

Investigation of the Sound Absorption Properties of Open-Cell and Closed-Cell Polyurethane Foam Panels in Medium and High Frequencies

Fereshteh Sadavipour¹,
Farhad Forouharmajd²,
Zahra Mohammadi³

¹ MSc in Occupational Health and Safety, Student Research Committee, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

² Professor, Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

³ MSc in Occupational Health and Safety Engineering, Imen Payesh Sepahan Company, Isfahan, Iran

(Received August 20, 2025; Accepted March 30, 2026)

Abstract

Background and purpose: Noise pollution is a major challenge in industrial and urban environments, with adverse effects on human health and productivity. The use of sound-absorbing materials, particularly polyurethane foams, is considered an effective strategy for controlling noise. The present study aimed to experimentally investigate and compare the acoustic performance of open-cell and closed-cell polyurethane foams at medium and high frequencies, and to evaluate the effects of thickness and density on the sound absorption coefficient.

Materials and methods: In this experimental study, 15 polyurethane foam samples were examined, including 9 closed-cell samples with densities of 0.0202, 0.0166, and 0.0018 kg/m³, and 6 open-cell samples with densities of 0.0288 and 0.0171 kg/m³. Samples were prepared in three thicknesses (1, 2, and 3 cm) and cut into circular shapes with a diameter of 3 cm using laser cutting. The sound absorption coefficient was measured in accordance with ISO 10534-2, using the two-microphone impedance tube method, across a frequency range of 1000 to 6300 Hz.

Results: The results showed that increasing thickness across all samples led to an improvement in the sound absorption coefficient. The highest absorption was observed in an open-cell foam with a density of 0.0288 kg/m³ and a thickness of 3 cm, with a mean absorption of 0.84 and a maximum value of 0.99 at 2000 Hz. The lowest average absorption (0.27) was recorded in a closed-cell foam with a density of 0.0017 kg/m³ and a thickness of 1 cm.

Conclusion: Open-cell polyurethane foam with a thickness of 3 cm demonstrated the best sound absorption performance, attributed to its porous structure and the formation of two absorption peaks at high frequencies. Thickness was identified as the primary factor influencing sound absorption across all frequencies, while density also played a significant role, particularly at higher frequencies. Therefore, selecting an optimal combination of thickness and density is essential for the effective design of noise reduction systems in various environments.

Keywords: Sound absorption coefficient, open-cell polyurethane foam, closed-cell polyurethane foam, impedance tube

J Mazandaran Univ Med Sci 2026; 36 (256): 86-91 (Persian).

Corresponding Author: Farhad Forouharmajd - School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran (E-mail: forouhar@hlth.mui.ac.ir)

بررسی خواص جذب صوت پنل‌های فوم پلی‌اورتان سلول باز و بسته در فرکانس‌های میانی و بالا

فرشته سداوی پور^۱فرهاد فروهر مجد^۲زهرامحمدی^۳

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی صوتی یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط‌های صنعتی و شهری است که اثرات منفی بر سلامت و بهره‌وری انسان دارد. استفاده از مواد جاذب صوت به‌ویژه فوم‌های پلی‌اورتان، رویکردی مؤثر در کنترل این پدیده محسوب می‌شود. مطالعه حاضر با هدف بررسی و مقایسه عملکرد آکوستیکی فوم‌های پلی‌اورتان سلول باز و سلول بسته در فرکانس‌های میانی و بالا و ارزیابی تأثیر ضخامت و چگالی بر ضریب جذب صوت، انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی، ۱۵ نمونه فوم پلی‌اورتان شامل ۹ نمونه سلول بسته با چگالی‌های ۰/۰۲۰۲، ۰/۰۱۶۶ و ۰/۰۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب و ۶ نمونه سلول باز با چگالی‌های ۰/۰۲۸۸ و ۰/۰۱۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب در سه ضخامت ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر بررسی شدند. نمونه‌ها با استفاده از برش لیزری به شکل دایره به قطر ۳ سانتی‌متر آماده‌سازی شدند. اندازه‌گیری ضریب جذب صوت مطابق با استاندارد ISO 10534-2 و با استفاده از روش لوله امپدانس دو میکروفون در بازه فرکانسی ۱۰۰۰ تا ۶۳۰۰ هرتز انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزایش ضخامت در تمامی نمونه‌ها منجر به بهبود ضریب جذب صوت می‌شود. بیش‌ترین میزان جذب مربوط به فوم سلول باز با چگالی ۰/۰۲۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب و ضخامت ۳ سانتی‌متر با میانگین جذب ۰/۸۴ و حداکثر جذب ۰/۹۹ در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز بود. کم‌ترین میانگین جذب (۰/۲۷) در فوم سلول بسته با چگالی ۰/۰۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب و ضخامت ۱ سانتی‌متر مشاهده شد.

