DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Vol. 21, No. 4, Winter

Received: 09.05.2024 Accepted: 13.10.2024 Published: 05.01.2026

Investigation of the Acoustic Properties of Panels Made from Pine Cones and Waste Pulp in Mid and High Frequencies

Fereshteh Sadavipour[1], Farhad Forouharmajd[2], Parham Soltani[3], Zahra Mohammadi[4]

Original Article

Abstract

Background: Concerns regarding the environmental impacts of absorbers made from synthetic materials have provided a valuable opportunity to expand research on the application of natural materials as sound absorbers. This study aims to evaluate the efficiency of sound absorbers made from eco-friendly, natural, and recycled materials (pine cones and waste paper pulp) in sound absorption.

Methods: In the present experimental study, six acoustic panels were produced from pine cones and six panels from waste paper pulp, and tested. For this purpose, after preparing the materials and initial processing, polyvinyl alcohol glue was used as a binder, and the materials were molded in cylindrical shapes with a diameter of 3 cm, at a pressure of 2 bar, with varying thicknesses (1, 2, and 3 cm) and densities (300 and 350 kg/m³). After drying, their acoustic properties were evaluated using the two-microphone impedance tube method according to the ISO 10534-2 standard, within the frequency range of 1000 to 6300 Hz.

Findings: The average sound absorption for the pine cone samples at a density of 300 kg/m³ and thicknesses of 1, 2, and 3 cm was 0.40, 0.59, and 0.70, respectively. For the samples with a density of 350 kg/m³, these values were 0.43, 0.67, and 0.64, respectively. Additionally, the average absorption for the waste paper pulp samples at a density of 300 kg/m³ and thicknesses of 1, 2, and 3 cm was 0.55, 0.65, and 0.58, respectively. These values for the samples with a density of 350 kg/m³ were 0.58, 0.46, and 0.65, respectively.

Conclusion: The acoustic panels made from pine cones and recycled paper pulp can be considered as eco-friendly, natural alternatives to synthetic fiber panels, aimed at reducing noise pollution in mid to high frequency ranges.

Keywords: Absorption; Environmentally friendly products; Plant cone; Waste paper pulp; Acoustic impedance

Citation: Sadavipour F, Forouharmajd F, Soltani P, Mohammadi Z. **Investigation of the Acoustic Properties of Panels Made from Pine Cones and Waste Pulp in Mid and High Frequencies.** J Health Syst Res 2026; 21(4): 498-507.

1- MSc Student, Student Research Committee AND Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- Professor, Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- Associate Professor, Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
4- Occupational Health and Safety Engineering, Imen Payesh Sepahan Company, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Farhad Forouharmajd; Professor, Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran; Email: forouhar@hlth.mui.ac.ir

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632]

DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632 Published by Vesnu Publications

بررسی خصوصیات آکوستیک پنل‌های ساخته شده از مخروط کاج و خمیر کاغذ باطله در فرکانس‌های میانی و بالا

فرشته سداوی‌پور[۱]، فرهاد فروهر مجد[۲]، پرهام سلطانی[۳]، زهرا محمدی[۴]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: نگرانی پیرامون موضوع اثرات زیست محیطی جاذب‌های ایجاد شده از مواد مصنوعی، فرصت مناسبی را برای گسترش مطالعات در زمینه کاربرد مواد طبیعی به عنوان جاذب صوت فراهم کرده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی جاذب‌های صوتی تهیه شده از مواد طبیعی و بازیافتی سازگار با محیط زیست (مخروط کاج و خمیر کاغذ باطله) در جذب صوت انجام شد.

روش‌ها: در این مطالعه تجربی آزمایشگاهی، ۶ پنل آکوستیک از مخروط کاج و ۶ پنل از خمیر کاغذ باطله تولید گردید و مورد آزمایش قرار گرفت. بدین منظور، پس از تهیه مواد و آماده‌سازی اولیه، با استفاده از چسب پلی‌وینیل الکل به عنوان اتصال دهنده، مواد در قالب‌های استوانه‌ای با قطر ۳ سانتی‌متر در فشار ۲ بار در ضخامت‌ها (۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر) و چگالی‌های مختلف (۳۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب) قالب‌گیری شدند. پس از خشک شدن، خصوصیات آکوستیک آن‌ها با استفاده از روش لوله امپدانس دو میکروفونه مطابق استاندارد ISO10534-2 در محدوده فرکانسی ۱۰۰۰ تا ۶۳۰۰ هرتز مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: متوسط جذب صوت برای نمونه‌های کاج در چگالی ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ضخامت‌های ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر به ترتیب ۰/۴، ۰/۵۹ و ۰/۷ بود. این مقادیر برای نمونه‌های ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب نیز به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۶۷ و ۰/۶۴ به دست آمد. همچنین، متوسط جذب برای نمونه‌های خمیر کاغذ در چگالی ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ضخامت‌های ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۶۵ و ۰/۵۸ گزارش شد. این مقادیر برای نمونه‌های ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب ۰/۵۸، ۰/۴۶ و ۰/۶۵ تعیین گردید.

نتیجه‌گیری: پنل‌های آکوستیک ساخته شده از مخروط کاج و خمیر کاغذ باطله را می‌توان به عنوان یک پنل طبیعی دوستدار محیط زیست به عنوان جایگزین پنل‌های ساخته شده از الیاف مصنوعی با هدف کاهش آلودگی صوتی در فرکانس‌های میانه و بالا مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: جذب؛ محصولات دوستدار محیط زیست؛ مخروط گیاهی؛ خمیر کاغذ باطله؛ امپدانس صوتی

ارجاع: سداوی‌پور فرشته، فروهر مجد فرهاد، سلطانی پرهام، محمدی زهرا. **بررسی خصوصیات آکوستیک پنل‌های ساخته شده از مخروط کاج و خمیر کاغذ باطله در فرکانس‌های میانی و بالا.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۴۰۴؛ ۲۱ (۴): ۵۰۷-۴۹۸

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۵/۲۲ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۸/۷ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

مقدمه

در سال‌های اخیر، توسعه صنعتی و گسترش کلان‌شهرها مضاف بر رشد بی‌رویه جمعیت، طیف گسترده‌ای از مشکلات زیست محیطی مانند آلودگی صوتی و حجم زیاد پسماند را به دنبال داشته است. امروزه، آلودگی صوتی به یکی از مسایل مهم زیست محیطی که سلامت جسم و روان انسان را تهدید می‌کند، تبدیل شده است (۲، ۱). مواجهه با صدا در صنعت، مشکلات متعددی همچون افزایش هزینه غیبت از کار و کاهش هزینه‌های تولید، کاهش کیفیت کار، اختلال در برقرار کردن ارتباط (۱)، افزایش خستگی و خطای انسانی (۲)، اختلال در خواب و تولید مثل (۳)، پرفشاری خون، مشکلات قلبی- عروقی و گوارشی (۵، ۴)، استرس، کاهش بازده کاری (۶) و افزایش خطر وقوع حوادث را به دنبال دارد (۷). بر اساس اعلام مؤسسه ملی سلامت و ایمنی شغلی، در کشور آمریکا سالانه بالغ بر ۲۲ میلیون نفر در معرض صدای زیان‌آور قرار دارند (۸). همچنین، این سازمان تخمین می‌زند که سالانه ۲۴۲ میلیون دلار هزینه پرداخت غرامت به کارگران درگیر با کم‌شنوایی ناشی از نویز می‌شود (۹). در این راستا، ایجاد محیطی امن و فاقد سر و صدای آزار دهنده، به نیازی اساسی برای بسیاری از نواحی مسکونی و محیط‌های کاری در سراسر جهان تبدیل شده که این جریان منجر به رشد چشمگیر روش‌های کنترل صدا گردیده است. به منظور کاهش آلودگی صوتی و کنترل صدای محیط کار، روش‌های متنوعی مانند روش‌های کنترل فنی و مهندسی، کنترل مدیریتی، آموزش و اطلاع‌رسانی وجود دارد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی و گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای 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- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۴- کارشناس ارشد، شرکت ایمن پایش سپاهان، اصفهان، ایران
نویسنده مسؤول: فرهاد فروهر مجد؛ استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
Email: forouhar@hlth.mui.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632]

