بررسی جذب صوت پارچه دوجداره حلقوی تاری با پوشش نانو الیاف

محمد داودآبادی فراهانی[۱و۲]، علی اصغر اصغریان جدی[۱]*، مصطفی جمشیدی اوانکی[۳]

[۱]یزد، دانشگاه یزد، دانشکده نساجی، ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱

[۲]تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده نساجی، ۱۵۹۱۶۳۴۳۱۱

[۳]گیلان، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی مهندسی، ۴۱۹۹۶۱۳۷۷۶

ajeddi@aut.ac.ir

چکیده

در دنیای پیشرفته امروزه به دلیل گسترش صنایع و استفاده از ماشین آلات در کارخانجات، سر و صدا به جزئی اجتناب ناپذیر از زندگی تبدیل شده است. همین علت سبب شد تا انسان توجه بیشتری به حس شنوایی پیدا کرده و علم آکوستیک در زمره موضوعات اساسی مورد مطالعه قرارگیرد. یکی از روش ها برای کنترل آلودگی صوتی، روش جذب امواج صوتی می باشد. در طراحی های متفاوت آکوستیکی، مواد جاذب صوت متخلخل مورد توجه قرار گرفته اند. در همین راستا منسوجات به دلیل شکل پذیری و تخلخل مناسب مورد بررسی قرار گرفته اند. در این تحقیق ابتدا پارچه دو جداره حلقوی تاری بر روی ماشین راشل دو میله سوزن تولید شد. سپس نانوالیاف پلی اکریلونیتریل بر روی پارچه دوجداره حلقوی تاری به وسیله دستگاه الکتروریسی تک نازله با مدت زمان های مختلف الکتروریسی، پوشش داده شد. جذب صوت پارچه دوجداره حلقوی تاری پوشش داده شده با نانوالیاف PAN از روش لوله امپدانس در باند فرکانس های ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده حاصل از آزمایش نشان داد پوشش نانو الیاف PAN بر روی پارچه دوجداره حلقوی تاری باعث افزایش ضریب جذب صوت در همه فرکانس‌ها می شود.

واژگان کلیدی: پارچه دو جداره حلقوی تاری، نانوالیاف، پلی اکریلونیتریل، روش لوله امپدانس، ضریب جذب صوت

Investigation of sound absorption of Warp Knitted Spacer Fabric with nanofiber coating

Mohammad Davoudabadi Farahani[1,2], Ali Asghar Asgharian Jeddi[1] *and Mostafa Jamshidi Avanaki[3]

[1]Department of Textile Engineering, Yazd University, Yazd, Iran, 8915818411

[2]Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 1591634311

[3]Faculty of Engineering, University of Guilan, Guilan, Iran, 4199613776

ajeddi@aut.ac.ir

Abstract

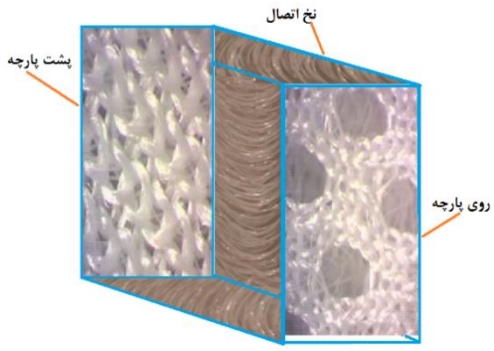
In today's advanced world, due to the expansion of industries and the use of machinery in factories, noise has become an inevitable part of life. This caused man to pay more attention to the sense of hearing and to study acoustics among the basic subjects. One of the methods to control noise pollution is the method of absorbing sound waves. In different acoustic designs, porous sound-absorbing materials have been considered. In this regard, textiles have been studied due to their ductility and Porosity.

In this study, Warp Knitted Spacer Fabric(WKSF) was produced on a by double needle bar Rachel machine. Then, polyacrylonitrile (PAN) nanofibers were coated on (WKSF) by a single-nozzle electrospinning device with different electrospinning durations. The sound absorption of (WKSF) coated with PAN nanofibers was investigated by impedance tube method in the frequency band of 1000-5000 Hz. The experimental results showed that the coating of PAN nanofibers on (WKSF) increases the sound absorption coefficient at all frequencies.

