

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Effect of Sound Absorber Design and Installation on Reverberation Time and Speech Quality in a Dental Clinic

Nazanin Safari¹, Alireza Kazemian Talekhooncheh², Arefeh Jafarzadeh Kohneeloo³, Saeed Ahmadi⁴, Gholamreza Moradi^{1*}

¹Department of Occupational Health, School of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

²Department of Safety Engineering, Science and Arts University, Yazd, Iran.

³Department of Statistics and Epidemiology, Faculty of Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

⁴Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

Received: 19-8-2025

Accepted: 23-12-2025

ABSTRACT

Introduction: Exposure to noise is one of the most common harmful factors in the dental profession that can have significant consequences. Unfavorable acoustic conditions of the environment can also worsen the conditions and lead to reduced speech clarity, auditory fatigue, and reduced quality of communication between the doctor and the patient. In this regard, designing effective acoustic interventions can play an important role in improving sound.

Material and Methods: This study was conducted in an academic dental clinic. After measuring the sound pressure level, reverberation time, and speech transmission index, the amount of rock wool absorber required was determined using the Sabin formula. The panels were structurally installed on the clinic walls, and after 24 hours, the sound pressure level, RT60, and STI were measured again, and appropriate statistical tests were used to determine the effect of the intervention.

Results: The results showed that the sound pressure level before and after the panel installation was significantly different and decreased after the intervention (p -value <0.05). The reverberation time at the dominant frequency of 2000 was 0.992 seconds before the intervention and reached 0.599 seconds after the intervention ($p=0.027$, $z=2.207$). The speech transmission index in the center of the room improved from 0.64 and the "average" level to 0.85 and the "excellent" level, indicating an increase in speech clarity.

Conclusion: The acoustic intervention was able to bring the clinic's acoustic indices closer to the recommended ranges. The significant reduction in reverberation time and sound pressure level along with the increase in the speech clarity index indicates the high efficiency of this intervention. Utilizing sound absorbers can be a low-cost and feasible solution to improve acoustic conditions and improve speech communication in dental treatment and educational environments.

Keywords: Acoustic performance, Acoustic design of treatment spaces, Hearing comfort, Dental clinic.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Safari N., Kazemian Talekhooncheh A., Jafarzadeh Kohneeloo A., Ahmadi S., Moradi Gh. Effect of Sound Absorber Design and Installation on Reverberation Time and Speech Quality in a Dental Clinic. *J Health Saf Work.* 2025; 15(4): 823-841.

* Corresponding Author Email: moradig@tbzmed.ac.ir

1. INTRODUCTION

Noise is a common occupational hazard with considerable effects on workers' health. Prolonged exposure to high noise levels can cause hearing loss, auditory fatigue, and other auditory impairments, as well as non-auditory consequences such as reduced speech perception, discomfort, decreased efficiency, and psychological stress. In healthcare settings, although biological and chemical hazards are often prioritized, noise exposure represents a significant yet frequently overlooked risk. Dentistry, despite advances in equipment and clinical techniques, remains a high-risk profession due to continuous exposure to multiple hazards, with noise being particularly prominent.

Dental noise originates primarily from mechanical equipment, including handpieces, air turbines, ultrasonic scalers, suction devices, polishers, amalgamators, compressors, and similar instruments. Additional contributors include human sources, such as conversations and background music, and environmental sources, such as traffic, HVAC systems, plumbing, and electrical equipment. While mechanical noise is generally the dominant factor, other sources can elevate overall background noise, increase stress, and reduce speech intelligibility. In educational clinics, where multiple students and staff operate simultaneously in confined spaces, these effects are intensified, leading to auditory fatigue, impaired communication, and decreased patient comfort.

Key acoustic parameters in dental environments include reverberation time (RT), which represents the duration of sound persistence in a space, and the Speech Transmission Index (STI), a quantitative measure of speech intelligibility ranging from 0 to 1. Excessive RT negatively affects speech clarity, auditory perception, and concentration, while low STI reduces effective communication between clinicians and patients. Traditional clinic designs often prioritize spatial efficiency over acoustic comfort, resulting in high RT and noise leakage between rooms.

Various strategies have been proposed to mitigate noise, including low-noise instruments, architectural optimization, and acoustic absorbers. Among these, absorptive panels are particularly effective in reducing RT and enhancing STI, improving the overall acoustic environment and communication quality. Despite extensive research on noise levels and associated health effects, few studies have investigated engineering interventions

and the effectiveness of acoustic solutions in dental clinics, particularly educational settings.

Therefore, this study aimed to evaluate and improve the acoustic quality of a teaching dental clinic using sound-absorbing panels. Specifically, the impact of this intervention on sound pressure level (SPL), reverberation time (RT60), and speech transmission index (STI) was evaluated.

2. MATERIAL AND METHODS

This applied-experimental study aimed to design and implement acoustic panels in an educational dental clinic to optimize reverberation time (RT) and enhance acoustic quality. The methodology involved measuring baseline acoustic conditions, computational analysis of RT, and designing and positioning suitable absorptive panels.

The study was conducted in a dental clinic measuring $12 \times 6 \times 3$ m. Walls were brick with plaster and paint, the ceiling consisted of acoustic tiles, the floor of stone and ceramic, and partitions of wood and glass. Twelve measurement stations were established to assess sound pressure levels (SPL), with a calibrated Casella CEL450 sound level meter positioned at 1.5 m, corresponding to the seated dentist's ear height. Measurements were taken in two peak activity periods (9–10 a.m. and 5–6 p.m.) for five minutes at each station, and time-averaged SPL (Leq, SPL_TWA) values were recorded.

Reverberation time (RT60) was measured using an MC 3242 acoustic analyzer and MA231-TYPE A microphone following ISO3382-2000, with impulse noise generated by balloon bursts. Measurements were performed at four locations in the room, repeated three times, and averaged. Speech Transmission Index (STI) was assessed according to IEC 60268-16 using a sweep signal from a reference speaker at the source position, with responses recorded at the same four locations. Data were processed with VA-Lab software to calculate STI across 125–4000 Hz. Qualitative STI levels were categorized as excellent, good, medium, weak, or poor.

Target RT was set at 0.6 s to ensure acceptable speech clarity and background noise reduction while avoiding an overly dry environment. Using the Sabine equation, the existing absorption area (A1) was calculated, and the required additional absorption (A2) to achieve the target RT was determined. Commercial rock wool panels (60×120 cm, 5 cm thick, 30 kg/m^3) were selected due to their high broadband absorption, fire resistance, non-toxicity, and environmental sustainability.

Frequency analysis identified dominant frequencies for targeted intervention.

Due to technical and administrative constraints, panels were mounted on side and rear walls at a height aligned with the dentist's seated ear level, ensuring balanced sound absorption without obstructing ventilation or clinical equipment.

After 24 hours, SPL, RT60, and STI were re-measured under comparable clinical conditions. Pre- and post-intervention data were statistically analyzed using paired t-tests or Wilcoxon tests depending on data distribution, with a significance level of 0.05. This approach allowed empirical evaluation of the intervention's effectiveness in reducing reverberation and improving acoustic parameters in the clinic.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The acoustic intervention significantly improved the dental clinic's sound environment. Pre-intervention measurements showed that sound pressure levels (SPL) varied between 65–85 dBA during peak operational periods, indicating high exposure for staff and patients. After installation of absorptive panels, SPL was reduced by 4–6 dBA across all measurement positions, reflecting lower background noise and improved auditory comfort (table1).

Reverberation time (RT60) was also notably

decreased after the intervention (Figure 1). Due to non-normal data distribution ($p < 0.05$), the Wilcoxon signed-rank test was applied, confirming a significant reduction in RT60 ($p = 0.027$, $z = 2.207$). The decrease was observed across all frequency bands, demonstrating effective absorption of reflected sound and reduction of echo within the space.

Speech Transmission Index (STI) values showed substantial improvements in clarity. Measurements were taken at four positions: near dental unit 1, center of the room, near the entrance, and room corner. Background noise levels ranged from 30 to 33 dBA post-intervention. STI values across 125–4000 Hz frequencies increased consistently, raising the overall STI from medium to good and excellent levels. The mean overall STI across all positions reached 0.79 ± 0.03 , reflecting a significant enhancement in speech intelligibility and communication quality, and overall comfort (Table 2).

These results show that the targeted installation of high-performance rock wool panels effectively optimized the acoustic environment of the clinic. By reducing SPL and RT60 and improving STI, speech intelligibility was increased and a more comfortable environment was created for staff and patients. The greatest improvements occurred near active dental units and central locations, where multiple sound sources overlapped.

