



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## امکان سنجی استفاده از نانوکامپوزیت‌های سیلیکا آبروژل اصلاح شده به منظور بهبود خواص آکوستیکی

منصوره حمیدی<sup>۱</sup>، پروین نصیری<sup>۲\*</sup>، همایون احمد پناهی<sup>۳</sup>، لعبت تقوی<sup>۱</sup>، سعید بازگیر<sup>۴</sup>

- ۱- گروه علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۲- گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۳- گروه شیمی تجزیه، دانشکده علوم پایه، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۴- گروه مهندسی پلیمر، دانشکده نفت و مهندسی شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

زمینه و هدف: آلودگی صوتی یکی از مسائل جدی زیست محیطی است کنترل مبتنی بر جذب و عایق‌بندی یکی از انواع روش‌های کنترل فنی و مهندسی صدا است. لذا هدف از انجام این مطالعه اصلاح نانوکامپوزیت‌های سیلیکا آبروژل به منظور بهبود خواص آکوستیکی است.

۹۹/۰۵/۱۹

تاریخ دریافت:

۹۹/۰۸/۰۶

تاریخ ویرایش:

۹۹/۰۸/۱۲

تاریخ پذیرش:

۹۹/۰۹/۳۰

تاریخ انتشار:

**روش بررسی:** این مطالعه به صورت تجربی-کاربردی است. هشت نوع نانوکامپوزیت برای بررسی عملکرد خواص صوتی انتخاب شدند در این تحقیق نانوکامپوزیت‌ها به روش سل-ژل سنتز شدند. بدین منظور TEOS و اتانول به  $\text{SiO}_2$  اضافه و همزده و به‌عنوان پیش ماده سل سیلیکا با اتانول رقیق شد. محلول ۵/۵ M هیدروکسید آمونیم به سل سیلیکا قطره قطره اضافه و همزده می‌شود. سل سیلیکای فعال شده سریعاً به درون قالبی که در آن نمونه‌ها قرار گرفته بودند ریخته شده و سپس به مدت ۳ h در دمای  $150^\circ\text{C}$  در آن قرار داده شد. خواص صوتی نمونه‌ها توسط امپدانس تیوب و میزان کاهش تراز فشار صوت توسط نانوکامپوزیت بهینه با استفاده از ترازسنج صوت اندازه گیری شد. برای بررسی مورفولوژی نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روشی استفاده گردید.

**واژگان کلیدی:** سیلیکا آبروژل، نانوکامپوزیت، ضریب جذب صوت، افت انتقال صوت

**یافته‌ها:** ضریب جذب صوت همه نمونه‌ها در فرکانس‌های بالا، افزایش نسبتاً خوبی دارند. مقدار ضریب جذب صوت نمونه‌ها در فرکانس‌های بالا از ۰/۶ بالاتر است. مقدار ضریب جذب و افت انتقال صوت برای نانوکامپوزیت D1 در مقایسه با دیگر نانوکامپوزیت‌ها در فرکانس‌های میانی و پایین بیشتر است. میزان کاهش متوسط تراز فشار صوت در دو محدوده صوتی در فاصله ۱ m از محفظه بدون نانوکامپوزیت و با نانوکامپوزیت به ترتیب برابر با ۴/۶ dB، ۹/۷۳ dB است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج در این تحقیق نشان داد که اضافه کردن مواد آلی و معدنی به‌طور همزمان به سیلیکا آبروژل و در حالتی که نانو رس بیشترین مقدار است. خواص صوتی آن خصوصاً در فرکانس‌های میانی و پایین افزایش و بهبود می‌یابد. از بین نمونه‌ها، نانوکامپوزیت D1 در فرکانس‌های میانی و پایین خواص صوتی بهتری نشان می‌دهد. ضریب جذب صوت نانوکامپوزیت D1 در فرکانس‌های ۳۱۵، ۴۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۲۰۰۰ Hz به ترتیب برابر با ۰/۲۷، ۰/۳۸، ۰/۵۱، ۰/۷۸، ۰/۸۳، ۰/۸۴ است. نتایج نشان داد که میزان متوسط تراز فشار صوت با استفاده از نانوکامپوزیت D1 به میزان ۹/۷۳ dB کاهش می‌یابد.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

nassiri@tums.ac.ir

## مقدمه

در محیط زندگی و کار عوامل زیان آور متعددی از جمله صدا وجود دارند که اگر موازین محیط زیست، حفاظت و بهداشت صنعتی در مورد آنها رعایت نشود سلامت افراد در معرض را به مخاطره می‌اندازد. یکی از این عوامل زیان آور در جوامع امروزی، صدا است. این آلودگی در سه دهه اخیر بیش از گذشته توجه جهانیان را به خود معطوف داشته است. در این میان مساله آلودگی صوتی در شهرهای بزرگ جهان به عنوان یک مسئله فراگیر به حساب آمده است (۱، ۲). به طوری که امروزه یکی از مشکلات مهم زیست محیطی است. که میزان آن به دلایل مختلفی نظیر افزایش تراکم جمعیت در شهرها، افزایش تعداد وسایط نقلیه موتوری، افزایش صنایع در مجاورت شهرها و افزایش فعالیت‌های ساختمان سازی همه روزه رو به افزایش است (۳، ۴). تحقیقات نشان می‌دهد تماس کوتاه مدت و بلند مدت با آلودگی صوتی علاوه بر کاهش شنوایی باعث افزایش فشار خون، ناراحتی قلبی - عروقی، تحریک پذیری، اضطراب، بر هم خوردن خواب و آرامش و تغییر الگوی رفتاری می‌شود (۲، ۵). نانوفناوری در تولید مصالح مختلف کاربردهای فراوانی دارد که می‌تواند باعث کاهش وزن، افزایش مقاومت، افزایش سطح، افزایش طول عمر، خواص خود تمیز شوندگی و ویژگی‌های دیگر می‌شود. در سال‌های اخیر نانو مواد در ساخت جاذب‌ها و عایق‌های صوتی رشد فزاینده‌ای به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد داشته است (۶، ۷) انتخاب مواد نقش مهمی در جذب و افت انتقال صوت در یک ساختار بازی می‌کند. بنابراین، تلاش‌های زیادی در طی سال‌های اخیر برای درک مکانیزمی که مواد، موج صوتی برخوردی را از طریق جذب و افت انتقال کاهش می‌دهد و توسعه مواد کنترل کننده صوت انجام شده است. از جمله این مواد نانوکامپوزیت‌ها هستند که در واقع مواد مرکبی هستند که حداقل یکی از اجزای تشکیل دهنده آن با ابعادی در محدوده نانومتری، در فاز دیگری که پیوسته است به صورت متفرق توزیع

شده باشد (۸، ۹). کنترل مبتنی بر جذب و عایق بندی یکی از انواع روش‌های کنترل فنی و مهندسی صدا است. یکی از موادی که به عنوان جاذب و عایق صوت کاربرد دارد سیلیکا آبروژل است. سیلیکا آبروژل رایج‌ترین نوع آبروژل است. استفاده از این ترکیبات به عنوان یک ماده جامد متخلخل ویژه، به سبب خواص منحصر به فرد از جمله چگالی کم ( $0.003$  تا  $0.3 \text{ g/cm}^3$ )، ضریب عایق حرارتی بسیار پایین (در حد هوا یا کمتر از هوا)، سرعت پایین انتشار صوت در درون آن (حدود  $100 \text{ m/s}$ )، مساحت سطح ویژه بالا ( $600$  تا  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ )، میزان تخلخل بسیار بالا ( $80$  تا  $99$  درصد) به سرعت رو به رشد است. مشکل اساسی آبروژل‌ها شکنندگی آنهاست که این مواد را از کاربردهای صنعتی دور می‌کند و یکی از راه‌های غلبه بر این ضعف و بهره گیری بالا از ویژگی‌های خاص آبروژل‌ها، افزودن برخی مواد به سیلیکا آبروژل می‌تواند خواص مکانیکی و خواص صوتی آن را افزایش دهد.