بهره‌مندی از جاذب‌های صوت نیز یکی از راهکارهای کنترل صدا در واحدهای صنعتی و ساختمان‌ها به منظور بهبود کیفیت زندگی انسان به شمار می‌رود (۱۰). روش‌های کنترل صدا در دودسته فعال و غیر فعال نیز تقسیم می‌شود. در روش کنترل غیر فعال صدا، از مواد جاذب صوت متخلخل مانند فوم‌ها، موانع و میراکننده‌ها استفاده می‌گردد (۱۲، ۱۱). مواد جاذب صوت اغلب برای به حداقل رساندن صدای ناخوشایند منعکس شده توسط دیوار یا سطح داخلی سخت به منظور کاهش سطح صوت طنین‌دار به کار می‌روند. در این جاذب‌ها، موج صوتی در داخل شبکه‌ای از حفره‌های به هم پیوسته انتشار می‌یابد و به دلیل ابعاد بسیار کوچک حفره‌ها و اندرکنش موج با دیواره آن‌ها، اتلاف حرارتی رخ می‌دهد. در اثر این پدیده، تبدیل انرژی موج صوتی به گرما صورت می‌گیرد و در نهایت، موج صوتی جذب می‌شود (۱۳).

مواد جاذب صوت در ابتدا از الیاف آزبست ساخته می‌شدند. در سال ۱۹۷۰ به دلیل نگرانی در خصوص خطر سلامتی مواد با پایه آزبست برای انسان، این مواد با پنل‌های ساخته شده از الیاف معدنی، مصنوعی و طبیعی جایگزین شدند. در صنایع ساختمانی اغلب از الیاف معدنی و مصنوعی مانند پشم سنگ، پشم شیشه و پلی‌استر برای این منظور استفاده می‌شود. اگرچه این مواد به لحاظ آکوستیکی عملکرد مطلوبی دارند، اما فرایند تولید آن‌ها موجب آلودگی زیست محیطی و ایجاد گازهای گلخانه‌ای می‌شود. ضمن این که مواد مصنوعی قابلیت زیست تخریب‌پذیری ندارند و برای سال‌ها در طبیعت باقی می‌مانند. نگرانی روزافزون در مورد مشکلات ایمنی و سلامتی بشر، مهندسان و سازندگان را به تفحص موادی از جنس طبیعی به عنوان جایگزینی برای مواد مصنوعی و معدنی ترغیب کرده است. در واقع، استفاده از پنل‌های آکوستیکی ساخته شده با الیاف طبیعی، برای سلامت بشر خطرات کمتری دارد و نسبت به سایر اقسام مرسوم الیاف مصنوعی، دوستدار محیط زیست هستند. افزایش رشد مصرف سوخت‌های فسیلی، افزایش قیمت نفت، حجم زیاد پسماند و زباله‌های تولیدی، غیر قابل بازیافت بودن پلیمرهای مصنوعی گوناگون و از طرف دیگر، افزایش فشار از سوی پویندگان محیط زیست و جدیت قوانین تصویب شده توسط کشورهای در حال توسعه، منتج به نوآوری و پیشرفت الیاف طبیعی و فرآورده‌های تجدیدپذیر و دوستدار محیط زیست شده است. از این‌رو، تحقیقات گسترده‌ای به منظور بررسی راه‌های مختلف بازیافت و استفاده مجدد از الیاف طبیعی انجام شده است (۱۴). به طور کلی، از برتری‌های الیاف طبیعی می‌توان به زیست تخریب‌پذیری، قیمت پایین، سازگاری با محیط زیست، فراوان و در دسترس بودن، وزن مخصوص پایین، مقاومت الکتریکی بالا، خواص عایق حرارتی و آکوستیکی خوب و همچنین، سمیت و خطرات کمتر بر سلامت انسان در هنگام فرایند و اجرا اشاره کرد. از معایب آن‌ها نیز می‌توان به مقاومت پایین در برابر آتش و رطوبت، رشد قارچ و تورم در اثر جذب رطوبت اشاره نمود (۱۵). در سال‌های اخیر تحقیقاتی در زمینه مواد طبیعی مانند بامبو (۱۶)، برگ چای (۱۷)، نارگیل (۱۸)، نیشکر (۱۹)، کاه برنج (۲۰)، نخل خرما (۲۱) و مواد گیاهی مختلف (۲۲) به عنوان جاذب صوتی انجام شده است.

نتای پژوهش سعادت‌نیا و همکاران که با هدف امکان ساخته جاذب‌های آکوستیکی دو لایه از نخل خرما انجام شد، نشان داد که جاذب‌های ساخته شده از نخل خرما، قابلیت جذب صوت بالایی دارند (۲۳). صدرالدینی در مطالعه خود که با هدف بررسی کامپوزیت‌های پلیمری حاوی الیاف پشم گوسفند با کاربرد عایق‌های حرارتی و صوتی انجام شد، این الیاف را موادی با عملکرد بالا و جایگزین مناسب برای الیاف پلیمری مصنوعی با کاربرد عایق‌های حرارتی و جاذب صوت معرفی کرد (۲۴). باباخانی فرد و همکاران در تحقیقی با هدف طراحی پنل‌های صوتی در جداره‌های فضای داخلی ساختمان با الگوبرداری از ساز و کار سرخس‌ها، به بررسی خصوصیات آکوستیک گیاهان و الگوبرداری از سرخس‌ها به منظور جذب و افت انتقال جداره‌های داخلی پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که سرخس گیاه تأثیرگذاری در جذب و افت انتقال است (۲۵). در پژوهش Haryono و همکاران که با هدف بررسی کارایی جذب صوتی باگاس نیشکر به همراه چسب پلی‌وینیل استات انجام شد، مشخص گردید که باگاس این قابلیت را دارد که به عنوان یک محصول نوآورانه به صورت پنل کامپوزیتی جاذب صوت مورد استفاده قرار گیرد (۲۶). Mishra و Nath در مطالعه خود ویژگی‌های آکوستیکی- فیزیکی بیوکامپوزیت‌های موز را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که در پنل‌های ساخته شده، ضریب جذب صوت با افزایش فرکانس، افزایش یافت. همچنین، گزارش کردند که می‌توان از بیوکامپوزیت‌های الیاف موز به عنوان جاذب صوت بهره برد (۲۷). در تحقیق Tang و همکاران، خواص آکوستیکی پوسته ذرت بررسی شد و نتایج نشان داد که بیشینه جذب صوت با افزایش ضخامت پنل در فرکانس‌های پایین‌تر اتفاق می‌افتد. علاوه بر این، مشاهده شد که افزایش فاصله هوایی، افزایش ضریب جذب در دامنه فرکانسی پایین را به همراه دارد (۲۸).