Table 1: Sound pressure level measurement results

Station	Pre-intervention		post-intervention	
	SPL (9-10 a.m)	SPL (5-6 p.m)	SPL (9-10 a.m)	SPL (5-6 p.m)
1	52	53.1	50	50
2	53.9	54.3	52	52.3
3	56	56.4	54	54.2
4	56.5	56.4	55.1	55
5	58.5	58	57	57.6
6	58	58.1	58	58.3
7	60.1	60.4	58.1	58.4
8	59	59.2	57	57.1
9	58.2	58.6	57	56.8
10	55.5	55	54.2	53.9
11	55	54.9	53	53.1
12	52.5	52.5	50	50.6
p-value	0.000		0.000	
t	8.907		6.511	

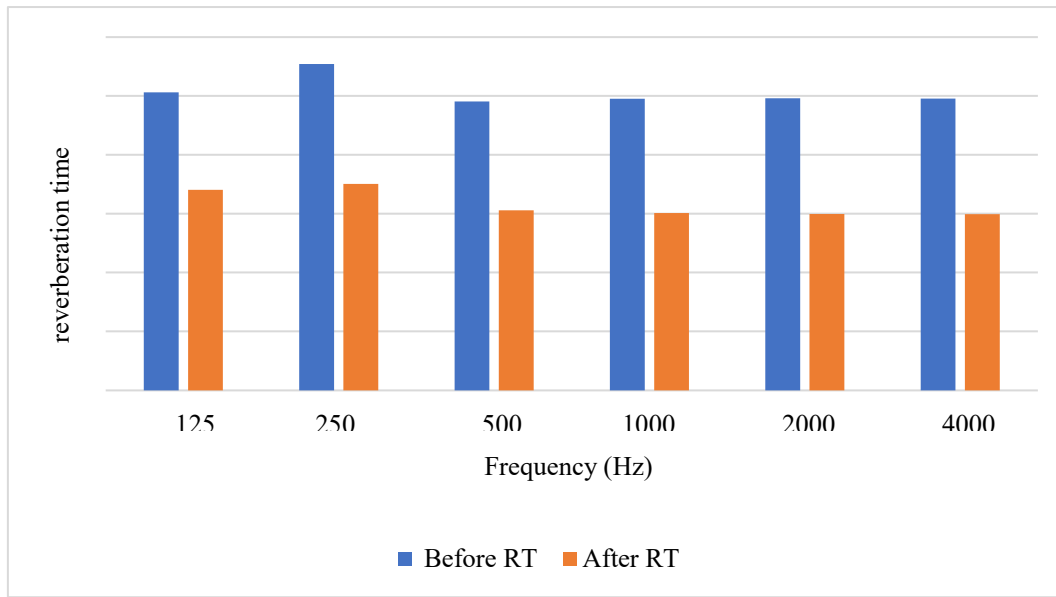


Fig. 1: Comparison of reverberation time before and after acoustic intervention at frequencies from 125 to 4000 Hz

Table 2: Results of measurement of speech transmission index after intervention

Measurement position	Background noise level (dB)	125	250	500	1000	2000	4000	total	Quality
Adjacent to Unit 1	31	0.78	0.81	0.85	0.88	0.90	0.91	0.83	Excellent
Center of the room	32	0.74	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.79	Excellent
Near the entrance	33	0.70	0.73	0.77	0.79	0.82	0.83	0.75	Good
Corner of the room	30	0.72	0.75	0.79	0.81	0.83	0.85	0.77	Excellent
Mean ± SD			0.73±0.04	0.76±0.04	0.80±0.04	0.83±0.04	0.85±0.03	0.86±0.03	Excellent

In summary, this study demonstrates that a carefully designed acoustic intervention can successfully bring the acoustic parameters of dental clinics within the recommended standards. This study provides evidence for the practical and cost-effective use of absorbent panels to improve occupational safety, communication quality and overall comfort in dental teaching and clinical environments.

4. CONCLUSIONS

The results of this study showed that the acoustic intervention using the designed sound absorbers significantly improved the acoustic indicators of the clinic, such that the average sound pressure level (SPL) decreased from a maximum sound pressure level of 60.4 dB (A) to about 58 dB (A) and the reverberation time (RT60) decreased from

0.992 seconds to 0.599 seconds, while the speech intelligibility index (STI) increased from an average of 0.61 at a frequency of 2000 to 0.85. These results indicate improvements in hearing and communication quality. However, limitations such as performing measurements in a single clinic, the possibility of measurement instrument errors, the limitation of installing the absorber on the ceiling, and the lack of long-term monitoring can affect the generalizability of the results. According to the findings, it is suggested that managers and designers of dental clinics use simple and low-cost acoustic interventions in the design or renovation of spaces to improve speech conditions and occupational comfort. It is also recommended that in future studies, in addition to physical indicators, psychological effects such as stress, satisfaction, and auditory fatigue should be investigated, and

acoustic modeling should be used to evaluate different sound-absorbing designs.

5. ETHICAL CODE

The study was conducted in accordance with ethical principles for research involving human participants in occupational environments. Participation was voluntary, measurements were non-in-

vasive, and no personal or identifiable data were collected. All procedures ensured the safety and comfort of staff and patients throughout the study.

6. FUNDING

This study was conducted as part of a Master's thesis at Tabriz University of Medical Sciences and received no external funding.

اثر طراحی و نصب جاذب صوتی بر زمان بازآوایی و کیفیت گفتار در کلینیک دندانپزشکی

نازنین صفری^۱، علیرضا کاظمیان طالخونچه^۲، عارفه جعفرزاده کهنلو^۳، سعید احمدی^۴، غلامرضا مرادی^{۱*}

^۱گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران.
^۲گروه مهندسی ایمنی، دانشکده فنی-مهندسی، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران.
^۳گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران.
^۴گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲

چکیده

مقدمه: مواجهه با صدا یکی از شایع‌ترین عوامل زیان‌آور در حرفه دندانپزشکی است که می‌تواند پیامدهای قابل توجهی داشته باشد. شرایط آکوستیکی نامطلوب محیط نیز می‌تواند شرایط را بدتر کرده و منجر به کاهش وضوح گفتار، خستگی شنوایی و کاهش کیفیت ارتباط میان پزشک و بیمار شود. در این راستا، طراحی مداخلات آکوستیکی مؤثر می‌تواند نقش مهمی در بهبود صوتی ایفا کند.

روش کار: این پژوهش به صورت تجربی در یک کلینیک دندانپزشکی دانشگاهی انجام شد. پس از اندازه‌گیری تراز فشار صوت، زمان بازآوایی (RT₆₀) و شاخص انتقال گفتار (STI)، مقدار جاذب پشم سنگ مورد نیاز با فرمول سابین تعیین شد. پنل‌ها به صورت سازه‌ای بر روی دیوارهای کلینیک نصب شد و پس از گذشت ۲۴ ساعت، مجدداً تراز فشار صوت، RT₆₀ و STI اندازه‌گیری و جهت تعیین تاثیر مداخله از آزمون‌های آماری مناسب استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد تراز فشار صوت قبل و بعد از نصب پنل تفاوت معناداری دارد و پس از اجرای مداخله کاهش یافته است ($p\text{-value} < 0/05$). زمان بازآوایی در فرکانس غالب ۲۰۰۰ قبل از مداخله ۰/۹۹۲ ثانیه بود و پس از اجرای مداخله به ۰/۵۹۹ ثانیه رسید ($p=0/027, z=2.207$). در رابطه با شاخص انتقال گفتار نیز در مرکز اتاق از ۰/۶۴ و سطح «متوسط» به ۰/۸۵ و سطح «عالی» ارتقا پیدا کرد که نشان دهنده افزایش وضوح گفتار است.

نتیجه‌گیری: طراحی هدفمند مداخله صوتی، توانست شاخص‌های آکوستیکی کلینیک را به محدوده‌های توصیه‌شده نزدیک کند و کیفیت شنیداری فضا را بهبود بخشد. کاهش محسوس زمان بازآوایی و تراز فشار صوت همراه با افزایش شاخص وضوح گفتار بیانگر کارایی بالای این مداخله است. یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از جاذب‌های صوتی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار عملی، کم‌هزینه و قابل اجرا برای ارتقای شرایط آکوستیکی و بهبود ارتباط گفتاری در محیط‌های درمانی و آموزشی دندانپزشکی به کار گرفته شود و در بهبود تمرکز، رضایت و کارایی نقش مؤثری داشته باشد.

کلمات کلیدی: عملکرد آکوستیکی، طراحی صوتی فضاهای درمانی، آسایش شنیداری، کلینیک دندانپزشکی

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: moradig@tbzmed.ac.ir

مقدمه

از تجهیزات مختلف، منجر به انتشار سطوح بالای صدا در یک فضای محدود می‌شود (۹،۸).

انواع منابع صوتی در فضای دندانپزشکی را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم نمود. گروه اول صداهایی است که توسط تجهیزات دندانپزشکی تولید می‌شود. به عبارتی صداهای مکانیکی که عمدتاً از ابزارهای دندانپزشکی، از جمله هندپیس‌ها، توربین‌های هوا، جرم‌گیرهای اولتراسونیک، دستگاه‌های ساکشن، ابزارهای پولیش، آمالگام‌تورها، ویراتورها، کمپرسورهای هوایی و ... ناشی می‌شوند و به طور قابل توجهی در ناراحتی بیمار و خطرات شنوایی شغلی نقش دارند (۱۱،۱۰،۵،۱). گروه دوم خود شامل سه منبع صداهای خارجی مانند صدای ترافیک و کارهای جاده‌ای در حال انجام (۷)، صداهای انسانی شامل گفتگوی بیماران، ارتباط کارکنان، موسیقی پس‌زمینه و ... (۱۲،۱۰) و صدای ناشی از زیرساخت‌های ساختمان شامل سیستم‌های تهویه مطبوع، لوله‌های آب و تجهیزات الکتریکی هستند (۱۳-۱۵). در این میان، صدای تولید شده توسط توربین‌های هوا با تولید تراز صدایی بیشتر از ۸۵ دسی بل (A) از مهم‌ترین منابع صوتی بشمار می‌روند (۷). این منابع صوتی می‌توانند سطوحی از فشار صوت در محدوده ۶۶ تا ۹۱ دسی بل (A) تولید کنند که در مواردی فراتر از حدود مجاز تعیین‌شده توسط سازمان‌های بهداشت حرفه‌ای از جمله OSHA^۱ است (۱۶).

