

## تأثیر پیش تیمار حرارتی در محیط نیتروژن بر خواص صوتی چوب‌های گردو و توت

هادی دشتی<sup>۱</sup>، کامبیز پورطهماسی<sup>۲</sup> و اصغر طارمیان<sup>۳\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

۲- استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

۳- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران، پست الکترونیک: [tarimian@ut.ac.ir](mailto:tarimian@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۸

### چکیده

در این پژوهش تأثیر پیش تیمار حرارتی در محیط نیتروژن بر خواص صوتی چوب‌های گردو و توت بررسی شد. برای این منظور تخته‌هایی به ابعاد  $30 \times 20 \times 20$  میلی‌متر و با رطوبت سبز از ناحیه چوب‌برون تهیه شد. تیمار حرارتی در دماهای ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۳۰ و ۶۰ دقیقه و در فشار ۲ پاسکال انجام شد. پس از تیمار حرارتی، نمونه‌ها به روش جابجایی هوای گرم در یک کوره آزمایشگاهی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۵۰ درصد و سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه تا میانگین رطوبت نهایی ۸ درصد خشک شدند. مدول الاستیسیته دینامیک و میرایی ارتعاش با استفاده از آزمون صوتی تیر دو سر آزاد قبل و بعد از خشک کردن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تیمار حرارتی در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۳۰ دقیقه تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای صوتی هیچ‌یک از چوب‌ها نداشت. در مقابل، تیمار حرارتی در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش معنی‌دار در مدول الاستیسیته دینامیک و بهبود کیفیت ارتعاشی چوب‌های گردو و توت شد. نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز و پراش اشعه ایکس نشان داد که برخلاف چوب توت، در چوب گردو تخریب پلیمرهای دیواره سلولی و افزایش میزان بلورینگی در اثر تیمار حرارتی در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد رخ داد.

واژه‌های کلیدی: گردو، توت، میرایی ارتعاش، مدول الاستیسیته، تیمار حرارتی در محیط نیتروژن.

### مقدمه

استفاده تاریخی از چوب برای ساخت سازهای موسیقی متفاوت در ارتباط مستقیم با خواص مکانیکی و ارتعاشی آن از جمله میرایی صوت ( $\tan\delta$ )، مدول الاستیسیته ( $E$ ) و مدول ویژه ( $E/p$ ) قرار دارد (Golpaygani et al., 2013). در اغلب سازهای زهی همانند ویولون و گیتار، مدول ویژه (مدول یانگ بر واحد دانسیته) بالا و میرایی ارتعاش پایین از خصوصیات تعیین‌کننده چوب با کیفیت هستند (Roohnia

Haines, 2000; et al., 2007). کاهش لگاریتمی ( $\delta$ ) دیگر پارامتر آکوستیکی مورد توجه در چوب‌های مورد استفاده در سازها می‌باشد و معمولاً چوب‌هایی با میرایی ارتعاش پایین، برای ساخت وساز مطلوب می‌باشند (Roohnia et al., 2015). روش‌های سنتی خشک کردن چوب‌های موسیقی همانند خشک کردن در هوای آزاد برای مدت زمان طولانی (۱۰-۵ سال) از دیرباز مورد استفاده سازندگان ساز قرار گرفته است و روش جایگزین دیگری از منظر علمی تا به حال

(Noguchi *et al.*, 2012). در تحقیقی که به منظور بررسی ویژگی‌های صوتی چوب توت با استفاده از سه تیمار کهنگی سنتی انجام شد، نتایج نشان داد که خشک‌کردن و رطوبت‌دهی دوره‌ای و نیز تیمار آب گرم کوتاه‌مدت (دو تا دوازده ساعت) موجب کاهش میرایی ارتعاش می‌شود ولی تیمار خیس کردن طولانی‌مدت چوب (تا چهار ماه) در آب سرد، با وجود خروج مواد استخراجی و کاهش دانسیته بر میرایی ارتعاش اثری نداشت (Golpaygani *et al.*, 2013). در مقابل، Roohnia و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که اثر پیش‌تیمار غوطه‌وری چوب‌های گردو و توت در آب مقطر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت بر سرعت موج در جهت طولی، مدول الاستیسیته و دانسیته کم است، اما موجب بهبود میرایی ارتعاش در هر دو گونه می‌شود. یکی از روش‌های متداول کهنگی تسریع شده برای بهبود خواص صوتی چوب، تیمار حرارتی است. البته باید یادآور شد که تیمار حرارتی که اغلب برای این منظور اعمال می‌شود معمولاً در محدوده دمایی ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد است (Sandberg *et al.*, 2013). به عبارت دیگر، تیمار حرارتی مورد استفاده برای بهبود خواص ارتعاشی و آکوستیکی چوب با آنچه که برای تیمار حرارتی چوب در فرایندهای مختلف اصلاح چوب مانند تولید ترمووود (دامنه دمایی ۱۸۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد) با هدف بهبود پایداری ابعاد آن استفاده می‌شود و به دنبال آن تخریب شیمیایی ترکیبات دیواره سلولی چوب رخ می‌دهد، متفاوت است. مهمترین تأثیر تیمار حرارتی بر روی ویژگی‌های شیمیایی چوب و تخریب همی‌سلولز است که توسط محققان زیادی گزارش شده است (Tjeerdsma *et al.*, 1998; Niemz *et al.*, 2010; Yildiz *et al.*, 2006). البته افزایش مدول ویژه یانگ و کاهش میرایی ارتعاش چوب در اثر تیمارهای حرارتی به کاهش مواد استخراجی و یا تشکیل برخی فرآورده‌های تخریبی و افزایش کریستالینته سلولز نیز نسبت داده شده است (Ma, 2005; Esteves *et al.*, 2010; sha, )

