Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Science Research

Vol. 39, No. 2, Page 111-120 (2024) DOI: 10.22092/IJWPR.2024.364995.1771

Studying the physical and mechanical properties of Walnut (*Juglans regia* L.) wood from regions of Mashhad and Maku in Iran

Mohammad Najafian Ashrafi[1*], Ali Heidari[2] and Hamed Jafarzadeh[3]

1*- Corresponding author, Faculty member, Department of Wood Science and Industries, Technical and Vocational University (TVU), Iran, Email: najafiana@yahoo.com

2-Bachelor's degree, Department of Wood and Paper Science and Industries, Technical and Vocational College No. 2, Sari,Technical and Vocational University (TVU), Mazandaran, Iran

3-Bachelor's degree, Department of Wood and Paper Science and Industries, Technical and Vocational College No. 2, Sari,Technical and Vocational University (TVU), Mazandaran, Iran

Received: February 2024 Revised: March 2024 Accepted: April 2024

Abstract

Background and goal: Walnut tree (*Juglans regia* L.) are cultivated in many countries in Asia, Europe and United States. This tree wood has high strength with excellent texture and are used in furniture industry, building panels, flooring and covering. Iran ranks third in the world in the production of walnut fruit after China and US. Thus, with considering high potential of this tree in Iran and its wood diverse application in different wood industries, a comprehensive studding for physical and mechanical properties of this wood in different regions of Iran seems necessary.

Materials and methods: Walnut tree (*Juglans regia* L.) from two different regions, one from northeast (Mashhad) and the other from northwest (Maku) of Iran was selected for this study. Three trees from each region were selected randomly and felled with almost with the same diameter for physical and mechanical experiments. Samples were cut from 2-4 meter from the ground. ISO 3129 and ASTM (D143-14) were used for physical and mechanical properties measurements, respectively. Specimens were conditioned to reach 12% moisture content before testing. Statistical analysis of data was performed using Graphpad prism version 8 and t-Test was used for the significant difference of walnut resistance in two regions.

Results: The average dry density of both Mashhad and Maku walnut wood was 0.625 and 0.579 g/cm^3 respectively. There was a significant difference for both tangential shrinkage with values of 9.77 and 8.78 and volumetric shrinkage with measurement of 16.26 and 15.42 in Mashhad and Maku respectively. However, there was no significant difference for longitudinal and radial shrinkage in walnut woods of the two regions. Walnut wood cut from Mashhad region showed higher physical and mechanical properties. The results of the mechanical characteristics of walnuts from two regions showed bending strength 100.54 and 87.61N/mm^2 and modulus of elasticity 10049.59 and 7504.21 N/ mm^{2}for Mashhad and Maku regions respectively. Results also showed not significant difference for compression parallel to the grain with values of 37.91 and 33.88N/mm^2, shear parallel to the grain with values of 9.15 and 8.95N/mm^2, Tensile strength parallel to the grain with 127.97 and 125.83 N/mm^2, for Screw withdrawal strength in tangential

values of 4031.01 and 3685.97N and Screw withdrawal strength in radial values of 4218.63 and 3915.03N for Mashhad and Maku regions respectively. Results also showed that the density of walnut wood in the two regions of Iran was similar to the those in Italy and eastern Europe but the mechanical properties of walnut tree wood such as bending strength and modulus of elasticity measured from Mashhad region was similar to the wone in turkey.

Conclusion: The results showed that the physical and mechanical strength of walnut wood from Mashhad is higher than Maku, which was attributed to the higher dry density and the difference in weather conditions. Considering the appropriate mechanical strength of walnut wood from both regions of Iran, this wood can be used in veneer and furniture industries, building panels and flooring.

Keywords: Physical properties, mechanical properties, wood walnut.