استنتاج: فوم پلی‌اورتان سلول باز با ضخامت ۳ سانتی‌متر به دلیل ساختار متخلخل و ایجاد دو پیک جذب در فرکانس‌های بالا، بهترین عملکرد را در جذب صوت دارد. ضخامت عامل اصلی بهبود جذب در تمامی فرکانس‌هاست، در حالی که چگالی به‌ویژه در فرکانس‌های بالا نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کند. انتخاب ترکیب بهینه ضخامت و چگالی برای طراحی مؤثر سیستم‌های کاهش آلودگی صوتی در محیط‌های مختلف ضروری است.

واژه‌های کلیدی: ضریب جذب صوت، فوم پلی‌اورتان سلول باز، فوم پلی‌اورتان سلول بسته، لوله امپدانس

E-mail: forouhar@hlth.mui.ac.ir

مؤلف مسئول: فرهاد فروهر مجد- اصفهان: دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۱. کارشناس ارشد بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲. استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۳. کارشناس ارشد، مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار. شرکت ایمن پایش سپاهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۲۹ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۴۰۴/۶/۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۵/۱/۱۰

مقدمه

چالش آلودگی صوتی ناشی از رشد جمعیت و شهرنشینی، سلامت و بهره‌وری را در محیط کار و زندگی تحت تأثیر قرار داده است. صوت به عنوان صدای ناخواسته، یکی از شایع‌ترین آلاینده‌های محیط کار محسوب می‌شود (۱، ۲). روش‌های کنترل صوت شامل سه سطح منبع، محیط و دریافت کننده هستند که اصلاحات آکوستیکی و کاهش انتشار صوت از راهکارهای رایج‌اند (۳). مؤثرترین روش‌ها، استفاده از مواد جاذب صوت متخلخل مانند فوم‌ها، موانع و میراکننده‌ها می‌باشد که با جذب موج صوتی و تبدیل آن به گرما، انعکاس صوت و صدا محیط را کاهش می‌دهند (۴-۶). پنل‌های جاذب صوت از جنس‌های متنوعی ساخته می‌شوند، اما فوم‌های پلی‌اورتان متخلخل با سلول باز، بیش‌ترین کاربرد را دارند (۷، ۸). این مواد علاوه بر کنترل صوت، دارای ضخامت مناسب، وزن کم و قیمت اقتصادی هستند (۹). فوم پلی‌اورتان به دلیل چگالی پایین، دوام بالا، خواص مکانیکی مطلوب، اعمال‌پذیری روی سطوح و قابلیت بازیافت، در صنایع مختلف کاربرد دارد (۱۰). با توجه به اهمیت کنترل صدا در فضاهای صنعتی و ساختمانی و نقش حیاتی مواد جاذب صوت در طراحی محیط‌های آکوستیکی بهینه، این پژوهش با هدف تعیین و مقایسه‌ی عملکرد جذب صوت فوم‌های پلی‌اورتان سلول باز و سلول بسته در فرکانس‌های میانی و بالا انجام شد. تمرکز تحقیق بر بررسی تأثیر ضخامت و چگالی فوم‌ها بر بازده جذب صوت است تا بتوان ترکیب بهینه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی مواد برای بهبود کارایی سیستم‌های کاهش صدا پیشنهاد کرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش تجربی آزمایشگاهی، با اخذ کد اخلاق IR.MUI.DHMT.REC.1402.037 از معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، با هدف بررسی ضریب جذب صوت نمونه‌های فوم پلی‌اورتان سلول باز و بسته در فرکانس‌های میانی و بالا انجام گرفت.

