



موسسه آموزش عالی انرژی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی شیمی - بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)

عنوان:

**مقایسه ضریب جذب و افت انتقال صدا جاذب های موجود
برای انتخاب مناسب ترین جاذب جهت استفاده در اتاقک
کنترل کابین دستگاه TBM**

استاد راهنما:

دکتر یوسف یاسی

پژوهشگر:

فرشاد فروهر مجد

فروردین ۱۳۹۶

برای

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام

زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاه‌هم، دستان پر مهر مادرم

به زیباترین نگاه زندگیم، چشمان همسرم

و به اساتید فرزانه و فریخته ام

که هر چه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هر چه بگو شتم قطره ای از دریای

بی کران مهربانیتان را سپاس توانم بگویم

تقدیر و تشکر:

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

با سپاس فراوان از:

خانواده عزیزم که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بودند و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات و وجودشان مایه دلگرمی من می باشد.

استاد فرهیخته جناب آقای دکتر یوسف یاسی که در کمال سعه صدر از هیچ کمکی در این عرصه از من دریغ ننمودند و همواره راهنما و راه گشای نگارنده در اتمام و اکمال پایان نامه بوده اند.

استاد و برادر عزیزم جناب آقای دکتر فرهاد فروهرمجد که همواره در تمام مراحل زندگی مرا راهنمایی و مشاوره نموده ای ، سپاسگزار زحمات همیشگی شما هستم.

و کلیه افرادی که بنده را در اجرای این طرح یاری نمودند.

چکیده

دستگاه حفاری تونل (Tunnel Boring Machine) یا تی‌بی‌ام (T.B.M) که با نام مول (Mole) نیز شناخته می‌شود، دستگاهی است که برای حفاری تونل‌ها از آن استفاده می‌گردد.

این دستگاه با استفاده از یک سطح مقطع مدور، قادر است در قشرهای خاکی و سنگی زمین حفاری کند. این نوع از ماشین‌آلات توانایی ایجاد حفره در هر نوع زمینی، از سنگ سخت گرفته تا ماسه را دارد.

قطر تونل‌هایی که این دستگاه ایجاد می‌کند در محدوده یک متر (با استفاده از میکرو تی‌بی‌ام‌ها) تا نزدیکی ۱۶ متر (تی‌بی‌ام‌های امروزی) قرار دارند.

دستگاه‌های حفاری تونل، با هدف ایجاد سهولت بهره برداری طراحی گردید و بعد ها نقش اساسی در افزایش سطح ایمنی کارگران ایفانمود.

هدف کلی این پژوهش انتخاب جاذب مناسب جهت آکوستیک کردن اتاقک اپراتوری دستگاه حفاری مکانیزه می باشد.

پس از مطالعه در خصوص نحوه کار لوله امیدانس و اطمینان از کارایی آن، ضرایب جذب و افت انتقال هفت عدد نمونه شامل چوب پنبه، لاستیک، فوم پلی اورتان، پلی استایرن، پلی وینیل کلراید، پشم سنگ و پشم شیشه و همچنین امیدانس صوتی دو نمونه پشم سنگ و لاستیک در دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر اندازه گیری شد. به علاوه تاثیر ضخامت، چگالی، لایه هوا و شدت صوت نیز بررسی گردید. اندازه گیری هر نمونه توسط نرم افزار

Va-lab4 انجام گردید و در نهایت نمودار نتایج توسط نرم افزار Matlab تهیه شد.

بیشترین ضرایب جذب مربوط به نمونه های پشم شیشه، پشم سنگ و فوم پلی اورتان بود. در این بین، پلی وینیل کلراید، چوب پنبه، لاستیک و پلی استایرن کمترین ضرایب جذب را داشتند. افزایش ضخامت و چگالی برای هر نوع ماده بسته به رنج فرکانسی آن تاثیر متفاوتی بر روی ضریب جذب، امیدانس و افت انتقال داشت. ولی به طور کلی افزایش چگالی و ضخامت سبب افزایش جذب مواد گردید که با افزایش فرکانس این تاثیر کمتر شد. همچنین لایه هوا نیز سبب کاهش بیشتر انرژی صوتی گردید. در این بین، تغییر شدت صوت تاثیر چشمگیری بر روی جذب و افت انتقال مواد نشان نداد.

با توجه به نتایج می توان خصوصیات آکوستیکی مواد را با بالاترین دقت، توسط لوله امپدانس طراحی شده تعیین نمود تا به نتایج مطلوبی از روش های کنترل آلودگی صوت با استفاده از جاذب های صوتی در محیط و صنعت دست یافت.

کلید واژه ها:

افت انتقال صدا، ضریب جذب، خطر صدا، اتاق کنترل دستگاه TBM

فهرست مطالب

فصل اول: معرفی پژوهش	۱
۱-۱. مقدمه	۲
۱-۱-۱. معرفی روش های اندازه گیری	۳
۱-۱-۱-۱. روش اتاق بازآوایی	۳
۱-۱-۱-۲. روش استفاده از لوله آکوستیکی و نسبت موج ایستاده	۳
۱-۱-۱-۳. روش استفاده از لوله آکوستیکی و تابع انتقال	۴
۱-۱-۱-۱-۱. ضریب جذب و بازتاب صوت	۴
۱-۱-۱-۲-۱. افت انتقال صوت	۵
۱-۱-۱-۳-۱. امپدانس آکوستیکی	۸
۱-۱-۲. معرفی لوله امپدانس	۸
۱-۱-۳. معرفی نرم افزار Va-lab4	۱۱
۲-۱. بیان مساله و ضرورت اجرای پژوهش	۱۵
۳-۱. اهداف پژوهشی	۱۵
۱-۳-۱. هدف کلی	۱۵
۲-۳-۱. اهداف جزئی (اختصاصی)	۱۵
۳-۳-۱. هدف کاربردی	۱۶
۴-۱. سوالات پژوهشی	۱۶
۵-۱. فرضیات	۱۷
۶-۱. تعریف واژه ها	۱۷
فصل دوم: مبانی نظری و پیشینه پژوه	۱۹

۲۰	۱-۲. مقدمه
۲۰	۲-۲. مبانی نظری پژوهش
۲۱	۳-۲. مروری بر پیشینه پژوهش
۲۱	۱-۳-۲. پیشینه پژوهش در ایران
۲۲	۲-۳-۲. پیشینه پژوهش در خارج
۲۳	۳-۳-۲. جمع بندی پیشینه های پژوهش
۲۴	فصل سوم: مواد و روش ها
۲۵	۱-۳. نوع مطالعه و روش پژوهش
۲۵	۲-۳. ابزار و روش گردآوری داده ها
۲۵	۳-۳. مکان و زمان انجام پژوهش
۲۵	۴-۳. متغیرهای پژوهش
۲۶	۵-۳. روش اجرا
۲۶	۱-۵-۳. طراحی و ساخت لوله امیدانس
۲۸	۲-۵-۳. آماده سازی نمونه ها
۲۸	۳-۵-۳. آماده سازی و راه اندازی سیستم
۲۹	۴-۵-۳. کالیبراسیون میکروفون ها و لوله امیدانس
۳۰	۵-۵-۳. اندازه گیری
۳۱	۱-۵-۵-۳. اندازه گیری ضریب جذب و برخی عوامل تاثیر گذار بر میزان جذب
۳۲	۲-۵-۵-۳. اندازه گیری میزان افت انتقال و برخی عوامل تاثیر گذار بر آن
۳۲	۳-۵-۵-۳. اندازه گیری نسبت امیدانس اکوستیکی ویژه و برخی عوامل تاثیر گذار بر آن
۳۳	۶-۵-۳. تعیین تفاوت مقادیر ضریب جذب نمونه ایرانی و خارج از ایران
۳۳	۷-۵-۳. تعیین ضریب جذب اتفاقی از طریق ضریب نرمال
۳۴	۱-۷-۵-۳. مقایسه عملکرد دو میکروفون یک چهارم و یک دوم
۳۴	۶-۳. محدودیت ها و مشکلات انجام پژوهش

فصل چهارم: یافته های پژوهش.....	۳۵
۱-۴. امکان سنجی استفاده و قابلیت اطمینان لوله امپدانس (مقایسه ضریب جذب).....	۳۶
۲-۴. ضریب جذب صوت.....	۳۷
۱-۲-۴. تاثیر ضخامت بر روی ضریب جذب صوت.....	۳۸
۱-۲-۴-۱. تعیین ضخامت بهینه برای ضریب جذب نمونه پشم سنگ.....	۴۳
۲-۲-۴. تاثیر چگالی بر روی ضریب جذب.....	۴۵
۳-۲-۴. تاثیر شدت صوت بر روی ضریب جذب.....	۴۷
۴-۲-۴. تاثیر وجود لایه هوا بر ضریب جذب صوت.....	۵۵
۵-۲-۴. تاثیر وجود ضخامت ثابت لایه هوا بر ضریب جذب نمونه با دو ضخامت مختلف.....	۶۵
۳-۴. افت انتقال صوت.....	۷۰
۱-۳-۴. امکان سنجی استفاده و قابلیت اطمینان لوله امپدانس (افت انتقال).....	۷۰
۲-۳-۴. تاثیر ضخامت نمونه بر روی افت انتقال.....	۷۳
۳-۳-۴. تاثیر شدت صوت بر افت انتقال.....	۷۸
۴-۳-۴. تاثیر وجود لایه هوا بر افت انتقال.....	۷۹
۴-۴. نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه صوت.....	۸۱
۱-۴-۴. تاثیر ضخامت بر روی نسبت امپدانس آکوستیک ویژه.....	۸۳
۲-۴-۴. تاثیر چگالی بر نسبت امپدانس آکوستیک ویژه.....	۸۴
۳-۴-۴. تاثیر لایه هوا بر روی نسبت امپدانس آکوستیک ویژه.....	۸۶
۴-۴-۴. مقایسه ضریب جذب صوت و نسبت امپدانس آکوستیک ویژه.....	۹۰
۵-۴. مقایسه ضرایب جذب نمونه ایرانی و مرجع.....	۹۴
۶-۴. پیش بینی ضریب جذب اتفاقی از طریق ضریب جذب نرمال.....	۹۶
۷-۴. مقایسه عملکرد میکروفون های یک دوم و یک چهارم اینچ.....	۹۸
فصل پنجم: بحث، نتیجه گیری و پیشنهادهای پژوهش.....	۹۹
۱-۵. بحث.....	۱۰۰

۱۰۴	۲-۵. نتیجه گیری.....
۱۰۴	۳-۵. پیشنهادهای پژوهش.....
۱۰۵	فهرست منابع.....
۱۰۶	منابع.....
۱۰۹	پیوست ها.....
۱۱۰	چکیده انگلیسی.....

فهرست جداول:

۲۶	جدول (۱-۳) متغیرهای مورد مطالعه.....
۳۷	جدول (۱-۴) مقادیر حداکثر و حداقل ضرایب جذب صوتی نمونه های جاذب.....
۷۲	جدول (۲-۴) مقادیر حداکثر و حداقل افت انتقال صوتی نمونه های جاذب.....
۸۲	جدول (۳-۴) حداکثر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه.....
۹۴	جدول (۴-۴) ضرایب جذب صوتی پشم سنگ مرجع با دو ضخامت ۲۰ و ۵۰ میلی متر.....
۹۴	جدول (۵-۴) ضرایب جذب صوتی پشم سنگ در شرایط آزمایشگاهی با دو ضخامت ۲۰ و ۵۰ میلی متر.....
۹۵	جدول (۶-۴) ضرایب جذب صوتی پشم شیشه مرجع با دو ضخامت ۳۰ و ۵۰ میلی متر.....
۹۵	جدول (۷-۴) ضرایب جذب صوتی پشم شیشه در شرایط آزمایشگاهی با دو ضخامت ۳۰ و ۵۰ میلی متر.....

فهرست اشکال:

- شکل (۱-۱) طرح لوله امپدانس با دو میکروفون بر اساس تابع انتقال..... ۱۰
- شکل (۲-۱) طرح لوله امپدانس با چهار میکروفون بر اساس تابع انتقال..... ۱۱
- شکل (۳-۱) محیط نرم افزار Va-lab4..... ۱۲
- شکل (۴-۱) محیط ورودی تنظیمات مربوط به لوله امپدانس با دو میکروفون..... ۱۳
- شکل (۵-۱) محیط اندازه گیری مربوط به لوله امپدانس با دو میکروفون..... ۱۳
- شکل (۶-۱) محیط ورودی تنظیمات مربوط به لوله امپدانس با چهار میکروفون..... ۱۴
- شکل (۷-۱) محیط اندازه گیری مربوط به لوله امپدانس با چهار میکروفون..... ۱۴
- شکل (۱-۳) نمایی از لوله امپدانس طراحی شده در آزمایشگاه صدا و ارتعاش..... ۲۷
- شکل (۲-۳) آماده سازی سیستم اندازه گیری..... ۲۹
- شکل (۱-۴) مقایسه ضریب جذب استاندارد با مقادیر اندازه گیری شده فوم استاندارد شرکت BSWA..... ۳۶
- شکل (۲-۴) ضریب جذب صوتی چوب پنبه ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۳۸
- شکل (۳-۴) ضریب جذب صوت پلی وینیل کلراید ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۳۹
- شکل (۴-۴) ضریب جذب صوت پشم شیشه ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۴۰
- شکل (۵-۴) ضریب جذب صوت پشم سنگ ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۴۰
- شکل (۶-۴) ضریب جذب صوت فوم پلی اورتان منفذ باز ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۴۱
- شکل (۷-۴) ضریب جذب صوت لاستیک ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۴۲
- شکل (۸-۴) ضریب جذب صوت فوم پلی استایرن ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۴۳
- شکل (۹-۴) تعیین تاثیر افزایش ضخامت بر ضریب جذب پشم سنگ با چگالی 80 kg/m^3 ۴۴
- شکل (۱۰-۴) تعیین تاثیر افزایش ضخامت بر ضریب جذب پشم سنگ با چگالی 120 kg/m^3 ۴۵
- شکل (۱۱-۴) ضریب جذب صوت پشم سنگ ۲۵ و ۵۰ میلی متر با دو چگالی ۸۰ و ۱۲۰ kg/m^3 ۴۶
- شکل (۱۲-۴) ضریب جذب صوت لاستیک ۲۵ و ۵۰ میلی متر با دو چگالی ۱۰۵۸ و ۱۲۵۲ kg/m^3 ۴۷
- شکل (۱۳-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب چوب پنبه ۲۵ میلی متر..... ۴۸
- شکل (۱۴-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب چوب پنبه ۵۰ میلی متر..... ۴۸
- شکل (۱۵-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب فوم پلی اورتان ۲۵ میلی متر..... ۴۹
- شکل (۱۶-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب فوم پلی اورتان ۵۰ میلی متر..... ۴۹
- شکل (۱۷-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پشم شیشه ۲۵ میلی متر..... ۵۰
- شکل (۱۸-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پشم شیشه ۵۰ میلی متر..... ۵۰
- شکل (۱۹-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پشم سنگ ۲۵ میلی متر..... ۵۱
- شکل (۲۰-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پشم سنگ ۵۰ میلی متر..... ۵۱

- شکل (۲۱-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پلی استایرن ۲۵ میلی متر..... ۵۲
- شکل (۲۲-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پلی استایرن ۵۰ میلی متر..... ۵۲
- شکل (۲۳-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پلی وینیل کلراید ۲۵ میلی متر..... ۵۳
- شکل (۲۴-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پلی وینیل کلراید ۵۰ میلی متر..... ۵۳
- شکل (۲۵-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب لاستیک ۲۵ میلی متر..... ۵۴
- شکل (۲۶-۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب لاستیک ۵۰ میلی متر..... ۵۴
- شکل (۲۷-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب چوب پنبه ۲۵ میلی متر..... ۵۵
- شکل (۲۸-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب چوب پنبه ۵۰ میلی متر..... ۵۶
- شکل (۲۹-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب فوم پلی اورتان ۲۵ میلی متر..... ۵۷
- شکل (۳۰-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب فوم پلی اورتان ۵۰ میلی متر..... ۵۸
- شکل (۳۱-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پشم شیشه ۲۵ میلی متر..... ۵۹
- شکل (۳۲-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پشم شیشه ۵۰ میلی متر..... ۵۹
- شکل (۳۳-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پشم سنگ ۲۵ میلی متر..... ۶۰
- شکل (۳۴-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پشم سنگ ۵۰ میلی متر..... ۶۱
- شکل (۳۵-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب PVC ۲۵ میلی متر..... ۶۲
- شکل (۳۶-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب PVC ۵۰ میلی متر..... ۶۲
- شکل (۳۷-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پلی استایرن ۲۵ میلی متر..... ۶۳
- شکل (۳۸-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پلی استایرن ۵۰ میلی متر..... ۶۴
- شکل (۳۹-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب لاستیک ۲۵ میلی متر..... ۶۵
- شکل (۴۰-۴) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر چوب پنبه..... ۶۶
- شکل (۴۱-۴) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر پشم شیشه..... ۶۷
- شکل (۴۲-۴) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر پشم سنگ..... ۶۷
- شکل (۴۳-۴) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر پلی استایرن..... ۶۸
- شکل (۴۴-۴) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر لاستیک..... ۶۹
- شکل (۴۵-۴) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر پلی وینیل کلراید..... ۷۰
- شکل (۴۶-۴) مقایسه مقادیر افت انتقال استاندارد با مقادیر اندازه گیری شده فوم استاندارد..... ۷۱
- شکل (۴۷-۴) افت انتقال چوب پنبه ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۷۳
- شکل (۴۸-۴) افت انتقال پلی استایرن ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۷۴
- شکل (۴۹-۴) افت انتقال پشم شیشه ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۷۵

- شکل (۵۰-۴) افت انتقال پشم سنگ ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۷۵
- شکل (۵۱-۴) افت انتقال پلی استایرن ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۷۶
- شکل (۵۲-۴) افت انتقال پلی وینیل کلراید ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۷۷
- شکل (۵۳-۴) افت انتقال لاستیک ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۷۷
- شکل (۵۴-۴) تاثیر شدت صوت بر افت انتقال پشم شیشه ۵۰ میلی متر..... ۷۸
- شکل (۵۵-۴) تاثیر شدت صوت بر افت انتقال فوم پلی استایرن ۵۰ میلی متر..... ۷۹
- شکل (۵۶-۴) تاثیر لایه هوا بر افت انتقال پشم شیشه ۵۰ میلی متر..... ۸۰
- شکل (۵۷-۴) تاثیر لایه هوا بر افت انتقال پشم سنگ ۵۰ میلی متر..... ۸۰
- شکل (۵۸-۴) تاثیر لایه هوا بر افت انتقال پلی استایرن ۵۰ میلی متر..... ۸۱
- شکل (۵۹-۴) نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه پشم سنگ ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۸۳
- شکل (۶۰-۴) نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه لاستیک ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۸۴
- شکل (۶۱-۴) تاثیر چگالی بر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه پشم سنگ ۲۰ و ۵۰ میلی متر..... ۸۵
- شکل (۶۲-۴) تاثیر چگالی بر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه لاستیک ۲۰ و ۵۰ میلی متر..... ۸۶
- شکل (۶۳-۴) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه پشم سنگ ۲۵ میلی متر..... ۸۷
- شکل (۶۴-۴) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه پشم سنگ ۵۰ میلی متر..... ۸۸
- شکل (۶۵-۴) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه لاستیک ۲۵ میلی متر..... ۸۹
- شکل (۶۶-۴) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه لاستیک ۵۰ میلی متر..... ۹۰
- شکل (۶۷-۴) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر ضریب جذب صوت پشم سنگ ۲۵ میلی متر..... ۹۱
- شکل (۶۸-۴) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر ضریب جذب صوت پشم سنگ ۵۰ میلی متر..... ۹۱
- شکل (۶۹-۴) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر ضریب جذب صوت لاستیک ۲۵ میلی متر..... ۹۲
- شکل (۷۰-۴) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر ضریب جذب صوت لاستیک ۵۰ میلی متر..... ۹۳
- شکل (۷۱-۴) ضریب جذب اتفاقی (RAC) لاستیک ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۹۷
- شکل (۷۲-۴) ضریب جذب اتفاقی (RAC) پلی وینیل کلراید ۲۵ و ۵۰ میلی متر..... ۹۷
- شکل (۷۳-۴) مقایسه اندازه گیری ضریب جذب فوم استاندارد BSWA با ضخامت ۲۵ میلی متر توسط میکروفون یک دوم و یک چهارم..... ۹۸
- شکل (۱-۵) کاهش انرژی موج صوتی پس از عبور از یک ماده جاذب صوت ۱۰۰

فصل اول:

معرفی پژوهش

۱-۱. مقدمه:

آلودگی صوتی یکی از مهمترین آلاینده‌های زیست محیطی و محیط کار است که در ایجاد مشکلات مربوط به محیط و سلامتی بشر در صنایع سهم بسزائی را به خود اختصاص داده است. آلودگی صوتی حاصل انواع مختلفی از منابع بوده که قسمتی از این آلودگی نتیجه فعالیت های صنعتی یا فعالیت های روزانه افراد می باشد (۱). تماس با صداهای صنعتی و محیطی یکی از موارد اجتناب ناپذیر است و عوارض مختلفی را در انسان بر جای می گذارد. امروزه قوانین و استانداردهای متعددی در زمینه حدود مجاز تماس با صدا در فرآیندهای صنعتی یا محیط زیست وجود دارد که مسئولان را مجاب می کند تا تراز صدای منتشره از فرآیند یا دستگاه خود را در حد مشخصی نگه دارند (۲). برای کاهش تراز صدا در محیط های مختلف راه کارهای کنترلی متعددی پیشنهاد شده است. دستیابی به یک محیط مطلوب از نظر صدا، توسط تکنیک های متعددی امکان پذیر بوده که یکی از این روش ها استفاده از مواد جاذب صدا می باشد. مواد لیفی، متخلخل و انواع دیگری از مواد به طور گسترده برای جذب صدا مورد استفاده قرار می گیرند (۳). مواد جاذب نقش مهمی را در مهندسی آکوستیک مانند کنترل صدای اتاق، کنترل صدای صنعتی، کنترل صدای استودیو و اتومبیل ایفا می کنند. این مواد به منظور مقابله با اثرات نامطلوب انعکاس صدا به وسیله سطوح سخت و سفت داخلی استفاده شده و در نتیجه به کاهش میزان انعکاس صدا منجر می شوند (۴). هدف اولیه از اندازه گیری خصوصیات آکوستیکی مواد، تشخیص مواد جاذب و مواد منعکس کننده صوت است. به عبارت دیگر اندازه گیری جذب صوتی مواد، رفتار یک ماده را از نظر آکوستیک توصیف می کند. برای تعیین جذب صوتی مواد از ۳ روش استفاده می گردد:

روش اتاق باز آوایی: ISO-354:2003

روش استفاده از لوله آکوستیکی و نسبت موج ایستاده: ISO-10534-1:2001

روش استفاده از لوله آکوستیکی و تابع انتقال: ISO-10534-2:2002 (۵)

۱-۱-۱. معرفی روش های اندازه گیری:

۱-۱-۱-۱. روش اتاق بازآوایی:

یکی از راه های اندازه گیری ضریب جذب صوتی مواد مختلف استفاده از برخورد تصادفی (اتفاقی) امواج صوتی در اتاق های بازآوا است. این اتاق دارای دیوارهای صاف و سخت و حجمی به اندازه ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر مکعب می باشد. زمان بازآوایی در اتاق یک بار با وجود ماده جاذب و بار دیگر بدون حضور ماده جاذب اندازه گیری شده و سپس ضریب جذب صوتی ماده از معادله زیر محاسبه می گردد:

$$\alpha = 0.163 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{S-S'}{S} \frac{1}{T} \right) \quad \text{معادله ۱-۱}$$

که در آن S و S' به ترتیب مساحت کلی دیوار اتاق و مساحت نمونه، T زمان باز آوایی با وجود ماده جاذب و T_0 زمان بازآوایی بدون وجود ماده جاذب می باشد. این روش به اقدامات مخصوصی نیاز دارد تا میدان صوتی در اتاق به درستی منتشر شود. انتشار امواج صوتی در اتاق خالی نسبتاً آسان است ولی در هنگام قرار دادن ماده جاذب، ایجاد چنین شرایطی مشکل می شود. عدم وجود جفت دیوارهای موازی در طراحی اتاق یکی از راه های انتشار امواج صوتی می باشد (۶).

در روش اتاق باز آوا به نمونه هایی با حجم بزرگ و اتاق های مخصوص نیاز است که بسیار گران قیمت می باشند. همچنین این روش تنها قادر به اندازه گیری ضریب جذب مواد بوده و امپدانس سطوح را تعیین نمی کند. به علاوه تعیین ضریب جذب تصادفی مواد مشکل بوده و به منظور بالا بردن دقت لازم است که ضریب جذب در محیط های کنترل شده ای اندازه گیری شود. به منظور ایجاد یک محیط کنترل شده و همچنین درک درستی از خصوصیات آکوستیک مانند ضریب جذب و امپدانس مواد در نمونه هایی کوچک، از روش لوله امپدانس با برخورد نرمال استفاده می شود (۷).

۲-۱-۱-۱. روش استفاده از لوله آکوستیکی و نسبت موج ایستاده:

لوله آکوستیک و نسبت موج ایستاده جهت تعیین ضریب جذب مواد، فاکتور بازتاب و امپدانس سطوح استفاده می گردد. مقادیر ذکر شده از طریق برخورد نرمال صوت و ارزیابی الگوی امواج ایستاده در لوله تعیین می شود. نمونه مورد آزمایش در یک انتهای لوله امپدانس قرار داده شده و موج صوتی سینوسی توسط یک بلندگو که در انتهای دیگر لوله جای گرفته است، تولید

می گردد. امواج صوتی سینوسی تولید شده به نمونه برخورد کرده و قسمتی از آن بازتاب می شود. در اثر برخورد موج صوتی تولید شده از بلندگو و موج بازتاب شده از سطح نمونه، الگوی امواج ایستاده و نقاط حداقل و حداکثر فشار ایجاد می گردد (۸). حداکثر فشار زمانی اتفاق می افتد که دو موج برخوردی با یکدیگر هم فاز بوده و حداقل فشار مربوط به حالتی می باشد که دو موج برخوردی در دو فاز متفاوت قرار گرفته باشند (۷).

حداکثر و حداقل دامنه فشار صوت توسط میکروفون قرار داده شده بر روی لوله امپدانس اندازه گیری شده، سپس با تعیین نسبت بین حداکثر فشار به حداقل فشار و از طریق روابط زیر میزان ضریب جذب مواد تعیین می گردد (۶).

$$q = \frac{P_{MAX}}{P_{MIN}} \quad \text{نسبت موج ایستاده} \quad \text{معادله ۲-۱}$$

$$\alpha = \frac{4q}{(1+q)^2} \quad \text{ضریب جذب} \quad \text{معادله ۳-۱}$$

۳-۱-۱-۱ روش استفاده از لوله آکوستیکی و تابع انتقال:

۱-۳-۱-۱-۱ ضریب جذب و بازتاب صوت:

روش دیگر استفاده از لوله آکوستیک و تابع انتقال بوده که نمونه مورد آزمایش در یک انتهای لوله آکوستیک و منبع صوت در انتهای دیگر نصب شده است. به جای استفاده از صدای تک فرکانس، سیگنال های صوتی با باند پهن فرکانسی توسط بلندگو که در انتهای دیگر لوله قرار دارد، تولید می گردد. این موج پس از عبور از مسیر میکروفون اول توسط میکروفون دوم دریافت و به نرم افزار منتقل می شود. توسط این روش می توان تابع انتقال مرکب برخورد نرمال و در نتیجه برخی خصوصیات آکوستیکی نمونه مورد آزمایش را در باند پهن فرکانسی تعیین نمود که رنج فرکانسی مورد استفاده نیز به قطر لوله و فاصله بین میکروفون ها بستگی دارد. مزیت این روش نسبت به موج ایستاده، انجام اندازه گیری در باند پهن فرکانسی، تعیین تابع انتقال و در نتیجه دقت بالای انجام کار می باشد.

برای محاسبه ضریب جذب نرمال، ابتدا از رابطه زیر مقدار فاکتور بازتاب تعیین می گردد:

$$r = \frac{H_{12} - H_I}{H_R - H_{12}} e^{2jk_0 x_1} \quad \text{معادله ۴-۱}$$

که در آن x : فاکتور بازتاب، x_1 : فاصله بین نمونه و میکروفون دورتر، H_{12} : تابع انتقال کلی میدان صوتی، H_I : تابع انتقال امواج منتشره، H_R : تابع انتقال امواج بازتاب شده، K_0 : عدد موج و از نظر تئوری مقدار $H_I = \frac{P_{2I}}{P_{1I}} = e^{-jk_0 S}$ و $H_R = \frac{P_{2R}}{P_{1R}} = e^{jk_0 S}$ می باشد.

همچنین در معادلات فوق P_I برابر فشار صوت منتشره، P_R برابر فشار صوت بازتابی و S : فاصله بین دو میکروفون ها ($S = x_1 - x_2$) می باشد.

تابع انتقال کلی میدان صوتی نیز به صورت زیر محاسبه می شود:

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{e^{jk_0 x_2} + r e^{-jk_0 x_2}}{e^{jk_0 x_1} + r e^{-jk_0 x_1}} \quad \text{معادله ۱-۵}$$

در نهایت ضریب جذب نرمال صدا به صورت زیر محاسبه و تعیین می گردد (۹-۱۰).

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad \text{معادله ۱-۶}$$

۱-۱-۱-۲. افت انتقال صوت:

افت انتقال نیز یکی از مهم ترین خواص آکوستیک ماده بوده که از نظر اهمیت، با ضریب جذب و امپدانس برابری می کند. به منظور اندازه گیری افت انتقال روش های متعددی به کار برده می شود که یکی از این روش ها استفاده از اتاق باز آوایی می باشد. روش نامبرده مشکلات متعددی از جمله: احتیاج به اتاق های مخصوص و گران قیمت، نمونه هایی با حجم بزرگ و وقت گیر بودن را به همراه داشته است. بنابراین به منظور اندازه گیری افت انتقال از لوله امپدانس با چهار میکروفون و تابع انتقال استفاده می گردد. تعیین افت انتقال به این صورت است که ابتدا موج صوتی تولید شده به نمونه برخورد می کند و سپس فشار صوت قبل از برخورد به نمونه و فشار صوت بازتاب شده توسط دو میکروفون قبل از نمونه یا در قسمت لوله منبع صدا اندازه گیری می شود. قسمتی از صوت توسط نمونه انتقال پیدا می کند که فشار صوت انتقال یافته از نمونه نیز توسط دو میکروفون بعد از نمونه یا در قسمت لوله دریافت کننده اندازه گیری می گردد. دامنه فشار صوت برخوردی و بازتاب شده از نمونه در قسمت

لوله منبع صوت را A و B و دامنه فشار صوت انتقال یافته و بازتاب شده حاصل از صوت انتقال یافته از نمونه در قسمت لوله دریافت کننده را C و D می نامند.

فشار صوت در چهار موقعیت میکروفون به شیوه زیر محاسبه می شود:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = Ae^{j(\omega t - kx_1)} + Be^{j(\omega t + kx_1)} \\ P_2 = Ae^{j(\omega t + kx_2)} + Be^{j(\omega t - kx_2)} \\ P_3 = Ce^{j(\omega t - kx_3)} + De^{j(\omega t + kx_3)} \\ P_4 = Ce^{j(\omega t + kx_4)} + De^{j(\omega t - kx_4)} \end{array} \right. \quad \text{معادله ۱-۷}$$

که در آن:

ضرایب A تا D دامنه های موج می باشند.

P1: فشار صوت میکروفون نزدیک به منبع صوت

P2: فشار صوت میکروفون نزدیک به نمونه در لوله منبع صدا

P3: فشار صوت میکروفون نزدیک به نمونه در لوله دریافت کننده صدا

P4: فشار صوت میکروفون نزدیک به انتهای لوله

K: عدد موج

همچنین دامنه امواج (A تا D) نیز توسط معادلات زیر تعیین می شوند:

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \frac{j (P_1 e^{jkx_2} - P_2 e^{jkx_1})}{2 \sin k(x_1 - x_2)} \\ B = \frac{j (P_2 e^{-jkx_1} - P_1 e^{-jkx_2})}{2 \sin k(x_1 - x_2)} \\ C = \frac{j (P_3 e^{jkx_4} - P_4 e^{jkx_3})}{2 \sin k(x_3 - x_4)} \\ D = \frac{j (P_4 e^{-jkx_3} - P_3 e^{-jkx_4})}{2 \sin k(x_3 - x_4)} \end{array} \right. \quad \text{معادله ۸-۱}$$

در نتیجه ماتریکس افت انتقال از طریق امواج برخوردی و منعکس شده به صورت زیر بدست می آید:

$$\begin{Bmatrix} A \\ B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} C \\ D \end{Bmatrix} \quad \text{معادله ۹-۱}$$

ضرایب ماتریکس وابسته به خصوصیات آکوستیکی مواد بوده است و در این قسمت ضریب افت انتقال صوت در سمت لوله منبع (α) مد نظر می باشد.

با توجه به این که اندازه گیری افت انتقال یک بار بر اساس انتهای باز لوله و بار دیگر بر اساس انتهای بسته لوله ی دریافت کننده صدا انجام می شود، بنابر این ضریب افت انتقال صوت به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$\alpha = \frac{A_1 D_2 - A_2 D_1}{C_1 D_2 - C_2 D_1} \quad \text{معادله ۱۰-۱}$$

که دامنه های شماره ۱ مربوط به شرایط انتهای باز لوله و دامنه های شماره ۲ مربوط به انتهای بسته لوله می باشند.

در نهایت افت انتقال صدا از طریق معادله زیر محاسبه می گردد (۱۲-۱۳):

$$TL = -20 \log(\alpha) \quad \text{معادله ۱۱-۱}$$

۱-۱-۳-۳. امپدانس آکوستیکی

امپدانس صوت برای توضیح مشخصات محیط بخصوص از نظر خاصیت جذب و انتقال صوت مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین امپدانس کمیتی است که مقاومت شاره یا ماده را نسبت به انتشار موج صوتی نشان می دهد.

$$Z = \frac{P}{V} \quad \text{معادله ۱-۱۲}$$

P = فشار صوت بر حسب پاسکال

V = سرعت ذره بر حسب متر بر ثانیه

Z = امپدانس صوتی بر حسب MKS rayls

در صورتی که موج صوتی در میدان آزاد منتشر شود Z برابر با ρc می باشد. در این رابطه ρ چگالی محیط بر حسب کیلوگرم بر مترمربع و C = سرعت صوت بر حسب متر بر ثانیه می باشد. در هوا حاصل ضرب چگالی محیط در سرعت یعنی ρc را امپدانس ویژه می نامند. بنابراین نسبت امپدانس ویژه صوتی از معادله زیر محاسبه می گردد (۳-۱۳).

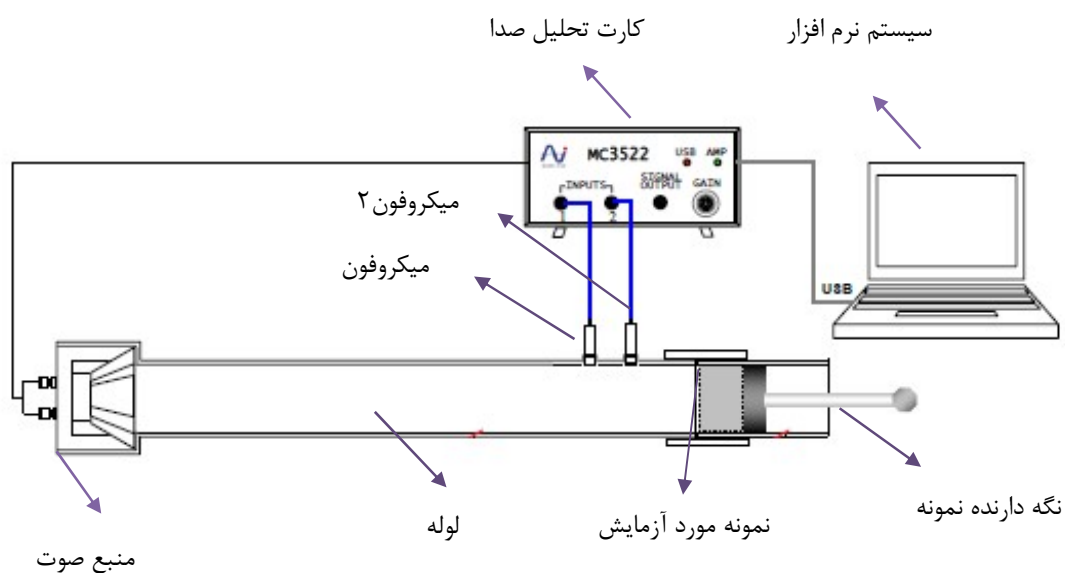
$$\zeta = \frac{Z}{\rho_0 c} \quad \text{معادله ۱-۱۳}$$

امپدانس صوت خاصیت محیط را نسبت به پذیرش یا عدم پذیرش صوت نشان می دهد (۱۶).