بررسی و تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی درخت گردو (*Juglans regia* L.) از دو منطقه مشهد و ماکو در ایران

محمد نجفیان اشرفی[۱*]، علی حیدری[۲] و حامد جعفرزاده[۳]

۱*-نویسنده مسئول، عضو هیئت‌علمی، گروه صنایع چوب، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، ایران، پست الکترونیک:najafiana@yahoo.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده فنی شماره ۲ ساری، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، مازندران، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده فنی شماره ۲ ساری، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: فروردین ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۲

چکیده

سابقه و هدف: چوب گردو (*Juglans regia* L.) در بسیاری از کشورها در آسیا، اروپا و آمریکا کشت می‌شود. دارای چوبی با مقاومت بالا و نقش زیبا می‌باشد از این چوب در صنایع مبلمان، پانل‌های ساختمانی، صنایع روکش و کف‌پوش استفاده زیادی می‌شود. با توجه به اینکه ایران بعد از کشورهای چین و آمریکا در رتبه سوم دنیا در تولید میوه گردو می‌باشد. با توجه به فراوانی این گونه در ایران و کاربرد متنوع آن نیاز به تحقیق جامعی درباره خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب این گونه در مناطق مختلف ایران ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری از دو مکان در ایران، یکی از شمال شرقی کشور (مشهد) و دیگری در شمال‌غربی کشور (ماکو) انجام شد. سه درخت از هر منطقه به طور تصادفی برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی با قطر تقریباً یکسان انتخاب و قطع گردید و تهیه تمام نمونه‌ها در ارتفاع بین ۲ تا ۴ متر از سطح زمین انتخاب شد و آزمایش‌های فیزیکی براساس استاندارد (ISO(3129 و آزمایش‌های مکانیکی نمونه‌ها براساس استاندارد (ASTM(D143-14 در رطوبت ۱۲ درصد انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Graphpad Prism ورژن ۸ انجام شد از آزمون (T test) برای تعیین اختلاف معنی‌دار بودن استفاده شد.

نتایج: در بررسی خصوصیات فیزیکی گردو در دو منطقه مشهد و ماکو دانسیته خشک گونه مشهد و ماکو به ترتیب برابر ۰/۶۲۵ و ۰/۵۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب وهم‌کشیدگی مماسی به ترتیب۹/۷۷ و ۸/۷۸ و هم‌کشیدگی حجمی به ترتیب ۱۶/۲۶ و ۱۵/۴۲ بدست آمد که تفاوت معناداری بین آنها وجود دارد ولی در مورد هم‌کشیدگی طولی و شعاعی تفاوت معناداری بین چوب گردو دو منطقه مشاهده نشد. در تمامی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب گردو مشهد بیشتر از گردو ماکو بود. نتایج خصوصیات مکانیکی گردو دو منطقه به ترتیب مقاومت‌خمشی ۱۰۰/۵۴ و ۸۷/۶۱ نیوتن بر میلی‌مترمربع و مدول‌الاستیسیته ۱۰۰۴۹/۵۹ و ۷۵۰۴/۲۱ نیوتن بر میلی‌متر مربع بدست آمد که تفاوت معنی‌داری بین چوب گردو دو منطقه وجود دارد. در بقیه مقاومت‌ها، به ترتیب مقاومت فشارموازی به الیاف ۳۷/۹۱ و ۳۳/۸۸ نیوتن بر میلی‌مترمربع، مقاومت برش موازی الیاف ۹/۱۵ و ۸/۹۵ نیوتن بر میلی‌مترمربع، کشش موازی الیاف ۱۲۷/۹۷ و ۱۲۵/۸۳ نیوتن بر میلی‌مترمربع قدرت پیچ‌خوردگی در دو جهت مماسی ۴۰۳۱/۰۱ و ۳۶۸۵/۹۷ نیوتن و در جهت شعاعی ۴۲۱۸/۶۳ و ۳۹۱۵/۰۳ نیوتن برای چوب گردو مشهد و ماکو بدست آمد که تفاوت معناداری به ترتیب بین مقاومت‌های قید شده دو منطقه وجود ندارد. با توجه به نتایج بدست آمده در مورد دانسیته گردو دو منطقه ایران، مقدار آن با نتایج بدست آمده از گردو ایتالیا و شرق اروپا بسیار نزدیک است، در مورد خواص مکانیکی نیز چوب گردو مشهد از لحاظ مقاومت خمش و مدول‌الاستیسیته با چوب گردو ترکیه بسیار نزدیک است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی چوب گردو واقع در مشهد بالاتر از گردو منطقه ماکو کشور است که ما دلیل آنرا به دانسیته خشک بالاتر و تفاوت شرایط آب و هوایی نسبت دادیم. با توجه به مقاومت مکانیکی مناسب بدست آمده از