در مطالعه‌ای که Du Tran و همکاران در سال ۲۰۲۰ انجام دادند برای اولین بار، پتانسیل عظیم آبروژل‌های کاه برنج در کاربردهای جذب صدا نیز با ضریب کاهش صوتی بالا (تا  $0.6$ ) نشان داده شده است (۱۰). Thai و همکاران در سال ۲۰۲۰ توانسته‌اند الیاف لاستیک را از ضایعات لاستیک به دست آورده و آن را به آبروژل لاستیک تبدیل کنند. آبروژل‌های لاستیکی دارای راندمان جذب صوتی (ضریب کاهش صدا یا NRC برابر  $0.56$ ) هستند. این آبروژل‌های لاستیکی پیشرفته می‌توانند برای عایق بندی حرارتی و صوتی در کابین‌ها، وسایل نقلیه، ساختمان‌ها و هوا فضا استفاده شوند (۱۱). Chen و همکاران در سال ۲۰۲۰ در مطالعه‌ای از ضایعات لوفاف و الیاف پلی استر سازگار با محیط زیست به عنوان مواد اولیه برای تولید کامپوزیت‌های جذب صدا فیبر لوفاف استفاده نمودند. با افزایش ضخامت از  $2 \text{ cm}$  به  $6 \text{ cm}$ ، متوسط ضریب جذب صدا از  $0.442$  به  $0.684$  و حداکثر ضریب جذب صدا از  $0.907$  ( $4000 \text{ Hz}$ ) به  $0.991$  ( $1000 \text{ Hz}$ ) افزایش یافت

صدای فرکانس پایین برخوردار هستند. مواد الیافی به دلیل ساختارهای متخلخل به طور گسترده‌ای در کاهش سر و صدا مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۷). هدف اصلی این مطالعه ساخت مواد جدید با خواص آکوستیکی مناسب از طریق اضافه کردن مواد آلی (لایه بی بافت پلی استر و نانو الیاف PAN) و معدنی (ذرات نانورس) به سیلیکا آیروژل است. از آنجایی که خواص آکوستیکی مواد نانوکامپوزیت حاوی سیلیکا آیروژل به اندازه کافی مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا جذب صدا و عایق صوتی نانوکامپوزیت‌های حاوی سیلیکا آیروژل و اندازه گیری میزان کاهش تراز فشار صوتی توسط نانوکامپوزیت بهینه در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت تجربی - کاربردی است. مواد مورد استفاده در سنتز نمونه‌ها عبارتند از: دی اکسید سیلیکون ( $\text{SiO}_2$ )، اتانول مطلق، تترا اتیل ارتوسیلیکا (TEOS)، اتیل متیل کتون، هیدروکسید آمونیوم ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )، هگزامتیل دیسیلو کسان (hexamethyldisiloxane) خریداری شد. لایه بی بافت پلی استر با میانگین وزن واحد سطح  $150 \text{ g/m}^2$  تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. برای تهیه نانوالیاف PAN، پودر پلی آکریلونیتریل (PAN) با متوسط وزن مولکولی  $10^5 \text{ g/mol}$  خریداری شد. حلال دی متیل فرمامید (DMF) با درجه خلوص بالاتر از ۹۹ درصد و چگالی  $0.948 \text{ g/m}^3$  تهیه گردید. نانورس مونت موریلونیت کا ۱۰ با چگالی  $0.7-0.5 \text{ g/m}^3$ ، رطوبت ۲ درصد، سایز ذرات ۱-۲ nm، تهیه شد. در این تحقیق نانوکامپوزیت‌ها به روش سل-ژل سنتز شدند. بدین منظور ۶ g تترا اتیل ارتو سیلیکا را به ۱۲ g دی اکسید سیلیکون اضافه نموده و همزده سپس ۶ g اتانول بر روی آنها ریخته و مخلوط ایجاد شده را تحت همزدن قرار داده تا پیش ماده سل سیلیکا تهیه شود. پیش ماده سل سیلیکا با ۱۶۸ mL اتانول همراه با ۳۲ mL متیل اتیل کتون رقیق و همزده

(۱۲). Yang و همکاران در سال ۲۰۱۹ خاصیت جذب صوتی پارچه‌های بی بافت پلی استر / پلی اتیلن جاسازی شده با آیروژل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش لایه‌ها بهبود قابل توجهی در میزان جذب صدا در دامنه فرکانس پایین دارد. با این حال، افزایش لایه‌ها منجر به پدیده رزونانس می‌شود و مقادیر پیک به سمت فرکانس‌های پایین‌تر تغییر می‌کند. ضریب کاهش صدا با افزایش لایه‌ها افزایش می‌یابد (۱۳). در تحقیق Simón-Herrero و همکاران در سال ۲۰۱۹، آیروژل‌ها براساس سیستم سه تایی پلی وینیل الکل (PVA)، نانورس و اکسید گرافن کاهش یافته سنتز شدند. ترکیب اکسید گرافن کاهش یافته در ماتریس / PVA نانورس باعث کاهش قطر منافذ می‌شود و منجر به بهبود ضریب جذب صدا از آیروژل‌ها می‌شود. این فرایند فرصت‌های جدیدی را برای تولید مواد با خواص استثنایی به عنوان عایق حرارتی و با ویژگی‌های جذب صوتی بالاتری ایجاد می‌کند (۱۴). Kucukali Ozturk و همکاران در سال ۲۰۱۸ به منظور افزایش رفتار جذب صدا توسط نمدهای آکوستیکی، نمونه‌های نمد و پشم با نانوالیاف پلی آریلونیتریل الکتروسپون پوشانده شدند. نتایج نشان داد که با پوشاندن نانوالیاف، که برای عملکرد صوتی بهتر ساختارهای نمدی لازم بود، نفوذپذیری هوا در نمدها به شدت کاهش یافته است. علاوه بر این، نمونه‌هایی که نانوالیاف پلی آریلونیتریل با مقدار بیشتری دارند قدرت جذب صدای بهتری را نشان می‌دهند (۱۵). Ramamoorthy در سال ۲۰۱۸ بر روی کامپوزیت‌های پارچه‌ای بی بافت الیاف سیلیکا آیروژل / پلی اتیلن ترفتالات (PET) و خواص ترکیبی آنها در جذب صدا متمرکز شدند. نتایج نشان داد که ضریب جذب کامپوزیت‌های بی بافت سیلیکا آیروژل / PET بالاتر از ضریب جذب PET اصلاح نشده در تمام فرکانس‌ها است (۱۶). نتایج حاصل از تحقیق Tang و همکار در سال ۲۰۱۷ نشان دادند که مواد نانوالیاف سبک هستند و از پتانسیل خوبی در کاهش

استفاده شد تا تصاویری با وضوح بالا به دست آید. از دستگاه FESEM مدل SIGMA VP ساخت شرکت ZEISS آلمان استفاده شده است. جهت اندازه گیری خواص صوتی نمونه‌ها از دستگاه امپدانس تیوب و همچنین اندازه گیری میزان کاهش تراز فشار صوتی با استفاده از دستگاه ترازسنج صوت انجام شد.

