

## (OPEN ACCESS)

### Evaluation of wood physical, biometry and mechanical properties of *juniperus excelsa* (A case study: Hezar-masjed mountains, Dargaz)

Majid Kiaei

-Department of Wood and Paper Science and Technology, Cha.C, Islamic Azad University, Chalus, Iran,

Email: mjd\_kia59@iauc.ac.ir

#### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 19 December 2025  
Revised: 02 March 2026  
Accepted: 15 March 2026  
Published online: 21 September 2026

**Keywords:**  
*Juniperus excelsa*,  
wood density,  
volumetric swelling,  
fiber dimension,  
modulus of rupture,  
modulus of elasticity.

#### ABSTRACT

**Background and Objective:** Physical, biometric, and mechanical properties of wood are important indicators for assessing the quality and potential industrial and ecological applications of different wood species. *Juniperus excelsa*, due to its slow growth and unique cellular structure, exhibits distinctive characteristics in terms of density and mechanical strength. However, limited information is available regarding the variation of these properties along radial and longitudinal axes of the tree stem. This study aimed to investigate and analyze the changes in physical, biometric, and mechanical properties of *J. excelsa* wood along radial and longitudinal axes, and to identify patterns of variation from pith to bark and from the base to the top of the stem.

**Materials and Methods:** Three healthy *J. excelsa* trees were selected in the Hezar Masjed Mountains (Dargaz, Iran), and three stem sections were collected from each tree at breast height (1.3 m), 3 and 6m height. From each stem section, three radial samples from pith to bark were prepared for measuring physical properties (air-dried density, basic density, and volumetric shrinkage), biometric properties (tracheid length, tracheid diameter, and cell wall thickness), and mechanical properties (bending strength and modulus of elasticity). Data were analyzed using two-way ANOVA to examine the effects of radial and longitudinal positions on wood properties.

**Results:** The mean air-dried density and basic density, and volumetric shrinkage were 0.442 and 0.413 g/cm<sup>3</sup>, and volumetric swelling was 10.80%, respectively. Tracheid length, tracheid diameter, and cell wall thickness were 1.572 mm, 31.41 μm, and 5.58 μm, respectively, while bending strength and modulus of elasticity were 41.66 MPa and 4.47 GPa. The study demonstrates that physical, biometric, and mechanical properties of *J. excelsa* wood are strongly influenced by the sampling position along radial and longitudinal axes, with identifiable patterns from pith to bark and from the base to the top of the tree.

**Conclusion:** These findings provide valuable information for industrial applications of *J. excelsa* wood and sustainable management of its forest resources.

---

**Cite this article:** Majid Kiaei. 2026. Evaluation of Wood Physical, Biometry and Mechanical Properties of *Juniperus excelsa* (A Case Study: Hezar-Masjed Mountains, Dargaz). Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 41(3), 199-209. <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2026.371818.1825>



Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (<http://ijwpr.areeo.ac.ir/>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

---

## بررسی خواص فیزیکی، بیومتری و مکانیکی چوب ارس (*Juniperus excelsa*) (مطالعه موردی: کوه‌های هزار مسجد در گز)

مجید کیایی

گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران، پست الکترونیک: mjd\_kia59@iauc.ac.ir

| اطلاعات مقاله             | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| نوع مقاله:                | سابقه و هدف: خواص فیزیکی، بیومتری و مکانیکی چوب، شاخص مهمی برای ارزیابی کیفیت و کاربردهای صنعتی و اکولوژیکی گونه‌های مختلف چوب محسوب می‌شوند. چوب ارس ( <i>Juniperus excelsa</i> ) به دلیل رشد کند و ساختار سلولی خاص، ویژگی‌های منحصر به فردی از نظر دانسیته و مقاومت مکانیکی دارد. با این حال، اطلاعات کمی درباره تغییرات این خواص در محورهای شعاعی و طولی تنه درخت وجود دارد. هدف این مطالعه، بررسی و تحلیل تغییرات خواص فیزیکی، بیومتری و مکانیکی چوب ارس در محورهای شعاعی و طولی و شناسایی الگوهای تغییرات از مغز به پوست و از پایین به بالای تنه بود. |
| علمی - پژوهشی             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| تاریخ‌های مقاله:          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۲۸  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۱۱ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۵   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۳۰  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| واژه‌های کلیدی:           | مواد و روش‌ها: سه اصله درخت سالم ارس در منطقه کوه‌های هزار مسجد در گز انتخاب و از هر درخت سه دیسک از ارتفاع سینه، ۳ و ۶ متر برداشت شد. از هر دیسک، سه نمونه در محور شعاعی از مغز به سمت پوست برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی (دانسیته خشک، دانسیته بحرانی و هم‌کشیدگی حجمی)، بیومتری (طول تراکتید، قطر تراکتید و ضخامت دیواره سلولی) و مکانیکی (مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته) تهیه گردید. داده‌ها با استفاده از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه برای تحلیل اثر محور شعاعی و طولی بر خواص چوب مورد بررسی قرار گرفت.                                                 |
| اصلاح گرمایی،             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| قارچ پوسیدگی سفید،        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| مقاومت بیولوژیکی،         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| ویژگی‌های کاربردی.        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                           | نتایج: میانگین دانسیته خشک و دانسیته بحرانی به ترتیب ۰/۴۴۲ و ۰/۴۱۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب و میانگین هم‌کشیدگی حجمی، ۱۰/۸۰ درصد بود. طول تراکتید ۱/۵۷۲ میلی‌متر، قطر تراکتید ۳۱/۴۱ میکرومتر و ضخامت دیواره سلولی ۵/۵۸ میکرومتر، مدول خمشی ۴۱/۶۶ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته ۴/۴۷ گیگاپاسکال تعیین گردید. یافته‌ها نشان می‌دهند که خواص فیزیکی، بیومتری و مکانیکی چوب ارس به شدت تحت تأثیر موقعیت نمونه‌برداری در محور شعاعی و طولی تنه قرار دارند و الگوهای مشخصی از تغییرات خواص از مغز به پوست و از پایین به بالای درخت قابل تشخیص است.                     |
|                           | نتیجه‌گیری: این اطلاعات می‌تواند برای کاربردهای صنعتی چوب ارس و مدیریت منابع جنگلی این گونه اهمیت داشته باشد.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

