



# An Experimental Investigation on Acoustical Insulation Characteristics of the Natural Rubber Reinforced by Polyester Fibers

## ARTICLE INFO

### Article Type

Original Research

### Authors

Salehi M.<sup>\*1</sup> PhD,  
Musavi A.<sup>1</sup> MSc

### How to cite this article

Salehi M, Musavi A. An Experimental Investigation on Acoustical Insulation Characteristics of the Natural Rubber Reinforced by Polyester Fibers. Modares Mechanical Engineering. 2019;19(1):137-141.

## ABSTRACT

Considering the hazards of noise pollutions and their increasing trend, nowadays, sound insulations are of the utmost importance. Some available insulating blankets in the market are made of foam and absorb moisture, while the other types of common insulations are fragile and vulnerable. Most of the insulations cannot be used in available construction materials and decrease the beauty of atmosphere. The insulations, which do not have the mentioned problems, are expensive. The current study aims at introducing an insulation, which does not have these problems and resists moisture at a reasonable price. This insulation is made of natural rubber and polyester fibers. It has a considerable flexibility and can be combined with other construction materials. In this experimental study, different samples of one-layer and two-layer natural rubbers with 2.2 mm thickness for each layer were produced with and without fibers in compression molding method. They were tested in various frequencies and compared with the results of common XPS sound insulation. Each of the samples had a good performance in a specific frequency. All samples exhibited an acceptable behavior compared with their peers in the market. Each of the samples performed better at a certain frequency. In conclusion, the best performance is related to the two-layer rubber sample with fibers and the present insulation in the market is in the second rank.

**Keywords** Natural Rubber; Polyester Fibers; Sound Insulation; Frequency

<sup>1</sup>Mechanical Engineering Department, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

### \*Correspondence

Address: Najafabad branch, Islamic Azad University, University Square, Najafabad, Isfahan, Iran. Postal Code: 8514143131  
Phone: +98 (31) 422929  
Fax: +98 (31) 42291016  
mehdi.salehi@pmc.iaun.ac.ir

### Article History

Received: April 15, 2018  
Accepted: October 10, 2018  
ePublished: January 01, 2019

## CITATION LINKS

[1] Occupational noise [2] Study of noise pollution and its effects on subjective fatigue of staff in the governmental banks of Hamadan city [3] Objective approach for analysis of noise source characteristics and acoustic conditions in noisy computerized embroidery workrooms [4] Industrial noise control: Fundamentals and applications [5] Short fiber reinforced elastomers [6] Calculation of resonant sound absorption parameters for performance evaluation of metal rubber material [7] Crumb rubber blends in noise absorption study [8] Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement [9] Acoustical properties of plywood/waste tire rubber composite panels [10] Influence of fibers partially coated with rubber from tire recycling as aggregate on the acoustical properties of rubberized concrete [11] Modeling of grooved acoustic panels

