

(OPEN ACCESS)

Investigation of Physical and Mechanical Properties of Walnut Wood (*Juglans regia*) from Barkala Region, Kordkuy County, Golestan Province

Mohammad Najafian Ashrafi 

–Corresponding Author, Instructor, Department of Applied Industries Engineering Faculty of wood and paper, technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran, E-mail: Najafiana@yahoo.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 10 May 2025

Revised: 7 June 2025

Accepted: 9 June 2025

Published online: 19

December 2025

Keywords:

Walnut wood,
physical properties,
mechanical properties,
furniture,
veneer.

ABSTRACT

Background and Objective: Wood is a unique renewable natural resource that plays a vital role in the socio-economic development of countries. Walnut (*Juglans regia*) is a durable and mature-trunked tree species found in temperate and subtropical forests of Asia, Europe, and America. In Iran, it is one of the most important wood species, widely used in industries such as furniture, veneer, and construction panels. Therefore, obtaining detailed physical and mechanical characteristics of this species is essential.

Materials and Methods: In this study, sampling was carried out from walnut trees in the forests of Barkala village, Kordkuy County (Golestan Province), at an altitude of 1434 meters above sea level. Three healthy trees were randomly selected and harvested. The average diameter at breast height was 51.3 cm, and the average age of the trees was approximately 51 years. Tests were conducted according to ISO 3129 and ASTM D-143 standards for physical and mechanical properties, respectively. Approximately 319 samples were tested for physical properties and 246 for mechanical properties. Physical characteristics examined included oven-dry density, basic density, green density, maximum moisture content, shrinkage, and swelling. Mechanical properties included bending strength, modulus of elasticity, compression parallel to grain, tensile strength (parallel and perpendicular), shear strength parallel to grain, hardness, and cleavage resistance. The samples prepared for mechanical tests were placed in a climate chamber for four weeks at a temperature of 20 degrees Celsius and a relative humidity of 65 percent so that the humidity of all samples during mechanical tests was 12. To perform mechanical tests, a SANTOM 150 testing machine with appropriate Jaws for each test located at Imam Mohammad Baqer National University of Skills and Knowledge, Sari, was used.

Results: The green, oven-dry, and basic densities were found to be 1.16, 0.63, and 0.54 g/cm³, respectively. Longitudinal, radial, tangential, and volumetric shrinkage were 0.4%, 5.65%, 8.30%, and 14.35%, respectively. Corresponding swelling values were 0.51%, 5.71%, 8.88%, and 15.1%, and the maximum moisture content reached 105.14%. Mechanical properties measured included:

bending strength (102.46 N/mm²), modulus of elasticity (10246.02 N/mm²), compression parallel to grain (34.11 N/mm²), tensile strength parallel and perpendicular to grain (146.17 and 9.66 N/mm²), shear strength parallel to grain (11.54 N/mm²), hardness (6622.70 N), and cleavage resistance (1.69 N/mm²). The results obtained show the positive effect of age on the mechanical properties of wood. Of course, factors such as geographical factors and altitude above sea level also have an effect on the physical properties of wood, such as swelling and elongation of wood. Of course, in this study, it was found that the effect of tree age on the mechanical properties of wood has a completely positive effect.

Conclusion: The walnut trees from the Barkala village of Kordkuy in Golestan Province showed favorable density and generally mechanical properties compared to walnut wood from four other provinces previously studied. This may be due to the higher average age of the trees in this region. Given the strong mechanical properties, this wood is well-suited for use in parquet flooring, furniture, veneer, and construction panels .

Cite this article: Mohammad Najafian Ashrafi. 2025. Investigation of Physical and Mechanical Properties of Walnut Wood (*Juglans regia*) from Barkala Region, Kordkuy County, Golestan Province. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 40(4), 310-319.
DOI: <http://doi.org/10.22092/ijwpr.2025.369404.1804>



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 خصوصیات فیزیکی و مکانیکی گونه درخت گردو (*Juglans regia*) منطقه بارکلا شهرستان

کردکوی استان گلستان

محمد نجفیان اشرفی

- مربی، گروه صنایع کاربردی دانشکده چوب و کاغذ، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران، پست الکترونیکی: Najafiana@yahoo.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله کامل علمی - پژوهشی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۲۸

واژه‌های کلیدی:

چوب گردو،

خصوصیات فیزیکی،

خصوصیات مکانیکی،

مبلمان و روکش.

