



## تأثیر طول الیاف استبرق بر ویژگی جذب صوت پلاستر با رزین پایه آبی

حسین یحیایی<sup>ا</sup>، الهام زارعین<sup>ب\*</sup>، کیوان انصاری<sup>پ</sup>، رستم گل محمدی<sup>ت</sup>

<sup>ا</sup> ایران، تهران، خیابان حافظ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، ۱۵۸۷۵۴۴۱۳، استادیار

<sup>پ</sup> ایران، تهران، میدان حسین آباد، خیابان وفامنش، پلاک ۵۵، پژوهشگاه رنگ، ۱۶۶۸۸۳۶۴۷۱، استادیار.

<sup>ت</sup> ایران، همدان، میدان پژوهش، بلوار شهید فهمیده، دانشگاه علوم پزشکی، دانشکده بهداشت، ۶۵۱۷۸۳۸۶۸۷، استاد

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [zarein77@yahoo.com](mailto:zarein77@yahoo.com)

### چکیده

امروزه برای کاهش آلودگی صدا گرایش به ساخت نوعی از پوشش های دیوار به نام پلاستر که به شکل خمیری اعمال می شوند و هزینه کمتری در بر دارند، اقبال بیشتری یافته است. این پلاسترها بر پایه رزین های صنعتی فرموله می شوند که در تحقیق حاضر از نوعی رزین پایه آبی در ساخت آن استفاده شده است. چنین رزین هایی علاوه بر نقش محمل و چسباننده، به دلیل خاصیت ویسکوالاستیکی که دارند سبب میرایی فرکانس موثر در آلودگی صدا نیز می گردند. همچنین به منظور افزایش خصوصیت جذب از نوعی الیاف گیاهی با نام استبرق استفاده شد. الیاف استبرق به دلیل داشتن مجراهای تو خالی و ساختار متخلخل قادرند تا موجب کاهش بیشتر انرژی صدا گردند. در این تحقیق اثر تغییر طول الیاف طبیعی گیاهی خشک شده استبرق بر افزایش ضریب جذب صوت بررسی شد. نتایج نشانگر افزایش محسوس ضریب جذب با افزایش در طول الیاف طبق نتایج لوله امپدانس بود. بطوری که با تغییر طول الیاف استبرق از ۱ سانت به ۲ سانت در فرکانس ۵۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز، ضریب جذب در حدود ۱۰ درصد افزایش یافت.

**کلمات کلیدی:** جاذب صوت؛ الیاف استبرق

### ۱- مقدمه

با پیشرفت شهرنشینی و رشد حمل و نقل، آلودگی صدا<sup>۱</sup> به عنوان عاملی نگران کننده برای سلامتی انسان شناخته شده است. یافته های اخیر نشان می دهد که افراد ساکن در شهرهای بزرگ بیشتر ممکن است در معرض آلودگی صدا و آسیب های آن مانند از