۱-۲-۱. معرفی لوله امپدانس:

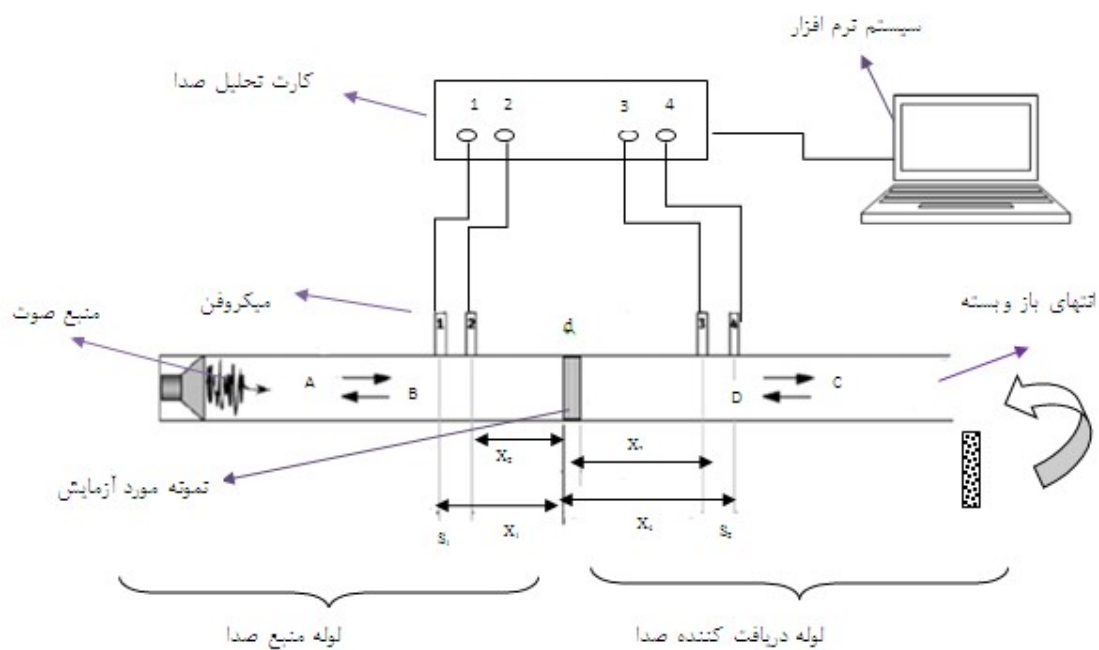
لوله امپدانس با دو میکروفون به شکل استوانه بوده که در یک انتهای آن محل قرارگیری نگه دارنده نمونه و در انتهای دیگر منبع صوت قرار گرفته است. همچنین دو میکروفون در موقعیت های مشخص بر روی لوله نصب شده اند. این لوله از جنس موادی سخت با سطحی یکنواخت، مستقیم، سخت و غیر متخلخل بوده که به غیر از حفره های مربوط به محل میکروفون ها هیچ گونه حفره و شکافی بر روی آن وجود ندارد. طول لوله باید به اندازه کافی طولانی بوده تا امواج صوتی قبل از رسیدن به نمونه به خوبی پیشرفت کنند و امواج غیر مورد نظر و اضافی که ممکن است توسط بلندگو ایجاد شوند در این فاصله از بین بروند. در یک انتهای لوله نزدیک به موقعیت

میکروفون ها، نگه دارنده نمونه قرار گرفته است. در انتهای دیگر لوله، منبع صدا یا یک بلندگو با فشار صوت مناسب و هم محور با لوله قرار داده می شود. (۹-۱۰).



شکل (۱-۱) طرح لوله امیدانس با دو میکروفون بر اساس تابع انتقال (۹-۱۰)

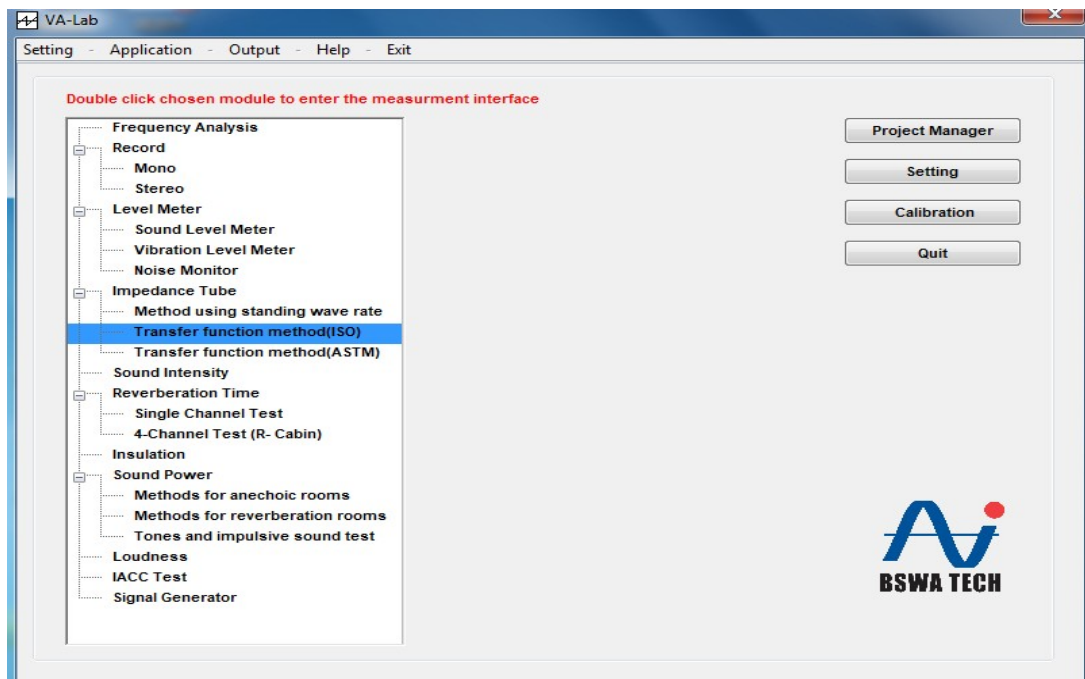
به منظور اندازه گیری افت انتقال صوتی مواد بر اساس استاندارد مربوطه (ASTM E 2611)، از یک لوله دیگر در پشت نگه دارنده به عنوان لوله دریافت کننده صدا دقیقاً بر اساس مشخصات ذکر شده برای لوله منبع صوت استفاده می شود. بر روی این لوله نیز از دو موقعیت میکروفون مشابه با مشخصات میکروفون ها در لوله اول استفاده می شود. در این حالت محل قرارگرفتن نمونه بین دو لوله منبع صوت و لوله دریافت کننده صوت است (۱۲).



شکل (۲-۱) طرح لوله امپدانس با چهار میکروفون بر اساس تابع انتقال (۱۲)

۳-۱-۱. معرفی نرم افزار Va-lab4:

نرم افزار Va-lab4 نرم افزاری است که توسط شرکت BSWA به منظور اندازه گیری خصوصیات آکوستیکی مواد و سایر امکانات نظیر اندازه گیری تراز فشار صوت، ارتعاش، زمان بازآوایی و غیره طراحی شد.



شکل (۳-۱) محیط نرم افزار Va-lab4

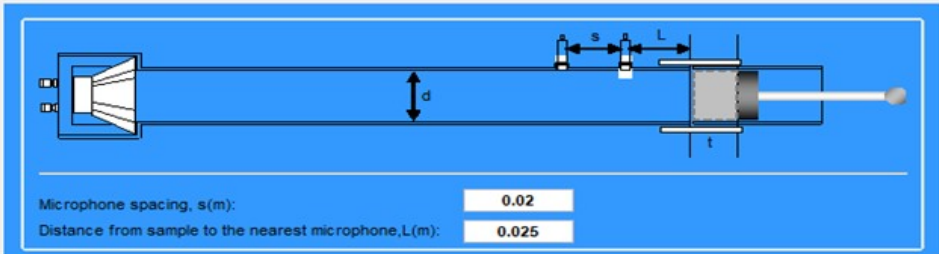
به منظور اندازه گیری خصوصیات آکوستیکی مواد، ابتدا اطلاعات اولیه مورد نیاز وارد می گردد. پس از مرحله وارد نمودن اطلاعات، سیگنال فرکانسی مورد نظر بوسیله کامپیوتر و نرم افزار ذکر شده تولید و از طریق بلندگو در طول لوله منتشر می گردد. در نهایت نتایج به صورت نمودار نمایش داده می شود.

شکل شماره (۴-۱) و (۵-۱) به ترتیب محیط وارد نمودن اطلاعات و محیط اندازه گیری توسط لوله امپدانس با دو میکروفون و شکل (۶-۱) و (۷-۱) محیط وارد نمودن اطلاعات و اندازه گیری افت انتقال توسط لوله ۴ میکروفون را نمایش می دهد.

Impedance Tube Test Setting-ISO

Absorption Measurement

Tube Choose: User-defined #1 Inner Diameter(m): 0.03



Microphone spacing, s(m): 0.02

Distance from sample to the nearest microphone, L(m): 0.025

Frequency Range(Hz): 860 6640 (Theoretic Range 860Hz-6640Hz)

Thickness of Sample(m): 0.02

Atmospheric Pressure(Pa): 101693

Temperature(°C): 20

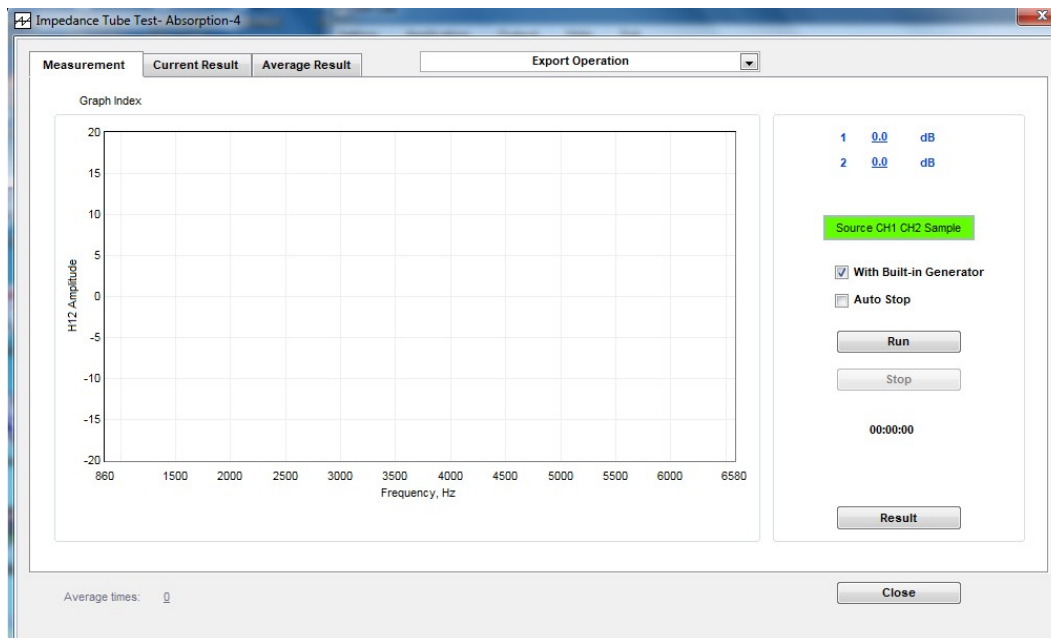
Relative Humidity(%): 52

Velocity of Sound(m/s): 343.237

Density of Air(kg/m³): 1.2041

Characteristic Impedance of Air(Pa*s/m): 413.3

شکل (۴-۱) محیط وارد نمودن تنظیمات مربوط به لوله امپدانس با دو میکروفون



شکل (۵-۱) محیط اندازه گیری مربوط به لوله امپدانس با دو میکروفون

Impedance Tube Test Setting-ISO

Transmission Measurement

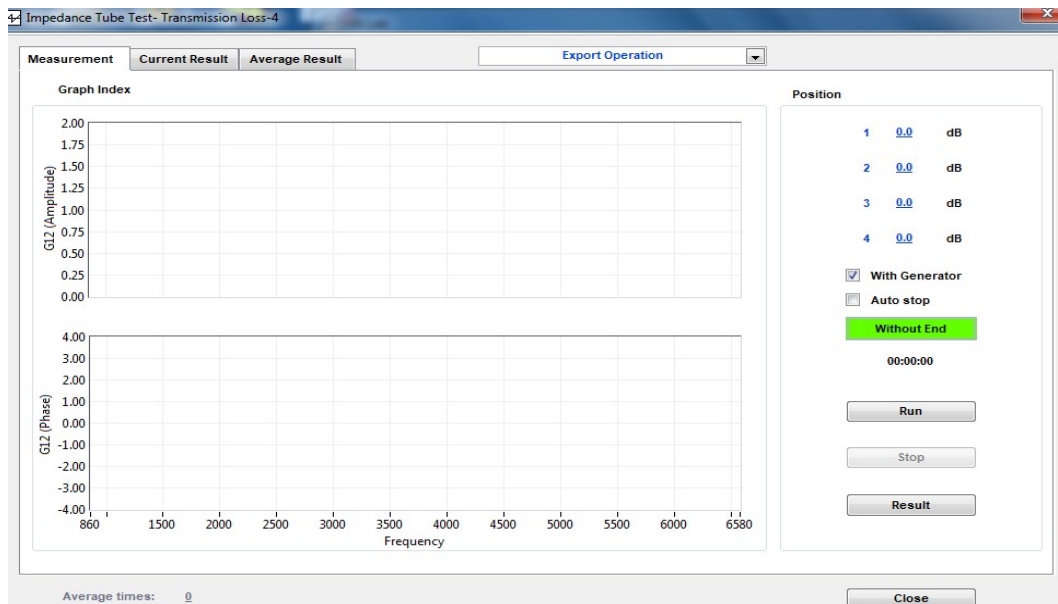
Tube Choose: User-defined #1 Inner Diameter(m): 0.03

Microphone spacing, s(m): 0.012 s2(m): 0.012
Distance from sample to the nearest microphone, L1(m): 0.049 L2(m): 0.149

Frequency Range(Hz): 860 6580 (Theoretic Range: 860Hz-6580Hz)
Thickness of Sample(m): 0.025

Atmospheric Pressure(Pa): 101693 Velocity of Sound(m/s): 343.237
Temperature(°C): 20 Density of Air(kg/m³): 1.2041
Relative Humidity(%): 52 Characteristic Impedance of Air(Pa*s/m): 413.3

شکل (۶-۱) محیط وارد نمودن تنظیمات مربوط به لوله امپدانس با چهار میکروفون



شکل (۷-۱) محیط اندازه گیری مربوط به لوله امپدانس با چهار میکروفون

۲-۱. بیان مساله و ضرورت اجرای پژوهش

به منظور کاهش افت شنوایی ناشی از سرو صدا در محیط کار، انجام فرآیندهای کنترل مهندسی مانند اصلاح و جایگزینی تجهیزات یا اعمال تغییرات فیزیکی به منظور رساندن سطح صدا به حدود مجاز لازم می باشد. نصب مواد جاذب یا استفاده از موانع و سایلنسرهای صوتی به عنوان یکی از مهم ترین اقدامات کنترل صدا شناخته شده هستند که به منظور دستیابی به نتیجه درست و بهینه از این اقدامات، شناخت دقیقی از خصوصیات آکوستیک مواد لازم می باشد. لازم به ذکر است که از بین روش های تعیین خصوصیات آکوستیک، استفاده از روش تابع انتقال از دقت و سهولت بالاتری برخوردار است و سریع تر انجام می شود. لذا با توجه به اهمیت جاذب ها به عنوان یکی از موثرترین و کاربردی ترین روش ها در کنترل و کاهش صدا و کاربرد وسیع لوله های امپدانس در این زمینه، اقدام به طراحی و ساخت لوله امپدانس با شش میکروفون و تعیین قابلیت اطمینان استفاده از آن گردید. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می توان خصوصیات آکوستیکی کلیه مواد و مصالح داخل کشور از جمله ضریب جذب، ضریب بازتاب، افت انتقال، امپدانس صوتی و پارامترهای مربوط به امپدانس را با بالاترین دقت و ضریب اطمینان و صرف کمترین هزینه توسط لوله امپدانس با دو و چهار میکروفون تعیین نمود. همچنین با بررسی ویژگی های تاثیر گذار مانند اثر ضخامت و چگالی نمونه و همچنین نحوه قرار گیری لایه هوا در اطراف نمونه می توان به نتایج مطلوبی از روش های کنترلی آلودگی صوتی با استفاده از جاذب های صوتی در محیط و صنعت دست یافت.

۳-۱. اهداف پژوهشی:

۱-۳-۱. هدف کلی:

بررسی ضریب جذب و افت انتقال صدای جاذب ها به منظور انتخاب جاذب مناسب جهت آکوستیک کردن اتاقک اپراتوری دستگاه حفاری مکانیزه

۲-۳-۱. اهداف جزئی (اختصاصی):

- تعیین ضریب جذب صوتی نرمال مواد آکوستیکی مورد مطالعه بر حسب ضخامت های مختلف
- تعیین افت انتقال صوتی مواد آکوستیکی مورد مطالعه بر حسب ضخامت های مختلف

- تعیین ضخامت مناسب نمونه های آکوستیکی مورد مطالعه جهت جذب بهینه صدا با مقایسه ضرایب جذب اندازه گیری شده
- تعیین ضخامت مناسب نمونه های آکوستیکی جهت افت انتقال بهینه صدا با مقایسه ضرایب افت انتقال اندازه گیری شده
- تعیین بهترین نمونه جاذب از بین نمونه های مورد مطالعه برای جذب صدای فرکانس بالا
- تعیین بهترین نمونه جاذب از بین نمونه های مورد مطالعه برای جذب صدای فرکانس پایین
- تعیین بهترین نمونه جاذب از بین نمونه های مورد مطالعه برای افت انتقال صدا در محدوده فرکانسی صفر تا ۵۰۰۰ هرتز
- تعیین نمودار فرکانسی استاندارد ضریب جذب صوتی مواد آکوستیکی مورد مطالعه
- تعیین نمودار فرکانسی استاندارد افت انتقال صوتی مواد آکوستیکی مورد مطالعه
- تعیین میزان ضریب جذب اتفاقی پیش بینی شده مواد آکوستیکی مورد مطالعه

۳-۳-۱. هدف کاربردی:

طراحی لوله آکوستیک جهت تعیین ضریب جذب و افت انتقال صوتی مواد به منظور کنترل و کاهش آلودگی صوتی

۴-۱. سوالات پژوهشی:

- آیا بین ضریب جذب صوتی نرمال و ضخامت مواد آکوستیکی مورد مطالعه رابطه ای وجود دارد؟
- آیا بین افت انتقال صدا و ضخامت مواد آکوستیکی مورد مطالعه رابطه ای وجود دارد؟
- آیا بهترین نمونه جاذب از بین نمونه های مورد مطالعه برای صدا با فرکانس بالا را می توان تعیین نمود؟
- آیا بهترین نمونه جاذب از بین نمونه های مورد مطالعه برای صدا با فرکانس پایین را می توان تعیین نمود؟
- آیا بهترین نمونه جاذب از بین نمونه های مورد مطالعه برای افت انتقال صدا در محدوده فرکانسی صفر تا ۵۰۰۰ هرتز را می توان تعیین نمود؟

- آیا بهترین ضخامت نمونه های آکوستیکی مورد مطالعه جهت جذب بهینه صدا را با مقایسه ضرایب جذب اندازه گیری شده می توان تعیین نمود؟
- آیا بهترین ضخامت نمونه های آکوستیکی مورد مطالعه جهت افت انتقال بهینه صدا را با مقایسه ضرایب افت انتقال اندازه گیری شده می توان تعیین نمود؟
- آیا می توان نمودار فرکانسی استاندارد ضریب جذب صوتی مواد آکوستیکی مورد مطالعه را تعیین نمود؟
- آیا می توان نمودار فرکانسی استاندارد افت انتقال صوتی مواد آکوستیکی مورد مطالعه را تعیین نمود؟
- آیا بین ضریب جذب نرمال و ضریب جذب اتفاقی صوت رابطه ای وجود دارد؟

۱-۵. فرضیات:

- بین ضریب جذب صوتی نرمال و ضخامت مواد آکوستیکی مورد مطالعه رابطه مستقیم وجود دارد؟
- بین افت انتقال صدا و ضخامت مواد آکوستیکی مورد مطالعه رابطه ی مستقیم وجود دارد؟
- بهترین ضخامت نمونه های آکوستیکی مورد مطالعه جهت جذب بهینه صدا را با مقایسه ضرایب جذب اندازه گیری شده می توان تعیین نمود.
- بهترین ضخامت نمونه های آکوستیکی مورد مطالعه جهت افت انتقال بهینه صدا را با مقایسه ضرایب افت انتقال اندازه گیری شده می توان تعیین نمود.
- نمودار فرکانسی استاندارد ضریب جذب صوتی مواد آکوستیکی مورد مطالعه را می توان تعیین نمود.
- نمودار فرکانسی استاندارد افت انتقال صوتی مواد آکوستیکی مورد مطالعه را می توان تعیین نمود.
- بین ضریب جذب نرمال و ضریب جذب اتفاقی صوت رابطه وجود دارد.

۱-۶. تعریف واژه ها:

- ضریب جذب: نسبت بین انرژی صوتی جذب شده توسط ماده به کل انرژی صوتی برخوردی به ماده را ضریب جذب صوت ماده می نامند (۸).
- ضریب انتقال صوت: نسبت بین فشار صوت انتقال یافته از یک ماده به فشار صوت برخورد شده به ماده را ضریب انتقال صوت می نامند (۱۲).
- افت انتقال صوت: برابر با لگاریتم عکس ضریب انتقال صوت می باشد (۱۲).

$$TL = 10 \log_{10} \left(\frac{W_i}{W_t} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\tau} \right) \quad \text{معادله ۱-۱۴}$$

• امپدانس صوت: نسبت بین فشار صوت به سرعت صوت عبوری از ماده را امپدانس می نامند (۶).

$$Z = \frac{p}{u} \quad \text{معادله ۱-۱۵}$$

• تابع انتقال: نسبت بین فشار صوت یک موقعیت به فشار صوت در موقعیت دیگر را تابع انتقال کلی صدا می نامند (۹).

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{معادله ۱-۱۶}$$

• دانسیته: میزان کیلوگرم تراکم بافت ماده در هر متر مربع از آن

• ضخامت: میزان فاصله دو سطح جاذب در دیواره بر حسب سانتیمتر

فصل دوم:

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱. مقدمه:

آلودگی صوتی یکی از مهم ترین آلاینده های محیط کار در حفاری های مکانیزه است که در ایجاد مشکلات مربوط به سلامت اپراتور ها و افزایش خطای انسانی نقش زیادی دارد. آلودگی صوتی روی دستگاه حفاری مکانیزه حاصل انواع مختلفی از منابع بوده که قسمتی از این آلودگی نتیجه فعالیت های صنعتی یا فعالیت روزانه افراد می باشد (۱). امروزه محققین با استفاده از روش های پیشرفته و موثر سعی در کاهش و کنترل آلودگی صوتی دارند. در بررسی روش های کنترل، یکی از موثرترین و کاربردی ترین روش ها استفاده از مواد جاذب صدا به عنوان پوشش بر روی سطوح می باشد. لوله امپدانس یکی از روش های اندازه گیری ضریب جذب صوتی بوده که توسط آن، اندازه گیری خصوصیات آکوستیک مواد مانند ضریب جذب، ضریب بازتاب، افت انتقال، امپدانس آکوستیک و غیره با روش برخورد نرمال و تابع انتقال انجام می شود و تنها به نمونه های کوچکی از مواد جاذب نیاز است (۶).

۲-۲. مبانی نظری پژوهش:

اندازه گیری ضریب جذب، بازتاب، امپدانس صوت و پارامترهای مربوط به آن با استفاده از لوله امپدانس با دو میکروفون و تابع انتقال بر اساس استاندارد های ISO10534-2 و ASTM-E1050 انجام می شود. همچنین به منظور اندازه گیری افت انتقال صوتی مواد توسط لوله امپدانس با چهار میکروفون و تابع انتقال از استاندارد ASTM E2611-09 استفاده می گردد. به منظور انجام اندازه گیری های ذکر شده تجهیزاتی شامل: لوله امپدانس، میکروفون، کارت تحلیل صدا جهت آنالیز فرکانس دیجیتال، سیستم کامپیوتر و نرم افزار مربوطه استفاده می شود. ابتدا سیگنال فرکانسی مورد نظر بوسیله کامپیوتر و نرم افزار مربوطه تولید و از طریق بلندگو در طول لوله منتشر می شود. اندازه گیری را برای هر نمونه انجام داده و نتایج اندازه گیری های انجام شده برای هر نمونه مورد تجزیه و

تحلیل قرار می گیرد. در واقع کارت پردازش صدا میزان تراز فشار صوت را در موقعیت میکروفون ها اندازه گیری کرده و تابع انتقال (H_{12}) را بین هر دو میکروفون مشخص می کند. سپس میزان خصوصیات آکوستیکی برای مواد مختلف، توسط نرم افزار به صورت جدول و گراف نشان داده می شود.

توسط لوله امپدانس می توان به اهداف زیر دست یافت:

- امکان تعیین ضریب جذب و ضریب بازتاب آکوستیکی مواد
- امکان تعیین میزان افت انتقال صدای مواد
- امکان تعیین امپدانس و ویژگی های مقاومت صوتی مواد
- امکان تعیین منحنی جذب، افت انتقال، بازتاب، امپدانس و پارامترهای مرتبط با امپدانس مربوط به مواد عایق تولیدی صنایع
- امکان تعیین تاثیر ضخامت، چگالی مواد، استفاده از مواد مرکب و نحوه قرار گیری لایه هوا بر خصوصیات آکوستیکی مواد به منظور بهبود روش های کنترل صوت
- بهینه سازی عملکرد گوشی های حفاظت در برابر صدا توسط تعیین میزان دقیق افت انتقال صدای مواد عایق مورد استفاده در ساخت گوشی در رنج فرکانس مورد نظر
- فراهم شدن بستر اطلاعات آکوستیکی مواد جهت خریداران و مشتریان صنایع تولیدی این مواد
- امکان کنترل و کاهش صدای منابع با دقت و صحت بالا
- بهینه سازی مواد عایق صدای ساختمانی از نظر کاهش صدا
- فراهم شدن امکان تهیه مواد نانو آکوستیک جهت کنترل و کاهش صدای منابع
- امکان اصلاح طبقه بندی انتقال صدای (STC) مواد ساختمانی

۲-۳. مروری بر پیشینه پژوهش:

۲-۳-۱. پیشینه پژوهش در ایران:

در مطالعه انجام شده توسط دکتر فرهاد فروهر مجد بر روی ضریب جذب مواد با استفاده از لوله آکوستیک با دو میکروفون و تابع انتقال، نتیجه نشان داد که با افزایش ضخامت جاذب، میزان جذب نیز افزایش یافت که نکته مهم تر افزایش محسوس میزان جذب در فرکانس های پایین با افزایش ضخامت بود (۱۵).

در پژوهش انجام شده توسط گل محمدی و همکاران از لوله امپدانس با یک میکرون و نسبت موج ایستاده استفاده شد و با تکرار آزمایش ۲۳ نمونه مصالح اکوستیکی نشان داد که متوسط انحراف معیار ضرایب جذب صوتی اندازه گیری شده کوچکتر از $10^{-2} \times 3$ بود (۱۶).

۲-۳-۲. پیشینه پژوهش در خارج:

در مطالعه انجام شده توسط Hideo و همکاران، ویژگی های آکوستیک و ضریب جذب پشم شیشه و آلومینیوم توسط روش تابع انتقال اندازه گیری شد و با مقادیر واقعی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که روش تابع انتقال روشی قابل اعتماد بوده که امپدانس و میزان انتشار و جذب صوت مواد را در محدوده باند پهن فرکانسی به خوبی اندازه گیری می نماید (۱۷).

روش های استفاده از لوله امپدانس قادر به اندازه گیری ضریب جذب نرمال مواد (زاویه بین موج انتشاری و بازتابی صفر می باشد) و اتاق بازآوایی قادر به اندازه گیری ضریب جذب اتفاقی مواد (اندازه گیری ضریب جذب در زوایای مختلف) می باشند. با توجه به تحقیقات انجام شده می توان مقادیر ضریب جذب اتفاقی مواد را با اندازه گیری مقادیر نرمال و بر اساس روابط بدست آمده میان ضریب جذب نرمال و اتفاقی، با تقریب تعیین نمود (۱۸-۱۵).

از نظر حفاظت محیط زیست، الیاف طبیعی بامبو برای جذب صدا مورد استفاده قرار می گیرد. بررسی انجام شده توسط لوله امپدانس با دو میکروفون برای نمونه های فیبر بامبو نشان داد که این فیبر از نظر جذب صدا دارای خصوصیتی مشابه با پشم شیشه بوده است (۱۹).

Zulkifli و همکاران بیان کردند که استفاده از لایه هوا به همراه صفحات فیبری آکوستیکی سبب بیشترین ضریب جذب صوت در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز گردیده است. (۲۰).

همچنین در مطالعه ای دیگر توسط Seddeq مشخص شد که ضخامتی از لایه هوا پشت مواد سبب بهبود ضریب جذب صوت در فرکانس های میانی و بالا شد (۳).

در تحقیق انجام شده توسط Ibrahim و همکاران مشخص گردید که در فرکانس های پایین افزایش ضخامت تاثیر بسزایی روی ضریب جذب داشت، در حالی که در فرکانس های بالا افزایش قابل توجهی بر ضریب جذب مشخص نشد (۲۱).

در مطالعه انجام شده توسط Jung و همکاران، از روش لوله امپدانس جهت اندازه گیری افت انتقال صدا برای نمونه های فیبر و فوم استفاده شد. نتایج نشان داد که بین مقادیر اندازه گیری شده و

مقادیر افت انتقال واقعی مواد، همبستگی و مشابهت زیادی وجود دارد و همچنین بیان نمود که روش لوله امپدانس، روشی مناسب جهت اندازه گیری افت انتقال مواد می باشد (۲۲).

Lanoye و همکاران نیز در تحقیقی بیان کردند که امپدانس آکوستیکی مواد توسط چندین روش قابل اندازه گیری می باشد. در این بین ، لوله امپدانس با دو میکروفون برای اندازه گیری امپدانس نرمال مورد استفاده قرار می گیرد (۲۳).

۲-۳-۳. جمع بندی پیشینه های پژوهش:

با توجه به پیشینه ذکر شده، لوله امپدانس و تابع انتقال روش مناسبی بوده که توسط آن می توان خصوصیات آکوستیک کلیه مواد و مصالح را با بالاترین دقت بررسی نمود. همچنین فضا و هزینه کم و در عین حال دقت و صحت بالای نتایج، سبب گسترش استفاده از این روش شده است.

فصل سوم:

مواد و روش ها

۳-۱. نوع مطالعه و روش پژوهش:

این پژوهش از نوع کاربردی بود.

۳-۲. ابزار و روش گردآوری داده ها:

به منظور انجام اندازه گیری ها تجهیزاتی شامل: لوله امپدانس، میکروفون، کارت تحلیل صدا جهت آنالیز فرکانس دیجیتال، سیستم کامپیوتر، نرم افزار Va-lab4 و نمونه های مورد آزمایش استفاده شد. همچنین این مطالعه به روش تابع انتقال انجام گردید.

۳-۳. مکان و زمان انجام پژوهش:

این پژوهش پس از طراحی لوله آکوستیک و تهیه نمونه های مورد مطالعه، در سال ۱۳۹۵ در کشور سریلانکا انجام شد.

۳-۴. متغیرهای پژوهش:

متغیرهای مورد مطالعه به شرح جدول زیر می باشد.

جدول (۳-۱) متغیرهای مورد مطالعه (۳)

نام متغیر	نقش متغیر	نوع متغیر		واحد اندازه گیری	روش اندازه گیری
		کمی	کیفی		
ضخامت	مستقل	*		متر	کولیس
چگالی	مستقل	*		کیلوگرم بر متر مکعب	
لایه هوا	مستقل	*		متر	کولیس
فرکانس	مستقل	*		هرتز	آنالیز صدا
نوع جاذب	مستقل		*		
شدت صوت	مستقل	*		دسی بل	میکروفون و نرم افزار
ضریب جذب	وابسته	*			لوله آکوستیک
افت انتقال صدا	وابسته	*		دسی بل	لوله آکوستیک
نسبت امپدانس آکوستیک ویژه	وابسته	*			لوله آکوستیک

۳-۵. روش اجرا:

۳-۵-۱. طراحی و ساخت لوله امپدانس:

اندازه گیری ضریب جذب و امپدانس صوتی مواد با استفاده از لوله امپدانس با دو میکروفون و تابع انتقال بر اساس استاندارد های 2-ISO10534 و ASTM-E1050 انجام شد. همچنین به منظور اندازه گیری افت انتقال صدا توسط لوله امپدانس با چهار میکروفون و تابع انتقال از استاندارد ASTM E2611-09 استفاده گردید.

نسبت بین فشار صوت یک موقعیت به فشار صوت در موقعیت دیگر را تابع انتقال کلی صدا می نامند.

لوله امپدانس مورد نظر به شکل استوانه بوده و از قسمت های جایگاه قرارگیری منبع صوت، لوله منبع صوت، نگه دارنده نمونه و لوله دریافت کننده صوت تشکیل شده است. در واقع منبع صوت در انتهای لوله منبع صدا قرار دارد. بین این دو لوله جایگاه نگه دارنده نمونه بوده و بر روی هر یک از لوله منبع و دریافت کننده، سه جایگاه میکروفون در موقعیت های مشخص قرار گرفته اند.

لوله امپدانس مورد نظر دارای شش موقعیت میکروفون می باشد. در هنگام اندازه گیری پارامترهایی مانند ضریب جذب، ضریب بازتاب، امپدانس صوتی و غیره از دو میکروفون و برای اندازه گیری افت انتقال از چهار میکروفون استفاده می گردد. دو جایگاه اضافی میکروفون نیز جهت تحقیقات گسترده تری بر روی میزان تاثیر فواصل میکروفون ها تعبیه شدند. در بین دو لوله منبع و دریافت کننده و نزدیک به موقعیت میکروفون ها، نگه دارنده نمونه قرار گرفته است. در انتهای لوله منبع صدا نیز یک بلندگو هم محور با لوله قرار داده شد.



شکل (۳-۱) نمایی از لوله امپدانس طراحی شده

۳-۵-۲. آماده سازی نمونه ها:

نمونه های مورد آزمایش در این طرح شامل: چوب پنبه (چگالی 390 kg/m^3)، لاستیک نوع پلیمر NBR (چگالی 1507 kg/m^3) و لاستیک نوع پلیمر SBR (چگالی های ۱۲۵۲ و ۱۰۵۸ kg/m^3)، فوم پلی اورتان منفذ باز (چگالی 43 kg/m^3)، یونولیت (پلی استایرن) (چگالی 18 kg/m^3)،

پلی وینیل کلراید (PVC) (چگالی 1600 kg/m^3)، پشم سنگ (چگالی های 40 ، 80 و 120 kg/m^3) و پشم شیشه (چگالی 15 kg/m^3) بود که هر کدام با سطحی صاف، یکنواخت و متقارن و با قطر 3 سانتی متر در ضخامت های متفاوت استفاده شدند. طبق استاندارد به منظور جلوگیری از نشت صدا در اطراف نمونه و همچنین جهت جلوگیری از ایجاد ارتعاش در نمونه هایی مانند یونولیت، از نوار چسب استفاده شد.

۳-۵-۳. آماده سازی و راه اندازی سیستم:

پس از ساخت لوله امیدانس و تهیه نمونه های مورد نظر با توجه به مشخصات ذکر شده در استانداردهای مربوطه، نمونه مورد آزمایش در نگه دارنده قرار داده شد و سپس میکروفون ها در موقعیت های مشخص نصب گردید. همچنین از دستگاه آنالیزور صدا محصول شرکت BSWA کشور چین نیز به منظور پردازش نتایج استفاده شد. نرم افزار Va-lab4 نیز به منظور اندازه گیری خصوصیات آکوستیکی مواد در یک باند پهن فرکانسی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳-۲).



شکل (۳-۲) آماده سازی سیستم اندازه گیری

۳-۵-۴. کالیبراسیون میکروفون ها و لوله امپدانس:

براساس استانداردهای مربوطه به منظور حذف خطای ناشی از عملکرد میکروفون ها، به انجام کالیبراسیون میکروفون ها توصیه شده است. پس از قرار دادن نمونه و میکروفون ها در موقعیت های مشخص، توسط کالیبراتور مدل ۴۲۳۰ از شرکت B&K در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز و تراز فشار صوت ۹۴ دسی بل و همچنین نرم افزار، کالیبراسیون انجام شد.

دقت و قابلیت اطمینان روش استفاده از لوله امپدانس با دو میکروفون در آزمایشی به نام round-robin و توسط استاندارد ASTM مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر خلاف همبستگی خوب گزارش شده بین تست robin و همچنین موارد راهنما در استاندارد در مورد کالیبره نمودن میکروفون ها و اندازه گیری، استاندارد هیچ گونه تست و راهنمای عملکردی را که کاربر بتواند سخت افزار، نرم افزار و فرآیند را در شرایط آزمایشگاهی خود ارزیابی کند، ارائه نداده است. دلیل این کار این است که ماده جاذب استاندارد که خواص آکوستیک کاملاً شناخته شده ای داشته باشد، وجود ندارد. به منظور اطمینان از کیفیت، استاندارد توصیه می کند که هر آزمایشگاهی لوله امپدانس را در شرایط آزمایشگاهی خود توسط یک نمونه مرجع و به صورت دوره ای تست نماید (۲۴-۲۵).

بدین منظور جهت امکان سنجی و تعیین کارایی لوله از یک نمونه جاذب فوم استاندارد با ضخامت ۲/۵ سانتی متر، دریافت شده از شرکت BSWA Technology استفاده شد و پس از اندازه گیری ضریب جذب و افت انتقال توسط لوله مورد نظر، نمودار مربوطه با نمودار استاندارد ضریب جذب و افت انتقال این شرکت مقایسه گردید. با توجه به توزیع نرمال مقادیر استاندارد و مقادیر اندازه گیری شده، مقایسه به صورت ضریب همبستگی پیرسون انجام شد.

۳-۵-۵. اندازه گیری:

پس از تایید قابلیت اطمینان و کارایی لوله، هفت عدد نمونه جاذب شامل فوم پلی اورتان منفذ باز، پلی استایرن، پلی وینیل کلراید، لاستیک، پشم سنگ، پشم شیشه و چوب پنبه در دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر استفاده شدند. جهت اندازه گیری ضریب جذب و امپدانس صوتی از لوله با دو میکروفون و به منظور اندازه گیری ضریب افت انتقال از لوله با چهار میکروفون استفاده گردید. در نهایت میانگین نتایج به شکل نمودار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین جهت ترسیم نمودارها از نرم افزار Matlab استفاده شد.

۳-۵-۱ اندازه گیری ضریب جذب و برخی عوامل تاثیر گذار بر میزان جذب:

ابتدا به منظور تعیین تاثیر ضخامت، اندازه گیری ضریب جذب مواد شامل چوب پنبه (چگالی 390 kg/m^3)، لاستیک نوع پلیمر NBR (چگالی 1507 kg/m^3)، فوم پلی اورتان منفذ باز (چگالی 43 kg/m^3)، یونولیت (پلی استایرن) (چگالی 18 kg/m^3)، پلی وینیل کلراید (PVC) (چگالی 166 kg/m^3)، پشم سنگ (چگالی های 40 kg/m^3 و پشم شیشه (چگالی 15 kg/m^3) برای دو ضخامت مختلف ۲۵ و ۵۰ میلی متر به صورت مجزا انجام شد و سپس ضرایب جذب هر دو ضخامت مواد ذکر شده در شدت های مختلف صوت مورد بررسی قرار گرفتند. بدین صورت که ۶ شدت مختلف صدا شامل: ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ دسی بل توسط آمپلی فایر تنظیم شد و سپس در هر شدت اندازه گیری ضریب جذب انجام گردید.

