Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Industries
Vol. 15, No. 4, Page 411 - 425 (2025)

DOI: 10.22034/ijwp.2024.2028409.1664

Investigation of selected physical, biometrical and mechanical properties of persimmon tree (Diospyros Lotus) in the Alborz Forest site

Ali Hassanpoor Tichi[1*], Hadi Gholamyan[2], Reza Oladi[3], Amin Khatiri[4]

1- Corresponding author, Assistant Professor, Department of Wood Engineering, National University of Skills, Tehran, Iran. Email: hasanpoortichi@gmail.com
2- Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Industry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3- Associate Professor, Department of Science and Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4- PhD student, Department of Science and Wood and Paper Industries, Noor Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran Province, Iran.

Received: May 2024 Accepted: October 2024

Abstract

Problem definition and objectives: In countries like Iran, where forest resources are limited, the optimal use of native species to reduce pressure on forests and promote sustainable wood industries is of special importance. The wood of the Diospyros lotus species, which naturally grows in the northern forests of Iran, is considered one of the suitable options for this purpose. Examining the physical, biometric, and anatomical properties of this wood species can help identify its industrial and manual uses. Broadleaf trees generally exhibit variable characteristics that change depending on growth conditions, the growth region, and the position of the wood in the trunk. Changes in the biometric, physical, and anatomical characteristics of the wood can play a significant role in determining its suitability for use in wood and construction industries. Therefore, the aim of this research is to investigate the changes in the fundamental properties of Diospyros lotus wood along the longitudinal and radial axes of the trunk to assess its potential use in various industries.

Methodology: For this study, a healthy Diospyros lotus tree was selected from the forests of Behshahr (Mazandaran Province). Two 5 cm thick wood disks were taken from the tree at breast height and at a height of three meters. Test samples with dimensions of 2×2×3 cm was cut from the pith to the bark along the radial direction and at two different heights. The biometric properties, including fiber length, fiber diameter, cell cavity diameter, and cell wall thickness, were measured using a light microscope equipped with a calibrated lens. Physical properties, including dry density and critical density, were determined according to ISO 13061-2 standards. Additionally, the anatomical features of the wood were examined based on the microscopic features list of the International Association of Wood Anatomists (IAWA). The data obtained from the measurements were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) in a completely randomized design, and mean comparisons were performed using Duncan's test at the 95% and 99% confidence levels.

Results: The results showed that both the dry density and critical density of the wood increase from the pith to the bark, but decrease along the longitudinal axis from breast height toward the crown. A similar trend was observed for biometric properties, as fiber length, fiber diameter, cell cavity diameter, and cell wall thickness increased from the pith to the bark and decreased longitudinally from the base to the crown. These changes can be attributed to the increasing age of the cambial layer and structural changes in the wood cells during tree growth. Microscopic observations also revealed that the vessels are radially grouped, and alternating pits between the vessel walls were visible. Additionally, the wood rays of this species are heterogeneous to very heterogeneous, and the wood fibers have thick cell walls. These features play a key role in determining the strength and mechanical properties of the wood. The findings of this study indicated that as the distance from the pith increases, the fiber dimension increase, and the wood structure moves toward higher density and greater strength. On the other hand, the reduction in these properties longitudinally (from the base toward the crown of the tree) suggests structural differences in different parts of the trunk. These results align with previous research that reported similar changes in other species.

Conclusion: The results of this study demonstrated that Diospyros lotus wood, due to its high density, suitable cell wall thickness, and good strength, has excellent potential for use in the wood industries. The increase in biometric properties from the pith to the bark and the decrease from breast height to the crown reflect the impact of structural factors on the wood's properties. Furthermore, the microscopic anatomical results showed that Diospyros lotus wood has alternating pits between the vessels, radially grouped vessels, and heterogeneous wood rays, which can affect its mechanical behavior and industrial processing. The distribution pattern of the vessels and the arrangement of the wood rays suggest that this wood has the potential for producing high-strength compressed boards and wooden products. However, the impact of these features on wood processing and specific applications requires further investigation.

Keywords: Diospyros lotus, Critical density, Intermittent, Wood rays, Fiber length.

بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکی، بیومتریک و آناتومی چوب گونه خرمندی (*Diospyros Lotus*) در رویشگاه‌های جنگلی البرز

علی حسن‌پور تیچی[۱*]، هادی غلامیان[۲]، رضا اولادی[۳]، امین خطیری[۴]

۱ نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی چوب، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران. پست الکترونیک: hasanpoortichi@gmail.com
۲- هادی غلامیان، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۳- رضا اولادی، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۴- امین خطیری، دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس استان تهران، ایران.

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۳

چکیده

بیان مساله و اهداف: در کشورهایی مانند ایران که منابع جنگلی محدود هستند، استفاده بهینه از گونه‌های بومی به‌منظور کاهش فشار بر جنگل‌ها و توسعه صنایع چوبی پایدار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چوب گونه خرمندی (Diospyros Lotus)، که به‌طور طبیعی در جنگل‌های شمال ایران رشد می‌کند، یکی از گزینه‌های مناسب برای این منظور محسوب می‌شود. بررسی ویژگی‌های فیزیکی، بیومتریک و آناتومی چوب این گونه می‌تواند به شناسایی کاربردهای صنعتی و دستی آن کمک کند. درختان پهن‌برگ معمولاً ویژگی‌های متغیری دارند که بسته به شرایط رشد، منطقه رویش و موقعیت چوب در تنه تغییر می‌کند. تغییرات خصوصیات بیومتری، فیزیکی و آناتومی چوب می‌تواند نقش مهمی در تعیین قابلیت استفاده از آن در صنایع چوبی و ساختمانی ایفا کند. بنابراین، هدف این پژوهش بررسی تغییرات ویژگی‌های اساسی چوب خرمندی در محور طولی و عرضی تنه، به‌منظور ارزیابی پتانسیل استفاده از این چوب در صنایع مختلف است.

مواد و روشها: برای انجام این پژوهش، یک درخت سالم خرمندی از جنگل‌های بهشهر (استان مازندران) انتخاب شد. از این درخت، دو دیسک چوبی به ضخامت ۵ سانتی‌متر در ارتفاع برابر سینه و سه متری تهیه شد. نمونه‌های آزمونی با ابعاد ۲×۲×۳ سانتی‌متر از مغز تا پوست در راستای عرضی و در دو ارتفاع مختلف بریده شدند. سپس، ویژگی‌های بیومتری شامل طول الیاف، قطر کلی الیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی با استفاده از میکروسکوپ نوری مجهز به عدسی مدرج اندازه‌گیری شد. خواص فیزیکی شامل دانسیته خشک و دانسیته بحرانی طبق استاندارد ISO 13061-2 تعیین گردید. علاوه بر این، ویژگی‌های آناتومی چوب مطابق با لیست ویژگی‌های میکروسکوپی انجمن بین‌المللی آناتومیست‌های چوب (IAWA) مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه در قالب طرح کاملاً تصادفی تحلیل شدند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد انجام شد.

