

## جذب صوت پارچه‌های دو جداره حلقوی تار بر اساس ضخامت

مصطفی جمشیدی اوانکی\*  
استادیار مهندسی نساجی  
دانشگاه گیلان، گیلان  
m.jamshidi@guilan.ac.ir

علی اصغر اصغریان جدی  
استاد مهندسی نساجی  
دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران  
ajeddi@aut.ac.ir

محمد داودآبادی فراهانی  
کارشناسی ارشد مهندسی نساجی  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران  
mdavoudabadi@aut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۴

### چکیده

همراه با گسترش صنایع و ایجاد صداهای ناخواسته پدیده آکوستیک و کنترل صوت مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است و تاکنون مواد گوناگونی برای کنترل صوت استفاده شده است. سازه‌های الیافی، در کنار برخورداری از میزان تخلخل مناسب و قابل کنترل، نسبتاً ارزان و سبک نیز هستند که استفاده از آنها را بیش از سایر مواد می‌توان توجیه نمود. در این میان پارچه‌های حلقوی تار به دلیل آویزش و فرم‌گیری راحت‌تر به عنوان جاذب صدا حائز اهمیت است. در این پژوهش پارچه دو جداره حلقوی تار که از دو لایه جدا از هم که توسط نخ‌های اتصال، به هم متصل شده‌اند بر روی ماشین راشل دومیله سوزن تولید شد. دوجداره کلیه نمونه‌ها یکسان بوده و با تغییر در ساختمان بافت زاویه نخ‌های اتصال کاهش می‌یابد. اثرات افزایش ضخامت بین دو جداره با ساختمان بافت متفاوت بر خواص آکوستیکی پارچه‌های دوجداره حلقوی تار مورد بررسی قرار گرفت. ضریب جذب صوت نمونه‌ها از روش لوله امپدانس در فرکانس‌های مختلف بر روی نمونه‌های تک لایه و سه لایه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد ضریب جذب صوت با افزایش ضخامت پارچه در نمونه‌های تک لایه و سه لایه، افزایش یافت. به علاوه با افزایش تعداد لایه، ضریب جذب صوت نسبت به نمونه‌های تک لایه افزایش یافت.

**واژگان کلیدی:** پارچه دوجداره حلقوی تار، ضریب جذب صوت، ضخامت، زاویه نخ اتصال، تعداد لایه

### ۱. مقدمه

با پیشرفت صنایع مدرن، آلودگی صوتی در کشورهای صنعتی به عنوان یکی از موضوعات زیست محیطی است که در شهرهای بزرگ، طراحی داخلی ساختمان‌های مسکونی، تجاری و ماشین‌آلات صنعتی مورد توجه قرار گرفته است. گزارش منتشر شده توسط سازمان بهداشت جهانی، آلودگی صوتی ناشی از ترافیک، سالیانه سبب بیش

از یک میلیون فوت می‌شود [۱]، به علاوه آلودگی صوتی بر سلامت انسان و اقتصاد اجتماعی تأثیرگذار است [۲]. همین دلیل سبب شد تا بشر به سلامت حس شنوایی بیشتر توجه کند. نوفه<sup>۱</sup> از طریق هوا پخش می‌شود و به دو دسته نوفه هوابرد که از هر منبع صوتی ایجاد می‌شود و نوفه سازه‌برد که توسط برخورد نوفه هوابرد به دیوارهای ساختمان و حرکات مکانیکی که از بدنه ماشین تولید می‌شود [۳-۴].

نوفه باعث ایجاد مشکلاتی مانند فشار خون و کاهش شنوایی می‌شود [۵].

یکی از روش‌های مؤثر برای کنترل صوت و کاهش آلودگی صوتی استفاده از مواد عایق و جاذب صوت در صنایع مختلف مطرح شده است [۶]. یکی از ویژگی‌های مواد برای کاهش آلودگی صوتی میزان تخلخل آنهاست. ماده متخلخل یک جسم جامد است که دارای قسمت‌هایی به نام منافذ است. جسم جامد باید دارای انسجام باشد [۷]. انرژی صوتی با وارد شدن به داخل مواد متخلخل، به علت اصطکاک بین ماده و جریان هوا حاصل از برخورد امواج صوتی با دیواره منافذ به صورت حرارت تلف شده و جذب صوت صورت می‌پذیرد [۸-۹].

