Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

(OPEN ACCESS)

Evaluation of physical and fiber properties of *Amygdalus elaeagnifolia* wood in different habitats of Chaharmahal va Bakhtiari Province

Mohsen Bahmani[*1], Fatemeh Ebrahimi[2], Saleh Kahyani[3], Yaghoub Iranmanesh[4], Leila Fathi[5], Nasrin Gharahi[6], Elham Ghehsareh Ardestani[7]

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Furniture Industry Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: mohsen.bahmani@sku.ac.ir
2. M.Sc. Graduate, Faculty of Natural, Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: ----------
3. Assistant Prof., Dept. of Forest Sciences, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: ----------
4. Associate Prof., Forests and Rangelands Research Dept. Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education. E-mail: ----------
5. Assistant Prof., Dept. of Furniture Industry Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: ----------
6. Associate Prof., Dept. of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: ----------
7. Associate Prof., Dept. of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: ----------

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 02.09.2026
Revised: ----------
Accepted: 04.08.2026

Keywords:
Amygdalus elaeagnifolia,
Fiber biometry,
Habitat conditions,
Physical properties of wood

ABSTRACT

Background and Objectives: Zagros forests are among the most important forest habitats in Iran, and various wild almond species are considered key elements of this ecosystem. This study aims to investigate the effect of habitat conditions on the physical properties of wood and the biophysical properties of fibers of *Amygdalus elaeagnifolia* in two habitats, Choliche and Karebas, in Chaharmahal va Bakhtiari Province.

Materials and Methods: Wood samples were selectively harvested from healthy, same-aged trees at breast height. Properties such as dry density, critical basal density, swelling, shrinkage, and fiber characteristics (length, diameter, and cell wall thickness) were measured. To examine the effect of habitat on the physical and biochemical characteristics of *A. elaeagnifolia*, the data were first tested for normality using the Kolmogorov-Smirnov test and for homogeneity of variances using Levene's test. When normality and homoscedasticity were confirmed, means were compared using an independent t-test. Where parametric assumptions were violated, the non-parametric Mann-Whitney U test was used. Pearson correlation coefficients were calculated to analyze relationships between variables, and the correlation matrix served as the basis for identifying dominant axes of change, allowing for examination of collinearity among traits and determination of coordinated variable sets. Additionally, principal component analysis (PCA) was applied to reduce data dimensionality and identify principal components.

Results: Statistical test results showed that some physical and biochemical properties of *A. elaeagnifolia* wood are influenced by habitat conditions.

Uncorrected Proof

Differences observed in indices such as density and fiber structural components between the two habitats confirm the role of environmental factors, including climate, in determining wood properties. Correlations indicated a direct dependence of mass on volume at all moisture levels, suggesting that sample mass changes are mainly a function of volume changes, consistent with the physical behavior of wood. The correlation between dry density, wet density, and wet mass reflects the relative stability of wood structure during transition from dry to wet conditions. Critical basal density showed a strong positive correlation with fiber diameter, indicating that thicker fibers tend to have thicker cell walls, which increases basal density (dry mass per wet volume). Shrinkage and swelling exhibited a strong positive correlation, demonstrating coherent behavior: wood that shrinks more upon drying also swells more upon moisture absorption. In biometric properties, positive and strong correlations were observed (e.g., crown diameter with crown cross-sectional area, and collar diameter with shoot height), indicating simultaneous, proportional growth of different tree components. PCA revealed that the first two components accounted for a major portion of total variance. The first component was mainly influenced by wood mass, volume, and density, while the second component was more associated with swelling, shrinkage, and climatic factors. These results indicate that separation of specimens and habitats is based not on a single characteristic but on a combination of fiber and physical traits.

Conclusion: Overall, the results demonstrate that habitat conditions play a decisive role in the variability of physical and biometric properties of *A. elaeagnifolia* wood. These findings can inform understanding of the species' ecological potential, management planning, conservation, and sustainable use of forest habitats in the Zagros region.

Cite this article: Bahmani, Mohsen, Ebrahimi, Fatemeh, Kahyani, Saleh, Iranmanesh, Yaghoub, Fathi, Leila, Gharahi, Nasrin, Ghehsareh Ardestani, Elham. 2026. Evaluation of physical and fiber properties of *Amygdalus elaeagnifolia* wood in different habitats of Chaharmahal va Bakhtiari Province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 33 (1), 111-130.

© The Author(s).
DOI:
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Uncorrected Proof

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و زیست‌سنجی الیاف چوب بادام برگ‌سنجدی (*Amygdalus elaeagnifolia*) در رویشگاه‌های مختلف استان چهارمحال و بختیاری

محسن بهمنی*[۱]، فاطمه ابراهیمی[۲]، صالح کهیانی[۳]، یعقوب ایران‌منش[٤]، لیلا فتحی[٥]، نسرین قرهی[٦]، الهام قهساره اردستانی[۷]

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی صنایع مبلمان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: mohsen.bahmani@sku.ac.ir

۲. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: ----------

۳. استادیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: ----------

٤. دانشیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: ----------

۵. استادیار گروه مهندسی صنایع مبلمان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: ----------

٦. دانشیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: ----------

۷. دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: ----------

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۱۱/۲۰
تاریخ ویرایش: --------
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۵/۰۱/۱۹

واژه‌های کلیدی:
بادام برگ‌سنجدی،
جنگل‌های زاگرس،
زیست‌سنجی الیاف،
شرایط رویشگاهی،
ویژگی‌های فیزیکی چوب

چکیده

سابقه و هدف: جنگل‌های زاگرس یکی از مهم‌ترین رویشگاه‌های جنگلی ایران به شمار می‌روند و گونه‌های مختلف بادام وحشی از عناصر شاخص این اکوسیستم محسوب می‌شوند. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر شرایط رویشگاهی بر ویژگی‌های فیزیکی چوب و خصوصیات زیست‌سنجی الیاف گونه بادام برگ‌سنجدی (*Amygdalus elaeagnifolia*) در دو رویشگاه چلیچه و کره‌بس در استان چهارمحال و بختیاری است.

مواد و روش‌ها: نمونه‌های چوب از درختان سالم و هم‌سن در ارتفاع برابر سینه به روش انتخابی برداشت شدند و ویژگی‌های فیزیکی مانند دانسیته خشک، دانسیته پایه بحرانی، واکشیدگی، هم‌کشیدگی و مشخصات زیست‌سنجی الیاف (طول، قطر و ضخامت دیواره سلولی) اندازه‌گیری شد. به‌منظور بررسی تأثیر رویشگاه بر ویژگی‌های فیزیکی و زیست‌سنجی چوب بادام برگ‌سنجدی، ابتدا داده‌ها از نظر نرمال بودن با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون ارزیابی شدند. در صورت تأیید فرض نرمال بودن و همگنی واریانس‌ها، مقایسه میانگین‌ها با آزمون t مستقل انجام گرفت. در مواردی که پیش‌فرض‌های لازم برای آزمون پارامتریک نقض شد، از آزمون ناپارامتری یومن‌ویتنی برای مقایسه میانگین‌ها

Uncorrected Proof

استفاده گردید. برای تحلیل روابط بین متغیرها، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد و ماتریس همبستگی به‌عنوان مبنای شناسایی محورهای غالب تغییرات ارائه گردید. این ماتریس امکان بررسی هم‌خطی بین صفات و تعیین مجموعه متغیرهای هم‌راستا را فراهم کرد. هم‌چنین برای تحلیل روابط بین متغیرها از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای کاهش ابعاد داده‌ها و شناسایی مؤلفه‌های اصلی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج آزمون‌های آماری نشان داد قطر الیاف و دانسیته پایه چوب بادام برگ‌سنجدی تحت‌تأثیر شرایط رویشگاهی قرار دارند. تفاوت‌های مشاهده‌شده در شاخص‌هایی مانند دانسیته و مؤلفه‌های ساختاری الیاف بین دو رویشگاه، نقش مؤثر عوامل محیطی مانند اقلیم را در تعیین خصوصیات چوب تأیید می‌کند. همبستگی‌های بالا بیانگر وابستگی مستقیم جرم به حجم در تمام سطوح رطوبتی است و نشان می‌دهد که تغییرات جرمی نمونه‌ها عمدتاً تابعی از تغییرات حجمی آن‌هاست، موضوعی که با رفتار فیزیکی چوب کاملاً سازگار است. همبستگی بین دانسیته خشک با دانسیته تر و جرم تر بیانگر پایداری نسبی ساختار چوب در گذار از وضعیت خشک به تر است. دانسیته پایه بحرانی با قطر الیاف همبستگی مثبت و قوی را نشان داد. این نشان می‌دهد که الیاف ضخیم‌تر معمولاً با دیواره سلولی ضخیم‌تر همراه هستند که منجر به افزایش دانسیته پایه (جرم خشک به حجم تر) می‌شود. هم‌کشیدگی با واکشیدگی همبستگی مثبت و بسیار قوی نشان داد. بیانگر آن است که این دو ویژگی مکانیکی رفتاری هم‌راستا دارند؛ یعنی چوبی که هنگام خشک شدن بیش‌تر هم‌کشیدگی می‌کند، هنگام جذب رطوبت نیز واکشیدگی بیش‌تری نشان می‌دهد. در ویژگی‌های زیست‌سنجی نیز همبستگی مثبت و قوی بین متغیرهای قطر تاج و سطح مقطع تاج و بین قطر یقه و ارتفاع جست مشاهده می‌شود که بیانگر رشد هم‌زمان و متناسب اجزای مختلف درخت است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که دو مؤلفه نخست بخش عمده‌ای از واریانس کل داده‌ها را تبیین می‌کنند. مؤلفه اول عمدتاً تحت‌تأثیر ویژگی‌جرم، حجم و دانسیته چوب قرار داشت، درحالی‌که مؤلفه دوم بیش‌تر با صفات مرتبط با واکشیدگی، هم‌کشیدگی و عوامل اقلیمی همراه بود. این نتایج نشان می‌دهد که جدایش نمونه‌ها و رویشگاه‌ها نه صرفاً بر اساس یک ویژگی منفرد، بلکه بر پایه ترکیب هم‌زمان صفات فیبری و فیزیکی صورت می‌گیرد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شرایط رویشگاهی نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییرپذیری خواص فیزیکی و زیست‌سنجی الیاف چوب بادام برگ‌سنجدی دارد. این یافته‌ها می‌تواند در شناخت توان اکولوژی گونه، برنامه‌ریزی مدیریتی، حفاظت و بهره‌برداری پایدار از رویشگاه‌های جنگلی زاگرس مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: بهمنی، محسن، ابراهیمی، فاطمه، کهیانی، صالح، ایران‌منش، یعقوب، فتحی، لیلا، قرهی، نسرین، قهساره اردستانی، الهام (۱۴۰۵). ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و زیست‌سنجی الیاف چوب بادام برگ‌سنجدی (*Amygdalus elaeagnifolia*) در رویشگاه‌های مختلف استان چهارمحال و بختیاری. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۳ (۱)، ۱۳۰-۱۱۱.

