JOHE
Journal of Occupational Hygiene Engineering
J Occup Hyg Eng, 2022; 9(2): 88-94. Doi: 10.52547/johe.9.2.88
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

Original Article

Experimental Investigation of Sound Transmission Loss in Double-Glazing Filled with Hydrogel

Iraj Ali Mohammadi[1], Mozhgan Nouraei[1,*], Shahram Vosoughi[1], Ali Esrafili Dizgi[2], Jamileh Abolghasemi[3]

[1] Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[2] Research Center for Environmental Health Technology, Department of Environmental Health Engineering, University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[3] Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Article history:
Received: 05 April 2022
Revised: 03 July 2022
Accepted: 11 July 2022
ePublished: 13 November 2022

[4] ***Corresponding author:** Mozhgan Nouraei, Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Email: mozhgan.nuraei@gmail.com

Abstract

Background and Objective: Double-glazing is one of the methods of sound control. The use of materials other than gas inside double-glazing can develop sound transmission loss. The present study aims to make a double-glazing filled with A200 hydrogel at different ratios and measure the sound transmission loss.

Materials and Methods: In the present study, 4 samples of double-glazing were made with water and A200 hydrogel. The mixing ratios of hydrogel with water were 1:20, 1:75, and 1: 150. The sound transmission loss of each sample was measured three times by AvaSina impedance tube using the sound pressure level through two microphones installed on both sides of the sample according to ISO 10534-1. Then, the results were analyzed by SPSS software (version 24) and repeated measures test.

Results: According to the results, the highest amount of sound transmission loss was related to the water sample at 250 and 500 Hz and the A200-1:20 sample at 1000 and 2000 Hz. Meanwhile, the A200-1:75 sample had the lowest sound transmission loss at 250, 500, and 1000 Hz, and the water sample at 2000 Hz.

Conclusion: The present study indicated that filling empty space of double-glazing with hydrogel increases transmission loss in high frequencies and decreases it in low frequencies compared to that of the water sample. Also, transmission loss of the air sample was found significantly different from all other samples except the A200-1:150 sample by comparing the water and hydrogel samples with the air sample as a control.

Keywords: Double-glazed Glass, Hydrogel, Sound Transmission Loss

Please cite this article as follows: AliMohammadi I, Nouraei M, Vosoughi Sh, Esrafili Dizgi A, Abolghasemi J. Experimental Investigation of Sound Transmission Loss in Double-Glazing Filled with Hydrogel. *J Occup Hyg Eng*. 2022; 9(2): 88-94. DOI: 10.52547/johe.9.2.88

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.52547/johe.9.2.88]

Copyright © 2022 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

JOHE
مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
دوره ۹، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، صفحات: ۹۴-۸۸
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

مقاله پژوهشی

بررسی تجربی افت انتقال صدا در شیشه‌های دوجداره پرشده با هیدروژل

ایرج علی محمدی[۱]، مژگان نورایی[۱*]، شهرام وثوقی[۱]، علی اسرافیلی دیزجی[۲]، جمیله ابوالقاسمی[۳]

[۱] گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۲] گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۳] گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۱۶
تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول:** مژگان نورائی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
ایمیل: mozhgan.nuraei@gmail.com

چکیده

سابقه و هدف: یکی از روش‌های رایج کنترل صدا استفاده از شیشه دوجداره است. به‌کارگیری موادی غیر از گاز داخل شیشه‌های دوجداره افت انتقال صدا را بهبود می‌دهد. هدف از این مطالعه ساخت شیشه‌های دوجداره پرشده با هیدروژل A200 به نسبت‌های مختلف و اندازه‌گیری افت انتقال صدای آن‌هاست.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ۴ نمونه تهیه گردید که شامل یک نمونه آب و سه نمونه هیدروژل با نسبت اختلاط های ۱:۲۰و ۱:۷۵و ۱:۱۵۰ با آب بود. افت انتقال صدا در هریک از نمونه‌ها سه مرتبه با استفاده از لوله آمپدانس آوا سینا با اندازه‌گیری تراز فشار صوت با استفاده از دو میکروفون در دو طرف نمونه مطابق با استاندارد ISO10534-1 اندازه‌گیری شد. سپس با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ و آزمون اندازه‌های تکراری بررسی شد.

یافته‌ها: بیشترین مقدار افت انتقال صدا در فرکانس ۲۵۰ و ۵۰۰ هرتز مربوط به نمونه آب و در فرکانس ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز مربوط به نمونه A200-1:20 بود. این در حالی است که نمونه A200-1:75 در فرکانس‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز و آب در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز کمترین مقدار افت انتقال صدا را به خود اختصاص دادند.

