

تأثیر تیمار آب گرمایی بر خواص آکوستیک گونه‌های گردو و آزاد مورد استفاده در ساخت آلات موسیقی

محمد غفرانی^{۱*}، حسین حسینخانی^۲، حبیب رحیمی دستجردی^۳، سعید خجسته خسرو^۳ و پرویز امیری^۴

^{۱*} - نویسنده مسئول، دانشیار گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، پست الکترونیک: ghofrani@srctu.edu

^۲ - عضو هیئت علمی، کارشناس ارشد، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران

^۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

^۴ - استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۳

چکیده

موضوع این تحقیق بررسی تأثیر تیمار آب گرمایی بر خواص آکوستیک گونه‌های چوبی گردو (*Juglans regia*) و آزاد (*Zelkova carpinifolia*) بود. برای این هدف، نمونه‌هایی با ابعاد $20(T) \times 20(R) \times 360(L)$ میلی‌متر تهیه گردید. عملیات تیمار گرمایی در محیط فراگیر آبی با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس و مدت ۵ ساعت انجام شد. برای اندازه‌گیری خواص آکوستیک از روش ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد استفاده شد که خواص مورد بررسی شامل مدول الاستیسیته ویژه، میرایی، ضریب آکوستیک، کارایی تبدیل آکوستیک و سرعت صوت بودند. خصوصیات آکوستیک نمونه‌های تیمار شده با نمونه‌های شاهد مقایسه شد. نتایج نشان داد که عملیات تیمار چوب به روش آب گرمایی توانسته باعث بهبود تمامی خصوصیات آکوستیکی شود. در مقایسه خصوصیات آکوستیک در دو ارتعاش طولی - شعاعی و طولی - مماسی مشخص شد که در گونه گردو اختلاف معنی‌داری بین خصوصیات این دو جهت وجود ندارد، اما در گونه آزاد خصوصیات آکوستیک در دو جهت ارتعاشی طولی - شعاعی و طولی - مماسی اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. در حالت کلی نیز بهترین خصوصیات آکوستیک در جهت ارتعاشی طولی - مماسی گونه آزاد تیمار شده مشاهده گردید و می‌توان این نمونه را برای استفاده در صفحات صوتی آلات موسیقی مانند سنتور و زیلوفن و همچنین جعبه‌های تشدید صدا مناسب دانست.

واژه‌های کلیدی: تیمار آب گرمایی، خواص آکوستیک، آلات موسیقی، ارتعاش خمشی، گردو، آزاد.

مقدمه

از این قاعده مستثنا نیست. استفاده از این ماده در مصارف ویژه‌ای مانند پوشش دیوارها در سالن‌های سینما، اتاق‌های اجلاس، تالارهای موسیقی و به‌عنوان مصالح اصلی در ساخت ابزار آلات موسیقی و جعبه بلندگو و ... نظر پژوهشگران را به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته به شناخت دقیق ویژگی‌های این ماده جلب نموده است (Roohnia ۲۰۰۵). در همین رابطه خواص آکوستیکی و صوتی چوب یکی از عوامل مهم در انتخاب نوع گونه چوبی و موارد استفاده از آن است که مطالعات فراوانی روی آن انجام شده است.

چوب ماده‌ای بی‌مانند است که وجود خلل و فرج، بافت فیبری شکل با ساختمانی یاخته‌ای، هر سو نایکسانی و ناهمگنی و به دنبال آن وجود جهات سه‌گانه در ساختار، وجه تمایز این ماده ارزنده در مقایسه با سایر مواد (فولاد، بتن، سنگ و غیره) است. چوب به دلیل خصوصیات ویژه‌ای که دارد در صنعت کاربردهای فراوانی داشته و با پیشرفت فناوری هر روزه بر موارد کاربرد آن افزوده می‌شود. کاربرد مناسب هر ماده مستلزم شناخت دقیق خصوصیات و صفات ویژه آن ماده است و چوب نیز

عواملی مانند جرم مخصوص، بافت چوب، مواد استخراجی، درصد رطوبت (با افزایش رطوبت چوب میرایی افزایش می‌یابد) و جهت ارتعاش (طولی، مماسی و شعاعی) می‌توانند ضریب میرایی را تحت تأثیر قرار دهند.

اصلاح خصوصیات چوب یکی از فرایندهایی است که توجه به آن روزه‌روز در حال افزایش است. یکی از روش‌های اصلاحی که در مورد آن مطالعات متعددی انجام شده است، اصلاح گرمایی چوب است. یکی از روش‌های اصلاح گرمایی، تیمار چوب در محیط فراگیر آبی است که روش آب گرمایی نامیده می‌شود. تیمار چوب به روش آب گرمایی باعث کاهش نم‌پذیری چوب، بهبود ثبات ابعادی، دوام طبیعی و پایداری در مقابل عوامل بیولوژیکی و غیره می‌شود (Navi and Schwarz, Homan et al., 2004; Pott et al., 2000; Hakkou et al., 2005; 2004).

همان‌طور که اشاره شد رطوبت یکی از عواملی است که روی خصوصیات آکوستیک تأثیر گذاشته و می‌تواند باعث کاهش این خصوصیات شود. یکی از روش‌هایی که به صورت سنتی در ساخت آلات موسیقی استفاده می‌شود غوطه‌وری چوب در آب داغ با دمای ۵۰ درجه سلسیوس است که مطالعه Roohnia و همکاران (۲۰۱۱a) روی تأثیر غوطه‌وری در آب گرم نشان داد که این عمل باعث بهبود میرایی و سرعت صوت می‌شود ولی روی مدول الاستیسیته تأثیری نداشته است. بر همین اساس و در راستای تکمیل مطالعات گذشته، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر تیمار چوب به روش آب گرمایی چوب بر بهبود خصوصیات آکوستیک گونه‌های پرکاربرد در صنعت موسیقی شامل گردو و آزاد بود تا بتوان با بهبود این خصوصیات موارد استفاده از این گونه‌ها را در ساخت آلات موسیقی افزایش داده و اعتماد بیشتر سازندگان و علاقه‌مندان به ساخت آلات موسیقی را از این نوع چوب‌های تیمار شده، فراهم نمود.

