



Comparative Study of Cross-Sectional Wood Anatomy in *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata*

Faranak Zahedinour¹, Hossein Moradi^{2*}, Kimia Ahmadi³

1- Master of Science in Environmental Science and Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Isfahan, Iran

2- Corresponding authors, Associate Professor of department of Environmental Sciences and engineering, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Tehran, Iran email: hs.moradi@ut.ac.ir

3- Master of Science in Environmental Science and Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Isfahan, Iran

Received: August 2025

Accepted: October 2025

Abstract

Problem definition and objectives: Understanding the anatomical characteristics of wood in plant species, especially trees, is considered one of the most fundamental steps in plant sciences and ecology. Plant anatomy not only reveals the internal structure and the organization of different tissues, but also reflects their biological functions and adaptations to environmental factors and climatic changes [1, 2, 3]. Mangrove forests in southern Iran are of great economic, social, and ecological importance; however, human pressures and climate change pose a serious threat to the sustainability and functioning of these habitats [4]. In fact, comprehensive knowledge of the wood anatomy of plant species provides the necessary scientific basis for a better understanding of their growth patterns, development, and physiological responses to environmental stresses [5, 6]. Since the wood structure of trees, particularly the vessels and tissues associated with water transport, is directly influenced by environmental conditions such as salinity, temperature, and drought, examining these structures can contribute to identifying the impacts of climatic and human-induced changes at the ecosystem level [3, 7]. Given the limited knowledge of mangrove forests in southern Iran and the increasing pressures they face from climate change and anthropogenic activities, understanding their anatomical features is of vital importance. In this study, we provide anatomical insights into two mangrove species, *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata*, with an evaluation of vessel parameters in *R. mucronata*. We aimed to compare their wood anatomical characteristics and to suggest if they have potential for future dendrochronological studies.

Methodology: Sampling from both species was carried out in natural and planted stands of selected sites. From each tree, a disk was taken from the stem section, and after preliminary preparation, radial sections were made. The sections were stained appropriately and microscopic slides were prepared for observation. Microscopic examinations were performed using a light microscope, and the obtained images were used for measurement and data recording. In this study, indices such as vessel diameter, vessel density, vessel area and vessel coverage were evaluated. The data were extracted and analyzed both quantitatively and qualitatively for comparison of the wood anatomy of both species.

Results: In *Rhizophora mucronata*, annual growth rings were clearly observable, but the boundaries of these rings were indistinct due to the gradual changes in vessel density, which followed a relatively regular pattern. Scalariform perforation plates and tyloses were observed inside the vessels. Regarding microscopic examinations in *Avicennia marina*, successive cambium was shown as the cambial bands may develop as single bands or are divided into two bands which means that those layers that are not entirely circular—being closed on both sides in certain cases, while others remain open on one side and appear incomplete. This phenomenon causes the heterogeneous pattern of growth layers on the disc surface; Growth layers and their boundaries were distinctly observable; however, annual growth rings were not distinguishable. In *A. marina* samples, vessel distribution was relatively irregular, tylosis formation and scalariform perforation plates were not recorded.

Conclusion: The findings of this study demonstrated that the two examined species exhibit considerable differences in wood anatomical features, which affect their potential in dendrochronological studies as well as their adaptability to environmental conditions. *R. mucronata*, with its regular growth rings and its high vessel density, shows greater potential for use in dendrochronology and the analysis of annual variations. In contrast, *A. marina*, with its irregular growth patterns, more strongly reflects strategies of adaptation to stressful and variable environments. These results can serve as a basis for further research in the field of ecology and the sustainable management of mangrove forests.

Keywords: *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, wood anatomy, vessel features

مقایسه آناتومی چوب در مقطع عرضی درختان حرا و چنند

فرانک زاهدی نور^۱، حسین مرادی^{۲*}، کیمیا احمدی^۳

۱- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، اصفهان، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: hs.moradi@ut.ac.ir

۳- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۴

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۴

چکیده

بیان مساله و اهداف: درک ویژگی‌های آناتومی چوب گونه‌های گیاهی، به‌ویژه درختان، یکی از پایه‌ای‌ترین گام‌ها در علوم گیاهی و بوم‌شناسی به شمار می‌رود. آناتومی گیاهان نه‌تنها ساختار درونی و چگونگی سازمان‌یافتگی بافت‌های مختلف را آشکار می‌سازد، بلکه بازتاب‌دهنده‌ی عملکردهای زیستی و سازگاری‌های آن‌ها در برابر عوامل محیطی و تغییرات اقلیمی نیز می‌باشد [۱، ۲، ۳]. جنگل‌های مانگرو در جنوب ایران، از نظر اقتصادی و اجتماعی و اکولوژیک از اهمیت بالایی برخوردارند، با این حال، فشارهای انسانی و تغییرات اقلیمی تهدیدی جدی برای پایداری و کارکرد این زیستگاه‌ها محسوب می‌شود [۴]. در واقع، شناخت دقیق آناتومی چوب گونه‌های گیاهی، بستر علمی لازم برای درک بهتر از الگوهای رشد، توسعه، و پاسخ‌های فیزیولوژیکی آن‌ها به فشارهای محیطی را فراهم می‌آورد [۵، ۶]. از آنجایی که ساختار چوب درختان، به‌ویژه آوندها و بافت‌های مرتبط با انتقال آب، مستقیماً تحت تأثیر شرایط محیطی همچون شوری، دما و خشکی قرار می‌گیرد، بررسی این ساختارها می‌تواند به شناسایی آثار تغییرات اقلیمی و انسانی در سطح اکوسیستم کمک کند [۳، ۷]. با توجه به محدودیت دانش موجود درباره‌ی جنگل‌های مانگرو در جنوب ایران و فشارهای فزاینده‌ای که این جنگل‌ها از تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی متحمل می‌شوند، درک ویژگی‌های آناتومیکی آن‌ها از اهمیت حیاتی برخوردار است. در این پژوهش، ما به بررسی آناتومی دو گونه مانگرو، حرا و چنند، و پارامترهای آوندی در گونه‌ی چنند پرداخته‌ایم. هدف ما مقایسه‌ی ویژگی‌های آناتومیکی چوب این دو گونه و ارزیابی امکان بهره‌گیری از آن‌ها در مطالعات گاه‌شناسی درختی در آینده بود.

مواد و روشها: نمونه‌برداری از هر دو گونه در رویشگاه‌های طبیعی و دست‌کاشت مناطق منتخب انجام شد. از هر پایه یک دیسک از بخش ساقه برداشت گردید و پس از آماده‌سازی اولیه، برش‌های شعاعی تهیه شد. مقاطع با رنگ‌آمیزی مناسب و تثبیت در لام‌های آزمایشگاهی آماده مشاهده گردیدند. بررسی‌های میکروسکوپی با استفاده از میکروسکوپ نوری انجام شد و تصاویر به‌دست‌آمده برای اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها به کار رفت. در این بررسی، شاخص‌هایی شامل قطر آوندها، تراکم آوندی، دریچه‌های آوندی، پدیده‌ی تشکیل تیل، وجود یا عدم وجود حلقه‌های رشد و وضعیت فعالیت کامبیوم مورد سنجش قرار گرفت. داده‌ها به‌صورت کمی و کیفی استخراج و تحلیل شدند.

نتایج: در نمونه‌های چنند، حلقه‌های رشد سالیانه به‌وضوح قابل مشاهده بود و مرز این حلقه‌ها به‌وسیله تغییرات در تراکم آوندها تعیین می‌شد که الگوی نسبتاً منظمی داشت. دریچه‌های آوندی عمدتاً از نوع نردبانی شکل مشاهده شد. از نظر ویژگی‌های خاص، پدیده تشکیل تیل در آوندهای چنند به‌وضوح شناسایی شد. در نمونه‌های حرا، نوارهای متحدالمرکزی حاوی کامبیوم چسبیده به بافت آبکش نیز مشاهده شد ولی حلقه‌های رشد سالیانه قابل تشخیص نبود و فعالیت کامبیوم به‌صورت غیرهم‌زمان و با الگوهای ناهمگن انجام می‌شد. در نمونه‌های حرا، آوندها پراکنش نسبتاً نامنظمی داشتند و وقوع پدیده‌ی تیلی شدن ثبت نشد، آوندها عمدتاً باز و فاقد انسداد پارانشیمی بودند. بررسی‌های میکروسکوپی نیز نشان داد که نوارهای کامبیوم می‌توانند به صورت تک‌نوری توسعه و یا دو شاخه شوند. این موضوع باعث می‌شود لایه‌های رشد در سطح دیسک ظاهری نامنظم داشته باشند به این صورت که لایه‌هایی که به صورت

کاملاً حلقوی نیستند، در برخی موارد از هر دو سمت بسته‌اند ولی بعضی دیگر ممکن است از یک سمت باز باشند و کامل نشده به نظر برسند.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش نشان داد که دو گونه مورد بررسی از نظر ویژگی‌های آناتومی چوب تفاوت‌های قابل توجهی دارند که بر پتانسیل آن‌ها در مطالعات گاهشناسی و نیز بر سازگاری آن‌ها با شرایط محیطی اثرگذار است. در واقع، گونه چنل با داشتن حلقه‌های رشد منظم، تراکم آوندی بالا، پتانسیل بالاتری برای استفاده در مطالعات گاهشناسی و تحلیل تغییرات سالانه دارد. در مقابل، گونه حرا با الگوی رشد نامنظم و تراکم آوندی کمتر، بیشتر منعکس‌کننده راهبردهای سازگاری با محیط‌های پرتنش و متغیر است. این نتایج می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تحقیقات بیشتر در حوزه اکولوژی و مدیریت پایدار جنگل‌های مانگرو به کار رود.