نتیجه‌گیری: جایگزین کردن فضای خالی شیشه‌های دوجداره با هیدروژل در فرکانس‌های بالا باعث افزایش و در فرکانس‌های پایین باعث کاهش افت انتقال صدا نسبت به نمونه آب می‌شود. همچنین با مقایسه نمونه آب و هیدروژل با نمونه هوا به‌عنوان مبنا محققان دریافتند افت انتقال نمونه هوا با تمامی نمونه‌ها به‌جز نمونه A200-1:150 اختلاف معناداری دارد.

واژگان کلیدی: افت انتقال صدا، شیشه دوجداره، هیدروژل

استناد: علی محمدی، ایرج؛ نورایی، مژگان؛ وثوقی، شهرام؛ اسرافیلی دیزجی، علی؛ ابوالقاسمی، جمیله. بررسی تجربی افت انتقال صدا در شیشه‌های دوجداره پرشده با هیدروژل. مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، تابستان ۱۴۰۱؛۹(۲): ۹۴-۸۸.

مقدمه

امروزه محققان با استفاده از روش‌های جدید و به‌روز سعی در کنترل صدا دارند. یکی از روش‌های رایج برای کاهش اثرات نامطلوب صدا، مسدود کردن مسیرهای انتقال صداست. این روش با استفاده از مواد عایق صوت و از طریق افزایش افت انتقال صدا انجام می‌شود. افت انتقال صدا به توانایی مانع در کاهش انتقال صدا اطلاق و بر حسب دسی‌بل اندازه‌گیری می‌شود. افت انتقال صدا تابعی از فرکانس است و عملکرد آن در یک ماده با تغییرات فرکانس تغییر می‌کند. روش‌های افزایش افت انتقال صدا عموماً با استفاده از مواد چندلایه متراکم و ترکیب آن با مواد جاذب متخلخل انجام می‌شود [۱]. تاکنون مطالعات زیادی ثابت کرده‌اند که برای دستیابی به عملکرد بهتر در کنترل صدا، بهبود افت انتقال صدا گزینه مناسبی است. تحقیقات نشان داده‌اند با افزودن یک لایه نازک در داخل شیشه‌های دوجداره، عملکرد صوتی بهتری حاصل می‌شود [۲].

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.52547/johe.9.2.88]

همچنین با پرکردن فضای میانی بین شیشه‌ها با مواد جاذب می‌توان ویژگی‌های آکوستیکی آن‌ها را بهبود بخشید، اما به دلیل شفاف نبودن و جلوگیری از عبور نور این روش‌ها کارآمد نیستند [۳].

یکی از معمول‌ترین ابزارها برای افزایش افت انتقال صدا، شیشه دوجداره است. کنترل صدا با استفاده از شیشه‌های دوجداره یکی از بهترین روش‌های کنترل صدای غیرفعال در مسیر است [۴]. با توجه به محدودیت‌های موجود در شیشه‌های دوجداره ازجمله افت انتقال صدای محدود در گازهای پرکننده و تخلیه این گازها به‌مرور زمان، نیاز آن‌ها به تعویض به علت کاهش کارایی و بهره‌وری و همچنین افزایش صدای محیطی و صنعتی با گذشت زمان، این شیشه‌ها چندان کارآمد نیستند. به همین دلیل استفاده از پرکننده جدید در این تحقیق مدنظر قرار گرفته است.

مطالعاتی که در زمینه افت انتقال صدا درشیشه‌های دوجداره انجام شده است نشان می‌دهند با تغییر نوع شیشه و پرکننده فضای میانی می‌توان افت انتقال صدا را تغییر داد [۵]. همچنین مطالعات گذشته نشان داده‌اند با افزودن یک لایه نازک در داخل شیشه‌های دوجداره، عملکرد صوتی بهتری حاصل می‌شود[۲]. در مطالعات انجام‌شده روی شیشه‌ها یا پانل‌های دوجداره با استفاده از انواع مختلفی از هیدروژل‌ها و با روش‌های مختلف، نتایج نشان داد میزان کاهش صدا (NR) و افت انتقال صدا (STL) بهبود می‌یابد [۶-۸]. با توجه به مطالعات محدود در این زمینه، پژوهش حاضر با هدف اندازه‌گیری افت انتقال صدا در شیشه‌های پرشده با هیدروژل انجام شد.

