



## Architectural Design Principles in the Acoustic Performance of Studios

Roghayeh Mirzababaloo<sup>1\*</sup>, Houtan Iravani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD Student, Department of Architecture, Isfahan (Ardestan) Branch, Islamic Azad University, Ardestan, Iran.

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Architecture, Isfahan (Ardestan) Branch, Islamic Azad University, Ardestan, Iran.

### ARTICLE INFO

**Received:** 02.27.2021

**Revised:** 07.26.2021

**Accepted:** 09.06.2021

**Keyword:**

Architecture

Acoustics

Studio

Reverberation time

**\*Corresponding Author:**

Roghayeh Mirzababaloo

**Email:**

[mirzababaloo@yahoo.com](mailto:mirzababaloo@yahoo.com)

### ABSTRACT

In contemporary architecture, sound comfort is a key concept and issues such as noise pollution, sound clarity and suitable sound distribution have a special place in architectural spaces. Therefore, sound clarity and suitable sound distribution in studios are the themes considered in the present study. In studio space, appropriate reverberation time is of great importance in creating sound clarity. All architectural elements in a studio play an effective role in achieving optimal reverberation time. With the aim of recognizing acoustic properties of substances, materials and physical form, installations, insulation, and location in architectural space, three studios of Jam-e Jam radio were investigated as case studies. This study is a mixed research conducted by means of qualitative analysis method. By using logical argumentation and performing simulation in AutoCAD and ODEON softwares, indicators affecting optimal reverberation time were calculated. The available reverberation time was measured using the 2260 investigator device, and calculated with Sabine's Damping Equation. Then, the obtained values were compared with Odeon's tables. The results showed the reverberation time of 0.29-0.3 seconds at a medium frequency of 500 Hz for Studio No.2. This value was close to the standard one, showing the validity of using a suitable geometric form, high absorption materials, and the lack of vibration of mechanical and electrical equipment to achieve optimal reverberation time without secondary acoustic interferences.





## ملاحظات اولیه طراحی معماری در عملکرد آکوستیک استودیوها

رقیه میرزابابالو<sup>۱\*</sup>، هوتن ابروانی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری تخصصی معماری، گروه معماری، واحد اردستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اردستان، ایران.

۲- استادیار، گروه معماری، واحد اردستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اردستان، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

امروزه در معماری، تأمین آسایش صوتی مطرح می‌باشد و توجه به مشکلاتی چون آلودگی‌های صوتی در محیط‌زیست و وضوح صدا و توزیع مناسب صدا در فضاهای معماری جایگاه ویژه‌ای دارد. درجه اهمیت و ضرورت پرداختن به آسایش صوتی در فضای استودیوها دوچندان می‌باشد. در این بین عناصر معماری موجود در راستای دستیابی به زمان واخشن بهینه، تأثیرگذار می‌باشد. با در نظر گرفتن شناخت ویژگی‌های آکوستیکی مواد، مصالح و فرم کالبدی، تأسیسات، عایق‌بندی و جانمایی در فضای معماری، کیفیت آکوستیکی، سه نمونه موردی استودیوهای رادیویی جام‌جم بررسی گردید. این پژوهش به صورت ترکیبی و روش تحلیل کمی با شبیه‌سازی در نرم‌افزار اودئون و به روش استدلال منطقی، شاخص‌های مؤثر در زمان واخشن بهینه محاسبه شده است. با استفاده از دستگاه 2260 investigator زمان واخشن موجود اندازه‌گیری شده و از طریق فرمول و رابطه میرایی سابقین محاسبه و مقادیر به‌دست‌آمده با جداول خروجی نرم‌افزار اودئون مقایسه شده است. در استودیو شماره ۲ زمان واخشن ۰.۳-۰.۲۹ ثانیه در فرکانس میانی ۵۰۰ هرتز نزدیک به استاندارد می‌باشد که نشان از راستی‌آزمایی استفاده از فرم هندسی مناسب، مصالح با جذب بالا و نبود ارتعاشات تجهیزات مکانیکی و الکتریکی در دستیابی به زمان واخشن بهینه بدون مداخلات ثانویه آکوستیکی می‌باشد.

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹

بازنگری مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۵

### کلید واژگان:

معماری

آکوستیک

استودیو

زمان واخشن بهینه

\*نویسنده مسئول: رقیه میرزابابالو

پست الکترونیکی:

[mirzababalo@yahoo.com](mailto:mirzababalo@yahoo.com)