واژه‌های کلیدی: گونه حرا، گونه چنل، آناتومی چوب، ویژگی‌های آوندی.

مقدمه

بررسی آناتومی گونه‌های گیاهی، به‌ویژه درختان، نقشی اساسی در پیشبرد دانش گیاه‌شناسی و بوم‌شناسی دارد. آناتومی چوب گیاهان علاوه بر آشکارسازی آرایش درونی و نحوه‌ی کناره‌نشینی بافت‌ها، بیانگر کارکردهای زیستی و توان سازگاری آن‌ها در برابر تغییرات محیطی و اقلیمی نیز هست [۱، ۳، ۵]. تحلیل دقیق این ویژگی‌ها، زمینه‌ای علمی برای تفسیر بهتر فرایندهای رشد، توسعه و واکنش‌های فیزیولوژیکی گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی فراهم می‌آورد [۶، ۷]. از سوی دیگر، از آنجا که ساختار چوب درختان - به‌ویژه عناصر آوندی و بافت‌های مسئول انتقال آب - مستقیماً تحت تأثیر عواملی آب‌وهوایی یا محیطی قرار می‌گیرد، مطالعه‌ی این بخش‌ها می‌تواند ابزاری کارآمد در شناسایی اثرات تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی بر اکوسیستم‌ها به شمار رود [۳، ۸].

جنگل‌های مانگرو یکی از زیست‌بوم‌های ارزشمند کره زمین به شمار می‌روند که با ایفای نقش حیاتی در تثبیت سواحل، ترسیب کربن، پالایش آلاینده‌ها و پشتیبانی از تنوع زیستی جانوری و گیاهی، از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردارند [۹، ۱۰]. این جنگل‌ها عمدتاً در نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری پراکنده‌اند، اما در ایران، مانگروها در سواحل جنوبی کشور با اقلیمی گرم و خشک توسعه یافته‌اند و به دلیل شرایط خاص اقلیمی و محیطی، از حساسیت بالایی نسبت به تغییرات اقلیمی و انسانی برخوردارند [۷، ۱۰]. در چنین شرایطی، بررسی علمی این اکوسیستم‌ها برای مدیریت صحیح، حفاظت مؤثر و پیش‌بینی تحولات آینده، اهمیتی دوچندان می‌یابد. در

ایران، رویشگاه‌های مانگرو محدود به حضور تنها دو گونه‌ی درختی هستند: گونه‌ی حرا (*A. marina*) و گونه‌ی چنل (*R. mucronata*). این محدودیت گونه‌ای، ضرورت مطالعات دقیق‌تر برای شناخت ساختار و کارکرد این گونه‌ها را دوچندان می‌کند [۹]. مناطق مورد مطالعه شامل رویشگاه‌های طبیعی و دست‌کاشت در سواحل جنوبی ایران، به‌ویژه نواحی منتخب خلیج فارس بودند که از نظر شرایط محیطی مانند شوری آب و خاک، نوع بستر و شدت جزر و مد تفاوت‌های چشمگیری دارند. این رویشگاه‌ها از ارزش اکولوژیک بالایی برخوردارند؛ زیست‌کره حرا واقع در جزیره قشم دارای بزرگ‌ترین جمعیت حرا در کشور است و رویشگاه خور آذینی در نزدیکی بندر سیریک به‌عنوان تنها زیستگاه چنل در ایران شناخته می‌شود. این مناطق با تثبیت رسوبات ساحلی، حفاظت از خط ساحلی در برابر فرسایش و فراهم کردن زیستگاه‌های کلیدی برای پرندگان مهاجر و گونه‌های آبی، نقش مهمی در پایداری اکوسیستم‌های ساحلی دارند. علاوه بر این، جنگل‌های مانگرو این نواحی از نظر اقتصادی و اجتماعی نیز اهمیت بالایی دارند و منبعی برای تأمین بخشی از نیازهای جوامع محلی به شمار می‌روند. با وجود این، فشارهای انسانی و تغییرات اقلیمی تهدیدی جدی برای پایداری و کارکرد این زیستگاه‌ها محسوب می‌شود. بنابراین اهداف این پژوهش بررسی و مقایسه ویژگی‌های آناتومی چوب دو گونه‌ی مانگروی ایران (حرا و چنل)، ارزیابی تفاوت‌های ساختاری آن‌ها در ارتباط با شرایط محیطی، و سنجش پتانسیل هر گونه برای مطالعات گاهشناسی و تحلیل تغییرات اکولوژیک بود.

توجه به تهدیدات فزاینده‌ای که از جانب تغییرات اقلیمی، بهره‌برداری ناپایدار و آلودگی‌های انسانی متوجه این اکوسیستم‌هاست، تلاش برای شناخت دقیق‌تر از سازوکارهای درونی این گونه‌ها، یک ضرورت علمی، اکولوژیکی و مدیریتی به شمار می‌آید.

گونه‌های مورد مطالعه

درخت حرا (*Avicennia marina*)

گونه حرا از خانواده *Avicenniaceae* درختچه‌ای آفتاب‌دوست است که معمولاً در نواحی جزر و مدی آسیا، دهانه رودخانه‌ها و دلتای مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری رشد می‌کند [۷، ۸]. این گونه که با نام رایج "حرای خاکستری" شناخته می‌شود، مقاومت بالایی در برابر شوری دارد و می‌تواند تا غلظت ۸۵ قسمت در ترلیون نمک را تحمل کند [۸]. در سال ۲۰۱۰، این گونه در فهرست "کمترین نگرانی" اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN) ثبت شد، هرچند که حدود ۲۱ درصد از پوشش آن از سال ۱۹۸۵ کاهش یافته است [۷، ۸]. این گونه گستره جغرافیایی وسیعی دارد و علاوه بر سواحل جنوبی ایران، در سراسر اقیانوس هند، استرالیا، آفریقا و جنوب‌شرق آسیا یافت می‌شود. در ایران، این گونه در مناطقی چون قشم و خور آذینی به‌صورت طبیعی و نیز در برخی نقاط به صورت دست‌کاشت مشاهده می‌شود.

درخت چندل (*Rhizophora mucronata*)

چندل از خانواده *Rhizophoraceae* است که یکی از شناخته‌شده‌ترین خانواده‌های مانگرویی محسوب می‌شود. این خانواده دارای چهار جنس و ۱۶ گونه گیاهی است [۱۰]. چندل که با نام رایج "حرای قرمز" نیز شناخته می‌شود، معمولاً در سواحل گرمسیری آسیا، آفریقا، استرالیا و آمریکای مرکزی و جنوبی حضور دارد و در دسته مانگروهای شرقی طبقه‌بندی شده است [۴]. این درخت همیشه‌سبز معمولاً ارتفاعی بین ۱۰ تا ۱۵ متر دارد، اما در شرایط مساعد می‌تواند تا ۲۵ متر نیز رشد کند. ریشه‌های لوپ‌مانند هوایی آن، که بیشتر از سطح آب قابل مشاهده‌اند، به تهویه و تثبیت در خاک‌های اشباع‌شده کمک می‌کنند. تولید مثل این درخت نیز با کمک جوانه‌هایی که پیش از افتادن روی زمین به شکل

شناخت ویژگی‌های آناتومی چوب این گونه‌ها نه تنها درک بهتری از فرآیندهای رشد آن‌ها ارائه می‌دهد، بلکه امکان بررسی پاسخ آن‌ها به فشارهای محیطی و اقلیمی را نیز فراهم می‌آورد [۶، ۱۱]. چوب درختان مانگرو، به عنوان یک ذخیره‌گاه طبیعی، اطلاعات ارزشمندی از گذشته‌ی اقلیمی، الگوهای رشد و سازگاری‌های درخت در برابر تنش‌های محیطی ثبت می‌کند [۸، ۱۱]. مطالعه‌ی مقایسه‌ای ویژگی‌های آناتومی چوب دو گونه‌ی حرا و چندل، به ما امکان می‌دهد تا الگوهای متفاوت در ساختار آوندی، رفتارهای کامبیومی و قابلیت تولید دواپر رشد سالیانه را بررسی کرده و درک عمیق‌تری از تفاوت‌های فیزیولوژیک و پاسخ‌های آن‌ها به محیط به دست آوریم. همچنین، این مطالعات پایه‌ای می‌تواند زمینه‌ساز استفاده از شاخص‌های آناتومی چوب برای مطالعات گاه‌شناسی و ارزیابی روندهای تغییرات اقلیمی در آینده باشد [۵، ۸]. در نهایت، پرداختن به آناتومی گیاهی به عنوان ابزار علمی مؤثر در تحلیل اکولوژیکی و پیش‌بینی واکنش‌های زیستی به تغییرات محیطی، ضرورتی انکارناپذیر برای مدیریت پایدار منابع طبیعی به شمار می‌رود. از سوی دیگر، بررسی ساختارهای آناتومیک در کنار داده‌های اقلیمی، امکان استفاده از روش‌های نوین در تحلیل رشد درختان مانند ساختار درختی^۱ و اقلیم‌شناسی درختی^۲ را فراهم می‌سازد؛ این رویکردها نه تنها در درک تاریخچه‌ی رشد درختان مؤثرند، بلکه ابزارهایی قدرتمند برای پیش‌بینی پاسخ‌های احتمالی درختان به تغییرات آینده‌ی اقلیم به‌شمار می‌روند [۶، ۱۳]. چنین تلفیقی از داده‌ها، به پژوهشگران کمک می‌کند تا الگوهای سازگاری فیزیولوژیکی را با دقت بیشتری مدل‌سازی کرده و راهکارهایی برای تقویت تاب‌آوری اکوسیستم‌ها در برابر بحران‌های زیست‌محیطی پیشنهاد دهند. در نهایت، بررسی دقیق و علمی ساختارهای آناتومی چوب دو گونه مانگروی ایران می‌تواند نه تنها در سطح ملی، بلکه در مقیاس منطقه‌ای و جهانی دارای اهمیت باشد؛ چرا که نتایج چنین مطالعاتی می‌تواند به غنای پایگاه‌های داده جهانی کمک کرده و الگویی برای مطالعه سایر زیست‌بوم‌های مانگرو با شرایط مشابه فراهم آورد [۱۳].