سابقه و هدف: چوب، ماده طبیعی تجدیدپذیر بی‌نظیری است که به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر، نقش اساسی در توسعه اجتماعی و اقتصادی یک کشور ایفا می‌کند. درخت گردو (*Juglans regia*)، یک درخت قطور و با دوام است که در جنگل‌های معتدله و نیمه گرمسیری آسیا، اروپا و آمریکا یافت می‌شود. از سوی دیگر، درخت گردو یکی از مهم‌ترین گونه‌های چوبی در ایران است که در صنایع مختلفی مانند مبلمان، روکش و پانل‌های ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر همین اساس، دسترسی به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مختلف این گونه مورد نیاز است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش نمونه‌برداری از گونه گردو واقع در جنگل روستای بارکلا از شهرستان کردکوی (استان گلستان) مورد استفاده قرار گرفت. میانگین قطر برابر سینه سه تنه حدود ۵۱/۳ سانتی‌متر و میانگین سن سه تنه حدود ۵۱ سال اندازه‌گیری شد. از استاندارد ISO 3129 و ASTM D-143 به ترتیب برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی استفاده گردید. تعداد نمونه‌ها برای آزمایش‌های فیزیکی حدود ۳۱۹ عدد و برای انجام آزمایش‌های مکانیکی حدود ۲۴۶ عدد بود. ویژگی‌های فیزیکی شامل (دانسیته خشک، دانسیته بحرانی، دانسیته مرطوب، حداکثر رطوبت، هم‌کشیدگی و واکشیدگی) و خواص مکانیکی شامل (مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، فشار موازی به الیاف، کشش موازی و عمود بر الیاف، برش موازی به الیاف، سختی و شکاف خوری) بررسی شد. نمونه‌های تهیه شده برای انجام آزمایش‌های مکانیکی، به مدت چهار هفته در اتاق کلیما در دمای ۲۰ درجه و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار گرفتند تا رطوبت کلیه نمونه‌ها در هنگام انجام آزمایش‌های مکانیکی برابر با ۱۲ باشد. برای انجام آزمایش‌های مکانیکی از دستگاه شرکت SANTOM 150 با فک‌های مناسب هر آزمایش واقع در دانشگاه ملی و مهارت امام محمدباقر ساری استفاده شد.

نتایج: نتایج دانسیته مرطوب، خشک و بحرانی گونه گردو واقع در کردکوی استان گلستان به ترتیب برابر ۱/۱۶، ۰/۶۳ و ۰/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد. همچنین، میزان هم‌کشیدگی طولی، شعاعی، مماسی و حجمی آن به ترتیب برابر با ۰/۴، ۵/۶۵، ۸/۳۰ و ۱۴/۳۵ درصد و واکشیدگی طولی، شعاعی، مماسی و حجمی به ترتیب برابر با ۰/۵۱، ۵/۷۱، ۸/۸۸ و ۱۵/۱ درصد و رطوبت بیشینه نمونه‌ها ۱۰۵/۱۴ درصد به دست آمد. نتایج مقاومت مکانیکی گونه گردو برای مقاومت خمشی برابر ۱۰۲/۴۶ نیوتن بر میلی‌متر مربع، مدول الاستیسیته برابر با ۱۰۲۴۶/۰۲ نیوتن بر میلی‌متر مربع، فشار موازی به الیاف برابر با ۳۴/۱۱ نیوتن بر میلی‌متر مربع، کشش موازی و عمود بر الیاف به ترتیب برابر با ۱۴۶/۱۷ و ۹/۶۶ نیوتن بر میلی‌متر مربع، برش موازی به الیاف برابر با ۱۱/۵۴ نیوتن بر میلی‌متر مربع و سختی برابر با ۶۶۲۲/۷۰ نیوتن و مقاومت به شکاف خوری ۱/۶۹ نیوتن بر میلی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده تأثیر مثبت دانسیته بر روی خصوصیت مکانیکی چوب می‌باشد. البته عواملی مانند عوامل جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا بر روی خواص فیزیکی چوب مانند واکشیدگی و هم‌کشیدگی چوب نیز مؤثر است. در این تحقیق مشخص شد اثر سن درخت روی خصوصیت مکانیکی چوب اثر کاملاً مثبتی دارد.

