



Architectural Considerations of Open-plan Offices with a Speech Approach

Roghayeh Mirzababalo¹, Behshid Hosseini^{2*}, Abbas Ghaffari³, Houtan Irvani⁴

¹PhD Student, Department of Architecture, Islamic Azad University, Ardestan Branch, Ardestan, Iran.

²Professor, Faculty of Architecture and Urbanism, Tehran Arts University, Tehran, Iran.

³Associate Professor of Technology, Faculty of Architecture and Urbanism, Tabriz Islamic Arts University, Tabriz, Iran.

⁴Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University, Ardestan Branch, Ardestan, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:

Original Research

Received: 12.27.2022

Revised: 03.30.2023

Accepted: 04.25.2023

Keyword:

Architecture

Acoustic

Sense of Place

Speech Clarity

Speech Privacy

*Corresponding Author:

Behshid Hosseini

Email:

Behshid_hosseini@art.ac.ir

ABSTRACT

Today, noise pollution is a major problem in the environment through percussion sounds, and airborne and background noise in buildings, resulting in lack of sound comfort and proper distribution of sound in architectural spaces. According to the use of spaces, the degree of importance of this issue is different. In open-plan offices, the presence of unpleasant noise creates problems for users. For this reason, speech privacy and speech clarity are of great importance and attention in these spaces. The purpose of this study was to reduce harmful reflections and proper distribution of sound in open-plan offices. In this research, the acoustic indicators of materials and the physical form of an open-plan office space were investigated. The research was based on the correlation method and investigation of architectural independent variables and acoustic dependent variables. The selected sample was calculated by AHP method and simulated in Edeon software in several administrative office stations. Two different types of geometry (high-corner roof and low-corner roof) with two different materials (polished materials and textured materials) were investigated. Reading time (RT) and speech transmission index (STI) were drawn and calculated in Edeon software to create speech privacy. The results showed that the closest figures to the international standards were obtained by using forms with a higher number of levels and composite materials such as (plaster and mineral fibres) which caused higher sound absorption and speech clarity and an optimal increase in conversation privacy.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In contemporary architecture, one of the ways to create a new classification in office buildings is to use open-plan office design. The idea of the open plan office was created to eliminate administrative hierarchies and develop synergies. The purpose of this type of design is to create diversity, adaptability, changeability and create a creative work environment in work environments. Open-plan office designs attempt to increase functional communication between employees by removing physical barriers that disrupt workflow and communication. In this regard, removing physical boundaries means reducing privacy and distractions, and creating an opportunity to increase close personal relationships between employees, leading to reduced control over the boundaries of personal and work space. In addition to the strengths of open-plan offices, factors such as speech interference caused by noise, annoying voice, lack of clarity of speech and loss of speech privacy are important. Disturbing noises such as speech and laughter, telephones ringing, the sound of stairs, the sound of ventilation, the noise of office equipment, and the noise of cleaning all lead to people's lack of concentration and distraction. The importance of addressing this problem shows the necessity of acoustic measures in open-plan offices. The shape of the space and the amount of absorption of consumables can be considered as the effective factors of architecture, the transmission of speech and time as acoustic factors. In this research, using Odeon software, an office with an area of 400 square meters with 4 different geometric shapes and 6 different materials on the roof was simulated. The graphs of speech and reading transfer index were examined and the relationship between dependent and independent variables was evaluated using the correlation research method. Comparing the information available in the software in the form of a matrix by obtaining the speech transmission index and optimal study time in open-plan offices to the result and determining the optimal option were the main objectives of this research.

Methodology

In the present study, the research method used was quantitative; the hierarchical method was used to reach the conditions and ranking of the variables, the elements and phenomena effective in the clarity of speech were identified and classified using the Expert Choice software, and the AHP method in the form of a survey and questionnaire distributed to 10 experts with the preparation of alternatives and the results of sampling leading to the first priority of the plan of open plan offices to be selected. Simultaneously, combined strategies were tested using the correlation method, independent architectural variables (form and materials in the ceiling) and acoustic dependent variables (reading time and speech transmission index) were measured. This evaluation was conducted by simulation method in Edeon software. The comparison of the relationship of the variables in the form of a matrix showed the result for the comfort of voice and clarity of speech in the form and materials which can be recommended in planning offices.

Results and Discussion

In the present study, radial and cruciform, regional, cluster and environmental alternatives were proposed for an office building, and by using the AHP method, a practical and common type of environment was selected: the dimensions of the building being 15 x 27 meters in modular form with a coefficient of 60 cm in the floor and ceiling. It was designed for practical purposes

(dimensions of lighting and ceramics). The floor of the building to be made of ceramic with the dimensions of 60 x 60 cm and the partition with a height of 1.50 meters made of MDF was considered as one of the fixed elements of the research. The independent architectural variable was divided into 4 different roof forms with 2 types (multi-corner design - no-corner design). These forms were evaluated in 6 types of materials with 3 classifications (flat and grooved wood - flat and patterned leaf plaster - cellulose fibers and mineral fibers).

Conclusion

Rectangular central pattern measuring 15x27 square meters, ceiling height of 4 meters, ceramic floor, three plaster walls and one glass wall, and partitioning as fixed elements and combining different forms in the ceiling and changing materials were modeled as elements with 24 patterns. In the results obtained from the Odeon software calculations in Table 1, referring to the optimal speech transmission index of the combination of form and materials, 2.1.4 (soft volumes and hollow plaster), 6.1.3 (multiple Proficient corner and mineral wool) and 6.1.4 (soft sizes and mineral wool) had the most appropriate results.

Table 1. Comparison of the average speech transmission index at different frequencies in 10 workstations and 24 research samples.

Mean Speech Transmission Index (STI)	Model	Row
0.754	2.1.4 Model	1
0.75	6.1.3 Model	2
0.756	6.1.4 Model	3

And based on the Reverbration time and reading in Table No. 2, the middle frequency of 500 Hz with the optimal time and reading, in which the combination of form and materials 1.1.1 (several quiet corners and simple plaster on metal nets (Rabbits)) and 1.1.3 (multiple busy corners and plaster) Simple on metal nets (Rabbits)) has had the most appropriate result. Raw materials without secondary acoustic interventions in the ceiling, materials such as composite acoustic tiles (mineral fiber and gypsum) have a very high ability to absorb and isolate sound and will have the best results for achieving speech clarity. The use of forms with a high number of levels (rich) in any kind of corners and without corners (soft) will optimize the conditions of voice comfort and speech privacy and speech presentation.

Table 2. Comparison of average time and reading in different frequencies in 10 workstations and 24 research samples.

8000	4000	2000	1000	500	250	125	63	Hertz	Row
0.755	1.229	1.393	1.24	1.321	1.266	1.466	1.774	1.1.1 Average model	1
0.733	1.174	1.287	1.243	1.232	1.124	1.299	1.601	1.1.3 Average model	2

Acknowledgement

In the end, we are grateful to all those who helped us in summarizing this research.

ملاحظات معماری ادارات پلان باز با رویکرد وضوح گفتار

رقیه میرزابابالو^۱، بهشید حسینی^{۲*}، عباس غفاری^۳، هوتن ایروانی^۴

- ۱- دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، واحد اردستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اردستان، ایران.
- ۲- استاد دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران.
- ۳- دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.
- ۴- استادیار، گروه معماری، واحد اردستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اردستان، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۶

بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۱۰

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵

کلید واژگان:

معماری
آکوستیک
حس مکان
وضوح گفتار
حریم خصوصی گفتار

*نویسنده مسئول: بهشید حسینی

پست الکترونیکی:

Behshid_hosseini@art.ac.ir

امروزه مشکلاتی چون آلودگی‌های صوتی در محیط زیست، از طریق صداهای کوبه‌ای، هوابرد، نوفه زمینه در ساختمان‌ها مطرح است که موجب مشکلاتی چون تأمین آسایش صوتی و توزیع مناسب صدا در فضاهای معماری می‌شود. با توجه به کاربری فضاها درجه اهمیت این مسأله متفاوت است. در ادارات با پلان باز وجود صدای نامطلوب برای کاربران مشکل ایجاد می‌کند. به همین دلیل حریم خصوصی گفتار و وضوح گفتار، از اهمیت و توجه بالایی در این فضاها برخوردار است. هدف از این مطالعه کاهش انعکاس‌های مضر و توزیع مناسب صدا در ادوات پلان باز می‌باشد. در این پژوهش، شاخص‌های آکوستیکی مصالح و فرم کالبدی یک فضای اداری طرح باز مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهش به روش همبستگی و بررسی متغیرهای مستقل معماری و متغیرهای وابسته آکوستیکی می‌باشد. نمونه انتخابی به روش AHP و با شبیه‌سازی در نرم‌افزار اودنون، در چند ایستگاه دفتر اداری محاسبه شده است. دو گونه هندسی متفاوت (سقف پرگوشه و سقف کم‌گوشه) با دو گونه مصالح متفاوت (مصالح صیقلی و مصالح بافت‌دار) مورد بررسی قرار گرفت. زمان واخنش (RT) و شاخص انتقال گفتار (STI) در نرم‌افزار اودنون جهت ایجاد حریم خصوصی گفتار ترسیم و محاسبه شده است. نتایج نشان داده که نزدیک‌ترین اعداد و ارقام به دست آمده به استانداردهای جهانی با استفاده از فرم‌های با تعداد سطوح بالاتر و مصالح ترکیبی مانند (گچ و الیاف معدنی) بوده است و باعث جذب بالاتر صدا و دستیابی به وضوح گفتار و افزایش بهینه حریم خصوصی گفتار خواهد شد.