#### اندازه گیری خواص صوتی

در این تحقیق جهت اندازه گیری خواص صوتی شامل ضریب جذب صوت ((Sound Absorption (SAC) Coefficient (Loss) و افت انتقال ((Transmission (TL) Impedance) از یک دستگاه امپدانس تیوب (Tube) مدل BSWA -SW422, SW477 مطابق با استاندارد ISO 10534-2 در محدوده فرکانسی ۸۰ تا ۶۳۰۰ Hz استفاده شد. SAC با استفاده از دو میکروفون و TL با استفاده از چهار میکروفون توسط امپدانس تیوب تعیین شد. دستگاه امپدانس تیوب شامل دو لوله به قطرهای ۳۰ mm و ۱۰۰ mm و نمونه‌های سنتزی در اندازه‌های مطابق با لوله‌های امپدانس تیوب تهیه شدند. لوله امپدانس با قطر ۱۰۰ mm (برای فرکانس‌های ۸۰-۱۶۰۰ Hz) و ۳۰ mm (برای فرکانس‌های ۶۳۰۰-۱۶۰۰ Hz) است. سیستم مجهز به یک نرم افزار اختصاصی VA-Lab IMP است که برای انجام محاسبات می‌تواند نتایج را به صورت جدول و منحنی ترسیم و در فرمت‌های

می‌شود. ۱۱/۲ mL هیدروکسید آمونیم M ۵/۵ بر روی ۱۴۸/۸ mL سل سیلیکا به صورت قطره قطره و در حالت همزدن، اضافه می‌شود. سل سیلیکای فعال شده سریعاً در قالبی ریخته می‌شود (۱۸). قالبی که در آن لایه بی بافت پلی استر به‌عنوان بستر در نظر گرفته شده است. نمونه‌های دیگر مانند نانوالیاف PAN و نانورس به‌طور جداگانه و یا توأم در قالب قرار گرفته‌اند. قالب‌ها با دو قطر ۱۰۰ mm و ۳۰ mm مطابق با لوله‌های امپدانس تیوب ساخته شده است. نانورس به میزان ۵۰ g و ۶۰ g و نانوالیاف PAN به صورت یک لایه (۰/۳ g) و دو لایه (۰/۶ g) و همچنین یک لایه بی بافت پلی استر (۱/۱۹ g) در نانوکامپوزیت استفاده شده است. بعد از ریخته شدن سل سیلیکای فعال شده به درون قالب به آن اجازه ژل شدن داده شد. برای اصلاح سطح ۰/۹۵ mL هگزا متیل دیسیلوکسان به نانوکامپوزیت اضافه می‌شود. آنگاه روی نمونه را با یک لایه بی بافت پلی استر پوشانده و بدون نیاز به زمان پیرسازی به مدت ۳ h در آون با دمای ۱۵۰ °C قرار داده می‌شود. در این مطالعه هشت نوع نانوکامپوزیت A2, A1, B1, B2, C1, C2, D1, D2 برای بررسی عملکرد خواص صوتی انتخاب شدند. در جدول ۱ اجزاء نمونه‌های سنتز شده نشان داده شده است.

برای بررسی مورفولوژی نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترونی رومشی ((Scanning Electron Microscopy (SEM)

جدول ۱- اجزاء نمونه‌های سنتز شده

ردیف	نمونه	اجزاء نمونه
۱	A1	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)
۲	A2	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (سه لایه)
۳	B1	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانوالیاف PAN (یک نانو الیاف)
۴	B2	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانوالیاف PAN (دو نانو الیاف)
۵	C1	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانورس (g ۶۰ نانورس)
۶	C2	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانورس (g ۵۰ نانورس)
۷	D1	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانوالیاف PAN (یک نانو الیاف)، نانورس (g ۶۰)
۸	D2	نانوکامپوزیت سیلیکا آبروژل / لایه بی بافت پلی استر (دو لایه)، نانوالیاف PAN (یک نانو الیاف)، نانورس (g ۵۰)

جاگذاری نانوکامپوزیت بهینه در محفظه، ۸ تا نانوکامپوزیت با ابعاد  $14 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$  برای دیواره‌ها و کف محفظه و دو تا نانوکامپوزیت با ابعاد  $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$  برای سقف محفظه آماده شدند. نمونه‌ها با ضخامت  $2 \text{ cm}$  آماده و در محفظه قرار داده شدند. منبع صوتی در داخل محفظه حاوی نانوکامپوزیت‌ها قرار داده شد. اندازه گیری SPL در دو محدوده صوتی در ۸ نقطه با فاصله  $1 \text{ m}$  در اطراف محفظه حاوی نانوکامپوزیت‌ها انجام شد.

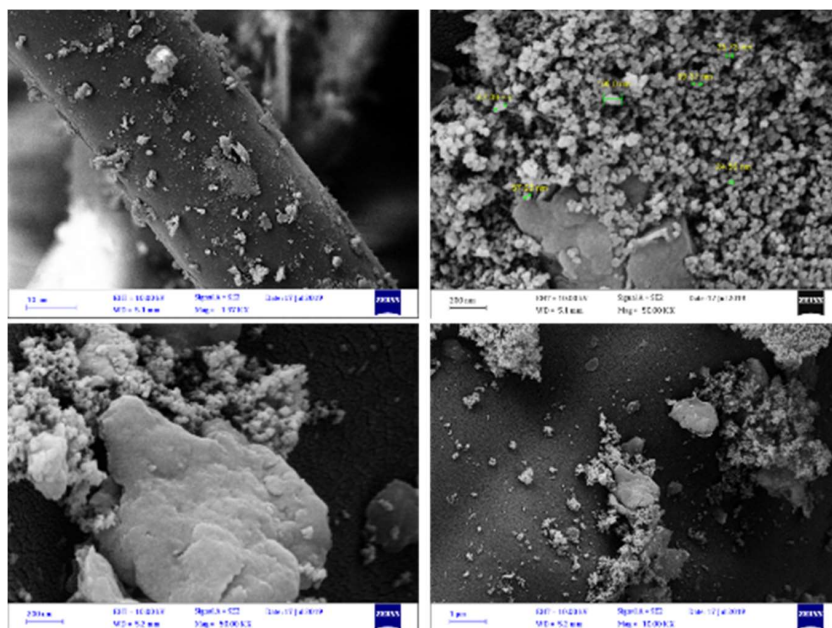
### یافته‌ها

در ساخت نانوکامپوزیت‌ها، بررسی مورفولوژی از اهمیت بالایی برخوردار است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی رومیزی نانوکامپوزیت D1 در شکل ۱ نشان داده شده است. در تصاویر SEM این نانوکامپوزیت، مشخصا اجزای به کار رفته مشاهده می‌شوند. و نشان دهنده پوشش بسیار خوبی از نانوالیاف و سطح نانو رس توسط نانو ذرات سیلیکا آبروژل شده است. توزیع ذرات آبروژل‌ها بر روی سطح نانوالیاف‌ها و نانو رس‌ها یکنواخت است.

متداول ذخیره نماید. نتایج با استفاده نرم افزار Excel مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

### اندازه گیری تراز فشار صوت

به منظور تعیین میزان کاهش تراز فشار صوت (SPL) (Sound Pressure Level) با استفاده از نانوکامپوزیت بهینه، سه مرحله انجام شد در مرحله اول یک منبع صوتی استوانه‌ای شکل به طول  $5 \text{ cm}$  و قطر  $5/5 \text{ cm}$  تهیه شد. اندازه گیری SPL در ۸ نقطه در اطراف منبع صوتی به فاصله  $1 \text{ m}$  در دو محدوده صوتی  $85-80 \text{ dB}$ ،  $90-85 \text{ dB}$  به همراه آنالیز فرکانس در شبکه توزین C با استفاده از ترازسنج صوت (Sound Level Meter (SLM)) مدل CASSELA- CEL- 62X و بر طبق استاندارد ۹۶۱۲ ISO انجام شد. صداسنج مذکور با استفاده از دستگاه CEL- 110/2 کالیبره شد. در مرحله دوم یک محفظه به ابعاد  $20 \text{ cm} \times 13 \text{ cm} \times 9/5 \text{ cm}$  از جنس چوب، ضخامت  $1/3 \text{ cm}$  ساخته شد. منبع صوتی در داخل محفظه قرار داده شد. اندازه گیری SPL در دو محدوده صوتی  $85-80 \text{ dB}$ ،  $90-85 \text{ dB}$  در ۸ نقطه با فاصله  $1 \text{ m}$  در اطراف محفظه انجام شد. در مرحله سوم جهت