DOI:

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

Uncorrected Proof

مقدمه

منطقه زاگرس یکی از وسیع‌ترین و مهم‌ترین رویشگاه‌های جنگلی ایران به شمار می‌رود که با وسعتی در حدود پنج میلیون هکتار، نزدیک به ٤٠ درصد از کل جنگل‌های کشور را به خود اختصاص داده است (١). این جنگل‌ها به‌عنوان یکی از گسترده‌ترین رویشگاه‌های گیاهی کشور و دومین اکوسیستم مهم جنگلی ایران، نقش اساسی در حفاظت منابع طبیعی، پایداری اکولوژی و حفظ تنوع زیستی ایفا می‌کنند (٢ و ٣). رویشگاه زاگرس بخش وسیعی از سلسله جبال زاگرس را دربر می‌گیرد که از شمال‌غرب کشور آغاز شده و تا جنوب ایران امتداد می‌یابد و به دلیل شرایط خاص اقلیمی و توپوگرافی، تنوع قابل‌توجهی از گونه‌های چوبی را در خود جای داده است (١، ٣ و ٢٠). در میان گونه‌های چوبی زاگرس، گونه‌های مختلف بادام وحشی (*Amygdalus* spp.) از عناصر شاخص این رویشگاه محسوب می‌شوند که پراکنش وسیعی در مناطق نیمه‌خشک و کوهستانی دارند. این گونه‌ها علاوه بر نقش حفاظتی در جلوگیری از فرسایش خاک و تثبیت شیب‌ها، به‌عنوان بخشی از ساختار طبیعی جنگل‌های زاگرس، از نظر بوم‌شناختی و مدیریتی دارای اهمیت ویژه‌ای هستند (٤). گونه بادام برگ‌سنجدی (*Amygdalus elaeagnifolia*) از جمله گونه‌های بومی این منطقه می‌باشد که به دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی سخت، در بسیاری از رویشگاه‌های زاگرس حضور دارد.

خواص فیزیکی چوب از جمله دانسیته، هم‌کشیدگی و واکشیدگی، از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین‌کننده کیفیت چوب و قابلیت استفاده آن در کاربردهای مختلف به شمار می‌روند. دانسیته چوب ارتباط مستقیمی با ساختار آناتومیکی، استحکام و رفتار چوب در برابر تنش‌های محیطی دارد و یکی از مهم‌ترین معیارها در ارزیابی کیفیت چوب گونه‌های جنگلی محسوب می‌شود (٥). از سوی دیگر، ویژگی‌های زیست‌سنجی الیاف چوب مانند طول الیاف، قطر الیاف و ضخامت دیواره سلولی، نقش تعیین‌کننده‌ای در خواص مکانیکی چوب و کیفیت فرآورده‌هایی مانند خمیر و کاغذ ایفا می‌کنند (٦ و ٧). مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی و زیست‌سنجی الیاف چوب به‌شدت تحت‌تأثیر عوامل مختلفی از جمله گونه، سن درخت، شرایط رویشگاهی، اقلیم و ویژگی‌های خاک قرار دارند (٥ و ٨). شرایط رویشگاهی از طریق تأثیر بر رشد درخت و تشکیل بافت‌های چوبی، می‌تواند موجب تغییرات قابل‌توجهی در دانسیته و ساختار الیاف چوب شود (٩). در این زمینه، پژوهش‌های انجام‌شده در گونه‌های مختلف جنگلی زاگرس نشان داده‌اند که تفاوت‌های رویشگاهی می‌تواند باعث تغییرات معنی‌دار در خواص فیزیکی و زیست‌سنجی چوب شود (١، ٢٠ و ١٠).

با وجود اهمیت اکولوژی و پراکنش گسترده گونه‌های بادام وحشی در جنگل‌های زاگرس، بررسی‌های انجام‌شده درباره خواص فیزیکی چوب و ویژگی‌های زیست‌سنجی الیاف این گونه‌ها بسیار محدود است و اغلب مطالعات پیشین بیش‌تر بر جنبه‌های رویشی، بوم‌شناختی یا حفاظتی تمرکز داشته‌اند (١١ و ١٢). گونه‌های بادام وحشی علاوه بر نقش حفاظتی، منبع سوخت محلی، مواد اولیه ابزارهای روستایی و قابلیت بالقوه در صنایع کوچک چوبی هستند؛ بااین‌حال اطلاعات دقیقی از کیفیت چوب آن‌ها وجود ندارد. بنابراین شناخت ویژگی‌های فیزیکی چوب این گونه‌ها برای ارزیابی قابلیت بهره‌برداری پایدار ضروری است. این در حالی است

Uncorrected Proof

که شناخت دقیق این ویژگی‌ها می‌تواند نقش مهمی در ارزیابی قابلیت‌های بالقوه چوب این گونه‌ها و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و حفاظتی ایفا کند. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر شرایط رویشگاهی بر ویژگی‌های فیزیکی (دانسیته خشک، دانسیته پایه، هم‌کشیدگی و واکشیدگی حجمی) و ویژگی‌های زیست‌سنجی الیاف (طول الیاف، قطر الیاف و ضخامت دیواره سلولی) چوب بادام برگ‌سنجدی (*Amygdalus elaeagnifolia*) در دو رویشگاه کره‌بس و چلیچه در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. نتایج این پژوهش می‌تواند ضمن تکمیل خلأهای علمی موجود، اطلاعات کاربردی ارزشمندی را در زمینه مدیریت پایدار، حفاظت جنگل‌های زاگرس و ارزیابی کیفیت چوب گونه‌های بادام وحشی فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در دو رویشگاه جنگلی کره‌بس و چلیچه (شکل ۱) واقع در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. رویشگاه کره‌بس با وسعت حدود ۵۰۶/۷ هکتار در ۶۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهرکرد قرار دارد و بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی امام‌قیس، دارای اقلیم گرم و خشک است. متوسط بارندگی سالیانه ۵۳۷ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۱۰/٤ درجه سانتی‌گراد، دارای رژیم بارشی نامنظمی است که در برخی ماه‌ها بارش به صفر می‌رسد و حداکثر بارش ماهانه آن ۸۵ میلی‌متر می‌باشد. از نظر توپوگرافی، این منطقه در ارتفاعاتی بین ۱۷٤۵ تا ۲۳۱٤ متر از سطح دریا و در واحد تپه‌ای واقع شده که شیب‌های آن عمدتاً در جهت‌های شمالی و جنوب شرقی گسترش یافته‌اند. خاک‌های این ناحیه با عمق متوسط و بافت رسی و شنی لومی، دارای ساختمان دانه‌ای و مکعبی هستند که باعث شده‌اند نفوذپذیری نسبتاً مناسب و زهکشی مطلوبی داشته باشند.

رویشگاه چلیچه در فاصله حدود ۳۰ کیلومتری شمال‌غرب شهرکرد و در ارتفاع ۲۰۳۳ متر از سطح دریا (۲۲۰۶–۲۰۸۸ متر از سطح دریا) واقع شده است. مختصات جغرافیایی این منطقه در حدود طول شرقی ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه و عرض شمالی ۳۲ درجه و ۱٦ دقیقه قرار دارد. این رویشگاه در ناحیه‌ای کوهستانی با اقلیم مدیترانه‌ای معتدل واقع شده است. این منطقه دارای بارندگی سالیانه متوسط ۵۲۸ میلی‌متر است که توزیع ماهانه آن نامنظم بوده و در برخی ماه‌ها حداقل بارش صفر و حداکثر آن به ٦/۹۸ میلی‌متر می‌رسد. از نظر دمایی، اقلیم این ناحیه با متوسط دمای ۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد، نوسان زیادی دارد به‌طوری‌که حداقل مطلق دما منفی ۲۰ درجه و حداکثر مطلق آن ۳٦ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. اراضی این منطقه عمدتاً در واحد تپه‌ای واقع شده و شیب غالب آن‌ها در جهت جنوب شرقی و شمال غربی است. خاک‌ها عموماً عمیق تا نسبتاً عمیق، با بافت رسی و شنی لومی و ساختار دانه‌ای و مکعبی می‌باشند که باعث شده نفوذپذیری نسبتاً مناسب و زهکشی خوبی داشته باشند.

Uncorrected Proof

(ب) (الف)

(B) (A)

شکل ۱- رویشگاه جنگلی منطقه چلیچه (الف) و کره بس (ب).

Figure 1. Forest habitat of the Choliche region (A) and Karebas region (B).