## مقدمه

آکوستیک یکی از شاخه‌های علم فیزیک است که ژوزف ساوار در سال ۱۶۹۴ پایه‌گذاری کرده است. هدف اصلی آکوستیک از بین بردن صداهای زائد و مزاحم (نوفه) در سالن‌ها و ساختمان‌ها و ایزوله‌سازی صوتی برای ضبط و پخش در استودیوها می‌باشد [۱]. در تعاریف آکوستیک به میزان ماندگاری صدا پس از خروج از منبع صدا را واخنش<sup>۱</sup> گویند. واخنش بیش از اندازه، باعث تداخل عبارت‌ها و هجاها و کاهش وضوح گفتار می‌شود، از جمله موارد مهم در اندازه‌گیری آکوستیک یک محیط، زمان واخنش ( $RT^2$ ) است [۲]. فرایند تجاری‌سازی تحقیقات کمک می‌کند دانش تولیدشده در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی به محصولات قابل عرضه در بازار یا فرایندهای صنعتی تبدیل شود، بررسی عوامل زمینه‌ای مؤثر بر تجاری‌سازی دستاوردهای پژوهشی معماری و آکوستیک نیز در همین بازه قرار می‌گیرد [۳]. همچنین بین هوش چندگانه کاربران و میزان عملکرد فردی آن‌ها رابطه مثبت و معناداری وجود دارد که شرایط محیطی یکی از عوامل مؤثر می‌باشد [۴]. مسئله کاهش زمان واخنش یک محیط بسته، به‌ویژه استودیو لازمه این پژوهش است. اهمیت و ضرورت وضوح صدا در استودیوی ضبط و پخش رادیویی، ضرورت ایجاد زمان واخنش کمتری نسبت به سالن اجلاس و اتاق موسیقی با اندازه و حجم یکسان را ملزم می‌کند. در معماری و ساخت محیط‌های آکوستیک، جانمایی فضا، طراحی فرم و حجم آن، انتخاب مصالح با ضریب جذب بالا، تأسیسات و عایق‌بندی درزها حائز اهمیت است که در میزان زمان واخنش بهینه استودیو تأثیر به‌سزایی دارد. با داشتن زیرساخت مناسب و رعایت شاخص‌های معماری می‌توان به زمان واخنش بهینه دست پیدا کرد [۵]. در این مقاله به‌صورت ترکیبی با روش تحقیق کیفی و همانندسازی فرم معماری و محاسبه تئوری و اندازه‌گیری تجربی با دستگاه 2260 investigator زمان واخنش سه استودیوی موجود در جام‌جم مقایسه شده است.

## پیشینه تحقیق

کارل ایرینگ در سال ۱۹۳۰ شروع به پژوهش و دستیابی به اختراعی با هدف اندازه‌گیری زمان واخنش در اتاق‌های مشترک کرد. هدف از این اختراع، بهبود آکوستیک استودیوهای صدا است. یکی از ویژگی‌های این اختراع، تهیه استودیوی صوتی با یک سرعت پوسیدگی صدای باقیمانده است؛ یعنی یک زمان واخنش واحد. یکی دیگر از ویژگی‌های این اختراع، تهیه دستگاه پخش صوتی انتخابی است که بتواند امواج صوتی را در دامنه بالاتر فرکانس‌ها پخش کند بدون اینکه تأثیر قابل توجهی در محدوده پایین داشته باشد. استودیوی آکوستیک با زمان واخنش متغیر در تاریخ ۳۰ آوریل ۱۹۴۸ و حق ثبت اختراع آن را جورج ک. گراهام در ۲۰ فوریه ۱۹۵۱ ایجاد کرد. پژوهش وی به این معنی است که زمان طنین در همه یا مناطق انتخاب شده در استودیو تغییر کند. این روش برای دستیابی به زمان واخنش مطلوب با استفاده از درمان جاذب صوتی اعمال شده بر سطح داخلی استودیو انجام شده است. عوامل مختلف، دوره واخنش استودیو را جبران می‌کند تا مطلوب‌ترین یا مطلوب‌ترین ویژگی زمان طنین‌انداز را برای هر برنامه موردنیاز ارائه دهد [۶]. همچنین پژوهش‌های علمی دیگری در خصوص شبیه‌سازی فرم استودیوها و تأثیرات آن در زمان واخنش بهینه وجود دارد که در منابع به آن اشاره شده است [۶؛ ۷].

<sup>1</sup> Reverberation

<sup>2</sup> Reverberation time

## روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش که به صورت ترکیبی با روش تحقیق کمی و رویکرد تحلیلی داده‌ها برای ایجاد کیفیت صدا در استودیوها گردآوری شده است، از طریق نرم‌افزار اودئون فرم معماری و حجم داخلی ۳ استودیو رادیویی جام‌جم (از استودیوهایی که عملکرد بهینه داشته‌اند) شبیه‌سازی گردید و زوایای داخلی استخراج شد. سرانجام به روش استدلال منطقی عناصر معماری و شاخص‌های آکوستیکی مؤثر در زمان واخنش بهینه به سه طریق روش اول تجربی با استفاده از دستگاه 2260 investigator اندازه‌گیری شده است و روش دوم تئوری و از طریق فرمول و رابطه میرایی سابقین محاسبه و روش سوم مقادیر به‌دست‌آمده شبیه‌سازی در نرم‌افزار اودئون مقایسه شد [۸].