Keywords: warp Knitted Spacer Fabric, Nanofibers, Polyacrylonitrile, impedance tube method, Sound Absorption Coefficient

۱-مقدمه

در این قرن[1] با وجود پیشرفت های زیاد صنعت، در کنار افزایش کیفیت و راحتی انسان، مضراتی را نیز ایجاد نموده است. آلودگی صوتی امروزه یکی از مهمترین اثرات نامطلوب صنعت می‌باشد که می تواند بر رفتار انسان تاثیر منفی گذاشته و باعث سلب آرامش شود [۱و۲]. نویز موجود در کارگاه‌ها و کارخانجات سبب بروز تنش‌های روحی و تخریب حس شنوایی شده و توان کار انسان را کاهش داده و باعث خستگی زود هنگام می شود [۳]. همین امر سبب شده تا بشر به حس شنوایی بیشتر توجه می‌کند. این موضوع در مورد بهینه‌سازی و طراحی ساختمان‌ها و صنایع اهمیت ویژه‌ای دارد [۱]. بنابراین باید انتظار داشت که آکوستیک یا علم صدا در زمره موضوعات اساسی مورد مطالعه قرارگیرد. یکی از روش های کنترل آلودگی صوتی، روش جذب امواج صوتی می باشد [۴]. از میان مواد جاذب صوت می‌توان از مواد متخلخل استفاده کرد. مواد متخلخل از دو فاز تشکیل شده است یک فاز جامد و یک فاز سیال متشکل از هوا [۵و۶]. امواج صوتی بعد از برخورد با جسم متخلخل وارد آن شده و به علت ویسکوزیته فشار هوا فاز سیال و اصطکاک حاصل از برخورد امواج صوتی با دیواره منافذ فاز جامد، جذب صوت صورت می‌پذیرد [۷]. با توجه به اینکه یک منسوج نساجی از دو فاز الیاف و منافذ تشکیل شده و جز مواد متخلخل محسوب می‌شود در نتیجه می‌توان از منسوجات به دلیل وزن سبک و هزینه کمتر، به عنوان جاذب صوت استفاده کرد. همچنین می‌توان از این جاذب‌ها به عنوان دیوارهای صوتی و پوشش در وسایل نقلیه استفاده نمود [۶و۸]. از میان سازه‌های الیافی پارچه‌های دوجداره حلقوی تاری به دلیل ویژگی‌هایی مانند شکل‌پذیری مناسب و حبس هوا مورد توجه قرار گرفته‌اند. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود پارچه دوجداره حلقوی تاری از دو لایه تشکیل شده است که سطح هر لایه می تواند ساختمان بافت متفاوتی داشته باشد. برای متصل نمودن دو لایه به یکدیگر از نخ‌های پایل استفاده می‌شود. ساختمان هر سطح، ضخامت و تخلخل پارچه همگی تأثیر قابل توجهی بر عملکرد جذب صدا چنین سازه هایی دارند [۹و۱۰].



شکل۱_ پارچه دو جداره حلقوی‌تاری

با توجه به اینکه مواد متخلخل، جذب صوت بیشتری در فرکانس‌های بالا داشته و در فرکانس‌های پایین جذب صوت کمتری دارند به همین جهت برای افزایش جذب صوت در فرکانس های پایین، راه حل های گوناگونی وجود دارد. یکی از این راه حل ها افزایش ضخامت می باشد البته باید به این نکته توجه نمود که افزایش ضخامت باعث افزایش هزینه و اشغال فضای بیشتر می‌شود که خود از مشکلات این راه حل می باشد [۱۱]. راه حل دیگر استفاده از الیاف با ضخامت کمتر از یک میکرون می‌باشد. الیاف زیر یک میکرومتر با سطح مخصوص بالا به دلیل اصطکاک بیشتر الیاف با امواج

