

## خصوصیات مکانیکی چوب‌های سالم و ناسالم درختان گردو و بادام

مهرآفاق خلیلی سامانی<sup>۱</sup>، علی ملکی<sup>۲\*</sup>، شاهین بشارتی<sup>۳</sup> و سعید ریزی<sup>۴</sup>

### چکیده

امروزه، غالباً برداشت محصولات باغی در کشورهای پیشرفته به صورت مکانیزه صورت می‌گیرد، لذا برای طراحی دستگاه‌هایی مانند شیکر که برای برداشت استفاده می‌شوند، دانستن خواص چوب شاخه‌ها و تنه درختان می‌تواند کمترین آسیب را هنگام برداشت محصولات به همراه داشته باشد. بنابراین خواص مکانیکی چوب درختان بادام و گردو شامل مدول برشی، تنش تسلیم، تنش شکست، مدول چقرمگی و برجهنگی به منظور تشخیص تفاوت این مقادیر در بین چوب‌های سالم و ناسالم بررسی گردید و اثر عواملی چون زمان نگهداری، رطوبت، قطر، سرعت برش و وضعیت چوب دو نوع مختلف از چوب درختان بادام و گردو بررسی و نتایج آن‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. وضعیت چوب‌ها در دو نوع سالم که هیچ گونه کرم‌خوردگی نداشت و ناسالم که توسط کرم خراط دچار آسیب بود در نظر گرفته شدند. نتایج تجزیه واریانس عامل‌های اصلی و برهم‌کنش آن‌ها در چوب بادام نشان داد که عوامل اصلی سرعت برش و سالم و ناسالم بودن و اثرات برهم‌کنش دو عامل سرعت برش و سال (زمان ماندگاری)، سرعت برش و سالم و ناسالم بودن، سرعت برش و رطوبت در سطح احتمال ۵ درصد تأثیر معنی‌داری داشتند. در چوب گردو تأثیر عامل اصلی رطوبت و برهم‌کنش سالم و ناسالم بودن و رطوبت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند. با افزایش سرعت برش در چوب بادام مدول برشی به ترتیب از ۲۸ به ۳۲ و سپس به ۳۹ مگاپاسگال، تنش در نقطه تسلیم از ۲۶ به ۲۸ و سپس به ۴۵ مگاپاسگال و تنش در نقطه شکست از ۲۰ به ۳۲ مگاپاسگال افزایش یافت. این افزایش در چوبی که دارای رطوبت بیشتر و انعطاف‌پذیرتر بود، بیشتر از چوب با رطوبت کمتر دیده شد. همچنین این مقادیر در چوب گردوی با رطوبت بالاتر، نسبت به چوب با رطوبت کمتر کاهش بیشتری داشتند.

**واژه‌های کلیدی:** بادام، برجهنگی، چقرمگی، سرعت برش، مدول برشی، قطر، گردو.

ارجاع: خلیلی سامانی م. ملکی ع. بشارتی ش. و سعید ریزی س. ۱۴۰۱. خصوصیات مکانیکی چوب‌های سالم و ناسالم درختان گردو و بادام. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۴: ۸۱-۹۰. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10142.559>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- مربی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۴- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

\* نویسنده مسئول: [maleki@sku.ac.ir](mailto:maleki@sku.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸

## مقدمه

چوب یک ماده طبیعی با منشاء بیولوژیک است. بنابراین در مورد آن باید به دو خاصیت بنیادی و انحصاری توجه کرد. خصوصیات و ویژگی‌های دو قطعه چوب کاملاً یکسان نیست. این عدم یکنواختی محدود به ظاهر چوب نیست، بلکه باعث ایجاد خواص متفاوتی می‌شود. چوب از کنار هم قرارگرفتن سلول‌هایی با وظایف مختلف تشکیل شده که در مدت زمانی زنده بوده و نقش بیولوژیکی را ایفا می‌کردند؛ به همین دلیل ماده‌ای هرسونایکسان (آنیزوتروپ) است، بدین معنی که خواص آن در جهت‌های مختلف متفاوت است. با توجه به این‌که چوب یک ماده طبیعی از منابع تجدیدپذیر است، کماکان استفاده از آن در ساخت لوازم و وسایل مورد نیاز بشر ادامه دارد. از این رو در کلیه موارد مصرف بایستی تحمل نیروهای اعمال شده را داشته باشد. همچنین ویژگی‌های ساختاری چوب در نوع کاربرد آن اهمیت دارد. به طور مثال اگر از قسمت گره چوب، تحت تأثیر نیروی کششی قرار گرفته باشد، باعث کاهش سریع مقاومت خمشی و ایجاد شکستگی در چوب می‌شود. بنابراین محل قرار گرفتن گره در چوب تعیین کننده میزان کاهش مقاومت خمشی است.

مدول الاستیسیته و مدول برشی از پارامترهای مکانیکی مهم در مهندسی چوب هستند و تاکنون نظریه‌های متفاوتی در مورد ساختار هندسی الاستیک چوب مطرح شده است (Bucur, 2003). تعیین مدول برشی توسط محققانی به صورت استاتیکی و دینامیکی و نیز مقایسه این دو حالت مورد بررسی قرار گرفته است (Liu et al., 2006).

بر اساس معیار مکانیک شکست، رشد ترک و پدیده شکست زمانی رخ می‌دهد که ضرایب شدت تنش به یک مقدار بحرانی برسند. در واقع انرژی کرنشی آزاد شده (نرخ انرژی آزاد شده برای شروع ترک ناپایدار که در نهایت منجر به شکست می‌گردد) باید با انرژی سطح ترک برابر باشد. انرژی سطح، مقدار انرژی لازم بر واحد سطح برای گسیختن تمامی پیوندهای بین دو سطح ترک است که در آستانه جدایی قراردارند (Fereydoun & Vekta kia, 2010).

محققان گزارش نمودند که استفاده از چوب‌هایی با جرم ویژه نسبی کمتر، مقاومت خمشی تخته‌ها را در مقایسه با گونه‌های با جرم ویژه نسبی بیشتر افزایش می‌دهد. لذا آنها

چوب گونه‌های صنوبر را برای ساخت تخته و فیبر پیشنهاد می‌کنند (Holz, 1981).

