

کیفیت‌سنجی چوب نخل خرما در فاصله بین پوست تا مغز گرده‌بینه به روش آکوستیکی

چکیده

این تحقیق به دنبال آن بود تا با تهیه نمونه‌های مکعبی در فاصله بین مغز تا پوست گرده‌بینه نخل خرما (*Phoenix dactylifera*) تغییرات شعاعی خواص آکوستیکی و مکانیکی را مورد مطالعه قرار دهد. لذا فاصله بین مغز تا پوست با فواصل ۳ سانتی‌متری به پنج حلقه فرضی تبدیل و از هر حلقه نمونه‌هایی با ابعاد $3.5 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ (طولی \times مماسی \times شعاعی) تهیه شد. برای ارزیابی دینامیکی از ارتعاش خمشی تیر دو سر آزاد و برای بررسی ویژگی‌های مکانیکی از خمش استاتیک تحت بار متمرکز در وسط دهانه استفاده شد. از تغییرات دانسیته و ساختار آناتومی نمونه‌های آزمونی در فاصله مذکور برای تفسیر نتایج استفاده شد. نتایج نشان داد که برخلاف آنچه در سوزنی‌برگان و پهن‌برگان رخ می‌دهد، خواص آکوستیکی چوب نخل خرما (تانژانت دلتا، کارایی تبدیل آکوستیک و امپدانس آکوستیک) در جهت شعاعی تقریباً ثابت بود. ضریب آکوستیک در نمونه‌های تهیه‌شده در اطراف مغز بیشتر از مقادیر آن برای نمونه‌های مجاور پوست اندازه‌گیری شد که البته این اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. با حرکت از سمت مغز به سمت پوست، تغییر معنی‌داری در میزان دانسیته به‌عنوان یک ویژگی فیزیکی مشاهده نشد. بالاترین مدول استاتیک و گسیختگی مربوط به نمونه‌های گرفته‌شده از حلقه فرضی اول و فاصله ۳ سانتی‌متری مرکز گرده‌بینه بود. با رسیدن به حلقه فرضی پنجم و فاصله ۱۵ سانتی‌متری از مغز، میزان مدول الاستیسیته و گسیختگی به‌طور فراوانی کاهش یافت. در انتها می‌توان گفت که کیفیت‌سنجی چوب نخل خرما بر اساس تغییر در پارامترهای آکوستیکی روش مطمئنی نیست و منجر به تصمیم‌گیری نادرست می‌شود. برای استفاده از چوب نخل خرما در جاهایی که پارامتر سفتی اهمیت دارد، نمونه‌های نزدیک به مغز گرده‌بینه مناسب‌تر هستند.

واژگان کلیدی: کیفیت‌سنجی، آکوستیکی، نخل خرما، پوست، مغز.

محمد علی سعادت نیا^{۱*}

نوشین ستاری^۲

مهران روح نیا^۳

محسن بهمنی^۴

^۱ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

^۳ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران

^۴ استادیار، گروه جنگلداری، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

مسئول مکاتبات:

msaadatnia92@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵

چوب، محصول فعالیت حلقه کامپیوم طی دوره رویش سالیانه یک درخت است. در بیشتر گونه‌های پهن‌برگ و

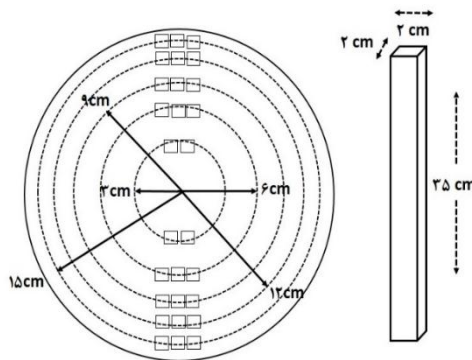
مقدمه
ماهیت هرسونایکسانی و ناهمگنی شدید در ساختار