پیشنهاد نشده است. بنابراین، مدت زمان زیاد خشک‌کردن یا فراوری چوب‌آلات موسیقی یکی از مشکلات همیشگی استادان سازنده ساز بوده است. البته چوب‌آلات موسیقی طی این مدت طولانی تحت تأثیر عامل کهنگی<sup>۱</sup> نیز قرار می‌گیرند. کهنگی به مفهوم تغییرات غیرقابل برگشت در خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی یک ماده طی استفاده طولانی‌مدت از آن می‌باشد. کهنگی ممکن است در اثر عوامل جوی و محیطی و نیز ارگانسیم‌های مخرب چوب در شرایط هوایی یا غیرهوایی رخ دهد. تغییرات ایجاد شده در خواص فیزیکی و مکانیکی چوب در اثر کهنگی ناشی از تغییرات شیمیایی در ترکیبات دیواره سلولی و نیز تغییر در ریزساختار<sup>۲</sup> چوب می‌باشد (Kranitz *et al.*, 2016). در کنار این موضوع، میزان مواد استخراجی نیز می‌تواند بر ویژگی‌های آکوستیکی چوب‌آلات تأثیرگذار باشد (Matsunaga, 1999). در مجموع می‌توان بیان کرد که بهبود خواص صوتی چوب‌آلات موسیقی طی روش‌های سنتی طولانی‌مدت آماده‌سازی این نوع چوب‌آلات تا حدود زیادی شاید متأثر از تأثیرات کهنگی طبیعی چوب باشد. با توجه به اینکه فراوری سریع چوب‌های موردنیاز برای ساخت بخش‌های صفحه سازهای موسیقی بااهمیت به نظر می‌رسد، تلاش‌ها و تحقیقات متعددی برای اتخاذ روش‌های مختلف کهنگی تسریع‌شده چوب برای دستیابی به خواص صوتی مطلوب انجام شده است. به‌طورکلی بر اساس اعتقاد موسیقی‌دانان که طی مشاهدات تجربی به دست آمده می‌توان گفت کیفیت آکوستیکی تخته‌های چوبی آرشه ویولون و تار با کهنه‌سازی افزایش می‌یابد (Noguchi *et al.*, 2012). بررسی ویژگی‌های مکانیکی و صوتی چوب‌های کهنه شده طبیعی (۲۹۶-۱۲۶ ساله) و چوب‌های تازه قطع شده (۸ ساله) حکایت از آن دارد که ویژگی‌های صوتی در چوب کهنه‌شده نسبت به چوب تازه قطع شده مطلوب‌تر می‌باشد. همچنین نسبت مدول یانگ به مدول برشی طی دوره کهنه‌سازی ثابت مانده یا به آهستگی افزایش می‌یابد

ظاهری مانند سیلندری بودن گرده‌بینه، بدون برون‌مرکزی و عاری از شاخه بودند. گرده‌بینه‌ها با برش‌های مماسی به تخته‌های ۵ سانتی‌متری تبدیل شدند و بعد از ناحیه چوب‌برون، نمونه‌هایی به ابعاد  $20 \times 20 \times 300$  میلی‌متر با رعایت الگوی برش تهیه شدند. برای هر تیمار، ۸ نمونه (تکرار) از نمونه‌های سالم و راست‌تار بدون ایراد ظاهری طبق استاندارد بین‌المللی ISO 3129 انتخاب شد.

#### خشک کردن به روش همرفت

یک مجموعه از نمونه‌ها به‌عنوان نمونه‌های شاهد، در یک خشک‌کن آزمایشگاهی در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۵۰ درصد و سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه تا میانگین رطوبت نهایی ۸ درصد خشک شدند. تعیین رطوبت جاری نمونه‌ها با استفاده از روش توزین ۴۸ ساعته انجام شد. خواص صوتی این نمونه‌ها بدون اعمال تیمار حرارتی در محیط نیتروژن قبل و بعد از خشک کردن اندازه‌گیری شد.

#### تیمار حرارتی در محیط نیتروژن

برای انجام عملیات تیمار حرارتی در محیط نیتروژن، از نمونه‌های تر و با رطوبت سبز استفاده شد. در ابتدا، نمونه‌ها در داخل یک محفظه فولادی سیلندری مجهز به سیستم کنترل دما و خلأ/فشار با استفاده از چوب دستک قرار گرفتند. در گام اول، هوای داخل محفظه تخلیه و خلأ ایجاد شد. سپس گاز نیتروژن به داخل محفظه تزریق شد و نمونه‌ها در فشار ۲ پاسکال به مدت ۳۰ و ۶۰ دقیقه و دمای ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تحت تیمار حرارتی قرار گرفتند. میانگین سرعت افزایش دما در داخل سیلندر برابر با ۴ درجه سانتی‌گراد در دقیقه بود. پس از تیمار حرارتی، نمونه‌ها در خشک‌کن همرفت مطابق روش گفته‌شده در قسمت قبلی، خشک شدند. در جدول ۱ تیمارهای مورد مطالعه ارائه شده است.