نتیجه‌گیری: باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش و مقایسه آن با مقادیر گزارش شده در تحقیقات گذشته می‌توان گفت که گونه گردو منطقه بارکلا کردکوی استان گلستان دارای دانستیه مناسب و از لحاظ مقاومتهای مکانیکی نیز از گردو چهار استان کشور که قبلاً مورد مطالعه قرار گرفته بود بیشتر بود. یکی از دلایل این موضوع را می‌توان به سن بیشتر گردو این منطقه نسبت به گردو چهار استان دیگر ذکر کرد. باتوجه به مقاومتهای مکانیکی خوب به‌دست‌آمده از چوب گردو می‌توان از آن در صنایع پارکت، مبلمان، روکش و پانل‌های ساختمانی استفاده کرد.

استناد: محمد نجفیان اشرفی. ۱۴۰۴. بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی گونه درخت گردو (*Juglans regia*) منطقه بارکلا شهرستان کردکوی استان گلستان. نشریه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۴۰(۴)، ۳۱۹-۳۱۰. DOI: <http://doi.org/10.22092/ijwpr.2025.369404.1804>

مقدمه

چوب، ماده طبیعی تجدیدپذیر بی‌نظیری است که به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر، نقش اساسی در توسعه اجتماعی و اقتصادی ایفا می‌کند. امروزه، چوب به‌عنوان یک ماده پیچیده از نظر فناوری محسوب می‌شود (*Demattè et al., 2022*) و ارزش آن بیش‌ازپیش افزایش یافته و برای مبلمان هوشمند و زیبا، صفحات فشرده چوبی، سوخت‌های زیستی، پلاستیک‌های زیستی، مواد شیمیایی و مواد باارزش بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد (*Tamantini et al., 2021*). به همین دلیل، در حال حاضر علاقه زیادی به چوب وجود دارد و انتظار می‌رود تقاضا برای این ماده در سراسر جهان به‌طور قابل‌توجهی افزایش یابد (*Harfouche et al., 2022*). در نتیجه، تقاضای بازار برای چوب از باغ‌ها به‌عنوان یک منبع اضافی تأمین، نه تنها برای مصارف انرژی، بلکه برای کارهای چوبی زیبا، دسته ابزار، مبلمان، روکش، کف‌سازی و معرق‌کاری نیز در حال افزایش است. برای نمونه، *Kiaei* و همکاران (2014) پیشنهاد کردند که درختان میوه می‌توانند به حل مشکل کمبود مواد اولیه برای صنعت چوب کمک کنند.

از سوی دیگر، اطلاعات دقیقی از خواص فیزیکی و مکانیکی گونه‌های چوبی در جنگل‌های شمال و سایر نقاط کشور وجود ندارد؛ بنابراین، برای تنوع بخشیدن به گونه‌های چوبی برداشت شده، تحقیقات در مورد ویژگی‌های گونه‌های مختلف می‌تواند پایگاه داده بزرگی از گونه‌های چوبی را که براساس شباهت ویژگی‌هایشان طبقه‌بندی شده‌اند، فراهم کند. به‌وضوح نشان داده شده است که استفاده از چوب در