استناد به این مقاله: مجید کیایی. ۱۴۰۵. بررسی خواص فیزیکی، بیومتری و مکانیکی چوب ارس (*Juniperus excelsa*) (مطالعه موردی:

کوه‌های هزار مسجد در گز). نشریه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۴۱(۳)، ۱۹۹-۲۰۹.

DOI: <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2026.371818.1825>

### مقدمه

که به دلیل ضعف فیزیولوژیکی و یا آفت‌زدگی، خشکیده باشد (Rostamikia et al., 2013). مهم‌ترین مناطق پراکنش این گونه‌ها در جهان از بخش مرکزی تا جنوب بالکان، کوه‌های آناتولی تا کریمه شروع و تا آسیای مرکزی، جنوب غربی و شرق آفریقا ادامه دارد (Emami et al., 2011). دیرزیستی،

ارس (نام علمی *Juniperus excelsa*) و از خانواده Cupressaceae) از محدود سوزنی‌برگان بارزش است که مناطق وسیعی از کشورمان به خود اختصاص داده است. این درختان چنان مقاوم هستند که به ندرت می‌توان پایه‌ای یافت

و ممنوع‌القطع بودن این گونه، تاکنون تحقیقات اندکی درباره ویژگی‌های مختلف چوب آن در کشور انجام شده است. هدف از این پژوهش، ارزیابی جامع ویژگی‌های فیزیکی، بیومتری و مکانیکی چوب ارس (*Juniperus excelsa*) و تحلیل الگوی تغییرات این ویژگی‌ها در دو محور طولی و شعاعی تنه درخت است. در این راستا، تلاش شد با اندازه‌گیری دقیق خواصی مانند دانسیته، هم‌کشیدگی حجمی، ابعاد تراکئیدها و خصوصیات خمشی، تأثیر موقعیت مکانی نمونه‌برداری در طول و عرض تنه بر رفتار چوب تعیین و الگوی تغییرات درون تنه آن تبیین گردد. این نتایج می‌تواند به درک بهتر کیفیت چوب ارس و کاربردهای بالقوه آن در صنایع مختلف کمک نماید.

### مواد و روش‌ها

سه اصله درخت سالم ارس (*Juniperus excelsa*) از ارتفاعات کوه‌های هزارمسجد در شهرستان درگز و در ارتفاع حدود ۲۸۵۰ متر از سطح دریا انتخاب شدند. سن این درختان حدود ۴۰ سال، قطر برابر سینه ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع متوسط آنها ۷ متر اندازه‌گیری شد. از هر درخت، ۳ دیسک به ضخامت ۵۰ سانتی‌متر در ارتفاع برابر سینه، ۳ و ۶ متر برداشت گردید. نمونه‌های آزمونی در امتداد محور شعاعی شامل ناحیه نزدیک به مغز، ناحیه میانی و ناحیه نزدیک پوست تهیه شد تا تغییرات طولی و شعاعی ویژگی‌های چوب ارزیابی شود. بررسی ساختار داخلی تنه نشان داد که چوب ارس دارای دو ناحیه مجزا شامل درون‌چوب و برون‌چوب است که مرز آنها به‌صورت واضح قابل تشخیص است. اندازه‌گیری‌های انجام‌شده بر روی دیسک‌ها نشان داد که نسبت درون‌چوب حدود ۲۴ درصد و نسبت برون‌چوب حدود ۷۶ درصد از سطح مقطع تنه را شامل می‌شود و با افزایش ارتفاع درختان، نسبت چوب درون به برون‌چوب کمتر می‌شود.

شهرستان درگز از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به چناران، از غرب به قوچان و از شرق به شهرستان کلات محدود می‌گردد و بین طول جغرافیایی شرقی ۵۹ درجه ۱۸

استقامت و رسوخ ریشه‌های این گونه در داخل صخره‌های سنگی به‌منظور دستیابی به رطوبت هر بیننده‌ای را شگفت‌زده می‌کند (Safdari et al., 2012). چوب ریشه ارس دارای بوی نسبتاً تند بوده اما در مقایسه با تنه، تندی بوی ریشه به‌اندازه تنه آن نیست (Safdari et al., 2012). به دلیل بوی معطر و نافذ، حشرات و سوسک‌ها از این چوب گریزان هستند. چوب آن ارزش صنعتی و ساختمانی بسیار بالایی دارد، فاقد رزین هست، بسیار خوش‌کار است و پرداخت خوبی دارد، به همین دلیل در صنعت معرق‌کاری، در و پنجره سازی کاربرد فراوانی دارد (Karimi et al., 2006).