## تعاریف و مبانی نظری

متغیرهای مؤثر در وضوح گفتار برای سنجش آکوستیک استودیوها و رسیدن به زمان واخنش بهینه با تعریف عوامل آکوستیکی و عوامل معماری:

## عوامل آکوستیکی مؤثر

شاخص انتقال گفتار/س تی آی<sup>۱</sup> به‌طور گسترده برای توصیف قابلیت فهم گفتار در فضاهای بسته به‌کار می‌رود که می‌تواند بر قابلیت فهم گفتار شنونده تأثیرگذار باشد. تراز فشار صدا/اس پی ال<sup>۲</sup> مقدار انرژی است که در واحد زمان در فاصله معینی از منبع بر حسب دسی‌بل توسط گیرنده دریافت می‌شود. شفافیت<sup>۳</sup> انرژی صدای بازتاب‌های اولیه را با بازتاب‌های بعدی مقایسه می‌کند و به ترتیب در ۳۰، ۵۰ و ۸۰ میلی‌ثانیه است. صدای مستقیم، صدایی است که گیرنده یا شنونده، مستقیماً از منبع دریافت می‌کند. در این پژوهش بلندگوی چندوجهی، منبع صدا می‌باشد. آلکونز<sup>۴</sup> استاندارد آزمون وضوح گفتار که برحسب درصد میزان آفت فهم هم‌خوان‌های گفتار را نشان می‌دهد که هرچه مقدار آن کمتر باشد؛ وضوح یا قابلیت فهم گفتار، بهتر خواهد بود. راستی<sup>۵</sup> حالت سریع اندازه‌گیری شاخص انتقال گفتار است که به‌صورت تقریبی اندازه‌گیری می‌شود. همه این پارامترها براساس تعیین یک نسبت گفتار به نویز مشخص در باندهای فرکانسی معین هستند که موضوع این تحقیق نمی‌باشد. مواردی که بررسی شده عبارتند از: نوفه که همان صدای ناخواسته محیط می‌باشد و واخنش به میزان ماندگاری صدا بعد از خروج از منبع صدا را گویند. واخنش بیش از اندازه، باعث تداخل عبارتها و هجاها و کاهش وضوح گفتار می‌شود. زمان واخنش مدت‌زمانی لازم است تا شدت صوتی بعد از قطع منبع صدا ۶۰ دسی‌بل کاهش پیدا کند یا از بین برود. به میزان اتلاف انرژی هنگام برخورد به سطح که معمولاً در فضاهای داخلی تعریف دارد، ضریب جذب گفته می‌شود. ضریب جذب را با نماد  $\alpha$  مشخص می‌کنند. بیشتر مشکلات آکوستیکی را می‌توان در مرحله طراحی با طرح‌های مناسب در سه مرحله منبع صدا و مسیر انتقال صدا و دریافت‌کننده صدا برطرف کرد. تمامی عناصر ساختاری ساختمان، در بهینه‌سازی وضعیت آکوستیک ساختمان مؤثرند. باید این عوامل شناخته شوند و ترکیب مناسب در طراحی آن‌ها اعمال گردد. در مرحله اول کنترل آکوستیک با پایین آوردن تراز نوفه و زمان واخنش بهینه، ارتباط مستقیم دارد. در مرحله دوم با استفاده از تمهیدات آکوستیکی مانند درزبندی‌های مناسب یا عایق‌های صوتی در مسیر انتقال صدا این امکان را می‌توان فراهم کرد. در آخرین مرحله با تعبیه تجهیزات ثانویه آکوستیکی در محل دریافت صدا این محیط مناسب ایجاد می‌شود [۹].

<sup>1</sup> STI (Speech Transmission Index)

<sup>2</sup> SPL (Sound pressure level)

<sup>3</sup> C30 (Clarity Measurement)

<sup>4</sup> Alcons

<sup>5</sup> RASTI (Rapid Speech Transmission Index)

## جدول ۱. استاندارد شاخص انتقال گفتار (براساس زمان واخنش بهینه)

نوع فضا	زمان واخنش بهینه (ثانیه)
استودیوها	۰/۴-۰/۲۵
اتاق جلسات	۰/۸
اتاق‌های اداری و دفاتر تجاری	۱/۲
سایت‌های کامپیوتری	
سالن بانکها	۱/۵
راهروها	۲/۰
فروشگاه‌ها، سوپرمارکت‌ها، بازارچه‌ها و مراکز تجاری سرپوشیده	۲/۰

<sup>۰</sup> براساس استانداردهای شاخص انتقال گفتار زمان واخنش بهینه برای استودیوها ۰.۴-۰.۲۵ ثانیه می‌باشد. Marshall Long, in Architectural (Acoustics (Second Edition), 2014

## جدول ۲. ضرایب جذب مصالح در فرکانس‌های مختلف [۸]

ضریب جذب مصالح در فرکانس‌ها	۴۰۰۰ هرتز	۲۰۰۰ هرتز	۱۰۰۰ هرتز	۵۰۰ هرتز	۲۵۰ هرتز
بتن	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱
اندود گچی	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۲
شیشه دوجداره	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۵
سقف طاق ضربی (آجرکاری یا بندکشی هم‌سطح)	۰.۲۴	۰.۲۲	۰.۱۶	۰.۱۲	۰.۰۹
آجر فشاری	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۳
درب چوبی	۰.۱	۰.۱	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۱
پشم معدنی	۰.۸۶	۰.۸۷	۰.۸۲	۱	۰.۹۵

<sup>۰</sup> ضرایب جذب مصالح و جدول ۲ بر مبنای میحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان می‌باشد.

## عوامل معماری مؤثر

**فرم فضا؛** در استودیوهایی که دیوارهای موازی دارند، میزان صدایی که میان سطوح سخت و منعکس کننده صدا بازتاب خواهد یافت با نسب جاذب روی دیوارهای کناری یا دو گوشه، به حداقل رسانده می‌شود. در سطوح دیوارهای غیرموازی چنانچه سطوح دیوارها از مصالح بنایی باشد و زاویه اتاق غیر از ۹۰ درجه با تغییر ۵ درجه باشد انعکاس صدا بهتر خواهد بود [۱۰].