نتایج: نتایج نشان داد که دانسیته خشک و بحرانی چوب از مغز به سمت پوست روند افزایشی دارد، اما در راستای طولی از ارتفاع برابر سینه به سمت تاج کاهش می‌یابد. در مورد ویژگی‌های بیومتری، روند مشابهی مشاهده شد؛ به‌طوری که طول الیاف، قطر کلی الیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی از مغز به سمت پوست افزایش داشته و در جهت طولی از پایین به سمت تاج کاهش یافتند. این تغییرات را می‌توان به افزایش سن لایه کامبیوم و تغییرات ساختاری سلول‌های چوبی در طول رشد درخت نسبت داد. نتایج بررسی‌های میکروسکوپی نیز نشان داد که آوندها به‌صورت گروه‌بندی شعاعی قرار گرفته‌اند و منافذ بین آوندی متناوب در دیواره‌های آوندی دیده می‌شوند. علاوه بر این، اشعه چوبی این گونه ناهمگن و خیلی ناهمگن بوده و فیبرهای چوب دارای دیواره ضخیم هستند. این ویژگی‌ها نقش کلیدی در تعیین

استحکام و خواص مکانیکی چوب ایفا می‌کنند. مطالعات انجام‌شده در این پژوهش نشان داد کـه بـا افـزایش فاصـله از مغـز درخت، ابعاد الیاف افزایش یافته و ساختار چوب به سمت تـراکم بیشـتر و اسـتحکام بـالاتر پـیش مـی‌رود. از سـوی دیگـر، کاهش این ویژگی‌ها در جهت طولی (از پایین به سمت تاج درخت) نشان‌دهنده تفاوت‌های ساختاری در بخش‌های مختلـف تنه است. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های قبلی که تغییرات مشـابهی را در گونـه‌های دیگـر گـزارش کرده‌انـد، مطابقـت دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد کـه چـوب گونـه خرمنـدی (*Diospyros Lotus*) بـه دلیـل دانسـیته بـالا، ضخامت مناسب دیواره سلولی و استحکام مطلوب، پتانسیل مناسبی برای صنایع چوبی دارد. افـزایش ویژگی‌هـای بیـومتری از مغز به پوست و کاهش آن‌ها از ارتفاع برابر سینه به تاج، بیانگر تأثیر عوامل ساختاری بر خـواص چـوب اسـت. همچنـین، نتایج بررسی‌های آناتومی میکروسکوپی نیز نشان داد که چوب خرمندی دارای منافذ بین آوندی متناوب، گروه‌بنـدی آونـدی شعاعی، و اشعه چوبی ناهمگن است که این ویژگی‌ها می‌توانند بر رفتار مکانیکی و فرآیندهای صنعتی آن تأثیرگـذار باشـند. الگوی توزیع آوندها و نحوه استقرار اشعه چوبی نشان می‌دهد که این چوب دارای پتانسیل مناسـبی بـرای تولیـد تختـه‌های فشرده و مصنوعات چوبی با استحکام بالا است. با این حال، تأثیر ایـن ویژگی‌هـا بـر فـرآوری چـوب و کاربردهـای خـاص نیازمند بررسی‌های تکمیلی است.

واژه های کلیدی: خرمندی، دانسیته بحرانی، متناوب، اشعه چوبی، طول الیاف.

مقدمه

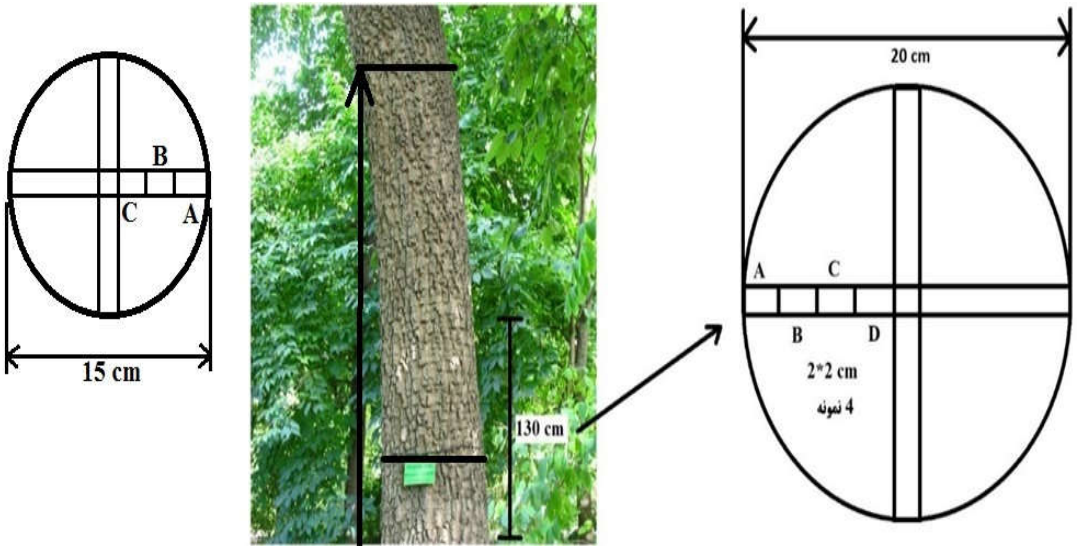
چوب به‌عنوان یک ماده طبیعی که عناصر تشکیل‌دهنده آن با نظم شگفت انگیزی کنار هم سازمان یافته‌اند، در تأمین بخشی از نیازهای مختلف زیستی انسان، نقش مهمی ایفا می‌کند. از این رو شناخت ویژگی‌های اساسی چوب جهت استفاده بهینه از این ماده با ارزش در صنایع مختلف امری مهم و ضروری می‌باشد [۱]. گونه درختی خرمندی (Diospyros lotus L) از خانواده آبنوس‌ها (Ebenaceae) است. جنس Diospyros از درختان بومی نیمکره شمالی است که متشکل از حدود ۵۰۰ گونه است که در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان گسترش دارد [۲]. خرمندی، درختی خزان کننده و بومی جنگل‌های کرانه جنوبی دریای خزر، جنوب غرب آسیا و جنوب شرق اروپا است. این گیاه به نور زیاد، رطوبت متوسط، دمای بالا، خاک لومی، عمیق و مرطوب نیاز دارد. در ایران از قسمت‌های ساحلی دریای خزر تا ارتفاع ۱۱۰ متر از سطح دریا و از آستارا تا پارک ملی گلستان دیده می‌شود [۳]. خرمندی نسبت بـه بیشتر گونه‌های جنس Diospyros تحمل بیشتری نسبت به خشکی دارد، ولی در مقایسه با نوع آمریکایی تحمل آن به سرما کمتر است [۴]. درخت خرمندی (کلهو) با نام‌های علمی آمبرو، اربا، خرما و خرمنی در مناطق مختلف کشور شناخته می‌شود. این گیاه به‌صورت درختی به طول حدود ۱۵ تا ۳۰ متر وجود دارد. برگ‌ها براق، چرمی، تخم‌مرغی شکل، نوک‌تیز، به طول ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر و پهنای ۳ تا ۶ سانتی‌متر می‌باشند. خرمندی درختی با پوست تیره، گل‌هایش خرد و میوه آن شفت می‌باشد همچنین در پاییز برگ آن به رنگ قهوه‌ای که طی ماه‌های خرداد الی تیر ظاهر می‌شوند. از ویژگی‌های دیگر این گونه چوبی سخت، متراکم، همگن و به رنگ زرد لیمویی می‌باشد. همچنین به علت سختی برای تهیه ماسوره نساجی مورد توجه می-باشد. چوب این درخت اگر در معرض باران قرار نگیرد برای پوشش ساختمان‌های روستایی مناسب است. Kiaei و Bakhshi (۲۰۱۴) به ویژگی بیومتری، فیزیکی و مکانیکی چوب درخت خرمندی منطقه نوشهر پرداختند. آنان به این نتیجه رسیدند که دانسیته بحرانی در محدوده مغز کمتر و در محدوده پوست بیشتر می‌باشد و همچنین در خواص بیومتری تغییراتی در محدوده مغز و پوست وجود داشته که طول الیاف، قطر حفره سلولی، قطر کلی سلول و ضخامت دیواره سلولی در محدوده پوست از میانگین بالاتری نسبت به محدوده مغز برخوردار بود [۵].

