BRIEF REPORT

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

Fereshteh Sadavipour[1],
Farhad Forouharmajd[2],
Zahra Mohammadi[3]

[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 **o**pen-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)

[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24 ]

گزارش کوتاه

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره سی و ششم شماره ۲۵۶ اردیبهشت سال ۱۴۰۵ (۹۱-۸۶)

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

**فرشته سداوی پور**[۱]
**فرهاد فروهر مجد**[۲]
**زهرا محمدی**[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 سلول‌باز و سلول‌بسته در فرکانس‌های میانی و بالا و ارزیابی تأثیر ضخامت و چگالی بر ضریب جذب صوت، انجام پذیرفت.

**مواد و روش ها:** در این مطالعه تجربی، ۱۵ نمونه فوم پلی‌اورتان شامل ۹ نمونه سلول‌بسته با چگالی‌های ۰/۰۲۰۲، ۰/۰۱۶۶ و ۰/۰۰۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب و ۶ نمونه سلول‌باز 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 میکروفونه 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 سلول‌باز 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 سلول‌بسته با چگالی ۰/۰۰۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب و ضخامت ۱ سانتی‌متر مشاهده شد.

**استنتاج:** فوم پلی‌اورتان سلول‌باز 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.

**واژه های کلیدی:** ضریب جذب صوت، فوم پلی‌اورتان سلول باز، فوم پلی‌اورتان سلول بسته، لوله امپدانس

**مولف مسئول: فرهاد فروهر مجد**– اصفهان: دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران **E-mail:** forouhar@hlth.mui.ac.ir

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

[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24 ]

## 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 می باشد که با جذب موج صوتی و تبدیل آن به گرما، انعکاس صوت و صدا محیط را کاهش می‌دهند(۶-۴). 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. آزمایش‌در شرایط کنترل شده محیطی با دمای ۱ ± ۲۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۳ ± ۵۰ درصد انجام شد تا اثرات این عوامل بر نتایج آکوستیکی به حداقل برسد. نمونه‌های فوم پس از تهیه، به‌وسیله‌ی 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 سلول‌بسته با چگالی‌های ۰/۰۲۰۲، ۰/۰۱۶۶ و ۰/۰۰۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب و ۶ نمونه سلول‌باز با چگالی‌های ۰/۰۲۸۸ و ۰/۰۱۷۱ 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 میکروفونه (با قطر ۳ سانتی‌متر) ساخته شده مطابق استانداردهای ISO10534 و ASTM E 1050 و بر اساس روش تابع انتقال و استاندارد ISO10534-2 اندازه گیری شد. همچنین اعتبار سنجی لوله امپدانس استفاده شده در مطالعات قبلی به‌منظور اندازه‌گیری ضریب جذب صوتی ماده متخلخل تائید شده است(۱۱، ۱۲). برای بررسی عملکرد دستگاه، از یک نمونه فوم استاندارد با ضخامت ۲۵ میلی‌متر به‌عنوان 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 ۱۰۰۰ 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 ۰/۰۲۸۸ $kg/m^3$ و ضخامت ۳ سانتی‌متر، برابر ۰/۹۹ در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز است.

[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24 ]