**مصالح دیوار؛** با طراحی جزئیات دیوار و محل قرارگیری مناسب بازشوهای متصل به آن اعم از درب‌های آکوستیک، شیشه‌های دوجداره، دریچه‌ها، شکاف‌ها و مجاری تأسیسات تأثیر مثبت بر عملکرد ایزوله‌سازی صوت یک دیوار ایجاد می‌شود. لایه، به ساختاری گفته می‌شود که چگالی سطحی آن در نقاط مختلف روی یک سطح، یکسان باشد مانند اندود گچ یا فیبرگونی و دیوارهای آجری. جداکننده ساده عبارت است از: یک یا چند لایه با چگالی سطحی یکسان در تمام نقاط مانند درب و پنجره و دیوار آجری با اندود گچ و خاک یا دیوارها و جداره آجری. جداکننده مرکب، از چند جداکننده ساده تشکیل شده است. برای ایزوله شدن محیط استودیو لازم است تمام درزها گرفته شود و از درب‌های آکوستیک استفاده شود. در مواردی که صدا از دیوار نیز می‌گذرد نیاز به اجرای دیواری دیگر با مترپال عایق صدا مانند پشم سنگ می‌باشد. در مواردی که ایزوله شدن محیط از حساسیت بیشتری برخوردار باشد از دو درب و دیوار دو جداره استفاده می‌شود. کلیه بازشوها یا اتصال درزها نباید در یک مسیر قرار گیرند. برای جلوگیری از بروز رزونانس‌های اضافی، ابعاد

اتاق نباید یکسان و مضرب صحیحی از یکدیگر باشد. در سطوح صاف زوایای تابش و بازتابش صدا برابر است، در سطوح مقعر بازتابها همگراست و باعث ایجاد تمرکزهای ناخواسته صدا خواهد شد. یک استودیو باید به گونه‌ای طراحی شود که مسیرهای امواج صدا را بشکند. در طراحی استودیو نباید زاویه بین دیوارهای مجاور ۹۰ درجه باشد. اشکال مختلف سطح دیوارها به پراکندگی امواج صدا کمک می‌کنند. همچنین برای شکستن مسیر امواج صدا روی سطح می‌توان از دیوارهای کروی، استوانه‌ای، دندان اره‌ای، ترکیبی از مربع و لوزی و ... استفاده کرد. شیشه بین اتاق کنترل و استودیو به منظور پراکندگی صدا و جلوگیری از بازتابش نور در استودیو، به سمت کف آن زاویه‌دار می‌شود [۱۱].

**مصالح سقف؛** تایل‌های آکوستیکی سقف از جنس فایبرگلاس، کیفیت ایزوله‌سازی بسیار زیاد صدا نیستند و تایل‌های آکوستیکی سقف از جنس فیبرمعدنی، ویژگی‌های جذب صدای کمتری نسبت به نوع فایبرگلاس دارند که به میزان زیادی انتقال صدا را کاهش می‌دهد. این نوع تایل‌ها می‌توانند برای فضاهایی مناسب باشند که نیاز به جذب و ایزوله‌سازی صدا دارند و همچنین انتقال سروصدا را از تجهیزات تعبیه شده در سقف را به حداقل می‌رساند. تایل‌های آکوستیکی سقف کامپوزیت، ترکیبی از فایبرگلاس در رویه و فیبر معدنی یا سنگ گچ در زیر کار هستند و دارای توانایی بسیار بالای جذب و ایزوله‌سازی صدا می‌باشند.

**مصالح کف؛** امکان کاهش تأثیر صدای ایجاد شده از پله‌ها و تجهیزات متحرک در بیرون و داخل ساختمان با احداث کف شناور امکان‌پذیر می‌باشد. کف شناور به‌طور کلی شامل یک سطح صلب روی ماده‌ای کشسان است که هیچ‌گونه اتصال صلبی در دیواره‌های حایل در لبه‌های آن وجود نداشته باشد. ارتباط میان کف شناور و کف پایه از طریق مواد الاستیک مانند پلی‌استایرن، پلی‌رول که امروزه استفاده نمی‌شود، لایه پلیمری سنگین، لایه پلیمری لاستیک، لایه پلیمری نمد قیراندود و دانه‌های پلیمری در نقاط منفرد یا در امتداد خط یا به‌صورت سراسری در کل کف برقرار می‌گردد. شبکه‌های لاستیکی چگال نئوپرن<sup>۱</sup> و پشم شیشه و پشم سنگ نیز از موارد دیگر می‌باشد. راه‌حل‌های مؤثر بر تراگسیل نوفه کوبه‌ای با نگاه کلی و یکپارچه به ساختار کف می‌تواند از طریق کف شناور روی سقف و سقف کاذب در زیر کف و کف سازه‌های سنگین با کفپوش الاستیک (مانند موکت پرزدار) میسر گردد [۱۲].