مقدمه

در معماری معاصر یکی از راه‌های ایجاد گونه‌بندی جدید در ساختمان‌های اداری، استفاده از طراحی دفاتر پلان باز است. اساساً ایده دفتر پلان باز برای از بین بردن کامل سلسله مراتب اداری و در جهت توسعه هم‌افزایی گسترش یافت [۱]. هدف از این گونه طراحی، ایجاد تنوع پذیری، تطبیق پذیری، تغییرپذیری و ایجاد فضای کاری خلاقانه در محیط‌های کاری می‌باشد. ایجاد محیط مناسب عملکرد فردی و هوش هشتگانه را افزایش می‌دهد [۲]. از قول جک درسی نقل شده است که: «ما افراد را تشویق می‌کنیم که در فضای آزاد کار کنند چرا که به‌سرنوشت و خلاقیت‌های ناشی از اتفاقات تصادفی معتقد هستیم. همین‌طور عبور افراد از کنارهم باعث یادگیری چیزهای جدید در آنها می‌شود» [۳]. طرح‌های دفاتر اداری پلان باز تلاش دارند که ارتباط عملکردی را در میان کارمندان از طریق حذف موانع فیزیکی که مانع جریان کاری و ارتباطی می‌شوند، افزایش دهند. در این راستا حذف مرزهای فیزیکی به معنای کاهش حریم خصوصی و کاهش فاصله حواس‌پرتی و ایجاد فرصت برای افزایش روابط فردی نزدیک میان کارکنان است که منجر به کاهش کنترل بر مرزهای فضا و کار شخصی می‌شود [۴]. از لحاظ روانشناسی در ادارات طرح باز، محیط باعث کاهش حس مکان و حس تعلق می‌شود، باید توجه داشت که صدا منجر به تقویت حس مکان می‌شود [۵]. علاوه بر نقاط قوت در دفاتر طرح باز، مسائلی چون تداخل در گفتار ناشی از نوفه، سر و صدای مزاحم، عدم وضوح گفتار و از دست دادن حریم خصوصی گفتار، حائز اهمیت است. زمانی که دفاتر طرح باز طراحی آکوستیکی نشوند، سر و صداهای مزاحم مانند گفتار و خنده، زنگ گوشی، صدای پله‌ها، سر و صدای تهویه، سر و صدای لوازم اداری، سر و صدای تمیز کردن و غیره منجر به عدم تمرکز و حواس‌پرتی افراد می‌شوند. اهمیت رسیدگی به این مشکل، ضرورت اقدامات آکوستیکی در دفاتر طرح باز را بیان می‌کند. تجهیزات ثانویه آکوستیکی بعد از اجرا تنها قادر به جبران درصدی از این مسأله است که با طراحی و اقدامات اولیه معماری این میزان افزایش می‌یابد. فرم فضا و میزان جذب مصالح مصرفی به عنوان عوامل مؤثر معماری، انتقال گفتار و زمان واخنش به عنوان عوامل آکوستیکی می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند. در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار اودئون^۱، یک دفتر اداری ۴۰۰ متر مربعی با ۴ فرم هندسی متفاوت و ۶ مصالح مختلف در سقف شبیه‌سازی شده است. نمودارهای شاخص انتقال گفتار^۲ و زمان واخنش^۳ بررسی شده و به روش تحقیق از نوع همبستگی رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل ارزیابی می‌شود. مقایسه اطلاعات در نرم‌افزار به‌صورت ماتریسی با دریافت شاخص انتقال گفتار و زمان واخنش بهینه در ادارات پلان باز به نتیجه و تعیین گزینه بهینه به عنوان پرسش اصلی این پژوهش مطرح است.

اهمیت طراحی آکوستیکی دفاتر پلان باز به حدی است که سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) در سال ۲۰۰۸ یک استاندارد در زمینه آکوستیک داخلی دفاتر پلان باز ارائه داد [۶]. چندی بعد محققان و دانشمندانی پی به ناکارآمدی این استاندارد بردند زیرا در استاندارد ۲۰۰۸ از پارامترهای صوتی و آکوستیکی رایج در فضای بسته استفاده کرده بودند که به هیچ وجه در این گونه دفاتر کارایی لازم را نداشت. در این گونه محیط‌ها با مسائل و مشکلاتی روبه‌رو می‌شویم که با دانسته‌های ما از محیط‌های آکوستیکی هم راستا نیست و حتی در بعضی از موارد نیز با آنها در تناقض می‌باشد. بنابراین سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) در سال ۲۰۱۲ پنج پارامتر آکوستیکی نسبتاً جدید مختص فضاهای پلان باز بر اساس استاندارد جهانی ایزو ۲۰۱۲:۳۳۸۲-۳ ارائه کرده است. به جز موارد مذکور تاکنون بررسی‌های جدید در خصوص دستیابی به معیارهای معتبر صورت نگرفته است، ولی مقالات معدودی با خروجی‌های محدود ارائه شده است. در مورد روانشناسی محیطی نیز شاخص لیزمن بزرگ‌ترین جامعه آماری در اثر بخشی محیط کار بوده است. سال ۲۰۱۶ انجام نظرسنجی با ۱۶۹۸۳۸ نفر شرکت کننده از ۱۴۰۷ ساختمان اداری، نوفه محیط هفتمین شاخص مهم در رضایت داشتن از محیط کار اعلام شد، تقریباً هفتاد درصد از وجود نوفه در محیط کار شکایت داشتند. همچنین از نظر رفتارهای بالینی و روانشناسی محیط از نظرشنوایی، پژوهش‌هایی متعددی انجام شده است. اکثر مشکلات آکوستیکی را می‌توان در مرحله

¹ Odeon

طراحی معماری با طرح‌های مناسب در سه مرحله منبع صدا، مسیر انتقال صدا و دریافت کننده صدا بر طرف کرد [۷]. تمامی عناصر ساختاری ساختمان در بهینه‌سازی وضعیت آکوستیک ساختمان مؤثرند. باید این عوامل شناخته شده و ترکیب مناسب در طراحی آنها اعمال گردد. نوفه به هرگونه صدای ناخواسته گفته می‌شود و تفاوت بین صدا و نوفه یک تفاوت ذهنی است برای مثال «گفتار» در شرایط عادی صدای خواسته است ولی اگر از واحد مجاور شنیده شود آزار دهنده است. صداها زمانی ناخواسته گفته می‌شود که صحبت کردن و برقراری ارتباط میان افراد را تحت تأثیر قرار دهند، در فرآیندهای فکر کردن و تمرکز فکری اختلال ایجاد کنند و از انجام مناسب فعالیت‌ها جلوگیری نمایند. کنترل آکوستیک با پایین آوردن تراز نوفه ارتباط مستقیم دارد. تراز نوفه در مرحله اول باید در محل منبع کاهش داده شود. در مرحله دوم با استفاده از تمهیدات آکوستیکی مانند درزبندی‌های مناسب یا عایق‌های صوتی در مسیر تراکسیل صدا، این امکان را می‌توان فراهم کرد. در آخرین مرحله با اصلاح وضعیت آکوستیکی در محل دریافت نوفه این محیط مناسب می‌شود. واخنش^۱ 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. به این فضا، سالن بیش از حد زنده می‌گویند. زمانی که لازم است تا شدت صوتی بعد از قطع منبع صدا ۶۰ دسی‌بل کاهش پیدا کند و یا از بین برود زمان واخنش^۲ می‌نامند. به میزان اتلاف انرژی هنگام برخورد به سطح، که معمولاً در فضاهای داخلی تعریف دارد ضریب جذب^۳ گفته می‌شود. بازه ضریب جذب مواد بین صفر و یک تعریف شده است [۸]. ضریب جذب را با نماد α مشخص می‌کنند [۹]. شاخص انتقال گفتار به طور گسترده برای توصیف قابلیت فهم گفتار در فضاهای بسته به کار می‌رود که می‌تواند بر قابلیت فهم گفتار شنونده تأثیرگذار باشد [۱۰].

