نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و پنجم، شماره سوم، ۱۳۹۷
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2018.11251.1593

بهبود خواص آکوستیک گونه‌های چوبی افرا و راش با تیمار آب گرمایی

محمد غفرانی[۱]، حبیب رحیمی دستجردی[۲] و *سعید خجسته خسرو[۳]

[۱]استاد گروه علوم و تکنولوژی صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران،
[۲]کارشناس ارشد صنایع چوب و کاغذ، گروه علوم و تکنولوژی صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران، [۳]دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۷

چکیده

سابقه و هدف: خاصیت آکوستیکی چوب از خصوصیات ویژه آن بوده که باعث کاربرد زیاد آن در ساخت ادوات موسیقی شده است. حصول اطلاعاتی از خواص آکوستیکی آن و عوامل تأثیرگذار بر بهبود این خصوصیات اهمیت زیادی دارد. از طرف دیگر اصلاح خصوصیات چوب با روش‌های دوست دار محیط‌زیست از فرآیندهایی است که امروزه اهمیت فراوانی پیدا نموده است. در این مطالعه دو گونه بومی شمال ایران شامل راش (*Fagus orientalis L.*) و افرا پلت (*Acer velutinum*) از نظر خاصیت آکوستیکی بررسی شدند. همچنین نمونه‌های آزمونی تحت شرایط تیمار آب گرمایی قرار گرفتند. سپس اثر تیمار آب گرمایی بر خواص آکوستیک نمونه‌ها به روش ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد مورد سنجش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: برای بررسی خواص آکوستیکی گونه‌های چوبی راش و افرا، نمونه‌هایی با ابعاد (مماسی) ۲۰ × (شعاعی) ۲۰ × (طولی) ۳۶۰ میلی‌متر از تخته‌های این دو گونه‌ی چوبی طبق استاندارد ISO 3129 برش داده شدند. تیمار آب گرمایی با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس و به مدت ۵ ساعت روی نمونه‌ها اعمال گردید. خواص آکوستیک نمونه‌های تیمار شده شامل مدول‌الاستیسیته، میرایی ارتعاش، سرعت موج، کیفیت صوت، ضریب آکوستیک و کارایی تبدیل آکوستیک در دو جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی ارزیابی شدند و با خصوصیات آکوستیک نمونه‌های شاهد مورد مقایسه قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تیمار آب گرمایی چوب تأثیر معنی‌داری روی بهبود تمامی خواص آکوستیک ارزیابی شده به غیر از مدول‌الاستیسیته و ضریب آکوستیک در مقایسه با نمونه‌های شاهد دارد. در حالت کلی نیز بیشترین تأثیر تیمار آب گرمایی چوب روی میرایی، کیفیت صوت و کارایی تبدیل آکوستیک در گونه افرا مشاهده گردید. نتایج همچنین بیانگر این بود که در نمونه‌های تیمار شده اختلاف معنی‌داری بین خواص آکوستیک اندازه‌گیری شده در دو جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی وجود نداشت.

*مسئول مکاتبه: saiedkhojasteh@ymail.com

نتیجه‌گیری: تأثیر تیمار آب گرمایی روی بهبود خصوصیات آکوستیک نمونه‌ها می‌تواند به دلیل خروج مواد استخراجی محلول در آب این نمونه‌ها با پاک‌سازی مواد انباشته شده در مجاری آوندی و سایر عناصر ساختمانی، طی تیمار و همچنین افزایش ثبات ابعادی نمونه‌های تیمار شده باشد. با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان تیمار آب گرمایی گونه‌های چوبی به‌خصوص گونه افرا را برای استفاده در ساخت صفحات صوتی و همچنین جعبه‌های تشدید صدای آلات موسیقی مانند سنتور، زیلوفن و ویولن پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: تیمار آب گرمایی، خواص آکوستیک، آلات موسیقی، ارتعاش خمشی، مواد استخراجی