گونه‌های مورد بررسی و نمونه‌برداری: به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و زیست‌سنجی الیاف چوب و ارزیابی خصوصیات کمی و ساختاری گونه‌ی بادام برگ‌سنجدی در رویشگاه‌های کره‌بس و چلیچه، ابتدا با انجام جنگل‌گردشی، وضعیت فعلی توده‌ها از نظر ساختار، ترکیب گونه‌ای و پراکنش پایه‌ها شناسایی شد. با توجه به وسعت عرصه‌های مورد مطالعه و ساختار طبیعی توده‌های جنگلی در رویشگاه‌های زاگرسی، اندازه‌گیری تمامی پایه‌ها از نظر اجرایی و زمانی مقدور نبوده است؛ ازاین‌رو، نمونه‌برداری به‌صورت هدفمند- سیستماتیک و با رعایت اصول آماربرداری جنگل انجام شد. بازدید میدانی اولیه به‌منظور ارزیابی یکنواختی توده، تراکم، وضعیت تاج‌پوشش و سلامت عمومی پایه‌ها انجام شد تا از انتخاب مناطق دارای آشفتگی شدید، بهره‌برداری قبلی یا تنش‌های غیرعادی جلوگیری شود. انتخاب توده‌ها و پایه‌های نمونه به‌گونه‌ای انجام گرفت که گونه موردمطالعه در دامنه‌ای مناسب از شرایط ارتفاعی، شیب و جهات جغرافیایی حضور داشته باشد. با توجه به ماهیت طبیعی توده‌ها و محدودیت‌های اجرایی، امکان اندازه‌گیری و تعیین سن تمام درختان از طریق روش‌های مخرب مانند شمارش حلقه‌های رشد فراهم نبود. ازاین‌رو، کنترل هم‌سن بودن پایه‌ها به‌صورت غیرمستقیم و بر پایه شاخص‌های متداول جنگل‌شناسی انجام شد. در هر رویشگاه، پایه‌هایی برای نمونه‌برداری انتخاب شدند که دارای شرایط زیر بودند: ۱- سالم و فاقد آسیب مکانیکی یا بیماری ۲- دارای تنه مستقیم و بدون پیچیدگی شدید ۳- قرار گرفتن در طبقه تاج غالب یا هم‌غالب ٤- فاقد انشعاب پایین‌تنه‌ای غیرعادی ٥- برخوردار از وضعیت رشدی یکنواخت در توده. به‌منظور کنترل نسبی سن و کاهش اثر تفاوت‌های رشدی؛ شاخص‌های قطر برابر سینه (DBH)، ارتفاع کل درخت، گسترش تاج و تناسب ابعادی، سلامت فیزیولوژیک، فرم تنه، عدم وجود آسیب مکانیکی یا آلودگی قارچی، قرارگیری در طبقه سنی و قطری همگن در نظر گرفته شد و درختانی انتخاب شدند که بیش‌ترین یکنواختی ساختاری را داشته باشند. هدف از این همگن‌سازی، حذف اثرات مداخله‌گر سن و مرحله رویشی و افزایش دقت مقایسه‌های بین رویشگاهی بود. انتخاب نمونه‌ها به‌گونه‌ای انجام گرفت که پایه‌های دارای ابعاد بسیار کوچک (جوان‌تر) یا بسیار بزرگ (مسن‌تر) وارد

Uncorrected Proof

نمونه‌برداری نشوند و درختان منتخب در دامنه عمومی ابعاد ساختاری توده قرار داشته باشند. با توجه به این‌که در توده‌های طبیعی هم‌گونه، قطر برابر سینه و ارتفاع کل به‌عنوان شاخص‌های پذیرفته‌شده برای برآورد نسبی سن و وضعیت رشد محسوب می‌شوند، این رویکرد امکان ایجاد یکنواختی نسبی سنی و ساختاری بین نمونه‌ها را فراهم ساخت؛ بااین‌حال، کنترل کامل و مطلق سن در شرایط طبیعی امکان‌پذیر نبوده است و این موضوع در تفسیر نتایج مدنظر قرار خواهد گرفت. نمونه‌برداری به روش انتخابی و در قطعات نمونه ۱۵ آری با حداقل ۱۵ قطعه نمونه در هر رویشگاه انجام شد و مشخصات فیزیوگرافی شامل موقعیت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه ثبت گردید. در هر قطعه نمونه شاخص‌های رویشی و زایشی پایه‌ها شامل تراکم، ارتفاع، قطر تاج، تعداد و قطر جست، سلامت تنه و میزان تجدید حیات مطابق دستورالعمل آماربرداری جنگل اندازه‌گیری شد. پس از انتخاب پایه‌های واجد شرایط، نمونه‌برداری در ارتفاع استاندارد برابر سینه انجام شد. موقعیت برداشت نمونه‌ها در ارتفاع مشخص و یکنواخت از سطح زمین انجام شد تا اثر تغییرات طولی ساقه در نتایج به حداقل برسد. به‌منظور کاهش اثر تغییرات درون‌تنه‌ای و ناهمگنی‌های محیطی و کاهش واریانس ناخواسته ناشی از شرایط محیطی خردمقیاس، نمونه‌ها از جهت جغرافیایی یکسان در تمامی پایه‌ها برداشت گردیدند. این اقدام به‌منظور افزایش قابلیت مقایسه بین رویشگاه‌ها و کاهش تأثیر جهت تابش، شیب و عوامل خردمحیطی صورت گرفت. در نهایت، با انتخاب یک پایه نماینده از هر گونه در هر قطعه نمونه، نمونه‌های چوبی به‌وسیله مته سال‌سنج یا برداشت قطاع در ارتفاع برابر سینه (با اخذ مجوزهای قانونی) استخراج شد. نمونه‌ها پس از برداشت، برچسب‌گذاری‌شده و جهت انجام آزمون‌های فیزیکی و زیست‌سنجی الیاف به آزمایشگاه منتقل شدند.

آماده‌سازی نمونه‌ها: برای بررسی ویژگی‌های زیست‌سنجی الیاف، تراشه‌هایی به طول ۲–۳ سانتی‌متر و ضخامت ۱–۳ میلی‌متر از سه ناحیه هر دیسک (نزدیک مغز، بین مغز و پوست، نزدیک پوست) تهیه شدند. تراشه‌ها در محلول فرانکلین به‌صورت حجمی ۱:۱ (اسید استیک و پراکسید هیدروژن ۱:۱) غوطه‌ور و به مدت ٤٨ ساعت در آون با دمای ٦٠–٥٠ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از شستشو با آب مقطر، الیاف با دقت جدا شده و با یک قطره محلول سفرانین رنگ‌آمیزی شدند. سپس با میکروسکوپ نوری طول، قطر الیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی در ۱۵ تکرار اندازه‌گیری شد (X10 برای طول، X40 برای سایر ابعاد).

در این پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی چوب بادام وحشی شامل دانسیته خشک (D_0d)، دانسیته بحرانی (D_B)، درصد هم‌کشیدگی حجمی (SW) و درصد واکشیدگی حجمی (SH) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای سنجش دانسیته از استاندارد ISO 13061-2 (2014) (۱۳) و برای اندازه‌گیری واکشیدگی از استاندارد ISO 13061-14 (2016) استفاده شد (١٤). تعداد ۳۰ نمونه از بخش‌های مختلف دیسک‌ها (۱۰ نمونه از هر دیسک) با ابعاد (مماسی × شعاعی × طول) ۲۰ × ۲۰ × ۳۰ میلی‌متر تهیه شد. همچنین جرم معمولی (وزن مخصوص بر مبنای رطوبت هوا خشک یا چگالی در شرایط تعادل) نمونه‌ها بر اساس رطوبت تعادل با هوای آزمایشگاه (حدود ۱۲ تا ۱۵ درصد) اندازه‌گیری و محاسبه گردید.

به این منظور، از ناحیه قطر برابر سینه درخت، دیسک‌هایی تهیه و نمونه‌های آزمونی از آن‌ها جدا گردید. پس از برش، نمونه‌ها در آون با دمای ۳±۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ٢٤ ساعت قرار داده شدند

Uncorrected Proof

تا به وزن ثابت برسند. سپس ابعاد (D_0) و جرم خشک (M_0) هر نمونه اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، نمونه‌ها در آب غوطه‌ور شدند و پس از رسیدن به حالت اشباع، جرم (Ms) و ابعاد (Ds) آن‌ها مجدداً اندازه‌گیری گردید. محاسبه ویژگی‌های مذکور براساس روابط ارائه‌شده توسط پانشین و دزیو (۱۹۸۰) انجام گرفت (٦).

برای تعیین درصد هم‌کشیدگی و واکشیدگی، حجم نمونه‌ها در دو حالت مرطوب اشباع (Vs) و خشک کامل (V_0) با کولیس اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های فیزیکی ابعاد نمونه‌ها مطابق استاندارد ISO و متناسب با قطر ساقه به‌صورت تقریبی ۱۵×۱۵×۲۰ میلی‌متر تهیه شد و دقت کولیس مورد استفاده ۰/۰۰۱ میلی‌متر بود. اندازه‌گیری ابعاد در سه جهت طولی، شعاعی و مماسی انجام شد. درصد هم‌کشیدگی و واکشیدگی با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه گردید.

$$sw = \frac{v_s - v_o}{v_0} \times 100 \qquad (۱)$$

$$SH = \frac{v_s - v_o}{v_s} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن‌ها، دانسیته خشک (D_0d) و دانسیته بحرانی (D_B) با استفاده از رابطه (۳) و (٤) محاسبه شدند.

$$D_0 d = \frac{m_0}{v_0} \qquad (۳)$$

$$D_B = \frac{m_0}{v_S} \qquad (٤)$$

برای ویژگی‌های زیست‌سنجی الیاف، تراشه‌های ۱۵×۱۰×۲ میلی‌متر در جهت مماسی برش خورده و پس از تیمار فرانکلین و غوطه‌وری در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲٤ ساعت، شستشو، رنگ‌آمیزی و اندازه‌گیری ابعاد الیاف انجام شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری: داده‌های حاصل پس از بررسی نرمال بودن توزیع و همگنی واریانس‌ها، با استفاده از آزمون‌های آماری مناسب مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. مقایسه میانگین صفات بین دو رویشگاه با استفاده از آزمون‌های مقایسه‌ای انجام شد که با تأیید فرض نرمال بودن و همگنی واریانس‌ها، مقایسه میانگین‌ها با آزمون t مستقل انجام گرفت. هم‌چنین به‌منظور بررسی روابط بین متغیرها، تحلیل همبستگی صورت گرفت. ماتریس همبستگی به‌عنوان مبنای شناسایی محورهای غالب تغییرات ارائه گردید. این ماتریس امکان بررسی هم‌خطی بین صفات و تعیین مجموعه متغیرهای هم‌راستا را فراهم کرد. طیف دقیق ضریب همبستگی (r) شامل شدت همبستگی بسیار ضعیف (۰/۱۹–۰/۰۰)، ضعیف (۰/۳۹–۰/۲۰)، متوسط (۰/۵۹–۰/٤۰)، قوی (۰/۷۹–۰/٦۰) و بسیار قوی (۱/۰۰–۰/۸۰) هستند.

