سعیده قادری[۱*]، علی ملکی[۲]، داود قنبریان[۳]، مجتبی توحیدی[٤]

۱. Ghaderiseedeh3@gmail.com
۲. drmaleki@iran.ir
۳. Ghanbarian-d@agr.sku.ac.ir
٤. Tohidi.mojtaba@gmail.com

چکیده

استفاده از جاذب‌های صدا یک روش مناسب برای جذب و دفع آلودگی‌های صوتی موجود در محیط بشمار می‌رود. برای ساخت جاذب‌های صدا بمنظور کاهش آلودگی‌های صوتی به صورت مرسوم از مواد مصنوعی مانند پلی‌اورتان، پلی‌استر، پشم شیشه، پشم سنگ استفاده می‌شود. استفاده از مواد طبیعی شامل ضایعات کشاورزی در ساخت جاذب‌های صدا باتوجه به عملکرد خوب در جذب صدا و دردسترس بودن ضایعات کشاورزی و سازگاری با محیط زیست جایگزین بسیار مناسبی برای جاذب‌های ساخته شده از مواد مصنوعی هستند. یک مسئله مهم هنگام تهیه مواد کامپوزیتی جدید، انتخاب چسب می‌باشد که در این مقاله دو چسب سازگار با محیط زیست که شامل پلی‌وینیل‌الکل و کیتوزان بررسی شدند. سپس به آماده‌سازی مواد اولیه و تهیه الیاف و نحوه ساخت جاذب‌ها و نحوه محاسبه ضریب جذب بوسیله لوله امپدانس و روش تابع انتقال بیان شده‌است. مشخص شد که افزایش تراکم فله از ۱۵۰ به ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب ضریب جذب صدا را از ۰/۱ به ۰/۱۷ در سطح فرکانس پایین افزایش داده‌است. از ۰/٤٦ تا ۰/٦۳ در سطح فرکانس میانی و از ۰/۷۹ تا ۰/۸۷ در سطوح فرکانس بالا افزایش داده‌است.

کلمات کلیدی: جاذب صدا، الیاف طبیعی، پلی‌وینیل‌الکل، کیتوزان، لوله اپدانس، تابع انتقال.

*نویسنده مسئول: Ghaderiseedeh3@gmail.com

مروری بر انواع روش‌های ساخت و ارزیابی جاذب‌های آکوستیکی از مواد بازیافت شده در بخش کشاورزی

مقدمه

امروزه توسعه شهرنشینی و افزایش بیش از حد حمل و نقل باعث افزایش آلودگی‌های صوتی در سطح جهان و تاثیر مخرب بر زندگی انسان و محیط‌زیست شده‌است[10]. قرار گرفتن در معرض آلودگی صوتی به عنوان یک آلاینده زیست محیطی یکی از مهمترین دلایل ایجاد خطرهای جدی در سلامتی است. قرار گرفتن در معرض آلودگی‌های صوتی موجب کاهش شنوایی و ناراحتی‌های مربوط به گوش، کاهش تمرکز، اختلالات خواب و بیماری‌های قلبی می‌شود[15,19].

بمنظور مقابله با اثرات نامطلوب انعکاس صدا به وسیله‌ی سطوح سخت و سفت داخلی از مواد جاذب صدا استفاده می‌شود که در نتیجه کاهش میزان انعکاس صدا را در پی دارد[3]. جاذب‌های صدا معمولا شامل منافذ، کانال‌ها، ترک‌ها و یا حفره‌هایی هستند که در آن‌ها اتلاف انرژی صوتی، ناشی از اصطکاک مولکول-های هوا با دیواره، موجب تبدیل انرژی صوتی به گرمایی و منجر به جذب صوت در طیف وسیعی از فرکانس‌ها می‌شود[19].

مواد جاذب صدا به دلیل خاصیت ساختاری خود قدرت حذف، کاهش صدا و جذب صدا را دارند[3]. مواد یا الیاف جاذب صدا به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند که الیاف طبیعی شامل الیاف گیاهی (کناف، چوب)، حیوانی (پشم، خز) یا معدنی (آزبست) والیاف مصنوعی شامل پلی‌اورتان، پشم معدنی و پشم شیشه هستند[8]. برای کاهش صدا، مواد جاذب صدا را می‌توان بر روی سطوح، مورد استفاده قرار داد. ضریب جذب سطوح به صورت نسبت انرژی آکوستیکی جذب شده W_{abs} به انرژی آکوستیکی برخوردی W_{in} بر سطوح تعریف می‌شود که با α نمایش داده می‌شود[1]. با توجه به اینکه ضریب جذب سطوح تابعی از فرکانس امواج صوتی است. عوامل بسیاری بر ضریب جذب مواد تاثیر دارند از جمله: زاویه تابش، فرکانس پخش موج صدا، ضخامت جاذب، فاصله هوایی در پشت جاذب و چگالی جاذب.

با افزایش زاویه تابش ضریب جذب تا حدی افزایش می‌یابد که در آن ضریب جذب به طور ناگهانی افت می‌کند. جاذب‌ها با توجه به ساختارشان توانایی‌های متفاوت برای جذب در فرکانس‌های مختلف دارند، برای مثال جاذب‌های متخلخل در فرکانس‌های بالا موثرترند و جاذب‌های پنلی و رزونانسی در فرکانس‌های پایین تاثیر بیشتری دارند. برای فرکانس‌های پایین‌تر از ۵۰۰ هرتز، جاذب های ضخیم، جذب بالاتری نسبت به جاذب‌های با ضخامت کمتر دارند. بیشترین جذب هنگامی رخ می‌دهد که مواد جاذب در فاصله ۰/۲۵ طول موج یا ضرایب فردی از این مقدار نسبت به یک سطح بازتابنده قرار گیرد. با قرار دادن یک فاصله هوایی در پشت جاذب‌های متخلخل می‌توان یک جاذب موثر برای فرکانس‌های پایین بدست آورد. بطور کلی جاذب می‌تواند در خلل و فرج مواد با چگالی بالا یا پایین به خوبی نفوذ کند. برای سطوح با چگالی پایین نفوذ بیشتر و برای چگالی‌های بالاتر نفوذ کمتر و انعکاس سطحی بالاتر هستند[3]. بیشتر جاذب‌های صدا از فیبر مصنوعی ساخته شده‌اند مانند پشم شیشه، پشم سنگ و پلی‌اورتان، که نه تجدیدپذیرند و نه تجزیه‌پذیر که در نتیجه بصورت طولانی مدت در محیط زیست باقی‌می‌مانند. این مسئله موجب تولید انبوه زباله در سطح جهان می‌شود، همچنین وجود کربن در این جاذب‌ها، ایجاد آلرژی می‌کند و هزینه بالای تولید و استفاده از الیاف مصنوعی در سال‌های اخیر، تولیدکنندگان و مهندسان را به سمت استفاده از الیاف طبیعی و سازگار با محیط زیست سوق داده‌است[9, 15, 18].