امروزه ضایعات شهری، صنعتی و طبیعی به یک معضل بزرگ جدی زیست محیطی برای کشورها تبدیل شده است؛ در حالی که این ضایعات می‌توانند در خدمت رشد و توسعه آن‌ها قرار گیرد و سالانه میلیاردها دلار ارزش افزوده برای اقتصاد این کشورها خلق نماید. به عنوان مثال، در سال ۲۰۲۰ حدود ۹۷۰۰ میلیون تن زباله هیدروکربنی در جهان تولید شد که تنها ۹ درصد آن بازیافت گردید و بخش بزرگی از آن (حدود ۷۹ درصد) به محل‌های دفن زباله، رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها ختم شد (۲۹). معضلات زیست محیطی فوق سبب شکل‌گیری مباحثی مانند کاهش آلودگی صوتی و بازیافت ضایعات در ذهن انسان شده است. برای حصول این امر، محققان و صنایع مبادرت به ساخت و استفاده از جاذب‌های صوتی ساخته‌شده از مواد بازیافتی نموده‌اند. یکی از این ضایعات، مخروط‌های کاج و کاغذ باطله می‌باشد. تاکنون مطالعات محدودی در زمینه جذب صوت این مواد انجام شده است. Jang و Kang به بررسی خصوصیات آکوستیک پنل‌های ساخته شده از مخروط کاج پرداختند. بدین منظور، مخروط‌ها در ضخامت‌های مختلف ساخته شد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که پنل‌های ساخته شده در ضخامت ۱۰ سانتی‌متر، دارای خصوصیات آکوستیک مطلوبی در محدوده فرکانس ۲۵۰ تا ۶۴۰۰ هرتز هستند (۳۰). با توجه به اهمیت موضوع جایگزینی مواد طبیعی سازگار با محیط زیست با مواد مصنوعی زیست تخریب‌ناپذیر و تهدیدکننده سلامتی انسان و از سوی دیگر، مقرون به صرفه بودن بازگردانی ضایعات به چرخه مصرف، پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی جاذب‌های صوتی تهیه شده از مواد طبیعی و بازیافتی سازگار با محیط زیست (مخروط کاج و خمیر کاغذ باطله) در جذب صوت انجام شد.

روش‌ها

این مطالعه که از نوع تجربی آزمایشگاهی بود، جهت بررسی ضریب جذب صوت نمونه‌های پنل ساخته شده از مخروط کاج و خمیر کاغذهای باطله در

https://hsr.mui.ac.ir
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632]

فرکانس‌های بالا انجام گردید.

مواد و تجهیزات: مواد مورد نیاز شامل مخروط کاج از درخت‌های کاج سطح شهر اصفهان و کاغذ باطله از یکی از ادارات شهر اصفهان تهیه و چسب پلی‌وینیل الکل به عنوان اتصال دهنده از شرکت شیمی‌سنتر (ایران) خریداری شد.

تجهیزات مورد نیاز شامل ترازوی آزمایشگاهی دیجیتال (مدل SCALTEC، شرکت Scaltec Instruments GmbH، آلمان) با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، دستگاه پرس هیدرولیکی ساخته شده در دانشگاه صنعتی اصفهان، قالب‌های پلی‌اتیلنی با قطر ۳ سانتی‌متر برای قالب‌گیری نمونه‌ها و لوله امپدانس چهار میکروفونه (با قطر ۳ سانتی‌متر) ساخته شده در دانشگاه علوم پزشکی اصفهان مورد استفاده قرار گرفت.

آماده‌سازی پنل‌ها: جهت آماده‌سازی مواد اولیه، مخروط‌های کاج به وسیله دستگاه خردکن به قطعات کوچک تبدیل گردید. پس از خرد شدن، با توجه به استوانه‌ای بودن نمونه‌هایی که در لوله امپدانس قرار می‌گیرند، از رابطه ۱ جهت محاسبه حجم نمونه استفاده گردید و سپس با کمک رابطه ۲ وزن هر نمونه مشخص شد که در آن، در این رابطه، v حجم، R شعاع، H ضخامت، m جرم و ρ چگالی نمونه می‌باشد.

$$v = \pi R^2 H \qquad \text{رابطه ۱}$$

$$m = \rho v \qquad \text{رابطه ۲}$$

جرم‌های مختلف مخروط خرد شده به کمک ترازوی دقیق اندازه‌گیری و سپس با چسب پلی‌وینیل الکل مخلوط گردید. ابتدا ۵ گرم پلی‌وینیل الکل به وسیله ترازو وزن و در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد. بدین منظور، یک مگنت مغناطیسی درون محلول قرار داده شد و به مدت ۳ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد بر روی دستگاه همزن قرار گرفت. پس از آماده شدن محلول، مخروط‌های خرد شده توسط محلول پلی‌وینیل الکل با درصد وزنی ۵ درصد همبندی شد. در مرحله بعد، مخلوط مخروط کاج و پلی‌وینیل الکل در درون قالب ریخته شد و به مدت ۵ ساعت در فشار ۲ بار تحت فشار قرار گرفت.

برای ساخت پنل‌های آکوستیک از جنس خمیر کاغذ، ابتدا کاغذ به وسیله قیچی به ابعاد کوچک‌تر بریده شد. در ادامه، به وسیله مخلوط‌سازی با آب، خمیر کاغذ تهیه گردید. سپس خمیر تهیه شده به مدت ۲۰ ساعت در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از خشک شدن، مراحل فوق برای آماده‌سازی نمونه (شبیه مراحل آماده‌سازی مخروط کاج) تکرار گردید.

پنل‌ها در چگالی و ضخامت‌های متنوع ساخته شد (جدول ۱). شکل ۱ برخی از نمونه‌های آماده شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمونه‌های ساخته شده از مخروط کاج و خمیر کاغذ باطله

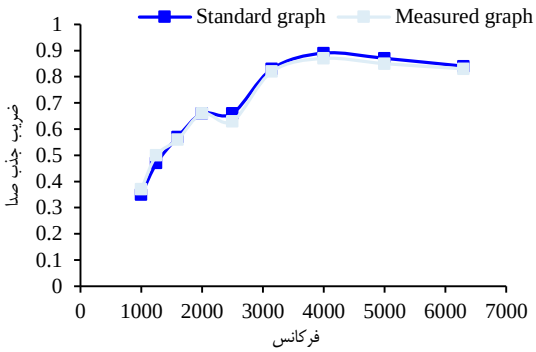
جدول ۱. مشخصات نمونه‌های مخروط کاج و خمیر کاغذ باطله

نمونه	نوع ماده	ضخامت (سانتی‌متر)	چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)
۱	مخروط کاج	۱	۳۰۰
۲	مخروط کاج	۲	۳۰۰
۳	مخروط کاج	۳	۳۰۰
٤	مخروط کاج	۱	۳۵۰
٥	مخروط کاج	۲	۳۵۰
٦	مخروط کاج	۳	۳۵۰
۷	خمیر کاغذ باطله	۱	۳۰۰
۸	خمیر کاغذ باطله	۲	۳۰۰
۹	خمیر کاغذ باطله	۳	۳۰۰
۱۰	خمیر کاغذ باطله	۱	۳۵۰
۱۱	خمیر کاغذ باطله	۲	۳۵۰
۱۲	خمیر کاغذ باطله	۳	۳۵۰

اندازه‌گیری خصوصیات آکوستیکی: استفاده از لوله امپدانس برای اندازه‌گیری ضریب جذب صوت به دو روش تابع انتقال و موج ایستا صورت می‌گیرد. روش تابع انتقال نسبت به روش موج ایستا از صحت بیشتری برخوردار است. روش تابع انتقال با دو میکروفون در سال ۱۹۸۰ معرفی گردید. امروزه این روش به دلیل دقت و سرعت اندازه‌گیری و حداقل وابستگی به اپراتور، مقبولیت زیادی در تعیین ضریب جذب صوت دارد. روش تابع انتقال در اندازه‌گیری جذب صدا شامل تعیین خواص آکوستیکی یک ماده با تجزیه و تحلیل تابع انتقال بین دو سیگنال میکروفون است که در فاصله‌های مختلف از ماده قرار دارند. این تکنیک امکان توصیف دقیق و جزیی ضرایب جذب ماده در طیف وسیعی از فرکانس‌ها را فراهم می‌کند. این روش غیر مخرب است و یکپارچگی ماده مورد آزمایش را حفظ می‌کند. همچنین، در مقایسه با روش‌های سنتی، دقت و قابلیت اطمینان بیشتری به ویژه در فرکانس‌های پایین و میانه دارد؛ جایی که روش‌هایی مانند روش دیگر موج ایستا اغلب دقت کمتری دارند (۳۱).