به‌منظور کاهش ابعاد داده‌ها و شناسایی مؤلفه‌های اصلی و بررسی الگوی کلی تغییرپذیری و ساختار چندمتغیره داده‌ها، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. این روش با هدف شناسایی الگوهای همبستگی و کاهش ابعاد داده‌ها به‌کار رفت و ماهیت آن توصیفی- اکتشافی در نظر گرفته شد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) با روش استخراج مؤلفه‌های اصلی و چرخش واریماکس (Varimax rotation) اجرا شد. تعداد مؤلفه‌های retained بر اساس دو معیار تعیین گردید: ۱- نمودار اسکری (Scree Plot): نقطه شکست پس از مؤلفه چهارم به‌عنوان مرز انتخاب مؤلفه‌ها در نظر گرفته شد. ۲- معیار کایزر (Eigenvalue > 1): تنها مؤلفه‌هایی با مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک retained شدند. برای ارزیابی کفایت نمونه‌گیری و مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی، شاخص KMO[1] محاسبه شد و آزمون

1- Kaiser–Meyer–Olkin

Uncorrected Proof

Bartlett's Test of Sphericity اجرا گردید. در این پژوهش مقدار KMO برابر ۰/۵۶ و معنی‌داری آزمون Bartlett (P<۰/۰۰۱) نشان‌دهنده کفایت داده‌ها برای اجرای PCA بودند.

نتایج PCA به‌صورت نمودار اسکری، بای‌پلات و نقشه پراکنش نمونه‌ها ارائه شد و بارگذاری متغیرها در مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی صفات کلیدی در جدایش رویشگاه‌ها گزارش گردید. لازم به ذکر است که این بررسی صرفاً الگوهای هم‌رفتاری میان متغیرها (همبستگی) را نشان می‌دهد و هرگونه استنباط علّی بر پایه این نتایج، نیازمند مطالعات عمیق‌تر و طراحی‌های تحقیقاتی مناسب است. تمامی تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ و نرم‌افزار R انجام شد.

نتایج

آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی چوب: نتایج آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی چوب بادام برگ‌سنجدی در دو رویشگاه کره‌بس و چلیچه در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. بر اساس جدول یک، جرم خشک گونه بادام برگ‌سنجدی در رویشگاه کره‌بس ۷/۱۱±۰/۴۹ گرم و چلیچه ۷/۰۶±۰/۸۷ گرم اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (pvalue=۰/۹۶). میانگین جرم تر در رویشگاه کره‌بس ۷/۳۹±۰/۴۹ گرم و در رویشگاه چلیچه ۷/۳۹±۰/۹۱ گرم بود که اختلاف آماری معنی‌داری بین دو رویشگاه مشاهده نشد (pvalue=۰/۸۸). از نظر حجم، نتایج نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین حجم خشک و حجم تر چوب گونه برگ‌سنجدی در دو رویشگاه مورد بررسی وجود ندارد.

نتایج مربوط به دانسیته خشک، تر و پایه چوب در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس این جدول، بین دانسیته خشک گونه بادام برگ‌سنجدی در دو رویشگاه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (pvalue=۰/۲۷). در مورد دانسیته تر نیز الگوی مشابهی مشاهده شد و این ویژگی در این گونه تفاوت آماری معنی‌داری بین دو رویشگاه نداشت. بررسی دانسیته پایه نشان داد که اختلاف دانسیته پایه بین دو رویشگاه از لحاظ آماری معنی‌دار نیست (pvalue=۰/۱۷).

جدول ۱- آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی چوب (جرم و حجم) گونه بادام برگ‌سنجدی در دو رویشگاه.

Table 1. Descriptive statistics of wood physical properties (mass and volume) of *Amygdalus elaeagnifolia* in two habitats.

گونه Species	رویشگاه Habitat	حجم خشک (cm^3) Dry volume	حجم تر (cm^3) Wet volume	جرم خشک (g) Dry mass	جرم تر (g) Wet mass
بادام برگ‌سنجدی *Amygdalus elaeagnifolia*	کره‌بس Karebas	7.79±0.30	7.79±0.30	7.11±0.49	7.39±0.49
	چلیچه Choliche	8.02±0.52	8.19±0.44	7.06±0.87	7.39±0.91

جدول ۲- آمار توصیفی ویژگی‌های فیزیکی چوب (دانسیته) گونه بادام برگ‌سنجدی در دو رویشگاه.

Table 2. Descriptive statistics of the physical properties of wood (density) of *Amygdalus elaeagnifolia* in two habitats.

گونه Species	رویشگاه Habitat	دانسیته خشک (g/cm^3) Dry density	دانسیته تر (g/cm^3) Wet density	دانسیته پایه (g/cm^3) Normal density
بادام برگ‌سنجدی *Amygdalus elaeagnifolia*	کره‌بس Karebas	0.91±0.05	0.92±0.05	0.79±0.06
	چلیچه Choliche	0.87±0.07	0.90±0.08	0.75±0.06

Uncorrected Proof

هم‌کشیدگی و واکشیدگی حجمی چوب و ویژگی‌های زیست‌سنجی الیاف چوب: نتایج مربوط به هم‌کشیدگی، واکشیدگی حجمی و ویژگی‌های زیست‌سنجی الیاف چوب در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج، میزان هم‌کشیدگی چوب گونه‌ی بادام برگ‌سنجدی در رویشگاه چلیچه بیش‌تر از کره‌بس بود، بااین‌حال اختلافات مشاهده‌شده از نظر آماری معنی‌دار نبود (pvalue>۰/۰۵). هم‌چنین واکشیدگی حجمی چوب در دو رویشگاه مورد بررسی اختلاف آماری معنی‌داری نشان نداد، اگرچه مقادیر واکشیدگی چوب گونه‌ی بادام برگ‌سنجدی در رویشگاه چلیچه اندکی بیش‌تر بود. بررسی ویژگی‌های زیست‌سنجی الیاف نشان داد که بین طول الیاف گونه بادام برگ‌سنجدی در دو رویشگاه تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (pvalue>۰/۰۵). نتایج نشان داد که بین قطر الیاف گونه‌ی بادام برگ‌سنجدی در دو رویشگاه مورد بررسی تفاوت آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد (pvalue=۰/۰۲) که مقدار قطر الیاف در رویشگاه کره‌بس بیش‌تر از رویشگاه چلیچه می‌باشد که می‌توان گفت قطر الیاف بیش‌تر به تنش رطوبتی حساس است درحالی‌که طول الیاف بیش‌تر ژنتیکی کنترل می‌شود. طبق نتایج به‌دست‌آمده؛ بین ضخامت دیواره سلولی گونه بادام برگ‌سنجدی در دو رویشگاه مورد بررسی تفاوت آماری معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۳- میانگین هم‌کشیدگی و واکشیدگی حجمی چوب و ویژگی‌های زیست‌سنجی الیاف چوب برگ‌سنجدی در دو رویشگاه.

Table 3. Average volumetric shrinkage and swelling of wood and biomechanical properties of hardwood fibers of *Amygdalus elaeagnifolia* in two habitats.

گونه Species	رویشگاه Habitat	واکشیدگی Swelling	هم‌کشیدگی Shrinkage	طول الیاف (mm) Fiber length	قطر الیاف (µm) Fiber diameter	ضخامت دیواره سلولی (µm) Cell wall thickness
بادام برگ‌سنجدی *Amygdalus elaeagnifolia*	کره‌بس Karebas	0.14±0.03	0.16±0.04	0.86±0.10	20.35±1.54*	5.80±0.62
	چلیچه Choliche	0.15±0.02	0.17±0.03	0.85±0.10	19.05±1.43	5.98±0.60

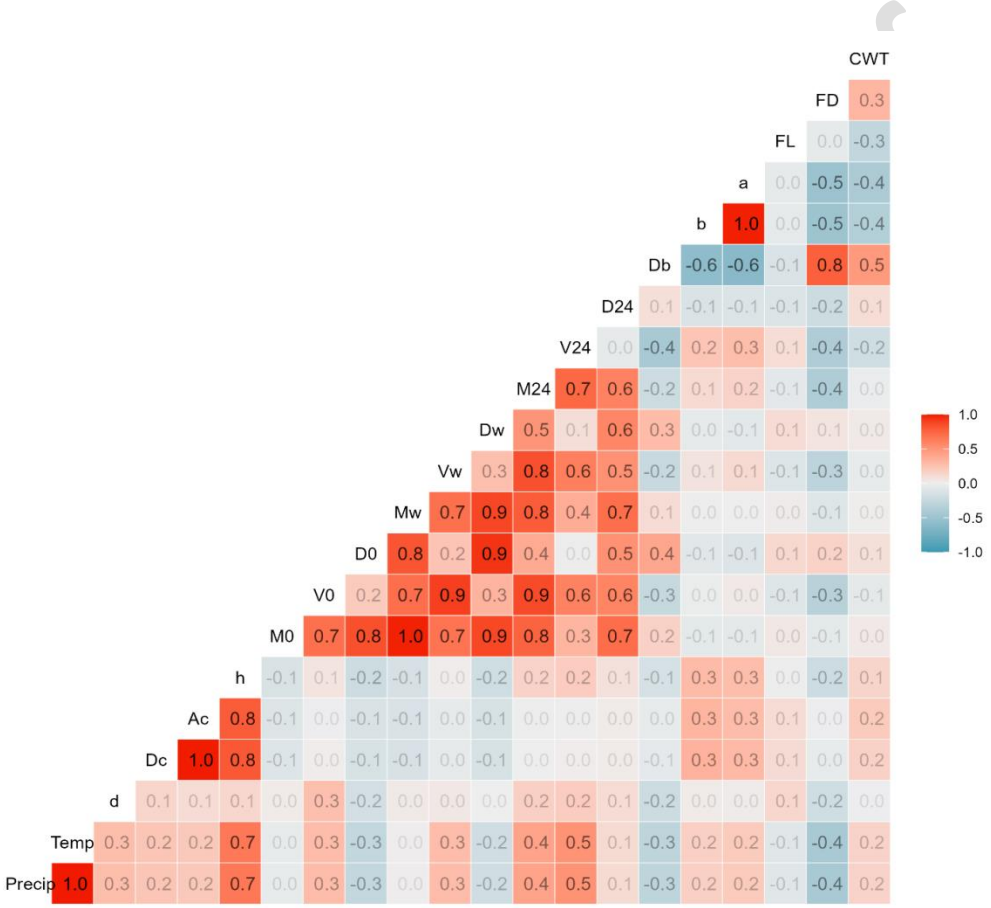
*اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد

شکل ۲ ماتریس همبستگی متغیرهای کلیدی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. شدت رنگ نشان‌دهنده اندازه و علامت ضرایب همبستگی پیرسون بین متغیرها (از ۱- تا +۱) برای مجموعه داده‌های دو رویشگاه است. نقشه حرارتی ماتریس همبستگی نشان می‌دهد که روابط بین متغیرهای فیزیکی، فیبری، جرمی- حجمی، زیست‌سنجی و اقلیمی در دامنه‌ای از همبستگی‌های ضعیف تا بسیار قوی تغییر می‌کند و الگوی کلی داده‌ها به‌وضوح چند محور غالب از تغییرات را منعکس می‌سازد. در میان این متغیرها، متغیرهای مرتبط با جرم و حجم نمونه‌ها در شرایط مختلف رطوبتی بیش‌ترین هم‌پوشانی آماری را نشان می‌دهند، به‌طوری‌که جرم خشک، جرم تر و جرم معمولی با حجم‌های متناظر خودهمبستگی‌های مثبت و بسیار قوی دارند که در برخی موارد به مقادیر نزدیک به یک می‌رسد. هم‌چنین حجم تر با حجم معمولی، حجم خشک با جرم تر، حجم تر و جرم معمولی همبستگی مثبت و قابل‌توجهی را نشان داد.

در این میان، دانسیته خشک به‌عنوان یکی از متغیرهای محوری، همبستگی مثبت و قابل‌توجهی با دانسیته تر و جرم تر نشان می‌دهد. جرم تر با دانسیته تر، وزن معمولی و دانسیته معمولی، جرم خشک با

Uncorrected Proof

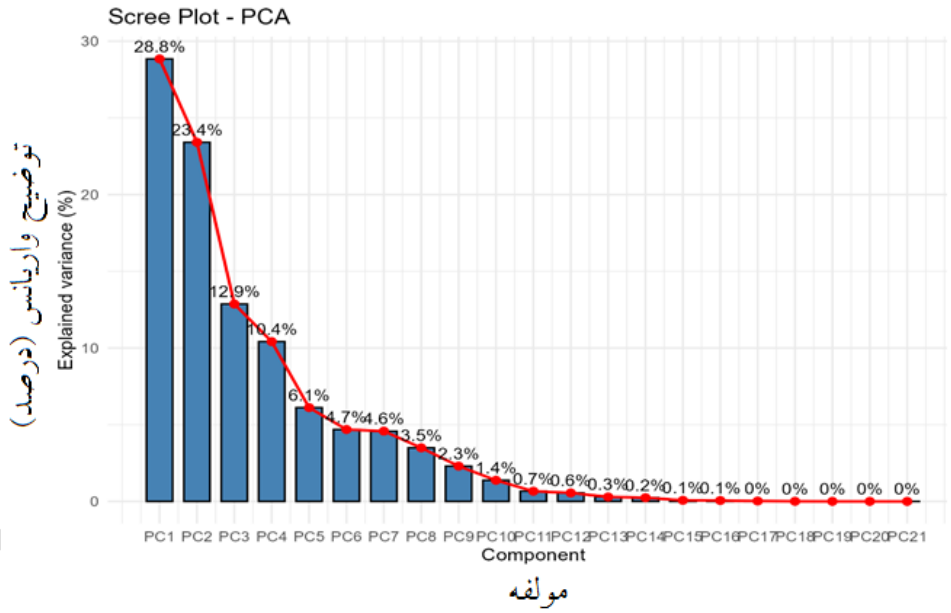
دانسیته خشک، جرم تر، حجم تر، دانسیته تر، جرم معمولی و دانسیته معمولی همبستگی مثبت و بالایی را دارند. دانسیته پایه بحرانی با قطر الیاف همبستگی مثبت و قوی را نشان داد. ضمناً، هم‌کشیدگی با واکشیدگی همبستگی مثبت و بسیار قوی نشان داد. در ویژگی‌های زیست‌سنجی نیز همبستگی مثبت و قوی بین قطر تاج و سطح مقطع تاج و هم‌چنین رابطه مثبت بین قطر یقه و ارتفاع جست مشاهده می‌شود که بیانگر رشد هم‌زمان و متناسب اجزای مختلف درخت است. از نظر عوامل اقلیمی، دما و بارش سالیانه در مجموعه داده حاضر همبستگی مثبت و کامل نشان می‌دهند و هر دو متغیر با ارتفاع همبستگی مثبت و قوی دارند.



شکل ۲- ماتریس همبستگی متغیرهای کلیدی مورد مطالعه؛ در نقشه حرارتی (هیتمپ) ماتریس همبستگی، رنگ‌های قرمز نشان‌دهنده همبستگی مثبت، رنگ‌های آبی نشان‌دهنده همبستگی منفی و شدت هر رنگ بیانگر قدرت آن رابطه است (CWT: ضخامت دیواره سلولی، FD: قطر الیاف، FL: طول الیاف، a: هم‌کشیدگی، b: واکشیدگی، Db: دانسیته پایه بحرانی، D24: دانسیته معمولی، V24: حجم معمولی، M24: جرم معمولی، Dw: دانسیته تر، Vw: حجم تر، Mw: جرم تر، D0: دانسیته خشک، V0: حجم خشک، M0: جرم خشک، h: ارتفاع جست به متر، Ac: سطح مقطع تاج به مترمربع، Dc: قطر تاج به متر، d: قطر یقه به سانتی‌متر، Temp: دما به درجه سانتی‌گراد، Precip: بارش سالیانه به میلی‌متر).

Figure 2. Correlation matrix of key variables under study; in the heatmap of the correlation matrix, red colors indicate positive correlation, blue colors indicate negative correlation, and the intensity of each color indicates the strength of that relationship (CWT: cell wall thickness, FD: fiber diameter, FL: fiber length, a: shrinkage, b: swelling, Db: critical base density, D24: normal density, V24: normal volume, M24: normal mass, Dw: wet density, Vw: wet volume, Mw: wet mass, D0: dry density, V0: dry volume, M0: dry mass, h: jump height in meters, Ac: crown cross-sectional area in square meters, Dc: crown diameter in meters, d: collar diameter in centimeters, Temp: temperature in degrees Celsius, Precip: annual precipitation in millimeters).

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA): نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که ساختار تغییرپذیری داده‌ها به‌طور عمده توسط چند مؤلفه نخست تبیین می‌شود. بر اساس نمودار اسکری، مؤلفه اول (PC1) با ۲۸/۸ درصد و مؤلفه دوم (PC2) با ۲۳/٤ درصد بیش‌ترین سهم را در توضیح واریانس کل داده‌ها دارند. این دو مؤلفه در مجموع ۵۲/۲ درصد از تغییرات کل را پوشش می‌دهند که بیانگر نقش غالب آن‌ها در شکل‌دهی به الگوی کلی داده‌هاست. مؤلفه سوم (PC3) با ۱۲/۹ درصد و مؤلفه چهارم (PC4) با ۱۰/٤ درصد نیز هم‌چنان سهم قابل‌توجهی در تبیین واریانس دارند (شکل‌های ۳ و ٤). به‌این‌ترتیب، چهار مؤلفه نخست مجموعاً ۷۵/۵ درصد از واریانس کل داده‌ها را توضیح می‌دهند که نشان‌دهنده کفایت بالای این مؤلفه‌ها در بازنمایی ساختار چندمتغیره داده‌هاست. چنین سطحی از واریانس تجمعی معمولاً به‌عنوان معیار مناسبی برای کاهش ابعاد داده‌ها بدون از دست رفتن اطلاعات معنادار تلقی می‌شود. الگوی کاهش مقادیر ویژه در نمودار اسکری نشان می‌دهد که پس از مؤلفه چهارم، شیب منحنی به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. از مولفه پنجم (PC5) به بعد، سهم هر مؤلفه از واریانس کل به کم‌تر از ٦/١ درصد محدود شده و این مقدار به‌صورت پیوسته تا نزدیک صفر در مؤلفه‌های انتهایی (PC15 تا PC21) کاهش می‌یابد. این رفتار بیانگر آن است که مؤلفه‌های بعدی عمدتاً حامل نویز آماری یا تغییرات جزئی بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای در تبیین ساختار داده‌ها ندارند.

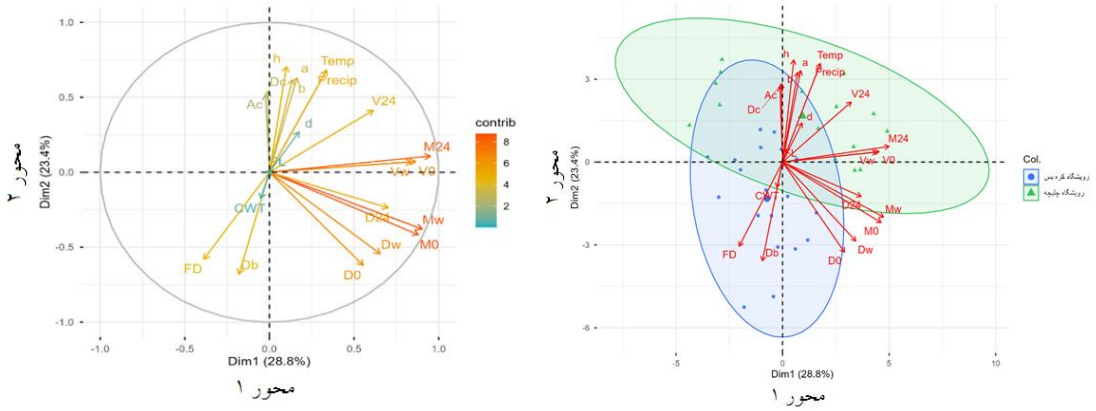


شکل ۳- نمودار اسکری تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و درصد واریانس توضیح داده‌شده توسط هر مؤلفه.

Figure 3. Scree plot of principal component analysis (PCA) and percentage of variance explained by each component.