**جدول شماره ۱:** نتایج اندازه‌گیری و میانگین و انحراف معیار ضریب جذب صوت جاذب های فوم پلی‌اورتان سلول باز و بسته

| نمونه | ماده | چگالی kg/m3 | ضخامت cm | فرکانس (هرتز) ۱۰۰۰ | ۱۲۵۰ | ۱۶۰۰ | ۲۰۰۰ | ۲۵۰۰ | ۳۱۵۰ | ۴۰۰۰ | ۵۰۰۰ | ۶۳۰۰ | انحراف معیار ±میانگین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | پلی‌اورتان سلول بسته | ۰/۰۲۰۲ | ۱ | ۰/۱۶ | ۰/۱۹ | ۰/۲۵ | ۰/۳۹ | ۰/۵۷ | ۰/۸۷ | ۰/۹۸ | ۰/۸۷ | ۰/۵ | ± ۰/۳۱ ۰/۵۳ |
| ۲ | پلی‌اورتان سلول بسته | ۰/۰۲۰۲ | ۲ | ۰/۵۸ | ۰/۵۸ | ۰/۸۳ | ۰/۹۶ | ۰/۸۵ | ۰/۸ | ۰/۸۳ | ۰/۶۹ | ۰/۵۵ | ± ۰/۱۴ ۰/۷۴ |
| ۳ | پلی‌اورتان سلول بسته | ۰/۰۲۰۲ | ۳ | ۰/۶ | ۰/۷۲ | ۰/۹۲ | ۰/۹۳ | ۰/۸ | ۰/۷۹ | ۰/۹۱ | ۰/۸۷ | ۰/۵۳ | ± ۰/۱۴ ۰/۷۸ |
| ۴ | پلی‌اورتان سلول بسته | ۰/۰۱۶۶ | ۱ | ۰/۱۸ | ۰/۱۹ | ۰/۲۲ | ۰/۲۸ | ۰/۴۲ | ۰/۶۶ | ۰/۷۹ | ۰/۹۵ | ۰/۴۹ | ± ۰/۲۸ ۰/۴۶ |
| ۵ | پلی‌اورتان سلول بسته | ۰/۰۱۶۶ | ۲ | ۰/۳ | ۰/۳۵ | ۰/۴۷ | ۰/۶۴ | ۰/۸۲ | ۰/۸۲ | ۰/۸۳ | ۰/۷۸ | ۰/۴۱ | ± ۰/۲۲ ۰/۶۰ |
| ۶ | پلی‌اورتان سلول بسته | ۰/۰۱۶۶ | ۳ | ۰/۵۷ | ۰/۷۲ | ۰/۹ | ۰/۹۱ | ۰/۷۶ | ۰/۷۱ | ۰/۹ | ۰/۸۶ | ۰/۵۶ | ± ۰/۱۳ ۰/۷۶ |
| ۷ | پلی‌اورتان سلول بسته | ۰/۰۰۱۸ | ۱ | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | ۰/۱۵ | ۰/۱۹ | ۰/۲۹ | ۰/۳۵ | ۰/۴۱ | ۰/۶۷ | ± ۰/۱۷ ۰/۲۷ |
| ۸ | پلی‌اورتان سلول بسته | ۰/۰۰۱۸ | ۲ | ۰/۳۱ | ۰/۳۷ | ۰/۵۳ | ۰/۷۱ | ۰/۹۱ | ۰/۹۱ | ۰/۸۸ | ۰/۷ | ۰/۵۲ | ± ۰/۲۲ ۰/۶۵ |
| ۹ | پلی‌اورتان سلول بسته | ۰/۰۰۱۸ | ۳ | ۰/۴۷ | ۰/۵۹ | ۰/۸۱ | ۰/۹۴ | ۰/۸۴ | ۰/۶۸ | ۰/۶۹ | ۰/۵۸ | ۰/۶۷ | ± ۰/۱۴ ۰/۷۰ |
| ۱۰ | پلی‌اورتان سلول باز | ۰/۰۲۸۸ | ۱ | ۰/۱۷ | ۰/۱۷ | ۰/۱۸ | ۰/۲۱ | ۰/۲۹ | ۰/۴۳ | ۰/۴۵ | ۰/۶۴ | ۰/۴۶ | ± ۰/۱۷ ۰/۳۳ |
| ۱۱ | پلی‌اورتان سلول باز | ۰/۰۲۸۸ | ۲ | ۰/۲۳ | ۰/۲۵ | ۰/۳ | ۰/۳۶ | ۰/۵۱ | ۰/۶۴ | ۰/۶۳ | ۰/۷۱ | ۰/۲۹ | ± ۰/۱۹ ۰/۴۳ |
| ۱۲ | پلی‌اورتان سلول باز | ۰/۰۲۸۸ | ۳ | ۰/۷۳ | ۰/۸۵ | ۰/۹۷ | ۰/۹۹ | ۰/۹ | ۰/۷۹ | ۰/۸۷ | ۰/۸۸ | ۰/۶ | ± ۰/۱۲ ۰/۸۴ |
| ۱۳ | پلی‌اورتان سلول باز | ۰/۰۱۷۱ | ۱ | ۰/۱۷ | ۰/۱۷ | ۰/۱۷ | ۰/۲ | ۰/۲۷ | ۰/۴۱ | ۰/۴۲ | ۰/۶۰ | ۰/۴۳ | ± ۰/۱۷ ۰/۲۹ |
| ۱۴ | پلی‌اورتان سلول باز | ۰/۰۱۷۱ | ۲ | ۰/۲۱ | ۰/۲۱ | ۰/۳ | ۰/۳۳ | ۰/۴۸ | ۰/۶۰ | ۰/۶۰ | ۰/۶۹ | ۰/۲۷ | ± ۰/۲۱ ۰/۳۸ |
| ۱۵ | پلی‌اورتان سلول باز | ۰/۰۱۷۱ | ۳ | ۰/۷۰ | ۰/۸۳ | ۰/۹۵ | ۰/۹۸ | ۰/۸۸ | ۰/۷۷ | ۰/۸۵ | ۰/۸۶ | ۰/۵۷ | ± ۰/۱۱ ۰/۸۲ |