<sup>۱</sup> Noise pollution

دست دادن شنوایی، فشار خون بالا، وز وز گوش، مسائل روانی—فیزیولوژیکی و عوارض قلبی—عروقی قرار بگیرند. بنابراین استفاده از جاذب های صوتی در صنعت و منازل اجتناب ناپذیر می نماید [۱]. استفاده از انواع پنل های جاذب صوت در طی سده ها در ساختارهایی مثل ساختمان بسیار کارآمد بوده اند اما در مواقعی که سطوح خمیده مد نظر هستند و سهولت بیشتری در اعمال مورد نظر است نیاز به جایگزین بهتری که بر پایه رزین و پرکننده جاذب می باشد ممکن است موفق تر عمل کند. به چنین پوشش هایی که با نام پلاستر نیز شناخته می شوند، از لحاظ قیمت نیز به صرفه تر می باشند [۳ و ۴]. از جمله پرکننده های قابل استفاده بعنوان جاذب صوت می توان از انواع الیاف طبیعی و مخصوصا الیاف گیاهی نام برد که برتری آن ها نسبت به الیاف مصنوعی به دلایلی چون قیمت کمتر، دوستدار محیط زیست بودن، زیست تخریب پذیر بودن و ... مشهود است. بدین ترتیب فرمول ساخت چنین ترکیباتی شامل رزین به عنوان محمل و الیاف گیاهی به عنوان ماده جاذب و برخی مواد بهبود دهنده کیفیت فرمولاسیون است. مکانیزم عملکرد مواد جاذب صوت به این صورت است که انرژی صوتی را دریافت کرده و آن را به دلیل اصطکاک به انرژی حرارتی تبدیل و کاهش می دهند. کارآمدی الیاف گیاهی بعنوان مواد جاذب به دلیل حضور حفره ها و کانال های توخالی است که عاملی تاثیرگذار بر پارامتری به نام ضریب جذب هستند [۵]. لازم به ذکر است که خود رزین نیز بعنوان یک پلیمر فیلم ساز نیز بعلاوه خاصیت ویسکوالاستیکی که دارد بنحو موثری در میرایی فرکانس های صوتی عمل می کند.

ویراکومار و سلواکومار (۲۰۱۲) نشان دادند با مخلوط کردن الیاف کاپوک و پلی پروپیلن و استفاده از آن ها به صورت نبافته در جایی که نمونه ها فشرده نشده بودند و در غیاب فضای خالی پشتی، ضرایب جذب بالای (۰/۹۷ - ۰/۹۴) در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز بدست آوردند [۶]. لیم و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مقاله ای ضخامت های ۲/۵ تا ۷/۵ سانتی از الیاف کناف فشرده شده استفاده کردند و نشان دادند استفاده از ضخامت های بیشتر کناف به عنوان لیف طبیعی موجب افزایش ضریب جذب و انتقال آن به فرکانس های پایین می شود. هم چنین تاثیر چگالی توده را نیز بررسی کردند و نشان دادند در چگالی های بالاتر ضریب جذب بیشتر است [۷]. سامباندامورتی و همکاران (۲۰۲۱) برای طول های مختلف فیبر جوت (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ میلیمتر) نشان دادند ضریب جذب در محدوده ۸۰۰ هرتز تا ۶ کیلو هرتز، از ۰/۳۸ تا ۰/۹۵ تغییر می کند و وقتی طول فیبر به ۲۰ میلیمتر افزایش می یابد ضریب جذب در بعضی فرکانس ها به ۰/۹۹ افزایش می یابد. سامباندامورتی و همکاران (۲۰۲۱) هم چنین بیان کردند که اکثر امواج صوتی در طول ساختار با مجرای تو خالی (ساختار لومن)، در طول فیبرها عبور کرده و بخش کوچکی از امواج از شکاف بین الیاف عبور نمود. با افزایش طول فیبر، ساختارهای متخلخل فیبر و حفره های هوا افزایش یافته، در نتیجه ماکزیمم ضریب جذب در نمونه ی ۲۰ میلیمتری خودش را نشان داد [۸].

در تحقیق حاضر، نسبت به سنجش تاثیر طول الیاف استبرق به عنوان پرکننده و ماده جاذب، بر ضریب جذب پلاستر بر پایه رزین پلیمری آب پایه اقدام شده است.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱ آماده سازی نمونه ها