حاصل شده است. نخل خرما فاقد حلقه کامبیوم و دواپر رویشی بوده و از دسته‌های آوندی در یک بافت پارانشیم تشکیل شده است [۷]. مطالعات نشان داده که تغییرات دانسیته در نخل روغنی به‌عنوان یک عامل بسیار مهم، ویژگی‌های مکانیکی را تحت تأثیر قرار داده لذا بخشی از نخل که دانسیته بیشتر داشته از نظر کیفیت مطلوب‌تر است. [۸]. از طرفی تغییر در میزان دانسیته مرتبط با عواملی همچون ضخامت دیواره سلولی، تعداد، پراکنش و قطر حفرات دسته‌های آوندی و همچنین ضخامت دیواره سلول‌های پارانشیمی است [۹، ۱۰]. Fathi و Frühwald (۲۰۱۴) در تحقیقی بر روی نخل روغنی، افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های نزدیک به پوست را مشاهده کردند. آن‌ها گزارش کردند که این مسئله مربوط به افزایش معنی‌دار تعداد دسته‌های آوندی در ناحیه اطراف پوست بوده است. در این تحقیق همچنین اشاره شده است که از دو پارامتر دانسیته و تعداد دسته‌های آوندی در واحد سطح می‌توان برای درجه‌بندی کیفی چوب نخل روغنی استفاده کرد [۱۱]. Dungani و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیق خود به نتایج کار Erwinsyah (۲۰۰۸) اشاره کردند. با مطالعه بر روی نخل روغنی مشخص شده که تغییرات دانسیته (۱۱۰ تا 440 kg/m^3) و تعداد دسته‌های آوندی مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر ویژگی‌های مکانیکی بوده همچنین افزایش دانسیته و تعداد دسته‌های آوندی از سمت مغز به سمت پوست مشاهده شده است [۱۲]؛ اما خواص فیزیکی و مکانیکی نخل خرما با سایر نخل‌ها متفاوت است. Tufashi (۲۰۱۳) در تحقیق خود دریافت که دانسیته نخل خرما در جهت طولی درخت و همچنین در راستای شعاعی تنه، تغییرات معنی‌دار نداشته اما بعضی از ویژگی‌های مکانیکی از سمت مغز به‌طرف نواحی مرکزی گرده‌بینه، افزایش یافته که البته به نتایج کار وی در تحقیق Fathi و همکاران (۲۰۱۴) اشاره شده است [۱۳]. از طرفی بین ویژگی‌های مکانیکی و خواص آکوستیکی یک چوب رابطه تنگاتنگی وجود داشته به‌طوری‌که امروزه با انجام آزمون‌های غیر مخرب و مطالعه توانایی ایجاد ارتعاش، پارامترهای سفتی یک چوب محاسبه می‌شود که البته همان‌طور که اشاره شد نتایج شدیداً به ساختار آناتومی ماده مرتعش شونده بستگی دارد [۱۴]. حال با توجه به ساختار آناتومی ویژه

سوزنی‌برگ، هرساله با آغاز فصل رویش، حلقه کامبیوم یک لایه بافت چوبی به سمت بیرون و یک لایه بافت آبکش به سمت داخل تولید کرده که این وضعیت با گذشت زمان منجر با افزایش قطر درخت می‌شود. در سال‌های اولیه درخت، فعالیت حلقه کامبیوم منجر به تولید چوب جوان (به‌عنوان یک بخش ضعیف) شده و با گذشت زمان و تکامل حلقه زاینده، چوب بالغ (به‌عنوان یک بخش باکیفیت) تولید می‌شود. با توجه به نوع، شکل و ابعاد سلول‌های چوبی و آرایش هرکدام از آن‌ها در یک حلقه، افزایش سن درخت منجر به افزایش ناهمگنی در ساختار چوب می‌شود. لذا کیفیت چوب از نظر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و حتی آکوستیکی تغییر می‌کند. بررسی کیفیت چوب با استفاده از آزمون‌های غیر مخرب از سمت مغز و جوان چوب به سمت بخش‌های حاوی چوب بالغ و پوست مورد توجه محققین قرار گرفته است [۱]. اگرچه در بعضی موارد به دلیل محدودیت‌های مربوط به امپدانس آکوستیکی شدید چوب بهاره و پاییزه در حلقه‌های سالیانه، نتیجه مطلوب حاصل نشده [۲] اما در بسیاری موارد تغییرات معنی‌دار پارامترهای مختلف موج در فاصله بین مغز تا پوست به‌وضوح دیده‌شده تا جایی که مرز بین جوان چوب و چوب بالغ تشخیص داده شده است [۳، ۴]. این مسئله مربوط به تغییرات در ساختار آناتومی، فیزیکی و شیمیایی چوب در فاصله بین مغز تا پوست است چراکه در محدوده مذکور، طول الیاف، ضخامت دیواره، زاویه میکروفیبریل، پهنای حلقه رویش، دانسیته و حتی درصد ترکیبات شیمیایی تغییر کرده و به‌عنوان عوامل اصلی، انتشار موج را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۵]. Roohnia و همکاران (۲۰۱۱) با مطالعه رفتار آکوستیکی چوب سرو در فاصله بین پوست تا مغز و با بهره‌گیری از تکنیک ارتعاش، بهبود خواص آکوستیکی را مشاهده کردند. آن‌ها گزارش دادند که قسمت‌های نزدیک به پوست با حلقه‌های رویشی باریک‌تر از نظر مکانیکی و آکوستیکی مطلوب بوده و برای ساخت صفحات صدا مناسب می‌باشند [۶].

اما برخلاف آنچه در چوب درختان پهن برگ و سوزنی‌برگ مشاهده می‌شود، ساختار چوب نخل خرما به‌عنوان یک گیاه تک‌لپه‌ای کاملاً متفاوت بوده زیرا تنه نخل از تجمع دم‌برگ‌ها با ساختار آناتومی منحصربه‌فرد

میانگین قطر ۳۸ سانتی‌متر در جنوب غرب استان خوزستان انتخاب و مطابق با الگوی نشان داده‌شده در شکل ۱ برش داده شد. نمونه‌های مکعبی با ابعاد $2 \times 2 \times 35$ cm (طولی «شعاعی» مماسی) از ناحیه سالم و فاقد پوسیدگی از دیسک برش خورده، تهیه و برای جلوگیری از کاهش رطوبت، نمونه‌ها بلافاصله در نایلون قرار داده شدند. از آنجاکه نخل خرما فاقد حلقه کامبیوم و دواپر سالیانه است لذا فاصله مغز تا پوست درخت در فواصل ۳ سانتی‌متری علامت‌گذاری و با در نظر گرفتن قطر درخت، در هر ناحیه، نمونه آزمونی مکعبی تهیه شد. از یک برنامه چوب خشک‌کنی با شیب ملایم برای رساندن رطوبت نمونه‌ها به رطوبت تعادل استفاده شد. همچنین قبل از انجام آزمایش‌های نمونه‌ها به مدت دو هفته در رطوبت نسبی 65 ± 3 درصد و دمای 20 ± 1 درجه متعادل‌سازی شدند. در ضمن نمونه‌هایی که پس از خشک کردن دچار اعوجاج و ترک عمیق بودند جدا شده و مورد آزمایش قرار نگرفتند. در کل ۲۸ نمونه سالم و بدون عیب برای ارزیابی و انجام آزمایش‌ها آماده شد.