تراکئیدها و سلول‌های پارانشیمی دو عضو مهم در سوزنی‌برگان محسوب می‌شود. نسبت تراکئیدها در سوزنی‌برگان ۸۷-۹۵ درصد است. ابعاد تراکئید، ضخامت دیواره سلولی و تعداد آنها بستگی به موقعیت نمونه در بین حلقه‌های رویشی (محور شعاعی)، سن درختان، موقعیت نمونه در طول ساقه درخت و شرایط اقلیمی در زمان تمایز سلولی دارد (Horaček, 2003). میزان ضخامت دو دیواره سلولی در چوب آغاز و چوب پایان در ارس رشد کرده در یونان ۷ و ۱۰ میکرومتر، قطر تراکئید در چوب آغاز ۱۴ میکرومتر، طول تراکئید چوب بهاره ۱/۴ میلی‌متر و در چوب پایان ۱/۸ میلی‌متر محاسبه شده است (Adamopoulos and Koch, 2011). همچنین این ویژگی‌ها نسبت به تغییرات اقلیمی از جمله دما و بارندگی حساس است (Pourtahmasi et al., 2025; Mdawar et al., 2008).

Toghræi و همکاران (۲۰۰۲) خواص چوب ارس را در منطقه رویشگاهی چهارمحال و بختیاری به‌عنوان بخشی از محدوده جغرافیایی ایران تورانی بررسی کردند. آنان میانگین جرم ویژه نسبی این گونه چوبی را ۰/۵۲، تخلخل ۶۴ درصد، هم‌کشیدگی حجمی ۱۰ درصد، واکشیدگی حجمی ۱۱/۳ درصد، طول تراکئید ۱/۳ میلی‌متر، قطر تراکئید ۲۳/۹ میکرون، قطر حفره سلولی ۱۶/۳ میکرون و ضخامت دیواره سلولی ۳/۵ میکرون گزارش کردند.

با توجه به وسعت محدود پراکنش درخت ارس در ایران

ذیل محاسبه گردید ( $\beta_v$  هم‌کشیدگی حجمی،  $V_s$  حجم اشباع و  $V_0$  حجم خشک است).

$$\beta_v = \frac{V_s - V_0}{V_s} \times 100$$

#### خواص بیومتری

از روش [Franklin \(۱۹۴۶\)](#) برای جداسازی الیاف استفاده گردید. به‌منظور مشاهده الیاف و اندازه‌گیری ابعاد آنها (طول، قطر و ضخامت فیبر)، خرده‌های چوب ارس به‌اندازه خلال کبریت در لوله آزمایشگاهی حاوی مخلوط آب اکسیژنه ۳۰ درصد و اسید استیک به نسبت ۱ به ۱ در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خیس شد. سپس خرده چوب‌های سفید شده در یک بشر کوچک قرار گرفته و توسط یک آهنربا بر روی همزن مغناطیسی الکتریکی کوچک الیاف از یکدیگر جدا شدند و بعد یک تا سه قطره الیاف غلیظ در یک بشر حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب رقیق شده و بعد توسط قطره‌چکان بر روی لام‌های تمیز منتقل شدند. لام‌های میکروسکوپی مرطوب و حاوی الیاف به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد بر روی یک میز ثابت و تمیز گذاشته شد تا رطوبت آن به‌تدریج و در دمای محیط آزمایشگاه تبخیر گردد. پس از تبخیر رطوبت، الیاف چوب به شکل رسوب سفیدرنگ بر روی شیشه لام قابل مشاهده بود. بر روی الیاف خشک شده سفید چند قطره محلول رنگی سفرائین یک درصد چکانده و بر روی آن لامل قرار داده شد. در نهایت ابعاد الیاف (مجموع ۲۷ نمونه و ۳۰ الیاف به ازای هر نمونه) با استفاده از میکروسکوپ نوری (Nikon microscopic, Eclipse 50i, Japan) اندازه‌گیری گردید (برای طول الیاف از بزرگنمایی ۱۰X و برای قطر الیاف و ضخامت دیواره سلولی ۴۰X).

#### خواص مکانیکی:

نمونه‌های آزمون برای محاسبه خواص مکانیکی چوب ارس از چوب بالغ (سن ۲۵ سال به بعد) بر اساس استاندارد ASTM D143-94 بریده شد. ابعاد نمونه‌ها در آزمون

دقیقه تا ۵۹ درجه ۲۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه ۵ دقیقه تا ۳۷ درجه ۱۰ دقیقه قرار دارد. بلندترین ارتفاع منطقه ۳۰۸۵ و پست‌ترین آن ۴۹۱ متر از سطح دریا است. از نظر زمین‌شناسی، منطقه در زون رسوبی کپه‌داغ قرار گرفته است و در آن از ژوراسیک تا میوسن، رسوبات ضخیمی بدون چین‌شده مهم ولی با رخساره‌های متنوع بر روی هم انباشته شده است. این رسوبات شامل شیل، آهک، مارن، ماسه سنگ و گاهی کنگلومرا و سنگ‌های تبخیری است. اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد و دوره خشکی حدود ۵ ماه است که از خرداد شروع شده تا اوایل مهر ادامه می‌یابد. میانگین حداقل دمای سردترین و میانگین حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال به ترتیب ۴- و ۳۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۲۶۵ میلی‌متر است ([Shirzad and Tabari, 2000](#)).

