه حجم بیشتر باشد، مقدار STI کمتر است (Eldakdoky & Elkhateeb, 2017:16).

۵- روش تحقیق

پژوهش حاضر سعی بر بررسی مولفه‌های آکوستیکی برای تبیین فرم منحنی مطلوب در ساختمان‌های سخنرانی آتی می‌باشد. این مقاله برای نخستین بار تلاش دارد کیفیت صوتی فضای سخنرانی در سه گروه فرم گنبدی و تاقی و تاقی چرخشی در انواع چفد پرکاربرد با توجه به کندی و تندی قوس‌ها از لحاظ عنوان سنتی توسط استاد کاران معماری ایران و کندی و تندی قوس‌ها بر اساس معادله‌های برازش منحنی را مورد بررسی قرار دهد. روش جمع‌آوری داده‌ها بر پایه داده‌های کتابخانه‌ای و از سوی دیگر بر شبیه‌سازی قوس‌های انتخاب شده توسط خبرگان می‌باشد. ابزار جمع‌آوری داده‌های کتابخانه‌ای (مقالات، کتاب) ابزار جمع‌آوری شبیه‌سازی (نرم افزار Grasshopper، Odeon) و ابزار تحلیل داده‌ها (نرم افزار SPSS و RStudi) می‌باشد.

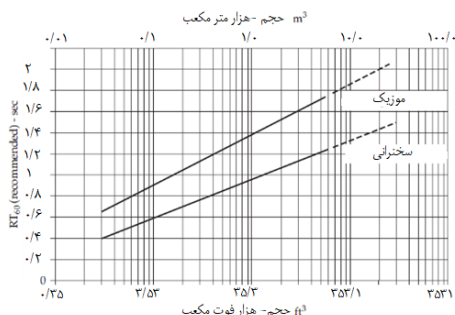
پژوهش حاضر با استفاده از شیوه ترکیبی (شبیه‌سازی، تحلیل توصیفی) در دسته‌بندی مقالات کاربردی جای می‌گیرد، روش تحقیق پژوهش بدین گونه است که پس از ترسیم دقیق نمونه‌ها به روش سنتی استادکاران در نرم‌افزار گرس‌هاپر، برازش منحنی با روش ماتریسی و برای بررسی میزان خطا روش حداقل مربعات توسط کارل فردریش گاوس با نرم‌افزار SPSS انجام شده است. پس از آن شبیه‌سازی آکوستیکی با استفاده از نرم‌افزار ادئون انجام گرفت. در ادامه به تحلیل توصیفی در شاخص‌های مهم کیفیت صوتی در قوس‌های کند و تند



آکوستیک زمان واخنش است) (Elkhateeb et al, 2016:143).

۶-۲-۱- زمان واخنش:

واخنش یعنی پایداری صدا در یک فضای بسته تا زمانی که خروجی اصلی صدا متوقف شده است. این شامل یک سری بازتاب‌ها یا پژواک‌های بسیار نزدیک است، که با گذشت زمان قدرت آن‌ها با جذب حدی و تلفات هوا کاهش می‌یابد. مولان (۱۹۸۳) واخنش را به عنوان حضور مداوم از صدا و قابل شنیدن پس از قطع منبع صدا تعریف کرده است. از نظر فنی، "زمان واخنش" به عنوان زمان مورد نیاز برای کاهش صدا به میزان ۶۰ دسی‌بل گفته می‌شود. زمان واخنش معمولاً از کسری از ثانیه در اتاق‌های کوچک تا پنج ثانیه و بیشتر در محوطه‌های بسیار بزرگ مانند نمازخانه در مسجد متغیر است. انواع مختلف اتاق‌ها و فعالیت‌ها به زمان واخنش متفاوت برای کیفیت صوتی قابل قبول نیاز دارند. به طور کلی، بهترین زمان واخنش برای گفتار کمتر از ۱ ثانیه و برای موسیقی بیشتر از ۱ ثانیه است. زمان‌های واخنش کوتاه برای وضوح گفتار ضروری است. در غیر این صورت، وجود مداوم صدای طنین انداز صدای زیر را پوشانده و باعث تار شدن گفتار می‌شود. به نظر می‌رسد اتاق‌های بزرگتر به زمان واخنش طولانی‌تری نیاز دارند، همانطور که در مورد فرکانس‌های پایین‌تر صدا نیز صدق می‌کند. به گفته برگ و استورک (۱۹۹۵)، بهترین زمان واخنش برای یک سخنرانی باید کمتر از ۱ ثانیه در محدوده فرکانسی ۵۰۰ هرتز و کمتر باشد. باید زمان واخنش مناسب مقادیر تصویر ۳ را داشته باشد. زمان واخنش یک اتاق باید متناسب با عملکرد و حجم اتاق باشد (Othman & Mohamed, 2012:321).



تصویر ۳ نمودار زمان واخنش در سالن‌های بزرگ مقیاس ماخذ: (Everest & Pohlmann, 2015:608)

استفاده از قدر مطلق خطا، مربع آن را در نظر گرفته می‌شود بنابراین کمینه سازی مجموع مربعات خطا منجر به برازشی شده که خطاهای کوچکتری را در نظر گرفته است (مجیدی، ۵۹:۲۰۲۰)

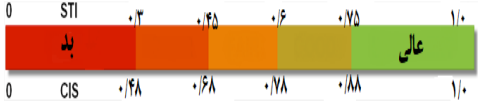
۶-۲- کیفیت صوتی فضای سخنرانی

کیفیت محیط داخلی، IEQ به عنوان شاخص سطح آسایش در نظر گرفته می‌شود که محدود به شرایط حرارتی نیست، شامل عناصری مانند آسایش حرارتی، آسایش صوتی، کیفیت هوای داخلی و آسایش بصری است (Mihai & lordache, 2016:567). کیفیت صدا در داخل اتاق توسط بسیاری از محققان بررسی شده، همانند بیان شدن پارامترهای صوتی عینی برای توصیف کیفیت صدا، تجزیه و تحلیل عوامل موثر بر کیفیت صدا و بررسی راه‌حل‌های ممکن برای بهبود کیفیت صدا در داخل اتاق‌ها می‌باشد (Zhao et al, 2015:65). از بسیاری جهات، سالن‌های بزرگ نشان دهنده اوج طراحی آکوستیکی هستند (Everest & Pohlmann, 2015:607). اندازه وسیع سالن‌های بزرگ به آنها اهمیت مدنی می‌دهد و در بیشتر موارد هزینه ساخت آنها نسبت به هر فضای آکوستیکی دیگری کمتر است (Everest & Pohlmann, 2015:607). به طور کلی، طراحی فضاهای بزرگ از دو جهت می‌باشد: فضاهایی که عمدتاً برای سخنرانی و فضاهایی برای موسیقی در نظر گرفته شده‌اند. واضح است که اولی بر درک گفتار تأکید می‌کند در حالی که دومی به صداگذاری موسیقی نیاز دارد. از برخی جهات آکوستیکی، حتی بزرگترین سالن نیز تفاوتی با اتاق‌های کوچکتر ندارد. به عبارتی، معیارهای اصلی آکوستیک یکسان هستند. یک سالن بزرگ باید دارای سر و صدای کم محیطی از منابع داخلی و خارجی باشد. باید سطح منطقی آکوستیکی را ارائه دهد. البته، همه این نیازهای آکوستیکی باید با دغدغه‌های معماری زیباشناختی و کاربردی هماهنگ شوند (Everest & Pohlmann, 2015:612). طراحی آکوستیک مدرن نیاز به محاسبه پارامترهای زیادی دارد، یکی از مهمترین پارامترهای

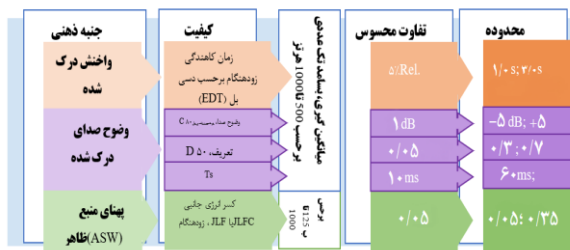


۲-۲-۶- شاخص انتقال گفتار:

درک گفتار بالاترین اولویت طراحی برای هر سالنی است که برای کلمات گفتاری در نظر گرفته شده است. این امر در بسیاری از اماکن عبادی، تالارها و تئاترهای نمایشی صادق است. سیستم‌های صوتی اغلب برای غلبه بر محدودیت‌های آکوستیکی و برای وضوح بیشتر در فضاهای بسیار بزرگ استفاده می‌شوند. (Everest & Pohlmann, 2015:609) منظور از درک گفتار درصدی از کلمه یا کلماتی است که به درستی توسط شنوندگان شنیده می‌شود. این یک عنصر حیاتی ارتباطات انسانی است. بدون درک قابل توجه گفتار، ارتباط با مشکل مواجه می‌شود. درک خوب تحت تأثیر زمان واخنش (RT)، سر و صدای پس زمینه و فاصله شنونده از بلندگو است. از سه عنصر، زمان واخنش (RT) و صدای پس زمینه تحت تأثیر معماری اتاق قرار می‌گیرند. بنابراین، در مرحله طراحی باید به آنها توجه بیشتری شود (Othman & Mohamed, 2012:321). نکسون (۲۰۰۲) تاکید کرد که در نسخه پیش نویس استاندارد ISO 9921 در "ارزیابی ارتباطات گفتاری"، درک گفتار به عنوان "اندازه‌گیری اثربخشی درک گفتار" تعریف شده است. اندازه‌گیری معمولاً به عنوان درصدی از پیام که به درستی درک شده بیان می‌شود. درک گفتار به معنای کیفیت گفتار نیست. قابلیت درک گفتار به میزان مواردی که به درستی تشخیص داده می‌شوند مربوط می‌شود، در حالی که کیفیت گفتار به کیفیت بازتولید سیگنال گفتار با توجه به میزان اعوجاج شنیدنی مربوط می‌شود. بنابراین، پیامی که فاقد کیفیت است ممکن هنوز قابل درک باشد (Othman & Mohamed, 2012:321). شاخص انتقال گفتار (STI)، این یک معیار عینی است که انتقال گفتار را مشخص می‌کند (Hossam Eldien & Farghaly, 2013:2). از دست دادن انتقال سیگنال گفتاری در اثر بازتاب، تداخل و سر و صدای پس زمینه ایجاد می‌شود (GOŁAŚ & SUDER-DEBSKA, 2009:274). "برای اطمینان از درک خوب گفتار، باید سیگنال را حفظ کرد، که به باندهای فرکانسی مختلف کمک می‌کند تا در کیفیت گفتار کمک کنند" (Kuttruff & Mommertz, 2013:240). طبق نظر

بارنت (۱۹۹۹)، مقدار مرجع STI از ۰ = بد تا ۱ = عالی متغیر است. در این مقیاس، STI حداقل ۰/۵ برای اکثر کاربردها مطلوب است (Barnett, 1999:6) (تصویر ۴).

 تصویر ۴ مقیاس شاخص انتقال گفتار. ماخذ: (Barnett, 1999:6)

تصویر ۵ نمودار مقدار کمیت‌های فیزیکی کیفیت صوتی بر مبنای استاندارد ISO3382 که در طراحی و بررسی سالن‌های سخنرانی بکار گرفته می‌شود بیان شده است.



تصویر ۵ نمودار چند کمیت فیزیکی فرض شده که کیفیت صوتی را مشخص می‌کند (Ballou, 2013), iso 3382

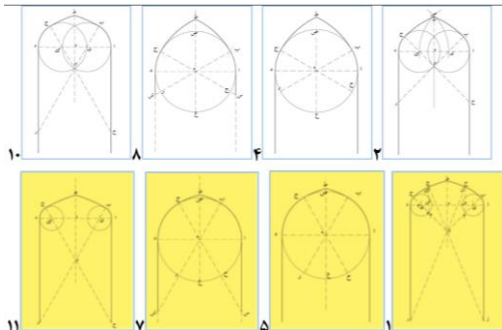
۳-۶- روش مدل‌سازی آکوستیکی فرم معماری پیش‌بینی ویژگی‌های آکوستیک یک سالن قبل از ساخت و ساز همیشه از لحاظ آکوستیک و معماری مهم بوده است. تصویر ۶ نمودار متدولوژی مدل آکوستیکی بیان شد. در طول قرن بیستم شبیه‌سازی با مدل‌های مقیاس فیزیکی سالن مورد نظر انجام شده است (Barron, 2009:317; Beranek, 2011:6; Bork, 2000:945). از اوایل دهه ۱۹۶۰ شبیه‌سازی رایانه‌ای آکوستیک اتاق توسعه یافت که پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل طرح‌های معماری را امکان پذیر می‌کند (Robinson et al, 2014:56). نرم‌افزار شبیه‌سازی آکوستیک مهندسی و مدل‌سازی در ۱۵ سال گذشته توسعه داده شده که داده‌های عملکردی را محاسبه کرده و تجسم‌های صوتی و صدایی را تولید می‌کند (Peters, 2010:337). امروزه استفاده از یک مدل رایانه‌ای برای دستیابی به همان نتیجه راحت‌تر است. این مدل‌ها همچنین می‌توانند در صورت برنامه‌ریزی و طراحی نوسازی سالن‌های موجود استفاده



تصویر ۶ متدولوژی مدل آکوستیکی ماخذ: (Ballou, 2013:215)

۷- مطالعات و بررسی‌ها

در این پژوهش تمامی قوس‌های پرکاربرد به تعداد ۸ عدد به صورت هدفمند با توجه به انواع گونه‌های قوس پرکاربرد با هدف تحقیق از نمونه قوس‌های تصویر ۲ می‌باشد. در تصویر ۷، نمونه قوس‌های انتخاب شده توسط خبرگان بیان شده است.



تصویر ۷ تصاویر نمونه قوس‌های انتخاب شده توسط خبرگان (قوس‌های کند رنگ زرد و قوس‌های تند رنگ سفید) (ماخذ: نگارندگان) در جدول ۳ ویژگی‌های هندسی فرم‌های تاقی و گنبدی از جمله مساحت، محیط، ارتفاع، نسبت ارتفاع به دهانه و حجم کند و تندی انواع قوس‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

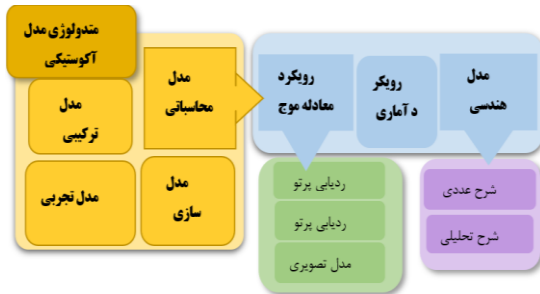
جدول ۳ توصیفی از مدل‌های آکوستیک از انواع قوس کند و تند انتخاب شده (ماخذ: نگارندگان)

شماره	نوع قوس	ابعاد ارتفاع	محیط	محیط داخلی	محیط گنبد	حجم گنبد	H/D
کند	تند	m	m ²	m ²	m ²	m ³	m
۱۱	کند	شماره ۱۱ پنج او هفت کند	۱۹/۹۱	۴۱۳۸	۱۵۱/۴۱	۳۸۶/۵۹	۱۴۴/۱۲
خوابیده							
۷	شماره ۷ قوس شاخ بزی کند	۱۹/۸۰	۴۱۹۱/۲۳	۱۵۰/۲۵	۳۸۶/۷۶	۱۴۲/۲۱	۱۳۲۰
۵	شماره ۵ قوس پانویس کند	۲۳/۲۲	۴۷۳۸/۹۶	۱۶۶/۱۸	۴۴۲/۱۰۸	۱۵۳/۵۲	۱۵۴۸
۱	شماره ۱ قوس شمیری کند	۲۳/۰۲	۴۷۳۱/۲۱	۱۶۶/۱۰۰	۴۴۲/۱۰۳	۱۵۳/۵۲	۱۵۳۵
۱۰	تند	شماره ۱۰ قوس پنج او هفت	۲۲/۱۷	۴۴۸/۰۸	۱۶۰/۱۷۸	۴۰۷/۲۰۹	۱۴۷/۵۶
تند							
۸	شماره ۸ قوس شاخ بزی تند	۲۱/۵۲	۴۴۲/۰۲	۱۵۸/۱۲	۴۰۷/۱۵۴	۶۸۱/۷۸	۱۴۳۵
۴	شماره ۴ قوس پانویس کند	۲۳/۹۸	۴۹۰/۵۱۷	۱۷۲/۵۴	۴۴۰/۵۸	۱۵۵/۲۴	۱۶۶۵
۲	شماره ۲ قوس شمیری کند	۲۳/۱۷	۴۸۸/۱۶۹	۱۷۱/۲۱	۴۲۳/۱۶۶	۱۵۵/۳۱	۱۶۵۱