در این تحقیق ۱۰۰ گرم از هر کدام از نمونه های پلاستر مایع فرموله شده تهیه و قالب گیری شدند. قالب ها مقطعی دایره ای با قطر ۹۸ میلی متر را برای نمونه ها ایجاد می کردند. این قطر به جهت قرارگیری در لوله امپدانس و انجام آزمون ضریب جذب انتخاب شد. نمونه ها پس از خشک شدن ضخامتی حدود ۲ سانتی متر را ایجاد می کردند. نمونه های پلاستر ساخته شده حاوی ماده جاذب صوت استبرق در طول های ۰/۵، ۱ و ۲ سانتی متر بودند که در هر نمونه ۱۰ درصد وزنی نمونه مایع را تشکیل می دادند. الباقی فرمولاسیون شامل نوعی رزین آکرلیک پایه آبی بعنوان محمل رنگ پلاستر و ایجاد خاصیت پلیمری در محصول نهایی بعلاوه برخی مواد افزودنی به عنوان عامل کف زا و غلظت دهنده مناسب بوده که ۹۰ درصد وزنی در شکل مایع هر کدام از نمونه ها بود. الیاف گیاهی استبرق یا خرک، که گیاهی خودرو و بومی مناطق جنوب شرقی ایران است از طریق روستایی در کرمان تهیه شده و طبق شرایط مشخصی خشک گردید و الیاف آن جداسازی شد. در شکل ۱ نمونه های پلاستر با طول الیاف متفاوت استبرق قالب گیری شده پس از خشک شدن نشان داده شده است.



شکل ۱. نمونه های پلاستر قالب گیری شده حاوی طول های مختلف از الیاف استبرق؛ از سمت چپ به ترتیب با ضخامت ۵/۰، ۱ و ۲ سانت.

## ۲-۲ مباحث تئوری

داشتن رزین با خواص ویسکوالاستیک در نمونه های کامپوزیتی موجب افزایش خاصیت میرایی در آن ها می شود. خاصیت میرایی یا خاصیت ویسکوالاستیک به رفتار ماده در برابر وارد شدن تنش یا نیروی نوسانی گفته می شود که رفتاریست مابین رفتار جامد الاستیک و مایع ویسکوز. یا به عبارتی رفتاری که در آن نیروی وارده کامل ذخیره می شود و رفتاری که در آن نیروی وارده کامل به صورت گرما از دست می رود [۱۰]. همان طور که می دانیم صوت نوعی نیروی مکانیکیست که با فرکانس مشخص به ماده وارد می شود. در علم آکوستیک نیز نسبتی با نام نسبت میرایی<sup>۲</sup> وجود دارد که گویای این رفتار مواد است. این نسبت در پلیمرها بیشتر از بتن، آجر و انواع چوب است [۱]. بنابراین از نوعی رزین اکریلیک پایه آبی به منظور چسباندن لیف طبیعی استفاده شد.

در این تحقیق، پارامتر مورد نظر برای سنجش، در نمونه های ساخته شده، ضریب جذب صوت<sup>۳</sup> بود. بنا به تعریف این عدد برای هر جذب برابر با نسبت مقدار انرژی صوتی جذب شده توسط سطح به کل مقدار انرژی برخوردی است. در رابطه (۱) روش محاسبه این پارامتر بر اساس مقادیر مربوطه آورده شده است.

$$\alpha = E_a / E_i = (E_i - E_r - E_t) / E_i \quad (1)$$

که در آن  $\alpha$  ضریب جذب صوت،  $E_a$  مقدار انرژی جذب شده،  $E_i$  کل مقدار انرژی برخوردی،  $E_r$  مقدار انرژی بازتابیده شده،  $E_t$  مقدار انرژی عبوری هستند [۵].

روش دیگر، روش قدیمی تر و در عین حال ساده تری برای به دست آوردن ضریب جذب است و توسط نرم افزار متصل به لوله امپدانس در دسترس اپراتور قرار می گیرد. این روش نسبت موج ایستا نامیده می شود که طی آن کمیت مورد نظر فشار صوت حداکثر و حداقل موج صوتی است. طبق رابطه (۲) نسبت این دو مقدار قابل دست یابی است که در رابطه (۳) ارتباط این نسبت با پارامتر دیگری به نام  $r$  تعریف شده است [۹].

$$S = |P_{max}| / |P_{min}| \quad (2)$$

$$S = (1 + |r|) / (1 - |r|) \quad (3)$$

در رابطه فوق  $P_{max}$  و  $P_{min}$  حداکثر و حداقل فشار صوتی اندازه گیری شده برای هر نمونه در فرکانس مورد نظر است. بدین ترتیب در روش موج ایستا و طبق رابطه (۴) ضریب جذب صوتی نمونه در هر فرکانس با استفاده از پارامتر  $r$  محاسبه می شود [۹].