ساخت‌وساز مهندسی نیاز به دانش خوبی از خواص فیزیکی آن مانند میزان رطوبت، دانسیته، هم‌کشیدگی و واکنشیدگی و خواص مکانیکی آنها، مانند مدول گسیختگی (MOR) و مدول الاستیسیته (MOE) دارد (*Mvogo et al., 2011*). درخت گردو (*Juglans regia*)، یک درخت قطور و با دوام است که در جنگل‌های معتدله و نیمه گرمسیری آسیا، اروپا و آمریکا یافت می‌شود. از این درخت بیشتر برای مبلمان، روکش، پارکت و پانل‌های ساختمانی استفاده می‌شود (*Najafian Ashrafi et al., 2023*). با وجود ویژگی‌های منحصر به فرد این درخت، تحقیقات کمی بر روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی گونه درخت گردو انجام شده است که این پژوهش‌ها به‌طور کافی به تمام مقاومتهای فیزیکی و مکانیکی نپرداخته‌اند (*Bachtiar et al., 2017a; Bachtiar et al., 2017b; Castro et al., 2019; Gular & Dilek, 2020*). هدف اصلی از این تحقیق بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب گردو از روستای بارکلا محدوده شهرستان کردکوی واقع در استان گلستان بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی گونه گردو، سه درخت سالم به‌طور تصادفی از جنگل روستای بارکلا شهرستان کردکوی واقع در استان گلستان قطع و مورد استفاده قرار گرفت که مشخصات اصلی آن‌ها در جدول ۱ بیان شده است. در مجموع تعداد ۳۱۹ نمونه برای آزمایش‌های فیزیکی و ۲۴۶ نمونه برای آزمایش‌های

مکانیکی تهیه شد. قرار داده شدند تا دانسیته خشک آن‌ها اندازه‌گیری شود. آنگاه وزن خشک در آون و ابعاد نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت، دانسیته، هم‌کشیدگی و واکشیدگی با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده محاسبه گردید. برای انجام آزمایش‌های مکانیکی از استاندارد [ASTM D-143](#) استفاده شد. آزمایش‌ها و ابعاد نمونه‌ها در جدول ۲ بیان شده است. برای انجام آزمایش‌های مکانیکی، نمونه‌ها در اتاق کلیما (دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۶۵ درصد) به مدت چهار هفته قرار داده شدند تا رطوبت نمونه‌ها به ۱۲ درصد برسد. از دستگاه SANTOM 150 واقع در دانشگاه فنی امام محمدباقر (ع) (ساری) برای انجام آزمایش‌های مکانیکی استفاده شد.

نمونه‌ها طبق استاندارد [ISO 3129](#) در ابعاد $20 \times 20 \times 25$ میلی‌متر برش داده شدند تا دانسیته خشک، بحرانی، مرطوب، حداکثر رطوبت، هم‌کشیدگی و واکشیدگی تعیین شود. برای اندازه‌گیری دانسیته مرطوب، ابتدا نمونه‌ها کدگذاری شده و بعد به مدت ۳ هفته در آب مقطر غوطه‌ور شدند تا کاملاً از آب اشباع شوند. پس از آن، وزن تر نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. ابعاد نمونه‌ها پس از اشباع شدن در جهات طولی، شعاعی و مماسی توسط کولیس دیجیتالی (EK610i، توکیو، ژاپن) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای 103 ± 2 درجه سانتی‌گراد

جدول ۱- ویژگی‌های اصلی درخت گردو مورد استفاده

Table1- Main features of the walnut wood tree in Iran where samples were taken

Characteristics	walnut wood from Golestan
Height from sea surface (m)	1434
UTM	36.79573, 54.11188
Soil	Loam soil
Mean tree age (years)	51
Mean DHB ¹ (cm)	51.3
Climate	Temperate mountain climate
Average annual rainfall (mil)	600
Average annual temperature (c°)	17.6

1: DBH: diameter at breast height

جدول ۲- روش‌های آزمایش چوب گردو

Table2- Experimental tests methods for walnut woods

Standard	Test Method	Direction	Specimen size (mm)	Loading rate (mm/min)
ISO3129 (2012)	Physics	-	20 x 20 x 25	-
	Bending	-	25 x 25 x 410	1.3
	Compression	Parallel to the grain	50 x 50 x 200	0.3
	Shear	Parallel to the grain	25 x 25 x 63	0.6
		Parallel to the grain	25 x 25 x 460	0.9
	Tensile	Perpendicular to the grain	50 x 50 x 63	2.5
	Hardness	Perpendicular to the grain	50 x 50 x 150	6
	cleavage	Perpendicular to the grain	50 x 50 x 76	2.5

مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌شود، دانسیته خشک و دانسیته بحرانی به‌دست‌آمده به ترتیب برابر با ۰/۶۳ و ۰/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد. مقادیر به‌دست‌آمده برای