وجود نقطه شکست آشکار پس از مولفه‌ی چهارم در نمودار اسکری، توجیه آماری روشنی برای تمرکز بر چهار مؤلفه نخست فراهم می‌کند. به‌ویژه، انتخاب مؤلفه‌های اول و دوم برای تحلیل‌های ترسیمی و تفسیری (مانند بای‌پلات PCA) از نظر آماری کاملاً موجه است، زیرا این دو محور به‌تنهایی بیش از نیمی

از واریانس کل داده‌ها را در بر می‌گیرند و بیش‌ترین قدرت جداسازی نمونه‌ها را دارند. به‌طورکلی، نتایج نمودار اسکری نشان می‌دهد که تغییرپذیری داده‌ها ساختاری متمرکز و غیرتصادفی دارد و عمده اطلاعات در مؤلفه‌های ابتدایی نهفته است. این الگو حاکی از آن است که روابط همبسته بین متغیرها به‌صورت منسجم در چند محور اصلی خلاصه شده‌اند و استفاده از PCA ابزار مناسبی برای کاهش ابعاد و تفسیر اکولوژی و ساختاری داده‌ها در این پژوهش بوده است. تمرکز بر مؤلفه‌های اول تا چهارم نه‌تنها از نظر آماری معتبر است، بلکه زمینه را برای تفسیر دقیق‌تر روابط بین متغیرها و الگوی جدایش نمونه‌ها در فضای چندمتغیره فراهم می‌سازد.



شکل ٤- مشارکت متغیرها بر اساس شدت بارگذاری در مؤلفه‌های اصلی تحلیل PCA و تفکیک رویشگاه‌ها؛ طول پیکان هر متغیر در بی‌پلات معمولاً نشان‌دهنده واریانس متغیر در فضای مؤلفه‌های اصلی انتخابی است. هرچه پیکان بلندتر باشد، آن متغیر سهم بیش‌تری در مؤلفه‌های اصلی نمایش‌داده‌شده دارد. زاویه بین دو بردار متغیر نشان‌دهنده همبستگی بین آن دو متغیر در فضای مؤلفه‌های اصلی نمایش‌داده‌شده است. اگر دو بردار نزدیک به هم باشند (زاویه کوچک)، همبستگی مثبت و قوی دارند. اگر دو بردار عمود بر هم باشند (زاویه ≈ ۹۰ درجه)، همبستگی نزدیک به صفر است. اگر در جهت مخالف باشند (زاویه ≈ ۱۸۰ درجه)، همبستگی منفی قوی دارند (CWT: ضخامت دیواره سلولی، FD: قطر الیاف، FL: طول الیاف، a: همکشیدگی، b: واکشیدگی، Db: دانسیته پایه بحرانی، D24: دانسیته معمولی، V24: حجم معمولی، M24: جرم معمولی، Dw: دانسیته تر، Vw: حجم تر، Mw: جرم تر، D0: دانسیته خشک، V0: حجم خشک، M0: جرم خشک، h: ارتفاع جست به متر، Ac: سطح مقطع تاج به مترمربع، Dc: قطر تاج به متر، d: قطر یقه به سانتی‌متر، Temp: دما به درجه سانتی‌گراد، Precip: بارش سالیانه به میلی‌متر).

Figure 4. Contribution of variables based on loading intensity in the principal components of PCA analysis and habitat separation; The length of the arrow for each variable in a biplot usually indicates the variance of the variable in the space of the selected principal components. The longer the arrow, the greater the contribution of that variable to the displayed principal components. The angle between two variable vectors indicates the correlation between those two variables in the displayed principal components space. If the two vectors are close together (small angle), they have a strong positive correlation. If the two vectors are perpendicular to each other (angle ≈ 90 degrees), the correlation is close to zero. If they are in opposite directions (angle ≈ 180 degrees), they have a strong negative correlation (CWT: cell wall thickness, FD: fiber diameter, FL: fiber length, a: shrinkage, b: swelling, Db: critical basal density, D24: normal density, V24: normal volume, M24: normal mass, Dw: wet density, Vw: wet volume, Mw: wet mass, D0: dry density, V0: dry volume, M0: dry mass, h: shoot height in meters, Ac: crown cross-sectional area in square meters, Dc: crown diameter in meters, d: collar diameter in centimeters, Temp: temperature in degrees Celsius, Precip: annual precipitation in millimeters).

Uncorrected

نمودار مشارکت متغیرها در مؤلفه‌های اصلی اول و دوم و نمودار بای‌پلات PCA در فضای مؤلفه‌های اصلی PC1–PC2 (شکل ٤)، جدایش مشخص دو رویشگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نمونه‌های مربوط به رویشگاه چُلیچه عمدتاً در بخش مثبت‌تر مؤلفه اول و در نیمه بالایی نمودار متمرکز شده‌اند، درحالی‌که نمونه‌های رویشگاه کره‌بس بیش‌تر در نواحی منفی مؤلفه اول و مقادیر پایین‌تر مؤلفه دوم قرارگرفته‌اند. بیضی‌های اطمینان ترسیم‌شده پیرامون هر گروه، ضمن نمایش محدوده پراکنش درون‌گروهی، نشان می‌دهند که جدایش مشاهده‌شده ساختاری و معنادار بوده و تنها ناشی از پراکنش تصادفی داده‌ها نیست. هم‌پوشانی محدود بیضی‌ها نشان می‌دهد که اگرچه مقداری همگرایی بین برخی نمونه‌ها وجود دارد، اما الگوی کلی پراکنش، وجود تفاوت ساختاری مشخص میان دو رویشگاه را تأیید می‌کند. این جدایش فضایی با نتایج تحلیل مشارکت متغیرها هم‌خوانی دارد.

طول و جهت بردارهای متغیرها در بای‌پلات نشان‌دهنده سهم آن‌ها در شکل‌گیری مؤلفه‌های اصلی و نوع همبستگی بین صفات است. بر اساس طول بردارها و شدت رنگ آن‌ها (از آبی تا قرمز): متغیرهای مرتبط با جرم، حجم و دانسیته چوب شامل جرم معمولی، جرم تر، جرم خشک، حجم خشک، حجم تر، دانسیته معمولی، دانسیته تر، حجم معمولی و دانسیته خشک دارای بردارهای بلند و عمدتاً هم‌راستا با بخش مثبت مؤلفه اول هستند که بیانگر همبستگی مثبت قوی این صفات با یکدیگر و نقش غالب آن‌ها در جدایش رویشگاه چُلیچه است. این متغیرها عمدتاً در سمت مثبت محور اول قرارگرفته‌اند و با رنگ‌های گرم‌تر (نارنجی تا قرمز) نمایش داده شده‌اند که بیانگر مشارکت بالای آن‌ها در جدایش چندمتغیره است. این الگو نشان می‌دهد که نمونه‌های این رویشگاه به‌طورکلی با مقادیر بالاتر صفات جرمی و حجمی چوب همراه‌اند. در مقابل، متغیرهایی مانند قطر الیاف و دانسیته پایه بحرانی در بخش منفی مؤلفه اول و در جهت مخالف صفات جرمی و حجمی قرارگرفته‌اند که بیانگر همبستگی منفی این صفات با متغیرهای مذکور و نقش آن‌ها در تمایز نمونه‌های رویشگاه کره‌بس است. هم‌چنین متغیر ضخامت دیواره سلولی در نزدیکی مبدأ مختصات قرار گرفته و سهم متوسطی در تبیین تغییرات دارد. مؤلفه دوم بیش از همه تحت‌تأثیر متغیرهای اقلیمی و ساختاری رویشگاه از جمله دما، بارش سالیانه، ارتفاع جست، سطح مقطع تاج به مترمربع، قطر تاج، قطر یقه و همین‌طور واکشیدگی و هم‌کشیدگی حجمی چوب قرار دارد که عمدتاً در بخش مثبت این محور واقع شده‌اند. جهت‌گیری مشابه این بردارها نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین شرایط اقلیمی، ویژگی‌های تاج و ابعاد درختی است و بیانگر آن است که تغییرات این صفات، گرادیان محیطی مؤلفه دوم را شکل می‌دهد.

طبق نتایج ارائه شده (شکل ٤) زاویه بین بردارها نیز روابط بین متغیرها را به‌خوبی نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که هم‌جهتی بردارهای جرم، حجم و دانسیته بیانگر همبستگی مثبت قوی میان آن‌هاست، درحالی‌که قرارگیری بردارهای قطر الیاف و دانسیته پایه بحرانی در جهت تقریباً مخالف این گروه، نشان‌دهنده رابطه معکوس آن‌ها با صفات مذکور است. بردارهایی که تقریباً عمود بر یکدیگر قرارگرفته‌اند، همبستگی ضعیف یا ناچیز دارند. این نتایج بیانگر آن است که تفاوت‌های محیطی و اکولوژی بین دو رویشگاه، منجر به شکل‌گیری الگوهای متمایز در ساختار چوب شده و این تفاوت‌ها به‌وضوح در فضای مؤلفه‌های اصلی بازتاب یافته‌اند. در مجموع، نتایج PCA نشان می‌دهد که صفات مرتبط با جرم، حجم و ابعاد چوب به همراه برخی متغیرهای اقلیمی، نقش کلیدی در تبیین الگوی