[1] Century

صوتی به طور قابل توجهی جذب صوت را افزایش می‌دهد[۱۲و ۱۳]. در مقایسه با سایر مواد، نانوالیاف[1] پلیمری به دلیل داشتن ویژگی‌های مانند انعطاف پذیری خوب و نسبت سطح به حجم بالا برای بسیاری از کاربردها از جمله بررسی خواص آکوستیکی مورد توجه محققان قرار گرفته اند[۱۴]. به عنوان فرایندی ساده می توان نانو الیاف زیر یک میکرومتر را به روش الکتروریسی تولید نمود[۱۵و ۱۶]. شیانگ[۱۷] جذب صوت غشا نانوالیاف پلی اکریلونیتریل(PAN[2]) الکتروریسی شده را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد با ترکیب یک لایه نازک از غشاء نانو الیاف PAN با پنل سوراخدار می‌توان جذب صوت را افزایش داد. همچنین در مطالعات انجام شده، خواص آکوستیکی پارچه حلقوی دوجداره با پوشش نانو الیاف PAN مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که جذب صوت پارچه-های پوشش داده شده با نانو الیاف افزایش می‌یابد [۱۸و۱۹].

در این تحقیق ضریب جذب صوت پارچه دوجداره حلقوی تاری با پوشش نانوالیاف پلی اکریلونیتریل با زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

۲-تجربیات

۲-۱- تولید پارچه

پارچه دوجداره حلقوی تاری بر روی ماشین راشل ساخت شرکت کارل مایر با گیج ۲۲ مجهز به شش میله راهنما و با فاصله ۷ میلی متر بین دو صفحه شیاردار سوزن تولید شد. از نخ پلی‌استر ۷۵ دنیر برای تولید دوجداره پارچه استفاده شد. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود ساختمان بافت جداره روی پارچه سوراخدار و جداره پشت پارچه ساده می باشد. اتصال دوجداره پارچه با حرکت آندرلپ ۲ توسط شانه‌های ۳و۴، با استفاده از نخ منوفیلامنت ۳۰ دنیر پلی استر انجام شد. بعد از عملیات استراحت خشک (دما ۲۰ ^{0}c و رطوبت ۶۵%) بر روی پارچه تولید شده، با انتخاب نمونه هایی از نقاط مختلف پارچه، پارامترهای ساختمانی پارچه اندازه گیری شد. پارامترهای ساختمانی پارچه دوجداره حلقوی تاری با کد A در جدول۱ ارائه شده است.

جدول۱_ پارامترهای ساختمانی پارچه دوجداره حلقوی تاری

نمونه	WPC	CPC	وزن $\left(\frac{g}{m^2}\right)$ ASTM3776	ضخامت (mm) ASTM1177	تخلخل%
A	15.2	9.7	430.35	7.85	95.78

۲-۲-محلول پلیمری

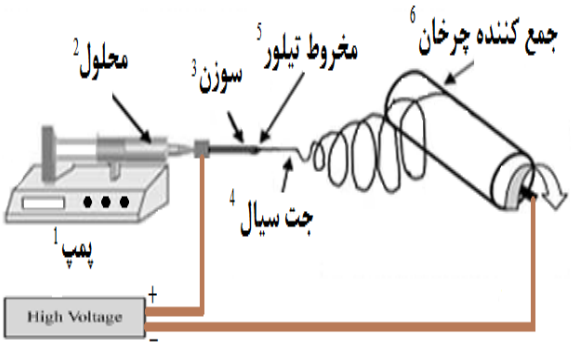
پودر پلی اکریلونیتریل با متوسط وزن مولکولی(M_w) متوسط وزنی $\frac{g}{mol}$ ۱۰۰۰ به عنوان پلیمر جهت تولید نانو الیاف مورد استفاده قرار گرفت. از دی متیل فرمالدهید با چگالی $\frac{g}{cm^3}$ ۰/۹۴که از شرکت مرک خریداری شده بود به عنوان حلال استفاده شد. محلول پلیمری با غلظت معین به وسیله همزن مغناطیسی به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی بدست آمد. پلی اکریلونیتریل (PAN) به علت تاثیرپذیری کمتر از رطوبت نسبی و دمایT_g:95 ^{0}c انتخاب شد.

