



Original Article



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

Iraj Ali Mohammadi<sup>1</sup> , Mozhgan Nouraei<sup>1,\*</sup> , Shahram Vosoughi<sup>1</sup> , Ali Esrafil Dizgi<sup>2</sup> , Jamileh Abolghasemi<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Research Center for Environmental Health Technology, Department of Environmental Health Engineering, University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

## Abstract

### Article history:

Received: 05 April 2022

Revised: 03 July 2022

Accepted: 11 July 2022

ePublished: 13 November 2022

**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

<sup>4</sup> \*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

**Please cite this article as follows:** AliMohammadi I, Nouraei M, Vosoughi Sh, Esrafil 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



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 cited



مقاله پژوهشی

## بررسی تجربی افت انتقال صدا در شیشه‌های دوجداره پرشده با هیدروزل

ایرج علی محمدی<sup>۱</sup> ، مژگان نورایی<sup>۱\*</sup> ، شهرام وثوقی<sup>۱</sup> ، علی اسرافیلی دیزجی<sup>۲</sup> ، جمیله ابوالقاسمی<sup>۳</sup> 

<sup>۱</sup> گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

<sup>۲</sup> گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

<sup>۳</sup> گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

### چکیده

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

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه نمونه تهیه گردید که شامل یک نمونه آب و سه نمونه هیدروزل با نسبت اختلاط‌های ۱:۲۰ و ۱:۷۵ و ۱:۱۵۰ با آب بود. افت انتقال صدا در هریک از نمونه‌ها سه مرتبه با استفاده از لوله آمپدانس آوا سینتا 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 ۱:۲۰ A200 بود. این در حالی است که نمونه ۱:۷۵ A200 در فرکانس‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ 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 هیدروزل 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 هیدروزل با نمونه هوا به عنوان مبنای محققان دریافتند افت انتقال نمونه هوا با تمامی نمونه‌ها به جز نمونه ۱:۷۵ A200 اختلاف معناداری دارد.

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 نورایی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

ایمیل: mozhgan.nuraei@gmail.com

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

### مقدمه

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].

امروزه محققان با استفاده از روش‌های جدید و به روز 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

بافت، پژشکی ترمیمی، جداسازی زیستمولکول ها یا سلول ها به کار گرفته می شوند [۱۰، ۱۱].

با توجه به اهمیت کنترل صدا از طریق افت انتقال صدا در شیشه های دوجداره برای استفاده در صنعت و محل زندگی، هدف نهایی این تحقیق ساخت شیشه های دوجداره پرشده با هیدروژل های A200 با نسبت های اختلاط ۱:۲۰، ۱:۷۵ و ۱:۱۵۰ با آب، اندازه گیری و مقایسه افت انتقال صدا در نمونه های مذکور است.

## روش کار

### ساخت شیشه دوجداره

به منظور ساخت نمونه ها با اندازه مناسب برای قرار گرفتن در لوله آمپدans، از ۸ عدد شیشه فلوت با ضخامت ۵ و قطر ۱۰۷ میلی متر استفاده شد. چگالی شیشه های استفاده شده در آزمایشگاه اندازه گیری شد که مقدار آن ۱/۹۹ گرم بر سانتی متر مکعب بود. علت این انتخاب، استفاده شرکت های معتبر پنجره سازی از این نوع شیشه بود. برای تهیه شیشه دوجداره از یک فاصل به ارتفاع ۱۰ و قطر ۱۰۷ میلی متر از جنس پلی وینیل کلراید استفاده شد و شیشه های دوجداره به ضخامت ۲۰ میلی متر تهیه شدند. علت استفاده از پلی وینیل کلراید استحکام زیاد و دسترسی آسان به این ماده بود.

### تهیه نمونه های هیدروژل با نسبت های مختلف

برای تهیه نمونه ها از هیدروژل A200 استفاده شد. هیدروژل A200 یکی از انواع در دسترس در ایران است که بر اساس اطلاعات به دست آمده از شرکت سازنده، این هیدروژل بر پایه آکریلیک اسید (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>)، آکریلامید (C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>NO<sub>1</sub>) و پاتاسمیم هیدروکسید (KOH) ساخته می شود. به دلیل شفافیت زیاد، ظرفیت زیاد جذب آب و موجود بودن در بازار این نوع هیدروژل به عنوان پر کننده اصلی در این پژوهش انتخاب شد. ویژگی های این نوع هیدروژل در جدول ۱ آورده شده است.

