

# بررسی اثر ضخامت، شدت صوت و نحوه قرارگیری لایه هوا بر ضریب جذب صوت فوم پلی اورتان با استفاده از روش تابع انتقال

فرهاد فروهر مجد<sup>۱</sup>، زهرا محمدی<sup>۲</sup>، جعفر صالحیان<sup>۳</sup>، مسعود مصیبی<sup>۴</sup>

## مقاله پژوهشی

### چکیده

**مقدمه:** فوم پلی اورتان یکی از مواد جاذب صوت می‌باشد که در ایران به عوامل تأثیرگذار بر ضریب جذب صوت آن توجه چندانی نشده است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر ضخامت، وجود لایه هوا و میزان شدت صوت بر میزان جذب صوتی فوم پلی اورتان انجام شد.

**روش‌ها:** در این مطالعه، لوله امپدانس طبق استاندارد ساخته شد و سپس ضریب جذب فوم پلی اورتان سلول باز (Open cell) با دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. سپس هر دو ضخامت در ۶ شدت صوت مختلف بررسی شد. همچنین، ضریب جذب فوم ۲۵ میلی‌متری با ۵/۵ سانتی‌متر لایه هوا و فوم ۵۰ میلی‌متری با ۳ سانتی‌متر هوا در انتهای نمونه مورد سنجش قرار گرفت. علاوه بر این، اندازه‌گیری جذب برای فوم ۴۰ میلی‌متری یکباره به صورت ۲ سانتی‌متر فوم، ۱ سانتی‌متر هوا و ۲ سانتی‌متر فوم و در حالت بعد به صورت ۴ سانتی‌متر فوم و ۱ سانتی‌متر هوا در انتهای انجام گردید.

**یافته‌ها:** یافته‌های تعیین دقت و کارایی مطالعه نشان داد که لوله امپدانس با ضریب همبستگی ۰/۹۸ قابل استفاده می‌باشد. شدت صوت در هر دو ضخامت تأثیر چشمگیری در میزان جذب صوت نداشت. همچنین، لایه هوا در انتهای فوم ۲۵ و ۵۰ میلی‌متری سبب افزایش جذب در فرکانس‌های میانی و بالا شد. علاوه بر این، در مقایسه با فوم ۵ سانتی‌متر بدون هوا، وجود ۱ سانتی‌متر هوا بین فوم ۴۰ میلی‌متری، باعث افزایش جذب در همه فرکانس‌های مورد مطالعه و در حالت ۱ سانتی‌متر هوا در انتهای سبب افزایش جذب در فرکانس‌های بالا گردید.

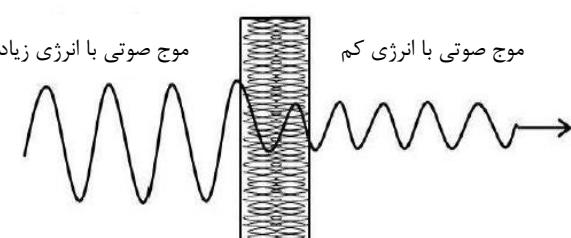
**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج تحقیق، می‌توان ضریب جذب صوت فوم پلی اورتان سلول باز را با در نظر گرفتن ضخامت بیشتر با توجه به شرایط موجود و قرار دادن لایه هوا در پشت یا بین ماده جاذب بهبود بخشید.

**واژه‌های کلیدی:** ضریب جذب صوت، تابع انتقال، فوم پلی اورتان، شدت صوت، لایه هوا

**ارجاع:** فرهاد مجد فرهاد، محمدی زهرا، صالحیان جعفر، مصیبی مسعود. بررسی اثر ضخامت، شدت صوت و نحوه قرارگیری لایه هوا بر ضریب جذب صوت فوم پلی اورتان با استفاده از روش تابع انتقال. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۵: ۱۲: ۱۹۰-۱۹۵

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۹/۷

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۴/۵



شکل ۱. کاهش انرژی موج صوتی پس از عبور از یک ماده جاذب صوت (۵)