روش تحقیق

در این پژوهش روش تحقیق کمی بوده است و برای رسیدن به شرایط و رتبه متغیرها از روش سلسله مراتبی استفاده شده است. عناصر و پدیده‌های مؤثر در وضوح گفتار، شناسایی و طبقه‌بندی شده‌اند، با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس به روش AHP به صورت پیمایشی و ارائه پرسش‌نامه به ۱۰ نفر خبره بررسی صورت گرفته است. با تهیه طرح‌های متفاوت و نتیجه به دست آمده از نمونه‌گیری، اولویت اول طرح ادارات پلان باز انتخاب شده است. در این روش به طور هم‌زمان راهبردهای ترکیبی به روش همبستگی، متغیرهای مستقل معماری (فرم و مصالح در سقف) آزمایش شده و متغیرهای وابسته آکوستیکی (زمان واخنش و شاخص انتقال گفتار) اندازه‌گیری می‌گردد. این ارزیابی با روش شبیه‌سازی در نرم‌افزار اودئون در دو گونه فرم‌های چندگوشه و بی‌گوشه انجام شده است. ۴ نمونه آزمایشی و ۳ نوع مصالح گچ برگی، چوبی، فیبر سلولزی در ۶ نمونه آزمایشی مجوف و مسطح صورت گرفته است [۱۱]. رابطه متغیرها به صورت ماتریسی مقایسه شده است و نتیجه به دست آمده را جهت آسایش صوتی و وضوح گفتار در فرم و مصالح، قابل تجویز در ادارات پلان باز می‌نماید.

¹ Reverbration

² Reverbration Time

³ Absorption Coefficient

مؤلفه‌های مؤثر

مؤلفه‌های معماری مؤثر در وضوح گفتار ساختمان‌های اداری طرح باز

قبل از اقدامات ثانویه در خصوص ایجاد و نصب عناصر آکوستیکی، فرم و شکل فضا از پارامترهای تأثیرگذار در دستیابی به شرایط شنیداری مناسب است. مصالح با ضرایب جذب مناسب در کف و دیوار و سقف نیز از عناصر اولیه در معماری جهت دستیابی به آسایش صوتی می‌باشد [۱۲].

مؤلفه‌های آکوستیکی مورد بررسی در وضوح گفتار ساختمان اداری با طرح باز

برای محاسبه زمان واخنش از فرمول زیر که از ترکیب رابطه آیرینگ^۱ و رابطه میرایی سابین^۲ به دست آمده، استفاده می‌شود [۹]:

که در آن $RT = 0.163 \times \frac{V}{A}$ برابر است با $A = \sum_i \alpha_i S_i$ جذب کلی که در آن α ضریب جذب ماده و S مساحت ماده می‌باشد.

شاخص انتقال گفتار برای سنجش وضوح گفتار در یک فضاست که به نوبه زمینه، زمان واخنش و فاصله شنونده از منبع صدا بستگی دارد و بر اساس استاندارد IEC 60268-16 اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود [۱۳]. استاندارد زمان واخنش بهینه در جدول ۱ و شاخص انتقال گفتار در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱. زمان واخنش بهینه در فضاهای اداری [۹].

نوع فضا	زمان واخنش بهینه (ثانیه)
اتاق جلسات	۰.۸
اتاق‌های اداری و دفاتر تجاری	
سایت‌های کامپیوتری	۱.۲
سالن بانک‌ها	
راهروها	۱.۵
فروشگاه‌ها، سوپر مارکت‌ها، بازارچه‌ها و مراکز تجاری سرپوشیده	۲.۰

جدول ۲. استاندارد شاخص انتقال گفتار [۱۴].

Subjective Scale	STI value
Bad	۰.۰-۰.۳۰۰۰
Poor	۰.۰-۰.۴۵.۳۰
Fair	۰.۰-۰.۶۰.۴۵
Good	۰.۰-۰.۷۵.۶۰
Excellent	۱.۰-۰.۰.۷۵

^۱ Eyring

^۲ Sabine

معرفی الگوها و معیارها

الگوی ناحیه‌ای، شامل هسته در داخل و تراکم سایر بخش‌ها به دور آن به گونه‌ای که طول و عرض ساختمان برابر می‌باشد (مجموع چند فضای مربع شکل به ابعاد ۵*۵ مترمربع).

الگوی خطی، شامل هسته در داخل یا خارج و سایر بخش‌ها به صورت دو بازوی دور شونده از مرکز هستند و فاصله تا مرکز نامساوی می‌باشد (فضای مستطیل شکل به ابعاد ۲۵*۵ مترمربع).

الگوی شعاعی؛ دارای بازوهای دور شونده از مرکز ولی برخلاف الگوی خطی دارای چند بازو می‌باشد (فضای مربع شکل به ابعاد ۱۰*۱۰ مترمربع).

الگوی مرکزی؛ شبیه الگوی ناحیه‌ای است ولی بخش میانی خالی و باز است و تراکم در اطراف می‌باشد (فضای مستطیل شکل به ابعاد ۱۵*۲۷ مترمربع).

معیار کف: سرامیک و سنگ.

معیار دیوار: یک جدار شیشه‌ای دوجداره و سه جدار دیوار گچی.

معیار پارتیشن‌بندی: امدی‌اف و چوب.

روش کار

در این گفتار ۴ طرح ادارات پلان باز به صورت الگوی ناحیه‌ای، الگوی خطی، الگوی شعاعی و الگوی مرکزی ترسیم گردیده است و در اختیار خبرگان (معماران) که در زمینه طراحی ادارات خبره‌اند قرار گرفت و صرفاً توضیحات آن ذکر شده و به دلیل فضای محدود مقاله طرح‌ها در متن جایگذاری نشده است. با استفاده از روش AHP، و بررسی خبرگان ابتدا طرح دو بعدی پلان با توجه به عمومیت داشتن آن و گونه کاربردی و رایج بودن محیطی، همچنین امکان به اشتراک گذاشتن در اکثر طرح‌های بازار کار انتخاب شد. بر این اساس الگوی مرکزی: فضای مستطیل شکل به ابعاد ۲۷*۱۵ متر ارتفاع، سقف ۴ متر به صورت مدولار با ضریب ۶۰ سانتی‌متر در کف و سقف به جهت نکات اجرایی (ابعاد روشنایی و سرامیک) طراحی شده است، یکی از وجوه آن پوشیده از شیشه دوجداره و ۳ وجه دیگر دیوارهای گچی با پوشش رنگ است. کف ساختمان از سرامیک به ابعاد ۶۰*۶۰ سانتی‌متر مربع و پارتیشن‌بندی به ارتفاع ۱/۵۰ متر از جنس امدی‌اف، جزو عناصر ثابت پژوهش در نظر گرفته شده است. متغیر مستقل معماری به ۴ فرم متفاوت سقف و ۲ گونه‌بندی (طرح چندگوشه - طرح بی‌گوشه) تقسیم‌بندی شده است. این فرم‌ها در ۶ نوع مصالح با ۳ گونه‌بندی (چوب مسطح و شیاردار - گچ برگ مسطح و طرح‌دار - فیبرهای سلولزی و الیاف معدنی) ارزیابی شده است. سپس با فرض ثابت بودن فرم معماری منتخب در دیواره‌ها و کف، با انتخاب خبرگان عنصر متغیر سقف بوده و به تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی آن پرداخته شده است.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

در تحقیق مذکور برای به‌دست آوردن طرح منتخب و اولویت‌بندی طرح‌ها از طریق پرسش‌نامه و انتخاب خبرگان یکی از طرح‌های معماری ادارات با پلان باز (مرکزی، خطی، شعاعی، ناحیه‌ای) انتخاب می‌شود. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری‌های چند معیاره است که توسط توماس آل‌ساعتی^۱ مطرح شد. هدف استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، شناسایی گزینه‌های مرجح و همچنین تعیین رتبه گزینه‌ها با در نظر گرفتن هم‌زمان کلیه معیارهای تصمیم‌گیری است. از نظر وی برای محاسبه ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیرمعیارها، چند روش وجود دارد که شامل: روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار

¹ Thomas L. Saaty

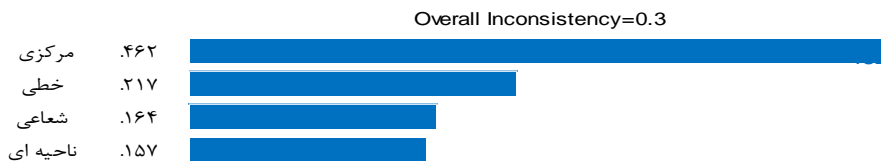
ویژه و روش‌های تفریقی است. روش بردار ویژه روشی متداول در رسیدن به وزن پارامترها از یک ماتریس مقایسه زوجی است. در این روش، معیارها و زیرمعیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و درجه اهمیت هر معیار، نسبت به دیگری مشخص می‌شود. به این ترتیب که، به هر مقایسه دودویی، یک عدد از ۱ تا ۹ نسبت داده می‌شود. در جدول شماره ۳ معنی هر عدد مشخص شده است. بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، ضریب اهمیت گزینه‌ها تعیین می‌شود. در این مرحله، ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها و اگر معیاری، زیرمعیار نداشته باشد، مستقیماً با خود آن معیار، مورد قضاوت و داوری قرار می‌گیرد [۱۵]. خروجی نرم افزار نشان دهنده مدل و فرم معماری بهینه بوده و نتایج را به دست می‌آورد.