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad (4)$$

ضریب جذب صوت کلی یا ضریب کاهش صوت (NRC)<sup>۴</sup> طبق رابطه (۵) با محاسبه متوسط ضرایب جذب نمونه ها در چهار فرکانس مرکزی ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز در این تحقیق محاسبه شد [۱].

<sup>۲</sup> Damping factor

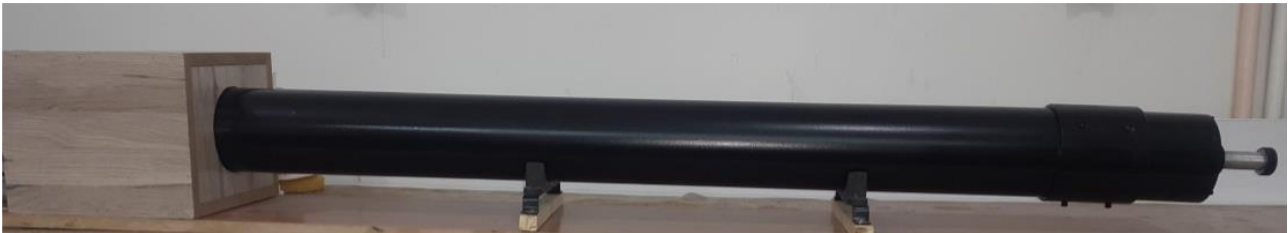
<sup>۳</sup> Sound absorption

<sup>۴</sup> Noise Reduction Coefficient

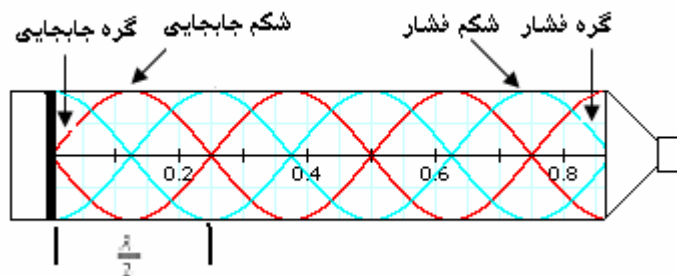
$$NRC = (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}) / 4 \quad (5)$$

### ۳-۲ دستگاه‌ها و روش‌های اندازه‌گیری

اندازه‌گیری ضریب جذب صوت در مواد مختلف به دو روش لوله امپدانس و اتاق بازآوا امکان پذیر است که در این تحقیق از روش لوله امپدانس استفاده شده است. دستگاه ساخته شده توسط شرکت آوا سینا که در شکل (۲) آورده شده است، شامل یک استوانه آزبستی یکپارچه بوده که در یک انتهای آن بلندگو و در انتهای دیگر محل قرارگیری نمونه در نظر گرفته شده است. بلندگو به یک ژنراتور صوت خالص و یک آمپلی فایر متصل است. حین آزمایش، موج صوتی از بلندگو به سمت انتهای دیگر استوانه منتشر می‌شود و پس از برخورد به نمونه بازتابش می‌کند. تداخل موج‌های برخوردی (Pr) و بازتابشی (Pi) می‌توانند موجب به وجود آمدن موج ایستا در استوانه گردد. شکل (۳) نشان دهنده ی گره‌ها (حداقل فشار) که به سبب تداخل مخرب و شکم‌ها (حداکثر فشار) که به سبب تداخل سازنده به وجود می‌آیند، است [۲]. همچنین آزمایشات با استفاده از استاندارد ISO10534-1 انجام شدند.