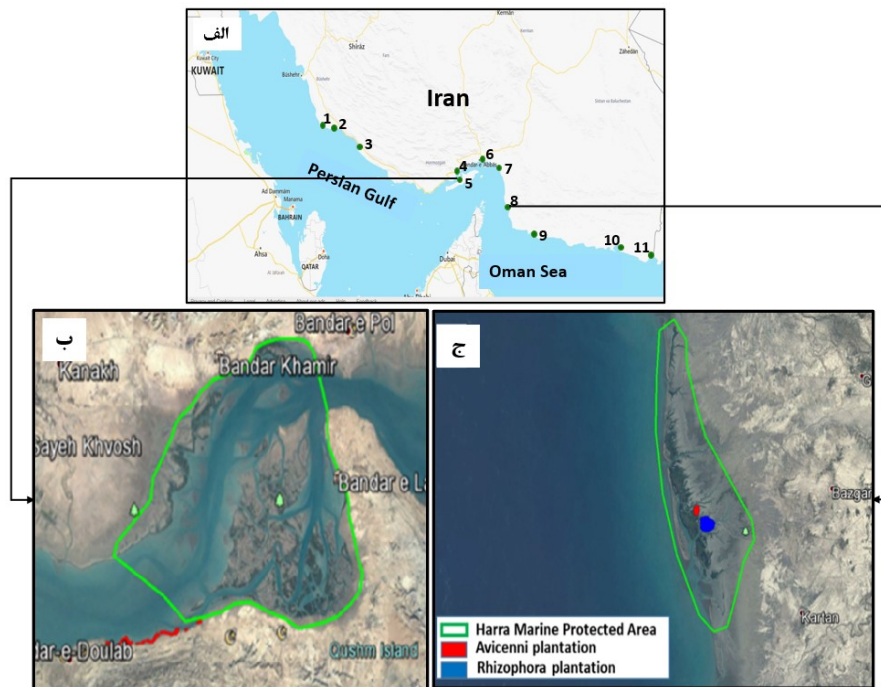
¹ Dendroanatomy

² Dendroclimatology

مواد و روشها

در این پژوهش دو منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱). گونه حرا در منطقه حفاظت شده حرا و گونه چنل در خور آذینی، منطقه سیریک، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۴].

نهال درمی‌آیند، موجب افزایش بقاء در محیط‌های نامساعد می‌شود [۸، ۱۲]. در این منطقه، این گونه در کنار گونه‌ی حرا به‌صورت آمیخته رشد می‌کند و در برخی نواحی غالب است. بر اساس مشاهدات، متوسط ارتفاع درخت چنل در این منطقه حدود ۴ متر و بیشینه ارتفاع آن ۴/۵ متر گزارش شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه (الف). منطقه حفاظت شده حرا در شمال جزیره قشم (ب) و خور آذینی در نزدیکی بندر سیریک (ج).

نیز برسد. شوری خاک منطقه نیز به شدت متأثر از فاصله با دریا است؛ به طوری که با نزدیک تر شدن به خط ساحلی، میزان شوری افزایش می‌یابد. این رویشگاه به دلیل استقرار هم‌زمان دو گونه مانگرویی حرا و چنل از اهمیت اکولوژیکی بالایی برخوردار است و تنها منطقه در ایران است که این دو گونه به صورت آمیخته حضور دارند [۷، ۹].

منطقه حفاظت شده حرا (شمال غربی جزیره

قشم)

در شمال غربی جزیره قشم، بین دلتای رودخانه مهران و خور گورزین، یکی از گسترده‌ترین رویشگاه‌های مانگرویی ایران قرار دارد. این منطقه با عنوان منطقه حفاظت شده

رویشگاه خور آذینی (منطقه سیریک)

خور آذینی که با نام‌های دیگری همچون خور سیریک و تالاب رودگز نیز شناخته می‌شود، یکی از چهار تالاب بین‌المللی ثبت شده در استان هرمزگان است و حدود ۷۷۳ هکتار وسعت دارد [۴]. این تالاب در شهرستان سیریک، واقع در ۷۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان میناب و در امتداد سواحل دریای عمان قرار دارد. این منطقه دارای اقلیمی خشک و بیابانی است که با بارندگی محدود (میانگین سالانه ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر) و تبخیر بالا (حدود ۲۹۲ میلی‌متر در سال)، در اغلب ماه‌های سال با خشکی شدید مواجه است [۹]. دمای میانگین سالانه در این منطقه حدود ۲۶/۹ درجه سانتی‌گراد گزارش شده، در حالی که در فصل تابستان دما می‌تواند به حدود ۴۰ درجه

کند. ریشه‌های لوپ‌مانند هوایی آن، که بیشتر از سطح آب قابل مشاهده‌اند، به تهویه و تثبیت در خاک‌های اشباع‌شده کمک می‌کنند. تولید مثل این درخت نیز با کمک جوانه‌هایی که پیش از افتادن روی زمین به شکل نهال درمی‌آیند، موجب افزایش بقا در محیط‌های نامساعد می‌شود [۸، ۱۲]. در این منطقه، این گونه در کنار گونه‌ی حرا به‌صورت آمیخته رشد می‌کند و در برخی نواحی غالب است. بر اساس مشاهدات، متوسط ارتفاع درخت چنل در این منطقه حدود ۴ متر و بیشینه ارتفاع آن ۴/۵ متر گزارش شده است.

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

به‌منظور بررسی ویژگی‌های آناتومی چوب گونه‌های حرا و چنل، نمونه‌های حرا از جنگل‌های مانگرو واقع در زیست‌کره حرا در شمال جزیره قشم و نمونه‌های چنل از درختان خور آذینی در نزدیکی بندر سیریک برداشت شدند. نمونه‌برداری به‌صورت برداشت دیسک‌هایی از مقطع عرضی تنه درختان انجام شد. در این مطالعه به طور کلی از ۱۵ دیسک تهیه‌شده از پنج درخت دست‌کاشت حرا و ۱۰ درخت چنل (پنج نمونه دست‌کاشت و پنج نمونه طبیعی) استفاده شد. نمونه‌ها در فرآیند نمونه‌برداری، به صورت تصادفی انتخاب شدند و دیسک‌هایی با ضخامت ۲ تا ۳ سانتی‌متر تهیه شد. پس از هواخشک شدن دیسک‌ها، در آزمایشگاه دندروکرونولوژی دانشگاه فرایبورگ آلمان، باریکه‌هایی [۸، ۱۲] از بزرگترین و کوچکترین شعاع رشد با عرض حدود ۵ میلی‌متر از مرکز دیسک خارج گردیدند، به‌گونه‌ای که هر دو شعاع رویشی (بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین) را در بر بگیرند. با توجه به سختی بالای چوب در هر دو گونه، آماده‌سازی بافت‌ها برای برش میکروسکوپی نیاز به نرم‌سازی داشت. به همین منظور، نمونه‌های گونه‌ی حرا به مدت ۲۸ ساعت و نمونه‌های گونه‌ی چنل به مدت ۷۲ ساعت در آب جوش حرارت داده شدند تا بافت‌ها برای برش نازک آماده شوند. پس از نرم شدن نمونه‌ها، با استفاده از دستگاه میکروتوم، برش‌هایی با ضخامت کمتر از ۱۰ میکرومتر و با طولی متغیر از ۸ الی ۴۹ میلی‌متر تهیه شدند. در واقع، طول یکی از باریکه‌ها در نمونه‌های

حرا شناخته می‌شود و حدود ۱۰۰ هکتار از مناطق لافت، طبل و ترعه خوران را پوشش می‌دهد. مختصات جغرافیایی آن بین ۲۶°۴۵' تا ۲۷°۰۰' عرض شمالی و ۵۵°۲۰' تا ۵۵°۵۱' طول شرقی ثبت شده است [۹]. در این منطقه تنها گونه‌ی حرا حضور دارد و جمعیت‌های نسبتاً خالصی را تشکیل می‌دهد که حدود ۹۷ درصد از پوشش مانگروهای ایران را شامل می‌شود [۷، ۹]. دمای متوسط سالانه در حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی در حدود ۱۸۳ میلی‌متر گزارش شده است.