۲-۳- پوشش نانوالیاف

[1] nanofiber

[2] poly acrylonitrile

تولید نانوالیاف به وسیله دستگاه الکتروریسی تک نازله از نوع افقی با جمع کننده سیلندری انجام شد که نمایی ساده از دستگاه الکتروریسی در شکل ۲ مشاهده می‌شود. الکتروریسی تکنیکی ساده و موثر برای تولید نانوالیاف پلیمری است که بر استفاده از نیروی استاتیک تکیه دارد. تجهیزات الکتروریسی شامل چهار بخش اصلی شامل: منبع تغذیه فشار قوی، ریسنده، پمپ و جمع کننده می‌باشد. برای ایجاد اختلاف پتانسیل و بار الکتریکی در محلول پلیمری از منبع تغذیه مستقیم استفاده شد. سوزن سرنگ با گیج ۲۲ به عنوان ریسنده به قطب مثبت و جمع کننده که یک استوانه متحرک است به قطب منفی ولتاژ وصل گردید. پس از با تنظیم نرخ تغذیه و فاصله معین سوزن تا جمع کننده، اختلاف پتانسیل الکتریکی به محلول پلیمری اعمال می-شود، قطره‌ای از محلول که توسط پمپ در نوک سوزن سرنگ جمع شده به شدت باردار شده و قطره تحت تاثیر نیروی الکترواستاتیکی کشیده و به صورت مخلوط تیلور در می‌آید. با افزایش ولتاژ و رسیدن آن به یک حد بحرانی، این نیرو می‌تواند بر کشش سطحی قطره غلبه کرده و یک جت پایدار از نوک آن ساطع شود. برای دست‌یابی به پوشش نانوالیاف یکنواخت، پمپ، سرنگ و سوزن دارای یک حرکت رفت و برگشتی(تراورس) می‌باشند.



شکل۲_ شماتیک دستگاه الکتروریسی

برای جلوگیری از مشکل دست زدن و لمینت کردن نانوالیاف ریسیده شده، پارچه حلقوی بر روی سیلندر استوانه‌ای پیچیده و نانو الیاف به طور مستقیم بر روی سطح جلویی پارچه ریسیده شد. سپس الکتروریسی با غلظت معین از پلی اکریلونیتریل در زمان های ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه برای به دست آوردن مقادیر متفاوتی از پوشش نانوالیاف بر روی پارچه ها انجام شد. وزن پارچه ها قبل و بعد از الکتروریسی به طور دقیق اندازه گیری شد تا میزان پوشش نانوالیاف بر روی نمونه ها مشخص گردد. کد گذاری نمونه های تولید شده بر اساس مدت زمان‌های لایه نشانی نانو الیاف پلی اکریلونیتریل بر روی سطح پارچه دوجداره حلقوی تاری در جدول ۲ آورده شده است.

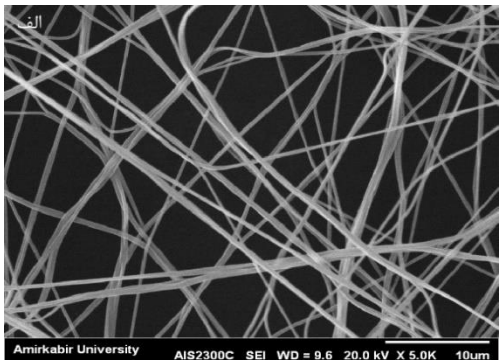
جدول۲_ کد گذاری پارچه دوجداره حلقوی تاری با مدت زمان‌های مختلف الکتروریسی

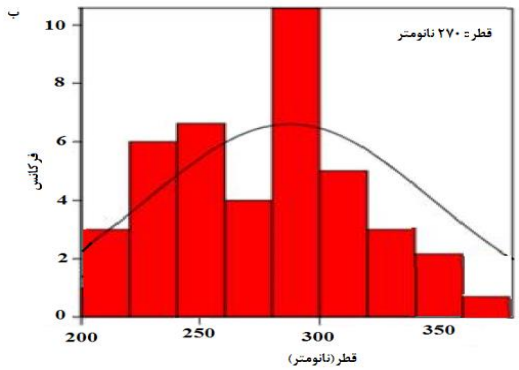
نمونه	زمان الکتروریسی(دقیقه)	وزن نانوالیاف $\left(\frac{g}{m^2}\right)$
A-PAN1	15	0.32
A-PAN2	30	0.64
A-PAN3	60	1.28
A-PAN4	120	2.56