در بررسی عوامل رقم، سطح رطوبت، سرعت برشی و قطر بر میزان انرژی برشی مخصوص و تنش برشی ارقام چوب بادام (مامایی، ربیع، سفید و شاهرود ۱۲) گزارش شده که اثر عوامل رطوبت، سرعت برشی، قطر، رقم و اثرات برهم‌کنش رقم و سطح رطوبت، رقم و قطر و سرعت برشی در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان انرژی برشی معنی‌دار بود (Koochkan Dehkordi et al., 2016).

در پژوهشی مقادیر مدول الاستیسیته نمونه‌های چوبی محاسبه شده با استفاده از آزمون‌های خمشی سه و چهار نقطه‌ای را با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. در خم شدن سه نقطه، درجه بالای وابستگی بین تمام ویژگی‌های نظارت شده یافت شد. در خم شدن چهار نقطه درجه وابستگی به وضوح مشخص نبود و درجه وابستگی بین مدول الاستیسیته و انرژی پتانسیل نمونه‌ها تأیید نشد. (Brancheriau et al., 2002). همچنین مدول الاستیسیته دینامیک صفحات چوبی بر روی سه گونه زبان گنجشک، کاج و گردو توسط پژوهشگران دیگری بررسی شد و همبستگی معنی‌داری بین مدول الاستیسیته استاتیک و مدول الاستیسیته دینامیک حاصل از ارتعاش عرضی و ارتعاش طولی گزارش شد (Liu et al., 2006).

در تحقیق دیگری مدول الاستیسیته و برشی دو گونه از چوب به کمک امواج فراصوت اندازه‌گیری شده و با روش ارتعاش آزاد بر پایه تئوری‌های ارتعاش تیموشینکو و برنولی بررسی و تحلیل شدند (Geist & McLaughlin, 1998). مدول دینامیکی صفحات چوبی بر روی سه گونه چوب چنار، کاج و گردو مورد بررسی قرارگرفته و همبستگی معنی‌داری بین مدول الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی حاصل از ارتعاش عرضی و طولی گزارش شد (Bordonno, 1989).

ضریب برجهندگی<sup>۱</sup> عبارت است از ظرفیت یک ماده برای جذب انرژی به طور الاستیک. به عبارت دیگر ضریب برجهندگی عبارت است از مقدار انرژی لازم برای این‌که تنش واحد حجم یک ماده به حد تناسب آن برسد. این مقدار ظرفیت تحمل ماده در برابر شوک‌ها و لرزش‌ها را نشان می‌دهد.

خواص چوب از منطقه‌ای به منطقه دیگر مناسب با شرایط اقلیمی و آب و هوایی متفاوت است، از طرفی حمله و خسارات ناشی از آفات از جمله کرم خراط می‌تواند تاثیر بسزایی روی خواص آن داشته باشد. که با توجه به ارزش اقتصادی و اهمیت درختان در باغبانی و به ویژه چوب آنها در صنعت ساخت و ساز، پژوهشی در استان چهارمحال و بختیاری و در شهرستان سامان بر روی چوب درختان گردو و بادام صورت گرفت. هدف عمده این تحقیق بررسی برخی از خواص مکانیکی چوب درختان گردو و بادام سالم و آسیب دیده توسط کرم خراط و بیان خواص مکانیکی چوب این درختان است. شایان ذکر است برخی از محققین روی اندازه‌گیری مدول برشی به روش تجربی کار کرده‌اند اما در مورد ضرایب مدول چقرمگی و برجهندگی درختان گردو و بادام تحت تاثیر عواملی چون رطوبت، سال (زمان ماندگاری)، سالم و ناسالم بودن و ... اشاره‌ای نشده یا بسیار محدود بوده است.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش به بررسی مدول برشی، تنش در نقطه تسلیم و تنش در نقطه شکست دو نوع چوب بادام (رقم مامایی) و گردو (رقم بذری) در سطوح رطوبت مختلف (مرطوب و خشک شده توسط آن)، قطر چوب (میانگین قطرهای ۷/۴، ۱۰/۷، ۱۳/۵، ۱۶/۴ و ۱۹/۶ میلی‌متر)، زمان نگهداری (امسال و پارسال)، سرعت برش (۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر بر دقیقه) و سالم و ناسالم بودن (آسیب دیده توسط کرم خراط) پرداخته شد. متغیرهایی چون مدول برشی، تنش در نقطه تسلیم (استحکام)، تنش در نقطه شکست، مدول چقرمگی و برجهندگی با استفاده از اطلاعات نمودارهای تنش کرنش نمونه‌ها محاسبه شد. آزمون‌ها توسط دستگاه آزمون کشش (STM20) انجام شد. نمونه‌های مورد نظر از درختان بادام (رقم مامایی) و گردو (رقم بذری) در شهرستان سامان استان چهارمحال و بختیاری به صورت تصادفی که دارای سن تقریبی ۱۵-۱۰ سال بودند و در اواخر فصل پاییز که محصولی نداشته و قابل برش بودند انتخاب گردید، آبیاری درختان به صورت قطره‌ای و فاصله آن‌ها از یکدیگر ۳ متر بود. برای تهیه نمونه‌های آزمایش، پس از بریدن چوب‌ها، گرده بینه‌هایی با سطح مقطع دایره‌ای به طول ۵ سانتی‌متر و قطرهای مشخص از شاخه درختان برای انجام آزمایش تهیه شدند.

مدول چقرمگی<sup>۱</sup> شکست، به عنوان بارزترین پارامتر شکست، بیان‌گر انرژی مورد نیاز برای آغاز و انتشار ترک است. زمانی که در ماده ترک وجود داشته باشد، مدول چقرمگی شکست یک روش محاسباتی برای شکست ترد است که با  $K_{IC}$  (مقاومت در برابر شکست) نشان داده می‌شود. اگر مدول چقرمگی شکست یک ماده کم باشد، آن ماده به صورت ترد می‌شکند و هرچه مدول چقرمگی شکست بالاتر رود احتمال شکست نرم آن افزایش می‌یابد (Abdolzadeh et al., 2015).