Parsapjoh و همکاران، (۲۰۱۳) در تحقیقی بر روی درخت خرمندی دریافتند که اشعه چوبی ۲ تا ۳ سلولی از نوع ناهمگن می‌باشند همچنین اظهار داشتند که نوع دریچه آوندی به‌صورت ساده و ضخامت مارپیچ دیده نشد. آنان بیان کردند که پارانشیم‌های این چوب در جهت مماسی، دور آوندی و پراکنده بوده و حفرات آوندی درشت و مجزا دیده شد [۱۱]. Mahdavi و همکاران (۱۹۹۳) در بررسی همبستگی ابعاد الیاف و جرم مخصوص با میزان رویش قطری و سن درخت در چوب اکالیپتوس به این نتیجه رسیدند که ویژگی‌های بیومتری الیاف شامل طول الیاف، قطر حفره سلولی، قطر کلی سلول و ضخامت دیواره سلولی با افزایش سن درختان (از مغز به سمت پوست) دارای یک‌روند افزایشی با شیب ملایم می‌باشد [۶]. Hosseini و همکاران (۱۹۹۳) در بررسی چوب جوان و تغییرات طول الیاف در افرا پلت دریافتند که میزان طول الیاف در چوب جوان کوتاه‌تر از میزان طول الیاف در چوب بالغ می‌باشد [۷]. Hassanpoor و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با عنوان بررسی خواص بیومتری و آناتومی چوب نزدیک به مغز و نزدیک به پوست درخت شب خسب به این نتیجه رسیدند طول الیاف، قطر حفره سلولی الیاف، ضخامت دیواره سلولی از مغز به سمت پوست درخت افزایش و از ارتفاع برابر سینه به سمت تاج درخت کاهش یافت [۸]. Nasrati و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی به بررسی ویژگی‌های میکروسکوپی چوب نزدیک به مغز و پوست شیشم پرداختند. نتایج بیانگر آن بود که اختلاف معنی‌داری بین چوب نزدیک به مغز و پوست این گونه از لحاظ طول الیاف، قطر الیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی الیاف وجود دارد که از مغز به سمت پوست این مقادیر افزایش می‌یابد [۹]. Dehmarde (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی ویژگی‌های بیومتری، فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی چوب اکالیپتوس در منطقه سیستان پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که ابعاد الیاف در جهت شعاعی ساقه درخت از مغز به سمت پوست روند افزایشی و در محور طولی ساقه از پایین به سمت بالا روند کاهشی داشته است [۱۰]. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی تغییرات خصوصیات آناتومی، فیزیکی و بیومتری چوب درخت خرمندی در جهت‌های طولی و عرضی، همچنین بررسی مرفولوژی الیاف و دانسیته چوب به‌منظور بررسی امکان کاربرد گونه مذکور در صنایع چوبی و دستی است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

یک اصله درخت خرمندی کاملاً سالم و بدون هیچ گونه آسیب مکانیکی و زیستی به ارتفاع ۱۰ متر، قطر ۲۰ سانتی‌متر و سن تقریبی ۳۵ سال، واقع در شهرستان بهشهر استان مازندران (۵۳/۳۲ درجه طول شرقی و ۳۶/۴۱ درجه عرض شمالی) انتخاب و دو دیسک به ضخامت ۵ سانتی‌متر در دو ارتفاع برابر سینه و سه متری تهیه گردید. سپس از دیسک‌های تهیه‌شده نمونه‌های آزمونی به ابعاد ۲×۲×۳ سانتی‌متر با دو تکرار به‌صورت متوالی از مغز به سمت پوست بریده و کدگذاری روی آن‌ها صورت گرفت (شکل ۱).



شکل ۱- الگوی برش نمونه‌های آزمونی و تعداد نمونه‌ها در ارتفاع برابر سینه درخت خرمندی

روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های بیومتری الیاف

برای اندازه‌گیری ابعاد الیاف چوب درخت خرمندی از روش فرانکلین استفاده شد [۱۲]. به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های بیومتری الیاف از مکعب‌های چوبی تراشه‌هایی با ابعاد ۱۰×۱۵ میلی‌متر در راستای مماسی با ضخامت ۲ میلی‌متر تهیه گردید. سپس تراشه‌ها در لوله‌های آزمایشگاهی حاوی محلول اسید استیک ۱۰۰٪ و آب اکسیژنه ۳۰٪ با نسبت ۱:۱ و به میزان دو برابر ارتفاع تراشه‌ها قرار گرفتند و کدگذاری لازم بر روی هر یک از لوله‌های آزمایشگاهی انجام شد. در مرحله بعد، نمونه‌ها برای وابری الیاف به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. نمونه‌ها پس از تغییر رنگ به رنگ سفید از آون خارج شدند و برای از بین رفتن بو و اثر محلول اسید استیک و آب اکسیژنه به دفعات ۵ الی ۶ بار توسط آب مقطر شستشو داده شدند. سپس نمونه‌ها وابری شدند و توسط محلول سافرانین ۱٪ رنگ آمیزی و روی لام‌های میکروسکوپی تثبیت گردیدند. از هر لام حداقل تعداد ۳۰ فیبر سالم و بدون هرگونه انحراف و شکستگی به‌صورت تصادفی اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های بیومتری الیاف از یک میکروسکوپ نوری مجهز به چشمی با عدسی مدرج استفاده گردید. برای اندازه‌گیری طول الیاف از عدسی شیئی ۱۰ xو برای اندازه‌گیری ضخامت دیواره سلولی، قطر حفره سلولی و قطر کلی سلول از عدسی شیئی 40x استفاده شد (شکل ۲).

اندازه‌گیری خواص فیزیکی

به‌منظور بررسی روند تغییرات دانسیته چوب درخت خرمندی از روش نمونه‌برداری صلیبی استفاده گردید. محورهای ارتوتروپیک و هندسی در نمونه‌ها کاملاً با یکدیگر منطبق بودند و نمونه‌ها از هر دیسک طبق استاندارد Iso-13061-2 با ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر با طول ۳ سانتی‌متر به‌صورت متوالی از مغز به سمت پوست تهیه گردیدند [۱۳]. برای تعیین دانسیته خشک و دانسیته بحرانی، نمونه‌ها به مدت یک هفته در آب غوطه‌ور شدند تا کاملاً اشباع شوند. در مرحله بعد، ابعاد و وزن نمونه‌ها در حالت اشباع به ترتیب با استفاده از یک میکرومتر با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و یک ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، نمونه‌ها در آون با دمای ۱۰۳±۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا زمانی که کاملاً خشک شوند و سپس وزن و ابعاد ثانویه آن‌ها اندازه‌گیری شد. دانسیته خشک از تقسیم وزن به حجم نمونه‌ها در حالت خشک و دانسیته بحرانی از تقسیم وزن خشک به حجم نمونه‌ها در حالت اشباع محاسبه گردید.

آماده‌سازی نمونه‌ها برای انجام مطالعات آناتومی چوب

ویژگی‌های آناتومی چوب درخت خرمندی به‌طور دقیق مطابق با لیست انجمن بین‌المللی آناتومیست جهان IAWA (International Association of Wood Anatomists) بررسی شدند [۱۴]. مکعب‌های چوبی با ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر به طول ۳ سانتی‌متر از ناحیه نزدیک به پوست تهیه گردیدند. سپس برای نرم کردن بافت چوب، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محلول الکل ۹۸ درصد، آب و گلیسیرین با نسبت حجمی ۱:۱:۳ غوطه‌ور شدند. سپس مقاطع میکروسکوپی در جهات سه‌گانه عرضی، مماسی و شعاعی با ضخامت تقریبی ۱۵ میکرون با استفاده از یک میکروتوم دستی (مدل GSL1) تهیه گردیدند. در مرحله بعد برای خارج کردن محتویات درون سلولی، مقاطع میکروسکوپی به مدت ۱۵ الی ۳۰ دقیقه در آب ژاول قرار گرفتند. پس از آن، مقاطع به‌منظور از بین رفتن بو و تأثیر آب ژاول به دفعات ۲ تا ۳ بار به وسیله آب مقطر شستشو داده شدند. در مرحله بعد، نمونه‌ها برای ۳ تا ۵ دقیقه با استفاده از محلول سافرانین-آسترابلو ۱٪ رنگ آمیزی شدند و برای حذف رنگ‌های اضافه در بافت سلولی، مقاطع به ترتیب با آب مقطر (یک بار)، الکل ۵۰ درصد (یک بار)، الکل ۹۶ درصد (۲ تا ۲ تا ۳ بار) و الکل مطلق (یک بار) شستشو داده شدند. برای الکل‌زدایی درنهایت، مقاطع میکروسکوپی در محلول گزیلل قرار گرفتند و در مرحله آخر، مقطع میکروسکوپی با استفاده از چسب کانادا بالزام روی لام‌های میکروسکوپی تثبیت شدند. به‌منظور مطالعه میکروسکوپی چوب نزدیک به پوست گونه خرمندی از یک میکروسکوپ نوری مجهز به چشمی مدرج استفاده شد [۱۵]. ویژگی‌های کمّی آناتومی چوب موجود در فهرست IAWA توسط نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری شدند.