(2015; Wu et al., 2016). علاوه بر تغییرات شیمیایی حاصل از تیمارهای حرارتی، کاهش رطوبت تعادل و پایداری ابعاد چوب دیگر مزیت قابل ذکر می‌باشد که در چوب‌های مورد استفاده در ساخت ساز بسیار بااهمیت است (Ngulia Irani et al., 2007). نتایج تحقیقات Zauer و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که میرایی ارتعاش چوب راش اروپایی (*Fagus sylvatica L.*) در اثر تیمار حرارتی در محیط خلأ در دمای ۱۴۰ تا ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت کاهش پیدا کرده و مدول الاستیسیته نیز ۱۵ درصد افزایش یافته است. Kubojima و همکاران (۱۹۹۸) چوب نوئل سیتکا را در محیط نیتروژن در محدوده دمایی ۱۲۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و در دامنه زمانی ۰/۵ تا ۱۶ ساعت تیمار کردند و دریافتند که با افزایش دما و مدت زمان تیمار، دانسیته چوب کاهش پیدا می‌کند. علاوه بر این، مدول یانگ، کریستالیت و طول زنجیره‌های کریستال از دمای ۱۲۰ تا ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد ابتدا افزایش و بعد ثابت می‌ماند و در دمای بیشتر از ۱۶۰ درجه کاهش پیدا می‌کند. در این پژوهش، اثرهای تیمار حرارتی دو گونه چوبی توت (*Morus alba*) و گردو (*Juglans regia*) در محیط نیتروژن به‌عنوان یکی از روش‌های کهنگی تسریع‌شده، در دماها و مدت زمان‌های مختلف بر مدول الاستیسیته دینامیک و میرایی ارتعاش آنها بررسی شد. البته تاکنون گزارشی از اثرهای تیمار حرارتی این دو گونه چوبی در محیط نیتروژن بر خواص صوتی آنها منتشر نشده است.

#### مواد و روش‌ها

##### تهیه نمونه‌ها

تعداد ۴ گرده‌بینه توت (*Morus alba*) و گردو (*Juglans regia*) تازه قطع شده از مناطق مرتفع طالقان از مجموعه گرده‌بینه‌های تهیه شده توسط استادان سازنده ساز تهیه شد. گرده‌بینه‌های انتخاب شده منطبق بر ملاک‌های مورد نظر سازنده‌های سازهای موسیقی از منظر

جدول ۱- تیمارهای مورد مطالعه

کد تیمار	مدت زمان (دقیقه)	دمای پیش‌تیمار (درجه سانتی‌گراد)	تیمار
C	-	-	نمونه شاهد
N140-30	۳۰	۱۴۰	۱
N140-60	۶۰	۱۴۰	۲
N160-30	۳۰	۱۶۰	۳
N160-60	۶۰	۱۶۰	۴

## اندازه‌گیری خواص صوتی

اندازه‌گیری مدول الاستیسیته دینامیک و میرایی ارتعاش صوت با استفاده از آزمون صوتی تیر دو سر آزاد انجام شد. انجام آزمون صوتی تیر دو سر آزاد در دو مرحله یعنی قبل و بعد از خشک شدن نمونه‌ها انجام گردید. نمونه‌های چوبی به نسبت ۰/۲۲۴ طول نمونه‌ها در دو تکیه‌گاه کشسان نازک قرار گرفتند. از یکسو نمونه، ضربه چکش و از سوی دیگر سیگنال صوتی توسط یک میکروفن ثبت شد. شمایی از روش اندازه‌گیری در تحقیقات Roohnia و همکاران (۲۰۰۷) ارائه شده است. به منظور ضبط سیگنال‌های صوتی از نرم‌افزار Audacity استفاده شد. فایل‌های صوتی خروجی با استفاده از نرم‌افزار sopran به منظور اندازه‌گیری میزان فرکانس مد اول ارتعاش خمشی و بلندی صدا (amplitude) مورد بررسی قرار گرفتند. مدول الاستیسیته دینامیک در ارتعاش تیر دو سر آزاد بوسیله رابطه ۱ محاسبه شد (Bodig & Jane, 1982).

$$E = \frac{4 \pi^2 L^2 F_n^2 \rho}{a m_n^2} \quad (1)$$

که در این رابطه:

$$m_n = 0.5 (2n + 1)\pi \quad (2)$$

$$a = \frac{I}{A L^2} \quad (3)$$

$L$ : طول نمونه (متر)،  $F_n$ : فرکانس مد اول ارتعاش (هرتز)،  $\rho$ : دانسیته (کیلوگرم بر مترمکعب)،  $I$ : ممان اینرسی،  $A$ : سطح مقطع نمونه (مترمربع) است. کاهش لگاریتمی ارتعاش ( $\lambda$ ) (شاخصی از میزان افت ارتعاش در طول زمان) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (Harris, 1998).

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \left| \frac{X_1}{X_{n+1}} \right| \quad (4)$$

$X_1$ : بلندی اولیه موج در حال کاهش بر مبنای دسی‌بل (db)،  $X_{n+1}$ : بلندی  $n$  امین موج پس از موج متناظر با  $X_1$ . در نهایت میرایی ارتعاش طبق رابطه ۵ از روی کاهش لگاریتمی محاسبه شد (Bodig & Jane, 1982).

$$\tan \delta = \frac{\lambda}{\pi} \quad (5)$$

## طیف‌سنجی مادون‌قرمز (ATR-FTIR)

به منظور بررسی اثرهای احتمالی تیمار حرارتی بر ساختار شیمیایی چوب، طیف‌سنجی مادون‌قرمز (ATR-FTIR) با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مدل Tensar II ساخت شرکت Bruker آلمان در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و در دامنه عدد موجی  $4000 - 500 \text{ cm}^{-1}$  و قدرت تفکیک  $4 \text{ cm}^{-1}$  انجام شد.

## اندازه‌گیری میزان بلورینگی

به منظور بررسی اثرهای تیمار حرارتی بر میزان بلورینگی (کریستالیت) چوب و ارتباط آن با تغییرات خواص صوتی نمونه‌های تیمار شده، میزان بلورینگی<sup>۱</sup> (CrI) نمونه‌های شاهد و تیمار شده پس از خشک‌کردن، با استفاده از پراش اشعه ایکس (XRD)<sup>۲</sup> در پژوهشگاه مواد و انرژی اندازه‌گیری شد. منبع تابش Co K $\alpha$  با طول موج  $1.78 \text{ \AA}$  آنگستروم بود و عملیات تابش اشعه ایکس با شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر و ولتاژ ۴۰ کیلووات و با زاویه تابش در دامنه  $5^\circ < 2\theta < 20^\circ$  انجام شد. در نهایت، میزان بلورینگی با استفاده از روش ارتفاع پیک (روش سگال) بوسیله رابطه (۶) محاسبه شد.

$$\text{CrI}(\%) = \frac{I_{200} - I_{am}}{I_{200}} \times 100 \quad (6)$$

در رابطه بالا  $I_{200}$  ارتفاع پیک مربوط به صفحه اتمی ۲۰۰ در زاویه پراش  $2\theta = 22.6^\circ$  است که نشان‌دهنده هر دو بخش کریستالی و بی‌شکل و  $I_{am}$  ارتفاع پیک در زاویه پراش  $2\theta = 18.5^\circ$  است که نشان‌دهنده بخش بی‌شکل است. با توجه به اینکه به جز سلولز سایر ترکیبات شیمیایی چوب آمورف هستند، بنابراین از رابطه بالا می‌توان برای محاسبه درجه بلورینگی چوب نیز استفاده کرد.