در پژوهشی مدول الاستیسیته برای چوب‌های قدیمی و تازه در راستای طولی بررسی شد. نتایج بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار نسبت به فرکانس (۱۰۰ - ۱۰ هرتز) برای این دو نوع چوب بود (Holz, 1981). افراد دیگری تاثیر پوسیدگی بر مدول‌های الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی چوب راش را با استفاده از روش غیرمخرب موج تنشی مورد ارزیابی قرار دادند و مقادیر مدول الاستیسیته خمشی و طولی را با مدول الاستیسیته استاتیکی خمشی سه نقطه‌ای مقایسه کردند (Madhoshi et al., 2008).

کاهش ضخامت خرده‌های چوب از ۲/۰۲ به ۰/۵۴ میلی‌متر اثر قابل ملاحظه‌ای بر ویژگی‌های مقاومتی و فیزیکی تخته‌های ساخته شده ندارد (Doosthoseini & Kashanizadeh, 1989). همچنین تاثیر قارچ‌های مخرب بر خواص فیزیکی و شیمیایی چوب راش بررسی شد و نتایج نشان داد که پس از ۱۴ هفته تاثیر قارچ Coriolis versicolor در آزمایشگاه، چوب‌های بیرون و درون آزمایشگاه به ترتیب ۳۶/۰۸ و ۳۲/۹۸ درصد کاهش وزن نشان دادند. همچنین سختی آنها نیز کاهش یافت (Malekani et al., 2014).

جمعی از محققان بیان کرده‌اند که با افزایش درصد پوسیدگی چوب، تغییر در دانسیته و ساختار چوب ایجاد شده و این پدیده موجب کاهش میزان مقاومت چوب در برابر نیروی اعمالی و کاهش مدول الاستیسیته چوب می‌شود (Ebrahimi et al., 2015; Ishimaru et al., 2001; Kaboorani et al., 2013). همچنین محققان دریافته‌اند که در اثر زیاد شدن رطوبت، به دلیل نرم و واکنشیده شدن چوب، میزان مقاومت خمشی آن کاهش می‌یابد. (Yousefi Lonbar et al., 2018).

این تیغه در سه سرعت مختلف نمونه‌ها را برش می‌داد. سپس داده‌ها و نمودار نیرو و جابجایی برای هر نمونه در قالب یک فایل Excel توسط نرم افزار دستگاه ذخیره و استخراج شد. داده‌های حاصل از این نمودارها، در نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۵ تحلیل شدند و عامل‌های مورد نظر به صورت آزمون فاکتوریل (۳\*۲\*۲) در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار به کمک نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۴ تحلیل و سطح معنی‌داری آن‌ها با استفاده از آزمون توکی بررسی شد. همچنین نمودارهای مقادیر میانگین عامل‌های اصلی و برهم‌کنش با استفاده از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۷ ترسیم شدند.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به بررسی چوب درخت بادام تحت تأثیر عوامل اصلی چون سرعت برشی، سال (زمان ماندگاری)، سالم و ناسالم بودن و رطوبت و نیز برهم‌کنش آن‌ها بر روی مدول برشی، تنش تسلیم، تنش شکست، چقرمگی و برجهندگی در جدول ۱ آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مدول برشی، تنش تسلیم، تنش شکست، چقرمگی و برجهندگی چوب درخت بادام نسبت به عوامل اصلی سرعت برشی، سال (زمان ماندگاری)، سالم و ناسالم بودن و رطوبت واکنشی معنی‌دار دارند که این امر نشان دهنده اهمیت این عوامل در تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی چوب درخت بادام است. مطابق جدول ۱، اثرات برهم‌کنش دو عامل سرعت و سال، سرعت و سالم و ناسالم بودن، سرعت و رطوبت، سال و سالم و ناسالم بودن، سال و رطوبت، سالم و ناسالم بودن و رطوبت در سطح احتمال ۵ درصد نیز معنی‌دار شده است.

جدول ۲ تجزیه واریانس مربوط به عوامل اصلی و اثرات برهم‌کنش آنها بر مقدار مدول برشی، تنش تسلیم و تنش شکست چوب درخت گردو را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس مربوط به بررسی چوب درخت گردو تحت تأثیر عامل اصلی رطوبت و برهم‌کنش سالم و ناسالم بودن و رطوبت بر روی هر پنج عامل مدول برشی، تنش تسلیم، تنش شکست، چقرمگی و برجهندگی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود عامل اصلی سالم و ناسالم بودن در تنش تسلیم، تنش شکست و برجهندگی معنی‌دار است. مطابق جدول اثر عامل اصلی سرعت تنها در مدول برشی معنی‌دار بوده و اثر

گرفته بین‌ها با میانگین قطرهای ۷/۴، ۱۰/۷، ۱۳/۵، ۱۶/۴ و ۱۹/۶ میلی‌متر، در سه سرعت برشی ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر بر دقیقه، در دو سطح رطوبتی مرطوب و خشک شده، در دو دوره نگهداری امسال و پارسال و سالم و ناسالم بودن (کرم خورده) فراهم شد. مقداری از چوب‌های تازه بلافاصله بعد از برش مورد آزمایش قرار گرفت و مقداری از آن‌ها سلفون پیچی شد و برای سال بعد در یخچال نگهداری گردید. عامل تشخیص ناسالم بودن چوب، سوراخ‌های ایجاد شده توسط کرم خراط و شیره تیره رنگ خارج شده از آن‌ها بود (شکل ۱). برای انجام آزمون برش، تیغه‌ای مطابق اصول استاندارد برش طراحی (Chen et al., 2004) و روی فک متحرک بالایی دستگاه آزمون مواد نصب گردید (شکل ۲).



شکل ۱- چوب سالم و کرم خورده توسط کرم خراط



شکل ۲- نمونه‌های چوب و آزمون برش آنها در دستگاه

بودن، سال (زمان ماندگاری) و رطوبت تنها روی تنش شکست تأثیر معنی‌داری داشته است و اثر برهم‌کنش سال و سالم و ناسالم بودن تنها دو عامل چقرمگی و برجهندگی را تحت تأثیر قرار داده و بر روی سایر عوامل تأثیر معنی‌داری از خود نشان نداده است.