## بررسی تجربی افت انتقال صوتی لاستیک طبیعی تقویت شده با الیاف پلی‌استر

مهدی صالحی\* PhD

گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

اشکان موسوی MSc

گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

### چکیده

با توجه به آسیب‌های جدی ناشی از آلودگی‌های صوتی و همچنین افزایش روزافزون این آلودگی‌ها، امروزه جایگاه عایق‌های صوتی اهمیت بیشتری یافته است. برخی عایق‌های موجود در بازار از جنس فوم بوده و نسبت به رطوبت حساس هستند. انواع دیگر از عایق‌های متداول بسیار شکننده و آسیب‌پذیر هستند. انواع زیادی از عایق‌ها امکان استفاده در متریال‌های ساختمانی را نداشته و به زیبایی محیط آسیب می‌زنند. عایق‌هایی که مشکلات مطرح شده را نداشته باشند گران‌قیمت هستند. در این مطالعه سعی شده عایق‌های آرایه شده که مشکلات مطرح شده را نداشته و دارای قیمتی مناسب و در عین حال در برابر رطوبت مقاوم باشد. این عایق از لاستیک طبیعی و الیاف پلی‌استر تهیه شده است و انعطاف‌پذیری قابل ملاحظه‌ای دارد. این عایق، امکان ترکیب با سایر مواد ساختمانی موجود را نیز دارد. در یک فعالیت آزمایشگاهی، نمونه‌هایی شامل لاستیک طبیعی یک‌لایه و دولایه که ضخامت هر لایه ۲/۲ میلی‌متر است با الیاف و بدون الیاف پلی‌استر به روش قالب‌گیری فشاری تولید شده و در فرکانس‌های مختلف تحت آزمون صوتی قرار گرفتند. نتایج آزمایش این عایق‌ها با نتایج مربوط به عایق رایج صوتی فوم ایکس‌پی‌اس و بدون وجود عایق مقایسه شدند. همه نمونه‌ها رفتار قابل قبولی نسبت به نمونه عایق موجود در بازار از خود آرایه کردند. هر کدام از نمونه‌ها در فرکانس خاصی عملکرد بهتری داشتند. در مجموع بهترین عملکرد مربوط به نمونه لاستیکی دولایه همراه با الیاف بوده و عایق موجود در بازار در رتبه دوم قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: لاستیک طبیعی، الیاف پلی‌استر، عایق صوتی، فرکانس

تاریخ دریافت: ۹۷/۱/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۱۸

\* نویسنده مسئول: mehdi.salehi@pmc.iaun.ac.ir

یکی از روش‌های کارآمد است [7]. به‌عنوان مثال تاثیر استفاده از لاستیک خرد شده در پانل‌های بتنی برای بهبود خواص آکوستیک قابل ملاحظه است. افزایش درصد لاستیک ترکیب شده باعث بهبود خواص صوتی می‌شود و این پانل‌ها در فرکانس‌های بالا عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند [8].

استفاده از لاستیک برای بهبود خواص آکوستیک در تخته و چوب به‌عنوان لایه داخلی نیز در مطالعات مختلف به چشم می‌خورد. با توجه به کاربرد بالای این دسته از مواد در صنایع مختلف از جمله ساختمان، تلاش در راستای ارتقای خواص آکوستیک آنها بسیار حایز اهمیت است. این خواص ارتباط مستقیمی با نحوه اتصال، نوع رزین یا چسب مصرفی، نحوه پرس‌کردن و ضخامت لایه لاستیکی دارند [9]. تقویت لاستیک با الیاف به بهبود خواص آکوستیک لاستیک کمک قابل ملاحظه‌ای می‌کند. این بهبود خواص معمولاً با افزایش میزان الیاف مصرفی افزایش خواهد یافت [10]. از دیگر عوامل تاثیرگذار بر خواص ذکر شده می‌توان به هندسه پانل اشاره کرد که در مطالعات متنوعی به چشم می‌خورد [11]. با توجه به مطالب ذکر شده به نظر می‌رسد تقویت لاستیک طبیعی که خواص مکانیکی بسیار مناسبی دارد، با الیاف به‌صورت لایه‌گذاری به بهبود خواص آکوستیک این مواد کمک کند. همچنین به‌دلیل امتزاج‌پذیری لاستیک طبیعی با مواد مختلف، کاربردهای متفاوتی برای این مواد قابل حصول است و در سازه‌های مسکونی، تجاری و تولیدی به‌منظور عایق‌کردن محیط، قابل استفاده و کاربردی به نظر می‌رسد.

## ۲- مواد و روش تحقیق

### ۲-۱- دستگاه اندازه‌گیری سطح فشار صوت

از این تجهیز به‌منظور اندازه‌گیری دقیق‌تر از فشار صوت بر حسب دسی‌بل استفاده می‌شود. مدل SLM مورد استفاده در این مطالعه TES-1352 بوده و محدوده داده‌برداری این سیستم در محدوده ۳۰ تا ۱۳۰ دسی‌بل انتخاب شده است (شکل ۱).