شکل ۱- الگوی ترسیم حلقه‌های فرضی و برش نمونه‌های آزمونی

همچنین برای بررسی کیفیت چوب نخل از نظر ویژگی‌های مکانیکی، مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی حاصل از آزمون خمش استاتیک (فرمول ۶ و ۷) برای هر نمونه محاسبه گردید [۱۷، ۱۶، ۱۵].

$$E_d = 0.9465 \left(\frac{mfr^2}{b} \right) \left(\frac{L^3}{t^3} \right) T_1 \quad (1)$$

$$Tg \delta = \frac{1}{mn} \ln \frac{x_i}{x_{i+1}} \quad (2)$$

نخل خرما و رصد تغییرات آن در فاصله مغز تا پوست گرده‌بینه، خواص آکوستیکی و مکانیکی آن دارای چه روندی است؟ این تحقیق در نظر دارد رفتار انتشار موج طی آزمون ارتعاش خمشی تیر دو سر آزاد در فاصله بین مغز گرده‌بینه تا پوست را مورد مطالعه قرار داده سپس از روی پارامترهای موج، ویژگی‌های مکانیکی را محاسبه و با مقادیر حاصل از آزمون استاتیک مقایسه کند. بررسی خصوصیات فیزیکی و آناتومی چوب نخل در فاصله مذکور روند تغییرات را توجیه خواهد کرد. در انتها با سنجش کیفیت چوب نخل می‌توان برای کاربرد قسمت‌های مختلف تنه، برنامه‌ریزی بهتری کرد مسئله‌ای که در رابطه با آن، هیچ تحقیق یافت نشد.

مواد و روش‌ها

مواد

برای تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی، یک درخت نخل خرما (*Phoenix dactylifera*) با نام محلی خاصی و

روش‌ها

آزمون ارتعاش خمشی تیر دو سر آزاد (شکل ۲)، بر روی تمام نمونه‌ها اعمال و خواص آکوستیکی شامل تانژانت دلتا، ضریب آکوستیکی، کارایی تبدیل آکوستیک، امپدانس آکوستیک و مدول دینامیک اندازه‌گیری و روند تغییرات هر یک از پارامترهای مذکور در حدفاصل مغز تا پوست گرده‌بینه مورد مطالعه قرار گرفت. روابط ریاضی و نحوه محاسبه پارامترها در فرمول ۱ تا ۵ آورده شده است.

E: مدول الاستیسیته (Pa)، m: جرم (Kg)، f_r : فرکانس تشدید (Hz)، b: پهناي نمونه (m)، L: طول نمونه (m)، t: ضخامت نمونه (m)، $Tg\delta$: تانژانت دلتا (ظرفیت میرایی)، Xi: دامنه آیم موج میرا، Z: امیدانس مکانیکی (Nsm^{-3}), ρ : دانسیته (kg/m^3), K: ضریب تابش آکوستیک: ($m^4.kg^{-1}.s^{-1}$), ACE: کارایی تبدیل آکوستیک ($m^4.kg^{-1}.s^{-1}$), T_1 : ضریب تصحیح لاغری، P_{II} : بار حداکثر (N)، L: طول نمونه (m)، b: پهناي نمونه (m)، h: ارتفاع تیر (m)، δ_{pl} : خیز تیر در حد تناسب (m)، P_{pl} : بار حد تناسب (N).

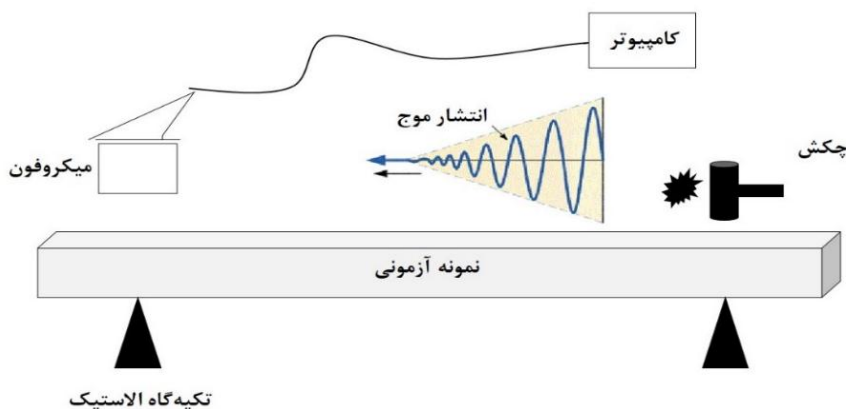
$$Z = \sqrt{E \cdot \rho} \quad (3)$$

$$K = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}} \quad (4)$$

$$ACE = \frac{K}{Tg\delta} \quad (5)$$

$$MOR = \frac{3.L.P_{II}}{2bh^2} \quad (6)$$

$$MOE = \frac{L^3.P_{pl}}{4\delta_{pl}.bh^3} \quad (7)$$



شکل ۲- شکل شماتیک آزمون ارتعاش خمشی

نتایج و بحث

تغییرات شعاعی خواص آکوستیکی

خواص آکوستیکی که شامل پارامترهای مختلف موج طی پدیده ارتعاش در ماده مورد آزمایش است در فاصله بین مغز تا پوست گرده‌بینه بر روی نمونه‌های آزمونی اندازه‌گیری و روند تغییرات آن مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۱).

همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده، اگرچه تغییرات تانژانت دلتا برای نمونه‌های نزدیک مغز حداقل بوده و با افزایش فاصله و نزدیک شدن به پوست گرده‌بینه این مقدار افزایش یافته اما این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نیست. همچنین ضریب آکوستیک و امیدانس آکوستیک از حلقه فرضی اول در مجاورت مغز گرده‌بینه تا حلقه پنجم و نزدیک شدن به ناحیه پوست روند ثابتی را طی کرده و تغییرات آن جزئی بوده است.

برای تفسیر نتایج حاصله، بر روی هر یک از نمونه‌های مکعبی، خصوصیات هم‌چون ساختار دسته‌های آوندی از قبیل تعداد، مساحت و قطر دسته‌های آوندی با کمک نرم‌افزار Cell-F image محاسبه شد. تغییر در میزان دانسیته چوب، منشأ بسیاری از تفاوت‌ها در رفتار فیزیکی و مکانیکی است. برای اندازه‌گیری دانسیته طبق استاندارد DIN EN 52182، نمونه‌های مکعبی با ابعاد $20 \times 20 \times 20$ میلی‌متر مکعب تهیه سپس ابعاد آن‌ها با کولیس اندازه‌گیری و پس از تعیین وزن با استفاده از ترازو دانسیته ظاهری با فرمول ذیل اندازه‌گیری شد.

$$D = \frac{M}{V}$$

D: دانسیته ظاهری (gr/cm^3), M: جرم (gr), V: حجم (cm^3)

جدول ۱- تغییرات خواص آکوستیکی نخل خرما در فاصله بین مغز تا پوست گرده‌بینه

تغییرات	فاصله از مرکز گرده‌بینه (cm)					پارامتر
	۱۵	۱۲	۹	۶	۳	
ns	۰/۱۳	۰/۰۹۳	۰/۰۸۹	۰/۰۵۴	۰/۰۶۶	$Tg \delta$
*	۳/۷۳	۳/۵۷	۴	۴/۵۵	۵/۲۳	K
ns	۳۸/۴۷	۴۱/۶۴	۴۷/۱۰	۹۴/۹۹	۸۹/۰۸	ACE
ns	۶۲/۱۶	۷۰/۹	۸۱۷/۴	۸۲۱/۷۵	۸۶۱/۵	Z

ns: تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نیست،*: در سطح ۵ درصد معنی‌دار، $Tg \delta$: تانژانت دلتا (ظرفیت میرایی)، Z: امپدانس مکانیکی، p: دانسیته، K: ضریب تابش آکوستیک، ACE: کارایی تبدیل آکوستیک.

سوزنی‌برگان، در سال‌های اولیه درخت، حلقه کامبیوم جوان بوده لذا فعالیت آن منجر به تولید چوب جوان شده که الیاف با طول و ضخامت دیواره کم‌تر و زاویه میکروفیبریل بیشتر تولید می‌کند اما با گذشت زمان و افزایش سن درخت حلقه کامبیوم تکامل یافته و سلول‌های چوبی طویل‌تر با ضخامت دیواره بیشتر و زاویه میکروفیبریل کم‌تر تولید می‌کند که در واقع همان چوب بالغ است. چنین تغییراتی به معنی اثرات مثبت ساختار آناتومی بر ویژگی‌های آکوستیکی، مکانیکی و فیزیکی است؛ اما ساختار آناتومی نخل متشکل از دسته‌های آوندی بوده که در یک بافت پارانشیمی قرار گرفته لذا نقش اصلی بر رفتار چوب نخل بر عهده این دو بخش است [۹، ۱۰، ۱۱]. در رابطه با تغییرات شعاعی خواص آکوستیکی نخل‌ها تحقیقی یافت نشد.