گردو هر دو منطقه می‌توان از چوب این گونه در ایران و در صنایع روکش و مبلمان، پانل ساختمانی و کف‌پوش استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیکی، خصوصیات مکانیکی، چوب گردو.

مقدمه

درخت گردو متعلق به خانواده گردوسانان (Juglandaceae) می‌باشد. این گونه در بسیاری از کشورهای آسیا، اروپا و آمریکا کشت می‌شود (Hemery *et al.*, 2005; Pollegioni *et al.*, 2014; Loewe-Muñoz *et al.*, 2020). گردو دارای چوبی با مقاومت بالا و نقش‌های زیبا می‌باشد که در بین این گونه‌ها، گردوی ایرانی (PersianWalnut) به دلیل میوه خوراکی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است (Bolling *et al.*, 2011). از این چوب بیشتر در صنایع مبلمان، پانل‌های ساختمانی (Erik v. Bachtiar *et al.*, 2017) و در صنایع روکش‌گیری استفاده می‌شود (Erik v. Bachtiar *et al.*, 2017; Loewe-Muñoz *et al.*,2020). این گونه ویژگی‌های منحصربه‌فردی دارد. برای نمونه، در تحقیقی بر روی چوب درخت گردوی ایران در دو منطقه از آمریکای جنوبی نشان داد که ارتفاع این درخت زمانی که به‌صورت گروهی با گونه-های گیلاس و زیتون روسی کاشته شد نسبت به جنگل‌های خالص گردو بیشتر بود (Loewe-Muñoz *et al.*, 2020).

از سوی دیگر، ایران با تولید میلیون‌ها تن گردو بعد از کشورهای چین و آمریکا در رتبه سوم دنیا قرار دارد (Ebrahimi *et al.*, 2009). به‌علاوه، چوب و محصولات چوبی به طور چشمگیری در بسیاری از صنایع مختلف مانند ساختمان‌سازی و مبلمان استفاده می‌شوند (Harte, 2017; Ramage *et al.*, 2017). لذا با توجه به خصوصیات چوب و استفاده از آن‌ها در صنایع مختلف، اطلاعات کافی از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن‌ها مورد نیاز است. باوجوداین، تحقیقات کمی بر روی تمام خصوصیات فیزیکی و مکانیکی این گونه ارزشمند انجام شده است (Erik Valentine Bachtiar *et al.*, 2017; Erik V. Bachtiar *et al.*, 2017; Castro *et al.*, 2019; Guler and Dilek 2020). ازاین‌رو، با توجه به فراوانی گونه گردو در ایران، ما را بر این وا داشت تا تحقیق جامعی درباره خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دو گونه درخت گردو از مناطق مشهد و ماکو انجام شود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از دو مکان مختلف در ایران، یکی از شمال شرق کشور (مشهد) و دیگری در شمال‌غرب کشور (ماکو) انجام شد. سه درخت از هر منطقه به طور تصادفی برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی انتخاب و قطع شد که مشخصات اصلی آن‌ها در جدول ۱ بیان شده است. بخش‌های مورد استفاده از درختان قطع شده در این آزمایش در ارتفاع بین ۲ تا ۴ متر بوده است. استاندارد ISO 3129 و ASTM (D143-14) برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی به ترتیب استفاده شد. آزمایش‌های مورد استفاده و ابعاد آن‌ها به طور خلاصه شده در جدول ۲ بیان شده است. برای اندازه-گیری هم‌کشیدگی، ابتدا نمونه‌ها در ظرف پر از آب مقطر غوطه‌ور شدند تا حفره‌ها کاملاً از آب اشباع شده و بعد از اندازه‌گیری ابعاد و وزن آن‌ها با ترازوی ۰/۰۱ گرم، نمونه‌ها در آون در دماهای (۴۵، ۵۵، ۶۵، ۷۵، ۸۵ و ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد که برای هر درجه به مدت ۲۴ ساعت) قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند، هدف از این دمای مختلف، آرام خشک شدن و بدون تنش نمونه‌ها بود. سپس وزن خشک محاسبه و بعدازآن، هم‌کشیدگی اندازه گرفته شد. برای انجام آزمایش‌های مکانیکی، تمام نمونه‌ها در محیط آزمایشگاهی قرار داده شدند تا به رطوبت ۱۲ درصد برسند، سپس با دستگاه (SANTAM 150) آزمون‌های مکانیکی انجام شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Graphpad Prism ورژن 8 انجام شد و برای تعیین اختلاف معنی‌دار بودن مقاومت های بین دو گونه از آزمون (T test) استفاده شد.