شکل ۱) تصویر دستگاه اندازه‌گیری سطح فشار صوت

### ۲-۲- کد آنالیز صوت

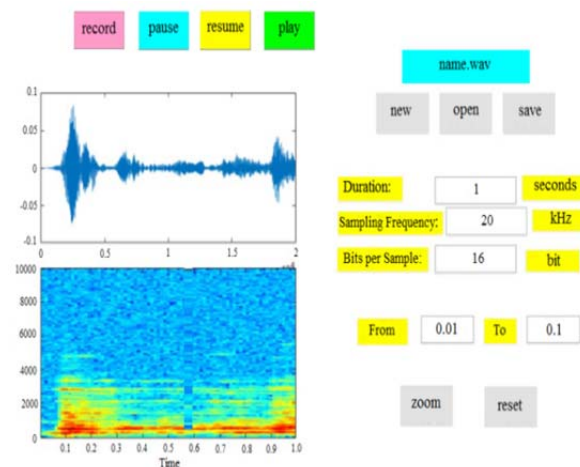
اولین گام در آزمایش، ثبت سیگنال آنالوگ صوتی و تبدیل آن به حالت دیجیتال است. کد ضبط صدای مورد استفاده به‌گونه‌ای طراحی شده است که ابتدا صدا را از حالت آنالوگ موجود به حالت دیجیتال تبدیل می‌کند و در آن تعداد بیت و فرکانس داده‌برداری با توجه به محدودیت‌های کارت صوتی و میکروفن قابل تنظیم است. پس از آن با استفاده از جداول صوتی استاندارد، داده‌های دیجیتال موجود به فایل صوتی با پسوند wav تبدیل می‌شوند. پس از داده‌برداری، داده‌های ضبط شده به‌عنوان ورودی یک کد دیگر استفاده می‌شود که برای آنالیزهای مختلف صوتی نوشته شده است. برای ضبط صدا ابتدا باید تعداد بیت مربوط به گسسته‌سازی را مشخص نمود. جدول ۱ اطلاعات مربوط به تعداد بیت‌های مختلف داده‌برداری را نمایش می‌دهد. پارامتر دیگری که باید در

## ۱- مقدمه

آسایش آکوستیک، عدم وجود صداهای مزاحم و نابهنجار و آسایش افراد در محیط کار و زندگی از دیدگاه آکوستیک است [1, 2]. در محیط‌های پُر صدا به‌منظور کاهش انعکاس و زمان بازآوایی و در نتیجه کاهش تراز صدا از مواد و مصالحی استفاده می‌شود که دارای خصوصیات جذب صوت هستند. مواد جاذب صوت با تاثیر روی سطوح داخلی یک بنا و در نتیجه کاهش انعکاس صدا در این سطوح داخلی موجب کاهش تراز صوت می‌شوند [3]. جذب صوت در آکوستیک به معنی افت انرژی هنگام برخورد یک موج صوتی به سطح معین و تبدیل آن به انرژی گرمایی است. برای کاهش صدا در میدان‌ها یا محیط‌های بازآوا، مواد جاذب صدا را می‌توان روی سطوح مورد استفاده قرار داد [4].

با توجه به خواص فیزیکی منحصربه‌فرد الاستومرها، استفاده از این مواد در مطالعات متعددی به چشم می‌خورد. الاستومرها در برابر محیط‌های شیمیایی مختلف، مقاومت خوبی از خود به نمایش می‌گذارند و همچنین سازگاری و امتزاج‌پذیری مناسبی با مواد مختلف دارند [5]. ترکیب لاستیک با فلز و دستیابی به مصالح یکپارچه با خصوصیات مناسب، کاربردهای زیادی در صنایع مختلف دارد. یکی از این کاربردها در مواد عایق صوتی بوده، بنابراین محاسبه پارامتر جذب صدا برای ارزیابی عملکرد این مواد نکته مهمی است که در مطالعات متعددی به چشم می‌خورد [6]. استفاده از لاستیک خرد شده در مواد مختلف برای بهبود خواص آکوستیک

برای بررسی کلی عملکرد عایق اعمال شده است. به دلیل عدم امکان کنترل دقیق سیگنال منبع، در کلیه آزمایش‌ها سیگنال دریافتی در حضور عایق‌های مختلف با حالت بدون عایق و در شرایط یکسان مقایسه شده است.