ضریب جذب صوت نمونه‌ها در مطالعه حاضر با استفاده از لوله امپدانس چهار میکروفونه ساخته شده مطابق استانداردهای ASTM E 1050 و ISO10534 و بر اساس روش تابع انتقال و استاندارد ISO10534-2 اندازه‌گیری گردید. ابتدا جهت امکان‌سنجی و تعیین کارایی لوله، از یک نمونه فوم جاذب با ضخامت ۲۵ میلی‌متر (شرکت BSWA Technology، چین) به عنوان نمونه استاندارد و مرجع استفاده شد. با توجه به توزیع نرمال مقادیر استاندارد و مقادیر حاصل از اندازه‌گیری، مقایسه به وسیله ضریب همبستگی Pearson انجام شد. نمودار فوم استاندارد اندازه‌گیری شده در شرایط آزمایشگاهی با نمودار ضریب جذب استاندارد با ضریب همبستگی ۰/۹۹ رابطه مستقیمی داشت ($P < ۰/۰۰۱$) (شکل ۲). همچنین، اعتبارسنجی لوله امپدانس استفاده شده در مطالعات قبلی به منظور اندازه‌گیری ضریب جذب صوتی مواد جاذب به روش تابع انتقال برای بررسی اثر ضخامت، چگالی، تخلخل و قرارگیری لایه هوا پشت ماده متخلخل تأیید شده است (۳۳، ۳۲). قبل از انجام اندازه‌گیری، ابتدا کالیبراسیون میکروفون‌ها در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز و فشار صوت ۹۴ دسی‌بل صورت گرفت.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632]



شکل ۲. مقایسه ضریب جذب استاندارد با مقادیر اندازه‌گیری شده فوم استاندارد شرکت BSWA با ضخامت ۲۵ میلی‌متر

پس از تأیید کالیبره بودن لوله امپدانس، اقدام به اندازه‌گیری ضریب جذب صوت نمونه‌ها به تفکیک در فرکانس‌های ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۶۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰، ۳۱۵۰، ۴۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۶۳۰۰ هرتز شد. نمونه مورد آزمایش در یک انتهای لوله آکوستیک قرار داده شد. در لوله آکوستیک به جای استفاده از موج سینوسی، سیگنال‌های صوتی با باند پهن فرکانسی توسط بلندگو که در انتهای دیگر لوله قرار دارد، تولید می‌گردد. این موج پس از عبور از مسیر میکروفون اول، توسط میکروفون دوم دریافت و به نرم‌افزار منتقل می‌شود. آزمون برای هر نمونه سه بار تکرار گردید. در ادامه، داده‌ها در نرم‌افزار VA-Lab4 به صورت نمودار و جدول نمایش داده شد.

یافته‌ها

نتایج اندازه‌گیری ضریب جذب صوت پنل‌های ساخته شده از مخروط کاج و خمیر کاغذ باطله در جدول ۲ ارایه شده است. جدول ۳ نیز یک برآورد کلی از مشخصات پنل‌ها با ضخامت و چگالی تعیین شده، میانگین و انحراف معیار و حداقل و حداکثر ضریب جذب صوت ارایه می‌کند. نتایج نشان داد که در محدوده فرکانسی مورد بررسی، بیشتر نمونه‌ها در اغلب فرکانس‌ها دارای ضرایب جذب بالاتر از ۰/۵ بودند که بیانگر مناسب بودن نمونه‌ها جهت استفاده به عنوان جاذب صوت می‌باشد. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب طیف جذب صوت نمونه‌های کاج در سه ضخامت مختلف را در چگالی‌های ۳۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها، نمونه‌های مخروط کاج در ضخامت ۱ سانتی‌متر در هر دو چگالی ۳۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، در بازه فرکانسی ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ هرتز، ضریب جذب صوت کمتری نسبت به محدوده فرکانس ۲۵۰۰ تا ۵۵۰۰ داشتند. مشاهده می‌شود که برای این نمونه‌ها جذب صوت ابتدا پایین بود. با افزایش فرکانس، جذب افزایش یافت و به بیشینه خود رسید و مجدد کاهش یافت. مقایسه دو شکل نشان می‌دهد که با افزایش چگالی، بیشینه جذب در فرکانس پایین‌تری رخ می‌دهد. همچنین، با افزایش ضخامت به ۲ سانتی‌متر برای هر دو چگالی، جذب بهبود یافت و شکل دارای دو پیک خواهد بود. بیشینه جذب صوت با افزایش چگالی در فرکانس‌های پایین‌تر رخ می‌دهد. افزایش ضخامت به ۳ سانتی‌متر، باعث بهبود جذب در نمونه‌های ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب شد و پیک جذب در فرکانس‌های پایین‌تر رخ داد. این در حالی است که افزایش ضخامت از ۲ به ۳ سانتی‌متر در نمونه‌های ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، باعث کاهش ضریب جذب گردید. متوسط جذب برای نمونه‌های کاج در چگالی ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ضخامت‌های ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر به ترتیب ۰/۴، ۰/۵۹ و ۰/۷ به دست آمد. این مقادیر برای نمونه‌های ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۶۷ و ۰/۶۴ گزارش گردید. طیف جذب صوت نمونه‌های خمیر کاغذ در سه ضخامت مختلف در چگالی‌های ۳۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری ضریب جذب صوت پنل‌های ساخته شده از مخروط کاج و خمیر کاغذ باطله

نمونه	نوع ماده	ضخامت (سانتی‌متر)	چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	فرکانس (هرتز)								
				۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۶۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۱۵۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰	۶۳۰۰
۱	مخروط کاج	۱	۳۰۰	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۵	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۵۵	۰/۲۱
۲	مخروط کاج	۲	۳۵۰	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۳۴	۰/۵۶	۰/۷۹	۰/۶۷	۰/۴۷	۰/۲۲
۳	مخروط کاج	۳	۳۰۰	۰/۴۷	۰/۶۳	۰/۸۵	۰/۷۲	۰/۴۸	۰/۳۷	۰/۵۸	۰/۸۴	۰/۳۸
۴	مخروط کاج	۱	۳۵۰	۰/۷	۰/۸۹	۰/۹۳	۰/۶۸	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۸	۰/۶۶	۰/۳۱
۵	مخروط کاج	۲	۳۰۰	۰/۸۹	۰/۹۷	۰/۸۲	۰/۵۹	۰/۴۵	۰/۵۹	۰/۸۹	۰/۵۹	۰/۵۶
۶	مخروط کاج	۳	۳۵۰	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۶۴	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۷۹	۰/۷	۰/۶۸	۰/۴۵
۷	خمیر کاغذ	۱	۳۰۰	۰/۸۶	۰/۸۹	۰/۷۶	۰/۵۳	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۳۱
۸	خمیر کاغذ	۲	۳۵۰	۰/۷۹	۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۷۳	۰/۵۰	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۲۳
۹	خمیر کاغذ	۳	۳۰۰	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۸۲	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۶۴	۰/۵۰	۰/۳۴
۱۰	خمیر کاغذ	۱	۳۵۰	۰/۷۲	۰/۵۵	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۵۹	۰/۵۱	۰/۲۸
۱۱	خمیر کاغذ	۲	۳۰۰	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۴۲	۰/۵۱	۰/۶۸	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۷۳	۰/۳۳
۱۲	خمیر کاغذ	۳	۳۵۰	۰/۴۳	۰/۵۵	۰/۷۳	۰/۸۴	۰/۹۱	۰/۸۱	۰/۷۴	۰/۵۶	۰/۳۱