عامل اصلی سالم و ناسالم تنها در تنش تسلیم، تنش شکست و برجهندگی معنی‌دار است و در سایر موارد نتایج معنی‌داری از خود نشان نداده است. تأثیر عامل اصلی سال (زمان ماندگاری) و برهم‌کنش عوامل سرعت و سال (زمان ماندگاری)، سرعت و رطوبت بر روی هیچ یک از پنج عامل معنی‌دار نبود. اثر برهم‌کنش عوامل سرعت و سالم و ناسالم

جدول ۱- تجزیه واریانس مربوط به عوامل اصلی و برهم‌کنش آنها بر مقدار مدول برشی، تنش تسلیم و تنش شکست چوب درخت بادام

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	مدول برشی (مگاپاسگال)	تنش تسلیم (مگاپاسگال)	تنش شکست (مگاپاسگال)	چقرمگی (ژول بر مترمکعب)	برجهندگی (ژول بر مترمکعب)
سرعت	۲	۴۶۴/۷**	۹۳۶/۲**	۴۷۵/۸**	۳۳۷۱/۷**	۱۵۳۴/۶**
سال	۱	۷۸۷/۲**	۳۲۶۶/۵**	۱۷۵۹/۸**	۷۹۲۱/۹**	۴۱۹۱/۲**
سالم و ناسالم	۱	۴۸۶۱۷/۸**	۳۴۵۸۴/۲**	۱۷۱۴۲/۸**	۲۷۵۷۱/۳**	۱۴۹۴۹/۱**
رطوبت	۱	۱۶۸/۸**	۱۸۸۳/۶**	۲۳۹/۳**	۱۰۱/۷**	۳۷/۰**
سرعت × سال	۲	۱۴۴/۹**	۸۷۹/۱**	۳۳۳/۱**	۳۴۰۷/۷**	۱۶۳۱/۵**
سرعت × سالم و ناسالم	۲	۱۵۵/۱**	۸۳۶/۹**	۳۲۴/۷**	۳۳۵۱/۱**	۱۶۱۴/۸**
سرعت × رطوبت	۲	۹۲/۵**	۷۸۴/۴**	۲۸۴/۲**	۳۲۰۸/۹**	۱۵۱۰/۴**
سال × سالم و ناسالم	۱	۱۲۴۷/۱**	۴۲۵۷/۷**	۲۶۴۴/۳**	۸۷۱۸/۰**	۴۸۰۳/۹**
سال × رطوبت	۱	۲۴۲/۵**	۲۰۵۲/۲**	۵۳۱/۲**	۶۹۵۷/۶**	۳۶۲۵/۸**
سالم و ناسالم × رطوبت	۱	۱۴۲۰/۷**	۵۳۶۲/۱**	۱۶۸۰/۴**	۱۱۵۸۰/۳**	۶۰۱۵/۶**
کل	۸۱	۵۷۱۴۷/۲	۴۳۱۵۷/۸	۲۱۱۷۳/۳	۵۳۶۲۹/۲	۲۸۰۸۰/۲

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹ درصد، ns غیر معنی‌داری

جدول ۲- تجزیه واریانس مربوط به عوامل اصلی و برهم‌کنش آنها بر مقدار مدول برشی، تنش تسلیم و تنش شکست چوب درخت گردو

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	مدول برشی (مگاپاسگال)	تنش تسلیم (مگاپاسگال)	تنش شکست (مگاپاسگال)	چقرمگی (ژول بر مترمکعب)	برجهندگی (ژول بر مترمکعب)
سرعت	۲	۴۳۰/۳**	۷۳/۷ <sup>ns</sup>	۴۸/۳ <sup>ns</sup>	۷۴/۱ <sup>ns</sup>	۴۲/۳ <sup>ns</sup>
سال	۱	۱۱/۷ <sup>ns</sup>	۹۲/۳ <sup>ns</sup>	۰/۸ <sup>ns</sup>	۲۸۰/۲ <sup>ns</sup>	۱۲۰/۱ <sup>ns</sup>
سالم و ناسالم	۱	۱۶/۴ <sup>ns</sup>	۱۴۷/۹*	۱۰۸/۱**	۲۹۱/۱ <sup>ns</sup>	۱۸۵/۷*
رطوبت	۱	۱۵۰/۳**	۷۱۴/۷**	۵۷/۱*	۱۴۶۴/۱**	۶۸۹/۷**
سرعت × سال	۲	۰/۰۵۷ <sup>ns</sup>	۱۹/۹ <sup>ns</sup>	۲۱/۹ <sup>ns</sup>	۶۶/۱ <sup>ns</sup>	۲۸/۳ <sup>ns</sup>
سرعت × سالم و ناسالم	۲	۱۳/۲ <sup>ns</sup>	۶۴/۲ <sup>ns</sup>	۱۰۵/۶*	۹۹/۳ <sup>ns</sup>	۵۶/۱ <sup>ns</sup>
سرعت × رطوبت	۲	۳۴/۶ <sup>ns</sup>	۴۰/۶ <sup>ns</sup>	۵۱/۴ <sup>ns</sup>	۳۱/۳ <sup>ns</sup>	۲۶/۸ <sup>ns</sup>
سال × سالم و ناسالم	۱	۴/۲ <sup>ns</sup>	۱۲۷/۲ <sup>ns</sup>	۰/۷۱۰ <sup>ns</sup>	۴۸۵/۱*	۲۳۶/۸*
سال × رطوبت	۱	۳/۱ <sup>ns</sup>	۱۵/۲ <sup>ns</sup>	۷۲/۳*	۶۰/۲ <sup>ns</sup>	۳۸/۹ <sup>ns</sup>
سالم و ناسالم × رطوبت	۱	۱۴۷/۴**	۹۵۴/۵**	۷۸/۷**	۱۷۷۱/۷**	۸۹۱/۶**
کل	۶۸	۲۸۳۰۰/۴	۳۴۵۹۸/۳	۸۵۰۴/۵	۳۴۵۶۹/۸	۱۸۶۸۵/۹