۷-۱- برآزش خم و روش حداقل مربعات برای هندسه قوس‌های ایرانی

در بیشتر پژوهش‌های انجام شده برای بررسی موضوع، از ترسیم خم‌ها بر روی قوس‌ها و مقایسه چشمی قوس شناخته شده با خم‌های استفاده شده است. بدیهی است که برای تقریب زدن هندسه یک قوس از بسیاری خم می‌توان استفاده کرد. بدین صورت که با مشاهده تفاوت چند خم ترسیم شده با قوس مورد نظر، در مورد

شوند) (Barron, 2009:317; Beranek, 2011:6; Bork, 2000:945). این نرم‌افزارها از طریق فرآیندهای تبادل داده می‌تواند به نرم‌افزار طراحی معماری مرتبط باشد. آزمایش‌های رایین‌گرد نشان می‌دهد که بین شش برنامه شبیه‌سازی اتاق تجاری مختلف و اندازه‌گیری‌هایی که آنها تولید می‌کنند، عملکرد صوتی اتاق‌ها را به طور دقیق پیش‌بینی می‌کنند (Peters, 2010:337). مطالعات موردی توسط کاجل^۵ و بروئل^۶ نشان می‌دهد که نتایج حاصل از نرم‌افزار شبیه‌سازی ادفون نتیجه کلی مورد انتظار را نشان می‌دهد (Brüel & Kjær, 2011). اساساً دو روش متفاوت برای مدل‌سازی آکوستیکی اتاق وجود دارد، روش‌های مبتنی بر موج و روش‌های مبتنی بر تابش (Svensson & Kristiansen, 2002) از آنجا که مدل‌های ساده ردیابی پرتوی اولیه، روش بسیار تکامل یافته‌اند که شامل پیش‌بینی دقیق‌تر پدیده‌های پیچیده مانند انکسار و پراکندگی با استفاده از هر دو روش هندسی (Siltanen et al., 2012:4606) و مبتنی بر موج می‌باشد (Savioja et al, 2010:8). هر دو روش هندسی در اودتون وجود دارد. یکی برای صدای مستقیم که به گیرنده می‌رسد و دیگری برای صدایی که قبل از رسیدن به گیرنده در سطوح اطراف مناظر پخش شده است (Foteinou & Murphy, 2012:2). با این حال، شبیه‌سازی هنوز هم برای اتاق‌های بزرگ بسیار وقت‌گیر است (Savioja et al, 2010:1).



کارشناسان، این نقاط به طور همگن از همه کمان‌ها انتخاب می‌شوند (ایزدپناه، ۲۰۱۸:۴۱). نقاط پایه قوس به عنوان نقاط شروع با ۱۰۰ فاصله برابر در محور افقی آن (دهانه‌ها) انتخاب می‌شوند. بر اساس امتیازات بدست آمده در نرم افزار SPSS بدست آمده است. برای بررسی میزان خطا از روش حداقل مربعات استفاده می‌شود. تصویر ۶ انواع قوس بکار رفته در این پژوهش را نمایش و جدول ۴ نوع قوس‌ها و اتصالات منحنی را توصیف می‌کند. در جدول ۴ ضریب خطا معادله (R) و هریک از مقادیر مولفه‌های معادله درجه ۳ قوس‌ها بیان شده است.

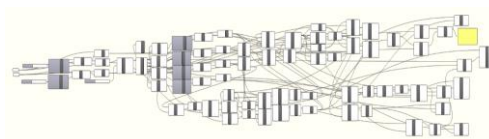
$$Y=X^3+X^2+X^1+b$$

جدول ۴ توصیف قوس‌ها و مولفه‌های برازش منحنی ماخذ: نگارندگان

کندی و تندی	قوس	برازش منحنی				
		۳X	۲X	۱X	b	R
۱۱	پنج او هفت کند	۲/۳E-16	۰/۰۷	۱/۰۴	۰/۷۹	۰/۹۹
۱۰	قوس پنج او هفت تند	۳/۷۰E-۱۶	۰/۱۰-	۱/۵۴	۱/۰۶	۰/۹۹
۸	قوس شاخ بزی تند	۳/۵۸E-۱۶	۰/۰۸-	۱/۲۷	۱/۵۱	۰/۹۸
۷	قوس شاخ بزی کند	۳/۰۲E-۱۶	۰/۶۱-	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۹۹
۵	قوس پاتوپای کند	۴/۲۰E-۱۶	۰/۱۱-	۱/۶۴	۱/۸۹	۰/۹۸
۴	قوس پاتوپای تند	۴/۵۴E-16	۰/۱۴-	۲/۱۵	۱/۴۱	۰/۹۹
۲	قوس شیدری تند	۵/۸۰E-۱۶	۰/۱۴-	۲/۱۰	۱/۴۶	۰/۹۹
۱	قوس شیدری کند	۴/۹۴E-۱۶	۰/۱۱-	۱/۶۱	۱/۹۴	۰/۹۸

RoomAcoustic ۰/۹ وارد شده‌اند. با توجه به ابعاد نمونه فضاهای مورد نظر مشابه در معماری ایران که در پیشینه پژوهش بیان شد (Hossain Eldien, 2013:2؛ رضازاده اردبیلی و همکاران، ۱۳۹۷:۷۰) و برای یکسان بودن تمامی مدل‌ها، مکعبی به ابعاد ۱۵ متر زیر سقف منحنی قرار گرفته است. این امر برای جلوگیری از تأثیر تغییر حجم بر پارامترهای صوتی و اطمینان از تجزیه و تحلیل بر اساس ویژگی‌های گنبد است (Kassim et al., 2014:1130). هنگام تعیین یک اتاق جدید در ادئون اعتبار آن تأیید شده است. راستی آزمایی شامل آزمایش تنگی آب برای تعیین این مسئله که مدل اتاق به منظور اطمینان از صحت شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت و تمامی فرم‌ها کاملاً بسته بودند. بدیهی است که اولین پارامتری که باید تعیین و تنظیم شود، میزان نویز پس زمینه در سالن‌های سخنرانی است. معیار نویز توصیه شده برای سیستم HVAC در سالن‌های سخنرانی، ۳۵NC تعریف شده

نزدیکترین خم به قوس قضاوت شده است (ایزدپناه، ۲۰۱۸:۴۲). اما از نظر هوراتا در بررسی چشمی، هرکسی هر خمی را دوست دارد در قوس مشاهده می‌کند (Huerta, 2007:248). برای اجتناب از این موضوع، در این پژوهش برای برازش منحنی و بیان نوع قوس‌ها از روش ماتریسی و برای بررسی میزان خطا روش حداقل مربعات^۷ توسط کارل فردریش گاوس^۸ را مورد توجه قرار دادیم. برای برازش منحنی ابتدا، در نرم افزار GrassHopper، هریک از قوس‌ها با دهانه یکسان با روش استاد کاران (استفاده از ریسمان و میخ با قوس‌های دایره ای تقریب زده شده اند) ترسیم شدند. یک نمونه از الگوریتم ترسیم شده قوس‌ها در نرم افزار گرس‌هاپر در تصویر ۸ ترسیم شده است.