جدول ۱- ویژگی‌های اصلی دو درخت گردو مورد استفاده

Table 1- Main features of the two walnut trees in Iran from where samples were taken

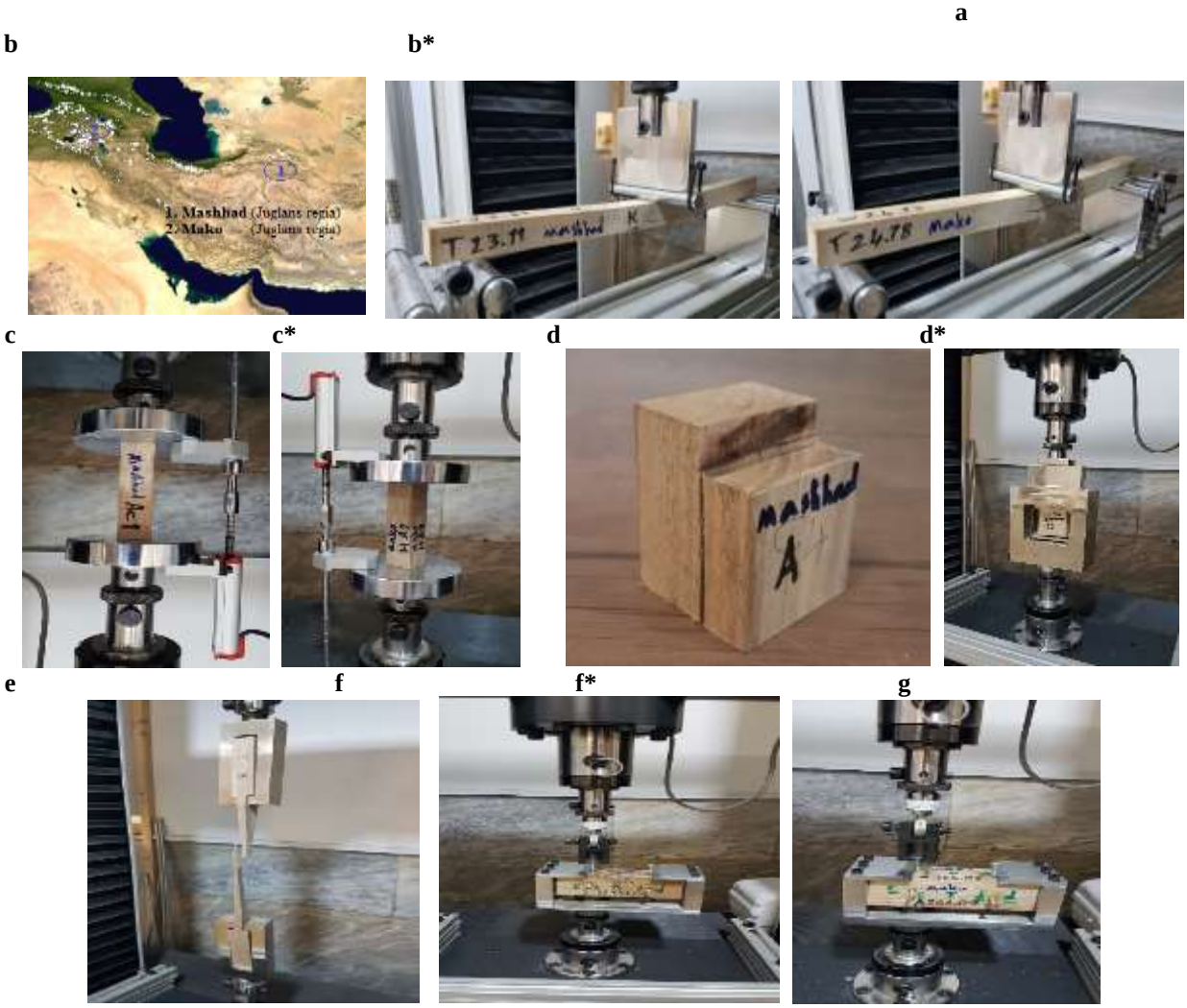
Characteristics	walnut wood from Mashhad	walnut wood from Maku
Height from sea surface (m)	1813	1555
Soil	Loam soil	Loam soil
Mean tree age (years)	34.5	30.5
Mean DHB[1](cm)	31.5	29.5

