



دانشگاه گیلان، دانشکده علوم و فنون

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## امکان ساخته عایق‌های آکوستیکی دو لایه از نخل خرما

\*محمدعلی سعادت‌نیا<sup>۱</sup>، نوشین ستاری<sup>۲</sup>، مهران روح‌نیا<sup>۳</sup>، محسن بهمنی<sup>۴</sup> و محمدهادی مرادیان<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا بهبهان، <sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا بهبهان، <sup>۳</sup>استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، <sup>۴</sup>استادیار، گروه علوم جنگل، دانشگاه شهرکرد، <sup>۵</sup>استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا بهبهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۵

### چکیده

**سابقه و هدف:** قابلیت بافت‌های نرم گیاهی در به دام انداختن امواج نا خواسته (نوفه)، تمایل به جایگزینی منابع لیگنوسلولزی با عایق‌های ساخته شده از الیاف معدنی را افزایش داده است. فاکتورهایی همچون ساختار متخلخل، فراوانی نسبی، تجدیدپذیری و نداشتن خطر برای سلامتی موجودات زنده (برخلاف الیاف حاصل از پشم‌شیشه)، در کاربرد مواد لیگنوسلولزی، حائز اهمیت هستند. کمبود مواد اولیه موردنیاز صنعت، توجه صاحبان صنایع را به منابع لیگنوسلولزی جدید جلب کرده است. از این‌رو، امکان ساخت عایق‌های آکوستیکی با استفاده از نخل خرما (*Phoenix dactylifera*) به‌عنوان یک ماده گیاهی فراوان در جنوب ایران، جهت کنترل و کاهش آلودگی صوتی، مورد بررسی قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** از ارتفاع برابر سینه دو نخل خرما با قطر تقریبی ۴۰ سانتی‌متر، دو دیسک با ضخامت ۱۲ سانتی‌متر برش و سپس در دو جهت عمود بر هم و در فاصله بین مغز تا پوست، نمونه‌هایی مکعبی با ابعاد سطح مقطع ۱۲×۱۲ سانتی‌متر و ضخامت ۲ سانتی‌متر برش داده شد. پس از برش نهایی، نمونه‌ها در نایلون قرار گرفت و تا زمان انجام آزمون در فریزر نگهداری شدند. پیش از انجام آزمون، مقطع نمونه‌ها، با چسب اپوکسی پوشانده و با یک برنامه ملایم چوب خشک‌کنی به رطوبت تعادل رسانده شدند. از هر دیسک نمونه‌های آزمونی گرد با دو قطر ۱۰ و ۳ سانتی‌متر تهیه شد. نمونه‌ها، به مدت دو هفته در فضای آزمایشگاه با رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد متعادل‌سازی شدند. هر نمونه آزمونی با روکش‌هایی مقوایی به وزن پایه ۱۳۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ ( $\text{gr/cm}^2$ ) پوشانده شد، که از الیاف سطح تنه (کورتکس) و الیاف برگ نخل تهیه شده بودند و سپس با استفاده از لوله امواج ساکن، ضریب تضعیف موج نمونه‌ها در فاصله ۱۲۵ تا ۸۰۰۰ هرتز اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد، عایق‌های ساخته شده از نخل خرما، قابلیت جذب صوت بالایی دارند و این قابلیت با استفاده از روکش مقوایی ساخته شده از الیاف تنه بهبود می‌یابد. افت شدیدی در میزان جذب صوت، در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز مشاهده شد، که استفاده از روکش مقوایی ساخته شده از الیاف سطح تنه با وزن پایه ۱۳۰ ( $\text{gr/cm}^2$ ) و روکش مقوایی ساخته شده از الیاف برگ با وزن پایه ۵۰۰ ( $\text{gr/cm}^2$ ) برای اصلاح آن مناسب بودند.

\*مسئول مکاتبه: [mssaadania92@gmail.com](mailto:mssaadania92@gmail.com)

**نتیجه‌گیری:** میرایی بالای امواج در ساختار لیفی نخل، مربوط به ساختار ویژه آناتومی آن است. وجود دسته جات آوندی در یک بافت نرم پارانشیمی، از نخل خرما یک عایق بسیار مناسب می‌سازد و استفاده از یک روکش کاغذی ساخته شده از الیاف تنه نخل، این قابلیت را در دامنه گسترده‌ای از فرکانس‌ها افزایش می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** نخل خرما، ضریب جذب صوت، الیاف تنه، الیاف برگ

### مقدمه

از آن‌جا که آلودگی صوتی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی، تأثیر مستقیمی بر کیفیت زندگی مردم دارد، مطالعات گسترده‌ای در راستای کنترل، تضعیف و هدایت امواج ناخواسته صورت گرفته است (۱). تنوع و پیچیدگی منابع آلودگی صوتی، تقاضا را برای محیطی به‌تر و سبک زندگی متنوع‌تر افزایش داده است؛ لذا، به مواد مؤثری نیاز است، که قادر به جذب صوت در فرکانس‌های گسترده باشند. مصالح نرم ورقی که از الیاف سلولزی و بافت‌های نرم گیاهی مانند الیاف حاصل از کتان، کنف، چای، بامبو، نارگیل، موز و ... ساخته می‌شوند، به‌عنوان منبعی مناسب برای تضعیف امواج مزاحم شناخته شده‌اند، به‌طوری که در مقایسه با عایق‌های دیگر، از به‌ترین جذب‌کننده‌های صوت و حرارت می‌باشند (۲۰). ساختار متخلخل، فراوانی نسبی، تجدیدپذیری، قدرت تجزیه بالا در خاک و نداشتن خطر برای سلامتی موجودات زنده (برخلاف الیاف حاصل از پشم‌شیشه) از مزیت‌های این‌گونه مواد است. به‌علاوه، این مواد، قابلیت جذب صوت، در دامنه وسیعی از فرکانس‌های موجود در طبیعت را دارند (۸). با توجه به فراوانی مکانی هر یک از این منابع گیاهی، مطالعاتی در رابطه با قابلیت آن‌ها در جذب امواج صوتی انجام شده است. یانگ و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند، الیاف حاصل از ساقه برنج، قابلیت جذب صوت در فرکانس‌های ۵۰۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز را دارد (۲۲). کویزومی و همکاران (۲۰۰۲) با