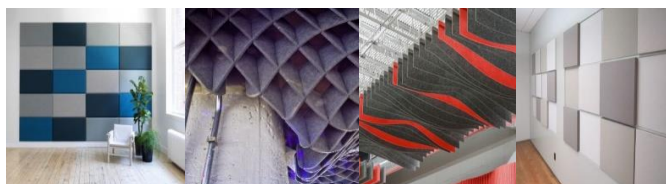
**تأسیسات و تجهیزات مکانیکی؛** سروصدایی که سیستم‌های مکانیکی تولید می‌کنند، از طریق انتشار مستقیم و هوابرد در مجراهای (داکت) ساختمان و کوبه‌ای، به فضاهای مختلف انتقال می‌یابد. برج‌های خنک‌کننده چیلرها، تهویه هوا و فن‌های سیستم مکانیکی از منابع ایجاد ارتعاش و آلودگی صوتی به‌شمار می‌روند. انتخاب فن: ایرودینامیکی گریز از مرکز کم‌صداتر از دیگر انواع فن‌ها عمل می‌کنند. تمیز بودن فیلترها: فیلترهای دارای کارایی بالا که عموماً در واحدهای تهویه فضاهای خاص استفاده می‌شود، در صورت کثیف شدن، فشار استاتیک فن‌ها را افزایش می‌دهند و سبب افزایش سرعت فن، صدا و هزینه‌های عملیات کلی می‌شوند. از طریق مجراها یا داکت‌ها با استفاده از روکش فایبرگلاس و تیغه‌های موازی ضدصدا پر شده از فایبرگلاس می‌توان داکت‌ها را ایزوله کرد. سرعت جریان هوا: سرعت جریان هوا بر میزان سر و صدای پس‌زمینه محیط، از طریق تولید صدای تلاطمی تأثیر می‌گذارد. سرعت جریان هوا در منتشرکننده باید با محدود کردن انتقال صدای اتاق‌های دیگر و به‌کارگیری ایزولاتورهای ارتعاش و کاهش صدای جعبه‌های تغییر فشار هوا الزامی است. ذکر این نکته ضروری است که آسانسورها نیز می‌توانند سبب ایجاد ارتعاش و آلودگی صوتی شوند؛ بنابراین لازم است مکان و سازه آن با آگاهی از تأثیرات صدا و ارتعاش آن تعیین شود. صداگیر: یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای افت یا کاهش صدای دستگاه‌های دمنده یا مکنده، سایلنسر یا صداگیر فن است که در مسیر به‌خصوص کانال‌های هوا که به صورت اکسپوز تعبیه شده، نصب می‌شود [۱۳].

<sup>1</sup> Neoprene

## جاذب‌ها و پخش‌گرها

گروهی از اجسام با به دام انداختن موج، باعث ائتلاف انرژی آن می‌شوند؛ در واقع موج صوتی در داخل حفره‌های این اجسام وارد می‌شوند و به دلیل انعکاس‌های پی‌درپی انرژی خود را از دست می‌دهند؛ نظیر جاذب‌های متخلخل (پشم شیشه، فیبرهای معدنی، ورقه‌های فیبری، تراشه‌های چوب فشرده شده، فرش و پارچه‌های کتان و پنبه‌ای و نمد مورد استفاده در استودیوهای تلویزیونی)، جاذب‌های صفحه‌ای غیرمتخلخل؛ صفحه‌ای سخت و جامد یا سوراخ‌دار که یک محفظه هوایی در پشت آن‌ها قرار دارد که ممکن است با مواد جاذب مثل پشم شیشه پر شود. جاذب‌های پوسته‌ای، یک تیغه سبک وزن که براساس ارتعاش جرم-هوا-جرم کار می‌کند. جاذب‌های رزوناتور؛ به شکل وسایل صحنه گلدان، کوزه، مکعب [۱۴].

از مشخصات کلی پخش‌گرها که می‌تواند شامل بازشوها و گچ‌بری‌های قدیمی و اکنون دری‌وال‌ها و دکورها باشد؛ پراکنده کردن انعکاسات اولیه که این انعکاسات موجب جانمایی نادرست، رنگ صدا، زمختی و زنگ‌نگی آکوستیکی می‌شوند. پراکنده کردن صدا به زوایای جنبی و هم‌ارز کردن نسبی تراز صدا در تمامی زوایای فضا موجب صداسازی بهتری می‌گردد. پراکنده کردن انعکاسات حاصل از سقف‌های کوتاه، بسته به طراحی پخش‌گر دارد. این انعکاسات می‌تواند حاصل از بازتاب‌های تضعیف شده اولیه یا انرژی واخنش حاصل از انعکاسات ثانویه و بعد از آن به‌وسیله پنل‌های سقفی و دیواری (شکل شماره ۱) باشد.