مقدمه

پیشرفت علوم و فناوری در صنعت سبب افزایش مطالعه روی چگونگی استفاده بهینه از مواد موجود در طبیعت شده است. در این راستا به نظر می‌رسد که منابع تجدیدشونده از اهمیت بیشتری برخوردار باشند. جنگل و به دنبال آن چوب که از تولیدات جنگل است به عنوان یکی از منابع تجدیدشونده، محور اصلی مطالعه‌های زیادی هستند. چوب دارای خصوصیاتی مانند ناهمگن بودن، هرسونایکسانی، نم‌پذیری و تغییر ابعاد در شرایط خاص است. یکی از خصوصیات ویژه چوب خواص آکوستیک آن می‌باشد. خواص آکوستیکی و صوتی چوب سبب شده است که از این ماده به‌طور ویژه‌ای در ساخت ادوات موسیقی، استودیوهای صوتی و اتاق‌های بدون انعکاس صوت (اتاق مرده) به صورت ماسیو و یا ترکیبی (فرآورده‌های چوبی) برای اهداف علمی، پژوهشی و در مصارف ساختمانی به‌عنوان دیوارهای جداکننده، پوشش سقف یا کف اتاق و غیره استفاده شود. در این موارد علاوه‌بر خواص استحکامی و مکانیکی این ماده، خواص آکوستیکی نیز مدنظر طراحان است.

یکی از بخش‌های مهم در شناخت خصوصیات آکوستیک توجه به قابلیت ارتعاش چوب است. به‌طور کلی نمونه‌هایی از نظر خصوصیات آکوستیک مناسب هستند که دارای توانایی ارتعاش بیشتری باشند. انرژی‌ای که باعث به وجود آمدن ارتعاش می‌شود، باعث جابه‌جایی ارتعاش در جسم مرتعش می‌شود. هرچقدر جسم مرتعش سبک‌تر باشد، این انرژی جسم را راحت‌تر مرتعش می‌سازد و به‌عکس هرچقدر نمونه سنگین‌تر باشد، سخت‌تر مرتعش می‌شود. به‌علاوه اینکه هر چقدر مدول الاستیسیته جسم بیشتر باشد، به همان میزان توانایی ارتعاش بیشتر و هر چقدر مدول‌الاستیسیته کمتر باشد توانایی ارتعاش جسم کمتر می‌گردد (۱). صدایی که از ارتعاش چوب ساطع می‌شود، به مرور میرا می‌شود که این ناشی از مصرف انرژی آکوستیکی ارتعاش آن است. انرژی آکوستیکی از طریق جذب صوت برای مقابله با اصطکاک داخلی که نتیجه آن آزاد شدن گرما است، مصرف می‌گردد. به‌طور کلی در ساخت صفحه فوقانی جعبه‌های تشدید صدا، چوبی انتخاب می‌شود که اصطکاک داخلی کمتر و در نتیجه بازتاب صوتی بیشتری داشته باشد (۱). از این رو حصول اطلاعاتی از عکس‌العمل چوب در رابطه با خواص آکوستیکی و صوتی چوب ضروری بوده که در همین رابطه مطالعاتی بر روی شناخت خصوصیات آکوستیک چوب و همچنین عوامل تأثیرگذار آن بر خصوصیات آکوستیک صورت گرفته است.

هولز (۱۹۹٦) گزارش داد که چوب‌های مورد استفاده در زیلوفن[1] باید محدوده مناسبی از دانسیته، مدول‌الاستیسیته و ضریب میرایی را داشته باشند (۲). روح‌نیا و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که عواملی مانند جرم مخصوص، بافت چوب، مواد استخراجی، درصد رطوبت (با افزایش رطوبت چوب میرایی افزایش می‌یابد)، جهت ارتعاش (طولی، مماسی و شعاعی) می‌توانند ضریب میرایی را تحت تأثیر قرار دهند (۳). وگست (۲۰۰٦) بیان کرد که میزان میرایی با مواد استخراجی موجود در چوب و رطوبت نسبی و دمای محیط مرتبط است که این ارتباط تأثیر به سزایی در صدای حاصل از چوب آلات مورد استفاده در جعبه‌های تشدید صدا دارد (٤). آرامکی و همکاران (۲۰۰۷) اهمیت ضریب میرایی برای استفاده در صفحات تشدید صدا در زیلوفن را نشان دادند و بیان نمودند 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. آن‌ها همچنین بیان کردند که اصطکاک داخلی نقش بسیار مهمی در انتخاب چوب‌های مناسب برای ساخت زیلوفن در صفحه‌ی تشدید صدای آن توسط سازندگان آلات موسیقی دارد (۵). ماتسوناگا (۱۹۹۹) وابستگی بین ضریب میرایی و نوع و میزان مواد استخراجی را نشان داده و بیان نمودند مواد استخراجی چوب می‌توانند تأثیر قابل توجه و متغیری بر روی ضریب میرایی داشته باشند (٦).