مواد جاذب اغلب به منظور مقابله با اثرات نامطلوب صدای انعکاس یافته از

### مقدمه

در حال حاضر، برنامه‌های کاربردی کنترل صدا اولویت مهمی در صنایع مختلف از قبیل صنایع خودرو، ماشین‌آلات و ساخت کشتی دارند. در واقع، کنترل صدا نقش مهمی در ایجاد محیطی مطلوب از نظر صدا دارد و با کاهش شدت صوت به حدی که برای گوش مضر نباشد، این حالت امکان‌بندی می‌گردد. تکنیک‌های مختلفی جهت دستیابی به این هدف وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، استفاده از مواد جاذب صوت می‌باشد (۱-۳). عملکرد مواد آکوستیک به منظور کاهش انرژی صوتی عبوری از آن‌ها، در شکل ۱ نشان داده شده است. در واقع با عبور صدا از مواد جاذب متخلخل، انرژی در اثر نیروی اصطکاک بین امواج صوتی و دیواره سلول‌های متخلخل، به گرما تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر، عبور امواج صوتی از داخل مواد متخلخل، سبب تبدیل انرژی صوتی به گرما و در نتیجه جذب صوت توسط مواد آکوستیک می‌گردد (۴).

- ۱- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

Email: z\_mohammadi@hlth.mui.ac.ir

نویسنده مسؤول: زهرا محمدی

در مطالعه حاضر به اندازه‌گیری توسط لوله امپدانس با دو میکروفون و روش تابع انتقال بر اساس استاندارد ISO10534-2 پرداخته شد.

به منظور انجام این آزمایش، از یک لوله امپدانس، دو میکروفون یک دوم اینچی، یک منبع صوت بلندگو، آمپلی‌فایر جهت تغییر شدت صوت و یک سیستم آنالیز فرکانس دیجیتالی (شرکت BSWA، چین) استفاده شد و میزان ضربی جذب مواد جاذب تعیین گردید. بدین منظور ابتدا بر اساس استانداردهای ذکر شده، اقدام به ساخت لوله‌ای با مشخصات زیر شد:

لوله امپدانس به شکل استوانه و از جنس مواد سختی با سطحی یکنواخت، مستقیم و غیر متخلخل می‌باشد که در یک انتهای آن محل قرارگیری نگهدارنده نمونه و در انتهای دیگر، منبع صوت قرار گرفته است. همچنین، دو میکروفون در موقعیت‌های مشخص بر روی لوله نصب شده است (۱۰). بدین منظور، لوله مقاومتی آکوستیکی با چهار میکروفون طراحی گردید که در مطالعه حاضر، از قسمت مریبوط به اندازه‌گیری ضربی جذب با دو میکروفون به طول ۹۷/۲ سانتی‌متر از جنس استیل فولادی استفاده شد. پس از ساخت دستگاه، به منظور امکان سنجی و تعیین کارایی لوله، از یک نمونه جاذب فوم با ضخامت ۲۵ میلی‌متر (شرکت BSWA Technology، چین) به عنوان نمونه استاندارد و مرجع استفاده شد و پس از اندازه‌گیری ضربی جذب توسط لوله مورد نظر، نمونه مریبوط به آن با نمودار استاندارد ضربی جذب این شرکت مقایسه گردید. با توجه به توزیع نرمال مقادیر استاندارد و مقادیر اندازه‌گیری شده، مقایسه به صورت ضربی همسنگی Pearson انجام گرفت. همچنین، جهت حذف خطای ناشی از میکروفون‌ها، هر دو میکروفون قبل از اندازه‌گیری توسط کالیبراتور مدل ۴۳۳۰ (شرکت K&K، دانمارک) در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز و تراز فشار صوت ۶۵ دسی‌بل کالیبره شدند.