تصویر ۸ یک نمونه از الگوریتم ترسیم شده قوس‌ها با روش ترسیم استاد کاران در نرم افزار گرس‌هاپر. ماخذ: نگارندگان
برای اتصالات منحنی، انتخاب مناسب نقاط بروی منحنی برای تجزیه و تحلیل ضروری است، که به گفته

۷-۲- مدل آکوستیکی

نرم افزار ادئون برای شبیه سازی در نظر گرفته شده است که این نرم‌افزار مبنایی برای محققین در حوزه عینی و ذهنی اتاق آکوستیکی و ابزاری مفید برای مشاوران می‌باشد (Naylor, 1993:142). این برنامه از یک روش ترکیبی ردیابی امواج اولیه برای تعیین توالی احتمالی بازتاب استفاده می‌کند (Naylor, 1993:142). امواج از منبع فرستاده، با منعکس شدن در اتاق دنبال می‌شوند و داده‌های تولید شده برای استفاده بعداً در تعیین بازتاب‌های دریافت شده در یک نقطه ذخیره می‌شوند (Naylor, 1993:142). ادئون نرم‌افزاری است که می‌توان برای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری آکوستیک داخلی ساختمان استفاده شود. مدل سه بعدی ارائه‌ای می‌تواند آکوستیک را تولید، تشریح و با آن شنیده شود. تقویت صدا به راحتی در پیش بینی‌های صوتی ادغام می‌شود. همه مدل‌های اتاق با استفاده از سه بعدی گرس‌هاپر ایجاد شده و سپس با نرم افزار ODEON



روی							
بتن							
دیوارها و سقف							
آجر	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۵

منبع صدا در فرم‌ها از نوع نقطه ای که صدا را در محیط پخش می کند. قدرت صدا بلندگو مورد استفاده هر مدل در جدول ۷ بیان شده است. منبع صدا در هر شکل ۱ متر از لبه دیوار فاصله دارد و از کف ۱/۸ متر ارتفاع دارد.

جدول ۷ قدرت صدا بلندگو مورد استفاده در هر آزمایش ماخذ: نگارندگان.

فرکانس (Hz)	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
شدت صدا (dB)	۶۶/۹	۷۴/۸	۷۱/۸	۶۳/۸

با توجه به بررسی پژوهش‌های متعدد در جدول پشهینه، پارامترهای معماری مورد مطالعه در این پژوهش شامل شکل قوس، میزان دهانه و ارتفاع، محور تقارن، که میزان حجم و سطح تاثیرگذارترین مولفه معماری بر مولفه‌های کیفیت آکوستیکی در فضاهای سخنرانی می باشند. همچنین در خصوص پارامترهای کیفیت آکوستیکی مختلف برای فضای سخنرانی، پارامترهای زمان واخنش (T30) به عنوان پارامتر اصلی و سایر پارامترهای مهم از جمله وضوح گفتار (C80)، شاخص انتقال گفتار (STI) مورد مطالعه قرار گرفته اند. در این پژوهش پس از بررسی میزان مقادیر هر یک از پارامترها، به بررسی همبستگی پارامترها برای هر دو گروه قوس-های کند پرداخته شده است.

۸- یافته‌های تحقیق

۸-۱- تحلیل و تطبیق داده‌ها بررسی کیفیت

آکوستیکی قوس کند و تند:

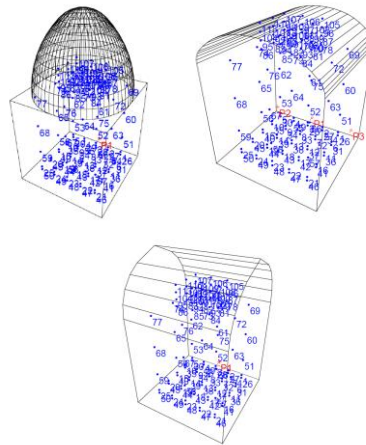
در این بخش تحلیل توصیفی مربوط به بررسی مولفه-های کیفیت صوتی بر اساس پارامترهای معماری و معادله برازش منحنی انواع قوس صورت گرفته است. در ادامه به بررسی جداگانه مهمترین متغیرهای کیفیت صوتی که شامل زمان واخنش (T30)، وضوح گفتار (C80)، شاخص انتقال گفتار (STI) در دو گروه بر اساس تندی و یا کندی عنوان سنتی قوس و تندی و کندی قوس بر اساس معادله برازش منحنی پرداخته می‌شود. از لحاظ معادله برازش منحنی گروه کند دارای X3 کمتر از 4E-16 و با X2 بیشتر از ۰,۱- و همچنین گروه تند

است (Crocker, 2007:1307). داده‌های آماری وارد شده در نرم‌افزار در جدول ۵ بیان شده است.

جدول ۵ داده‌های آماری وارد شده در نرم‌افزار. ماخذ: نگارندگان.

رطوبت محیط RH%	درجه حرارت محیط درجه سانتی گراد	تعداد امواج مورد استفاده	محل قرار گیری منبع	تعداد میکروفن
۵۰/۰۰	۲۰	۹۰۰۰۰۰	۵, ۱/۸, ۱/۷	۱۱۲

محل قرارگیری گیرنده و بلندگو در تمام مدل‌ها ثابت می‌باشد برای نمونه یک مدل مختلف قوس از سه گروه فرم در تصویر ۹ قرار گرفته است.



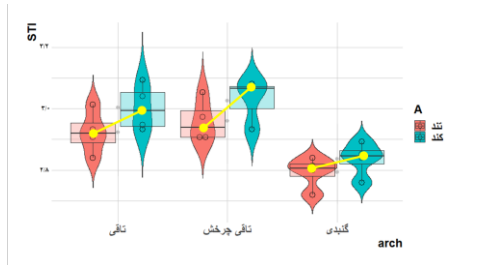
تصویر ۹ محل قرارگیری فرستنده و گیرنده یک مدل مختلف قوس از سه گروه فرم گوناگون ماخذ: نگارندگان
از اهداف انجام این شبیه سازی برای شناسایی اثربخشی فرم، نوع قوس و برازش منحنی مناسب است، که به همین علت، مصالح کاربردی اختصاص داده شده به هر مدل مشابه در سایر مدل‌های دیگر استفاده شده است. با توجه به نظر خبرگان (۵ متخصص در حوزه آکوستیک) در دیواره‌های فرم بتن به عنوان مصالح به کار گرفته شد که دلایل آن اینکه به عنوان مصالح پرکاربرد امروزی در سفت‌کاری ساختمان و ضریب جذب کمتری دارد. در جدول ۶ ضرایب جذب (α) این ضریب بیانگر میزان جذب انرژی امواج صوتی توسط مصالح را نشان می دهد که مصالح سطح اتاق ها و کف استفاده شده در نرم افزار اذتون برای شبیه‌سازی بیان شده است.

جدول ۶ ضرایب جذب (α) برای سطح اتاق‌ها ماخذ: نگارندگان.

مصالح	فرکانس مرکزی باند اکتاو (Hz)					
	H1۲۵	H۲۵۰	H۵۰۰	OH۱۰۰۰	H۲۰۰۰	H۴۰۰۰
	کف					
فرش	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۳۷	۰/۶۰	۰/۶۵
	NRCC					



میانگین فرم‌های تاقی و تاقی چرخش ۹۰ درجه از نوع قوس تند با تفاوت ۰/۱۱ و ۰/۲۱ کمتر از فرم‌های کند می‌باشند. میانه مقدار شاخص انتقال گفتار برای فرم گنبدی کند ۰/۳۱ از گروه تاقی ها و از گروه فرم‌های تاقی-های چرخیده ۰/۴۲ کمتر می‌باشد. با توجه به نمودار ۱۱ و ۱۰ نمونه‌های تاقی و تاقی چرخشی دارای میانه بیشتری نسبت به گروه تند می‌باشند اما گروه فرم گنبدی میانه گروه کند در نمودار بر اساس نوع قوس که در آن به بررسی هر قوس بر اساس کندی و تندی ترسیمی در معماری سنتی، بیشتر است. در نمودار تصویر ۱۱ پخش شدگی نمونه‌های کند و تند تقریباً یکسان هستند و در قسمت میانه دارای تمرکز بیشتری می‌باشند.