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی رومیزی از نانوکامپوزیت D1

## آزمون‌های خواص صوتی

در نمودار ۱ نتایج SAC نانوکامپوزیت‌های A1, B1, C1, D1 در فرکانس‌های مختلف (۸۰-۶۳۰۰ Hz) با ضخامت ۲ cm با یکدیگر مقایسه شده‌اند. براساس نمودار ۱، SAC نمونه‌ها با افزایش فرکانس افزایش می‌یابند. مقدار SAC نمونه‌ها در فرکانس‌های بالا از ۰/۶ بالاتر است. بالاترین SAC در فرکانس‌های بالا مربوط به نانوکامپوزیت A1 و B1 که در فرکانس ۴۰۰۰ Hz و ۳۱۵۰ Hz به ترتیب برابر با ۱ و ۰/۹۸ هستند. نمودار ۱ نشان می‌دهد که در فرکانس‌های میانی بالاترین SAC مربوط به نانوکامپوزیت D1 است و در فرکانس پایین تقریباً مقادیر ضریب جذب آن نزدیک نمونه C1 است که از بقیه نمونه‌ها بالاتر هستند بنابراین نانوکامپوزیت D1 در فرکانس‌های میانی و پایین جذب صوت بهتری نشان می‌دهد.

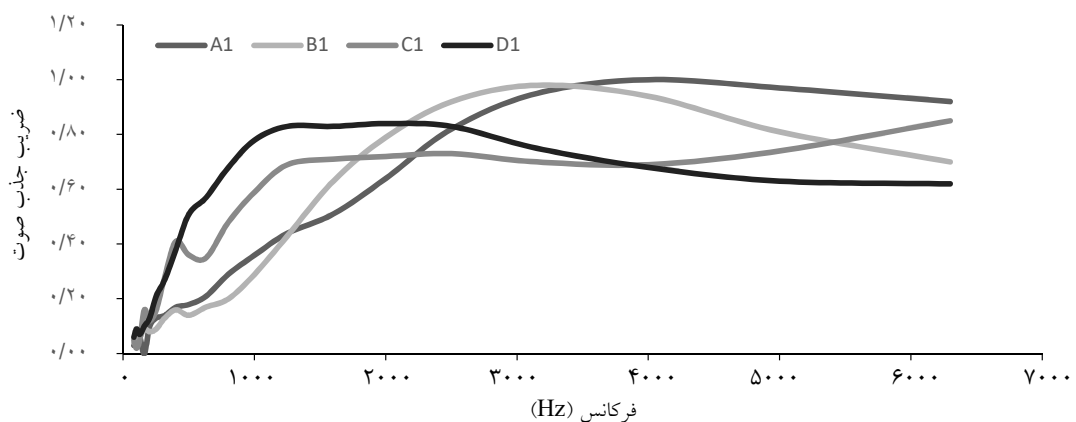
در نمودار ۲ مقادیر TL نانوکامپوزیت‌های A1, B1, C1, D1 در فرکانس‌های مختلف (۸۰-۶۳۰۰ Hz) با ضخامت ۲ cm با یکدیگر مقایسه شده‌اند. مقدار TL همه نانوکامپوزیت‌ها در فرکانس ۶۳۰۰ Hz به حداکثر و اوج خود می‌رسند. مقدار TL برای نانوکامپوزیت D1 در مقایسه با دیگر نانوکامپوزیت‌ها در همه فرکانس‌ها بیشتر است.

در نمودار ۳ نتایج SAC چهار نوع نانوکامپوزیت A2,

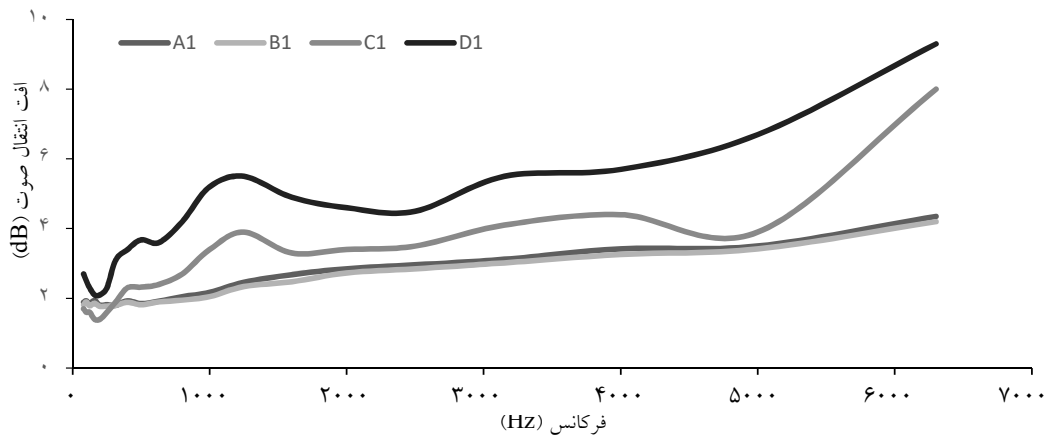
B2, C2, D2 در فرکانس‌های مختلف (۸۰-۶۳۰۰ Hz) با ضخامت ۲ cm با یکدیگر مقایسه شده‌اند. براساس نمودار ۳، SAC نمونه‌ها با افزایش فرکانس افزایش می‌یابند. SAC نانوکامپوزیت D2 و C2 در فرکانس‌های پایین و میانی نسبت به نمونه‌های دیگر بیشتر هستند. بالاترین SAC در فرکانس‌های بالا مربوط به نانوکامپوزیت B2 که در فرکانس ۳۱۵۰ Hz برابر ۰/۹۹ است.

در نمودار ۴ افت انتقال صوت چهار نوع نانوکامپوزیت در فرکانس‌های مختلف (۸۰-۶۳۰۰ Hz) با ضخامت ۲ cm با یکدیگر مقایسه شده‌اند. مقدار TL برای نانوکامپوزیت D2 در مقایسه با دیگر نانوکامپوزیت‌ها از فرکانس ۳۱۵ Hz به بعد بالاتر است. در این نمودار با توجه به TL نانوکامپوزیت‌ها، نانوکامپوزیت D2 نسبت به دیگر نانوکامپوزیت‌ها در همه فرکانس‌ها TL بهتری دارد.

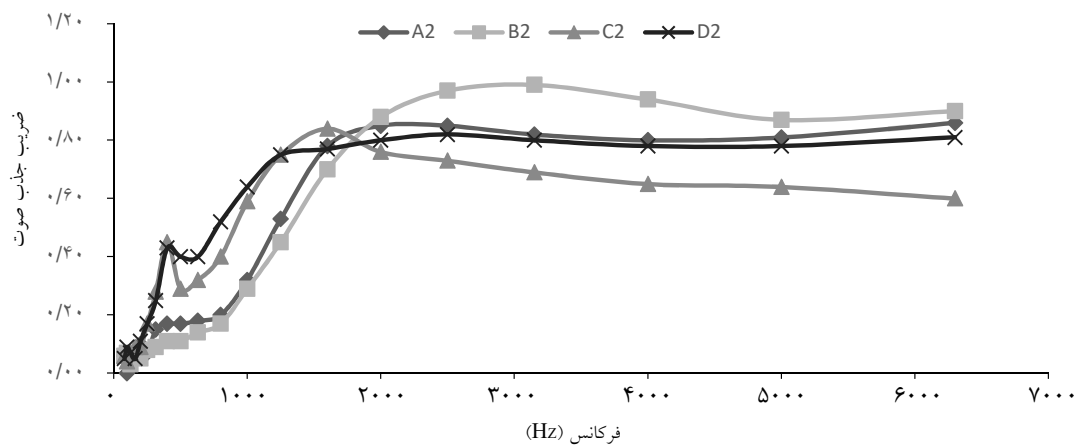
نتایج اندازه‌گیری میانگین SPL در محدوده صوتی ۸۵-۹۰ dB در فاصله ۱ m در اطراف منبع صدا، محفظه بدون نانوکامپوزیت و با نانوکامپوزیت D1 در جدول ۲ نشان داده شده است. براساس جدول ۲ متوسط SPL در محدوده صوتی ۸۵-۹۰ dB در فاصله ۱ m از محفظه بدون نانوکامپوزیت و با نانوکامپوزیت به ترتیب برابر با ۵۶/۴۳ dB، ۵۱/۹۳ dB هستند. و میزان کاهش صدا تقریباً برابر با ۴/۶ dB است.