مواد و روش‌ها

مواد چوبی

در این تحقیق، نمونه‌های مورد نیاز از یک گرده‌بینه برای هر یک از گونه‌های گردو (*Juglans regia*) و آزاد (*Zelkova carpinifolia*) به ترتیب از اصفهان و کلاردشت فراهم شدند. به منظور تهیه نمونه‌های آزمونی، ابتدا قطعاتی از قسمت برون چوب گرده‌بینه‌ها با ابعاد ۳۵×

Brancheriau و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که مقدار اصطکاک داخلی و مدول الاستیسیته به شدت تحت تأثیر زاویه میکروفیبریل‌ها در لایه S2 سلول‌های تراکتید است ولی این امر در کلیه گونه‌ها صحت ندارد. همچنین در رابطه با ارتباط خاصیت آکوستیکی چوب و آناتومی چوب دریافتند که کیفیت آکوستیکی چوب با میزان سلول‌های پارانشیمی به خصوص سلول‌های پارانشیمی طولی در ارتباط است. Wegst (۲۰۰۶) بیان کرد که میزان میرایی با مواد استخراجی موجود در چوب و رطوبت نسبی چوب و دمای محیط مرتبط است و همچنین بیان کرد که بین مدول الاستیسیته و میرایی رابطه معکوس برقرار است. Aramaki و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی کیفیت صوت حاصل از میله‌های زیلوفن به این نتیجه رسیدند که برای دستیابی به مقدار تشدید (رزونانس) بالا و همچنین دریافت صدایی واضح و شفاف، عامل میرایی و پهنای باند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین در رابطه با میزان اصطکاک داخلی به این نتیجه رسیدند که اصطکاک داخلی نقش بسیار مهمی در انتخاب چوب‌های مناسب برای ساخت زیلوفن توسط سازندگان این آلت موسیقی دارد.

Chang و همکاران (۲۰۰۰) ویژگی‌های آکوستیک چوب نوئل سیتکا را که با روش‌های شیمیایی مختلف اصلاح شده بودند، در جهت طولی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تیمار با Glyoxal و کربوکسی متیل سلولز (CMC) بیش از سایر تیمارها ویژگی‌های آکوستیک را بهبود می‌بخشد. Yasuda و همکاران (۱۹۹۳) کاربرد تری اکسان را برای بهبود ویژگی‌های نم‌پذیری و آکوستیک چوب نوئل سیتکا در آلات موسیقی بررسی کردند. در این پژوهش از روش ارتعاش آزاد در تیر دو سر آزاد برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته ویژه (E/ρ) و میرایی استفاده شد. مدول الاستیسیته ویژه از روی مد اولیه فرکانس رزونانس و میرایی از روی کاهش لگاریتمی به دست آمد. نتایج این بررسی نشان داد که کاربردی تری اکسان باعث افزایش ضریب تبدیل آکوستیک (ACE) در جهت شعاعی به میزان دو برابر می‌شود و نم‌پذیری چوب به میزان ۶۰ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین نه تنها کیفیت آکوستیک چوب مورد استفاده در آلات موسیقی بهبود پیدا می‌کند؛ بلکه کیفیت صدای ساز در شرایط متغیر رطوبتی تثبیت می‌شود. Roohnia و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که

برای اندازه‌گیری خصوصیات آکوستیک نمونه‌ها از محل گره‌های ارتعاشی روی پایه‌های ارتجاعی قرار گرفتند. خواص صوتی نمونه‌ها به روش ارتعاش خمشی در دو جهت LT و LR مورد ارزیابی قرار گرفت. در ابتدای آزمون ارتعاش خمشی ضربه‌ای توسط چکش به نمونه‌ها در دو جهت شعاعی و مماسی وارد شد. هنگامی که ضربه در سطح شعاعی وارد می‌شود نوسانهای عرضی تیر در جهت مماسی و حرکت موج در جهت طول تیر (ارتعاش خمشی در سطح LT) و در صورتی که ضربه روی سطح مماسی به چوب اعمال گردد، نوسانهای عرضی تیر در جهت شعاعی و حرکت موج در جهت طول تیر (ارتعاش خمشی در سطح LR) خواهد بود (Roohnia et al., 2010). بعد از وارد کردن ضربه صدای حاصل از وارد کردن ضربه به وسیله میکروفن دریافت و به رایانه منتقل گردید و پس از آن سیگنال آنالوگ توسط کارت ویژه اکسترنال که به پورت موازی کامپیوتر متصل است به سیگنال دیجیتال تبدیل شده و بعد توسط نرم‌افزار VibraF برگردان داده‌های ثبت شده توسط کارت ویژه اکسترنال انجام شد. با فرکانس نمونه‌برداری ۱۲۸۰۰ هرتز، از فایل wave به تعداد ۱۲۸۰۰ در ثانیه نمونه‌برداری می‌گردد که تعداد نقاط با توجه به طول مدت امتداد صدا متفاوت است. هر نقطه صدا دارای مختصات Z و X، Y یعنی ارتفاع، فرکانس و زمان است که رسم نقاط در دستگاه مختصات "ارتفاع-فرکانس" طیف FFT را ارائه داد. در پایان تجزیه و تحلیل طیف با انتخاب دستی مداول ارتعاش خمشی انجام می‌شود (Roohnia et al., 2006).

به منظور تجزیه و تحلیل صدای حاصل از هر یک از صفحات مورد ارتعاش باید بیان نمود که ابعاد و وزن واقعی نمونه‌ها به نرم‌افزار وارد گردید و محاسبات مربوط به فرکانس طبیعی صدای ذخیره شده توسط نرم‌افزار Audacity و سایر محاسبات توسط نرم‌افزار VibraFlex که بر پایه MATLAB v7.1 است، انجام شد (Roohnia, Tajdini and Roohnia, 2007; 2005).

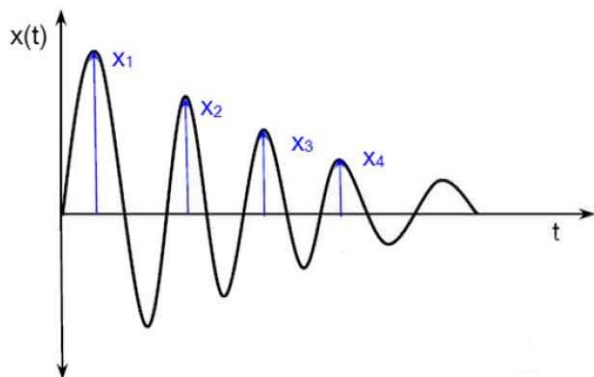
محاسبه مدول الاستیسیته طولی حاصل از ارتعاش خمشی نمونه‌ها با استفاده از معادله برنولی انجام شد (رابطه ۱) (Baillères and Brancheriau 2002).