از طرف دیگر الیاف طبیعی دارای ویژگی‌هایی از جمله: قابلیت تجدیدپذیری بیشتر، وزن سبک‌تر، چگالی کمتر، مقاومت الکتریکی بالاتر، استحکام ویژه قابل قبول، هزینه کمتر و بدون اثرات سمی هستند که بعنوان جایگزین مناسب‌تری برای جذب‌کننده‌های صوتی با منشا مصنوعی درنظر گرفته می‌شوند[15, 19]. با توجه به ویژگی‌های الیاف طبیعی و تلفات قابل توجه سالانه آن‌ها، بکارگیری این الیاف طبیعی برای ساخت جاذب‌های صدا قابل ملاحظه‌است[9]. الیاف طبیعی که در ساخت جاذب‌های طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند یا از محصولات کشاورزی هستند و یا از دیگر چرخه‌های تولید و فرآوری محصولات غذایی به دست می‌آیند[19].

الیاف طبیعی که تا کنون مورد بررسی قرار گرفته‌اند شامل: نی گندم، برنج، چوب نرم و سخت، کتان، جوت، چوب خیزران، سویا، کناف، گزنه، سیزال، نخل، آگوا، بامبو، پنبه، کاپک، آفتاب‌گردان، نیشکر، آناناس، نارگیل، زیتون، انواع هسته‌ی میوه‌هایی مانند: گیلاس، هلو، زیتون و زردآلو استفاده می‌شود[8, 14]. از نظر عملکرد صوتی، بیشتر مواد فوق به دلیل ساختار کامپوزیت خود با وجود منافذ و حفره، به عنوان جاذب

متخلخل رفتار می‌کنند. بنابراین، در محدوده فرکانس بالا بسته به مواد مورد آزمایش، ضرایب جذب نسبتا بالایی دارند [12].

جدول ۱- برخی تحقیقات جهانی در مورد ویژگی‌های جذب صوتی انواع فیبر طبیعی

شماره	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
کشور	اسپانیا	هند	ایران	ایران	برزیل	ایتالیا	ایتالیا	چین	مالزی	کانادا
سال	۲۰۲۰	۲۰۲۰	۲۰۱۹	۲۰۱۹	۲۰۱۹	۲۰۱۹	۲۰۱۸	۲۰۱۸	۲۰۱۸	۲۰۱۷
محقق	برولل	راج	سلطانی	تابان	داسیلوا سیزال نارگیل	سانتونی	مارتلوتا	تانگ	پوترا	براردی
الیاف طبیعی	هسته میوه	آرکا	یوکا	نخل خرما	نیشکر	کناف	زیتون	ذرت	آناناس	جارو

در مقاله حاضر به بررسی چگونگی ساخت جاذب از مواد طبیعی که معمولا از ضایعات کشاورزی هستند پرداخته می‌شود. در این راستا به آماده‌سازی مواد طبیعی و جداسازی الیاف از دیگر بخش‌های مواد اولیه و همینطور به چند ماده چسبنده که کاملا سازگار با محیط زیست هستند اشاره می‌شود. در انتها محاسبه مستقیم ضریب جذب توسط لوله امپدانس و به روش تابع انتقال مورد بررسی قرار می‌گیرد.

آماده‌سازی مواد اولیه

بمنظور استفاده از مواد طبیعی برای ساخت جاذب‌های صدا نیاز به آماده‌سازی آن‌ها و جداسازی فیبر یا الیاف از دیگر بخش‌های گیاه می باشد. در ادامه به آماده‌سازی برخی از موادطبیعی می‌پردازیم که می‌توان برای جداسازی الیاف در گیاهان مشابه از روش‌های زیر استفاده کرد:

الیاف نیشکر

ضایعات نیشکر (Bagasse) **ماده اولیه‌ای است که می‌توان آن را به عنوان ماده الیافی مورد استفاده قرار داد.باگاس از ساقه‌های نیشکر خرد شده و خشک شده طبق مراحل زیر بدست می آید:**
ماده اولیه باگاس در کوره یا آون گرم می شود (شکل۱) و به طور دوره‌ای جرم آن کنترل می‌شود تا از تبخیر محتوای مایع درون نیشکر اطمینان حاصل شود. سپس نیشکرها به قسمت‌های کوتاه‌تر برش داده می-شوند و سپس در مخلوط‌کن خرد ودر آسیاب ریخته می‌شود تا اینکه الیاف ریزتر بدست آید.
الیاف نیشکر بدست آمده سپس در الک غربال می‌شوند تا در اندازه‌های مورد نظر و یکسان طبقه‌بندی شوند[13].

شکل ۱-خشک کردن باگاس در آون، الیاف باگاس در سایزهای متفاوت[13]

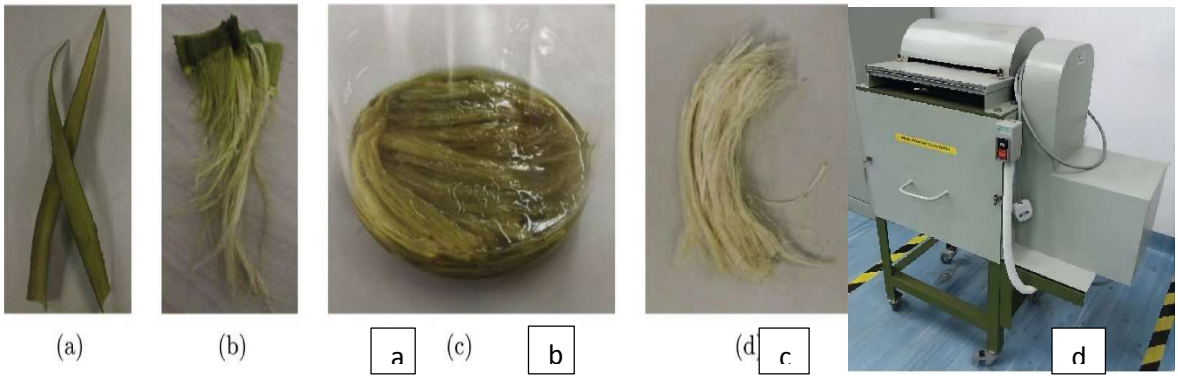
الیاف کناف

الیاف کناف ابتدا با آب مقطر شستشو داده می‌شوند تا آلودگی‌های محیطی آن از بین برود و سپس به مدت ۲۰ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار می‌گیرند تا خشک و توسط یک قیچی دستی به قطعات کوچک خرد می‌شوند و بوسیله یک الک با اندازه مورد نظر الیاف با طول یکسان بدست می‌آیند[18].