بسیاری از مطالعات قبلی گزارش داده‌اند که میزان سر و صدا در محیط‌های دندانپزشکی عمدتاً بالاتر از ۶۵ دسی بل (A) بوده و حتی به ۹۹ دسی بل (A) نیز رسیده است، در حالی که برخی مطالعات میزان سر و صدای کمتری را تقریباً از ۵۵ دسی بل (A) تا ۶۵ دسی بل (A) گزارش کرده‌اند، استاندارد ISO 7785:199716 نیز پیشنهاد می‌کند که سطح صدای تولید شده توسط تجهیزات دندانپزشکی باید زیر ۶۵ دسی بل باشد و هرگز نباید از ۸۰ دسی بل تجاوز کند (۱۷-۱۹). با این حال، در شرایط عملی، به‌ویژه هنگام استفاده از تجهیزات مستعمل یا در فضاهایی با طراحی آکوستیکی نامناسب،

سر و صدا یکی از شایع‌ترین عوامل فیزیکی زیان‌آور در محیط‌های کاری است که می‌تواند پیامدهای قابل توجهی بر سلامت شاغلان داشته باشد. مواجهه شغلی طولانی مدت با سطوح بالای صدا منجر به بروز کاهش شنوایی می‌شود (۱). بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت، حدود ۱۶ درصد از موارد کاهش شنوایی در بزرگسالان ناشی از مواجهات شغلی با صدا است (۲). Karki و همکاران (۲۰۲۴) نیز آلودگی صوتی را باعث ایجاد مشکلات سلامتی مختلفی دانستند و انجام اقداماتی برای کاهش آن به منظور محافظت از سلامت عمومی را ضروری تلقی کردند (۳). اثرات سر و صدا را می‌توان به دو دسته شنوایی و غیرشنوایی تقسیم کرد؛ اثرات شنوایی شامل خستگی شنیداری و اختلالات موقت یا دائمی شنوایی است، در حالی که اثرات غیرشنوایی می‌تواند موجب اختلال در درک گفتار، ایجاد ناراحتی، کاهش کارایی و حتی آسیب‌های روانی شود (۴).

در محیط‌های مراقبت درمانی، اگرچه معمولاً تمرکز اصلی بر خطرات بیولوژیکی و شیمیایی است، اما مواجهه با صدا نیز یک ریسک مهم و گاه نادیده‌گرفته‌شده محسوب می‌شود. حرفه دندانپزشکی، حتی با وجود پیشرفت‌های فناوری در تجهیزات و رویکردهای نوین، همچنان در زمره مشاغل پرخطر از نظر مواجهات شغلی قرار دارد. دندانپزشکان و کارکنان این مراکز به طور مداوم در معرض طیفی از عوامل زیان‌آور از جمله صدا، ارتعاش، پرتوهای یونیزان، شرایط ارگونومیک نامناسب، مواد شیمیایی و بیولوژیکی و نور نامناسب قرار می‌گیرند (۵). در میان این عوامل، مواجهه با صدا جایگاه ویژه‌ای دارد، زیرا ماهیت عملکرد تجهیزات دندانپزشکی و طراحی فیزیکی کلینیک‌ها به‌طور ذاتی با تولید سطوح بالای صدا همراه است (۶،۷). وجود سطوح سخت و بازتابنده، فضاهای نیمه‌باز و تجهیزات متعدد در این مکان‌ها شرایط آکوستیکی را نامناسب‌تر می‌کند. این مسئله در محیط‌های آموزشی و دانشکده‌های دندانپزشکی حادتر است، زیرا هم‌زمانی فعالیت تعداد زیادی دانشجو و استفاده مکرر

1. Occupational Safety and Health Administration

به صدا و ویژگی‌های طیفی گفتار قرار دارد. ارزیابی کمی وضوح گفتار معمولاً با شاخص انتقال گفتار (STI) انجام می‌شود که عددی بین ۰ تا ۱ است و هر چه به ۱ نزدیکتر باشد نشان دهنده وضوح گفتار بهتر است (۲۸-۳۰). در محیط‌های دندانپزشکی، وجود تجهیزات پرخدا و انجام هم‌زمان چندین فعالیت درمانی می‌تواند وضوح گفتار را کاهش دهد و کیفیت ارتباط را مختل کند، به ویژه در کلینیک‌های آموزشی دانشگاهی که اطمینان از انتقال مؤثر اطلاعات گفتاری میان استاد، دانشجو و بیمار از اهمیت بالایی برخوردار است.

برای کنترل این شرایط، راهکارهای گوناگونی شامل استفاده از تجهیزات کم‌صدا، گوشی‌های حفاظت شنوایی و بهینه‌سازی طراحی فضا پیشنهاد شده است. در میان روش‌های بهینه‌سازی فضا، استفاده از جاذب‌های صوتی نقش کلیدی در کاهش زمان بازآوایی و ارتقای وضوح گفتار ایفا می‌کنند و می‌توانند کیفیت آکوستیکی محیط‌های بالینی را به طور چشمگیری بهبود بخشند (۳۱). با وجود اهمیت این مسئله، بیشتر مطالعات گذشته تنها به سنجش سطح فشار صوت یا بررسی اثرات بهداشتی صدا پرداخته‌اند (۳۲،۳۳،۳۴،۳۵) و پژوهش‌های اندکی بر مداخلات مهندسی متمرکز بوده‌اند. اقداماتی مانند تعویض یا سرویس تجهیزات پرخدا و استفاده از موسیقی زمینه مطرح شده‌اند، اما این روش‌ها بهبود معناداری در شاخص‌های آکوستیکی محیط ایجاد نکرده‌اند (۳۴-۳۶). در حالی که در مبانی نظری طراحی آکوستیک فضا و استفاده از جاذب‌های صوتی و اصلاح ویژگی‌های معماری مؤثرترین راهکار برای بهبود کیفیت صوتی شناخته شده است (۳۷،۳۹). لذا با توجه به اهمیت این موضوع، پژوهش حاضر به بررسی اثربخشی بکارگیری جاذب صوتی بر کاهش زمان بازآوایی و بهبود شاخص‌های آکوستیکی در یک فضای درمانی-آموزشی پرداخته است.

روش کار

این مطالعه کاربردی-تجربی با هدف بهینه‌سازی زمان

4. Speech Transmission Index

این مقادیر می‌توانند به‌طور قابل توجهی بالاتر روند. در چنین شرایطی، کیفیت صوتی محیط دچار افت می‌شود و این امر نه تنها بر سلامت شنوایی کارکنان، بلکه بر کیفیت ارتباط، تمرکز پرسنل و آسایش بیماران نیز تأثیر منفی می‌گذارد (۲۰،۷).

اختلالات شنوایی مانند کم‌شنوایی ناشی از سر و صدا (NIHL)، وزوز گوش و آسیب شنوایی از اثرات مضر رایج مواجهه طولانی مدت با سر و صدا در محیط‌های دندانپزشکی هستند (۲۰-۲۲). با این حال، محققان موافقند که میزان سر و صدا در مطب دندانپزشکی به اندازه‌ای زیاد است که می‌تواند اثرات منفی غیرشنوایی دیگری مانند ناراحتی، اضطراب، تداخل در مکالمه، مشکل در تمرکز، خستگی و سردردهای تنشی ایجاد کند (۲۱،۱۷). به عنوان مثال در بیماران ترس یا اضطراب ناشی از سر و صدای تولید شده در کلینیک دندانپزشکی، سومین دلیل برای اجتناب از مراجعه به دندانپزشک است (۲۳،۲۱). لذا بهبود شرایط آکوستیکی در این فضاها نه تنها به حفاظت از سلامت شنوایی کارکنان کمک می‌کند، بلکه می‌تواند اضطراب بیماران را کاهش داده، کیفیت ارتباط درمانگر-بیمار را ارتقا بخشد و در نهایت اثربخشی فرآیند درمان را بهبود دهد.

یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی کیفیت محیط، زمان بازآوایی (RT^2) است که بیانگر مدت زمان کاهش ۶۰ دسی بلی صوت پس از قطع منبع است و ارتباط مستقیمی با وضوح گفتار، درک شنیداری و سطح صدای زمینه دارد (۲۴). زمان بازآوایی بهینه در محیط‌های درمانی ۰/۴ الی ۰/۶ ثانیه بیان شده است (۲۵). شواهد میدانی نشان می‌دهد بسیاری از کلینیک‌های دندانپزشکی به دلیل اولویت دادن کارایی فضا بر راحتی آکوستیک با سطوح بالای زمان بازآوایی مواجه هستند (۲۷،۲۶،۲۱).