#### خواص فیزیکی

برای محاسبه خواص فیزیکی تعداد سه نمونه در محور شعاعی از مغز به سمت پوست (نزدیک مغز، حد وسط بین پوست و مغز و نزدیک پوست و در چهار جهت جغرافیایی) به ازای هر دیسک (مجموعاً ۱۰۸ نمونه بر اساس استاندارد ISO-3131) تهیه گردید. در مرحله اول میزان حجم و وزن نمونه‌ها (پس از برش نمونه) اندازه‌گیری شد. در مرحله دوم نمونه‌ها را در آب به مدت ۴۸ ساعت قرار داده، به‌طوری‌که تمام نمونه‌ها به زیر آب بروند و یا به‌اصطلاح از آب اشباع شوند. سپس وزن و حجم اشباع نمونه‌ها در حالت اشباع با استفاده از ترازوی دیجیتال (۰/۰۰۱ گرم) و کولیس (۰/۰۰۱ میلی‌متر) تعیین گردید. در مرحله سوم نمونه‌ها در داخل اتوو به مدت ۴۸ ساعت و در دمای  $103 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا نمونه‌ها کاملاً خشک شوند. میزان حجم و وزن نمونه‌ها در حالت خشک محاسبه شد. سپس دانسیته بحرانی از تقسیم وزن خشک به حجم اشباع محاسبه گردید. هم‌کشیدگی حجمی تحت تأثیر تغییرات رطوبتی چوب در بین دو حد نقطه اشباع فیبر و حالت خشک چوب از طریق رابطه

بیانگر بروز تغییرات ساختاری هم‌زمان در دو امتداد طولی و شعاعی است (جدول ۱). در محور طولی روند تغییرات دانسیته خشک از پایین به بالای درخت نزولی بوده است، به‌طوری‌که میانگین این صفت در ارتفاع برابر سینه از ۰/۴۵۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب به ۰/۴۳۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب در ارتفاع زیر تاج درخت کاهش یافت. روند تغییرات دانسیته خشک در محور عرضی درخت از مغز به سمت پوست نیز نزولی بوده، به‌طوری‌که میانگین این صفت در نمونه نزدیک مغز از ۰/۴۹ به ۰/۳۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نمونه نزدیک پوست کاهش یافت (جدول ۲). دانسیته بحرانی نیز روندی مشابه دانسیته خشک نشان داد، به‌طوری‌که در محور طولی از ۰/۴۲ به ۰/۴۰۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب در ارتفاع زیر تاج کاهش یافت. در محور شعاعی نیز این شاخص از ۰/۴۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نمونه نزدیک مغز به ۰/۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نزدیکی پوست کاهش پیدا کرد (جدول ۲). در مقابل، هم‌کشیدگی حجمی در محور طولی روندی صعودی داشت و میانگین آن از ۱۰/۸۶ درصد در ارتفاع برابر سینه به ۱۱/۱۳ درصد در زیر تاج افزایش یافت. در محور شعاعی نیز این صفت از مغز به سمت پوست افزایشی بوده و از ۹/۶۰ درصد در نمونه‌های نزدیک مغز به ۱۱/۸۶ درصد در ناحیه نزدیک پوست رسید (جدول ۲).

خمش‌استاتیک  $2/5 \times 2/5 \times 41$  سانتی‌متر (به مجموع ۵۴ نمونه) بود. پس تهیه نمونه بر اساس ابعاد مشخص، نمونه‌ها در هوای آزاد به مدت ۲ ماه برای رسیدن رطوبت تعادل دسته‌بندی شدند. در نهایت آزمون خمش‌استاتیک (مدول الاستیسیته، مدول گسیختگی) مورد محاسبه قرار گرفت.

## روش تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به ویژگی‌های فیزیکی، بیومتری و مکانیکی چوب با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 انجام شد. برای بررسی اثر عوامل مستقل بر متغیرهای پاسخ، از طرح آزمون فاکتوریل استفاده گردید. در صورت معنی‌دار بودن اثر هر یک از عوامل یا اثر متقابل آن‌ها، مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. تمامی تحلیل‌ها با رعایت اصول طرح آماری و کنترل خطای آزمایشی انجام گردید.

## نتایج

### خواص فیزیکی

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان می‌دهد که هر دو محور طولی و شعاعی اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های فیزیکی چوب دارند (جدول ۱). علاوه بر این، برهم‌کنش ارتفاع و مقطع عرضی نیز بر دانسیته و هم‌کشیدگی حجمی معنی‌دار بوده و

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس خواص فیزیکی چوب ارس

Table 1- ANOVA results of physical properties of *Juniperus excelsa*

| VS     |        | BD    |        | WD      |       | df | Source            |
|--------|--------|-------|--------|---------|-------|----|-------------------|
| Sig    | F      | Sig   | F      | Sig     | F     |    |                   |
| 0.007* | 5.317  | 0.011 | 5.997  | 0.049** | 2.77  | 2  | Stem height (A)   |
| 0.001* | 58.902 | 0.001 | 67.563 | 0.001*  | 71.49 | 2  | Cross section (B) |
| 0.005* | 4.073  | 0.047 | 3.909  | 0.021** | 3.05  | 4  | B × A             |