شکل ۲) تنظیمات کد MATLAB مورد استفاده

### ۲-۳- مواد

در این مطالعه آزمایشات روی لاستیک طبیعی (NR) صورت گرفته و برخی خواص مکانیکی لاستیک NR استفاده شده در این مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

عایق‌ها به روش قالب‌گیری فشاری و در ابعاد ۱۳۵×۱۳۵ میلی‌متر و ضخامت ۲/۲ میلی‌متر تولید شده‌اند. نمونه‌هایی که دارای الیاف هستند نیز به همین روش تولید و مطابق شکل ۳ لایه‌گذاری شده‌اند.

آزمایشات برای لاستیک طبیعی بدون الیاف و با الیاف ضخامت‌های ۲/۲ و ۴/۴ میلی‌متر و بدون عایق و همراه با عایق ایکس‌پی‌اس در فرکانس‌های ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز (مجموعاً ۳۶ آزمون) صورت پذیرفت. در جدول ۳ روش نام‌گذاری مشخصات هر نمونه مشاهده می‌شود. برای نمونه در شکل ۴، تصویر انجام آزمون برای لاستیک طبیعی تک‌لایه همراه با الیاف پلی‌استر ملاحظه می‌شود.

جدول ۲) خواص مکانیکی لاستیک طبیعی

مقدار عددی	استاندارد	واحد	خصوصیت
۷۵	ASTM D2240	Shore A	سختی
۲۱	ASTM D412	MPa	استحکام کششی
۴۰۰	ASTM D412	درصد	درصد ازدیاد طول
۱۱/۷	ASTM D395	درصد	مانایی فشاری

جدول ۳) نام و مشخصات نمونه‌ها

ردیف	نام نمونه	مشخصات نمونه
۱	Non	بدون عایق
۲	Isolator	عایق موجود در بازار به ضخامت ۲۰ میلی‌متر
۳	N1	یک لایه لاستیک طبیعی به ضخامت ۲/۲ میلی‌متر
۴	N2	دو لایه لاستیک طبیعی به ضخامت ۴/۴ میلی‌متر
۵	NF1	یک لایه لاستیک طبیعی تقویت شده با الیاف به ضخامت ۲/۲ میلی‌متر
۶	NF2	دو لایه لاستیک طبیعی تقویت شده با الیاف به ضخامت ۴/۴ میلی‌متر

ضبط داده‌ها از حالت آنالوگ به دیجیتال مشخص شود، نرخ نمونه‌برداری است. حداقل فرکانس نمونه‌برداری باید به گونه‌ای انتخاب شود که از ایجاد خطای آلیاسینگ اجتناب شود. در صورت وجود این خطا، محتوای فرکانسی داده‌های گسسته‌سازی شده از واقعیت فاصله خواهد گرفت. به منظور احتراز از این خطا و مطابق معیار نایکوئیست، حداقل فرکانس داده‌برداری بایستی ۲/۵ برابر ماکزیمم فرکانس موجود در سیگنال باشد. البته برای بازسازی دقیق دامنه سیگنال، معمولاً فرکانس داده‌برداری بسیار بالاتر از این معیار انتخاب می‌شود. حجم داده‌ها و توانایی سخت‌افزاری و کارت داده‌برداری، حد بالایی فرکانس داده‌برداری را تعیین می‌کنند.

تبدیل داده‌های زمانی به حوزه فرکانسی به کمک تبدیل سریع فوریه (FFT) و معمولاً به صورت سخت‌افزاری انجام می‌شود. رابطه پایه تبدیل فوریه در معادله ۱ مشاهده می‌شود. ضرایب این بسط نیز به کمک سیگنال موجود قابل محاسبه است.

(۱)

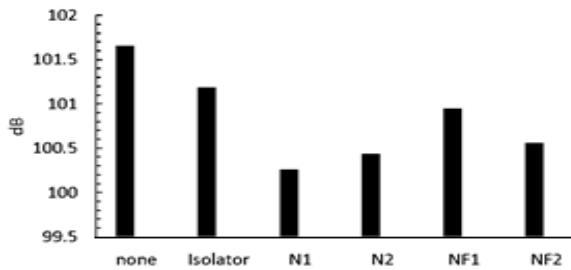
$$f(t) = a_0/2 + \sum [a_n \cos(\omega nt) + b_n \sin(\omega nt)]$$