گونه‌های مورد مطالعه

درخت حرا (*Avicennia marina*)

گونه حرا از خانواده Avicenniaceae، درختچه‌ای آفتاب‌دوست است که معمولاً در نواحی جزر و مدی آسیا، دهانه رودخانه‌ها و دلتای مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری رشد می‌کند [۷، ۸]. این گونه که با نام رایج "حرای خاکستری" شناخته می‌شود، مقاومت بالایی در برابر شوری دارد و می‌تواند تا غلظت ۸۵ قسمت در تریلیون نمک را تحمل کند [۸]. در سال ۲۰۱۰، این گونه در فهرست "کمترین نگرانی" اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN) ثبت شد، هرچند که حدود ۲۱ درصد از پوشش آن از سال ۱۹۸۵ کاهش یافته است [۷، ۸]. این گونه گستره جغرافیایی وسیعی دارد و علاوه بر سواحل جنوبی ایران، در سراسر اقیانوس هند، استرالیا، آفریقا و جنوب‌شرق آسیا یافت می‌شود. در ایران، این گونه در مناطقی چون قشم و خور آذینی به‌صورت طبیعی و نیز در برخی نقاط به صورت دست‌کاشت مشاهده می‌شود.

درخت چنل (*Rhizophora mucronata*)

چنل از خانواده *Rhizophoraceae* است که یکی از شناخته‌شده‌ترین خانواده‌های مانگرویی محسوب می‌شود. این خانواده دارای چهار جنس و ۱۶ گونه گیاهی است [۱۰]. چنل که با نام رایج "حرای قرمز" نیز شناخته می‌شود، معمولاً در سواحل گرمسیری آسیا، آفریقا، استرالیا و آمریکای مرکزی و جنوبی حضور دارد و در دسته مانگروهای شرقی طبقه‌بندی شده است [۴]. این درخت همیشه‌سبز معمولاً ارتفاعی بین ۱۰ تا ۱۵ متر دارد، اما در شرایط مساعد می‌تواند تا ۲۵ متر نیز رشد

³ Strip

نمونه دو شعاع رشد (جمعا ۱۷ شعاع رشد) مورد آزمون قرار گرفت و رابطه بین تراکم آوندی و پوشش آوندی^۶ تراکم آوندی و مساحت مقطع حفره آوندی و همچنین رابطه بین پوشش آوندی و مساحت مقطع حفره آوندی تحلیل گردید نتایج به صورت ضریب همبستگی (r) و سطح معناداری (p) گزارش گردید.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از تحلیل های میکروسکوپی و کمی نشان دهنده ی تفاوت های اساسی در آناتومی چوب دو گونه مورد مطالعه است که جداگانه به هر کدام میپردازیم:

آناتومی حرا

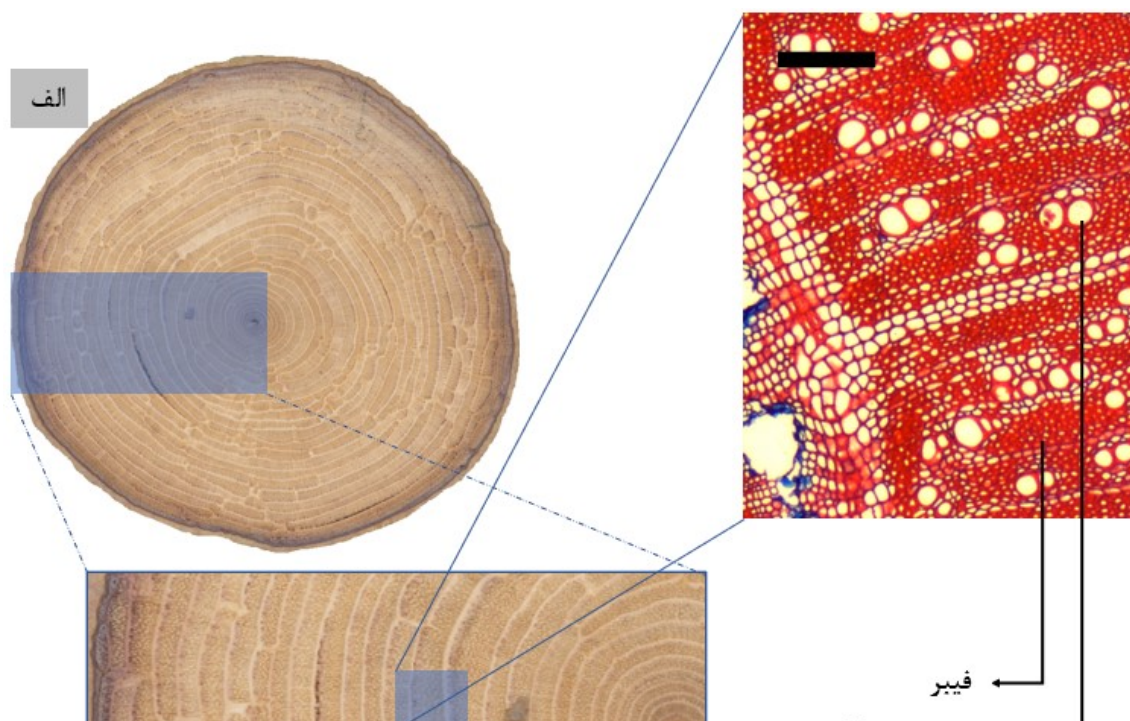
در این گونه، وجود و رشد همزمان کامبیوم متوالی - به جای وجود یک کامبیوم - مشاهده شد که همین ویژگی آناتومیک علت رشد نامنظم لایه های رشد است. این به این معنی است که رشد کامبیوم در گونه حرا وابسته به فصل نیست، بنابراین، یک نوار کامبیومی می تواند در سمتی از دیسک در حال رشد و همزمان کامبیومی دیگر در سمتی دیگر در حال کامل شدن باشد (شکل ۲- الف). در واقع، در گونه حرا مشاهده شد که لایه های رشد به صورت نامنظم تشکیل شده اند و هر کدام مربوط به یک سال مجزا نیستند، مرز بین لایه های رشد کاملا واضح و قابل مشاهده است. همچنین، قسمت های مختلف بافت چوب شناسایی شد (شکل ۲- ب) و کاملا با مطالعات قبلی مطابقت داشت [۲، ۳، ۶].

چندل طبیعی ۴۹ میلی متر بود که به دو قطعه ۲۵ و ۲۴ میلی متری تقسیم شد. این برش ها با رنگ آمیزی دوگانه (سافرانین و آسترا بلو) رنگ آمیزی شدند تا اجزای مختلف بافت چوبی مانند دیواره های سلولی، آوندها و پارانشیم به وضوح قابل مشاهده باشند [۱]. سپس لام های تهیه شده از کل باریکه چوب، توسط میکروسکوپ نوری متصل به دوربین دیجیتال در دو بزرگنمایی ۴۰× و ۱۰۰× تصویربرداری و تصاویر میکروسکوپی تهیه شدند. تصاویر بزرگنمایی ۱۰۰× با قدرت تفکیک بالا برای تحلیل های کیفی آناتومی چوب و تصاویر ۴۰× برای تحلیل های کمی مانند اندازه گیری ویژگی های آوندی در هر شعاع رشد استفاده شد. برای تحلیل کمی، تصاویر حاصل به نرم افزار ROXAS منتقل شدند؛ این نرم افزار به طور اختصاصی برای آنالیز آناتومی چوب و تحلیل های ساختار درختی توسعه یافته است [۱۳]. اندازه گیری پارامترهایی چون مساحت مقطع حفره آوندی^۴ تراکم آوندی^۵ و فاصله بین آوندها در طول هر شعاع، از مرکز به سمت پوسته، با استفاده از قابلیت تحلیل خودکار این نرم افزار استخراج گردید. در نتیجه برای هر ویژگی مجموعه ای از مقادیر به دست آمد و جهت بررسی ارتباط بین ویژگی های آوندی، از آزمون همبستگی پیرسون در نرم افزار SPSS بین مقادیر متناظر در طول شعاع استفاده شد. برای بررسی روابط آماری میان ویژگی های آوندی در نمونه های طبیعی و دست کاشت گونه ی چندل، برای هر نمونه دو شعاع رشد در نظر گرفته شد (بلندترین و کوتاه ترین شعاع) و آنالیزهای آماری روی هر شعاع به صورت جداگانه انجام شد. در این بخش، از نمونه های طبیعی هر پنج نمونه و از نمونه های دست کاشت چهار نمونه که از هر