آزمون‌های آماری

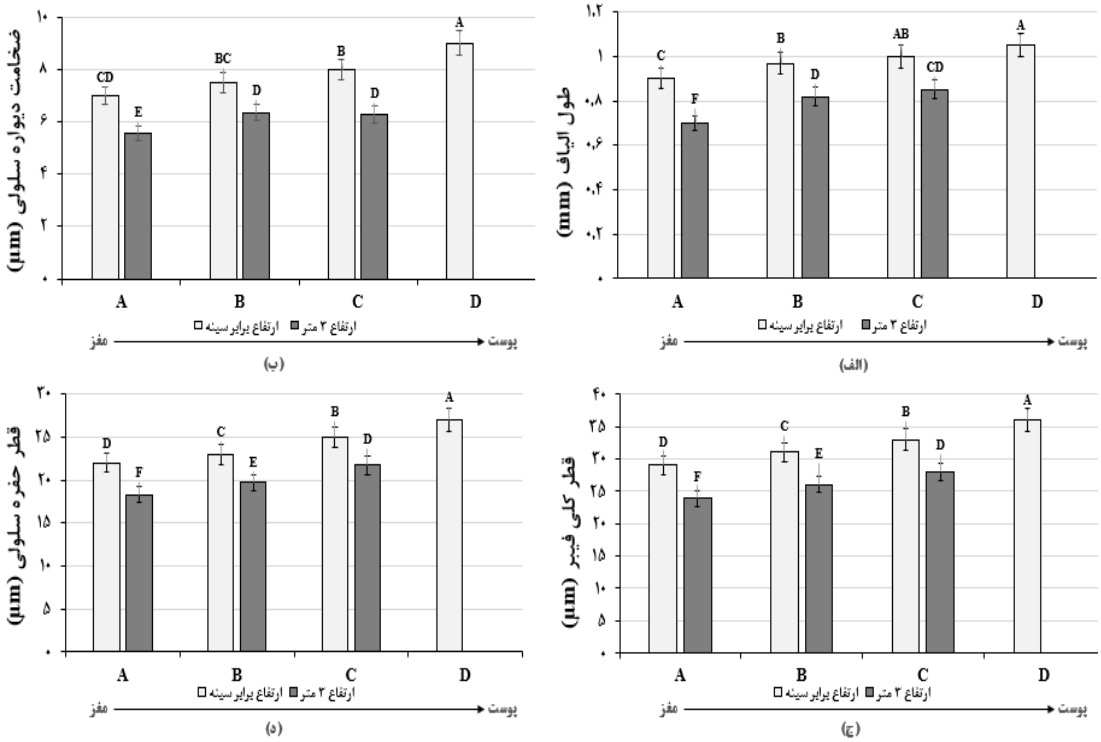
مقادیر حاصل از اندازه‌گیری ویژگی بیومتری الیاف از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه در قالب طرح کاملاً تصادفی از نرم‌افزار SPSS در سطح اعتماد ۹۹ و ۹۸ درصد استفاده شد، همچنین گروه‌بندی میانگین‌ها نیز با آزمون چند دامنه دانکن (DMRT) انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های بیومتری الیاف

تأثیر مستقل و متقابل جهت طولی و عرضی درخت بر روی خواص بیومتری (طول الیاف، قطر الیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی) در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. با افزایش ارتفاع درخت، میانگین طول الیاف کاهش‌یافته به‌طوری که بلندترین طول الیاف در ارتفاع قطر برابر سینه، در نمونه D (نزدیک پوست) به میانگین ۱/۰۵ میلی‌متر و کوتاه‌ترین طول الیاف در ارتفاع ۳ متر در محدوده مغز (A) برابر با ۰/۷ میلی‌متر بود. تغییرات طول الیاف از پوست درخت به سمت مغز در دو ارتفاع درخت یک‌روند نزولی بوده است (شکل ۲- الف). با افزایش ارتفاع درخت از ارتفاع قطر برابر سینه به سمت بالای درخت (ارتفاع ۳ متر) میانگین ضخامت دیواره سلولی فیبر کاهش‌یافته به‌طوری که بیشترین میانگین ضخامت دیواره سلولی در ارتفاع قطر برابر سینه در محدوده پوست (نمونه D) برابر با ۹ میکرون و کمترین میانگین ضخامت دیواره سلولی در ارتفاع ۳ متر، محدوده مغز (نمونه A) ۷ میکرون است. تغییرات ضخامت دیواره سلولی از پوست درخت به سمت مغز درخت یک‌روند کاهشی بوده است (شکل ۲- ب). با افزایش ارتفاع درخت از ارتفاع قطر برابر سینه به سمت بالای درخت (ارتفاع ۳ متر) میانگین قطر حفره سلولی کاهش‌یافته به‌طوری که بیشترین میانگین قطر حفره سلولی در ارتفاع قطر برابر سینه در محدوده پوست (نمونه D) برابر با ۲۷ میکرون و کمترین میانگین قطر حفره سلولی در ارتفاع ۳ متر، محدوده مغز (نمونه A) ۱۸/۳۴ میکرون است. تغییرات قطر حفره سلولی از مغز به سمت پوست یک‌روند صعودی بوده است (شکل ۲- ج). روند تغییرات قطر کلی فیبر در جهت عرضی درخت از پوست به سمت مغز در دو ارتفاع نزولی بود. بیشترین میانگین قطر الیاف در ارتفاع قطر برابر سینه در نمونه D برابر با ۳۶ میکرون و کمترین قطر کلی الیاف در ارتفاع ۳ متر در نمونه Aبرابر با ۲۳/۸۹ میکرون بود (شکل ۲-د). همچنین قطر الیاف در دو ارتفاع درخت اختلاف داشته است طوری که از قطر برابر سینه به سمت بالای درخت این شاخص کاهش یافت (شکل ۲-د). با توجه به نتایج حاصله می‌توان بیان کرد که هر چه از