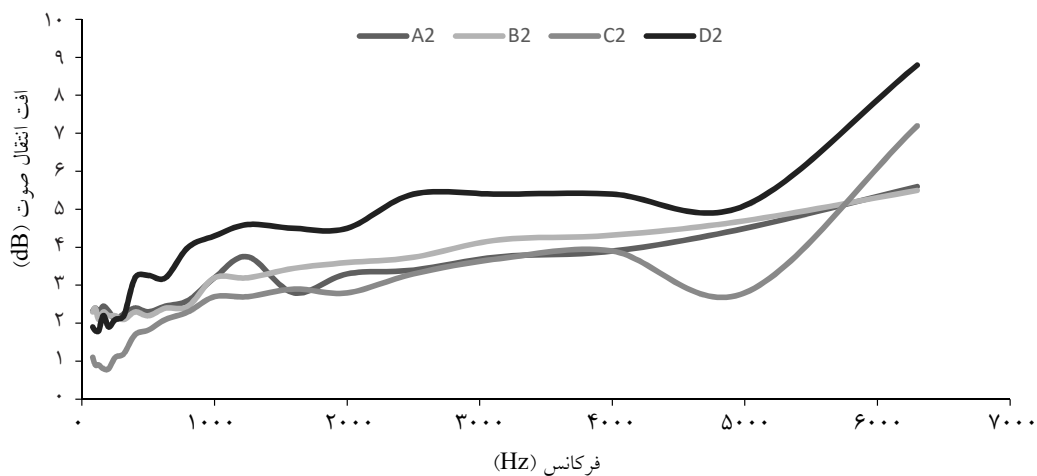
نمودار ۱- مقایسه ضریب جذب صوت (SAC) چهار نوع نانوکامپوزیت A1, B1, C1, D1 با ضخامت ۲ cm



نمودار ۲- مقایسه افت انتقال صوت (TL) چهار نوع نانوکامپوزیت A1, B1, C1, D1 با ضخامت ۲ cm



نمودار ۳- مقایسه ضریب جذب صوت چهار نوع نانوکامپوزیت A2, B2, C2, D2 با ضخامت ۲ cm



نمودار ۴- مقایسه افت انتقال صوت (TL) چهار نوع نانوکامپوزیت A2, B2, C2, D2 با ضخامت ۲ cm

محدوده صوتی ۸۵-۸۰ dB در فاصله ۱ m از محفظه بدون نانوکامپوزیت و با نانوکامپوزیت به ترتیب برابر با ۵۸/۲۹ dB، ۴۸/۵۶ dB هستند. کاهش صدا تقریباً برابر ۹/۷۳ dB است.

نتایج اندازه گیری میانگین SPL در محدوده صوتی ۸۵-۸۰ dB در فاصله ۱m در اطراف منبع صدا، محفظه بدون نانوکامپوزیت و با نانوکامپوزیت D1 در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس جدول ۳ متوسط SPL در

جدول ۲- نتایج اندازه گیری متوسط SPL در محدوده صوتی ۸۵-۹۰ dBC در فاصله ۱ m اطراف منبع صوتی، محفظه بدون نانوکامپوزیت و با نانوکامپوزیت D1

فرکانس‌های مرکزی اکتاوباند (Hz)								متوسط تراز فشار صوت (dBC)	فاصله (m)	حالات مختلف برای اندازه گیری تراز فشار صوتی
۸۰۰۰	۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۶۳			
۳۲	۴۲/۸۸	۵۵/۵۳	۵۹/۴	۵۹/۴۴	۴۴/۴۳	۴۸/۱۴	۵۸/۳۹	۶۵/۲۶	۱	متوسط تراز فشار صوت در اطراف منبع صوت (dBC)
۱۹/۲۳	۲۸/۷۱	۴۳/۴۹	۴۷/۱۵	۴۵/۰۱	۳۹/۹	۴۳/۰۳	۵۳/۷۴	۵۶/۴۳	۱	متوسط تراز فشار صوت در اطراف محفظه بدون نانوکامپوزیت (dBC)
۱۸/۶۸	۲۵/۸۶	۳۶/۸	۴۱/۹۵	۴۲/۵۰	۴۰/۶۵	۴۶/۵۱	۵۸/۶۷	۵۱/۹۳	۱	متوسط تراز فشار صوت در اطراف محفظه حاوی نانوکامپوزیت (dBC)

جدول ۳- نتایج اندازه گیری متوسط تراز فشار صوت SPL در محدوده صوتی ۸۵-۸۰ dBC در فاصله ۱ m اطراف منبع صوتی، محفظه بدون نانوکامپوزیت و با نانوکامپوزیت D1

فرکانس‌های مرکزی اکتاوباند (Hz)								متوسط تراز فشار صوت (dBC)	فاصله (m)	حالات مختلف برای اندازه گیری تراز فشار صوتی
۸۰۰۰	۴۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۱۲۵	۶۳			
۲۶/۱۶	۳۸/۲۹	۵۰/۳۸	۵۳/۷۸	۵۴/۱۱	۴۱/۵۸	۴۷/۸	۵۵/۹۸	۶۱/۲۹	۱	متوسط تراز فشار صوت در اطراف منبع صوت (dBC)
۱۸/۲۹	۲۳/۰۱	۳۷/۹۳	۴۱/۷۵	۴۱	۳۹/۶۸	۴۵/۷	۵۶/۱	۵۸/۲۹	۱	متوسط تراز فشار صوت در اطراف محفظه بدون نانوکامپوزیت (dBC)
۱۷/۵۳	۱۹/۰۴	۲۹/۴	۳۶/۹۴	۳۷/۵۹	۳۴/۹۱	۳۷/۹۸	۴۴/۷۸	۴۸/۵۶	۱	متوسط تراز فشار صوت در اطراف محفظه حاوی نانوکامپوزیت (dBC)

## بحث

نانو رس بیشترین مقدار باشد. علت مشاهده چنین رفتاری احتمالاً به دلیل آبروژل‌ها است. که موادی متخلخل با چگالی پایین هستند. وقتی آبروژل‌ها در یک ماده آلی و یا معدنی پراکنده می‌شوند. آنها کامپوزیت‌های با تخلخل ایجاد می‌کنند. با افزایش تخلخل کامپوزیت‌ها، پیچیدگی مسیرهایی که امواج صوتی از آن عبور می‌کنند افزایش می‌یابد و از این طریق سطح تماس برخوردی افزایش می‌یابد. زمانی که امواج صوتی به نمونه‌ها اصابت می‌کنند آنها از درون تعداد زیادی منافذ یا حفره‌های ریز نفوذ و عبور می‌کنند. فشارهای که در اثر اصطکاک هوا در منافذ ایجاد می‌شوند، منجر به افزایش جذب صدا می‌شود (۱۹). در واقع نانو ذرات سیلیکا آبروژل و نیز نانو رس، در صورت توزیع مناسب در نانو کامپوزیت، می‌توانند منافذ ساختارهای پلیمری را بپوشانند و در نتیجه با توجه به سطح ویژه بالا و حجم تخلخل بالا، انرژی امواج صوت ساطع شده را جذب نمایند.