بخش‌های مختلف آلات موسیقی باید دارای خصوصیات ویژه صوتی خاصی باشند. به‌عنوان مثال چوب‌هایی که در صفحه‌های صوتی ریستور[2] (آلات موسیقی گیتار، ویولن، چنگ) مورد استفاده قرار می‌گیرند معمولا باید دارای ضریب میرایی پایین و همچنین سرعت انتشار صوت (سرعت موج) بالایی باشند (٤، ۷ و ۸). Bermoud (۲۰۰۸) بر اهمیت فاکتور میرایی ارتعاش چوب آلات مورد استفاده در ساخت صفحات تشدید صدا در آلات موسیقی همچون ویولن، گیتار و کلارینت تأکید نمودند (۸). Bermoud و همکارانش در تحقیقی در سال ۲۰۱۰ به مطالعه در مورد تأثیر مواد استخراجی بر روی خواص ارتعاشی چوب پادوک آفریقایی به‌عنوان چوب بومی مورد استفاده در صفحات تشدید صدای سازهای بومی آفریقایی پرداختند. آن‌ها تأثیر این مواد را بر کارایی ویژگی‌های آکوستیکی این چوب منفی اعلام نمودند (۹). راجینیران و همکاران (۲۰۰۵) در مورد استفاده از گونه‌های سوزنی‌برگ در ساخت جعبه‌های تشدید صدا در قسمت‌های مختلف مربوط به تشدید صدا همچون صفحه‌ی رویی ویولن و گیتار بر بالا بودن کارایی تبدیل آکوستیک تأکید کردند (۱۰). سدیک و همکاران (۲۰۱۰) طی مطالعه خود اهمیت بررسی خصوصیات آکوستیک را با ارزیابی مدول‌الاستیسیته، ضریب میرایی و کارایی تبدیل آکوستیک در انتخاب چوب آلات مورد استفاده در صفحه زیلوفن نشان دادند (۱۱). مطالعه صورت گرفته روی تأثیر غوطه‌وری در آب گونه‌های گردو و توت سفید بر کیفیت صوت نشان داد که تأثیر غوطه‌وری روی سرعت موج در جهت طولی، مدول‌الاستیسیته و دانسیته محدود است؛ اما غوطه‌وری باعث بهبود ضریب میرایی در نمونه‌ها شده و از نتایج آن می‌توان برای چوب‌های مورد استفاده در کلاف زیلوفن استفاده کرد (۱۲).

روح‌نیا و همکاران (۲۰۱۵) طی مطالعه‌ای به مقایسه بین غوطه‌وری نمونه‌های حاصل از گونه افرا در آب گرم و محلول اتانول/ استون بر خصوصیات آکوستیک این گونه پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها بیانگر این بود که استفاده از آب گرم تأثیر معنی‌داری بر

1- Xylophone
2- Chordophones

بهبود مدول‌الاستیسیته و همچنین میرایی نداشت؛ اما غوطه‌وری نمونه‌ها در محلول اتانول/ استون تأثیر قابل توجهی بر بهبود خصوصیات آکوستیک مدول‌الاستیسیته و میرایی گونه افرا داشته است (۱۳).

اصلاح خصوصیات چوب یکی از فرآیندهایی است که با توجه به گسترش استفاده از آن روز به روز در حال افزایش است. عملیات تیمار گرمایی چوب امروزه برای اصلاح خصوصیات این ماده مانند بهبود ثبات ابعاد، دوام طبیعی و پایداری در مقابل عوامل بیولوژیک گسترش یافته است (۱٤). تیمار گرمایی به دو صورت آب گرمایی و بخار گرمایی صورت می‌گیرد. تأثیر منفی تیمار آب گرمایی روی خواص چوب کمتر از تیمار بخار گرمایی است. در تیمار آب گرمایی از آب با دماهای مختلف برای تیمار چوب و اصلاح خصوصیات آن استفاده می‌شود. از طرف دیگر گونه‌های افرا (*Acer velutinum*) و راش (*Fagus orientalis L.*) از گونه‌های پرکاربرد در صنعت سازسازی ایران هستند. البته کاربرد این گونه‌ها به‌خصوص گونه راش به‌دلیل خصوصیات آکوستیک نسبتا کم در مواردی محدود است. بر همین اساس هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر تیمار آب گرمایی روی خواص آکوستیک این گونه‌ها شامل مدول‌الاستیسیته، میرایی، سرعت موج، کیفیت صوت، ضریب آکوستیک و کارایی تبدیل آکوستیک بود.

