

## Manufacturing sound absorber based on combined recycling of polyethylene terephthalate and polystyrene at low and median frequencies

**Zeynolabedin Ghanbarzadeh Alamdari<sup>1</sup>, Dr. Ali Khavanin<sup>1</sup>, Dr. Mehrdad Kokabi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>- Department of Occupational and Environmental Health, Faculty of Medical Sciences, University of Tarbiat Modarres, Iran.

<sup>2</sup>- Department of Polymer Engineering, Faculty of Engineering, University of Tarbiat Modares, Iran.

### Abstract

**Background and aim:** Noise pollution is one of the main cause of occupational hearing loss. According to WHO reports in many countries workers have been exposed to 85 – 90 dB noise level. The purpose of this study is to manufacture a sound absorber based on combined recycled polyethylene terephthalate (PET) and polystyrene (PS) with an economical method in order to control of noise pollution

**Materials and methods:** Sound absorber were made of PET and PS with equal weight percent, polyester fiber, and polyvinyl acetate resin, with five to ten centimeters thick. Sound mean absorption coefficient percents were determined by acoustic impedance tube and compared with those of rock wool.

**Results:** Mean absorption coefficient percent of samples with one to five millimeter pore size and ten centimeters thickness was significantly better than those with six to twenty millimeters pore size in 50 to 630, 1250, and 1600 Hz, ( $p < 0.05$ ). In general, samples mean absorption coefficient was significantly different from those rock wool ( $p = 0.005$ ).

**Conclusion:** Recycled polymer absorbers may play an important role in national economics as they are prophylactic to some occupational disease and also are economical.

**Keywords:** plastic recycling, polyethylene terephthalate (PET), polyethylene (PE), combined recycling, low frequency, sound absorber

## ساخت جاذب‌های صوتی فرکانس‌های پایین و میانی بر پایه بازیافت ترکیبی پلی - اتیلن ترفتالات و پلی استایرن

زین العابدین قنبرزاده علمداری<sup>۱</sup>، دکتر علی خوانین<sup>۱</sup>، دکتر مهرداد کوبی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> - گروه بهداشت حرفه‌ای و محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

<sup>۲</sup> - گروه مهندسی پلیمر، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** آلودگی صوتی عامل اصلی بروز کاهش شنوایی شغلی در صنایع محسوب می‌گردد. بنابر گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی، در بسیاری از نقاط جهان نیروهای کاری در تماس با تراز صدای بیش از ۸۵-۹۰ dBA می‌باشند. هدف از این تحقیق ساخت جاذب‌های صوتی بر پایه بازیافت ترکیبی پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌استایرن جهت کنترل آلودگی صوتی به روشی اقتصادی می‌باشد.

**روش بررسی:** نمونه‌های جاذب صوتی از پلیمرهای پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌استایرن با درصد وزنی مساوی و همچنین از الیاف پلی‌استر و با بکارگیری رزین‌های بر پایه پلی‌وینیل‌استات در ضخامت‌های ۵ و ۱۰ سانتی‌متر ساخته شد. سپس توسط سیستم آکوستیک امپدانس تیوب میزان درصد ضریب جذب صوتی تعیین گردید و با پشم سنگ مقایسه گردید.

**یافته‌ها:** میزان میانگین درصد ضریب جذب صوت در نمونه‌های با مش‌بندی ۱ تا ۵ میلی‌متر و با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در فرکانس‌های ۵۰ الی ۶۳۰ و ۱۲۵۰ و ۱۶۰۰ هرتز نسبت به نمونه‌های با مش‌بندی ۶ تا ۲۰ میلی‌متر بیشتر بود ( $p < 0.05$ ). مقادیر میانگین نمونه‌های ساخته شده با میانگین درصد جذب پشم سنگ نیز اختلاف معنی‌داری داشت ( $p = 0.005$ ).

**نتیجه‌گیری:** استفاده از جاذب‌های پلیمری بر پایه بازیافت به دلیل مقرون به صرفه بودن و پیشگیری برخی از بیماری‌های کار می‌تواند نقش بسیار مهمی را در اقتصاد ملی ایفا نماید.

**واژگان کلیدی:** بازیافت پلاستیک‌ها، جاذب‌های صوتی، فرکانس‌های پایین و میانی، پلی‌اتیلن ترفتالات، پلی‌استایرن

(وصول مقاله: ۸۶/۱۲/۱۲، پذیرش: ۸۷/۴/۸)

### مقدمه

مشکلات روحی و روانی، افزایش فشار خون سیستمیک و دیاستولیک، ایجاد معلولیت شنوایی (۱)، تأثیر منفی بر پارامترهای فیزیولوژیک از قبیل درجه حرارت بدن، سردرد (۲)، اثرات منفی و بازدارنده بر کارایی و عملکرد کارکنان (۳ و ۲)، کاهش میزان آستانه شنوایی (۳) افزایش ضربان قلب، اثر بر سیستم گوارشی و دستگاه گردش خون (۴)، ایجاد استرس (۴ و ۵)، ایجاد اختلال در زندگی روزمره (۵)، و حالت اذیت و احساس ناراحتی (۶، ۷ و ۸)، افزایش ترشح غدد درون‌ریز (غده فوق کلیوی و تیروئید)، اختلال در

طبق آمار سازمان جهانی بهداشت تعداد افرادی که در سراسر دنیا دچار کاهش شنوایی می‌باشند از ۱۲۰ میلیون نفر در سال ۱۹۹۵ به ۲۵۰ میلیون نفر در سال ۲۰۰۴ افزایش یافته است (۱). چنان‌که در منابع علمی مختلف و تحقیقات بسیاری که در خصوص بررسی و ارزیابی اثرات سوء صدا و ارزیابی علائم و عوارض آبیجتیو و سوبجکتیو آن بر شاغلین صنایع پر صدا بعمل آمده، حاکی از آن است عوارض بسیاری از قبیل تغییرات موقت و دائم آستانه شنوایی، ایجاد کم‌شنوایی حسی - عصبی، ایجاد

(MgO, TiO<sub>2</sub>, CaO) در ساختار شیمیایی پشم شیشه و پشم سنگ

• درصد جذب رطوبت بالا و ایجاد فشردگی بیش از حد و کاهش تدریجی ضریب جذب صوت و ثابت نبودن خاصیت جذب صوتی بعضی جاذب‌های صوتی غیرپلیمری در کل دوران بهره‌برداری می‌باشند(۱۲).