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632]

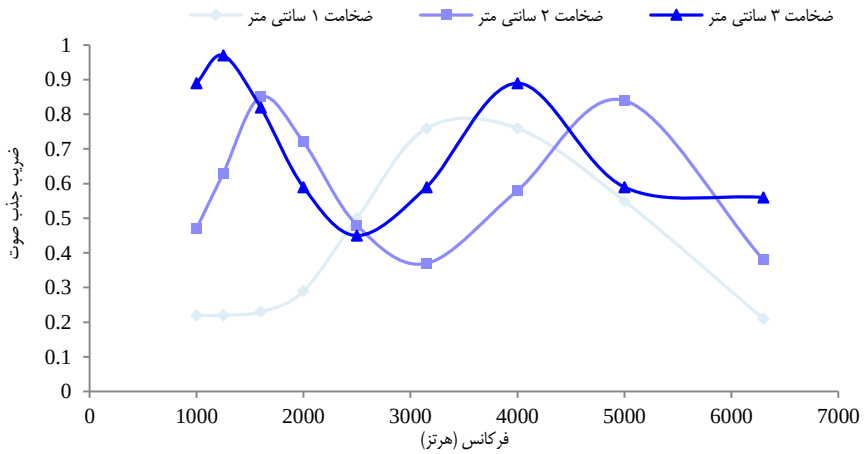
جدول ۳. مشخصات پنل‌ها با ضخامت و چگالی تعیین شده، میانگین و کمینه و بیشینه ضریب جذب صوت

نمونه	نوع ماده	ضخامت (سانتی‌متر)	چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	ضریب جذب (میانگین ± انحراف معیار)	کمینه ضریب جذب
۱	مخروط کاج	۱	۳۰۰	۰/۴۲ ± ۰/۲۳	۰/۲۱
۲	مخروط کاج	۱	۳۵۰	۰/۴۰ ± ۰/۲۳	۰/۱۸
۳	مخروط کاج	۲	۳۰۰	۰/۵۹ ± ۰/۱۸	۰/۳۷
٤	مخروط کاج	۲	۳۵۰	۰/٦٦ ± ۰/۲۱	۰/۳۱
٥	مخروط کاج	۳	۳۰۰	۰/۷۰ ± ۰/۱۹	۰/٤٥
٦	مخروط کاج	۳	۳۵۰	۰/٦۸ ± ۰/۱۷	۰/٤٥
۷	خمیر کاغذ	۱	۳۰۰	۰/۵۵ ± ۰/۲۳	۰/۳۱
۸	خمیر کاغذ	۱	۳۵۰	۰/۵۹ ± ۰/۲٥	۰/۲۳
۹	خمیر کاغذ	۲	۳۰۰	۰/٦٦ ± ۰/۲۰	۰/۳٤
۱۰	خمیر کاغذ	۲	۳۵۰	۰/٤۷ ± ۰/۱٤	۰/۲۸
۱۱	خمیر کاغذ	۳	۳۰۰	۰/۵۸ ± ۰/۲٦	۰/۳۰
۱۲	خمیر کاغذ	۳	۳۵۰	۰/٦٥ ± ۰/۲۰	۰/۳۱

بر این اساس، نمونه‌های با ضخامت ۱ سانتی‌متر در فرکانس‌های میانی، عملکرد بسیار مطلوبی دارند؛ به نحوی که برای نمونه‌های ۳۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، بیشینه جذب به ترتیب در فرکانس‌های ۱۲۵۰ و ۱۶۰۰ هرتز با مقادیر ۰/۸۹ و ۰/۹۱ اتفاق افتاد. با افزایش ضخامت به ۲ سانتی‌متر، مقدار جذب در نمونه‌های ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب بهبود یافت؛ در حالی که در نمونه‌های ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، جذب کاهش پیدا کرد. افزایش ضخامت به ۳ سانتی‌متر، باعث بهبود جذب در اغلب فرکانس‌ها برای چگالی ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب شد. بیشینه جذب برای نمونه‌های ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز با مقدار ۰/۹۷ و برای نمونه‌های ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب در فرکانس ۲۵۰۰ هرتز و مقدار ۰/۹۱ اتفاق افتاد. متوسط جذب برای نمونه‌های خمیر کاغذ در چگالی ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ضخامت‌های ۱، ۲ و ۳ سانتی‌متر به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۶۵ و ۰/۵۸ به دست آمد. این مقادیر برای نمونه‌های ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب نیز به ترتیب ۰/۵۸، ۰/۴۶ و ۰/۶۵ بود.

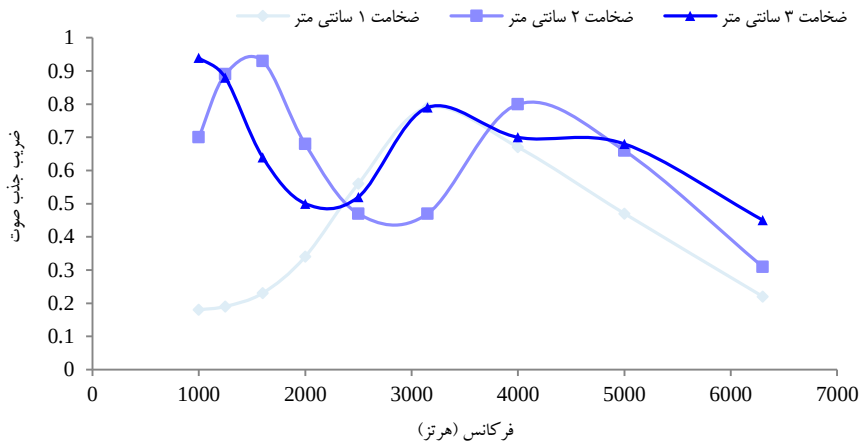
بحث

پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی جاذب‌های صوتی تهیه شده از مواد طبیعی و بازیافتی سازگار با محیط زیست در جذب صوت انجام شد. در خصوص پنل‌های کاج، نمونه‌های ضخیم‌تر کاج به طورکلی توانایی بهتری در جذب صدا دارند؛ هرچند که اثربخشی این بهبود با چگالی ماده متفاوت است. نمونه‌های با چگالی بالاتر (۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب)، تمایل دارند که بیشینه جذب صوت را به فرکانس‌های پایین‌تر منتقل کنند که بسته به کاربرد مورد نظر مانند هدف‌گیری نویز با فرکانس پایین برای جاذب صوتی، می‌تواند مفید باشد.