جدول ۳. طیف ۹ تایی عبارات کلامی روش AHP.

ارزش ترجیحی	وضعیت مقایسه ۱ نسبت به ۲	توضیح
۱	اهمیت برابر	گزینه یا شاخص ۱ نسبت به ۲ اهمیت برابر دارند
۳	نسبتاً مهمتر	گزینه یا شاخص ۱ نسبت به ۲ اهمیت کمی مهمتر است
۵	مهمتر	گزینه یا شاخص ۱ نسبت به ۲ مهم تر است
۷	خیلی مهم تر	گزینه یا شاخص ۱ دارای ارجحیت خیلی بیشتری از ۲ است
۹	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص مطلقاً از ۲ مهم تر و قابل مقایسه با ۲ نیست
۲ و ۴ و ۶ و ۸		ارزش‌های میانی بین ارزش‌های ترجیحی را نشان می‌دهند

رتبه‌بندی گزینه‌ها

در این بخش ابتدا بر اساس جدول ۳، مقایسه‌های زوجی بین معیارها (مصالح) و گزینه‌ها (الگوها) تشکیل می‌شود. سپس وارد نرم‌افزار اکسپرت چویس شده و وزن‌های نهایی گزینه‌ها محاسبه می‌شود که در شکل ۱ آورده شده است.



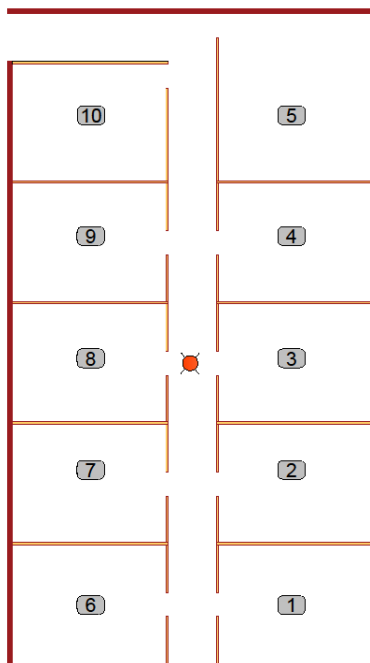
شکل ۱. وزن نسبی معیارها.

عناصر ثابت و متغیرهای مستقل و وابسته

در طرح منتخب ۱۰ ایستگاه کاری مشخص شده است، محل قرارگیری بلندگو در نرم‌افزار اودئون به‌عنوان منبع صوتی در میان راهرو می‌باشد (شکل ۲). عناصر و متغیرها و اندازه‌گیری شاخص انتقال گفتار و زمان واخشن در ۴ فرم سقف و ۶ مصالح در ۲۴ نمودار ارزیابی شده است، نتیجه مقایسه میانگین ایستگاه‌های کاری در ترکیب هر فرم و مصالح به صورت جدول ارائه شده است.

دیوار (عنصر ثابت): یک سمت از شیشه دوجداره استفاده شد و در ۳ سطح دیگر از گچ با پوشش رنگ، پارتیشن‌بندی ام‌دی‌اف می‌باشد. محل قرارگیری منبع صدا در میان راهرو در نرم‌افزار اودئون جایگذاری شده است.

کف (عنصر ثابت): سرامیک با سطح صیقلی



شکل ۲. طرح معماری اداری پلان باز (طرح منتخب خبرگان).

مصالح سقف (متغیرمستقل): ۱- گچ ساده بر روی توری‌های فلزی (رابیتس). ۲- پلاستر گچ مجوف. ۳- تخته چوبی نازک. ۴- صفحه‌های چوبی شکاف‌دار پر شده از پشم معدنی. ۵- فیبرهای سلولوزی. ۶- پشم معدنی. ضرایب جذب در فرکانس‌های مختلف در مراجع زیادی موجود می‌باشد در این مقاله با توجه به در دسترس‌ترین مرجع، مقررات ملی ساختمان در جدول ۴ استناد شده است.

جدول ۴. ضرایب جذب مصالح در بسامد مرکزی بندهای یک هنگامی در فرکانس‌های مختلف [۹].

۵۰۰ هرتز	۱۰۰۰ هرتز	۲۰۰۰ هرتز	۴۰۰۰ هرتز	۸۰۰۰ هرتز	ضرایب جذب مصالح در فرکانس‌ها
۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	کاشی سرامیکی
۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۵	اندود گچی
۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	شیشه دوجداره
۰.۰۶	۰.۱۵	۰.۰۵	۰.۱۰	۰.۱۸	تخته‌های چوبی به ضخامت ۲۲ میلیمتر به پهنای ۱۰۰ میلیمتر و به فواصل ۱۰ میلیمتر ۵۰۰ میلیمتر فاصله هوایی با الیاف معدنی
۰.۰۶۵	۰.۸۵	۰.۸۵	۰.۸۰	۰.۸۰	تایل آکوستیکی به ضخامت ۱۳ میلیمتر به صورت سقف کاذب به فاصله ۵۰۰ میلیمتر از سقف
۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۳	صفحه گچی به ضخامت ۱۳ میلیمتر روی قاب، ۱۰۰ میلیمتر فاصله هوایی

۵۰۰ هرتز	۱۰۰۰ هرتز	۲۰۰۰ هرتز	۴۰۰۰ هرتز	۸۰۰۰ هرتز	ضریب جذب مصالح در فرکانس‌ها
۰.۲۰	۰.۱۵	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۵	تخته چندلایی به ضخامت ۵ میلیمتر روی نوارهای چوبی، ۵۰ میلیمتر فاصله هوایی با الیاف معدنی
۰.۶۵	۰.۸۵	۰.۹	۰.۸	۰.۸	الیاف معدنی به ضخامت ۵۰ میلیمتر با چگالی ۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب، در پشت صفحه فلزی سوراخدار با ۲۵٪ سطح باز