تصویر ۱۱ نمودار بررسی شاخص انتقال گفتار با فرکانس ۵۰۰ قوس‌های کند و تند بر اساس کندی و تندی ترسیمی در معماری سنتی ماخذ: نگارندگان

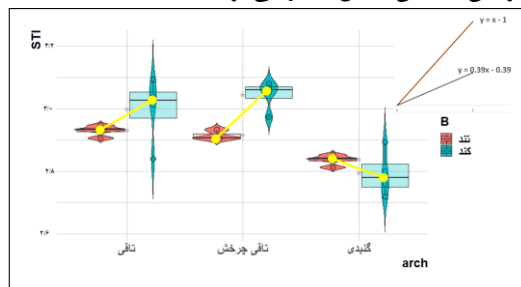
۱-۸-۲- بررسی زمان واخنش در قوس‌های کند و تند

در ادامه به بررسی تأثیر کندی و تندی قوس‌ها در مولفه زمان واخنش که یک پارامتر اساسی برای اندازه‌گیری عینی ویژگی‌های صوتی در یک فضا می‌باشد. این زمان به عنوان زمان کاهش انرژی صوتی تا ۶۰ دسی بل پس از خاموش شدن منبع صدا تعریف می‌شود. با توجه به تصویر ۳ مقدار زمان واخنش برای فضای سخنرانی ۱/۲ است. در تصویر ۱۱ نمودار ویلیون توزیع مقدارهای زمان واخنش قوس‌های شبیه سازی شده بر اساس کندی و تندی از لحاظ معادله برآزش قوس بیان شده است. که در هر سه نوع فرم قوس‌های کند به ترتیب گنبدی، تاقی چرخشی و تاقی با امتیاز میانه ۳/۴ و ۳/۲۵ دارای میانه بیشتری نسبت به گروه تند دارند. گروه کند دارای کشیدگی بیشتری دارند اما گروه تند دارای امتیازهای متمرکز هستند و تمامی نمونه‌ها در نزدیک هم تجمع دارند.

دارای X3 بیشتر از 4E-16 و با X2 کمتر از ۰/۱- را دارند. با بررسی نتایج حاصل از نرم افزار ادئون قوس شبدری کند دارای کمترین میزان زمان واخنش، بیشترین شاخص انتقال گفتار را دارد.

۱-۸-۱- بررسی شاخص انتقال گفتار در قوس‌های کند و تند

ابتدا شاخص انتقال گفتار که یک معیار عینی و فیزیکی برای کیفیت انتقال گفتار است، بررسی می‌شود. مقدارهای شاخص انتقال گفتار قوس‌های شبیه سازی شده بر اساس کندی و تندی از لحاظ معادله برآزش قوس بیان شده است. نمودار ویلونی تصویر ۱۰ توزیع گروه فرم‌های تاقی و تاقی چرخش ۹۰ درجه کند دارای میانه بالاتر عدد از ۳ و میانه فرم‌های تاقی و تاقی چرخش ۹۰ درجه از قوس تند با تفاوت ۰/۱ و ۰/۱۶ کمتر از فرم‌های کند می‌باشند. گروه تاقی کند با امتیاز میانه ۲/۷ و تند با امتیاز ۲/۸۴ فاقد نمونه مطلوب بالاتر از ۳ می‌باشند. در فرم‌های گنبدی نمونه‌ها در مقایسه با سایر نمونه‌ها متمرکزتر هستند در صورتی که توزیع نمونه‌های تاقی، در فرم تاقی بین ۲/۷۱ و ۳/۲۱ می‌باشد. با افزایش ارتفاع و حجم میزان شاخص انتقال گفتار کاهش پیدا کرده با توجه به اینکه تمامی مدل‌ها دارای دهانه یکسان می‌باشند، بیانگر این است که کاهش شیب قوس‌ها (ضریب X^3) یا همان قوس‌های کند (تصویر ۱۰ کمتر از معادله خط مشکی) در سالن‌های سخنرانی موجب افزایش شاخص انتقال گفتار می‌گردد.

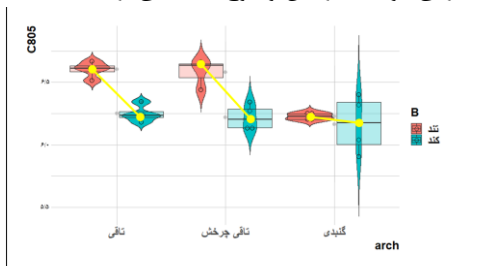


تصویر ۱۰ نمودار ویلیون بررسی شاخص انتقال گفتار با فرکانس ۵۰۰ انواع قوس با مولفه کندی و تندی بر اساس معادله برآزش منحنی ماخذ نگارندگان

تصویر ۱۰ نمودار توزیع میزان شاخص انتقال گفتار بر اساس کندی و تندی ترسیمی در معماری سنتی است. گروه فرم‌های تاقی و تاقی چرخش ۹۰ درجه در نوع قوس تاقی‌های کند دارای میانگین بالاتر عدد از ۳ و

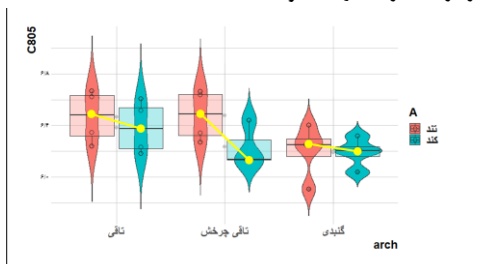


اساس معادله برازش منحنی نشان داده شده است. با توجه به این نمودار نتایج مربوط به وضوح گفتار، گروه تند دارای میانه و توزیع با امتیاز بیشتری نسبت به گروه تند می‌باشد که به ترتیب بیشترین امتیاز میانه‌های گروه تند برای فرم‌های تاقی چرخش ۶/۶۵ تا قی ۶/۶ و در آخر گنبدی ۶/۲۵ با اختلاف ۳/۳۵، ۳/۳ از ۰/۱ از گروه کند دارند. افزایش حجم و ارتفاع موجب افزایش میزان وضوح گفتار شده است. با توجه به اینکه تمامی مدل‌ها دارای دهانه یکسان می‌باشند، که بیانگر این است با کاهش شیب قوس‌ها (ضریب X^3) یا همان قوس‌های کند (تصویر ۱۰ کمتر از معادله خط مشکی) در سالن‌های سخنرانی موجب افزایش وضوح گفتار می‌گردد.

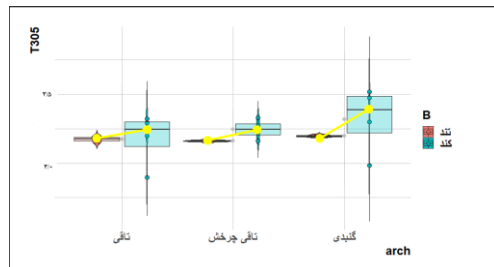


تصویر ۱۴ نمودار ویلیون وضوح گفتار با فرکانس ۵۰۰ از مولفه کندی و تندی قوس‌ها بر اساس معادله برازش منحنی ماخذ نگارندگان

در تصویر ۱۵ نمودار توزیع میزان وضوح گفتار قوس‌های شبیه‌سازی شده بر اساس کندی و تندی ترسیمی در معماری سنتی بیان شده است. که در هر سه نوع فرم قوس‌های تند به ترتیب تاقی چرخشی ۶/۵ تا قی ۶/۵ گنبدی ۶/۲۵ با اختلاف امتیاز میانه ۴، ۲/۵ و ۱/۵ دارای میانه بیشتری نسبت به گروه کند دارند. گروه قوس تاقی دارای کشیدگی برابر می‌باشد اما در فرم‌های تاقی چرخشی کند و هردو گروه گنبدی امتیاز نمونه‌ها دارای تمرکز بیشتری در محدوده میانه است.