شکل ۳. طیف جذب پنل‌های کاج با چگالی ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در ضخامت‌های مختلف

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632]

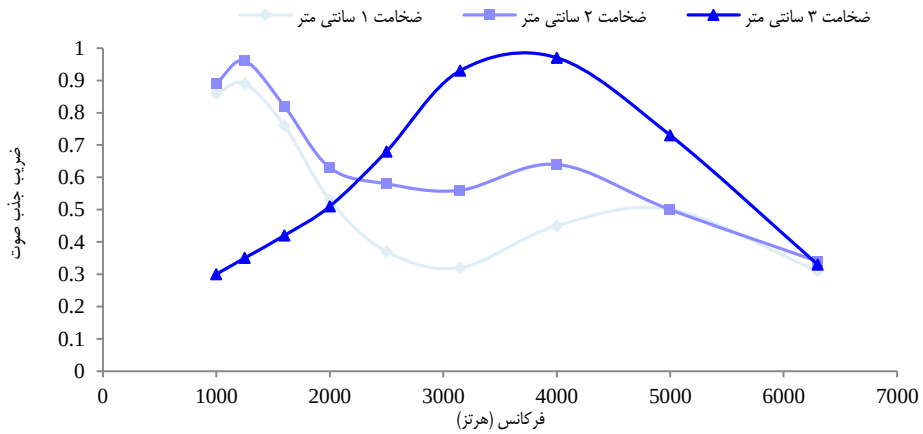


شکل ۴. طیف جذب پنل‌های کاج با چگالی ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب در ضخامت‌های مختلف

رابطه بین ضخامت و چگالی پیچیده است. در حالی که افزایش ضخامت به طور مداوم جذب صوت را برای نمونه‌های با چگالی کمتر (۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب) بهبود می‌بخشد، این روند برای نمونه‌های با چگالی بالاتر صادق نیست. به طور خاص، افزایش ضخامت از ۲ به ۳ سانتی‌متر در نمونه‌های با چگالی بالاتر، منجر به کاهش ضریب جذب می‌شود که نشان دهنده وجود یک ضخامت بهینه است و افزایش بیشتر آن به جای بهبود، ممکن است اثربخشی جذب صدا را کاهش دهد. این نکته بیانگر آن است که برای طراحی مواد آکوستیک مؤثر، هم چگالی و هم ضخامت باید به دقت مورد توجه قرار گیرد و متعادل شود تا عملکرد جذب صوت مطلوب در محدوده فرکانس‌های خاص به دست آید.

در خصوص پنل‌های خمیر کاغذ، برای نمونه‌های با ضخامت ۱ سانتی‌متر، هر دو چگالی (۳۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب) به ترتیب با بیشینه جذب در ۱۲۵۰ و ۱۶۰۰ هرتز عملکرد بسیار خوبی در فرکانس‌های میانی دارند. با افزایش ضخامت به ۲ سانتی‌متر، جذب در نمونه‌های ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب بهبود می‌یابد؛ در حالی که در نمونه‌های ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب کاهش می‌یابد. افزایش ضخامت به ۳ سانتی‌متر، باعث بهبود جذب در بیشتر فرکانس‌ها برای نمونه‌های با چگالی ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌شود. بیشینه جذب برای نمونه‌های ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب به ۴۰۰۰ هرتز با مقدار ۰/۹۷ منتقل می‌شود؛ در حالی که برای نمونه‌های ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب در ۲۵۰۰ هرتز با مقدار ۰/۹۱ اتفاق می‌افتد. مقادیر متوسط جذب برای نمونه‌های ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب با افزایش ضخامت ابتدا افزایش می‌یابد و سپس در ۳ سانتی‌متر کمی کاهش پیدا می‌کند؛ در صورتی که برای نمونه‌های ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، جذب متوسط با افزایش ضخامت به ۲ سانتی‌متر کاهش یافت، اما در ۳ سانتی‌متر بهبود قابل‌توجهی پیدا کرد. این یافته نشان می‌دهد که جذب صوت بهینه در مواد خمیر کاغذ نیز به ترکیب دقیق ضخامت و چگالی بستگی دارد.

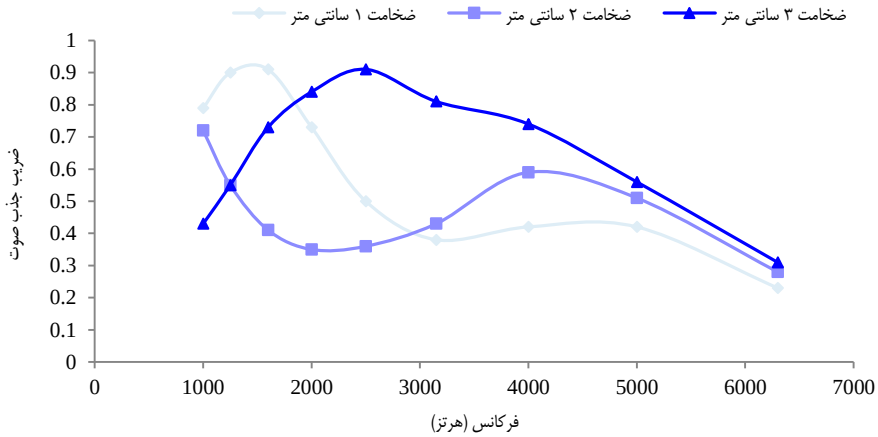
روندهای مشاهده شده در ویژگی‌های جذب صوت پنل‌های کاج و خمیر کاغذ را می‌توان به چندین دلیل اساسی مرتبط با خواص مواد، رفتار آکوستیکی و اصول فیزیکی نسبت داد. مواد با چگالی کمتر اغلب تخلخل بیشتری دارند؛ به این معنی که دارای فضاهای هوایی بیشتری هستند و مواد جامد کمتری دارند. این تخلخل بیشتر می‌تواند جذب صوت را بهبود بخشد؛ چرا که امواج صوتی وارد این فضاها و انرژی صوتی به گرما تبدیل می‌شود.



شکل ۵. طیف جذب پنل‌های خمیر کاغذ با چگالی ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در ضخامت‌های مختلف

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632]



شکل ۶. طیف جذب پنل‌های خمیر کاغذ با چگالی ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب در ضخامت‌های مختلف

مواد با چگالی بیشتر، تخلخل کمتری دارند و منجر به تعامل متفاوتی با امواج صوتی می‌شوند؛ در حالی که ممکن است در برخی فرکانس‌ها صدا را بیشتر منعکس کنند و چگالی به دلیل خواص جرم و سختی، باعث تغییر پیک‌های جذب به فرکانس‌های پایین‌تر شود. از طرف دیگر، مواد ضخیم‌تر مسیر طولانی‌تری برای عبور امواج صوتی فراهم می‌کنند که شانس از بین رفتن امواج صوتی و تبدیل انرژی افزایش می‌یابد. این یافته اغلب منجر به جذب بهتر صوت می‌شود. با این حال، ویژگی‌های رزونانس مواد با ضخامت تغییر می‌کند. در برخی موارد، افزایش ضخامت ممکن است با الگوهای تداخل تخریبی هماهنگ شود و جذب کلی در فرکانس‌های خاص را کاهش دهد. همچنین، مواد جاذب صوت اغلب به فرکانس وابسته هستند. فرکانس‌های پایین‌تر دارای طول موج‌های بلندتری هستند که نیاز به مواد ضخیم‌تر یا سنگین‌تر برای جذب مؤثر دارند. بنابراین، مواد با چگالی بیشتر می‌توانند پیک‌های جذب را به فرکانس‌های پایین‌تر منتقل نمایند. فرکانس‌های بالاتر دارای طول موج‌های کوتاه‌تری هستند و مواد نازک‌تر یا دارای تخلخل بیشتر می‌توانند مؤثرتر باشند. به همین دلیل، نمونه‌های نازک‌تر در فرکانس‌های بالاتر عملکرد بهتری دارند.