از میان مواد جاذب صوت می‌توان از مواد متخلخل و الیافی به دلیل وزن سبک و هزینه کمتر استفاده کرد [۱۰-۱۱]. میزان جذب صوت این مواد جاذب در فرکانس‌های بالا بیشتر بوده و با قرار دادن یک فاصله هوایی در پشت این جاذب‌ها می‌توان یک جذب مؤثر در فرکانس‌های پایین به دست آورد [۱۲]. منسوجات در کنار برخورداری از تخلخل مناسب و قابل کنترل، سبک و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه هستند که استفاده از آنها را بیش از سایر مواد توجیه‌پذیر می‌نماید. در بین سازه‌های الیافی پارچه‌های حلقوی تاری به دلیل ویژگی‌هایی مانند شکل‌پذیری مناسب و حبس هوا به عنوان مواد جاذب صوت استفاده می‌شود [۱۳]. پارچه‌های حلقوی تاری دوجداره از اتصال دو پارچه جدا از هم که به وسیله نخ‌های اتصال بین دو جداره به یکدیگر متصل شده‌اند هم تولید می‌شوند [۱۴-۱۵].

فاکتورهای ساختار هندسی پارچه، تخلخل پارچه و نفوذپذیری هوا بر جذب صوت مورد بررسی قرار گرفت [۱۶-۱۷]. دایاس و همکاران [۱۸] اولین بار پارچه‌های دوجداره حلقوی پودی را به عنوان جاذب صوت معرفی کردند. پارچه‌های دوجداره حلقوی تاری با توجه به ماهیت متخلخل، ساختار بزرگ و دوجداره، نسبت به پارچه معمولی

توانایی بهتری را برای کاهش انرژی صوتی دارند. جذب صوت در پارچه‌های دوجداره برای محدوده فرکانس پایین نامطلوب است همچنین در محدوده فرکانس متوسط جذب صوت بهتری بین نمونه‌ها مشاهده می‌شود. جذب صوت منسوجات با تغییر پارامترهای ساختمان پارچه و ترتیب لایه‌گذاری متغیر است [۱۹].

ضخامت یک عامل مهم در کنترل رفتار جذب صوت پارچه دو جداره حلقوی تاری است. همچنین یک تغییر کوچک در ضخامت باعث تأثیر زیادی بر پیش‌کش کانال هوا در مواد می‌شود که بر جذب صوت مؤثر است. تنظیم‌های لایه-گذاری پارچه‌های بافته شده با پارچه‌های حلقوی در کاهش نوفه مؤثراند [۱۹-۲۰]. لیو و همکاران [۱۴] جذب صوت پارچه‌های دوجداره را مورد بررسی قرار دادند. اندازه‌گیری جذب صوت نمونه‌ها در حالت‌های تک لایه و چند لایه با استفاده از روش لوله امیدانس انجام شد. نتایج نشان داد ضریب جذب صوت را می‌توان با لمینت لایه‌های مختلف بهبود داد.

پارچه‌های حلقوی تاری دوجداره به دلیل برخورداری از تخلخل مناسب و قابل کنترل، حبس هوا و همچنین شکل‌پذیری بالا، وزن سبک و هزینه کم به عنوان مواد جاذب صوت الیافی مورد بررسی قرار گرفتند.

در این تحقیق با استفاده از روش لوله امیدانس ضریب جذب صوت پارچه‌های دوجداره حلقوی تاری براساس ساختمان بافت، ضخامت و تعداد لایه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