هیدروژل‌ها شبکه‌های پلیمری سه‌بعدی با ظرفیت جذب بسیار زیاد آب یا سیالات زیستی هستند. این ترکیبات بدون انحلال حتی تا بیش از ۱۰۰۰ برابر جرم پلیمر آب جذب می‌کنند [۹]. هیدروژل‌ها به شکل‌های فیزیکی متنوعی شامل قطعه، میکروذرات، نانوذرات، پوشش‌ها و فیلم فرمول‌بندی و بر اساس ساختار فیزیکی شبکه به انواع بی‌شکل (غیربلوری)، نیمه‌بلوری و بلوری دسته‌بندی می‌شوند [۱۰]. این مواد به دلیل تنوع، فراوانی، ارزانی، تجدیدپذیری، سمی نبودن و نیز زیست تخریب‌پذیری و زیست‌سازگاری بسیار قابل توجه هستند. ظرفیت نگهداری آب و تراوایی مهم‌ترین مشخصه آن‌هاست. وقتی هیدروژل‌های پلیمری شبکه‌ای‌شده در آب یا حلال قرار می‌گیرند، متورم می‌شوند، اما حل نمی‌شوند. آن‌ها به دلیل خواص منحصربه‌فرد در پنجاه سال گذشته بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. ازجمله صنایعی که از این مواد استفاده می‌کنند، می‌توان به صنایع غذایی، بسته‌بندی، دارویی و کشاورزی اشاره کرد. همچنین در ساخت دستگاه‌های فنی و الکترونیکی و جاذب برای حذف آلاینده‌ها در کاربردهای زیست‌محیطی نیز استفاده می‌شوند. این مواد برای محدوده گسترده‌ای از کاربردهای زیست‌پزشکی و زیست‌مهندسی شامل زیست‌حسگرها، مهندسی بافت، پزشکی ترمیمی، جداسازی زیست‌مولکول‌ها یا سلول‌ها به کار گرفته می‌شوند [۱۰،۱۱].

با توجه به اهمیت کنترل صدا از طریق افت انتقال صدا در شیشه‌های دوجداره برای استفاده در صنعت و محل زندگی، هدف نهایی این تحقیق ساخت شیشه‌های دوجداره پرشده با هیدروژل‌های A200 با نسبت‌های اختلاط ۱:۲۰، ۱:۷۵ و ۱:۱۵۰ با آب، اندازه‌گیری و مقایسه افت انتقال صدا در نمونه‌های مذکور است.

روش کار

ساخت شیشه دوجداره

به‌منظور ساخت نمونه‌ها با اندازه مناسب برای قرار گرفتن در لوله آمپدانس، از ۸ عدد شیشه فلوت با ضخامت ۵ و قطر ۱۰۷ میلی‌متر استفاده شد. چگالی شیشه‌های استفاده‌شده در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد که مقدار آن ۱/۹۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. علت این انتخاب، استفاده شرکت‌های معتبر پنجره‌سازی از این نوع شیشه بود. برای تهیه شیشه دوجداره از یک فاصل به ارتفاع ۱۰ و قطر ۱۰۷ میلی‌متر از جنس پلی‌وینیل کلراید استفاده شد و شیشه‌های دوجداره به ضخامت ۲۰ میلی‌متر تهیه شدند. علت استفاده از پلی‌وینیل کلراید استحکام زیاد و دسترسی آسان به این ماده بود.

تهیه نمونه‌های هیدروژل با نسبت‌های مختلف

برای تهیه نمونه‌ها از هیدروژل A200 استفاده شد. هیدروژل A200 یکی از انواع در دسترس در ایران است که بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از شرکت سازنده، این هیدروژل بر پایه آکریلیک اسید ($C_3H_4O_2$)، آکریلامید ($C_3H_5NO_1$) و پتاسیم هیدروکسید (KOH) ساخته می‌شود. به دلیل شفافیت زیاد، ظرفیت زیاد جذب آب و موجود بودن در بازار این نوع هیدروژل به عنوان پرکننده اصلی در این پژوهش انتخاب شد. ویژگی‌های این نوع هیدروژل در جدول ۱ آورده شده است.