پارامتر مهم دیگر، وضوح گفتار^۲ است که بیانگر میزان درک صحیح شنونده از گفتار گوینده می‌باشد و به شدت تحت تأثیر زمان بازآوایی، صدای زمینه، نسبت سیگنال

1. Noise-induced hearing loss
2. Reverberation Time
3. Speech Intelligibility

در باندهای فرکانسی ۱۲۵ تا ۴۰۰۰ هرتز با استفاده از دستگاه آنالایزر آکوستیکی مدل MC 3242 و میکروفن ISO3382-2000 MA231-TYPE A مطابق با استاندارد و با روش Impulse Noise (ایجاد پالس صوتی با ترکیدن بالن در مرکز اتاق) و Engineering Method اندازه‌گیری شد (۳۹). در هر سناریو، منبع صوتی در موقعیت مرکزی اتاق و میکروفون در چهار موقعیت مختلف (مرکز، گوشه‌ها، مجاورت یونیت‌ها و ورودی) با ارتفاع ۱/۲ متر از کف قرار گرفت. در هر موقعیت سه بار اندازه‌گیری انجام شد و میانگین نتایج به‌عنوان مقدار RT60 گزارش گردید. همچنین شاخص انتقال گفتار (STI) مطابق استاندارد IEC 60268-16 با تولید سیگنال sweep توسط بلندگوی مرجع در موقعیت منبع گفتار (مرکز اتاق) و ضبط پاسخ با میکروفون کالیبره شده در همان چهار موقعیت فوق در اندازه‌گیری شد (۴۰). سطح سیگنال تست ۷۵ دسی بل (A) تنظیم شد و سطح صدای پس زمینه نیز ثبت گردید. پردازش داده‌ها در نرم‌افزار VA-Lab و ماژول STI با تابع انتقال مدولاسیون انجام شد و مقادیر STI در باندهای ۱۲۵ تا ۴۰۰۰ هرتز محاسبه گردید. جهت بررسی کیفی داده‌های شاخص انتقال گفتار نیز از دسته بندی ارائه شده در استاندارد IEC 60268-16 استفاده شد که عبارتند از:

- مقدار ۰/۷۵ الی ۱ : عالی
- مقدار ۰/۶ الی ۰/۷۵ : خوب
- مقدار ۰/۴۵ الی ۰/۶ : متوسط
- مقدار ۰/۳ الی ۰/۴۵ : ضعیف
- مقدار ۰/۰ الی ۰/۳ : بد (۴۱).

در شکل ۱ تجهیزات و فرایند اندازه‌گیری شاخص‌های بیان شده، نشان داده شده است.

محاسبه مقدار جاذب صوتی مورد نیاز

با توجه به استانداردهای بین‌المللی و توصیه‌نامه‌های آکوستیکی برای محیط‌های درمانی و همچنین ماهیت آموزشی فضای مورد مطالعه، زمان بازآوایی هدف برابر ۰/۶ ثانیه تعیین شد (۲۵). این مقدار، سطح قابل قبولی

بازآوایی و ارتقاء کیفیت آکوستیکی فضا با بکارگیری جاذب‌های صوتی در یک کلینیک دندانپزشکی آموزشی، با کد اخلاق IR.TBZMED.REC.1402.441 انجام گرفت. روش پژوهش بر پایه اندازه‌گیری شرایط آکوستیکی موجود، تحلیل محاسباتی زمان بازآوایی و طراحی و جانمایی جاذب صوتی مناسب تدوین شد.

محل مورد مطالعه

فضای مورد بررسی کلینیک دندانپزشکی دانشکده دندانپزشکی بود که دارای ۱۲ متر طول و ۶ متر عرض و ارتفاع متوسط سقف ۳ متر بود. ساختار دیوارهای اصلی اتاق از آجر تشکیل شده بود که یک لایه گچی و رنگ داشت. سقف از جنس سقف کاذب تایل آکوستیکی، کف از سنگ و کاشی و پارتیشن‌های جداکننده از چوب و شیشه تشکیل شده بودند.

اندازه‌گیری تراز فشار صوت، زمان بازآوایی اولیه و شاخص STI

برای سنجش وضعیت اولیه آکوستیکی، با توجه به مساحت کلینیک، تعداد ۱۲ ایستگاه اندازه‌گیری تراز فشار صوت تعیین شد. سپس مطابق استاندارد ISO9612 و با استفاده از صداسنج آنالیزوردار Casella cell450 کالیبره شده، تراز فشار صوت در مرکز ایستگاه‌های تعیین شده و در ارتفاع شنوایی دندانپزشکان در حالت نشسته (۱/۲ متر) و در شبکه وزنی A-weighting و با زمان پاسخ‌دهی Slow اندازه‌گیری شد (۳۸). در هر ایستگاه، ثبت داده‌ها به مدت ۵ دقیقه انجام گرفت و مقادیر Leq و SPL_TWA به‌طور خودکار توسط دستگاه محاسبه شد. سپس میانگین زمانی هر ایستگاه گزارش شد. لازم به ذکر است اندازه‌گیری‌ها در دو بازه زمانی با بیشترین تراکم کاری کلینیک (۹ تا ۱۰ صبح و ۵ تا ۶ عصر) انجام شد. در این بازه‌ها بیشترین تعداد بیماران و استفاده همزمان از تجهیزات پرصدا وجود داشت. برای اطمینان از قابلیت مقایسه، در مراحل قبل و بعد از مداخله، شرایط کاری، تعداد یونیت‌های فعال و حضور پرسنل مشابه بود. از طرفی زمان بازآوایی (RT60)



شکل ۱: ست دستگاه آنالیزور آکوستیکی مورد استفاده و نمونه ای از انجام تست زمان بازآوایی

در نهایت باتوجه به ضریب جذب جاذب انتخابی در فرکانس قطع و ابعاد هر پنل، تعداد پنل مورد نیاز تعیین گردید. در این مطالعه برای بهبود شرایط آکوستیکی از پنل‌های جاذب صوتی بر پایه پشم سنگ استفاده شد. این متریال از الیاف تهیه شده از گونه ای سنگ آذرین به نام بازالت ساخته می شود و به دلیل ساختار متخلخل خود دارای ضریب جذب صوتی بالا در بازه فرکانسی وسیع از جمله محدوده فرکانس‌های گفتار است و از نظر مقاومت در برابر آتش، دوام، دسترسی و هزینه نیز مزیت‌های قابل توجهی دارد. همچنین به دلیل منشاء طبیعی آن، ردپای کربن را کاهش می‌دهد. هرچند برخی ملاحظات زیست‌محیطی و بهداشتی در مورد آن مطرح شده است، اما در این پژوهش از پنل‌های روکش‌دار استفاده شد تا احتمال انتشار ذرات به حداقل برسد و استفاده ایمن در محیط کلینیک تضمین شود. با توجه به این ویژگی‌ها، پشم سنگ گزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه و کارآمد برای مداخله آکوستیکی در فضاهای دندانپزشکی به شمار آمد (۴۳،۴۴). نمونه تجاری پنل ۶۰ در ۱۲۰ سانتی متری پشم سنگ با چگالی 30 kg/m^3 و ضخامت ۵ سانتی متر استفاده شد که ضریب جذب آن توسط سازنده ارائه شده است (جدول ۱).

جانمایی و نصب

با توجه به محدودیت‌های فنی و اداری موجود در فضای

از وضوح گفتار و کاهش صدای پس‌زمینه را برای فضای آموزشی-درمانی تضمین می‌کند. ضمن اینکه از ایجاد محیط بسیار خشک جلوگیری کرده و همپوشانی برای صدهای لحظه ای ایجاد می کند. سپس با استفاده از معادله سابین (فرمول ۱) و مقادیر زمان بازآوایی اندازه گیری شده با دستگاه، سطح جذبی کلینیک قبل از مداخله (A_1) در هر فرکانس محاسبه شد (۴۲).

$$RT = \frac{0.16V}{A} \rightarrow A = \frac{0.16V}{RT} \quad (1)$$

که در این فرمول:

RT: زمان بازآوایی بر حسب ثانیه

V: حجم اتاق بر حسب متر مکعب

A: سطح جذبی بر حسب متر مربع است.

در ادامه با در نظر گرفتن زمان بازآوایی هدف، سطح جذبی کل مورد نیاز (A_1) محاسبه شد، که با کم کردن مقدار سطح جذبی قبل از مداخله از مقدار کل، سطح جذبی مورد نیاز از جاذب (A_2) تعیین شد.

$$A_2 = A_t - A_1 \quad (2)$$

که در این فرمول:

A_2 : سطح جذبی مورد نیاز از جاذب

A_1 : سطح جذبی قبل از مداخله از فرمول سابین

At: سطح جذبی کل باتوجه به زمان هدف ۰/۶ ثانیه

است.