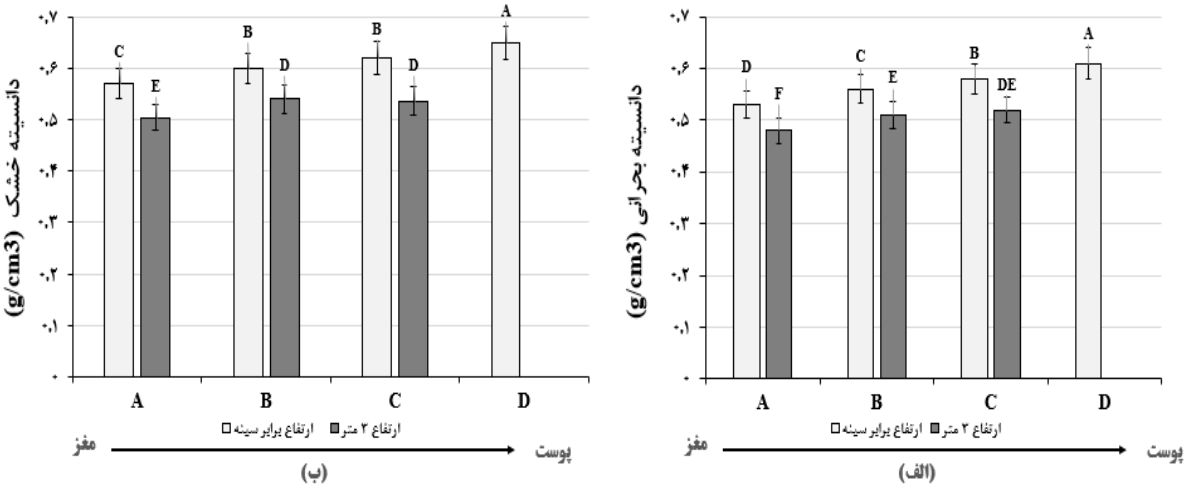
حلقه‌های اولیه درخت (مغز) به سمت حلقه‌های پایانی درخت خرمندی (پوست) حرکت کنیم ویژگی بیومتری از قبیل طول الیاف، قطر حفره سلولی، قطر کلی فیبر و ضخامت دیواره سلولی افزایش می‌یابد. میانگین داده‌های خواص بیومتری این تحقیق با چوب درخت گونه خرمندی منطقه نوشهر در یک سن برابر مقایسه شد و می‌توان به این صورت بیان کرد که چوب گونه خرمندی منطقه نوشهر از طول الیاف بلندتر، ضخامت دیواره سلولی و قطر کلی کمتر نسبت به چوب گونه خرمندی منطقه بهشهر برخوردار بود [۵]. ویژگی‌های بیومتری الیاف شامل طول الیاف، ضخامت دیواره سلولی، قطر حفره سلولی و قطر کلی الیاف تحت تأثیر محور طولی و عرضی درخت قرار دارد. به این صورت که با دور شدن از محدوده مغز و نزدیک شدن به محدوده پوست این ویژگی‌ها افزایش و از پایین درخت به سمت تاج درخت کاهش یافت. نتایج این بررسی با اندازه‌گیری انجام شده توسط Saeedi و Bahmani، (۲۰۱۵) مطابقت دارد [۱۷]. علت افزایش ابعاد الیاف از مغز به سمت پوست را می‌توان این‌گونه بیان کرد: از آنجایی که تولید سلول‌های مختلف در چوب نتیجه فعالیت تکثیری لایه کامبیوم می‌باشد، بنابراین کلیه ویژگی‌های بیومتری درخت به‌ویژه طول الیاف تحت تأثیر سن لایه کامبیوم قرار دارند به‌طوری که رابطه خطی بین طول الیاف و سن لایه کامبیوم برقرار است [۱۹،۱۸]. الیاف در محدوده نزدیک به مغز از طول، قطر حفره سلولی، ضخامت دیواره سلولی و قطر کلی سلول کمتری در مقایسه با محدوده نزدیک به پوست برخوردار هستند. بافت چوبی که در سنین اولیه فعالیت لایه کامبیوم تولید می‌شود متأثر از جوان بودن سلول کامبیوم است اما باگذشت زمان و افزایش سن درخت، سلول‌های کامبیوم تکامل یافته و سلول‌هایی که تولید می‌کنند ابعاد بزرگ‌تری پیدا می‌کنند. درنتیجه در محدوده نزدیک به پوست که شامل چوب بالغ‌تری است، طول الیاف، قطر حفره سلولی، ضخامت دیواره سلولی و قطر کلی سلول فیبر ابعاد بزرگ‌تری دارند. به‌عبارت‌دیگر این موضوع به فعالیت لایه کامبیوم در محدوده جوان چوب و بالغ چوب مربوط می‌شود. این بررسی با اندازه‌گیری انجام شده توسط Efhamisisi و Saraeyan، (۲۰۰۹) مطابقت دارد [۱۶].



شکل ۲- تغییرات طول الیاف (الف)، ضخامت دیواره سلولی (ب)، قطر حفره سلولی (ج) و قطر کلی فیبر (د) درخت خرمندی در محور طولی و عرضی

ویژگی‌های فیزیکی

تأثیر مستقل و متقابل جهت طولی و عرضی درخت بر روی دانسیته (خشک و بحرانی) در سطح ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد. با افزایش ارتفاع از قطر برابر سینه به سمت تاج درخت، دانسیته خشک و دانسیته بحرانی کاهش‌یافته به‌طوری که بیشترین دانسیته خشک و بحرانی در قسمت قطر برابر سینه درخت در محدود پوست (نمونه A) به ترتیب برابر با ۰/۶۵۵ و ۰/۶۱۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده است و کمترین دانسیته خشک و بحرانی در ارتفاع ۳ متر، نزدیک به مغز (نمونه C) به ترتیب برابر ۰/۵۰۴ و ۰/۴۸۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب مشاهده شده است (شکل ۳- الف، ب). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود روند تغییرات دانسیته از مغز به سمت پوست صعودی بوده است. ویژگی فیزیکی چوب از قبیل دانسیته بحرانی و دانسیته خشک در جهت شعاعی درخت از مغز به سمت پوست افزایش یافته است. عامل اصلی که سبب شده دانسیته در قسمت پوست نسبت به محدوده مغز بیشتر باشد به وجود چوب جوان با دیواره سلولی نازک در قسمت مغز که از دانسیته کمتری برخوردار است دلالت داد. ولی در نقطه مقابل در محدود پوست به دلیل وجود الیاف با دیواره ضخیم‌تر، سبب افزایش دانسیته در محدوده پوست می‌گردد. همچنین دانسیته خشک و بحرانی در طول درخت از قطر برابر سینه به سمت بالای درخت یک‌روند نزولی دارد که دلیل این امر را می‌توان به حجم قالب چوب جوان در قسمت تاج درخت نسبت داد [۵].



شکل ۳- تغییرات دانسیته بحرانی (الف) و دانسیته خشک (ب) درخت خرمندی در راستای عرضی و طولی درخت خرمندی

ویژگی‌های آناتومی چوب

در جدول ۱ ویژگی‌های آناتومی چوب نزدیک پوست گونه خرمندی مطابق با فهرست ویژگی‌های میکروسکوپی انجمن بین‌المللی آناتومیست‌های جهان (IAWA) تنظیم شد. مطالعه ویژگی‌های آناتومی چوب نزدیک به پوست درخت خرمندی بیانگر آن بود که این گونه جزء پهن برگان نیمه بخش روزنه‌ای بوده و مرز حلقه‌های رویشی به‌واسطه حضور فیبرهای مستطیلی با دیواره ضخیم در انتهای حلقه رویشی تا حدی مشخص است. بااین‌حال، در برخی حلقه‌های این مرز نامشخص است. اندازه حفرات آوندی کوچک و در چوب تابستانه ریزتر است. چوب فاقد تیل می‌باشد. گروه‌بندی آوندی خاصی دیده نشد؛ چیدمان آوند به‌صورت منفرد پراکنده بوده و همچنین این گونه دارای پارانشیم‌های آوندگرای دور آوندی، پراکنده گروهی و مشبک است (شکل ۴). ویژگی‌های آناتومی این چوب با ویژگی‌های گزارش شده توسط Parsapjoh و همکاران، (۲۰۱۳) مطابقت دارد [۱۱]. بر اساس لیست انجمن بین‌المللی آناتومیست‌های جهان فیبرها از نظر طولی به سه بخش: فیبرهای کوتاه با طول کمتر از ۹۰۰ میکرون، فیبرهای متوسط با طول ۹۰۰ تا ۱۶۰۰ میکرون و فیبرهای بلند با طول بیش از ۱۶۰۰ میکرون دسته‌بندی می‌شوند. الیاف چوب درخت خرمندی موردبررسی در این