۴۰۰×۳۵ میلی‌متر برش داده شدند. سپس قطعه‌های برش خورده در هوای آزاد خشک شده و در نهایت نمونه‌های آزمون با ابعاد (مماسی) ۲۰×۲۰ (شعاعی) ۲۰× (طولی) ۳۶۰ شده و در نهایت از مجموع نمونه‌های موجود، نمونه‌های عاری از هرگونه عیب و ایراد ظاهری مانند ترک، گره، پوسیدگی و غیره مطابق با استاندارد ISO 3129 تهیه گردید. نمونه‌های تهیه شده برای متعادل‌سازی رطوبت در شرایط مشروط سازی (کلیما) با شرایط دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵ درصد تا رسیدن رطوبت آنها به ۱۲ درصد قرار گرفتند.

تیمار آب گرمایی

پس از خروج نمونه‌ها از شرایط کلیما (قبل از عملیات تیمار آب گرمایی) ابعاد و وزن آنها اندازه‌گیری شد. عملیات تیمار آب گرمایی درون سیلندر انجام شد. فرایند تیمار بدین صورت بود که ابتدا نمونه‌های آزمون درون سیلندر قرار داده شدند، سپس مخزن از آب با دمای ۲۰ درجه سلسیوس پر شد. دمای عملیات تیمار آب گرمایی ۱۵۰ درجه سلسیوس تعیین گردید که بدین منظور دمای آب مخزن به تدریج تا رسیدن به این دما افزایش یافت. مدت زمان عملیات تیمار ۵ ساعت بود. پس از عملیات تیمار، نمونه‌های آزمون برای کاهش رطوبت و متعادل‌سازی رطوبت آنها در اتاق کلیما تا رسیدن به رطوبت ۱۲ درصد با دمای ۲۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵ درصد نگه‌داری شدند. لازم به ذکر است قبل و بعد از تیمار برای حصول اطمینان از شرایط رطوبتی، نمونه شاهد به عنوان نمونه کنترل رطوبتی به کار برده شد تا از عدم تأثیر شرایط رطوبت‌پذیری نمونه‌ها قبل و بعد از تیمار اطمینان حاصل گردد. بعد از خروج نمونه‌ها از شرایط کلیما، ابعاد و وزن آنها اندازه‌گیری گردید. با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری ابعاد و وزن نمونه‌ها قبل و بعد از تیمار آب گرمایی، جرم ویژه نمونه‌های بدون تیمار (شاهد) و نمونه‌های تیمار شده اندازه‌گیری گردیدند.

آزمون ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد
خصوصیات آکوستیک نمونه‌ها با استفاده از آزمون
ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۱- نمایش کاهش لگاریتمی در دامنه لحظه‌ای (محور افقی زمان بر حسب ثانیه و محور عمودی شدت ارتعاش بر حسب دسیبل)

ضریب آکوستیک و کارایی تبدیل آکوستیک هر دو از فاکتورهای مهم در خواص صوتی صفحه‌های تشدید صدا می‌باشند (Kohantorabi و همکاران ۲۰۱۱). هرچقدر ضریب آکوستیک جسم دارای ارتعاش بیشتر باشد، نمونه‌ها ویژگی‌های ارتعاشی بهتری برای استفاده در آلات موسیقی بخصوص در صفحات مرتعش و صفحات صوتی جعبه‌های تشدید صدا دارند (Roohnia ۲۰۰۵؛ Ghaznavi و همکاران، ۲۰۱۳؛ wegst، ۲۰۰۶؛ Roohnia ۲۰۱۱b). کارایی تبدیل آکوستیک نیز مشخصه مناسبی برای نشان دادن رابطه بین میرایی (اصطکاک درونی) و انتشار صوت بوده و اصطلاحاً کارایی چوب در تبدیل انرژی ارتعاشی به انرژی صوتی تعریف می‌شود (Yasuda و همکاران ۱۹۹۴، Rujinirun و همکاران ۲۰۰۵). ضریب آکوستیک و کارایی تبدیل آکوستیک به ترتیب از طریق روابط ۵ و ۶ ارزیابی شدند.

$$K = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}} \quad (5)$$

$$ACE = \frac{\sqrt{\frac{E}{\rho^3}}}{\tan \delta} \quad (6)$$

در روابط بیان شده K - ضریب آکوستیک ($m^4/Kg.s$)، ACE - کارایی تبدیل آکوستیک ($m^4/Kg.s$)، E - مدول الاستیسیته (Pa)، ρ - جرم ویژه (kg/m^3) و $\tan \delta$ -

$$\left(\frac{E_d}{\rho}\right)_n = \left[\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l^2 \cdot f_n^2}{a \cdot m_n^4}\right] \quad (2)$$

فرکانس طبیعی n امین مد ارتعاش (Hz)، m با اندیس شماره مد n امین پاسخ معادله $\cos(m) \cdot \cosh(m) = 1$ یا به عبارتی پاسخ معادله $m_n = \frac{2n+1}{2}$ است (Bodig و Jayne ۱۹۸۹). E_d مدول الاستیسیته دینامیک برنولی (Pa) و ρ - جرم ویژه (kg/m^3) است.

پارامتری است که برای جلوگیری از پیچیدگی معادله برنولی از روی I ممان اینرسی، A سطح مقطع و l طول نمونه محاسبه در معادله قرار گرفته است (رابطه ۲).

$$a = \frac{I}{Al^2} \quad (2)$$

صدایی که از ارتعاش چوب ساطع می‌شود، به مرور میرا می‌شود که این ناشی از مصرف انرژی صوتی ارتعاش آن است. انرژی صوتی از راه جذب صوت برای مقابله با اصطکاک درونی که نتیجه آن آزاد شدن گرماست، مصرف می‌شود. عامل میرایی ($\tan \delta$) مواد از تجزیه و تحلیل چگونگی افت دامنه ارتعاش نمونه نسبت به زمان به دست می‌آید (رابطه ۲). این شاخص بیان‌کننده اصطکاک درونی جسم است. در ساخت سازهای چوبی تلاش بر این است که اصطکاک داخلی کمتر باشد که در نتیجه بازتاب صوتی بیشتر است (Chandra et al., 2003; Tita et al., 2001). میرایی ارتعاش ($\tan \delta$) از طریق معادله کاهش لگاریتمی (λ) محاسبه گردید (روابط ۳ و ۴) که در شکل ۱ نیز کاهش لگاریتمی در دامنه لحظه‌ای نمایش داده شده است (Jayne and Bodig 1989; Bremaud, 2008).