WD: oven-dried density, BD: basic density, VS: volumetric swelling,

\* Significant at 1%, \*\* significant at 5%, ns: not significant

جدول ۲- میانگین خواص فیزیکی چوب ارس در محور طولی و شعاعی درخت

Table 2- Physical properties along radial and longitudinal directions of *Juniperus excelsa*

| Stem height (m)             | Radial direction | WD      | BD      | VS       |
|-----------------------------|------------------|---------|---------|----------|
| 1.30                        | Pith             | 0.49    | 0.47    | 9.8      |
|                             | Middle           | 0.46    | 0.40    | 10.6     |
|                             | Bark             | 0.40    | 0.39    | 12.2     |
| 3                           | Pith             | 0.49    | 0.48    | 9.6      |
|                             | middle           | 0.45    | 0.41    | 10.90    |
|                             | Bark             | 0.39    | 0.36    | 10.90    |
| 6                           | Pith             | 0.49    | 0.47    | 9.6      |
|                             | middle           | 0.41    | 0.38    | 11.30    |
|                             | Bark             | 0.40    | 0.36    | 12.50    |
| Average in axial direction  | 1.30m            | 0.450 a | 0.420 a | 10.86 ab |
|                             | 3m               | 0.443 b | 0.416 a | 10.46 b  |
|                             | 6m               | 0.433 b | 0.403 b | 11.13 a  |
| Average in radial direction | Pith             | 0.490 a | 0.475 a | 9.60 c   |
|                             | Middle           | 0.440 b | 0.396 b | 10.93 b  |
|                             | Bark             | 0.395 c | 0.370 c | 11.86 a  |

\* Duncan's grouping shows by small letters

خواص بیومتری

مقادیر در هر دو محورهای طولی و شعاعی مورد تأیید نتایج آماری قرار گرفت (جدول ۳). بررسی میانگین‌ها نشان داد که در محور طولی، مقدار طول تراکئید از ارتفاع برابر سینه (۱/۶۸۳ میلی‌متر) به سمت ارتفاع ۶ متر (۱/۵۴۲ میلی‌متر) کاهش دارد. قطر تراکئید نیز در ارتفاع ۱/۳۰ متر برابر ۳۱/۵۸ میکرومتر بوده و در ارتفاع ۳ متر به ۲۹/۳۱ میکرومتر کاهش یافته و در ارتفاع ۶ متر به ۳۰/۷۹ میکرومتر رسیده است.

به‌طورکلی، نتایج بیانگر آن است که هم در محور طولی و هم در محور شعاعی تنه، میانگین صفات اندازه‌گیری شده در سطوح مختلف دارای اختلاف بوده و این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار گزارش شده‌اند. اثر هم‌زمان ارتفاع درختان و موقعیت شعاعی نیز در تمامی صفات نقش داشته و سبب تغییر الگوی میانگین‌ها در ارتفاع‌های مختلف شده است، به‌گونه‌ای که روند تغییرات شعاعی در هر ارتفاع یکسان نبوده و تنوع

جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس خواص بیومتری چوب ارس

Table 3- ANOVA results of biometry properties of *Juniperus excelsa*

| CWT     |       | TD      |       | TL     |        | df | Source            |
|---------|-------|---------|-------|--------|--------|----|-------------------|
| Sig     | F     | Sig     | F     | Sig    | F      |    |                   |
| 0.045** | 2.620 | 0.024** | 3.91  | 0.001* | 4.911  | 2  | Stem height (A)   |
| 0.042** | 2.461 | 0.001*  | 19.39 | 0.001* | 20.973 | 2  | Cross section (B) |
| 0.018** | 3.170 | 0.018** | 3.17  | 0.001* | 14.95  | 4  | A × B             |

TL: tracheid length, TD: Tracheid diameter, CWT: cell wall thickness,

\* Significant at 1%, \*\* significant at 5%, ns: not significant

۶ متر نشان داد. در امتداد شعاعی، میانگین طول تراکئید از مغز (۱/۴۶۸ میلی‌متر) به سمت ناحیه میانی (۱/۶۱۱)

ضخامت دیواره سلولی نیز روندی کاهشی از ۵/۹۰ میکرومتر در ارتفاع برابر سینه به ۵/۴۷ میکرومتر در ارتفاع

سلولی نیز از مغز با میانگین ۵/۰۳ میکرومتر به ۶/۳۹ میکرومتر در سمت پوست افزایش داشته است (جدول ۴). قطر تراکتید نیز از ۲۷/۶۹ میکرومتر در مغز به ۳۳/۵۳ میکرومتر در ناحیه پوست رسیده است. ضخامت دیواره

جدول ۴- میانگین خواص بیومتری چوب ارس در محور شعاعی و طولی درخت

Table 4- Biometry properties along radial and longitudinal directions of *J. excelsa*

| Stem height (m)             | Radial direction | TL (mm) | TD (μm) | CWT (μm) |
|-----------------------------|------------------|---------|---------|----------|
| 1.30                        | Pith             | 1.361   | 28.17   | 5.30     |
|                             | Middle           | 1.715   | 30.37   | 5.12     |
|                             | Bark             | 1.974   | 36.20   | 7.28     |
| 3                           | Pith             | 1.614   | 25.30   | 5.35     |
|                             | middle           | 1.545   | 30.44   | 5.49     |
|                             | Bark             | 1.676   | 32.21   | 5.90     |
| 6                           | Pith             | 1.429   | 29.62   | 5.22     |
|                             | middle           | 1.574   | 30.57   | 5.18     |
|                             | Bark             | 1.625   | 32.18   | 6.02     |
| Average in axial direction  | 1.30m            | 1.683 a | 31.58 a | 5.90 a   |
|                             | 3m               | 1.611 b | 29.31 b | 5.58 b   |
|                             | 6m               | 1.542 c | 30.79 a | 5.47 b   |
| Average in radial direction | Pith             | 1.468 c | 27.69 b | 5.03 b   |
|                             | Middle           | 1.611 b | 33.46 a | 5.26 b   |
|                             | Bark             | 1.758 a | 33.53 a | 6.39 a   |