آزمایش در شرایط کنترل شده محیطی با دمای 24 ± 1 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 50 ± 3 درصد انجام شد. تا اثرات این عوامل بر نتایج آکوستیکی به حداقل برسد. نمونه‌های فوم پس از تهیه، به وسیله‌ی دستگاه لیزر به دایره‌هایی با قطر ۳ سانتی‌متر برش داده شدند. این جاذب‌ها در چگالی‌ها و ضخامت‌های مختلف، شامل ۱۵ نمونه فوم پلی‌اورتان (۹ نمونه سلول بسته با چگالی‌های 0.0166 ، 0.018 و 0.0202 کیلوگرم بر مترمکعب و ۶ نمونه سلول باز با چگالی‌های 0.0288 و 0.0171 کیلوگرم بر مترمکعب) و در سه ضخامت ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر آماده‌سازی و مورد بررسی قرار گرفتند. ضریب جذب صوت نمونه‌ها در این مطالعه توسط لوله امپدانس چهار میکروفون (با قطر ۳ سانتی‌متر) ساخته شده مطابق استانداردهای ISO10534 و ASTM E 1050 و بر اساس روش تابع انتقال و استاندارد ISO10534-2 اندازه‌گیری شد. همچنین اعتبار سنجی لوله امپدانس استفاده شده در مطالعات قبلی به منظور اندازه‌گیری ضریب جذب صوتی ساده متخلخل تأیید شده است (۱۱، ۱۲). برای بررسی عملکرد دستگاه، از یک نمونه فوم استاندارد با ضخامت ۲۵ میلی‌متر به عنوان مرجع بهره گرفته شد. قبل از آغاز آزمایش، میکروفون‌ها در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز و سطح فشار صوتی ۹۴ دسی‌بل کالیبره شدند. سپس، نمونه‌ها در فرکانس‌های ۱۰۰ تا ۶۳۰۰ هرتز مورد آزمایش قرار گرفتند. هر نمونه سه بار اندازه‌گیری شد و داده‌ها توسط نرم‌افزار VA-Lab4 تحلیل و در قالب نمودار و جدول ارائه شدند.

یافته‌ها و بحث

این مطالعه با هدف بررسی کارایی خصوصیات آکوستیک فوم پلی‌اورتان سلول باز و بسته در فرکانس‌های میانی و بالا انجام شد. نتایج اندازه‌گیری ضریب جذب صوت در جدول شماره ۱ نشان داد که فوم پلی‌اورتان سلول باز با چگالی 0.0288 kg/m^3 و ضخامت ۳ سانتی‌متر، برابر 0.99 در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز است.

جدول شماره ۱: نتایج اندازه گیری و میانگین و انحراف معیار ضریب جذب صوت جاذب های فوم پلی اورتان سلول باز و بسته

نمونه	ماده	چگالی kg/m ³	ضخامت cm	فرکانس (هرتز)							انحراف معیار ± میانگین
				۱۶۰۰	۱۲۵۰	۱۰۰۰	۷۵۰	۶۳۰	۵۰۰	۴۰۰	
۱	پلی اورتان سلول بسته	۰/۰۲۰۲	۱	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷ ± ۰/۱۷
۲	پلی اورتان سلول بسته	۰/۰۲۰۲	۲	۰/۸۳	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۳	پلی اورتان سلول بسته	۰/۰۲۰۲	۳	۰/۹۲	۰/۷۲	۰/۶	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۴	پلی اورتان سلول بسته	۰/۰۱۶۶	۱	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۵	پلی اورتان سلول بسته	۰/۰۱۶۶	۲	۰/۴۷	۰/۳۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۶	پلی اورتان سلول بسته	۰/۰۱۶۶	۳	۰/۹	۰/۷۲	۰/۵۷	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۷	پلی اورتان سلول بسته	۰/۰۰۱۸	۱	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۸	پلی اورتان سلول بسته	۰/۰۰۱۸	۲	۰/۵۳	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۹	پلی اورتان سلول بسته	۰/۰۰۱۸	۳	۰/۸۱	۰/۵۹	۰/۴۷	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۱۰	پلی اورتان سلول باز	۰/۰۲۸۸	۱	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۱۱	پلی اورتان سلول باز	۰/۰۲۸۸	۲	۰/۳	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۱۲	پلی اورتان سلول باز	۰/۰۲۸۸	۳	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۷۳	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۱۳	پلی اورتان سلول باز	۰/۰۱۷۱	۱	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۱۴	پلی اورتان سلول باز	۰/۰۱۷۱	۲	۰/۳	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱۴ ± ۰/۱۴
۱۵	پلی اورتان سلول باز	۰/۰۱۷۱	۳	۰/۹۵	۰/۸۳	۰/۷۰	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۱۴ ± ۰/۱۴