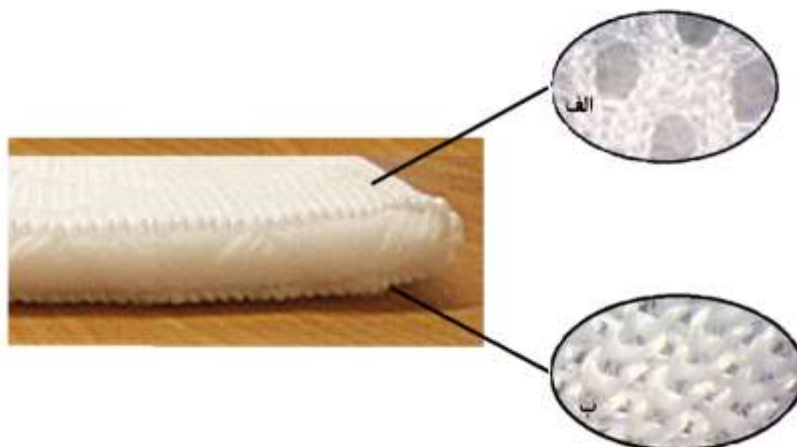
## ۲. تجربیات

### ۲-۱. تهیه نمونه

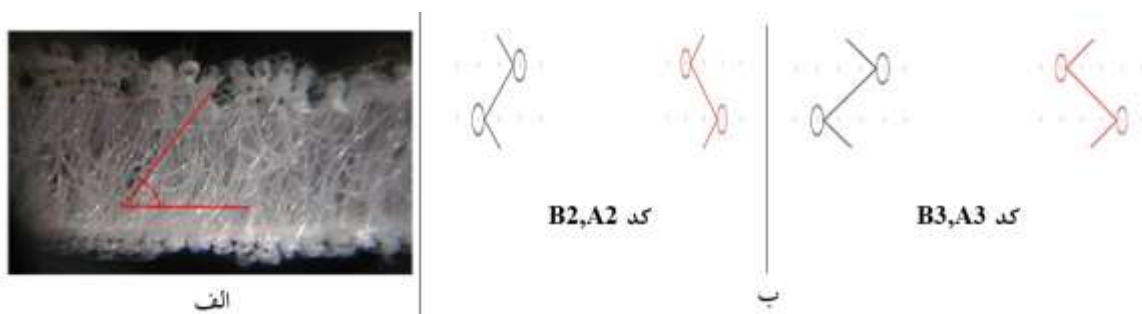
نمونه پارچه حلقوی تاری دوجداره تاری با تراکم بافت ثابت، ساختمان بافت متفاوت و با تنظیم فاصله ۴/۵ و ۷/۵ میلی‌متر بین دو صفحه شیاردار سوزن توسط ماشین راشل دو میله سوزن مجهز به شش میله راهنما ساخت شرکت

کارل مایر<sup>۴</sup> با گيج<sup>۵</sup> ۲۲ تهیه شد. دوجداره کلیه نمونه‌ها یکسان بوده و با نخ پلی‌استر ۷۵ دنیر تولید شدند، که بافت یک جداره ساده و جداره دیگر سوراخ‌دار است. برای اتصال دو جداره از نخ منوفیلament<sup>۶</sup> ۳۰ دنیر پلی‌استر استفاده شد. تفاوت اصلی نمونه‌ها تغییر در هندسه بافت بین دوجداره آنهاست.

تصویر پارچه دوجداره حلقوی تاری در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین تصویر زاویه نخ اتصال در شکل ۲ نشان داده شده است. علائم اختصاری به کار رفته در نمونه‌ها عبارتند از : A2, A3, B2, B3, ۲, ۳ مقدار حرکت آندرلپ<sup>۷</sup> شانه‌های نخ اتصال.



شکل ۱. نمونه پارچه حلقوی تاری دوجداره الف (روی پارچه ب) پشت پارچه



شکل ۲. الف) تصویر زاویه نخ اتصال ب) مشخصات طرح زنجیر نخ‌های اتصال

## ۲-۲. اندازه‌گیری پارامترها

از عوامل تأثیرگذار بر جذب صوت وزن واحد سطح پارچه، ضخامت و تخلخل است. بر روی پارچه‌های تولید شده عملیات استراحت خشک (نمونه‌ها به مدت دو هفته بر روی ميز و در دمای  $20 \pm 2^\circ C$  و رطوبت  $65 \pm 2\%$ ) انجام گردید. سپس از قسمت‌های مختلف پارچه نمونه‌هایی به‌طور تصادفی انتخاب شد. وزن و ضخامت نمونه‌ها در شرایط استاندارد اندازه‌گیری شد.

## ۲-۲-۱. وزن و ضخامت

وزن نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی با دقت دو رقم اعشار با استاندارد ASTM 3776 اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ضخامت، از نمونه‌های تهیه شده ۱۰ نقطه مختلف توسط دستگاه ضخامت‌سنج SDL با دقت دو رقم اعشار تحت فشار  $20 \text{ gf/cm}^3$  با استاندارد ASTM 1777 اندازه‌گیری شد. نتایج در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

$$V_t = V_m + V_v \quad (2)$$

$$P = 100 \left[ 1 - \frac{V_m}{V_t} \right] \quad (3)$$

که در آن  $V_t$  کل حجم اشغال شده توسط پارچه،  $V_v$  حجم فضای خالی،  $V_m$  حجم اشغال شده می‌باشد.