Uncorrected Proof

تغییرات داده‌ها و تفکیک گروه‌ها ایفا می‌کنند. به‌طورکلی، نتایج PCA نشان می‌دهد که تفاوت‌های محیطی و رویشگاهی منجر به شکل‌گیری الگوهای متمایز در صفات چوب شده و این تفاوت‌ها به‌خوبی در فضای چندمتغیره PC1–PC2 بازتاب یافته‌اند.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی چوب و خصوصیات زیست‌سنجی الیاف گونه بادام برگ‌سنجدی (*A. elaeagnifolia*) به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر شرایط رویشگاهی قرار دارند. این یافته بیانگر آن است که تغییرپذیری کیفیت چوب در این گونه، بیش از آن‌که ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی درون‌گونه‌ای باشد، بازتابی از تفاوت در عوامل محیطی و اکولوژی حاکم بر رویشگاه‌هاست. چنین الگویی با چارچوب نظری پذیرفته‌شده در علم چوب هم‌خوانی دارد که کیفیت چوب را حاصل برهم‌کنش فرآیندهای رشد، شرایط اقلیمی و محدودیت‌های محیطی می‌داند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که دانسیته خشک و دانسیته پایه چوب بادام برگ‌سنجدی در رویشگاه کره‌بس بالاتر از رویشگاه چلیچه است، درحالی‌که واکشیدگی و هم‌کشیدگی حجمی در رویشگاه چلیچه مقادیر بیش‌تری را نشان داد. با توجه به نوع کاربری نهایی چوب در کاربردهای داخلی و ساختمانی، این تفاوت‌ها می‌توانند بر رفتار ابعادی آن، از جمله واکشیدگی و همکشیدگی و نیز بر ویژگی‌های مکانیکی مانند مقاومت برشی و خمشی تأثیرگذار باشند. افزایش دانسیته در کره‌بس را می‌توان به شرایط محیطی خاص این رویشگاه، از جمله ارتفاع بالاتر و محدودیت‌های رشدی نسبت داد. افزایش دانسیته در رویشگاه کره‌بس از نظر کاربردی می‌تواند به معنای مقاومت مکانیکی بالاتر و مناسب‌تر بودن آن برای مصارف سازهای سبک باشد. عدم تغییر طول الیاف احتمالاً ناشی از کنترل ژنتیکی قوی‌تر این صفت در مقایسه با قطر الیاف است که بیش‌تر به تنش رطوبتی پاسخ می‌دهد. همبستگی قطر الیاف و دانسیته نشان‌دهنده افزایش نسبت دیواره سلولی به حفره است. در چنین شرایطی، کاهش سرعت رشد شعاعی منجر به تشکیل بافت چوبی متراکم‌تر و افزایش نسبت دیواره سلولی به حفره سلولی می‌شود؛ پدیده‌ای که در گونه‌های پهن‌برگ مناطق نیمه‌خشک نیز گزارش شده است. مطالعات جهانی نیز نشان می‌دهد که میان شرایط هیدروترمال، از جمله رطوبت خاک و دمای متوسط سالانه و دانسیته چوب رابطه‌ای مثبت وجود دارد (۱۵). برای نمونه، در یک مطالعه جامع که بیش از ۱۰ هزار گونه درختی را در بر می‌گرفت، شرایط هیدروترمال به‌عنوان مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده تغییرات دانسیته چوب معرفی شد (۱۶). افزون بر این، بررسی‌های نظام‌مند اخیر بیانگر آن است که دانسیته چوب نه‌تنها تحت‌تأثیر ویژگی‌های ژنتیکی گونه‌ها، بلکه متأثر از عوامل محیطی و اکولوژی دیگری هم‌چون ویژگی‌های خاک، شیب زمین، ارتفاع از سطح دریا، شدت رقابت بین‌درختی و موقعیت جغرافیایی قرار دارد (۱۷). در مقابل، مقادیر بالاتر واکشیدگی حجمی در رویشگاه چلیچه نشان می‌دهد که چوب تشکیل‌شده در این رویشگاه، علی‌رغم دانسیته کم‌تر، حساسیت ابعادی بیش‌تری نسبت به تغییرات رطوبتی دارد. این رفتار می‌تواند ناشی از نسبت بالاتر حفره سلولی و ساختار بازتر بافت چوب باشد. از دیدگاه کاربردی، این یافته دارای اهمیت است؛ زیرا چوب‌هایی با واکشیدگی کم‌تر، در فرآیندهای خشک شدن و مصرف نهایی پایداری ابعادی مطلوب‌تری از خود نشان می‌دهند (۱۸).

نتایج بررسی ویژگی‌های زیست‌سنجی الیاف نشان داد که قطر الیاف در رویشگاه کره‌بس به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از چلیچه است، درحالی‌که تفاوت

Uncorrected Proof

معنی‌داری در طول الیاف بین دو رویشگاه مشاهده نشد. ضخامت بیش‌تر قطر الیاف در کره‌بس با مقادیر بالاتر دانسیته چوب در این رویشگاه هم‌خوانی دارد و این همبستگی، یکی از روابط بنیادی شناخته‌شده در علم چوب است (۵). به‌بیان‌دیگر، نتایج این پژوهش تأیید می‌کند که تغییرات در مقیاس میکروسکوپی ساختار چوب، به‌طور مستقیم در ویژگی‌های فیزیکی آن بازتاب می‌یابد.

تحلیل همبستگی نشان داد همبستگی‌های بالا بیانگر وابستگی مستقیم جرم به حجم در تمام سطوح رطوبتی است و نشان می‌دهد که تغییرات جرمی نمونه‌ها عمدتاً تابعی از تغییرات حجمی آن‌هاست، موضوعی که با رفتار فیزیکی چوب کاملاً سازگار است. همبستگی بین دانسیته خشک با دانسیته تر و جرم تر بیانگر پایداری نسبی ساختار چوب در گذار از وضعیت خشک به تر است. متغیرهای جرم، حجم و دانسیته در هر حالت رطوبتی (تر، معمولی، خشک) به‌طور قوی با هم مرتبط هستند، زیرا دانسیته از تقسیم جرم بر حجم به دست می‌آید؛ بنابراین تغییر در هر یک از این دو متغیر، مستقیماً بر سومی تأثیر می‌گذارد. این همبستگی‌های بالا تأیید می‌کنند که رفتار فیزیکی چوب در هر سطح رطوبتی قابل پیش‌بینی و پایدار است و تغییرات اصلی ناشی از اندازه نمونه (حجم) است، نه ناهمگنی شدید در ساختار داخل آن باشد. در نتیجه، می‌توان از یک ویژگی (مثلاً حجم) برای تخمین دقیق سایر ویژگی‌های جرمی و تراکمی در همان شرایط رطوبتی استفاده کرد.

دانسیته پایه بحرانی با قطر الیاف همبستگی مثبت و قوی را نشان داد. این نشان می‌دهد که الیاف ضخیم‌تر معمولاً با دیواره سلولی ضخیم‌تر همراه هستند که منجر به افزایش دانسیته پایه (جرم خشک به حجم تر) می‌شود درختان در شرایط رویشگاهی که منجر به تولید الیاف با قطر بیش‌تر می‌شوند (معمولاً رویشگاه‌های با رطوبت و مواد غذایی بهتر)، اغلب فعالیت کامبیوم و افزایش ضخامت دیواره سلولی نیز هم‌زمان افزایش می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر، افزایش قطر فیبر معمولاً با افزایش ضخامت دیواره سلولی همراه است. اگر افزایش قطر فیبر عمدتاً ناشی از افزایش ضخامت دیواره باشد (نه افزایش قطر حفره)، طبیعتاً ماده خشک (دیواره سلولی) در واحد حجم افزایش یافته و دانسیته بالاتر می‌رود؛ بنابراین، همبستگی مثبت مشاهده شده احتمالاً ناشی از هم‌افزایی این دو مؤلفه آناتومیک در پاسخ به شرایط رویشگاهی است. الیاف با دیواره ضخیم‌تر (که منجر به دانسیته بالاتر می‌شود) نقش اصلی در ایجاد استحکام مکانیکی و مقاومت در برابر فشارهای منفی شیره خام دارند. ازاین‌رو، وجود همبستگی بین قطر و دانسیته می‌تواند به‌عنوان یک سازوکار تطابقی برای حفظ پایداری ساختاری درخت در برابر تنش‌های محیطی تفسیر شود (۲۰). هم‌کشیدگی با واکشیدگی همبستگی مثبت و بسیار قوی نشان داد. بیانگر آن است که این دو ویژگی مکانیکی رفتاری هم‌راستا دارند؛ یعنی چوبی که هنگام خشک شدن بیش‌تر هم‌کشیدگی می‌کند، هنگام جذب رطوبت نیز واکشیدگی بیش‌تری نشان می‌دهد. این روابط نشان‌دهنده وابستگی ساختاری این ویژگی‌ها به آناتومی دیواره سلولی است و تأیید می‌کند که تغییرات در اندازه و ضخامت الیاف به‌طور هم‌زمان بر تراکم و رفتار رطوبتی چوب تأثیر مستقیم می‌گذارد. چنین نتایجی با یافته‌های گزارش‌شده در مطالعات اخیر درباره روابط درونی صفات فیبری- فیزیکی مطابقت دارد (۱۲ و ۱۷).

در ویژگی‌های زیست‌سنجی نیز همبستگی مثبت و قوی بین متغیرهای قطر تاج و سطح مقطع تاج و بین قطر یقه و ارتفاع جست مشاهده می‌شود که بیانگر رشد هم‌زمان و متناسب اجزای مختلف درخت است. الگوی همبستگی عوامل اقلیمی با ارتفاع جست

Uncorrected Proof

نشان می‌دهد که در داده‌های این مطالعه، شرایط اقلیمی مطلوب‌تر هم‌زمان با رشد این گونه همراه بوده است، هرچند این نتیجه صرفاً بازتاب هم‌زمانی تغییرات این متغیرها در مجموعه داده مورد بررسی است. در مجموع، ماتریس همبستگی نشان می‌دهد که تغییرات اصلی داده‌ها حول محوری متشکل از دانسیته خشک، دانسیته تر، جرم‌ها و برخی ویژگی‌های فیبری متمرکز است، درحالی‌که متغیرهای حجمی- جرمی یک خوشه منسجم و بسیار همبسته را تشکیل می‌دهند و برخی شاخص‌ها نیز به دلیل هم‌خطی شدید، نقش متمایز آماری ندارند. این الگوی پیوسته و منسجم از روابط آماری، تصویری واقع‌گرایانه از ساختار درونی داده‌ها ارائه می‌دهد و مبنایی قابل‌اتکا برای تفسیرهای چندمتغیره بعدی فراهم می‌کند.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که دو مؤلفه نخست بخش عمده‌ای از واریانس کل داده‌ها را تبیین می‌کنند. مؤلفه اول عمدتاً تحت‌تأثیر ویژگی‌جرم، حجم و دانسیته چوب قرار داشت، درحالی‌که مؤلفه دوم بیش‌تر با صفات مرتبط با واکشیدگی، هم‌کشیدگی و عوامل اقلیمی همراه بود. این نتایج نشان می‌دهد که جدایش نمونه‌ها و رویشگاه‌ها نه صرفاً بر اساس یک ویژگی منفرد، بلکه بر پایه ترکیب هم‌زمان صفات فیبری و فیزیکی صورت می‌گیرد. یافته‌های پژوهش حاضر که الگوی تمایز رویشگاهی صفات چوب را با استفاده از PCA نشان می‌دهد، با مطالعات نوین در حوزه تغییرات درون‌گونه‌ای چوب همسوست. همبستگی مثبت قوی بین جرم، حجم و دانسیته و رابطه معکوس با قطر الیاف، نشان‌دهنده پاسخ یکپارچه آناتومی و فیزیک چوب به طیف‌های محیطی است که در مطالعات مشابه بر روی گونه‌های درختی مختلف گزارش شده است (۱۹). هم‌چنین، نقش کلیدی متغیرهای اقلیمی در تبیین میزان تنوع، تفاوت و پراکندگی مقادیر متغیرها بین نمونه‌ها و تفکیک گروه‌ها، بر اهمیت فشارهای محیطی (مانند تنش آبی و دمایی) به‌عنوان عوامل اصلی انتخاب و سازگاری در صفات عملکردی چوب تأکید می‌کند (۱۶). در مجموع، نتایج بیانگر این مفهوم اساسی است که تفاوت‌های سازگاری ناشی از محیط، الگوی متمایزی در سنجه‌های کلیدی چوب ایجاد می‌کند.