نمونه مورد نظر، فوم پلی اورتان سلول باز (Open cell) با چگالی ۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب و قطر ۳ سانتی‌متر انتخاب گردید. ابتدا به منظور تعیین تأثیر ضخامت، اندازه‌گیری ضربی جذب برای دو ضخامت مختلف ۲۵ و ۵۰ میلی‌متر به صورت مجزا انجام شد و سپس هر دو ضخامت در شدت‌های مختلف صوت مورد بررسی قرار گرفت؛ بدین صورت که ۶ شدت مختلف صدا شامل ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ دسی‌بل توسط آمپلی‌فایر جذب صوتی و سپس در هر شدت، ضربی جذب اندازه‌گیری گردید. همچنین، به منظور تعیین تأثیر نحوه قرارگیری لایه هوا، ابتدا ضربی جذب فوم ۲۵ میلی‌متری با ۵/۵ سانتی‌متر لایه هوا در انتهای نمونه و فوم ۵۰ میلی‌متری با ۳ سانتی‌متر ضخامت لایه هوا در انتهای اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، از فوم با ضخامت ۴۰ میلی‌متر استفاده گردید؛ بدین صورت که یک بار اندازه‌گیری در حالت انجام شد که ۲ سانتی‌متر فوم سپس یک سانتی‌متر هوا و مجدد ۲ سانتی‌متر فوم وجود داشت و در حالت بعد، ۴ سانتی‌متر فوم و ۱ سانتی‌متر هوا در انتهای نمونه استفاده گردید تا این نتایج با مقادیر ضربی جذب فوم ۵ سانتی‌متر بدون لایه هوا مقایسه گردد. در این صورت مشخص می‌شود که با کاهش ضخامت ماده و استفاده از لایه هوا به جای آن، چه تغییری در ضربی جذب صوت اتفاق می‌افتد.

محدوده فرکانس مورد استفاده در پژوهش حاضر بین ۷۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز در نظر گرفته شد و ضرایب جذب در فرکانس‌های یک سوم اکتاو باند اندازه‌گیری گردید. سپس نتایج توسط نرم‌افزار VA-Lab4 به صورت نمودار نمایش داده شد.

سطح سفت و سخت استفاده می‌شوند و سطح صدای منعکس شده را کاهش می‌دهند. این مواد در مهندسی آکوستیک مانند کنترل صدای اتاق، سر و صدای صنعتی، صدای استودیو، اتومبیل و کنترل سایر آلودگی‌های صوتی نقش مهمی را ایفا می‌کنند (۶).

دو روش مختلف جهت ارزیابی عملکرد مواد جاذب صوت مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل اتاق آکوستیک و لوله امپدانس می‌باشد و هر دو روش قادر به جمع‌آوری خصوصیات آکوستیک مواد از جمله ضربی جذب و میزان انعکاس صدا می‌باشند. ضربی جذب به عنوان شاخصی که بیشترین رجوع را از طرف متخصصان و مهندسان در ارزیابی آکوستیک دارد، شناخته شده است (۷-۹). با توجه به ارزش و اهمیت ضربی جذب صوت، توانایی مواد جاذب را در جذب انرژی صوتی می‌توان پیش‌بینی نمود. لوله امپدانس با دو میکروفون، وسیله‌ای برای اندازه‌گیری ضربی جذب صوت به روش تابع انتقال و بر اساس استاندارد ISO10534-2 می‌باشد که در یک انتهای آن موج سینوسی صدا القا می‌شود و در انتهای دیگر، نمونه مورد آزمایش قرار می‌گیرد. در این حالت، امواج صوتی در طول محور لوله منتشر می‌شود و به نمونه برخورد می‌کند. دو میکروفون در موقعیت ثابتی روی لوله، امواج صوتی را در دریافت می‌نمایند و از طریق تابع انتقال بین امواج منعکس شده و برخوردی، ضربی جذب صوتی ماد به دست می‌آید (۱۰).

در مطالعه Hideo و همکاران، ویژگی‌های آکوستیک و ضربی جذب پشم شیشه و آلومینیوم توسط روش تابع انتقال اندازه‌گیری و با مقادیر واقعی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که تابع انتقال، روش قابل اعتمادی است که امپدانس، میزان انتشار و جذب صوت ماد را در محدوده فرکانسی به خوبی اندازه‌گیری می‌نماید (۱۱).