## ۲-۲-۲. تخلخل

تخلخل در پارچه تابعی از تراکم بافت و ضخامت است. تخلخل نسبت حجم فضای خالی به حجم کل در فرمول ۱ تا ۳ تعریف می‌شود.

$$P = 100 \left( \frac{V_v}{V_t} \right) \quad (1)$$

جدول ۱. پارامترهای پارچه‌های تولید شده

تخلخل (P)	ضخامت (mm)	وزن ( $\frac{g}{m^2}$ )	پارامترها نمونه‌ها
۹۴/۲۴	۵/۱	۳۸۴/۵۱	A2
۹۳/۸۲	۴/۹	۳۹۲/۱۵	A3
۹۵/۷۸	۷/۸۵	۴۳۰/۳۵	B2
۹۵/۵۰	۷/۵۷	۴۳۹/۲۶	B3

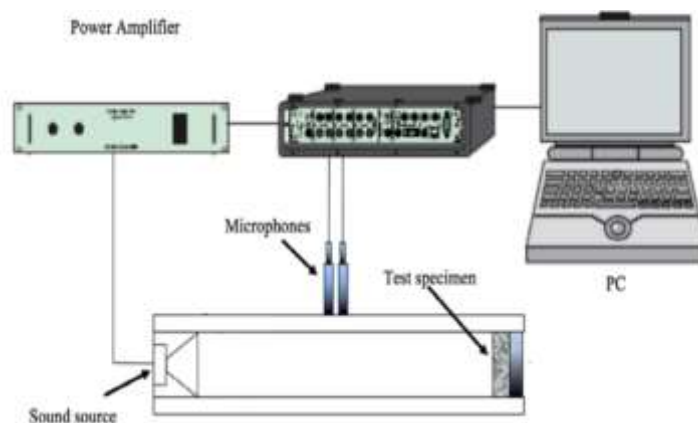
## ۳. جذب صوت

اندازه‌گیری ضریب جذب صوت به روش لوله امپدانس دو میکروفون که نمای ساده‌ای از آن در شکل ۳ مشاهده می‌شود انجام شد. لوله امپدانس به شکل استوانه بوده که یک سر آن، به منبع صوتی وصل شده و در سر دیگر آن نمونه قرار می‌گیرد. در این روش، امواج صوتی مستقیماً به جسم مورد نظر برخورد کرده و ضریب جذب صوت محاسبه می‌گردد. لوله امپدانس دو میکروفون با استاندارد 1050 ASTM ضریب جذب صوت را اندازه‌گیری می‌کند.

عملکرد لوله امپدانس برای فرکانس‌های مختلف به قطر لوله و موقعیت قرارگیری بین دو میکروفون بستگی دارد. صوت منتشر شده توسط بلندگو به نمونه برخورد می‌کند قسمتی از صوت برخوردی توسط نمونه جذب شده و

قسمتی دیگر منعکس می‌شود. جهت اندازه‌گیری امواج ورودی از میکروفون نزدیک به منبع صوتی و از میکروفون دوم برای محاسبه برآیند امواج برخوردی و امواج بازتاب شده استفاده می‌شود.

برای تعیین ضریب جذب صوت نمونه‌ها امواج تحلیل و بررسی شد. برای محاسبه ضریب جذب صوت، از قسمت‌های مختلف هر پارچه، نمونه‌هایی به اندازه ۳۰ میلی‌متر برای محدوده فرکانس‌های مورد بررسی برش داده شد. سطح روبی نمونه پارچه‌های دو جداره حلقوی تاری در مقابل بلندگوی لوله امپدانس قرار گرفتند. برای دریافت نتیجه مناسب‌تر، میانگین ضریب جذب صوت هر نمونه بررسی شد تا نتایج به‌طور دقیق دریافت شود.