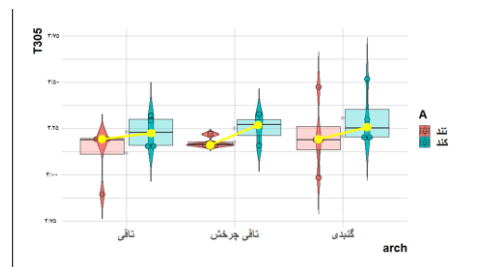


تصویر ۱۵ نمودار بررسی وضوح گفتار با فرکانس ۵۰۰ انواع قوس بر



تصویر ۱۲ نمودار ویلیون مولفه زمان واخنش با فرکانس ۵۰۰ با مولفه کندی و تندی قوس‌ها بر اساس معادله برازش منحنی ماخذ نگارندگان

تصویر ۱۳ نمودار ویلیون بیانگر توزیع مقدار زمان واخنش قوس‌های شبیه‌سازی شده بر اساس کندی و تندی ترسیمی در معماری سنتی بیان شده است. که در هر سه نوع فرم قوس‌های کند به ترتیب تاقی چرخشی، گنبدی و تاقی با امتیاز میانه ۳/۳، ۳/۲۵ و ۳/۲ دارای میانه بیشتری نسبت به گروه تند دارند. دو گروه قوس دارای کشیدگی برابری می‌باشد اما در فرم‌های تاقی چرخشی امتیاز نمونه‌ها دارای تمرکز در محدوده میانه است.



تصویر ۱۳ نمودار بررسی زمان واخنش با فرکانس ۵۰۰ انواع قوس بر اساس مولفه کندی و تندی قوس‌ها ترسیمی در معماری سنتی ماخذ: نگارندگان

۱-۸-۳- بررسی وضوح گفتار در قوس‌های کند و تند

در ادامه به بررسی تاثیر کندی و تندی قوس‌ها در مولفه شفافیت صدا و یا وضوح گفتار پرداخته شده است. وضوح گفتار از نظر فنی عبارت است از نسبت انرژی اولیه صوتی (وارد شده در فاصله ۸۰ میلی ثانیه از صدای مستقیم) به انرژی صوتی دیر هنگام یا طنین انداز (رسیدن به بیش از ۸۰ میلی ثانیه پس از صدای مستقیم). شاخص وضوح گفتار با توجه به نمودار ۷ باید بین ۵- تا ۵+ قرار بگیرد. در نمودار تصویر ۱۴ ویلیون توزیع وضوح گفتار به تفکیک کندی و تندی قوس‌ها بر



اساس مولفه کندی و تندی قوس‌ها ترسیمی در معماری سنتی
ماخذ: نگارندگان

نمودارهای ویلیون مولفه‌های شاخص انتقال گفتار، زمان واخنش و وضوح گفتار برای فضاهای گنبدی، تاقی و تاقی چرخشی با قوس‌های انتخابی نشان داد که قوس‌های کند که دارای شیب قوس (ضریب $X3$ کمتر)، مساحت، حجم و زمان واخنش کمتر و شاخص انتقال گفتار بیشتری دارند. فرم‌های تاقی چرخشی عملکرد بهتری نسبت به فرم تاقی بدون چرخش دارد که بیانگر این است که در فرم‌های تاقی بهتر است محل سخنران در فرم مطابق با فرم چرخش 90° درجه‌ای قرار گیرد.

۸-۲- رابطه بین مولفه‌های آکوستیک و مولفه‌های معماری

برای آزمون رابطه بین متغیرهای ناپارامتریک آکوستیک و معماری از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. ابتدا برای مقایسه پذیر بودن مولفه‌ها با تنوع مقادیر مولفه‌ها برای قابل درک نمودن رابطه آنها با همدیگر اعداد در بازه بین $0-100$ نرمال شده‌اند. تصویر ۱۵ نمودار همبستگی کیفیت صوتی برای مولفه‌های زمان واخنش، وضوح گفتار با فرکانس 500 و شاخص انتقال گفتار با مولفه‌های معماری از طریق آزمون همبستگی اسپیرمن نشان داده شده است.

همبستگی قوس تند

	ارتفاع	دهانه	سطح	حجم
وضوح گفتار	۰.۴۳۵۷۹۹۲	۰.۴۳۵۷۹۹۲	۰.۹۰۱۶۲۳۱	۰.۹۰۱۶۲۳۱
زمان واخنش	۰.۱۱۲۴۶۴۳	۰.۱۱۲۴۶۴۳	۰.۴۴۳۹۴۶	۰.۴۴۳۹۴۶
شاخص انتقال گفتار	۰.۲۴۷۰۶۵	۰.۲۴۷۰۶۵	۰.۵۱۷۴۱۳۹	۰.۵۱۷۴۱۳۹

همبستگی قوس کند

	ارتفاع	دهانه	سطح	حجم
وضوح گفتار	۰.۳۳۳۸۷۵۱	۰.۳۳۳۸۷۵۱	۰.۳۴۵۰۷۹	۰.۳۴۵۰۷۹
زمان واخنش	۰.۶۲۶۱۵۹	۰.۶۲۶۱۵۹	۰.۶۰۹۱۷	۰.۶۰۹۱۷
شاخص انتقال گفتار	۰.۲۸۰۶۹۲	۰.۲۸۰۶۹۲	۰.۴۵۴۲۳۶۶	۰.۴۵۴۲۳۶۶

تصویر ۱۶ نمودار بررسی رابطه همبستگی اسپیرمن مولفه‌های آکوستیکی با مولفه‌های معماری منبع نگارندگان

نمودار تصویر ۱۶ بالاترین میزان همبستگی میان مولفه وضوح گفتار و مولفه‌های سطح و حجم در قوس تند با امتیاز $90/9$ رابطه مستقیم میان آنها را نمایانگر می‌کند. میزان همبستگی ارتفاع و دهانه با وضوح گفتار در قوس تند $43/0$ و در قوس کند $33/0$ است. با توجه به نمودارهای تصاویر ۱۴ و ۱۵ میزان وضوح گفتار گروه قوس کند

پایین تر از گروه قوس تند است. همچنین میزان همبستگی مولفه‌های سطح و حجم با وضوح گفتار به میزان $34/0$ و همبستگی ارتفاع و دهانه با وضوح گفتار به میزان $1/0$ در قوس کند کاهش پیدا کرده است. بدین معنا بین وضوح گفتار و مقدار سطح، حجم، ارتفاع و دهانه، همبستگی مثبت وجود دارد. همچنین با توجه به نمودار ۱۲ و ۱۳ مولفه زمان واخنش قوس کند دارای امتیاز بیشتری نسبت به قوس تند می‌باشد. همچنین همبستگی مولفه سطح و حجم با زمان واخنش گروه قوس کند $6/0$ با اختلاف مقدار $16/0$ بیشتر از گروه تند است. ضمن اینکه همبستگی این مولفه با ارتفاع و دهانه در گروه کند $6/0$ و در گروه تند $1/0$ می‌باشد. با کاهش ارتفاع و دهانه میزان کیفیت زمان واخنش نیز افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه با کاهش حجم، سطح، ارتفاع و ارتفاع به دهانه فرم‌ها، میزان این مولفه افزایش پیدا کرده است. میزان همبستگی شاخص انتقال گفتار با مولفه‌های سطح و حجم با توجه به نمودار ۱۰ و ۱۱ در گروه کند دارای مقدار بالاتری نسبت به گروه تند می‌باشد. همچنین در نمودار همبستگی ۱۶ برای گروه قوس‌های کند مقدار همبستگی با اختلاف $6/0$ کمتر از گروه قوس‌های تند می‌باشد بدین معنا که با افزایش میزان مساحت و حجم مقدار ضریب همبستگی کاهش پیدا کرده است در نتیجه حجم و مساحت رابطه معکوس با شاخص انتقال گفتار دارند.