شکل ۱. پنل‌های دیواری و سقفی

## روش کار

با توجه به روش تحقیق و هدف بررسی، ملاحظات اولیه معماری با هدف بهبود عملکرد آکوستیک استودیوها و کنترل هزینه قبل از نصب تجهیزات ثانویه آکوستیکی است؛ متغیر زمان واخنش محاسبه شد و به‌منظور راستی‌آزمایی میزان این متغیر، از دستگاه ۲۲۶۰ استفاده گردید. دستگاه 2260 investigator زمان واخنش استودیوهای ۱ و ۲ و ۳ جام‌جم را به‌صورت تجربی اندازه‌گیری کرد. ابتدا بلندگوی چندوجهی در گوشه اتاق به فاصله ۱ متر از همه دیوارها قرار داده شد، سپس میکروفون اندازه‌گیری در شبکه‌بندی به فاصله ۲ متر از هر نقطه اتاق قرار گرفت و در فرکانس‌های مختلف اکتاوی اندازه‌گیری و در نهایت میانگین‌گیری شد. برای اندازه‌گیری تراز فشار صوتی باید تراز صدای پخش شده از بلندگو ۱۰ dB بالاتر، بعد از افت ۶۰ dB تراز صدای موجود از تراز زمینه نوفه باشد که گین پخش صدا از بلندگو ۸۰ dB بود. کالیبراسیون دستگاه پیش از اندازه‌گیری با استفاده از کالیبراتور مخصوص خود، کالیبره شد.



شکل ۲. دستگاه 2260 investigator

با توجه به خروجی دستگاه که SPL و T20 - T30 می‌باشد، در این پژوهش با اندازه‌گیری T30 و ضرب آن در عدد ۲، RT استودیوها به‌دست آمد و در جداول ۳ و ۴ و ۵ برای محاسبه گنجانده شد. از فرمول رابطه میرایی سابقین، برای به‌دست آوردن RT یا زمان واخنش استفاده شد [۹]:

$$RT = 0.163 \times \frac{V}{A} \quad (1)$$

که در آن،  $\alpha$  ضریب جذب ماده و S مساحت ماده می‌باشد. ضریب جذب به میزان اتلاف انرژی هنگام برخورد به سطح که معمولاً در فضاهای داخلی تعریف دارد، گفته می‌شود. بازه ضریب جذب مواد بین صفر و یک تعریف شده است. ضریب جذب را با نماد  $\alpha$  مشخص می‌کنند. با دستیابی به مقادیر RT زمان واخنش و A جذب کلی، بررسی تحلیلی شاخص‌های سنجش و یافتن آکوستیک بهینه با داده‌های تجربی صورت می‌گیرد. جمع‌بندی نتایج طراحی و ساخت معماری با ملزومات عملکردی در فرایند برنامه‌ریزی اقدامات مداخله‌ای قبل از احداث استودیو یا تغییر کاربری به استودیو با فرایند طراحی جامع با در نظر گرفتن فرم معماری و مصالح انجام می‌گیرد.

## نتایج

در جداول ۳ و ۴ و ۵ زمان واخنش و برآورد جذب کلی مصالح به‌کاررفته به استناد جدول ۲ که در آن‌ها به‌صورت تئوری با استفاده از فرمول مذکور محاسبه گشت و با مقدار زمان واخنش حاصل از اندازه‌گیری به‌وسیله دستگاه 2260 investigator مقایسه شد. همچنین ابعاد و احجام استودیوها از طریق شبیه‌سازی در نرم‌افزار اودئون با اندازه‌گیری زوایای موجود در استودیوها ارائه شده است. زوایای غیرقائم این استودیوها با احداث دیوار داخلی دوم با زاویه بین ۸۵ تا ۹۵ درجه طراحی شده است. مصالح محاسبه شده تنها عناصر معماری اولیه می‌باشد که عبارتند از: بتن کف، سقف طاق ضربی، دیوارهای آجری، اندود گچی، شیشه ویزور دوجداره، الیاف معدنی و درب چوبی دوجداره. در آن عناصر ثانویه آکوستیکی از جمله جاذب‌ها و پخش‌گرها و موکت محاسبه نشده است. دلیل این امر دستیابی حداکثری به زمان واخنش بهینه با مصالح اولیه معماری و بدون استفاده از عناصر ثانویه به‌منظور کنترل هزینه‌هاست.

جدول ۳. مشخصات استودیو شماره ۱

A*S(4khz)	A*S(2khz)	A*S(1khz)	A*S(500hz)	A*S(250hz)	A*S(125hz)	مساحت	استودیو شماره ۱
1/15	0/46	0/46	0/46	0/23	0/23	23	بتن کف
1/61	1/15	0/92	0/69	0/69	0/46	23	سقف طاق ضربی
12/24	11/22	8/16	6/12	4/59	4/08	51	دیوار آجر فشاری
2/55	2/55	2/04	1/53	1/02	1/02	51	اندود گچی
0/0576	0/144	0/2016	0/288	0/576	0/864	2/88	شیشه ویزور



A*S(4khz)	A*S(2khz)	A*S(1khz)	A*S(500hz)	A*S(250hz)	A*S(125hz)	مساحت	استودیو شماره ۱
43/86	44/37	41/82	51	48/45	17/34	51	پشم شیشه
0/21	0/21	0/168	0/126	0/21	0/294	2/1	درب چوبی
61/6776	60/104	53/7696	60/214	55/766	24/288		تئوری A
0/2286793	0/2346664	0/2623116	0/0768342	0/0801504	0/1069915		تئوری RT
0/33	0/29	0/28	0/3	0/33	0/72		تجربی RT
42/87	48/79	50/53	47/16	42/87	19/65		تجربی A