شکل ۳. نمودار لوله امپدانس دو میکروفون

#### ۴. بحث و نتایج

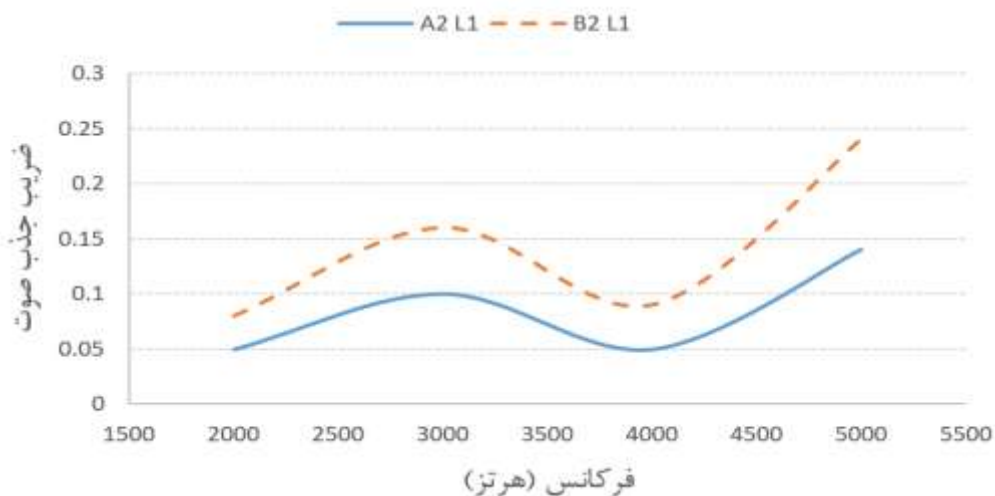
با مقایسه نتایج به دست آمده در جدول ۱ مشخص گردید به ترتیب در نمونه‌های A2، A3 و B2 و B3 با کاهش زاویه نخ‌های اتصال بین دو جداره وزن نمونه‌ها به علت مصرف نخ بیشتر افزایش یافته و ضخامت آنها کاهش می‌یابد. تخلخل پارچه‌های دو جداره حلقوی تاری با توجه به زاویه نخ‌های اتصال دو جداره و ضخامت متغیر است [۲۱].

نتایج زاویه نخ‌های اتصال متأثر از ساختمان بافت و ضخامت بر ضریب جذب صوت پارچه‌های دو جداره حلقوی تاری با ضخامت تولید شده ۴/۵ میلی‌متر و ۷/۵ میلی‌متر با آندرلپ‌های ۲ و ۳ در حالت تک لایه و سه لایه بعد از انجام عملیات استراحت خشک با هم مقایسه شده‌اند. علائم به کار برده شده عبارتند از: A ضخامت ۴/۵ و B ضخامت ۷/۵. نمونه‌ها به صورت تک لایه (L1) و نمونه‌ها به صورت سه لایه (L3).

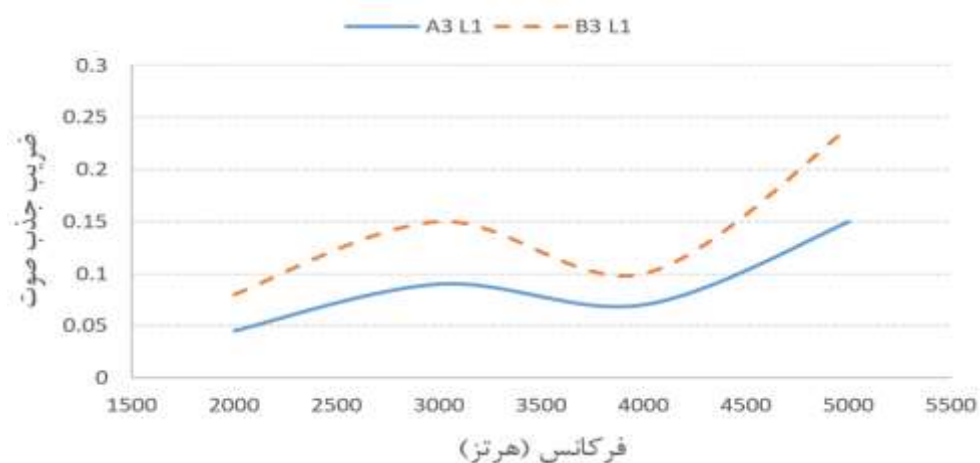
#### ۴-۱. تأثیر ضخامت بر ضریب جذب صوت نمونه‌ها به صورت تک لایه

با توجه به جدول ۱ پارچه‌های دو جداره حلقوی تاری تولید شده با آندرلپ‌های ۲ و ۳ با کاهش زاویه نخ‌های اتصال

