

مطالعه‌ای بر ساختار بیومتری و مکانیکی دستجات آوندی درخت نخل (مطالعه موردی: شهرستان اهواز)

چکیده

هدف از انجام این تحقیق بررسی ساختار بیومتری دستجات آوندی و نقش آن‌ها بر رفتار فیزیکی و مکانیکی تنه درخت نخل است. بدین منظور سه اصله درخت از گونه خرما (*Phoenix dactylifera*) با میانگین قطر ۴۷ سانتیمتر در حومه شهر اهواز قطع و در سه ارتفاع ۲، ۵ و ۷ متری، نمونه‌های آزمونی به ابعاد ۲ سانتیمتر (مماسی) × ۲ سانتیمتر (شعاعی) × ۲ سانتیمتر (طولی) از مغز به پوست درخت تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی‌های بیومتری (میانگین قطر، تعداد و مساحت دستجات آوندی)، فیزیکی (دانسیته خشک) و مکانیکی (مقاومت کششی و مدول الاستیسیته دستجات آوندی) مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین مساحت اشغال شده توسط دستجات آوندی در نواحی نزدیک پوست بوده (۳۳٪) و با نزدیک شدن به مغز گرده بینه این مقدار به ۲۷٪ رسید. تعداد دستجات آوندی در نواحی نزدیک به حاشیه نیز بیشتر از نواحی داخلی (اطراف مغز) بود. همچنین با افزایش ارتفاع درخت تعداد دستجات آوندی افزایش یافت؛ اما در رابطه با میانگین قطر و مساحت دستجات آوندی روند منظمی از افزایش یا کاهش در مقطع گرده بینه مشاهده نشد، اگرچه با افزایش ارتفاع درخت تغییرات پارامترهای مذکور به طور معنی‌داری دارای روند کاهشی بود. بررسی رفتار مکانیکی نشان داد که مقاومت کششی و مدول الاستیسیته دستجات آوندی در ناحیه نزدیک مغز بیشتر از مقادیر آن در اطراف پوست بود. این مقاومت‌ها با افزایش ارتفاع درخت و پررنگ‌تر شدن نقش سلول‌های جوان به طور معنی‌دار کم شد. در انتها این تحقیق نشان داد که بین مقاومت‌های مکانیکی دستجات آوندی و فاصله از مرکز گرده بینه همبستگی بالایی وجود دارد.

واژگان کلیدی: درخت خرما، دستجات آوندی، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته.

لیلا فتحی^۱
محسن بهمنی^۲
محمدعلی سعادت نیا^{۳*}
لادن پورسرتیپ^۴

^۱ استادیار، فارغ‌التحصیل گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه هامبورگ، هامبورگ، آلمان

^۲ استادیار گروه مهندسی جنگلداری، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

^۳ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا بهبهان، بهبهان، ایران

^۴ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا بهبهان، بهبهان، ایران

مسئول مکاتبات:
msaadatnia92@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۳

مقدمه

ماده حاصل از تنه درخت خرما (*Phoenix dactylifera*) به‌عنوان یک ماده سلولزی تجدیدپذیر و جایگزین، منبع مناسبی برای تأمین ماده

اولیه صنایع است [۱]. جنوب کشور ایران به دلیل وضعیت آب و هوایی، شرایط مناسبی را برای رشد این‌گونه ایجاد کرده، به‌طوری‌که طبق گزارش فائو (FAO) بیش از ۲۸ میلیون درخت نخل خرما در این منطقه وجود دارد.

تحقیق خود مشاهده کرد که تعداد دستجات آوندی و ضخامت دیواره سلولی از سمت مغز به سمت حاشیه افزایش می‌یابد [۱۲]. در مطالعه دیگری توسط Corley & Tinker (۲۰۰۳) ساختار آناتومی درخت نخل مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعات نشان داد که دستجات آوندی در طول ساقه درخت راست و مستقیم نبوده و با افزایش ارتفاع درخت، میزان انحراف آن‌ها به قسمت‌های بیرونی افزایش می‌یابد [۱۳]. نتایج تحقیقات Lim & Khoo (۱۹۸۶) و Erwinsyah (۲۰۰۸) نشان داده که دانسیته نخل روغنی و درخت نارگیل از مغز به سمت پوست درخت افزایش یافته اما از پایین به سمت نوک درخت کاهش می‌یابد [۱۴، ۱۵]. تغییرات ناچیز دانسیته در تنه نخل (۶۱۰ تا 675 kg/m^3) در تحقیق Tufashi (۲۰۱۳) مشاهده شد [۱۶]. این تغییرات بدون در نظر گرفتن سن و ارتفاع درخت برای نوعی نخل خرما (*Phoenix canariensis*) در محدوده 300 تا 540 kg/cm^3 اندازه‌گیری شد [۹]. با توجه به اهمیت و نقش دستجات آوندی در رفتار فیزیکی و مکانیکی چوب حاصل از تنه نخل، ارزیابی تغییرات میانگین قطر و مساحت دستجات آوندی در ارتفاعات مختلف درخت و همچنین اندازه‌گیری مقاومت کششی آن‌ها (مسئله‌ای که در مطالعات سایر محققین به آن پرداخته نشده است) و تعیین اینکه در هر ارتفاع چه درصدی از بافت چوب را دستجات آوندی اشغال کرده از اهمیت ویژه‌ای در کاربردهای مختلف تنه نخل خواهد داشت.