تغییرات شعاعی خواص مکانیکی و فیزیکی

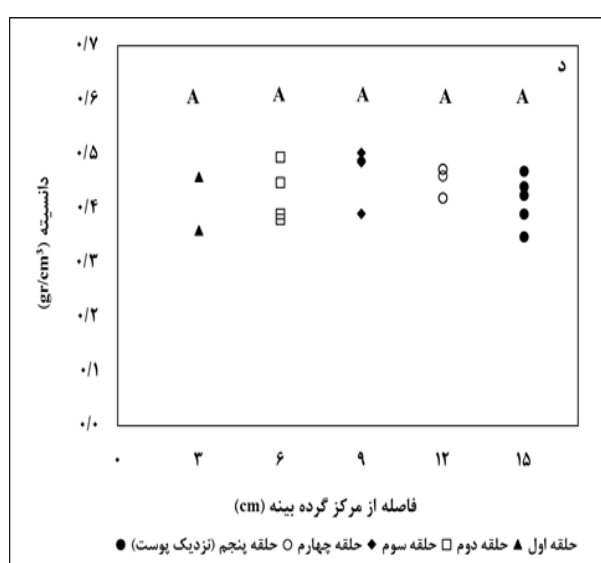
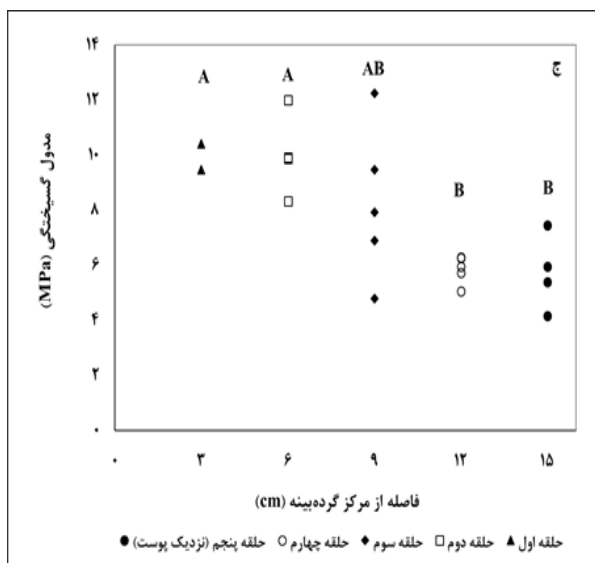
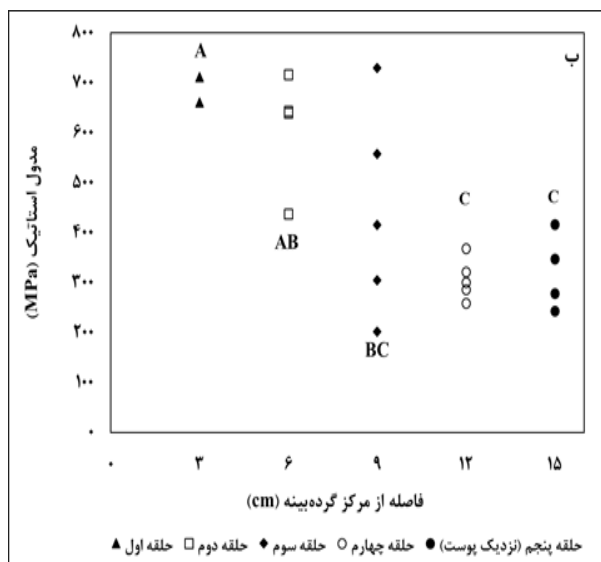
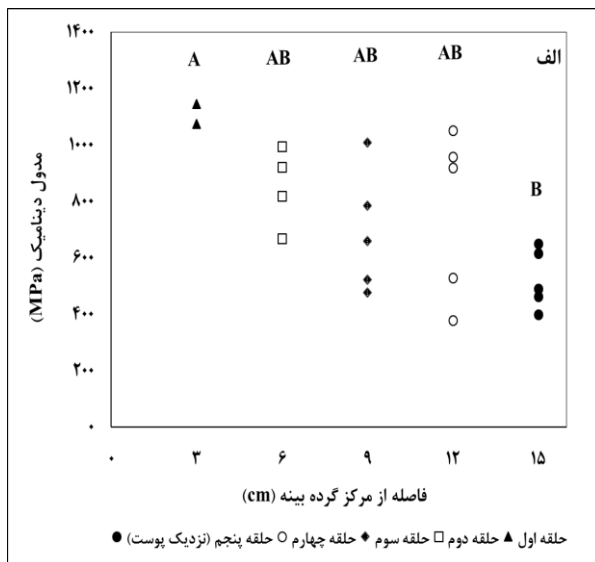
ویژگی‌های مکانیکی (مدول دینامیک، مدول استاتیک و مدول گسیختگی) و میانگین دانسیته (به‌عنوان یک ویژگی فیزیکی) برای پنج حلقه فرضی بین مغز تا پوست دیسک اندازه‌گیری و تغییرات آن در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که خصوصیات مکانیکی نمونه‌ها با توجه با موقعیت آن‌ها در گرده‌بینه متفاوت بوده و مقادیر بیشتر برای نواحی مرکز و داخلی و مقادیر کم‌تر برای نمونه‌های اطراف پوست مشاهده شد. همان‌طور که در شکل ۳ -الف نشان داده شده است، برای میانگین مدول دینامیک در حلقه اول و نواحی اطراف مغز گرده‌بینه مقدار