برای تهیه مواد پر کننده شیشه های 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 درسته قرار گرفتند. نسبت های تهیه شده ۱:۲۰، ۱:۷۵ و ۱:۱۵۰ بودند. نسبت های اختلاط هیدروژل و آب در این مطالعه بر اساس توصیه سازنده این نوع

جدول ۱: خصوصیات هیدروژل استفاده شده

### مشخصات هیدروژل A200

اظاهر	دانه سفید درشت
مقدار رطوبت (درصد)	۳-۵
PH محلول آبی	۷-۶
اندازه (میکرومتر)	۵۰-۱۵۰

همچنین با پر کردن فضای میانی بین شیشه ها با مواد جاذب می توان ویژگی های آکوستیکی آن ها را بهبود بخشید، اما به دلیل شفاف نبودن و جلوگیری از عبور نور این روش ها کار آمد نیستند [۱۲].

یکی از معمول ترین ابزارها برای افزایش افت انتقال صدا، شیشه دوجداره است. کنترل صدا با استفاده از شیشه های دوجداره یکی از بهترین روش های کنترل صدای غیرفعال در مسیر است [۱۳]. با توجه به محدودیت های موجود در شیشه های دوجداره از جمله افت انتقال صدای محدود در گاز های پر کننده و تخلیه این گازها به مرور زمان، نیاز آن ها به تعویض به علت کاهش کارایی و بهره وری و همچنین افزایش صدای محیطی و صنعتی با گذشت زمان، این شیشه ها چندان کار آمد نیستند. به همین دلیل استفاده از پر کننده جدید در این تحقیق مدنظر قرار گرفته است.

مطالعاتی که در زمینه افت انتقال صدا در شیشه های دوجداره انجام شده است نشان می دهند با تغییر نوع شیشه و پر کننده فضای میانی می توان افت انتقال صدا را تغییر داد [۱۴]. همچنین مطالعات گذشته نشان داده اند با افزودن یک لایه نازک در داخل شیشه های دوجداره، عملکرد صوتی بهتری دوجداره با در مطالعات انجام شده روی شیشه ها یا پانل های دوجداره با استفاده از انواع مختلفی از هیدروژل ها و با روش های مختلف، نتایج نشان داد میزان کاهش صدا (NR) و افت انتقال صدا (STL) بهبود می باید [۱۵-۱۶]. با توجه به مطالعات محدود در این زمینه، پژوهش حاضر با هدف اندازه گیری افت انتقال صدا در شیشه های پر شده با هیدروژل انجام شد.

هیدروژل ها شبکه های پلیمر سه بعدی با ظرفیت جذب بسیار زیاد آب یا سیالات زیستی هستند. این ترکیبات بدون احلال حتی تا بیش از ۱۰۰۰ برابر جرم پلیمر آب جذب می کنند [۱۷]. هیدروژل ها به شکل های فیزیکی متعدد شامل قطعه، میکرو ذرات، نانوذرات، پوشش ها و فیلم فرمول بندی و بر اساس ساختار فیزیکی شبکه به انواع بی شکل (غیر بلوری)، نیمه بلوری و بلوری دسته بندی می شوند [۱۸-۱۹]. این مواد به دلیل تنوع، فراوانی، ارزانی، تجدید پذیری، سمی نبودن و نیز زیست تخریب پذیری و زیست سازگاری بسیار قابل توجه هستند. ظرفیت نگهداری آب و تراوایی مهم ترین مشخصه آن هاست. وقتی هیدروژل های پلیمری شبکه ای شده در آب یا حل قرار می گیرند، متورم می شوند، اما حل نمی شوند. آن ها به دلیل خواص منحصر به فرد در پنجاه سال گذشته بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. از جمله صنایعی که از این مواد استفاده می کنند، می توان به صنایع غذایی، بسته بندی، دارویی و کشاورزی اشاره کرد. همچنین در ساخت دستگاه های فنی و الکترونیکی و جاذب برای حذف آلاینده ها در کاربردهای زیست محیطی نیز استفاده می شوند. این مواد برای محدوده گستره ای از کاربردهای زیست پژشکی و زیست مهندسی شامل زیست حسگرها، مهندسی