فوم سلول بسته با چگالی 0.202 kg/m^3 و ضخامت ۱ سانتی متر، ضریب 0.98 را در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز دارد. حداقل ضریب جذب برای ضخامت ۱ سانتی متر در فوم سلول بسته با چگالی 0.018 kg/m^3 و فوم سلول باز با چگالی 0.228 kg/m^3 به ترتیب 0.14 و 0.17 در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز گزارش شد. اکثر نمونه ها در فرکانس های مختلف ضریب جذب بالاتر از 0.5 دارند و برای جذب صوت مناسب اند. فوم سلول باز با ضخامت ۳ سانتی متر و چگالی 0.288 kg/m^3 بالاترین میانگین جذب (0.84) و فوم سلول بسته با ضخامت ۱ سانتی متر و چگالی 0.017 kg/m^3 پایین ترین میانگین (0.27) را دارد. سایر نمونه های سلول بسته با چگالی های 0.018 ، 0.166 و 0.202 kg/m^3 در ضخامت های ۱، ۲ و ۳ سانتی متر میانگین هایی بین 0.27 تا 0.78 نشان دادند که بیانگر عملکرد مناسب در جذب صوت هستند. نتایج نشان می دهد عملکرد جذب صوت فوم های پلی اورتان وابسته به ساختار (باز یا بسته)، چگالی و ضخامت است؛ به طوری که در فرکانس های میانی ($1000-2000$ هرتز) تأثیر چگالی ملایم بوده و افزایش ضخامت بهبود کلی ایجاد می کند، در حالی که در فرکانس های بالا ($2500-6300$ هرتز)، افزایش چگالی تأثیر قابل توجهی در بهبود جذب دارد و شکاف بین چگالی های مختلف را آشکار می سازد، در فوم سلول بسته که جذب آن در ۱ سانتی متر ابتدا کم و

سپس با افزایش فرکانس افزایش می یابد. در نهایت، فوم سلول باز با ضخامت ۳ سانتی متر بهترین عملکرد را با وجود دو پیک جذب نشان می دهد و به طور کلی، حتی در چگالی های بالا، جذب مؤثرتری نسبت به همتای سلول بسته اش، خصوصاً در فرکانس های بالا، ارائه می دهد. در جاذب هایی از جنس فوم پلی اورتان سلول بسته، ضخامت های ۱ و ۲ سانتی متر این جاذب در فرکانس های میانی ($1000-2000$ هرتز) میزان ضریب جذب در کم ترین مقدار خود قرار دارد. اما با افزایش فرکانس، ضریب جذب افزایش می یابد. همچنین بهبود ضریب جذب با افزایش ضخامت دیده می شود. در ضخامت های بررسی شده در نمونه با چگالی بالاتر (0.202 kg/m^3) ضریب جذب صوت تقریباً در تمامی فرکانس ها نسبت به چگالی های پایین تر (0.018 و 0.166 kg/m^3) از مقادیر بالاتری برخوردار بود. در جاذب هایی از جنس فوم پلی اورتان سلول باز، در ضخامت های ۱ و ۲ سانتی متر در فرکانس های میانی ($1000-2000$ هرتز) میزان ضریب جذب در کم ترین مقدار خود قرار دارد؛ اما با افزایش فرکانس ضریب جذب افزایش می یابد. همچنین بهبود ضریب جذب با افزایش ضخامت به وضوح دیده می شود. در ضخامت های بررسی شده در نمونه با چگالی بالاتر (0.288 kg/m^3) ضریب جذب صوت تقریباً در تمامی فرکانس ها نسبت به چگالی پایین تر بهبود یافته است.