برای بررسی خصوصیت‌یابی مورفولوژی نانوالیاف از میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) استفاده شد. برای آنالیز مورفولوژی نانو الیاف و شناسایی ترکیبات از این میکروسکوپ استفاده می شود. در این راستا برای

[1] Pump
[2] Solution
[3] Needle
[4] Jet
[5] Tylor cone
[6] Collector

آماده‌سازی، ابتدا نانوالیاف با لایه نازک از اتم‌های طلا پوشانده سپس عکسبرداری با به کارگیری الکترون ها انجام و بررسی سطح مواد صورت می‌گیرد. قطر نانوالیاف همه نمونه ها با استفاده از نرم‌افزار image j محاسبه شد که حدود ۲۷۰ نانومتر بود. شکل ۳ مورفولوژی نانوالیاف PAN الکتروریسی بر نمونه A-PAN1 را نشان می‌دهد.

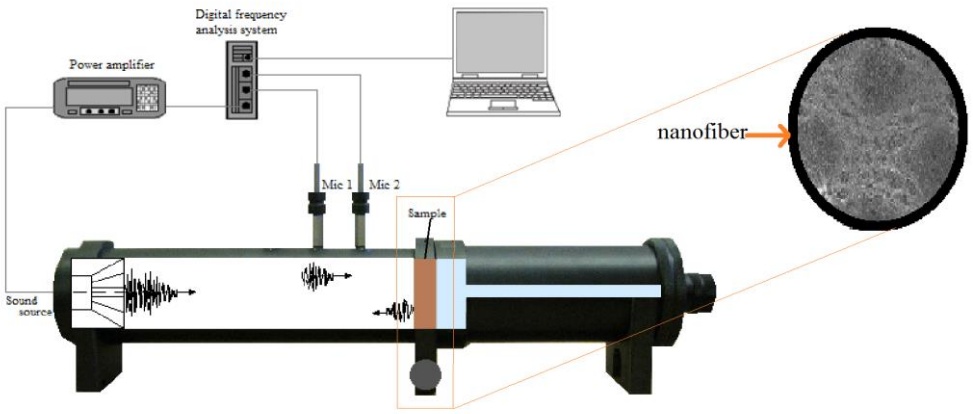




شکل ۳- الف) عکس SEM مورفولوژی نانوالیاف PAN بر نمونه A-PAN1 ب) توزیع قطرنانو الیاف PAN