الیاف برگ آناناس

برگ‌های آناناس (شکل۲ (a)) در دستگاه استخراج الیاف قرار می‌گیرند که در آن غلتک‌هایی قرار دارد و برگ‌های آناناس با عبور از بین این غلتک‌ها و از طریق فرآیند سنگ زنی، قسمت‌های سلولزی، لایه‌های مومی و آب برگ آناناس تحت فشار قرار می‌گیرند و خرد و برداشته می‌شوند. سپس الیاف خام استخراج شده (شکل ۲ (b)) با خارج کردن برگ‌ها از دستگاه استخراج بدست می‌آیند. الیاف استخراج شده سپس در محلول ۱٪ هیدروکسید سدیم (NaOH) برای فرآیند نرم شدن قلیایی، غوطه ور شدند، همانطور که در (شکل ۲(c)) نشان داده شده‌است.

این کار برای از بین بردن ترکیبات شیمیایی، آلودگی و سایر ذرات متصل به الیاف انجام می‌شود. سرانجام، الیاف با شستشو در آب مقطر و خشک کردن الیاف زیر آفتاب برای از بین بردن رطوبت، همانطور که در شکل (۲(d)) نشان داده شده‌است، بدست آمدند [14].



شکل ۲- دستگاه استخراج، برگ آناناس(a)، الیاف خام استخراج شده(b)، الیاف تیمار شده با ۱٪ محلول هیدروکسید سدیم (c) (NaOH)، الیاف تیمارشده(d).[14]

الیاف گزنه

ابتدا برگ‌های گزنه برای پاک‌سازی از مواد خارجی و گرد و غبار در آب جوش غوطه‌ور می‌شوند. الیاف درشت و شکننده در هنگام تبدیل به الیاف بافته نشده (Non-woven) به راحتی شکسته می‌شوند و زباله‌های زیادی را در این فرآیند ایجاد می‌کنند، بنابراین نیاز به نرم شدن دارند. درنتیجه از پاشش امولسیون ۱٪ روغن کرچک و آب برای نرم شدن الیاف استفاده می‌شود و به مدت ٤٨ ساعت در یک محفظه بسته نگهداری می‌شوند تا به طور موثر محلول پاشیده شده جذب شود. این الیاف سپس به دستگاه نرم کننده‌ای

که از یک سری غلتک‌های مارپیچ تشکیل شده وارد می‌شوند. امولسیون جذب شده به دلیل گرمای ایجاد شده در اجزای مکانیکی ماشین‌آلات مورد استفاده در ساخت فیبر گزنه غیر بافته، به تدریج تبخیر می شود. عمل نرم کردن باعث می شود که اصطکاک الیاف کاهش یابد. الیاف نرم شده به طول اصلی ٦٠ سانتی‌متر برش داده شده و روی یک دستگاه کارتینگ پردازش می شوند که از مجموعه ای از غلتک‌ها با پین‌های نصب شده در حاشیه آن تشکیل شده تا عمل شانه‌زنی الیاف را فراهم کند تا مجموعه‌ای یکنواخت و نرم‌تر از الیاف گزنه بدست آورد[15].

الیاف یوکا (Yucca)

آماده‌سازی الیاف یوکا طبق فرایند آبگیری (Retting) **که برای جداسازی فیبر از محصولات کشاورزی استفاده می‌شود، انجام می‌گیرد. آبگیری فرایندی بیولوژیکی است به این صورت که در آن میکروارگانیسم-ها در حضور رطوبت و دمای بالا با گیاهان واکنش می‌دهند تا بافت‌های سلولی تجزیه و حل شوند و الیاف از قسمت‌های غیر فیبری گیاهان استخراج شود و بمنظور جداسازی کامل و خالص الیاف به دست آمده با مقدار زیادی آب شسته می‌شوند. سپس الیاف بدست آمده به**

قطعات کوچک خرد می‌شوند (شکل ۳) و بمنظور خشک شدن درون اتوکلاو با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ٢٤ ساعت قرار می گیرند[17].

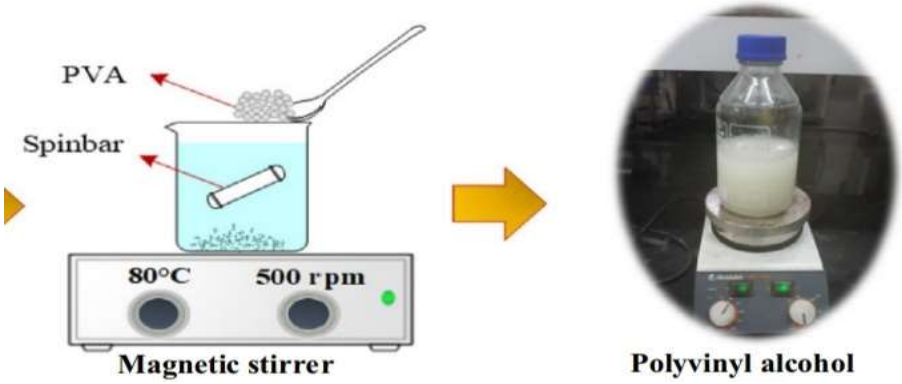
شکل ۳- آماده‌سازی الیاف یوکا[17]

انتخاب و آماده‌سازی چسب

بمنظور اتصال الیاف باید از یک چسب مناسب استفاده کرد، یکی از نکات کلیدی در تضمین این که جاذب-های ساخته شده به عنوان جاذب‌های صوتی پایدار و با منشا طبیعی (سبز) طبقه‌بندی شوند این است که الیاف طبیعی با استفاده از مواد سازگار با محیط‌زیست به هم متصل شوند. در این راستا می‌توان از مواد چسبنده زیست تخریب پذیر و سازگار با محیط‌زیست مانند پلی‌وینیل‌الکل و کیتوزان استفاده کرد که توسط محققان برای طراحی نمونه‌های کامپوزیت جاذب صوتی استفاده می‌شوند [19].