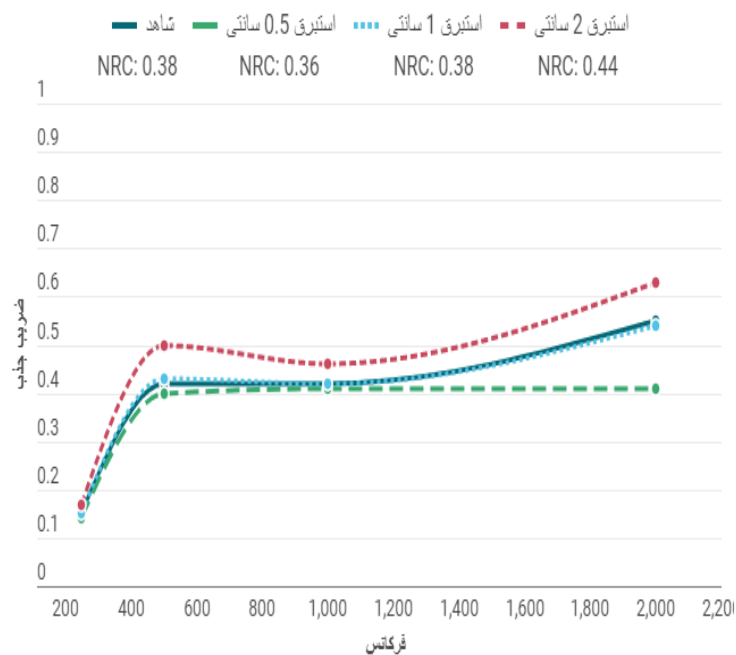
شکل ۲ لوله امپدانس نسبت موج ایستا مدل 9410 شرکت آوا سینا



شکل ۳ دامنه‌های فشار و جابجایی در لوله امپدانس

### ۴-۲ نتایج و بحث

با آزمون‌هایی که توسط لوله امپدانس روی نمونه‌های پلاستر با طول الیاف استبرق مختلف انجام گرفت، ضرایب جذب برای هر نمونه به دست آمد که در نمودار (۱) آورده شده است.



نمودار ۱. نمودار ضرایب جذب ۳ نمونه پلاستر با طول الیاف مختلف استبرق به همراه نمونه شاهد.

همان طور که در نمودار مشخص است تاثیر بهبود افزودن الیاف استبرق به نمونه شاهد مشهود بوده و تغییر طول الیاف استبرق تاثیر افزایشی در ضریب جذب داشته است. به طوری که در فرکانس ۵۰۰ هرتز با تغییر طول الیاف استبرق از ۱ سانتی متر به ۲ سانتی متر، ضریب جذب از ۰/۴۳ به ۰/۵ افزایش یافته، و در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز از ۰/۴۲ به ۰/۴۶، و در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز نیز با همان تغییر در طول الیاف ضریب جذب از ۰/۵۴ به ۰/۶۳ افزایش یافته است. بدین ترتیب میزان NRC نیز از ۰/۳۶ به ۰/۴۴ افزایش پیدا نمود. افزایش میزان جذب می تواند به دلیل افزایش در طول لومن ها (مجراهای توخالی) باشد که موجب افزایش ساختارهای متخلخل فیبر و حفره های هوا شده که نهایتاً موجب افزایش ضریب جذب می گردد [۸]. با این وجود برای استبرق ۰/۵ سانتی در همه فرکانس ها افزایشی در ضریب جذب نسبت به نمونه ی شاهد نداشتیم و در فرکانس ۲۰۰۰ نمونه دارای کاهش ضریب جذب بود. این به دلیل کاهش خاصیت ویسکوالاستیک نمونه شاهد در اثر اضافه کردن پر کننده بود که خود را در فرکانس بالاتر بیشتر نشان داد [۱۱].