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \left| \frac{x_1}{x_{n+1}} \right| \quad (3)$$

$$\tan \delta = \frac{\lambda}{\pi} \quad (4)$$

در روابط ۳، X - بلندی اولیه موج در حال کاهش و X_1 و n - بلندی n امین موج پس از موج متناظر با X_1 است.

طرح آماری

برای بررسی اثر عوامل متغیر، نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سطح اطمینان ۹۹ درصد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین گروه‌های معنی‌دار از آزمون چند دامنه دانکن استفاده گردید.

نتایج

نتایج تحلیل آماری انجام شده در بررسی تأثیر متقابل عوامل متغیر (نوع گونه، جهت برش و تیمار آب گرمایی) بر هر یک از خصوصیات آکوستیک مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. بر طبق نتایج به دست آمده عوامل مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر خواص آکوستیک مورد مطالعه داشته‌اند.

اصطکاک داخلی یا میرایی هستند. به علاوه اینکه سرعت موج در جهت ارتعاش خمشی نیز از طریق رابطه ۷ محاسبه گردید.

$$V = 2Lf_1 = \sqrt{E_{sp}} \quad (7)$$

در رابطه اندازه‌گیری سرعت صوت، V میزان سرعت صوت در نمونه‌ها (m/s) ، L طول نمونه‌ها، E_{sp} مدول الاستیسیته ویژه و f_1 فرکانس رزونانس اولیه است. برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته ویژه، از رابطه ۸ استفاده گردید.

$$E_{sp} = \frac{E}{\rho} \quad (8)$$

در رابطه بیان شده E - میزان مدول الاستیسیته (Pa) ، ρ - جرم ویژه نمونه‌های چوبی (kg/m^3) است.

جدول ۱- نتایج تحلیل آماری مربوط به خصوصیات آکوستیک بررسی شده در تأثیر متقابل عوامل متغیر

Sig.	F	میانگین مربعات MS	مجموع مربعات SS	درجه آزادی df	خصوصیات آکوستیک
۰/۰۰۰**	۱۰/۳۹۴	۴۹/۵۱۱×۱۰ ^۵	۳۴/۶۶۰×۱۰ ^۶	۷	مدول الاستیسیته
۰/۰۰۰**	۸۷/۵۱۷	۵/۵۰۷×۱۰ ^{-۵}	۰/۰۰۰	۷	میرایی
۰/۰۰۳**	۵/۱۶۰	۰/۵۱۴	۳/۵۹۸	۷	ضریب آکوستیک
۰/۰۰۰**	۶۹/۸۲۴	۱۲/۰۹۵×۱۰ ^۴	۸۴/۶۶۵×۱۰ ^۴	۷	کارایی تبدیل آکوستیک
۰/۰۰۰**	۱۲۸/۱۹۱	۱/۴۶۷×۱۰ ^۵	۱۰/۲۷۰×۱۰ ^۶	۷	سرعت صوت

** تفاوت معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد

تیمار آب گرمایی جرم ویژه نمونه‌های حاصل از هر دو گونه را کاهش داده است. بیشترین تأثیر تیمار آب گرمایی صورت گرفته روی نمونه‌های تهیه شده از گونه آزاد بوده است.

جرم ویژه نتایج حاصل از اندازه‌گیری جرم ویژه نمونه‌های تهیه شده از دو گونه گردو و آزاد قبل و پس از تیمار آب گرمایی در جدول ۲ آورده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود

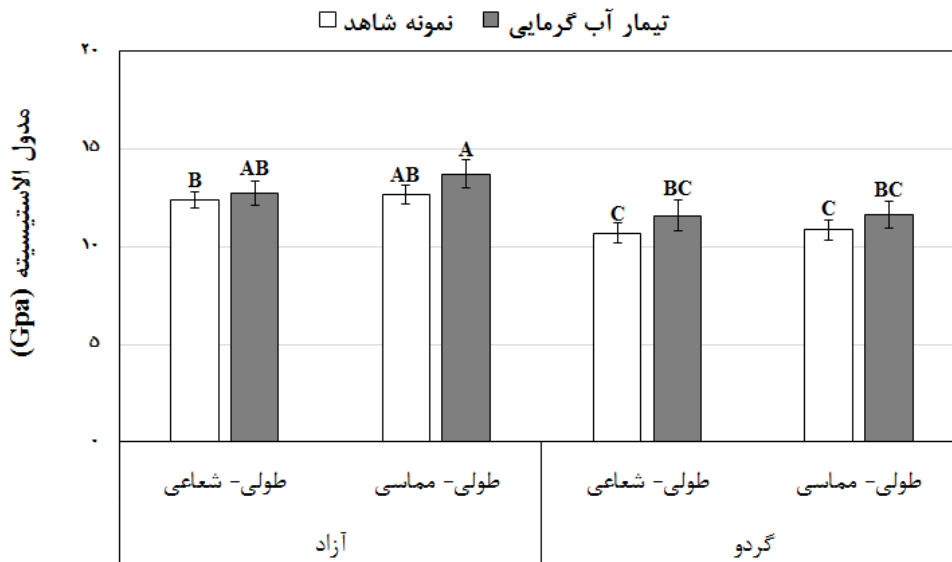
جدول ۲- نتایج جرم ویژه گونه‌های گردو و آزاد قبل و پس از تیمار آب گرمایی

عوامل متغیر	سطوح متغیر	دانسیتته (kg/m^3)	انحراف معیار
گردو	طولی - شعاعی	۷۳۳	۵۵
	تیمار آب گرمایی	۷۱۵	۳۴
	طولی - مماسی	۷۳۳	۵۳
	تیمار آب گرمایی	۷۱۴	۳۴
آزاد	طولی - شعاعی	۸۱۹	۴۴
	تیمار آب گرمایی	۷۴۴	۳۷
	طولی - مماسی	۸۱۵	۴۲
	تیمار آب گرمایی	۷۴۳	۳۷

مدول الاستیسیته طولی

نتایج بررسی انجام شده بیانگر این بود که عملیات تیمار آب گرمایی باعث بهبود مدول الاستیسیته در تمامی نمونه‌ها شده است. بیشترین میزان مدول الاستیسیته در نمونه‌های حاصل از جهت طولی - مماسی و طولی - شعاعی گونه آزاد