\* Duncan's grouping shows by small letters

## خواص مکانیکی

نزولی می باشد (جدول ۵). به طور کلی، نتایج نشان می دهد که چوب در بخش های مرکزی و پایین ساقه مقاومت و سختی بیشتری دارد، در حالی که بخش های خارجی و بالاتر ساقه نسبت به بارگذاری مکانیکی ضعیف تر هستند. این اطلاعات برای ارزیابی کیفیت چوب و کاربردهای مهندسی و صنعتی آن اهمیت بالایی دارد.

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که اثر مستقل محورهای طولی و شعاعی بر مدول الاستیسیته و مدول خمشی معنی دار است در مقابل، اثر متقابل محورهای طولی و عرضی بر آن غیر معنی دار است (جدول ۵). روند تغییرات مقاومت مکانیکی در محور طولی از پایین به بالای درخت و زیر تاج درختان و در محور شعاعی از مغز به سمت پوست درخت

جدول ۵- نتایج آزمون تجزیه واریانس خواص مکانیکی چوب ارس

Table 5- ANOVA results of mechanical properties of *J. excelsa*

| Source            | df | MOE    |                     | MOR    |                     |
|-------------------|----|--------|---------------------|--------|---------------------|
|                   |    | F      | Sig                 | F      | Sig                 |
| Stem height (A)   | 2  | 8.178  | 0.009*              | 51.61  | 0.001*              |
| Cross section (B) | 2  | 29.630 | 0.001*              | 14.796 | 0.001*              |
| B × A             | 4  | 2.795  | 0.092 <sup>ns</sup> | 1.619  | 0.262 <sup>ns</sup> |

\* Significant at 1%, \*\* significant at 5%, ns: not significant

جدول ۶- میانگین خواص مکانیکی چوب ارس در محور شعاعی و طولی درخت

Table 6- Mechanical properties along radial and longitudinal directions of *J. excelsa*

| Stem height (m)             | Radial direction | MOE (GPa) | MOR (MPa) |
|-----------------------------|------------------|-----------|-----------|
| 1.30                        | Pith             | 5.15      | 63.65     |
|                             | Middle           | 4.80      | 54.55     |
|                             | Bark             | 4.45      | 49.00     |
| 3                           | Pith             | 5.00      | 45.05     |
|                             | middle           | 4.55      | 44.65     |
|                             | Bark             | 4.30      | 36.65     |
| 6                           | Pith             | 4.80      | 40.10     |
|                             | middle           | 4.65      | 24.00     |
|                             | Bark             | 3.55      | 17.30     |
| Average in axial direction  | 1.30m            | 4.80 a    | 55.73 a   |
|                             | 3m               | 4.61 a    | 42.11 b   |
|                             | 6m               | 4.33 b    | 27.13 c   |
| Average in radial direction | Pith             | 4.98 b    | 49.60 a   |
|                             | Middle           | 4.66 b    | 41.06 b   |
|                             | Bark             | 4.10 a    | 34.31 c   |

\* Duncan's grouping shows by small letters

## بحث

این تحقیق باهدف بررسی خواص فیزیکی، بیومتری و مکانیکی چوب ارس در هزارمسجد درگز در محور شعاعی و طولی درخت انجام شد. این چوب در ارتفاع برابر سینه دارای چوب درون مشخص بوده و با افزایش ارتفاع درختان وسعت آن کاهش یافت. درون چوب بخش داخلی و فیزیولوژی غیرفعال چوب است که به دلیل تجمع مواد استخراجی از دوام طبیعی بالا و مقاومت در برابر پوسیدگی و حمله حشرات برخوردار است. در مقابل، برون چوب بخش بیرونی و فعال تنه است که مسئول انتقال شیره خام بوده و از نفوذپذیری بالاتری نسبت به درون چوب برخوردار می باشد.

خواص فیزیکی: ویژگی های دانسیته و هم کشیدگی تحت تأثیر عوامل متعددی مانند موقعیت شعاعی و طولی در تنه، سن کامبیوم، میزان مواد استخراجی و ویژگی های میکروسکوپی سلول ها قرار دارد (Panshin and de Zeeuw, 1980). داده های ارائه شده نشان می دهد که دانسیته چوب در محور شعاعی از مغز به سمت پوست کاهش می یابد. برای نمونه، مقدار دانسیته بحرانی از ۰/۴۷۵ در مغز به ۰/۳۷۰ گرم بر سانتی متر مکعب کاهش یافته است. همین روند در مورد

دانسیته خشک نیز مشاهده شد. دلیل این موضوع تجمع مواد استخراجی در مغز چوب (درون چوب) است که به افزایش دانسیته منجر می شود. در مقابل، هم کشیدگی حجمی بعکس دانسیته رفتار می کند و از مغز به پوست افزایش می یابد. این افزایش هم کشیدگی در چوب بالغ، عمدتاً ناشی از کاهش مواد استخراجی در برون چوب است. مواد استخراجی در مغز، با توجه به آب گریز بودن، توانایی دیواره سلولی در جذب و از دست دادن آب را کاهش می دهند و هم کشیدگی کمتری ایجاد می کنند (Walker, 2006).