## تجزیه و تحلیل آماری

پس از بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها، اثر تیمارها (دما

و مدت‌زمان پیش‌تیمار) بر ویژگی‌های کمی با استفاده از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه بررسی شد. گروه‌بندی بین سطوح هر تیمار با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

## نتایج

## مدول الاستیسیته دینامیک و میرایی ارتعاش

در جدول ۲ و ۳ به ترتیب تغییرات میانگین مدول الاستیسیته دینامیک و میرایی ارتعاش قبل و بعد از خشک‌کردن در نمونه‌های آزمون‌ی ارائه شده است. در مجموع، نتایج نشان داد که پیش‌تیمار حرارتی در محیط نیتروژن در هر دو گونه توت و گردو موجب افزایش مدول الاستیسیته می‌شود. تیمار حرارتی در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۳۰ دقیقه تأثیر معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد بر مدول الاستیسیته هیچ‌یک از چوب‌ها نداشت. برخلاف چوب توت، در چوب گردو تیمار شده در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، افزایش مدت‌زمان تیمار موجب بهبود معنی‌دار مدول الاستیسیته شد. در هر دو نوع چوب، اثرهای افزایش دمای تیمار از ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد بر مدول الاستیسیته، فقط در مدت‌زمان تیمار ۳۰ دقیقه‌ای معنی‌دار بود. بیشترین میزان افزایش در مدول الاستیسیته در مقایسه با نمونه شاهد، در نمونه توت تیمار شده در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه به میزان متوسط ۲۱/۳ درصد مشاهده شد. در شرایط تیمار مشابه، افزایش مدول الاستیسیته در چوب گردو به میزان ۱۹/۸ درصد بود. همانند نتایج به‌دست‌آمده برای مقادیر مدول الاستیسیته، تیمار حرارتی هر دو نوع چوب در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۳۰ دقیقه تأثیر معنی‌داری بر میرایی ارتعاش آنها نداشت. در هر دو گونه چوبی، افزایش دمای تیمار از ۱۴۰ به ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و نیز مدت‌زمان تیمار از ۳۰ به ۶۰ دقیقه موجب کاهش معنی‌دار در میرایی ارتعاش شد.

جدول ۲- تغییرات میانگین مدول الاستیسیته دینامیک قبل و بعد از خشک کردن در نمونه‌های آزمونی در جهت LR (Gpa)

گرددو			توت			تیمار
میزان تغییرات	بعد از خشک شدن	قبل از خشک شدن	میزان تغییرات	بعد از خشک شدن	قبل از خشک شدن	
<sup>a</sup> +۱/۱	۱۱/۰۹ (۰/۵۷)	۹/۹۸ (۰/۴۸)	<sup>a</sup> +۰/۵۹	۷/۳۵ (۰/۲۶)	۶/۷۶ (۰/۳۸)	C
<sup>a</sup> +۱/۰۵	۱۱/۷۳ (۰/۵۷)	۱۰/۶۷ (۰/۵۹)	<sup>a</sup> +۰/۵۹	۷/۴۳ (۰/۳)	۶/۸۴ (۰/۳۹)	N140-30
<sup>b</sup> +۲/۱۹	۱۳/۲۳ (۰/۴۳)	۱۱/۰۳ (۰/۶)	<sup>b</sup> +۱/۴۹	۸/۴۹ (۰/۵۹)	۷ (۰/۶۹)	N140-60
<sup>c</sup> +۱/۸۷	۱۲/۹۳ (۰/۶)	۱۱/۰۵ (۰/۶۵)	<sup>b</sup> +۱/۳۷	۸/۴۸ (۰/۵۴)	۷/۱۱ (۰/۷۱)	N160-30
<sup>b</sup> +۲/۱۷	۱۳/۰۹ (۰/۵۶)	۱۰/۹۱ (۰/۵۳)	<sup>b</sup> +۱/۴۹	۸/۴۷ (۰/۵۱)	۶/۹۸ (۰/۴۶)	N160-60

جدول ۳- تغییرات میانگین میرایی ارتعاش قبل و بعد از خشک کردن در نمونه‌های آزمونی در جهت LR (Gpa)