مواد جاذب صوت در یک ضخامت و فرکانس مخصوصی بیشترین جذب را نشان می دهند که به این خصوصیت، نقطه cut off مواد می گویند. به منظور تعیین این خصوصیت، از نمونه پشم سنگ در دو چگالی ۸۰ و 120 kg/m^3 استفاده گردید و ضریب جذب هر کدام در ضخامت های ۱۰ تا ۵۰ میلی متر اندازه گیری شد.

همچنین به منظور تعیین تاثیر ضخامت و چگالی مواد از دو دانسیته مختلف پشم سنگ شامل ۸۰ و 120 kg/m^3 و دو دانسیته مختلف لاستیک با نوع پلیمر SBR شامل ۱۲۵۲ و ۱۰۵۸ kg/m^3 استفاده گردید و ضریب جذب صوت این نمونه ها با ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر اندازه گیری شد.

در عمل دو روش جهت نصب مواد آکوستیک وجود دارد که یکی قرار دادن مواد به صورت چسبیده به دیواره مورد نظر بوده و دیگری نصب با فاصله از دیوار یا به عبارتی با وجود لایه هوا بین و پشت جاذب می باشد.

لذا به منظور تعیین تاثیر نحوه قرار گیری لایه هوا بر روی ضریب جذب، ابتدا اندازه گیری جذب همه نمونه های ۲/۵ سانتی متر با ۵/۵ سانتی متر لایه هوا در انتهای نمونه و نمونه های ۵ سانتی متر با ۳ سانتی متر ضخامت لایه هوا در انتها انجام شد. در مرحله بعد، از نمونه ها با ضخامت ۴ سانتی متر استفاده گردید. بدین صورت که یکبار اندازه گیری در حالتی انجام شد که دو سانتی متر نمونه سپس یک سانتی متر هوا و مجدد دو سانتی متر نمونه وجود داشت. در حالت بعد ۴ سانتی متر نمونه و یک سانتی متر هوا در انتهای نمونه استفاده گردید تا این نتایج با مقادیر

ضرایب جذب نمونه های ۵ سانتی متر مقایسه شود. در این صورت مشخص می گردد که با کاهش ضخامت ماده و استفاده از لایه هوا به جای آن چه تغییری در ضریب جذب صوت اتفاق می افتد. همچنین در مرحله بعد از لایه هوای ثابت ۳ سانتی متر در انتهای نمونه استفاده شد. بدین صورت که یک بار ضخامت ۲/۵ سانتی متر نمونه با ۳ سانتی متر هوا و بار دیگر ضخامت ۵ سانتی متر نمونه و ۳ سانتی متر هوا استفاده گردید تا مشخص شود که با وجود لایه هوای ثابت، تغییر ضخامت چه تاثیری بر ضریب جذب دارد.

۳-۵-۵-۲ اندازه گیری میزان افت انتقال و برخی عوامل تاثیر گذار بر آن:

مشابه اندازه گیری تاثیر ضخامت بر روی ضریب جذب، در این مرحله نیز افت انتقال همه مواد ذکر شده برای دو ضخامت مختلف ۲۵ و ۵۰ میلی متر به صورت مجزا انجام شد. همچنین افت انتقال نمونه های پشم شیشه و پلی استایرن ۵۰ میلی متر در شدت های مختلف صوت مورد بررسی قرار گرفتند. بدین صورت که ۶ شدت مختلف صدا شامل: ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ دسی بل توسط آمپلی فایر تنظیم شد و سپس در هر شدت اندازه گیری انجام گردید.

به منظور تعیین تاثیر وجود لایه هوا بر افت انتقال صوت نیز، ضخامت ۴ سانتی متر از نمونه های پشم شیشه، پشم سنگ و پلی استایرن هر کدام به همراه ۱ سانتی متر هوا بین نمونه انتخاب گردید و مقادیر افت انتقال هر کدام با افت انتقال ضخامت ۵ سانتی متر از نمونه ها مقایسه شد.

۳-۵-۵-۳ اندازه گیری نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه و برخی عوامل تاثیر گذار بر آن:

در مرحله بعد به صورت جداگانه نسبت امپدانس آکوستیک ویژه دو نمونه شامل پشم سنگ و لاستیک NBR با ضخامت های ۲۵ و ۵۰ میلی متر مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور بررسی اثر چگالی بر روی امپدانس صوت نیز، از نمونه پشم سنگ با دو چگالی مختلف ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب در دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر و نمونه لاستیک با نام تجاری SBR در دو چگالی ۱۲۵۲ و ۱۰۵۸ و با ضخامت های ۲۵ و ۵۰ میلی متر استفاده گردید.

همچنین جهت بررسی تاثیر لایه هوا بر روی امپدانس برای نمونه های پشم سنگ و لاستیک NBR ۲/۵ سانتی متر شش حالت هوا در انتهای نمونه شامل: صفر، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ سانتی متر هوا و برای نمونه های ۵ سانتی متر، چهار حالت هوا شامل: صفر، ۱، ۲ و ۳ سانتی متر استفاده

گردید و در هر حالت نسبت امپدانس اکوستیک ویژه مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت مقایسه ای بین ضرایب جذب هر کدام از حالات ذکر شده با مقادیر نسبت امپدانس این دو نمونه انجام شد.

۳-۵-۶ تعیین تفاوت مقادیر ضریب جذب نمونه های ایرانی و خارج از ایران:

مقادیر ضریب جذب صوتی برخی مواد در کتب و مقالات مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است، اما تاکنون برای مواد جاذب ایرانی ضریب جذب مشخصی به طور دقیق برآورد نشده است. لذا میزان ضریب جذب اندازه گیری شده توسط لوله امپدانس مورد مطالعه برای دو نوع ماده شامل پشم شیشه و پشم سنگ با مقادیر ضریب جذب آن ها در منابع مختلف مقایسه و مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که ضخامت و چگالی هر نمونه با نمونه مرجع به صورت مشابه انتخاب شد. بدین صورت که از پشم سنگ با دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر (چگالی 40 kg/m^3) و پشم شیشه با دو ضخامت ۳۰ و ۵۰ میلی متر (چگالی 15 kg/m^3) مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۵-۷ تعیین ضریب جذب اتفاقی از طریق ضریب جذب مواد:

به منظور تعیین ضریب جذب اتفاقی ابتدا ضریب جذب نرمال نمونه های لاستیک NBR و وینیل کلراید در دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر توسط لوله امپدانس اندازه گیری شد. با توجه به تحقیقات قبلی مشخص شده است که ضریب جذب اتفاقی صدا (RAC) در فرکانس های پایین تقریباً دو برابر، در فرکانس های میانی ۲۵٪ تا ۳۵٪ و در فرکانس های بالا برابر با ضریب جذب نرمال صدا می باشد (۱۵-۲۶). لذا با توجه به این مطلب، ضریب جذب اتفاقی به صورت تقریبی محاسبه گردید.

۳-۵-۷-۱ مقایسه عملکرد دو میکروفون یک چهارم و یک دوم اینچ:

به منظور تعیین تفاوت عملکرد این دو اندازه میکروفون، هر کدام از میکروفون ها به صورت جداگانه در لوله امپدانس قرار داده شد و ضریب جذب صوت نمونه فوم استاندارد ۲۵ میلی متر از شرکت BSWA اندازه گیری گردید. با توجه به نرمال بودن داده ها ، نتایج توسط ضریب همبستگی پیرسون مقایسه گردیدند.

۳-۶. محدودیت ها و مشکلات انجام پژوهش:

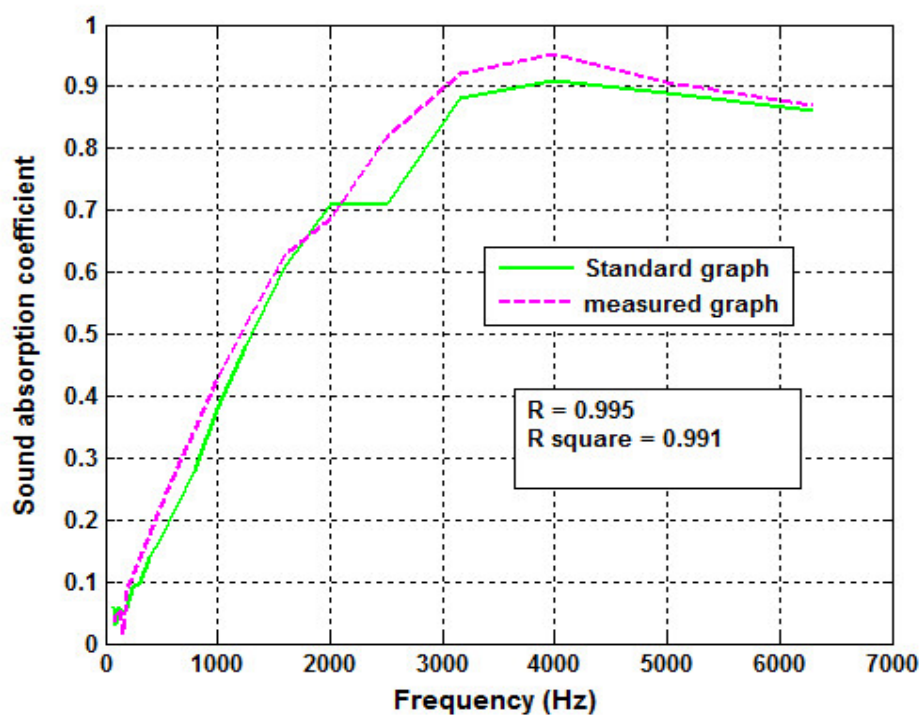
سخت ترین بخش این مطالعه، ساخت و طراحی لوله امپدانس بود که برای تعیین دقیق خصوصیات آکوستیکی مواد بر اساس استاندارد های موجود بایستی در ابعاد مناسب و با تعیین محل دقیق میکروفون ها همراه باشد. با توجه به استانداردهای موجود و با دقت نظر و آزمون و خطا سعی شد که لوله مورد نظر با بهترین حالت طراحی و این مشکل برطرف گردد.

فصل چهارم:

یافته های پژوهش

۴-۱. امکان سنجی و قابلیت اطمینان لوله امپدانس (مقایسه ضریب جذب):

شکل زیر نتایج تایید کارایی لوله امپدانس مورد مطالعه را نشان می دهد. نمودار فوم استاندارد اندازه گیری شده در شرایط آزمایشگاهی با نمودار ضریب جذب استاندارد با ضریب همبستگی ۰/۹۹ ($P < ۰/۰۰۱$) دارای رابطه مستقیم می باشند (شکل ۴-۱).



شکل (۴-۱) مقایسه ضریب جذب استاندارد با مقادیر اندازه گیری شده فوم استاندارد شرکت BSWA با ضخامت ۲۵ میلی متر

۴-۲. ضریب جذب صوت:

پس از تایید نتایج حاصل از کارایی و امکان سنجی استفاده از لوله امپدانس، ضرایب جذب نمونه های مورد بررسی اندازه گیری شد. جدول زیر مقادیر حداکثر و حداقل ضریب جذب صوت را در فرکانس مربوطه برای هر دو ضخامت نشان می دهد.

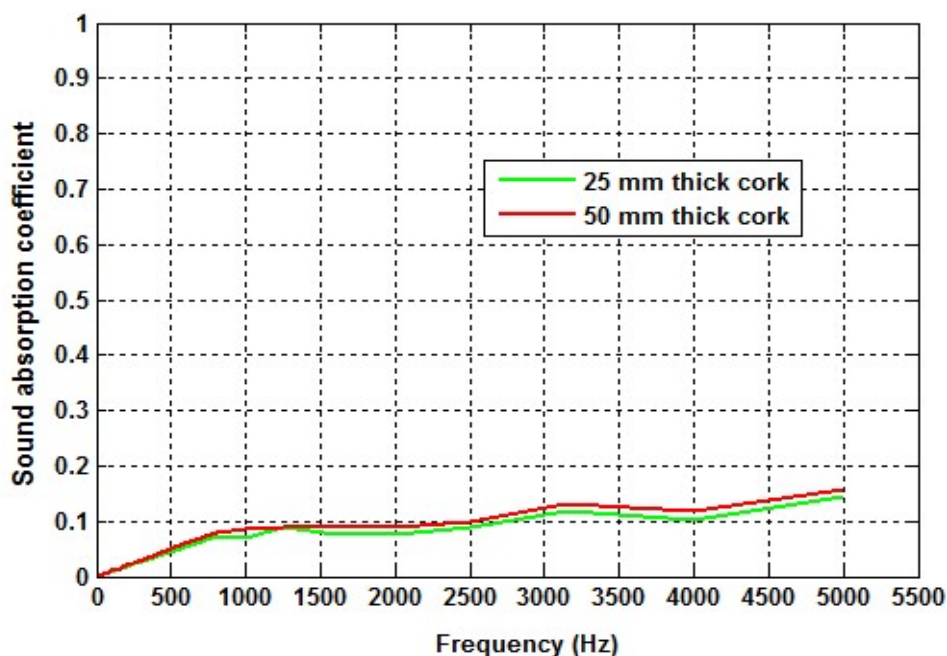
جدول (۴-۱) مقادیر حداکثر و حداقل ضرایب جذب صوتی نمونه های جاذب

نوع ماده جاذب				حداکثر ضریب جذب صوت		حداقل ضریب جذب صوت	
مقدار				فرکانس (هرتز)		مقدار	
				فرکانس (هرتز)		مقدار	
چوب پنبه ۲۵ میلی متر (چگالی 390 kg/m^3)				۵۰۰۰		۰/۰۰۱	
چوب پنبه ۵۰ میلی متر (چگالی 390 kg/m^3)				۵۰۰۰		۰/۰۰۲	
پلی وینیل کلراید ۲۵ میلی متر (چگالی 616 kg/m^3)				۱۰۰۰		۰/۰۰۳	
پلی وینیل کلراید ۵۰ میلی متر (چگالی 616 kg/m^3)				۵۰۰۰		۰/۰۰۲	
پشم شیشه ۲۵ میلی متر (چگالی 15 kg/m^3)				۵۰۰۰		۰/۰۰۶	
پشم شیشه ۵۰ میلی متر (چگالی 15 kg/m^3)				۲۰۰۰		۰/۰۱۴	
پشم سنگ ۲۵ میلی متر (چگالی 40 kg/m^3)				۴۰۰۰		۰/۰۱۳	
پشم سنگ ۵۰ میلی متر (چگالی 40 kg/m^3)				۴۰۰۰		۰/۰۱۳	
فوم پلی اورتان منفذ باز ۲۵ میلی متر (چگالی 43 kg/m^3)				۴۰۰۰		۰/۰۰۵	
فوم پلی اورتان منفذ باز ۵۰ میلی متر (چگالی 43 kg/m^3)				۴۰۰۰		۰/۰۰۵	
لاستیک NBR ۲۵ میلی متر (چگالی 1507 kg/m^3)				۵۰۰۰		۰/۰۰۱	
لاستیک NBR ۵۰ میلی متر (چگالی 1057 kg/m^3)				۴۰۰۰		۰/۰۰۱	
پلی استایرن ۲۵ میلی متر (چگالی 18 kg/m^3)				۱۲۵۰		۰/۰۰۷	
پلی استایرن ۵۰ میلی متر (چگالی 18 kg/m^3)				۵۰۰۰		۰/۰۰۲	

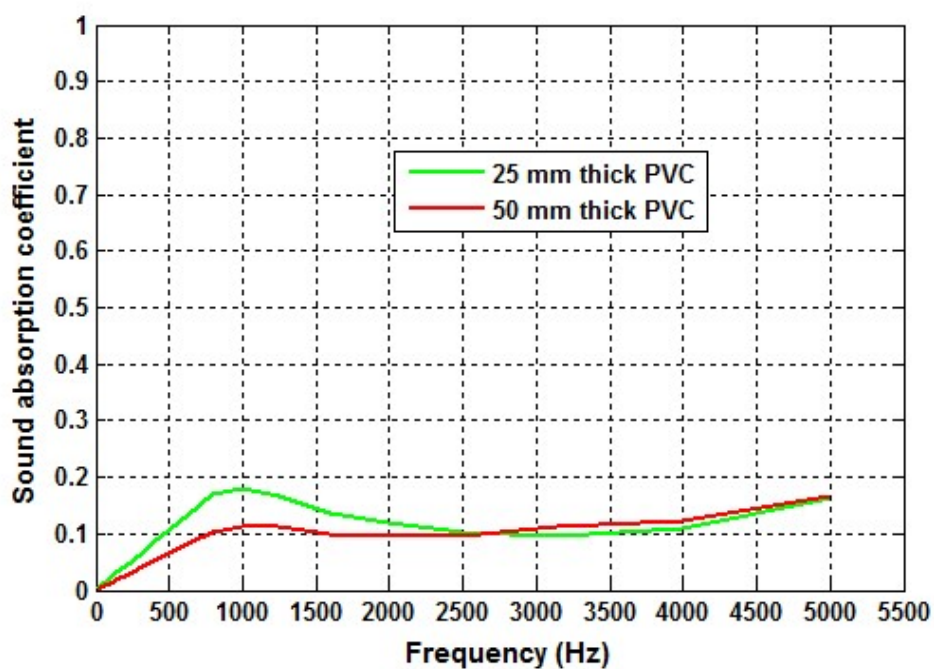
طبق جدول بیشترین ضرایب جذب برای فرکانس های بالا و پایین، مربوط به نمونه های پشم شیشه، پشم سنگ و فوم پلی اورتان بود. در این بین، نمونه های پلی وینیل کلراید، چوب پنبه، لاستیک و پلی استایرن کمترین ضرایب جذب را به خود اختصاص دادند.

۴-۲-۱. تاثیر ضخامت بر روی ضریب جذب صوت:

در نمونه چوب پنبه، ضریب جذب صوت نمونه ۵۰ میلی متر از فرکانس ۱۰۰ هرتز به بالا بیشتر از ضخامت ۲۵ میلی متر بود، اما به طور کلی این نمونه ضریب جذب کمی را نشان داد (شکل ۴-۲). نمونه پلی وینیل کراید نیز مانند چوب پنبه دارای ضریب جذب پایینی بود. به علاوه ضخامت ۲۵ میلی متر در محدوده فرکانسی پایین تر از ۲۷۵۰ هرتز ضریب جذب بالاتری را نسبت به ضخامت بیشتر نشان داد (شکل ۴-۳).

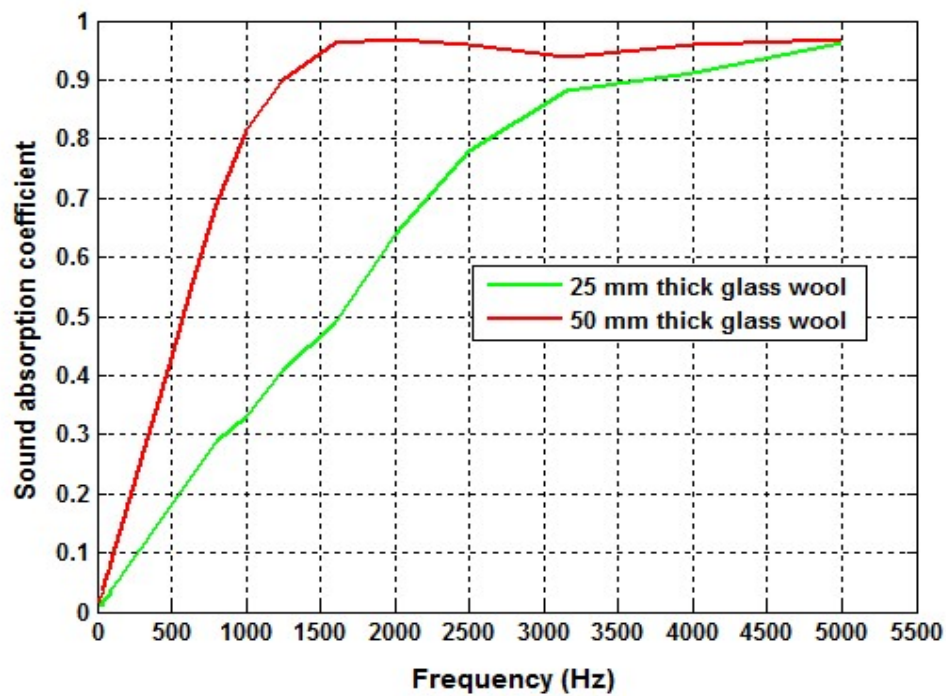


شکل (۴-۲) ضریب جذب صوتی چوب پنبه ۲۵ و ۵۰ میلی متر

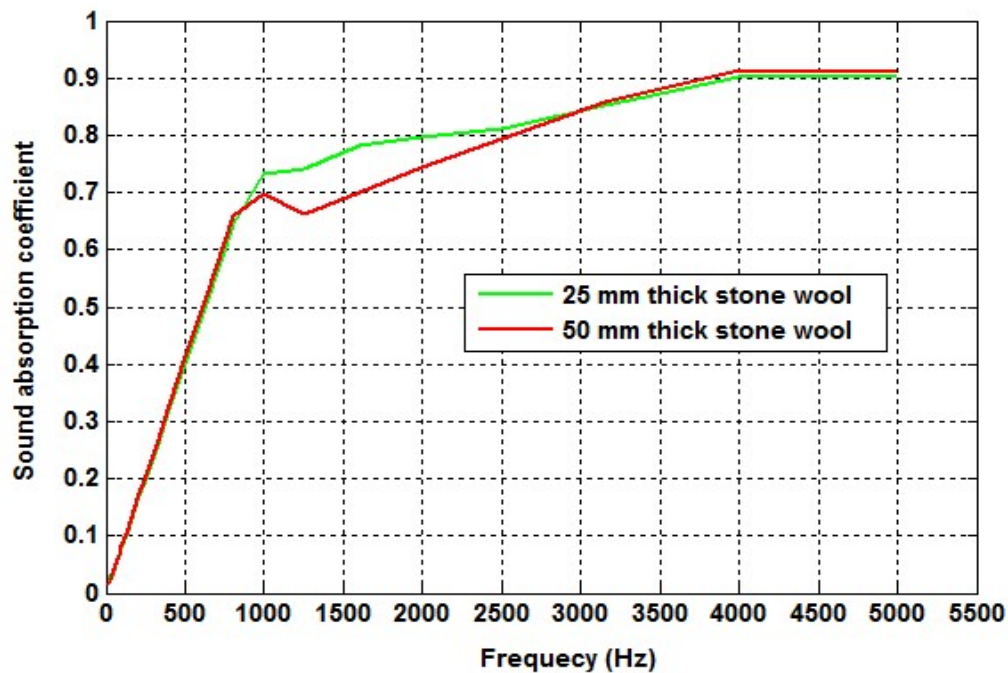


شکل (۴-۳) ضریب جذب صوت پلی وینیل کلراید ۲۵ و ۵۰ میلی متر

پشم شیشه با ضخامت ۵۰ میلی متر در محدوده فرکانسی مورد نظر و نمونه پشم سنگ ۲۵ میلی متر در محدوده فرکانسی ۸۰۰ تا ۲۹۰۰ هرتز دارای ضریب جذب بالاتری نسبت به نمونه با ضخامت دیگر بود. همچنین در هر دو نمونه افزایش ضخامت در فرکانس های بالا تاثیر کمتری بر روی ضریب جذب صوت داشت (شکل ۴-۴ و ۴-۵).

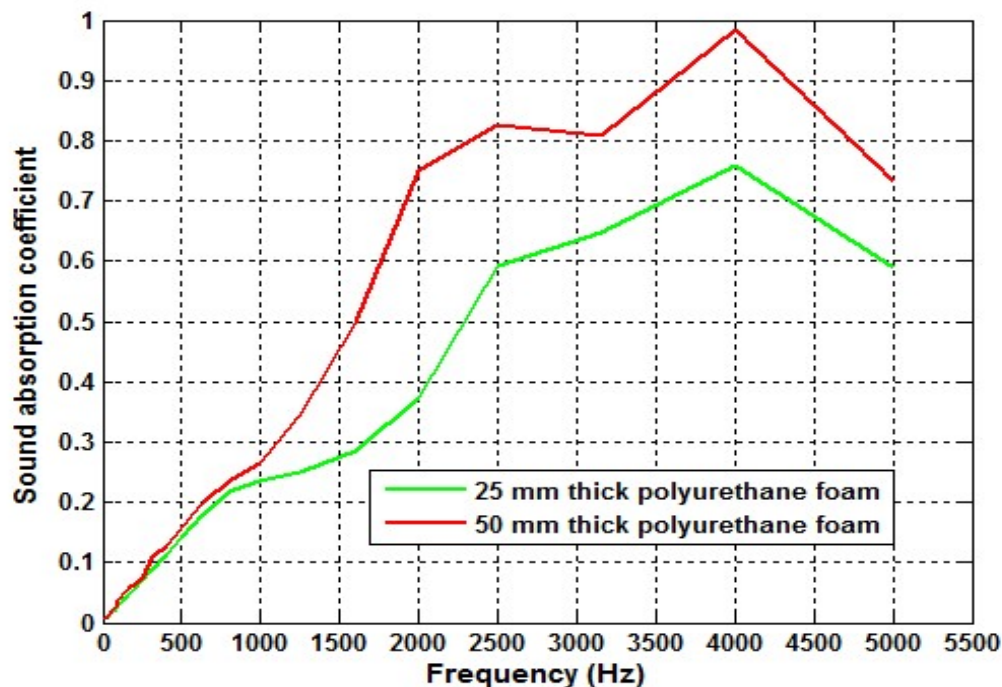


شکل (۴-۴) ضریب جذب صوت پشم شیشه ۲۵ و ۵۰ میلی متر



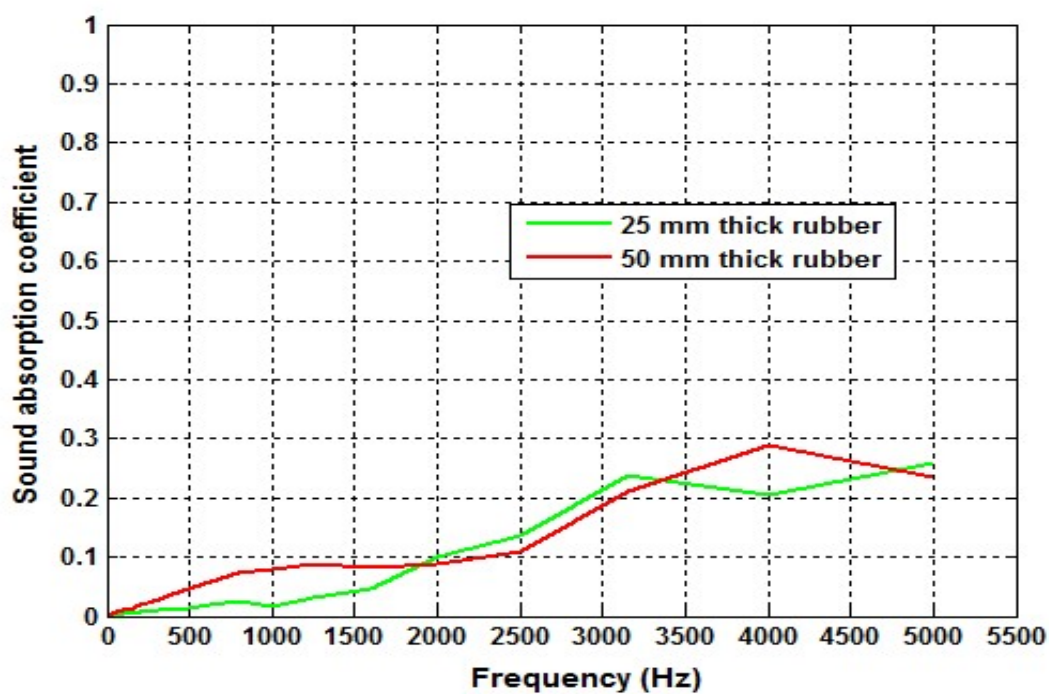
شکل (۵-۴) ضریب جذب صوت پشم سنگ ۲۵ و ۵۰ میلی متر

در نمونه فوم پلی اورتان نیز ضخامت ۵۰ میلی متر در کل محدوده فرکانسی مورد نظر جذب بالاتری را نشان داد به طوری که تفاوت مقادیر حداکثر جذب بین دو نمونه برابر با ۰/۲۲ بود (شکل ۴-۶).



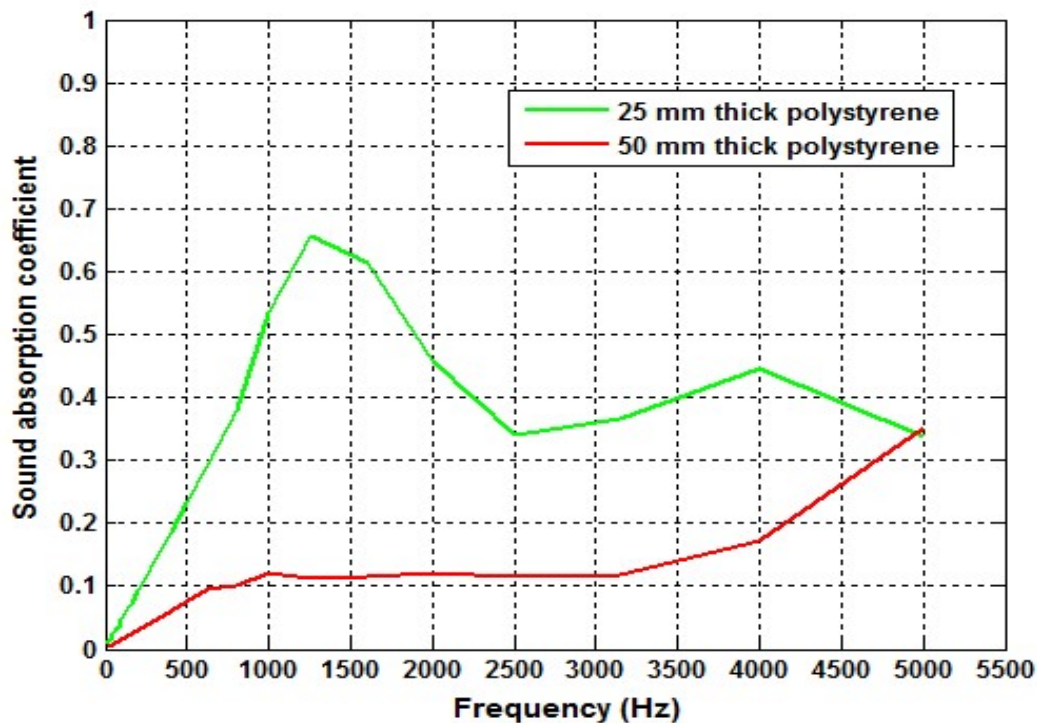
شکل (۴-۶) ضریب جذب صوت فوم پلی اورتان منفذ باز ۲۵ و ۵۰ میلی متر

با توجه به شکل ۴-۷، نمونه لاستیک با ضخامت بیشتر در محدوده های فرکانسی صفر تا ۱۹۰۰ هرتز و همچنین ۳۳۰۰ تا ۴۷۵۰ هرتز دارای ضریب جذب بیشتری بود.



شکل (۴-۷) ضریب جذب صوت لاستیک ۲۵ و ۵۰ میلی متر

در نمونه پلی استایرن نیز ضخامت کمتر در همه فرکانس ها به جز ۵۰۰۰ هرتز ضریب جذب بیشتری را نشان داد. همچنین حداکثر ضریب جذب برای نمونه ۲۵ میلی متر در فرکانس ۱۲۵۰ هرتز بود که در نمونه ۵۰ میلی متر حداکثر جذب در فرکانس بالاتر یعنی ۵۰۰۰ هرتز نشان داده شد. تفاوت مقادیر حداکثر برای این دو ضخامت برابر $0.31/0$ می باشد (شکل ۴-۸).

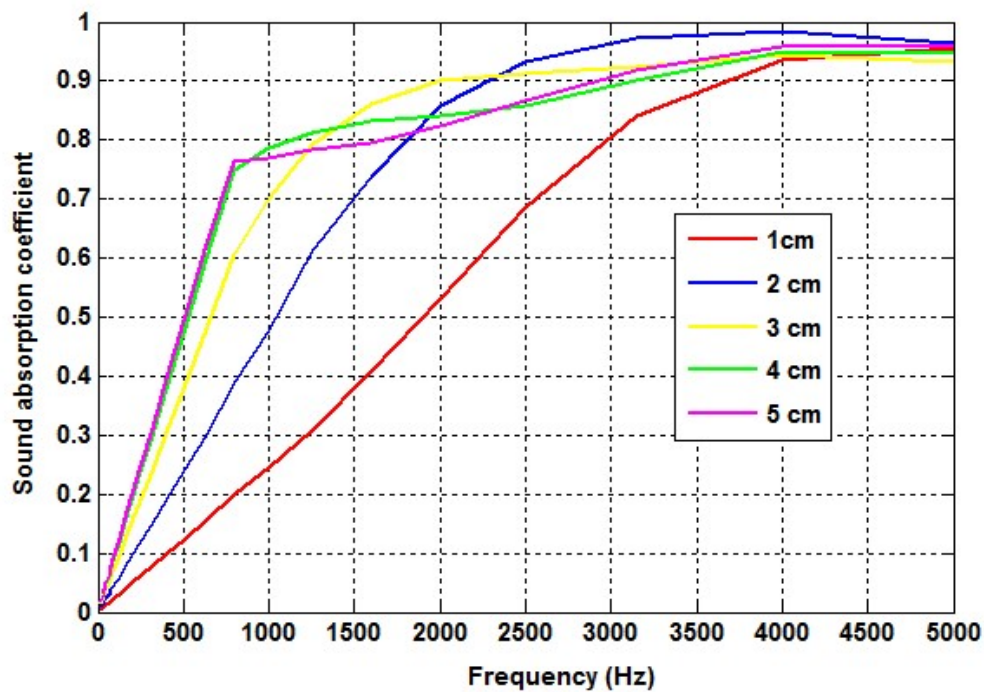


شکل (۴-۸) ضریب جذب صوت فوم پلی استایرن ۲۵ و ۵۰ میلی متر

۴-۲-۱-۱. تعیین ضخامت بهینه برای ضریب جذب نمونه پشم سنگ:

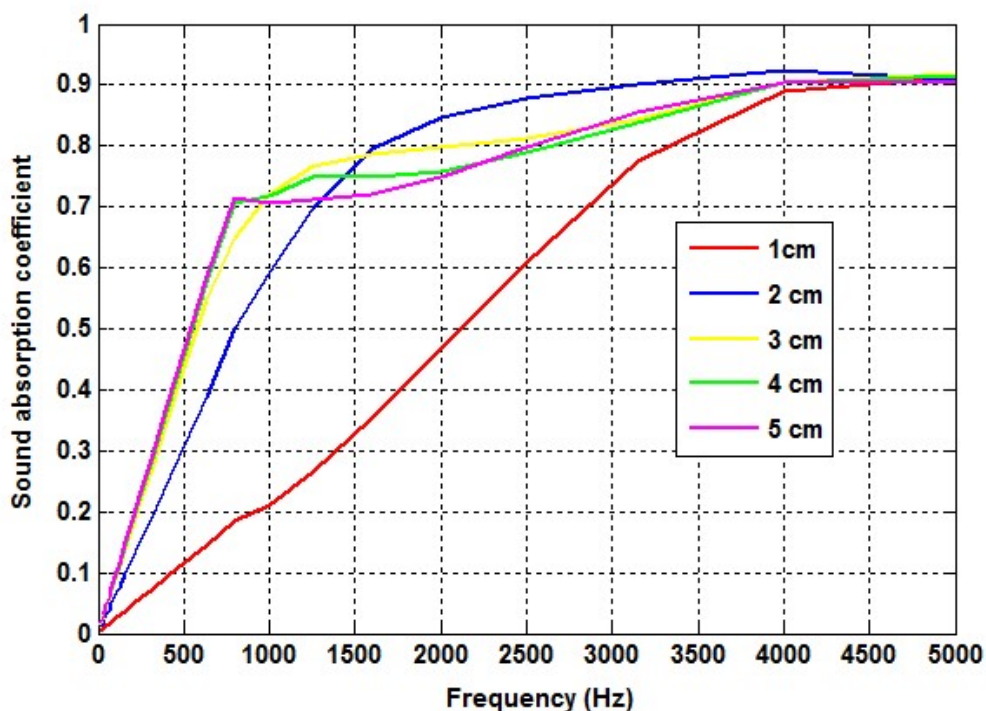
بدین منظور ضرایب جذب نمونه پشم سنگ با چگالی های ۸۰ و ۱۲۰ kg/m^3 در ضخامت ۱ تا ۵ سانتی متر به صورت مجزا اندازه گیری شد.

نتایج افزایش ضخامت برای پشم سنگ با چگالی ۸۰ kg/m^3 نشان داد که به طور کلی ضخامت ۱ سانتی ضریب جذب کمتری دارد ولی از فرکانس ۲۵۰۰ هرتز به بالا پشم سنگ ۲ سانتی متر بهترین جذب را داشته است. همچنین از حدود ۱۲۵۰ تا ۳۰۰۰ هرتز، نمونه ۳ سانتی متر نسبت به ضخامت های بیشتر، ضریب جذب بالاتری را نشان داد (شکل ۴-۹).



شکل (۴-۹) تعیین تاثیر افزایش ضخامت بر ضریب جذب پشم سنگ با چگالی 80 kg/m^3

همچنین در مورد پشم سنگ با چگالی 120 نیز ضخامت 1 سانتی متر کمترین ضریب جذب را نشان داد ولی از حدود فرکانس 1600 هرتز به بالا، نمونه با ضخامت 2 سانتی متر ضریب جذب بیشتری مشاهده گردید. همچنین از حدود فرکانس 1000 تا 2600 هرتز نیز ضخامت 3 سانتی متر نسبت به ضخامت های بالاتر ضریب جذب بیشتری را نشان داد (شکل ۴-۱۰).