نتایج

نتایج خواص فیزیکی گونه گردو در جدول ۳ قابل

هم کشیدگی حجمی و واکشیدگی حجمی نیز به ترتیب برابر با ۱۴/۳۵ و ۱۵/۲۱ درصد بود.
جدول ۳- نتایج خصوصیات فیزیکی چوب گردو منطقه گلستان

Table 3- Physical properties of walnut woods from Golestan

Properties	Walnut wood	
	Mean	SD
Dry density (g/cm ³)	0.63 (319) ¹	0.04
Basic density (g/cm ³)	0.54 (319)	0.03
Humid density (g/cm ³)	1.16 (319)	0.03
Humid max (%)	105.14	0.04
Axial shrinkage (%)	0.40 (319)	0.02
Radial shrinkage (%)	5.65 (319)	0.81
Tangential shrinkage (%)	8.30 (319)	1.02
Volumetric shrinkage (%)	14.35 (319)	1.27
Axial swelling (%)	0.51 (319)	0.29
Radial swelling (%)	5.71 (319)	0.84
Tangential swelling (%)	8.88 (319)	0.93
Volumetric swelling (%)	15.1 (319)	1.10

1: The numbers in parentheses indicate the number of samples used

اندازه گیری شد. همچنین، مقاومت کشش موازی و کشش عمود بر الیاف چوب به ترتیب برابر با ۱۴۶/۱۷ و ۹/۶۶ نیوتن بر میلی متر مربع به دست آمد. مقاومت به برش موازی الیاف و شکاف خوری به ترتیب ۱۱/۵۴ و ۱/۶۹ نیوتن بر میلی متر مربع و مقاومت به سختی ۶۶۲۲/۷۰ نیوتن به دست آمد.

خواص مکانیکی

خصوصیات مکانیکی چوب گردو کردکوی منطقه گلستان در جدول ۴ بیان شده است. همان طور که ملاحظه می شود مقدار ۱۰۲/۴۶ و ۱۰۲۴۶/۰۲ نیوتن بر میلی متر مربع به ترتیب برای مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته به دست آمد. فشار موازی به الیاف برابر با ۳۴/۱۱ نیوتن بر میلی متر مربع

جدول ۴- نتایج خصوصیات مکانیکی چوب گردو منطقه گلستان

Table 4- Mechanical properties of walnut woods from Golestan

properties	Walnut wood	
	Mean	SD
Modulus of rupture (N/mm ²)	102.46 (64) ¹	11.6
Modulus of elasticity (N/mm ²)	10246.02 (50)	89.85
Compression parallel to the grain (N/mm ²)	34.11(23)	3.94
Tensile strength parallel to the (N/mm ²)	146.17(15)	12.85
Tensile strength perpendicular to the grain (N/mm ²)	9.66 (18)	1.84
Shear parallel strength to the grain (N/mm ²)	11.54(19)	1.47
Hardness (N)	6222.70 (38)	18.23
Cleavage (N/mm ²)	1.69 (19)	0.14

1: The numbers in parentheses indicate the number of samples used

و مکانیکی چوب تأثیر می گذارد. به علاوه، شرایط رشد و عوامل محیطی، به ویژه ارتفاع، آب هوا و سن درخت ممکن است تغییراتی در خواص چوب ایجاد کند (Standovár & Kenderes 2003). برای نمونه، دانسیته خشک به دست آمده در این پژوهش تقریباً با مقادیر به دست آمده برای گردو واقع در مشهد (Najafian Ashrafi et al., 2024) برابر بود. با

بحث

نتایج به دست آمده از گونه گردو (استان گلستان) با نتایج سایر محققان در جدول ۵ مقایسه شد. تفاوت معنی داری در بین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی گونه گردو در مناطق مختلف مشاهده شد که به دانسیته مختلف آن ها نسبت داده شد. زیرا دانسیته مستقیماً بر روی بیشتر مقاومت های فیزیکی

وجود این، برخی محققان ([Guler & Dilek 2020](#)) برای چوب گردو در ترکیه و ([Bachtiar et al., 2017b](#)) برای گردو واقع در قفقاز، با مقادیر بالاتر ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای دانسیته خشک این درخت گزارش کردند. مقادیر بالاتر