1: DBH: diameter at breast height

جدول ۲- روش‌های آزمایش چوب گردو

Table 2- Experimental tests methods for walnut woods

Standard	Test Method	Direction	Specimen size(mm)	Loading rate (mm/min)
ISI 3129 (2012)	Physics	-	20 x 20 x 25	-
ASTM D143	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
	Tensile	Parallel to the grain	25 x 25 x 460	0/9
	Screw withdrawal strength	Tangential	50 x 50 x 150	2
		Radial		



شکل ۱– **a**) عکس هوایی از ایران و محل‌های قطع درختان گردو، **b** و ***b**) مقاومت‌خمشی و مدول‌الاستیسیته، **c** و ***c**) نمونه‌ها بعد از آزمون فشار موازی به الیاف ،**d** و ***d**) آزمون برش موازی به الیاف، **e**) نمونه بعد از آزمون کشش موازی به الیاف **f** و ***f**) قدرت خروج پیچ در جهت مماسی و شعاعی

Figure 1. a) aerial photo of Iran and places where walnut trees were cut, b, b*) MOR and MOE, C, C*) the samples after compression parallel to the grain test, d, d*) shearing parallel to the grain test, e) the samples after tensile parallel to the grain test, f, f*) Screw withdrawal strength in tangential & radial

نتایج

خواص فیزیکی

نتایج خصوصیات فیزیکی از دو گونه گردو مورد استفاده در جدول ۳ بیان شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود تفاوت معنی‌دار در بین دانسیته خشک، هم‌کشیدگی مماسی و هم‌کشیدگی حجمی مشاهده شد. دانسیته خشک دو گونه گردو مشهد و ماکو به ترتیب برابر با ۰/۶۲۵ ۰/۵۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمد. علاوه بر آن، سایر خصوصیات فیزیکی بدست آمده از گونه گردو مشهد بیشتر از گونه گردو ماکو بود.