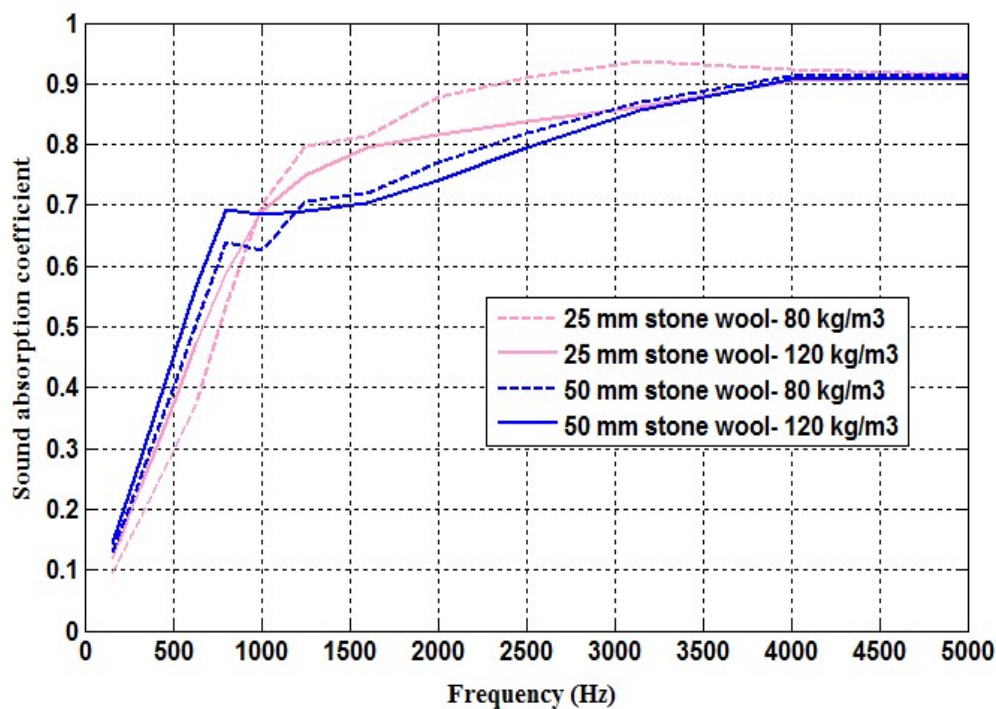
شکل (۴-۱۰) تعیین تاثیر افزایش ضخامت بر ضریب جذب پشم سنگ با چگالی 120 kg/m^3

به طور کلی در نمونه پشم سنگ برای فرکانس های بالاتر از ۴۰۰۰ هرتز، افزایش ضخامت تاثیر چندانی بر ضریب جذب صوت نداشته است.

۴-۲-۲. تاثیر چگالی ماده بر ضریب جذب:

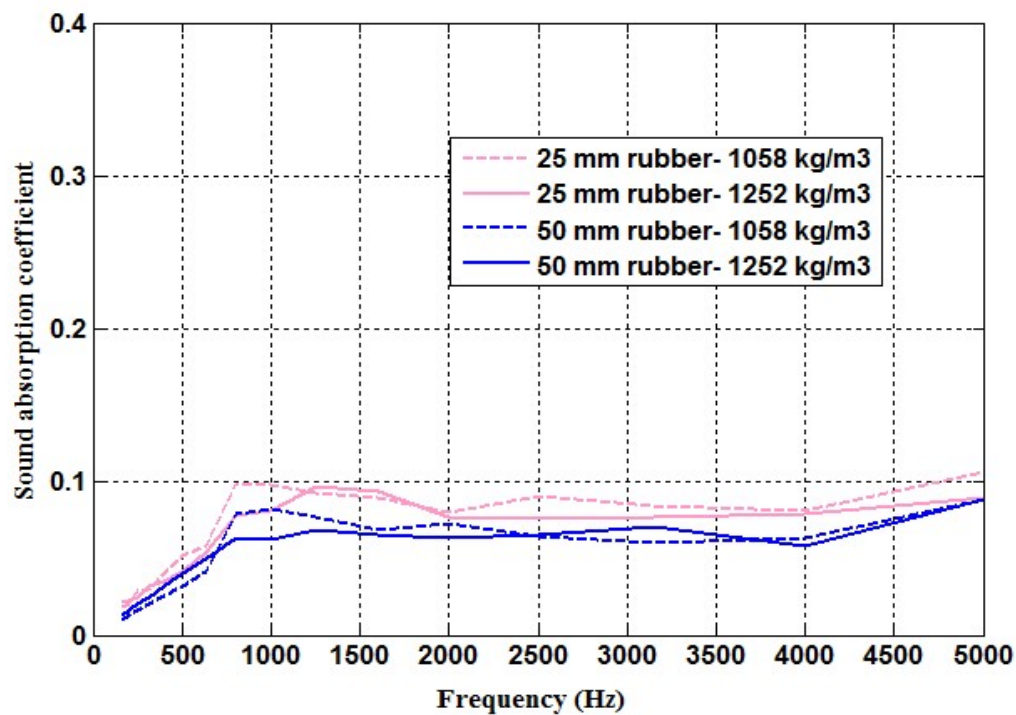
به منظور بررسی اثر چگالی بر روی ضریب جذب ، از نمونه پشم سنگ با دو چگالی مختلف ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب در دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر و نمونه لاستیک با نام نجاری SBR با دو چگالی ۱۲۵۲ و ۱۰۵۸ و در ضخامت های ۲۵ و ۵۰ میلی متر استفاده گردید.

با توجه به شکل ۲۰ مقادیر ضریب جذب پشم سنگ با ضخامت ۲۵ میلی متر نشان داد که در فرکانس های بالاتر از ۹۰۰ هرتز نمونه با چگالی کمتر مقدار جذب بالاتری را دارد. همچنین نمونه ۵۰ میلی متر با چگالی کمتر (۸۰) در فرکانس های بالاتر از ۱۲۵۰ هرتز مقدار جذب صوت بیشتری را نشان داد.



شکل (۴-۱۱) ضریب جذب صوت پشم سنگ ۲۵ و ۵۰ میلی متر با دو چگالی ۸۰ و ۱۲۰ kg/m³

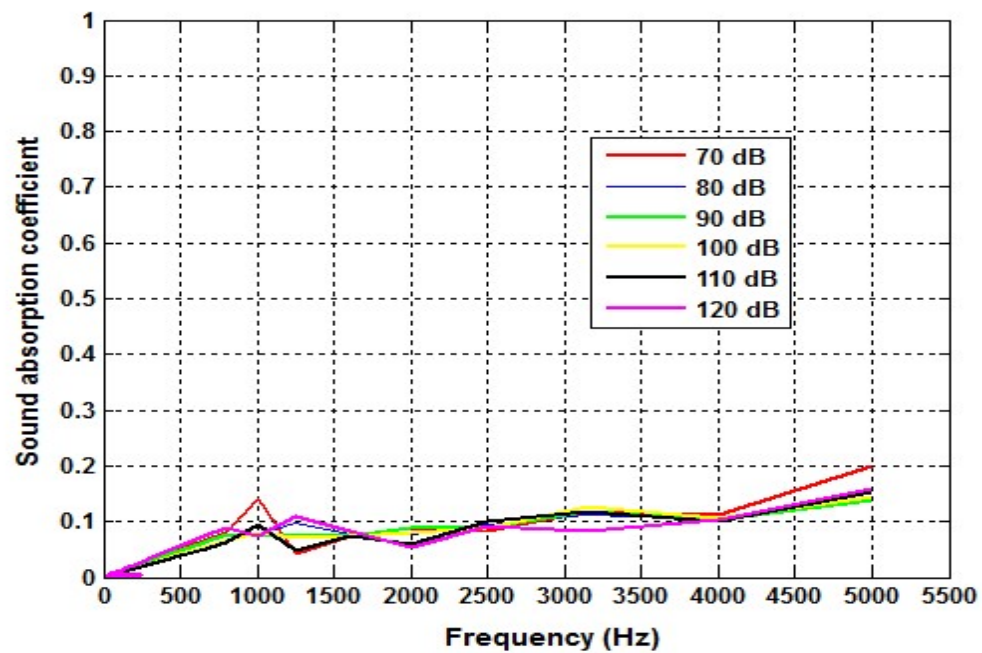
همچنین در مورد نمونه لاستیک با ضخامت ۲۵ میلی متر نیز مشاهده گردید که در همه فرکانس ها به جز ۱۶۰، ۲۰۰ و ۱۲۵۰ تا ۱۷۰۰ هرتز لاستیک با چگالی کمتر (۱۰۵۸) میزان جذب بالاتری دارد. به علاوه نتایج مقایسه ضرایب جذب لاستیک با ضخامت ۵۰ نیز نشان داد که در همه فرکانس ها به جز محدوده ۱۶۰ تا ۷۵۰ هرتز و ۲۵۰۰ تا ۳۷۵۰ هرتز، چگالی کمتر عملکرد بهتری را در جذب داشته است (شکل ۴-۱۲).



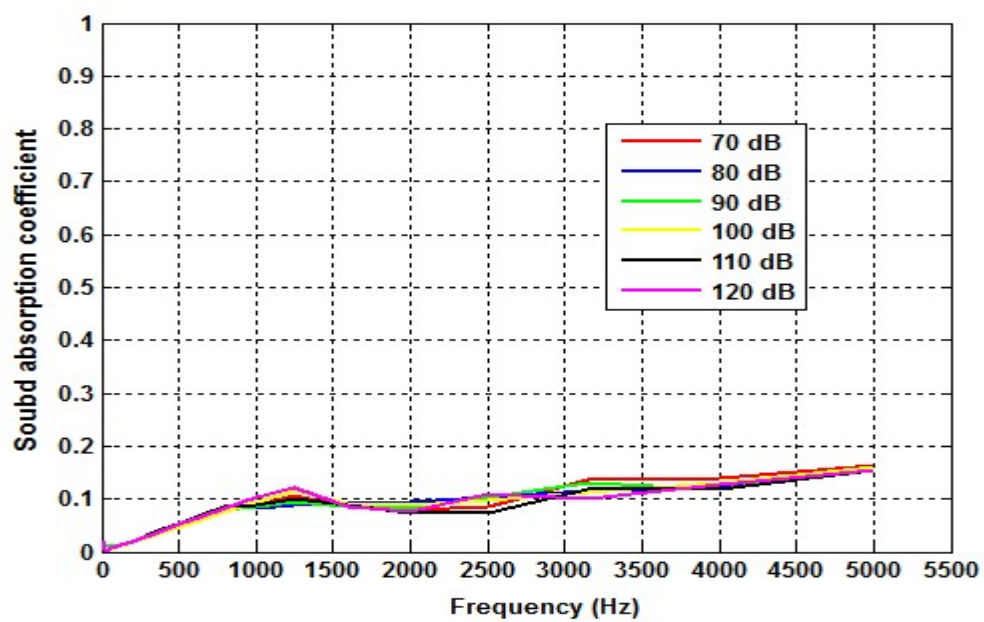
شکل (۴-۱۲) ضریب جذب صوت لاستیک ۲۵۰ و ۵۰ میلی متر با دو چگالی ۱۰۵۸ و ۱۲۵۲ kg/m^3

۳-۲-۴. تاثیر شدت صوت بر روی ضریب جذب:

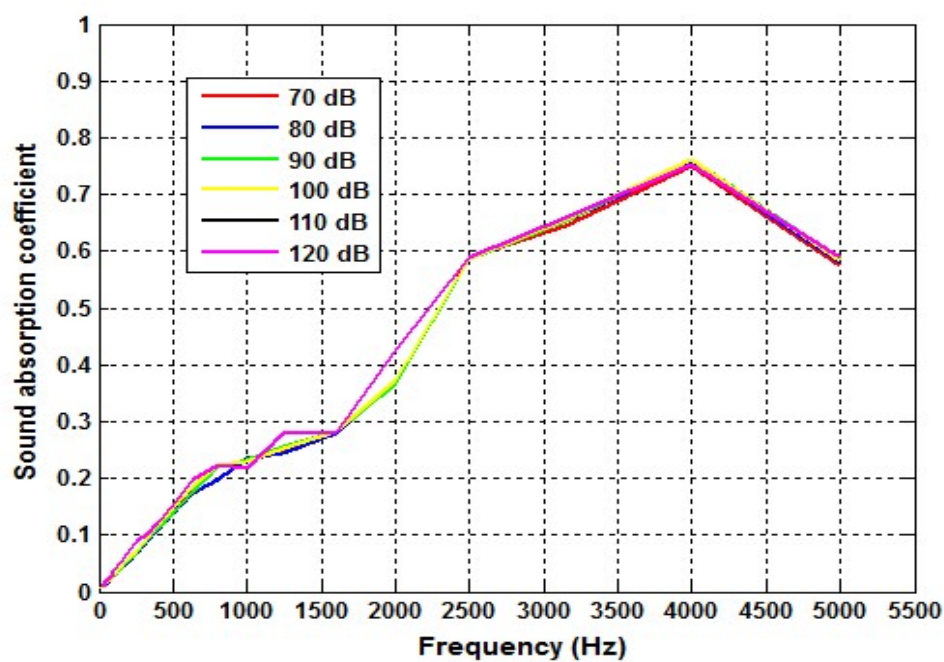
ضرایب جذب صوت هر دو ضخامت کلیه نمونه ها در شش شدت صوت مختلف شامل ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ دسی بل مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل های شماره ۲۲ تا ۳۵ نشان داد که شدت صوت تاثیری بر روی ضریب جذب نداشت و یا بسیار ناچیز بود.



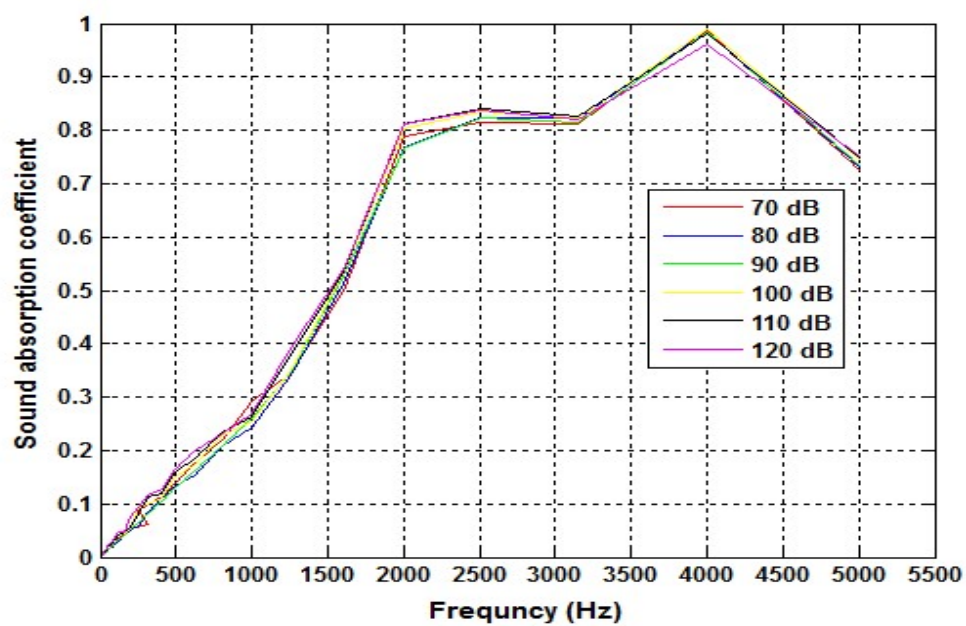
شکل (۴-۱۳) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب چوب پنبه ۲۵ میلی متر



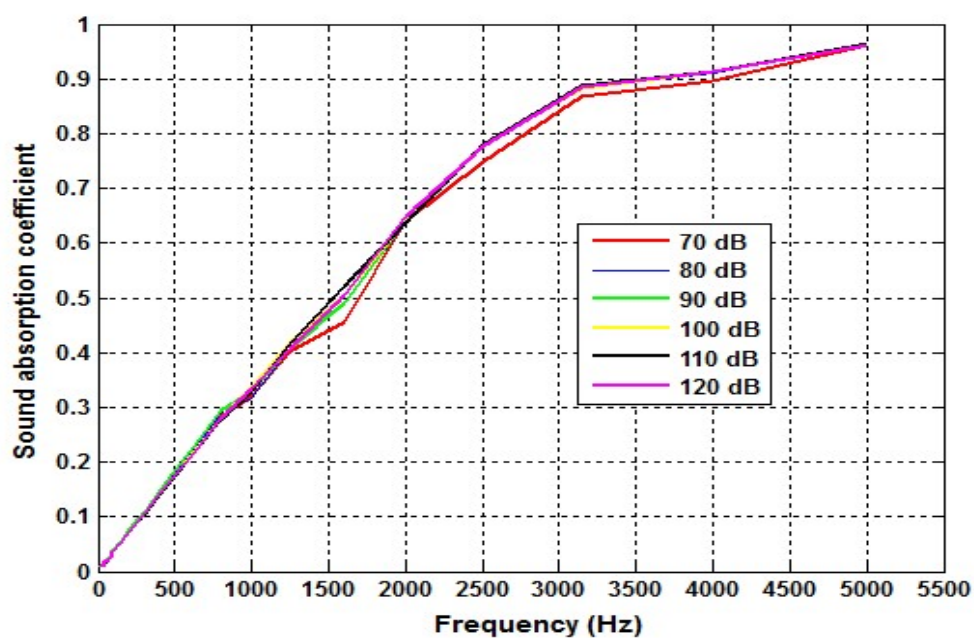
شکل (۴-۱۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب چوب پنبه ۵۰ میلی متر



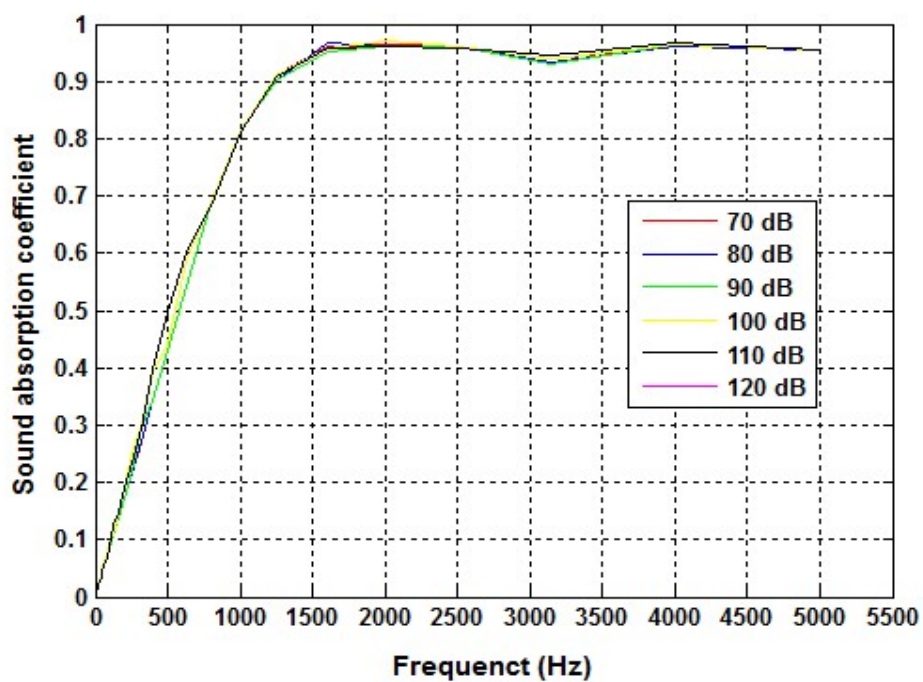
شکل (۴-۱۵) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب فوم پلی اورتان ۲۵ میلی متر



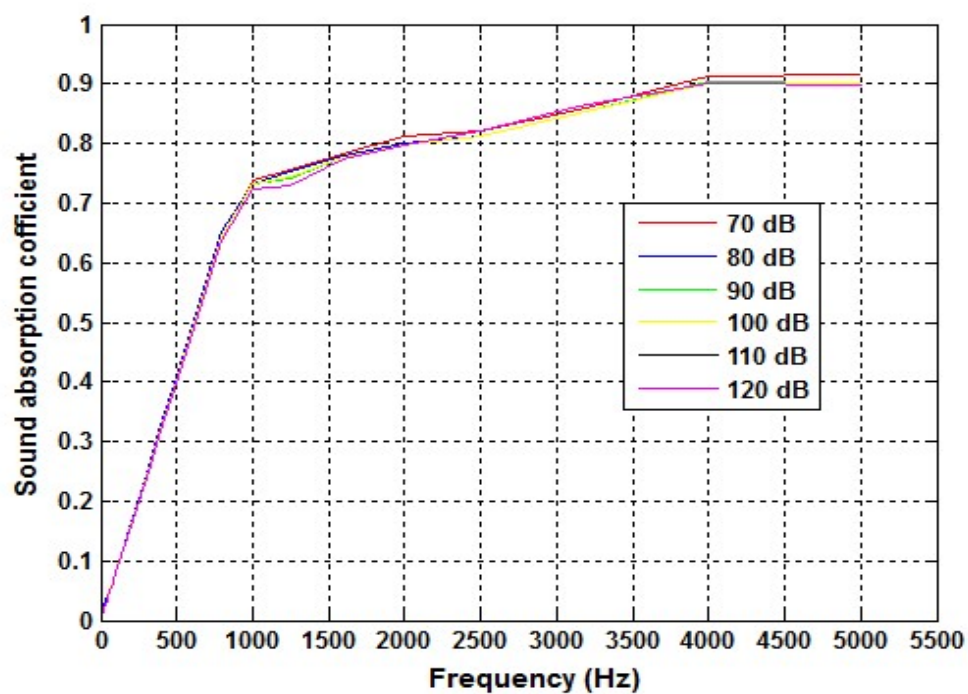
شکل (۴-۱۶) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب فوم پلی اورتان ۵۰ میلی متر



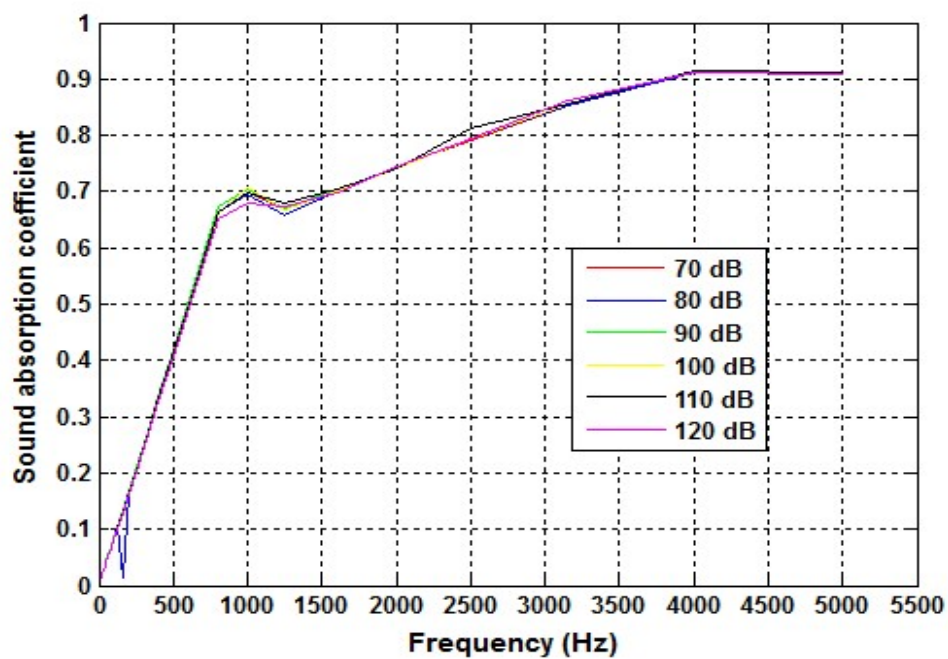
شکل (۴-۱۷) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پشم شیشه ۲۵ میلی متر



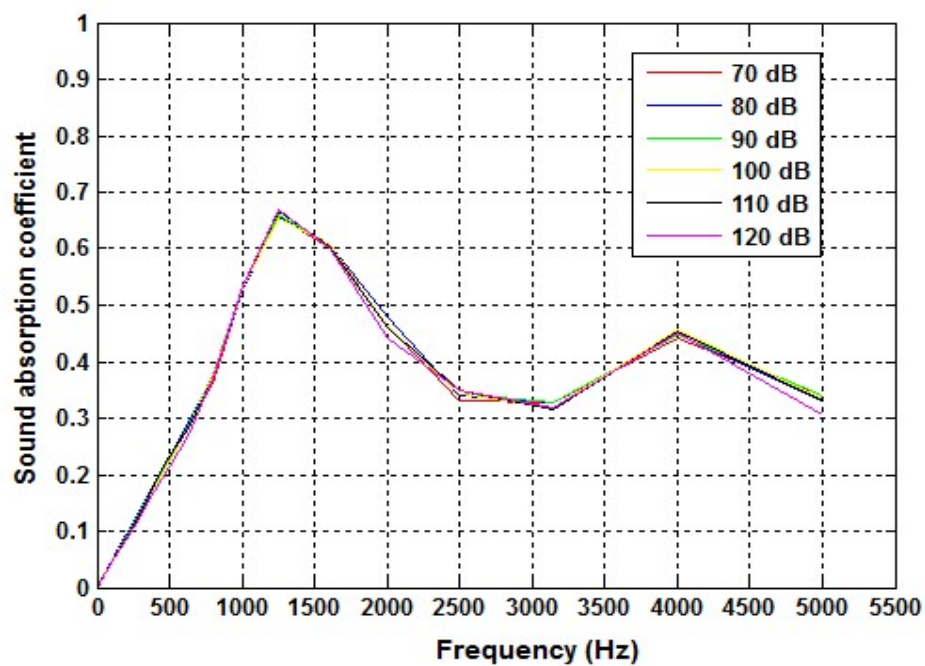
شکل (۴-۱۸) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پشم شیشه ۵۰ میلی متر



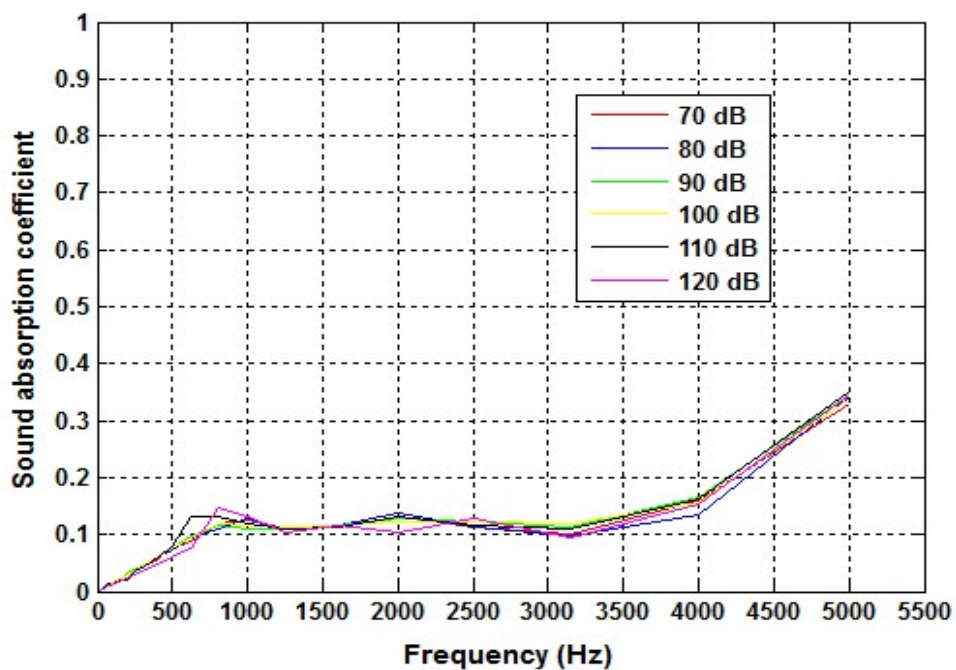
شکل (۴-۱۹) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پشم سنگ ۲۵ میلی متر



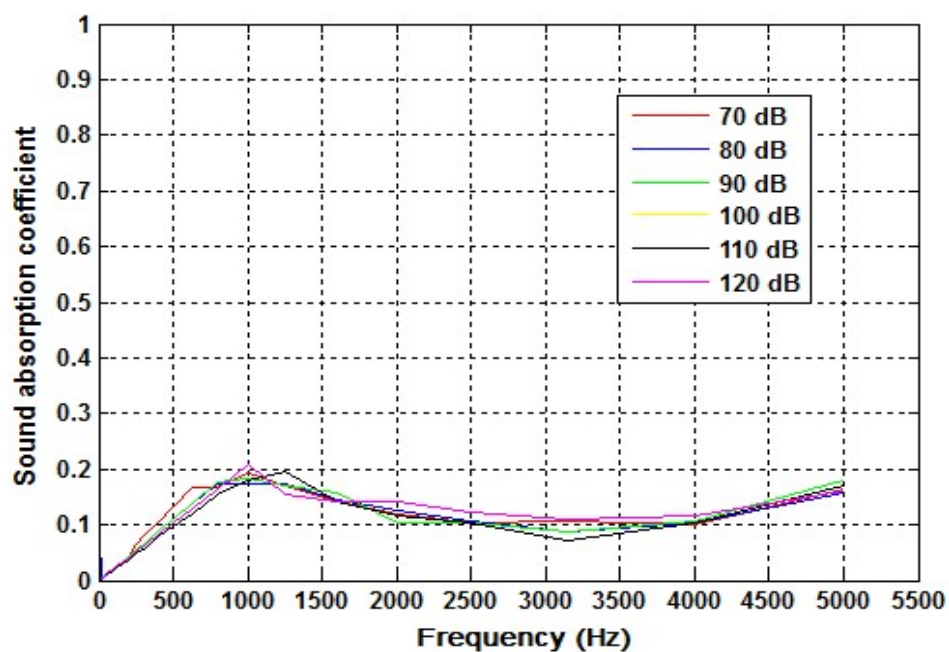
شکل (۴-۲۰) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پشم سنگ ۵۰ میلی متر



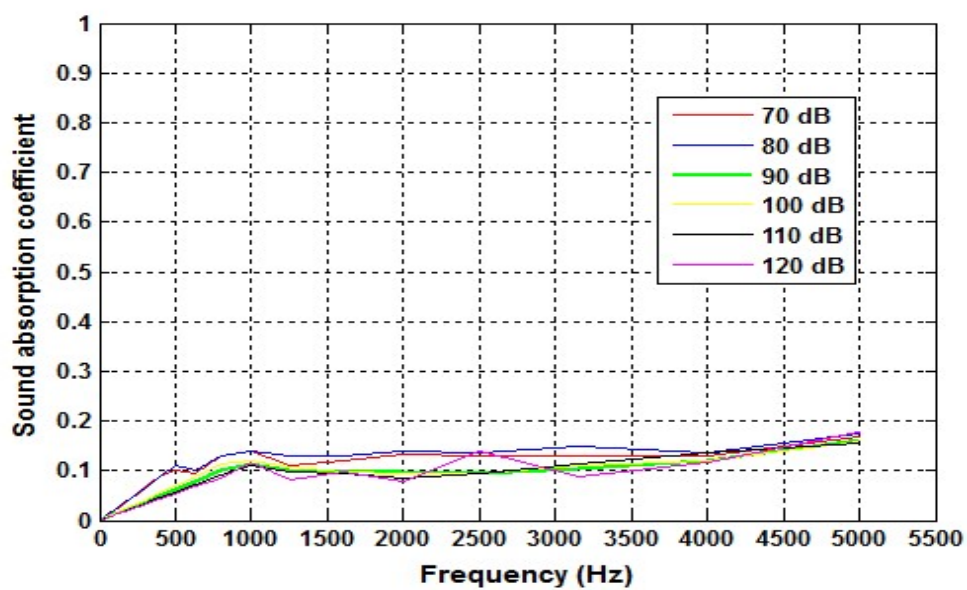
شکل (۴-۲۱) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پلی استایرن ۲۵ میلی متر



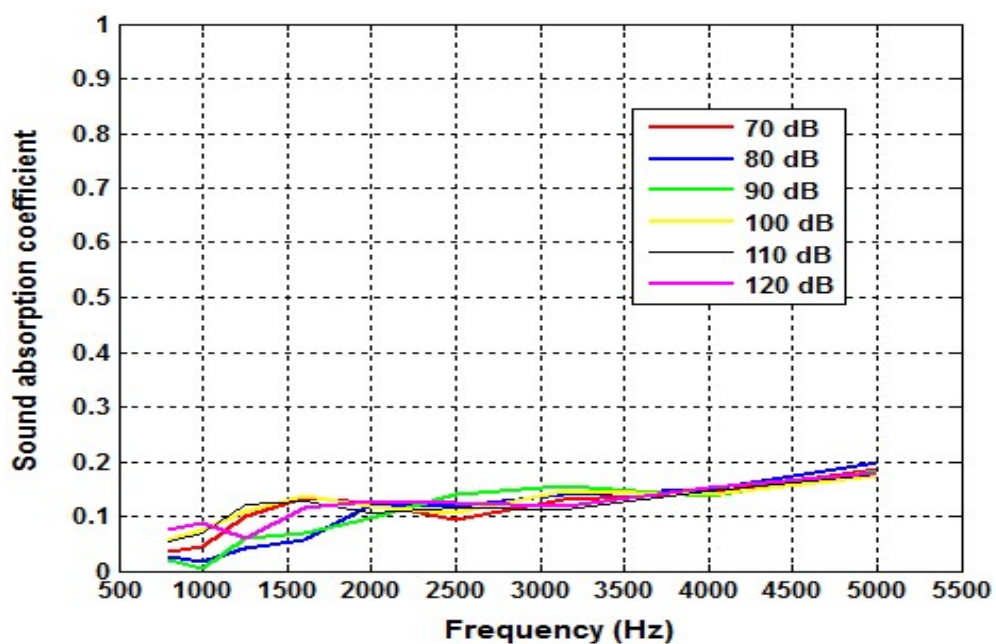
شکل (۴-۲۲) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پلی استایرن ۵۰ میلی متر



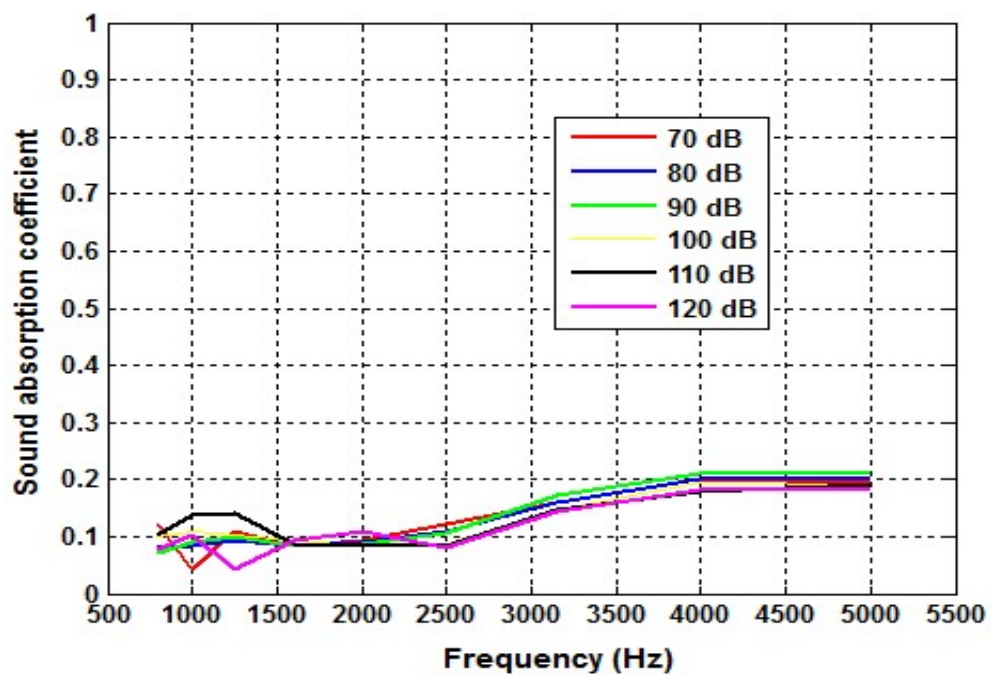
شکل (۴-۲۳) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پلی وینیل کلراید ۲۵ میلی متر



شکل (۴-۲۴) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب پلی وینیل کلراید ۵۰ میلی متر



شکل (۴-۲۵) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب لاستیک ۲۵ میلی متر



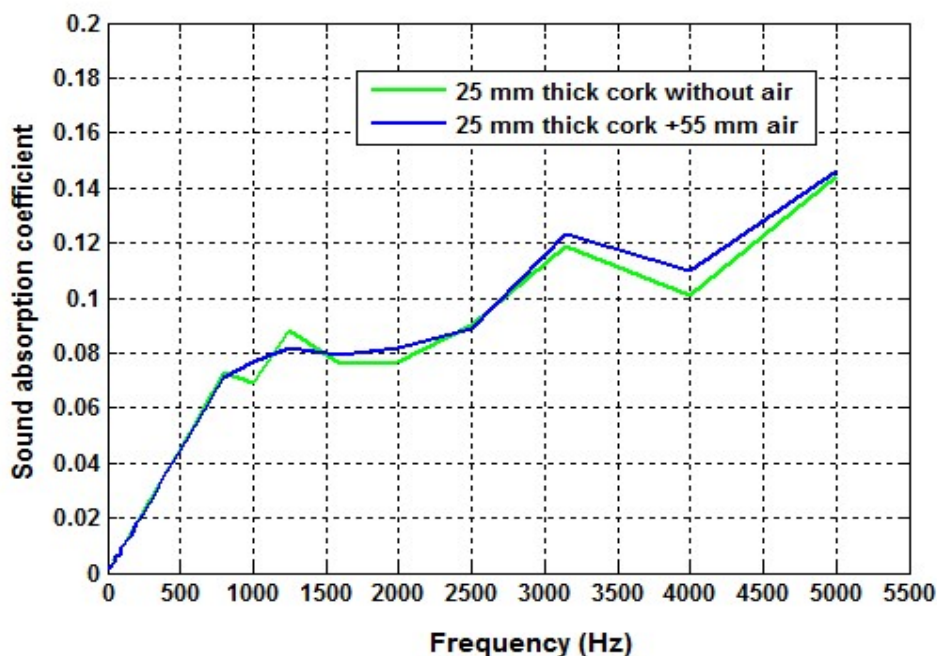
شکل (۴-۲۶) تاثیر شدت صوت بر ضریب جذب لاستیک ۵۰ میلی متر

۴-۲-۴. تاثیر وجود لایه هوا بر ضریب جذب:

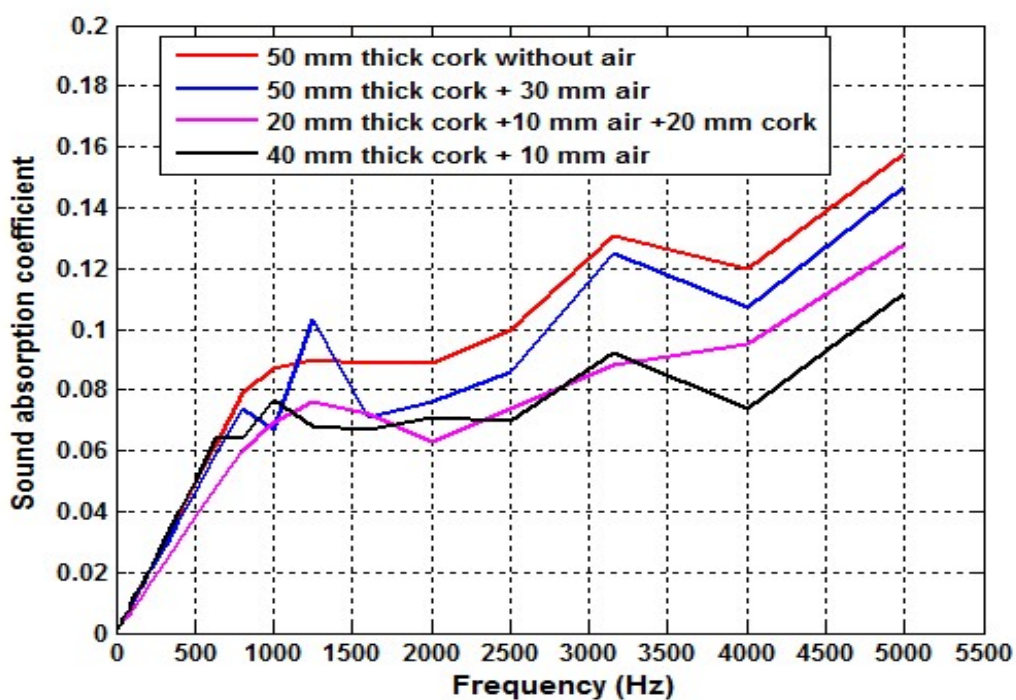
بر اساس شکل زیر وجود ۵/۵ سانتی متر لایه هوا در انتهای چوب پنبه ۲۵ میلی متر سبب افزایش ضریب جذب صوت در فرکانس های ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ هرتز و ۱۶۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز گردید.