جدول ۵- خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب گردو مورد مطالعه و سایر مطالعات

Table 5- Physical and mechanical properties of walnut woods from this study and from the literature

Properties	Kordkoi	Najafian Ashrafi et al., 2024	Najafian Ashrafi et al., 2024	Najafian Ashrafi et al., 2023	Najafian Ashrafi et al., 2023	Guler and Dilek, 2020	Castro et al., 2019	Bachtiar et al., 2017a	Bachtiar et al., 2017b
Country	Iran Kordkoi	Iran Mashhad	Iran Mako	Iran Noor	Iran Shar Kord	Turkey	Italy	Caucasus	Europe
Dry Density (g/cm ³)	0.63	0.625	0.579	0.62	0.59	0.702	0.532	0.65	0.71
Basic density (g/cm ³)	0.54	-	-	0.519	0.52	-	-	-	-
Mean tree age (years)	51	34.5	30.5	43	39	-	100	-	-
Humid density (g/cm ³)	1.12	-	-	-	-	-	-	-	-
Humid max (%)	105.14	-	-	-	-	-	-	-	-
Axial Shrinkage (%)	0.4	0.223	0.216	0.182	0.181	-	0.51	-	-
Radial Shrinkage (%)	5.65	6.225	5.813	6.2	5.68	-	6.41	-	-
Tangential Shrinkage (%)	8.30	9.779	8.781	10.7	8.91	-	11.11	-	-
Volumetric Shrinkage (%)	14.35	16.263	15.422	17.04	14.54	13.52	17.57	-	-
Axial Swelling (%)	0.51	-	-	-	-	-	-	-	-
Radial Swelling (%)	5.71	-	-	-	-	-	-	-	-
Tangential Swelling (%)	8.88	-	-	-	-	-	-	-	-
Volumetric Swelling (%)	15.21	-	-	-	-	-	-	-	-
Static Bending (N/mm ²)	102.46	100.43	87.61	96.23	91.13	99.03	-	-	-
Modulus of elasticity (N/mm ²)	10246.02	10049.5	7504.21	10092	10084	10062.7	-	-	-
Compression parallel to the grain (N/mm ²)	34.11	37.91	33.88	36.07	32.47	-	-	47.0	-
Shear parallel strength to the grain (N/mm ²)	11.54	9.15	8.95	10.73	9.92	-	-	-	13.3
Tensile strength parallel to the grain (N/mm ²)	146.17	132.53	125.83	131.4	124.7	-	-	89.0	-
Tensile strength perpendicular to the grain (N/mm ²)	9.66	-	-	-	-	-	-	-	-
Hardness	6622.7 (N)	27.81 (N/mm ²)	25.24 (N/mm ²)	-	-	-	-	-	-
Cleavage (N/mm ²)	1.68	-	-	-	-	-	-	-	-

مقادیر به دست آمده از مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته با مقادیر به دست آمده از گونه واقع در ایران (مشهد) و ترکیه بسیار نزدیک بود که به دانسیته تقریباً برابر آن‌ها نسبت داده شد. زیرا دانسیته مستقیماً بر روی بیشتر مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی چوب تأثیر می‌گذارد ([Lo Monoca et al., 2015](#), [Zhang, 1997](#)). اما ([Najafian Ashrafi et al., 2024](#)) برای گونه گردو ایران (ماکو) مقادیر پایین‌تری برای دو مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته گزارش کردند که به دانسیته پایین‌تر آن‌ها نسبت داده شد. در این پژوهش مقاومت به شکاف‌خوری نیز انجام گردید که مقدار به دست آمده آن برابر با $1/68$ نیوتن بر میلی‌متر به دست آمد.

گزارش شده را می‌توان به شرایط جغرافیایی مختلف مانند آب و هوا، ارتفاع از سطح دریا و سن درخت نسبت داد ([Standovár & Kenderes, 2003](#)). علاوه بر این، مقادیر به دست آمده از این پژوهش برای هم‌کشیدگی شعاعی، مماسی و حجمی نزدیک به مقادیر گزارش شده توسط ([Najafian Ashrafi et al., 2023](#)) برای گردو واقع در ایران (شهر کرد) بود.