## جدول ۴. مشخصات استودیو شماره ۲

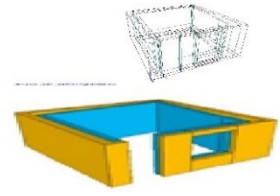
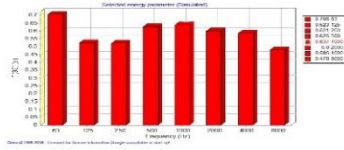
A*S(4khz)	A*S(2khz)	A*S(1khz)	A*S(500hz)	A*S(250hz)	A*S(125hz)
1/25	0/5	0/5	0/5	0/25	0/25
1/75	1/25	1	0/75	0/75	0/5
12/96	11/88	8/64	6/48	4/86	4/32
2/7	2/7	2/16	1/62	1/08	1/08
0/0576	0/144	0/2016	0/288	0/576	0/864
46/44	46/98	44/28	54	51/3	18/36
0/21	0/21	0/168	0/126	0/21	0/294
65/367	63/664	56/949	63/764	59/026	25/668
0/0590	0/0588	0/0637	0/05924	0/06420	0/145139

## جدول ۵. مشخصات استودیو ۳

A*S(4khz)	A*S(2khz)	A*S(1khz)	A*S(500hz)	A*S(250hz)	A*S(125hz)	مساحت	استودیو شماره ۳
0/566	0/2264	0/2264	0/2264	0/1132	0/01	11/32	بتن کف
0/7924	0/566	0/4528	0/3396	0/3396	0/02	11/32	سقف طاق ضربی
5/04	4/62	3/36	2/52	1/89	0/08	21	دیوار آجر فشاری
1/05	1/05	0/84	0/63	0/42	0/02	21	اندود گچی
0/0576	0/144	0/2016	0/288	0/576	0/3	2/88	شیشه ویزور
18/06	18/27	17/22	21	19/95	0/34	21	پشم شیشه
0/21	0/21	0/168	0/126	0/21	0/14	2/1	درب چوبی
25/776	25/0864	22/4688	25/13	23/4988	10/4496		تئوری A
0/28	0/29	0/32	0/29	0/31	0/69		تئوری RT
0/21	0/29	0/31	0/3	0/41	0/37		تجربی RT
67/37	48/79	45/64	47/16	34/51	38/24		تجربی A

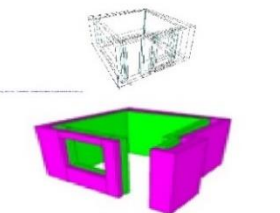
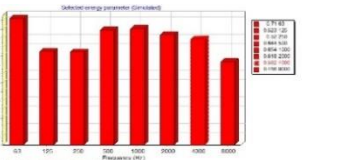
در شکل های ۳ و ۴ و ۵ خروجی نرم افزار اودتون ارائه شده است.

Simulation results (continued)												
Reaction Norms (1) Non-dimensional												
Reaction	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Reaction 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



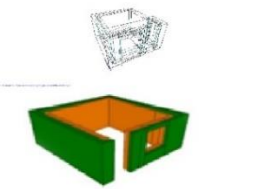
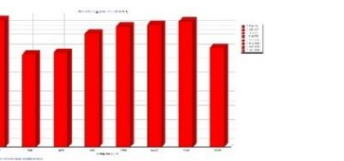
شکل ۳. حجم شبیه سازی شده و پلان استودیو شماره ۱

Simulation results (continued)												
Reaction Norms (1) Non-dimensional												
Reaction	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Reaction 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



شکل ۴. حجم شبیه سازی شده و پلان استودیو شماره ۲

Simulation results (continued)												
Reaction Norms (1) Non-dimensional												
Reaction	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Reaction 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reaction 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



شکل ۵. حجم شبیه سازی شده و پلان استودیو شماره ۳

با بررسی شاخص‌های معماری مؤثر در آکوستیک بهینه در سه استودیو که در عمل کارایی با کیفیت مناسب دارند، در این تحقیق که منطبق بر اندازه‌گیری است، با انجام کالیبراسیون به ترتیب میزان RT تجربی (اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه ۲۲۶۰) صورت گرفت. سپس تئوری (داده‌ها در رابطه پایین) محاسبه شد. همچنین شبیه‌سازی در نرم‌افزار اودئون و خروجی آن در جدول یک اوکتاوی استخراج شد که در این خروجی، شاخص‌های دیگر نیز ارائه شد. تنها شاخص زمان واخشن در مقایسه مقادیر قرار گرفت. نتایج حاصل در فرکانس میانی ۵۰۰ هرتز در ۳ استودیو و ۳ نوع تجربی و تئوری و شبیه‌سازی، مقایسه شد که در آن استودیو شماره ۲ دارای زمان واخشن در اندازه‌گیری تجربی (اندازه‌گیری با دستگاه ۲۲۶۰) ۰.۲۹ ثانیه در جدول شماره ۲ و سنجش تئوری (استفاده از فرمول) ۰.۳ ثانیه در جدول شماره ۲ و در شبیه‌سازی با نرم‌افزار اودئون ۰.۴ ثانیه در شکل شماره ۴ نزدیک‌ترین مقدار به زمان واخشن بهینه را دارد، بعد از آن به ترتیب استودیو شماره ۱ و سپس ۳ با زیرساخت مناسب و رعایت شاخص‌های معماری به زمان واخشن بهینه (۰.۲۵-۰.۴) ثانیه دست پیدا کردند. نتایج نشان از راستی‌آزمایی استفاده از فرم هندسی مناسب، مصالح با ضریب جذب بالا در ملاحظات اولیه طراحی معماری در دستیابی به زمان واخشن بهینه می‌باشد.