جدول ۱: ضریب جذب پشم سنگ با چگالی 30 kg/m^3 و ضخامت ۵ سانتی متر در فرکانس ۱۲۵-۴۰۰۰ هرتز (سازنده)

فرکانس (HZ)	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰
ضریب جذب پشم سنگ	۰/۲۶	۰/۶۰	۰/۹۹	۱/۰۶	۱/۰۷	-

جدول ۲: نتایج اندازه گیری تراز فشار صوت قبل از مداخله

ایستگاه	تراز فشار صوت (SPL) صبح	تراز فشار صوت (SPL) عصر
۱	۵۲	۵۳/۱
۲	۵۳/۹	۵۴/۳
۳	۵۶	۵۶/۴
۴	۵۶/۵	۵۶/۴
۵	۵۸/۵	۵۸
۶	۵۸	۵۸/۱
۷	۶۰/۱	۶۰/۴
۸	۵۹	۵۹/۲
۹	۵۸/۲	۵۸/۶
۱۰	۵۵/۵	۵۵
۱۱	۵۵	۵۴/۹
۱۲	۵۲/۵	۵۲/۵
میانگین	$56/2 \pm 26/59$	$56/2 \pm 40/50$

تعیین تاثیر مداخله انجام شده

به منظور ارزیابی اثربخشی مداخله، تراز فشار صوت، زمان بازآوایی و شاخص انتقال گفتار مجدداً پس از استقرار کامل پنل ها و گذشت ۲۴ ساعت، اندازه گیری شد و مقادیر به دست آمده با استفاده از آزمون های آماری مناسب (مانند آزمون t زوجی در صورت نرمال بودن داده ها یا آزمون ویلکاکسون در صورت توزیع غیر نرمال) مورد مقایسه قرار گرفتند (سطح معناداری ۰/۰۵).

یافته ها

توصیف شرایط آکوستیکی پیش از مداخله

همانطور که در بخش قبل بیان شد، اندازه گیری تراز فشار صوت با دستگاه صداسنج در شبکه وزنی A انجام شد که نتایج آن در جدول ۲ بیان شده است. بیشترین

کلینیک، امکان اجرای پنل های جاذب صوتی روی سقف وجود نداشت. در نتیجه، مداخله آکوستیکی به گونه ای طراحی شد که پنل ها به صورت سازه ای بر روی دیوارهای جانبی و عقبی کلینیک نصب شوند. این پنل ها در ارتفاعی قرار گرفتند که مرکز آن ها حدود ۱/۲ متر از سطح زمین و هم تراز با محل قرارگیری گوش دندان پزشک در وضعیت نشسته بود (محل بازتاب اولیه) (۴۵). این روش نصب، علاوه بر محافظت از زیر ساخت های ثابت ساختمان، امکان جابجایی آسان در آینده را نیز فراهم می کرد. همچنین موقعیت یابی پنل ها به گونه ای انجام شد که عملکرد سیستم تهویه دچار اختلال نشود و دسترسی کامل به تجهیزات درمانی حفظ گردد. جانمایی نهایی با هدف توزیع متوازن جذب صدا در محیط و کاهش بازتاب های صوتی مزاحم، به ویژه بازتاب های مستقیم و موازی، انجام گرفت.

جدول ۳: نتایج زمان بازآوایی و سطح جذبی در فرکانس های ۱۲۵-۴۰۰۰ هرتز قبل از مداخله

فرکانس (HZ)	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰
زمان بازآوایی با دستگاه (S)	۱/۰۱۲	۱/۱۰۸	۰/۹۸۱	۰/۹۹۰	۰/۹۹۲	۰/۹۹۱
سطح جذبی اتاق (m ²)	۳۴/۱۵	۳۱/۱۹	۳۵/۲۲	۳۴/۷۳	۳۴/۸۳	۳۴/۸۷

جدول ۴: نتایج اندازه گیری شاخص STI قبل از مداخله در فرکانس های ۱۲۵-۴۰۰۰ هرتز

موقعیت اندازه گیری	سطح صدای زمینه (dBA)	۱۲۵ هرتز	۲۵۰ هرتز	۵۰۰ هرتز	۱۰۰۰ هرتز	۲۰۰۰ هرتز	۴۰۰۰ هرتز	کل STI	کیفیت
کنار یونیت ۱	۳۳	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵۷	متوسط
مرکز اتاق	۳۲	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۵۸	متوسط
نزدیک ورودی	۳۳	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۶۲	۰/۵۴	متوسط
گوشه اتاق	۳۴	۰/۵۰	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۵۶	متوسط
میانگین \pm SD									
۰/۰۴ \pm ۰/۵۰									

به سطح جذبی اولیه در این فرکانس (۳۴/۸۳ مترمربع)، ۲۲/۷۷ متر مربع سطح جذبی اضافه مورد نیاز است. ضریب جذب پشم سنگ در این فرکانس ۱/۰۷ است، لذا ۲۱/۳ متر مربع جاذب مورد نیاز است و با در نظر گرفتن ابعاد ۶۰ در ۱۲۰ سانتی متر هر پنل (۰/۷۲ مترمربع)، تعداد ۲۹ پنل مورد نیاز است که تهیه شده و در محیط کلینیک نصب شده است (شکل ۳).

ارزیابی مجدد پس از مداخله

پس از نصب پنل های جاذب و گذشت ۲۴ ساعت جهت پایداری شرایط محیط، همانند مرحله قبل از مداخله، تراز فشار صوت در محیط ثبت گردید که در جدول ۵ ذکر شده است.

برای مقایسه نتایج صداسنجی قبل و بعد از نصب پنل های جاذب، با توجه به نرمال بودن داده ها (آزمون کلموگروف-اسمیرنوف)، از آزمون تی زوجی استفاده شده است و نتایج نشان می دهد که تراز فشار صوت قبل و بعد از نصب پنل تفاوت معناداری دارد و پس از اجرای مداخله کاهش یافته است ($p\text{-value} < 0/05$). همچنین زمان بازآوایی (RT60) نیز پس از مداخله

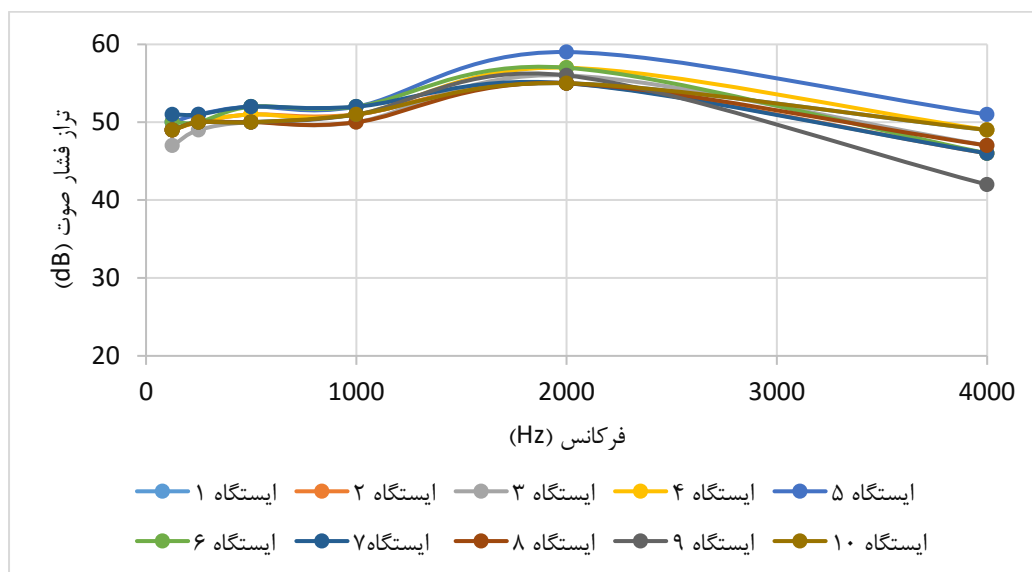
تراز فشار صدای ثبت شده قبل از مداخله، در شیفیت صبح ۶۰/۱ دسی بل و در شیفیت عصر ۶۰/۴ دسی بل است که از تراز فشار صوت استاندارد برای ۸ ساعت مواجهه شغلی دندانپزشکان و پرسنل (۸۵ دسی بل) کمتر است. اما به عنوان تراز فشار صوت مجاز در فضاهای درمانی، مطابق استاندارد ذکر شده در مقررات ایران (۴۰ دسی بل) بیشتر است (۴۶).

مقادیر ضریب جذب اتاق قبل از مداخله نیز از طریق فرمول های بیان شده در بخش قبلی و حجم اتاق ۲۱۶ متر مکعب محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۳ ذکر شده است.

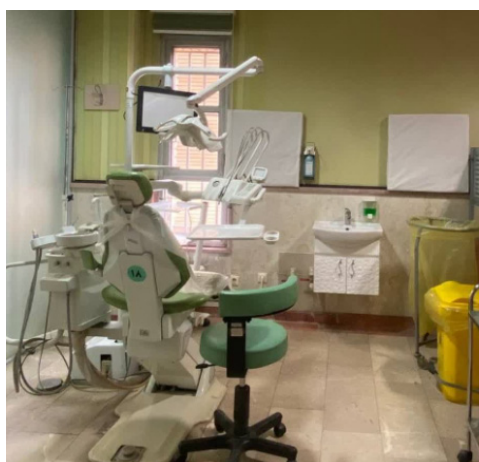
نتایج شاخص انتقال گفتار نیز که در ۴ نقطه اندازه گیری شده در جدول ۴ ذکر شده است.