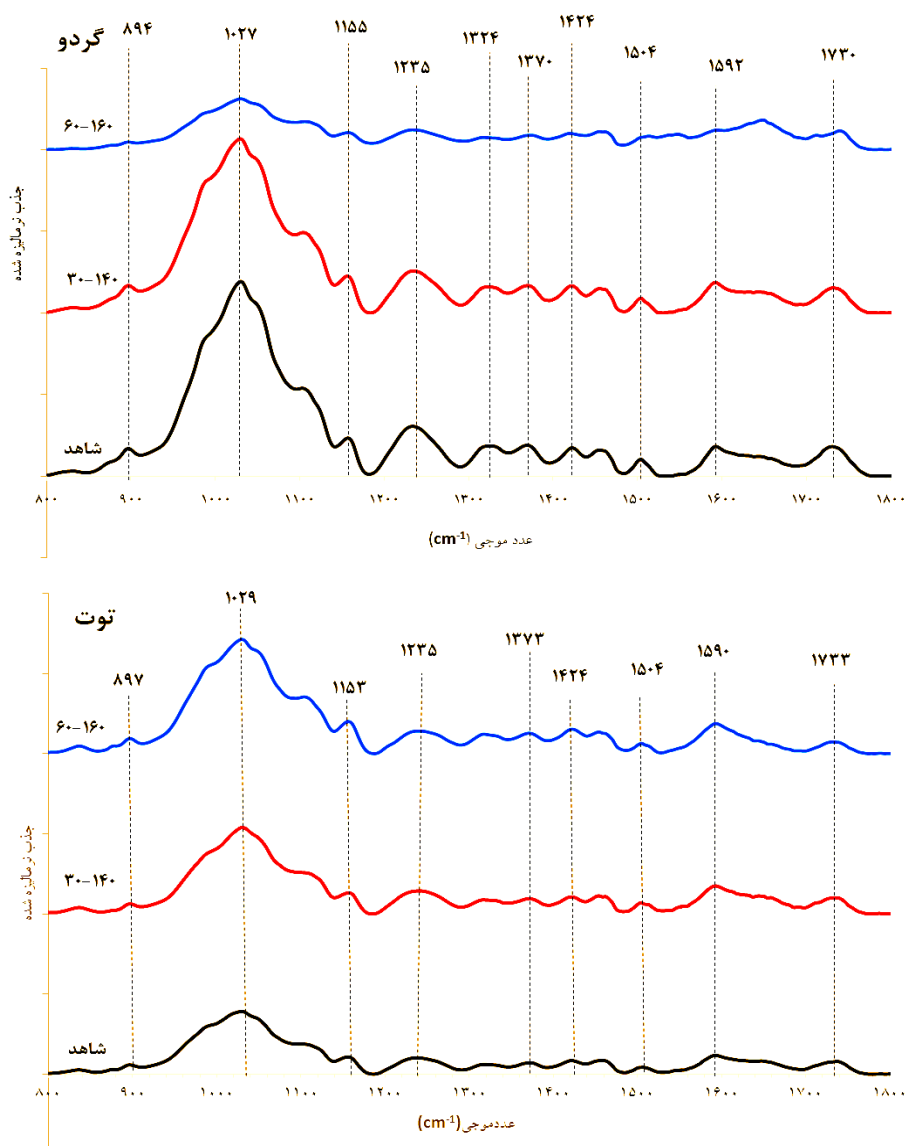
گرددو			توت			تیمار
میزان تغییرات	بعد از خشک شدن	قبل از خشک شدن	میزان تغییرات	بعد از خشک شدن	قبل از خشک شدن	
<sup>a</sup> -۰/۰۵۵	۰/۰۷۴ (۰/۰۱۷)	۰/۰۷۹ (۰/۰۱۳)	<sup>a</sup> -۰/۰۷۱	۰/۰۶۱ (۰/۰۰۹)	۰/۰۶۸ (۰/۰۰۹)	C
<sup>a</sup> -۰/۰۶۶	۰/۰۷۲ (۰/۰۰۷)	۰/۰۷۹ (۰/۰۰۷)	<sup>a</sup> -۰/۰۷۵	۰/۰۵۹ (۰/۰۰۸)	۰/۰۶۷ (۰/۰۰۸)	N140-30
<sup>b</sup> -۰/۰۲۳	۰/۰۴۹ (۰/۰۰۵)	۰/۰۷۲ (۰/۰۰۷)	<sup>b</sup> -۰/۰۱۸	۰/۰۵۰ (۰/۰۰۴)	۰/۰۶۹ (۰/۰۰۵)	N140-60
<sup>b</sup> -۰/۰۲۶	۰/۰۴۵ (۰/۰۰۴)	۰/۰۷۲ (۰/۰۰۷)	<sup>b</sup> -۰/۰۱۸	۰/۰۴۸ (۰/۰۰۹)	۰/۰۶۷ (۰/۰۱۱)	N160-30
<sup>c</sup> -۰/۰۳۱	۰/۰۴۸ (۰/۰۰۷)	۰/۰۷۹ (۰/۰۰۵)	<sup>c</sup> -۰/۰۲۵	۰/۰۴۵ (۰/۰۰۷)	۰/۰۷۰ (۰/۰۱)	N160-60

داد که در چوب گرددو از شدت پیک در عدد موجی  $cm^{-1}$   $1730^1$  مربوط به ارتعاش کششی غیرمزدوج گروه کربونیل C=O در اثر تیمار حرارتی در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت کاسته می‌شود، درحالی‌که در اثر تیمار حرارتی در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد تغییری در شدت

تغییرات شیمیایی در دیواره سلولی و میزان بلورینگی نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز چوب‌های گرددو و توت قبل و بعد از تیمار حرارتی در شکل ۱ ارائه شده است. همچنین در جدول ۴ برخی پیک‌های مهم مشاهده شده در طیف هر دو نوع چوب و نشانه آنها نمایش داده شده است. نتایج نشان

C-O در سلولز و همی سلولز) و  $894\text{ cm}^{-1}$  (تغییر شکل C-H در سلولز) در اثر تیمار حرارتی در دمای  $160^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد کاسته شد ولی در اثر تیمار حرارتی در دمای  $140^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد تقریباً بدون تغییر باقی ماندند. برخلاف چوب گردو، در چوب توت حتی تیمار حرارتی در دمای  $160^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت تغییری را در شدت پیک در دامنه اعداد موجی مذکور سبب نشد.