جدول ۱) دقت و میزان نویز در بیت‌های داده برداری

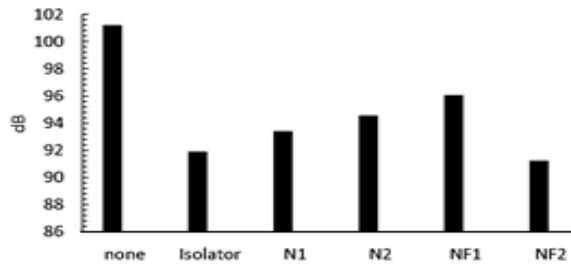
تعداد بیت	نسبت سیگنال به نویز (دسی‌بل)	مقادیر صحیح ممکن برای هر نمونه	محدوده سیگنال در پایه ۱۰ برای هر نمونه
۴	۲۴/۰۸	۲ <sup>۴</sup>	+۷ تا -۸
۸	۴۸/۱۶	۲ <sup>۸</sup>	-۱۲۷ تا +۱۲۷
۱۱	۶۶/۲۲	۲ <sup>۱۱</sup>	-۱۰۲۳ تا +۱۰۲۳
۱۶	۹۶/۳۳	۲ <sup>۱۶</sup>	-۳۲,۷۶۸ تا +۳۲,۷۶۷
۲۰	۱۲۰/۴۱	۲ <sup>۲۰</sup>	-۵۲۴,۲۸۸ تا +۵۲۴,۲۸۷
۲۴	۱۴۴/۴۹	۲ <sup>۲۴</sup>	-۸,۳۸۸,۶۰۸ تا +۸,۳۸۸,۶۰۷
۳۲	۱۹۲/۶۶	۲ <sup>۳۲</sup>	-۲,۱۴۷,۴۳۸,۶۴۸ تا +۲,۱۴۷,۴۳۸,۶۴۷
۴۸	۲۸۸/۹۹	۲ <sup>۴۸</sup>	-۱۴,۷۳۷,۴۸۸,۳۵۵,۳۲۸ تا +۱۴,۷۳۷,۴۸۸,۳۵۵,۳۲۷
۶۴	۳۸۵/۳۲	۲ <sup>۶۴</sup>	-۹,۲۲۳,۳۷۲,۰۳۶,۸۵۴,۷۷۵,۸۰۸ تا +۹,۲۲۳,۳۷۲,۰۳۶,۸۵۴,۷۷۵,۸۰۷

در این تحقیق، کلیه عملیات فوق در یک کد نرم‌افزاری در محیط MATLAB انجام شده است. در این کد ابتدا مدت زمان داده‌برداری مشخص می‌شود و انتخاب زمان داده‌برداری طولانی‌تر باعث بهبود رزولوشن فرکانسی نتایج خواهد شد. پس از آن فرکانس داده‌برداری با توجه به سخت‌افزار موجود بر حسب کیلوهرتز معرفی می‌شود و سپس تعداد بیت‌های داده‌برداری با توجه به توانایی کارت صوتی استفاده و به کمک جدول ۱ در نظر گرفته می‌شود. پس از تنظیم پارامترها، ضبط صدا انجام می‌گیرد و داده‌ها روی نمودارهایی نمایش داده می‌شود. شکل ۲، شمایی از کد مورد استفاده را نمایش می‌دهد. در این شکل، علاوه بر تنظیمات زمان داده‌برداری، فرکانس نمونه‌برداری و تعداد بیت‌های گسسته‌سازی، نمودار سیگنال زمانی و همچنین نمودار زمان فرکانس سیگنال اندازه‌گیری شده نمایش داده شده است.