خواص جذب صوت در فوم‌های پلی‌اورتان به عواملی مانند چگالی، تخلخل، ضخامت و فرکانس صوتی وابسته است. چگالی کم‌تر معمولاً تخلخل بیش‌تری ایجاد می‌کند و باعث می‌شود امواج صوتی راحت‌تر وارد ساختار فوم شوند و انرژی خود را از دست بدهند. در مقابل، چگالی بالاتر ممکن است باعث بازتاب بیش‌تر شود، اما می‌تواند جذب صوت را در فرکانس‌های پایین‌تر بهبود بخشد. ضخامت بیش‌تر نیز معمولاً جذب را افزایش می‌دهد، زیرا مسیر طولانی‌تری برای تضعیف صوت فراهم می‌کند. از نظر فرکانس، فرکانس‌های بالا با فوم‌های نازک و متخلخل بهتر جذب می‌شوند، در حالی که فرکانس‌های پایین نیاز به ضخامت و چگالی بالاتر دارند.

در مطالعه سمیعی و همکاران در زمینه بهینه‌سازی و مدل‌سازی رفتار جذب صوت از فوم‌های کامپوزیت پلی‌اورتان تقویت شده با الیاف کتاف نشان داد که ضریب جذب فوم پلی‌اورتان خالص برابر $0/48$ به دست آمد که با بخشی از یافته‌های پژوهش حاضر ($0/47$ ، $0/57$ و $0/53$) همخوانی دارند (۱۳). در مطالعه فروهرمجد و همکاران با هدف بررسی اثر ضخامت، شدت صوت و نحوه قرارگیری لایه هوا بر ضریب جذب صوت فوم پلی‌اورتان، نتایج بیانگر افزایش ضریب جذب صوت در همه‌ی فرکانس‌ها به دنبال افزایش ضخامت بود؛ که با یافته‌های این مطالعه همخوانی دارد (۱۴). در مطالعه‌ای با موضوع بررسی رفتار جذب صوت و میزان زبری سطح دیواره‌ی فوم‌های منعطف پلی‌اورتان که توسط عبدالهی باغبان و همکاران انجام شد، نتایج کلی نشان داد که بیشینه‌ی ضریب جذب صوت به ترتیب $0/98$ و در فرکانس 3300 هرتز برآورد شد. با یافته‌های این پژوهش که به ترتیب ضریب جذب صوت $0/98$ ، $0/91$ و $0/90$ در فرکانس 4000 هرتز به دست آمد مشابه است (۱۵). تحقیقات مختلف در مورد تأثیر ضخامت بر جذب صوت به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش ضخامت، مقدار ضریب جذب صوت در فرکانس‌های پایین افزایش می‌یابد، در حالی که این اثر در فرکانس‌های بالا مشاهده نمی‌شود، تقریباً با

یافته‌های این مطالعه همسو است (۱۶). نتایج پژوهش Galadari نشان داد که فوم آکوستیک موجود در بازار که از فوم پلی‌اورتان سلول باز نرم ساخته شده است، جذب صوتی خوبی دارد زیرا موج صوت با محدوده فرکانسی پهن باند از 1000 تا 5000 هرتز جذب می‌شود که در آن ضریب جذب صوت بالاتر از $0/6$ است. فوم پلی‌اورتان سلول بسته سفت و سخت توانایی جذب صوتی ضعیفی دارد، تقریباً با یافته‌های این مطالعه همخوانی دارد (۱۷). آخر افزایش ضخامت موجب بهبود جذب صوت شد و بیش‌ترین مقدار جذب در ضخامت 3 سانتی‌متر مشاهده گردید. رفتار جذب در فرکانس‌های مختلف متغیر بود؛ در بازه‌ی 1000 تا 2000 هرتز، عملکرد نمونه‌های نازک ضعیف‌تر و در بازه‌ی 2500 تا 5500 هرتز بهینه‌تر بود. ساختار و ویژگی‌های فیزیکی فوم‌ها بر این رفتار تأثیر گذارند. فوم‌های سلول باز با ضخامت بیش‌تر، میانگین جذب بالاتری داشته و در فرکانس‌های بالا عملکرد بهتری نشان دادند. این نتایج می‌توانند در طراحی بهینه‌ی مواد جذب صوت برای کاهش آلودگی صوتی در محیط‌های مختلف کاربردی باشند. با توجه به این که هر مطالعه با محدودیت‌هایی روبه‌رو می‌باشد، در پژوهش حاضر نیز مورفولوژی جاذب‌های پلی‌اورتان سلول باز و بسته مورد بررسی قرار نگرفته است، لذا پیشنهاد می‌گردد که در مطالعات آینده به بررسی مورفولوژی ساختار جاذب‌های پلی‌اورتان سلول باز و بسته و تأثیر آن بر رفتار آکوستیک پرداخته شود.