بهبود نسبی در خواص آکوستیکی را با مطالعه تغییر در میزان ضریب آکوستیک می‌توان مشاهده کرد. جایی که در آن میانگین اندازه‌گیری شده در حلقه اول و فاصله ۳ سانتی‌متری از مغز گرده‌بینه، ۵/۲۳ و در حلقه پنجم و فاصله ۱۵ سانتی‌متری به ۳/۷۳ ($m^4kg^{-1}s^{-1}$) رسیده است. البته این تغییرات در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. از آنچه در رابطه با تغییرات شعاعی خواص آکوستیکی چوب نخل خرما مشاهده شد، می‌توان دریافت که در کل قدرت ارتعاش و توانایی انتقال موج در فاصله مغز تا پوست گرده‌بینه نخل خرما تقریباً ثابت است. Ruggeberg و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که یک ناهمگنی شدیدی در بافت نخل وجود دارد که علت آن در ساختار نرم سلول پارانشیم و بافت سخت دسته‌های آوندی و فیبرها است. این مسئله باعث شده تا کاهش محسوسی در صلبیت بافت از سمت کلاهدک فیبری^۱ به‌طرف بافت پارانشیم ضمیمه در اطراف ایجاد شود. البته زاویه میکروفیبریل و درصد لیگنین در دیواره سلولی کلاهدک فیبر، باعث ایجاد اختلاف در صلبیت دیواره می‌شود [۱۸]. مطالعات نشان داده که پارامترهای آکوستیکی و مکانیکی در سوزنی‌برگان و پهن‌برگان دارای روندی کاملاً متفاوت بوده و برخلاف آنچه در رابطه با نخل خرما مشاهده شد، خواص آکوستیکی قوی‌تر برای نمونه‌های نزدیک پوست و ضعیف‌ترین بخش شامل قسمت‌های مرکزی و نزدیک به مغز گرده‌بینه است [۴، ۵]؛ اما اینکه چرا در نخل خرما رفتاری متفاوت مشاهده شد مربوط به ساختار ویژه آناتومی آن است. در پهن‌برگان و

¹ Fiber cap

خمش استاتیک برای نمونه‌های درونی ۹/۹۵ (MPa) و برای نمونه‌های بیرونی ۵/۷۴ (MPa) اندازه‌گیری شد (شکل ۳-ج)؛ اما نکته جالب در رابطه با دانسیته و تغییرات آن در شعاع دیسک نخل خرما است. همان‌طور که در شکل ۳-د به‌وضوح نشان داده شده، میانگین دانسیته نه‌تنها برای نمونه‌های اطراف مغز بلکه برای نمونه‌های بخش حاشیه و نزدیک پوست دارای تغییرات کم بوده و می‌توان گفت دانسیته در فاصله مغز تا پوست نخل خرما مورد مطالعه تقریب ثابت بوده است. نتایج این بخش با آنچه Tufashi (۲۰۱۳) به دست آورد، همخوانی دارد [۱۳].

۱۱۱۰ (MPa) ثبت شد. با حرکت به‌طرف حلقه‌های فرضی دوم، سوم و چهارم (فاصله بین ۶ تا ۱۲ سانتی‌متری) تغییرات جزئی بود؛ اما برای نواحی کنار پوست و در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از مغز گرده‌بینه، مدول دینامیک به حداقل مقدار خود ۵۲۴ (MPa) رسیده و در گروهی مجزا قرار گرفته است. مدول استاتیک نیز در ناحیه مرکز ماکزیمم ۶۸۶ (MPa) و با دور شدن از مرکز به‌طور پیوسته کاهش یافته به‌طوری‌که به کمترین مقدار (۳۲۲ MPa) برای نمونه‌های نزدیک به پوست رسید (شکل ۳-ب). وضعیت مشابه برای تغییرات مدول گسیختگی مشاهده گردید جایی که در آن مدول گسیختگی حاصل از آزمون



شکل ۳- تغییرات شعاعی پارامترهای مکانیکی و فیزیکی نخل خرما در فاصله بین مغز تا پوست

است اینکه مدول الاستیسیته دسته‌های آوندی در مرکز گرده‌بینه بیش از ۱۸۰۰۰ MPa و به‌مراتب بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های در مجاورت پوست بود (تقریباً ۱۴۰۰۰ MPa) [۱۹]. این به معنی صلبیت بیشتر دیواره سلولی دسته‌های آوندی در مرکز گرده‌بینه است. صلبیت بیشتر دسته‌های آوندی و نقش سلول‌های پارانشیمی در بهبود خواص مکانیکی مشهود است. Fathi و همکاران (۲۰۱۳) افزایش ضخامت دیواره در سلول‌های فیبری دسته‌های آوندی و پارانشیمی را به‌عنوان عامل مؤثر بر مقاومت‌های مکانیکی گزارش کرده‌اند که البته در این تحقیق اندازه‌گیری نشد [۱۱].

با توجه به وضعیت تغییرات دانسیته، می‌توان دریافت که این ویژگی فیزیکی، نقش اصلی را در رفتار آکوستیکی داشته اما ریشه تغییرات مکانیکی را باید در جایی دیگر جستجو کرد. در مطالعه قبلی انجام شده، مشخص شد که تعداد و مساحت دسته‌های آوندی در ناحیه پوست بیشتر بوده به‌طوری‌که ۳۳ درصد بافت نخل خرما در نمونه‌های نزدیک پوست از دسته‌های آوندی تشکیل شده و این مقدار در مرکز گرده‌بینه به ۲۴ درصد رسیده است. این مسئله در تصاویر تهیه‌شده از مقطع نمونه‌ها (شکل ۴) قابل‌مشاهده است؛ بنابراین تعداد دسته‌های آوندی معیار مناسبی برای تفسیر نتایج نیست؛ اما آنچه بسیار جالب