مقایسه پانل‌های ساخته شده از الیاف حاصل از نی بامبو با پانل‌های لایه‌ای، دریافتند که الیاف نی نیز قدرت جذب صوت بالایی داشته و این امر به‌دلیل ساختار متخلخل موجود در الیاف این گیاه است (۱۴). فاستینو و همکاران (۲۰۱۲) تخته‌هایی از ساقه ذرت ساختند، که قدرت جذب امواج صوتی آن بالا بود (۹). باستوس و همکاران (۲۰۱۲) قابلیت بی‌نظیر الیاف گیاهی مختلف (سیسال، کنف، پوسته نارگیل و ...) را در جذب امواج صوتی نشان دادند و ضمن توجه به مزیت‌های آن‌ها در مقایسه با عایق‌های صنعتی، اعلام کردند، فراوانی منبع گیاهی موردنظر در منطقه، یکی از فاکتورهای مهم، علاوه بر ساختار متخلخل این مواد است (۵). بر این اساس، نخل خرما (*Phoenix dactylifera L*)، با سطح پوشش وسیع در جنوب ایران، می‌تواند یکی از منابع بسیار مهم تأمین ماده اولیه موردنیاز بخش صنایع چوب و کاغذ کشور باشد. ساختار فیبری نخل، چهار نوع لیف دارد، که شامل الیاف موجود در برگ، ساقه، تنه و سطح تنه (کورتکس) است. در کشورهای در حال توسعه، از بخش‌های مختلف نخل برای تولید انرژی استفاده می‌کنند (۱۶). اما در کشورهای توسعه‌یافته، به کاربردهای صنعتی آن بهای بیشتری داده می‌شود. از نخل می‌توان برای ساخت تخته خرده چوب، الوار صنعتی، چوب پلاستیک، چوب-سیمان و خمیر و کاغذ استفاده کرد (۱۳، ۱۱، ۷، ۳، ۱۸). مطالعات اخیر نشان داده است الیاف حاصل از نخل خرما توانایی

رشد نخل خرما ایجاد کرده است، به طوری که، طبق گزارش فائو<sup>۳</sup>، بیش از ۲۸ میلیون نفر نخل خرما در این منطقه وجود دارد. این مسئله، باعث شده است، ایران در بین ده کشور بزرگ تولیدکننده خرما در جهان باشد (۱۰). مطالعات نشان می‌دهد، از هر درخت خرما، ۳۵ کیلوگرم ضایعات در سال تولید می‌شود (۱۵). لذا، چنین منبع فراوانی از ضایعات، می‌تواند مورد توجه بخش صنعت قرار گیرد. فراوانی این ماده، انگیزه‌ای است برای محققین ایرانی، تا به دنبال راه‌های جدید استفاده از آن باشند. بدین منظور، با توجه به ویژگی بافت‌های نرم گیاهی در جذب امواج ناخواسته، امکان ساخت عایق صوتی از تنه نخل مورد بررسی قرار گرفت و برای بهبود جذب صوت در فرکانس‌های مختلف، از کاغذ دست‌ساز و کاغذ حاصل از خمیر سودا، تهیه شده از الیاف برگ و سطح تنه نخل در وزن‌های مختلف، به‌عنوان لایه تقویت کننده جذب صوت استفاده شد.

### مواد و روش‌ها

دو نفر نخل خرما (*Phoenix dactylifera*) با قطر تقریبی ۴۰ سانتی‌متر، از حومه شهر اهواز انتخاب و از ارتفاع برابر سینه هر کدام، یک دیسک با ضخامت ۱۲ سانتی‌متر تهیه شد. سپس، در دو جهت عمود بر هم و در فاصله بین مغز تا پوست، نمونه‌های آزمون مکعبی با ابعاد سطح مقطع  $12 \times 12 \text{ cm}^2$  و ضخامت ۲ cm تهیه شد. پس از برش نهایی، نمونه‌ها در نایلون قرار گرفت و تا زمان انجام آزمون در فریزر نگهداری شدند. پیش از انجام آزمون ضریب جذب صوت، مقطع نمونه‌ها با چسپ اپوکسی پوشانده و با یک برنامه ملایم چوب خشک کنی (رطوبت نسبی ۵۰ درصد و دما ۵۰ درجه سانتی‌گراد) به رطوبت تعادل رسانده شد. نمونه‌های مکعبی به مدت دو هفته،

جذب امواج صوتی را دارند و می‌توانند به‌عنوان عایق آکوستیک استفاده شوند (۱). تحقیقات در رابطه با جذب صوت، محدود به نخل خرما نبوده و بر روی انواع نخل‌ها صورت گرفته است. سادون و مروس (۲۰۱۵) از تنه نخل روغنی<sup>۱</sup>، به‌عنوان پرکننده، در ساخت چوب پلاستیک استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، استفاده از نخل روغنی تا سطح ۲۰ درصد به‌عنوان پرکننده، منجر به بالاترین جذب صوت در فرکانس ۴۷۲۸ هرتز می‌شود (۱۹). عبداللطیف و همکاران (۲۰۱۶) از الیاف سطح میوه نخل روغنی<sup>۲</sup> برای ساخت تخته خرده جهت تولید عایق‌های صوتی استفاده کردند. ایشان، ساختار متخلخل و دانسیته پایین الیاف را عامل جذب بالای امواج صوتی معرفی کردند و نشان دادند میزان چسب پلی اورتان بر جذب صوت در فرکانس‌های مختلف اثر معنی‌داری دارد (۲).