در مقایسه با پژوهش‌های صورت گرفته مشابه، در مطالعه Astrauskas و Grubliauskas در زمینه تولید مواد جاذب صوت به دست آمده از ضایعات لجن کاغذ، متوسط ضریب جذب صوت در نمونه‌های با ضخامت ۲ سانتی‌متر، ۰/۵۹ گزارش شد (۳۴). در تحقیق حاضر، مقدار متوسط ضریب جذب صوت برای پنل‌های با ضخامت مشابه، ۰/۶۵ حاصل شد. در پژوهش Jang و Kang بر روی نمونه‌های مخروط کاج، میانگین ضریب جذب صدا، ۰/۶ به دست آمد (۳۰) که با یافته‌های بررسی حاضر (۰/۵۹، ۰/۶۴ و ۰/۷۰) همخوانی داشت. Halashi و همکاران در مطالعه خود عملکرد صوتی و حرارتی پنل‌های الیاف لوفا را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق آنان، میانگین ضریب جذب صدا در گستره ۰/۶۸–۰/۱۶ متغیر بود (۳۵) که تا حدودی با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌راستا می‌باشد. در مطالعه کریمی و همکاران که با هدف بررسی عملکرد صوتی و حرارتی بین بافت‌های پلی‌پروپیلن برای عایق‌کاری در ساختمان‌ها انجام شد، میانگین ضریب جذب صوت، ۰/۶۸–۰/۲۷ به دست آمد (۳۶) که تا حدودی با یافته‌های بررسی حاضر همسو بود.

نتایج به دست آمده در خصوص تأثیر ضخامت بر رفتار جذب صوت در تحقیق حاضر با نتایج پژوهش‌های پیشین (۳۸، ۳۷، ۲۸) مشابهت داشت. نتایج مطالعه تابان و همکاران که با هدف مدل‌سازی رفتار آکوستیکی کامپوزیت الیاف طبیعی نخل خرما با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی انجام شد، نشان داد که افزایش ضخامت کامپوزیت، موجب افزایش میزان جذب صوت می‌شود (۳۷). در تحقیق جعفری و همکاران که با هدف بررسی جذب صوت جاذب‌های رشته چوب– سیمان انجام شد، بهبود جذب صوت نمونه‌ها در هر دو بازه فرکانس بالا و پایین به دنبال افزایش ضخامت گزارش گردید (۳۸). نتایج پژوهش صفاری و همکاران که با هدف بررسی اثر مشخصه‌های ساختاری بافت حلقوی پودی ساده تک لایه و چند لایه بر ضریب جذب صوت صورت گرفت، نشانگر افزایش ضریب جذب صوت به دنبال افزایش ضخامت و وزن در هر مترمربع بود (۲۸) که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی داشت.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که چگالی جاذب، تأثیر زیادی بر رفتار آکوستیک آن‌ها دارد. یافته‌های مطالعات پیشین نشان داده است که مقدار چگالی برای دستیابی به بیشترین جذب، مقدار بهینه‌ای دارد. در چگالی‌های کم، مقدار جذب به دلیل عبور موج صوتی ناچیز است. با افزایش چگالی، مقاومت جریان افزایش می‌یابد و به دلیل افزایش مقاومت ویسکوز، جذب صوت افزایش پیدا می‌کند. با این حال، در چگالی‌های زیاد، به دلیل بسته شدن منافذ، موج صوتی امکان نفوذ در ساختار متخلخل را ندارد و منعکس می‌شود و جذب کاهش می‌یابد. در پژوهش Koizumi و همکاران، با افزایش چگالی در فرکانس‌های میانی و بالا، ضریب جذب افزایش یافت (۳۹). کریمی و همکاران عنوان کردند که با افزایش چگالی منسوج بی‌بافت تا ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، جذب صوت افزایش می‌یابد. افزایش بیشتر در چگالی، باعث کاهش جذب صوت می‌گردد (۳۶). سلطانی و نوروزی جذب صوت سازه‌های الیافی جاذب صوت را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که مقدار جذب صوت در چگالی ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، بیشینه است و چگالی‌های کمتر و یا بیشتر از این مقدار، دارای جذب کمتری هستند (۴۰). در مطالعه احمدی آسور و همکاران که با هدف تعیین مش بهینه جهت ساخت جاذب آکوستیکی از ساقه نی انجام شد، تأثیر افزایش چگالی و ضخامت بر ضریب جذب صوت به وضوح مشهود بود (۴۱) که

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632]

با یافته‌های بررسی حاضر هم‌راستا می‌باشد. با توجه به این که هر تحقیق با محدودیت‌هایی روبه‌رو است، در پژوهش حاضر نیز ساختارهای طبیعی مورد استفاده با وجود ویژگی‌های دوستدار محیط زیست بودن و هزینه پایین، از نظر مقاومت در برابر آتش و امکان رشد قارچ دارای محدودیت بودند. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد که در مطالعات آینده به بررسی مورفولوژی ساختار پنل‌های ساخته شده از جنس مخروط کاج و خمیر کاغذ باطله و تأثیر آن بر رفتار آکوستیک پرداخته شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود خصوصیات ضد آتش و ضد قارچ نمونه‌ها با اعمال مکمل‌های شیمیایی مختلف و بررسی تأثیر نوع مکمل بر رفتار آکوستیک مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی عملکرد جاذب‌های صوتی تهیه شده از مواد طبیعی و بازیافتی سازگار با محیط زیست در جذب صوت انجام گرفت. پس از جمع‌آوری مواد اولیه، آماده‌سازی و اختلاط با چسب پلی‌وینیل کلراید، قالب‌گیری نمونه‌ها در ضخامت‌ها و چگالی‌های مختلف انجام شد. در نهایت، خصوصیات آکوستیک نمونه‌ها با استفاده از روش لوله امپدانس دو میکروفونه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که چگالی و ضخامت بر رفتار آکوستیک نمونه‌ها مؤثر است و با تغییر آن‌ها می‌توان جاذب‌های صوت مهندسی شده با توجه به فرکانس هدف را طراحی و تولید نمود. همچنین، مشخص شد که افزایش ضخامت و چگالی، باعث انتقال بیشینه جذب صوت به فرکانس‌های پایین می‌گردد. حداکثر ضریب جذب در نمونه‌های مخروط کاج و خمیر کاغذ باطله، ۰/۹۷ به ترتیب در فرکانس‌های ۱۲۵۰ و ۴۰۰۰ هرتز به دست آمد. با توجه به این که کاغذهای باطله حاصل از ادارات، مدارس و... و مخروط‌های کاج در سطح شهر به عنوان مواد دور ریختنی و غیر قابل مصرف قلمداد می‌شود، می‌توان از آن‌ها به عنوان یک ماده با قابلیت استفاده مجدد به ویژه در کنترل صدا در صنایع و مکان‌های مختلف استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد با شماره ۳۴۰۲۵۱۷ و کد اخلاق IR.MUI.DHMT.REC.1402.037، مصوب معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد. بدین وسیله از معاونت مذکور به جهت تأمین منابع مالی این مطالعه تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Sekhavati E, Mohammadi ZM, Mohammad FI, Faghihi ZA. Prioritizing methods of control and reduce noise pollution in Larestan cement Factory using analytical hierarchy process (AHP). 2014.
2. Golmohammadi R, Amjadsardroodi H, Daramohammadi A, Mousavi S. Occupational hearing loss due to noise exposure in a tractor manufacturing industry. Occupational Medicine Journal (Tabib Kar). 2012; 4(3): 28-33.
3. Abdollahzade Sani A, Yarahmadi R, Abolghasemi J, Firouzbakhsh M, Besharati J, Alimohammadi I. Prioritization of noise control methods by the analytical hierarchy process (AHP) in a battery factory. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2021; 8(1): 65-73.
4. Mondal MS, Hussain SZ. Banana-glass fiber composite for acoustic insulation and prediction of its properties by fuzzy logic system. Journal of Natural Fibers. 2023; 20(2): 2212928.
5. Hajizadeh R, Khavanin A, Jafari AJ, Barmar M, Dehghan SF. Investigation of acoustic properties of polymer nanocomposites polymer regarding combined sound absorption and insulation characteristics. Journal of Health and safety at Work. 2019; 2019(9): 4.
6. Hashemi Z, Parvari R, Mirzaeian R. Identification of the major sources of noise and noise control techniques in hospitals of Behbahan. Iran Occupational Health. 2018; 15(2): 29-36.
7. Shirali GA, Karimpour S, Afshari D. Assessment and control of noise pollution in seal gas compressor of reduction unit 2 of a steel industry. Iran Occupational Health. 2019; 16(1): 90-101.
8. Palmer KT, Griffin M, Syddall HE, Davis A, Pannett B, Coggon D. Occupational exposure to noise and the attributable burden of hearing difficulties in Great Britain. Occupational and environmental medicine. 2002; 59(9): 634-9.
9. Balanay JAG, Kearney GD, Mannarino AJ. Noise exposure assessment among groundskeepers in a university setting: A pilot study. Journal of occupational and environmental hygiene. 2016; 13(3): 193-202.
10. Kang J, Fuchs HV. Predicting the absorption of open weave textiles and microperforated membranes backed by an air cavity. Applied Acoustics. 1999; 58(3): 193-210.
11. Hamdani A, Bafrani H. Porous sound absorbing materials Part I: Applications and parameters. Scientific Journal of Sound and Vibration. 2021; 20(2): 21-22.
12. Esmaeili R. optimization of acoustic performance in honeycomb sandwich sheets. 2020.
13. 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 State Phenomena. 2020; 307: 291-6.
14. Misra M, Drzal LT. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites: Taylor & Francis Milton Park; 2005.
15. Mamtaz H, Fouladi MH, Al-Atabi M, Narayana Namasivayam S. Acoustic absorption of natural fiber composites. Journal of Engineering. 2016; 2016.
16. Koizumi T, Tsujiuchi N, Adachi A. The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632]