به‌طورکلی، بر اساس یافته‌های این پژوهش، گونه‌ی بادام برگ‌سنجدی از انعطاف‌پذیری ساختاری قابل‌توجهی در پاسخ به تغییرات محیطی برخوردار است. این قابلیت می‌تواند یک مزیت اکولوژی کلیدی برای سازگاری و بقا در رویشگاه‌های ناهمگون زاگرس محسوب شود. بااین‌حال، تغییرات کیفی چوب ناشی از این انعطاف‌پذیری، پیامد مستقیمی برای مدیریت دارد؛ بنابراین، برنامه‌ریزی مدیریتی و ارزیابی قابلیت‌های بهره‌برداری ازاین‌گونه باید به‌طور جدی تحت‌تأثیر این تفاوت‌ها قرار گیرد. درنهایت، درک این پاسخ‌های سازگاری برای حفاظت و بهره‌برداری پایدار از جنگل‌های زاگرس ضروری است.

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین یافته این پژوهش آن است که تفاوت رویشگاه، از طریق تغییر در ساختار فیبری، به‌ویژه قطر الیاف و دانسیته پایه، کیفیت کاربردی چوب بادام برگ‌سنجدی را تعیین می‌کند و بنابراین کیفیت چوب این گونه بیش از آن‌که تابع یک صفت منفرد باشد، حاصل برهم‌کنش چند ویژگی ساختاری است. در مقایسه دو رویشگاه، کره‌بس با تولید چوب متراکم‌تر و دارای دانسیته بالاتر، ظرفیت مناسب‌تری برای کاربردهای مکانیکی و مصارف نیمه‌سازه‌ای نشان داد، درحالی‌که چلیچه با واکشیدگی حجمی بیش‌تر بیانگر پایداری ابعادی پایین‌تر است. بدین ترتیب، دانسیته پایه و قطر الیاف به‌عنوان کلیدی‌ترین صفات

Uncorrected Proof

تفکیک‌کننده رویشگاه‌ها شناخته شدند. این تمایز از دیدگاه مدیریتی اهمیت عملی دارد؛ به‌گونه‌ای که انتخاب رویشگاه کره‌بس برای تأمین چوب با کیفیت مکانیکی بالاتر و انتخاب رویشگاه‌های مشابه چلیچه برای اهداف حفاظتی یا کاربری‌های غیرسازه‌ای منطقی‌تر خواهد بود. هم‌چنین این نتایج نشان می‌دهد که تفاوت‌های ساختاری چوب می‌توانند به‌عنوان شاخصی کمّی برای شناسایی رویشگاه‌های مناسب بهره‌برداری پایدار و جلوگیری از برداشت یکنواخت از تمامی رویشگاه‌ها مورد استفاده مدیران جنگل قرار گیرند. از منظر حفاظت تنوع زیستی نیز این ناهمگنی ساختاری اهمیت دارد، زیرا بیانگر سازگاری‌های اکولوژیکی متفاوت جمعیت‌ها بوده و ضرورت مدیریت تفکیک‌شده رویشگاه‌ها را تأیید می‌کند. برای تکمیل این چارچوب دانشی، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده: ویژگی‌های آناتومیک دقیق‌تر شامل اندازه، فراوانی و الگوی پراکنش آوندها بررسی شود، اثر متغیرهای خاکی (بافت، pH، ماده آلی و رطوبت) بر صفات چوب به‌صورت کمّی مدل‌سازی گردد، از روش‌های تصویربرداری دیجیتال و آنالیز تصویر برای اندازه‌گیری دقیق ابعاد الیاف استفاده شود و درنهایت ارتباط این صفات با ویژگی‌های مکانیکی چوب در مقیاس کاربردی ارزیابی گردد. در مجموع، این مطالعه نشان می‌دهد که ارزیابی هم‌زمان شرایط رویشگاهی و ساختار ریزبافتی چوب می‌تواند مبنایی علمی برای تعیین رویشگاه‌های با کیفیت چوب برتر و برنامه‌ریزی بهره‌برداری پایدار در توده‌های طبیعی بادام برگ‌سنجدی فراهم آورد.

منابع

1. Talebi, M., Sagheb-Talebi, K., & Jahanbazi, H. (2006). Site demands and some quantitative and qualitative characteristics of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Chaharmahal & Bakhtiari Province (western Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 14(1), 79-67.
2. Jazireh, M. H., & Ebrahimi Rostaghi, M. (2003). Silviculture in Zagros. Tehran University, Tehran. 560p.
3. Pourbabaei, H., Sadat Ebrahimi, S., & Heydarnia, H., (2018). Effect of Ailanthus altissima stand on herbaceous species diversity (Talesh, Guilan). *Forest and Wood Products*. 70(4), 579-581.
4. Jozi, S. A., & Moradi Majd, N. (2020). Evaluation of ecological capability of *Amygdalus Scoparia* Habitat in South Zagros region by using of MCDM method. *Environmental Researches.* 11(21), 73-84.
5. Dong, H., Dahmardeh Ghalehno, M., Bahmani, M., Ghehsareh Ardestani, E., & Fathi, L. (2022). Influence of soil physicochemical properties on biometrical and physical features of Persian oak wood. *Maderas: Ciencia y Tecnología*. 24(1), e404. **https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100404.**
6. Panshin, A. J., & de Zeeuw, C. (1980). Textbook of wood technology. New York: McGraw-Hill Book Company.
7. Mátyás, C., & Peszlen, I. (1997). Effect of age on selected wood quality traits of poplar clones. *Silvae Genetica.* 46, 64-72.
8. Fathi, L., Hasanagić, R., Iranmanesh, Y., Dahmardeh Ghalehno, M., Humar, M., & Bahmani, M. (2022). Physical and chemical properties of three wild almond wood species grown in Zagros forests. *Les-Wood.* 71(1), 23-30. **https://doi.org/10.26614/les-wood.2022.v71n01a03.**
9. Hasanpoor Tichi, A., Gholamyan, H., Oladi, R., & Khatiri, A. (2025). Investigation of selected physical, biometric and mechanical properties of persimmon tree (*Diospyros lotus*) in the Alborz forest site. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*. 15(4), 411-425.

Uncorrected Proof

10. Nazari, N., Bahmani, M., Kahyani, S., Humar, M., & Koch, G. (2020). Geographic variations of the wood density and fiber dimensions of the Persian oak wood. *Forests*. 11(9), 1003. **https://doi.org/10.3390/f11091003.**
11. Ashrafi, M. N., Far, M. G., & Kiani, A. M. (2021). Investigating the physical properties of Carpinus species in three different regions of Iran. *European Journal of Wood and Wood Products*. 79(4), 511-520. **https://doi.org/10.1007/s00107-021-01672-1.**
12. Tetemke, B. A., Birhane, E., Rannestad, M. M., & Eid, T. (2024). Competition and slope effect on wood basic density and its variation among tree species and within individual trees in a dry Afromontane forest. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 39(4), 349-360. **https://doi.org/10.1080/02827581.2024.**
13. International Organization for Standardization. ISO 13061-2., 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. 2014. International Organization for Standardization Geneva, Switzerland. **https://www.iso.org/standard/60064.html.**
14. International Organization for Standardization. ISO 13061-14., 2016. Physical and mechanical properties of wood-Test methods for small clear wood specimens-Part 14: Determination of volumetric shrinkage. Geneva, Switzerland, Pp: 5.
15. Rita, A., Camarero, J. J., Colangelo, M., de Andrés, E. G., & Pompa-García, M. (2022). Wood anatomical traits respond to climate but more individualistically as compared to radial growth: Analyze trees, not means. *Forests*. 13(6), 956. **https://doi.org/10.3390/f13060956.**
16. Mo, L., Crowther, T. W., Maynard, D. S., et al. (2024). The global distribution and drivers of wood density and their impact on forest carbon stocks. *Nature Ecology & Evolution*. 8, 2195-2212. **https://doi.org/10.1038/s41559-024-02564-9.**
17. Boakye, E. A., Mvolo, C. S., & Stewart, J. (2023). Systematic review: Climate and non-climate factors influencing wood density in the boreal zone. *BioResources*. 18(4), 8757-8770.
18. Mazzanti, P., Togni, M., & Uzielli, L. (2012). Drying shrinkage and mechanical properties of poplar wood (*Populus alba* L.) across the grain. *Journal of Cultural Heritage*. 13(3), 85-89. **https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.03.015.**
19. Lautner, S. (2013). Wood formation under drought stress and salinity. In: Fromm, J. (eds) Cellular Aspects of Wood Formation. Plant Cell Monographs. vol 20. Springer, Berlin, Heidelberg. **https:// doi.org/ 10.1007/ 978-3-642-36491-4_7.**
20. Niemz, P., Teischinger, A., & Sandberg, D. (2023). Springer handbook of wood science and technology. Springer. **https://doi.org/10.1007/978-3-030-81315-4.**

Uncorrected Proof