سپاسگزاری

این مقاله بر اساس نتایج حاصل از پایان‌نامه ارشد، با کد علمی 3402517 و کد اخلاق IR.MUI.DHMT.REC.1402.037 در معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان نوشته شده است. شایسته است از معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان به خاطر تأمین منابع مالی این پژوهش تشکر و قدردانی شود

References

1. Safari V, Ahmadi S, Zare S, Zaroushani V, Ghorbanideh M. Water Pump Noise Control Using Designed Acoustic Curtains In A Residential Building Of Qazvin City 2018.
2. Abolhasannejad V, Sadeghi Khorashad M, Sadavipour F, Allahyari E. Investigation of absenteeism rate and associated factors in medical educational centers. *J Occup Hygien Engin* 2024; 11(2): 95-104.
3. Golmohamadi R, Biabani A, Azadi N, Abshang I. Noise control and determination of economic indicators in an edible oil industry. *Iran Occup Health* 2020; 17(1).
4. Hamedani A, Bafarani H. Sound-absorbing porous materials, part 1: applications and parameters. *J Sound Vibrat* 2021; 10(19): 110-132.
5. Esmaeili R. Optimization of acoustic performance in honeycomb sandwich sheets. *J Sound Vibrat* 2021; 9(18): 106-114.
6. Rusli M, Rahman F, Dahlan H, Gusriwandi G, Bur M. Sound absorption characteristics of a single micro-perforated panel backed by a natural fiber absorber material. *Solid Stat Phenom* 2020; 307: 291-296.
7. Voronina N. Acoustic properties of fibrous materials. *Appl Acoustic* 1994; 42(2): 165-174.
8. Forouhar-Majd F, Mosayebi M, Rismanchian M, Kohmareh G, Mohammadi Z, Salehian J. Evaluation of Sound Absorption Coefficient of Various Proportions of Nanocomposite Polystyrene/Nanoclay at Different Frequencies. *J Health Sys Res* 2017; 12(4): 454-459.
9. Forouharmajd F, Soury S, Mohammadi Z, Salehian J, Mosayebi M. Optimization of the noise control process of a polystyrene silencer and assessment of its role in sound insertion loss index variation as enclosure in a laboratory. *J Health Sys Res* 2017; 13(1): 98-103.
10. Abdollahi Baghban S, Khorasani M. Flexible Acoustic Polyurethane Foam: An Overview of Physical Structure and Chemical Properties. *Basparesh*. 2018; 8(1): 90-100.
11. Forouharmajd F, Mohammadi Z. The feasibility of using impedance tube with two microphones and sound absorption coefficient measurement of Iranian-made materials using transfer function method. *J Health Sys Res* 2016; 12(1): 119-124.
12. Forouharmajd F, Mohammadi Z, Salehian J, Mosayebi M. The effect of foam thickness, sound intensity, and air layer on sound absorption coefficient of polyurethane foam using transfer function method. *J Health Sys Res* 2016; 12(2): 190-195.
13. Samaei SE, Berardi U, Mahabadi HA, Soltani P, Taban E. Optimization and modeling of the sound absorption behavior of polyurethane composite foams reinforced with kenaf fiber. *Appl Acoustic* 2023; 202: 109176.
14. Forouharmajd F, Mohammadi Z, Salehian J, Mosayebi M. The effect of foam thickness, sound intensity, and air layer on sound absorption coefficient of polyurethane foam using transfer function method. *J Health Sys Res* 2016; 12(2): 190-195.
15. Abdollahi Baghban S, Khorasani M. Study of the Sound Absorption Behavior and Cell walls Roughness of Flexible Polyurethane Foams. *Adv Material New Coating* 2018; 6(24): 1733-1739.
16. Tiuc A-E, Borlea SI, Nemeş O, Vermeşan H, Vasile O, Popa F, et al. New composite materials made from rigid/flexible polyurethane foams with fir sawdust: Acoustic and thermal behavior. *Polymer* 2022; 14(17): 3643.
17. Galadari M. Robust Polyurethane-Zeolite Composites with Diverse Applications: University of California, Los Angeles; 2023.