اجرای مداخله و نصب جاذب های صوتی

برای محاسبه مقدار جاذب مورد نیاز، ابتدا سطح جذبی بر اساس زمان بازآوایی هدف یعنی ۰/۶ ثانیه، محاسبه شد که ۵۷/۶ متر مربع سطح جذبی مورد نیاز است. از طرفی با توجه به آنالیز فرکانسی انجام شده فرکانس غالب ۲۰۰۰ هرتز تعیین شد (شکل ۲) و با توجه



شکل ۲: نتایج آنالیز فرکانسی جهت تعیین فرکانس غالب



شکل ۳: اجرای مداخله نصب جاذب صوتی در کلینیک مدنظر

توجه مداخله بر متغیر مورد بررسی است. از طرفی نتایج اندازه گیری شاخص انتقال گفتار پس از مداخله نیز در جدول ۷ ذکر شده است که نشان دهنده افزایش کیفیت و وضوح گفتار از دسته متوسط به عالی و خوب است. به طور کلی نتایج نشان داد که طراحی هدفمند مداخله با بهره‌گیری از جاذب‌های مناسب، توانسته است محیط آکوستیکی را به شرایط توصیه‌شده برساند.

اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۶ و شکل ۴ قابل مشاهده است و کاهش تا محدوده هدف یعنی ۰/۶ ثانیه را نشان می‌دهد که موید اثرگذاری مطلوب مداخله است.

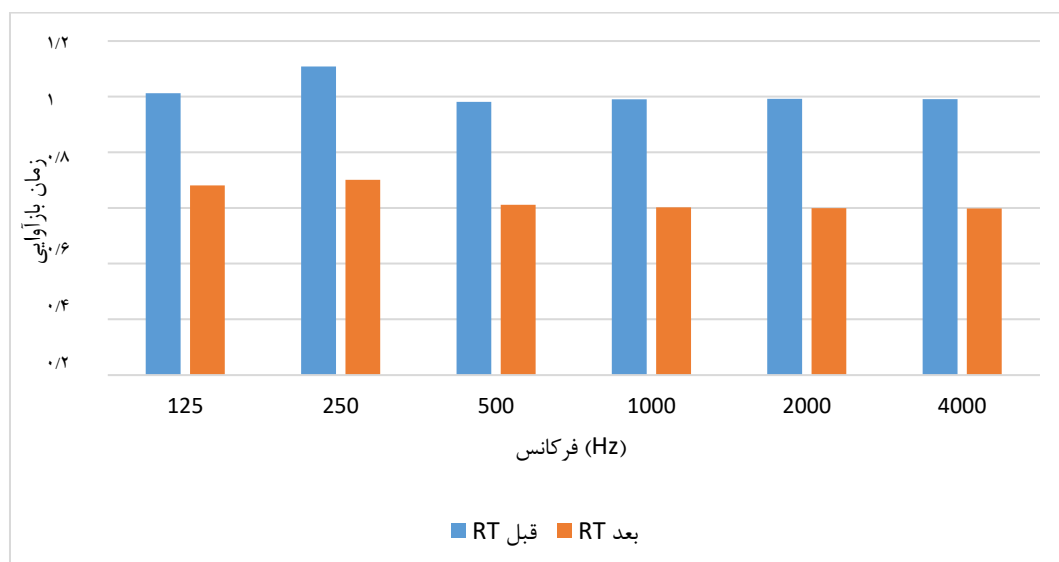
جهت مقایسه زمان بازآوایی قبل و بعد از مداخله، باتوجه به نرمال نبودن داده‌ها ($p\text{-value} < 0/05$)، از آزمون ویلکاکسون استفاده شد که اختلاف معناداری را نشان می‌دهد ($p=0/027$, $z= 2.207$) که بیانگر اثر قابل

جدول ۵: نتایج اندازه گیری تراز فشار صوت بعد از مداخله

ایستگاه	تراز فشار صوت (SPL) صبح	تراز فشار صوت (SPL) عصر
۱	۵۰	۵۰
۲	۵۲	۵۲/۳
۳	۵۴	۵۴/۲
۴	۵۵/۱	۵۵
۵	۵۷	۵۷/۶
۶	۵۸	۵۸/۳
۷	۵۸/۱	۵۸/۴
۸	۵۷	۵۷/۱
۹	۵۷	۵۶/۸
۱۰	۵۴/۲	۵۳/۹
۱۱	۵۳	۵۳/۱
۱۲	۵۰	۵۰/۶
میانگین	۵۴/۲±۶۱/۹۱	۵۴/۲±۷۷/۹۱

جدول ۶: نتایج زمان بازآوایی اندازه گیری شده با دستگاه در فرکانس های اکتاوباند بعد از مداخله

فرکانس (HZ)	۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵
زمان باز آوایی با دستگاه (S)	۰/۵۹۸	۰/۵۹۹	۰/۶۰۲	۰/۶۱۱	۰/۷۰۱	۰/۶۸۱
سطح جذبی جدید اتاق	۵۷/۷۹	۵۷/۶۹	۵۷/۴۰	۵۶/۵۶	۴۹/۳۰	۵۰/۷۴



شکل ۴: مقایسه زمان بازآوایی قبل و بعد از مداخله آکوستیکی در فرکانس های ۱۲۵ تا ۴۰۰۰ هرتز

جدول ۷: نتایج اندازه گیری شاخص انتقال گفتار بعد از مداخله

موقعیت اندازه- گیری	سطح صدای زمینه (dBA)	۱۲۵ هرتز	۲۵۰ هرتز	۵۰۰ هرتز	۱۰۰۰ هرتز	۲۰۰۰ هرتز	۴۰۰۰ هرتز	کل STI	کیفیت
کنار یونیت ۱	۳۱	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۸۳	عالی
مرکز اتاق	۳۲	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۸۰	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۷۹	عالی
نزدیک ورودی	۳۳	۰/۷۰	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۷۵	خوب
گوشه اتاق	۳۰	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۷۷	عالی
میانگین \pm SD		\pm ۰/۷۳	\pm ۰/۷۶	\pm ۰/۸۰	\pm ۰/۸۳	\pm ۰/۸۵	\pm ۰/۸۶	\pm ۰/۷۹	عالی
		۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	

بحث

دسی بل (A) تا ۷۲/۰۷ دسی بل (A) بدست آمد (۵۰). در هند، نتایج نشان داد که میانگین سطح صدا در کلینیک‌ها از ۵۴ دسی بل (A) تا ۸۳/۳ دسی بل (A) متغیر است (۵۱). در عربستان سعودی، سطح کلی صدا در محیط کلینیک دندانپزشکی حدود ۸۳ دسی بل (A) محاسبه شد (۳۲). در یونان اندازه گیری در کلینیک آموزشی دانشگاه سطح تراز فشار صوت ۴۷/۵ تا ۸۰/۸ دسی بل (A) را نشان داد (۱). بالاترین سطح تراز فشار صوتی که تاکنون ثبت شده است، مربوط به دانشکده دندانپزشکی دانشگاه دمشق با سطح صدای ۹۶ دسی بل (A) و کلینیک کودکان دانشگاه میشیگان با سطح صدای ۱۰۳/۵ دسی بل (A) است، اما به طور کلی مرور مطالعات نشان داد تراز فشار صوت ثبت شده در کلینیک‌های آموزشی کمی بالاتر از نتایج مطالعات در کلینیک‌های شخصی دندانپزشکی است که می‌تواند با حجم کار بالاتر و آموزشی بودن فضا مرتبط باشد (۴۹،۵۲). کاهش معنادار تراز فشار صوتی محیطی پس از مداخله نشان‌دهنده کاهش قابل توجه صدای مزاحم است. این مسئله نه تنها باعث کاهش استرس و خستگی شنوایی در کارکنان می‌شود، بلکه کیفیت فضای کاری و تجربه بیمار را نیز بهبود می‌بخشد (۵۳-۵۵). این نکته به ویژه در کلینیک‌های آموزشی که حضور افراد بیشتری در محیط وجود دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۵۲،۴۹). یکی از عوامل مؤثر در موفقیت این مداخله، انتخاب

مطالعه حاضر با هدف کاهش زمان بازآوایی و بهبود شرایط آکوستیکی در یک کلینیک آموزشی دندان پزشکی دانشگاهی اجرا شد. نصب پنل‌های جاذب مبتنی بر پشم‌سنگ باعث شد زمان بازآوایی در فرکانس غالب ۲۰۰۰ هرتز از ۰/۹۹۲ ثانیه به ۰/۵۹۹ ثانیه کاهش یابد، یعنی کاهش تقریبی ۳۹/۶ درصد، که RT را به محدوده توصیه‌شده برای فضاهای درمانی (۰/۴-۰/۶ ثانیه) رساند (۲۵). این کاهش بیانگر اثربخشی جاذب‌های صوتی در کنترل پژواک و بازتاب‌های نامطلوب در چنین فضاهایی است. یافته‌های این مطالعه با نتایج مطالعات مشابه در حوزه آکوستیک همچون مطالعه Cucharero و همکاران و Jeong و همکاران که به بررسی تأثیر قرارگیری مواد جاذب صدا بر پارامترهای آکوستیک اتاق پرداختند و با نصب پنل‌های جاذب صوتی به بهبود در خواص آکوستیکی دست یافتند، هم‌خوانی دارد (۴۸،۴۷).