مواد و روش‌ها

مواد

برای تهیه نمونه‌های آزمونی در این تحقیق، ابتدا سه درخت از گونه خرما (*Phoenix dactylifera*) با میانگین سنی ۴۰ سال و ارتفاع ۸ متر واقع در حومه شهر اهواز در جنوب ایران (طول جغرافیایی $36^{\circ}49'$ شرقی و عرض $31^{\circ}17'$ شمالی و ۱۷۹ متر ارتفاع از سطح دریا)، انتخاب و پس از قطع از هر تنه در سه ارتفاع (۲، ۵، ۷ متر)، تعداد ۹ دیسک با ضخامت ۱۵ سانتیمتر تهیه شد. میانگین قطر دیسک‌های برش خورده ۴۷ سانتیمتر بود. به‌منظور جلوگیری از تبادل رطوبت و ایجاد معایب در دیسک‌ها،

در این بین سرشاخه‌ها و تنه درختان کهن‌سال نخل که دیگر قابلیت باروری ندارند می‌توانند گزینه مناسبی برای استفاده صنعتی به شمار آیند. در اکثر کشورهای در حال توسعه این ضایعات سوزانده شده و گاهی برای تولید انرژی استفاده می‌شوند [۲] اما در کشورهای توسعه‌یافته به کاربردهای صنعتی آن بهای بیشتری داده می‌شود. از ضایعات نخل می‌توان برای تولید تخته خرده چوب، ساخت چوب پلاستیک، چوب - سیمان، خمیر و کاغذ و تولید الوار صنعتی استفاده کرد [۳، ۴، ۵، ۶، ۷]. لذا امکان استفاده از چنین پتانسیلی نیازمند انجام مطالعات اولیه بر روی گونه موجود و ارزیابی دقیق خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و بیومتری چوب آن است. ساقه درخت نخل از یک استوانه مرکزی^۱ تشکیل شده که به‌وسیله لایه‌های باریکی (اپیدرم و کورتکس) احاطه شده [۸] همچنین داخل این استوانه، دستجات آوندی قرار داشته که در بافت زمینه پارانشیمی محصور شده است. با تقسیم و بزرگ شدن سلول‌های پارانشیمی و انبساط دستجات آوندی قطر درخت افزایش یافته به‌طوری‌که سلول‌های پارانشیمی محل ذخیره آب و املاح و دستجات آوندی مقاومت درخت و انتقال مواد را بر عهده می‌گیرند [۹]. دستجات آوندی به‌طور معمول دارای ۲ تا ۳ آوند فراخ بوده و عمدتاً توسط بافت فیبری پوشانده شده است. از آنجاکه دستجات آوندی نقش بسیار مهمی در رفتار فیزیکی، مکانیکی و بیومتری چوب نخل داشته، لذا ارزیابی ویژگی‌ها و تغییرات آن‌ها با افزایش ارتفاع درخت اطلاعات پایه‌ای ارزشمندی در رابطه با کاربرد چوب نخل در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهد [۱۰]. اگرچه در درخت خرما به معنی واقعی ماده چوبی مانند آنچه در سوزنی‌برگان و پهن‌برگان تولید می‌شود وجود ندارد. Tarmian و همکاران (۲۰۱۳) ساختار آناتومی دستجات آوندی را در فاصله بین مغز تا پوست نخل خرما منطقه بم در استان کرمان را مطالعه کردند [۱۱]. آن‌ها دریافتند که تعداد دستجات آوندی و میانگین تعداد حفرات آوندی در این دو ناحیه تفاوت ناچیزی داشته اگرچه میانگین مساحت حفرات آوندی به‌طور فاحشی در ناحیه مغز بیشتر از مقدار آن در ناحیه پوست بود. Gibson (۲۰۱۲) در