Kaya و همکار در سال ۲۰۲۰ اثرات هم افزایی آبروژل‌های سیلیکا / زیروژل‌ها بر خواص کامپوزیت‌های پلیمر را مورد بررسی قرار دادند. پیشرفت‌های چشمگیر در عملکرد عایق حرارتی و صوتی، خصوصیات فیزیک مکانیکی و عمر مفید در شرایط سخت محیطی کامپوزیت‌های پلیمری از جمله سیلیکا آبروژل / زیروژل نشان داده شده است (۲۰). Do و همکاران در سال ۲۰۲۰ برای اولین بار، اثرات الیاف آناناس (PF) بر روی خواص عایق حرارتی و صوتی نیز مورد بررسی قرار دادند. آبروژل‌های PF دارای تخلخل بالای تقریباً ۹۹ درصد، تراکم فوق العاده کم ( $0.13 \text{ g/cm}^3$ ) و  $0.33$  و یک ساختار ریز متخلخل هستند. ضریب کاهش صدا از نمونه‌های آبروژل با ۲ درصد وزنی الیاف آناناس بیشتر از یک جاذب تجاری بازم (Basmel) است که پتانسیل آنها را در کاربردهای عایق صوتی نشان می‌دهد (۲۱). در تحقیق Talebi و همکاران در سال ۲۰۱۹ خصوصیات جذب صوتی پتوهای سیلیکا آبروژل / پلی استر (PET) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در

نتایج SEM نشان داد که نانو ذرات سیلیکا آبروژل از ذرات در مقیاس نانومتری تشکیل شده است. و ساختار نانو رس به کار رفته می‌تواند در تقویت نانو کامپوزیت کمک کند. در واقع نانو ذرات سیلیکا آبروژل و نیز نانو رس، در صورت توزیع مناسب در نانو کامپوزیت، می‌توانند منافذ ساختارهای پلیمری را بپوشانند در این نانو کامپوزیت، هر یک از اجزاء، الیاف‌های پلیمری و نانو ذرات با حجم حفرات بالا و سطح ویژه بالا، می‌توانند انرژی امواج صوتی را جذب نمایند و در نهایت عملکرد چشمگیری در کاهش آلودگی صوتی فراهم کنند. نتایج مقایسه مقادیر SAC هشت نوع نانو کامپوزیت A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2 در فرکانس‌های ۶۳۰۰ تا ۸۰ Hz با ضخامت ۰.۶ cm نشان داد که SAC نمونه‌ها با افزایش فرکانس افزایش می‌یابند. مقدار SAC نمونه‌ها در فرکانس‌های بالا از ۰/۶ بالاتر است. نانو کامپوزیت B2 نسبت به نانو کامپوزیت‌های دیگر در فرکانس‌های بالا ضریب جذب بالاتری دارد. به طوری که بیشترین SAC در فرکانس‌های بالا مربوط به نانو کامپوزیت B2 است که در فرکانس ۳۱۵۰ Hz برابر ۰/۹۹ است. به طور کلی مقدار SAC در فرکانس‌های میانی و پایین ضعیف و محدود است. نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین مقدار SAC در فرکانس‌های میانی و پایین مربوط به نانو کامپوزیت D1 است. براساس هدف این تحقیق نتایج حاصل از آن نشان داد که اضافه کردن لایه بی بافت پلی استر، نانو الیاف PAN و نانورس به طور جداگانه به سیلیکا آبروژل مقدار SAC افزایش می‌یابد. اما با اضافه کردن مواد آلی (لایه بی بافت پلی استر و نانو الیاف PAN) و معدنی (ذرات نانو رس) همزمان یا توأم به سیلیکا آبروژل مقدار SAC خصوصاً در فرکانس‌های میانی و پایین بیشتر افزایش می‌یابد. و سبب بهبود خواص جذب صوت می‌گردد. همچنین استفاده همزمان مواد آلی و معدنی به سیلیکا آبروژل بیشترین مقدار SAC خصوصاً در فرکانس‌های پایین و میانی زمانی اتفاق می‌افتد که

D1 با ضخامت ۱/۵ cm در فرکانس‌های ۶۳۰۰ Hz - ۸۰ نشان داد که با افزایش ضخامت نمونه‌ها SAC در اکثر محدوده‌های فرکانسی به خصوص در فرکانس‌های پایین و میانی افزایش می‌یابد فقط از فرکانس ۴۰۰۰ Hz ضریب جذب کاهش می‌یابد. Zhang و همکاران در سال ۲۰۱۲ بیان کردند که امواج در فرکانس‌های پایین دارای طول موج بلندتری هستند. به همین دلیل جذب صوت در محدوده فرکانس‌های پایین بسیار مشکل است به منظور کاهش صدا در فرکانس‌های پایین باید از مواد ضخیم‌تری استفاده نمود تا زمان کافی برای عبور امواج صوتی از ماده آکوستیک و تبدیل انرژی صوتی به گرما فراهم شود (۲۷). مطالعه‌ای که Seddeq و همکاران برای بررسی خصوصیات جذب صوتی مواد الیاف بازیافتی شامل الیاف طبیعی، الیاف مصنوعی و الیاف لیگنو سلولزی کشاورزی (باگاس و کنف) انجام دادند، نشان داد که با افزایش ضخامت، SAC در همه فرکانس‌ها افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد لایه‌ها پیک جذب به سمت فرکانس‌های پایین حرکت می‌کند (۷، ۲۸). نتایج مقایسه مقادیر افت انتقال هشت نوع نانوکامپوزیت A1، A2، B1، B2، C1، C2، D1، D2 در فرکانس‌های ۶۳۰۰ Hz - ۸۰ با ضخامت ۲ cm نشان داد که مقدار TL برای نانوکامپوزیت D1 در مقایسه با دیگر نانوکامپوزیت‌ها در فرکانس‌های میانی و پایین بیشتر است. نتایج حاصل از TL نمونه‌ها نشان داد که مقدار TL برای همه نانوکامپوزیت‌ها به‌طور قابل توجهی افزایش نمی‌یابد. از آنجا که TL بیشتر تحت تاثیر سفتی و چگالی بالا است. این پدیده قابل پیش بینی بود. اضافه کردن مواد آلی (لایه پلی استر و نانو الیاف PAN) و معدنی (ذرات نانو رس) همزمان و تواما به سیلیکا آبروژل می‌تواند مقدار TL را بهبود ببخشد. همچنین استفاده همزمان مواد آلی و معدنی به سیلیکا آبروژل، بیشترین مقدار TL خصوصا در فرکانس‌های پایین و میانی، زمانی اتفاق می‌افتد که نانو رس بیشترین مقدار باشد. از بین نانوکامپوزیت‌های مورد بررسی با توجه به خواص آنها، نانوکامپوزیت D1 تخلخل