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹ درصد،

\* معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد، ns غیر معنی‌داری

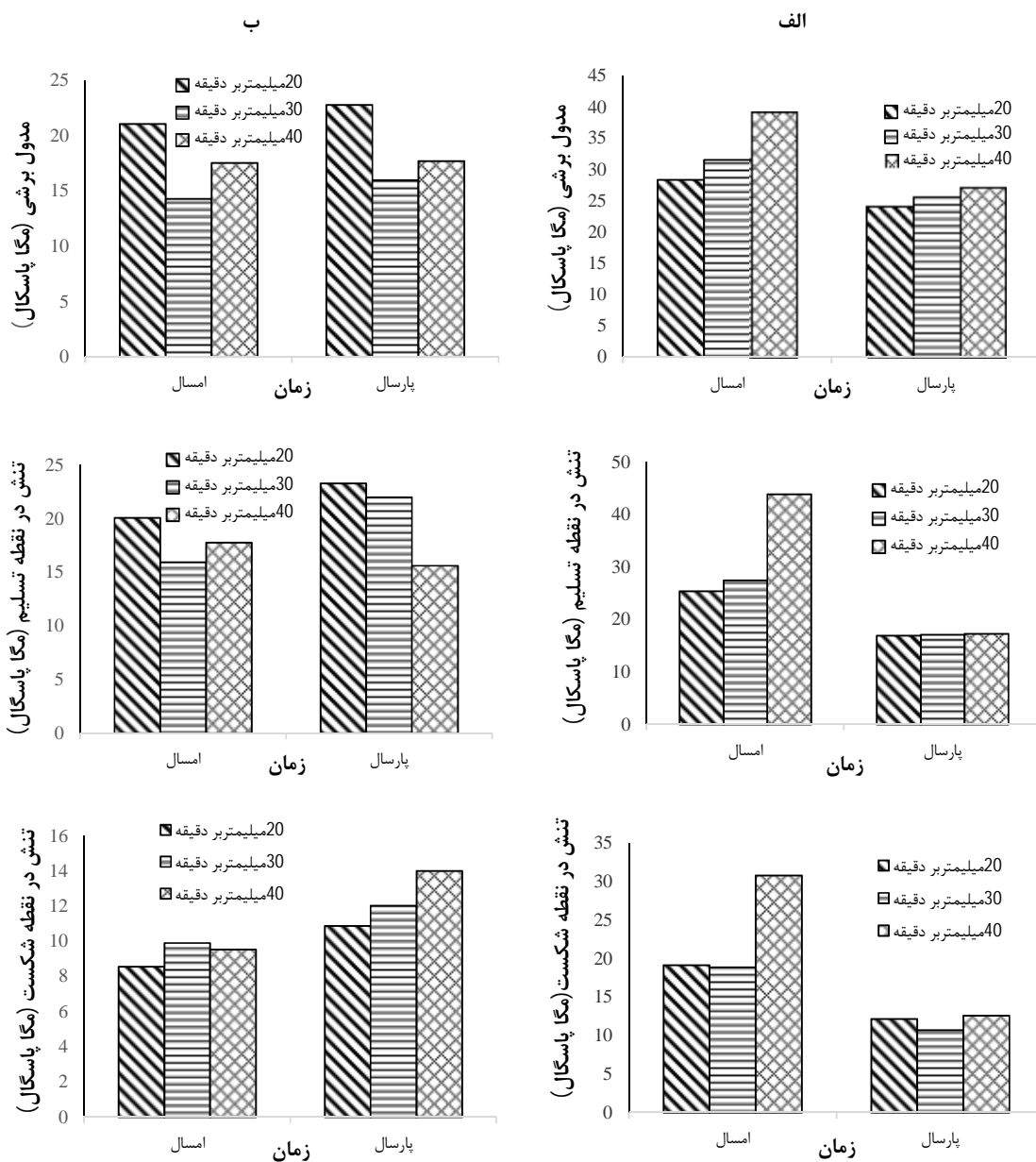
### بررسی عوامل مختلف بر خواص مکانیکی چوب

شکل (۳-الف) مقادیر مدول برش، تنش تسلیم و تنش در نقطه شکست برای چوب درخت بادام در سرعت‌های

مختلف برشی در دو سال متفاوت را نشان می‌دهد. با افزایش سرعت از ۲۰ به ۴۰ میلی‌متر بر دقیقه مدول برشی روند افزایشی داشته است که این افزایش در چوب

میلی‌متر بر دقیقه محسوس‌تر بوده است و در دو سرعت ۲۰ و ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه اختلاف بسیار ناچیزی دارد. اما در چوب درخت بادام پارسال در هر سه سرعت (۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر بر دقیقه) روند تقریباً یکسانی را دارد.

درخت بادام امسال تغییرات محسوس‌تری نسبت به چوب درخت بادام پارسال داشته است. در نمودار تنش تسلیم- زمان با افزایش سرعت، افزایش تنش تسلیم رخ داده است که این مورد در چوب درخت بادام امسال در سرعت ۴۰



شکل ۳- تأثیر سرعت برش و سال (زمان ماندگاری) بر مدول برشی، تنش تسلیم و تنش شکست چوب بادام (الف) و چوب گردو (ب)

افزایش در چوب درخت بادام امسال بیشتر نمایان است و در چوب درخت بادام پارسال به جز سرعت ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه که اندکی کاهش یافته روند مشابهی را طی کرده است. در کل می‌توان دلیل افزایش مدول برشی، تنش