۱۹۰	ظرفیت عملی جذب آب شهر (g/g)
۲۲۰	ظرفیت عملی جذب آب مقطر (g/g)

۷	حداکثر پایداری (سال)
۱-۲	حداکثر جزء قابل حل (درصد وزنی)



شکل ۱: تصاویر نمونه‌های ساخته شده



شکل ۲: لوله آمپدنس

و ضخامت ۲۰ میلی‌متر تهیه شدند. درنهایت افت انتقال صدای نمونه‌ها با نرمافزار SPSS نسخه ۲۴ با روش اندازه‌های تکراری تعیین شد.

## نتایج

پس از ساخت نمونه‌ها، افت انتقال صدای آن‌ها با استفاده از لوله آمپدنس 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	
				۳	۳
آب	۲۵۰	۱۰/۴۰۰	۰/۲۶۴۵۸	۳	۳
	۵۰۰	۱۱/۸۰۰	۰/۴۵۸۲۶	۳	۳
	۱۰۰۰	۱۲/۷۰۰	۰/۳۴۶۴۱	۳	۳
	۲۰۰۰	۱۳/۷۰۰	۰/۱۷۳۲۱	۳	۳
A200-1:20	۲۵۰	۸/۹۰۰	۰/۱۰۰	۳	۳
	۵۰۰	۹/۳۰۰	۰/۱۰۰	۳	۳
	۱۰۰۰	۱۲/۸۳۴۴	۰/۰۵۷۷۴	۳	۳
	۲۰۰۰	۱۷/۱۰۰	۰/۱۷۳۲۱	۳	۳

از هیدروژل در پژوهشگاه پلیمر انتخاب شد. در مرحله بعد، شیشه‌های موجوده با هیدروژل‌های تهیه شده 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 ساخته شده را نشان می‌دهد.

## اندازه‌گیری افت انتقال صدا با استفاده از لوله آمپدنس

به منظور اندازه‌گیری افت انتقال صدا از لوله آمپدنس آوسینا مدل ۹۴۱۰ واقع در دانشگاه علوم پزشکی همدان و مطابق استاندارد ISO10534-1 استفاده شد. شکل ۲ تصویر لوله آمپدنس مذکور را نشان می‌دهد. لوله آمپدنس 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 آمپلی فایر 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 متحرك که به صورت کشویی روی بدنه استوانه قابل جابه‌جایی است، دامنه‌های موج صوتی دریافت و مستقیماً به ترازنیج صوت کالیبره شده 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

- در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، افت انتقال صدای نمونه آب کمترین میزان را داشت.

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

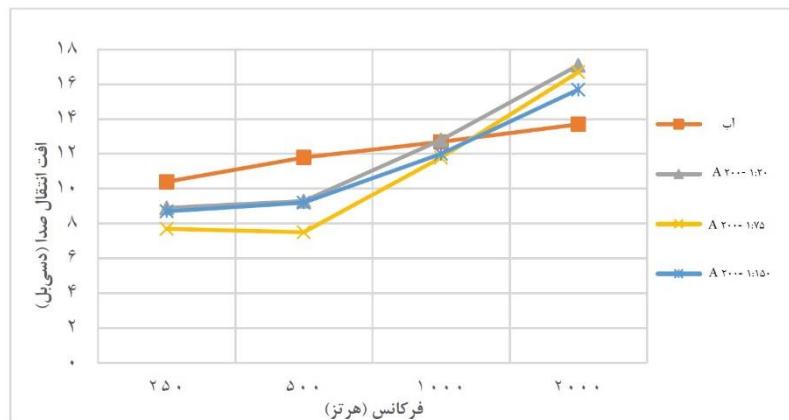
شکل ۳، نمودار افت انتقال صدای اندازه گیری شده را در نمونه ها نشان می دهد.