در عمل، دو روش جهت نصب مواد آکوستیک وجود دارد که یکی قرار دادن مواد به صورت چسبیده به دیواره مورد نظر و دیگری نصب با فاصله از دیوار یا به عبارت دیگر، با وجود لایه هوا پشت جاذب می‌باشد (۱۲، ۱۳). نتایج مطالعه Zulkifli و همکاران گزارش کرد که استفاده از لایه هوا به همراه صفحات فیزی آکوستیک، باعث افزایش ضربی جذب صدا در فرکانس‌های بالا و میانی می‌شود (۱۴). همچنین، نتایج بررسی Sedeq مخصوص نمود که ترکیبی از مواد جاذب لاستیکی به همراه ضخامتی از لایه هوا، سبب بهبود ضربی جذب صوت می‌گردد (۱۵). Kumar در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که جذب صدا توسط مواد آکوستیک در فرکانس‌های پایین، ارتباط مستقیمی با ضخامت ماده دارد (۱۶). نتایج پژوهش فوهر مجد بر روی ضربی جذب صوت ماد با استفاده از لوله آکوستیک با دو میکروفون و تابع انتقال، نشان داد که با افزایش ضخامت جاذب، میزان جذب نیز افزایش می‌باید و نکته مهمتر، افزایش محسوس میزان جذب در فرکانس‌های پایین با افزایش ضخامت می‌باشد (۱۷).

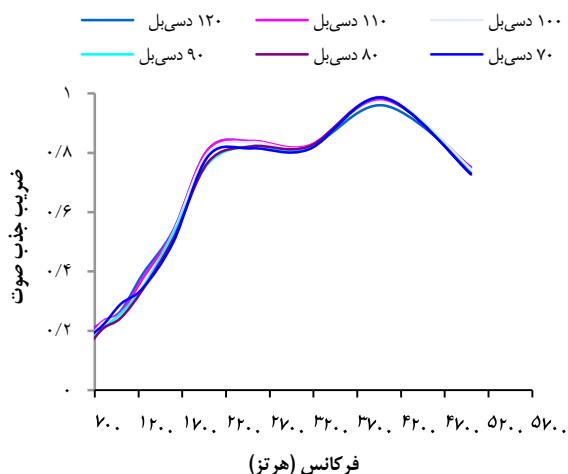
اگرچه فوم پلی اورتان جزء مواد جاذب برای کنترل صوت محسوب می‌شود، اما در ایران به عوامل تأثیرگذار بر ضربی جذب صوتی این ماده مانند ضخامت، لایه هوا و شدت صوت توجه چندانی نشده است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر ضخامت ماده، وجود لایه هوا در حالت‌های قرارگیری مختلف و میزان شدت صوت بر روی میزان جذب صوتی فوم پلی اورتان انجام شد.

## روش‌ها

روش‌های مختلفی جهت اندازه‌گیری ضربی جذب مواد آکوستیک وجود دارد که

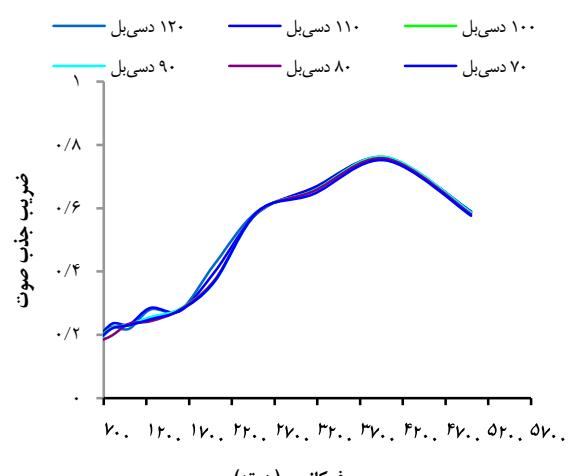
در شکل های ۴ و ۵ نتایج تغییر شدت صوت بر روی ضریب جذب نشان داده شده است. شدت صوت در هر دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر فوم تأثیر چشمگیری نداشت و نمودارها در تمامی فرکانس ها تا حدود زیادی بر هم منطبق بود.

قرار دادن لایه هوا با ضخامت ۵/۵ سانتی متر در پشت نمونه، سبب افزایش ضریب جذب صوتی فوم ۲۵ میلی متری گردید؛ به طوری که تفاوت حداکثر ضریب جذب صوت در این دو حالت برابر با ۱/۹ بود (شکل ۶).