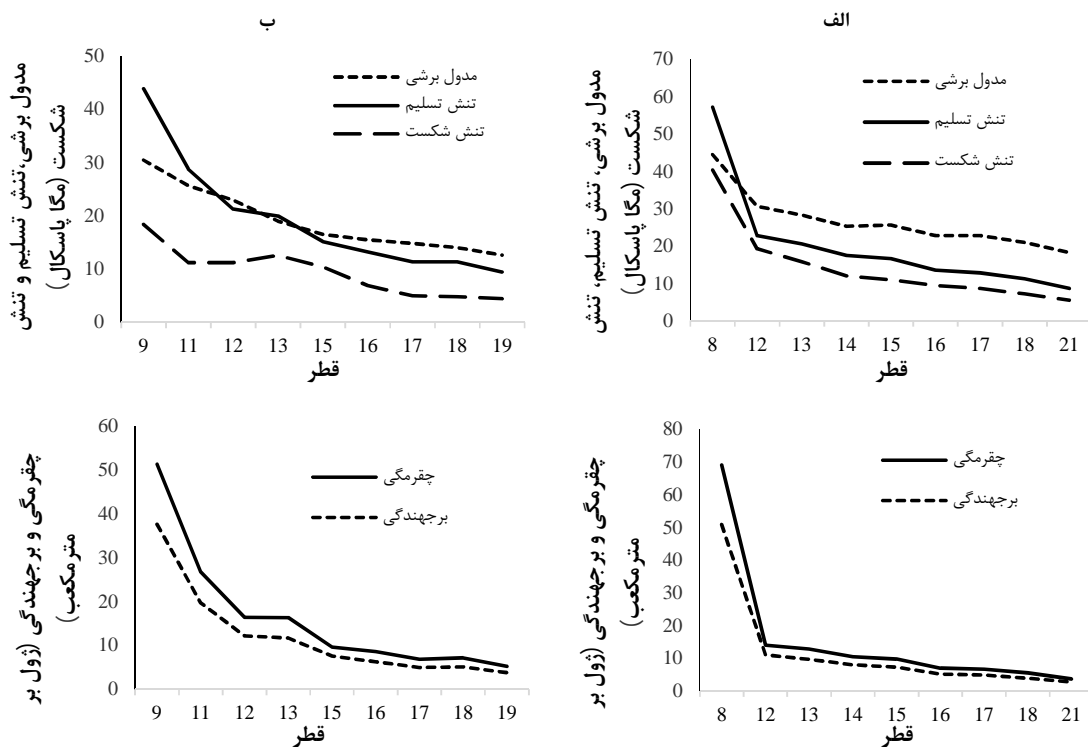
تنش در نقطه شکست در سرعت‌های ۲۰ و ۴۰ میلی‌متر بر دقیقه روند صعودی داشته است اما در سرعت ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه اندکی کاهش یافته است که دلیل این مورد را می‌توان خطا در انجام آزمون دانست. همچنین این

نمودار قبلی مدول برشی-زمان و تنش تسلیم-زمان در نمودار تنش شکست-زمان با افزایش سرعت تنش تسلیم افزایش یافته است و این افزایش در چوب پارسال بیشتر از چوب امسال بوده است.

شکل (۴-الف) مقادیر مدول برش، تنش تسلیم و تنش در نقطه شکست، چقرمگی و برجهندگی را برای چوب درخت بادام در قطرهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مدول برشی، تنش تسلیم و تنش شکست چوب درخت بادام با افزایش قطر، کاهش می‌یابند و این کاهش در تنش شکست، بیشتر از تنش تسلیم و در تنش تسلیم، بیشتر از مدول برشی است که به دلیل ارتباط معکوس بین قطر و این متغیرها است. همچنین با توجه به نمودار، این کاهش در قطرهای پایین‌تر بیشتر بود، اما با افزایش بیشتر قطر، این مقادیر تقریباً یکسان شده‌اند (Doosthoseini & Kashanizadeh, 1989).

تسلیم و تنش شکست در چوب امسال نسبت به پارسال را در بیشتر بودن رطوبت و چسبندگی بیشتر بین بافت‌های آن دانست. همچنین یکی از عوامل موثر در مدول برشی شعاعی وزن مخصوص چوب است که رابطه بین حجم معینی از این ماده است، که در رطوبت‌های مختلف تغییر می‌کند. در نتیجه در چوب امسال بیشتر است.

شکل (۳-ب) مقادیر مدول برش، تنش تسلیم و تنش در نقطه شکست برای چوب درخت گردو در سرعت‌های مختلف برشی در دو سال متفاوت را نشان می‌دهد. مقادیر مدول برشی با افزایش سرعت در چوب درخت گردو روند تقریباً یکسانی را طی کرده است. در نمودار تنش تسلیم-زمان، با افزایش سرعت، تنش تسلیم کاهش می‌یابد که این کاهش در چوب درخت گردوی پارسال بهتر دیده می‌شود. همچنین در دو سرعت ۲۰ و ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه در چوب درخت گردوی امسال این روند کاهشی، بیشتر محسوس است. این در حالیست که بر خلاف دو



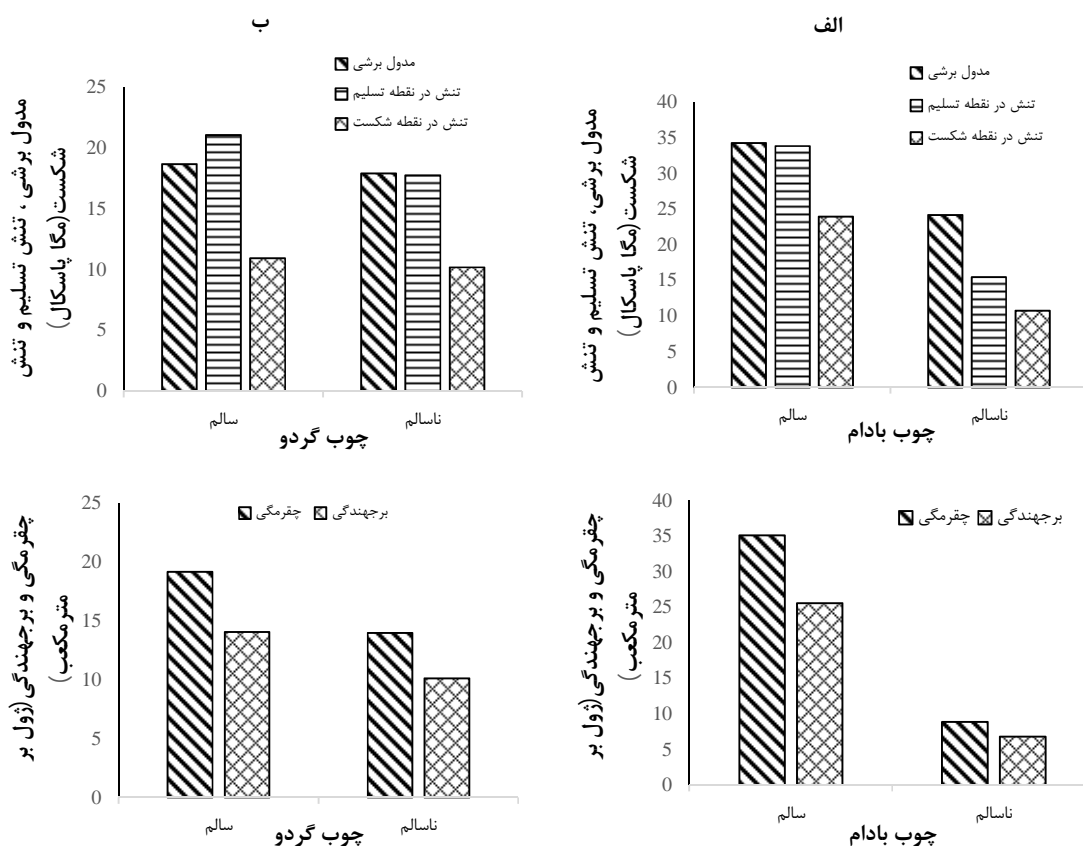
شکل ۴- تأثیر قطر بر مدول برشی، تنش تسلیم، تنش شکست، چقرمگی و برجهندگی چوب بادام (الف) و چوب گردو (ب)