⁴ Vessel area

⁵ Vessel density

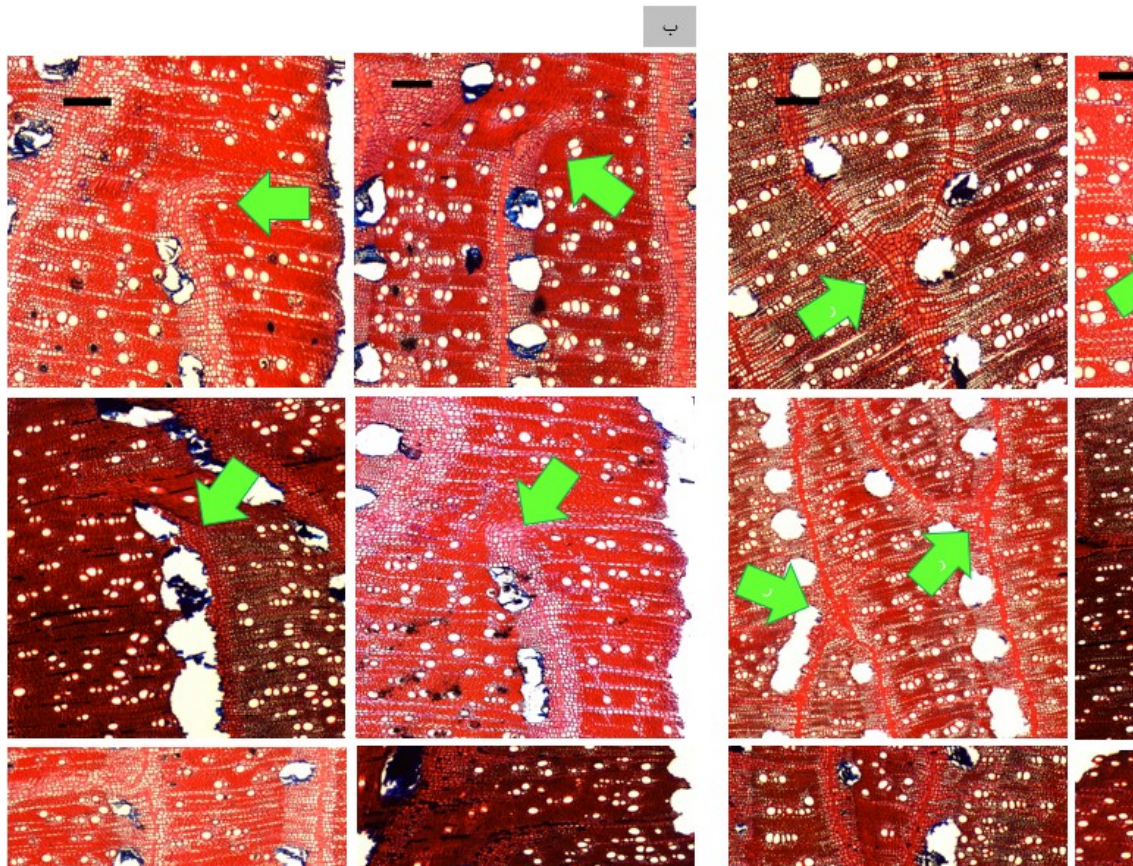
⁶ Vessel coverage



شکل ۲- آناتومی چوب در گونه حرا (الف) نمایی از سطح مقطع یک دیسک (ب) برشی از سطح دیسک با بزرگنمایی ۱۰۰ برابر و قسمت‌های مختلف در بافت چوب در حرا. طول نوار مقیاس ۳۰۰ میکرومتر است.

صورت کامل شکل گرفته‌است ولی گاهی به صورت انتها باز (شکل ۳- ب) و یا دو شاخه‌ای (شکل ۳- الف) رها شده‌است که همین باعث به هم ریختگی ظاهری در سطح دیسک تهیه شده از گونه‌ی حرا شده است (شکل ۲- الف). همچنین با بررسی روند تغییرات در طول شعاع رشد از مرکز نمونه به سمت پوسته آن، مشاهده شد که به طور میانگین هر چه از سمت مرکز به سمت پوسته می‌رویم، اندازه سطح مقطع بافت آبکش و آوندها بزرگتر می‌ود (شکل ۴).

همچنین در نمونه‌های تهیه شده دیده شده است که نوارهای کامبیوم می‌توانند به همدیگر برسند و یک لایه رشد تشکیل دهند یا اینکه می‌توانند به طور ناگهانی رشد خود را متوقف کنند و در واقع انتهای لایه‌ی رشد را باز و نا تمام بگذارند. به زبانی دیگر، نوارهای کامبیوم می‌توانند به صورت تک نواری توسعه پیدا کنند و یا اینکه دو شاخه شوند. در تصاویر تهیه شده نوارهای متحدالمرکزی که حاوی کامبیوم چسبیده به بافت آبکش هستند مشاهده می‌شوند. در برخی نقاط از سطح نمونه‌ها، نوار کامبیوم به



شکل ۳- نوارهای کامبیوم در گونه حرا. الف) دو شاخه شدن نوار کامبیوم ب) توقف رشد در نوار کامبیوم که به حالت یک نوار انتها باز دیده می شود. طول نوار مقیاس ۵۰۰ میکرومتر است.

پوسته



شکل ۴- برش کامل از شعاع رشد (از مرکز تا پوسته) در گونه حرا. طول نوار مقیاس ۱۰۰۰ میکرومتر است.

بافتی که در سطح نمونه به چشم می خورد سطح مقطع حفره آوندی است که در پژوهش های سابق نیز مشخص شده است که قسمت تیره تر با تراکم آوندی پایین و نوار

آناتومی چندل

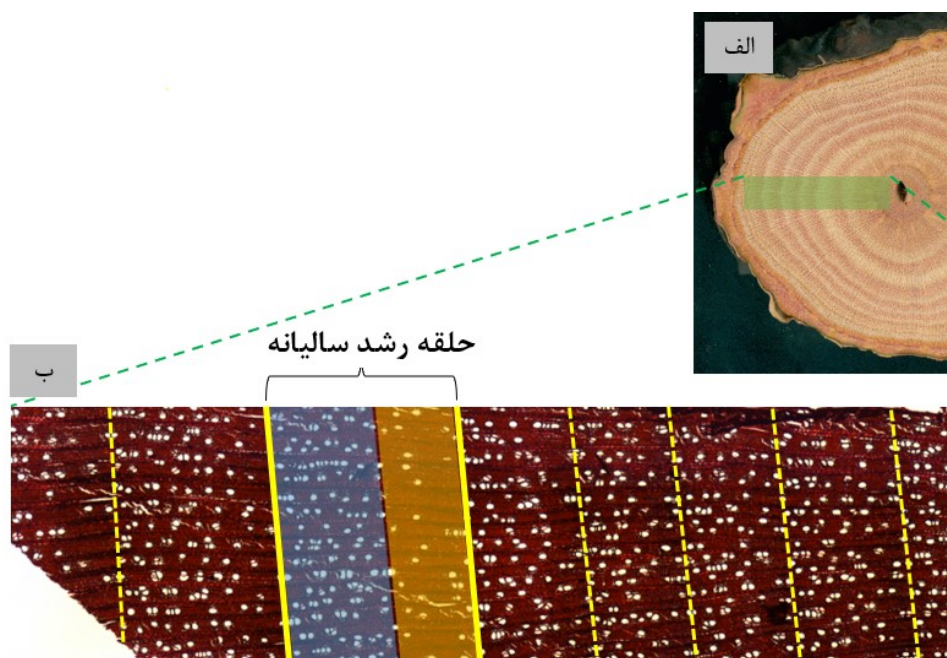
گونه چندل دارای ساختار منظم آوندی و حلقه های رشد قابل مشاهده است (شکل ۵- الف). اولین و بارزترین

می‌شود که گونه چندل در خلیج فارس نیز حلقه‌های رشد تولید می‌کند. در نمونه‌های دست‌کاشت به نسبت نمونه‌های طبیعی لایه‌های تیره و روشن بسیار متمایزتر بودند. در هر دو دسته نمونه، حلقه‌ها در ابتدا و انتهای طول شعاع رشد بسیار مبهم و حتی با استفاده از نمودار تراکم آوندی نیز قابل تشخیص نبودند. این مسئله در نمونه‌های طبیعی بسیار شدیدتر و مبهم‌تر بود.

وجود دريچه‌های آوندی نردبانی^۷ در گونه چندل

با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بالا (بزرگنمایی $\times 100$) در سطح تمام نمونه‌های چندل طبیعی پرشدن فضای داخل آوندها با توسط یک یا چندین صفحه که به اصطلاح به آن‌ها دريچه‌های نردبانی درون آوندی [۱۸] گفته می‌شود مشاهده شد (شکل ۶). وجود دريچه‌های آوندی نردبانی در گونه چندل در پژوهش‌های دیگر گزارش شده است [۱۷] ولی پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده برش‌های طولی از آوندها تهیه شود تا این دريچه‌های آوندی نردبانی شکل با وضوح بالاتری قابل مشاهده باشند.

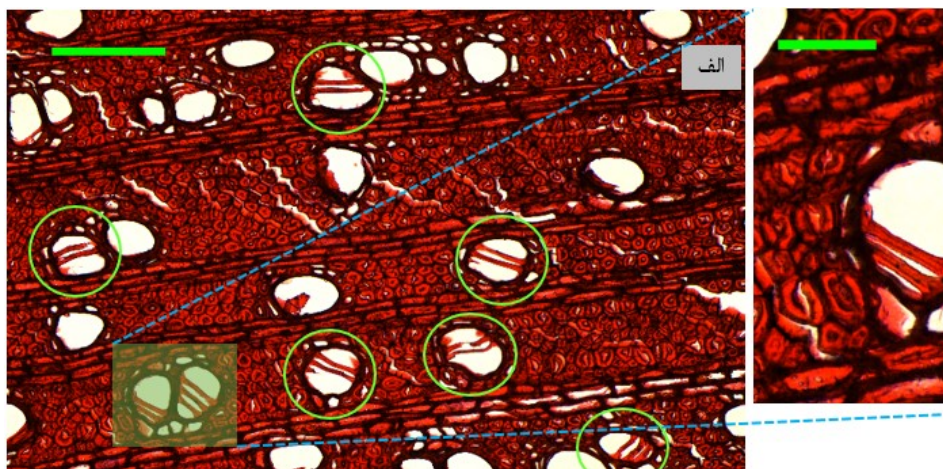
روشن با تراکم آوندی بالاست [۸، ۱۱، ۱۲، ۱۴]. در پژوهش‌های قبلی در مورد این گونه، هر حلقه ی رشد سالیانه متشکل از یک تیره و یک لایه چوب روشن است (شکل ۵-ب). لایه‌ی تیره قسمتی را تشکیل می‌دهد که تعداد آوندها کم و در لایه‌ی روشن تعداد آوندها بسیار بیشتر است. در واقع، این تفاوت در تعداد آوندها است باعث می‌شود دولایه، یکی با رنگی تیره‌تر و دیگری با رنگی روشن‌تر در سطح دیسک قابل مشاهده باشد (شکل ۵-الف). با این حال، مرز بین این دو لایه دقیقاً مشخص نیست زیرا تراکم آوندی به صورت تدریجی تغییر میکند. در پژوهش‌های دیگر در آفریقا نشان داده شده است که گونه چندل هر سال (مجموع یک فصل بارانی و یک فصل خشک) یک حلقه‌ی رشد تولید می‌کند [۱۵]. پژوهشی دیگر در برزیل نشان داده است که گونه دیگری ز جنس *Rhizophora* با وجود تفاوت کم آب‌وهوایی در فصول مختلف، دواير رشد سالیانه تولید می‌کند [۱۶]. همچنین، بر اساس نتایج مطالعه‌ای دیگر در کاستاریکا، گونه‌های دیگر از همین جنس دواير رشد سالیانه داشتند که مرز دواير نامشخص یا شناسایی آن‌ها بسیار سخت بوده است [۱۷]. با توجه به بررسی‌ها در این پژوهش تایید