پلی‌وینیل‌الکل

بزرگترین پلیمر سنتزی قطبی تولید شده در دنیا از لحاظ فراوانی پلی‌وینیل‌الکل است که به‌دلیل سازگاری و تخریب‌پذیری در محیط‌زیست استفاده از آن بسیار کارآمد است [7]. پلی‌وینیل‌الکل، پلیمری نیمه بلوری با ویژگی‌های خاص مانند سازگاری با محیط‌زیست که در بالا ذکر شد، انحلال‌پذیری در آب، مقاومت کششی زیاد، مقاومت به خوردگی در محیط‌های قلیایی و نفوذپذیری کم در برابر گازها است. که در صنایع مختلف از جمله کاغذسازی، بسته‌بندی و پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد[6].
پلی‌وینیل‌الکل به صورت پودر سفید رنگ در دسترس است که می‌توان با توجه به انحلال‌پذیری در آب در تهیه چسب از آن استفاده‌کرد که به این منظور با توجه به غلظتی که برای ساخت چسب مورد نظر است میزانی از پودر پلی‌وینیل‌الکل به همان غلظت را باید با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط کرد و به مدت ۳ ساعت در دمای مناسب، برروی همزن مگنتی قرار داد (شکل ٤)، تا به غلظت مورد نظر برسد و چسب آماده مصرف شود[18].



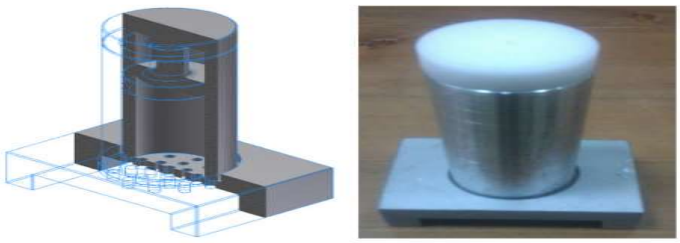
شکل ٤-آماده‌سازی چسب پلی‌وینیل‌الکل[18]

کیتوزان

کیتوزان مهم‌ترین مشتق کیتین است که عمدتا از پوسته بندپایان (خرچنگ، میگو) بدست می‌آید. کیتوزان یک ماده با قابلیت تشکیل ژل، سازگاری زیستی، تجزیه‌پذیری زیستی و فعالیت ضد باکتریایی است و همچنین کاملا غیر سمی است که در زمینه‌های پزشکی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.
با توجه به اینکه کیتوزان در محلول‌های آب و اسید قابلیت انحلال دارد، برای تهیه چسب از کیتوزان، پودر کیتوزان ۳٪ (غلظت ۳٪ انتخاب شد زیرا مقدار متوسط محاسبه شده بین غلظت ۲٪ و ٤٪ است که در مقالات پیشنهاد شده‌است و باعث بهبود چسبندگی و گرانروی برای نفوذ در منافذ می‌شود.) را در اسید استیک (۱٪) و آب در دمای اتاق باید حل کرد و بر روی همزن مغناطیسی به مدت ۱۲ ساعت قرار داد تا به غلظت مورد نظر برسد[12].

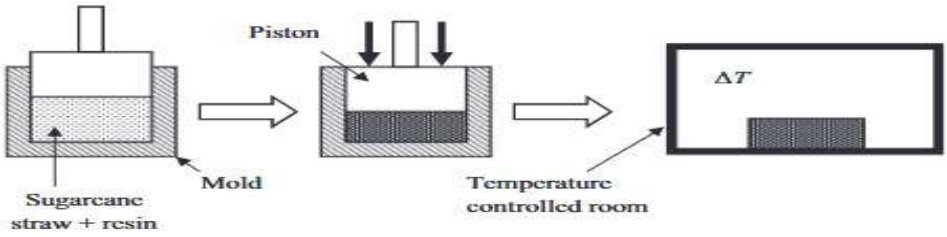
روش ساخت جاذب

روش ساخت جاذب‌های طبیعی تقریبا مشابه است و جاذب‌ها بیشتر بدلیل نوع چسب انتخابی و آماده‌سازی آن، شیوه‌ی آماده‌سازی مواد اولیه و میزان فشاری که برای اتصال الیاف لازم است باهم تفاوت دارند.
نحوه‌ی ساخت جاذب‌ها به این صورت است که پس از تهیه چسب مورد نظر، الیاف تهیه شده با میزان مناسب از چسب آغشته می‌شوند بصورتی که تمام الیاف در تماس با چسب باشند. سپس الیاف آغشته به چسب درون قالب فلزی ضد زنگ استوانه‌ای شکلی به صورت سیلندر پیستون با قطر ۱۰ سانتی‌متر که نمونه‌ای از قالب ساخت جاذب صدا است، ریخته می‌شوند (شکل ۵).



شکل ۵- نمونه‌هایی از مونتاژ سیلندر پیستون [19,17]

میزان مخلوط چسب و الیافی که درون قالب ریخته می‌شود، متناسب با ضخامت هر جاذب متفاوت است و بسته به نوع الیافی که برای ساخت جاذب انتخاب می‌شود، میزان فشاری که درون قالب به مخلوط الیاف و چسب وارد می‌شود نیز متفاوت است و هرچه میزان فشار افزایش یابد زمان قرارگیری در قالب کاهش می‌یابد. برای مثال: در تهیه‌ی جاذب از الیاف یوکا و چسب پلی‌وینیل‌الکل همان‌طور که در (شکل ٦) نشان داده‌شده‌است، مواد پس از قرارگیری در قالب، تحت فشار ۲۰۰ بار بمدت ٤٠ دقیقه قرار می‌گیرند[17] و همچنین برای ساخت جاذب از الیاف کناف و چسب پلی‌وینیل‌الکل به همین روش ترکیب الیاف و چسب درون قالب ریخته می‌شود و تحت فشار۲۱۰ بار بمدت ۳۰ دقیقه قرار می‌گیرند[19]. پس از اینکه جاذب‌ها مدت زمان مورد نظر تحت فشار قرار گرفتند از درون قالب خارج می‌شوند و در دمای محیط با فاصله از یکدیگر قرار می‌گیرند تا به صورت کامل خشک شوند.



شکل ٦- تکنیک تولید نمونه‌ها[17]

در برخی از تحقیقات برای شکل‌گیری جاذب‌ها فقط مخلوط الیاف و چسب را دورن قالب-هایی که متناسب با ضخامت مورد نظر ساخته شده‌اند می‌ریزند و زمانی که جاذب خشک شد از درون قالب خارج

می‌کنند. مانند تحقیقی که بر روی ضایعاتی که از هرس زیتون و اتصال آن‌ها با چسب کیتوزان انجام شدکه در (شکل ۷) نشان داده‌شده‌است[12].