برای تهیه مواد پرکننده شیشه‌های دوجداره، یک گرم از هیدروژل با ترازوی حساس وزن و به ترتیب با ۲۰، ۷۵ و ۱۵۰ گرم آب ترکیب شد و به مدت ۶۰ دقیقه برای جلوگیری از تبخیر و تداخلات احتمالی در ظرف دربسته قرار گرفتند. نسبت‌های تهیه‌شده ۱:۲۰، ۱:۷۵ و ۱:۱۵۰ بودند. نسبت‌های اختلاط هیدروژل و آب در این مطالعه بر اساس توصیه سازندگان این نوع

جدول ۱: خصوصیات هیدروژل استفاده‌شده

مشخصات هیدروژل A200	
ظاهر	**دانه سفید درشت**
مقدار رطوبت (درصد)	۳-۵
PH محلول آبی	۶-۷
اندازه (میکرومتر)	۵۰-۱۵۰

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.52547/johe.9.2.88]

حداکثر پایداری (سال)	۷	ظرفیت عملی جذب آب شهر (g/g)	۱۹۰
حداکثر جزء قابل حل (درصد وزنی)	۲-۱	ظرفیت عملی جذب آب مقطر (g/g)	۲۲۰



شکل ۱: تصاویر نمونه‌های ساخته‌شده

از هیدروژل در پژوهشگاه پلیمر انتخاب شد. در مرحله بعد، شیشه‌های دوجداره با هیدروژل‌های تهیه‌شده پر و درزهای آن‌ها به طور کامل بسته شد. همچنین برای مقایسه افت انتقال صدا، یک نمونه شیشه دوجداره با آب پر شد و برای مقایسه دقیق‌تر یک نمونه مبنا نیز تهیه شد. شکل ۱ تصاویر نمونه‌های ساخته‌شده را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری افت انتقال صدا با استفاده از لوله آمپدانس

به‌منظور اندازه‌گیری افت انتقال صدا از لوله آمپدانس آواسینا مدل ۹۴۱۰ واقع در دانشگاه علوم پزشکی همدان و مطابق استاندارد ISO10534-1 استفاده شد. شکل ۲ تصویر لوله آمپدانس مذکور را نشان می دهد. لوله آمپدانس شامل یک استوانه است که در یک انتهای آن بلندگو و در انتهای دیگر آن نمونه آزمایش قرار می‌گیرد. بلندگو به یک ژنراتور صوت خالص و یک آمپلی‌فایر متصل می‌شود. هنگام آزمایش، موج صوتی از بلندگو به سمت انتهای دیگر استوانه منتشر می‌شود و بعد از برخورد به نمونه‌ها، بازتابش می‌یابد. تداخل موج‌های ناشی از موج برخوردی و موج تابشی سبب شکل‌گیری موج ایستا در استوانه می‌شود. با استفاده از یک میکروفون متحرک که به صورت کشویی روی بدنه استوانه قابل جابه‌جایی است، دامنه‌های موج صوتی دریافت و مستقیماً به ترازسنج صوت کالیبره‌شده منتقل می‌شود که از طریق آن می‌توان مقادیر دامنه تراز فشار حداقل و حداکثر را مستقیماً اندازه‌گیری کرد. برای اندازه‌گیری میزان افت انتقال صدای نمونه، قطعه انتهایی دستگاه تعویض و با کمک دو میکروفون مقادیر تراز فشار صوت در دو طرف نمونه اندازه‌گیری می‌شود. درنهایت، نتایج در نرم‌افزار مربوطه وارد و افت انتقال صدا در فرکانس‌های صوتی محدوده معتبر محاسبه می‌شود.

افت انتقال صدا در هر ۴ نمونه ۳ بار در فرکانس‌های ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ اندازه‌گیری شد. تمامی نمونه‌ها به قطر ۱۰۷ و ضخامت ۲۰ میلی‌متر تهیه شدند. درنهایت افت انتقال صدای نمونه‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ با روش اندازه‌های تکراری تعیین شد.



شکل ۲: لوله آمپدانس

نتایج

پس از ساخت نمونه‌ها، افت انتقال صدای آن‌ها با استفاده از لوله آمپدانس اندازه‌گیری شد. تمام آزمایش‌ها در آزمایشگاه آکوستیک دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام و اثر عوامل مداخله‌کننده به حداقل رسانده شد. به‌منظور به‌دست آوردن میانگین افت انتقال بعد از ۳ بار اندازه‌گیری در هر نمونه، از آزمون اندازه‌های تکراری (Repeated Measurement) استفاده شد. نتایج آزمون در جدول ۲ نشان داده شده است.

با مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری افت انتقال صدا در بین نمونه‌های هیدروژل یافت می‌شود که:

جدول ۲: نتایج آزمون اندازه‌های تکراری افت انتقال صدا در نمونه‌ها

نمونه	فرکانس	میانگین	انحراف معیار	تعداد اندازه‌گیری
آب	۲۵۰	۱۰/۴۰۰	۰/۲۶۴۵۸	۳
	۵۰۰	۱۱/۸۰۰	۰/۴۵۸۲۶	۳
	۱۰۰۰	۱۲/۷۰۰	۰/۳۴۶۴۱	۳
	۲۰۰۰	۱۳/۷۰۰	۰/۱۷۳۲۱	۳
A200-1:20	۲۵۰	۸/۹۰۰	۰/۱۰۰	۳
	۵۰۰	۹/۳۰۰	۰/۱۰۰	۳
	۱۰۰۰	۱۲/۸۳۳۳	۰/۰۵۷۷۴	۳
	۲۰۰۰	۱۷/۱۰۰	۰/۱۷۳۲۱	۳

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.52547/johe.9.2.88]

A200-1:75	۲۵۰	۷/۷۰۰	۰/۱۷۳۲۱	۳
	۵۰۰	۷/۵۰۰	۰/۰۰۰	۳
	۱۰۰۰	۱۱/۸۰۰	۰/۲۰۰	۳
	۲۰۰۰	۱۶/۷۰۰	۰/۱۷۳۲۱	۳
A200-1:150	۲۵۰	۸/۷۰۰	۰/۳۶۰۵۶	۳
	۵۰۰	۹/۲۰۰	۰/۱۷۳۲۱	۳
	۱۰۰۰	۱۲/۰۰۰	۰/۱۰۰	۳
	۲۰۰۰	۱۵/۷۰۰	۰/۲۶۴۵۸	۳

- افت انتقال صدا در نمونه هیدروژل A200-1:20 در تمامی فرکانس‌ها بیشترین مقدار را دارد.
- افت انتقال صدا در هیدروژل A200-1:75 در تمامی فرکانس‌ها به‌جز فرکانس ۲۰۰۰ هرتز کمترین مقدار را دارد.
- افت انتقال صدا در نمونه هیدروژل A200-1:150 در تمامی فرکانس‌ها به‌جز فرکانس ۲۰۰۰ نسبت به نمونه A200-1:75 عمکرد بهتری داشته است.

مقایسه افت انتقال صدای نمونه‌های هیدروژل با نمونه آب نشان داد که:

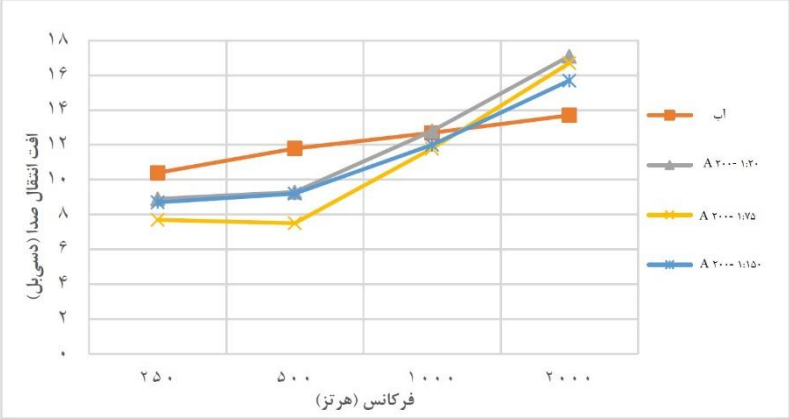
- بیشترین افت انتقال صدا در فرکانس‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ هرتز مربوط به آب بود.
- در فرکانس۱۰۰۰، هرتز بیشترین افت انتقال صدای نمونه A200-1:20 عملکرد بهتری داشت و نمونه آب در جایگاه دوم قرار گرفت.
- در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، افت انتقال صدای نمونه آب کمترین میزان را داشت.

برای مقایسه بهتر مقدار افت انتقال صدا در نمونه‌ها، میانگین افت انتقال صدا در هر نمونه بررسی شد. شکل ۴ بیانگر نتایج این مقایسه است.

شکل ۳، نمودار افت انتقال صدای اندازه‌گیری‌شده را در نمونه‌ها نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۴، میانگین کلی افت انتقال صدا در نمونه آب بیشترین میزان و در نمونه هیدروژل A200-1:75 کمترین میزان را دارد. برای مقایسه میانگین افت انتقال صدا در بین نمونه‌ها از آزمون مقایسه زوجی استفاده شد. نتیجه آزمون در جدول ۳ آمده است.