شکل ۵- آناتومی چوب در گونه چندل. الف) نمایی از سطح مقطع یک دیسک ب) وجود حلقه‌های سالیانه در گونه چندل

⁷ Radial growth

⁸ Scalariform perforation plate

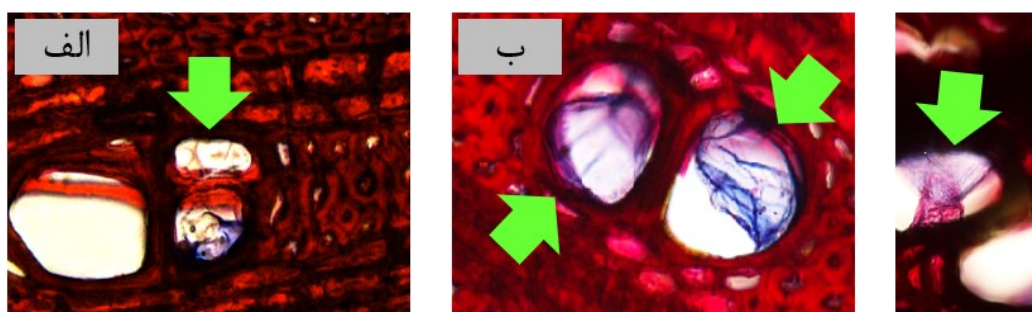


شکل ۶- دریچه‌های نردبانی درون آوندی در گونه چندل. طول نوار مقیاس در شکل الف ۳۰۰ میکرومتر و در شکل ب ۱۰۰ میکرومتر است.

پدیده تشکیل تیل^۹ در گونه چندل

در عکسهای با بزرگنمایی ۱۰۰ برابر، در نمونه‌های طبیعی، برخی از آوندها توسط اشکالی حباب مانند پر شده بودند (شکل ۷ - الف و ب) و به اصطلاح پدیده تیلی شدن که همان پدیده‌ی سد شدن داخل آوندهاست، مشاهده شد، که پدیده‌ای بسیار رایج در درختان است. در واقع این کیسه‌های آبی/بنفش رنگ (شکل ۷) باعث مسدود شدن آوند و جلوگیری از پخش شدن سموم می‌شوند ولی

به طور کلی باعث اختلال در جریان مایعات در گیاه می‌شوند [۱۸] در پژوهشی در کنیا، وجود تیل درون آوندهای گونه چندل تایید شده است [۱۹]. همچنین، در گونه دیگری از همین جنس پدیده تیلی شدن مشاهده گردیده است [۱۷]. این‌ها می‌توانند شواهدی بر تشکیل تیل در گونه چندل باشند، با این‌حال، برای اثبات وجود تیل در گونه چندل در خور آذینی نیاز است تحقیقات بیشتری انجام شود.



شکل ۷- تشکیل تیل‌ها (ساختارهای بادکنکی شکل) درون آوندها و مسدود شدن آوندها. طول نوار مقیاس ۱۰۰ میکرومتر است.

^۹ Tylosis

پارامترهای آوندی

آنالیزهای کمی نشان دادند که اندازه آوندها به طور میانگین در گونه حرا بزرگتر از گونه چنندل بود. با این حال تراکم و درصد پوشش آوندی قابل مقایسه نبودند زیرا این دو پارامتر وابسته به مساحت حلقه رشد سالیانه هستند، و گونه حرا حلقه های رشد سالیانه تشکیل نمی دهد.

پارامترهای آوندی در گونه چنندل

در این پژوهش، پارامترهایی از جمله قطر آوندی، سطح مقطع آوندی (مساحت آوندی)، تراکم آوندی و درصد پوشش آوندی (میزان سطح پوشیده شده توسط آوندها) برای هر نمونه اندازه گیری شد. اندازه سطح مقطع آوندی در نمونه های دست کاشت، در نمونه های طبیعی و میانگین نمونه های دست کاشت و طبیعی به ترتیب ۱۶۳۵، ۲۲۶۶ و ۲۰۸۹ میکرومتر مربع بود. همچنین، میانگین اندازه قطر آوندی در نمونه های دست کاشت، طبیعی و میانگین هر دو به ترتیب ۴۹/۸۱، ۵۶/۱۹ و ۵۳ میکرون بودند. در مرحله بعد با استفاده از محاسبات کمی و خروجی آزمون همبستگی پیرسون میان پارامترهای آوندی در هر دو شعاع رشد برای هر نمونه به صورت مجزا مشخص شد که در همه نمونه های چنندل، چه دست کاشت چه طبیعی، رابطه بین تراکم آوندی و اندازه آوندی، تراکم آوندی و درصد پوشش آوندی و رابطه بین اندازه آوندی و درصد پوشش آوندی در سطح ۰/۰۱ معنی دار است، اگرچه در برخی موارد ضریب همبستگی کوچکتر از ۰/۲ بود که نشان از رابطه بسیار ضعیف یا نا چیز است. به علاوه در هر دو گروه دست کاشت و طبیعی هم ضریب همبستگی مثبت (رابطه مستقیم) و هم منفی (رابطه عکس) در خصوص نتایج همبستگی پیرسون بین دو متغیر تراکم آوندی و اندازه آوندی به دست آمد (جدول ۱). در نمونه های دست کاشت از هشت نمونه شش نمونه از نمونه های طبیعی شش نمونه از نه نمونه رابطه مستقیم بسیار قوی میان تراکم آوندی و درصد پوشش آوندی دیده شد (جدول ۱، علامت گذاری شده با مربع). در نمونه های دست کاشت از هشت شعاع رشد آنالیز شده تنها دو عدد از آنها هرچه تراکم آوندی افزایش می یابد، اندازه آوندی نیز بیشتر می شد و در نمونه های طبیعی تنها دو نمونه از نه

نمونه رابطه مستقیم قوی میان دو پارامتر ذکر شده نشان دادند. حتی مشخص شد که مستقیم یا عکس بودن روابط پارامترهای آوندی می تواند در دو شعاع از یک درخت متفاوت از یکدیگر باشد. در نمونه های دست کاشت مشخص شد که اگر رابطه تراکم آوندی و اندازه آوندی مثبت باشد، به دنبال آن رابطه شان با میزان درصد پوشش آوندی مثبت و قوی خواهد بود، ولی به طور کلی در هفت نمونه از کل نمونه های آنالیز شده هرچه تراکم آوندی افزایش یابد میزان اندازه سطح مقطع آوندی کاهش می یابد (جدول ۱، علامت گذاری شده با مربع خط چین). همچنین، به غیر از یک نمونه، در نمونه های دیگر مشاهده شد که اگر رابطه تراکم آوندی و اندازه آوندی منفی باشد، میزان اثرپذیری درصد پوشش آوندی از اندازه آوندها بسیار کم یا ناچیز است. به عنوان مثال، اگر رابطه تراکم آوندی و اندازه آوندی خطی و منفی باشد، هیچ دلیلی بر این نیست که تراکم آوندی عامل محدودکننده میزان درصد پوشش آوندی باشد. گاهی می تواند از اندازه آوندی اثر بپذیرد.

همچنین، با توجه قدرت تفکیک بالا در تصاویر حاصل شده امکان مطالعات و بررسی های آناتومیک در هر دو گونه وجود داشت. آناتومی چوب هر دو گونه دقیقاً با مطالعات سابق روی گونه ها در مناطق مختلف دنیا مطابقت داشت [۴، ۵، ۱۷]. بررسی آناتومی چوب دو گونه نشان داد که تفاوت های بنیادینی در نحوه سازماندهی و توسعه ی بافت های چوبی میان این دو گونه وجود دارد. در گونه ی چنندل، ساختار چوبی دارای نظم بالایی است و با اینکه در برخی پژوهش ها نشان داده شده است که برخی گونه های جنس *Rhizophora* در مناطق خاص ممکن است حلقه های رشد متمایزی داشته باشند، در گونه ی چنندل در جنوب ایران، حلقه های رشد سالیانه تا حدودی متمایز هستند، اگرچه مرز دقیق بین دوایر رشد مشخص نیست. این در حالی است که در گونه ی حرا، لایه های رشد از یکدیگر متمایزاند ولی به دلیل وجود کامبیوم های پی در پی و توسعه ی نامتقارن نوارهای کامبیومی، رشد به صورت نامنظم و تکه ای اتفاق می افتد و بعضی از لایه های رشد تماماً به صورت حلقوی نیستند [۸]. در گونه ی چنندل، حلقه های رشد متشکل از لایه هایی با رنگ متفاوت، شامل بخش روشن تر و بخش تیره تر، قابل شناسایی هستند. این ویژگی به دلیل تفاوت در تراکم

آوند ها در نمونه‌های دست‌کاشت و طبیعی ۲۰۸۹ میکرومتر مربع است و تقریباً به صورت یکنواخت در تمام سطح نمونه پراکنده شده‌اند. این پراکندگی تقریباً یکنواخت در آوندها می‌تواند یک راهبرد آناتومیک برای استحکام بیشتر تنه درخت و مقاومت بیشتر در برابر جریان آب و امواج باشد [۲۰]. همچنین، یکی از دلایل سختی و استحکام چوب این گونه احتمالاً می‌تواند تو پر بودن فضای درون‌آوندی توسط دریچه‌های آوندی نردبانی شکل باشد.