۹- نتیجه تحقیق

بهبود کیفیت آکوستیکی در فضای سخنرانی یکی از مهمترین اهداف طراحی معماری این فضا می‌باشد. سقف بنا یکی از مهمترین عواملی است که نقش موثری در کیفیت آکوستیکی دارد. سقف‌های منحنی با وجود پیشینه کاربرد و برتری کیفیت حرارتی به عنوان نمونه‌های خوبی برای بررسی و ارتقا کیفیت آکوستیکی فضای سخنرانی باشند. کیفیت آکوستیکی دارای عواملی همچون زمان واخنش ($30T$)، وضوح گفتار ($80C$)، شاخص انتقال گفتار (STI)، می‌باشند و تحت تاثیر عوامل معماری همچون حجم، مساحت، ارتفاع و ارتفاع به دهانه و به لحاظ برازش منحنی آن فرم سقف قرار می‌گیرند. در پژوهش حاضر، کیفیت آکوستیکی در میان دو گروه فرم قوس‌های کند و تند پر کاربرد ایرانی، گروه قوس



<https://doi.org/10.22108/msci.2018.24929.1130>

- پور، ص.، هادی، & پورمند. (۲۰۱۲). معنای پوشش در معماری عصر صفوی. نشریه هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، ۱۷(۱)، ۳۹-۴۸. [10.22059/JFAUP.2012.29695](https://doi.org/10.22059/JFAUP.2012.29695)
- پیرنیا، م. (۱۹۹۴). چفدها و طاقها- چفدها، ۱۵(۲۴)، ۴۵-۵.

<http://journal.richt.ir/athar/article--1357-fa.html>،

- رضازاده اردبیلی، م.، سیدی ساروی، م. و طاهری امیری، س. (۱۳۹۷). مطالعه ی تطبیقی پلان و گنبد جمعه مسجد اردبیل با پلان ها و گنبدهای مشابه به جهت بررسی ترسیم صحیح منحنی گنبد. معماری و شهرسازی (هنرهای زیبا)، ۲۳(۳).

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=483901>

- مجیدی. (۲۰۲۰). تاثیر توزیع نرمال و روش کمترین حداقل مربعات در تئوری خطاها. نشریه عمران و پژوه. ۲(۳)، ۵۹-۶۹ http://www.cpjournals.com/issue_14412_15113.html

- نیما ولی بیگ، ف. م. ز. س.، فرهاد تهرانی. (۲۰۱۲). ویژگی های 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.

<https://iranjournals.nlai.ir/bitstream/handle/123456789/521365/108858B53580C252593A071D00EBB8F.pdf?sequence=-1>

- Arlinghaus, S. (1994). Practical handbook of curve fitting. CRC press. [https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=nuxxw4AeY UC&oi=fnd&pg=PA1&dq=%EF%82%A7%09Arlinghaus,+S.+\(1994\).+Practical+handbook+of+curve+fitting.+CRC+press.&ots=tc-oKYJrlz&sig=mMKWCh2JPvV0Z3o9bNrCNYXI3Bw](https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=nuxxw4AeY UC&oi=fnd&pg=PA1&dq=%EF%82%A7%09Arlinghaus,+S.+(1994).+Practical+handbook+of+curve+fitting.+CRC+press.&ots=tc-oKYJrlz&sig=mMKWCh2JPvV0Z3o9bNrCNYXI3Bw)

های کند عملکرد بهتری نسبت به قوس‌های تند در مولفه‌های زمان واخنش و شاخص انتقال گفتار دارند که این نتیجه مطابق با پژوهش‌های انجام شده توسط کاظمی و بالماز می‌باشد. این نتیجه به دلیل کاهش ارتفاع، مساحت، حجم در قوس‌های کند و تند نامیده شده در معماری سنتی و همچنین از لحاظ برآزش منحنی به دلیل داشتن کمترین مقدار ضریب ۳X، ۱X و بیشترین مقدار ۲X می‌باشد. با بررسی مهمترین مولفه های کیفیت صوتی که شامل زمان واخنش (۳۰T)، وضوح گفتار (۸۰C) و شاخص انتقال گفتار (STI) در دو گروه بر اساس کندی و تندی قوس بر اساس تعاریف معماری سنتی و همچنین تندی و کندی قوس بر اساس معادله برآزش منحنی، قوس‌های کند دارای میانه بیشتری و بهتری نسبت به قوس‌های کند داشتند. با توجه به نمودار همبستگی، با کاهش مولفه‌های مساحت و حجم موجب کاهش زمان واخنش، افزایش میزان این مولفه می‌گردد. و نکته دیگر اینکه با افزایش مساحت و حجم موجب افزایش میزان مولفه وضوح گفتار (۸۰C) می‌شود که مطابق با نتایج پژوهش الداوکی و الخاتب کاهش حجم موجب افزایش شاخص انتقال گفتار (STI) می‌گردد. که بهتر است برای فضاهای سخنرانی از قوس های کند که دارای شیب قوس کمتر و ارتفاع کمتر است بکار گرفته شود.

۱۰- تشکر و قدردانی

موردی از طرف نویسندگان مطرح نشده است

۱۱- پی‌نوشت‌ها

- ۱- Speech Transmission Index
- ۲- Reverberation Times
- ۳- The clarity
- ۴- Frequencie
- ۵- Echo
- ۶- Kjær
- ۷- Brüel
- ۸- Least squares method
- ۹- Carl Friedrich Gauss

۱۲- منابع فارسی و لاتین

- ایزدپناه، فرزین. (۲۰۱۸). کاربرد برآزش خم و روش حداقل مربعات برای بررسی هندسه قوس‌های ایرانی. نشریه ریاضی و جامعه، ۳(۱)، ۴۱-۵۳.



[=PR15&dq=+Handbook+of+noise+and+vibration+control.&ots=O_evNqTdnZ&sig=d3lbsuM437Yn5LpkWDwgrMk93rQ](https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.11.002)

▪ Eldakdoky, S., & Elkhateeb, A. (۲۰۱۷). Acoustic improvement on two lecture auditoria: Simulation and experiment. *Frontiers of Architectural Research*, ۶(۱), ۱۶-۱. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.11.002>

▪ Elkhateeb, A., Adas, A., Attia, M., & Balila, Y. (۲۰۱۶). Absorption characteristics of masjid carpets. *Applied acoustics*, ۱۰۵, ۱۵۵-۱۴۳. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.005>

▪ Elkhateeb, A. A. (2012). Domes in the Islamic architecture of Cairo city: a mathematical approach. In *Architecture, Systems Research and Computational Sciences* (pp. 151-176). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-0348-0393-9_12

▪ Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (۲۰۱۵). *Master handbook of acoustics*. McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/binary/mheaeworks/11c15ef6653b2d5e/b8cdeee3f6223c5f801d1444574b5ccc1ad8df8489c8082c3285b84b152a8295/book-summary.pdf>

▪ Foteinou, A., & Murphy, D. T. (۲۰۱۲). The control of early decay time on auralization results based on geometric acoustic modelling. *Baltic Nordic Acoustics Meeting (BNAM ۲۰۱۲)*, <https://eprints.whiterose.ac.uk/75128/>

▪ GOŁAŚ, A., & SUDER-DĘBSKA, K. (۲۰۰۹). Analysis of Dome Home Hall theatre acoustic field. *Archives of Acoustics*, ۳۴(۳), ۲۷۳-۲۹۳. <http://acousticsnew.ippt.pan.pl/index.php/aa/article/viewFile/579/510>

▪ Ballou, G. (2013). *Handbook for sound engineers*. Taylor & Francis. 215.

https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=S4nBNZ_EJwwC&oi=fnd&pg=PR1&dq=Handbook+for+sound+engineers&ots=eNQJ4wcZzF&sig=UAlJhEpH43NOliFB1MGc_Q3JMQs

▪ Barnett, P., & Acoustics, A. (۱۹۹۹). Overview of speech intelligibility. *Proceedings-Institute of Acoustics*, ۲۱(۵), ۱۶-۱.