۴-۲-اندازه‌گیری جذب صوت

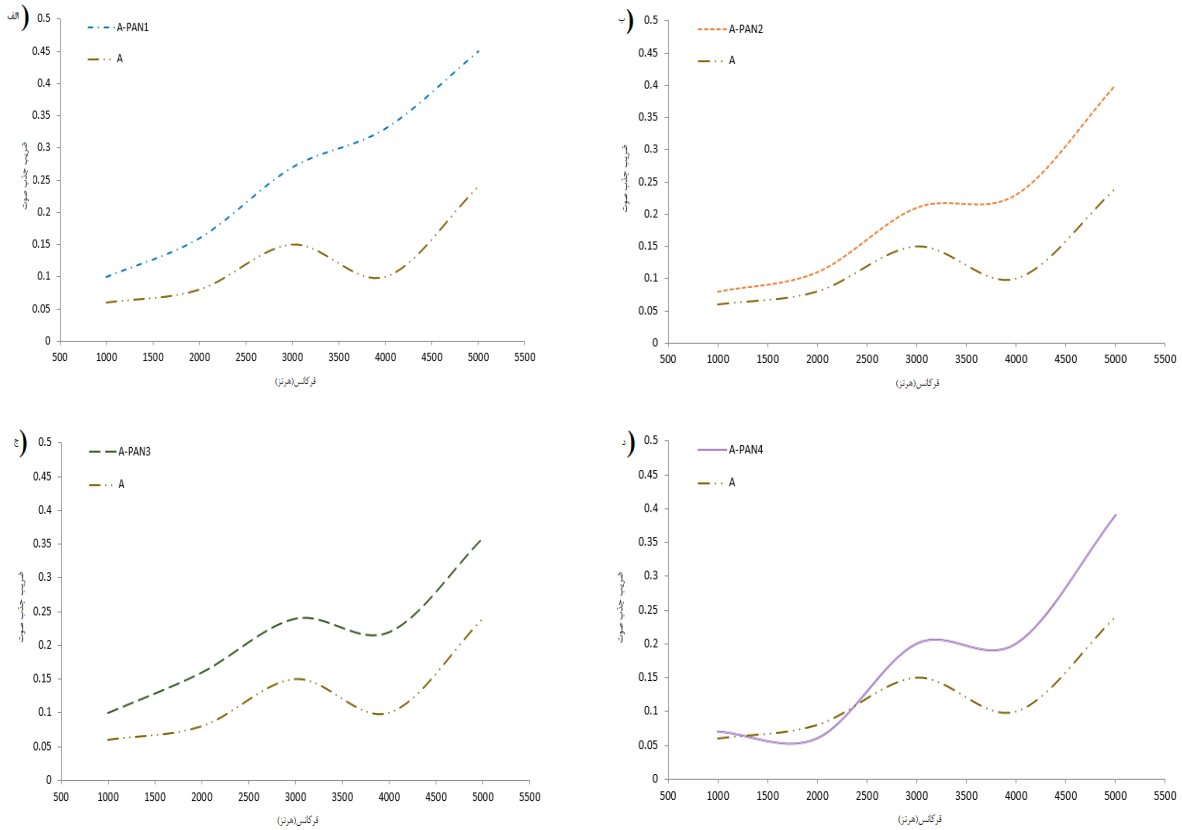
در این تحقیق به دلیل سریع و تجدیدپذیر بودن اندازه-گیری ضریب جذب صوت، از روش لوله امپدانس دو میکروفون مطابق استاندارد ISO 10534 استفاده شد. تجهیزات اصلی تشکیل دهنده لوله امپدانس عبارتند از بلندگو، میکروفون، آمپلی فایر و یک کامپیوتر برای تجزیه و تحلیل فرکانس. عملکرد لوله امپدانس برای فرکانس‌های مختلف به اندازه قطر لوله امپدانس وابسته است. همان طور که در شکل۴ مشاهده می‌شود لوله امپدانس دو میکروفون، به شکل استوانه بوده که یک طرف لوله امپدانس به منبع صوت متصل شده و طرف دیگر آن محل قرارگیری نمونه می‌باشد. با توجه به عملکرد لوله امپدانس برای اندازه‌گیری ضریب جذب صوت از نقاط مختلف پارچه‌های پوشش داده شده با نانوالیاف،نمونه هایی با قطر ۱۰۰mm و ۳۰mm برش داده شد. برای بررسی اثر نانو الیاف، سطح پارچه پوشش داده شده با نانوالیاف در مقابل بلندگوی لوله امپدانس قرار گرفت تا ضریب جذب صوت اندازه‌گیری شود..



شکل۴_ نمای لوله امپدانس

۳- بحث و نتایج

با افزایش مدت زمان الکتروریسی از ۱۵ دقیقه تا ۱۲۰ دقیقه وزن لایه نانوالیاف پلی اکریلونیتریل افزایش می‌یابد. بررسی ضریب جذب صوت پوشش نانوالیاف پلی اکریلونیتریل با زمان‌های مختلف الکتروریسی بر سطح پارچه دوجداره حلقوی تاری در شکل ۵ مشاهده می‌شود. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود جذب صوت پارچه دو جداره حلقوی تاری بدون پوشش نانو الیاف PAN (نمونه A) در فرکانس ۳۰۰۰ هرتز نوسان می‌کند که این امر به دلیل وجود پدیده تطابق می باشد. در این فرکانس، ذخیره شدن انرژی ارتعاشی در جسم سبب شده تا نیروهای متناوب و کوچک باعث به وجود آمدن حرکاتی نوسانی با دامنه های بزرگ شوند[۲۰]. پوشش نانوالیاف PAN بر روی پارچه دوجداره حلقوی تاری باعث افزایش سطح مخصوص پارچه شده در نتیجه ضریب جذب صوت در همه فرکانس ها افزایش یافته و فرکانس رزونانس نیز تغییر می یابد. با افزایش سطح مخصوص، برخورد و اصطکاک امواج صوتی با پارچه حلقوی پوشش داده شده با نانوالیاف بیشتر شده، در نتیجه انرژی امواج صوتی کاهش یافته و جذب صوت افزایش می‌یابد. بیشینه جذب صوت در همه نمونه‌ها با پوشش نانوالیاف در فرکانس ۵۰۰۰ هرتز است. به طور کلی ضریب جذب صوت را می‌توان با غشا نانو الیاف پلی اکریلونیتریل بهبود بخشید [۱۵و ۱۷].