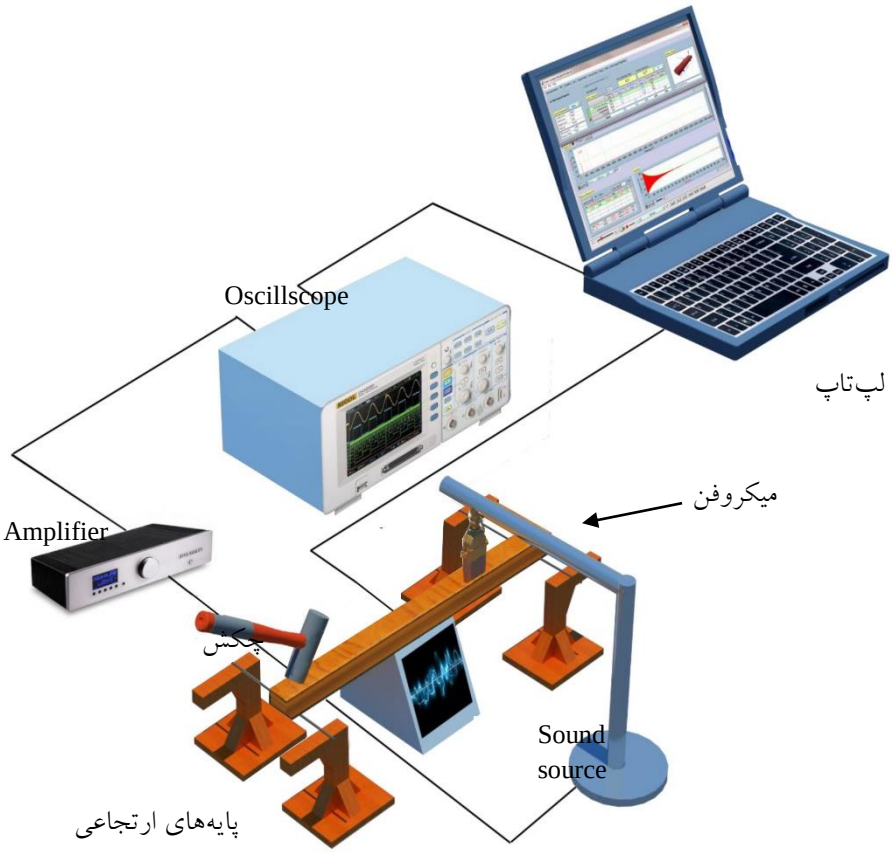
مواد و روش‌ها

مواد چوبی: برای تهیه نمونه‌های آزمونی مورد بررسی در این مطالعه ابتدا قطعاتی به ابعاد ۳۵× ۳۵×٤۰۰ میلی‌متر از گرده‌بینه‌های دو گونه چوبی افرا پلت (*Acer velutinum*) و راش (*Fagus orientalis L.*) تهیه گردیدند. گرده‌بینه گونه افرا از منطقه گیلان و تنه چوب راش از منطقه اسالم تهیه شدند. دانسیته گونه‌های افرا و راش به‌ترتیب ۰/۵۱۷ و ۰/٦۳۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب بودند. قطعات برش داده در هوای آزاد خشک گردیدند. سپس به نمونه‌هایی با ابعاد ۲۰× ۲۰× ۳٦۰ میلی‌متر (مماسی × شعاعی × طولی) تبدیل شدند. با توجه به اهمیت استفاده از نمونه‌های سالم در آزمون‌ها، نمونه‌های دارای شرایط رشد عادی و عاری از هرگونه عیوب ظاهری از جمله ترک، شکاف، گره‌های مرده و زنده، چوب‌های واکنشی، کج تاری، پوسیدگی و غیره مطابق با استاندارد ISO 3129 از مجموع نمونه‌های برش داده شده، انتخاب شدند. به‌منظور متعادل‌سازی رطوبت در نمونه‌ها و یکسان‌سازی شرایط، تمامی نمونه‌های تهیه شده در شرایط کلیما با دمای ۲±۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ٥±٦٥ درصد تا رسیدن رطوبت آن‌ها به ۱۲ درصد قرار گرفتند.