در این مطالعه حداکثر تراز فشار صوت ثبت شده ۶۰/۴ دسی بل در شبکه A بود که از حد مجاز مواجهه شغلی کمتر است و با گزارش‌های قبلی برای تخمین صدا در کلینیک‌های دندانپزشکی آموزشی مطابقت دارد (۱۷،۳۲،۴۹-۵۱). در مطالعات جهانی انجام شده، در هنگ کنگ، سطح صدای اندازه گیری شده در کلینیک آموزشی بین ۶۲/۶ تا ۶۷/۷ دسی بل (A) بود (۱۷). در کازابلانکا، سطح صدا بین ۶۹/۳۵

نویز سیستم‌های مکانیکی یا فضاهای موسیقی-آموزشی است. با این حال، بررسی هم‌زمان شاخص‌های تکمیلی در مطالعات آینده می‌تواند درک جامع‌تری از ویژگی‌های آکوستیکی این محیط‌ها فراهم سازد.

در نهایت، از آنجایی که اهمیت توجه به شرایط آکوستیکی در فضاهای درمانی و آموزشی به‌ویژه کلینیک‌های دندانپزشکی روزبه‌روز بیشتر می‌شود، این مطالعه گام مهمی در راستای شناخت و بهبود چنین شرایطی در کلینیک‌های مشابه به‌شمار می‌آید.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مداخله آکوستیکی با استفاده از جاذب‌های صوتی طراحی‌شده موجب بهبود معنادار شاخص‌های آکوستیکی کلینیک شد، به‌طوری که میانگین تراز فشار صوت (SPL) از حداکثر سطح فشار صدا ۶۰/۴ دسی‌بل (A) به حدود ۵۸ دسی‌بل (A) و زمان بازآوایی (RT60) از ۰/۹۹۲ ثانیه به ۰/۵۹۹ ثانیه کاهش یافت، در حالی که شاخص وضوح گفتار (STI) از میانگین ۰/۶۱ در فرکانس ۲۰۰۰ به ۰/۸۵ افزایش پیدا کرد. این بهبودها بیانگر ارتقای کیفیت شنیداری و ارتباطی است. با وجود این، محدودیت‌هایی نظیر انجام اندازه‌گیری در یک کلینیک واحد، احتمال خطاهای ابزار اندازه‌گیری، محدودیت نصب جاذب روی سقف، و عدم بررسی بلندمدت می‌تواند بر تعمیم‌پذیری نتایج تأثیرگذار باشد. با توجه به یافته‌ها، به مدیران و طراحان کلینیک‌های دندانپزشکی پیشنهاد می‌شود از مداخلات آکوستیکی ساده و کم‌هزینه در طراحی یا بازسازی فضاها بهره‌گیرند تا شرایط گفتاری و آسایش شغلی بهبود یابد. همچنین توصیه می‌شود در مطالعات آینده، علاوه بر شاخص‌های فیزیکی، اثرات روان‌شناختی مانند استرس، رضایت و خستگی شنیداری نیز بررسی شود. همچنین بررسی تأثیر و مدل‌سازی آکوستیکی برای ارزیابی طرح‌های مختلف جاذب صوتی به کار گرفته شود.

تضاد منافع

در این پژوهش هیچگونه تضاد منافی وجود ندارد.

مواد جاذب مناسب بود. پشم سنگ با ویژگی‌های فنی مانند چگالی مطلوب، قابلیت جذب بالای فرکانس‌های میانی و بالا، مقاومت در برابر آتش و سهولت نصب، گزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه و کاربردی برای محیط کلینیک بود. این انتخاب بر اساس مطالعات قبلی و معیارهای فنی صورت گرفت که باعث گردید تا بهترین کارایی در جذب صوت فراهم شود (۵۷،۵۶).

جانمایی پنل‌ها به صورت سازه‌ای روی دیوارهای جانبی و پشتی و در ارتفاعی هم‌تراز با سطح گوش دندانپزشک در حالت نشسته نیز به توزیع یکنواخت جذب صوت و کاهش بازتاب‌های ناخواسته کمک کرد. این روش نصب علاوه بر تأمین عملکرد آکوستیکی، قابلیت جابجایی و عدم آسیب به زیرساخت‌های کلینیک را نیز فراهم کرد که از نظر اجرایی اهمیت دارد.

شاخص انتقال گفتار (STI) نیز که به عنوان یک معیار کمی و معتبر برای ارزیابی کیفیت انتقال گفتار در محیط‌های داخلی انتخاب شد (۲۹) پس از نصب جاذب‌های صوتی به شکل هدفمند، از میانگین ۰/۶۱ در فرکانس ۲۰۰۰ به ۰/۸۵ (محدوده کیفی عالی) رسید که نشان دهنده بهبود وضوح گفتار و کاهش اختلالات شنیداری ناشی از بازتاب‌های صوتی و صدای زمینه است. این بهبود در وضوح گفتار موجب افزایش راحتی شنیداری می‌شود (۵۸) و به طور کلی با نتایج مطالعه ی Sreeja و Ramaiya که به ارزیابی جامع آکوستیک در یک فضای مسکونی سرپوشیده پرداختند و با نصب جاذب‌های صوتی به عنوان راهکار آکوستیکی بهینه، شاخص STI را به "عالی" رساندند، هم‌راستا است (۳۷).

یکی از ملاحظات این مطالعه، انتخاب شاخص‌های RT و STI به‌عنوان معیارهای اصلی ارزیابی کیفیت آکوستیک بود. تمرکز بر این دو شاخص به این دلیل صورت گرفت که مستقیماً با وضوح گفتار، درک شنیداری و کیفیت ارتباط درمانگر-بیمار مرتبط هستند و در استانداردهای بین‌المللی طراحی فضاهای درمانی بیشترین تأکید بر آن‌ها شده است. اگرچه شاخص‌هایی نظیر NC، RC یا C50 و ... می‌توانند اطلاعات تکمیلی درباره کیفیت صوتی محیط ارائه دهند، اما کاربرد اصلی آن‌ها بیشتر در ارزیابی

REFERENCES

- Antoniadou M, Tziouvara P, Konstantopoulou S. Evaluation of noise levels in a university dental clinic. *Appl Sci*. 2023;13(19):10869.
- Aliyeva A, Sari E. Role of occupational factors in noise-induced hearing loss: a single-center real-world data study. *Egypt J Otolaryngol*. 2025;41(1):1–9.
- Karki TB, Manandhar RB, Neupane D, Mahat D, Ban P. Critical analysis of noise pollution and its effect on human health. *Int J Educ Life Sci*. 2024;2(2):161–76.
- Afroz M, Akhter F, Bitar R, Sarhan E, Alidan F, Alahmed E. Assessment of occupational noise-related hearing impairment among dental health personnel. *F1000Res*. 2025;13:1542.
- Al-Omouh SA, Abdul-Baqi KJ, Zuriekat M, Alsoleihat F, Elmanaseer WR, Jamani KD. Assessment of occupational noise-related hearing impairment among dental health personnel. *J Occup Health*. 2020;62(1):e12093.
- Liu Y, Chen X. A study on the influence of dominant sound sources on users' emotional perception in a pediatric dentistry clinic. *Front. Psychol*. 2024;15:1379450.
- Tziouvara P, Antoniadou C, Antoniadou M. Patients' perceptions of sound and noise dimensions in the dental clinic soundscape. *Appl Sci*. 2024;14(6):2587.
- Amine M, Boualam A, Al Jalil Z. Noise Pollution in Dental Education: Health Risks and Mitigation Strategies. *New Ideas Concern Arts Soc Stud Vol 2*. 2025;68–77.
- Matos A, Carvalho APO, Fernandes JCS. Noise levels in the learning-teaching activities in a dental medicine school. *JASA Express Lett*. 2022;112(5_Supplement):2438.
- Ma KW, Wong HM, Mak CM. Dental environmental noise evaluation and health risk model construction to dental professionals. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(9):1084.
- Ahmed A, Balarabe S, Saad S, Alufohai O. Awareness and Assessment of Work-related Hearing Impairment among Dental Professionals in Kano-Nigeria. *J. Adv. Med. Med. Res*. 2016;13(2):1-9.
- Fu VX, Oomens P, Merkus N, Jeekel J. The perception and attitude toward noise and music in the operating room: a systematic review. *J Surg Res*. 2021;263:193–206.
- Armbruster C, Walzer S, Witek S, Ziegler S, Farin-Glattacker E. Noise exposure among staff in intensive care units and the effects of unit-based noise management: a monocentric prospective longitudinal study. *BMC Nurs*. 2023;22(1):460.
- Ruettgers N, Id ACN, Rossier M, Id SEJK, Jeitziner M, Grosse M, et al. Perceived sounds and their reported level of disturbance in intensive care units: A multinational survey among healthcare professionals. *PLoS One*. 2022;(M):1–15.
- Raghuwanshi NK, Yadav SK, Jayaswal P, Parey A. Noise effects, analysis and control in hospitals-A review. *Noise & Vibration Worldwide*. 2024;55(3):123–34.
- Al-Rawi NH, Al Nuaimi AS, Sadiqi A, Azaiah E, Ezzeddine D, Ghunaim Q, et al. Occupational noise-induced hearing loss among dental professionals. *Quintessence Int*. 2019;50(3):245–50.
- Ai ZT, Mak CM, Wong HM. Noise level and its influences on dental professionals in a dental hospital in Hong Kong. *Build Serv Eng Res Technol*. 2017;38(5):522–535.
- Dierickx M, Verschraegen S, Wierinck E, Willems G, van Wieringen A. Noise disturbance and potential hearing loss due to exposure of dental equipment in Flemish Dentists. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(11):5617.
- Setcos JC, Mahyuddin A. Noise levels encountered in dental clinical and laboratory practice. *Int J Prosthodont*. 1998;11(2):150-157.
- Henneberry K, Hilland S, Haslam SK. Are dental hygienists at risk for noise-induced hearing loss? A literature review. *Can J Dent Hyg*. 2021;55(2):110-119.
- Antoniadou M, Tziouvara P, Antoniadou C. The Effect of Sound in the Dental Office: practices and recommendations for Quality Assurance—A narrative review. *Dent J (Basel)*. 2022;10(12):228.
- Myers J, John AB, Kimball S, Fruits T. Prevalence of tinnitus and noise-induced hearing loss in dentists. *Noise Health*. 2016;18(85):347–354.
- Hoffmann B, Erwood K, Ncomanzi S, Fischer V, O'Brien D, Lee A. Management strategies for adult patients with dental anxiety in the dental clinic: a systematic review. *Aust Dent J*. 2022;67:S3–13.
- Sarani malak A, Golmohammadi R, Aliabadi M, Farhadian M. Experimental Model for Estimation of Reverberation Time in Educational Rooms. *JVS*. 2025;11(22):49–60. [Persian]
- Shannon MM, Nordin S, Bernhardt J, Elf M. Application of theory in studies of healthcare built environment