جدول ۳- نتایج خصوصیات فیزیکی چوب گردو از دو ناحیه مختلف

Table 3- physical properties of walnut woods from two sites

Property	walnut wood from Mashhad		walnut wood from Maku		T test result P-value
	Mean	SD	Mean	SD	
Dry density (g/cm^3)	0.625(120)[1]	0.021	0.579(120)	0.02	<0.01
Axial shrinkage %	0.223(120)	0.083	0.216(120)	0.101	0.52^{ns}
Radial shrinkage %	6.225(120)	0.408	5.813(120)	0.455	0.23^{ns}
Tangential shrinkage %	9.779(120)	0.726	8.781(120)	0.714	<0.01
Volumetric shrinkage %	16.263(120)	1.061	15.422(120)	0.712	<0.01

1: The numbers in parentheses indicate the number of samples used
2: ns: not significant

خصوصیات مکانیکی

خصوصیات مکانیکی چوب گردو از دو منطقه ایران در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تفاوت معنی‌دار در بین خصوصیات مکانیکی بین مقاومت‌خمشی و مدول‌الاستیسیته مشاهده شد. نتایج نشان داد که میزان مقاومت‌خمشی و مدول‌الاستیسیته گونه مشهد به ترتیب برابر با ۱۰۰/۵۴ و ۱۰۰۴۹/۵۹ نیوتن بر میلی‌متر بدست آمد. این درحالی است که این میزان مقاومت برای گونه گردو ماکو بسیار پایین‌تر از گونه مشهد بود. همچنین، سایر مقاومت‌های مکانیکی گونه مشهد بالاتر از گونه ماکو بود.

جدول ۴ – نتایج خصوصیات مکانیکی چوب گردو از دو منطقه مختلف

Table 4 - mechanical properties of walnut woods from two sites

Property	walnut wood from Mashhad		walnut wood from Maku		T test results P-value
	Mean	SD	Mean	SD	
Static bending (N/mm^2)	100.54(12)[1]	7.101	87.61(12)	5.061	<0.01
Modulus of elasticity (N/mm^2)	10049.59(12)	8.701	7504.21(12)	5.946	<0.01
Compression parallel to the grain (N/mm^2)	37.91(9)	4.582	33.88(9)	4.252	0.087^{ns}
Shear parallel strength to the grain (N/mm^2)	9.15(9)	0.414	8.95(9)	0.708	0.491^{ns}
Tensile strength parallel to the grain (N/mm^2)	127.97 (9)	8.346	125.83(9)	4.658	0.093^{ns}
Screw withdrawal strength in tangential (N)	4031.01(9)	3.861	3685.97 (9)	4.227	0.089^{ns}
Screw withdrawal strength in radial (N)	4218.63(9)	2.631	3915.03(9)	3.981	0.074^{ns}

1: The numbers in parentheses indicate the number of samples used 2: ns: not significant

بحث

نتایج بدست آمده از گونه گردو در دو منطقه مختلف در ایران (مشهد و ماکو) با سایر پژوهش‌ها در جدول ۵ مقایسه شد. تفاوت معنی‌دار در خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب‌ها از دو ناحیه مختلف، عمدتاً به دلیل دانسیته چوب است، زیرا دانسیته به‌طور مستقیم بر روی بیشتر مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی چوب تأثیر می‌گذارد. به‌علاوه، شرایط رشد و عوامل محیطی، به‌ویژه ارتفاع، آب هوا و سن درخت ممکن است تغییراتی در خواص چوب ایجاد کند (Standovár and Kenderes, 2003). از سویی دیگر، دانسیته خشک بدست آمده در این پژوهش تقریباً با مقادیر بدست آمده توسط (Castro *et al.*, 2019) برای گردو واقع در ایتالیا و (Bachtiar *et al.*, 2017) برای گردو واقع در شرق اروپا برابر بود. باوجوداین، برخی محققان (Guler and Dilek, 2020) برای چوب گردو در ترکیه (Bachtiar *et al.*, 2017) و برای گردو واقع در قفقاز، مقادیر بالاتر ۰/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب را برای دانسیته خشک این درخت گزارش کردند. همچنین، مقادیر هم‌کشیدگی شعاعی و مماسی بدست آمده از گونه واقع در مشهد بسیار نزدیک به مقادیر (Castro *et al.*, 2019) بود.