گاهی مواقع، برای کنترل نوفه، در دامنه خاصی از فرکانس‌ها، از مواد لایه‌ای مختلف، بر روی تایل آکوستیک استفاده می‌شود. استفاده از لایه مشبک آلومینیومی، بر روی ورقه‌ای از الیاف طبیعی، جذب صوت را در فرکانس‌های بالای ۲۵۰۰ هرتز افزایش می‌دهد (۸). هم‌چنین، می‌توان از لایه‌های ساخته شده از خمیرکاغذ یا مقوا نیز استفاده کرد (۴ و ۱۶). محصولات کاغذی (کاغذهای کنگره‌ای، شانه عسلی‌ها و لوله‌های کاغذی) نسبت به تایل‌های گچی، میزان جذب صوت را در فرکانس‌های میانی و بالایی، حدود ۴۰ درصد افزایش می‌دهند (۲۰). با این حال، در رابطه با تأثیر کاغذ حاصل از الیاف تنه و برگ نخل خرما بر جذب صوت عایق‌های ساخته‌شده از تنه نخل، تحقیقی یافت نشد. جنوب ایران، به‌دلیل وضعیت آب و هوایی ویژه، شرایط مناسبی را برای

1- Oil palm  
2- Mesocarp

کاغذ تهیه شده، بر روی الک با مش ۱۴۰، شستشو و با استفاده از پالایشگر دیسکی، پالایش شد. تعیین بازدهی خمیر پس از الک و شستشو، تعیین درجه‌ی روانی خمیر کاغذ، ساخت پوشش کاغذی و تعیین ضخامت آن و اندازه‌گیری وزن پایه، طبق استانداردهای TAPPI انجام شد.

اندازه‌گیری میانگین ضریب جذب صوت، با استفاده از لوله امواج ساکن مدل (TYPE 4002) در دامنه فرکانس ۱۲۵ تا ۸۰۰۰ هرتز و ثبت میزان جذب صوت هر نمونه، بدون در نظر گرفتن فاصله هوایی آن با انتهای لوله امیدانس انجام شد.

$$(1) n = \frac{p_{max}}{p_{min}} \quad (2) \alpha = \frac{4n}{(n+1)^2}$$

P(max): دامنه حداکثر، P(min): دامنه حداقل، n: تعداد گره و شکم.

در محیط آزمایشگاه و در رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد متعادل‌سازی (رطوبت تعادل نمونه‌ها ۱۲ درصد بود) و سپس به شکل دیسک با دو قطر متفاوت ۱۰ و ۳ سانتی‌متر برش داده شدند. دیسک‌های با قطر ۱۰ cm برای اندازه‌گیری ضریب جذب صوت در فرکانس‌های بم و کمتر از ۱۰۰۰ هرتز و دیسک‌های با قطر ۳ cm برای فرکانس‌های زیر و بالای ۱۰۰۰ هرتز استفاده شدند. برای تقویت ضریب جذب صوت<sup>۱</sup> دیسک‌های آزمونی، با استفاده از دو نوع روکش کاغذی متفاوت، تهیه شده از الیاف سطح تنه (کورتکس) و الیاف برگ نخل خرما، در سه وزن پایه متفاوت ۱۳۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ گرم بر مترمربع سطح دیسک‌ها پوشانده شد (جدول ۱، ۲). از روش سودا، با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۲ بار و مدت زمان پخت ۹۰ دقیقه برای تهیه خمیر کاغذ از هر دو نوع الیاف، استفاده شد. خمیر

جدول ۱- ویژگی‌های دیسک‌های آزمونی جهت اندازه‌گیری ضریب جذب صوت.

Table 1. Characteristics of experimental disks for NRC% measurements.

مواد	تعداد	دانشیته	تعداد دیسک‌ها	قطر دیسک‌ها (cm)	ضخامت نمونه (cm)
Material	Number	Density	Disk no.	Disk Diameter	Sample thickness
نخل خرما Date palm	۲ درخت Trees	0.34 (gr/cm <sup>3</sup> )	36	10 ، 3	2

جدول ۲- ویژگی‌های روکش‌های مقوایی ساخته شده.

Table 2. Characteristics of paperborad layers.

مواد	تعداد	وزن پایه	تعداد دیسک‌ها	قطر دیسک‌ها (cm)	ضخامت نمونه (cm)
Material	Number	basic weight	Disk no.	Disk Diameter	Sample thickness
الیاف تنه Cortex fibers	۳۶ ورق Sheets	500 ,300 ,130 (gr/m <sup>2</sup> )	36	10 ,3	0.069-0.16-0.26
الیاف برگ Leaves fibers	۳۶ ورق Sheets	500 ,300 ,130 (gr/m <sup>2</sup> )	36	10 ,3	0.064-0.15-0.25



شکل ۱- دستگاه لوله امواج ساکن (سمت راست) و دیسک‌های آزمون (سمت چپ).

Figure 1. Impedance tube (right) and disk samples (left).

صوت نمونه‌های آزمون‌ی روکش‌دار و بدون روکش در محدوده فرکانس ۱۲۵ تا ۸۰۰۰ هرتز در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. لازم به یادآوری است، برای ساخت روکش کاغذی دیسک‌های عایق صوت، از دو نوع الیاف سطح تنه (کورتکس) و حاصل از برگ نخل خرما استفاده شد.

### نتایج و بحث

اثر نوع روکش بر میانگین ضرایب جذب صوت نخل خرما: مقایسه ضریب جذب صوت میانگین بین دیسک‌های روکش‌دار و بدون روکش با آزمون تی استیودنت و جهت ارزیابی آماری اثر نوع و وزن روکش از طرح فاکتوریل و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. ضرایب جذب

جدول ۳- مقایسه ضریب جذب صوت نمونه‌های روکش‌دار و بدون روکش در محدوده فرکانسی مورد مطالعه.

Table 2. Comparison of NRC for samples with and without veneer in the studied frequency range.

NRC%	فرکانس (Hz) Frequency							ماده Material
	8000	4000	2000	1000	500	250	125	
0.77*	0.91 <sup>ns</sup>	0.74*	0.51*	0.85*	0.74 <sup>ns</sup>	0.60*	0.49 <sup>ns</sup>	دیسک روکش شده با الیاف تنه Disk covered with cortex fibers
0.65	0.98	0.56	0.37	0.6	0.80	0.75	0.43	دیسک بدون روکش Disk without Veneer

<sup>ns</sup>: تفاوت معنی‌دار نیست، \* : در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ۴- مقایسه ضریب جذب صوت نمونه‌های روکش‌دار و بدون روکش در محدوده فرکانسی مورد مطالعه.

Table 2. Comparison of NRC for samples with and without veneer in the studied frequency range.