آوندی بین این دو بخش حاصل می‌شود و نشانگر قابلیت استفاده از این گونه در مطالعات گاه‌شناسی سالیانه است [۸، ۱۲]. با این حال، در گونه چنل، تشخیص لایه‌ی روشن‌تر از لایه‌ی تیره‌تر در نمونه‌های دست‌کاشت بسیار آسان‌تر از نمونه‌های طبیعی بود. این موضوع می‌تواند به سن نمونه مرتبط باشد و احتمالاً هرچه سن نمونه بیشتر باشد لایه‌های رشد و به دنبال آن حلقه‌های رشد فشرده‌تراند. پس از اندازه‌گیری اندازه مساحت سطح حفره آوندها در نمونه‌های چنل مشخص شد میانگین اندازه

جدول ۱- نتایج آزمون همبستگی پیرسون در ۱۷ شعاع رشد از نمونه‌های طبیعی و دست‌کاشت چنل، میان ویژگی‌های اندازه سطح مقطع (VA)، تراکم (VD) و درصد پوشش آوندی (VC)

طبیعی		دست‌کاشت			
نام نمونه	D.L.VD	D.L.VC	نام نمونه	AZ1.L.VD	AZ1.L.VC
D.L.VA	[۰.۴۷**]	۰.۳۰**	AZ1.L.VA	۰.۰۵۸**	۰.۴۱**
D.L.VC	[۰.۸۵۲**]		AZ1.L.VC	[۰.۹۱**]	
	D.S.VD	D.S.VC		AZ1.S.VD	AZ1.S.VC
D.S.VA	[۰.۶۵**]	[۰.۹۲**]	AZ1.S.VA	[۰.۴۳**]	۰.۰۷**
D.S.VC	[۰.۷۸**]		AZ1.S.VC	۰.۸۴۲**	
	F5.L.VD	F5.L.VC		AZ4.L.VD	AZ4.a.VC
F5.L.VA	۰.۵۳**	[۰.۷۶**]	AZ4.L.VA	۰.۲۳**	۰.۶۳**
F5.L.VC	[۰.۹۰**]		AZ4.L.VC	[۰.۸۷**]	
	F5.S.VD	F5.S.VC		AZ4.S.VD	AZ4.b.VC
F5.S.VA	۰.۱۵**	۰.۳۹**	AZ4.S.VA	۰.۲۹**	۰.۶۶**
F5.S.VC	[۰.۸۷**]		AZ4.S.VC	۰.۴۶**	
	M2.L.VD	M2.L.VC		AZ8.L.VD	AZ8.a.VC
M2.L.VA	[۰.۷۵**]	۰.۰۷**	AZ8.a.VA	۰.۶۹**	[۰.۸۳**]
M2.L.VC	۰.۵۶**		AZ8.a.VC	[۰.۹۵**]	
	M2.S.VD	M2.S.VC		AZ8.S.VD	AZ8.b.VC
M2.S.VA	[۰.۶۶**]	۰.۱۴**	AZ8.b.VA	[۰.۷۳**]	[۰.۸۵**]
M2.S.VC	۰.۶۰**		AZ8.b.VC	۰.۹۶**	
	F1.L.1.VD	F1.L.1.VC		AZ10.L.VD	AZ10.a.VC
F1.L.1.VA	[۰.۹۴**]	۰.۳۱**	AZ10.a.VA	[۰.۷۲**]	[۰.۸۹**]
F1.L.1.VC	[۰.۸۶**]		AZ10.a.VC	[۰.۹۵**]	
	F1.L.2.VD	F1.L.2.VC		AZ10.S.VD	AZ10.b.VC
F1.L.2.VA	۰.۰۷**	۰.۲۱**	AZ10.b.VA	[۰.۳۹**]	۰.۵۲**
F1.L.2.VC	-۰.۵**		AZ10.b.VC	۰.۵۵**	
	F1.S.VD	F1.S.VC			
F1.S.VA	۰.۶۴**	[۰.۸۵**]			
F1.b.VC	۰.۹۰**				

وجود دریچه‌های نردبانی پرکننده آوندها گزارش شد [۲۱]. پس از بررسی بیشتر و عمیق‌تر آوندها در نمونه‌های چنل با استفاده از قدرت تفکیک بالاتر، وجود دریچه‌های

در خصوص وجود دریچه‌های نردبانی در جنس *Rhizophoraceae* در یک مطالعه جامع در درباره تمام ویژگی‌های آناتومی چوب در جنس *Rhizophoraceae*

سمت پوسته می‌رویم، میانگین اندازه آوندها و بافت آبکش بیشتر می‌شود. البته برای تایید این نتیجه اپتیکال نیاز است تعداد بیشتری نمونه و به صورت کمی مقایسه و نتیجه‌گیری صورت گیرد. اگرچه در مقالات دیگر نیز افزایش اندازه آوندها از هسته به سمت پوسته در گونه‌های دیگر مانند نوعی بلوط گزارش شده است [۲۳].

نتیجه‌گیری

تایچ این مطالعه نشان داد که گونه‌های حرا و چندل دارای تفاوت‌های بنیادین در آناتومی چوب و الگوی رشد چوبی هستند که این ویژگی‌ها تأثیر قابل توجهی بر کاربرد آن‌ها در مطالعات گاهشناسی دارند. گونه چندل به دلیل تشکیل حلقه‌های رشد سالیانه منظم و ساختار منظم‌تر چوبی، گزینه مناسبی برای پژوهش‌های گاهشناسی سالیانه و بررسی‌های دقیق‌تر تغییرات محیطی است، در حالی که گونه حرا به دلیل رشد نامنظم و الگوی پیچیده کامبیومی، کمتر برای این نوع مطالعات کاربرد دارد. با این حال، ویژگی‌های آناتومی چوب گونه حرا می‌تواند اطلاعات مهمی درباره‌ی شیوه‌ی رشد غیرخطی و سازگاری با شرایط تنش‌زا ارائه دهد. همچنین وجود دريچه‌های نردبانی و مکانیسم‌های انتقال آب در هر دو گونه نشان‌دهنده‌ی سازگاری آن‌ها با زیستگاه‌های دشوار مانگرویی است. در نهایت، مقایسه آناتومی این دو گونه‌ی شاخص مانگرو، دیدگاه جدیدی در مطالعات محیطی و اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک فراهم می‌آورد و بستری مناسب برای پژوهش‌های گسترده‌تر در زمینه‌های گاهشناسی، پاسخ‌های فیزیولوژیک و پایش تغییرات اقلیمی در آینده خواهد بود.

سپاسگزاری

نویسندگان بدین‌وسیله از جناب آقای عبدالعزیز کرد به‌دلیل هماهنگی‌های رسمی در جریان مأموریت میدانی و نیز از سایر کارکنان سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری استان هرمزگان صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از آقای رابرت لینه و دکتر دومینیک استنگلر در آزمایشگاه دندرو (DendroLab) دانشگاه آلبرت-لودویگ فرایبورگ به‌ترتیب به‌خاطر همکاری ارزشمندشان در فرایند تصویربرداری و تحلیل تصاویر، نهایت قدردانی را

کوتاه نردبانی درون درون فضای آوندها تایید شد. همچنین، وجود این دریچه‌های نردبانی می‌تواند با توجه به شرایط سخت زیستگاهی و شوری آب در این گونه به افزایش امنیت انتقال آب کمک کند [۲۱]. همچنین در این گونه هر چه سن درخت بالاتر برود، مکانیسم‌های سازگاری بیشتری با محیط از جمله دریچه‌های نردبانی برای انتقال بهینه آب خواهند داشت [۲۰]. در نمونه‌های طبیعی وجود کیسه‌های بادکنکی‌شکل (به رنگ آبی/بنفش) درون آوندها تایید شد. به دو دلیل می‌توان ادعا کرد پدیده‌ی تیلی شدن در چندل وجود داشت. اولاً که تیل‌ها عموماً شکل هندسی منظمی، شبیه به چندضلعی یا دایره، داشتند و دوم اینکه این آنها فقط در داخل آوندها دیده‌شدند و احتمال اینکه بافت‌های دیگری از جای دیگری باشند که در هنگام آماده‌سازی نمونه‌ها به داخل آوندها رفته‌اند بسیار کم است. در مقاله‌ای دیگر در مورد گونه‌ی دیگر از جنس *Rhizophora* نه تنها وقوع پدیده مسدود شدن آوندها یا همان پدیده آمبولی تایید شده بلکه، ظرفیت گونه در ترمیم این آوندها نیز مورد بررسی قرار گرفته‌است [۱۲]. به علاوه در تحقیقات دیگری وجود پدیده‌ی تشکیل تیل نیز در جنس *Rhizophora* تایید شده‌است [۲۱].