بین دو جداره، ضخامت کاهش یافته و میزان حجم نخ مصرفی افزایش می‌یابد. در نتیجه وزن نمونه‌ها افزایش یافته و به دلیل ضخامت کمتر دارای کمترین میزان تخلخل هستند. نتایج نشان می‌دهد تخلخل بیشتر و حجم نخ کمتر در نمونه‌های دو جداره در همه فرکانس‌ها باعث افزایش جذب صوت می‌شود. نتایج به دست آمده در شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهند ضریب جذب صوت پارچه‌های دو جداره حلقوی تاری به صورت تک لایه در طرح بافت‌های یکسان A2، A3، B2، B3 با افزایش ضخامت، افزایش می‌یابد. به علاوه در نمونه‌های تولید شده با افزایش فرکانس، ضریب جذب صوت افزایش یافته و پس از فرکانس ۳۰۰۰ هرتز نمودار رزونانس کرده که مربوط به پدیده تطابق است. در چنین فرکانس‌هایی انرژی ارتعاشی در جسم ذخیره می‌شود در نتیجه نیرویی کوچک و متناوب می‌تواند باعث حرکتی نوسانی با دامنه بزرگ شود. نتایج مشابهی توسط شوشانی<sup>۸</sup> [۲۲] در مورد پارچه بی‌بافت انجام شد نتایج نشان داد با افزایش ضخامت در فرکانس‌های بالا نمودار دچار نوسان شده است و پژوهشی که توسط چن<sup>۹</sup> [۲۳] انجام شد نشان داد که افزایش جذب صوت همراه با افزایش ضخامت است.



شکل ۴. تأثیر ضخامت بر ضریب جذب صوت نمونه‌های A2 L1 و B2 L1



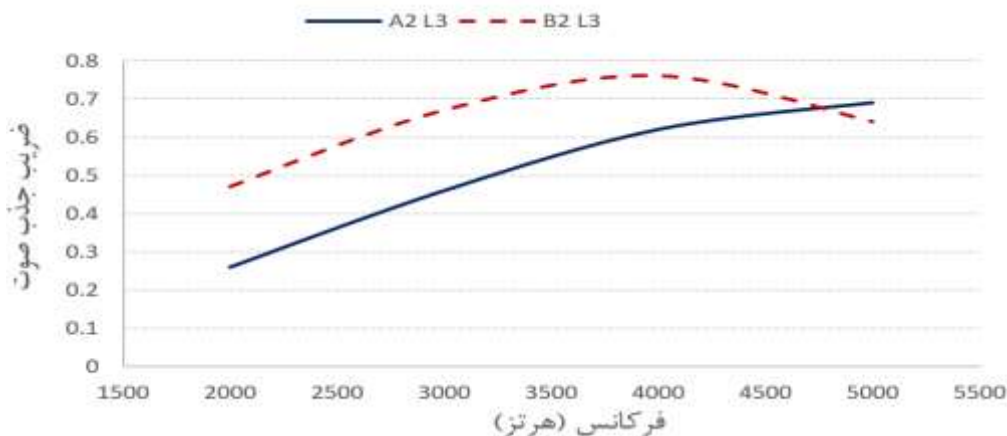
شکل ۵. تأثیر ضخامت بر ضریب جذب صوت نمونه‌های A3 L1 و B3 L1

#### ۲-۴. تأثیر ضخامت بر ضریب جذب صوت نمونه‌ها به صورت سه لایه

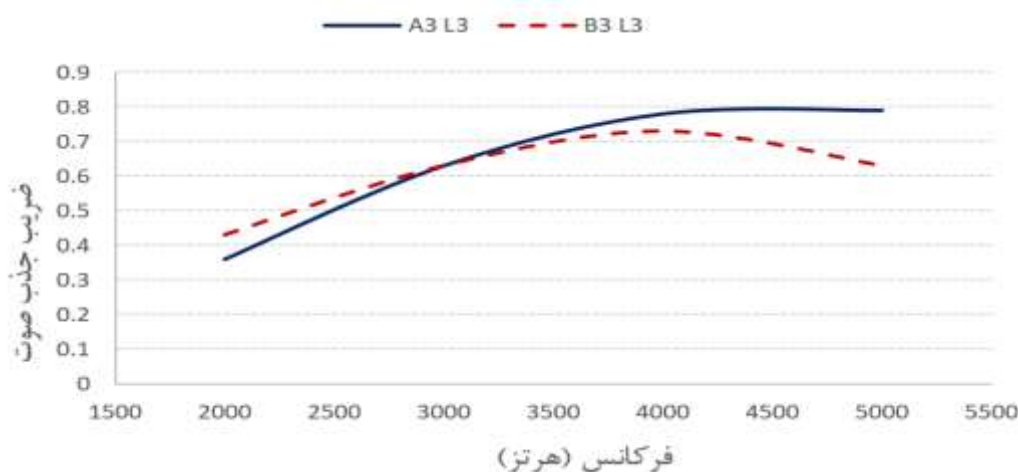
با توجه به نتایج به دست آمده از شکل‌های ۶ و ۷ ضریب جذب صوت را می‌توان با سه لایه نمودن پارچه بهبود بخشید. با مشاهده نتایج نشان داده شده در شکل‌های ۶ و ۷ ضریب جذب صوت در پارچه‌های دوجداره حلقوی تار در طرح بافت‌های یکسان به ترتیب در نمونه‌های A2 L3، A3 L3 با B2 L3، B3 L3 در فرکانس‌های بالای ۴۰۰۰ هرتز و ۳۰۰۰ هرتز با افزایش ضخامت به دلیل پدیده تطابق در نمونه‌های سه لایه کاهش می‌یابد. در اثر