WIT Transactions on The Built Environment. 2002; 59.
17. Ersoy S, Küçük H. Investigation of industrial tea-leaf-fibre waste material for its sound absorption properties. Applied Acoustics. 2009; 70(1): 215-20.
18. Fouladi MH, Nor MJM, Ayub M, Leman ZA. Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel. Applied Acoustics. 2010; 71(3): 241-9.
19. Putra A, Abdullah Y, Efendy H, Farid WM, Ayob MR, Py MS. Utilizing sugarcane wasted fibers as a sustainable acoustic absorber. Procedia Engineering. 2013; 53: 632-8.
20. Putra A, Abdullah Y, Efendy H, Mohamad W, Salleh N. Biomass from paddy waste fibers as sustainable acoustic material. Advances in acoustics and vibration. 2013; 2013(1): 605932.
21. Or KH, Putra A, Selamat MZ. Oil palm empty fruit bunch fibres as sustainable acoustic absorber. Applied Acoustics. 2017;119:9-16.
22. Bastos LP, de Melo GdSV, Soeiro NS. Panels manufactured from vegetable fibers: An alternative approach for controlling noises in indoor environments. Advances in Acoustics and Vibration. 2012; 2012.
23. Saadatniya M, Sattari N, Ryhniya M, Bahmani M. Possibility of fabricating two-layer insulation boards from date palm. Journal of Wood and Forest Science and Technology. 2017; 24(3): 157-70.
24. Sadraldini M. Polymer composites containing sheep wool fibers for thermal and acoustic insulation applications: from introduction to application. Iranian Polymer Technology Research and Development. 28(4): 23.
25. Babakhani Fard S, Abravesh M, Gholipour Gashniani M, Mahmoudi Otaghvari A. Design of Acoustic Panels in the Walls in Interior Spaces of Building by Imitating the Mechanism of Ferns. Honar-Ha-Ye-Ziba: Memary Va Shahrsazi. 2021; 26(3): 59-70.
26. Haryono AP, Ubaidillah U, Diharjo K, editors. The noise absorption performance of sugarcane-bagasse-polyvinyl acetate glue based absorber. AIP Conference Proceedings; 2018: AIP Publishing.
27. Mishra S, Nath G, editors. Synthesis and analysis of acou-physical properties of banana biocomposite. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2018: IOP Publishing.
28. Safari M, Kamali-Dolatabadi M, Rashidi A, Yazdanshenas M. Effect of structural characteristics of single- and multi-layer plain weft-knitted fabrics on sound absorption coefficient. J Text Polym. 2023; 11(2): 49-59.
29. Koh HW, Le DK, Ng GN, Zhang X, Phan-Thien N, Kureemun U, et al .Advanced recycled polyethylene terephthalate aerogels from plastic waste for acoustic and thermal insulation applications. Gels. 2018; 4(2): 43.
30. Jang E-S, Kang C-W. Investigation of sound absorption capability of pine (Pinus densiflora) cone particles . Journal of Wood Science. 2023; 69(1): 4.
31. Golmohammadi R, Oliaei M, Aliabadi M, Shahidi R, Movafagh MO. Comparison of static wave ratio and transfer function method in determining the sound absorption coefficient of materials. Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume. 2018; 5(2): 1-11.
32. 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. Journal of Health System Research. 2016; 12(1): 119-24.
33. 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. Journal of Health System Research. 2016; 12(2): 190-5.
34. Astrauskas T, Grubliauskas R. Method to recycle paper sludge waste: production of panels for sound absorption applications. Environmental and climate technologies. 2020;24(3):364-72.
35. Halashi K, Taban E, Soltani P, Amininasab S, Samaei E, Moghadam DN, et al. Acoustic and thermal performance of luffa fiber panels for sustainable building applications. Building and Environment. 2024; 247: 111051.
36. Karimi F, Soltani P, Zarrebini M, Hassanpour A. Acoustic and thermal performance of polypropylene nonwoven fabrics for insulation in buildings. Journal of Building Engineering. 2022; 50: 104125.
37. Taban E, Khavanin A, Ohadi A. Experimental study and modelling of date palm fibre composite acoustic behaviour using differential evolution algorithm. Iran Occupational Health. 2019; 16(2): 94-108.
38. Jafari A, Monazzam MR, Khavanin A, Lashgari M, Ghoreyshi SA. Sound Absorption of Wood-Wool Cement Absorbers. Journal of Health & Safety at Work. 2023; 13(1).
39. Koizumi T, Tsujiuchi N, Adachi A. The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers. WIT Transactions on The Built Environment. 2002; 59: 157-66.
40. Soltani P, Norouzi M. Prediction of the sound absorption behavior of nonwoven fabrics: Computational study and experimental validation. Journal of Sound and Vibration. 2020; 485: 115607.
41. Asour AA, Monazzam M, Taban E, Hashemi Z, Amininasab S. Determining the Optimal Mesh for Making Acoustic Absorber from Arundo Donax Reed Stem. Journal of Health & Safety at Work. 2023; 13(3).

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.48305/jhsr.v21i4.1632]