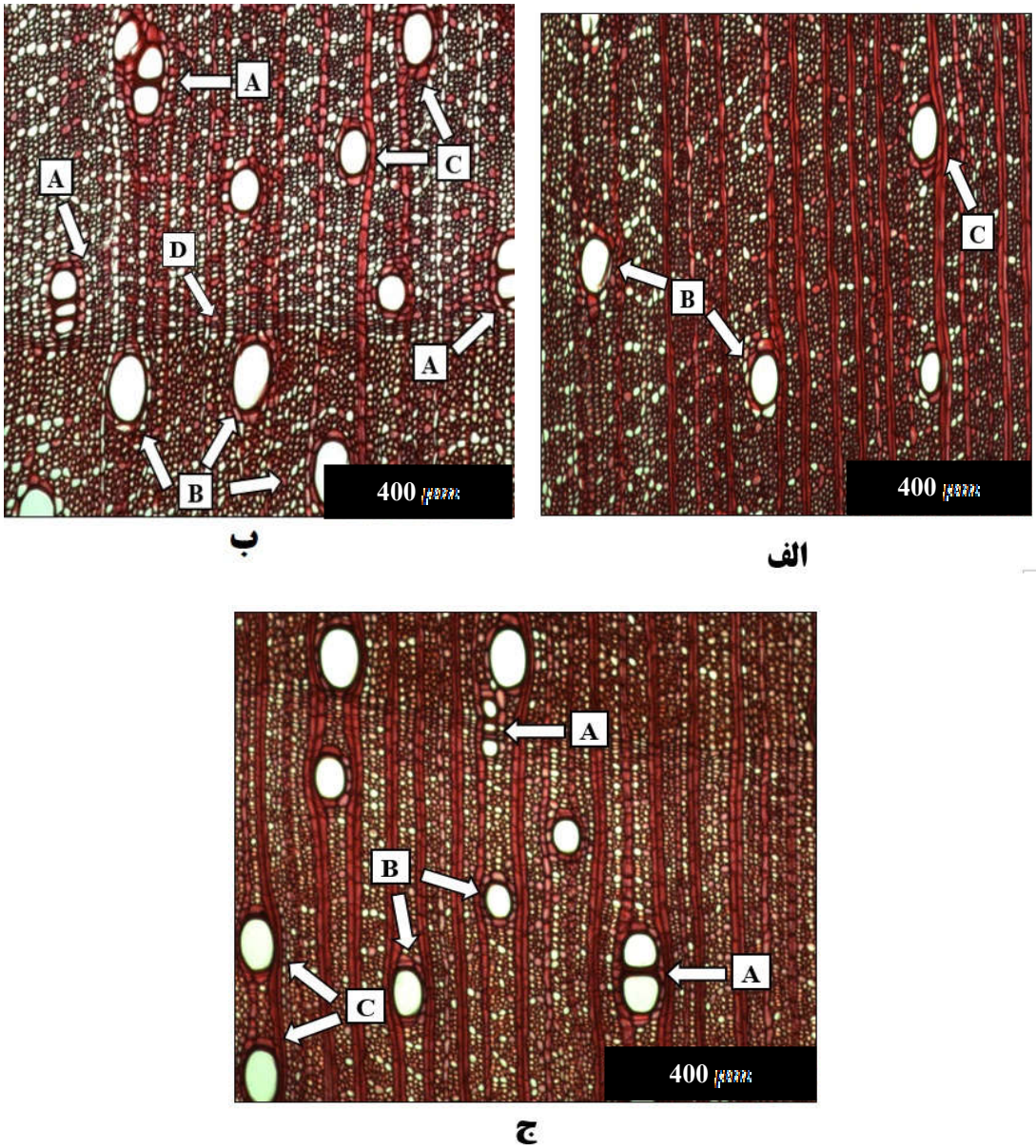
تحقیق در محدوده چوب بالغ جزء فیبرهایی با طول متوسط محسوب می‌شود. این موضوع به اهمیت توجه به حجم چوب جوان و بالغ در درختان اشاره دارد؛ زیرا طول فیبر یکی از مشخصه‌های مهم برای کارخانه‌های صنایع چوب به خصوص کارخانه‌های کاغذسازی می‌باشد و همبستگی بسیار نزدیکی با راندمان کارخانه‌های خواهد داشت.

در یک مقام مقایسه برابر، چوب گونه خرمندی منطقه نوشهر نسبت به منطقه بهشهر از دانسیته کمتری برخوردار بود که می‌توان به ضخامت دیواره سلولی بیشتر گونه خرمندی منطقه بهشهر دلالت داد. مطالعات ویژگی‌های میکروسکوپی چوب درخت خرمندی (کلهو) بیانگر این است که این گونه جزء چوب‌های پهن برگان نیمه بخش روزنه‌ای، مرز حلقه‌های رویشی به واسطه حضور فیبرهای مستطیلی با دیواره ضخیم در انتهای حلقه رویشی تا حدی مشخص است؛ گاهی نامشخص است و فاقد تیل، گروه‌بندی آوند به‌صورت شعاعی، دارای سلول اشعه ناهمگن و خیلی ناهمگن، منافذ بین دیواره آوند به‌صورت چند ضلعی و متناوب، بافت فیبری از فیبر تراکئید و به ندرت از فیبر لیبری فرم، اشعه چوبی تک سلولی دو سلولی و گاه سه سلولی و دارای فیبر تقسیم‌نشده می‌باشد. با توجه به دانسیته اندازه‌گیری شده در این تحقیق، این گونه چوبی کاربرد مناسب در صنعت تخته خرده چوب دارد ولی نگارندگان پیشنهاد می‌دهند به دلیل نقوش زیبا این چوب در صنایع‌دستی شمال کشور استفاده گردد.

جدول ۱- ویژگی‌های آناتومی و شماره ویژگی چوب بالغ (نزدیک پوست) خرمندی بر اساس لیست انجمن بین‌المللی آناتومیست‌های چوب جهان (IAWA)

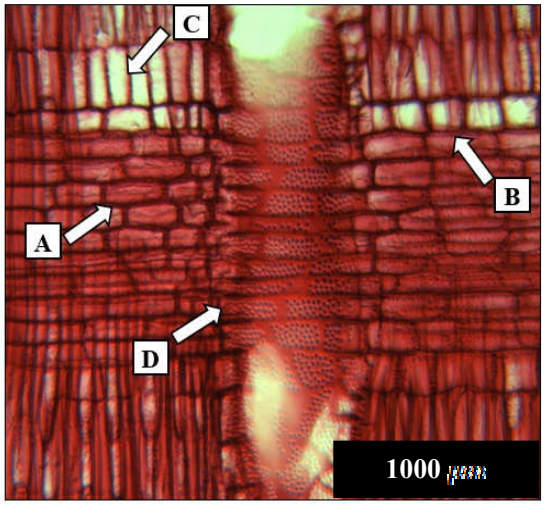
شماره ویژگی	شرح ویژگی	توضیحات
۱	مرز حلقه‌های رویشی مشخص	مرز حلقه‌های رویشی به‌واسطه حضور فیبرهای مستطیلی با دیواره ضخیم در انتهای حلقه رویشی تا حدی مشخص است؛ گاهی نامشخص است
۴	چوب نیمه بخش روزنه‌ای	در برخی حلقه‌ها، اندازه آوندها به تدریج کاهش می‌یابد
۵	چوب پرآکنده آوند	
۷	الگوی شعاعی	
۹	آوندها غالباً منفرد (٪۹۰ یا بیشتر)	
۱۳	دریچه آوندی ساده	
۲۲	منافذ بین آوندی متناوب	منافذ بین آوندی بسیار انبوه و فشرده روی دیواره آوند
۲۳	شکل منافذ بین آوندی چند گوش	
۲۴	منافذ بین آوندی ریز (کوچک‌تر از ۴ میکرون)	
۳۰	منافذ بین آوند و اشعه با هاله مشخص: مشابه منافذ بین آوندی	
۴۲	میانگین قطر مماسی آوندها بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون	
۴۷	تعداد آوند در هر میلی‌متر مربع: ۲ تا ۲۰ عدد	
۵۳	میانگین طول عناصر آوندی: بین ۳۵۰ تا ۸۰۰ میکرون	
۶۱	فیبرها با منافذ ساده یا هاله‌ای بسیار کوچک	
۶۶	فیبرهای تقسیم‌نشده حضور دارند	
۶۹	فیبرها با دیواره نازک تا ضخیم	
۷۰	فیبرها با دیواره بسیار ضخیم	
۷۲	طول فیبرها ۹۰۰ تا ۱۶۰۰ میکرون	
۷۷	پارانشیم‌های محوری پرآکنده گروهی	
۷۹	پارانشیم‌های محوری گرد آوندی	
۸۷	پارانشیم‌های محوری مشبک	

۹۲	چهار (۴-۳) سلول در هر رشته پارانشیم	
۹۷	پهنای اشعه‌ها یک تا سه سلول	عمدتاً دو ردیف
۱۰۶	سلول‌های بدنه اشعه خوابیده با یک ردیف سلول مربعی / ایستاده در اطراف	
۱۰۷	سلول‌های بدنه اشعه خوابیده با دو تا چهار ردیف سلول مربعی / ایستاده در اطراف	
۱۱۶	تعداد اشعه در هر میلی‌متر بیش از ۱۲ عدد	
۱۱۸	تمام اشعه‌ها مطبق	
۱۲۰	پارانشیم‌های محوری مطبق	

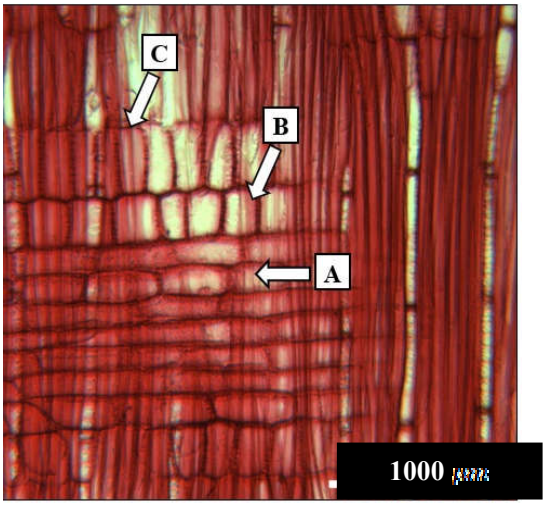


شکل ۴- سطح مقطع عرضی گونه خرمندی، الف، ب و ج. گروه‌بندی آوند به‌صورت شعاعی (مکان‌نما A)، چیدمان آوند به‌صورت منفرد پراکنده (مکان‌نما B)، سلول‌های پارانشیم‌های دور آوندی پاراتراشال (مکان‌نما C) فیبرهای مستطیلی با دیواره ضخیم (مکان‌نما D).