### توصیه‌های معماری

- برنامهریزی و طراحی فضا با در نظر گرفتن هم‌جوار نبودن فضاهای ناسازگار صوتی به صورت عمودی و افقی، جایگزین نشدن یا تغییر کاربری فضاها به استودیو یا برعکس در مکان‌های در معرض آلودگی صوتی، هم‌جواری فضاهای مشابه از نظر ملزومات آکوستیکی با هدف صرفه‌جویی در هزینه‌ها با رویکرد معماری پایدار، در نظر گرفتن سازه مستقل مانند کف شناور، جانمایی ساختمان دارای استودیو در محوطه‌های با پوشش گیاهی یا هرگونه حایل صوتی، استفاده نکردن از زاویه‌های ۹۰ درجه و دیوارهای موازی در استودیوهای رادیویی پیشنهاد می‌گردد.
- انتخاب مصالح اولیه بدون مداخلات ثانویه آکوستیک و ارائه جزئیات اجرایی از ابتدای فرایند طراحی با رویکرد کنترل منبع انرژی صوتی که در استودیوهای ۱ و ۲ و ۳ عامل اصلی بهینه‌سازی آکوستیک می‌باشد. استفاده از مصالح با ضریب جذب بالا بهترین زمان واخشن در محدوده بسامدی ۴۰۰-۲۰۰ بین ۰.۴-۰.۲۵ ثانیه را دارد. استفاده از زیرسازی آکوستیکی با چوب‌های چهارتراش و دولایه پارچه متقال و سوزنی روی آن‌ها و در نهایت ترکیب پارچه و چوب و چرم در دکوراتیو توصیه می‌گردد.
- طراحی پوسته ساختمان با رعایت مباحث ۱۸ و ۱۹ مقررات ملی ساختمان با در نظر داشتن تأثیر آن بر کیفیت صوتی فضاهای استودیوها.
- کانال‌های ارتباطی در کنار دیوارهای جانبی عبور کنند و تا حد امکان با مسیر عبور افراد تداخل نداشته باشند. جدا کردن فضاهای تأسیساتی با درزبندی و عایق‌بندی مناسب از مجاورت استودیوها باشد.

### References

- [1] Bhuta, T., Patrick, L., & Garnett, J. D. (2004). Perceptual evaluation of voice quality and its correlation with acoustic measurements. *Journal of Voice*, 18(3), 299-304. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2003.12.004>
- [2] Conrad J, H. (2001). *Engineering Acoustics* (F. Fassihi, Trans.). Tehran: Faculty of Broadcasting, Islamic Republic of Iran.
- [3] Mohammad Poormir, M. M., Shojaei, S., Samiei, R., & Ashrafi, M. (2020). Investigating the underlying factors affecting the commercialization of technological research achievements A Mixed Approach (Case Study: Technical and Vocational University of Iran). *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 16(46), 33-50. [https://karafan.tvu.ac.ir/article\\_105312.html?lang=en](https://karafan.tvu.ac.ir/article_105312.html?lang=en)

- [4] Hosseinpour, M., Karimi, H., Bakhsham, M., & Khodaei, A. (2020). Investigating the effect of multiple intelligence on individual performance of top entrepreneurs. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 17(3), 109-121. <https://doi.org/10.48301/kssa.2020.124670>
- [5] Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppers, A. B., & Sanders, J. V. (2009). *Fundamentals of Acoustics* (4th ed.). Wiley India Pvt. Limited. <https://books.google.com/books?id=wy4bQAAACAAJ>
- [6] Allen, J., & Berkley, D. (1979). Image method for efficiently simulating small-room acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 65(4), 943-950. <https://doi.org/10.1121/1.382599>
- [7] Böhme-Mehner, T. (2011). *Creating Sound Behind the Wall: Electroacoustic Music in the GDR*. Routledge.
- [8] Groat, L. N., & Wang, D. (2013). *Architectural Research Methods*. Wiley. <https://books.google.com/books?id=sUf5DPJyEqAC>
- [9] Ghiabakloo, Z. (2019). *Fundamentals of Building Physics 1 Acoustics*. University Jihad (Amirkabir University of Technology). <https://www.adinehbook.com/gp/product/9648737844>
- [10] Everest, F. A., & Pohlmann, K. (2009). *Master Handbook of Acoustics*. McGraw-Hill Education. <https://books.google.com/books?id=6tiJ1cwnwxC>
- [11] Safavipour, M. H. (2014, February 17). *Electrical installations in architecture (educational reference for architecture students)*. Publication of Tarahan-e-Honar <https://www.adinehbook.com/gp/product/6009152100>
- [12] Egan, M. D. (2007). *Architectural Acoustics*. J. Ross Pub. <https://books.google.com/books?id=adjzwAEACAAJ>
- [13] Bingley, K. (2019, October 9). *Acoustic* (M .H. Dehghan, Trans.). Publication of Yazda. <https://www.adinehbook.com/gp/product/6001651847>
- [14] Golmohammadi, R. (2019). *Sound and Vibration Engineering: In Industry and Environment*. Publication of Daneshjoo. <https://www.adinehbook.com/gp/product/9645794722>