### ۳- نتیجه گیری

تحقیق انجام شده در جهت بهبود ضریب جذب نوعی پلاستر بر پایه رزین های آب پایه حاوی الیاف گیاهی در فرکانس های پایین بود. پیش از این، این عملکرد را از پنل های جاذب صوت می گرفتند که قیمتی بالاتر و روش اعمال سخت تری در سطوح دارای انحناء داشتند. برای فرمولاسیون از نسبت اختلاط وزنی ۱۰/۹۰ بین مایع پلاستر بعنوان محمل و اندازه های مختلفی از الیاف خشک شده گیاه استبرق استفاده شد. الیاف بکار برده به دلیل داشتن ساختار متخلخل و عاملیت پلیمری رزین استفاده شده که خاصیت ویسکوالاستیک به نمونه های تهیه شده می داد، سبب افزایش در جذب صوت شدند. نتایج نشان داد که با افزایش لومن ها (مجراهای توخالی) به سبب افزایش طول الیاف استبرق، افزایش ضریب جذب رخ می دهد که بیشینه آن را در طول ۲ سانتی متر بود. هم چنین رزین استفاده شده توانایی نگاه داشتن مقدار قابل توجهی از انرژی صوتی در درون خود بصورت کرنش را داشت که بیانی از ویژگی میرایی آن است. تحقیقات بیشتر می تواند در خصوص بررسی اثر تغییر نوع پلیمر و اثر اختلاط بیش از یک ماده جاذب گیاهی باشد.

## مراجع

- [۱] رستم. گلمحمدی، مهندسی صدا و ارتعاش، انتشارات دانشجو، ایران، ۱۳۹۸
- [۲] رستم. گلمحمدی، محمد. علیایی، حمید. سموات، مجید. معتمد زاده، "طراحی و ساخت لوله امیدانس برای تعیین ضریب جذب صوتی برخی مصالح مورد استفاده در کنترل صدا"، *مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان*، همدان، ایران، ۱۱ خرداد (۱۳۸۷)
- [۳] حبیب. علیزاده، کیوان. انصاری، فرهاد. عامری، "بررسی ویژگی آکوستیکی پوشش آبی پایه جاذب صوت حاوی گیاه استبرق آسیاب شده ایرانی"، *همایش ملی رنگ، محیط زیست و توسعه پایدار*، تهران، ایران، ۵ بهمن (۱۴۰۱)
- [۴] حبیب. علیزاده، کیوان. انصاری، منوچهر. خراسانی، حسین. مهراوران، سیده مریم. مدنی، "بررسی ویژگی های آکوستیکی ماستیک های جاذب صوت حاوی برخی مواد طبیعی سلولزی"، *دومین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا*، تهران، ایران، دی (۱۳۹۲)
- [5] M. Mohammadi, E. Taban, "Recent Progress in natural fiber reinforced composite as sound absorber material", *Journal of Building Engineering* 84, 108514 (2024).
- [6] A. Veerakumar, N. Selvakumar, "A preliminary investigation on kapok/polypropylene nonwoven composite for sound absorption", *Indian Journal of, Fiber & Textile Research* 37, 385-388 (2012).
- [7] Z.Y. Lim, A. Putra, et al, "Sound absorption performance of natural kenaf fibers", *Applied Acoustics* 130, 107-114 (2018).
- [8] S. Sambandamoorthy, V. Narayanan, "Impact of fiber length and surface modification on the acoustic behaviour of jute fiber", *Applied Acoustics* 173, 107677 (2021).
- [9] R. Golmohammadi, M. Oliaei, et al, "Comparison of Static Wave Ratio and Transfer Function Method in Determining the Sound Absorption Coefficient of Materials", *Journal of Occupational Hygiene Engineering*, 2018.
- [10] Montgomery T. Shaw, William J. MacKnight, "Introduction to Polymer Viscoelasticity", *Wiley Interscience*, Hoboken, New Jersey, 2005.
- [11] T. Pritz, "Frequency Power Law of Material Damping", *Applied Acoustics*, 65, 1027- 1036 (2004).