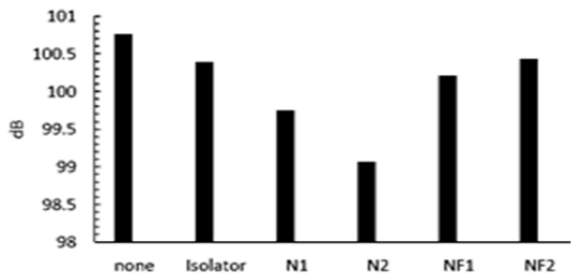
در کلیه آزمایش‌ها، از یک بلندگوی تجاری معمول به عنوان منبع صوتی استفاده شد. ولتاژ تغذیه بلندگو در هر حالت به صورت تن خالص با هر یک از فرکانس‌های ۱۲۵ تا ۴۰۰۰ هرتز (متناظر با فرکانس‌های مرکزی باندهای اکتاو) بوده است. در یک آزمایش مجزا، نویز با باند پهن و شامل تمامی فرکانس‌های مورد مطالعه



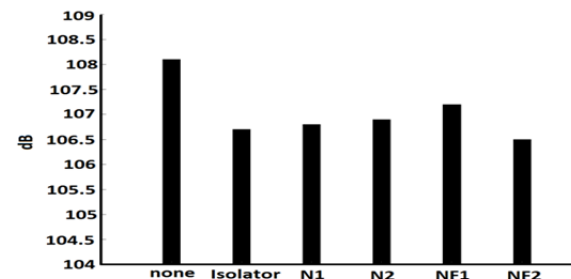
نمودار ۴) مقادیر تراز صوتی اندازه‌گیری شده در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز برای عایق‌های مختلف



نمودار ۵) مقادیر تراز صوتی اندازه‌گیری شده در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز برای عایق‌های مختلف



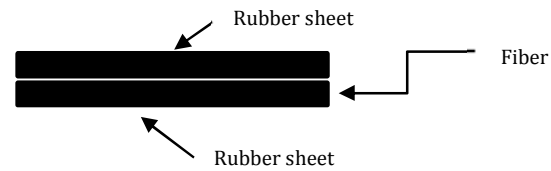
نمودار ۶) مقادیر تراز صوتی اندازه‌گیری شده در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز برای عایق‌های مختلف



نمودار ۷) نمودار تراز معادل صوتی نمونه‌ها در مجموع همه فرکانس‌ها

همان طور که در نمودار ۱ مشخص است، در فرکانس ۱۲۵ هرتز بهترین عملکرد مربوط به نمونه دو لایه الیاف و لاستیک است. البته هیچ یک از نمونه‌ها عملکرد قابل قبولی به نمایش نگذاشتند و میزان کاهش صدا عدد بالایی نیست. البته چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نبود، چرا که به دلیل اختلاف زیاد مرتبه اندازه طول موج امواج صوتی فرکانس پایین با ضخامت عایق، عموماً عایق‌های صوتی در فرکانس‌های پایین کارایی چندانی ندارند. به عبارت دیگر، اغلب عایق‌های موجود در بازار در محدوده فرکانس‌های پایین ضریب، جذب ناچیزی دارند.

با توجه به نمودار ۲ مشخص است که فرکانس ۲۵۰ هرتز بهترین عملکرد مربوط به عایق صوت تجاری است. همان طور که در نمودار ۳ مشخص است، در فرکانس ۵۰۰ هرتز بهترین عملکرد مربوط به



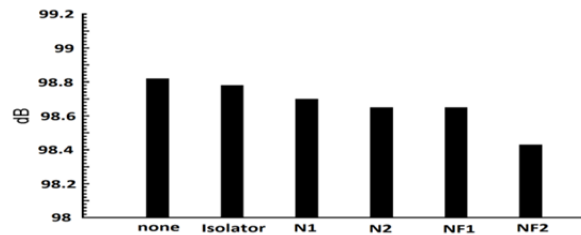
شکل ۳) روش لایه‌گذاری در تقویت لاستیک



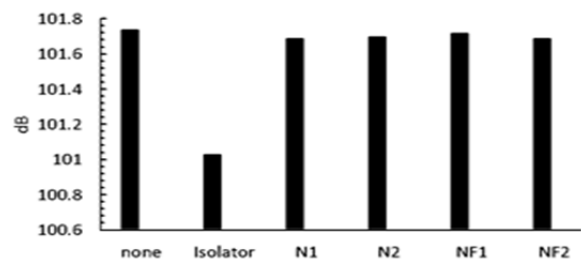
شکل ۴) چیده‌مان آزمون برای لاستیک طبیعی تک‌لایه همراه با الیاف پلی‌استر