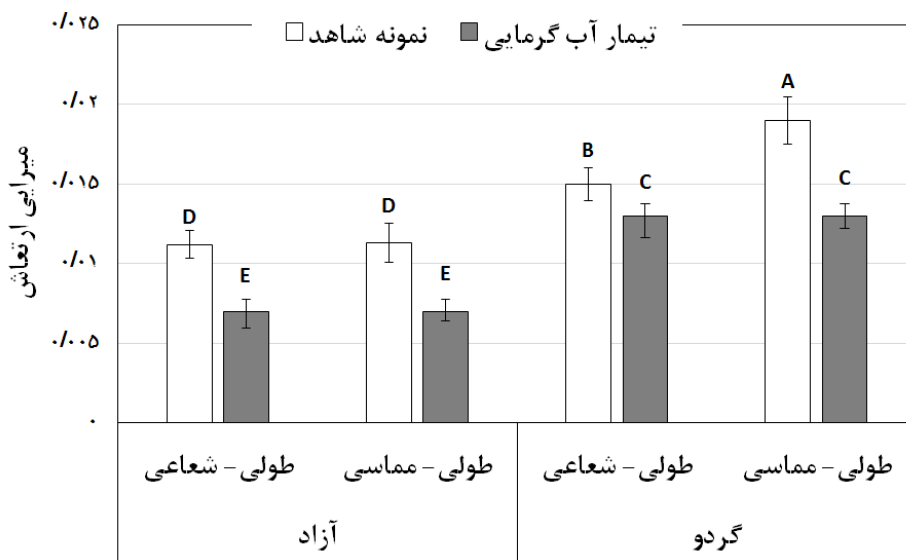
مشاهده گردید. گروه‌بندی انجام شده نیز مؤید این نکته بوده و مدول الاستیسیته نمونه‌های تهیه شده از گونه آزاد را بالاتر از گونه گردو دسته‌بندی نمود. به صورت کلی اختلاف قابل توجهی بین مدول الاستیسیته جهت طولی - شعاعی و طولی - مماسی مشاهده نگردید (شکل ۲).



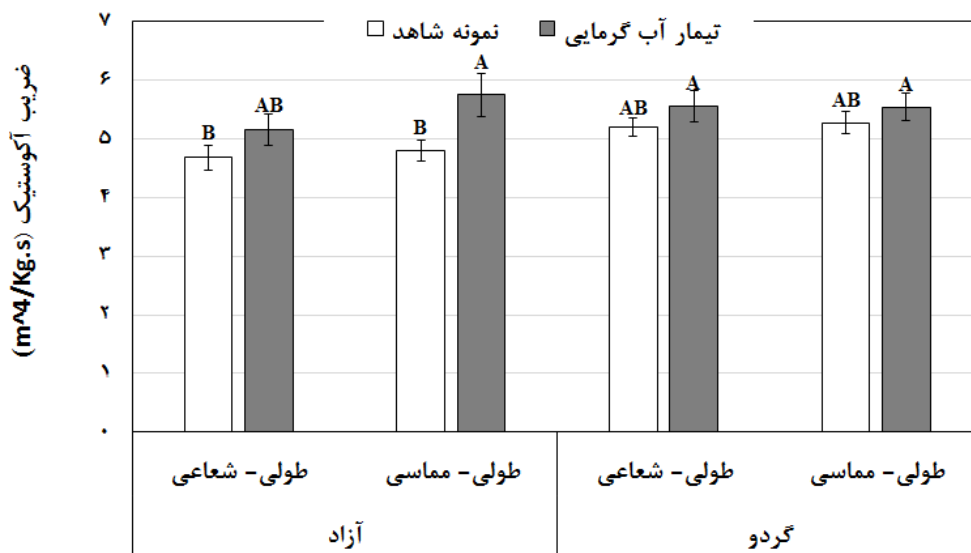
شکل ۲- مدول الاستیسیته طولی گونه‌های آزاد و گردوی تیمار آب گرمایی شده تحت ارتعاش در جهت‌های طولی - شعاعی و طولی - مماسی

است. کمترین میزان میرایی در نمونه‌های تهیه شده از گونه آزاد که تیمار آب گرمایی شده بودند به دست آمد. با توجه به گروه بندی انجام شده در نمونه‌های تیمار شده اختلاف معنی داری بین میرایی در دو جهت طولی - شعاعی و طولی - مماسی مشاهده نگردید (شکل ۳).

میرایی ارتعاش با توجه به نتایج حاصل از این بررسی تیمار آب گرمایی تأثیر معنی داری روی میرایی ارتعاش (اصطکاک درونی) گذاشته است. نتایج نشان داد که میزان اصطکاک درونی در نمونه‌های تیمار آب گرمایی شده کمتر از نمونه‌های شاهد



شکل ۳- میرایی ارتعاش گونه‌های آزاد و گردوی تیمار آب گرمایی شده تحت ارتعاش در جهت‌های طولی - شعاعی و طولی - مماسی



شکل ۴- ضریب آکوستیک گونه‌های آزاد و گردوی تیمار آب گرمایی شده تحت ارتعاش در جهت‌های طولی - شعاعی و طولی - مماسی

ضریب آکوستیک

گونه‌های آزاد و گردو با انجام عملیات تیمار آب گرمایی نسبت به نمونه‌های شاهد بهبود یافته است. بالاترین میزان تبدیل کارایی آکوستیک در بین نمونه‌های تیمار شده در گونه آزاد با سطح طولی- مماسی بود و در حالت کلی اختلاف زیادی بین دو جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی در بین نمونه‌ها مشاهده نگردید (شکل ۵).

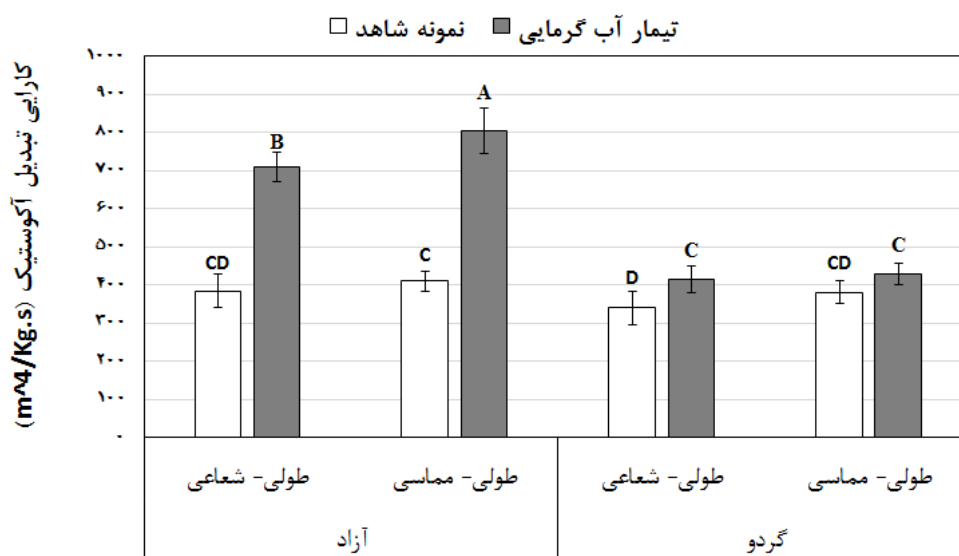
سرعت صوت

در بررسی سرعت صوت به صورت موج طولی نمونه‌های تهیه شده مشخص گردید که تیمار نمونه‌ها به روش آب گرمایی توانسته این عامل را در نمونه‌ها افزایش دهد. بیشترین تأثیر تیمار آب گرمایی در جهت طولی- مماسی گونه آزاد بود که گروه‌بندی انجام شده نیز مؤید این نکته بود (شکل ۶).