جدول ۲- تغییرات شعاعی ویژگی‌های آناتومی نخل خرما

مغز گرده‌بینه	بین مغز و پوست	نزدیک پوست	
۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۴۱	دانسیته
۱۵۵	۱۶۵	۲۱۳	تعداد دسته‌های آوندی (در $\text{mm}^2 400$)
۹۴	۱۱۶	۱۳۱	مساحت دسته‌های آوندی (در $\text{mm}^2 400$)
۸۷۸	۹۴۶	۸۸۵	میانگین قطر یکی از دسته‌های آوندی (μm)
۰/۵۱	۰/۶	۰/۶۱	میانگین مساحت یکی از دسته‌های آوندی mm^2
۲۴	۲۹	۳۳	درصد دسته‌های آوندی %
۱۸۴۶۶	۱۷۶۹۹	۱۴۲۷۳	مدول الاستیسیته یکی از دسته‌های آوندی (MPa)

ناحیه مغز → ----- ناحیه پوست



شکل ۴- تصاویر تهیه‌شده از مقطع نمونه‌های مکعبی نخل در فاصله بین مغز تا پوست گرده‌بینه

نیست. با انجام آزمون استاتیکی مشخص شد که نواحی اطراف مغز مقاومت‌های بالاتری داشته و لذا کاربرد نمونه‌های مذکور در جاهایی که نیاز به مقاومت‌های مکانیکی بیشتر هستند توصیه می‌شود اگرچه یکی از چالش‌های بزرگ در کاربرد این ماده لیگنوسولولزی، مقاومت‌های نسبتاً پایین آن در مقایسه با سایر چوب‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ است که باید با اصلاح این ماده چوبی بهبود یابد. روند تغییرات شعاعی از سمت مغز به

نتیجه‌گیری

خواص آکوستیکی و ویژگی‌های مکانیکی نخل خرما در جهت شعاعی و در فاصله بین مغز تا پوست به روش دینامیکی و استاتیکی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که پارامترهای موج آکوستیکی در فاصله مغز تا پوست گرده‌بینه به‌صورت جزئی تغییر کرده، لذا ارزیابی کیفی چوب نخل با تکیه بر خواص ارتعاشی آن روش مناسبی برای تصمیم‌گیری در کاربردهای مختلف این ماده چوبی

سمت پوست نیز برخلاف آنچه در سوزنی‌برگان و پهن‌برگان دیده شده، یک روند کاهش‌ی بود که علت آن در ارتباط با افزایش مدول الاستیسیته دسته‌های آوندی و احتمالاً افزایش ضخامت دیواره سلول‌های پارانشیمی است. مطالعات آناتومی بیشتر، دقت نتیجه‌گیری در رابطه با ریشه چنین رفتارهایی را در نخل خرما افزایش می‌دهد. بررسی پراکنش ابعاد دسته‌های آوندی، ارزیابی اثر دسته‌های فیبری بدون آوند، اندازه‌گیری ضخامت دیواره چندلایه فیبر در هر یک از دسته‌های آوندی و همچنین تغییرات زاویه میکروفیبریل لایه S2 هر فیبر و در انتها ضخامت دیواره سلول‌های پارانشیمی از سمت مغز به

سمت پوست نیز برخلاف آنچه در سوزنی‌برگان و پهن‌برگان دیده شده، یک روند کاهش‌ی بود که علت آن در ارتباط با افزایش مدول الاستیسیته دسته‌های آوندی و احتمالاً افزایش ضخامت دیواره سلول‌های پارانشیمی است. مطالعات آناتومی بیشتر، دقت نتیجه‌گیری در رابطه با ریشه چنین رفتارهایی را در نخل خرما افزایش می‌دهد. بررسی پراکنش ابعاد دسته‌های آوندی، ارزیابی اثر دسته‌های فیبری بدون آوند، اندازه‌گیری ضخامت دیواره چندلایه فیبر در هر یک از دسته‌های آوندی و همچنین تغییرات زاویه میکروفیبریل لایه S2 هر فیبر و در انتها ضخامت دیواره سلول‌های پارانشیمی از سمت مغز به