از سوی دیگر، دانستن خصوصیات مکانیکی گونه‌های مختلف چوبی به‌دلیل استفاده در صنایع مختلف چوبی بسیار مهم و ضروری است که در این میان، مقاومت‌خمشی و مدول الاستیسیته از مهم‌ترین خصوصیات مکانیکی چوب است (Yu *et al.*, 2020). همانطور که مشاهده می‌شود، بین مقاومت‌خمشی و مدول‌الاستیسیته گردو مشهد با گردو ماکو تفاوت معنی‌داری مشاهده شد که به دانسیته مختلف آن‌ها نسبت داده شد. مقادیر بدست آمده از مقاومت‌خمشی و مدول الاستیسیته گونه مشهد بسیار نزدیک به مقادیر (Gular and Dielk, 2020) بود. باوجوداین، مقادیر بدست آمده از مقاومت فشار موازی به الیاف و برش موازی به الیاف گونه گردو مشهد و ماکو بسیار پایین‌تر از مقادیر گزارش شده توسط (Bachtiar *et al.*, 2018, 2017) بود که ما آن را به دانسیته پایین‌تر گردو ایران نسبت دادیم، زیرا دانسیته به طور مستقیم بر روی تمام خصوصیات مکانیکی چوب تأثیر می‌گذارد (Lo Monoca *et al.*, 2015; Zhang, 1997).

در این پژوهش مقاومت به خروج پیچ در دو جهت مماسی و شعاعی نیز انجام شد که تفاوت معنی‌داری در بین دو گونه گردو مشاهده نشد.

جدول ۵ – خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب گردو در این مطالعه (دو ستون اول) و سایر مطالعات

Table 5 - Physical and mechanical properties of walnut woods from this study (first two columns) and from the literature

Property	Mashhad	Maku	(Guler and Dilek, 2020)	(Castro *et al.*, 2019)	(Bachtiar *et al.*, 2018)	(Erik V Bachtiar *et al.*, 2017)
Dry density (g/cm^3)	0.625	0.579	0.72	0.506	0.65	0.647
Axial shrinkage %	0.223	0.216	-	0.51	-	-
Radial shrinkage %	6.225	5.813	-	6.41	-	-
Tangential shrinkage %	9.779	8.781	-	11.11	-	-
Volumetric shrinkage %	16.263	15.422	-	17.57	-	-
Static bending (N/mm^2)	100.43	87.61	99.03	-	-	-
Modulus of elasticity (Nmm^2)	10049.5	7504.21	10062.7	-	-	10217
Compression parallel (N/mm^2)	37.91	33.88	-	-	47.0	-
Shear strength (N/mm^2)	9.15	8.95	-	-	-	-
Tensile parallel (N/mm^2)	132.53	125.83	-	-	89.0	-
Screw in tangential (N)	4031.01	3685.97	-	-	-	-
Screw in radial (N)	4218.63	3915.03	-	-	-	-

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی درخت گردو از دو منطقه مختلف واقع در شمال شرق ایران (مشهد) و دیگری شمال غرب ایران (ماکو) بود. خصوصیات فیزیکی شامل (دانسیته خشک و هم‌کشیدگی) و مکانیکی شامل (مقاومت‌خمشی، مدول الاستیسیته، مقاومت فشار موازی به الیاف، مقاومت به برش موازی به الیاف، مقاومت به کشش موازی به الیاف و مقاومت به پیچ‌خوری در دو جهت مماسی و شعاعی) بود. نتایج نشان داد که مقاومت‌های مکانیکی گونه واقع در مشهد بالاتر از ماکو بود که ما آن را به دانسیته خشک بالاتر، شرایط محیطی و رشد نسبت دادیم. از سوی دیگر، با توجه به مقاومت مکانیکی مناسب بدست آمده در این پژوهش، می‌توان از درخت گردو در صنایع مختلفی مانند مبلمان، پانل‌های چوبی و ساختمانی و به‌دلیل زیبایی چوب این درخت، می‌توان در صنعت روکش و تخته لایه استفاده کرد.