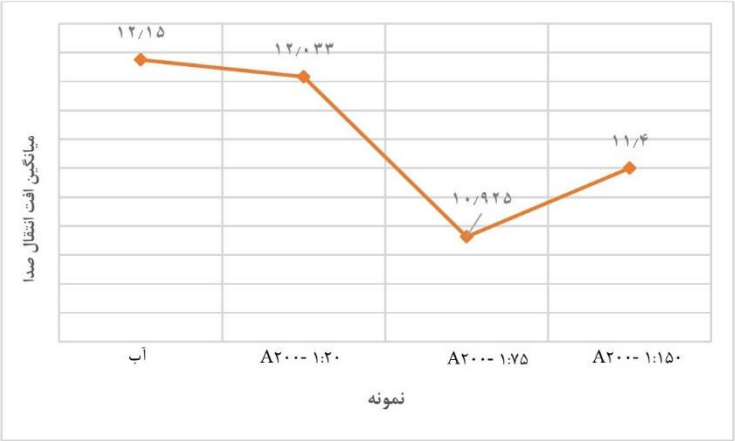
با توجه به جدول ۳، مقادیر P نشان داد بین میانگین افت انتقال صدا در نمونه آب با نمونه A200-1:20 اختلاف معناداری وجود ندارد (P>۰/۰۵). این در صورتی است که در سایر نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده بین میانگین افت انتقال صدا اختلاف معناداری وجود دارد. مقایسه میانگین افت انتقال صدا بین نمونه‌های مورد بحث و نمونه هوا نشان داد اختلاف میزان افت انتقال صدا در نمونه هوا با نمونه A200-1:150 با توجه به مقدار P معنادار نیست و مقدار آن کمتر از نمونه A200-1:150 است، درصورتی که این اختلاف با سایر نمونه‌ها معنادار است.



شکل ۳: نمودار مقایسه افت انتقال صدا در نمونه‌های مختلف

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.52547/johe.9.2.88]



شکل ۴: مقایسه میانگین افت انتقال صدا در نمونه‌ها

جدول ۳: آزمون مقایسه زوجی میانگین افت انتقال صدا در هر نمونه

نمونه‌های مطالعه‌شده		اختلاف میانگین‌ها	خطای استاندارد	معنی‌داری	فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای تفاوت	
					کران پایین	کران بالا
آب	A200-1:20	۰/۱۰۷	۰/۰۸۹	۱/۰۰۰	-۰/۲۹۳	۰/۵۲۷
	A200-1:75	۱/۲۵۵*	۰/۰۷۴	۰/۰۰۰	۰/۸۸۷	۱/۵۶۳
	A200-1:150	۰/۷۵۰*	۰/۱۱۲	۰/۰۰۴	۰/۲۳۷	۱/۲۶۳
A200-1:20	آب	-۰/۱۱۷	۰/۰۸۹	۱/۰۰۰	-۰/۵۲۷	۰/۲۹۳
	A200-1:75	۱/۱۰۸*	۰/۰۵۷	۰/۰۰۰	۰/۸۴۹	۱/۳۶۸
	A200-1:150	۰/۶۳۳*	۰/۰۷۸	۰/۰۰۱	۰/۲۷۵	۰/۹۹۲
A200-1:75	آب	-۱/۲۲۵*	۰/۰۷۴	۰/۰۰۰	-۱/۵۶۳	-۰/۸۸۷
	A200-1:20	-۱/۱۰۸*	۰/۰۵۷	۰/۰۰۰	-۱/۳۶۸	-۰/۸۴۹
	A200-1:150	-۰/۴۷۵*	۰/۰۷۱	۰/۰۰۴	-۰/۷۹۹	-۰/۱۵۱
A200-1:150	آب	-۰/۷۵۰*	۰/۱۱۲	۰/۰۰۴	-۱/۲۶۳	-۰/۲۳۷
	A200-1:20	-۰/۶۳۳*	۰/۰۷۸	۰/۰۰۱	-۰/۹۹۲	-۰/۲۷۵
	A200-1:75	۰/۴۷۵*	۰/۰۷۱	۰/۰۰۴	۰/۱۵۱	۰/۷۹۹

*: تفاوت میانگین در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

بحث

مطالعه حاضر با هدف مقایسه میزان افت انتقال صدا در شیشه‌های دوجداره پرشده با هیدروژل با نسبت‌های مختلف انجام شد. با توجه به شکل ۳، افت انتقال صدای نمونه آب در فرکانس ۲۵۰ و ۵۰۰ هرتز نسبت به سایر نمونه‌ها بیشتر است. نمونه A200-1:75 نسبت به افت انتقال صدای سایر نمونه‌ها در فرکانس ۲۵۰ و ۵۰۰ هرتز افت انتقال صدا کمتری داشت که می‌توان این رفتار را به فرکانس رزونانس (Resonant Frequency) یا فرکانس بحرانی (Critical Frequency) نسبت داد. با بیشتر شدن فرکانس موج صوتی، ارتعاش صفحه در یک سری از فرکانس‌ها تشدید می‌شود که به آن فرکانس رزونانس می‌گویند. فرکانس رزونانس به معنی تمایل سیستم یا شیء به جذب و بیشتر کردن ارتعاش یا انرژی دریافتی است.