برخورد موج صوتی با سطح ماده متخلخل، ذرات هوایی که در داخل خلل و فرج وجود دارند به لرزش در می‌آیند و به دلیل برخورد موج صوتی با سطح پارچه و نخ‌های اتصال بین دوجداره مسیر حرکتش به علت اصطکاک سایشی تغییر کرده و اندازه حرکتش کاهش می‌یابد این پدیده باعث می‌شود انرژی موج صوتی به گرما تبدیل شود و جذب صوت انجام شود. همچنین با افزایش فرکانس و در نتیجه کوتاه شدن طول موج، مقدار ضریب جذب صوت افزایش می‌یابد پژوهش انجام شده توسط هاسان<sup>۱۰</sup> [۲۴] نشان داد که با افزایش تعداد لایه در فرکانس‌های بالا جذب صوت

کاهش می‌یابد به‌علاوه در مطالعه انجام شده توسط لیو<sup>۱۱</sup> در فرکانس‌های بالا نمودار نوسان می‌کند. این نتایج [۱۴] مشاهده می‌شود بعد از سه لایه، با افزایش ضخامت هماهنگی با نتایج این تحقیق دارد.



شکل ۶. تأثیر ضخامت بر ضریب جذب صوت نمونه‌های A2 L3 و B2 L3



شکل ۷. تأثیر ضخامت بر ضریب جذب صوت نمونه‌های A3 L3 و B3 L3

## ۵. نتیجه‌گیری

ضریب جذب صوت با افزایش ضخامت و تخلخل، افزایش می‌یابد. ضریب جذب صوت نمونه‌های تولید شده با ضخامت ۴/۵ و ۷/۵ میلی‌متر در حالت تک لایه پس از فرکانس ۳۰۰۰ هرتز نوسان می‌کند که مربوط به پدیده تطابق است. علاوه بر این ضریب جذب برای نمونه‌های سه لایه با ضخامت ۷/۵ میلی‌متر با آندرلپ‌های ۲ و ۳ به ترتیب بعد از فرکانس‌های ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز کاهش می‌یابد.

نتایج تأثیر ساختمان بافت و ضخامت بر ضریب جذب صوت پارچه‌های دو جداره حلقوی تار با آندرلپ‌های ۲ و ۳ در حالت تک لایه و سه لایه با هم مقایسه شده‌اند. با توجه به یکسان بودن طرح بافت دو جداره در نمونه‌های تولید شده با تغییر در ساختمان بافت، زاویه نخ‌های اتصال بین دو جداره افزایش یافته و میزان حجم نخ مصرفی کاهش می‌یابد در نتیجه وزن نمونه‌ها کاهش یافته و به دلیل ضخامت بیشتر دارای بیشترین میزان تخلخل هستند.