همچنین امروزه یکی از پرمصرف‌ترین مواد بسته‌بندی در صنایع مختلف، مواد پلیمری و مشتقات آنها مانند پلی‌اتیلن ترفتالات (Polyethylene Threphetate: PET) و پلی-استایرن (Polystyren: PS) می‌باشد که به لحاظ صرفه اقتصادی و تأمین بهداشت و سلامت مصرف‌کنندگان به‌عنوان ظروف یکبار مصرف کاربرد بسیار وسیعی را پیدا کرده‌اند. از جمله مزایای این نوع مواد بسته‌بندی می‌توان به سبک بودن، مقاوم بودن در برابر ضربات مکانیکی، ارزان بودن، حمل و نقل راحت، نفوذناپذیری نسبت به گازها و بخارات، نفوذناپذیری نسبت به رطوبت، تأثیرناپذیری این مواد در برابر رطوبت‌های بالا، مقاومت در برابر شوک‌های حرارتی، مقاومت در برابر شکستن، عدم اثر جانبی بر ارگانسیم‌های بدن، مقاومت فشاری مناسب و خوب و بسیاری از مزایای دیگر اشاره نمود که در عصر حاضر بکارگیری این گونه مواد را قابل توجیه نموده است(۱۳).

بازیافت به عنوان یک روش تکمیلی برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری و افزایش کارایی از اهمیت ویژه‌ای در اقتصاد ملی برخوردار است، چرا که علاوه بر جلوگیری از افزایش مصرف موجب اشتغال‌زایی و ایجاد صنایع وابسته می‌گردد. در حال حاضر روزانه در حدود ۳۸۰۰۰ تن زباله در کشور تولید می‌شود، به‌نحوی که با بازیافت درصد قابل توجهی از آن می‌توان از مزایای زیست محیطی و اقتصادی حاصله نظیر دستیابی به روش‌های نوین و اقتصادی بازیافت مواد پلاستیکی مورد مصرف در صنایع مختلف، دستیابی به بسترهای کاربردی با ارزش افزوده مناسب مواد پلاستیکی مورد بازیافت، طراحی و استقرار سیستم نوین مدیریت بازیافت مواد پلاستیکی در سطح کلان کشور، ایجاد طرح‌های اشتغال‌زایی جدید، تلاش در جهت حذف روش‌های بازیافت سنتی

یادگیری، تأثیر بر کیفیت خواب(۹) و بسیاری از عوارض دیگر را می‌توان ناشی از تماس طولانی مدت با عامل زیان‌آور صدا نام برد. کلیه موارد یاد شده از عوارض مشترک صداهای با فرکانس-های بالا، میانی و پایین می‌باشند، لیکن بعضی از اثرات خاص مواجهه با صداهای فرکانس پایین است که عبارتند از احساس وزوز گوش، سردرد، افزایش میزان ترشح هورمون کورتیزول، افزایش واکنش‌های استرس‌زا(۲)، اختلالات تنفسی، ایجاد اذیت و ناراحتی و اظهار شکایت(۸و۷)، افزایش ترشح هورمون‌های آدرنالین و نورآدرنالین(۴، ۵ و ۹). منابع ایجاد صداهای با فرکانس-های پایین در صنایع و جامعه بسیار زیادند. بطور مثال دستگاه‌های تهویه، تأسیسات شبکه‌های کامپیوتری، کمپرسورها، اتاق‌های کنترل در صنایع مختلف، موتورهای دیزل، محیط‌های کاری اداری، ترافیک جاده‌ها و بزرگراه‌ها، مسیر انتقال لوله‌های فاضلاب، تجهیزات تولید پرتوهای یونیزان، پمپ‌ها و تلمبه‌خانه-ها، ماشین‌های لباس‌شویی، دیگ‌های بخار، یخچال‌ها و برج‌های خنک‌کننده از منابع مهمی می‌باشند که در ایجاد صدای فرکانس-های پایین بسیار نقش دارند(۱۰و۱۱).

با عنایت به مطالب بالا و به‌منظور پیشگیری از بروز مشکلات ناشی از مواجهه با صداهای صنعتی و غیرصنعتی، طراحی سامانه‌ها یا روش‌های مختلف کنترل صدا و حذف این آلاینده امری بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

در حال حاضر در داخل کشور از عایق‌های حرارتی از قبیل پشم شیشه و پشم سنگ به عنوان جاذب‌های صوتی استفاده می‌شود که دارای معایبی نظیر:

- خاصیت ایجاد حساسیت پوستی و آسیب به سیستم تنفسی و بروز بیماری‌های ناشی از کار در برخی از جاذب‌های صوتی غیرپلیمری
- خاصیت پخش‌شوندگی سریع و آسان بعضی از جاذب-های صوتی غیرپلیمری در محیط و ایجاد آلودگی زیست محیطی
- بروز آلودگی هوای محیط کار در کارخانجات تولیدکننده بعضی از جاذب‌های صوتی غیرپلیمری
- وجود اکسیدهای فلزی (Sio<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

مورد نیاز از یکی از صنایع معتبر سازنده ظروف بسته‌بندی و به صورت نمونه‌گیری تصادفی و به میزان مورد نیاز طرح تهیه شود. همچنین از پشم سنگ با چگالی ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب با ضخامت‌های ۵ و ۱۰ سانتی‌متر بهره‌برداری گردید.