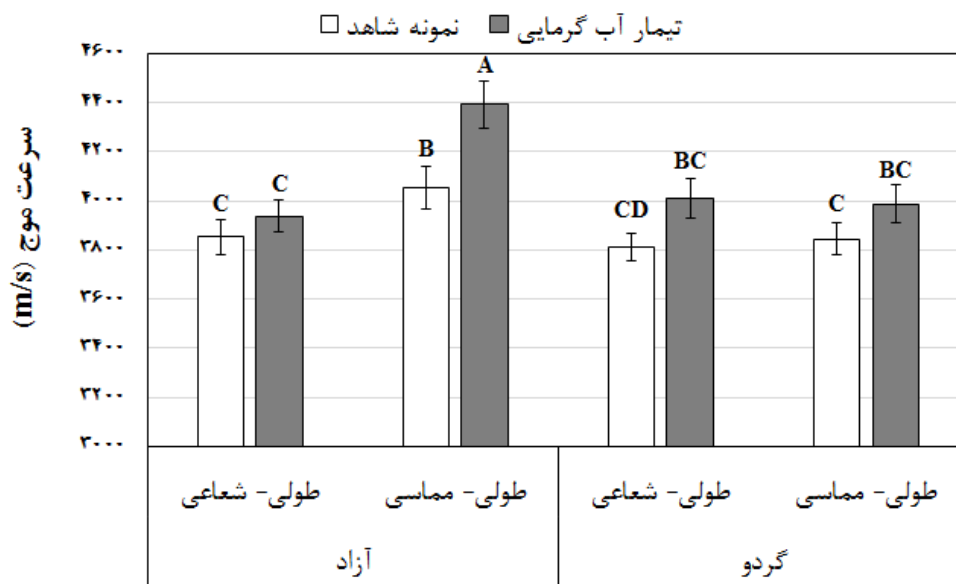
نتایج نشان داد که انجام عملیات تیمار آب گرمایی باعث بهبود ضریب آکوستیک یا به عبارت دیگر افزایش توانایی ارتعاشی در هر دو گونه چوبی شده است. بیشترین تأثیر تیمار آب گرمایی در جهت طولی- مماسی گونه چوبی آزاد بوده و در حالت کلی نیز بالاترین مقدار ضریب آکوستیک در نمونه‌های حاصل از دو جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی گونه گردو و همچنین جهت طولی- مماسی گونه آزاد که تیمار آب گرمایی شده بودند به دست آمده و گروه‌بندی انجام شده نیز اختلاف زیادی بین مقادیر ضریب آکوستیک این نمونه‌ها نشان نداد (شکل ۴).

کارایی تبدیل آکوستیک

در بررسی نتایج مربوط به کارایی تبدیل آکوستیک مطالعه انجام شده، مشخص گردید که میزان آن در



شکل ۵- کارایی تبدیل آکوستیک گونه‌های آزاد و گردوی تیمار آب گرمایی شده تحت ارتعاش در جهت‌های طولی- شعاعی و طولی- مماسی



شکل ۶- سرعت صوت گونه‌های آزاد و گردوی تیمار آب گرمایی شده تحت ارتعاش در جهت‌های طولی- شعاعی و طولی- مماسی

بحث

مطالعات خود وابستگی بین مواد استخراجی و خصوصیات آکوستیک بخصوص ضریب میرایی را نشان دادند. از دلایل دیگر کاهش جرم ویژه نمونه‌های تیمار شده می‌توان تخریب و خروج بخشی از ساختار بسیاری دیواره‌های سلولی (به ویژه همی سلولزها) را نام برد (Weiland, ; Mirzaei *et al.*, 2012a; Yaghoobi, 2007). (Tjeerdsma, 2006; Boonstra Guyonnet and 2003 گروه‌های هیدروکسیل مستقر در روی بسپارهایی مانند سلولز و همی سلولز منشأ آب دوست بودن و جذب رطوبت در ساختار چوب هستند (Mirzaei *et al.*, 2012b). کاهش این بسپارها (به ویژه همی سلولزها) که کاهش جرم ویژه نیز این مطلب را در این مطالعه تأیید نموده باعث کاهش تأثیر رطوبت در نمونه‌های تیمار شده گردیده است. Yaghoobi (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای که روی تأثیر آب گرمایی بر دانسیته و ثبات ابعادی چوب انجام داد اظهار داشت که در طی این تیمار همی سلولز که خاصیت آب دوستی زیادی دارد تخریب و توسط آب از چوب خارج شده که این امر باعث کاهش دانسیته، جذب آب و واکنش‌دهی ضخامت می‌شود. مطالعات انجام شده نشان داده است که رطوبت یکی از عوامل مهمی است که خصوصیات آکوستیک چوب را تحت تأثیر قرار

نتایج بررسی انجام شده نشان داد که عملیات تیمار آب گرمایی تأثیر معنی‌داری در بهبود تمامی خصوصیات آکوستیک مورد بررسی (مدول الاستیسیته، میرایی، ضریب آکوستیک، تبدیل کارایی آکوستیک و سرعت موج) دارد. در طی تیمار آب گرمایی جرم ویژه نمونه‌های چوبی کاهش یافت. یکی از دلایل کاهش جرم ویژه را می‌توان خروج بخشی از مواد استخراجی قابل حل در آب چوب دانست. Yaghoobi (۲۰۰۷) نیز بیان نمود که یکی از دلایل کاهش دانسیته در طی عملیات تیمار آب گرمایی می‌تواند مربوط به خروج مواد استخراجی محلول در آب چوب باشد. در مطالعات گذشته بیان شده که یکی از عوامل تأثیرگذار در خصوصیات آکوستیک چوب، میزان مواد استخراجی قابل حل در آب موجود در آن است (Roohnia *et al.*, 2011a). با کاهش مواد استخراجی طی تیمار آب گرمایی، خصوصیات آکوستیک چوب می‌تواند تحت تأثیر قرار گرفته و بهبود یابد. Obataya و همکاران (۱۹۹۹) نیز بیان نمودند که مواد استخراجی برخی گونه‌ها باعث افزایش میرایی می‌شود که نتایج این مطالعه نیز نشان‌دهنده این مطلب بود. Yano (۱۹۹۴)، Matsunaga (۱۹۹۹) و wegst (۲۰۰۶) و

انجام شده است در صفحات صوتی آلات موسیقی مانند سنتور، زیلوفن و غیره مناسب است. همچنین در جعبه‌های تشدید آلات موسیقی و سالن‌های آمفی‌تئاتر نیز استفاده از چوب‌آلات با میرایی کمتر برای تمديد انتشار صوت ارجحیت دارد (Bremaud, 2008).