### ۳- ارایه نتایج

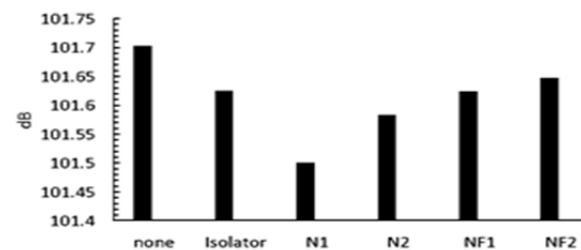
آزمایشات با فرکانس‌های مشخص شده برای تمام نمونه‌ها صورت پذیرفت و نتایج در نمودارهای ۱-۷ ارایه شده است. با توجه به ضخامت بالای عایق، انتظار می‌رفت نتایج به‌دست‌آمده برای عایق‌های موجود در بازار با نمونه‌های لاستیکی تعریف شده در این آزمایش تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشد، اما این اختلاف چشمگیر نبود و در بسیاری از نمودارها نتایج نمونه‌های تولیدی بهتر از عایق بود.



نمودار ۱) مقادیر تراز صوتی اندازه‌گیری شده در فرکانس ۱۲۵۰ هرتز برای عایق‌های مختلف



نمودار ۲) مقادیر تراز صوتی اندازه‌گیری شده در فرکانس ۲۵۰ هرتز برای عایق‌های مختلف



نمودار ۳) مقادیر تراز صوتی اندازه‌گیری شده در فرکانس ۵۰۰ هرتز برای عایق‌های مختلف



حججی بابت همکاری در تامین تجهیزات آزمایشگاهی مورد نیاز برای این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.  
**تاییدیه اخلاقی:** این مقاله تاکنون در نشریه دیگری به چاپ نرسیده است. محتویات علمی و ادبی مقاله منتج از فعالیت علمی نویسندگان بوده و صحت و اعتبار نتایج و متن مقاله برعهده نویسندگان مقاله است.

**تعارض منافع:** بدینوسیله نویسندگان اعلام می کنند که این مقاله حاصل یک پژوهش مستقل بوده و هیچگونه تضاد منافعی با سازمانها و اشخاص دیگری ندارد.

**سهم نویسندگان:** مهدی صالحی (نویسنده اول)، روش شناس/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (۶۰٪)؛ اشکان موسوی (نویسنده دوم)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۴۰٪)

**منابع مالی:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

#### منابع

- 1- Concha-Barrientos M, Campbell-Lendrum D, Steenlan K. Occupational noise [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2004 [cited 2017 May 26]. Available from: [http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/publication/s/en/ebd9.pdf](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publication/s/en/ebd9.pdf)
- 2- Gholami T, Piran Veyseh P, Aliabadi M, Farhadian M. Study of noise pollution and its effects on subjective fatigue of staff in the governmental banks of Hamadan city. Iran Occupational Health. 2014;11(5):65-73. [Persian]
- 3- Aliabadi M, Golmohammadi R, Mansoorizadeh M. Objective approach for analysis of noise source characteristics and acoustic conditions in noisy computerized embroidery workrooms. Environmental Monitoring and Assessment. 2014;186(3):1855-1864.
- 4- Bell LH, Bell DH. Industrial noise control: Fundamentals and applications. 2<sup>nd</sup> Edition. Boca Raton: CRC Press; 1993.
- 5- Goettler LA, Shen KS. Short fiber reinforced elastomers. Rubber Chemistry and Technology. 1983;56(3):619-638.
- 6- Wu G, Ao HR, Jiang HY, Izzheurov EA. Calculation of resonant sound absorption parameters for performance evaluation of metal rubber material. Science in China Series E Technological Sciences. 2009;52:3587.
- 7- Han Z, Chunsheng L, Kombe T, Thong-On N. Crumb rubber blends in noise absorption study. Materials and Structures. 2008;41(2):383-390.
- 8- Holmes N, Browne A, Montague C. Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement. Construction and Building Materials. 2014;73:195-204.
- 9- Ghofrani M, Ashori AR, Rezvani MH, Arbabi Ghamsari F. Acoustical properties of plywood/waste tire rubber composite panels. Measurement. 2016;94:382-387.
- 10- Flores-Medina N, Flores-Medina D, Hernández-Olivares F. Influence of fibers partially coated with rubber from tire recycling as aggregate on the acoustical properties of rubberized concrete. Construction and Building Materials. 2016;129:25-36.
- 11- Carbajo J, Ramis J, Godinho L, Amado-Mendes P. Modeling of grooved acoustic panels. Applied Acoustics. 2017;120:9-14.