▪ Barron, M. (۲۰۰۹). *Auditorium acoustics and architectural design*. Routledge. 317. <https://doi.org/10.4324/9780203874226>

▪ Beranek, L. (۲۰۱۱). Concert hall acoustics. *Architectural Science Review*, ۵۴(۱), ۱۴-۵. <https://doi.org/10.3763/asre.2010.0059>

▪ Bork, I. (۲۰۰۰). A comparison of room simulation software-the ۲nd round robin on room acoustical computer simulation. *Acta Acustica united with Acustica*, ۸۶(۶), ۹۵۶-۹۴۳. <https://www.ingentaconnect.com/content/dav/aa/2000/00000086/000006/art00008>

▪ Brüel, & Kjær. (۲۰۱۱). Case study: University of Windsor, Canada -Validation of Lecture Hall Acoustics Through Experimental and Computer Analysis.

▪ Cairoli, M. (۲۰۱۸). Architectural customized design for variable acoustics in a multipurpose auditorium. *Applied acoustics*, ۱۴۰, ۱۷۷-۱۶۷. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.05.026>

▪ Crocker, M. J. (۲۰۰۷). *Handbook of noise and vibration control*. John Wiley & Sons. 1307 <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=46NvrvpHlxEc&oi=fnd&pg>

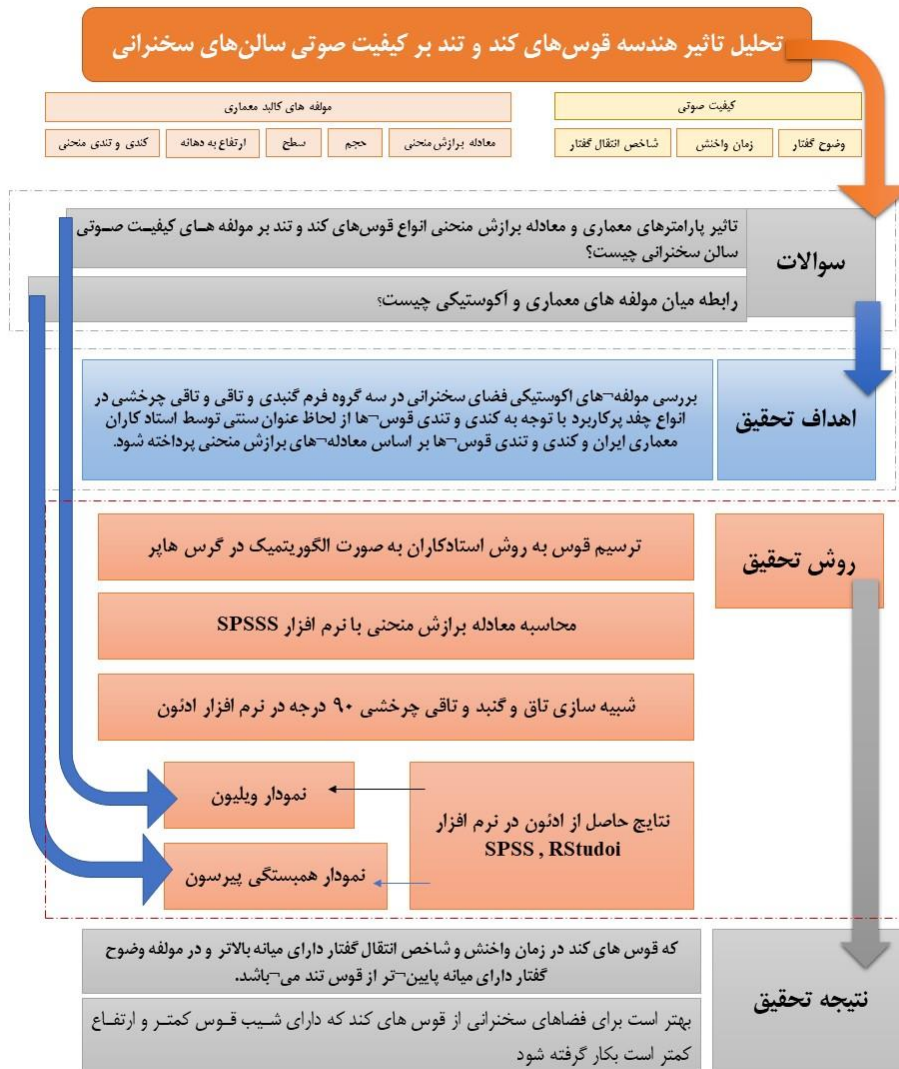


- Siltanen, S., Lokki, T., Tervo, S., & Savioja, L. (۲۰۱۲). Modeling incoherent reflections from rough room surfaces with image sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, ۱۳۱(۶), ۴۶۱۴-۴۶۰۶. <https://doi.org/10.1121/1.4711013>
- Silver, N. (2012). *The signal and the noise: Why so many predictions fail-but some don't*. Penguin. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3182a17d02>
- Sü, Z., & Yilmazer, S. (۲۰۰۸). The acoustical characteristics of the Kocatepe Mosque in Ankara, Turkey. *Architectural Science Review*, ۵۱(۱), ۳۰-۲۱. <https://doi.org/10.3763/asre.2008.5104>
- Svensson, P., & Kristiansen, U. R. (۲۰۰۲). Computational modelling and simulation of acoutic spaces. *Audio Engineering Society Conference: ۲۲nd International Conference: Virtual, Synthetic, and Entertainment Audio*. <https://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=11119>
- Xiao, J., & Aletta, F. (۲۰۱۶). A soundscape approach to exploring design strategies for acoustic comfort in modern public libraries: A case study of the Library of Birmingham. *Noise Mapping*, ۳(۱) <https://doi.org/10.1515/noise-2016-0018>.
- Yeh, C.-Y., & Tsay, Y.-S. (۲۰۲۱). Using Machine Learning to Predict Indoor Acoustic Indicators of Multi-Functional Activity Centers. *Applied Sciences*, ۱۱(۱۲), ۵۶۴۱ <https://doi.org/10.3390/app11125641>
- Zhao, S., Qiu, X., Cheng, E., Burnett, I., Williams, N., Burry, J., & Burry, M. (۲۰۱۵). Sound quality inside small meeting rooms with different room shape and fine structures. *Applied acoustics*, ۹۳, ۷۴-۶۵
- buildings. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, ۶۲(۱), ۱۷۹-۱۷۳. <https://doi.org/10.3311/PPci.10132>
- Othman, A. R., & Mohamed, M. R. (۲۰۱۲). Influence of Proportion towards Speech Intelligibility in mosque's praying hall. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, ۳۵, ۳۲۹-۳۲۱. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.02.094>
- Peters, B. (۲۰۱۰). Acoustic performance as a design driver: sound simulation and parametric modeling using Smartgeometry. *International Journal of Architectural Computing*, ۸(۳), ۳۵۸-۳۳۷ <https://doi.org/10.1260/1478-0771.8.3.337>
- Robinson, P. W., Siltanen, S., Lokki, T., & Savioja, L. (۲۰۱۴). Concert hall geometry optimization with parametric modeling tools and wave-based acoustic simulations. *Building Acoustics*, ۲۱(۱), ۶۳-۵۵. <https://doi.org/10.1260/1351-010X.21.1.55>
- Savale, P. (۲۰۱۴). Effect of noise pollution on human being: Its prevention and control. *J. Environ. Res. Develop*, ۸(۴), ۱۰۳۶-۱۰۲۶.
- Savioja, L. (۲۰۱۰). Real-time ۳D finite-difference time-domain simulation of low-and mid-frequency room acoustics. *۱۳th Int. Conf on Digital Audio Effects*, http://www.dafx.de/paper-archive/2010/DAFx10/Savioja_DAFx10_P43.pdf
- Savioja, L., Manocha, D., & Lin, M. (۲۰۱۰). Use of GPUs in room acoustic modeling and auralization. *Proc. Int. Symposium on Room Acoustics*, <https://acoustics.asn.au/conference-proceedings/ICA2010/cdrom-ISRA2010/Papers/O5e.pdf>



<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.01.020>

۱۳- چکیده تصویری



دوفصلنامه اندیشه معماری، نشریه علمی، سال هفتم، شماره سیزدهم
بهار و تابستان ۱۴۰۲