شکل ۷- قرارگیری ضایعات زیتون و چسب کیتوران در قالب [12]

محاسبه ضریب جذب

تکنیک‌های مختلفی برای ارزیابی آکوستیک و محاسبه ضریب جذب مواد متخلخل و فیبری وجود دارد. یکی از متداول‌ترین روش‌ها تشخیص ضریب جذب مواد، استفاده از یک لوله امپدانس برای تعیین ضریب جذب صدا در برخورد نرمال است. روش‌های دیگر مبتنی بر مدل‌های پدیدار شناختی(Henomenological) **است که با توجه به پارامترهایی مانند تورتوسیته**(tortuosity)**، تخلخل، شکاف هوا و شکل منافذ جاذب‌ها ضریب جذب را محاسبه می‌کند.**

اندازه‌گیری مستقیم ضریب جذب

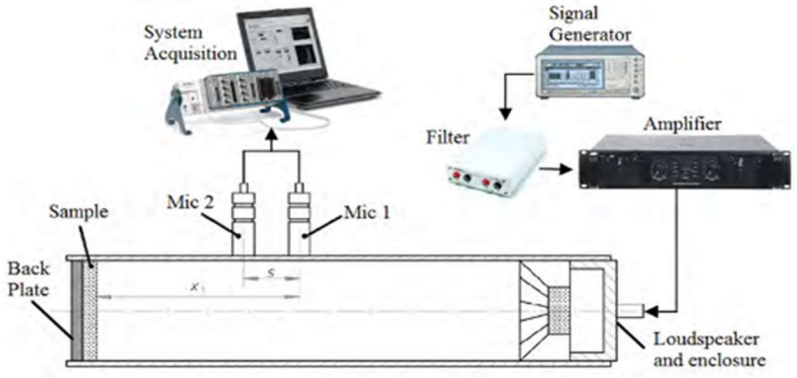
اندازه‌گیری مستقیم ضریب جذب صدا توسط روش‌های استاندارد آزمایشی مانند استفاده از لوله امپدانس و نمونه‌های دایره‌ای، اتاق بازآوا انجام می شود. با توجه به اینکه حجم نمونه‌ها در روش اتاق بازآوا بسیار بزرگ است محققان روش لوله امپدانس را ترجیح می‌دهند[1]**. استفاده از لوله امپدانس شامل دو روش نسبت موج ایستا و تابع انتقال برای اندازه‌گیری ضریب جذب مواد است. روش تابع انتقال (روش شدت) نسبت به روش نسبت موج ایستا (روش فشار) از دقت بالاتری برخوردار است و انجام آزمایشات از نظر زمانی سریع‌تر انجام می‌شود، که نیاز به تجهیزات پیشرفته‌تری دارد. در این روش از امواج صوتی مسطح واقع در**

یک صفحه استفاده می‌شود. امواج به صورت مستقیم به نمونه‌ی مورد آزمایش برخورد داده می‌شوند، از این‌رو ضریب جذب صدا برخوردی نرمال نامیده می‌شود[4].

اندازه‌گیری‌ها معمولاً با استفاده از نمونه‌های دایره‌ای که دقیقا هم قطر لوله امپدانس هستند و در یک لوله امپدانس نصب شده‌اند انجام می‌شود که در یک انتهای آن محل قرارگیری نگه‌دارنده نمونه و در انتهای دیگر، منبع صوت قرار دارد[5] **. همچنین، میکروفون ها در موقعیت‌های مشخص روی لوله نصب شده‌اند. لوله از جنس مواد سخت با سطح یکنواخت، مستقیم و غیر متخلخل است که به غیر از حفره‌های مربوط به محل میکروفون‌ها، هیچگونه حفره و شکافی روی آن وجود ندارد. همچنین، دیواره‌ها به میزان کافی ضخیم و سنگین هستند تا در برابر سیگنال‌های صدا در طیف فرکانسی مورد استفاده، سبب ایجاد ارتعاش نشوند**[16].

روش تابع انتقال

با توجه به پیشرفت تکنیک‌های پردازش سیگنال، ضریب جذب صدا را می‌توان سریعتر و با تکرارپذیری مناسب تعیین کرد، به ویژه هنگام استفاده از روش تابع انتقال که در ISO 10534-2 **شرح داده شده است. در این پژوهش روش دو میکروفون شرح داده‌می‌شود که بیشترین کاربرد را در تحقیقات و حوزه‌های عملی دارد. تجهیزات مورد استفاده در این روش شامل: لوله امپدانس، میکروفون، بلندگو یا ژنراتور سیگنال، امپلی‌فایر، ترازسنج و آنالیزور صدا می‌شود که در(شکل ۸) نیز به تنظیمات آزمایشگاهی لوله امپدانس مطابق با استاندارد** ISO 10534-2 **اشاره شده‌است.**



شکل ۸- تنظیمات آزمایشگاهی لوله امپدانس مطابق با استاندارد ISO 10534-2 [16]

دامنه فرکانس قابل استفاده به قطر داخلی کانال و فاصله بین میکروفون‌ها بستگی دارد. یک دامنه فرکانس طولانی ممکن است از ترکیبی از اندازه‌گیری‌ها با قطر داخلی متفاوت و فاصله بین دو میکروفون بدست آید. روش اندازه‌گیری بر این اساس است که فاکتور بازتاب صدا (r) در برخورد طبیعی را می‌توان از تابع تبدیل اندازه‌گیری شده H_{12} بین دو موقعیت میکروفون از رابطه‌ی ۱ تعیین کرد.

$$H_{12}=\frac{S12}{S11} \qquad (1)$$

که S_{12} طیف عرضی است که از رابطه $p_2.p_1^*$ که فشارهای مختلط حاصل از دو موقعیت میکروفون یک و دو هستند بدست می‌آید و S_{11} طیف خودکار است که حاصل $p_1.p_1^*$ می‌باشد و p_1 فشار مختلط در موقعیت میکروفون یک است.ضریب بازتاب را می‌توان ازطریق تابع تبدیل(رابطه‌ی۲) اندازه‌گیری شده محاسبه کرد:

$$r=\frac{H12-H1}{HR-H1}\ e^{2j\,k0x1} \qquad (2)$$

H_{12}:تابع انتقال کلی میدان صوتی،

H_1:تابع انتقال امواج منتشر شده،

H_R:تابع انتقال امواج بازتاب شده،

X_1:فاصله بین نمونه و میکروفون دورتر

و k_0 عدد موج است که با استفاده از رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود:

$$k_0=\frac{2\pi f}{c} \quad (3)$$

در رابطه‌ی فوق f فرکانس بر حسب هرتز است و برای محاسبه‌ی تابع انتقال امواج منتشر شده(H_I) و تابع انتقال امواج بازتاب شده(H_R) به ترتیب از رابطه‌ی ٤ و٥ استفاده می‌شود.