شکل۵_ تاثیر پوشش نانوالیاف PAN بر ضریب جذب صوت پارچه دو جداره حلقوی تاری

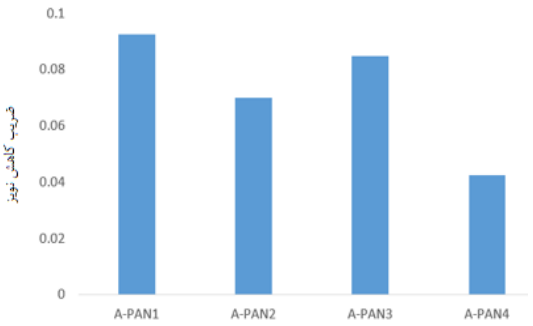
الف) A-PAN1 ب) A-PAN2 ج) A-PAN3 د) A-PAN4

افزایش مدت زمان الکتروریسی، باعث بسته شدن منافذ در پارچه حلقوی می شود. با بسته شدن منافذ پارچه، نفوذ امواج صوتی به داخل پارچه شده کمتر شده در نتیجه جذب صوت کاهش می‌یابد (شکل ۵).

در انتخاب مواد به کار گرفته شده برای کنترل آلودگی صوتی از کمیت دیگری به نام ضریب کاهش نویز[1] استفاده می‌شود. ضریب کاهش نویز به اختصار NRC یک مقدار تک رقمی در بازه صفر و یک است که میانگین عملکرد جذب صوت یک ماده در فرکانس‌های ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز را نشان می دهد که با توجه به رابطه۱ محاسبه می‌شود.

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4} \quad (۱)$$

مقادیر NRC پارچه دو جداره حلقوی تاری با پوشش نانوالیاف الکتروریسی شده پلی اکریلونیتریل در شکل۶ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود نمونه A-PAN1 دارای بالاترین میزان NRC می‌باشد و بیشترین جذب صوت را نشان می دهد که این نتیجه با نتایج شکل ۵ مطابقت دارد.



شکل۶_ تاثیر مدت زمان الکتروریسی لایه نانوالیاف PAN بر NRC

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق پارچه دوجداره حلقوی تاری با نخ پلی استر و با ضخامت ۷ میلی متر بر روی ماشین راشل دو میله سوزن تولید شد. ضریب جذب صوت به روش لوله امپدانس اندازه گیری شد. نتایج نشان داد جذب صوت نمونه پارچه حلقوی تولید شده پس از فرکانس ۳۰۰۰ هرتز نوسان می-کند که مربوط به پدیده تطابق می‌باشد. پوشش نانوالیاف پلی اکریلونیتریل بر روی پارچه حلقوی تاری باعث تغییر فرکانس رزونانس شده و ضریب جذب صوت را در همه فرکانس ها افزایش می دهد، این امر به دلیل افزایش سطح مخصوص در سطح پارچه به واسطه الکتروریسی نانو الیاف می باشد. به علاوه با افزایش مدت زمان الکتروریسی از ۱۵ دقیقه تا ۱۲۰ دقیقه منافذ پارچه بسته شده و به علت نفوذ کمتر امواج صوتی به داخل پارچه، جذب صوت کاهش می‌یابد.