NRC%	فرکانس (Hz) Frequency							ماده Material
	8000	4000	2000	1000	500	250	125	
0.65 <sup>ns</sup>	0.87 <sup>ns</sup>	0.95*	0.37 <sup>ns</sup>	0.78n <sup>s</sup>	0.59*	0.64 <sup>ns</sup>	0.47 <sup>ns</sup>	دیسک روکش شده با الیاف برگ Disk covered with leaves fibers
0.65	0.98	0.56	0.37	0.64	0.80	0.75	0.43	دیسک بدون روکش Disk without Veneer

<sup>ns</sup>: تفاوت معنی‌دار نیست، \* : در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

قدرت جذب فرکانس ۲۰۰۰ هرتز را ندارند (۲، ۵، ۷، ۱۲). ضمن آن‌که، در تمامی نمونه‌های آزمونی، تقریباً با افزایش فرکانس از ۱۲۵ هرتز به ۸۰۰۰ هرتز، ضریب جذب صوت افزایش یافت، به طوری‌که، تمامی نمونه‌ها، در فرکانس‌های ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز، بخش بزرگی از موج را جذب و به شکل یک ماده تمام عایق عمل کردند. برای مقایسه و درک بهتر کارایی نمونه‌های آزمونی تهیه شده از نخل خرما، مقادیر ضریب جذب صوت به‌دست آمده با نتایج براردی و لانا (۲۰۱۵) در دامنه فرکانسی ۱۲۵ تا ۲۰۰۰ هرتز (۶) مقایسه شد (جدول ۵). در مقایسه عایق‌های ساخته شده از نخل خرما با منابع مختلف گیاهی و حیوانی، به وضوح مشاهده می‌شود، نمونه‌هایی که با الیاف سطح تنه روکش شده‌اند، از برخی از منابع لیگنوسلولزی، ضریب جذب بالاتری داشته است و توانایی زیادی در به دام انداختن امواج صوتی و میرایی آن دارد. این درحالی است که دیسک‌های تهیه شده از نخل خرما، ضخامت ۲ سانتی‌متر داشتند و اگر ضخامت دیسک‌ها به ۶ تا ۱۰ سانتی‌متر برسد، مقدار جذب صوت، به احتمال، افزایش چشمگیری خواهد داشت. قابلیت جذب صوت بالای نمونه‌های ساخته شده از نخل خرما به ساختار ویژه آناتومی آن مربوط می‌شود. به‌عبارتی، بافت نرم پارانشیمی ۸۰ درصدی و دستجات آوندی پراکنده در آن، به‌دلیل تقویت سهم جذب صوت، نسبت به شکست و انعکاس موج صوتی، قابلیت میرایی موج را در مقایسه با سایر مواد به‌شدت افزایش می‌دهد.

براساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۳)، میانگین ضریب جذب صوت دیسک‌های روکش شده با لایه‌ای از الیاف سطح تنه بیشترین مقدار را داشتند (۰/۷۷)، اما بین میانگین ضریب جذب صوت دیسک‌های روکش شده با الیاف برگ و دیسک‌های بدون روکش، تفاوت معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد. به‌عبارتی دیگر، الیاف سطح تنه درخت (الیاف کورتکس) بر میرایی موج و جذب انرژی صوتی اثر مثبت داشته و NRC را ۱۸ درصد افزایش داده است. از آن‌جایی‌که، فضای بین الیاف در روکش‌ها، فضای مناسبی برای اصطکاک داخلی بیش‌تر موج، طی انتشار و در نتیجه تضعیف آن می‌باشد، به‌نظر می‌رسد، افزایش میرایی موج به تفاوت بین میانگین حجمی روکش‌های ساخته شده از الیاف تنه ( $5/13 \text{ cm}^3/\text{gr}$ ) و برگ ( $4/7 \text{ cm}^3/\text{gr}$ ) مربوط باشد. از سویی دیگر، دیسک‌های بدون پوشش و دیسک‌هایی که با الیاف برگ روکش شده‌اند، در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، افت شدیدی در میزان جذب صوت نشان داده‌اند. به عبارتی، دیسک بدون روکش در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز کمترین جذب را داشته و زمانی که با لایه‌ای از الیاف برگ روکش شده، در میزان جذب آن افزایش مشاهده نشده است. اما وقتی با روکشی از الیاف تنه پوشش داده شده، مقدار جذب صوت آن بهبود یافته و از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. عدم توانایی یک ماده در جذب یک فرکانس خاص و یا انعکاس بیشتر فرکانسی دیگر، مربوط به ماهیت درونی یک ماده است. به‌طور مثال مشاهده شده که بعضی از کامپوزیت‌های ساخته شده از الیاف طبیعی

جدول ۵- مقایسه ضریب جذب صوت عایق‌های ساخته شده از نخل با سایر منابع گیاهی و حیوانی.

Table 3. Comparison of NRC between date palm samples and other sources.

NRC%	دانشیه Density (kg/m <sup>3</sup> )	نوع روکش Veneer Type	ضخامت نمونه Sample Thickness (cm)	ماده Material
0.55	100	بدون روکش No veneer	6	کنف Kenaf
0.60	100	بدون روکش No veneer	3	الیاف چوب Wood fibers
0.45	400	بدون روکش No veneer	8	باگاس Bagasse
0.50	140	بدون روکش No veneer	10	مقوا Cardboards
0.70	40	بدون روکش No veneer	6	پشم گوسفند Sheep wool
0.63	340	الیاف تنه Cortex veneer	2	تنه نخل خرما Date palm stem
0.57	340	الیاف برگ No veneer	2	تنه نخل خرما Date palm stem
0.62	340	بدون روکش No veneer	2	تنه نخل خرما Date palm stem

تأثیر نوع روکش و میزان تغییر جذب صوت به تفکیک فرکانس: تغییر ضریب جذب صوت نمونه‌های آزمونی، پس از پوشش سطح آن‌ها، با لایه‌ای از الیاف سطح تنه و الیاف برگ، در مقایسه با نمونه‌های بدون روکش، در دامنه فرکانس‌های مورد مطالعه در جدول ۴ به تفکیک نشان داده شده است (مجموع تغییرات، با در نظر گرفتن اثر مثبت یا منفی روکش‌ها و فقط برای تغییرات معنی‌دار ذکر شده است).