$$H_I= e^{-jk0(x1-x2)}=e^{-jk0s} \quad (4)$$

$$H_R= e^{jk0(x1-x2)}= e^{jk0s} \quad (5)$$

که S فاصله‌ی بین دو میکروفون است. ضریب جذب برخورد نرمال صدا از رابطه (٦) بدست می‌آید:

$$\alpha=1-|r|^2 \quad (6)$$

و نسبت امپدانس برابر است با:

$$=\frac{R}{\rho C}+\frac{jX}{\rho C}=\frac{1+r\ Z}{1-r\rho c} \quad (7)$$

نتایج و بحث

با توجه به اهمیت کنترل آلودگی‌های صوتی و جلوگیری از آسیب‌های ناشی از آن استفاده از مواد جاذب صدا با حداکثر عملکرد جذب و نیز سازگاری با محیط زیست مورد نیاز است، با توجه به تحقیقات انجام شده و عملکرد مناسب جاذب‌هایی که از مواد طبیعی تهیه شده‌اند استفاده از این جاذب‌ها بسیار کارآمد، مقرون بصرفه و محیط زیست دوستانه می‌باشد.

برای اینکه جاذب‌های ساخته شده از مواد طبیعی ۱۰۰٪ سبز و سازگار با محیط زیست باشند انتخاب ماده چسبنده‌ی طبیعی یا سازگار با محیط زیست، مانند پلی‌وینیل‌الکل و کیتوزان حائز اهمیت است. با توجه به اینکه مواد چسبنده ذکر شده عملکرد خوبی دارند استفاده از هر کدام به انتخاب محقق می باشد ولی توصیه می‌شود از کیتوزان که کاملا منشا طبیعی دارد، استفاده شود.

بیشتر مواد طبیعی که تا کنون در تهیه جاذب‌های صدا مورد استفاده قرار گرفته‌اند به دلیل ساختار کامپوزیت خود با وجود منافذ و حفره، به عنوان جاذب متخلخل رفتار می‌کنند. در ادامه به عوامل مختلفی که بر ضریب جذب جاذب‌های طبیعی اثر گذارند مانند ضخامت، چگالی و فاصله‌ی هوایی در پشت جاذب-ها اشاره می‌شود:

۱- اثر چگالی و ضخامت بر روی جاذب‌های ساخته‌شده از مواد مختلف

چگالی یکی از پارامترهای حیاتی است که به طور مستقیم بر عملکرد جذب صوتی مواد متخلخل تأثیر می گذارد. در هر فرکانس، یک مقاومت جریان بهینه وجود دارد که در آن حداکثر جذب برای یک لایه متخلخل حاصل می‌شود و به خوبی اثبات شده است که ضخامت مواد ، به ویژه در دامنه های با فرکانس پایین ، نقش مهمی در کاهش انرژی صوتی و جذب صدا دارد. در ادامه به نتایج برخی تحقیقات اشاره می-شود:

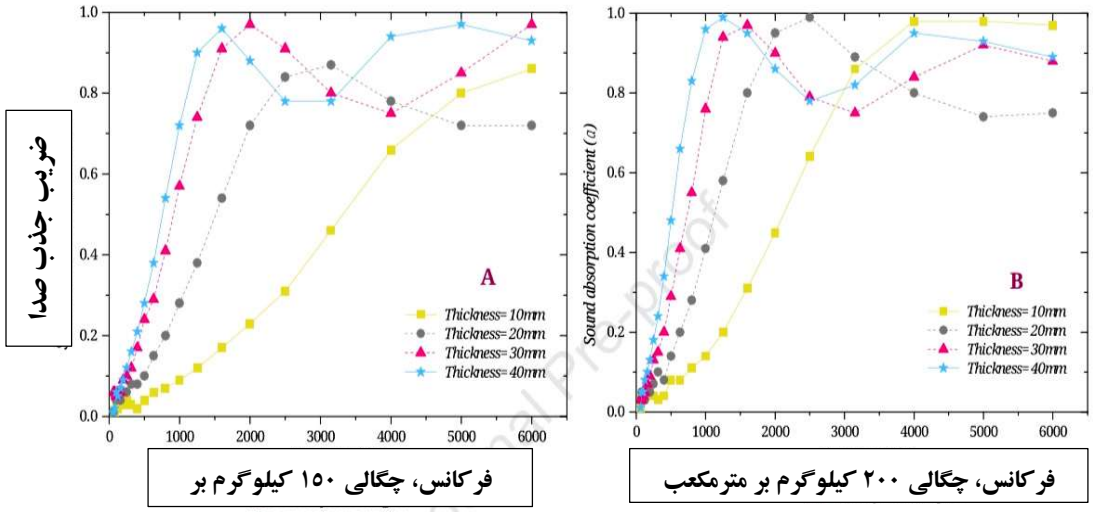
۱-۱- الیاف یوکا

برای نمونه با چگالی ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ضخامت ۱۵ میلی متر ، ضریب جذب صدا تا فرکانس ٤۰۰۰ هرتز افزایش می یابد و به حداکثر مقدار ۰.۹٦ می رسد که فراتر از آن به شدت تولید می شود. برای نمونه با تراکم ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ضخامت ۳۰ میلی متر ، ضریب جذب صدا تا فرکانس افزایش می یابد ۲۵۰۰ هرتز ،رسیدن به حداکثر مقدار ۰.۹٦ ،پس از آن کاهش قابل توجهی به ۰.۷۵ در ٤۰۰۰ هرتز افزایش یافت و پس از آن افزایش یافت [17].

۱-۲- کناف

در شکل ۹ تأثیر تراکم فله بر مقادیر ضریب جذب صدا نمونه های ساخته شده از الیاف کناف را در فرکانس-های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود ، ضریب جذب صدا در فرکانس‌های پایین ، میانی و بالا با افزایش تراکم فله به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. به عنوان مثال برای نمونه‌هایی با ضخامت ٤۰ میلی‌متر ، افزایش تراکم فله از ۱۵۰ به ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب ضریب جذب صدا را از ۰/۱ به ۰/۱۷ در سطح فرکانس پایین افزایش داده‌است. از ۰/٤٦ تا ۰/٦۳ در سطح فرکانس میانی و از ۰/۷۹ تا ۰/۸۷ در سطوح فرکانس بالا افزایش داده‌است. میانگین ضریب جذب صدا برای فرکانس های بالاتر از ۱۲۵۰ هرتز برای نمونه های با ضخامت ٤۰ میلی متر ۰/۹۵ یافت شد ، در حالی که این مقادیر برای نمونه های با ضخامت ۳۰ و

۲۰ میلی‌متر به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۷ بود. همانطور که در شکل ۹ مشاهده شده است ، با افزایش ضخامت ، اوج ضریب جذب صدا به سمت سطح فرکانس پایین تغییر می‌کند [19].