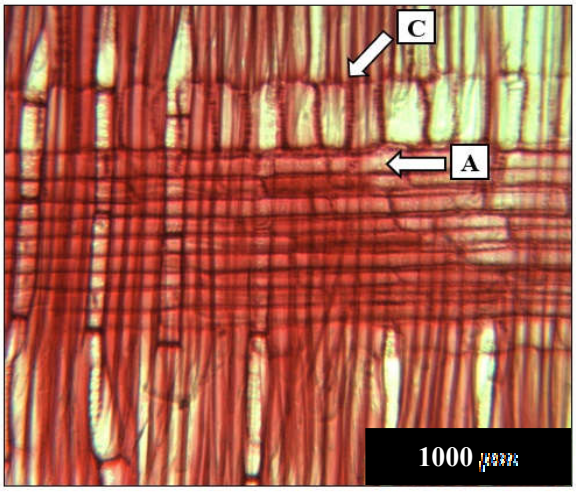
بررسی‌های آناتومی مقطع شعاعی درخت خرمندی نشان داد که این گونه دارای اشعه ناهمگن و خیلی ناهمگن، با یک تا چهار ردیف سلول مستطیل شکل ایستاده یا مربعی در حاشیه‌های اشعه است. دریچه آوندی ساده و فاقد ضخامت مارپیچ بوده و منافذ بین آوندی به‌صورت چند ضلعی و متناوب می‌باشد. بافت فیبری عمدتاً از فیبر لیبری فرم تشکیل یافته است. (شکل ۵).



الف



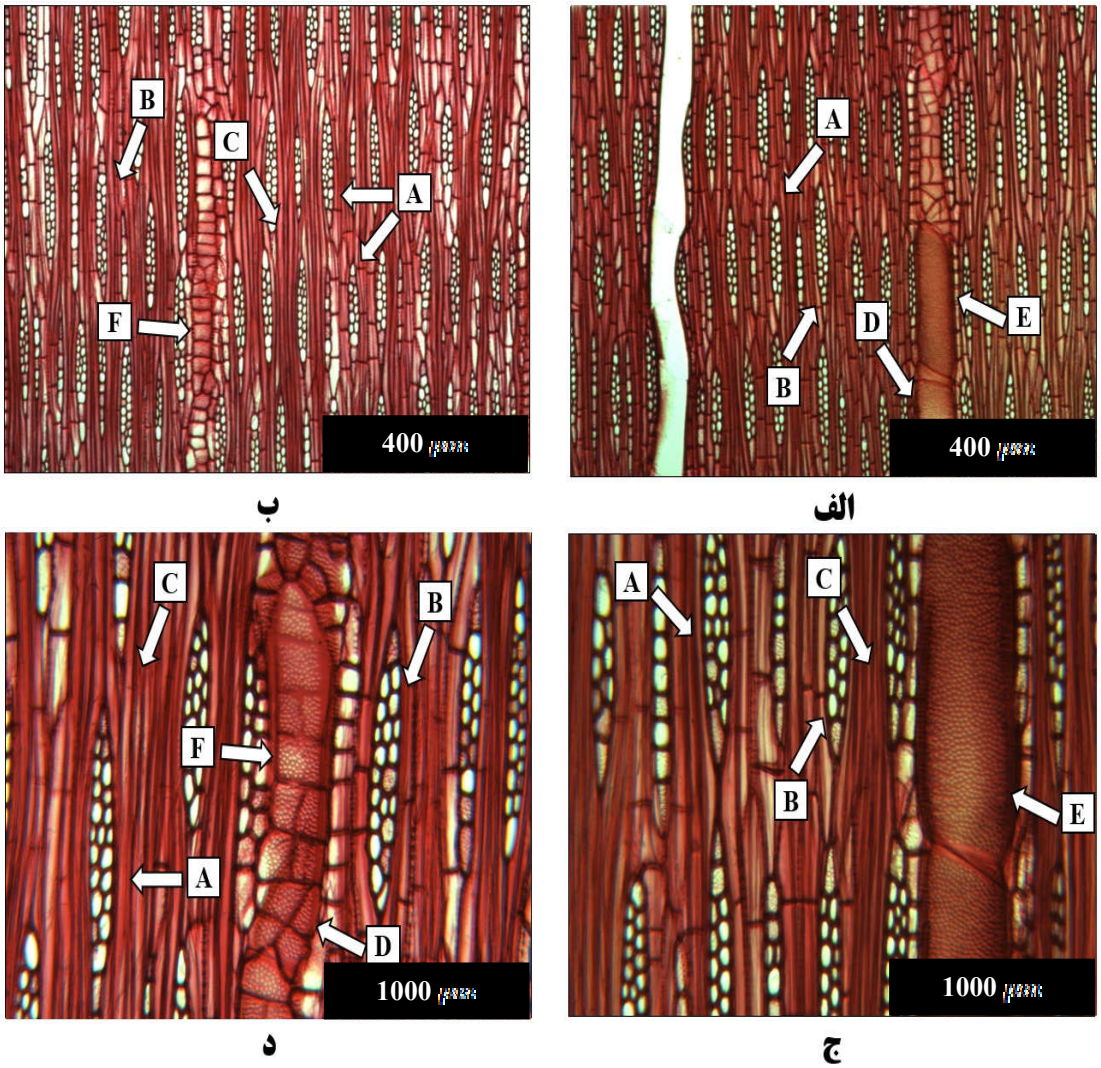
ب



ج

شکل ۵- سطح مقطع شعاعی گونه خرمندی، الف، ب و ج. سلول اشعه مستطیل شکل خوابیده (مکان‌نما A)، کم بیش مربعی شکل (مکان‌نما B)، مستطیل شکل ایستاده (مکان‌نما C)، منافذ بین دیواره آوند به‌صورت چندضلعی و متناوب (مکان‌نما D).

بررسی‌های میکروسکوپی مقطع مماسی درخت خرمندی مشخص کرد که این گونه دارای اشعه چوبی تک سلولی، دو سلولی و گاه سه سلولی است. این گونه فیبر تقسیم‌نشده داشته و منافذ بر روی دیواره آوند به‌صورت متناوب می‌باشد (شکل ۶). گاهی اشعه چوبی چند سلولی در بخشی از ارتفاع خود تک سلولی بوده و دارای سلول‌های درشت حاشیه‌ای می‌باشند که در حاشیه نوک‌تیز هستند [۱۰]. تمام اشعه‌ها و پارانشیم‌های محوری، مطبق‌اند.



شکل ۶- سطح مقطع مماسی گونه خرمندی، الف، ب، ج و د. اشعه چوبی ۲ سلولی (مکان‌نما A)، میانگین طول اشعه چوبی، ۱۰ سلول (مکان‌نما B)، فیبر تقسیم‌نشده (مکان‌نما C)، منافذ بر روی دیواره آوند به‌صورت متناوب (مکان‌نما D)، حفرات آوندی تابستانه (مکان‌نما E)، حفرات آوندی بهاره (مکان‌نما F).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی ویژگی‌های فیزیکی، بیومتریک و آناتومی چوب گونه خرمندی (Diospyros Lotus) در جنگل‌های البرز پرداخته است. نتایج نشان داد که دانسیته خشک و بحرانی چوب از مغز به سمت پوست افزایش می‌یابد، اما در راستای طولی از ارتفاع برابر سینه به سمت تاج کاهش می‌یابد. این الگو برای ویژگی‌های بیومتری نیز مشاهده شد، به‌طوری که طول الیاف، قطر کلی الیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی از مغز به سمت پوست افزایش و از پایین درخت به سمت تاج کاهش یافتند. این تغییرات را می‌توان به افزایش سن لایه کامبیوم و تغییرات ساختاری سلول‌های چوبی در طول رشد درخت نسبت داد.