جدول ۴- تغییرات ضریب جذب صوت دیسک‌های روکش‌دار در مقایسه با نمونه‌های بدون روکش به تفکیک فرکانس.

Table 4. NRC variations of disk with and without veneer in every single frequency.

مجموع تغییرات درصد Total variations	فرکانس (Hz) Frequency							نوع روکش Veneer Type
	Δ8000	Δ4000	Δ2000	Δ1000	Δ500	Δ250	Δ125	
+64%	-	+24%	+27%	+33%	-	-20%	-	الیاف تنه Cortex Fibers
+15%	-	+41%	-	-	-26%	-	-	الیاف برگ Leaves Fibers

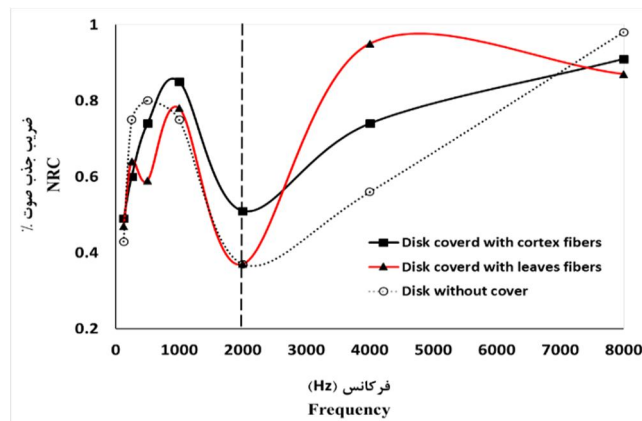
می‌شود و توان ارتعاشی خود را از دست می‌دهد، در حالی‌که، الیاف برگ، با حجیمی کمتر و به احتمال، فضای بین الیاف کوچک‌تر، امکان میرا کردن موج را ندارد. هم‌چنین، در دامنه فرکانس‌های بم، با طول موج بلند، (۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ هرتز)، روکش کردن دیسک با یک لایه کاغذ از الیاف تنه و برگ، بر میزان جذب

با بررسی مجموع تغییرات ضریب جذب صوت، در دیسک‌های روکش شده با الیاف تنه و یا الیاف برگ، به وضوح می‌توان دریافت، روکش الیاف تنه بسیار مناسب‌تر از روکش الیاف برگ می‌باشد، لذا، موج صوتی، هنگام عبور از روکش الیاف تنه به‌خصوص در فرکانس‌های بالا، به‌شدت تضعیف

آن عبور کند که با امیدانس آکوستیکی لایه اول روبرو می‌شود و مطمئناً امواج با فرکانس بالا قدرت نفوذ بیشتر داشته و لذا در عایق دو لایه مورد مطالعه در تحقیق حاضر نیز نقش روکش‌ها در فرکانس‌های زیر پرننگ تر بوده است (۲۳). مقایسه روند تغییر ضریب جذب صوت، در سه نوع دیسک تهیه شده از نخل خرما (شکل ۲) نشان می‌دهد تقریباً در بیشتر موارد، با افزایش فرکانس، ضریب جذب صوت افزایش می‌یابد، به طوری‌که، بیش‌ترین مقادیر برای فرکانس‌های ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز و کم‌ترین مقادیر مربوط به فرکانس‌های ۱۲۵ و ۲۵۰ هرتز بوده است. اهمیت روکش حاصل از الیاف تنه در افزایش قدرت میرایی عایق صوت از فرکانس ۱۰۰۰ هرتز تا ۴۰۰۰ هرتز متمایز شده است. در فرکانس‌های زیر ۱۰۰۰ هرتز، روکش تهیه شده از کورتکس در مقایسه با روکش تهیه شده از الیاف برگ، عمل‌کرد متفاوت قابل قبولی نداشته است. اما افت شدید میزان جذب صوت در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، به‌طور یکسان، برای تمامی نمونه‌ها رخ داده است، به طوری‌که، دیسک نخل خرما چه با روکش و چه بدون روکش، توانایی جذب صوت با فرکانس ۲۰۰۰ هرتز را ندارد. باستوس و همکاران (۲۰۱۲) ورقه‌ای از الیاف طبیعی را با لایه مشبک آلومینیومی پوشانده و به این طریق، جذب صوت را در فرکانس‌های بالای ۲۵۰۰ هرتز افزایش دادند (۵). چنین بهبودی، با ایجاد روکشی لایه‌ای از محصولات کاغذی بر روی عایق و افزایش ۴۰ درصدی در میزان جذب صوت نسبت به تیل‌های آکوستیک گچی توسط سچی و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است (۲۰).

صوت یا اثر نداشته و یا تأثیر منفی گذاشته و باعث کاهش آن شده است. با ادامه افزایش فرکانس و ورود به دامنه فرکانس‌های زیر با طول موج کوتاه و قدرت نفوذ بیشتر (۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز) نقش روکش‌ها به‌خصوص در رابطه با الیاف تنه، در میرایی موج پرننگ‌تر می‌شود، به طوری‌که، جذب صوت تا ۶۴ درصد افزایش می‌یابد. پیک جذب صوت، برای پنل‌های ساخته شده از الیاف نخل، در محدوده فرکانس ۴۰۰۰ هرتز، در مطالعه عبدالرحمن و همکاران (۲۰۱۲) نیز مشاهده شده است (۱). با در نظر گرفتن علامت جبری تغییرات، روکش کردن دیسک‌های نخل خرما، با لایه‌ای از الیاف تنه یا برگ خرما، عایق صوتی بهتری ایجاد می‌کند و در بعضی از فرکانس‌ها، میزان جذب صوت را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. اثر روکش عایق آکوستیکی ساخته شده از یک صفحه فلزی مشبک آلومینیومی بر روی پانل ساخته شده از الیاف خرما، استفاده از یک فوم مشبک پلاستیکی بر روی عایق ساخته شده از ضایعات لاستیک و هم چنین کمپوزیت چند لایه از الیاف گیاهی جهت بهبود جذب صوت، به‌ترتیب توسط الولید و همکاران (۲۰۱۴)، هونگ و همکاران (۲۰۰۷) و ونگ و تورنگ (۲۰۰۱) گزارش شده است (۸، ۱۲ و ۲۱). یک عایق چند لایه متشکل از مواد ویسکو الاستیک، قدرت به دام انداختن امواج صوتی را در بین لایه‌ها خود داشته و کاهش تراز فشار صوتی بین لایه‌ها و دامنه ارتعاشات، انرژی صوتی را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند این فرایند منجر به افزایش ظرفیت میرایی عایق چند لایه می‌شود. اما موج در محل برخورد به عایق چند لایه، ابتدا باید از





شکل ۲- تغییر ضریب جذب صوت عایق‌های ساخته شده از نخل خرما در فرکانس‌های مختلف.