میانگین دانسیته خشک و دانسیته بحرانی چوب ارس در محور طولی از پایین به بالای تنه کاهش می یابد، به طوری که بیشترین مقادیر دانسیته در ارتفاع سینه و کمترین میانگین در ارتفاع ۶ متری مشاهده می شوند. تغییرات هم کشیدگی حجمی در محور طولی تا زیر تاج درختان افزایش نشان می دهد. این پدیده ناشی از حضور بیشتر چوب جوان در بخش های بالای تنه، افزایش زاویه میکروفیبریل در چوب جوان و تجمع مواد استخراجی در ارتفاع پایین تنه است که باعث کاهش دانسیته و افزایش هم کشیدگی حجمی در ارتفاع ۶ متری چوب ارس می شود.

یک پاسخ سازگارانه به الزامات مکانیکی است. با افزایش ارتفاع و کاهش تنش‌های سازه‌ای، نیاز به تقویت دیواره سلولی کاهش یافته و این موضوع به صورت کاهش ضخامت دیواره سلولی و طول تراکتید در چوب بخش‌های بالایی تنه بروز می‌کند ([Fournier et al., 2019](#)). علت دیگر از تغییرات خواص بیومتری در محور طولی را می‌توان به شرایط هیدرولیکی نسبت داد. این عامل نقش مهمی در تغییرات طولی ویژگی‌های بیومتری ایفا می‌کند. در بخش‌های بالایی تنه، مسیر انتقال آب کوتاه‌تر بوده و محدودیت‌های هیدرولیکی نسبت به بخش‌های پایینی کاهش می‌یابد؛ در نتیجه، نیاز به تراکتیدهای بلند برای افزایش کارایی انتقال آب کمتر می‌شود. مطالعات جدید در زمینه ایمنی و کارایی آوند چوبی (در سوزنی‌برگان تراکتیدها) نشان داده‌اند که کاهش طول عناصر آوندی در ارتفاعات بالاتر می‌تواند به عنوان راهبردی برای حفظ تعادل بین کارایی انتقال آب و ایمنی در برابر کاویتاسیون تفسیر شود ([Koch et al., 2004](#)). افزایش سهم حضور چوب جوان در ارتفاعات بالاتر یکی دیگر از کاهش ویژگی‌های بیومتری چوب در راستای طولی تنه است، به طوری که چوب جوان به طور ذاتی دارای تراکتیدهای کوتاه‌تر، دیواره‌های نازک‌تر و ساختار آناتومیکی ساده‌تر نسبت به چوب بالغ است و غلبه آن در بخش‌های فوقانی تنه به خوبی کاهش طول تراکتید مشاهده شده در این تحقیق را توجیه می‌کند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تغییرات طولی در خواص بیومتری عمدتاً بازتابی از تغییر نسبت چوب جوان به چوب بالغ در امتداد محور تنه است ([Hein et al., 2018](#)) که با افزایش آن خواص بیومتری و حتی دانسیته چوب کاهش می‌یابد. خواص مکانیکی: مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی در محور عرضی از مغز به سمت پوست و در جهت طولی از پایین به بالای درخت کاهش یافت. این ویژگی در نتیجه وجود درون‌چوب میسر شده است، با درون‌چوبی شدن قسمت مرکزی درخت، جرم ویژه افزایش یافته که خود باعث افزایش مقاومت‌های مکانیکی می‌گردد ([Machado and Cruz, 2005](#)).

خواص بیومتری: به طور کلی ابعاد الیاف شاخص بسیار مهمی بر کیفیت تولید خمیر کاغذ و محصولات خمیر کاغذ و محصولات چوبی محسوب می‌شود. طول و قطر فیبر، ضخامت دیواره سلولی و اندازه قطر حفره سلول بر مقاومت به پارگی، مقاومت به ترکیدن، تاخوردگی و مقاومت کششی کاغذ مؤثر است ([Ona et al., 2001](#)). نتایج نشان داد که ویژگی‌های بیومتری چوب در راستای شعاعی (از مغز به پوست) روند افزایشی مشخصی دارند. به طوری که ضخامت دیواره سلولی، قطر تراکتید و طول تراکتید از مغز به سمت پوست افزایش معنی‌داری نشان دادند. بیشترین مقادیر این ویژگی‌ها در ناحیه پوست مشاهده شد. این الگو بیانگر انتقال تدریجی از چوب جوان به چوب بالغ است؛ به گونه‌ای که در نواحی نزدیک به پوست، سلول‌ها از نظر بیومتری تکامل یافته‌تر بوده و دارای طول و قطر بیشتر و دیواره‌های ضخیم‌تر هستند. این پدیده به بلوغ فیزیولوژیکی کامبیوم و افزایش کارایی انتقال آب و استحکام سلولی در بخش‌های بیرونی تنه نسبت داده می‌شود ([Tichi 2022; Zobel and Van Buijtenen, 1989](#)).