شکل ۹- تاثیر چگالی بر میزان جذب صدای جاذب‌ها [19]

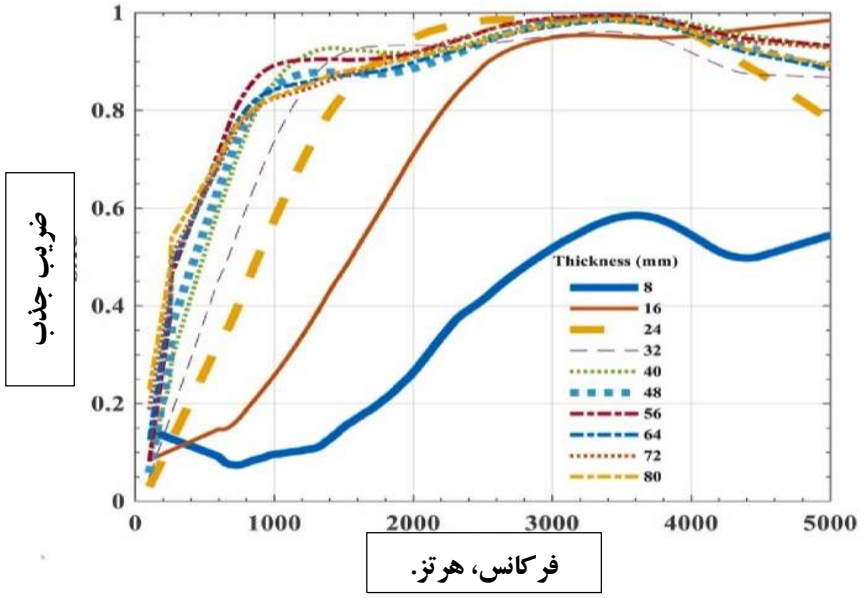
۱-۳- الیاف نخل خرما

رفتار یونی الیاف خرما با استفاده از روش‌های تجربی و ریاضی مورد بررسی قرار گرفت. جاذب‌های آکوستیک از الیاف نخل خرما با ضخامت ۱۰ - ٤٠ میلی‌متر در چگالی‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم برمتر مکعب ساخته‌شدند یافته‌ها نشان داد که برای سطوح فرکانس بالاتر از ۱۵۰۰ هرتز، میانگین ضریب جذب صدا نمونه‌های با ضخامت ۲۰ و ۳۰ میلی‌متر، ساخته‌شده با چگالی ۱۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، به ترتیب ۰/٦ و ۰/۸ بود [18].

۱-٤- الیاف گزنه

میانگین ضریب جذب صدا برای ضخامت های بیشتر از ٤٠ میلی‌متر بیش از ۰/۷ در فرکانس‌های فراتر از ۵۰۰ هرتز مشخص شد .برای ضخامت های بیشتر از ۵۰ میلی‌متر بیشتر از ۰/۷ بود. مقایسه ضریب جدب صدای

جاذب‌های ساخته‌شده از الیاف گزنه با پشم شیشه و جوت، گزنه را جذب کننده‌ی صدای بهتری معرفی می-کند. در شکل ۱۰ میزان جذب جاذب‌های صدای ساخته‌شده از الیاف گزنه با ضخامت‌های متفاوت را نشان می‌دهد [15].



شکل ۱۰- مقایسه جذب صدای جاذب‌های ساخته‌شده از گزنه با ضخامت‌های متفاوت[15].

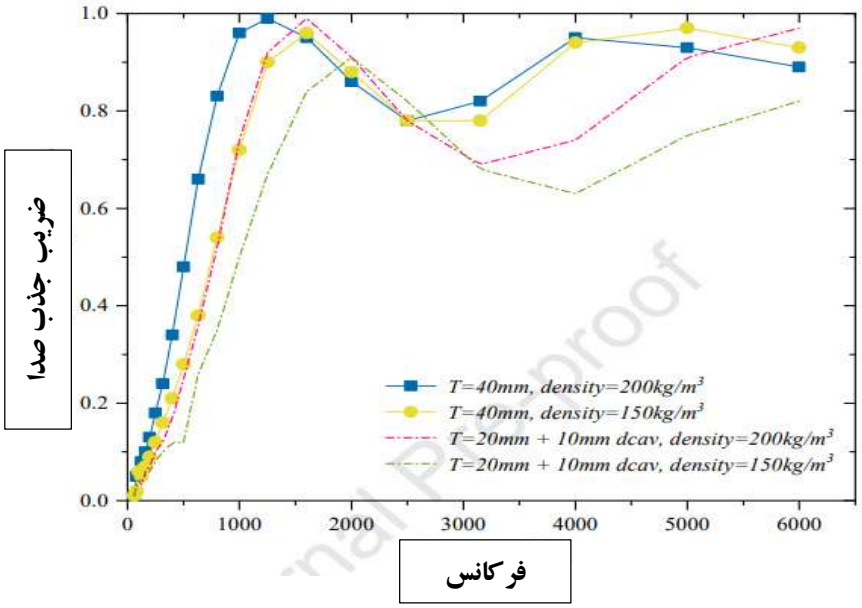
۱-۵- نیشکر، سیزال و نارگیل

جاذب‌ها در ضخامت‌های ۲۰، ۳۰ و ٤٠ میلی‌متر از الیاف طبیعی مختلف از جمله سیزال، نارگیل و نیشکر ساخته‌شدند با توجه به نوع این الیاف، نمونه‌های ساخته‌شده با الیاف نیشکر در مقایسه با سیسال و پوسته نارگیل عملکرد جذب آکوستیک بهتری داشتند [19].

۲- شکاف هوای پشت نمونه‌ها

به طور کلی نشان داده شده‌است که ایجاد چنین شکاف هوایی در پشت نمونه‌های متخلخل / الیافی به جای افزایش ضخامت جاذب صدا ، که به مواد بیشتری نیاز دارد ، یک استراتژی مفید برای تقویت ضریب جذب صدا، به ویژه در فرکانس‌های پایین است. نتایج حاصل از نمونه‌هایی با ضخامت ٤٠ میلی متر با تراکم‌های مختلف فله ارائه شده و مورد بحث قرار گرفته‌است که در شکل ۱۱ به آن اشاره شده‌است. همانطور که

انتظار می‌رفت ، در حضور شکاف هوا در پشت نمونه، ضریب جذب صدا افزایش می‌یابد و اوج ضریب جذب صدا به سمت دامنه‌های با فرکانس پایین تغییر می‌کند. مقادیر ضریب جذب صدای نمونه‌های با ضخامت ٤٠ میلی‌متر بدون شکاف هوا نسبتاً مشابه نمونه‌های با ضخامت ۲۰ میلی‌متر و شکاف هوا ۱۰ میلی‌متر است [19].