تمام سطوح فرکانس، پتوهای سیلیس آبروژل / PET از ضریب جذب صوتی بالاتری نسبت به نمونه‌های اصلاح نشده برخوردار هستند (۲۲). در مطالعه Molkara و همکاران در سال ۲۰۱۷ اثرات نانو رس بر روی عایق صوتی کامپوزیت‌های آرد چوب / پلی اتیلن با چگالی کم بررسی شد. نتایج نشان داد که نانو رس باعث افزایش افت انتقال صوت در کامپوزیت‌ها و در فرکانس‌های بالاتر از ۲۰۰۰ Hz می‌شود (۲۳). Feng و همکاران در سال ۲۰۱۶ تحقیقی در مورد عایق آکوستیکی و حرارتی سیلیکا آبروژل‌های سلولز انجام دادند. سیلیکا آبروژل‌های سلولزی با موفقیت از فیبرهای سلولزی بازیافتی و متیل تری متوکسی سیلان (MTMS) تهیه شده و سیلیکا آبروژل‌های سلولزی با درصدهای مختلف فیبر سلولزی، خصوصیات عایق حرارتی و صوتی بسیار مناسبی نسبت به سیلیکا آبروژل و آبروژل سلولزی نشان دادند (۲۴). در مطالعه‌ای که Hajizadeh و همکاران انجام دادند، نشان داد که اضافه کردن نانوذرات خاک رس، نانوالیاف پلی آکریلونیتریل (PAN NF) و نانوالیاف پلی وینیلیدین فلوراید (PVDF NF) به فوم پلی یورتان باعث افزایش ضریب جذب و افت انتقال صوت توام در فرکانس‌های پایین، میانی و بالا در مقایسه با فوم پلی یورتان خالص می‌شود (۷). مطالعه‌ای که Gayathri و همکاران انجام دادند، نشان داد که نانو خاک رس باعث افزایش جذب در تمامی فرکانس‌ها به خصوص در فرکانس‌های پایین در فوم پلی یورتان می‌شود (۷، ۲۵). در پژوهش Rabbi و همکاران نشان داده شد که حضور توام لایه نانوالیاف PAN با وزن و ضخامت بسیار پایین با لایه بی بافت پلی استر باعث افزایش چشمگیر درصد جذب صوت مخصوصا در فرکانس‌های پایین و متوسط گردیده است. لایه‌های نانوالیاف قرار گرفته در میان بی بافت‌ها شبیه به جاذب‌های رزونانسی و از نوع غشایی عمل می‌کنند و در واقع جذب صوت در آنها به سبب ارتعاش ناشی از انرژی صوتی برخوردی است (۲۶). نتایج مقایسه مقادیر SAC چهار نوع نمونه A1، B1، C1،

الیاف (PAN) و معدنی (ذرات نانو رس) همزمان یا تواما به سیلیکا آبروژل مقدار SAC خصوصا در فرکانس‌های میانی و پایین افزایش بالاتری دارد. و سبب بهبود خواص جذب صوت می‌گردد. همچنین استفاده همزمان مواد آلی و معدنی به سیلیکا آبروژل بیشترین مقدار SAC خصوصا در فرکانس‌های پایین و میانی، زمانی اتفاق می‌افتد که نانورس بیشترین مقدار باشد. از بین همه نمونه‌ها، نانوکامپوزیت D1 در فرکانس‌های میانی و پایین جذب صوت بهتری نشان می‌دهد. ضریب جذب صوت نانوکامپوزیت D1 در فرکانس‌های ۳۱۵، ۴۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۲۰۰۰ Hz به ترتیب برابر با ۰/۲۷، ۰/۳۸، ۰/۵۱، ۰/۷۸، ۰/۸۳، ۰/۸۴ است. به همین دلیل به‌عنوان نمونه بهینه در این تحقیق در نظر گرفته شده است. مقایسه نتایج مقادیر افت انتقال هشت نوع نانوکامپوزیت در فرکانس‌های Hz ۶۳۰۰ - ۸۰ با ضخامت ۲ cm نشان داد که مقدار افت انتقال صوت برای نانوکامپوزیت D1 در مقایسه با دیگر نانوکامپوزیت‌ها در فرکانس‌های میانی و پایین بالاتر است. نتایج اندازه‌گیری تراز فشار صوت SPL نشان داد که با استفاده از نانوکامپوزیت بهینه (نانوکامپوزیت D1) جاگذاری شده در محفظه، می‌توان در محدوده‌های صوتی مختلف مقدار قابل توجهی از صدا را کاهش داد. بنابراین براساس این مطالعه از بین نمونه‌های مورد مطالعه این تحقیق، نانوکامپوزیت D1 به‌عنوان یک جاذب صوتی مناسب عایق صوتی خوبی می‌تواند در محیط‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. از طرف دیگر این مواد نانوکامپوزیت نوآورانه، می‌توانند شاخه جدیدی از مواد را معرفی کنند که دارای خواص آکوستیکی مناسبی هستند.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه و تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

و سختی قابل ملاحظه‌ای داشت یعنی شرایط جاذب و عایق بودن صوت را دارد. در مطالعه‌ای که Hajizadeh و همکاران در سال ۲۰۱۹ انجام دادند، نشان دادند که اضافه کردن نانو ذرات خاک رس، نانوالیاف پلی آکریلونیتریل (PAN NF) و نانوالیاف پلی ونیلیدین فلوراید (PVDF) به فوم پلی یورتان باعث افزایش ضریب جذب و افت انتقال صوت توام در فرکانس‌های پایین، میانی و بالا در مقایسه با فوم پلی یورتان خالص می‌شود (۷). نتایج تحقیق حاضر با سایر مطالعات مشابه نیز تایید شده است. براساس جداول ۲ و ۳ میزان کاهش متوسط تراز فشار صوت در محدوده‌های صوتی ۸۵-۸۰ dB، ۹۰-۸۵ dB در فاصله ۱ m از محفظه بدون نانوکامپوزیت و با نانوکامپوزیت به ترتیب برابر با ۹/۷۳ dB، ۴/۶ dB است. بالاترین کاهش متوسط SPL در محدوده صوتی ۸۵-۸۰ dB در فاصله ۱ m است. نتایج اندازه‌گیری میانگین تراز فشار صوت SPL در محدوده صوتی ۸۵-۸۰ dB در فاصله ۱ m از اطراف محفظه بدون نانوکامپوزیت و با نانوکامپوزیت نشان داد که با استفاده از نانوکامپوزیت D1 می‌توان میزان صدا را به اندازه ۹/۷۳ dB کاهش داد. با استفاده از نانوکامپوزیت بهینه (نانوکامپوزیت D1) جاگذاری شده در محفظه ساخته شده می‌توان در محدوده‌های صوتی مختلف، مقدار قابل توجهی از صدا را کاهش داد. بنابراین برای کنترل صدای منابع می‌توان با طراحی محفظه‌های جزیی و کلی و جاسازی یک ماده با خواص آکوستیکی مناسب در داخل محفظه مقدار قابل توجهی از صدا را کاهش داد. به علت محدودیت‌های موجود مانند عدم دسترسی به مواد اولیه تحقیق، تجهیزات آزمایشگاهی (امپدانس تیوب) و محدود بودن بودجه انجام تحقیق، تعداد نمونه‌ها نسبتاً کم بودند که از جمله کاستی‌های این پژوهش هستند.

### نتیجه‌گیری

براساس هدف این تحقیق نتایج حاصل از آن نشان داد که با اضافه کردن مواد آلی (لایه بی بافت پلی استر و نانو

## تشریح و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان نامه با عنوان "امکان سنجی استفاده از نانوکامپوزیت‌های سیلیکا آبروژل اصلاح شده به

منظور بهبود خواص آکوستیکی" در مقطع دکتری در سال ۱۳۹۹ که با حمایت دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی اجرا شده است.