منابع مورد استفاده

-ASTM standard, 2014. D 143. Standard test methods for small clear specimens of timber. ASTM International, West Conschohocken, Pennsylvania, USA.

-Bachtiar, E.V., Rüggeberg, M., Hering, S., Kaliske, M. and Niemz, P., 2017. Estimating shear properties of walnut wood: a combined experimental and theoretical approach. Materials and Structures 50.

-Bachtiar, E.V., Rüggeberg, M. and Niemz, P., 2018. Mechanical behavior of walnut (Juglans regia L.) and cherry (Prunus avium L.) wood in tension and compression in all anatomical directions. Revisiting the tensile/compressive stiffness ratios of wood. Holzforschung 72:71-80.

-Bolling, B.W., Chen, C.Y.O., McKay, D.L. and Blumberg, J.B., 2011. Tree nut phytochemicals: composition, antioxidant capacity, bioactivity, impact factors. A systematic review of almonds, Brazils, cashews, hazelnuts, macadamias, pecans, pine nuts, pistachios and walnuts. Nutrition research reviews 24:244-75.

-Castro, G., Bergante, S., Sansone, D., Bidini, C. and Pelleri, F., 2019. Common walnut (Juglans regia L.) wood characteristics in two Italian plantations. Annals of Silvicultural Research 43:35-40.

-Ebrahimi, A., Zarei, A., Fatahi, R. and Varnamkhasti, M.G., 009. Study on some morphological and physical attributes of walnut used in mass models. Scientia Horticulturae, 121(4), 490-494.

-Guler, C. and Dilek, B., 2020. Investigation of High-frequency Vacuum Drying on Physical and Mechanical Properties of Common Oak (Quercus robur) and Common Walnut (Juglans regia) Lumber. BioResources 15.

-Harte, A.M., 2017. Mass timber – the emergence of a modern construction material. Journal of Structural Integrity and Maintenance 2:121-32.

-Hemery, G.E., Savill, P.S. and Thakur, A., 2005. Height growth and flushing in common walnut (Juglans regia L.): 5-year results from provenance trials in Great Britain. Forestry: An International Journal of Forest Research 78:121-33.

-ISO standard, 2012. 3129. Wood — Sampling methods and general requirements for physical and mechanical testing of small clear wood specimens.

-Loewe-Muñoz, V., Balzarini, M. and Ortega González, M., 2020. Pure and mixed plantations of Persian walnut (Juglans regia L.) for high quality timber production in Chile, South America. Journal of Plant Ecology, 13(1), 12-19.

-Lo Monaco, A., Calienno, L., Pelosi, C., Balletti, F., Agresti, G. and Picchio, R., 2015. Technical properties of beech wood from aged coppices in central Italy. iForest - Biogeosciences and Forestry 8:82-88.

-Pollegioni, P., Woeste, K.E., Chiocchini, F., Olimpieri, I., Tortolano, V., Clark, J., Hemery, G.E., Mapelli, S. and Malvolti, M.E., 2014. Landscape genetics of Persian walnut (Juglans regia L.) across its Asian range. Tree Genetics & Genomes 10:1027-43.

-Ramage, M.H., Burridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D.U., Wu, G., Yu, L. and Fleming, P., 2017. The wood from the trees: The use of timber in construction. Renewable and Sustainable Energy Reviews 68:333-59.

-Sadoh, T. and Christensen, G., 1967. Longitudinal shrinkage of wood—Part I: Longitudinal shrinkage of thin sections. Wood Science and Technology 1:26-44.

-Standovár, T. and Kenderes, K., 2003. A review on natural stand dynamics in beechwoods of East Central Europe. Applied ecology and environmental research 1:19-46.

-Zhang, S., 1997. Wood specific gravity-mechanical property relationship at species level. Wood Science and Technology 31:181-91.