از سوی دیگر، شناسایی دقیق عملکرد و قابلیت اطمینان سازه، به‌ویژه برای مصالح ساختمانی، برای محصولات چوبی مورد نیاز است؛ بنابراین، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته دو ویژگی مکانیکی حیاتی هستند که باید با دقت در نظر گرفته شوند ([Yu et al., 2020](#)). همان‌طور که مشاهده می‌شود

تحلیل آماری پیرسون

جدول ۶- نتایج تقریبی ضریب همبستگی پیرسون

Table 6- Approximate results of Pearson correlation coefficient

Mechanical Property	Pearson Correlation with Dry Density
Static Bending Strength	$R^2 \approx 0.98$ (very strong positive)
Modulus of Elasticity (MOE)	$R^2 \approx 0.97$ (very strong positive)
Compression Parallel to Grain	$R^2 \approx 0.97$ (very strong positive)
Shear Parallel to Grain	$R^2 \approx 0.99$ (very strong positive)
Tensile Parallel to Grain	$R^2 \approx 0.99$ (very strong positive)

مقادیر گزارش شده در تحقیقات گذشته، می‌توان گفت که گونه گردو منطقه بارکلا کردکوی استان گلستان دارای دانسیته مناسب و از لحاظ بیشتر مقاومت‌های مکانیکی نیز از گردو چهار استان کشور که قبلاً مطالعه شده بودند بیشتر بود. یکی از دلایل این موضوع را می‌توان به سن بیشتر گردو این منطقه نسبت به گردو چهار استان دیگر ذکر کرد. با توجه به مقاومت‌های مکانیکی خوب به دست آمده، می‌توان از این چوب در صنایع پارکت، مبلمان، روکش و پانل‌های ساختمانی استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی گونه گردو در روستای بارکلا شهرستان کردکوی واقع در استان گلستان بود. خصوصیات فیزیکی شامل (دانسیته خشک، بحرانی، مرطوب، حداکثر رطوبت هم‌کشیدگی و واکشیدگی) و خصوصیات مکانیکی شامل (مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، فشار موازی به الیاف، کشش موازی و عمود بر الیاف، برش موازی به الیاف، سختی و گسیختگی) بود. با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش و مقایسه آن با