- [1] Moszynski, Peter. "WHO warns noise pollution is a growing hazard to health in Europe", 2011, Vol.342, pp.1-7.
- [2] Yang, WeiDong, and Yan Li, "Sound absorption performance of natural fibers and their composites", *Science China Technological Sciences*, 2012, Vol.55, no.8, pp.2278-2283.
- [3] Benjamin, S., Reynolds, J., McGuinness, W., "Mechanical and Electrical Equipment for Building (7th Edition)", Wiley and Sons, 1986.
- [4] Yang, Tao, Xiaoman Xiong, Rajesh Mishra, Jan Novák, and Jiří Militký, "Sound absorption and compression properties of perpendicular-laid nonwovens", *Textile Research Journal*, 2019, Vol.89, no.4, pp.612-624.
- [5] Khan, Waseem S., Ramazan Asmatulu, and Mehmet B. Yildirim, "Acoustical properties of electrospun fibers for aircraft interior noise reduction", *Journal of Aerospace Engineering*, 2012, Vol.25, no.3, pp.376-382.
- [6] Crocker, Malcolm J., ed, "Handbook of noise and vibration control", John Wiley & Sons, 2007.
- [7] Oxarango, Laurent, "Transferts de chaleur et de masse dans des structures poreuses multi-échelles: application à l'étude des filtres à particules Diesel", PhD diss., Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT, 2004.
- [8] Voronina, N., "Acoustic properties of fibrous materials", *Applied Acoustics*, 1994, Vol.42, no.2, pp.165-174.
- [9] Hur, Bo Young, Bu Keoun Park, Dong-In Ha, and Yong Su Um, "Sound absorption properties of fiber and porous materials", In *Materials science forum*, 2005, Trans Tech Publications Ltd, Vol.475, pp.2687-2690.
- [10] Haijian, Cao, Yu Kejing, and Qian Kun, "Sound insulation property of three-dimensional spacer fabric composites", 2013.
- [11] Chevillotte, F., "Controlling sound absorption by an upstream resistive layer", *Applied Acoustics*, 2012, Vol.73, no.1, pp.56-60.
- [12] Everest, F. Alton, and Ken C. Pohlmann, "Master handbook of acoustics", McGraw-Hill, 2009.
- [13] Pan, Yi-Jun, Chien-Teng Hsieh, Chien-Lin Huang, Chen-Hung Huang, Ching-Wen Lou, Che-Wei Li, and Jia-Horng Lin, "Sound absorbent, flame retardant warp knitting spacer fabrics: Manufacturing techniques and characterization evaluations", *Fibers and Polymers*, 2015, Vol.16, no.12, pp.2682-2688.
- [14] Liu, Yanping, and Hong Hu, "Sound absorption behavior of knitted spacer fabrics", *Textile Research Journal*, 2010, Vol.80, no.18, pp.1949-1957.
- [15] Liu, Yanping, Hong Hu, Hairu Long, and Li Zhao, "Impact compressive behavior of warp-knitted spacer fabrics for protective applications", *Textile Research Journal*, 2012, Vol.82, no.8, pp.773-788.
- [16] Honarvar, Mozhdeh Ghahremani, Ali Asghar Asgharian Jeedi, and M. Amani Tehran, "Noise absorption modeling of rib knitted fabrics", *Textile Research Journal*, 2010, Vol.80, no.14, pp.1392-1404.
- [17] Chevillotte, F., "Controlling sound absorption by an upstream resistive layer", *Applied Acoustics*, 2012, Vol.73, no.1, pp.56-60.
- [18] Dias, Tilak, and Ravi Monaragala, "Sound absorption in knitted structures for interior noise reduction in automobiles", *Measurement Science and Technology*, 2006, Vol.17, no.9, p.2499.



- [19] Arumugam, Veerakumar, Rajesh Mishra, Jiri Militky, and Blanka Tomkova, "Noise attenuation performance of warp knitted spacer fabrics" *Textile Research Journal*, 89, no. 3 (2019): 281-293.
- [20] Tang, Xiaoning, and Xiong Yan, "Multi-layer fibrous structures for noise reduction", *The Journal of the Textile Institute*, 2017, Vol.108, no.12, pp. 2096-2106.
- [21] Davoudabadi Farahani, M., M. Jamshidi Avanaki, and Ali AA Jeddi, "Sound absorption of warp knitted spacer fabrics based on knit structure and nanofiber enhancement", *Journal of Industrial Textiles*, 2020): 1528083720903411.
- [22] Shoshani, Yakir, and Yakov Yakubov, "A model for calculating the noise absorption capacity of nonwoven fiber webs", *Textile Research Journal*, 1999, Vol.69, no.7, pp.519-526.
- [23] Chen, Si, Hong-xia Chen, Xiao-ping Gao, and Hai-ru Long, "Sound absorption properties of polyurethane-based warp-knitted spacer fabric composites", 2017.
- [24] Hassan, Nik Normunira Mat, and Anika Zafiah Mohd Rus, "Influences of thickness and fabric for sound absorption of biopolymer composite", In *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publications Ltd, 2013, Vol.393, pp.102-107.

پی نوشت:

1. Noise
2. Dias, Tilak & et al.
3. Liu, Yanping & et al.
4. Karl Mayer
5. Gauge
6. Monofilament
7. Underlap
8. Shoshani
9. Chen
10. Hassan
11. Liu