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 نمونه ها از آزمون مقایسه زوجی استفاده شد. نتیجه آزمون در جدول ۳ آمده است.

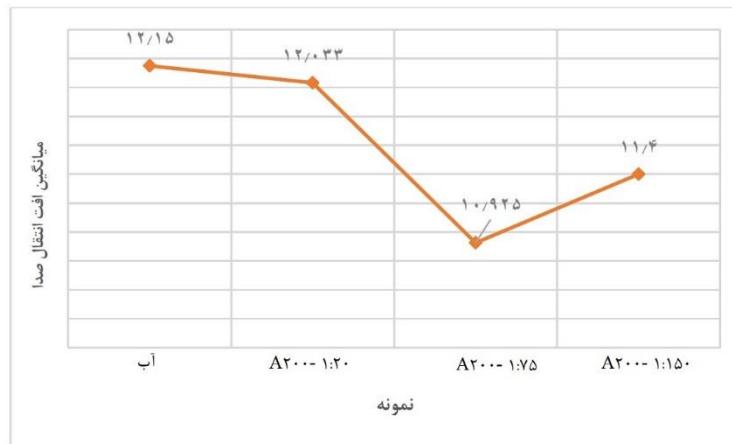
با توجه به جدول ۳، مقادیر P نشان داد بین میانگین افت انتقال صدا در نمونه آب با نمونه A200-1:20 اختلاف معناداری وجود ندارد ( $P > 0.05$ ). این در صورتی است که در سایر نمونه های اندازه گیری شده بین میانگین افت انتقال صدا اختلاف معناداری وجود دارد. مقایسه میانگین افت انتقال صدا بین نمونه های مورد بحث و 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، در صورتی که این اختلاف با سایر نمونه ها معنادار است.

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
	۲۵۰	۸/۷۰۰	۰/۳۶۰۵۶	۳
A200-1:150	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 فرکانس ها بیشترین مقدار را دارد.
- افت انتقال صدا در هیدروژل A200-1:75 در تمامی فرکانس ها به جز فرکانس ۲۰۰۰ هرتز کمترین مقدار را دارد.
- افت انتقال صدا در نمونه هیدروژل A200-1:150 در تمامی فرکانس ها به جز فرکانس ۲۰۰۰ نسبت به نمونه A200-1:75 عمکرده بهتری داشته است.
- مقایسه افت انتقال صدای نمونه های هیدروژل با نمونه آب نشان داد که:
- بیشترین افت انتقال صدا در فرکانس های ۲۵۰ و ۵۰۰ هرتز مربوط به آب بود.
- در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز بیشترین افت انتقال صدای نمونه A200-1:20 عملکرد بهتری داشت و نمونه آب در جایگاه دوم قرار گرفت.



شکل ۳: نمودار مقایسه افت انتقال صدا در نمونه های مختلف



شکل ۴: مقایسه میانگین افت انتقال صدا در نمونه‌ها

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

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

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

جرمی افزایش می‌یابد. طول موج خمی ماده که به فرکانس وابسته است، با طول موج صدا یکدیگر را تقویت می‌کنند و درنتیجه افت انتقال صدا بهشت 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 بهشت 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 ۱:۲۰ 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 به طور مستقیم با یکدیگر ممانعت شد و درنتیجه افت انتقال صدا افزایش یافت.

## بحث

مطالعه حاضر با هدف مقایسه میزان افت انتقال صدا در شیشه‌های دوچاره 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

آب (۲۵)	۹۹۷/۰	۱۴۹۴/۵	$۱/۴۹۰ \times 10^6$
شیشه (پنجره)	۲۵۰۰	۶۰۰۰	$۱۵/۰۰ \times 10^6$

## نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد کارایی افت انتقال صدا در شیشه های دوجداره با تغییر نوع پرکننده شیشه ها تغییر می کند. مطالعه حاضر نشان داد استفاده از هیدروژل به عنوان جایگزین هوا در فرکانس های بالا باعث افزایش افت انتقال صدا می شود. همچنان تغییر نسبت اختلاط باعث تغییر نتایج می شود، به طوری که بیشترین افت انتقال صدا مربوط به هیدروژل A200-1:20 به مقدار ۱۷/۱ دسی بل 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 فرکانس های میانی در برخی از نمونه ها به این علت است که فرکانس ۵۰۰ هرتز برای برخی از نمونه ها، فرکانس رزونанс یا بحرانی محسوب می شود.

## تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم مژگان نورایی به راهنمایی دکتر ایرج علی محمدی است. بدین وسیله نویسنده اگان از معاونت پژوهشی این دانشگاه تشکر می کنند.

## تفصیل منافع

در این پژوهش هیچ گونه 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 نویسندها

ایرج علی محمدی: استاد راهنمای پایان نامه، شهرام و نووقی: استاد مشاور پایان نامه، علی اسرافیلی دیزجی: استاد مشاور پایان نامه، جمیله ابوالقاسمی: مشاور تهیه داده ها، مژگان نورایی: گردآوری پایان نامه و تهیه کننده اصلی مقاله.

## حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی ندارد.

## REFERENCES

- 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.
- Assaf R, Descombes G, Guillemand 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](https://doi.org/10.1063/1.4976264)
- 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](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107317)
- Miskinis K, Dikavicius V, Blidiuzis 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](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.01.007)

نتایج این مطالعه نشان می دهد افت انتقال صدا در فرکانس ۲۰۰۰ در تمامی نمونه های هیدروژل بیشتر از نمونه آب است و این نمونه ها در فرکانس های بالا کارایی بیشتری دارند، در حالی که در فرکانس های میانی و پایینی این طور نیست. در توافق با نتایج مذکور، Comadini و همکاران (۲۰۲۱) با اندازه گیری و بررسی ضریب جذب در کامپوزیت پلی لاکتیک اسید با و بدون هیدروژل F127 هیبرید آلترينات با استفاده از لوله آمپدانس دریافتند که در فرکانس کمتر از ۵۰۰ هرتز، ضریب جذب در کامپوزیت ساخته شده با هیدروژل بیشتر از دو برابر نمونه معمولی بهبود یافت [۱۳]. Zhou و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه ای با عنوان «پنجره هوشمند پاسخگو به حرارت مشتق شده 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 فرکانس های ۱۰۰ تا ۴۰۰ هرتز از شیشه دوجداره معمولی ۳۴ دسی بل بیشتر است [۱۴].

Rothmund 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 میلی متر به منظور کنترل صدا بین فرکانس های ۱۵۰ تا ۱۰۰۰ هرتز دریافتند که میزان افت انتقال صدا در کنترل غیرفعال و فعل افزایش می یابد [۱۵]. با توجه به افت انتقال صدای بیشتر آب در فرکانس های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز، این ویژگی را می توان به دلیل آمپدانس صوتی و خصوصیات آب نیز در نظر گرفت. با توجه به معادله افت انتقال صدا وابستگی ضریب انتقال ماده به چگالی و سرعت صوت با توجه به جدول ۴ می توان علت این اتفاق را آمپدانس صوتی زیاد آب دانست [۱۶].

جدول ۴: آمپدانس صوتی مواد مختلف

آمپدانس صوتی (Z <sub>o</sub> ) Rayl	سرعت صوت در ماده (c) m/s	چگالی (ρ) kg/m <sup>3</sup>	ماده
۴۰۹/۸	۳۴۶/۱	۱/۱۸۴	هوای ۲۵ و فشار ۱ اتمسفر

- 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](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31893700/) DOI: [10.1121/1.5139206](https://doi.org/10.1121/1.5139206)
- 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](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-386971/v1)
- 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](https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.09.001)
- Rothmund P, Morelle XP, Jia K, Whitesides GM, Suo Z. A transparent membrane for active noise cancellation. *Adv Funct Mater*. 2018;28(29):1-8. DOI: [10.1002/adfm.201800653](https://doi.org/10.1002/adfm.201800653)
- Jamshidi H. Iran polymer technology, research and development. *Rimag*. 1396;2(2):37-55.[Persian].

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