References

- Alfi, S., Taleghani, M., Vatanparast, M.R. & Homayounfar, M., 2023. A dynamic model for assessing the sustainability of small and medium-sized enterprises. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 17(2), 1–13. DOI: <https://doi.org/10.22094/QJIE.2024.1184391>
- Alfi, S., Taleghani, M., Vatanparast, M.R. & Homayoonfar, M., 2022. Studying the fundamentals and concepts of sustainability of small and medium-sized businesses based on financial indicators. *Agricultural Marketing and Commercialization Journal*, 6(1), 194–210.
- Andriani, D., Apriyana, A., Karina, M. & Souza, T. C., 2020. The optimization of bacterial cellulose production and its applications: A review. *Cellulose*, 27, 288–296. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03273-9>
- Aryaei Monfared, M.H., Dashtbani Khezri, R. & Vaziri, V., 2018. Energy Importance and Ways to Improve Energy Efficiency in the Pulp and Paper Industry. *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 6(2), 15–27. DOI: <https://doi.org/10.22069/ejang.2019.6490.1183>
- Attar, M., Gilaninia, S. & Homayounfar, M., 2016. A study of the effect of green supply chain management's components on the performance of the pharmaceutical distribution companies system in Iran. *Arabian Journal of Business and Management Review (OMAN Chapter)*, 5 (8), 48–54. DOI: <https://doi.org/10.12816/0027246>
- Chavooshi, A., Bahmani, A. A., Darijani, A., Mootab Saei, A., Mehrabi, E. & Gholipour, M., 2012. The role of wood and paper industries management of Iran in sustainable development. *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 1 (3), 79–96.
- Hamed, M.M., Sandberg, M., Olsson, R.T., Pedersen, J., Benselfelt, T. & Wohler, J., 2025. Wood and cellulose: The most sustainable advanced materials for past, present, and future civilizations. *Advanced Materials*, 37(22), 2415787. DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.202415787>
- Mehri Charvadeh, M., Pourmousa, S., Tajdini, A., Tamjidi, A. and Safdari, V.R., 2022. Effective indicators for the stability of a stable supply chain model in the cellulosic industry by VIKOR method. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 39(1), 12–26. DOI: <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2022.357861.1711>
- Mohamadi Nematabad, S., Pourmousa, S., Tajdini, A., Jahan latibari, A. & Lashgari, A., 2023. Identifying and prioritizing the components of sustainable production in the corrugated box making industry. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 38(1), 21–36. DOI: <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2021.356457.1699>
- Movahedi, M., Homayounfar, M., Fadaei Eshkiki, M. & Soufi, M., 2023. Development of a model based on fuzzy cognitive map to analyze the performance of stock exchange firms. *Journal of Securities Exchange*, 16 (61), 5741–90. DOI: <https://doi.org/10.30495/jsm.2023.1997481.1885>
- Muiruri, J.K., Yeo, J.C., Zhu, Q., Ye, E., Loh, X. J. & Li, Z., 2023. Bacterial cellulose: Recent advances in biosynthesis, functionalization strategies and emerging applications. *European Polymer Journal*, 199, 112446. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112446>
- Pourmousa, S., 2018. Challenges and Strategies for the Development of the Iranian Corrugated Box Making Industries. *Packaging science and art*, 10(37), 6–13. DOI: <https://doi.org/10.1001/1.22286675.1398.10.37.1.5>
- Quintana, E., Valls, C. & Roncero, M.B., 2024. Valorization of waste-paper sludge as a sustainable source for packaging applications. *Polymer Bulletin*, 81, 9321–9345. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00289-024-05138-8>
- Salahi, F., Daneshvar, A., Homayounfar, M. & Pourghader Chobar, A., 2023. Presenting an integrated model for production planning and preventive maintenance scheduling considering uncertainty of parameters and disruption of facilities. *Journal of Industrial Management Perspective*, 13(1), 105–140. DOI: <https://doi.org/10.48308/jimp.13.1.105>
- Standovár, T. & Kenderes, K., 2003. A review on natural stand dynamics in beechwoods of East Central Europe. *Applied ecology and environmental research*, 1(1), 19–46. DOI: [10.15666/aeer/01019046](https://doi.org/10.15666/aeer/01019046)
- Soltanifar, M., Zargar, S.M. & Homayounfar, M., 2022. Green supplier selection: A hybrid group voting analytical hierarchy process approach. *Journal of Operational Research in its Applications*, 19(273), 113–132. DOI: <https://doi.org/10.1001/1.22517286.2022.19.2.3.5>
- Soufi, M., Fadaei, M., Homayounfar, M., Gheibdoust, H. & Rezaee Kelidbari, H., 2025. Evaluating the drivers of green supply chain management adoption in Iran's construction industry. *Management of Environmental*

- Quality: An International Journal*, 36(6), 1626–1649. DOI: <https://doi.org/10.1108/MEQ-04-2022-0105>
- Teng, C.P., Tan, M.Y., Toh, J.P.W., Lim, Q.F., Wang, X., Ponsford, D., Lin, E.M.J., Thitsartarn, W. & Tee, S.Y., 2023. Advances in cellulose-based composites for energy applications. *Materials*, 16(11), 3856. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16103856>
- Verma, J., Petru, M. & Goel, S., 2024. Cellulose based materials to accelerate the transition towards sustainability. *Industrial Crops and Products*, 210, 118078. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118078>
- Yu, L., Liang, Y., Zhang, Y. & Cao, J., 2020. Mechanical properties of wood materials using near-infrared spectroscopy based on correlation local embedding and partial least-squares. *Journal of forestry research*, 31(3), 1053-1060. DOI: [10.1007/s11676-019-01031-7](https://doi.org/10.1007/s11676-019-01031-7)
- Zachariah, S.M., Naseem, S., Rizwan, M., Nair, G. G., Grohens, Y., Sadiqa, A., Ahmad, A. & Thomas, S., 2025. Eco-friendly cellulose paper composites: A sustainable solution for EMI shielding and green engineering applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 292, 139127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.139127>