چوب خرمندی به دلیل دانسیته بالا، ضخامت مناسب دیواره سلولی و استحکام مطلوب، پتانسیل مناسبی برای صنایع چوبی دارد. الگوی توزیع آوندها و نحوه استقرار اشعه چوبی نشان می‌دهد که این چوب دارای پتانسیل مناسبی برای تولید تخته‌های فشرده و مصنوعات چوبی با استحکام بالا است. با این حال، تأثیر این ویژگی‌ها بر فرآوری چوب و کاربردهای خاص نیازمند بررسی‌های

تکمیلی است. نتایج این تحقیق می‌تواند به شناسایی کاربردهای صنعتی و دستی چوب خرمندی کمک کند و در توسعه صنایع چوبی پایدار در ایران مؤثر باشد.

نتایج این پژوهش با یافته‌های سایر تحقیقات بر روی گونه‌های مختلف درختان مطابقت دارد. به‌طور مثال، تغییرات مشابهی در ابعاد الیاف و دانسیته چوب در گونه‌های دیگر نیز گزارش شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که چوب خرمندی از نظر ویژگی‌های بیومتریک و فیزیکی با سایر گونه‌های درختی قابل مقایسه است و می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین مناسب در صنایع چوبی مورد استفاده قرار گیرد.

برای بهره‌برداری بهینه از چوب خرمندی، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتری در زمینه تأثیر شرایط محیطی بر ویژگی‌های چوب انجام شود. همچنین، بررسی‌های تکمیلی در مورد فرآوری و کاربردهای خاص این چوب می‌تواند به توسعه صنایع چوبی پایدار در ایران کمک کند. با توجه به اهمیت استفاده از منابع بومی در توسعه پایدار، این تحقیق می‌تواند به عنوان یک پایه برای تحقیقات بیشتر در این زمینه باشد.

استفاده از پرکننده‌های معدنی به جای الیاف سلولزی به عنوان رویکردی رایج برای کاهش هزینه‌ها و انرژی مصرفی در فرآیند کاغذسازی مورد توجه قرار گرفته است. متداول‌ترین پرکننده‌های معدنی مورد استفاده در کاغذسازی، شامل خاک رس، تالک، کربنات‌کلسیم ($CaCO_3$) می‌باشد که قبل از بخش هدباکس در یک فرآیند کاغذسازی معمولی اضافه می‌شوند. استفاده از پرکننده‌ها، ویژگی‌های عملکردی خاصی را مانند ثبات ابعاد، کارایی پراکندگی نور، چاپ‌پذیری به کاغذ می‌بخشد [۵، ۶، ۷ و ۸]. PCC[1] پرکاربردترین پرکننده برای کاغذ می‌باشد که به عنوان یک ماده ایمن، سازگار با محیط-زیست و آب‌دوست در نظر گرفته می‌شود [۹]. باتوجه‌به آب‌دوست‌بودن PCC، در این تحقیق به‌منظور اثربخشی بیش‌تر این پرکننده، از اسیداستئاریک (SA[2]) به‌منظور پوشش‌دهی، کاهش انرژی‌سطحی و آب‌گریزکردن سطح این ماده استفاده خواهد شد.

[1] precipitated calcium carbonate
[2] stearic acid

منابع

[1] Hasanpour, Tichi. A., Rezanjad, Diokalai. M., Alizadeh, R. & Brari, A. R. (2020). "Investigating some anatomical and biometric properties of sycamore (Platanus sycamore) fibers in the longitudinal and transverse axes of the stem in Mazandaran province." Renewable Natural Resources Research, 10(2): 39-48 (In Persian)

[2] Kochanová, Z., Ražná, K., Zuriaga, E., Badenes, M., & Brindza, J. (2012). "Sodium Azide Induced Morphological and Molecular Changes in Persimmon (L.)." Agriculture (Pol'nohospodárstvo), 58(2): 57-64

[3] Samakosh, G., Tahereh, T. S. A., Hakimi, M., & Mohammad, H. (2016). "The study of inter- and intra-population diversity of Kharmandi (Diospyros lotus L.) by evaluating leaf traits (Case study: East Babol Bandpi)." Ecological Journal of Plant Ecosystem, 4(9): 165-180 (In Persian)

[4] Mowat, A. D., Collins, R. J., & George, A. P. (1993). "Cultivation of persimmon (Diospyros kaki L.) under tropical conditions." In IV International Symposium on Growing Temperate Zone Fruits in the Tropics and in the Subtropics, 409: pp 141-150

[5] Kiaei, M. & Bakhshi, R. (2014). "Short communication. Radial variations of wood different properties in Diospyros lotus." Forest Systems, 23(1): 171-177

[6] Mahdavi, S., Hosseinzadeh, A., Habibi, M.R., & Familyyan, H. (1993). "Investigating the correlation of fiber dimensions and specific mass with the growth rate and age in Ecapitus wood." Scientificc-research quarterly of Iranian wood and paper science research, 19(1): 69-98 (In Persian)

[7] Hosseini, S.Z., & Naqdi, R. (1993). "Investigation of young wood and fiber length changes in maple pellets." Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 11(2): 7-15 (In Persian)

[8] Hasanpour, Tichi., A. Vothoqi, Z., & Yousefi, Kerchaei. K. (2017). "Investigation of the anatomical and biometrical properties of wood close to the brain and close to the bark of the Shab Khasb tree (Albizia julibrissin)." Proceedings of the Second National Conference on Knowledge and Innovation in the Wood and Paper Industry, Karaj, Iran. (In Persian)

[9] Nasrati, B., Haq Panah, M., Masoudi Far, M., & Darshkar, A. (2014). "Comparison of the microscopic properties of wood close to the pith and bark of Shisham in Shush Daniyal." Scientific-Research Quarterly of Iran Wood and Paper Science Research, 30(3): 361-351 (In Persian)

[10] Dehmarde, Q. M. (2017). "Investigating the biometric, physical, chemical and mechanical properties of eucalyptus wood in Sistan region." Journal of Wood and Forest Science and Technology Research, 18(3):157-170 (In Persian)

[11] Parsapjoh, D., Schweingruber, F.H., & Lenz, A. (2013). "Wood atlas of northern Iran: microscopic analysis and diagnosis of important species." Tehran University Publications, 136 pp (In Persian)

[12] Franklin, G. L. (1946). "A rapid method for softening wood for microtome sectioning." Cabidigitallibrary, 88 pp 35-36

[13] ISO. (2014). "Physical and mechanical properties of wood-Test methods for small clear wood specimens-Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests." ISO 13061-2. International Organization for Standardization Geneva, Switzerland

[14] Wheeler, E., Baas, P., & Gasson, P. (1989). "IAWA List of Microcopie Features for Hardwood Identification." International Association of Wood Anatomists (IAWA), 10(3): 219–332

[15] Gruber, L., & Schweinager, F., 2003. "Atlas of Woods of Northern Iran: Microscopic description and diagnosis of important species (D. Parsapjooh, Trans.)." Institute of Printing and Publishing, University of Tehran

[16] Efhamisisi, D., & Saraeyan, A.R. (2009). "Evaluation of anatomical and physical properties of juvenile/mature wood of Populus alba and Populus × euramericana." Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 24(1): 134-147. (In Persian)

[17] Saeedi, S., & Bahmani, M. (2015). "Biometric and physical properties of Iranian oak wood in central Zagros forests." Forest Resources Planning, 1(2):75-70 (In Persian)

[18] Zobel, B., & Van Buijtenen, B. (1989). "Wood Variation: Its Causes and Control." Springer Verlag, New York, p 363

[19] Zobel, B., & Sprague, J. (1998). "Juvenile wood in trees." Springer-Verlag, New York, p 300