منابع مورد استفاده

- Aramaki, M., Bailleres, H., Brancheriau, L., Kronland-martinet, R. and Ystad, S., 2007. Sound quality assessment of wood for xylophone bars. Journal of acoustical society of America, 121: 2407-2420
- Brancheriau, L., and Baillères, H., 2002. Natural vibration analysis of clear wooden beams: a theoretical review. Wood Science and Technology, 36(4): 347-365.
- Brancheriau, L., Bailleres, H., Detienne, P., Gril, J. and Kronland, R., 2006. Key signal and wood anatomy parameters related to the acoustic quality of wood for xylophone-type percussion instruments. Journal of Wood Science, 52: 270-273.
- Bremaud, I., 2008. Caractérisation mécanique des bois et facture: origines et recensement de la variabilité. Journée d'étude-Le bois: instrument du patrimoine musical., 24-46.
- Bodig, J. and Jayne, BA. 1989. Mechanics of wood and wood composite, translation by Ebrahimi G. Tehran: Tehran University Press.
- Boonstra, M.J. and Tjeerdsma, B., 2006. Chemical analysis of heat treated softwoods. Holz als Roh-und Werkstoff, 64: 204-211.
- Chandra, R., Singh, S.P. and Gupta, K., 2003. Prediction of Damping in Three-phase Fiber-reinforced Composites, Defence Science Journal, 53: 325-337.
- Chang, S., Chang, H., Huany, Y. and Hsu, F., 2000. Effects of Chemical Modification Reagents on Acoustic Properties of Wood. Holzforschung, 54: 669-675.
- Ghaznavi, M.R., Roohnia, M., and Yaghmaeipur, A., 2013. The possibility of estimating some of the acoustical properties of particleboards using plate mechanical vibration test. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 28(1): 89-96.
- Homan, W., Tjeerdsma, B., Beckers, E. and Jorissen, A., 2004. Structural and other properties of modified wood. Stitching Research Haut (SHR) Report: 8p.
- Hakkou, M., Petrisans, M., Zoulalin, A. and Gerardin, P., 2005. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. Polymer Degradation and Stability, 89: 1-5.
- Kohantorabi, M., Ghaznavi, M., Roohnia, M., Tajdini, A., Kazemi Najafi, S., 2011. Effect of joint type on the acoustic properties of jointed wood. Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources, 6: 117-128.
- Matsunaga, M., Minato, K., and Nakatsubo, F., 1999. Vibrational property changes of spruce wood by impregnation with water-soluble extractives of

داده و باعث ایجاد مشکل در خواص صوتی چوب می‌شود. به‌عنوان مثال، Roohnia و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند که میرایی چوب با افزایش رطوبت چوب افزایش می‌یابد. در این مطالعه نیز می‌توان بیان نمود عملیات تیمار آب‌گرمایی علاوه بر کاهش مواد استخراجی چوب با کاهش تأثیر رطوبت روی چوب و افزایش ثبات ابعادی آن باعث بهبود خواص آکوستیک می‌شود. در مطالعات پیشین نیز بیان شده است که استیلایون چوب باعث بهبود میرایی و کیفیت صوت در چوب می‌شود که این امر به دلیل جایگزینی گروه‌های آب‌گریز استیل به جای گروه‌های آب‌دوست هیدروکسیل و کاهش شدت جذب رطوبت در چوب نسبت داده شده است (Chang *et al.*, 2000).

با بهبود خصوصیات صوتی چوب با عملیات تیمار آب‌گرمایی می‌توان کاربرد چوب را در سازهای چوبی افزایش داد. در مطالعات پیشین بیان شده چوب‌هایی که در صفحه‌های صوتی مورد استفاده قرار می‌گیرند معمولاً باید دارای ضریب میرایی پایین و همچنین سرعت انتشار صوت بالایی باشند (Bremaud, 2008; Weigst *et al.*, 1996; Tsoumis, 1991; Matsunaga). در همین زمینه (۲۰۰۶) بیان نمود که حد مناسب ضریب میرایی برای صفحه‌های صوتی ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۱ و سرعت انتشار صوت ۴۰۰۰ تا ۴۵۰۰ متر بر ثانیه است. نتایج مطالعه انجام شده نشان داد که مقادیر میرایی نمونه‌های شاهد بالاتر و سرعت صوت کمتر از حد یاد شده است. با انجام عملیات تیمار آب‌گرمایی میرایی کاهش قابل توجهی داشته و سرعت صوت نیز افزایش یافته، به طوری که در گونه آزاد تیمار آب‌گرمایی شده حاصل از جهت طولی - مماسی بیشترین تأثیر را داشته و میرایی (۰/۰۰۷) و سرعت صوت (۴۳۹۲ متر بر ثانیه) در این نمونه‌ها در حد لازم برای صفحه‌های صوتی شده است؛ اما در جهت طولی - شعاعی گونه آزاد سرعت صوت به حد لازم برای صفحات صوتی نرسیده است. در گونه گردو نیز با اینکه میرایی کاهش قابل توجهی داشته ولی در حد مناسب برای استفاده از آن صفحه‌های صوتی نبوده است. Obataya و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که چوب‌های مناسب برای استفاده در صفحه‌های صوتی باید از کارایی تبدیل آکوستیک (ACE) بالایی برخوردار باشند. با توجه به نتیجه به‌دست آمده، استفاده از چوب‌های تهیه شده از جهت طولی - مماسی گونه آزاد که عملیات تیمار آب‌گرمایی روی آنها