Figure 2. NRC measurement of date palm acoustic boards in different frequencies.

۵۰۰ گرمی ساخته شده از الیاف برگ مشاهده نشد. مطالعه جذب صوت به تفکیک فرکانس، قابلیت روکش‌های سنگین برگ در جذب امواج با فرکانس ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز را به وضوح نشان داد. اما شاید بتوان گفت، فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، یک نقطه عطف در میزان جذب صوت برای هر دو نوع روکش (تنه و برگ) محسوب می‌شود. در این فرکانس، میزان ضریب جذب صوت به یک‌باره افت می‌کند و مقدار آن، حتی در بعضی از موارد، به ۱۱ درصد می‌رسد. مقایسه رفتار روکش‌های ساخته شده از الیاف تنه و الیاف برگ، با توجه به وزن پایه روکش نشان می‌دهد، روکش‌های ساخته شده از الیاف تنه با وزن پایه ۱۳۰ گرم، جذب صوت مناسب‌تری نسبت به بقیه نمونه‌ها داشته است، اما روکش‌های ساخته شده از الیاف برگ، با وزن پایه ۵۰۰ گرم، عایق‌های بهتری برای جذب صوت در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز بوده‌اند. لذا، با توجه به افت ضریب جذب صوت در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، به‌تر است، در صورت ساخت روکش از الیاف برگ، روکش‌های سنگین و در صورت ساخت روکش از الیاف تنه، روکش‌های سبک استفاده شود. همچنین، ضریب جذب صوت در دو فرکانس ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز، برای هر سه پایه وزنی روکش‌ها، به بالاترین مقدار خود رسید.

اثر وزن روکش بر جذب صوت نخل خرما: روکش‌های تهیه شده از الیاف سطح تنه (کورتکس) و الیاف برگ، در سه وزن پایه ۱۳۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ گرم ساخته شد. با افزایش وزن روکش، سطح پوششی دیسک‌ها متراکم تر می‌شود. اثر وزن پایه هر روکش، در دامنه فرکانس‌های بم و زیر، به‌طور خلاصه، در جدول ۵ آورده شده است. در روکش‌های ساخته شده از الیاف تنه، روکش‌های سبک‌تر، ضریب جذب صوت بالاتری را نشان دادند. بررسی دقیق تر میزان جذب صوت، برای تک تک فرکانس‌ها نشان داد، در فرکانس ۱۲۵ هرتز، بین ضریب جذب صوت در روکش‌های سبک ۱۳۵ گرمی با روکش‌های ۳۰۰ و ۵۰۰ گرمی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد اما با افزایش فرکانس و نزدیک شدن به مقادیر ۲۵۰ و ۵۰۰ هرتز، دیسک‌هایی که با روکش ۱۳۰ گرمی پوشش داده شده‌اند، بهترین جذب صوت را نشان می‌دهند، به استثناء فرکانس ۱۰۰۰ هرتز که مقدار جذب صوت روکش‌های کاغذی با وزن پایه سنگین‌تر بهتر بوده است. در فرکانس‌های بالا نیز روکش‌های سبک تهیه شده از الیاف تنه بهترین عملکرد را دارند. وزن پایه روکش برگ، هیچ اثر معنی‌داری بر میانگین ضریب جذب صوت (NRC)، در دامنه فرکانسی مورد مطالعه نشان نداد. به عبارتی، هیچ تفاوتی در میانگین جذب صوت، بین روکش‌های ۱۳۰، ۳۰۰ و

جدول ۵- تأثیر وزن پایه روکش بر ضریب جذب صوت.

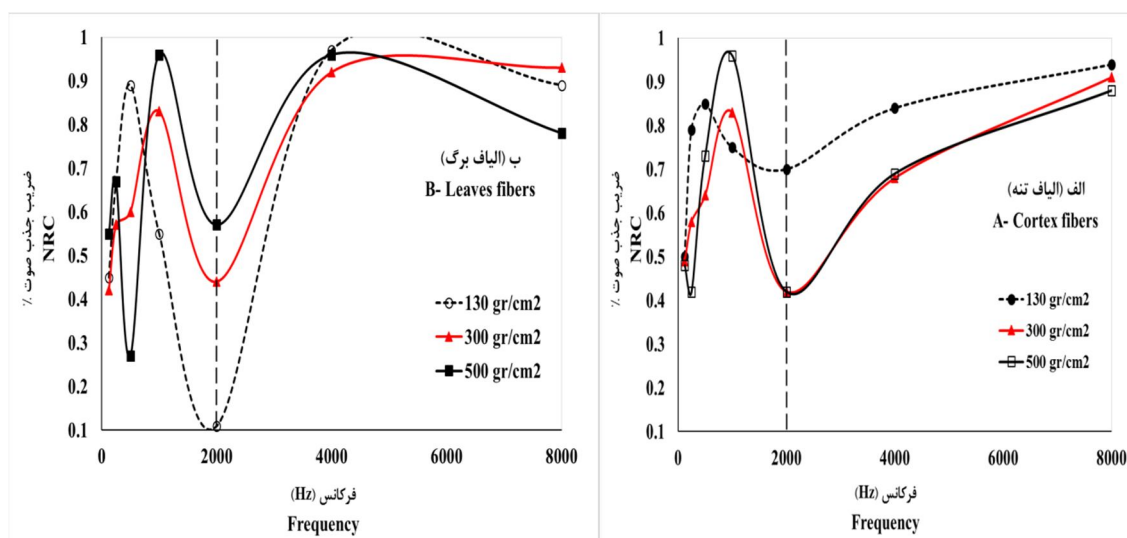
Table 5. The effect of basic weight of veneer on NRC values.