شکل (۴-ب) مقادیر مدول برش، تنش تسلیم و تنش در نقطه شکست، چقرمگی و برجهندگی را برای چوب درخت گردو در قطرهای مختلف نشان می‌دهد. در این شکل کاهش مقادیر مدول برشی، تنش تسلیم و تنش شکست

با افزایش قطر، مدول چقرمگی و برجهندگی کاهش یافته است و این کاهش در قطرهای کم، بیشتر بوده است. اما با افزایش قطر، چقرمگی و برجهندگی تغییر زیادی از خود نشان ندادند و روند یکسانی را طی کرده‌اند.

مقادیر مدول برشی، تنش تسلیم و تنش شکست، در چوب سالم و ناسالم به ترتیب از مدول برشی به تنش تسلیم و از تنش تسلیم به تنش شکست روند کاهشی دارد که این کاهش در چوب سالم بیشتر از چوب ناسالم است. با توجه به شکل (۵-ب) برای چوب درخت گردو نیز مدول برشی و تنش شکست برای چوب ناسالم نسبت به چوب سالم کمتر است، اگرچه این کاهش بسیار ناچیز است اما در تنش تسلیم روند کاهشی بیشتر است. این موضوع را می‌توان به دلیل سخت‌تر بودن بافت چوب سالم و توپر بودن آن دانست (Ebrahimi et al., 2015).

در چوب درخت گردو، با افزایش قطر چوب مشاهده می‌شود. با مقایسه نمودار حاصل از چوب درخت بادام و گردو می‌توان به این نتیجه دست یافت که نوع گونه تأثیر چشمگیری در مقادیر مدول برشی، تنش تسلیم و تنش شکست در قطرهای نزدیک به هم ایفا نمی‌کند. همچنین مقادیر چقرمگی و برجهندگی در چوب درخت گردو نیز همانند چوب درخت بادام با افزایش قطر کاهش می‌یابد. شکل (۵-الف) مقادیر مدول برشی، تنش تسلیم و تنش در نقطه شکست را برای چوب درخت بادام و گردو تحت تأثیر عوامل سالم و ناسالم نشان می‌دهد. در چوب درخت بادام



شکل ۵- تأثیر سالم و ناسالم بودن بر مدول برشی، تنش تسلیم و شکست، مدول چقرمگی و برجهندگی چوب بادام (الف) و گردو (ب)

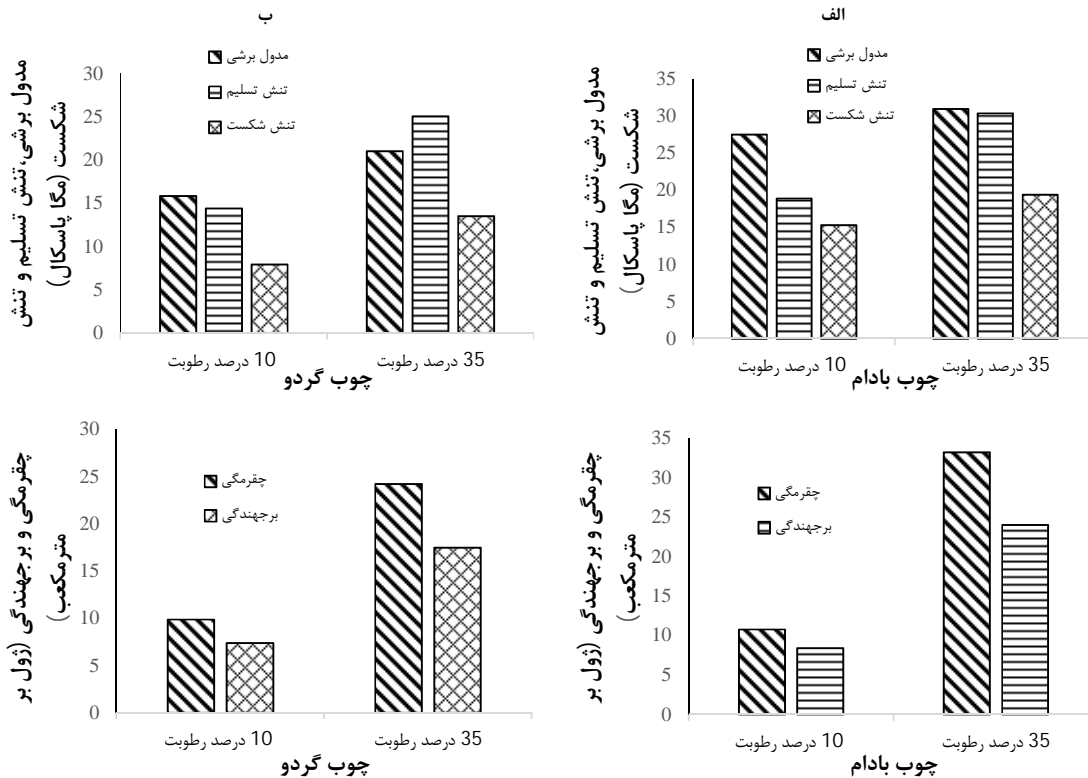
چوب سالم بادام بیشتر از چوب سالم گردو است ولی در چوب ناسالم بادام کمتر از چوب ناسالم گردو است. شکل ۶ مقادیر مدول برشی، تنش تسلیم و تنش در نقطه شکست را برای چوب درخت بادام و گردو تحت تأثیر رطوبت‌های ۱۰ و ۳۵ درصد نشان می‌دهد. مقادیر مدول برشی، تنش تسلیم، تنش شکست، با افزایش رطوبت در چوب درخت بادام و گردو افزایش می‌یابد.