- Roohnia, M., Doosthoseini, K., Khademi Eslam, H., Gril, J., and Bremaud, I., 2006. Study on mechanical properties of Arizona Cypress wood by nondestructive free vibration testing, *Journal of natural resources of Iran*, 56(4).
- Rujinirun, C., Phinyocheep, P., Prachyabrued, W., and Laemsak, N., 2005. Chemical treatment of wood for musical instruments. Part I: Acoustically important properties of wood for the Ranad (Thai traditional xylophone). *Wood Science and Technology*, 39: 77-85.
- Schwarz, F.W.M.R. and Navi P., 2004. Investigation of factors that enhance the resistance of thermo-hydro-mechanically (THM) densified wood to colonization and degradation by wood decay fungi. *Cost Action E37: Sustainability through New Technologies for Enhanced Wood Durability*, Switzerland.
- Tsoumis, G., 1991. *Science and Technology of Wood*. Van Nostrand Reinold, 204-207.
- Tita, V., Carvalho, J.D. and Lirani, J., 2001. A Procedure to Estimate the Dynamic Damped Behavior of Fiber Reinforced Composite Beams Submitted to Flexural Vibrations. *Materials Research*, 4: 315-321.
- Wegst, U. K. G., 2006. Wood for sound. *American Journal of Botany*, 93: 1439-1448.
- Weiland, J.J. and Guyonnet, R., 2003. Study of chemical modification and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61: 216-220.
- Yasuda, R., Minato, K. and Yano H., 1993. Use of trioxane for improvement of hygroscopicity and acoustic properties of wood for musical instruments. *Wood Science and Technology*, 27: 151-160.
- Yano, H., 1994. The changes in the acoustic properties of western red cedar due to methanol extraction. *Holzforchung*, 48(6): 491-495.
- Yasuda, R., Minato, K., Norimoto, M., 1994. Chemical modification of wood by non-formaldehyde cross-linking reagents. *Wood science and technology*, 28: 209-218.
- Yaghoobi, K., 2007. Influence of Hydrothermal Treatment on Physical, Mechanical and Acoustic Properties of Mulberry (*Morus alba* L.) Wood. Master's thesis, Noshahr and Chalous Islamic Azad University.
- pernambuco (*Guilandina echinata* Spreng.). *Journal of Wood Science*, 45: 470-474.
- Matsunaga, M., Sugiyama, M., Minato, K., and Norimoto, M., 1996. Physical and mechanical properties required for violin bow materials. *Holzforchung*, 50: 511-517.
- Mirzaei, G., Mohebbi, B., and Tasooji, M., 2012a. The effect of hydrothermal treatment on bond shear strength of beech wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70: 705-709.
- Mirzaei, Gh., Mohebbi, B., Tabarsa, T., 2012b. Collapsibility and Wettability of Hydrothermally Treated Wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 3: 1-11.
- Obataya, E., Ono, T. and Norimoto, M., 2000. Vibrational properties of wood along the grain. *Journal of Materials Science*, 35(24): 6317-6317.
- Obataya, E., Umezawa, T., Nakatsubo, F. and Norimoto, M., 1999. The effects of water soluble extractives on the acoustic properties of reed (*Arundo donax* L.). *Holzforchung*, 53: 63-67.
- Pott, G.T., Hurting, D. and Deursen J.V., 2000. A Commercially attractive method to reduce moisture sensitivity of Ligno-Cellulose fibers, without the use of chemicals. *Bioresource Hemp*, Wolfsburg 13-16 Sep., 7p.
- Roohnia, M., Hashemi-dizaji, S.F., Brancheriau, L., Tajdini, A., Hemmasi, A. H. and Manouchehri, N., 2011a. Effect of soaking process in water on the acoustical quality of wood for traditional musical instruments. *Bioresources*, 2055-2065.
- Roohnia, M., Tajdini, A., and Manouchehri, N., 2011b. Assessing wood in sounding boards considering the ratio of acoustical anisotropy. *NDT & E International*, 44(1), 13-20.
- Roohnia, M., Yavari, A. and Tajdini, A., 2010. Elastic parameters of poplar wood with end-cracks. *Annals of forest science*, 67: 409p1-409p6.
- Roohnia, M., 2005. Study on Some Factors Affecting Acoustic Coefficient and Damping Properties of Wood Using Nondestructive Tests, Ph.D. Thesis, Islamic Azad University Campus of Science and Researches.
- Roohnia, M., and Tajdini, A., 2007. Possibility of measuring the Modulus of Elasticity and vibration damping factor in Arizona Cypress Wood by nondestructive free vibration testing methods and compare with static and Forced Vibration. *Agriculture Science*, 13: 1017-1027.

Effect of hydrothermal treatment on the acoustic properties of Walnut and Elm wood used in musical instruments

M. Ghofrani^{1*}, H. Hosseinkhani², H. Rahimi Dastjerdi³, S. Khojasteh Khosro³
and P. Amiri⁴

1*- Corresponding author, Associate Professor at Department of Wood Science and Technology, Faculty of Civil Engineering, University of Shahid Rajaei Teacher Training, Tehran, Iran

2- Faculty member, M.Sc., Department of Wood Science and its products, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran

3- Masters Student at Department of Wood Science and Technology, Faculty of Civil Engineering, University of Shahid Rajaei Teacher Training, Tehran, Iran

4-Assistant Professor of Electrical ENG_Electronic Department in Shahid Rajaei Teacher Training, UNIV Tehran, Iran

Received: Dec., 2013

Accepted: Sep., 2014

Abstract

The objective of this study was to investigate the influence of hydrothermal treatment of walnut (*Juglans regia*) and Caucasian elm (*Zelkova carpinifolia*) wood on their acoustic properties. For this purpose, specimens were prepared with dimensions of 360 (L) × 20 (R) × 20 (T) mm. Heat treatments in water were performed at 150°C for 5 hours. Acoustic properties of specimens (specific modulus of elasticity, damping, acoustical coefficient, acoustical conversion efficiency and wave velocity) were measured by free flexural vibration on a free-free bar method. Properties of treated specimens were compared with control specimens. Result showed that hydrothermal treatment improved all acoustic properties of specimens. Acoustic properties of radial and tangential directions of walnut wood did not show significant difference; while in Caucasian elm significant differences were observed between radial and tangential directions. Generally, better acoustic properties were achieved in tangential direction of heat-treated Caucasian elm wood. So, it is recommended as a suitable wood to be used in making the sound-boards of musical instruments such as Iranian Santour and Xylophones and also resonator boxes.

Keywords: Hydrothermal treatment, Acoustic properties, Musical instruments, free-free flexural vibration method, Walnut, Caucasian elm.