شکل ۴. تأثیر شدت صوت بر روی ضریب جذب فوم پلی اورتان با ضخامت ۵۰ میلی متر

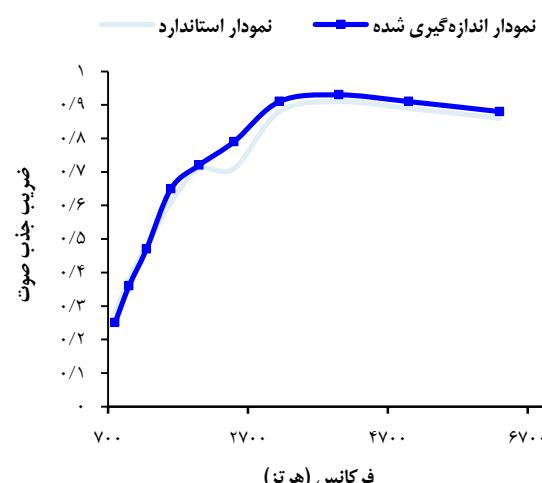
در فوم با ضخامت ۵۰ میلی متر نیز افزودن ۳ سانتی متر لایه هوا پشت نمونه نسبت به فوم بدون لایه هوا، سبب افزایش ضریب جذب صوت در فرکانس های بالاتر از ۱۲۵۰ هرتز شد.



شکل ۵. تأثیر شدت صوت بر روی ضریب جذب فوم پلی اورتان با ضخامت ۲۵ میلی متر

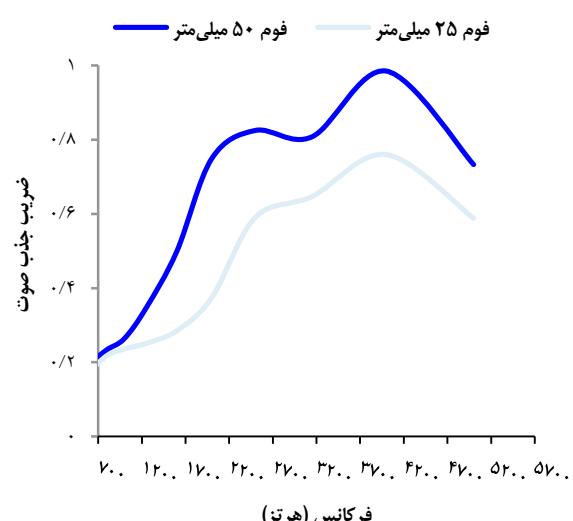
### یافته ها

یافته های مربوط به امکان سنجی و تأیید کارایی لوله اپدانا نشان داد که بین ضرایب جذب فوم استاندارد اندازه گیری شده در شرایط آزمایشگاهی و ضرایب جذب استاندارد با ضریب همبستگی  $0/98$  و  $0/96 = 3\%$  رابطه مستقیم وجود داشت ( $P < 0/001$ ) (شکل ۲).



شکل ۲. مقایسه ضریب جذب استاندارد با مقادیر اندازه گیری شده فوم استاندارد با ضخامت ۲۵ میلی متر

نتیجه مقایسه تأثیر ضخامت بر روی ضریب جذب صوت حاکی از آن بود که با افزایش ضخامت فوم، میزان جذب در همه فرکانس ها افزایش یافت (شکل ۳).



شکل ۳. تأثیر ضخامت بر روی ضریب جذب صوت فوم پلی اورتان

فرکانس‌های بالا، ضریب جذب افزایش می‌یابد. همچنین، ضخامت نقش بسزایی در افزایش ضریب جذب صوت داشت. نتایج مطالعه Liu و همکاران گزارش نمود که ضریب جذب نمونه فولاد متخلخل با افزایش فرکانس و ضخامت نمونه افزایش می‌یابد (۱۸) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت. همچنین، در راستای نتایج تأثیر ضخامت Xie و همکاران نیز دریافتند که ضریب جذب مواد با افزایش ضخامت و تخلخل افزایش می‌یابد (۱۹). با توجه به نتایج به دست آمده مربوط به تعییر شدت صوت، تأثیر محسوسی از شدت‌های مختلف بر روی ضریب جذب فوم پلی‌اورتان مشاهده نشد.