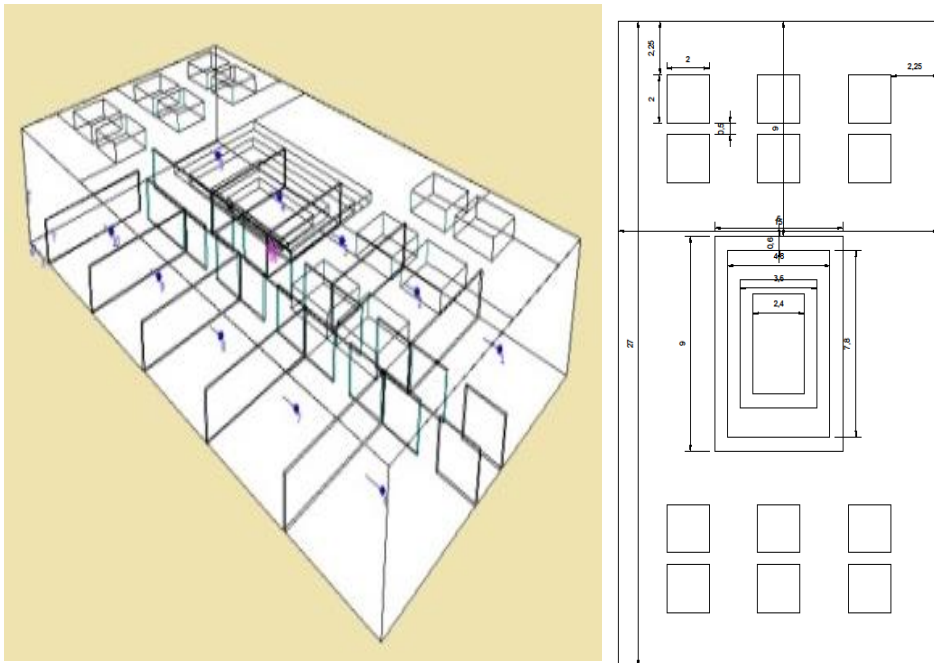
فرم سقف

گونه پر گوشه

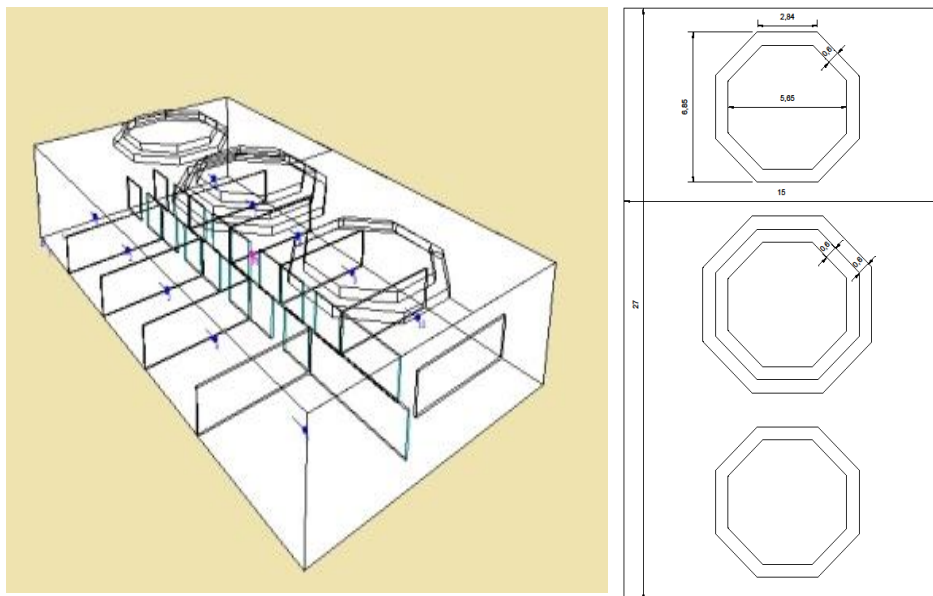
طرح ۱ دارای فضاهای چهار گوشه و پرکار می‌باشد که به صورت پر و خالی با چیدمان مرکزی تعبیه گردیده است (شکل ۳). طرح ۲ دارای فضاهای چند کج و خلوت تر با محوریت مرکزی و متقارن است (شکل ۴).

گونه بی گوشه

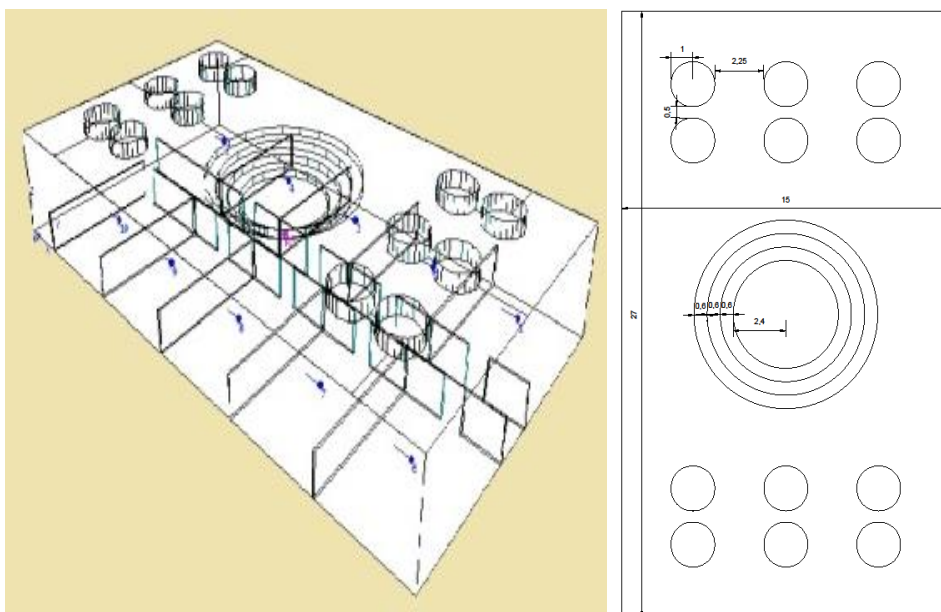
طرح ۳ دارای فضاهای دایره شکل و پرکار می‌باشد که به صورت پر و خالی با چیدمان مرکزی تعبیه گردیده است (شکل ۵). طرح ۴ دارای احجام سینوسی با فاصله مدولار ۶۰ سانتی متر مربع به صورت همگن در فضا پخش شده است (شکل ۶).



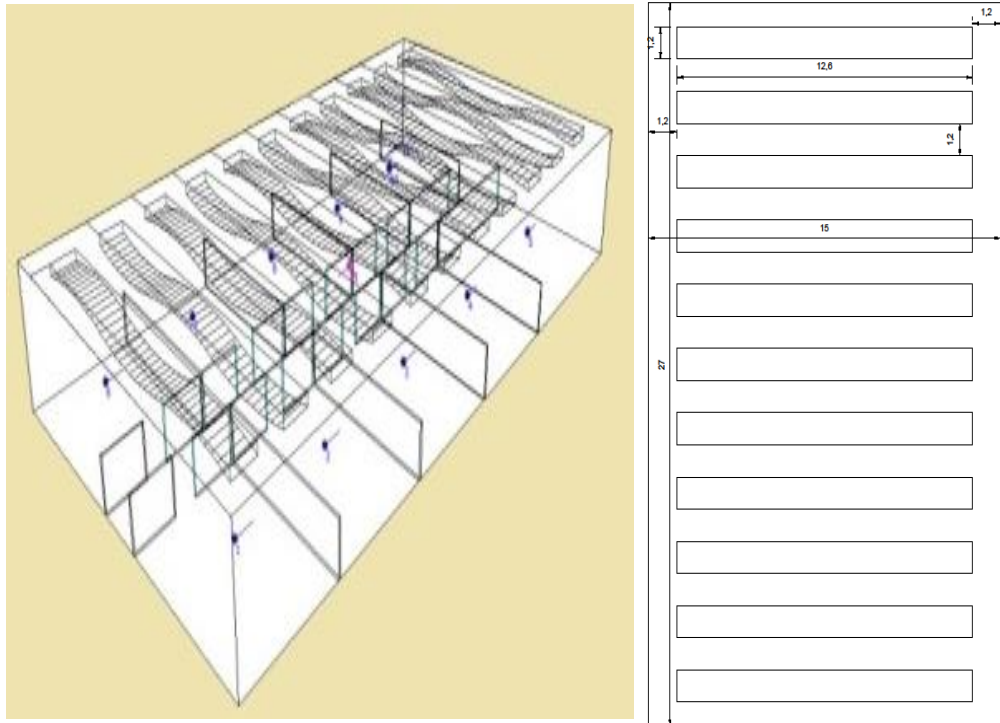
شکل ۳. طرح سقف چهار گوشه پرکار (خروجی نرم افزار اودئون).



شکل ۴. طرح سقف چند گوشه و خلوت تر (خروجی نرم افزار اودئون).



شکل ۵. طرح سقف بدون کنج، احجام نرم و پر کار (خروجی نرم افزار اودئون).



شکل ۶. طرح سقف احجام سینوسی، خطی و همگن (خروجی نرم افزار اودئون).

محاسبات نرم افزار اودئون

نرم افزار اودئون برای طراحی محیط کنترل شده صوتی پارامترهای مختلفی در شبیه سازی در اختیار قرار می دهد. با توجه به محدودیت حجم مقاله در این گفتار پارامترهای زمان واخنش و شاخص انتقال گفتار مورد بررسی قرار گرفته است. نوع بلندگو و الگوی جهت منبع صدا، بهره یا گین منبع، میزان نوفه زمینه به منظور شبیه سازی پارامتر قابلیت وضوح گفتار از موارد لازم دیگر در دریافت خروجی دو مورد مذکور از نرم افزار اودئون می باشد. در این تحقیق از بین منابع تولید صدا از منبع گفتار طبیعی عادی^۱ استفاده شده است. این منبع گفتار طبیعی انسان را طراحی کرده است. بهره یا گین این منبع صوت ۶۵ دسی بل تعیین شده است. همان طور که اشاره شد یکی از امکانات این نرم افزار اضافه کردن نوفه زمینه به طراحی است، در نتیجه برای طرح های ادارات پلان باز نوفه زمینه به صورت استاندارد NC۱۵ تعیین شده است. جانمایی بلندگو و منبع صوت در میانه راهرو در ارتفاع یک متری از کف در نظر گرفته شده است و به ازای هر محیط که با پارتیشن جداسازی شده است یک گیرنده در ارتفاع یک متری از کف قرار گرفته است. محاسبات شاخص انتقال گفتار^۲ و زمان واخنش در ۲۴ ترکیب بندی فرم و مصالح در ۱۰ ایستگاه کاری بررسی شده است (نمودارهای ۱ تا ۲۴).