^۱Central cylinder

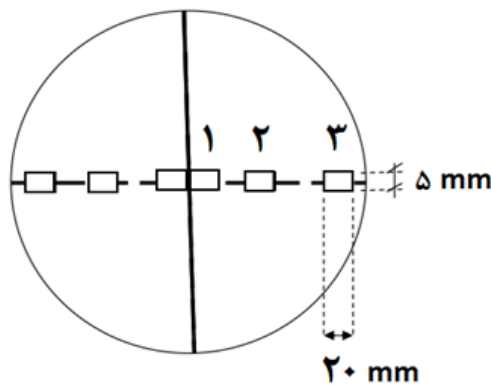
گرفته شد. نمونه‌های مکعبی طبق یک برنامه چوب خشک‌کنی به رطوبت ۱۲٪ رسانده شد. بدین منظور ابتدا به مدت یک هفته در دمای ۲۰ درجه و رطوبت نسبی ۸۵٪ نگهداری و سپس به مدت ۲ هفته در دمای ۲۰ درجه و رطوبت نسبی ۶۵٪ درصد قرار داده شدند. برای اندازه‌گیری مقاومت کششی و مدول الاستیسیته دستجات آوندی در مناطق مختلف مورفولوژیکی طبق الگوی نشان داده شده در شکل ۲ از هر دیسک نمونه‌هایی با ابعاد ۵ میلی‌متر (مماسی) \times ۲۰ میلی‌متر (شعاعی) \times ۱۲۵ میلی‌متر (طولی) تهیه گردید.

نمونه‌ها در نایلون قرار داده شده و سپس تا زمان تبدیل در فریزر نگهداری شدند.

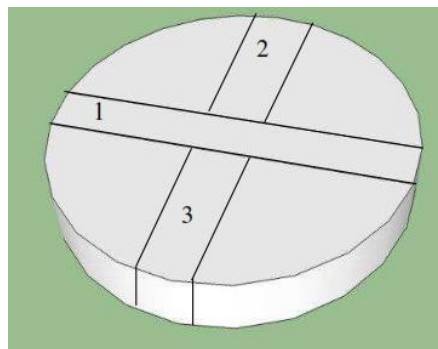
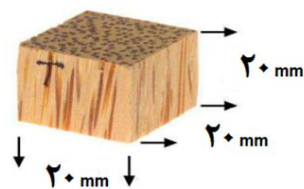
روش‌ها

الگوی برش دیسک

برای تهیه نمونه‌های مکعبی، ابتدا طبق الگوی نشان داده شده در شکل ۱ (راست) بر روی هر دیسک، برش‌ها انجام و سپس آزمون‌ها با ابعاد $2 \times 2 \times 2$ سانتیمتر مکعب از سمت داخل به سمت حاشیه تهیه شدند (شکل ۱، چپ). در هر دیسک برش شماره ۱ برای آزمایش‌های بیومتری و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی در نظر



شکل ۱- الگوی شماتیک برش نمونه‌ها جهت ارزیابی دستجات آوندی در سه ناحیه مورفولوژیکی در هر دیسک (۱: مغز، ۲: وسط و ۳: حاشیه)



شکل ۲- الگوی برش هر دیسک (راست) و برش نمونه‌های آزمون‌های مکعبی (چپ)

و ارتفاع نمونه‌برداری آورده شده است.

کلیه نمونه‌ها مطابق با استاندارد^۱ DIN 52185 آماده شدند. در جدول زیر خلاصه‌های از تعداد، ابعاد، مکان برش

^۱ Deutsches Institut für Normung

جدول ۱- نحوه تهیه نمونه‌های آزمونی مکعبی

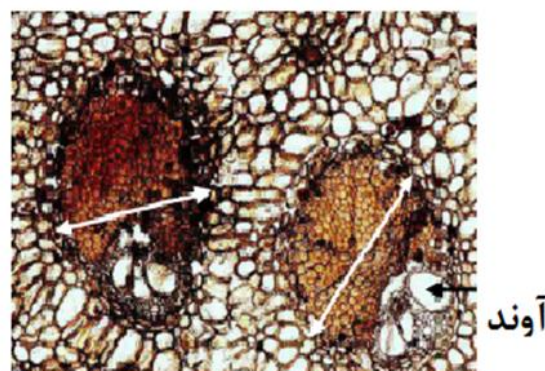
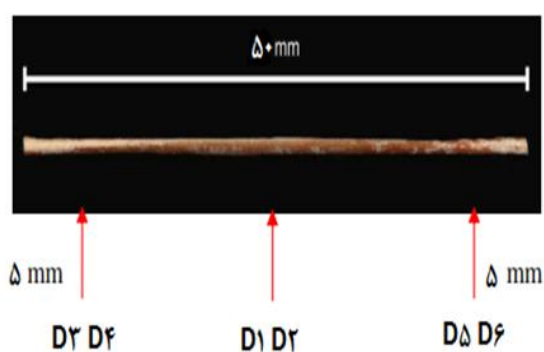
ویژگی چوب	ارتفاع درخت (m)	ناحیه برش	ابعاد نمونه (mm)	تعداد نمونه
تعداد دستجات آوندی	۷ و ۵، ۲	I, C, P	۲۰×۲۰×۲۰	۸۸
میانگین قطر دستجات آوندی	۷ و ۵، ۲	I, C, P	۲۰×۲۰×۲۰	۵۲۸۰
مساحت دستجات آوندی	۷ و ۵، ۲	I, C, P	۲۰×۲۰×۲۰	۵۲۸۰
دانسیته	۷ و ۵، ۲	I, C, P	۲۰×۲۰×۲۰	۸۸
مقاومت کششی در جهت الیاف	۷، ۲	I, C, P	۵×۲۰×۱۲۵	۱۰۸