لایه‌ها توپانی ضریب جذب را در فرکانس‌های بالا و میانی افزایش داد. با ایجاد لایه‌ها در پشت یا به گرما تبدیل نشده است، بعد از عبور از انرژی صوتی برخوردي به ماده که یا جذب نشده و یا به گرما تبدیل نشده است، بعد از عبور از انرژی صوتی مقاومت لایه‌ها مواجه می‌شود. در واقع، این مکانیسم اتلاف انرژی صوتی توسط لایه‌ها، به عنوان اثر رزوئانس Helmholtz شناخته شده است (۲۰). همچنین، استفاده از مواد جاذب با وجود لایه‌ها نقش مهمی را در کاهش هزینه‌های مصرفی بر عهده دارد؛ بدین صورت که با ضخامت کمتری از مواد جاذب و استفاده از لایه‌ها به جای آن، می‌توان ضریب جذب بهتری را به دست آورد. نتایج مطالعه Hakamada و همکاران نشان داد که ضریب جذب آلومینیوم متخلخل با قرار دادن ضخامتی از لایه‌ها بین نمونه و جسم سخت پشت آن، به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (۲۰) که با نتایج مطالعه حاضر مشابه داشت.

با توجه به سیر نزولی نمودارها در هر دو حالت با و بدون لایه‌ها، می‌توان پیش‌بینی نمود که توپانی جذب در فرکانس‌های پایین کم می‌باشد. در همین راستا، Zhang و همکاران بیان کردند که امواج در فرکانس‌های پایین دارای طول موج بلندتری می‌باشند و 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 (۲۱). در مطالعه حاضر نیز با دو برابر کردن ضخامت مشاهده شد که ضریب جذب فوم ۵۰ میلی‌متر تا حدودی از ضرایب جذب فوم ۲۵ میلی‌متر بیشتر می‌باشد. بنابراین، پیش‌بینی می‌شود که ممکن است ضخامت‌های بالاتر، سبب افزایش بیشتر جذب در محدوده فرکانس‌های پایین گردد.

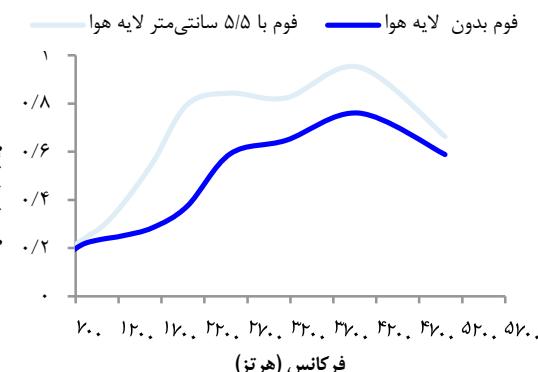
### نتیجه‌گیری

با توجه به مناسب بودن فوم پلی‌اورتان از نظر کاهش صوت و نتایج تحقیق حاضر، می‌توان ضریب جذب صوت فوم پلی‌اورتان سلول باز را در نظر گرفتن بیشترین ضخامت با توجه به نوع استفاده و شرایط موجود بهبود بخشید. همچنین، قرار دادن لایه‌ها در پشت یا بین ماده جاذب، علاوه بر کاهش هزینه مصرفی مورد نیاز جهت تهیه جاذب، می‌تواند میزان جذب صوت را در فرکانس‌های میانی و بالا افزایش دهد تا بتوان به نتایج مطلوبی از کاهش آودگی صوتی در صنایع و محیط‌های مختلف رسید.

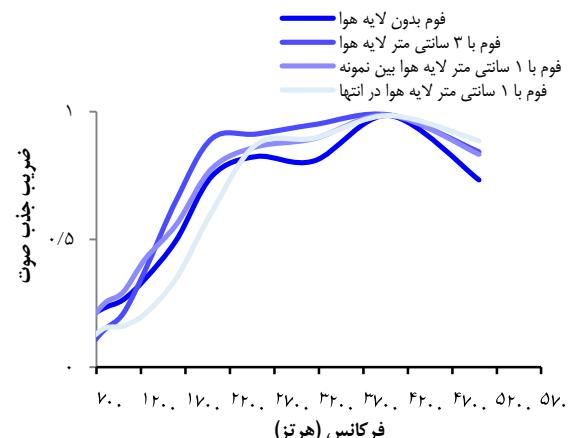
### تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد به شماره ۳۹۳۳۰۱ می‌باشد. بدین وسیله نویسنده‌گان از آزمایشگاه صدا و ارتعاش دانشکده پهداشت دانشگاه