در مقابل، گونه‌ی حرا به دلیل رفتار کامبیومی خاص و رشد نامنظم، کمتر برای مطالعات گاهشناسی مناسب است. در واقع، گونه‌ی حرا فاقد حلقه‌های رشد سالیانه‌ی منظم است و لایه‌های رشد مشاهده‌شده در مقطع عرضی مربوط به سال‌های مجزا نیستند. با این حال، مرز این لایه‌ها به‌صورت ظاهری کاملاً قابل شناسایی است. ویژگی بارز آناتومیک در این گونه، وجود نوارهای کامبیومی با ساختارهای متنوع شامل نوارهای بسته، باز یا دوشاخه است که به صورت مستقل و نامتقارن در نواحی مختلف تنه توسعه می‌یابد [۲۲]. این الگوی رشد باعث می‌شود مقایسه‌ی کمی بین پارامترهای آوندی با فرض وجود حلقه‌های منظم در این گونه ممکن نباشد [۲۱]. تحلیل‌های کمی نشان داد که اندازه‌ی آوندها در گونه‌ی حرا به طور میانگین بزرگ‌تر از گونه‌ی چندل بود، ولی به دلیل عدم تشکیل دواپر رشد سالیانه در گونه‌ی حرا، مقایسه‌ی تراکم و درصد پوشش آوندی در دو گونه، از نظر روش‌شناختی قابل استناد نیست [۲۳]. به علاوه، در تصاویر گونه حرا مشاهده شد که هرچه از مرکز نمونه به

- Management*, 31, pp.115–128.
<https://doi.org/10.1007/s11273-022-09904-1>
- [10] Tomlinson, P.B., 2016. *The botany of mangroves*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- [11] Garcia, M., Sherwin, H., Calvo-Alvarado, J. and da Silva, L.C.R., 2024. Variation in annual ring and wood anatomy of six tree mangrove species in the Nicoya Gulf of Costa Rica. *Water*, 16(17), 3207. <https://doi.org/10.3390/w16173207>
- [12] Melcher, I., Verheyden, A., Schmitz, N., Koedam, N. and Beeckman, H., 2001. Influence of intraseasonal climate variations on the radial growth of *Rhizophora mucronata*. *Annals of Botany*, 88(6), pp.1171–1179. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1545>
- [13] Fonti, P., von Arx, G., Carrer, M., Garcia-Gonzalez, I., Eilmann, B., Sass-Klaassen, U., Gärtner, H. and Eckstein, D., 2010. Dendroanatomy: a guide for applications in tree-ring research. *Dendrochronologia*, 28(3), pp.157–166. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.12.002>
- [14] von Arx, G. and Carrer, M., 2014. ROXAS – A new tool to build centuries-long tracheid-lumen chronologies in conifers and angiosperms. *Dendrochronologia*, 32(3), pp.290–293. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2013.12.001>
- [15] Verheyden, A., Kairo, J.G., Beeckman, H. and Koedam, N., 2004. Growth rings, growth ring formation and age determination in the mangrove *Rhizophora mucronata*. *Annals of botany*, 94(1), pp.59–66. <https://doi.org/10.1093/aob/mch115>
- [16] Souza, B.T., Estrada, G.C., Soares, M.L. and Callado, C.H., 2016. Occurrence of annual growth rings in *Rhizophora mangle* in a region with low climate seasonality. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(Suppl 1), pp.517–525. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150009>
- [17] Schmitz, N., Verheyden, A., Beeckman, H., Kairo, J.G. and Koedam, N., 2006. Influence of a salinity gradient on the vessel characters of the mangrove species *Rhizophora mucronata*. *Annals of Botany*, 98(6), pp.1321–1330. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl224>
- [18] Verheyden, A., Helle, G., Schleser, G.H., Dehairs, F., Beeckman, H. and Koedam, N., 2004. Annual cyclicity in high-resolution stable carbon and oxygen isotope ratios in the wood of the mangrove tree *Rhizophora mucronata*. *Plant, Cell & Environment*, 27(12), pp.1525–1536. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01258.x>
- [19] Souza, B.T., Estrada, G.C., Soares, M.L. and Callado, C.H., 2016. Occurrence of annual growth rings in *Rhizophora mangle* in a region with low climate seasonality. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(Suppl 1), pp.517–525. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150009>
- [20] Moya, R., Tenorio, C., Torres-Gómez, D. and Cifuentes-Jara, M., 2024. Variation in Annual Ring

داریم. از حاج درویش شریفی نیز به خاطر پشتیبانی‌هایشان در طول عملیات میدانی در محل برداشت نمونه‌ها صمیمانه تشکر می‌کنیم. این پژوهش از نظر مالی توسط بورسیه تبادل دانشجویی + ERASMUS حمایت شده است.

منابع

- [1] Oladi, Reza, Saeideh Nasiriani, Afshin Danekar, and K. Pourtahmasi. "Inter-relations between tree-ring width and vessel features in black alder (*Alnus glutinosa*)."
(2015): 278-288. <http://doi.org/10.22092/ijwpr.2015.12925>
- [2] Emami-Nasab, M. and Oladi, R., 2014. Comparative wood anatomy of four shrubs from Sarab region. *Forest and Wood Products*, 67(3), pp.437-451. <https://doi.org/10.22059/jfwp.2014.51402>
- [3] De Deurwaerder, H., Okello, J.A., Koedam, N., Schmitz, N. and Steppe, K., 2016. How are anatomical and hydraulic features of the mangroves *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata* influenced by siltation? *Trees*, 30(1), pp.35–45. <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1357-x>
- [4] Safdari, V. and Pourmosa, S., 2015. Wood anatomy of the Iranian mangrove tree *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29(4), pp.561–571. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2014.8472>
- [5] Schmitz, N., Santini, N.S., Lovelock, C.E., Alarcón, C., Robert, E.M.R., Finlayson, C.M., Koedam, N. and Dahdouh-Guebas, F., 2012. Variation in wood density and anatomy in *Avicennia marina*. *Trees*, 26(6), pp.1793–1806. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0743-2>
- [6] von Arx, G., Crivellaro, A., Prendin, A.L., Cufar, K. and Carrer, M., 2016. Quantitative wood anatomy — practical guidelines. *Frontiers in Plant Science*, 7, 781. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00781>
- [7] Wang, W., You, S., Wang, Z., Jiang, L., Xu, S. and Chen, L., 2020. Vessel characteristics and hydraulic conductivity of mangrove species along a salinity gradient in southern China. *Trees*, 34(4), pp.961–973. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01984-4>
- [8] Robert, E.M.R., Koedam, N., Beeckman, H. and Schmitz, N., 2009. A safe hydraulic architecture as wood anatomical explanation for the difference in distribution of the mangroves *Avicennia* and *Rhizophora*. *Functional Ecology*, 23(4), pp.649–657. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01551.x>
- [9] Farshid, Z., Moradi Balef, R., Zendejboudi, T., Dehghan, N., Mohajer, F., Kalbi, S., Hashemi, A., Afshar, A., Heidari Bafghi, T., Baneshi, H., Tamadon, A. et al., 2022. Reforestation of grey mangroves (*Avicennia marina*) along the northern coasts of the Persian Gulf. *Wetlands Ecology and*

- [24] Vidyasagaran, K., Nibu, K. and Anoop, E.V., 2014. Anatomy of selected woody mangroves in the west coast of Kerala. *Ind Jour of Plant Scie*, 3(1), pp.70-74.
- [۱۸] Van Vliet, G.J.C.M., 1976. Wood anatomy of the Rhizophoraceae. *Blumea*, 23, pp.239-264.
- [25] Schulte, P.J. and Castle, A.L., 1993. Water flow through vessel perforation plates — the effects of plate angle and thickness in *Quercus rubra*. *IAWA Journal*, 14(1), pp.33-41. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001222>
- [26] Robert, E.M., Jambia, A.H., Schmitz, N., De Ryck, D.J., De Mey, J., Kairo, J.G., Dahdouh-Guebas, F., Beeckman, H. and Koedam, N., 2014. How to catch the patch? A dendrometer study of the radial increment through successive cambia in the mangrove *Avicennia*. *Annals of botany*, 113(4), pp.741-752. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu001>
- and Wood Anatomy of Six Tree Mangrove Species in the Nicoya Gulf of Costa Rica. *Water*, 16(22), p.3207. <https://doi.org/10.3390/w16223207>
- [21] Esteban, L.G., de Palacios, P., Gasson, P., García-Iruela, A., García-Fernández, F. and García-Esteban, L., 2024. Hardwoods: Anatomy and functionality of their elements—a short review. *Forests*, 15(7), p.1162. <https://doi.org/10.3390/f15071162>
- [22] Schmitz, N., Koch, G., Beeckman, H., Koedam, N., Robert, E.M. and Schmitt, U., 2012. A structural and compositional analysis of intervessel pit membranes in the sapwood of some mangrove woods. *Iawa Journal*, 33(3), pp.243-256. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000091>
- [23] Schmitz, N., Robert, E.M., Verheyden, A., Kairo, J.G., Beeckman, H. and Koedam, N., 2008. A patchy growth via successive and simultaneous cambia: key to success of the most widespread mangrove species *Avicennia marina*? *Annals of Botany*, 101(1), pp.49-58. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm280>