## References

1. Khodaei M, Nasiri P, Monazam Esmacil Pour M, Mirjalili N. Evaluation of noise pollution and traffic noise index (TNI) in the main streets of Yazd. 3rd Conference of Environmental Engineering; 2009; Tehran (in Persian).
2. Majidi F, Khosravi Y. Noise pollution evaluation of city center of Zanjan by geographic information system (GIS). Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):91-102 (in Persian).
3. Abbaspour M. Environmental Engineering. Tehran, Iran: Islamic Azad University Publication; 1992 (in Persian).
4. Barbosa ASM, Cardoso MRA. Hearing loss among workers exposed to road traffic noise in the city of São Paulo in Brazil. *Auris Nasus Larynx*. 2005;32(1):17-21.
5. Tempest W. The Noise Handbook. London: Academic Press; 1985.
6. Fu F. Progressive collapse analysis of high-rise building with 3-D finite element modeling method. *Journal of Constructional Steel Research*. 2009;65(6):1269-78.
7. Hajizadeh R, Khavanin A, Jonidi Jafari A, Barmar M, Farhang Dehghan S. Investigation of acoustic properties of polymer nanocomposites regarding combined sound absorption and insulation characteristics. *Health and Safety at Work*. 2019;9(4):311-28.
8. Ahmadi S, Nassiri P, Ghasemi I, Esmacilpoor MRM. Sound transmission loss through nanoclay-reinforced polymers. *Iranian Polymer Journal*. 2015;24(8):641-49.
9. Wang X, You F, Zhang FS, Li J, Guo S. Experimental and theoretic studies on sound transmission loss of laminated mica-filled poly (vinyl chloride) composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2011;122(2):1427-33.
10. Du Tran T, Nguyen ST, Do ND, Thai NTN, Thai QB, Huynh HKP, et al. Green aerogels from rice straw for thermal, acoustic insulation and oil spill cleaning applications. *Materials Chemistry and Physics*. 2020;253:123363.
11. Thai QB, Chong RO, Nguyen PT, Le DK, Le PK, Phan-Thien N, et al. Recycling of waste tire fibers into advanced aerogels for thermal insulation and sound absorption applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2020;8(5):104279.
12. Chen Y, Yuan F, Su Q, Yu C, Zhang K, Luo P, et al. A novel sound absorbing material comprising discarded luffa scraps and polyester fibers. *Journal of Cleaner Production*. 2020;245:118917.
13. Yang T, Xiong X, Venkataraman M, Mishra R, Novák J, Militký J. Investigation on sound absorption properties of aerogel/polymer nonwovens. *The Journal of The Textile Institute*. 2019;110(2):196-201.
14. Simón-Herrero C, Peco N, Romero A, Valverde JL, Sánchez-Silva L. PVA/nanoclay/graphene oxide aerogels with enhanced sound absorption properties. *Applied Acoustics*. 2019;156:40-45.
15. Kucukali Ozturk M, Nergis FB, Candan C. Design of electrospun polyacrylonitrile nanofiber-coated nonwoven structure for sound absorption. *Polymers for Advanced Technologies*. 2018;29(4):1255-60.
16. Ramamoorthy M, Pisal A, Rengasamy R, Rao AV. In-situ synthesis of silica aerogel in polyethylene terephthalate fibre nonwovens and their composite properties on acoustical absorption behavior. *Journal of Porous Materials*. 2018;25(1):179-87.
17. Tang X, Yan X. Acoustic energy absorption properties of fibrous materials: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2017;101:360-80.
18. Garay R, Goiti E, Reichenauer G, Zhao S, Koebel M, Barrio A. Thermal assessment of ambient pressure dried silica aerogel composite boards at laboratory and field scale. 2016;128:111-18.

19. Eskandari N, Motahari S, Atoufi Z, Hashemi Motlagh G, Najafi M. Thermal, mechanical, and acoustic properties of silica-aerogel/UPVC composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2017;134(14):44685.
20. Guzel Kaya G, Deveci H. Synergistic effects of silica aerogels/xerogels on properties of polymer composites: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2020;89:13-27.
21. Do NH, Luu TP, Thai QB, Le DK, Chau NDQ, Nguyen ST, et al. Heat and sound insulation applications of pineapple aerogels from pineapple waste. *Materials Chemistry and Physics*. 2020;242:122267.
22. Talebi Z, Soltani P, Habibi N, Latifi F. Silica aerogel/polyester blankets for efficient sound absorption in buildings. *Construction and Building Materials*. 2019;220:76-89.
23. Molkara F, Najafi SK, Ghasemi I. Foam morphology and sound transmission loss of foamed wood flour/low-density polyethylene (LDPE)/nanoclay composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2018;31(11):1470-82.
24. Feng J, Le D, Nguyen ST, Nien VTC, Jewell D, Duong HM. Silica-cellulose hybrid aerogels for thermal and acoustic insulation applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2016;506:298-305.
25. Hakamada M, Kuromura T, Chen Y, Kusuda H, Mabuchi M. High sound absorption of porous aluminum fabricated by spacer method. *Applied physics letters*. 2006;88(25):254106.
26. Rabbi A, Bahrambeygi H, Shoushtari AM, Nasouri K. Incorporation of nanofiber layers in non-woven materials for improving their acoustic properties. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2013;8(4):36-41.
27. Zhang C, Li J, Hu Z, Zhu F, Huang Y. Correlation between the acoustic and porous cell morphology of polyurethane foam: Effect of interconnected porosity. *Materials & Design*. 2012;41:319-25.
28. Seddeq HS, Aly NM, Marwa A A, Elshakankery M. Investigation on sound absorption properties for recycled fibrous materials. *Journal of Industrial Textiles*. 2013;43(1):56-73.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Feasibility study of silica aerogel nanocomposites application to enhance acoustic properties

Mansoureh Hamidi<sup>1</sup>, Parvin Nassiri<sup>2\*</sup>, Homayoon Ahmad Panahi<sup>3</sup>, Lobat Taghavi<sup>1</sup>, Saeed Bazgir<sup>4</sup>

1- Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- Department of Chemistry, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4- Department of Polymer Engineering, Faculty of Petroleum and Chemical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 9 August 2020

**Revised:** 27 October 2020

**Accepted:** 2 November 2020

**Published:** 20 December 2020

**Keywords:** Silica aerogel, Nano-composite, Sound absorption coefficient, Sound transmission loss

**\*Corresponding Author:**

nassiri@tums.ac.ir

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Noise pollution is one of the serious environmental issue. Sound control technologies based on sound absorption and sound insulation are considered as the two widely used methods. Therefore, the aim of this study was to modify silica aerogel nanocomposites to improve its acoustic properties.

**Materials and Methods :** This applied experimental research involved in examining eight various types of nanocomposites to evaluate their performance of acoustic properties. In this study, nanocomposites were synthesized by sol-gel method. For this purpose, TEOS and ethanol were added to  $\text{SiO}_2$  which subsequently stirred and diluted with ethanol as a precursor of silica sol. A solution of 5.5 M ammonium hydroxide is added drop-wise to the silica sol and then was stirred. The activated silica sol was quickly poured into the mold in which the samples were placed and finally placed in an oven at 150 °C for 3 hours. The acoustic properties of the samples were measured by the impedance tube and the reduction sound pressure level using a sound level meter. Each sample morphology was characterized by scanning electron microscopy.

**Results :** The sound absorption properties of as prepared nanocomposite relatively increased at high frequencies. The results indicated > 0.6 sound absorption coefficient by the modified nanocomposites at higher frequencies. The sound absorption coefficient and transmission loss of D1 nanocomposite were higher at medium and low frequencies as compared to other nanocomposites. 4.6 and 9.73 dB average reduction of sound pressure level were achieved by either with or without nanocomposite enclosure, respectively, at a distance of 1 meter.

**Conclusion:** The results of the current study showed that the simultaneous addition of organic and mineral materials to silica aerogels (especially with the highest amounts of nanoclay) improves its acoustic properties, especially at medium and low frequencies. Among the samples, D1 nanocomposite shows better acoustic properties at medium and low frequencies. The sound absorption coefficient of D1 nanocomposite at frequencies of 315, 400, 500, 1000, 1250, 2000 Hz were obtained as 0.27, 0.38, 0.51, 0.78, 0.83 and 0.84, respectively. The findings also indicated 9.37 dB reduction of sound pressure level using D1 nanocomposite.

Please cite this article as: Hamidi M, Nassiri P, Ahmad Panahi H, Taghavi L, Bazgir S. Feasibility study of silica aerogel nanocomposites application to enhance acoustic properties. Iranian Journal of Health and Environment. 2020;13(3):421-34.