^۱ BB93 NORMAL NATURAL SPEECH

^۲ Speech Transmission Index (STI)

سقف (متغیر)

- گزینه ۱؛ متریال گچ بر روی توری‌های فلزی.
 - گزینه ۲؛ گچ‌ها Gypsum plaster tiles with perforated.
 - گزینه ۳؛ تخته چوبی نازک.
 - گزینه ۴؛ صفحه‌های چوبی شکاف دار که با mineral wool پر شده.
 - گزینه ۵؛ فیبر ها سلولوزی.
 - گزینه ۶؛ Mineral wool tiles.
- دیوار** (ثابت)؛ یک سمت از شیشه دوجداره استفاده شد و در ۳ سطح دیگر از گچ و برای پارتیشن‌ها از mdf استفاده شده است.
- کف** (ثابت)؛ سرامیک با سطح صاف استفاده شده است.

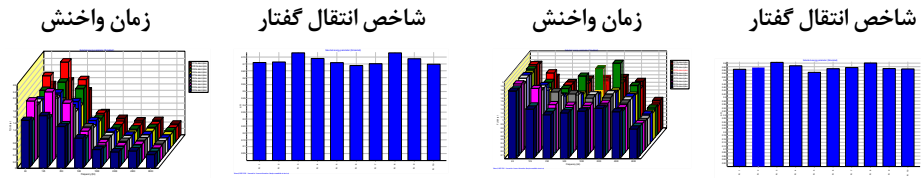
فرم معماری

- طرح ۱؛ سقف چند گوشه و خلوت تر شکل ۴.
 - طرح ۲؛ سقف احجام سینوسی، خطی و همگن شکل ۶.
 - طرح ۳؛ سقف چهار گوشه پر کار شکل ۳.
 - طرح ۴؛ سقف بدون کنج، احجام نرم و پر کار شکل ۵.
- مدل ۱.۱.۱ که از مجموع (گزینه ۱ و طرح ۱) با عنوان نمودار ۱. مدل ۱.۱.۲ که از مجموع (گزینه ۱ و طرح ۲) با عنوان نمودار ۷.
- مدل ۱.۱.۳ که از مجموع (گزینه ۱ و طرح ۳) با عنوان نمودار ۱۳. مدل ۱.۱.۴ که از مجموع (گزینه ۱ و طرح ۴) با عنوان نمودار ۱۹.
- مدل ۲.۱.۱ که از مجموع (گزینه ۲ و طرح ۱) با عنوان نمودار ۲. مدل ۲.۱.۲ که از مجموع (گزینه ۲ و طرح ۲) با عنوان نمودار ۸.
- مدل ۲.۱.۳ که از مجموع (گزینه ۲ و طرح ۳) با عنوان نمودار ۱۴. مدل ۲.۱.۴ که از مجموع (گزینه ۲ و طرح ۴) با عنوان نمودار ۲۰.
- مدل ۳.۱.۱ که از مجموع (گزینه ۳ و طرح ۱) با عنوان نمودار ۳. مدل ۳.۱.۲ که از مجموع (گزینه ۳ و طرح ۲) با عنوان نمودار ۹.
- مدل ۳.۱.۳ که از مجموع (گزینه ۳ و طرح ۳) با عنوان نمودار ۱۵. مدل ۳.۱.۴ که از مجموع (گزینه ۳ و طرح ۴) با عنوان نمودار ۲۱.
- مدل ۴.۱.۱ که از مجموع (گزینه ۴ و طرح ۱) با عنوان نمودار ۴. مدل ۴.۱.۲ که از مجموع (گزینه ۴ و طرح ۲) با عنوان نمودار ۱۰.
- مدل ۴.۱.۳ که از مجموع (گزینه ۴ و طرح ۳) با عنوان نمودار ۱۶. مدل ۴.۱.۴ که از مجموع (گزینه ۴ و طرح ۴) با عنوان نمودار ۲۲.
- مدل ۵.۱.۱ که از مجموع (گزینه ۵ و طرح ۱) با عنوان نمودار ۵. مدل ۵.۱.۲ که از مجموع (گزینه ۵ و طرح ۲) با عنوان نمودار ۱۱.
- مدل ۵.۱.۳ که از مجموع (گزینه ۵ و طرح ۳) با عنوان نمودار ۱۷. مدل ۵.۱.۴ که از مجموع (گزینه ۵ و طرح ۴) با عنوان نمودار ۲۳.

مدل ۶.۱.۱ که از مجموع (گزینه ۶ و طرح ۱) با عنوان نمودار ۶.۱.۲ مدل ۶.۱.۲ که از مجموع (گزینه ۶ و طرح ۲) با عنوان نمودار ۱۲.

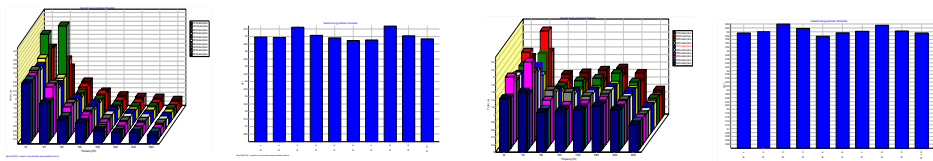
مدل ۶.۱.۳ که از مجموع (گزینه ۶ و طرح ۳) با عنوان نمودار ۱۸. مدل ۶.۱.۴ که از مجموع (گزینه ۶ و طرح ۴) با عنوان نمودار ۲۴.

در نمودارهای زیر به ترتیب شاخص انتقال گفتار و زمان واخنش در هر مدل ذکر شده با ۱۰ ایستگاه کاری پلان منتخب بررسی شده است.



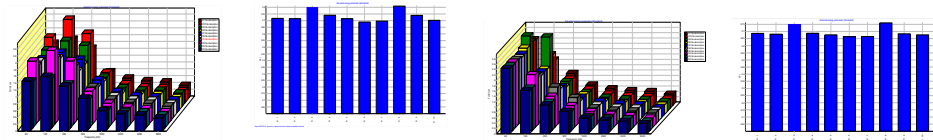
نمودار ۲. چند گوشه خلوت و پلاستر گچ مجوف.

نمودار ۱. چند گوشه خلوت و گچ ساده بر روی توری‌های فلزی (رابیتس).



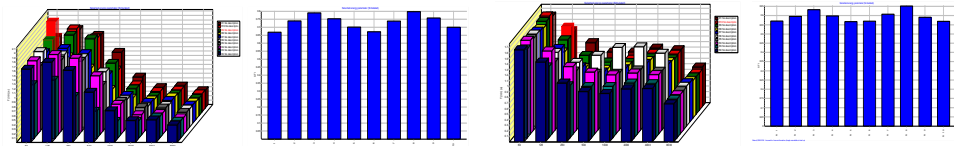
نمودار ۴. چند گوشه خلوت و صفحه‌های چوبی شکاف دار پر شده از پشم معدنی.

نمودار ۳. چند گوشه خلوت و نخته چوبی نازک.



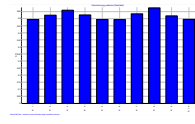
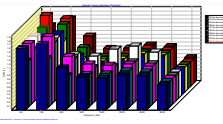
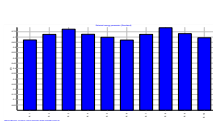
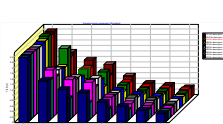
نمودار ۶. چند گوشه خلوت و پشم معدنی.

نمودار ۵. چند گوشه خلوت و فیبرهای سلولوزی.



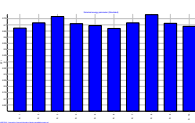
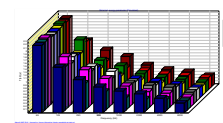
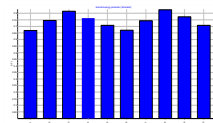
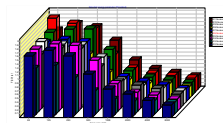
نمودار ۸. احجام سینوسی و پلاستر گچ مجوف.

نمودار ۷. احجام سینوسی و گچ ساده بر روی توری‌های فلزی (رابیتس).



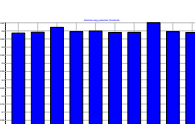
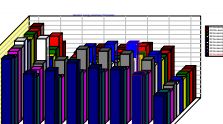
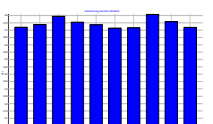
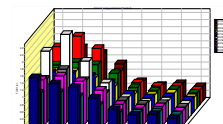
نمودار ۹. احجام سینوسی و تخته چوبی نازک.
شکافدار پر شده از پشم معدنی سلولوزی.