#### • مرحله آسیاب مواد پلیمری

در این مرحله ظروف بسته‌بندی PET و PS با دستگاه آسیاب و خردکن با قدرت آسیاب‌کنندگی مناسب آسیاب شدند.

#### • سایزبندی مواد آسیابی

در این مرحله مواد آسیابی توسط سرندهای ساخته شده مطابق با استاندارد (American Standard Test Method: ASTM E11 (۱۴) و مطابق با استاندارد روش سرنده‌سازی ASTM D۴۲۲۲ (۱۵) در دو مش‌بندی مختلف ۱ تا ۵ میلی‌متر و ۶ تا ۲۰ میلی‌متر سایزبندی شدند.

#### • اختلاط

در این مرحله مواد آسیابی PET و PS به نسبت درصد وزنی مساوی در مخلوط‌کن با ظرفیت مناسب به مدت ۲ دقیقه به صورت خشک مخلوط شد و سپس همراه ۲۰ درصد وزنی رزین پلی‌وینیل استات با ویسکوزیته  $10^3 \times 5 \times 61$  سانتی‌پویز یا میلی-پاسکال ثانیه (۱۶) مطابق با استاندارد ASTM-C ۳۰۵-۹۴ در دو مرحله دو دقیقه‌ای اختلاط صورت پذیرفت (۱۷) و در مرحله نهایی الیاف پلی‌استر با میانگین قطر بین ۳۶ تا ۴۰ میکرون (در ۱۰ نمونه) به نسبت وزنی ۲/۵ درصد وزن کل مواد آسیابی با برش-های طولی ۲ سانتی‌متری و با وزن‌های ۳ گرم ۳ گرم به مخلوط افزوده گردید. در هر مرحله ۲ دقیقه عمل اختلاط توسط مخلوط-کن صورت پذیرفت.

#### • قالبگیری و تهیه نمونه

در این مرحله ساخت و قالبگیری نمونه‌های مورد نظر، فرمول ساختی PET، PS و الیاف پلی‌استر در سه نوبت انجام شد. قالب‌ها در سیلندرهای به قطر ۱۰ سانتی‌متر و ضخامت‌های نهایی ۵ و ۱۰ سانتی‌متر، مطابق با ابعاد لوله‌ی آکوستیک امپدانس تیوب تهیه شدند. کلیه نمونه‌ها در شرایط دمایی  $23 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد و همچنین با درصد رطوبت نسبی آزمایشگاه  $50 \pm 2$

و ایجاد زمینه‌های مناسب استقرار سیستم بهداشتی مناسب بازیافت مواد پلاستیکی بهره‌مند شد. شایان ذکر است در حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد زباله تولیدی متشکل از مواد پلاستیکی بوده و توجه به بازیافت و تبدیل آنها به مواد ارزشمند، مشابه آنچه که مورد نظر این تحقیق می‌باشد، در سطح کلان می‌تواند موجب شکوفایی اقتصادی به میزان قابل توجهی گردد. هم‌چنین در زمینه بازیافت مواد پلاستیکی اقدامات صورت گرفته بسیار محدود بوده است. تبدیل و بازیافت این مواد بیشتر در زمینه تولید محصولاتی بوده که ارزش افزوده مناسبی نداشته و در بسیاری از موارد باعث فقدان سیستمی منسجم و برنامه‌ریزی شده علمی، در زمینه جمع‌آوری و تبدیل بهداشتی مواد پلاستیکی، بعضاً مسئله بازیافت معضلات و خطرات بهداشتی بسیاری را در پی داشته و موجب بروز مشکلات عدیده‌ای برای مسئولان بهداشتی و درمانی کشور گردیده است. از این رو با توجه به موارد یاد شده و با هدف ساخت جاذب‌های صوتی بر پایه مواد پلیمری، ابتدا پس از انجام تحقیقات در مجلات علمی و پژوهشی داخلی و خارجی و همچنین مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی مشخص گردید سابقه‌ای در داخل کشور در این زمینه وجود نداشته و صرفاً یک مورد فعالیت پژوهشی در ساخت عایق‌های حرارتی بر پایه بازیافت پلی‌اتیلن ترفتالات توسط یک گروه مشترک آلمانی - لهستانی در کشور آلمان صورت پذیرفته است که دارای زمینه علمی و کاربردی متفاوتی از این تحقیق می‌باشد (۱۳)، از این رو در بررسی حاضر تلاش گردید نسبت به ساخت جاذب‌های صوتی بر پایه مواد پلیمری با توجه به خصوصیات که ذکر شد اقدام شود.