NRC%	فرکانس (Hz) Frequency							وزن پایه Basic weight	نوع روکش Veneer type
	8000	4000	2000	1000	500	250	125		
0.77*	0.94 <sup>ns</sup>	0.84*	0.70**	0.75*	0.85*	0.79*	0.50 <sup>ns</sup>	130	الیاف تنه Cortex fibers
0.65 <sup>(ns)</sup>	0.91 <sup>ns</sup>	0.68 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	0.83*	0.64 <sup>ns</sup>	0.58 <sup>ns</sup>	0.49 <sup>ns</sup>	300	
0.65 <sup>(ns)</sup>	0.88	0.69	0.42	0.96	0.73	0.42	0.48	500	
0.65 <sup>(ns)</sup>	0.89 <sup>ns</sup>	0.97 <sup>ns</sup>	0.11**	0.55*	0.89*	0.67 <sup>ns</sup>	0.45 <sup>ns</sup>	130	الیاف برگ Leaves fibers
0.68 <sup>(ns)</sup>	0.93 <sup>ns</sup>	0.92 <sup>ns</sup>	0.44*	0.83 <sup>ns</sup>	0.60**	0.57 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	300	
0.68 <sup>(ns)</sup>	0.78	0.96	0.57	0.96	0.27	0.67	0.55	500	

ns: از نظر آماری تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. \*\* معنی‌دار در سطح ۱ درصد، \* معنی‌دار در سطح ۵ درصد.

جذب را جبران و عایق بهتری خواهند بود. بنابراین، در صورت استفاده از روکش ساخته شده از الیاف تنه، وزن پایه سبک‌تر (۱۳۰ گرمی) در اکثر دامنه‌های فرکانسی مناسب‌تر است، اما در روکش‌های ساخته شده از الیاف برگ و در محدوده فرکانس‌های بالای ۲۰۰۰ هرتز، روکش‌های سبک و سنگین قابلیت جذب صوت بالای مشابهی داشتند.

روند تغییرات در میزان ضریب جذب صوت روکش‌های تهیه شده از کورتکس و الیاف برگ، در سه وزن پایه مختلف، در شکل ۳ نشان داده شده است. براساس شکل ۳- الف اگر نمونه‌ها با یک پوشش ۱۳۰ گرمی از الیاف تنه روکش شوند در بیشتر فرکانس‌ها عایق مناسبی خواهند بود. اما، اگر نمونه‌ها، با پوشش ۵۰۰ گرمی از الیاف برگ روکش شوند (قسمت ب)، در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، افت



شکل ۳- روند تغییرات ضریب جذب صوت روکش‌های الیاف تنه (الف/ سمت چپ) و برگ (ب/ سمت راست) بر اساس وزن پایه آن‌ها.

Figure 3. Variations trend of NRC for cortex and leaves veneers based on basic weight.

## نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های تحقیق، عایق‌های آکوستیکی ساخته شده از الیاف نخل، به شدت، بر میرایی موج اثر داشتند و در مقایسه با بسیاری از منابع لیگنوسلولزی، با برخورداری از ضریب جذب صوت بالاتر، عایق بهتری محسوب می‌شوند، لذا، امکان جایگزینی عایق‌های صنعتی، که از نظر زیست محیطی، سلامت افراد را به خطر می‌اندازند، با این ماده وجود دارد. عایق‌های ساخته شده از نخل خرما، به‌جز در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، هم در محدوده فرکانس پایین و هم در محدوده فرکانس بالا، قابلیت

جذب صوت بالایی داشتند. از آنجایی که، روکش‌های ۱۳۰ گرمی ساخته شده از الیاف تنه خرما، نسبت به روکش‌های ۳۰۰ و ۵۰۰ گرمی، قابلیت جذب صوت به‌تری داشتند و وزن روکش‌های ساخته شده از الیاف برگ خرما، اثر معنی‌داری بر میانگین ضریب جذب صوت نشان نداد، برای جبران افت ایجاد شده در ضریب جذب صوت در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز، استفاده از روکش مقوایی ساخته شده از الیاف تنه خرما، با وزن پایه ۱۳۰ گرم پیشنهاد می‌شود.

## منابع

1. Abd AL-Rahman, L., Ishak Raja, R., Abdul Rahman, R., and Ibrahim, Z. 2012. Acoustic properties of innovative material from date palm fiber, *American Journal of Applied Sciences*, 9(9): 1390-1395.
2. Abdul Latif, H., Yahya, M.N., Zaman, H., Sambu, M., Ghazali, M.I., and Hatta, M.N.M., 2016. The influence of physical properties and different percentage of the oil palm mesocarp natural fiber, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(4): 2462-2466.
3. Aref, I.M., Nasser, R.A., Ali, I., AL.Mefarrej H.A., and AL.Zahrani S.M. 2013. Effects of aqueous extraction on the performance and properties of polypropylene/ wood composites from date palm midribs and Acacia tortilis wood, *Journal of Reinforced Plastics composites*, 32(7): 476-489.
4. Arenas, J.P., Rebolledo, J., Del Rey, R., and Alba, J. 2014. Sound absorption properties of unbleached cellulose loose-fill insulation material, *BioResources*, 9(4): 6227-6240.
5. Bastos, L.P., de Melo, G.D.S.V., and Soeiro, N.S. 2012. Panels manufactured from vegetable fibers: An alternative approach for controlling noises in indoor environments. *Advances in Acoustics and Vibration*, 1-9.
6. Berardi, U., and Lannace, G. 2015. Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Building and Environment*, 94: 840-852.
7. EL.Musly, H.I. 1997. The rediscovery of local raw materials: New opportunities for developing countries. *Industry Environment*, 20(1-2): 17-20.
8. Elwaleed, A.K., Nikabdullah, N., Nor, M.G.M., Tahir, M.F.M., and Nuawi, M.Z. 2014. A Preliminary Study on the Sound Absorption of Self-facing Date Palm Fibers, *Applied Mechanics and Materials*, (565): 25-30.
9. Faustino, J., Pereira, L., Soares, S., Cruz, D., Paiva, A., Varum, H., Ferreira, J., Pinto, J. 2012. Impact sound insulation technique using corn cob particleboard. *Construction and Building Materials*, 37: 153-159.
10. Fathi, L., Bahmani, M., Saadatnia, M.A., and Poursartip, L. 2017. An investigation on anatomical and mechanical properties of vascular bundles in date palm (case study: Ahwaz countryside), *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 8(1): 109-118. (in Persian)
11. Hegazy, S.S., and Aref, M.I. 2010. Suitability of some fast growing trees and date palm fronds for particleboard productions, *Forest Products Journal*, 60(7/8): 599-604.
12. Hong, Z., L. Bo., and Jia, H. 2007. A novel composite sound absorber with recycled rubber particles. *Journal of Sound Vibration*, 304: 400-406.