I: قسمت داخل، C: میانه و P: حاشیه

دستجات آوندی از قبیل تعداد، مساحت و قطر دستجات آوندی با کمک نرم‌افزار Cell-F image محاسبه شد. از آنجاکه مقطع دستجات آوندی کاملاً گرد نبوده لذا مطابق آنچه در شکل ۳ (راست) نشان داده شده قطر دستجات آوندی اندازه‌گیری شد.

بیومتری دستجات آوندی

به منظور بررسی عناصر ساختاری و ویژگی‌های بیومتری درخت خرما، با استفاده از استریو میکروسکوپ نوری مجهز به دوربین دیجیتال (مدل Olympus SZ H10)، بر روی هر یک از نمونه‌های مکعبی، خصوصیات هم‌چون ساختار



شکل ۳- مقطع میکروسکوپی دستجات آوندی (راست)،

تصویر یکی از دستجات آوندی برای اندازه‌گیری مقاومت کششی و مدول الاستیسیته (چپ)

۶۰ عدد از دستجات آوندی آماده شد. از آنجاکه قطر هر یک از دستجات آوندی کاملاً گرد نبود، با استفاده از کولیس با دقت یک‌صدم میلی‌متر، در سه نقطه ابتدا، وسط و انتهای هر یک از دستجات و هر نقطه دو بار قطر اندازه‌گیری و مقدار نهایی با میانگین‌گیری کل داده‌ها حاصل شد (شکل ۳، چپ). به دلیل مشکلات آماده‌سازی، نمونه‌برداری فقط در دو ارتفاع درخت (۲ و ۷ متری) انجام شد.

جداسازی یکی از دستجات آوندی

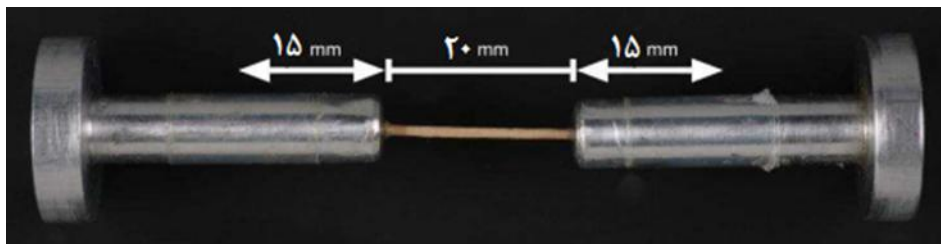
برای جداسازی هر یک از دستجات آوندی، ابتدا با استفاده از یک تیغه جراحی اقدام به جداسازی نمونه‌های چوب‌کبریتی شد، سپس یکی از دستجات آوندی زیر استریو میکروسکوپ انتخاب و بافت پارانشیم اطراف آن به صورت دستی و با دقت برداشته شد. سپس دستجات آوندی به مدت ۲۴ ساعت در رطوبت ۶۵٪ و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد برای انجام آزمون‌های مکانیکی قرار داده شدند. در کل تعداد

فک آلومینیومی متصل گردید. گیره‌های آلومینیومی بر روی دستگاه یونیورسال (Zwick/Roell, Ulm, Germany) شکل ۴) که مجهز به سنسور نیروسنج^۱ ۵۰ کیلو نیوتنی بود، قرار داده شد. کلیه اندازه‌گیری‌ها در دمای ۲۰ درجه و رطوبت نسبی ۶۵٪ انجام شد. (شکل ۵).

مقاومت کششی و مدول الاستیسیته دستجات آوندی
همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، تعداد ۶۰ عدد از دستجات آوندی با طول ۵۰ میلی‌متر با دقت زیاد زیر استریو میکروسکوپ تهیه شد. پس از محاسبه میانگین قطر، دو طرف نمونه با استفاده از چسب اپوکسی به دو



شکل ۴- دستگاه یونیورسال (Zwick/Roell)



شکل ۵- نحوه اندازه‌گیری مقاومت کششی دستجات آوندی

روند در ارتفاع پایین‌تر (۵ متری و ۲ متری درخت) نیز روند نزولی داشته است از طرفی تعداد دستجات آوندی به‌طور معنی‌داری در نمونه‌های نواحی نزدیک به حاشیه بیشتر بوده است. Gibson (۲۰۱۲) در مطالعات خود تراکم بیشتر دستجات آوندی در نواحی حاشیه را مشاهده کرد [۱۲]. همچنین تعداد دستجات آوندی با افزایش ارتفاع درخت نیز افزایش داشت؛ اما در رابطه با میانگین قطر و مساحت دستجات آوندی و ارزیابی تغییرات این دو پارامتر در مقطع گرده‌بینه روند منظمی از کاهش یا افزایش مشاهده نشد درحالی‌که مقادیر مذکور با افزایش ارتفاع به‌شدت کاهش