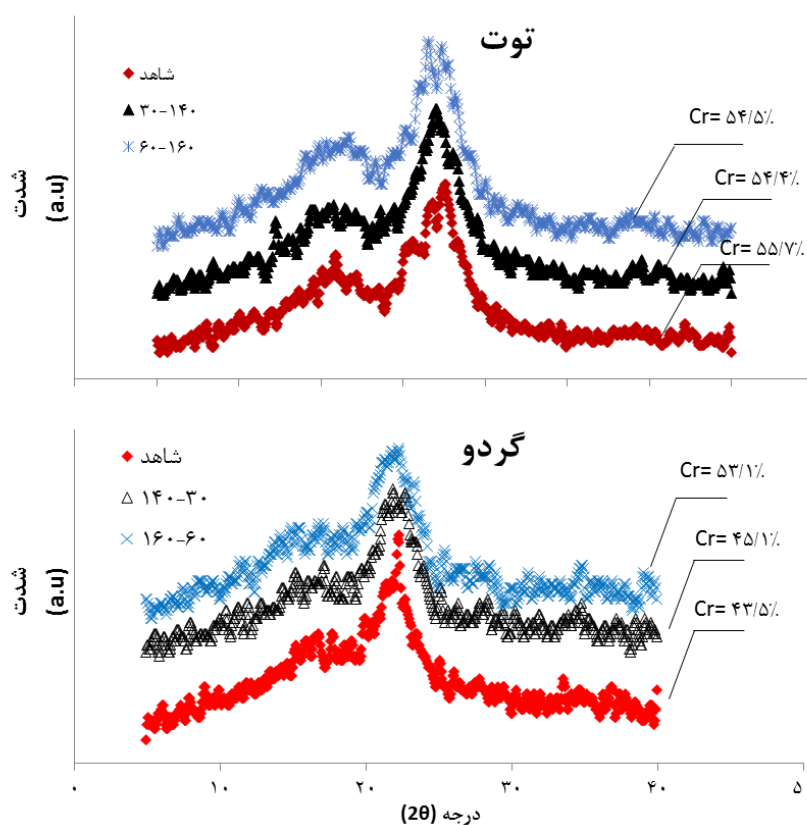
این پیک مشاهده نشد. در چوب توت، تیمار حرارتی تأثیری بر شدت پیک در این دامنه عدد موجی نداشت. همچنین، در چوب گردو شدت پیک در اعداد موجی  $1592\text{ cm}^{-1}$ ،  $1504\text{ cm}^{-1}$ ،  $1424\text{ cm}^{-1}$  (ارتعاش ساختار آروماتیک لیگنین) و  $1370\text{ cm}^{-1}$  (تغییر شکل C-H در سلولز و همی سلولز)،  $1324\text{ cm}^{-1}$  (ارتعاش  $\text{CH}_2$  در سلولز)،  $1235\text{ cm}^{-1}$  (ارتعاش C-O در لیگنین و زایلان)،  $1155\text{ cm}^{-1}$  (ارتعاش کششی C-O-C در سلولز و همی سلولز)،  $1027\text{ cm}^{-1}$  (ارتعاش کششی



شکل ۱- نتایج طیف‌سنجی مادون‌قرمز از چوب گردو و توت شاهد و تیمار حرارتی شده در دمای  $160^\circ\text{C}$  و  $140^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد به ترتیب برای مدت ۳۰ و ۶۰ دقیقه

جدول ۴- پیک‌های مشاهده‌شده در اعداد موجی مختلف طیف مادون‌قرمز چوب‌های گردو و توت شاهد و تیمار حرارتی شده و نشانه آنها

نشانه پیک	عدد موجی ( $\text{cm}^{-1}$ )
ارتعاش کششی غیر مزدوج گروه C=O در زایلان	۱۷۳۳ و ۱۷۳۰
ارتعاش کششی مزدوج C=C و C-O در ساختار آروماتیک لیگنین	۱۵۹۰ و ۱۵۹۲
ارتعاش ساختار آروماتیک لیگنین	۱۵۰۴
ارتعاش ساختار آروماتیک لیگنین	۱۴۲۴
تغییر شکل C-H در سلولز و همی سلولز	۱۳۷۳ و ۱۳۷۰
ارتعاش $\text{CH}_2$ در سلولز	۱۳۲۴
ارتعاش C-O در لیگنین و زایلان	۱۲۳۵
ارتعاش کششی C-O-C در سلولز و همی سلولز	۱۱۵۳ و ۱۱۵۵
ارتعاش کششی C-O در سلولز و همی سلولز	۱۰۲۹ و ۱۰۲۷
تغییر شکل C-H در سلولز	۸۹۷ و ۸۹۴



شکل ۲- منحنی پراش اشعه ایکس (XRD) و میزان بلورینگی چوب‌های گردو و توت قبل (شاهد) و بعد از تیمار حرارتی در دمای ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برای مدت ۳۰ و ۶۰ دقیقه