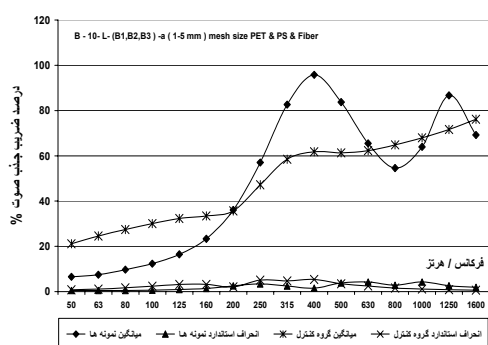
#### روش بررسی

این پژوهش در دو فاز صورت پذیرفته است

#### فاز اول:

##### • نحوه نمونه‌گیری و تهیه مواد اولیه

در این مرحله با توجه به وسعت کاربرد هر یک از مواد پلیمری مورد نظر در طرح و برآورد حدودی گستردگی کاربرد آنها در صنایع غذایی و آشامیدنی مختلف تصمیم گرفته شد ظروف



شکل ۲ - مقایسه میانگین‌های درصد ضریب جذب جاذب‌های صوتی گروه مورد (PET و PS) با مش‌بندی ۱ تا ۵ میلی‌متر با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و وزن مخصوص ۴۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب و گروه کنترل (پشم سنگ) با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و وزن مخصوص ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب

ساخت، ضخامت، مش‌بندی جاذب به عنوان عامل‌های مختلف، تحلیل واریانس فاکتوریل ۴ عاملی با حضور همه اثرات متقابل انجام شد. اثر متقابل ۴ عاملی بین عوامل مزبور معنی‌دار شد ( $p=0/005$ ).

#### فاز دوم:

• اندازه‌گیری و تعیین خصوصیات آکوستیکی، درصد ضریب جذب صوت نمونه‌های ساخته شده

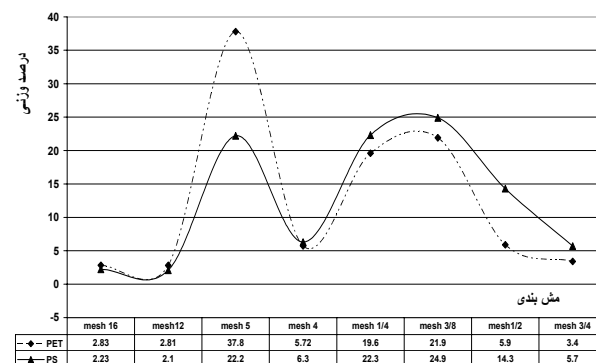
جهت تعیین میزان درصد ضریب جذب صوتی، نمونه‌های مورد ساخت از دستگاه آکوستیک امپدانس تیوب مدل ۴۲۰۶ شرکت B&K ساخت کشور دانمارک بهره‌برداری گردید (۲۲-۲۰). در خاتمه نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها از طریق آمار توصیفی و تحلیلی (تحلیل واریانس فاکتوریل و آزمون‌های تکمیلی مقایسه دوتایی میانگین‌ها) با  $\alpha=0/05$  و به کمک نرم‌افزار SPSS 15 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

#### یافته‌ها

نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در سه بخش ذیل اشاره می‌گردد.

۱- ساینده‌بندی مواد پلیمری آسیاب

شکل ۱ - میزان درصد وزنی سایزهای مختلف مواد پلیمری آسیابی PS و PET



ساخته شدند (۱۸).

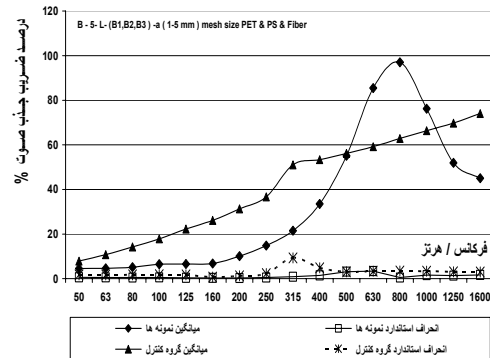
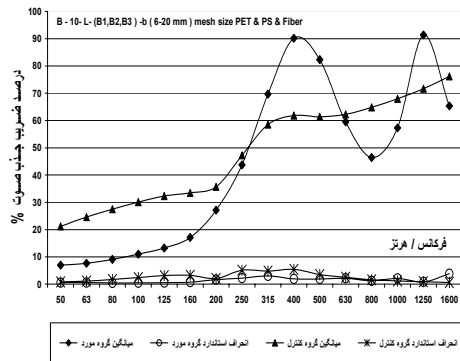
#### • فرآیند خشک‌سازی

در این مرحله کلیه نمونه‌های قالب‌ریزی شده به مدت ۷۲ ساعت در معرض هوای آزاد و آزمایشگاه قرار گرفتند و پس از طی زمان تثبیت وزنی، نمونه‌ها جهت تعیین خصوصیات آکوستیکی به آزمایشگاه مربوطه ارسال شدند (۱۹).

#### • روش تعیین اقطار الیاف پلی‌استر

در این طرح به منظور تعیین و اندازه‌گیری قطر الیاف پلی‌استر از میکروسکپ الکترونی با روش (Scanning Electron Microscope: SEM) مدل XL 30 شرکت فیلیپس ساخت کشور هلند استفاده شده است. جهت تعیین قطر الیاف پلی‌استر، پنج نمونه برش خورده الیاف بصورت تصادفی از بین کلیه الیاف مورد مصرف انتخاب شدند و پس از آماده‌سازی نمونه‌ها جهت تعیین قطر توسط میکروسکپ الکترونی از ۱۰ نقطه و میدان الیاف پلی‌استر قطر سنتی گردیدند.

به منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون یک نمونه‌ای کولموگروف - اسمیرنوف استفاده گردید. نتایج این آزمون نشان داد که توزیع متغیر وابسته (درصد ضریب جذب صوت) در هریک از سطوح عامل‌ها شامل جنس، مش‌بندی، ضخامت نهایی جاذب با  $p>0/05$  نرمال است. همچنین با در نظر گرفتن متغیرهای عامل مستقل فرکانس، جنس و فرمول



شکل ۴ - مقایسه میانگین‌های درصد ضریب جاذب‌های صوتی گروه مورد مطالعه (PET و PS) با مش‌بندی ۶ تا ۲۰ میلی‌متر با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و وزن مخصوص ۲۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب و گروه کنترل (پشم سنگ) با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و وزن مخصوص ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب

شکل ۳ - مقایسه میانگین‌های درصد ضریب جذب جاذب‌های صوتی گروه مورد (PET و PS) با مش‌بندی ۱ تا ۵ میلی‌متر با ضخامت ۵ سانتی‌متر و وزن مخصوص ۴۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب و گروه کنترل (پشم سنگ) با ضخامت ۵ سانتی‌متر و وزن مخصوص ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب

چنانچه در جدول ۱ و همچنین در شکل ۲ نشان داده شده است مقایسه میانگین درصد ضریب جذب جاذب‌های گروه مورد (پلی-اتیلن ترفتالات و پلی استایرن) با مش‌بندی ذرات با ضخامت نهایی جاذب ۱۰ سانتی‌متر با وزن مخصوص ۴۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب و پشم سنگ (بالاترین وزن مخصوص موجود در بازار کشور ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب به عنوان گروه کنترل انتخاب گردید) با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر نشانگر این مطلب باشد که در فرکانس‌های ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۱۵، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۳۰ و ۱۲۵۰ هرتز گروه PET و PS درصد ضریب جذب مناسب‌تری را از خود نشان می‌دادند. همچنین چنانچه در شکل ۳ نشان داده شده است مقایسه میانگین درصد ضریب جذب جاذب‌های گروه مورد (پلی-اتیلن ترفتالات و پلی استایرن) با مش‌بندی ذرات با ضخامت نهایی جاذب ۵ سانتی‌متر با وزن مخصوص ۴۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب و گروه کنترل با ضخامت ۵ سانتی‌متر نشانگر این مطلب است که در فرکانس‌های ۶۳۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز گروه مورد مطالعه درصد ضریب جذب بهتری داشتند.

همانطور که در جدول ۲ و شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است مقایسه میانگین درصد ضریب جذب جاذب‌های گروه

۲- اندازه‌گیری قطر الیاف پلی‌استر مورد استفاده  
۳- اندازه‌گیری مشخصات آکوستیکی (درصد ضریب جذب صوتی) نمونه‌های مورد ساخت  
۱- نتایج سایزبندی مواد اولیه  
نتایج حاصل از سایزبندی در شکل ۱ مشخص گردیده است.

۲- نتایج اندازه‌گیری قطر الیاف پلی‌استر  
میزان میانگین قطر الیاف به کار رفته در میدان‌های ده گانه مورد اندازه‌گیری بین ۳۶ تا ۴۰ میکرون تعیین گردید.

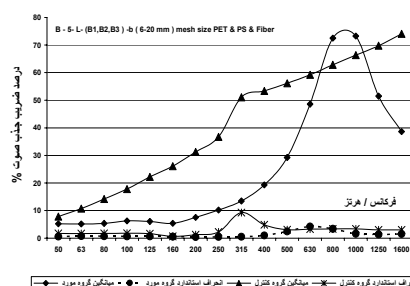
۳- نتایج اندازه‌گیری مشخصات آکوستیکی (درصد ضریب جذب صوتی) نمونه‌های ساخته شده

جداول ۱، ۲ و شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ میزان میانگین وانحراف معیار درصد ضریب جذب جاذب‌های صوتی ساخته شده و گروه کنترل (پشم سنگ) مشخص شده است.  
نتایج اندازه‌گیری درصد ضریب جذب صوت در فرکانس‌های ۵۰، ۶۳، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۱۵، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۳۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰ و ۱۶۰۰ هرتز (به تفکیک هر فرکانس) مشخص شده است.

نشانگر این مطلب بود در فرکانس‌های ۳۱۵، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۱۲۵۰ هرتز گروه مورد درصد ضریب جذب مناسب‌تری داشتند. همچنین چنانچه در شکل ۵ نشان داده شده است مقایسه میانگین درصد ضریب جذب جاذب‌های گروه مورد (PET و PS) با مش‌بندی ذرات ۶ تا ۲۰ میلی‌متر با ضخامت نهایی جاذب ۵ سانتی‌متر با وزن مخصوص ۲۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب و گروه کنترل (پشم سنگ) با ضخامت ۵ سانتی‌متر نشانگر این مطلب است در فرکانس‌های ۸۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز گروه PET و PS درصد ضریب جذب بهتری داشتند.

### بحث

به‌طور کلی نتایج حاصل از تعیین میانگین درصد ضریب جذب صوت نشانگر این مطلب است که مش‌بندی‌های



شکل ۵ - مقایسه میانگین درصد ضریب جاذب‌های صوتی گروه مورد مطالعه (PET و PS) با مش‌بندی ۶ تا ۲۰ میلی‌متر با ضخامت ۵ سانتی‌متر و وزن مخصوص ۲۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب و گروه کنترل (پشم سنگ) با ضخامت ۵ سانتی‌متر و وزن مخصوص ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب

پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌استایرن با مش‌بندی ذرات ۶ تا

جدول ۱- میانگین درصد ضریب جذب جاذب‌های صوتی با ساختار ترکیبی PET و PS با مش‌بندی ۱ تا ۵ میلی‌متر و وزن مخصوص ۴۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب با گروه کنترل (پشم سنگ) با وزن مخصوص ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب

میانگین (انحراف معیار) درصد ضریب جذب پشم سنگ		میانگین (انحراف معیار) درصد ضریب جذب مواد مورد مطالعه		فرکانس (هرتز)
پنج سانتی‌متر	ده سانتی‌متر	پنج سانتی‌متر	ده سانتی‌متر	
۶/۵۶ (۰/۴۸)	۴/۵۲ (۰/۵۸)	۷/۸۷ (۱/۷۱)	۲۱/۲۰ (۰/۸۲)	۵۰
۷/۵۲ (۰/۴۹)	۴/۶۱ (۰/۵۶)	۱۰/۷۵ (۱/۶۹)	۲۴/۶۰ (۱/۱۱)	۶۳
۹/۷۱ (۰/۵۴)	۵/۱۴ (۰/۵۰)	۱۴/۲۳ (۱/۷۰)	۲۷/۴۷ (۱/۷۱)	۸۰
۱۲/۳۸ (۰/۶۶)	۶/۴۵ (۰/۵۴)	۱۷/۸۳ (۱/۸۰)	۳۰/۱۰ (۲/۴۳)	۱۰۰
۱۶/۵۲ (۰/۹۳)	۶/۶۰ (۰/۳۵)	۲۲/۲۳ (۱/۶۷)	۳۲/۳۳ (۳/۱۵)	۱۲۵
۲۳/۳۵ (۱/۴۲)	۶/۸۱ (۰/۳۲)	۲۶/۱۳ (۰/۶۸)	۳۳/۴۳ (۳/۲۳)	۱۶۰
۳۶/۰۷ (۲/۵۲)	۱۰/۱۰ (۰/۲۷)	۳۱/۲۷ (۱/۲۳)	۳۵/۷۰ (۲/۰۸)	۲۰۰
۵۷/۰۵ (۳/۴۱)	۱۴/۸۰ (۰/۵۱)	۳۶/۷۰ (۲/۲۶)	۴۷/۲۳ (۵/۱۲)	۲۵۰
۸۲/۶۸ (۲/۴۸)	۲۱/۵۲ (۰/۸۸)	۵۱/۰۷ (۹/۲۹)	۵۸/۵۰ (۴/۷۹)	۳۱۵
۹۵/۸۲ (۱/۵۸)	۳۳/۴۸ (۱/۴۶)	۵۳/۳۷ (۴/۸۴)	۶۱/۸۳ (۵/۴۲)	۴۰۰
۸۳/۷۲ (۳/۸۲)	۵۵/۰۸ (۳/۱۴)	۵۶/۱۷ (۳/۰۷)	۶۱/۳۳ (۳/۵۰)	۵۰۰
۶۵/۵۳ (۴/۲۹)	۸۵/۴۷ (۳/۳۸)	۵۹/۲۰ (۳/۳۲)	۶۲/۳۰ (۲/۵۱)	۶۳۰
۵۴/۶۰ (۲/۸۹)	۹۷/۰۳ (۰/۵۰)	۶۲/۸۳ (۳/۳۹)	۶۴/۸۳ (۱/۶۳)	۸۰۰
۶۳/۹۷ (۴/۳۱)	۷۶/۲۳ (۱/۵۸)	۶۶/۳۳ (۳/۳۶)	۶۷/۹۷ (۱/۱۷)	۱۰۰۰
۸۶/۷۲ (۲/۶۳)	۵۱/۹۳ (۱/۳۶)	۶۹/۷۷ (۳/۰۴)	۷۱/۶۷ (۰/۹۰)	۱۲۵۰
۶۹/۲۲ (۱/۹۲)	۴۵/۰۳ (۱/۷۰)	۷۴/۰۷ (۳/۰۱)	۷۶/۲۰ (۰/۶۲)	۱۶۰۰

جدول ۲ - میانگین درصد ضریب جذب جاذب‌های صوتی با ساختار ترکیبی PET و PS با مش‌بندی ۶ تا ۲۰ میلی‌متر با وزن مخصوص ۲۷۰ کیلوگرم بر متر مکعب با گروه کنترل (پشم سنگ) با وزن مخصوص ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب

میانگین (انحراف معیار) درصد ضریب جذب پشم سنگ		میانگین (انحراف معیار) درصد ضریب جذب مواد مورد مطالعه		فرکانس (هرتز)
ده سانتی‌متری	پنج سانتی‌متری	ده سانتی‌متری	پنج سانتی‌متری	
(۰/۶۰) ۵/۲۳	(۰/۵۲) ۶/۹۴	(۱/۷۱) ۷/۸۷	(۰/۸۲) ۲۱/۲۰	۵۰
(۰/۷۷) ۵/۱۶	(۰/۵۷) ۷/۶۱	(۱/۶۹) ۱۰/۷۵	(۱/۱۱) ۲۴/۶۰	۶۳
(۰/۷۴) ۵/۳۶	(۰/۴۷) ۹/۰۹	(۱/۷۰) ۱۴/۲۳	(۱/۷۱) ۲۷/۴۷	۸۰
(۰/۶۷) ۶/۲۹	(۰/۵۰) ۱۰/۹۸	(۱/۸۰) ۱۷/۸۳	(۲/۴۳) ۳۰/۱۰	۱۰۰
(۰/۶۷) ۶/۰۶	(۰/۵۵) ۱۳/۲۳	(۱/۶۷) ۲۲/۲۳	(۳/۱۵) ۳۲/۳۳	۱۲۵
(۰/۵۹) ۵/۴۱	(۰/۷۰) ۱۷/۱۲	(۰/۶۸) ۲۶/۱۳	(۳/۲۳) ۳۳/۴۳	۱۶۰
(۰/۴۴) ۷/۵۴	(۱/۶۷) ۲۷/۱۲	(۱/۲۳) ۳۱/۲۷	(۲/۰۸) ۳۵/۷۰	۲۰۰
(۰/۴۸) ۱۰/۲۲	(۲/۲۲) ۴۳/۷۳	(۲/۲۶) ۳۶/۷۰	(۵/۱۲) ۴۷/۲۳	۲۵۰
(۰/۵۳) ۱۳/۵۰	(۳/۰۲) ۶۹/۶۸	(۹/۲۹) ۵۱/۰۷	(۴/۷۹) ۵۸/۵۰	۳۱۵
(۱/۰۰) ۱۹/۳۲	(۱/۹۲) ۹۰/۱۵	(۴/۸۴) ۵۳/۳۷	(۵/۴۲) ۶۱/۸۳	۴۰۰
(۲/۴۷) ۲۹/۲۷	(۱/۹۰) ۸۲/۳۲	(۳/۰۷) ۵۶/۱۷	(۳/۵۰) ۶۱/۳۳	۵۰۰
(۴/۲۶) ۴۸/۵۸	(۲/۱۳) ۵۹/۴۸	(۳/۳۲) ۵۹/۲۰	(۲/۵۱) ۶۲/۳۰	۶۳۰
(۳/۴۲) ۷۲/۵۲	(۱/۲۱) ۴۶/۴۵	(۳/۳۹) ۶۲/۸۳	(۱/۶۳) ۶۴/۸۳	۸۰۰
(۱/۵۷) ۷۳/۲۵	(۲/۱۰) ۵۷/۳۲	(۳/۳۶) ۶۶/۳۳	(۱/۱۷) ۶۷/۹۷	۱۰۰۰
(۱/۳۵) ۵۱/۴۷	(۰/۷۹) ۹۱/۳۷	(۳/۰۴) ۶۹/۷۷	(۰/۹۰) ۷۱/۶۷	۱۲۵۰
(۱/۵۶) ۳۸/۶۵	(۳/۸۱) ۶۵/۳۲	(۳/۰۱) ۷۴/۰۷	(۰/۶۲) ۷۶/۲۰	۱۶۰۰

استفاده قرار می‌گیرند. به‌طور مثال به برخی از خصوصیات یک جاذب مناسب از قبیل عدم ایجاد بیماری‌های ناشی از کار (حساسیت‌های پوستی و چشمی، ناراحتی‌های تنفسی و...)، مقاومت مکانیکی مناسب، قابلیت نصب آسان، دوست‌دار محیط زیست بودن و از همه مهم‌تر ارزان و مقرون به صرفه بودن آن توجه کاملی نمی‌شود. حال آنکه در بررسی حاضر به موارد یاد شده بسیار توجه شده است. بنابر تحقیقی که توسط Yang و همکاران (۲۰۰۰) در کره جنوبی در زمینه طراحی و ساخت جاذب‌های صوتی با استفاده از ترکیب ذرات چوب و ساقه برنج انجام شده است (۲۳) در فرکانس‌های ۱۰۰۰، ۱۲۵۰ و ۱۶۰۰ هرتز و همچنین در فرکانس‌های بالای ۲۰۰۰ هرتز میزان ضریب جذب صوتی حاصله پایین‌تر از نتایج حاصله از تحقیق حاضر می‌باشد. به علاوه، این پژوهشگران در فرآیند ساخت از رزین

کوچکتر (۱ تا ۵ میلی‌متر) در مقایسه با مش‌بندی‌های بزرگتر (۶ تا ۲۰ میلی‌متر) در تعداد فرکانس‌های بیشتری پاسخ جذبی بهینه‌ای را فراهم می‌سازد. همچنین نتایج حاصله نشان می‌دهد با افزایش ضخامت جاذب صوتی در فرکانس‌های پایین (۲۰۰ الی ۳۱۵ هرتز) پاسخ جذبی بهینه‌ای نسبت به گروه کنترل ایجاد می‌شود.

امروزه با توجه به اهمیت کنترل آلودگی صوتی در صنایع و جوامع عمومی در پیشگیری از بروز و افزایش میزان کاهش شنوایی، تحقیقات بسیار گسترده و وسیعی در جهت طراحی و ساخت انواع جاذب‌های صوتی به عنوان یکی از ابزارهای مهم در کنترل آلودگی‌های صوتی به عمل آمده است که هرکدام در جایگاه خود دارای مزایا و معایبی می‌باشند. به نحوی که در اکثر نقاط دنیا این جاذب‌ها بدون توجه به تمامی جوانب فنی مورد



جاذب‌های ساخته شده در تحقیق حاضر ۰/۴۳ یعنی تقریباً دو برابر، کارایی مناسب‌تری را در فرکانس‌های مشابه از خود نشان داده است. همچنین میزان ضریب جذب صوت در فرکانس‌های ۴۰۰ الی ۱۲۵۰ هرتز به میزان ۰/۵۹ گزارش شده است در صورتی که در همان فرکانس‌ها میزان ضریب جذب صوتی جاذب‌های ساخته شده در تحقیق حاضر برابر ۰/۷۵ حاصل گردیده است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به معایب متعدد موادی از قبیل پشم سنگ نظیر مشکلات بهداشتی و بروز انواع عوارض و حساسیت‌های فیزیولوژیک و با توجه به درصد ضریب جذب صوتی مناسب جاذب‌های صوتی پلیمری در برخی فرکانس‌ها نسبت به پشم سنگ، بکارگیری جاذب‌های صوتی بر پایه مواد پلیمری ضمن پیشگیری از بسیاری از بیماری‌های ناشی از کار و همچنین با عنایت به مقرون به صرفه بودن تولید این گونه جاذب‌ها که از طریق فرآیندهای بازیافتی ساخته می‌شوند می‌تواند نقش بسیار مهمی را در اقتصاد ملی ایفا نماید.