در چوب پنبه ۵۰ میلی متر بدون لایه هوا نسبت به بقیه حالات در فرکانس های میانی و بالا به جز ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ هرتز ضریب جذب بالاتری مشاهده شد. همچنین ۳ سانتی متر هوا در انتهای نمونه نسبت به چوب پنبه ۴ سانتی متر و هوا، ضریب جذب بالاتری در فرکانس های بالاتر از ۱۰۰۰ هرتز داشت. به علاوه وجود یک سانتی متر هوا انتهای نمونه ۴ سانتی متر کمترین جذب را در فرکانس های بالا و یک سانتی متر هوا بین نمونه ۴ سانتی متر کمترین جذب را در فرکانس های زیر ۱۰۰۰ هرتز نشان داد.

به طور کلی تغییرات ناشی از لایه هوا بر روی ضریب جذب نمونه چوب پنبه تاثیر ناچیزی داشت (شکل ۴-۲۷ و ۴-۲۸).

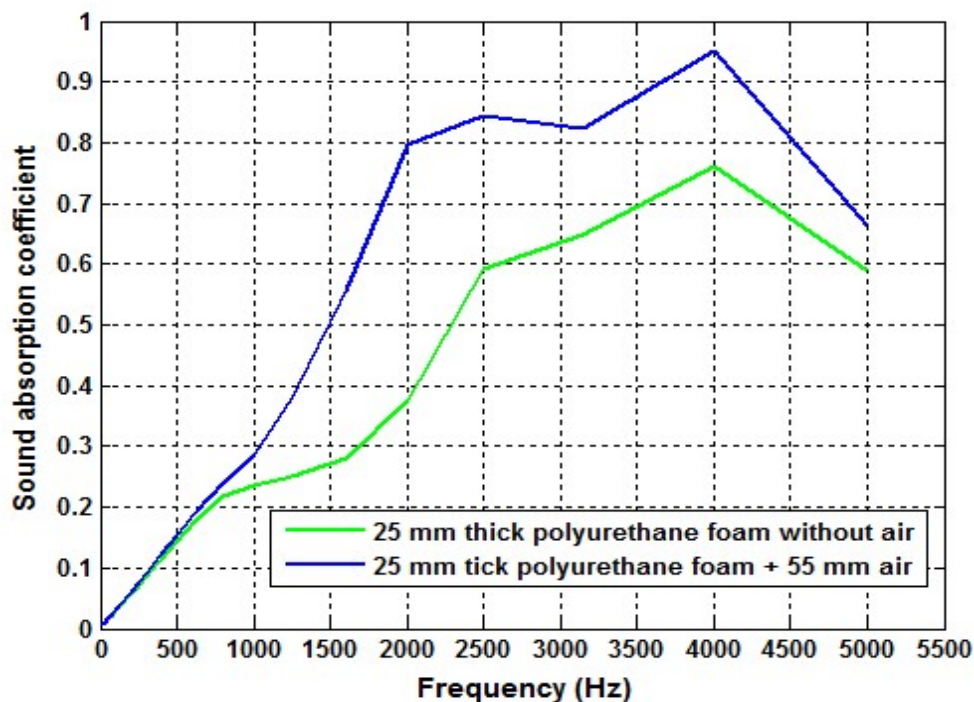


شکل (۴-۲۷) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب چوب پنبه ۲۵ میلی متر



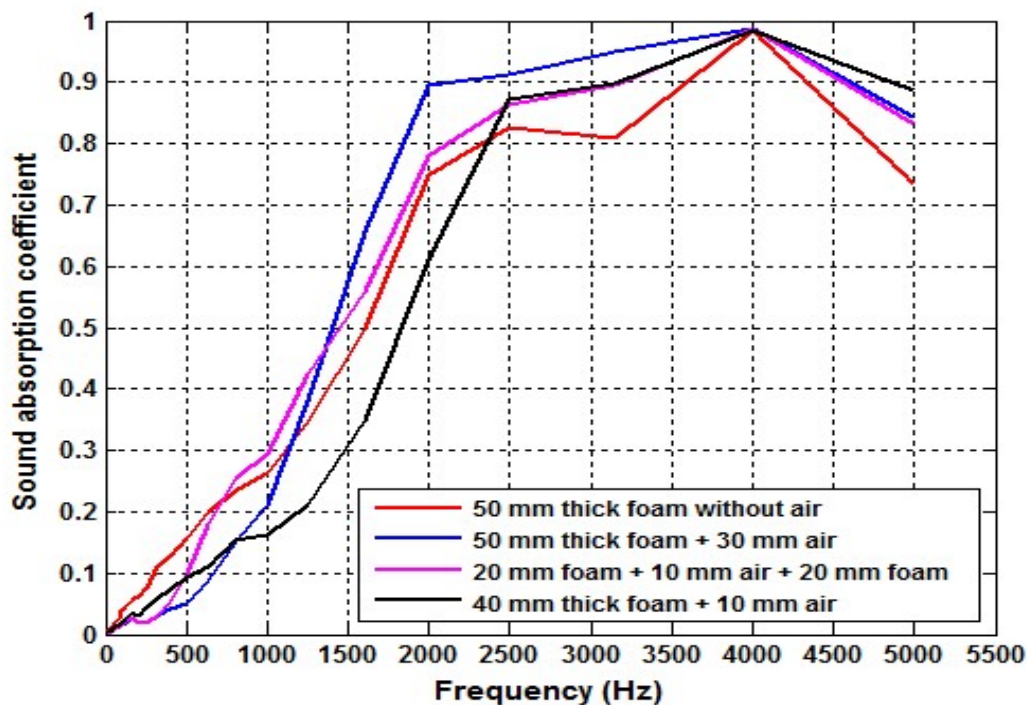
شکل (۴-۲۸) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب چوب پنبه ۵۰ میلی متر

وجود لایه هوا در انتهای نمونه ۲۵ میلی متر سبب افزایش ضریب جذب فوم پلی اورتان شد به طوری که تفاوت حداکثر ضریب هر دو نمونه برابر ۰/۱۹ بود (شکل ۴-۲۹).



شکل (۴-۲۹) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب فوم پلی اورتان ۲۵ میلی متر

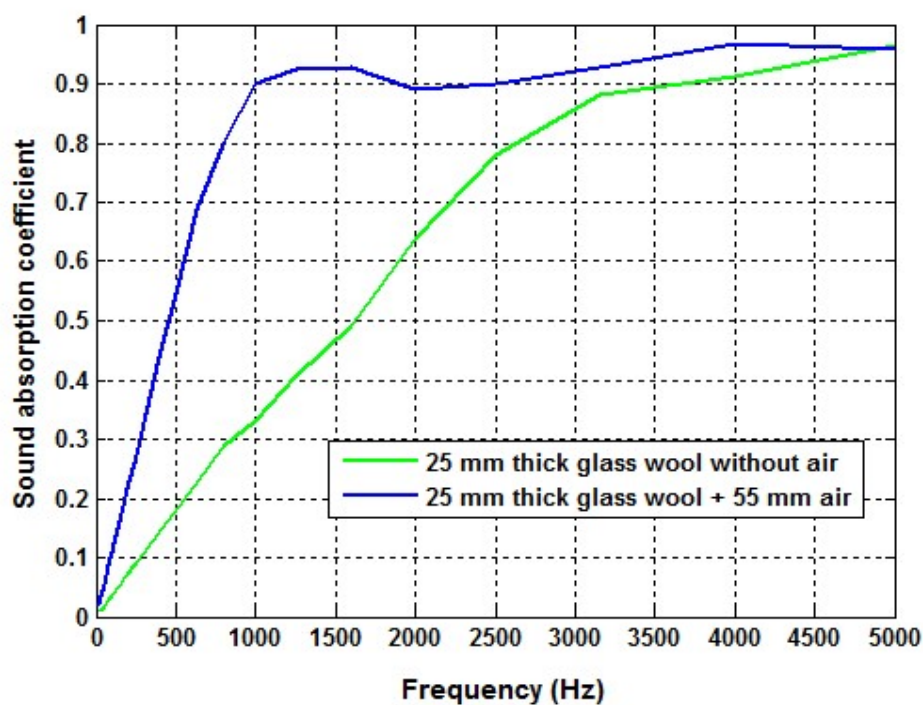
در فوم با ضخامت ۵۰ میلی متر نیز افزودن ۳ سانتی متر لایه هوا پشت نمونه سبب افزایش ضریب جذب صوت در فرکانس های بالاتر از ۱۴۰۰ هرتز شد. نتایج مقایسه قرار دادن یک سانتی متر لایه هوا در بین فوم با ضخامت ۴ سانتی متر با ضریب جذب فوم ۵ سانتی متر بدون لایه هوا در شکل ۴-۳۰ نشان داده شده است. با توجه به شکل، ضریب جذب صوت فوم با لایه هوا در فرکانس های میانی و بالا سبب افزایش جذب شده است. همچنین در حالت استفاده از فوم ۴ سانتی متر و ضخامت لایه هوای ۱ سانتی متر در انتهای نمونه در مقایسه با فوم ۵ سانتی متر بدون لایه هوا در فرکانس های بالا ضریب جذب افزایش یافت (شکل ۴-۳۰).



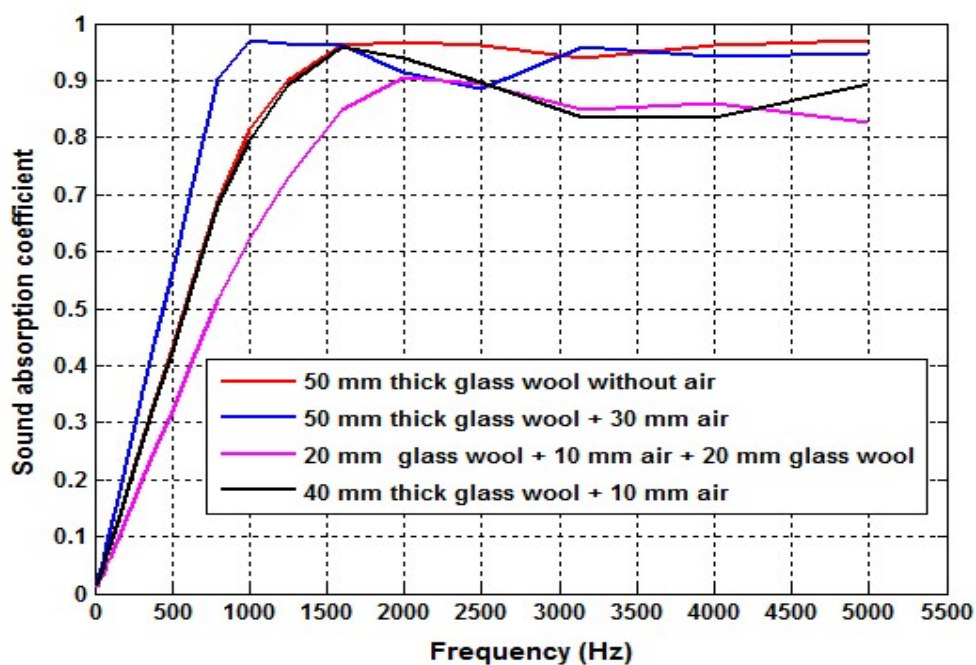
شکل (۴-۳) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب فوم پلی اورتان ۵۰ میلی متر

به طور کلی پشم شیشه یکی از بهترین جاذبهای صوتی می باشد که باتوجه به شکل ۴-۲۷، حضور ۵/۵ سانتی متر لایه هوا در انتهای نمونه ۲۵ میلی متر باعث افزایش قابل توجه ضریب جذب این نمونه در فرکانس های کمتر از ۳۰۰۰ هرتز گردید. بدین صورت که ضریب جذب بدون لایه هوا در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز برابر ۰/۳۳ بود و در حالت استفاده از لایه هوا به ۰/۹ افزایش یافت (شکل ۴-۳۱).

همچنین وجود ۳ سانتی متر هوا در انتهای پشم شیشه ۵۰ میلی متر سبب افزایش جذب در فرکانسهای صفر تا ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰ هرتز گردید. به طور کلی در این ضخامت نمونه استفاده از هوا به جای یک سانتی متر از نمونه منجر به کاهش ضریب جذب صوت شد و لایه هوایی میانی نیز کمترین ضرایب جذب را در فرکانس های پایین تر از ۲۰۰۰ هرتز نشان داد (شکل ۴-۳۲).



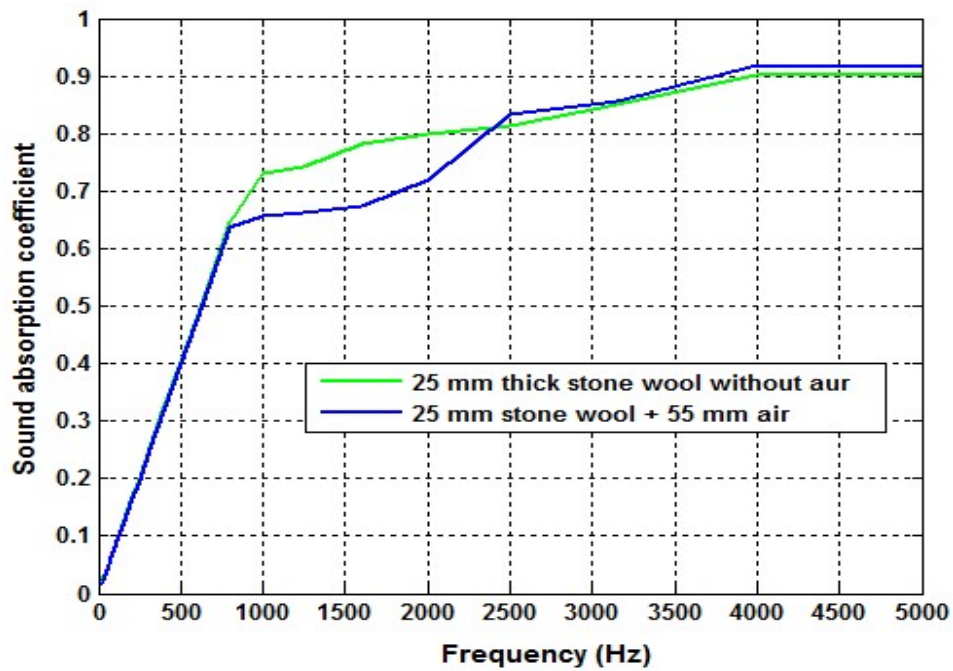
شکل (۴-۳۱) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پشم شیشه ۲۵ میلی متر



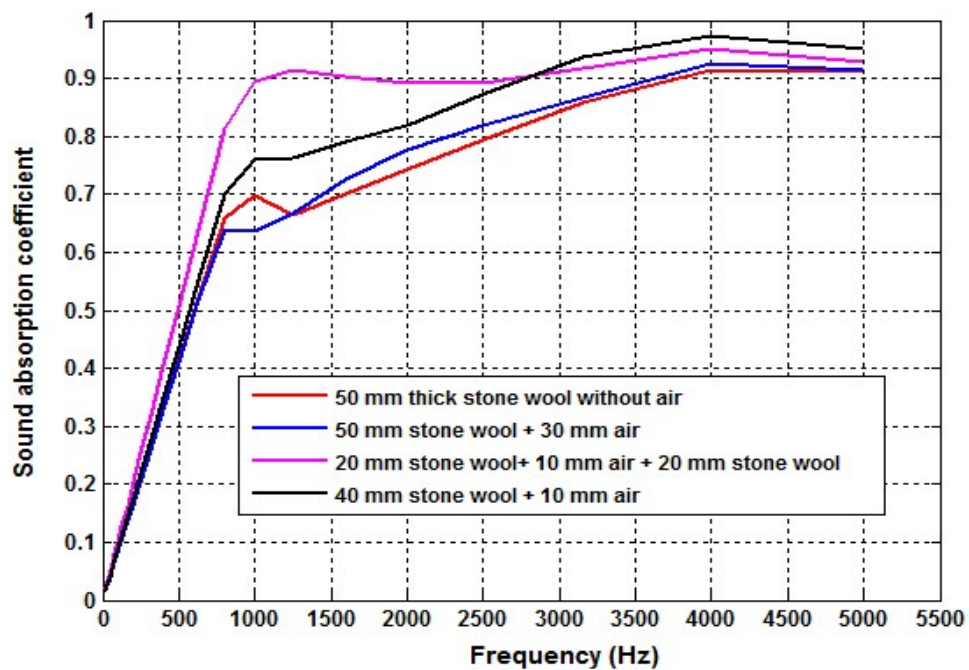
شکل (۴-۳۲) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پشم شیشه ۵۰ میلی متر

با توجه به شکل ۴-۳۳، هوا در انتهای نمونه پشم سنگ ۲۵ میلی متر در فرکانس های بالاتر از ۲۵۰۰ هرتز به میزان کمی سبب افزایش ضریب جذب گردید. همچنین در نمونه ۵۰ میلی متر از فرکانس ۱۲۵۰ هرتز به بالا نمونه بدون وجود لایه هوا کمترین ضریب جذب را نشان داد. در این

بین نمونه با یک سانتی متر هوای میانی بیشترین جذب را در فرکانس های کمتر از ۲۷۵۰ هرتز و یک سانتی متر هوا در انتها بیشترین جذب را در فرکانس های ۲۷۵۰ تا ۵۰۰۰ هرتز نشان داد (شکل ۴-۳۳ و ۴-۳۴).

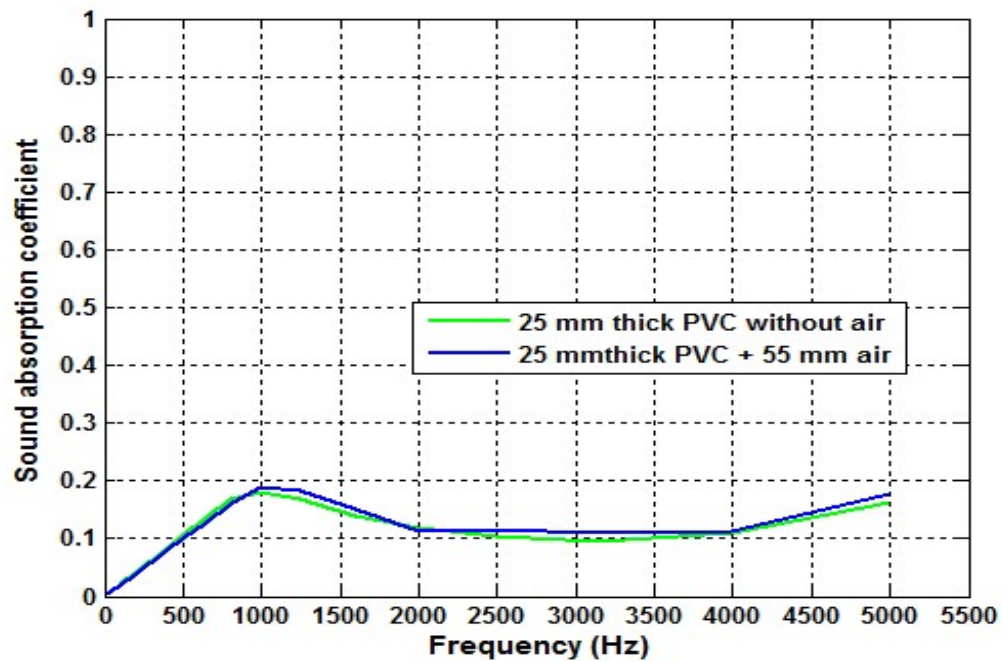


شکل (۴-۳۳) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پشم سنگ ۲۵ میلی متر

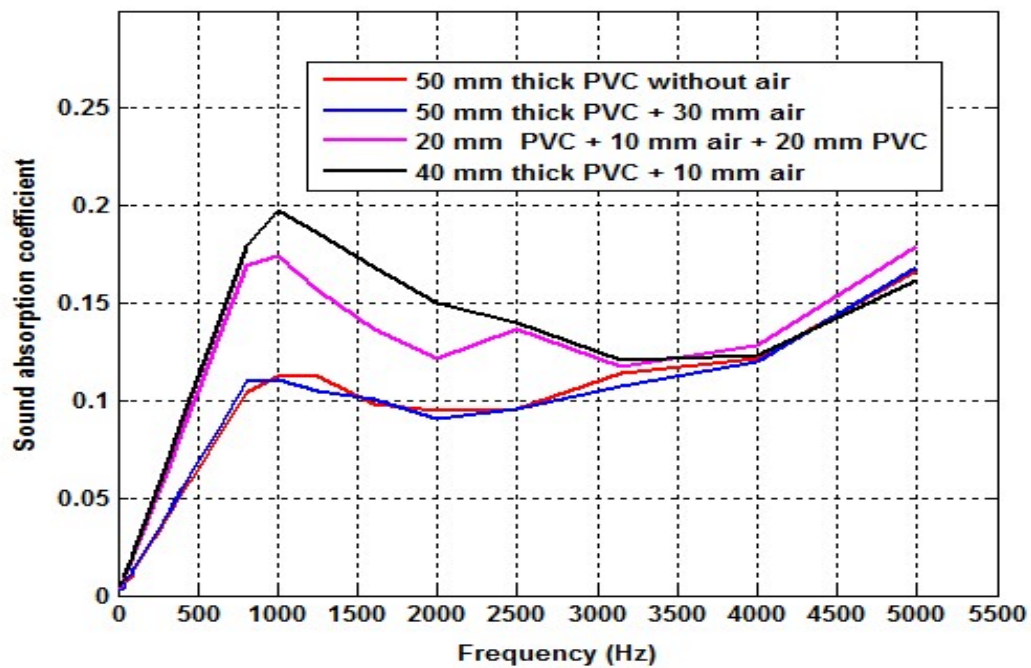


شکل (۴-۳۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پشم سنگ ۵۰ میلی متر

حضور لایه هوا برای نمونه ۲۵ میلی متر PVC تاثیر مهمی بر روی میزان ضریب جذب صوت این نمونه نشان نداد (شکل ۴-۳۵). همانطور که در شکل ۴-۳۶ مشاهده شد، قرار دادن ۱ سانتی متر هوا در انتها و سپس یک سانتی متر در بین نمونه ۴ سانتی متر به ترتیب سبب افزایش میزان ضریب جذب صوت در فرکانس های کمتر از ۳۰۰۰ هرتز گردید.



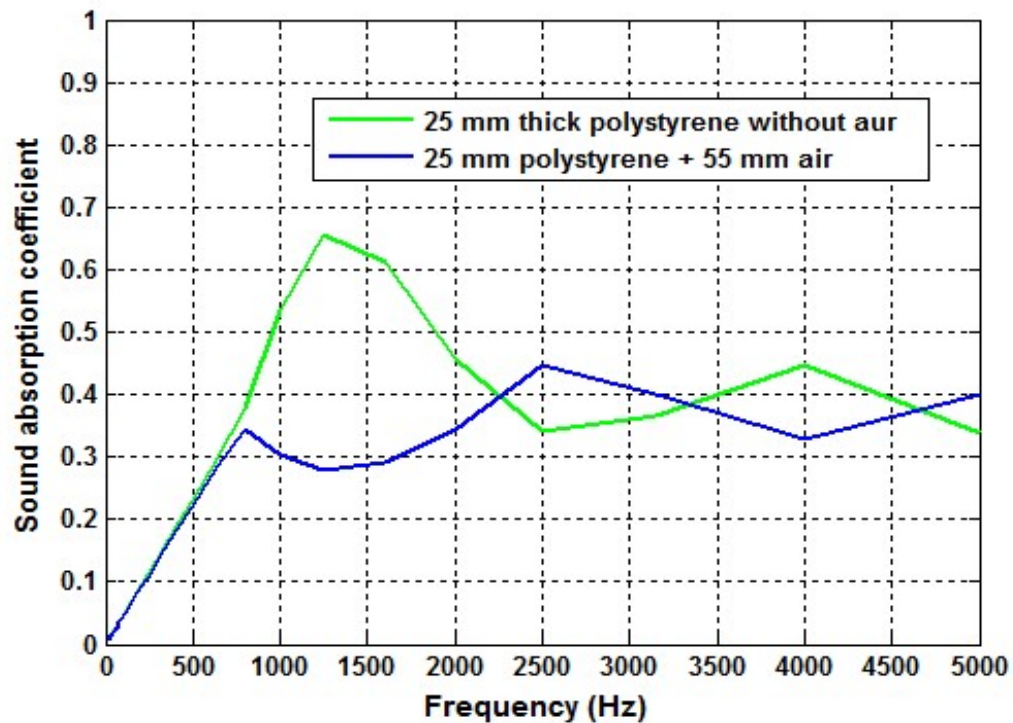
شکل (۳۵-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب PVC ۲۵ میلی متر



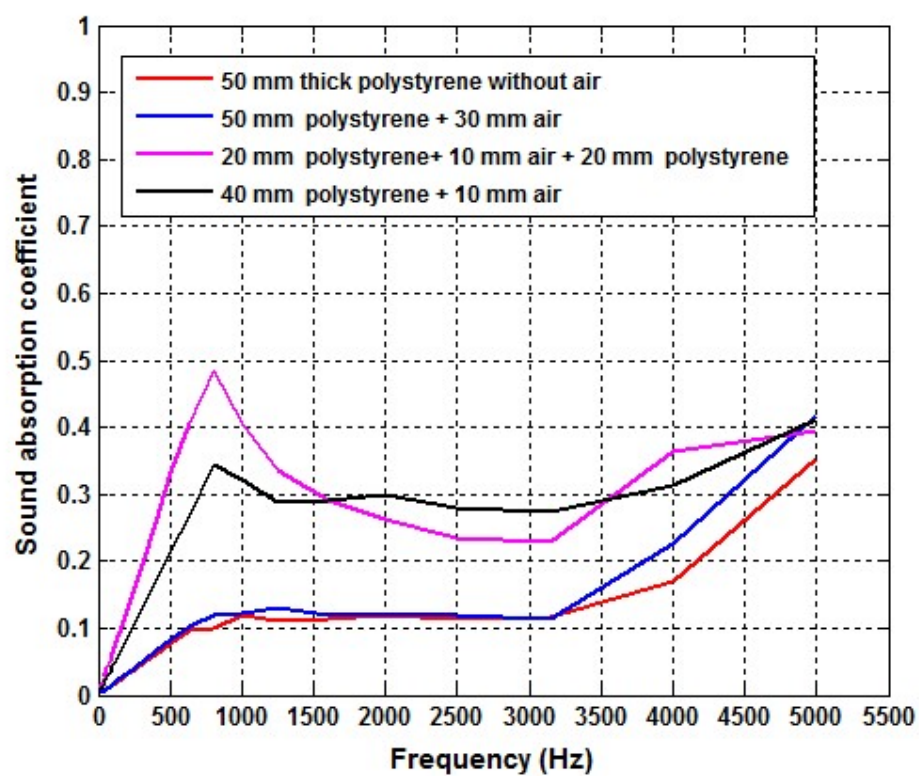
شکل (۳۶-۴) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب PVC ۵۰ میلی متر

عدم حضور لایه هوا در نمونه پلی استایرن تاثیر بسزایی را روی ضریب جذب نمونه در محدوده فرکانسی ۶۰۰ تا ۲۲۵۰ و ۳۳۰۰ تا ۴۶۰۰ هرتز داشت (شکل ۳۷-۴). اما با توجه به شکل ۳۸-۴،

برای نمونه با ضخامت ۵ سانتی متر عدم لایه هوا کمترین جذب را نشان داد، به طوری که استفاده از ۱ سانتی متر هوا به جای نمونه در انتها و بین پلی استایرن ۴ سانتی متر، سبب افزایش ضریب جذب در کلیه فرکانس ها نسبت به نمونه ۵ سانتی متر بدون لایه هوا شد.

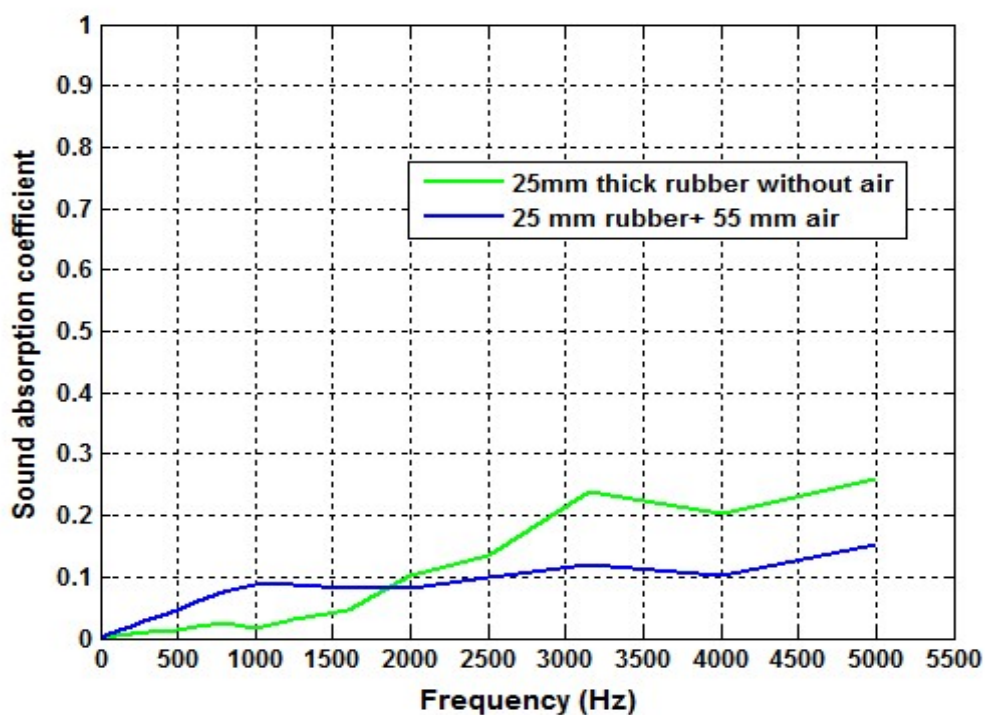


شکل (۴-۳۷) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پلی استایرن ۲۵ میلی متر



شکل (۴-۳۸) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب پلی استایرن ۵۰ میلی متر

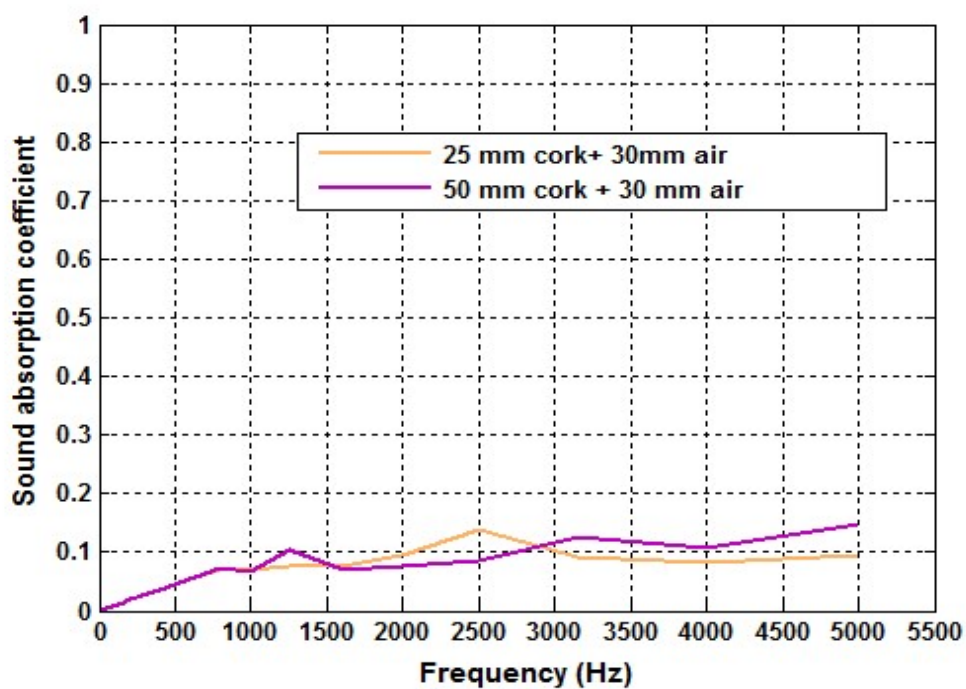
شکل ۴-۳۹ نشان داد که لاستیک بدون استفاده از لایه هوا از فرکانس ۱۹۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز ضریب جذب بالاتری نسبت به وجود لایه هوا در انتها دارد.



شکل (۴-۳۹) تاثیر لایه هوا بر ضریب جذب لاستیک ۲۵ میلی متر

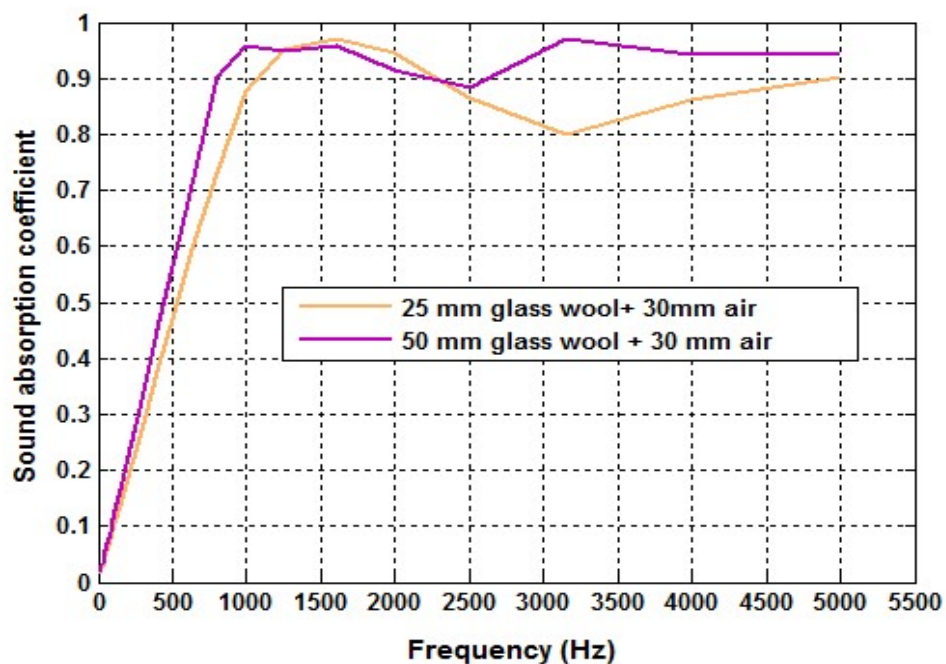
۴-۲-۵. تاثیر وجود ضخامت ثابت لایه هوا بر ضریب جذب نمونه با دو ضخامت مختلف:

با توجه به شکل ۴-۴۰ ضخامت بیشتر نمونه چوب پنبه به همراه لایه ثابت هوا در انتهای نمونه، ضریب جذب بالاتری در فرکانس های صفر تا ۱۵۰۰ و ۲۹۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز نسبت به ضخامت کمتر و لایه هوا نشان داد.

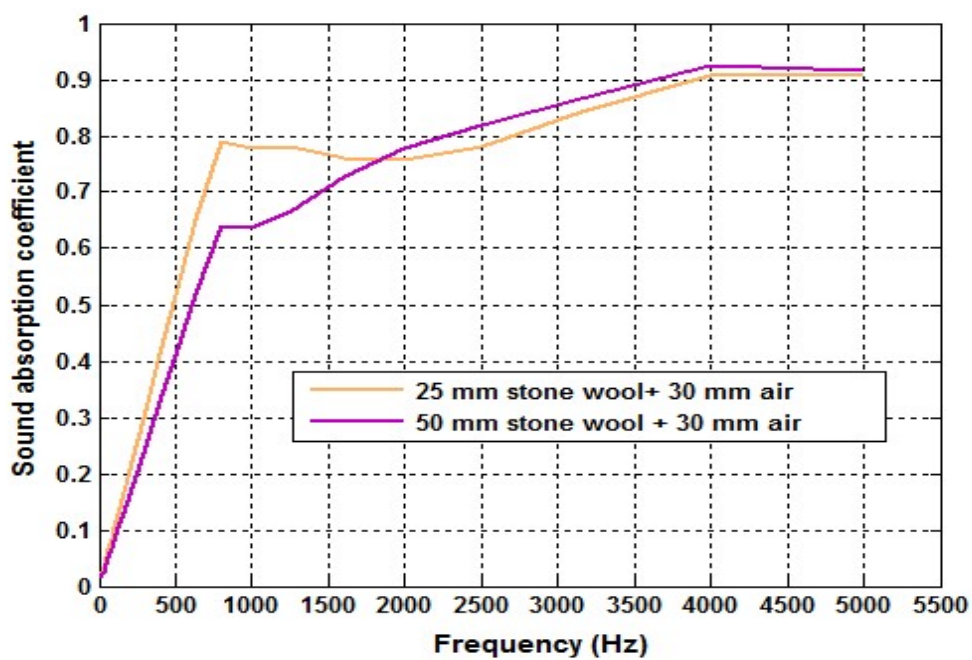


شکل (۴-۴۰) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر چوب پنبه

همچنین قرار دادن لایه هوای ۳ سانتی متر در انتهای ضخامت ۵۰ میلی متر نمونه پشم شیشه در همه فرکانس ها به جز ۱۲۵۰ تا ۲۴۰۰ هرتز تاثیر افزایشی را بر ضریب جذب نسبت به ضخامت کمتر این نمونه نشان داد. در نمونه پشم سنگ نیز استفاده از ضخامت کمتر نمونه به همراه هوا باعث افزایش جذب در فرکانس های پایین و میانی شد (شکل ۴-۴۲ و ۴-۴۱).