شکل ۱۱- مقایسه میزان جذب نمونه‌ها با فاصله و بدون فاصله هوایی[19].

نتیجه‌گیری

تحقیقات انجام شده بر روی خصوصیات صوتی جاذب‌های ساخته شده از الیاف طبیعی که برای اتصال الیاف از چسب‌های طبیعی یا سازگار با محیط‌زیست مانند کیتوزان و پلی‌وینیل‌الکل استفاده می‌شود، تا جاذبی ۱۰۰٪ طبیعی و سازگار با محیط‌زیست ساخته‌شود و با اندازه‌گیری ضریب جذب جاذب‌ها به وسیله لوله امپدانس نشان داد که جاذب‌ها قدرت جذب خوبی در فرکانس‌های پایین دارند و با افزایش ضخامت و شکاف هوا در پشت جاذب‌های صدا باعث افزایش قابل توجه جذب صدا در فرکانس‌های پایین می‌شود. ضریب جذب در تمام سطوح فرکانس با افزایش چگالی (bulk density) به طور قابل توجهی افزایش می یابد. با توجه به تحقیقات انجام شده، جاذب‌های ساخته‌شده از گزنه جذب بهتری نسبت به جاذب‌های مصنوعی دارند.

مراجع:

۱. **علی‌آبادی، م .گلمحمدی، ر. علیایی، م. شهیدی، ر. ۱۳۹۵. مطالعه خصوصیات جذب صوتی مواد ساختمانی رایج در بناهای صنعتی و اداری کشور. مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، ۳(۳): ۳۳- ۳۸.**

۲. **فروهرمجد، ف. و محمدی، ز. ۱۳۹۵. امکانسنجی لوله امپدانس با دو میکروفون و اندازه‌گیری ضریب جذب صوتی برخی از مواد جاذب ایرانی به روش تابع انتقال، مجله تحقیقات نظام سلامت، ۱۱۹- ۱۲٤.**

۳. **قاسمی، ه. ۱۳۹۰. مروری بر انواع جاذب های صدا، چهارمین کنفرانس مهندسی رسانه، تهران، دانشکده صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران.**

٤. **گلمحمدی، ر. علیایی، م. سموات، ح. معتمدزاده، م. ۱۳۸۷. طراحی و ساخت لوله امپدانس برای تعیین ضریب جذب صوتی برخی مصالح مورد استفاده در کنترل صدا. مجله علمی علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان، ۱۵ : ۵۵- ٦۱.**

۵. **گهرویی، م. ر. ملکی، ع. لشگری، م. ۱۳۹۷. بررسی روش های مختلف محاسبه ضریب جذب صدا در لوله امپدانس. سومین کنفرانس بین‌المللی هندسی مکانیک و هوا فضا، تهران، ایران.**

٦. **نوشیروانی، ن. قنبرزاده، ب. انتظامی، ع. ا. اثر نانو کریستال سلولز و پلی‌وینیل‌الکل روی ویژگی-های فیزیکی فیلم‌های بیونانو کامپوزیتی بر پایه نشاسته. ۱۳۹۱. ۷(۱): ٦۳- ۷٤.**

۷. **نوارچیان، ا. ح. موسی‌زاده، س .۱۳۸۸. بررسی اثر عوامل واکنش بر پلیمر شدن در محلول وینیل-استات و وزن ملکولی پلی(وینیل‌الکل) با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر. ۲۲(۵): ۳٤۱- ۳۵۱.**

8. Berardi, U., and Iannace, G. 2015. Acostic Characterization of Natural Fibers for Sound Absorption Applications. Buildikg and Environment, 94 : 840-852.
9. Borell, G. J. M., Sanchis, J. E., Alcaraz, S. J., and Belda, M. 2020. Sustainable sound absorbers from fruit stones waste. Applied Acoustics. 161.

10. Cao, L., Fu, Q., Si, Y., Ding, B and Yu, J. 2018. Porous Materials for Sound Absorption. Composites Communications, 10: 25-35.
11. Fernea, R., Manea, D. L., Plesa, L., Iernutan, R., and Dumitran, M. 2019. Acoustic and thermal properties of hemp-cement building materials. Procedia manufacturing 32: 208-215.
12. Martellotta, F., Cannavale, A., Matteis, V. D., and Ayr, U. 2018. Sustainable sound absorbers obtained from olive pruning wastes andchitosan binder. Applied Acoustics. 141: 71-78.
13. Othmani, CH., Taktak, M., Zein, A., Hentati, T., Dauchez, N., Elnady, T., Fakhfakh, T., and Haddar, M. 2017. Acoustic characterization of a porous absorber based on recycled sugarcane wastes. Applied Acoustics. 120: 90-97.
14. Putra, A., Or, K. H., Selamat, M. Z., Nor, M. J. M., Hasan, M. H., and Prasetiyo, i. 2018. Sound absorption of extracted pineapple-leaf fibers. Applied Acoustics. 136. 9-15.
15. Raj, M., Fatima, Sh., and Tandon, N. 2020. An Experimental and Theoretical Study on Environment-Friendly Sound Absorber Sourced From Nettle Fibers. Journal of Building Engineering 31.
16. Silva, G. C. D., Nunes, M. A. D. A., Lopes, R. V., and Júnior, A. B. A. 2013. Design and construction of a low cost impedance tupe for sound absorption coefficients measuremants, 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013), Brazil: 105-115.
17. Soltani, p., Taban, E., Faridan, M., Samaei, E., and Amininasab, S. 2020. Experimental and computational investigation of sound absorption performance of sustainable porous material: Yucca Gloriosa fiber. Applied Acoustics, 157.
18. Taban, E., Khavanian, A., Jafari, J. A., Faridan, M., and Tabrizi, K.A. 2019. Experimental and Mathematical Survey of Sound Absorption Performance of Date Palm Fibers. Heliyon5.
19. Taban, E., Soltani, p., Berardi, U., Putra, A., Mousavi, M., Faridan, M., Samaei, E., and Khavanian, A. 2020. Measurement, modeling, and optimization of sound absorption performance of Kenaf fibers for building applications. Building and Environment. 180.
20. Tan, K. B., Ching, C. Y., Poh, C.S., Abdullah, C. L., and Gan, N.S. 2015. A review of natural fiber reinforced poly(vinyla lcohol) based composites. Application and Opportunity. Polymers. 7(11).