مقادیر چقرمگی و برجهندگی در چوب درخت بادام سالم بیشتر از چوب ناسالم است و روند این تغییرات در چوب سالم و ناسالم بسیار متفاوت است. این درحالیست که همین مقادیر در چوب درخت گردوی سالم نیز بیشتر از چوب درخت گردوی ناسالم است. با مقایسه چقرمگی و برجهندگی در چوب درخت بادام و گردو می‌توان به این نتیجه دست یافت که این مقادیر در



بیشتری نسبت به برجهندگی داشته است که انعطاف پذیری چوب مرطوب می‌تواند دلیلی بر این امر باشد و باعث افزایش مقاومت آن در برابر ضربه، دیرتر شکسته شدن آن شود. به‌طور کلی هرچه چوب متخلخل‌تر باشد، تحمل ضربه‌ای آن کمتر است.

افزایش این عوامل در چوب درخت بادام به جز در تنش تسلیم ناچیز بوده است، اما در چوب درخت گردو این افزایش بیشتر از چوب درخت بادام است، زیرا چوب گردو سخت و متراکم است و در برابر ضربه، مقاومت خوبی نشان می‌دهد. با افزایش رطوبت در چوب درخت بادام و گردو افزایش مقادیر برجهندگی و چقرمگی مشاهده می‌شود. از طرفی مدول چقرمگی افزایش



شکل ۶- تأثیر رطوبت بر مدول برشی، تنش تسلیم، تنش شکست، مدول چقرمگی و برجهندگی چوب بادام (الف) و گردو (ب)

در چوب‌های سالم بیشتر از ناسالم بود. افزایش قطر موجب کاهش مدول چقرمگی و برجهندگی شده و این در حالیست که افزایش رطوبت باعث افزایش این دو عامل شده است.

### سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان از کلیه حمایت‌های مالی، آزمایشگاهی و خدماتی دانشگاه شهرکرد که در راستای انجام این پژوهش داشته‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

### نتیجه‌گیری

در چوب گردو عامل اصلی سال (زمان ماندگاری) و اثرات برهم‌کنش سرعت برش و سال، سرعت برش و رطوبت تأثیر معنی‌داری بر هیچ یک از متغیرهای مدول برشی، تنش تسلیم، تنش شکست، مدول چقرمگی و برجهندگی نداشتند، در صورتیکه در چوب بادام این موضوع کاملاً برعکس نتیجه شد. همچنین با افزایش سرعت برش در چوب بادام، مدول برشی، تنش تسلیم و تنش شکست افزایش یافته که این افزایش در چوب امسال بیشتر از پارسال بوده است. اما در چوب گردو عکس این موضوع اتفاق افتاده است. همچنین مدول چقرمگی و برجهندگی

- Liu, Z.h., Liu, Y., Yu, H., & Yuan, J., (2006). Measurement of the dynamic modulus of elasticity of wood panels, *Front, For, China*, 4: 425-430.
- Madhoshi, M., Hashemi S.M., & Behzad, M., (2008). Evaluation of influence of decay on dynamic and static moduli of elasticity by using of NDT stress wave, *In Iranian beech*, 15(3) (In Persian).
- Malakani, M., Khademieslam, H., Hosseinihashemi, S. K., & Zeinaly, F. (2014). Influence of fungal decay on chemi-mechanical properties of beech wood (*Fagus orientalis*). *Cellulose Chemistry and Technology*, 48(1-2): 97-103. (In Persian)
- Yousefi Lonbar, S., Talaei, A., & Rezvani, M. H. (2018). Investigation of physical and mechanical performance of wood-based composites after laboratory accelerated aging. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 9(1): 103-117.
- منابع
- Abdolzadeh, H., Ebrahimi, G., Layeghi, M., Ghassemieh, M., & Mirshokraei, S. A. (2015). Fracture behavior of beech-furan wood/polymer under mode I. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29(4): 605-618. (In Persian)
- Bordonno, P.A., 1989. Double Eigenvalues for the Uniform Timoshenko beam. *Wood Science and Technology*, 250-255.
- Brancheriau, L., Bailleres, H., & Guitard, D. (2002). Comparison between modulus of elasticity values calculated using 3 and 4 point bending tests on wooden samples. *Wood Science and Technology*, 36(5): 367-383.
- Bucur, V. (2003). Elastic symmetry for wood mechanical characterization. *Proceeding of the WCU2003*, 7-10.
- Chen, Y., Gratton, J. L., & Liu, J. (2004). Power requirements of hemp cutting and conditioning. *Biosystems Engineering*, 87(4): 417-424.
- Doosthoseini K., & kashanizadeh, M., (1989). Wood composite materials manufacturing and applications. *Tehran University Press*, 78: 43-77. (In Persian).
- Ebrahimi, GH., Rostempour, A., Taheri, F. & Karimi, A. N., (2015). Wood: Structure and Properties. *Tehran University Press*, 488. (In Persian).
- Fereydoun, A., & Vekta kia, F., (2010). The analysis of cracks in composite materials by method energy. *The Journal of Modeling in Engineering*, 7(17): 55-65. (In Persian).
- Geist, B., & McLaughlin, J. R. (1998). Eigenvalue formulas for the uniform Timoshenko beam: The free-free problem. *Electronic Research Announcements*, 4: 12-17.
- Holz, D., (1981). Zum Alterungsverhalten des Werkstoffes, Holz – einige Ansichten, Untersuchungen, *Ergebnisse Holztechnologie*, 22(2): 80-85.
- Ishimaru, Y., Oshima, K., & Iida, I. (2001). Changes in the mechanical properties of wood during a period of moisture conditioning. *Journal of wood science*, 47(4): 254-261.
- Kaboorani, A., Blanchet, P., & Laghdir, A. (2013). A rapid method to assess viscoelastic and mechanosorptive creep in wood. *Wood and fiber science*, 45(4): 370-382.
- Koohkan Dehkordi, H. R., Maleki, A., & Besharati, Sh., (2016). Effect of moisture content and cutting speed on cutting energy and shear properties of four almond tree varieties wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 31(3). (In Persian).