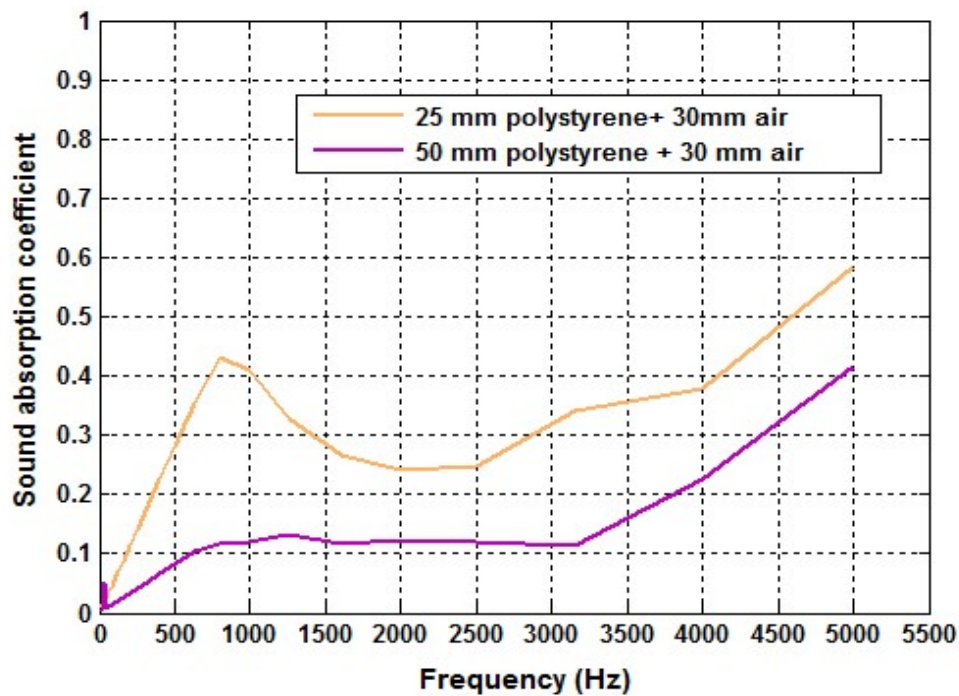


شکل (۴-۴۱) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر پشم شیشه

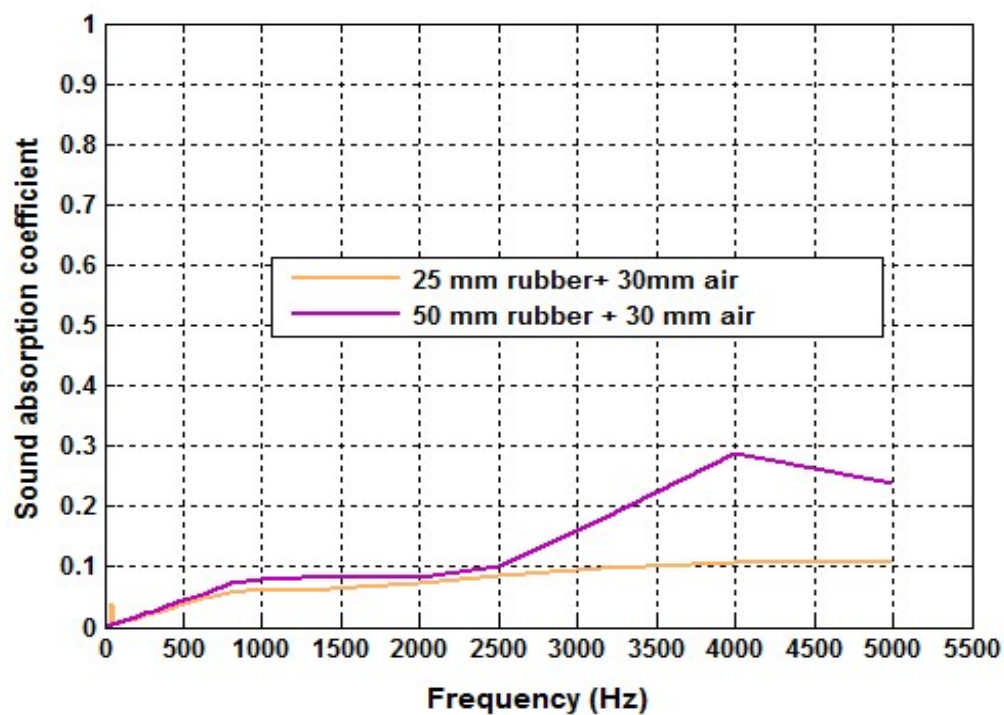


شکل (۴-۴۲) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر پشم سنگ

در نمونه پلی استایرن، استفاده از ضخامت کمتر نمونه به همراه لایه هوا باعث افزایش ضریب جذب در همه فرکانس ها شد در حالی که برای نمونه لاستیک، ضخامت بیشتر و ۳ سانتی متر هوا تاثیر موثرتری را در فرکانس های بالا نشان داد (شکل ۴-۴۴ و ۴-۴۳).

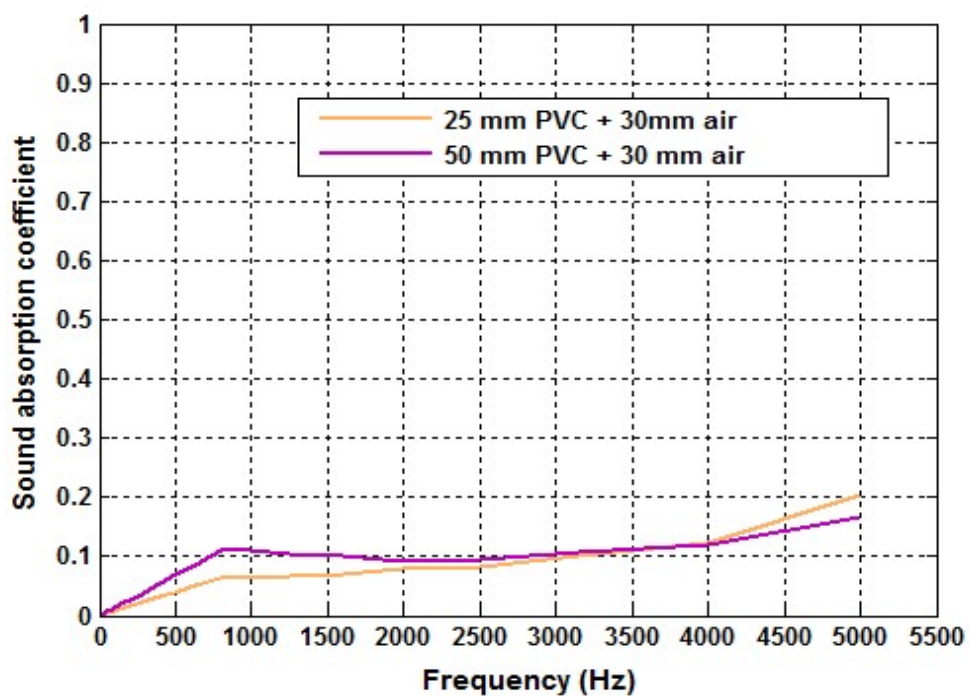


شکل (۴-۴۳) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر پلی استایرن



شکل (۴-۴۴) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر لاستیک

با توجه به شکل ۴-۴۵ نیز ضخامت بیشتر پلی وینیل کلراید به همراه لایه هوای ثابت نسبت به ضخامت کمتر این نمونه ضریب جذب بالاتری را در فرکانس های میانی و بالا نشان داد که این اختلاف، میزان قابل ملاحظه ای نبود.

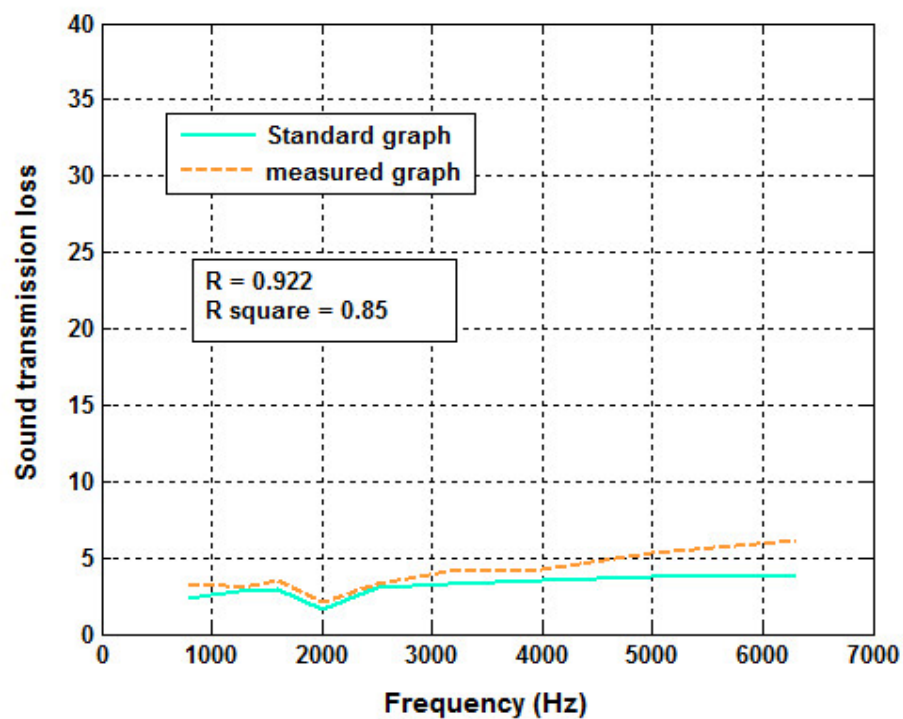


شکل (۴-۴۵) مقایسه وجود لایه هوا در انتهای دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر پلی وینیل کلراید

۳-۴. افت انتقال صوت:

۳-۴-۱. امکان سنجی و قابلیت اطمینان لوله امپدانس (مقایسه افت انتقال):

بر اساس شکل زیر نمودار افت انتقال فوم استاندارد اندازه گیری شده در شرایط آزمایشگاهی با نمودار افت انتقال استاندارد دریافت شده از شرکت BSWA با ضریب همبستگی 0.92 ($P < 0.001$) و $R^2 = 0.85$ دارای رابطه مستقیم می باشند. (شکل ۴-۴۶)



شکل (۴-۴۶) مقایسه مقادیر افت انتقال استاندارد با مقادیر اندازه گیری شده فوم استاندارد شرکت BSWA با ضخامت ۲۵ میلی متر

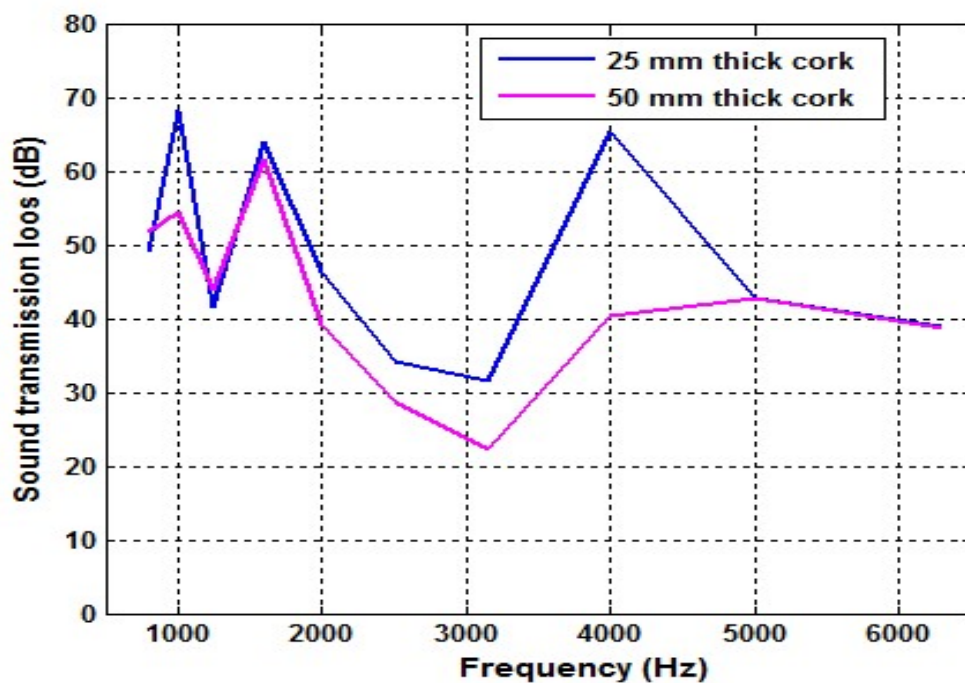
جدول زیر مقادیر حداکثر و حداقل افت انتقال صوت را برای نمونه های مورد آزمایش در دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر گزارش می دهد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار افت انتقال مربوط به نمونه چوب پنبه ۲۵ میلی متر و کمترین افت برای نمونه پشم شیشه ۲۵ میلی متر بود.

جدول (۴-۲) مقادیر حداکثر و حداقل افت انتقال صوتی نمونه های جاذب

نوع ماده جاذب		حداکثر افت انتقال صوت		حداقل ضریب افت انتقال	
مقدار (دسی بل)		فرکانس (هرتز)		مقدار (دسی بل)	
				فرکانس (هرتز)	
چوب پنبه ۲۵ میلی متر (چگالی 390 kg/m^3)		۶۵/۴۲۲		۳۱۵۰	
چوب پنبه ۵۰ میلی متر (چگالی 390 kg/m^3)		۶۱/۶۱۴		۳۱۵۰	
فوم پلی اورتان منفذ باز ۲۵ میلی متر (چگالی ۴۳ kg/m^3)		۲۴/۷		۴۰۰۰	
فوم پلی اورتان منفذ باز ۵۰ میلی متر (چگالی ۴۳ kg/m^3)		۴۰/۸۹۹		۳۱۵۰	
پشم شیشه ۲۵ میلی متر (چگالی 15 kg/m^3)		۱۲/۱۶۲		۸۰۰	
پشم شیشه ۵۰ میلی متر (چگالی 15 kg/m^3)		۱۷/۵۴۱		۱۲۵۰	
پشم سنگ ۲۵ میلی متر (چگالی 40 kg/m^3)		۲۳/۴۲۴		۸۰۰	
پشم سنگ ۵۰ میلی متر (چگالی 40 kg/m^3)		۳۷/۴۴۲		۸۰۰	
پلی استایرن ۲۵ میلی متر (چگالی 18 kg/m^3)		۱۸/۳۶۱		۳۱۵۰	
پلی استایرن ۵۰ میلی متر (چگالی 18 kg/m^3)		۳۳/۱۸۲		۴۰۰۰	
پلی وینیل کلراید ۲۵ میلی متر (چگالی ۶۱۶ kg/m^3)		۴۷/۷۵		۳۱۵۰	
پلی وینیل کلراید ۵۰ میلی متر (چگالی ۶۱۶ kg/m^3)		۵۴		۵۰۰۰	
لاستیک ۲۵ میلی متر (چگالی 89 kg/m^3)		۵۸/۵۵۴		۳۱۵۰	
لاستیک ۵۰ میلی متر (چگالی 89 kg/m^3)		۶۳/۰۳		۳۱۵۰	

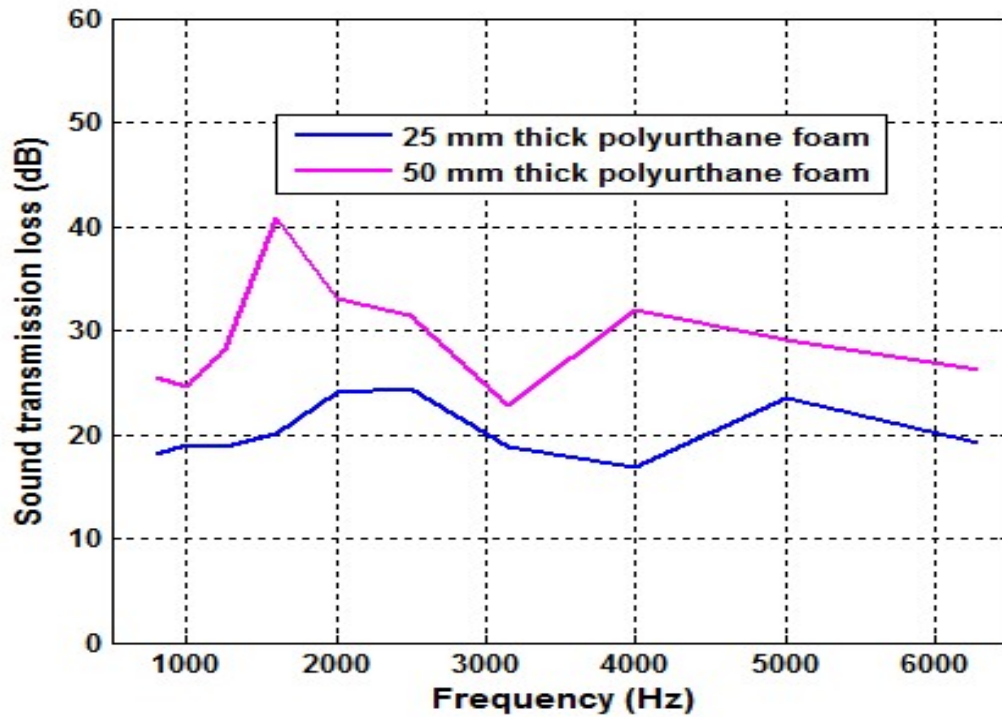
۴-۳-۲. تاثیر ضخامت نمونه بر افت انتقال:

برای نمونه چوب پنبه، ضخامت کمتر سبب افزایش قابل ملاحظه‌ی افت انتقال در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز و همچنین محدوده فرکانسی ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز گردید، به طوری که تفاوت مقدار افت در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز برای دو ضخامت برابر ۲۵/۱ دسی بل بود (شکل ۴-۴۷).



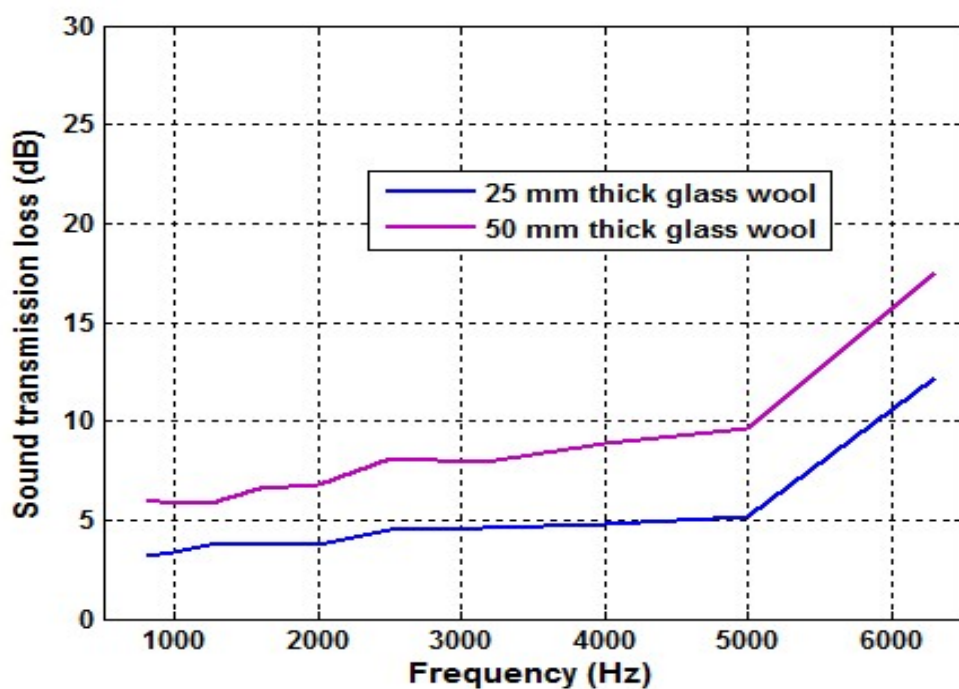
شکل (۴۷-۴) افت انتقال چوب پنبه ۲۵ و ۵۰ میلی متر

شکل ۴-۴۸ نشان داد که در فوم پلی اورتان در همه فرکانس ها با افزایش ضخامت میزان افت انتقال صوت نیز افزایش یافت. همچنین حداکثر افت صدا برای نمونه ۵۰ میلی متر در فرکانس ۱۶۰۰ هرتز و برابر ۴۰/۹ دسی بل بود که این میزان برای ضخامت ۲۵ میلی متر به عدد ۲۰/۰۶ دسی بل کاهش یافت.

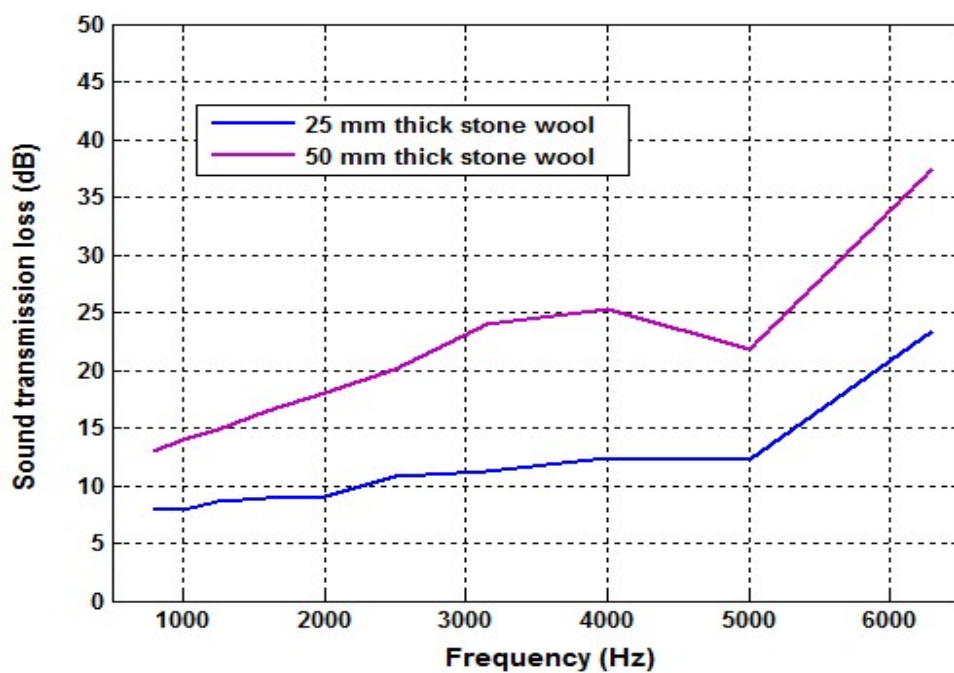


شکل (۴-۴۸) افت انتقال پلی استایرن ۲۵ و ۵۰ میلی متر

با توجه به شکل های ۴-۴۹ و ۴-۵۰ افزایش ضخامت سبب افزایش افت انتقال در کلیه فرکانس ها برای هر دو نمونه پشم شیشه و پشم سنگ شد. همچنین به طور کلی پشم سنگ در هر دو ضخامت افت بالاتری را نسبت به نمونه پشم شیشه با ضخامت مشابه نشان داد.



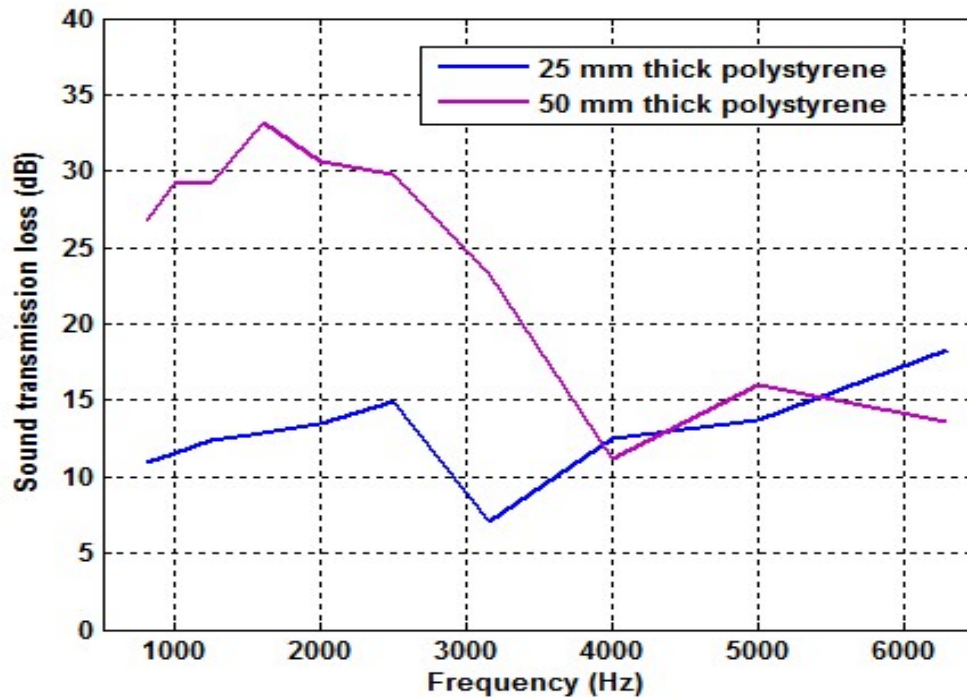
شکل (۴-۴) افت انتقال پشم شیشه ۲۵ و ۵۰ میلی متر



شکل (۴-۵) افت انتقال پشم سنگ ۲۵ و ۵۰ میلی متر

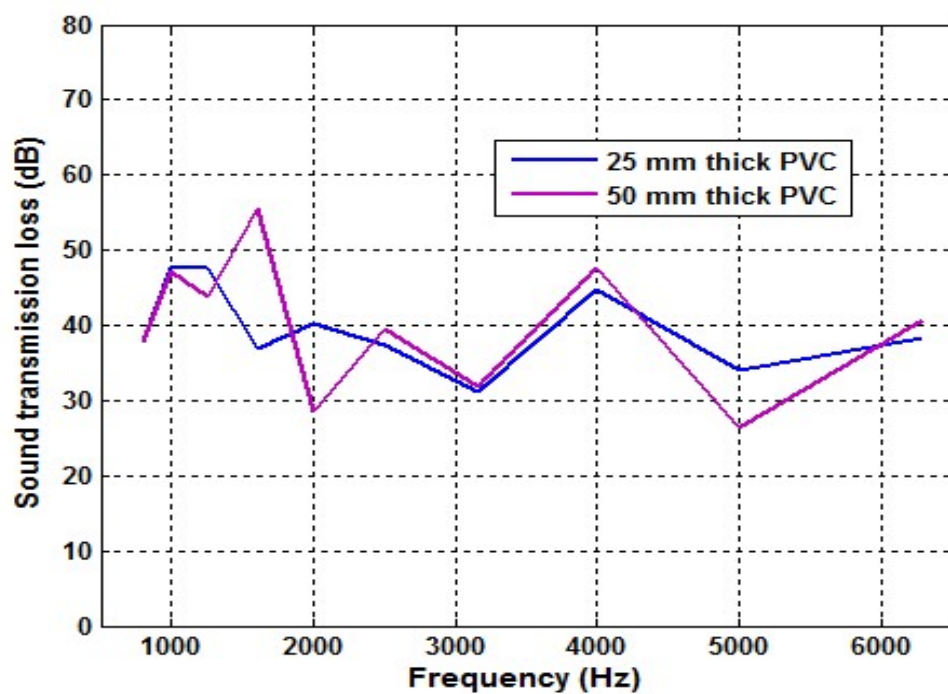
برای نمونه پلی استایرن استفاده از ضخامت بیشتر، اثر چشمگیری بر روی افت انتقال در فرکانس های کمتر از ۴۰۰۰ هرتز داشت، به طوری که افت انتقال برای نمونه ۵ سانتی متر در فرکانس

۱۶۰۰ هرتز حدود ۲۰/۳۳ دسی بل بیشتر از ضخامت ۲/۵ سانتی متر بود. از حدود فرکانس ۵۵۰۰ هرتز به بعد، استفاده از ضخامت کمتر سبب افزایش افت انتقال گشت (شکل ۴-۵۱).

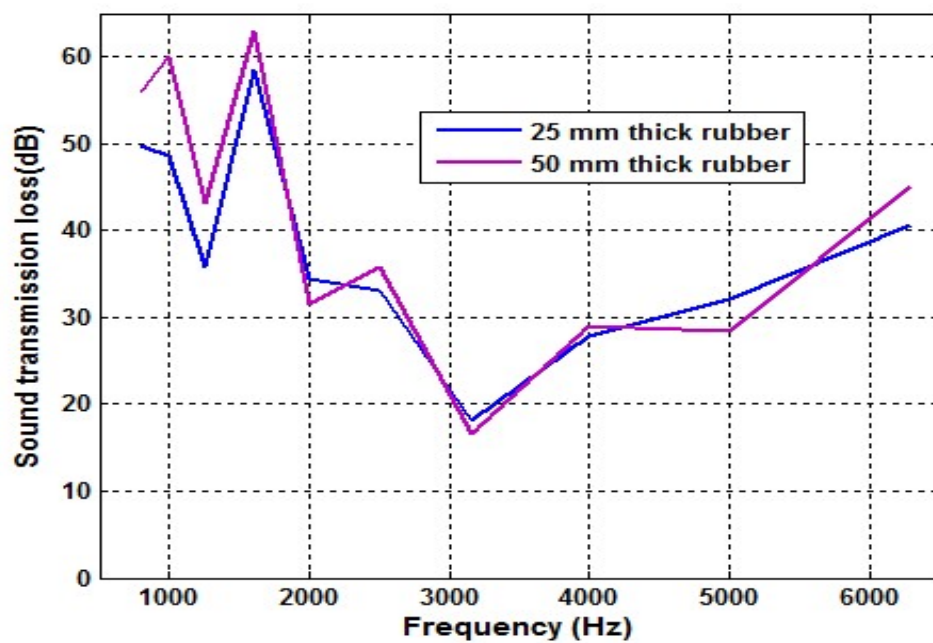


شکل (۴-۵۱) افت انتقال پلی استایرن ۲۵ و ۵۰ میلی متر

با توجه به شکل های ۴-۵۲ و ۴-۵۳، برای نمونه های پلی وینیل کلراید و لاستیک نظم مشخصی در ارتباط با ضخامت و افت انتقال وجود نداشت ولی در هر دو نمونه بین میزان افت انتقال دو ضخامت تفاوت قابل ملاحظه ای مشاهده نشد.



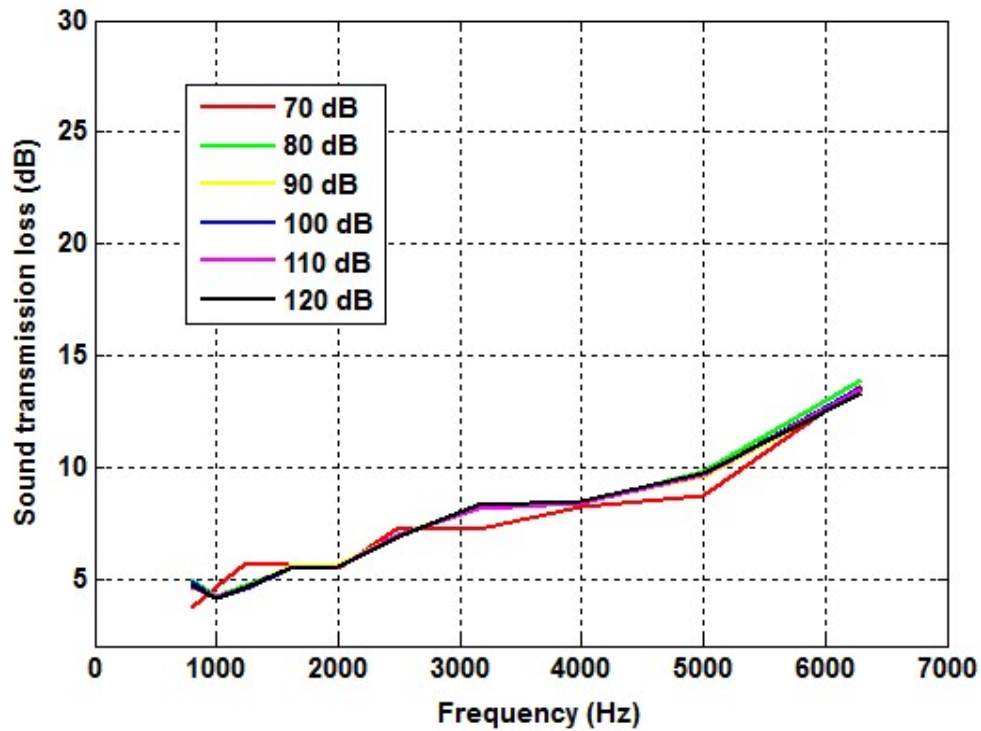
شکل (۴-۵۲) افت انتقال پلی وینیل کلراید ۲۵ و ۵۰ میلی متر



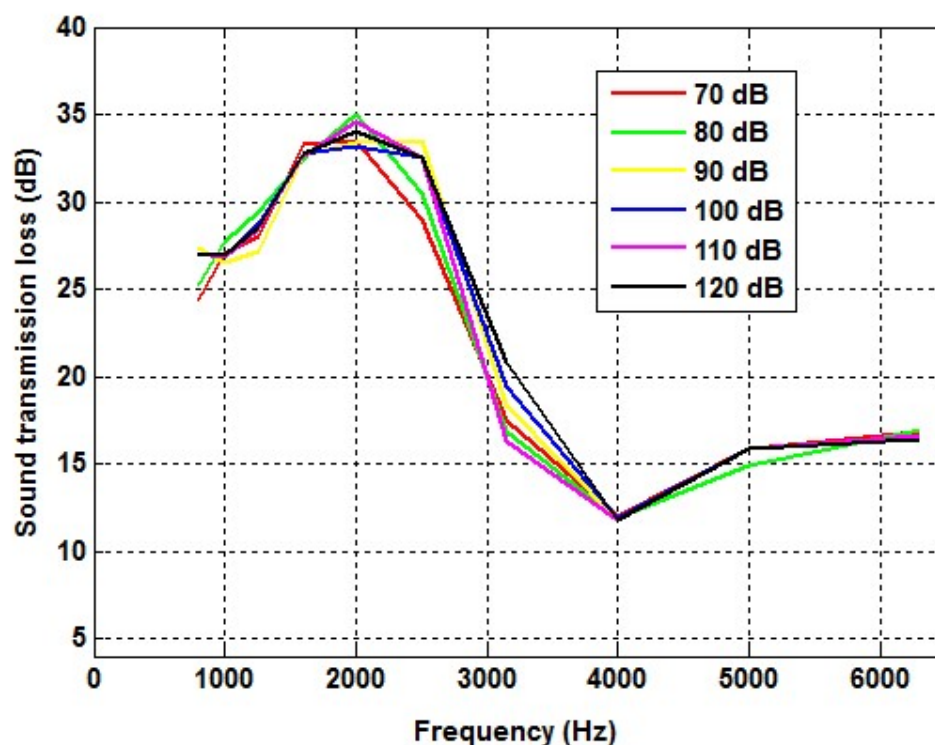
شکل (۴-۵۳) افت انتقال لاستیک ۲۵ و ۵۰ میلی متر

۴-۳-۳. تاثیر شدت صوت بر افت انتقال:

مشابه با نتایج شدت صوت بر روی ضریب جذب، برای افت انتقال هر دو نمونه پشم شیشه و پلی استایرن ۵۰ میلی متر نیز، میزان شدت صوت تاثیر ناچیزی را نشان داد (شکل ۴-۵۵ و ۴-۵۴).