فرکانس بحرانی مربوط زمانی است که فرکانس بعد از ناحیه جرمی افزایش می‌یابد. طول موج خمشی ماده که به فرکانس وابسته است، با طول موج صدا یکدیگر را تقویت می‌کنند و درنتیجه افت انتقال صدا به‌شدت کاهش می‌یابد [۱۲].

نتایج حاصل از مقایسه افت انتقال صدای نمونه‌ها نشان داد بیشترین افت انتقال صدا در فرکانس ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز مربوط به هیدروژل A200-1:20 است. برای فرکانس‌های بیشتر از فرکانس بحرانی، افت انتقال صدا به‌شدت به فرکانس موج صوتی ورودی (wave-coincidence region) و میرایی مواد داخل مانع (damping-controlled region) بستگی دارد [۱۲]. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، می‌توان گفت که در نمونه A200-1:20 به دلیل بیشتر بودن غلظت هیدروژل و کم بودن مقدار آب نسبت به سایر نمونه‌ها و درنهایت تخلخل بیشتر و به طبع آن بیشتر شدن میرایی، از تماس لایه‌ها به‌طور مستقیم با یکدیگر ممانعت شد و درنتیجه افت انتقال صدا افزایش یافت.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.52547/johe.9.2.88]

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد افت انتقال صدا در فرکانس ۲۰۰۰ در تمامی نمونه‌های هیدروژل بیشتر از نمونه آب است و این نمونه‌ها در فرکانس‌های بالا کارایی بیشتری دارند، درحالی‌که در فرکانس‌های میانی و پایینی این‌طور نیست. در توافق با نتایج مذکور، Comadini و همکاران (۲۰۲۱) با اندازه‌گیری و بررسی ضریب جذب در کامپوزیت پلی‌لاکتیک اسید با و بدون هیدروژل F127 هیبرید آلژینات با استفاده از لوله آمپدانس دریافتند که در فرکانس کمتر از ۵۰۰ هرتز، ضریب جذب در کامپوزیت ساخته‌شده با هیدروژل بیشتر از دو برابر نمونه معمولی بهبود یافت [۱۳]. Zhou و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای با عنوان «پنجره هوشمند پاسخگو به حرارت مشتق‌شده از هیدروژل» دریافتند که با پر کردن فضای میانی پنجره دوجداره با هیدروژل پلی ایزوپروپیل آکریلامید و آب، صدا (NR) در این نمونه کاهش یافت که در فرکانس‌های ۱۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز از شیشه دوجداره معمولی ۳۴ دسی‌بل بیشتر است [۷].

Rothemund و همکاران (۲۰۱۸) با هدف بررسی عملکرد صوتی یک الاستومر شفاف (یک هیدروژل پلی آکریل آمید متورم با محلول آبی سدیم کلسیم) با ضخامت ۲ میلی‌متر به‌منظور کنترل صدا بین فرکانس‌های ۱۵۰ تا ۱۰۰۰ هرتز دریافتند که میزان افت انتقال صدا در کنترل غیرفعال و فعال افزایش می‌یابد [۸].

با توجه به افت انتقال صدای بیشتر آب در فرکانس‌های ۲۵۰، ۵۰۰، و ۱۰۰۰ هرتز، این ویژگی را می‌توان به دلیل آمپدانس صوتی و خصوصیات آب نیز در نظر گرفت. با توجه به معادله افت انتقال صدا و وابستگی ضریب انتقال ماده به چگالی و سرعت صوت با توجه به جدول ۴ می‌توان علت این اتفاق را آمپدانس صوتی زیاد آب دانست [۱۲].

جدول ۴: آمپدانس صوتی مواد مختلف

ماده	چگالی (ρ) $\frac{kg}{m^3}$	سرعت صوت در ماده (c) $\frac{m}{s}$	آمپدانس صوتی ($Z_\circ$) Rayl
هوا (۲۵ و فشار ۱ اتمسفر)	۱/۱۸۴	۳۴۶/۱	۴۰۹/۸
آب (۲۵)	۹۹۷/۰	۱۴۹۴/۵	۱/۴۹۰ × ۱۰^۶
شیشه (پنجره)	۲۵۰۰	۶۰۰۰	۱۵/۰۰ ×۱۰^۶