جهت بررسی تأثیر استفاده از لایه‌ها به جای قسمتی از ضخامت ماده جاذب، از فوم ۴ سانتی‌متری استفاده گردید و به ازای ۱ سانتی‌متر آن، لایه‌ها جایگزین شد. نتایج مقایسه قرار دادن ۱ سانتی‌متر لایه‌ها در بین فوم به ضخامت ۴ سانتی‌متر با ضریب جذب فوم ۵ سانتی‌متر بدون لایه‌ها در شکل ۷ نشان داده است. با توجه به شکل، ضریب جذب صوت فوم با لایه‌ها در محدوده فرکانسی مورد مطالعه، سبب افزایش جذب گردید. همچنین، استفاده از فوم ۴ سانتی‌متری و ضخامت لایه‌ها در انتهای نمونه در مقایسه با فوم ۵ سانتی‌متری بدون لایه‌ها در فرکانس‌های بالا، ضریب جذب بیشتری را نشان داد (شکل ۷).



شکل ۶. تأثیر لایه‌ها با ضخامت ۵/۵ سانتی‌متر در انتهای نمونه بر ضریب جذب صوت فوم ۲۵ میلی‌متری



شکل ۷. مقایسه تأثیر لایه‌ها با ضخامت ۳ سانتی‌متر در انتهای نمونه، فوم ۴۰ میلی‌متر به همراه ۱ سانتی‌متر لایه‌ها در بین نمونه و فوم ۴۰ میلی‌متر به همراه ۱ سانتی‌متر لایه‌ها در انتهای نمونه با ضرایب جذب فوم ۵۰ میلی‌متر بدون لایه‌ها

### بحث

خاصیت جذب فوم پلی‌اورتان به طور قابل توجهی با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد؛ به طوری که در فرکانس‌های پایین، ضریب جذب کم می‌شود و در

و تشکر به عمل می‌آورند.

علوم پزشکی اصفهان به جهت تأمین وسایل و همکاری در انجام مطالعه، تقدیر

## References

- Garcia-Valles M, Avila G, Martinez S, Terradas R, Nogues JM. Acoustic barriers obtained from industrial wastes. *Chemosphere* 2008; 72(7): 1098-102.
- Jaouen L, Becot FX. Acoustical characterization of perforated facings. *J Acoust Soc Am* 2011; 129(3): 1400-6.
- Yang S, Yu WD. Air Permeability and Acoustic Absorbing Behavior of Nonwovens. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics Regular Article* 2011; 3(4): 203-7.
- Fang W, Lu-cai W, Jian-guo W, Xiao-hong Y. Sound absorption property of openpore aluminum foams. *China Foundry* 2007; 4(1): 31-3.
- Bies DA, Hansen CH. *Engineering Noise Control: Theory and Practice*, Fourth Edition. 4<sup>th</sup> ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2009.
- Vér IL, Beranek LL. *Noise and vibration control engineering: principles and applications*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, NY: John Wiley & Sons; 2006.
- Doutres O, Salissou Y, Atalla N, Panneton R. Evaluation of the acoustic and non-acoustic properties of sound absorbing materials using a three-microphone impedance tube. *Appl Acoust* 2010; 71(6): 506-9.
- Sagartzazu X, Hervella-Nieto L, Pagalday JM. Review in Sound Absorbing Materials. *ARCH COMPUT METHOD E* 2008; 15(3): 311-42.
- Crocker MJ. *Handbook of Noise and Vibration Control*. New York, NY: John Wiley & Sons; 2007.
- ISO. ISO10534-2: Acoustics-Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes -- Part 2: Transfer-function method [Online]. [cited 2001]; Available from: URL: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=22851](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=22851)
- Hideo U, Toshimitsu T, Takeshi F, Seybert AF. Transfer function method for measuring characteristic impedance and propagation constant of porous materials. *J Acoust Soc Am* 1989; 86: 837.
- Norton MP, Karczub DG. *Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers*. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2003. p. 242-4.
- 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. *Mater Des* 2012; 41: 319-25.
- Zulkifli R, Mohd Nor MJ, Ismail AR, Nuawi MZ, Mat Tahir MF. Effect of Perforated size and air gap thickness on acoustic properties of coir fibre sound absorption panels. *Eur J Sci Res* 2009; 28(2): 242-52.
- Seddeq HS. Factors Influencing Acoustic Performance of Sound Absorptive Materials. *Aust J Basic Appl Sci* 2009; 3(4): 4610-17.
- Kumar RS, Sundaresan S. Acoustic Textiles - sound absorption [Online]. [cited 2002]; Available from: URL: <http://textination.de/en/document/1130003803282734/1.0/Acoustic%20Textiles%20sound%20absorption.pdf>
- Forouharmajd F. The survey of impedance tube role in determining sound absorption coefficient [Report]. Isfahan, Iran: Isfahan University of Medical Sciences; 2011. [In Persian].
- Lu M, Hopkins C, Zhao Y, Seiffert G. Sound Absorption Characteristics of Porous Steel Manufactured by Lost Carbonate Sintering. *Mater Res Soc Symp Proc* 2009; 1188.
- Xie ZK, Ikeda T, Okuda Y, Nakajima H. Characteristics of Sound Absorption in Lotus-Type Porous Magnesium. *Jpn J Appl Phys* 2004; 43(1): 7315-19.
- Hakamada M, Kuromura T, Chen Y, Kusuda H, Mabuchi M. Sound absorption characteristics of porous aluminum fabricated by spacer method. *J Appl Phys* 2006; 100(11): 114908-5.