شکل (۴-۵۴) تاثیر شدت صوت بر افت انتقال پشم شیشه ۵۰ میلی متر

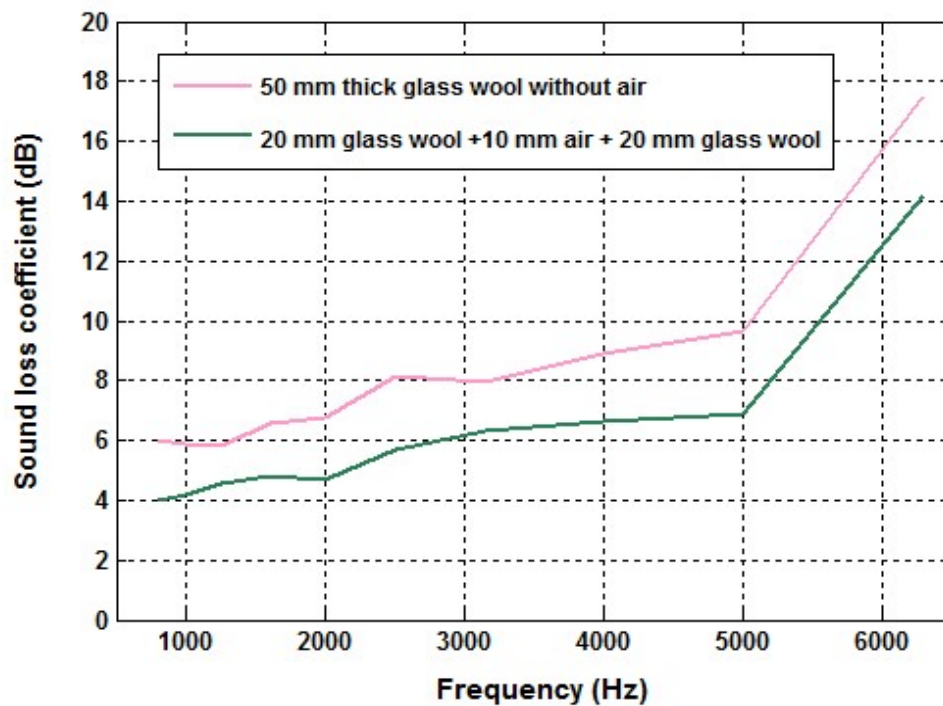


شکل (۴-۵۵) تاثیر شدت صوت بر افت انتقال فوم پلی استایرن ۵۰ میلی متر

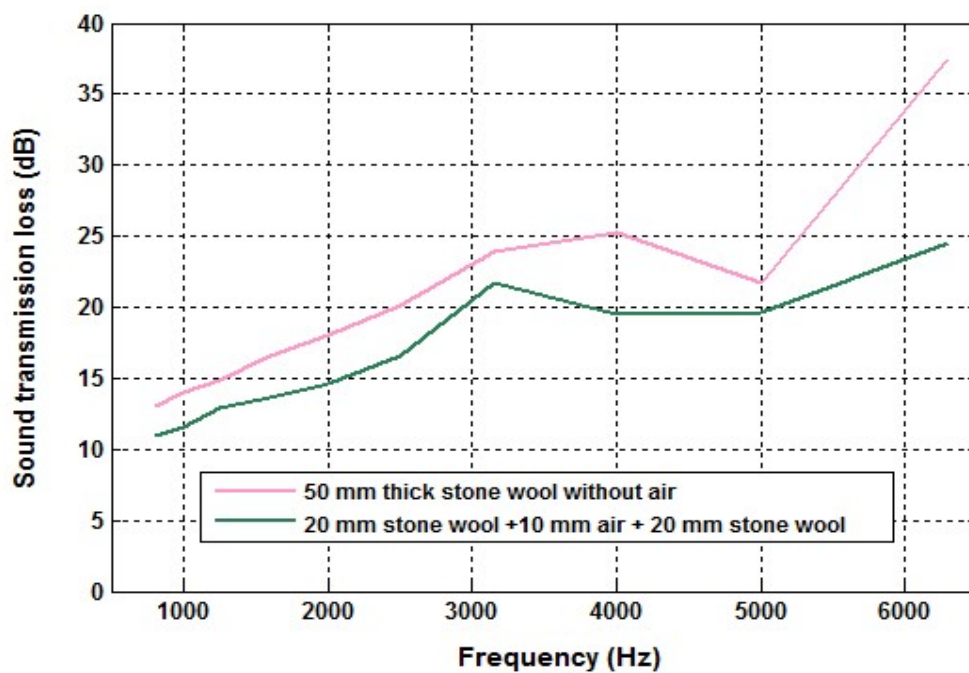
۴-۳-۴. تاثیر وجود لایه هوا بر روی افت انتقال:

به منظور تعیین اثر لایه هوا بر روی افت انتقال، ابتدا ۲ سانتی متر نمونه سپس ۱ سانتی متر هوا و مجدداً ۲ سانتی متر نمونه استفاده شد. در شکل های ۴-۵۶ تا ۴-۵۸، تاثیر لایه هوا بر روی افت انتقال نمونه های پشم شیشه، پشم سنگ و فوم پلی استایرن مشخص گردید.

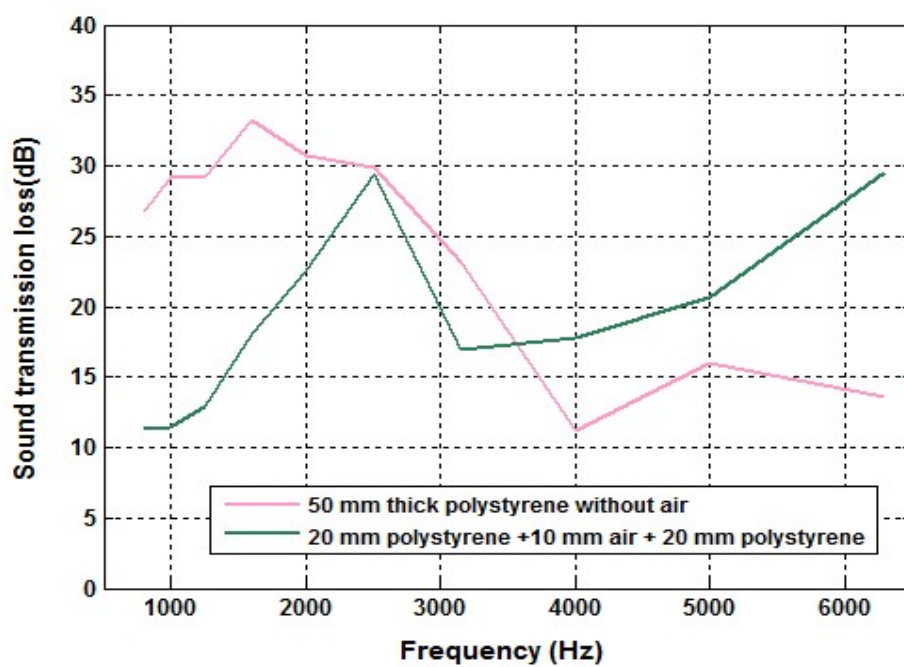
در نمونه های پشم شیشه و پشم سنگ مشاهده شد که وجود لایه هوا به ازای یک سانتی متر از نمونه اصلی در بین نمونه سبب کاهش افت انتقال صوت گردید. همچنین وجود لایه هوای میانی برای نمونه پلی استایرن سبب افزایش میزان افت انتقال از فرکانس ۳۵۰۰ هرتز به بالا شد (شکل ۴-۵۸ تا ۴-۵۶).



شکل (۴-۵۶) تاثیر لایه هوا بر افت انتقال پشم شیشه ۵۰ میلی متر



شکل (۴-۵۷) تاثیر لایه هوا بر افت انتقال پشم سنگ ۵۰ میلی متر



شکل (۴-۵۸) تاثیر لایه هوا بر افت انتقال پلی استایرن ۵۰ میلی متر

۴-۴. نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه صوت:

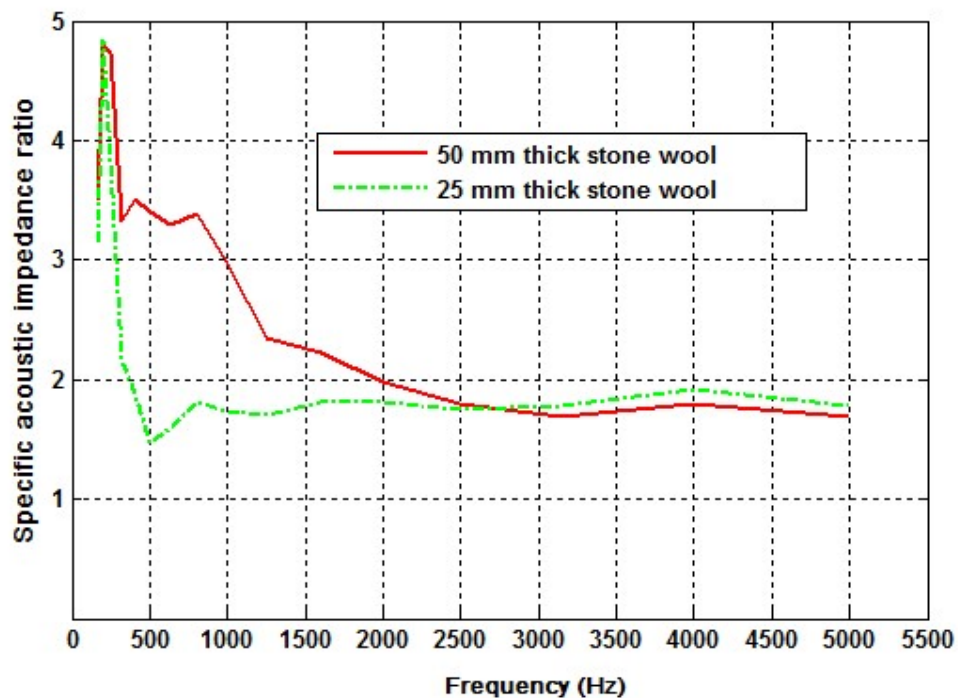
جدول زیر مقادیر حداکثر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه را برای هردو نمونه پشم سنگ و لاستیک در بین حالات بدون استفاده از هوا و به همراه لایه هوا نشان می دهد.

جدول (۳-۴) حداکثر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه (۳)

نوع ماده	چگالی	ضخامت لایه هوا	فرکانس (هرتز)	حداکثر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه
پشم سنگ ۲۵ میلی متر	40 kg/m^3	بدون لایه هوا	۲۰۰	۴/۸۳۹
پشم سنگ ۵۰ میلی متر	40 kg/m^3	بدون لایه هوا	۲۰۰	۴/۷۹۷
لاستیک ۲۵ میلی متر	1507 kg/m^3	۵ سانتی متر لایه هوا	۱۶۰	۸۱/۲۷۵
لاستیک ۵۰ میلی متر	1507 kg/m^3	۳ سانتی متر لایه هوا	۱۶۰	۲۲۱/۲
پشم سنگ ۲۵ میلی متر	80 kg/m^3	بدون لایه هوا	۱۶۰	۲/۸۷۷
پشم سنگ ۵۰ میلی متر	80 kg/m^3	بدون لایه هوا	۱۶۰	۳/۵۷۲
پشم سنگ ۲۵ میلی متر	120 kg/m^3	بدون لایه هوا	۱۶۰	۳/۶۹۹
پشم سنگ ۵۰ میلی متر	120 kg/m^3	بدون لایه هوا	۱۰۰۰	۲/۵۷۸
لاستیک ۲۵ میلی متر	1058 kg/m^3	بدون لایه هوا	۱۲۵۰	۱۲۸/۶۱۶
لاستیک ۵۰ میلی متر	1058 kg/m^3	بدون لایه هوا	۱۰۰۰	۹۹/۳۲۵
لاستیک ۲۵ میلی متر	1252 kg/m^3	بدون لایه هوا	۱۲۵۰	۱۱۸/۵۹۱
لاستیک ۵۰ میلی متر	1252 kg/m^3	بدون لایه هوا	۱۰۰۰	۱۳۷/۲

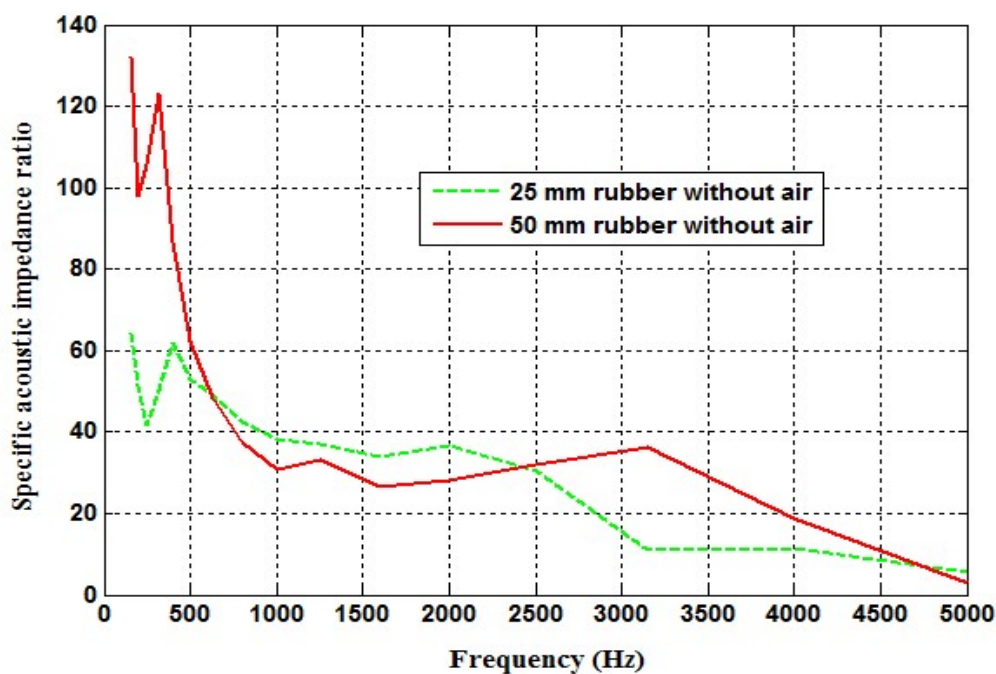
۴-۴-۱. تاثیر ضخامت بر نسبت امپدانس آکوستیک ویژه:

ضخامت بالاتر نمونه پشم سنگ در رنج فرکانسی ۱۶۰ تا ۲۵۰۰ هرتز امپدانس بالاتری داشت اما در فرکانس های بالا با افزایش ضخامت میزان امپدانس کاهش یافت (شکل ۴-۵۹).



شکل (۴-۵۹) نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه پشم سنگ ۲۵ و ۵۰ میلی متر

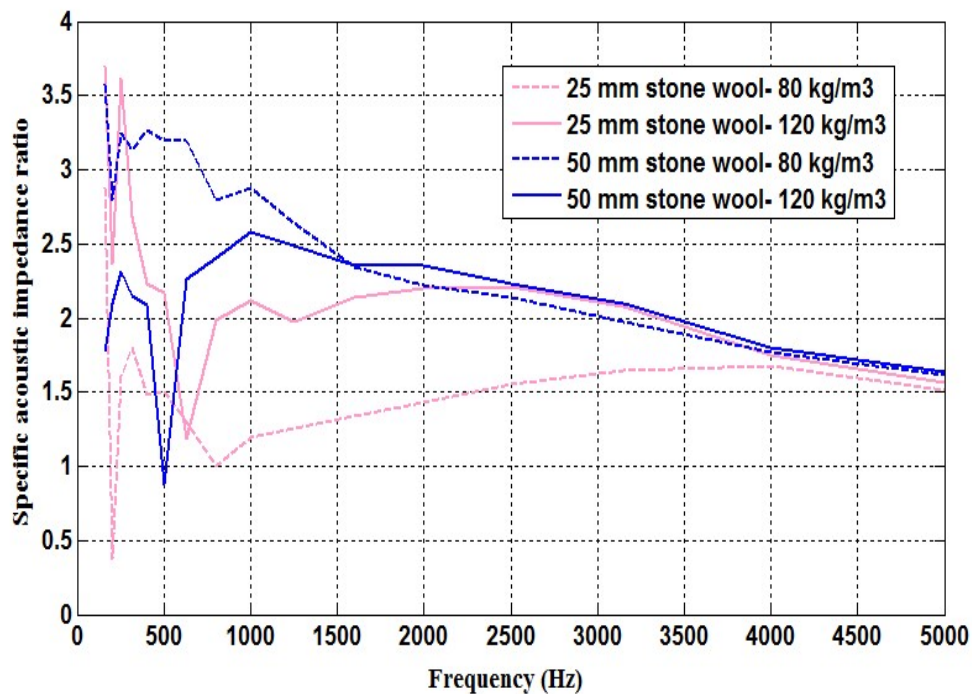
از مقایسه امپدانس در دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر نمونه لاستیک نیز مشخص شد که نسبت امپدانس با افزایش ضخامت در همه فرکانس ها به جز ۸۰۰ تا ۲۵۰۰ هرتز افزایش یافت (شکل ۴-۶۰).



شکل (۴-۶) نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه لاستیک ۲۵ و ۵۰ میلی متر

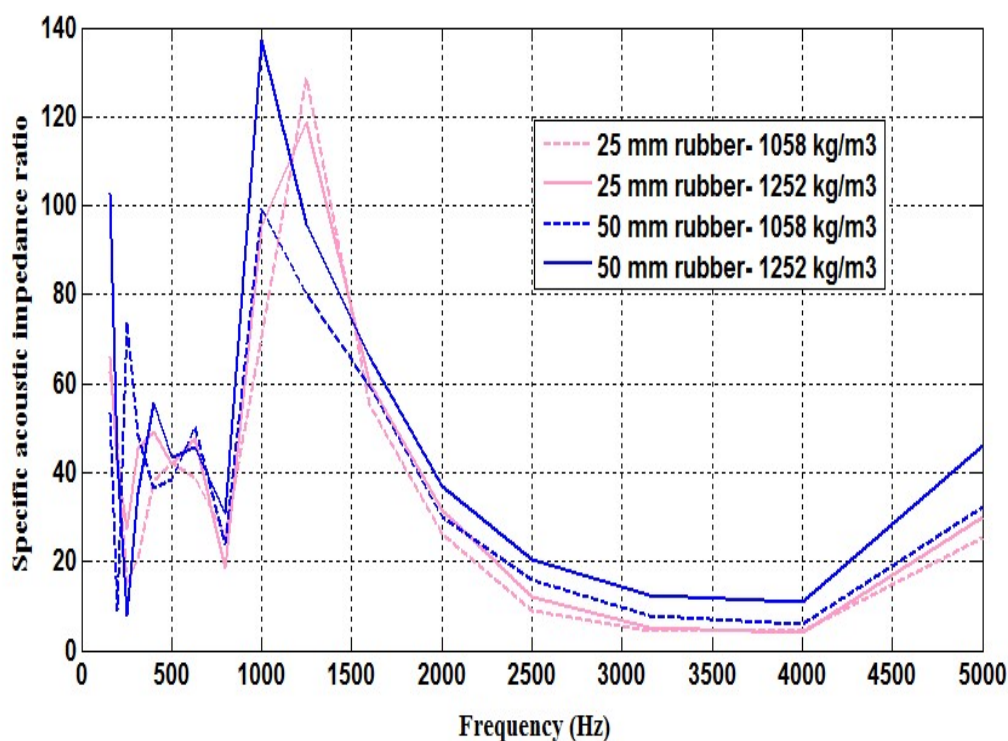
۴-۴-۲. تاثیر چگالی بر نسبت امپدانس آکوستیک ویژه:

با توجه به شکل ۴-۶، در پشم سنگ با ضخامت ۲۵ میلی متر، نمونه با چگالی ۱۲۰ در همه فرکانس ها به جز فرکانس ۶۳۰ هرتز دارای امپدانس بالاتری بود. همچنین نمونه پشم سنگ با ضخامت ۵۰ میلی متر و چگالی ۱۲۰ نیز در فرکانس های بالاتر از ۱۶۰۰ هرتز میزان امپدانس بالاتری را نسبت به همین نمونه با چگالی کمتر نشان داد



شکل (۴-۶۱) تاثیر چگالی بر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه پشم سنگ ۲۵ و ۵۰ میلی متر در دو چگالی ۸۰ و ۱۲۰ kg/m^3

برای نمونه لاستیک با ضخامت ۲۵ میلی متر مشاهده گردید که میزان امپدانس با چگالی بالاتر (۱۲۵۲) در همه فرکانس ها به جز فرکانس های ۲۰۰، ۵۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۵۰ تا ۱۵۰۰ مقادیر بالاتری داشت که البته مقادیر اختلاف ناچیز می باشد. به علاوه در لاستیک با ضخامت ۵۰ و چگالی ۱۵۰۸ فقط در فرکانس های ۲۵۰ تا ۳۱۵ هرتز و ۶۳۰ هرتز مقادیر بالاتری از امپدانس مشاهده شد و در بقیه موارد چگالی بالاتر عملکرد بهتری داشت به طوری که اختلاف امپدانس دو چگالی در این نمونه برای فرکانس ۱۰۰۰ هرتز برابر با ۳۸ می باشد (شکل ۴-۶۲).

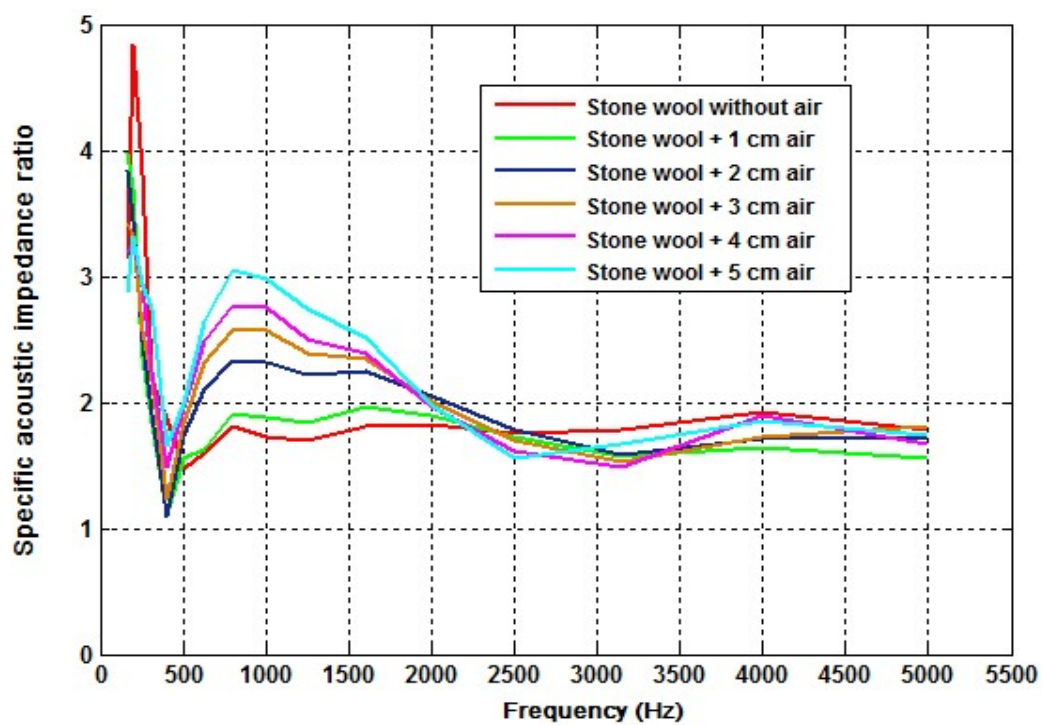


شکل (۴-۶) تاثیر چگالی بر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه لاستیک ۲۵ و ۵۰ میلی متر در دو چگالی ۱۰۵۸ و ۱۲۵۲ kg/m³

۴-۴-۳. تاثیر لایه هوا بر نسبت امپدانس آکوستیک ویژه:

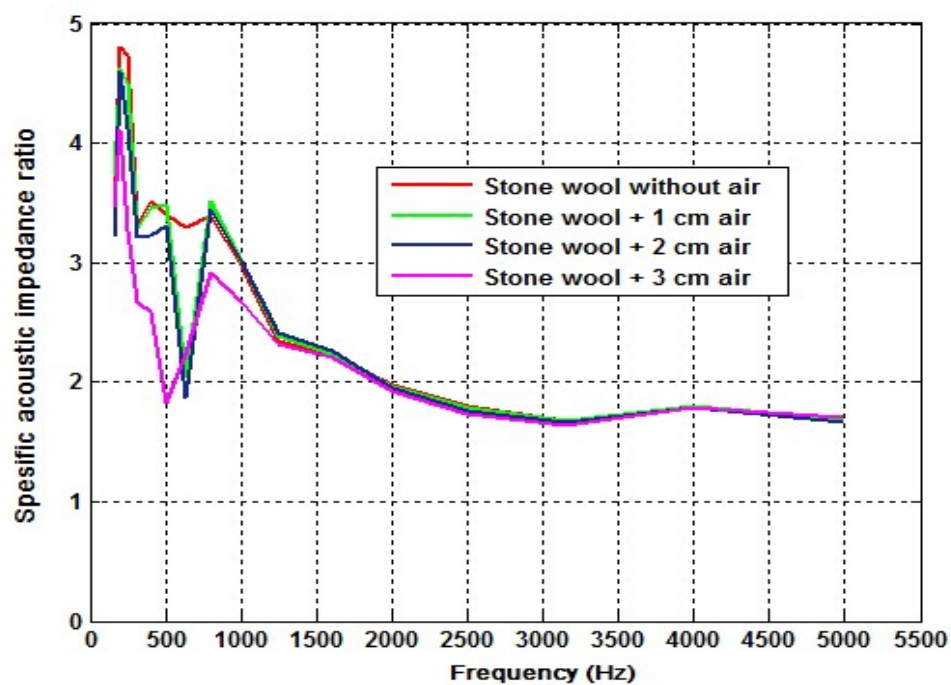
با توجه به بررسی های انجام شده بر روی نسبت امپدانس ویژه آکوستیک مربوط به پشم سنگ با ضخامت ۲۵ میلی متر مشاهده شد که امپدانس در فرکانس های کمتر از ۲۵۰ هرتز، بالاترین مقدار را داشت. سپس در حدود فرکانس ۴۰۰ هرتز دچار افت شد و مجدداً از فرکانس ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هرتز میزان امپدانس افزایش یافت.

در فرکانس های پایین با افزایش لایه هوا میزان امپدانس ویژه کاهش یافت به صورتی که بیشترین میزان امپدانس در حالت عدم وجود لایه هوا در پشت نمونه اتفاق افتاد. اما در فرکانس های ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ هرتز با افزایش لایه هوا در پشت ماده، میزان امپدانس نیز افزایش یافت (شکل ۴-۶۳).



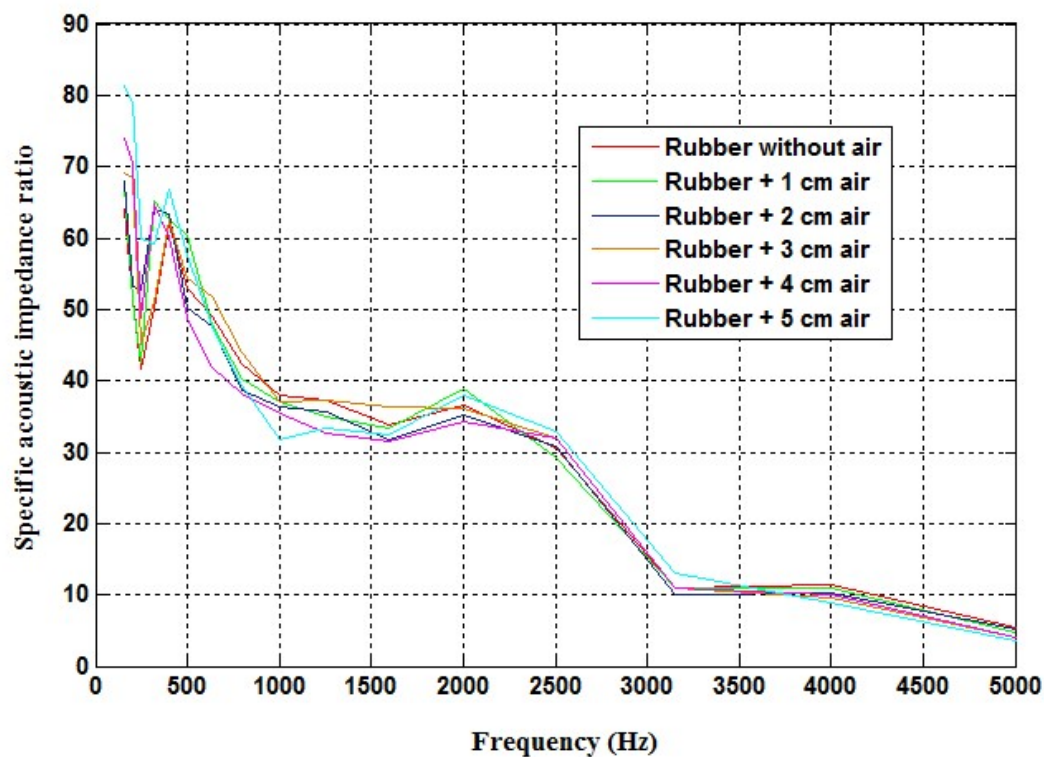
شکل (۴-۶۳) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه پشم سنگ ۲۵ میلی متر

همچنین در پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی متر نیز با افزایش لایه هوا میزان امپدانس در فرکانس های کمتر از ۱۰۰ هرتز کاهش یافت (شکل ۴-۶۴).



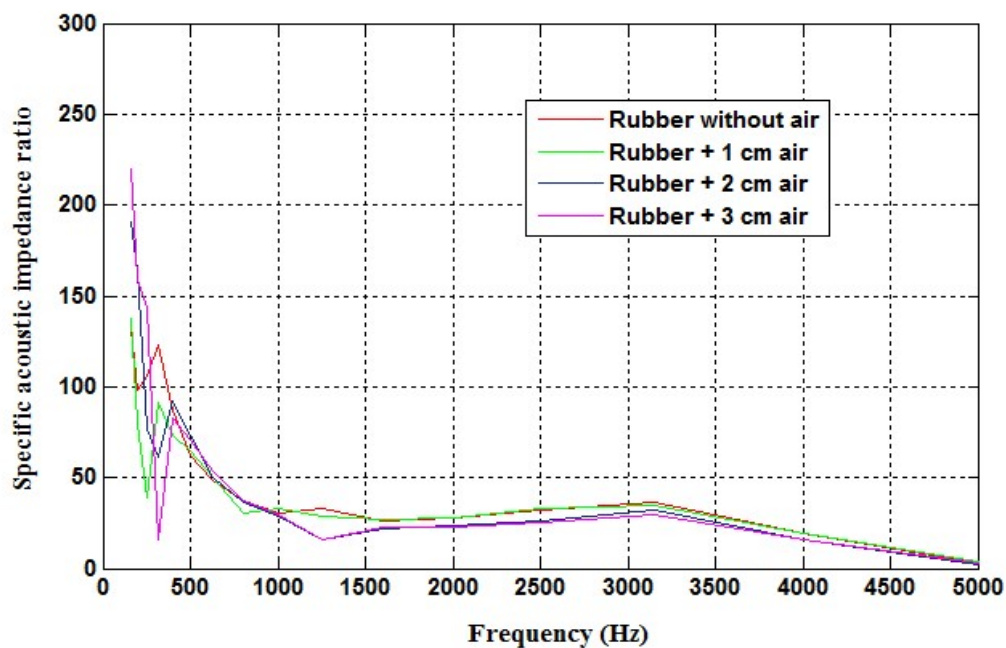
شکل (۴-۶۴) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر نسبت امپدانس آکوستیکی ویژه پشم سنگ ۵۰ میلی متر

در محدوده فرکانسی ۱۶۰ تا ۲۰۰ هرتز برای نمونه لاستیک با ضخامت ۲۵ میلی متر و ۵۰ میلی متر لایه هوا، بیشترین میزان امپدانس نشان داده شد. به علاوه با افزایش فرکانس از ۴۰۰ هرتز به بالا میزان امپدانس به تدریج کاهش یافت (شکل ۴-۶۵).



شکل (۴-۶۵) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر نسبت امپدانس آکوستیکی وبژة لاستیک ۲۵ میلی متر

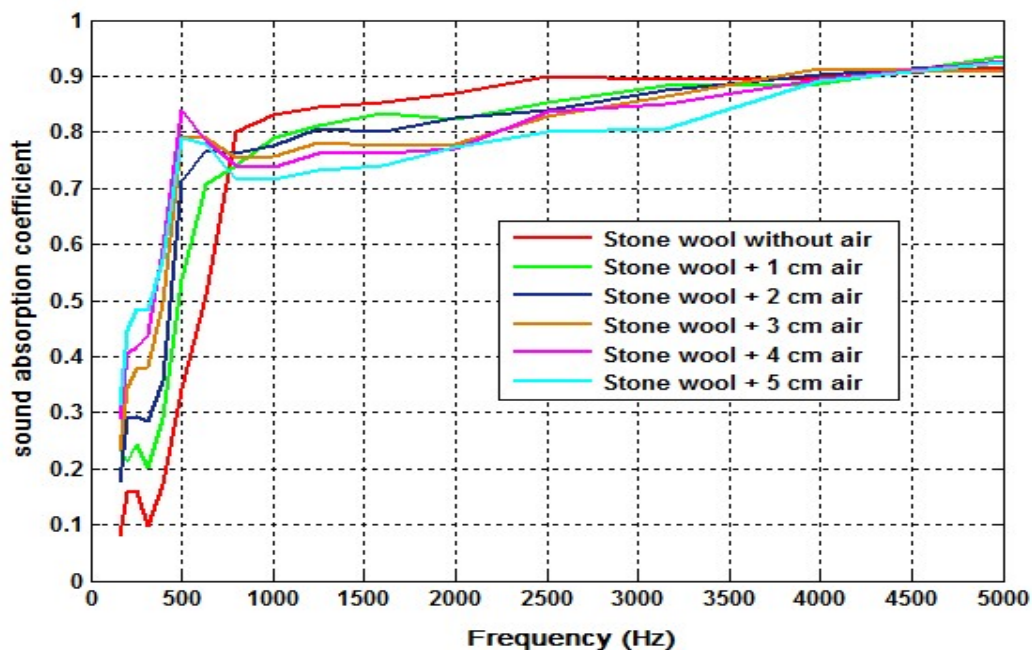
با توجه به شکل ۷۵، بیشترین میزان امپدانس در نمونه لاستیک با ضخامت ۵ سانتی متر مربوط به لایه هوای ۳ سانتی متر و فرکانس ۱۶۰ هرتز بود. به طور کلی امپدانس در فرکانس های پایین (۱۶۰ تا ۳۱۵ هرتز) بالاتر از سایر فرکانس ها مشخص شد. همچنین در این محدوده با افزایش لایه هوا، امپدانس نیز افزایش یافت.



شکل (۴-۶۶) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر نسبت امپدانس آکوستیکی وبژه لاستیک ۵۰ میلی متر

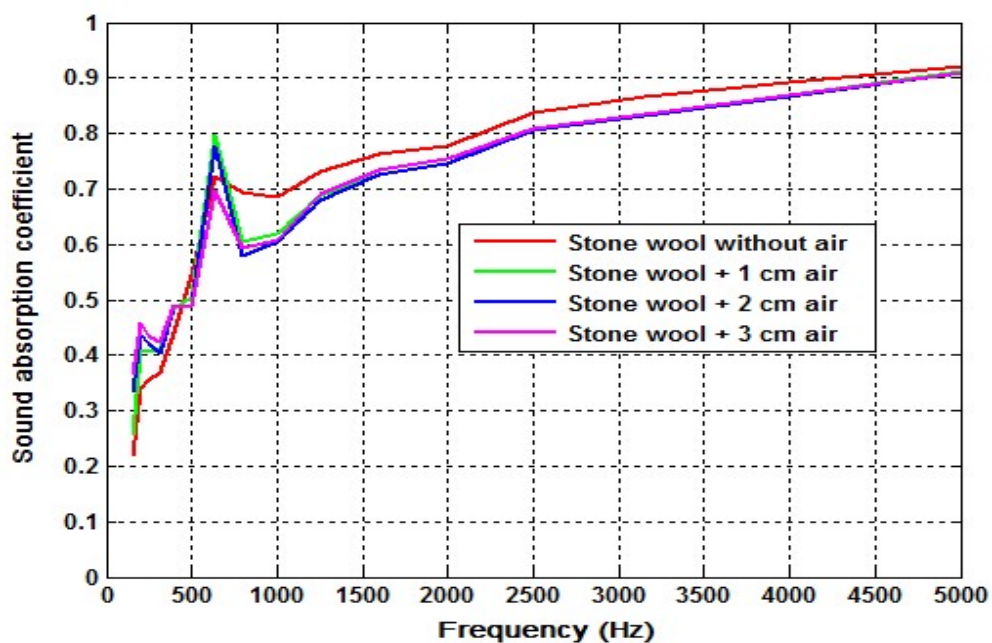
۴-۴-۴. مقایسه ضریب جذب صوت و نسبت امپدانس آکوستیک وبژه:

نتیجه مقایسه ضریب جذب صوتی پشم سنگ در ضخامت ۲۵ میلی متر با امپدانس آکوستیکی این نمونه نشان داد که بر خلاف امپدانس، در فرکانس های پایین میزان ضریب جذب کم بود و با افزایش فرکانس، جذب نیز افزایش یافت. همچنین با افزایش لایه هوا، جذب در فرکانس های پایین افزایش و در فرکانس های میانی و بالا (کمتر از ۲۰۰۰ هرتز در مقایسه با امپدانس) کاهش یافت که این حالت بر عکس امپدانس صوتی این ماده بود (شکل ۴-۶۷).



شکل (۴-۶۷) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر ضریب جذب صوت پشم سنگ ۲۵ میلی متر

این حالت دقیقا در پشم سنگ با ضخامت ۵ سانتی متر نیز مشاهده گردید که بر خلاف امپدانس مربوط به آن بود (شکل ۴-۶۸).