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش ارتفاع درختان، ویژگی‌های بیومتری چوب شامل ضخامت دیواره سلولی و طول تراکتیدها به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، در حالی که قطر تراکتیدها تغییرات محدود و نامنظمی از خود نشان می‌دهد. این روند با مطالعات اخیر در زمینه آناتومی چوب مطابقت دارد و بیانگر تأثیر سن و بلوغ فیزیولوژیکی کامبیوم آوندی بر ابعاد سلولی است؛ به طوری که کامبیوم در بخش‌های پایینی تنه به دلیل قدمت بیشتر، سلول‌هایی با توان تولیدشدگی بالاتر و دیواره‌های ضخیم‌تر تولید می‌کند، در حالی که در ارتفاعات بالاتر، تمایز سلولی زودتر متوقف شده و ابعاد نهایی سلول‌ها کاهش می‌یابد ([Cuny et al., 2015](#)). همچنین از دیدگاه مکانیکی، بخش‌های پایینی تنه درخت بیشترین سهم را در تحمل بارهای فشاری و خمشی ناشی از وزن درخت و تنش‌های باد دارند و نیازمند ساختاری مقاوم‌تر هستند. پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که افزایش ضخامت دیواره سلولی و طول عناصر آوندی در این نواحی

## References

- Adamopoulos, S. & Koch, G., 2011. Wood structure and topochemistry of *Juniperus excelsa*. IAWA Journal, 32(1), 67–76. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000045>
- Cuny, H.E., Rathgeber, C.B.K., Frank, D., Fonti, P. & Fournier, M., 2015. Kinetics of tracheid development explain conifer tree-ring structure. New Phytologist, 203, 1231–1241.
- Emami, S.A., Abedindo, B.F. & Hassanzadeh-Khayat, M., 2011. Antioxidant activity of the essential oils of different parts of *Juniperus excelsa* M. Bieb. subsp. *excelsa* and *J. excelsa* M. Bieb. subsp. *polycarpus* (K. Koch) Takhtajan (Cupressaceae). Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 10, 799–810.
- Fournier, M., Stokes, A., Coutand, C., Fourcaud, T. & Moulia, B., 2019. Tree biomechanics and growth strategies. Frontiers in Plant Science, 10, 1–18.
- Franklin, F.L., 1946. A rapid method for softening wood for microtome sectioning. Tropical Woods, Yale Univ. Sch. For., 88, 35–36.
- Hein, P.R.G., Brancheriau, L. & Chaix, G., 2018. Radial and axial variation of wood properties in fast-growing trees. Annals of Forest Science, 75, 1–13.
- Holraček, P., 2003. Wood structure: A tool for evaluating in growing conditions of Norway spruce. Ekologia, 23(3), 147–162.
- Karimi, A., Talaie, A. & Toutounjanian, A., 2006. Atlas of world commercial woods. Aijzh Publication.
- Koch, G.W., Sillett, S.C., Jennings, G.M. & Davis, S.D., 2004. The limits to tree height. Nature, 428, 851–854.
- Machado, J.S. & Cruz, H.P., 2005. Within-stem variation of maritime pine timber mechanical properties. Holz Als Roh- und Werkstoff, 63, 154–159.
- Mdawar, M., Balanzategui, D., Touchan, R., Ziaco, E., Dorado Liñán, I., Helle, G. & Heinrich, I., 2025. Quantitative wood anatomy of *Juniperus excelsa* from Lebanon as a potential hydroclimate archive. Frontiers in Plant Science, 16, 1558570. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1558570>
- Ona, T., Sonoda, T., Ito, K., Shibata, M., Tamai, Y., Kojima, Y., Ohshima, J., Yokota, S. & Yoshizawa, N., 2001. Investigation of relationship between cell and pulp properties in *Eucalyptus* by examination of within-tree property variations. Wood Science and Technology, 35, 363–375.
- Panshin, A.J. & de Zeeuw, C., 1980. Textbook of wood technology. 4th ed. McGraw-Hill.
- Pourtahmasi, K., Parsapajouh, D., Marvi Mohajer, M. & Ali-Ahmad-Korouri, S., 2008. Evaluation of Juniper trees (*Juniperus polycarpus* C. Koch) radial growth in three sites of Iran by using dendrochronology. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 16(2), 327–342.
- Rostamikia, Y. & Zobeiri, M., 2013. Study on the structure of *Juniperus excelsa* Beib. stand in Khakhalprotected forests. Journal of Wood & Forest Science and Technology, 19(4), 151-162. (In Persian)
- Safdari, V., Eskini, N., Tajdini, A. & Bayramzadeh, V., 2012. Effect of soil erosion on anatomical characteristics of root and bark of *Juniperus excelsa*. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 27(4), 569–583.
- Shirzad, M.A. & Tabari, M., 2000. Effect of some environmental factors on diversity of woody plants in *Juniperus excelsa* habitat of Hezarmasjed Mountains. Iranian Journal of Biology, 24(6), 800–808.
- Tichi, A.H., 2022. Assessment of the differences between juvenile and mature woods of *Populus alba* trees in the longitudinal and radial axes of the stem. BioResources, 17(1), 1385–1396.
- Toghraie, N., Hosseinzadeh, A. & Keimosa, K. 2002. *Juniperus excelsa* L.: Wood structure and physical properties in Irano-Torani region. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 6(15): 20–31.
- Walker, J.C.F. (Ed.). 2006. Primary Wood Processing: Principles and Practice. 2nd ed. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 596 pp
- Zobel, B. & Van Buijtenen, B., 1989. Wood variation: Its causes and control. Springer Verlag.