- research. *HERD*. 2020;13(3):154–70.
26. Zhou T, Wu Y, Meng Q, Kang J. Influence of the acoustic environment in hospital wards on patient physiological and psychological indices. *Front Psychol*. 2020;11:1600.
 27. Antoniadou M, Tzaferi EI, Antoniadou C. Designing Sustainable and Acoustically Optimized Dental Spaces: A Comprehensive Review of Soundscapes in Dental Office Environments. *Appl Sci*. 2025;15(15):8167.
 28. Kang S, Ou D, Zhou X. The impacts of room acoustic quality levels on speech intelligibility in open-plan offices: A laboratory study. *Build Serv Eng Res Technol*. 2025;0(0).
 29. Labia L, Shtrepi L, Astolfi A. Improved Room Acoustics Quality in Meeting Rooms: Investigation on the Optimal Configurations of Sound-Absorptive and Sound-Diffusive Panels. *Acoustics*. 2020;2:451–473.
 30. Mónica M, Mendonça P, Miranda Guedes J, Carvalho APO. Roof replacement of a heritage building using transparent solutions: Room acoustic performance comparison. *International Journal of Architectural Heritage*. 2022;16(2):284–301.
 31. Simion S, Găman AN, Simion A, Hriscan R. Noise Level Reduction by Using Sound Insulation/Sound Absorbent Materials. *Proc 22nd Int Multidiscip Sci GeoConference SGEM*. 2022;22(4.1):341–348.
 32. Baseer MA, Al Saffan A, AlMasoud SM, Dahy WT, Aldali HW, Bachat AMW, et al. Noise levels encountered in university dental clinics during different specialty treatments. *J Family Med Prim Care*. 2021;10(8):2987–2992.
 33. Tziouva P, Antoniadou C, Antoniadou M. Patients' Perception of Sound and Noise dimensions in the Dental Clinic Environment. *Appl. Sci*. 2024;14(6):2587.
 34. Aitken JC, Wilson S, Coury D, Moursi AM. The effect of music distraction on pain, anxiety and behavior in pediatric dental patients. *Pediatr Dent*. 2002;24(2):114–118.
 35. Ainscough SL, Windsor L, Tahmassebi JF. A review of the effect of music on dental anxiety in children. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2019;20(1):23–26.
 36. Yousuf A, Ganta S, Nagaraj A, Pareek S, Atri M, Singh K, et al. Acoustic noise levels of dental equipments and its association with fear and annoyance levels among patients attending different dental clinic setups in Jaipur, India. *J Clin Diagn Res*. 2014;8(4):ZC29–34.
 37. Sreeja. S, Ramaiya M. A comprehensive assessment of room acoustics to achieve acoustic comfort: a case study of retrofitting for speech intelligibility in a residential space. *research square*. 2024.
 38. Özdemir M, Özdemir T. NOISE EXPOSURE OF MEDICAL LABORATORY EMPLOYEES. *Turk Biyokim Derg*. 2023;48:139.
 39. Ortiz S, Nieh HJ, Cabrera D. Avoidance of noise-related errors in the analysis of room impulse responses. *Acoustics and Sustainability Conference; 2008*; Geelong, Victoria, Australia. Australian Acoustical Society; 2008
 40. Ponteggia D. On the Specification of Threshold Limits in Speech Transmission Index Assessment of Distributed Sound Systems. In: *Audio Engineering Society Convention 152*. Audio Engineering Society; 2022.
 41. Mehrvahid A, Ghaffari A, Zamani R. Acoustic quality assessment at Nezamol molk dome of Jame mosque of Isfahan. *Res Islam Archit*. 2021;9(2):123–40. [Persian]
 42. Young RW. Sabine reverberation equation and sound power calculations. *J Acoust Soc Am*. 1959;31(7):912–921.
 43. Mohammadi B, Safaiyan A, Habibi P, Moradi G. Evaluation of the acoustic performance of polyurethane foams embedded with rock wool fibers at low-frequency range; design and construction. *Appl Acoust*. 2021;182:108223. [Persian]
 44. Hemmati N, Mirzaei R, Soltani P, Berardi U, SheikhMozafari MJ, Edalat H, et al. Acoustic and thermal performance of wood strands-rock wool-cement composite boards as eco-friendly construction materials. *Constr Build Mater*. 2024;445:137935. [Persian]
 45. Everest FA, Shaw N. *Master handbook of acoustics*. 4nd ed. *J Acoust Soc Am*. 2001.
 46. Alizadeh A, Taghavi soghondikolae F, Yazdani charati J. Evaluation of Noise Pollution in Sari's Educational Hospitals. *SSUJ*. 2020;18(6):34–44. [Persian]
 47. Cucharero J, Hänninen T, Lokki T. Influence of sound-absorbing material placement on room acoustical parameters. *Acoustics* 2019;1(3), 644–660.
 48. Jeong KM, Kim YH, Kim MJ. Influence of variable sound-absorbing devices on room acoustical parameters of reverberation and intelligibility in medium-to-large multipurpose halls. *J Acoust Soc Am*. 2024;156(5):3006–3020.
 49. Burk A, Neitzel RL. An exploratory study of noise

- exposures in educational and private dental clinics. *J Occup Environ Hyg*. 2016;13(10):741-749.
50. Amine M, Aljalil Z, Redwane A, Delfag I, Lahby I, Bennani A. Assessment of Noise Levels of Equipment Used in the Practical Dental Teaching Activities. *Int J Dent*. 2021;2021:6642560.
51. Bhagwat S, Hirlekar P, Padhye L. Sound levels in conservative dentistry and endodontics clinic. *Indian J Oral Heal Res*. 2019;5(1):11-16.
52. Qsaibati ML, Ibrahim O. Noise levels of dental equipment used in dental college of Damascus University. *Dent Res J (Isfahan)*. 2014;11(6):624-630.
53. Hohneck A, Rodríguez ÁM, Weingärtner S, Merx K, Sarodnick F, von Gagern F, et al. Differential effects of sound interventions tuned to 432 Hz or 443 Hz on cardiovascular parameters in cancer patients: a randomized cross-over trial. *BMC Complement Med Ther*. 2025;25(1):18.
54. Hohneck A, Reyser C, Merx K, Weingärtner S, Mavratzas A, Schumacher G, et al. Differential Effects of Sound Intervention and Rest on Cardiovascular Parameters in Cancer Patients: A Randomized Cross-over Trial. *Integr Cancer Ther*. 2021;20:1534735421995239.
55. Pirilä S, Jokitulppo J, Niemitalo-Haapola E, Yliherva A, Rantala L. Teachers' and children's experiences after an acoustic intervention and a noise-controlling workshop in two elementary classrooms. *Folia Phoniatr Logop*. 2020;72(6):454-463.
56. Forouharmajd F, Nassiri P, Monazzam M, Yazdchi M. Predicted sound absorption coefficients of absorber materials lined in a chamber. *Int J Environ Health Eng*. 2014;3(1):13. [Persian]
57. Lin JY, Tsay YS, Tseng PC. Development of folded expanded metal mesh with sound absorption performance. *Appl Sci*. 2021;11(15):7021.
58. Cho YJ. Comparison of two types of combined measures, STI and U50, for predicting speech intelligibility in classrooms. *Arch Acoust*. 2017;42(3):527-532.