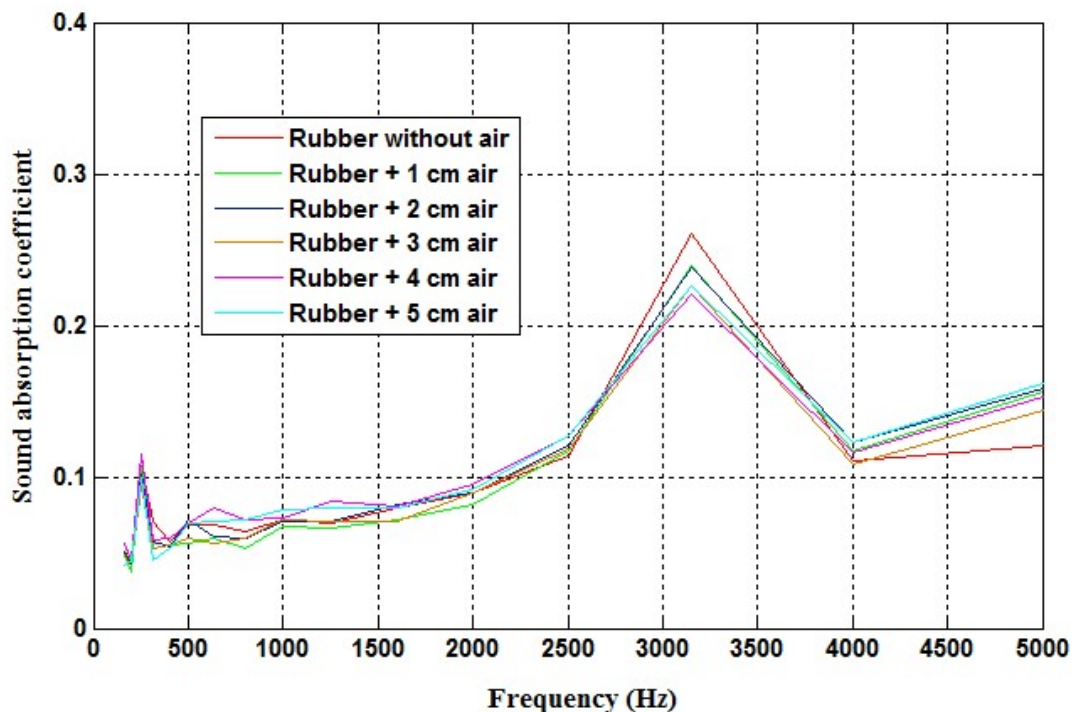


شکل (۴-۶۸) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر ضریب جذب صوت پشم سنگ ۵۰ میلی متر

با توجه به شکل ۴-۶۹، حداکثر ضریب جذب نمونه لاستیک ۲۵ میلی متری مربوط به فرکانس های بالا (حدود ۳۱۵۰ هرتز) می باشد در حالی که حداکثر امپدانس در فرکانس های پایین نشان

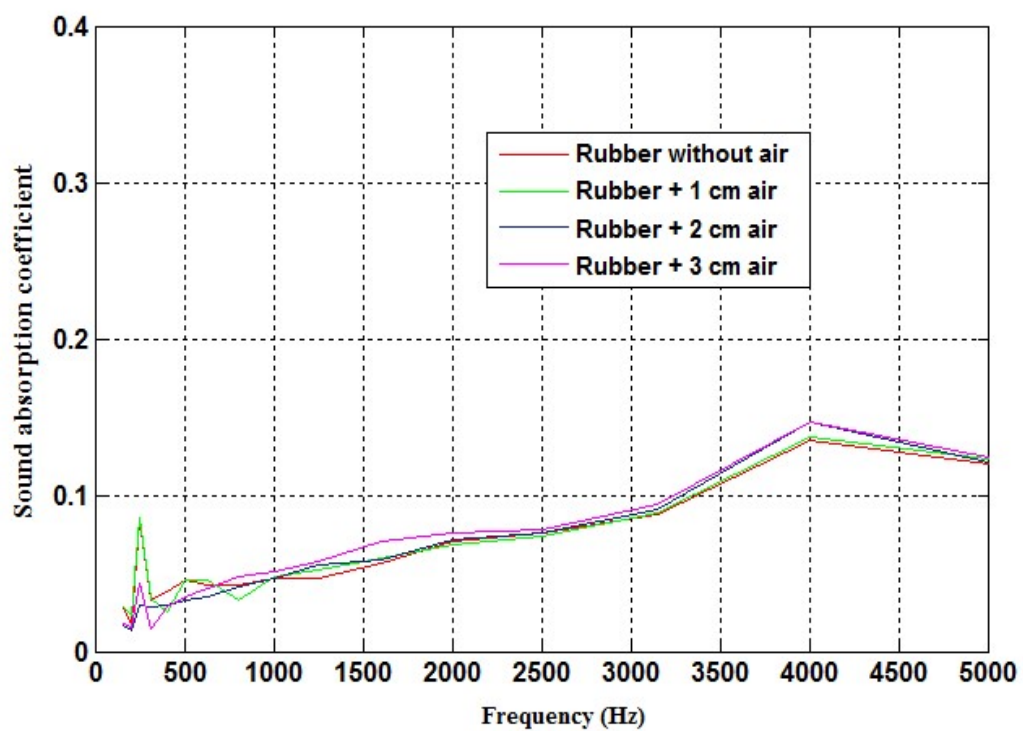
داده شد. همچنین در این نمونه با افزایش فرکانس میزان جذب نیز به مقدار کمی افزایش یافت که بر خلاف نتایج امپدانس این نمونه می باشد.

در فرکانس های کمتر از ۲۰۰ هرتز، حضور ۴ و ۵ سانتی متر لایه هوا، بیشترین امپدانس را به خود اختصاص داده بود در حالی که حداکثر ضریب جذب این ماده در محدوده ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ هرتز و در حالت عدم وجود لایه هوا پشت نمونه نشان داده شد.



شکل (۴-۶۹) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر ضریب جذب صوت لاستیک ۲۵ میلی متر

در نمونه لاستیک با ضخامت ۵ سانتی متر نیز حداکثر جذب مربوط به فرکانس ۴۰۰۰ هرتز بود، در حالی که حداکثر امپدانس این نمونه در فرکانس های پایین یعنی حدود ۲۰۰ هرتز مشاهده شد (شکل ۴-۷۰).



شکل (۴-۷) تاثیر ضخامت های مختلف لایه هوا بر ضریب جذب صوت لاستیک ۵۰ میلی متر

۴-۵. مقایسه ضرایب جذب نمونه ها:

میزان ضریب جذب اندازه گیری شده توسط لوله امپدانس مورد مطالعه برای دو نوع ماده شامل پشم شیشه و پشم سنگ با مقادیر ضریب جذب آن ها در منابع مختلف مقایسه شد و در زیر مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که ضخامت و چگالی هر نمونه با نمونه مرجع مشابه انتخاب شد

جدول (۴-۴) ضرایب جذب صوتی پشم سنگ مرجع با دو ضخامت ۲۰ و ۵۰ میلی متر

ماده	فرکانس (هرتز)				
	۸۰۰ هرتز	۱۰۰۰ هرتز	۲۰۰۰ هرتز	۴۰۰۰ هرتز	۵۰۰۰ هرتز
پشم سنگ مرجع - ۲۰ میلی متر	۰/۳۶	۰/۶	۰/۶۳	۰/۴۹	۰/۶۶
پشم سنگ مرجع - ۵۰ میلی متر	۰/۸۴	۰/۸۹	۰/۶۲	۰/۸۳	۰/۵۱

جدول (۴-۵) ضرایب جذب صوتی پشم سنگ در شرایط آزمایشگاهی با دو ضخامت ۲۰ و ۵۰ میلی متر

ماده	فرکانس (هرتز)				
	۸۰۰ هرتز	۱۰۰۰ هرتز	۲۰۰۰ هرتز	۴۰۰۰ هرتز	۵۰۰۰ هرتز
پشم سنگ ۲۰ میلی متر	۰/۴۷	۰/۵۶	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۹۲
پشم سنگ ۵۰ میلی متر	۰/۶۶	۰/۷	۰/۷۴	۰/۹۲	۰/۹۳

با توجه به جداول بالا، ضرایب جذب مربوط به حالت اندازه گیری شده نشان داد که میزان جذب صوت در فرکانس های بالا بیشتر از فرکانس های پایین می باشد در حالی که در پشم سنگ مرجع نظم خاصی در ارتباط بین فرکانس و ضریب جذب مشاهده نشد. همچنین در پشم سنگ مرجع افزایش ضخامت در کلیه فرکانس های ذکر شده به جز فرکانس های ۲۰۰۰ و ۵۰۰۰ هرتز سبب افزایش میزان جذب شد که این مطلب در نمودار اندازه گیری شده در شرایط آزمایشگاهی بدین صورت است که ضخامت کمتر دارای جذب بالاتری در محدوده فرکانسی ۱۲۵۰ تا ۳۲۰۰ هرتز بود.

همچنین از یک نمونه پشم شیشه نیز استفاده گردید که نتایج مقایسه مقادیر ضریب جذب اندازه گیری شده با مقادیر مرجع نشان داده شد (جدول ۴-۶ و ۴-۷).

جدول (۴-۶) ضرایب جذب صوتی پشم شیشه مرجع با دو ضخامت ۳۰ و ۵۰ میلی متر

فرکانس (هرتز)				ماده
۳۰۰۰ هرتز	۲۰۰۰ هرتز	۱۰۰۰ هرتز	۸۰۰ هرتز	
۰/۶۷	۰/۵۴	۰/۲۸	۰/۲۳	پشم شیشه مرجع - ۳۰ میلی متر
۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۷۹	۰/۶۵	پشم شیشه مرجع - ۵۰ میلی متر

جدول (۴-۷) ضرایب جذب صوتی پشم شیشه در شرایط آزمایشگاهی با دو ضخامت ۳۰ و ۵۰ میلی متر

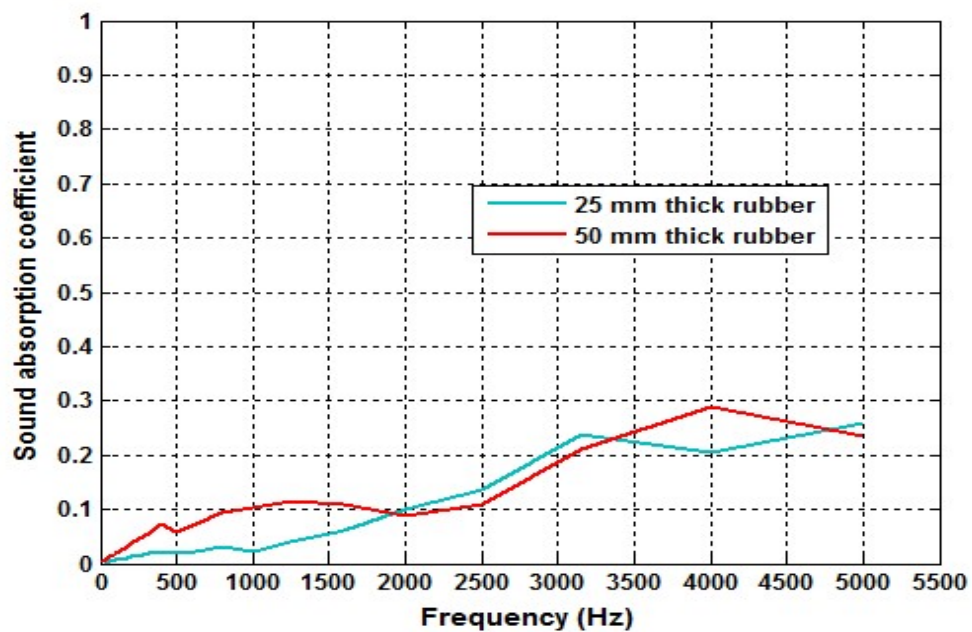
فرکانس (هرتز)				ماده
۳۰۰۰ هرتز	۲۰۰۰ هرتز	۱۰۰۰ هرتز	۸۰۰ هرتز	
۰/۸۸	۰/۶۴	۰/۳۴	۰/۳	پشم شیشه - ۳۰ میلی متر
۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۸۲	۰/۷	پشم شیشه - ۵۰ میلی متر

با توجه به جداول بالا، ضرایب جذب مربوط به هر دو حالت مرجع و مقادیر اندازه گیری نشان داد که میزان جذب صوت در فرکانس های بالا بیشتر از فرکانس های پایین می باشد. در پشم شیشه مرجع با ضخامت بیشتر میزان ضریب جذب بالاتر از ضخامت کم این ماده بود. این مطلب در نمودار اندازه گیری شده مربوط به پشم شیشه در شرایط آزمایشگاهی نیز برای هر چهار فرکانس مشاهده شد. همچنین با توجه به جدول ۸ میزان جذب نمونه پشم شیشه ایرانی در فرکانس های ذکر شده بیشتر از نمونه مرجع بود که دلیل آن ممکن است به خاطر مشخصات فیزیکی محصول و نوع تولید جاذب از جمله میزان تخلخل آن ها باشد.

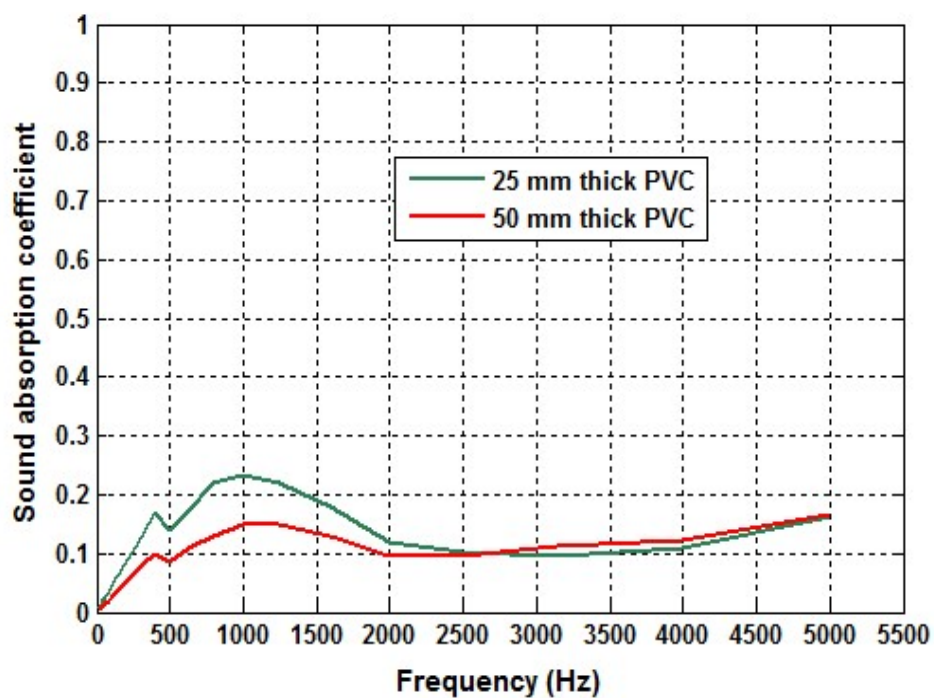
۴-۶. پیش بینی ضریب جذب اتفاقی از طریق ضریب جذب نرمال :

ضریب جذب اتفاقی (Random) بر اساس اندازه گیری میزان جذب تحت زوایای مختلف و در اتاق آکوستیک انجام می گردد. با توجه به تحقیقات انجام شده و بر اساس روابط بدست آمده بین ضریب جذب صوتی نرمال (NAC) و اتفاقی (RAC)، ضریب جذب اتفاقی مواد را می توان از طریق ضرایب جذب نرمال اندازه گیری شده توسط لوله امپدانس با تقریب تعیین نمود. بدین صورت که ضریب جذب اتفاقی صدا (RAC) در فرکانس های پایین تقریباً دو برابر، در فرکانس های میانی ۲۵٪ تا ۳۵٪ و در فرکانس های بالا برابر با ضریب جذب نرمال صدا می باشد (۱۵-۲۶).

با توجه به مطالب بالا، ضریب جذب اتفاقی نمونه های لاستیک و پلی وینیل کلراید در دو ضخامت ۲۵ و ۵۰ میلی متر به صورت تقریبی محاسبه شد (شکل ۴-۷۱ و ۴-۷۲).



شکل (۷۱-۴) ضریب جذب اتفاقی (RAC) لاستیک ۲۵ و ۵۰ میلی متر

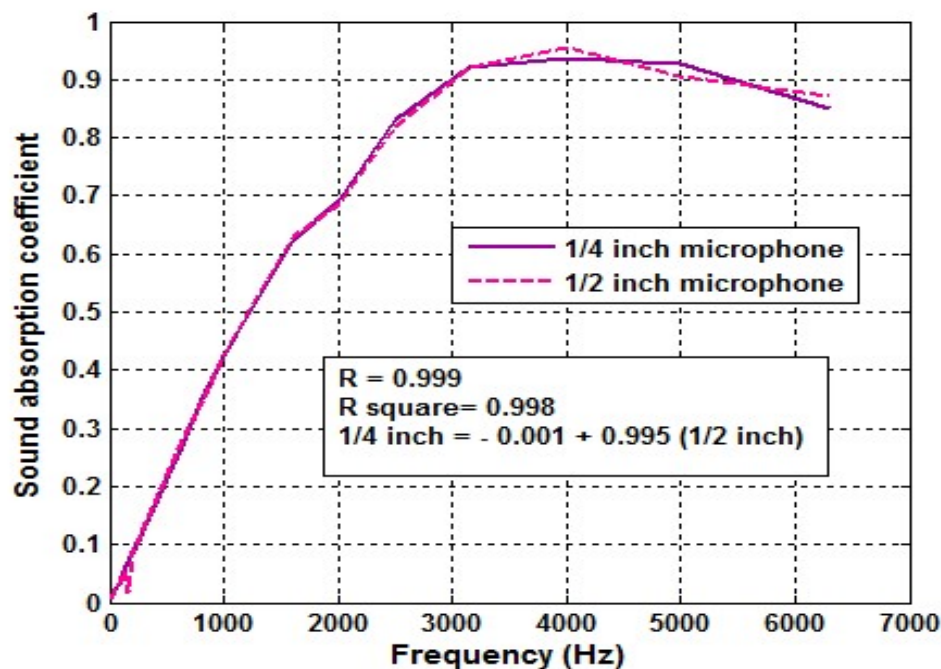


شکل (۷۲-۴) ضریب جذب اتفاقی (RAC) پلی وینیل کلراید ۲۵ و ۵۰ میلی متر

۷-۴. مقایسه عملکرد میکروفون های یک دوم و یک چهارم اینچ:

همانطور که گفته شد جهت اندازه گیری ضریب جذب و امپدانس از دو میکروفون و به منظور اندازه گیری افت انتقال از چهار میکروفون استفاده می شود.

به منظور بررسی تفاوت عملکرد بین دو سایز مختلف میکروفون ها، اندازه گیری ضریب جذب صوت فوم استاندارد BSWA یک بار توسط دو میکروفون یک دوم اینچ و بار دیگر توسط دو میکروفون یک چهارم اینچ انجام شد و با توجه به شکل ۴-۷۳ مشخص گردید که بین مقادیر اندازه گیری شده توسط دو سایز میکروفون تفاوتی وجود نداشت و دو مقادیر با ضریب همبستگی ۰/۹۹ دارای ارتباط مستقیم بودند (شکل ۴-۷۳).



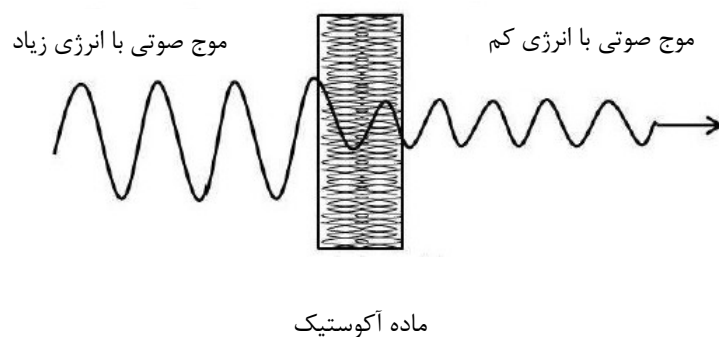
شکل (۴-۷۳) مقایسه اندازه گیری ضریب جذب فوم استاندارد BSWA با ضخامت ۲۵ میلی متر توسط میکروفون یک دوم و یک چهارم اینچ

فصل پنجم:

بحث، نتیجه گیری و پیشنهادهای پژوهش

۵-۱. بحث:

در حال حاضر برنامه های کاربردی کنترل صدا به عنوان الویت مهمی در صنایع مختلف از قبیل صنایع خودرو، ماشین آلات و ساخت کشتی به حساب می آید. در واقع کنترل صدا نقش مهمی را در ایجاد محیطی مطلوب از نظر صدا ایجاد می کند و زمانی که تراز فشار صوت به حدی کاهش یابد که برای گوش مضر نباشد این حالت امکان پذیر می گردد. تکنیک های مختلفی جهت دست یابی به این هدف وجود دارد که یکی از مهم ترین آن ها استفاده از مواد جاذب صوت می باشد (۲۹-۳۱). عملکرد مواد آکوستیک متخلخل به منظور کاهش انرژی صوتی عبوری از آنها در شکل ۵-۱ نشان داده شده است. در واقع عبور صوت از ماده سبب ایجاد نیروی اصطکاک بین امواج صوتی و سلولهای دیواره ساختار مواد متخلخل می گردد و در نتیجه سبب تبدیل انرژی صوتی به گرما می شود. بنابراین توسط این کاهش صوت می توان به این نتیجه رسید که انرژی توسط مواد آکوستیک جذب شده است. میزان انرژی صوتی جذب شده بیانگر ویژگی های جذب صوتی و عملکرد آکوستیک مواد می باشد (۳۲).



شکل(۵-۱) کاهش انرژی موج صوتی پس از عبور از یک ماده جاذب صوت (۳۳)

جذب صداهای تولیدی یکی از مهم ترین روش های کاهش صدا و ایجاد آرامش برای افراد می باشد. جذب صدا در صنایع معمولاً شامل استفاده از موادی مانند پشم شیشه، فوم، فیبرهای معدنی و سایر ترکیبات بوده و در سالهای اخیر تعداد زیادی مطالعه مربوط به پیشرفت مواد جاذب و تکنولوژی های جدید جهت جذب صدا انجام شده است (۳۴).

با توجه به نتایج بدست آمده، بیشترین ضرایب جذب مربوط به نمونه های پشم شیشه، پشم سنگ و فوم پلی اورتان بود. در این بین، نمونه های پلی وینیل کلراید، چوب پنبه، لاستیک و پلی استایرن کمترین ضرایب جذب را به خود اختصاص دادند.

در مطالعات انجام شده قبلی بیان گردید که مواد متخلخل و الیافی مانند پشم شیشه و پشم های معدنی دارای حفرات زیادی می باشند که صدا طی عبور از داخل مواد در این حفرات به دام افتاده و سبب تغییر مسیر موج صوتی می شود و انرژی صوت به گرما تبدیل می گردد (۳۵-۳۷). در مطالعه حاضر نیز مشاهده گردید که مواد متخلخل مانند پشم شیشه و پشم معدنی ضریب جذب بالاتری را نسبت به سایر مواد داشته اند.

همچنین با توجه به نمودارهای ضریب جذب در هر دو حالت با و بدون لایه هوا نشان داد که توانایی جذب در فرکانس های پایین کم بود که در همین راستا Zhang و همکاران بیان کرده اند که امواج در فرکانس های پایین دارای طول موج طولانی تری می باشند و به همین دلیل جذب صوت در محدوده فرکانس های پایین بسیار مشکل است (۳۸). به منظور کاهش صدا در فرکانس های پایین باید از مواد ضخیم تری استفاده نمود تا زمان کافی برای عبور امواج صوتی از ماده آکوستیک و تبدیل انرژی صوتی به گرما فراهم شود. در این مطالعه نیز با دو برابر کردن ضخامت مشاهده شد که ضرایب جذب فوم پلی اورتان، پشم سنگ، پشم شیشه، چوب پنبه و لاستیک با ضخامت ۵۰ میلی متر در فرکانس های پایین تر تا حدودی از ضرایب فوم ۲۵ میلی متر بیشتر بود. لذا پیش بینی می شود که ضخامت های بالاتر سبب افزایش بیشتر جذب در محدوده فرکانس های پایین نیز شود.

با توجه به نتایج مشاهده شده از تغییر ضخامت ۱ تا ۵ سانتی متر پشم سنگ مشخص گردید که بعد از یک مقدار مشخص از ضخامت برای مواد، افزایش ضخامت در فرکانس های بالا تاثیر بسزایی بر روی افزایش ضریب جذب نخواهد داشت. همچنین در مطالعه دیگری توسط Ibrahim و همکاران مشخص گردید که تاثیر افزایش ضخامت در فرکانس های بالا بر روی ضریب جذب، کم می باشد و افزایش ضخامت می تواند تاثیر زیادی بر روی ضریب جذب مواد در فرکانس های پایین داشته باشد (۲۱) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد.

دانسیتة بالا سبب افزایش میزان جذب خواهد شد و علت این امر تبدیل بیشتر انرژی صوتی به گرما می باشد ولی از یک دانسیته ای به بالا اثر برعکسی مشاهده می شود. در واقع از یک دانسیته ای به بالا میزان مقاومت ماده نسبت به عبور صوت بیشتر خواهد شد و نفوذ صوت کمتر می شود و در این بین فرکانس بالا بیشتر تحت تاثیر دانسیته قرار خواهد گرفت. در واقع افزایش دانسیته در فرکانس های پایین مناسب تر خواهد بود و در فرکانس های بالا بهتر است که از دانسیته های بالایی استفاده نشود.

در نمونه پشم سنگ مشاهده شد که ضخامت بالاتر در فرکانس های بالا باعث افزایش میزان امپدانس صوت می گردد و همچنین در ضخامت ثابت نیز دانسیته بیشتر، اثر مطلوبی بر روی امپدانس داشته است. اما در مورد جذب صوت این نمونه مشاهده شد که ضخامت و دانسیته کمتر در فرکانس های ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز سبب افزایش میزان جذب صوت گردید. در فرکانس های پایین تر از ۱۰۰۰ هرتز جهت کنترل صدا می توان از ضخامت و دانسیته بالاتر این ماده استفاده نمود تا جذب بهتری مشاهده گردد. در همین راستا در دو مطالعه انجام شده توسط Seddeq و Norton مشاهده شد که به منظور افزایش میزان ضریب جذب در فرکانس های پایین باید ضخامت ماده را افزایش داد تا امواج فرصت بیشتری را برای عبور از ماده و تبدیل انرژی صوت به گرما داشته باشند (۳-۳۹)، که این یافته ها در راستای نتایج این مطالعه می باشد. همچنین در مطالعه انجام شده توسط Wen و همکاران تاثیر ضخامت و چگالی بر روی ضریب جذب صوت بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش ضخامت سبب افزایش ضریب جذب صوت در فرکانس های پایین و میانی گردید. همچنین در ضخامت ثابت با افزایش چگالی میزان جذب در فرکانس های پایین افزایش یافت در حالی که ضریب جذب با افزایش چگالی در فرکانس های بالا کاهش می یابد (۴۰). این نتایج نیز با یافته های مطالعه حاضر مشابهت دارد.

در نمونه لاستیک نیز رفتار امپدانس و ضریب جذب صوت با تغییر ضخامت و دانسیته مشابه با نمونه پشم سنگ می باشد ولی در این نمونه تغییرات کمتری مشاهده شد.

به طور کلی از مقایسه امپدانس پشم سنگ و لاستیک نیز می توان به این نتیجه رسید که لاستیک به دلیل ساختار غیر متخلخل دارای امپدانس بالاتر و ضریب جذب کمتری نسبت به پشم سنگ بود. به علاوه نتایج مقایسه تاثیر لایه هوا و ضخامت بر روی امپدانس و تاثیر آن ها بر ضریب جذب در هر دو نمونه بر عکس هم بود. بدین صورت که هر کجا ضخامت و یا افزایش لایه هوا سبب بالا بردن امپدانس شد از طرف دیگر تاثیر عکس بر روی ضریب جذب همان ماده نشان داد. در نمونه لاستیک نیز با

افزایش فرکانس میزان امپدانس کاهش پیدا کرد و لایه هوا تاثیر چندانی در فرکانس های بالا نشان نداد.

نمونه پشم سنگ یکی از جاذب های صوت با ضریب جذب بالا بوده که ضخامت و دانسیته کمتر این ماده عملکرد بهتری را در فرکانس های پایین نشان داد. از طرفی اگر امپدانس صوت ماده مورد نظر باشد می توان از ضخامت و دانسیته بیشتر استفاده نمود. بر خلاف پشم سنگ، نمونه لاستیک امپدانس بالاتر و ضریب جذب پایینی دارد.

لایه هوا برای هر نوع ماده ای اثر متفاوتی را بر روی خصوصیات آکوستیکی مانند جذب، افت انتقال و امپدانس نشان داد به طوری که در برخی فرکانس ها سبب کاهش و در برخی دیگر سبب افزایش شد. به طور کلی با ایجاد لایه هوا در پشت یا بین مواد جاذب مقداری از انرژی صوتی برخوردی به ماده که یا جذب و بازتاب نشده و یا به گرما تبدیل نشده است بعد از عبور از ماده با مقاومت لایه هوا مواجهه می شود. این مکانیسم ائتلاف انرژی صوتی توسط لایه هوا در واقع به عنوان اثر رزونانس هلمهولتز شناخته شده است. در برخی فرکانس ها، هنگامی که انرژی به حداکثر مقدار خود می رسد در این حالت امواج صوتی به علت اصطکاک با هوا ضعیف شده و به گرما تبدیل می شود. همچنین استفاده از مواد جاذب با وجود لایه هوا نقش مهمی را در کاهش هزینه های مصرفی بر عهده دارد. بدین صورت که با ضخامت کمتری از مواد جاذب و استفاده از لایه هوا به جای آن می توان ضریب جذب بهتری را بدست آورد (۳۸-۳۹). البته ضخامت و نحوه قرار گیری لایه هوا جهت استفاده بهینه از آن برای هر ماده ای متفاوت است و با اندازه گیری خصوصیات آکوستیک ماده مورد نظر توسط لوله امپدانس در شرایط مختلف لایه هوا می توان بهترین ضخامت و نحوه قرارگیری هوا را در رنج فرکانس مورد نظر برآورد نمود.

Rosli و همکاران گزارش کرده اند که استفاده از لایه هوا به همراه صفحات فیبری آکوستیکی سبب حداکثر جذب در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز گردید (۴۱). همچنین در مطالعه ای دیگر توسط Seddeq مشخص شد که استفاده از لایه هوا سبب بهبود ضریب جذب در فرکانس های میانی و بالا می گردد (۳).

در کتب و مقالات مختلف میزان ضریب جذب صوتی برخی از مواد و مصالح اندازه گیری شده است ولی ذکر این مورد الزامی است که در ایران ضرایب جذب مشخصی از مواد جاذب موجود نمی باشد و همچنین به دلیل تفاوت در نوع خصوصیات ساختاری و فیزیکی جاذب های ایرانی با همان نوع مواد در خارج از کشور، میزان جذب صوت متفاوت می باشد. این نکته در نتایج مقایسه دو نوع ماده پشم

سنگ و پشم شیشه با ضرایب جذب همین مواد در مقالات مختلف بررسی شد. با توجه به نتایج مشاهده می شود که به دلایل ذکر شده مقادیر ضرایب اندازه گیری شده با مقادیر مرجع متفاوت است.

به طور کلی جهت شناسایی دقیق تاثیر عوامل ذکر شده (ضخامت، دانسیته، لایه هوا) در فرکانس های مورد نظر برای هر ماده نیاز به اندازه گیری دقیق خصوصیات آکوستیکی آن در رنج فرکانسی مورد نظر می باشد.

۵-۲. نتیجه گیری :

به منظور انجام کنترل صدا در اتاقک کنترل کابین دستگاه TBM و با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می توان از پشم سنگ به عنوان عایق صوتی متناسب استفاده نمود.

۵-۳. پیشنهادهای پژوهش :

- بررسی تاثیر چگالی مواد بر روی خصوصیات آکوستیکی
- استفاده از نگه دارنده با طول بزرگتر جهت فراهم آوردن فضای بیشتر برای ضخامت نمونه و لایه هوا
- استفاده از نمونه های ترکیبی و بررسی خصوصیات آکوستیکی آن ها

فهرست منابع

1. Yosefi HA. Integrated Management Systems for Health, Safety and Environment. First ed: Fanavaran; 2011. [In persian]
2. Aluclu I, Dalgic A, Toprak, ZF. A fuzzy logic-based model for noise control at industrial workplaces. *Appl Ergon*. 2008; 39(3):368-78.
3. Hoda S. Seddeq. Factors Influencing Acoustic Performance of Sound Absorptive Materials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2009: 3(4); 4610-4617.
4. Beranek LL. Noise and Vibration Control Engineering, Principles and Applications. New York. 1992.
5. Jaatinen J. Alternative Methods of Measuring Acoustic Absorption. Thesis submitted for examination for the degree of Master of Science in Technology. Espoo. 2011.
6. Malcolm J. Crocker. Handbook of Noise and Vibration control. John wiley & sons, chapter 4. 2007.
7. Cox TJ, D'Antonio P. Acoustic Absorbers and Diffusers, Theory, design and application. published. 2009: 3;58.
8. ISO 10534-1, Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 1: Method using standing wave ratio. 1996.
9. ISO 10534-2, Acoustic - Determination of sound absorption coefficient and Impedance in impedance tubes - Part 2 : Transfer - function method.
10. ASTM E1050, Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System, 1998.
11. Collings S, Stewart K. Building Material Panel Transmission Loss Evaluation using an Impedance Tube, *Proceedings of acoustics*. 2011; 113
12. ASTM E2611 - 09. Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method.
13. Taylor EW. Relationships between normal - incident and statistical absorption coefficient. British broadcasting corporation: Head of research department. April 1982.
14. Barkhordari A. The fundamental of acoustics and industrial noise control. Andishmand Publications; 2011.
15. Forouharmajd, F. The survey of impedance tube role in determining sound absorption coefficient [Report]. Isfahan University of Medical Sciences .2011.
16. Golmohammadi R., Olyaie M., Samavat H., Motamedzadeh M. Producing of Impedance Tube for Measurement of Acoustic Absorption Coefficient of Some Sound Absorber Materials. *Sci J Hamadan Univ Med Sci*. 2008; 15(1): 55-61.
17. Hideo utsuno, Toshimitsu Tanaka, Takeshi Fujikawa. Transfer function method for measuring characteristic impedance and propagation constant of porous materials. 1989

18. Imai Y, Asano T. Studies of Acoustical Absorption of Flexible Polyurethane Foam. *Journal of Applied Polymer Science*. 1982; 27: 183-195.
19. Koizumi T, Tsujiuchi N, Adachi A. The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibres. 2002;59: 157–166.
20. Zulkifli R, Mohd Nor J, Ismail Mohd A, Nuawi M, Tahir M. Effect of perforated size and air gap thickness on acoustic properties of coir fibre sound absorption panels. *Eur J Sci Res*. 2009;48:242-52.
21. M.A. Ibrahim, R.W. Melik, Physical Parameters Affecting Acoustic Absorption Characteristics Of Fibrous Materials, *Proceedings of the mathematical and physical society of Egypt*, 1978:46.
22. Jung S, Kim Y, Lee Y, Cho S, Lee J. Measurement of Sound Transmission Loss by Using Impedance Tubes. *Journal of the Korean Physical Society*. 2008;53(2):596-600.
23. Lanoye R, Vermeir G, Lauriks W, Kruse R, Mellert V. Measuring the free field acoustic impedance and absorption coefficient of sound absorbing materials with a combined particle velocity-pressure sensor. *J Acoust Soc Am*. 2006; 119(5): 2826–31.
24. Haines J. Standing wave and two – microphone impedance tube round robin test program. ASTM Research Report No. RR:E33-1006. 1989.
25. Seybert AF. Notes on Absorption and Impedance Measurements. University of Kentucky. [online]. Available from: <https://www.google.com/#q=Notes+on+Absorption+and+Impedance+Measurements> .1989.
26. Harris C, Handbook of noise control. 2nd edition. New York: McGraw-Hill Higher Education. 1979
27. Sikora J, Turkiewicz J. Sound absorption coefficient of granular materials. *Journal of mechanics and control*. 2010;29(3):149-51.
28. Tiuc A, Vasile O, Didona A, Gabor T, Vermisan H. The analysis of factors that influence the sound absorption coefficient of porous materials. *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*. 2014;6(2):105-8.
29. Gracia-valles M, Avilla G, Martinez S, Terradas R, Nogues JM. Acoustic barriers obtained from industrial waste. *Chemosphere*. 2008;72(7):1098-102.
30. Jaoeun L, Becot FX. Acoustical characterization of perforated facings. *J Acoust Soc Am*. 2011;129(3):1400-6.
31. Yang S, Yu W-D. Air permeability and acoustic absorbing behaviour of nonwovens. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*. 2011;3(40):203-7.
32. Fang W, Lu-cai W, Jian-guo W, Xiao-hong Y. Sound absorption property of open-pore aluminium foams. *China Foundry*: 2007.
33. Bies DA, Hansen CH. *Engineering Noise Control: Theory and Practice*, Fourth Edition. 4th ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2009.

34. Zhang J, Zhao SL, Guo Y. Re -polypropylene block burn foam absorption sound on research. Noise Libration Control. 1997;3:36–9.
35. N Mohamed. The Study of Normal Incidence Sound Absorption Coefficiencie (Sound Absorption) of Wood Circular Perforated Panel (CPP) Using Numerical Modeling Technique. University Technology. Malaysia. 2006.
36. G. Rémi, Elastic and acoustic characterisation of anisotropic porous materials. Doctoral thesis. Department of Aeronautical and Vehicle Engineering. Stockholm. 2008.
37. A Kazragis, A Gailius, A Jukneviute. Thermal and Acoustical Insulating Materials Containing Mineral and Polymeric Binders with Celluloses Fillers. Material Sciences.2002;2 (8);193-195.
38. 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. Material and Design journal, 2012; 41: 319-325.
39. Norton M, Karszub D. The book of Fundamental of noise and vibration analysis for engineers, 2nd Edn. Cambridge University Press.2003.
40. Su W, Qian X, Li X, Liu Sh. Influence of Thickness and Density of Nonwoven Sound-Absorbing Material on the Sound-Absorption Capability. Advanced material research. 2011; 197: 440-443.
41. Rosli Z, Mohd Jailani MN, Ahmad Rasdan I, Mohd Zaki N, Mohd Faizal MT. Effect of perforated size and air gap thickness on acoustic properties of coir fibre sound absorption panels. Eur J Sci Res. 2009;48:242-52.

پیوست ها

Abstract

Sound absorbing material is an effective way to control sound that impedance tube and transfer function method can be used for measuring acoustic properties of the materials. The present study is intended to examine the Suitable absorbing for installation in the TBM control cabin room.

After designing the impedance tube and ensuring its effectiveness and reliability, the coefficients of absorption and transmission loss have been measured in seven cases including cork, rubber, polyurethane foam, polystyrene, polyvinyl chloride, stone wool and glass wool. Also, acoustic impedance has been measured in two samples of stone wool and rubber in two 25 and 50 mm thickness. Furthermore, the effect of thickness, density, air gap and sound intensity were also examined. Va-lab4 software was used for measuring each sample and then diagrams have been produced by Matlab software.

Maximum absorption coefficients correspond to the samples of glass wool, stone wool and polyurethane foam. Among them, polyvinyl chloride, cork, rubber and polystyrene had the lowest absorption coefficients. Increasing the thickness and density for each material had different effect on the absorption coefficient, impedance and transmission loss depending on its frequency range. But in general by increasing density and thickness can increase absorbing material which by increasing frequency this effect was lower. The air layer also made more reduction of sound energy. Among this, changing sound intensity did not show a significant effect on the absorption and transmission loss of materials.

According to the results, to control sound inside the TBM cabins room, we came to the conclusion that it is better to use stone wool.

Keywords:

Sound transmission loss, absorption coefficient, Sound risk, TBM control cabin room



Energy Institute for Higher Education

Faculty Of Engineering

Department Of Chemical Engineering –HSE

Thesis For

Degree Of Master Of Science (M.Sc)

Title:

Comparison of absorption coefficient and Sound
transmission loss for available Absorbers to
select the most suitable absorbent for use in the
TBM cabin control room

Advisor:

Dr. Yousef Yassi

By:

Farshad Forouhar Majd

April 2017