13. Khiari, R., Mauret, E., Belgacem and Mhenni, M.F. 2011. Tunasian date palm rachis used an alternative source of fibers for papermaking applications. *Bioresources*, 6(1): 265-281.
14. Koizumi, T., Tsujiuchi, N., and Adachi, A. 2002. The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers. *High performance structures and composites*, 4: 157-166.
15. Jayamani, E., Hamdan, S., Kok Heng, S., Rahman, M.R., Bakri, B., Khusairy, M. 2016. Acoustical, thermal, and morphological properties of zein reinforced oil palm empty fruit bunch fiber bio-composites. *Journal of Applied Polymer Science* 133.
16. Jun-Oh, Y., Kyoung-Woo, K., Kwan-Seop, Y., Jea-Min, Kim, K., and Myung-Jun, K. 2014. Physical properties of cellulose sound absorbers produced using recycled paper, *Construction and Building Materials*, (70): 494-500.
17. Nasser, R.N. 2014. An evaluation of the use of midribs from common date palm cultivars grown in Saudi Arabia for energy production. *Bio Resource*, 9(3): 4343-4357.
18. Nasser, R.A., and AL.Mafarreg, H.A. 2011. Midribs of date palms as a raw material for wood -cement composite industry in Saudi Arabia. *World Applied Science Journal*, 15(12): 1651-1658.
19. Sa'adon, S., and M.Rus, A.Z. 2015. Utilization of oil palm trunk as foam composite for sound absorption, *Journal of Teknologi*, 77(32): 75-82.
20. Secchi, S., Asdrubali, F., Cellai, G., Nannipieri, E., Rotili, A., and Vannucchi, I. 2015. Experimental and environmental analysis of new sound absorbing and insulating elements in recycled cardboard, *Journal of building engineering*, (5): 1-12.
21. Wang, C.N., and Torng, J.H. 2001. Experimental study of the absorption characteristics of some porous fibrous materials. *Applied Acoustics*, 62: 447-459.
22. Yang, H.S., Kim, D.J., and Kim, H.J. 2003. Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials, *Bioresource Technology*, 86(2): 117-121.
23. Zhu, X., Kim, B.J., W, Q., and Wu, Q. 2014. Recent advances in the sound insulation properties of bio-based materials, *Bio resources*, 9(1): 1764-1786.



## Possibility of fabricating two-layer insulation boards from date palm

\*M.A. Saadatnia<sup>1</sup>, N. Satari<sup>2</sup>, M. Roohnia<sup>3</sup>, M. Bahmani<sup>4</sup> and M.H. Moradian<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept., of Wood and Paper Science, Behbahan Khatam Al Anbia University of Technology, Behbahan, Iran, <sup>2</sup>M.Sc. Student, Dept., of Wood and Paper Science, Behbahan Khatam Al Anbia University of Technology, Behbahan, Iran, <sup>3</sup>Professor, Dept., of Wood and Paper Science, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, <sup>4</sup>Assistant Prof., Dept., of Forest Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, <sup>5</sup>Assistant Prof., Dept., of Wood and Paper Science, Behbahan Khatam Al Anbia University of Technology, Behbahan, Iran

Received: 07/05/2017; Accepted: 10/07/2017

### Abstract

**Background and objectives:** The capability of plants soft and fibrous tissues absorbing noise has been studied to be replaced with synthetic insulation boards. The use of lignocellulose materials has been widely considered because they have some important factors like porous structure, relative abundance, renewability as well as friendly environmental impacts (comparing with unlike fiber glasses). The lack of raw materials needed for industry also has diverted the attention to other new lignocellulose sources in Iran. So, in the present paper, the use of date palm (*Phoenix dactylifera*) as an abundant leftover source in south of Iran was studied in order to make boards which control and reduce acoustic pollutions.

**Materials and methods:** Two date palm trees with an approximate diameter of 40 cm were freshly cut. Then, a disk with the average diameter of 12 cm was taken from every tree. The cubic experimental samples with dimensions of 12×12×2 were prepared from every disk and kept in plastic covers at freezing temperature. Before testing, cross-section of samples were covered with epoxy adhesive and dried smoothly using a program. Finally, the circular disks were prepared with two different diameters of 3 and 10 cm. To reach equilibrium moisture content, all samples were kept in a temperature-controlled room at 21°C and 65% relative humidity. Then disks were faced with two kinds of paperboards made with original date palm fibers (cortex and leaves fibers). Paperboards were provided in different basic weight of 130, 300 and 500 gr/cm<sup>2</sup>. Noise reduction coefficients (NRC) measurements were conducted on experimental samples in frequency range of 125 to 8000 (Hz) using an impedance tube at the acoustic lab.

**Results:** The results showed that the insulation boards made from date palm had a high potential to absorb sound waves. In addition, their ability to dissipate acoustical waves was more pronounced when covered with a single layer of paperboard. A critical point was observed for NRC values at frequency of 2000 Hz. To compensate the given loss, applying a light paperboard (130 gr/cm<sup>2</sup>) of cortex fiber as well a heavy cover of leaves fiber (500 gr/cm<sup>2</sup>) could significantly increase NRC values.

**Conclusion:** The high damping capacity of date palm samples was due to its particular anatomical structure. The vascular bundles embedded in parenchyma tissue, provided a soft and porous surface to trap sound waves. An additional improvement in NRC values was obtained when disk samples were covered with a layer of paperboard from low to the high-frequency range.

**Keywords:** Date palm, NRC, Cortex fibers, Leaf fibers

---

\*Corresponding author: msaadatnia92@gmail.com