## The Effect of Foam Thickness, Sound Intensity, and Air Layer on Sound Absorption Coefficient of Polyurethane Foam Using Transfer Function Method

Farhad Forouharmajd<sup>1</sup>, Zahra Mohammadi<sup>2</sup>, Jafar Salehian<sup>2</sup>, Masoud Mosayebi<sup>2</sup>

### Original Article

#### Abstract

**Background:** Polyurethane foam is a sound-absorbing material. The affective factors of its sound absorption have not received much attention in Iran. Therefore, the present study was conducted with aim to investigate the effect of sample thickness, air gap thickness, and sound intensity on sound absorption rate of open cell polyurethane foam.

**Methods:** To conduct this experiment, the impedance tube was built based on the standards, and the absorption coefficient of open cell polyurethane foam with thicknesses of 25 and 50 mm was measured. Then, both foam thicknesses were evaluated in the 6 different sound intensities of 70, 80, 90, 100, 110, and 120 dB. Furthermore, the absorption coefficient of the 25 mm thick foam with 5.5 cm of air and the 50 mm thick foam with 3 cm air layer on one side of the samples were measured. Then, the absorption coefficient of 40 mm thick foam was measured with 1 cm air layer and 2 cm of foam on either side, and then, 1 cm air layer and 4 cm of foam on either side.

**Findings:** The obtained accuracy and efficiency showed that the impedance tube can be used with a correlation coefficient of 0.98. The effect of sound intensity on sound absorption was not significant in either of the two thicknesses of polyurethane foam. The air layer on one side of the 25 and 50 mm thick foam increased the absorption in average and high frequency ranges. The absorption coefficient of 40 mm thick foam with 1 cm of air in the middle increased in all frequencies, and of the sample with 1 cm air on one side, increased in high frequencies compared to the 5 cm thick foam without an air layer.

**Conclusion:** According to the results of this study, the sound absorption coefficient of the open cell polyurethane foam can be improved with a higher thickness and by inserting a layer of air at the end or in the middle of the absorbent material.

**Keywords:** Sound absorption coefficient, Transfer function, Polyurethane foam, Sound intensity, Air layer

**Citation:** Forouharmajd F, Mohammadi Z, Salehian J, Mosayebi M. The Effect of Foam Thickness, Sound Intensity, and Air Layer on Sound Absorption Coefficient of Polyurethane Foam Using Transfer Function Method. J Health Syst Res 2016; 12(2): 190-5.

1- Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

2- MSc Student, Department of Occupational Health Engineering, Student Research Committee, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

**Corresponding Author:** Zahra Mohammadi, Email: z\_mohammadi@hlth.mui.ac.ir