نتایج و بحث

پراکنش تعداد و درصد دستجات آوندی

میانگین مقادیر قطر، تعداد و مساحت دستجات آوندی در جدول ۲ آورده شده است. اعداد مذکور در جدول میانگین عددی ۳۰۰ اندازه‌گیری برای قطر و تعداد دستجات آوندی در ۴۰۰ میلی‌متر مربع محاسبه شد.

نتایج به‌طور واضح نشان می‌دهد که در بالاترین ارتفاع درخت (۷ متری) ۳۳٪ مساحت (در ۴۰۰ میلی‌متر مربع) توسط دستجات آوندی اشغال شده درحالی‌که وقتی نمونه‌ها به‌طرف مغز گرده‌بینه نزدیک می‌شود این مقدار به ۲۷٪ رسیده که کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد. این

¹ Load cell

حاصل از دستجات آوندی در بالای درخت جوان بوده درحالی‌که در پایین درخت سلول‌ها به بلوغ می‌رسند و همین وضعیت باعث رفتار متفاوت نمونه‌های آزمونی در خواص فیزیکی و مکانیکی می‌شود [۱۷].

یافت. این روند تغییرات در مطالعات (Khoo&Lim ۱۹۸۶) بر روی نخل روغنی مشاهده شده اما در رابطه با تغییرات در نخل خرما تحقیقی یافت نشد [۱۴]. Darwis و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعات خود ذکر کرده‌اند که سلول‌های

جدول ۲- میانگین قطر، تعداد و مساحت دستجات آوندی در ارتفاعات مختلف درخت نخل

میانگین قطر دستجات آوندی μm			تعداد دستجات آوندی در 400 mm^2			ارتفاع درخت (m)
I	C	P	I	C	P	
۷۱۹ (۱۳/۹)	۷۱۴ (۱۳/۴)	۶۲۲ (۷۷/۱)	۲۶۷ (۴۸/۵)	۳۳۳ (۴۴/۳)	۴۳۰ (۱۰۵/۷)	۷
۷۱۶ (۲۱/۸)	۷۹۵ (۵۷/۴)	۷۱۰ (۷۹)	۲۴۴ (۲۱/۳)	۲۶۳ (۱۰/۹)	۳۰۰ (۵۴/۸)	۵
۸۷۸ (۷۵/۱)	۹۴۶ (۶۲/۲)	۸۸۵ (۱۱۰)	۱۵۵ (۳۳/۷)	۱۶۵ (۲۶)	۲۱۳ (۵۴/۲)	۲
میانگین مساحت دستجات آوندی mm^2			مجموع مساحت دستجات آوندی در 400 mm^2			ارتفاع درخت (m)
I	C	P	I	C	P	
۰/۲۴ (۰/۰۱)	۰/۲۴ (۰/۰۱)	۰/۱۵ (۰/۰۲)	۱۰۸ (۱۴/۴)	۱۳۳ (۱۵/۱)	۱۳۱ (۲۲/۶)	۷
۰/۲۴ (۰/۰۱)	۰/۳۳ (۰/۰۷)	۰/۲۴ (۰/۱۱)	۹۸ (۱۴/۳)	۱۳۰ (۱۵/۷)	۱۱۹ (۱۹)	۵
۰/۵۱ (۰/۱۱)	۰/۶ (۰/۰۳)	۰/۶۱ (۰/۰۹)	۹۴ (۸/۷)	۱۱۶ (۷/۹۹)	۱۳۱ (۱۲/۷)	۲

P: بخش حاشیه، C: بخش میانه و I: بخش داخل، اعداد داخل پرانتز پراخترا انحراف معیار است.

تغییرات است [۱۷]. از طرفی مقاومت کششی و مدول الاستیسیته نمونه‌های نزدیک مغز گرده‌بینه بیشتر بوده و با حرکت به سمت حاشیه مقادیر به‌طور معنی‌داری کاهش یافته به‌طوری‌که کمترین مقادیر برای نمونه‌های نزدیک پوست به دست آمد. این روند تغییرات با آنچه در درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ مشاهده می‌شود کاملاً متفاوت است. علت چنین روند تغییراتی ممکن است به خاطر لیگنینی شدن بیشتر سلول‌های پارانشیمی موجود در دسته آوندی در قسمت مرکزی تنه باشد. طبق نظر پژوهشگران ضخیم و لیگنینی شدن سلول‌های موجود در دستجات آوندی و بافت پارانشیمی زمینه در برخی نخل‌ها از قسمت مغز شروع می‌شود، درحالی‌که مناطق بیرونی و نزدیک پوست هنوز لیگنینی نشده باشند (طارمیان و همکاران ۱۳۹۲). Shang و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از لیزر، مقاومت کششی