چسباننده اوره فرم آلدئید استفاده کرده‌اند که سبب می‌شود تا مدت‌ها پس از ساخت بخارات فرم آلدئید را از این جاذب‌ها متصاعد شود که طبق گزارش‌های متعدد منابع علمی معتبر آسیب‌زایی خطرات بهداشتی آن به اثبات رسیده است، حال آن‌که در پژوهش حاضر از رزین بر پایه پلی‌وینیل استات استفاده شده است که خطرات بهداشتی و قابلیت اشتعال‌پذیری آن در گروه مواد شیمیایی کاملاً بی‌خطر طبقه‌بندی قرار گرفته است که از دیگر مزایای جاذب صوتی مورد ساخت تحقیق حاضر می‌باشد. همچنین ارزانی مواد اولیه و قابلیت بازیافت مجدد آن نیز از دیگر مزایای جاذب‌های صوتی مورد ساخت در تحقیق حاضر است. با توجه به موارد یاد شده، جاذب‌های ساخته شده پتانسیل بهره‌برداری مناسبی را در داخل کشور دارا می‌باشد.

در تحقیق دیگری که توسط Sobral و همکاران (۲۰۰۳) در خصوص ساخت جاذب‌های صوتی بر پایه گرانول‌های حاصل از آسیاب لاستیک‌های فرسوده اتومبیل‌ها در کشور پرتغال صورت پذیرفته است (۲۴) نتایج حاصله نشان می‌دهد که در فرکانس‌های یک سوم اکتاو باند ۱۲۵، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۱۵ هرتز میزان ضریب جذب صوت جاذب‌های مورد ساخت برابر ۰/۲۰ گزارش گردیده است حال آنکه میزان ضریب جذب صوتی

## REFERENCE

- Nelson DI, Nelson RY, Concha-Barrientos M, Fingerhut M. The global burden of occupational noise-induced hearing loss. *Am J Ind Med.* 2005;48(6):446-58.
- Persson Wayne K, Bengtsson J, Kjellberg A, Benton S. Low frequency noise "pollution" interferes with performance. *Noise Health.* 2001;4(13):33-49.
- Schust M. Effects of low frequency noise up to 100 HZ. *Noise Health.* 2004;6(23):73-85.
- Ising H, Babisch W, Kruppa B. Noise-induced endocrine effects and cardiovascular risk. *Noise Health.* 1999;1(4):37-48.
- Ising H, Braun C. Acute and chronic endocrine effects of noise: review of research conducted at the institute for water, soil and air hygiene. *Noise Health.* 2000;2(7):7-24.
- Mirowska M. Evaluation of low frequency noise in dwellings. new Polish recommendation. *Noise Note.* 2003;2(1):30-8.
- Leventhall HG. Low frequency noise and annoyance. *Noise Health.* 2004;6(23):59-72.
- Feldmann J, Pitten FA. Effects of low frequency noise on man. *Noise Health.* 2004;7(25):23-8.
- Person Wayne K, Agge A, Clow A,

- Hucklebridge F. Cortisol response and subjective sleep disturbance after low-frequency noise exposure. *Sound Vibration*. 2004;277(3):453-7.
10. Berglund B, Hassmén P, Job RF. Sources and effects of low frequency noise. *J Acous Soc Am*. 1996;99(5):2985-3002.
  11. Casella stanger. Low frequency noise a technical research. *DEFRA*. 2001;5-6.
  12. Pfretzschner J, Rodriguez RM. Acoustic properties of rubber crumbs. *Polymer Testing*. 1999;18(22):81-92.
  13. Awaja F, Pavel D. Recycling of PET. *Eur Polym J*. 2005; 41:1453-77.
  14. American society for testing and materials. ASTM E-11 standard specification for wire cloth and sieves for testing purposes. ASTM subcommittee E29.07; 1995.
  15. American society for testing and materials. ASTM D-4222-63 standard test method for particle size analysis of soils. ASTM subcommittee D18.03; 2007.
  16. International Standard Organization. Resins in liquid state or as emulsions or dispersion, determination of apparent viscosity by the brookfield test method (ISO 2555:1989). 2<sup>nd</sup> ed. Dublin: National Standard Authority of Ireland; 1999.
  17. American society for testing and materials. ASTM C305 Standard practice for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mrtars of plastic consistency. ASTM subcommittee C01.22; 1994.
  18. American society for testing and materials. ASTM D1151 Standard practice for effect of moisture and temperature on adhesive bonds. ASTM subcommittee D14.80; 2000.
  19. American society for testing and materials. ASTM C42/C42M Standard test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete. ASTM subcommittee C09.61; 1999.
  20. American society for testing and materials. ASTM E1050 Standard test method impedance and absorption of acoustical materials using a tube two microphones and a digital frequency analysis system. ASTM subcommittee E33.01; 1998.
  21. American society for testing and materials. ASTM E797 Standard test method mounting test specimens during sound absorption tests. ASTM subcommittee E07.06; 2001.
  22. American society for testing and materials. ASTM C384 Standard test method impedance and absorption of acoustical materials by the impedance tube method. ASTM subcommittee E33.01; 1998.
  23. Yang HS, Kim DJ, Kim HJ. Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *J Bioresour Technol*. 2003;86:117-21.
  24. Sobral M, Samagaio AJB, Ferreira JMF, Labrincha JA. Mechanical and acoustical characteristics of bound rubber granulate. *J Mater Process Technol*. 2003;142:427-33.