فوم سلول بسته با چگالی ۰/۰۲۰۲ $kg/m^3$ و ضخامت ۱ سانتی‌متر، ضریب ۰/۹۸ را در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز دارد. حداقل ضریب جذب برای ضخامت ۱ سانتی‌متر در فوم سلول بسته با چگالی ۰/۰۰۱۸ $kg/m^3$ و فوم سلول باز با چگالی ۰/۰۲۲۸ $kg/m^3$ به ترتیب ۰/۱۴ و ۰/۱۷ در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز گزارش شد. اکثر نمونه‌ها در فرکانس‌های مختلف ضریب جذب بالاتر از ۰/۵ دارند و برای جذب صوت مناسب‌اند. فوم سلول باز با ضخامت ۳ سانتی‌متر و چگالی ۰/۰۲۸۸$kg/m^3$ بالاترین میانگین جذب (۰/۸۴) و فوم سلول بسته با ضخامت ۱ سانتی‌متر و چگالی ۰/۰۰۱۷ $kg/m^3$ پایین‌ترین میانگین (۰/۲۷) را دارد. سایر نمونه‌های سلول بسته با چگالی‌های ۰/۰۱۶۶، ۰/۰۰۱۸ و ۰/۰۲۰۲$kg/m^3$ در ضخامت‌های ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر میانگین‌هایی بین ۰/۲۷ تا ۰/۷۸ نشان دادند که بیانگر عملکرد مناسب در جذب صوت هستند. نتایج نشان می‌دهد عملکرد جذب صوت فوم‌های پلی‌اورتان وابسته به ساختار (باز یا بسته)، چگالی و ضخامت است؛ به طوری که در فرکانس‌های میانی (۲۰۰۰-۱۰۰۰ هرتز) تأثیر چگالی ملایم بوده و افزایش ضخامت بهبود کلی ایجاد می‌کند، در حالی که در فرکانس‌های بالا (۶۳۰۰-۲۵۰۰ هرتز)، افزایش چگالی تأثیر قابل توجهی در بهبود جذب دارد و شکاف بین چگالی‌های مختلف را آشکار می‌سازد، در فوم سلول بسته که جذب آن در ۱ سانتی‌متر ابتدا کم و سپس با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد. در نهایت، فوم سلول باز با ضخامت ۳ سانتی‌متر بهترین عملکرد را با وجود دو پیک جذب نشان می‌دهد و به طور کلی، حتی در چگالی‌های بالا، جذب مؤثرتری نسبت به همتای سلول بسته‌اش، خصوصاً در فرکانس‌های بالا، ارائه می‌دهد. در جاذب‌هایی از جنس فوم پلی‌اورتان سلول بسته، ضخامت‌های ۱ و ۲ سانتی‌متر این جاذب در فرکانس‌های میانی (۲۰۰۰-۱۰۰۰ هرتز) میزان ضریب جذب در کم‌ترین مقدار خود قرار دارد. اما با افزایش فرکانس، ضریب جذب افزایش می‌یابد. هم‌چنین بهبود ضریب جذب با افزایش ضخامت دیده می‌شود. در ضخامت‌های بررسی شده در نمونه با چگالی بالاتر ( ۰/۰۲۰۲$kg/m^3$) ضریب جذب صوت تقریبا در تمامی فرکانس‌ها نسبت به چگالی‌های پایین‌تر (۰/۰۰۱۸ و ۰/۰۱۶۶ $kg/m^3$) از مقادیر بالاتری برخوردار بود. در جاذب‌هایی از جنس فوم پلی‌اورتان سلول باز، در ضخامت‌های ۱ و ۲ سانتی‌متر در فرکانس‌های میانی (۲۰۰۰-۱۰۰۰ هرتز) میزان ضریب جذب در کم‌ترین مقدار خود قرار دارد؛ اما با افزایش فرکانس ضریب جذب افزایش می‌یابد. همچنین بهبود ضریب جذب با افزایش ضخامت به وضوح دیده می‌شود. در ضخامت‌های بررسی شده در نمونه با چگالی بالاتر (۰/۰۲۸۸$kg/m^3$) ضریب جذب صوت تقریبا در تمامی فرکانس‌ها نسبت به چگالی پایین‌تر بهبود یافته است.

[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24 ]

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 کناف نشان داد که ضریب جذب فوم پلی‌اورتان خالص برابر ۰/۴۸ به دست آمد که با بخشی از یافته‌های پژوهش حاضر (۰/۴۷، ۰/۵۷ و ۰/۵۳) 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 ۰/۹۸ و در فرکانس ۳۳۰۰ هرتز برآورد شد. با یافته‌های این پژوهش که به ترتیب ضریب جذب صوت ۰/۹۸، ۰/۹۱ و ۰/۹۰ در فرکانس ۴۰۰۰ 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 ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز جذب می‌شود که در آن ضریب جذب صوت بالاتر از ۰/۶ است. فوم پلی‌اورتان سلول بسته سفت و سخت توانایی جذب صوتی ضعیفی دارد، تقریباً با یافته‌های این مطالعه همخوانی دارد(۱۷). در آخر افزایش ضخامت موجب بهبود جذب صوت شد و بیش‌ترین مقدار جذب در ضخامت ۳ سانتی‌متر مشاهده گردید. رفتار جذب در فرکانس‌های مختلف متغیر بود؛ در بازه‌ی ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ هرتز، عملکرد نمونه‌های نازک ضعیف‌تر و در بازه‌ی ۲۵۰۰ تا ۵۵۰۰ هرتز بهینه‌تر بود. ساختار و ویژگی‌های فیزیکی فوم‌ها بر این رفتار تأثیرگذارند. 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 جاذب 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 ۳۴۰۲۵۱۷ و کد اخلاق IR.MUI.DHMT.REC.1402.037 درمعاونت 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

[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24 ]

## 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, Nemeș O, Vermeșan 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.

[ Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24 ]