خواص مکانیکی یک دسته آوندی

برای ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی دستجات آوندی، مقاومت کششی نمونه‌های آزمونی اندازه‌گیری شد. همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها توضیح داده شد، نمونه‌ها در سه ناحیه از دیسک‌های تهیه‌شده از درخت اندازه‌گیری و مقاومت کششی و مدول الاستیسیته آن‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده نتایج به‌طور واضح نشان داده که مقاومت کششی با افزایش ارتفاع درخت به‌شدت کاهش یافته به‌طوری‌که مقادیر اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های واقع در ارتفاع ۷ متری درخت ۲۰ تا ۲۵ درصد مقادیر اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های پایین درخت (ارتفاع ۲ متری) می‌باشند. جوان بودن سلول‌های دستجات آوندی در بالای درخت علت مشاهده چنین

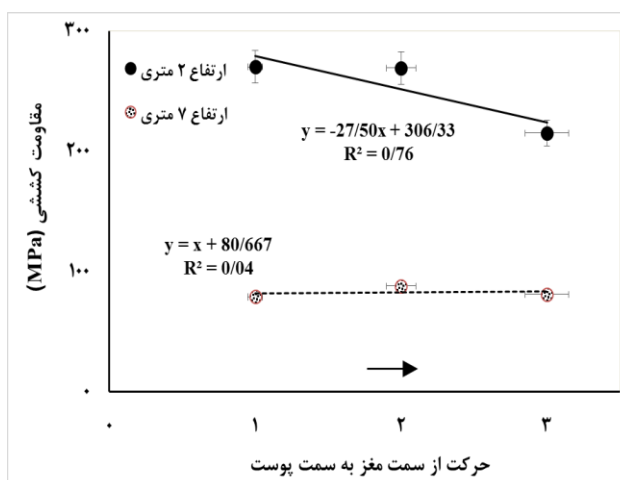
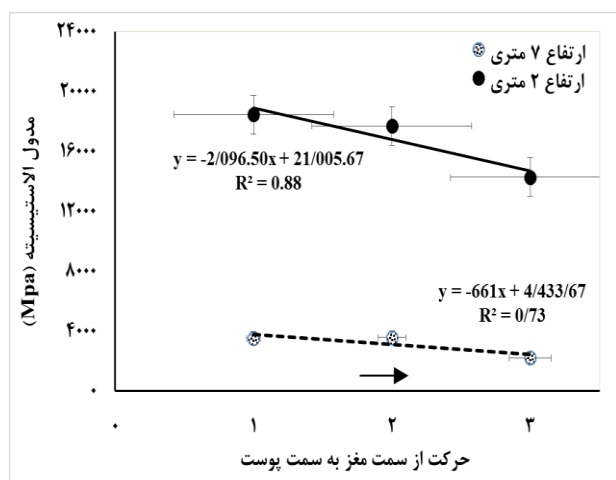
فاصله آن‌ها از مغز گرده‌بینه در ارتفاع ۲ متری درخت یک رابطه خطی با همبستگی بالا (۰/۷۶) مشاهده شده درحالی‌که با افزایش ارتفاع درخت این همبستگی (۰/۰۴) به شدت کاهش یافت یافته است.

دستجات آوندی را در بامبو اندازه‌گیری کرده و به مقاومت ۷۰۹ مگا پاسکال دست یافتند. آن‌ها دریافتند که مقاومت کششی بالای بامبو مربوط به مقاومت کششی بسیار بالای دستجات آوندی است. [۱۰]. با توجه به آنچه در شکل ۶ نشان داده شده بین مقاومت کششی دستجات آوندی و

جدول ۳- مقاومت کششی دستجات آوندی در ارتفاع مختلف درخت نخل

ارتفاع درخت (m)	مقاومت کششی (Mpa)			مدول الاستیسیته (Mpa)		
	I	C	P	I	C	P
۷	۷۹	۸۸	۲۲۱۸	۳۵۴۰	۳۵۷۷	۲۲۱۸
	(۳۲/۸)	(۱۶/۵)	(۳۴۰)	(۴۷۳)	(۴۰۰)	(۳۴۰)
۲	۲۷۰	۲۶۹	۱۴۲۷۳	۱۸۴۶۶	۱۷۶۹۹	۱۴۲۷۳
	(۶۷/۴)	(۶۵/۹)	(۲۵۷۵)	(۴۱۷۴)	(۳۵۵۳)	(۲۵۷۵)

P: بخش حاشیه، C: بخش میانه و I: بخش داخل، اعداد داخل پرانتز انحراف معیار است.