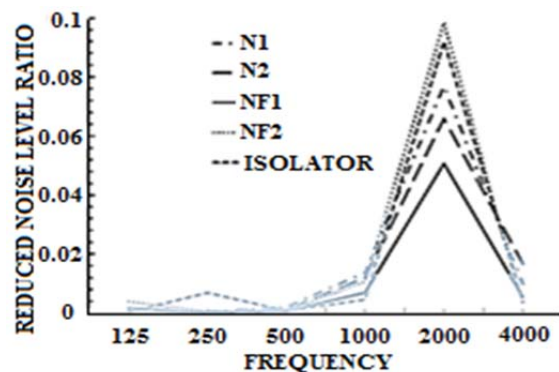
لاستیک تک لایه بدون الیاف است، ولی اختلاف قابل ملاحظه ای بین نمونه ها وجود ندارد و میزان کاهش صوت نسبتاً کم است. در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز نمونه های طراحی شده عملکرد بهتری نسبت به عایق صوت دارند و عملکرد نمونه ها در فرکانس های بالاتر قابل قبول تر است (نمودار ۴). با توجه به ضخامت کم نمونه ها، این عملکرد با افزایش ضخامت قابلیت ارتقای بیشتری هم دارد.

#### ۴- نتیجه گیری

در نمودار ۷، عملکرد کلی نمونه ها در کاهش نویز شامل فرکانس های مختلف ارایه شده است. در این نمودار تراز صوت اندازه گیری شده معادل برای تمام نمونه ها در فرکانس های مختلف مطابق رابطه ۲ محاسبه شده اند تا امکان نتیجه گیری کلی برای عملکرد هر یک از نمونه ها حاصل شود.

$$SPL_T = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{\frac{SPL_i}{10}} \right) \quad (2)$$

در رابطه اخیر،  $SPL_T$  معدل تراز صوتی در ۶ فرکانس صوتی  $SPL_i$  اندازه گیری شده است. به منظور تحلیل بهتر نتایج، نمودار کاهش نسبی تراز صوت ناشی از عایق برای هر فرکانس برای هر یک از نمونه ها در نمودار ۸ ترسیم شده است. در این نمودار، محور عمودی به صورت حاصل تقسیم اختلاف تراز فشار با حضور و عدم حضور عایق بر تراز صوت بدون عایق تعریف شده است.



نمودار ۸) نمودار کاهش نسبی تراز فشار صوت برای همه نمونه ها

همان طور که در نمودارهای فوق مشخص است، همه نمونه ها رفتار قبل قبولی نسبت به نمونه عایق موجود در بازار از خود ارایه کردند و هر کدام از نمونه ها در فرکانس خاصی عملکرد بهتری داشتند که این عملکرد در نمودارهای ارایه شده قابل ملاحظه است.

در مجموع بهترین عملکرد، مربوط به نمونه لاستیکی دولایه همراه با الیاف است و عایق موجود در بازار در رتبه دوم قرار دارد. مزیت عمده این عایق های لاستیکی علاوه بر مقاومت در برابر رطوبت، ضخامت کمتر آنها در مقایسه با عایق های معمول است. این نکته مجدداً یادآوری می شود که ضخامت لاستیک دولایه در آزمایش های انجام شده، حدود ۲۰٪ عایق تجاری بوده است. بهتر است این آزمایش با همین نمونه ها در ضخامت های بالاتر و در حدود ۲۰ میلی متر نیز صورت پذیرد. اثر یافت سطحی لاستیک و فرم هندسی آن بر کارکرد افت انتقال صوتی عایق قابل بررسی است.

**تشکر و قدردانی:** نگارندگان بر خود لازم می دانند از دکتر محمد