۵- مراجع

[1]. J. Broda and M. Bączek, "Acoustic properties of multi-layer wool nonwoven structures," Journal of Natural Fibers, vol. 17, no. 11, pp. 1567-1581, 2020.
[2]. T. Yang, X. Xiong, R. Mishra, J. Novák, and J. Militký, "Sound absorption and compression properties of perpendicular-laid nonwovens," Textile Research Journal, vol. 89, no. 4, pp. 612-624, 2019.
[3]. W. S. Khan, R. Asmatulu, and M. B. Yildirim, "Acoustical properties of electrospun fibers for aircraft interior noise reduction," Journal of Aerospace Engineering, vol. 25, no. 3, pp. 376-382, 2012.
[4]. L. Y. L. Ang, Y. K. Koh, and H. P. Lee, "Plate-type acoustic metamaterial with cavities coupled via an orifice for enhanced sound transmission loss," Applied Physics Letters, vol. 112, no. 5, p. 051903, 2018
[5]. H. Cao, K. Yu, and K. Qian, "Sound insulation property of threedimensional spacer fabric composites," Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2014.

[1] Noise Reduction Coefficient

[6]. M. Davoudabadi Farahani, A. A. Asgharian Jeddi, and M. Jamshidi Avanaki, "Sound Absorption of Warp Knitted Spacer Fabric based on the thickness," Journal of Vibration and Sound, vol. 9, no. 17, pp. 18-26, 2020.
[7]. B. Y. Hur, B. K. Park, D.-I. Ha, and Y. S. Um, "Sound absorption properties of fiber and porous materials," in Materials science forum, vol. 475, pp. 2687-2690, 2005.
[8]. R. Pieren, B. Schäffer, S. Schoenwald, and K. Eggenschwiler, "Sound absorption of textile curtains–theoretical models and validations by experiments and simulations," Textile Research Journal, vol. 88, no. 1, pp. 36-48, 2018.
[9]. Y. Liu, H. Hu, H. Long, and L. Zhao, "Impact compressive behavior of warp-knitted spacer fabrics for protective applications," Textile Research Journal, vol. 82, no. 8, pp. 773-788, 2012.
[10]. N. Okur and M. C. Yaradanakul, "Development of hybrid layered structures based on natural fabric reinforced composites and warp knitted spacer fabric for acoustic applications," Journal of Industrial Textiles, p. 1528083721994677, 2021.
[11]. X. Sagartzazu, L. Hervella-Nieto, and J. M. Pagalday, "Review in sound absorbing materials", Archives of Computational Methods in Engineering, Vol.15, no.3, pp.311-342, 2008.
[12]. F. Shahani, P. Soltani, and M. Zarrebini, "The analysis of acoustic characteristics and sound absorption coefficient of needle punched nonwoven fabrics," Journal of engineered fibers and fabrics, vol. 9, no. 2, p. 155892501400900210, 2014.
[13]. S. Amares, E. Sujatmika, T. Hong, R. Durairaj, and H. Hamid, "A review: characteristics of noise absorption material," in Journal of Physics: Conference Series, vol. 908, no. 1, p. 012005,2017.
[14]. A. Rabbi, H. Bahrambeygi, K. Nasouri, A. M. Shoushtari, and M. R. Babaei, "Manufacturing of PAN or PU nanofiber layers/PET nonwoven composite as highly effective sound absorbers," Advances in polymer technology, vol. 33, no. 4, 2014.
[15]. J.-S. Park, "Electrospinning and its applications," Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology , vol. 1, no. 4, p. 043002, 2011.
[16]. G. R. Mitchell, K.-h. Ahn, and F. J. Davis, "The potential of electrospinning in rapid manufacturing processes: The fundamentals
[17]. H.-f. Xiang et al., "Sound absorption behavior of electrospun polyacrylonitrile nanofibrous membranes," Chinese Journal of Polymer Science , vol. 29, no. 6, pp. 650-657, 2011.
[18]. M. Kucukali-Ozturk, E. Ozden-Yenigun, B. Nergis, and C. Candan, "Nanofiber-enhanced lightweight composite textiles for acoustic applications," Journal of Industrial Textiles, vol. 46, no. 7, pp. 1498-1510, 2017.
[19]. M. Davoudabadi Farahani, M. Jamshidi Avanaki, and A. A. Jeddi, "Sound absorption of warp knitted spacer fabrics based on knit structure and nanofiber enhancement," Journal of Industrial Textiles, p. 1528083720903411, 2020.
[20]. Shoshani, Yakir, and Yakov Yakubov, "A model for calculating the noise absorption capacity of nonwoven fiber webs", Textile Research Journal, Vol.69, no.7, pp.519-526, 1999.