شکل ۶- تغییرات مقاومت کششی دستجات آوندی از سمت مغز به سمت پوست گرده‌بینه (۱: بخش داخل، ۲: بخش میانه و ۳: بخش حاشیه)

آوندی و همچنین ضخامت دیواره سلول‌های پارانشیم است. مطالعات نشان داده که ضخامت دیواره سلولی در یک دسته آوندی بیشتر از سلول‌های پارانشیمی اطراف است. بعلاوه نحوه پراکنش دستجات آوندی یک فاکتور تعیین‌کننده در مقاومت مکانیکی چوب نخل است [۱۹] اگرچه با بررسی تغییرات دانسیته، رفتار مکانیکی دستجات آوندی نخل قابل توجهی است. با توجه به نتایج جدول ۴ دانسیته نمونه‌های نزدیک مغز گرده‌بینه و همچنین نمونه‌های ناحیه میانه (بین

رابطه خطی بین مدول الاستیسیته دستجات آوندی و فاصله نمونه آزمونی تا مغز گرده‌بینه دارای همبستگی ۰/۸۸ بوده که نشان می‌دهد این پارامتر مکانیکی شدیداً به موقعیت نمونه در مقطع عرضی گرده‌بینه وابسته است. این وضعیت در بالای درخت (ارتفاع ۷ متری) نیز مشاهده شد (۰/۷۳). یکی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار بر خواص مکانیکی چوب دانسیته آن است. تغییر در دانسیته نخل خرما در ارتباط نزدیک با تعداد و تغییر در ضخامت دیواره دستجات

پوست و مغز) به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقادیر آن برای نمونه‌های نزدیک به پوست بوده که این مسئله در تحقیقات Erwinsyah و همکاران ۲۰۰۸ و Frühwald و همکاران ۱۹۹۲ مشاهده شده است [۱۸، ۱۵]؛ اما در رابطه با ارتفاع درخت، در نمونه‌های نزدیک به پوست و مرکز، دانسیته با افزایش ارتفاع کاهش یافته درحالی‌که چنین روندی برای نمونه‌های نزدیک به مغز گرده‌بینه مشاهده نشد. مطالعه‌ای

بر روی نخل روغنی نشان داده که تعداد دستجات آوندی تنها فاکتور تعیین‌کننده مقاومت مکانیکی نیست بلکه دانسیته و پراکنش آن در درخت از عوامل مهم بشمار می‌آید. در ارتفاعات بالای درخت علیرغم تعداد بیشتر دستجات آوندی به دلیل جوان‌تر بودن سلول‌ها و کمتر بودن دانسیته چوب مقاومت‌های کمتری مشاهده شد [۲۰].

جدول ۴- پراکنش تغییرات دانسیته در تنه نخل خرما

میانگین دانسیته (gr/cm ³)			ارتفاع درخت (m)
I	C	P	
۰/۶۹ (۰/۰۳)	۰/۶۷ (۰/۰۲)	۰/۶۴ (۰/۰۳)	۷
۰/۷۰ (۰/۰۳)	۰/۶۸ (۰/۰۳)	۰/۶۲ (۰/۰۱)	۵
۰/۶۸ (۰/۰۲)	۰/۷۰ (۰/۰۳)	۰/۶۷ (۰/۰۲)	۲

P: بخش حاشیه، C: بخش میانه و I: بخش داخل، مقادیر داخل پرانتز انحراف از معیار است.

نتیجه‌گیری

این تحقیق به دنبال ارزیابی نقش دستجات آوندی بر ویژگی‌های مکانیکی تنه نخل خرما بود. بررسی‌ها نشان داد که یک ارتباط نزدیک بین مقاومت کششی و مدول الاستیسیته دستجات آوندی و موقعیت آن‌ها در مقطع عرضی گرده‌بینه وجود دارد. بهتر است که ارتفاع درخت به‌عنوان یک متغیر تأثیرگذار بر مقاومت‌های مکانیکی دستجات آوندی و چوب تنه مدنظر قرار گیرد. به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع درخت و کاهش درصد دستجات آوندی مقاومت‌های مکانیکی به‌شدت کاهش می‌یابد. روند تغییرات پارامترهای مکانیکی با پراکنش دانسیته به‌عنوان یک ویژگی فیزیکی و ساختار آناتومی به‌ویژه تعداد، قطر و

مساحت دستجات آوندی همخوانی دارد لذا برای کاربردهایی با مقاومت بالا، تهیه نمونه از ارتفاع پایین درخت و در نواحی مرکزی و اطراف مغز گرده‌بینه نسبت به نواحی نزدیک به پوست توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح پژوهشی مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان است. از دانشگاه هامبورگ و شهرکرد برای در اختیار قرار دادن تجهیزات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- [1] Amor, I.B., Rekik, H., Kaddami, H., Raihane, H., Arous, M. and Kallel, A., 2010. Effect of palm tree fiber orientation on electrical properties of palm tree fiber-reinforced polyester composites. *Journal of composite materials*, 44(13): 1553-1568.
- [2] Ramadan, A.N., 2014. An evaluation of the use of midribs from common date palm cultivars grown in Saudi Arabia for energy production. *BioResource*, 9(3): 4343-4357.

- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [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] Tomlinson, P.B., Horn, J.W. and Fisher, J.B., 2011. *The anatomy of palms*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- [9] Killmann, W., 1993. *Struktur, Eigenschaften und Nutzung von Stämmen wirtschaftlich wichtiger Palmen*. Dissertation. Universität Hamburg, Hamburg. Fachbereich Biologie. 213p.
- [10] Shang, L., Sun, Z., Liu, X. and Jiang, Z., 2015. A novel method for measuring mechanical properties of vascular bundles in moso bamboo. *Journal of Wood science*, 61(6): 562-568.
- [11] Tarmian, A., Foroozan, Z., Sepehr, A., Gholamiyan, H. and Oladi, R., 2013. Physical and anatomical features and drying behavior of the boards produced from old date palm trees (*Phoenix dactylifera* L.) in Bam city, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* 28(3): 498-508. (In Persian).
- [12] Gibson, L.J., 2012. The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *Journal of the Royal Society Interface*, 9(76):2749–2766.
- [13] Corley, H.V. and Tinker, P.B., 2003. *The Oil Palm*. 4th Edition. Oxford: Blackwell Publishing. 284 p.
- [14] Lim, S.C. and Khoo, K., 1986. Characteristics of oil palm trunk and its potential utilization. *The Malaysian Forester*, 49(1): 3-22.
- [15] Erwinsyah, S.H., 2008. Improvement of oil palm trunk properties using bioresin. Ph.D Dissertation, Faculty of Environmental Sciences, Technische Universität Dresden, Germany, <http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/608/1211880694953-3697.pdf>.
- [16] Tufashi, T., 2013. Physical-mechanical and chemical properties of the wood of oil palm and date palm trees. Bachelor Thesis, Hamburg University, Department of Wood Science and Technology.
- [17] 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.
- [18] Frühwald, A., Peek, R. D. and Schulte, M., 1992. Utilization of coconut timber from North Sulawesi, Indonesia. *GTZ*, Hamburg, 352 pp.
- [19] 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*, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275, 2221–2229.
- [20] Darwis, A., Nurrochmat, D.R., Massijaya M.Y., Nugroho, N., Alamsyah, E.M., Bahtiar, E.F. and Safei, R., 2013. Vascular Bundle Distribution Effect on Density and Mechanical Properties of Oil Palm Trunk. *Asian Journal of Plant Sciences*, 12(5): 208-2013.

An investigation on anatomical and mechanical properties of vascular bundles in Date palm (Case Study: Ahvaz countryside)

Abstract

The objective of this study was to investigate the biometry of vascular bundles and their roles in the physical and mechanical properties of date palm. To prepare experimental samples, three date palm trees (*Phoenix dactylifera*) with the average diameter of 47 cm were cut in Ahvaz (Khoozestan Province, Iran). Cubic samples with dimensions of 2 cm (tangential) × 2 cm (radial) × 2 cm (longitudinal) were taken from different heights of a trunk (2, 5 and 7 meter). The biometry of trunk tissue (number, diameter and cross-cut area of single vascular bundles), as well as physical (density) and mechanical properties (vascular bundles tension strength and modulus of elasticity) were studied. The results showed that the calculated total area of vascular bundles was maximum for outer samples (near the bark; 33% of total area) and the values gradually decreased to 27% for inner specimens (around the pith). Moreover, the number of vascular bundles increased from inner to outer parts of trunk. The same trend was also observed from lower to higher heights of a tree; however considering diameter and cross-cut area of a single vascular bundle, no distinct trend was observed. Regarding the mechanical properties of vascular bundles, the results revealed that tensile strength and modulus of elasticity were higher for the specimens close to the pith in comparison with the samples near the bark. Finally, the highest correlation was found between mechanical properties of vascular bundles and their position in the transversal direction of date palm stem.

Key words: date palm, vascular bundles, tensile strength, modulus of elasticity (MOE).

L. Fathi¹
M. Bahmani²
M.A. Saadatnia^{3*}
L. Poursartip⁴

¹Assistant Prof., Department of wood and paper industry, Hamburg University, Hamburg, Germany

² Assistant Prof., Department of forestry science, Shahrekord university, Shahrekord, Iran

³ Assistant Prof., Department of wood and paper industry, Behbahan Khatam Alanbia university of technology, Behbahan, Iran

⁴ Assistant Prof., Department of wood and paper industry, Behbahan, Khatam Alanbia university of technology, Behbahan, Iran

Corresponding author:
msaadatnia92@gmail.com

Received: 2016/06/15

Accepted: 2016/09/24