سیاسگزاری

از دپارتمان چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی تهران و همچنین آزمایشگاه آکوستیک دانشگاه آزاد اسلامی کرج جهت همکاری در تست نمونه‌های آزمونی کمال تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- [1] Saadatnia, M.A., Pourtahmasi, K., Moradian, M.H. and Pourasrtip, L., 2015. Compression wood quality assessment with different ultrasound wave parameters in radial direction of spruce disks, International symposium NDT-CE, 15-17 September, Berlin Germany, 1047-1056.
- [2] Nyström, J. and Kline, D.E., 2000. Automatic classification of compression wood in green southern yellow pine. *Wood and Fiber Science*, 32:301-310.
- [3] Saadatnia, M.A., Enayati, A.K., Pourtahmasi, K. and Moradian, M.H., 2016. Investigation on transversal variation of poplar tension wood quality using ultrasound wave parameters. *Wood Material Science & Engineering*, 11(4):201-208.
- [4] Bucur, V., Herbe, C. and Nosei, C., 1994. Annual ring characteristics of *Pinus taeda* measured by ultrasonic and x-ray techniques. *IAWA*, 15(2):121-132.
- [5] Hasegawa, M., Takata, M., Matsumura, J. and Oda, K., 2011. Effect of wood properties on within-tree variation in ultrasonic wave velocity in softwood. *Ultrasonics*, 51:296-302.
- [6] Roohnia, M., Hossein, M.A., Alavi-Tabar, S.E., Tajdini, A., Jahan-Latibari, A. and Manouchehri, N., 2011. Acoustic Properties in ARIZONA cypress logs: a tool to select wood for sounding board. *Bio Resources*, 6(1): 386-399.
- [7] Hegazy, S., Ahmed, K. and Hiziroglu, S., 2015. Oriented strand board production from water-treated date palm fronds. *Bio resources*, 10(1): 448-456.
- [8] Haslett, A.N., 1990. Suitability of oil palm trunk for timber uses. *Journal of Tropical Forest Science*, 2(3): 43-51.
- [9] Gibson, L.J., 2012. The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *Journal of the Royal Society Interface*, 9(76):2749-2766.
- [10] Darwis, A., Nurrochmat, D.R., Massijaya, M.Y., Nugroho, N., Alamsyah, E.M., Bahtiar, E.T. and Safe'i, R., 2013. Vascular bundle distribution effect on density and mechanical properties of oil palm trunk. *Asian Journal of Plant Science*, 12(5): 208-213.
- [11] Fathi, L. and Frühwald, A., 2014. The role of vascular bundles on the mechanical properties of coconut palm wood. *Wood Material Science and Engineering*, 9(4):214-223.
- [12] Dungani, R., Jawaid, M., Abdul Khalil, H.P.S., Jasni, Aprilia, S., Hakim, K.R., Hartati, S. and Islam, M.N., 2013. A review on quality enhancement of oil palm trunk waste by resin impregnation: future material, *Bio resources*, 8(2): 3136-3156.

- [13] Fathi, L., Frühwald, K. and Frühwald, A., 2014. The potential use of timber from palm trees for building purposes, proceeding of the world conference on timber engineering, Quebec, Canada, 10-14 August, 1-7 p.
- [14] Yafang, Y., Hirofumi, N., Xiaoli, L. and Takashi, N., 2010. Mechanical properties assessment of *Cunninghamia lanceolata* plantation wood with three acoustic-based nondestructive methods. *Wood Science*, 56:33-40.
- [15] Standard test methods for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio of Refractory Materials by Impulse Excitation of Vibration, Annual Book of ASTM Standard, C 1548-02, 2003.
- [16] Roohnia, M., 2016, Wood: Acoustic properties, book chapter, Elsevier Inc, Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, doi:10.1016/B978-0-12-803581-8.01996-2 1.
- [17] Standard test methods for determining wood behavior to static bending tests for small clear specimens of timber, Annual Book of ASTM Standard, D 143-09, 2004.
- [18] Ruggeberg, M.R., Speck, T., Paris, O., Lapierre, C., Pollet, B., Koch, g. and Burgert, I., 2008. Stiffness gradients in vascular bundles of the palm *Washingtonia robusta*, B- Biological. Science, 275, 2221-2229.
- [19] Fathi, L., Bahmani, M., Saadatnia, M.L. and Poursartip, L., 2017. An investigation on anatomical and mechanical properties of vascular bundles in Date palm (Case Study: Ahvaz countryside). *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 8 (1):109-118. (In Persian).
- [20] Butterfield, B.G. and Meylan, B.A., 1980. Three dimensional structure of wood: an ultra-structural approach, Chapman and Hall, Ed.2, 103pp.

Acoustically quality evaluation of date palm samples from the pith to the bark

Abstract

This paper investigated the radial variations of acoustical and mechanical properties of date palm from the pith to the bark. Cubic samples with dimensions of $2 \times 2 \times 35 \text{ cm}^3$ (Radial \times tangential \times longitudinal) were taken in distance of 3, 6, 9, 12 and 15 cm toward the bark. To evaluate dynamical properties of date palm, flexural vibration method was applied on cubic experimental samples. Further the specimen then were utilized for measuring MOE and MOR in static bending test. More details were also attained by anatomical analysis. The results showed that the acoustical parameters of the propagated wave (the internal friction, the acoustic conversion efficiency as well as the acoustical impedance) were constant while increasing the distance between pith and bark. The highest values of acoustic coefficients found for samples near the pith and partially increased while moving to the bark. The density variations were less important in radial direction of date palm disk. The MOE and MOR values varied significantly in the radial direction and were maximum for samples in distance of 3 cm. As they reached to the distance of 15 cm from the center, the given parameters dramatically decreased. Finally it can be concluded that the quality assessment of date palm based on the acoustical parameters is not reliable. While construction materials need more strength, samples from the outer parts of date palm disks are suggested.

Key words: quality evaluation, acoustically, date palm, pith, bark.

M.A. Saadtnia^{1*}
N. Sattari²
M. Roohnia³
M. Bahmani⁴

¹ Assistant Prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, Behbahan Khatam Al Anbia university of technology, Behbahan, Iran

² M.Sc. Student, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, Behbahan Khatam Al Anbia university of technology, Behbahan, Iran

³ Professor, Department of wood and paper science, Karaj branch, Islamic Azad university, Karaj, Iran

⁴ Assistant prof., Department of forest science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Corresponding author:
m_saadatnia92@gmail.com

Received: 2017/06/21
Accepted: 2017/09/16