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد کارایی افت انتقال صدا در شیشه‌های دوجداره با تغییر نوع پرکننده شیشه‌ها تغییر می‌کند. مطالعه حاضر نشان داد استفاده از هیدروژل به‌عنوان جایگزین هوا در فرکانس‌های بالا باعث افزایش افت انتقال صدا می‌شود. همچنین تغییر نسبت اختلاط باعث تغییر نتایج می‌شود، به‌طوری‌که بیشترین افت انتقال صدا مربوط به هیدروژل A200-1:20 به مقدار ۱۷/۱ دسی‌بل در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز مشاهده شد. علت افزایش افت انتقال صدا احتمالاً تغییرات سطح و غلظت هیدروژل و آمپدانس صوتی زیاد آب است. کاهش افت انتقال صدا در فرکانس‌های میانی در برخی از نمونه‌ها به این علت است که فرکانس ۵۰۰ هرتز برای برخی از نمونه‌ها، فرکانس رزونانس یا بحرانی محسوب می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم مژگان نورایی به راهنمایی دکتر ایرج علی‌محمدی است. بدین‌وسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی این دانشگاه تشکر می‌کنند.

تضاد منافع

در این پژوهش هیچ‌گونه تضاد منافع و تعارضی وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

در این پژوهش تمام ملاحظات اخلاقی مدنظر دانشگاه علوم پزشکی ایران رعایت شده است. کد اخلاق این مطالعه IR.IUMS.REC.1399.390 است.

سهم نویسندگان

ایرج علی‌محمدی: استاد راهنمای پایان‌نامه، شهرام وثوقی: استاد مشاور پایان‌نامه، علی اسرافیلی دیزجی: استاد مشاور پایان‌نامه، جمیله ابوالقاسمی: مشاور تهیه داده‌ها، مژگان نورایی: گردآوری پایان‌نامه و تهیه‌کننده اصلی مقاله.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی ندارد.

REFERENCES

1. Barnard AR, Rao MD. Measurement of sound transmission loss using a modified four microphone impedance tube. Location: Baltimore Maryland, United States: Transportation Research Board; 2004.
2. Assaf R, Descombes G, Guillemard F, Elhachem E, Larbi W. Experimental evaluation of sound transmission through single, double and laminated glazing. *AIP Conf Proc*. 2017:**1814**(1). DOI: 10.1063/1.4976264
3. Tsukamoto Y, Tomikawa Y, Sakagami K, Okuzono T, Maikawa H, Komoto Y. Experimental assessment of sound insulation performance of a double window with porous absorbent materials its cavity perimeter. *Appl Acoust*. 2020;**165**:107317. DOI: 10.1016/j.apacoust.2020.107317
4. Miskinis K, Dikavicius V, Bliudzius R, Banionis K. Comparison of sound insulation of windows with double glass units. *Appl Acoust*. 2015;**92**:42-6. DOI: 10.1016/j.apacoust.2015.01.007
5. Du L, Lau SK, Lee SE. Experimental study on sound transmission loss of plenum windows. *J Acoust Soc Am*. 2019;**146**(6):489-95. PMID: 31893700 DOI: 10.1121/1.5139206
6. Khosrozadeh A, Rasuli R, Hamzeloopak H, Abedini Y. Graphene oxide–polymer hydrogel: wettability and sound absorption. 2021. DOI: 10.21203/rs.3.rs-386971/v1
7. Zhou Y, Wang S, Peng J, Tan Y, Li C, Boey FYC, et al. Liquid thermo-responsive smart window derived from hydrogel. *Joule*. 2020;**4**(11):2458-74. DOI: 10.1016/j.joule.2020.09.001
8. Rothemund P, Morelle XP, Jia K, Whitesides GM, Suo Z. A transparent membrane for active noise cancelation. *Adv Funct Mater*. 2018;**28**(29):1-8. DOI: 10.1002/adfm.201800653
9. Jamshidi H. Iran polymer technology, research and development. *Rimag*. 1396;**2**(2):37-55.[Persian].

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.52547/johe.9.2.88]

10. Nagam SP, Jyothi AN, Poojitha J, Aruna S, Nadendla RR. A comprehensive review on hydrogels. *Int J Curr Pharm Res*. 2016;**8**(1):19-23.
11. Tangri A. Polyacrylami based hydrogels: synthesis, characterization and applications. *Int j pharm chem biol sci*. 2014;**4**(4):951-9.
12. Barron RF. Industrial noise control and acoustics. CRC Press; 2002.
13. Comandini G, Scarpa F, Azarpeyvand M, Ting V. 3D Printed pla-hydrogel fractal acoustic composite metamaterial

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.52547/johe.9.2.88]