سوزنی‌برگان به وجود می‌آورد که ماهیت متفاوت ریزساختارهای شیمیایی از دلایل اصلی این تغییرات می‌باشد (Niemz *et al.*, 2010). نتایج تحقیقات Kubojima و همکاران (۱۹۹۸) نیز نشان داد که افزایش دمای تیمار حرارتی با گاز نیتروژن یا هوانوئل سیتکا از ۱۲۰ به ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان اعمال تیمار از ۰/۵ به ۱۲ ساعت موجب کاهش میرایی ارتعاش و بهبود مدول ویژه یانگ می‌شود. کاهش در شدت پیک چوب گردو در اثر تیمار حرارتی در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد در عدد موجی  $1730 \text{ cm}^{-1}$  می‌تواند بیانگر تخریب هولوسولوز (سلولز و همی‌سلولز) باشد. کاهش شدت پیک در اعداد موجی  $1592 \text{ cm}^{-1}$  و  $1370$ ،  $1155 \text{ cm}^{-1}$  و  $1027 \text{ cm}^{-1}$  نیز حکایت از تخریب پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی در اثر تیمار حرارتی دارد. همچنین، کاهش شدت پیک در اعداد موجی  $1592 \text{ cm}^{-1}$  و  $1504 \text{ cm}^{-1}$  به دلیل تیمار حرارتی مؤید تخریب لیگنین است. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تأثیر اصلاح‌کننده تیمار حرارتی بر خواص صوتی چوب گردو می‌تواند ناشی از تخریب شیمیایی پلیمرهای دیواره سلولی باشد. بر اساس نتایج مطالعات XRD می‌توان گفت که افزایش میزان بلورینگی چوب گردو در اثر تیمار حرارتی در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد شاید یکی از دلایل بهبود خواص صوتی این چوب به دلیل تیمار حرارتی باشد. Ma (۲۰۰۵) نیز افزایش میزان بلورینگی سلولز را یکی از دلایل بهبود خواص صوتی چوب بیان کرد. میزان بلورینگی سلولز در اثر تیمار حرارتی در تحقیقات گذشته نیز گزارش شده است و متأثر از تغییرات ایجاد شده در گروه‌های هیدروکسیل سلولز و کاهش فاصله بین میکروفیبریل‌های سلولزی است (Zhu Sha, 2015; *et al.*, 2016; Tarmian & Mastouri, 2019; Kubojima *et al.*, 1998). نتایج نشان داد که برخلاف چوب گردو، با وجود بهبود خواص صوتی چوب توت در اثر تیمار حرارتی، میزان بلورینگی این چوب متأثر از تیمار حرارتی نبود؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تغییرات بلورینگی چوب در اثر تیمار حرارتی با توجه به گونه چوبی و ساختار شیمیایی و پایداری حرارتی آن متفاوت است.

نتایج اندازه‌گیری میزان بلورینگی نمونه‌های توت و گردو قبل و بعد از تیمار حرارتی در شکل ۲ ارائه شده است. الگوی پراش اشعه ایکس در دامنه ۲θ بین ۵ تا ۵۰ درجه در هر دو نوع چوب مشابه بود و تیمار حرارتی موجب تغییری در این الگو نشد. میزان بلورینگی در چوب توت بیشتر از چوب گردو بود. میزان بلورینگی در چوب‌های گردو و توت به ترتیب برابر  $43/5$  و  $55/7$  درصد به دست آمد. تیمار حرارتی چوب گردو در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد تأثیر چندانی بر میزان بلورینگی آن نداشت ولی تیمار حرارتی در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد موجب کاهش محسوس در میزان بلورینگی آن شد. در مورد چوب توت، تیمار حرارتی در هیچ‌یک از دماهای ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تأثیری بر میزان بلورینگی آن نداشت.

## بحث

به‌طورکلی نتایج نشان داد که تیمار حرارتی هر دو نوع چوب توت و گردو در محیط نیتروژن در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت کوتاه (۳۰ دقیقه) تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای صوتی آنها ندارد. در مقابل، در اثر تیمار حرارتی در دمای بالاتر (۱۶۰ درجه سانتی‌گراد) بر مدول الاستیسیته این چوب‌ها افزوده شده و از میزان میرایی ارتعاش آنها کاسته شد. در تحقیقات گذشته نیز به اثر مثبت پیش تیمار حرارتی بر پارامترهای صوتی گونه‌های مختلف چوبی اشاره شده است (Sha, Zhu *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2016). گونه‌های مختلف چوبی با توجه به ساختارهای متفاوت شیمیایی، تغییرات شیمیایی متفاوتی را نسبت به تیمارهای حرارتی نشان می‌دهند (Zaman *et al.*, 2000; Militz 2002; Boonstra & Tjeerdsma 2006; Windeisen *et al.*, 2007). البته تغییرات شیمیایی بر اثر تیمار حرارتی می‌تواند با تغییرات نوع لیگنین و افزایش ترکیبات فنولی با وزن مولکول پایین و کاهش همی‌سلولز در چوب همراه باشد (Niemz *et al.*, 2010). در اینجا باید بیان شود که تأثیر تیمار حرارتی با گاز نیتروژن باعث تغییرات متفاوت شیمیایی حتی در بین پهن‌برگان و

- Research Group on Wood Preservation.
- Niemz P, Hofmann T. and Re'falvi, T., 2010. Investigation of chemical changes in the structure of thermally modified wood. *MADERAS: Ciencia y Tecnologia* 12(2):69-78.
- Noguchi, T., Obataya, E. and Ando, K., 2012. Effects of aging on the vibrational properties of wood. *Journal of Cultural Heritage* 13S: S21-S25.
- Ngulia Irani, G., Petrissans, M. and Gerardin, P., 2007. Chemical reactivity of heat treated wood. *Wood science Technology*. 41(2): 157-168D.
- Roohnia, M., Doosthosseini, K., Khademieslam, H., Gril, J. and Bremaud, I., 2007. Study on variations of specific modulus of elasticity and shear moduli in arizona cypress wood. Using vibration method. *Iranian Journal of Natural Resources*. 59(4):921-933.
- Roohnia, M., Tajdini, A. and Manouchehri, N., 2011. Assessing wood in sounding boards considering the ratio of acoustical anisotropy. *NDT and E International*., 44(1): 13-20.
- Roohnia, M., Kohantorabi, M. and Tajvidi, A., 2015. Maple wood extraction for a better acoustical performance, *Eur.J. wood production*. 73(1), 139-142.
- Sandberg, D., Haller, P. and Navi, P., 2013. Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: an opportunity for future environmentally friendly wood products. *Wood Mat Sci Eng* 8:64-88
- Sha, T.O., 2015. On influences of high-temperature/ultrasonic pretreatment on the vibration properties of metasequoia glyptostroboides, Master's Thesis, Beijing Forestry University, Beijing, China.
- Se Golpayegani, A., Pourtahmasi, K., zare, S., Bremaud, I., Gril, J., Thévenon, M.F. and Masson, E., 2013. Basic acoustic properties and effect of traditional treatments. *Morus alba* for Tar instrument. *Journal of Art Research*. No 4: 71-76
- Tarmian, A. and Mastouri, A., 2019. Changes in moisture exclusion efficiency and crystallinity of thermally modified wood with aging. 12(1): 92-97. *IForest*. <https://doi.org/10.3832/ifor2723-011>
- Tjeerdsma, BF., Boonstra, M., Pizzi, A., Tekely, P. and Militz, H., 1998. Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. *Holz Roh Werkst* 56:149-153.
- Wu, Y., Sha, T., Zhao, Z., He, Z. and Yi, S., 2016. Influence of different pretreatments on the acoustic properties of dawn redwood (*Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng). *BioResources*. 11 (1): 2734-2743.
- Windeisen, E., Strobel, C. and Wegener, G., 2007. Chemical changes during the production of thermotreated beech wood. *Wood Science and Technology*, 39(1): 1-10.
- همچنین، میزان بلورینگی چوب عامل کنترل‌کننده پارامترهای صوتی (مدول الاستیسیته و میرایی) مورد نظر در ساخت ادوات موسیقی نیست، در نتیجه روش‌های کهنگی تسریع شده که فقط موجب افزایش بلورینگی چوب می‌شوند، الزاماً با بهبود خواص صوتی آن همراه نمی‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده، تیمار حرارتی هر دو نوع چوب توت و گردو در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد در محیط نیتروژن برای بهبود مدول الاستیسیته و کاهش میرایی آنها قابل پیشنهاد است. همچنین، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده اثرهای تیمار حرارتی این دو نوع چوب در محیط بخار آب، هوا یا خلأ بر خواص صوتی آنها نیز مورد بررسی قرار گیرد.