نمودار ۱۰. احجام سینوسی و صفحه‌های چوبی
شکافدار پر شده از پشم معدنی سلولوزی.



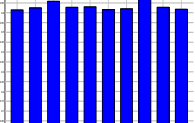
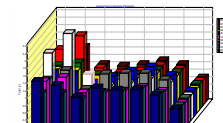
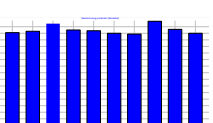
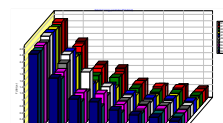
نمودار ۱۱. احجام سینوسی و فیبرهای سلولوزی.

نمودار ۱۲. احجام سینوسی و پشم معدنی.



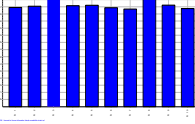
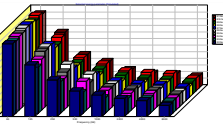
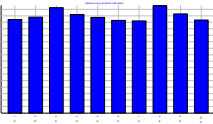
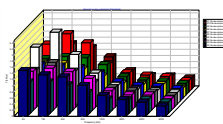
نمودار ۱۳. چند گوشه پرکار و گچ ساده بر روی
توری‌های فلزی (رابیتس).

نمودار ۱۴. چند گوشه پرکار و پلاستر گچ مجوف.



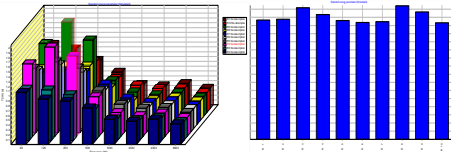
نمودار ۱۵. چند گوشه پرکار و تخته چوبی نازک.
شکافدار پر شده از پشم معدنی.

نمودار ۱۶. چند گوشه پرکار و صفحه‌های چوبی
شکافدار پر شده از پشم معدنی.

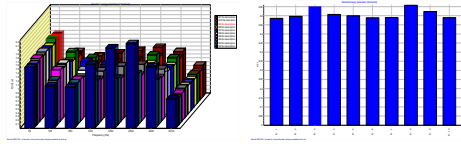


نمودار ۱۷. چند گوشه پرکار و فیبرهای سلولوزی.

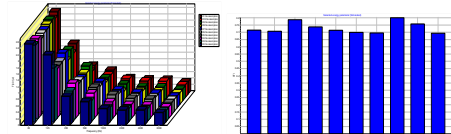
نمودار ۱۸. چند گوشه پرکار و پشم معدنی.



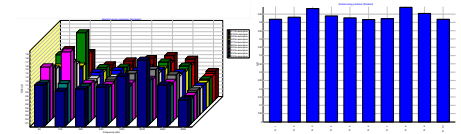
نمودار ۲۰. احجام نرم و پلاستر گچ مجوف.



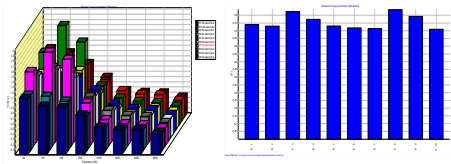
نمودار ۱۹. احجام نرم و گچ ساده بر روی توری‌های فلزی (رایبتس).



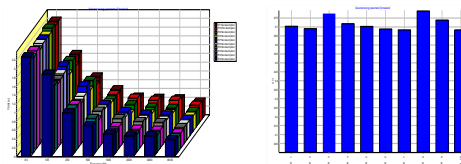
نمودار ۲۲. احجام نرم و صفحه‌های چوبی شکافدار پر شده از پشم معدنی نازک توری‌های فلزی (رایبتس).



نمودار ۲۱. احجام نرم و تخته چوبی نازک نازک.



نمودار ۲۴. احجام نرم و پشم معدنی.



نمودار ۲۳. احجام نرم و فیبرهای سلولوزی.

نتیجه‌گیری

الگوی مرکزی مستطیل شکل به ابعاد ۱۵*۲۷ مترمربع، ارتفاع سقف ۴ متر، کف سرامیک، سه جداره گچی و یک جداره شیشه و پارتیشن بندی ام‌دی‌اف به عنوان عناصر ثابت انتخاب شده است و ترکیب فرم‌های مختلف در سقف و تغییر مصالح در آن به عنوان عناصر متغیر با ۲۴ الگو در نرم افزار اودتون مدل‌سازی شده است.

جدول ۵. مقایسه میانگین شاخص انتقال گفتار در فرکانس‌های مختلف در ۱۰ ایستگاه کاری و ۲۴ نمونه پژوهشی.

میانگین شاخص انتقال گفتار (STI)		میانگین شاخص انتقال گفتار (STI)		میانگین شاخص انتقال گفتار (STI)	
مدل	ردیف	مدل	ردیف	مدل	ردیف
۰.۷۰۵	مدل ۴.۱.۱	۱۳	۰.۵۷۴	مدل ۱.۱.۱	۱
۰.۷۲۲	مدل ۴.۱.۲	۱۴	۰.۵۹۶	مدل ۱.۱.۲	۲
۰.۷۲۴	مدل ۴.۱.۳	۱۵	۰.۶۰۲	مدل ۱.۱.۳	۳
۰.۷۳۲	مدل ۴.۱.۴	۱۶	۰.۶۱	مدل ۱.۱.۴	۴
۰.۶۹۳	مدل ۵.۱.۱	۱۷	۰.۷۲۶	مدل ۲.۱.۱	۵
۰.۷۱۳	مدل ۵.۱.۲	۱۸	۰.۷۳۲	مدل ۲.۱.۲	۶
۰.۷۱۳	مدل ۵.۱.۳	۱۹	۰.۷۴۶	مدل ۲.۱.۳	۷
۰.۷۱۷	مدل ۵.۱.۴	۲۰	۰.۷۵۴	مدل ۲.۱.۴	۸

ردیف	مدل	میانگین شاخص انتقال گفتار (STI)	ردیف	مدل	میانگین شاخص انتقال گفتار (STI)
۹	مدل ۳.۱.۱	۰.۶۰۴	۲۱	مدل ۶.۱.۱	۰.۷۳۳
۱۰	مدل ۳.۱.۲	۰.۶۲	۲۲	مدل ۶.۱.۲	۰.۷۴۲
۱۱	مدل ۳.۱.۳	۰.۶۳۲	۲۳	مدل ۶.۱.۳	۰.۷۵
۱۲	مدل ۳.۱.۴	۰.۶۴	۲۴	مدل ۶.۱.۴	۰.۷۵۶

در نتایج به دست آمده از محاسبات نرم افزار اودتون در جدول شماره ۵ با استناد به شاخص انتقال گفتار بهینه در جدول شماره ۲ ترکیب نرم و مصالح ۲.۱.۴ (احجام نرم و پلاستریج مجوف) و ۶.۱.۳ (چند گوشه پرکار و پشم معدنی) و ۶.۱.۴ (احجام نرم و پشم معدنی) مناسب ترین نتیجه و نزدیکترین رقم به استاندارد را داشته است.

جدول ۶. مقایسه میانگین زمان واخنش در فرکانس های مختلف در ۱۰ ایستگاه کاری و ۲۴ نمونه پژوهشی.