#### منابع مورد استفاده

- Bodig, J. and Jayne, B.A., 1982. *Mechanics of Wood and Wood Composites*. 712 Pp.
- Boonstra, M. J.; Tjeerdsma, B. F. 2006. Chemical analysis of heat treated softwoods. *Holz als Rohund Werkstoff* 64(3): 204-211.
- Esteves, B., Videira, R. and Pereira, J., 2010. Chemistry and ecotoxicity of heat-treated pine wood extractions, *Wood Science & technology* 45(4): 661-676.
- Haines, D.W., 2000. The essential mechanical properties of wood prepared for musical instruments, *CAS Journal*. 4(2): 20-32.
- Harris, Caryl M., 1998. *Shock and vibration handbook* (6th Edition). McGraw-Hill, New York. 1168 pp.
- ISO3129. 2012. Wood-sampling methods and general requirements for physical and mechanical testing of small clear wood specimens. International standard. Wood, sawlogs and sawn timber.
- Kubojima, Y., 1998. Vibrational properties of Sitka spruce heat-treated in nitrogen gas. *Journal of Wood Science*. <https://doi.org/10.1007/BF00521878>
- Kranitz, K., Sonderegger, W., Bues, C. and Niemz, P., 2016. Effects of aging on wood: a literature review. *Wood Science Technology*. 50(1): 7-22.
- Ma, L.N., 2005. On relationship between structure and acoustic properties of wood, Master's Thesis. Anhui Agricultural university, Hefei, China.
- Matsunaga, M., 1999. Vibrational property changes of spruce wood by impregnation with water-soluble extractives of pernambuco (*Guilandina echinata* Spreng.), *Journal of wood science* vol, 45, pp. 470-474.
- Militz, H., 2002. Thermal treatment of wood. European processes and their background. *International*

- and Wagenführ, A., 2016. Thermal modification of European beech at relatively mild temperatures for the use in electric bass guitars. *Eur J Wood Prod* 74:43-48.
- Zhu, L., Liu, Y. and Liu, ZH., 2016. Effect of high-temperature heat treatment on the acoustic-vibration performance of *picea jezoensis*. *Bioresources* 11(2): 4921-4934.
- Technology 41(6): 523-536
- Yildiz, S., Gezer, ED. and Yildiz, UC., 2006. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *Build Environ* 41:1762-1766.
- Zaman, A., Alén, R. and Kotalinen, R., 2000. Thermal behavior of Scots pine (*Pinus silvestris*) and silver birch (*Betula pubescens*) at 200-230 oC. *Wood and Fiber Science*, 32(2): 138-143
- Zauer, M., Kowaleswki, A., Sproßmann, R., Stonjek, H.

## The effect of preheating in nitrogen medium on acoustic properties of walnut and white mulberry

H. Dashti<sup>1</sup>, K. Pourtahmasi<sup>2</sup> and A. Tarmian<sup>3\*</sup>

1- Phd. Student, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

2- Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

3\*-Corresponding author, Associate professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Email: tarmian@ut.ac.ir

Received: April, 2019

Accepted: Sep., 2019

### Abstract

In this research, the effect of preheating in nitrogen medium on acoustic properties of walnut and white mulberry boards was studied. Sapwood boards, dimension 300×20×20 mm at green moisture content were prepared. Heat treatments were applied at 140 and 160 °C under 2 Pa. pressure for 30 and 60 minutes. Following the heat treatment, the samples were dried in a convectional laboratory kiln at 50 °C, and 50% relative humidity and air velocity of 1 m/s to the average final moisture content of 8%. Using the free vibration method on free- free bar, the dynamic modulus of elasticity and damping factor were evaluated. Results revealed that the heat-treatment at 140 °C for 30 minutes did not have a significant effect on vibration properties of the wood samples. On the other hand, the heat-treatment at 160 °C caused a significant increase in dynamic modulus of elasticity and also a reduction in the damping factor of walnut and white mulberry samples. The FTIR spectroscopy and X-ray studies showed that the degradation of cell-wall polymers and increase in the crystallinity of the walnut wood specimens occurred due to heat treatment at 160 °C.

**Keywords:** Walnut, white mulberry, damping factor, modulus of elasticity, heat-treatment in nitrogen medium.