ردیف	هرتز	۶۳	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰
۱	میانگین مدل ۱.۱.۱	۱.۷۷۴	۱.۴۶۶	۱.۲۶۶	۱.۳۲۱	۱.۲۴	۱.۳۹۳	۱.۲۲۹	۰.۷۵۵
۲	میانگین مدل ۱.۱.۲	۱.۶۵۲	۱.۳۵۳	۱.۰۵۳	۰.۹۸۶	۱.۰۰۹	۱.۰۷۸	۱.۰۵	۰.۶۹۸
۳	میانگین مدل ۱.۱.۳	۱.۶۰۱	۱.۲۹۹	۱.۱۲۴	۱.۲۳۲	۱.۲۴۳	۱.۲۸۷	۱.۱۷۴	۰.۷۳۳
۴	میانگین مدل ۱.۱.۴	۱.۵۸۲	۱.۲۰۶	۱.۰۷۶	۱.۱۵۹	۱.۲۲۵	۱.۲۹۶	۱.۱۶۹	۰.۷۳۲
۵	میانگین مدل ۲.۱.۱	۱.۶۴۶	۱.۸۵۶	۱.۵۴۲	۰.۸۸۸	۰.۵۷۲	۰.۵۰۳	۰.۵۳۶	۰.۴۲۷
۶	میانگین مدل ۲.۱.۲	۱.۵۸۴	۱.۶۶۷	۱.۵۱۹	۱.۰۵۱	۰.۶۱۳	۰.۴۶۲	۰.۵۰۱	۰.۴
۷	میانگین مدل ۲.۱.۳	۱.۳۶۲	۱.۴۷۴	۱.۲۴۵	۰.۹۰۹	۰.۵۷۹	۰.۴۸۶	۰.۵۱۷	۰.۴۱۷
۸	میانگین مدل ۲.۱.۴	۱.۲۴۲	۱.۳۴	۱.۱۸۸	۰.۷۶۴	۰.۵۱۱	۰.۴۶۲	۰.۹۱۵	۰.۴۱۱
۹	میانگین مدل ۳.۱.۱	۱.۵۷۷	۱.۸۲۱	۱.۱۲۹	۱.۱۱۸	۱.۱۴۸	۱.۲۴۵	۱.۱۰۲	۰.۷۱۳
۱۰	میانگین مدل ۳.۱.۲	۱.۵۰۵	۱.۵۸۸	۱.۰۵۱	۰.۸۹۳	۰.۹۲۶	۱.۰۲۵	۰.۹۷۴	۰.۶۶۱
۱۱	میانگین مدل ۳.۱.۳	۱.۳۲۴	۱.۴۵۱	۰.۹۹	۱.۰۳۸	۱.۰۷۹	۱.۱۷۱	۱.۰۴۹	۰.۶۸۵
۱۲	میانگین مدل ۳.۱.۴	۱.۲۱۱	۱.۳۲۵	۰.۹۴۹	۰.۹۸۳	۱.۰۴۷	۱.۱۷۷	۱.۰۲۶	۰.۶۸۷
۱۳	میانگین مدل ۴.۱.۱	۲.۸۴۴	۲.۱۸۵	۱.۱۷۲	۰.۸۶۷	۰.۵۸۳	۰.۴۹۸	۰.۴۷۳	۰.۳۸۴
۱۴	میانگین مدل ۴.۱.۲	۲.۳۷۷	۱.۵۶۵	۱.۱۶۱	۱.۰۰۸	۰.۶۴۸	۰.۴۹۲	۰.۴۳۳	۰.۳۴۳
۱۵	میانگین مدل ۴.۱.۳	۲.۴۹۹	۱.۷۶۴	۱.۰۳۱	۰.۸۸۷	۰.۶۰۴	۰.۴۹۲	۰.۴۷	۰.۳۷۳
۱۶	میانگین مدل ۴.۱.۴	۲.۴۷۴	۱.۶۲	۰.۹۶۵	۰.۷۴۹	۰.۵۲۶	۰.۴۶۱	۰.۴۵۳	۰.۳۷۱
۱۷	میانگین مدل ۵.۱.۱	۲.۴۸	۱.۸۶۵	۱.۱۵۳	۰.۷۸۲	۰.۵۷	۰.۴۹۸	۰.۴۶۶	۰.۳۷۹
۱۸	میانگین مدل ۵.۱.۲	۲.۱۷۶	۱.۴۷	۱.۰۳	۰.۸۰۴	۰.۶۱۱	۰.۵۰۷	۰.۴۴۵	۰.۳۳۹
۱۹	میانگین مدل ۵.۱.۳	۲.۲۴۷	۱.۵۹۲	۱.۰۱۶	۰.۷۷۶	۰.۵۷۴	۰.۴۹۶	۰.۴۷۲	۰.۳۶۷
۲۰	میانگین مدل ۵.۱.۴	۲.۲۱۳	۱.۵۰۵	۰.۹۸۷	۰.۶۸۹	۰.۵۱	۰.۴۶۴	۰.۴۵۱	۰.۳۶۹
۲۱	میانگین مدل ۶.۱.۱	۱.۵۹۹	۱.۸۱۵	۱.۵۶۲	۰.۹۰۳	۰.۵۸۲	۰.۴۹۸	۰.۴۷۲	۰.۳۸۳
۲۲	میانگین مدل ۶.۱.۲	۱.۵۵۱	۱.۶۳۱	۱.۵۲۸	۱.۰۷۵	۰.۶۴۵	۰.۵۰۵	۰.۴۳۴	۰.۳۴۲
۲۳	میانگین مدل ۶.۱.۳	۱.۳۸۸	۱.۴۵۳	۱.۲۵۳	۰.۹۲۱	۰.۶۰۲	۰.۴۹۵	۰.۴۷۱	۰.۳۷۳
۲۴	میانگین مدل ۶.۱.۴	۱.۲۱۸	۱.۳۲۱	۱.۲۰۱	۰.۷۷۱	۰.۵۲۳	۰.۴۶۳	۰.۴۵۲	۰.۳۷۱

در نتایج به دست آمده از محاسبات نرم افزار اودتون در جدول شماره ۶ با استناد به زمان واخنش، فرکانس میانی ۵۰۰ هرتز با زمان واخنش بهینه در جدول شماره ۱ مقایسه شده است، که در آن ترکیب فرم و مصالح ۱.۱.۱ (چند گوشه خلوت و گچ ساده بر روی توری های فلزی (رایبتس)) و ۱.۱.۳ (چند گوشه پرکار و گچ ساده بر روی توری های فلزی (رایبتس)) مناسب ترین نتیجه را داشته است.

توصیه های معماری

انتخاب مصالح اولیه بدون مداخلات ثانویه آکوستیک در سقف، مصالحی مانند تایل های آکوستیکی ترکیبی (فیبر معدنی و گچ) دارای توانایی بسیار بالای جذب و ایزوله سازی صداست و برای دستیابی به وضوح گفتار بهترین نتیجه را خواهد داشت.

استفاده از فرم های با تعداد سطوح بالا (پرکار) در هر گونه پر گوشه و بی گوشه (نرم) شرایط آسایش صوتی و حریم خصوصی گفتار و وضوح گفتار را بهینه تر خواهد کرد.

References

- [1] Mirzababalo, R., & Irvani, H. (2022). Architectural Design Principles in the Acoustic Performance of Studios. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 18(4), 363-374. <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.270094.1364>
- [2] 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), 113-126. <https://doi.org/10.48301/kssa.2020.124670>
- [3] Newport, K. (2020). *Deep work : rules for focused success in a distracted world* (M. J. Shiribazneche, Trans.; S. K. H. Attar & S. Hosseini-Attar, Eds. 4 ed.). Shamshad. <https://www.gisoom.com/book/11675667>
- [4] Egan, M. D. (2012). *Acoustics in Architecture*. Yazda. <https://www.gisoom.com/book/1747028/>
- [5] Bozorg, H., & Pakzad, J. (2015). *Alphabet of environmental psychology for designers*. Arman Shahr. <https://www.gisoom.com/book/11142590/>
- [6] Buildingacoustics-ISO/TC43/SC2. (2008). *Acoustics—Measurement of room acoustic parameters—Part 2: Reverberation time in ordinary rooms* (ISO 3382-2:2008). ISO. <https://www.iso.org/standard/36201.html>
- [7] Hemond, K. g. (2001). *Engineering acoustics* (F. Fasihi, Trans.). Soroush. <https://www.gisoom.com/book/1218631>
- [8] Thorne, P. D., Hardcastle, P. J., & Soulsby, R. L. (1993). Analysis of acoustic measurements of suspended sediments. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 98(C1), 899-910. <https://doi.org/10.1029/92JC01855>
- [9] Bureau of National Building Regulations. (2017). *The eighteenth topic of insulation and sound regulation*. Road, Housing and Urban Development Research Center. <https://dejaran.com/download/21/mabhas-18>
- [10] Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2009). *Master handbook of acoustics* (5 ed.). McGraw Hill Professiona. https://books.google.com/books/about/Master_Handbook_of_Acoustics.html?id=6tiJ1cwnwxC
- [11] Groat, L. N., & Wang, D. (2013). *Architectural research methods* (2 ed.). John Wiley & Sons. <https://www.amazon.com/Architectural-Research-Methods-Linda-Groat/dp/0470908556>

- [12] Building acoustics - ISO/TC43/SC2. (1995). *Acoustics—Measurement of sound insulation in buildings and of building elements—Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements* (ISO 140-3:1995). ISO. <https://www.iso.org/standard/3958.html>
- [13] International Electrotechnical Commissio. (2020). *Sound system equipment - Part 16: Objectiverating of speech intelligibility by speech transmission index* (IEC 60268-16:2020). IEC. <https://webstore.iec.ch/publication/26771>
- [14] Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2021). *Master handbook of acoustics* (7 ed.). McGraw Hill Professiona. <https://www.amazon.com/Master-Handbook-Acoustics-Seventh-Everest/dp/1260473597>
- [15] Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation* (2 ed.). McGraw-Hill International Book Company. <https://books.google.com/books?id=Xxi7AAAAIAAJ>