تیمار آب گرمایی: برای انجام تیمار آب گرمایی ابتدا نمونه‌های متعادل‌سازی شده از این شرایط خارج شده و ابعاد و وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها درون مخزنی فولادی با سیستم کنترل دمایی مخزن، تیمار شدند. سیستم تیمار آب گرمایی نمونه‌ها به این صورت بود که ابتدا نمونه‌ها در درون مخزن تیمار قرار گرفتند و آب با دمای ۲۰ درجه سلسیوس به درون مخزن تزریق شد. سپس دمای مخزن به‌صورت تدریجی تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت که این کار برای جلوگیری از تنش‌های داخلی ناشی از اختلاف دمای سطح و عمق در نمونه‌ها بود. عملیات تیمار آب گرمایی به‌مدت ۵ ساعت ادامه یافت. پس از عملیات تیمار آب گرمایی، نمونه‌ها از مخزن تیمار خارج و در شرایط متعادل‌سازی تا رسیدن به رطوبت ۱۲ درصد با دمای ۲±۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ٥±٦٥ درصد به منظور کاهش رطوبت و متعادل‌سازی رطوبت آن‌ها نگه‌داری شدند. پس از عملیات متعادل‌سازی و خروج نمونه‌ها از این شرایط، ابعاد و وزن آن‌ها اندازه‌گیری گردید.

آزمون ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد: برای انجام آزمون ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد، ابتدا نمونه‌ها از محل گره‌های ارتعاشی بر روی پایه‌های ارتجاعی قرار گرفتند. این عمل به‌منظور جلوگیری از میرایی ناشی از اصطکاک تکیه‌گاه‌ها انجام می‌شود. سپس ضربه‌ای توسط چکش به دو جهت شعاعی و مماسی به‌ترتیب برای بررسی خواص آکوستیک در دو جهت طولی- مماسی و طولی- شعاعی وارد شد. صدای تولید شده توسط میکروفن دریافت و پس از آن به رایانه منتقل گردید. سپس سیگنال آنالوگ توسط کارت ویژه اکسترنال به سیگنال دیجیتال تبدیل گردید و توسط نرم‌افزار VibraF برگردان داده‌های ثبت شده توسط کارت ویژه اکسترنال صورت پذیرفت. در شکل ۱، تصویر شماتیک نمونه‌های مورد استفاده و نحوه‌ی اندازه‌گیری خصوصیات آکوستیک در روش ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد نمایش داده شده است.

محاسبات مربوط به فرکانس طبیعی صدای ذخیره شده توسط نرم‌افزار Audacity صورت پذیرفت. برای انجام سایر محاسبات از نرم‌افزار VibraFlex که بر پایه MATLAB v7.1 می‌باشد، استفاده شد (۱۵).



شکل ۱- نمای شماتیک اندازه‌گیری خصوصیات آکوستیک در روش ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد.

Figure 1. Schematic view of acoustic properties measurement in free-free flexural vibration method.

مدول‌الاستیسیته طولی نمونه‌های مورد ارزیابی در طی آزمون ارتعاش خمشی از طریق معادله اولر- برنولی (رابطه ۱) محاسبه گردید (۱۶).

رابطه (۱) $$\left(\frac{E_d}{\rho}\right)_n = \left[\frac{4 . \pi^2 . l^2 . f_n^2}{a . m_n^4}\right]$$

f فرکانس طبیعی nامین مد ارتعاش (Hz)، m با اندیس شماره مد nامین پاسخ معادله $cos(m).cosh(m)=1$ یا به عبارتی پاسخ معادله $m_n = \frac{2n+1}{2}$ می‌باشد (۱۴). E_d مدول‌الاستیسیته دینامیک برنولی (Pa) و ρ جرم ویژه (kg/m^3) می‌باشد.

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

رابطه (۲) $$a = \frac{I}{Al^2}$$

محاسبه میرایی ارتعاش (tan δ) با استفاده از معادله کاهش لگاریتمی (λ) صورت پذیرفت که در روابط ۳ و ٤ نحوه محاسبه این ویژگی آورده شده است (۸ و ۱۷).

رابطه (۳) $$\lambda = \frac{1}{n}\ln\left|\frac{x_1}{x_{n+1}}\right|$$

رابطه (٤) $$\tan\delta = \frac{\lambda}{\pi}$$

در رابطه ۳، X- بلندی اولیه موج در حال کاهش و X_{n+1}- بلندی nامین موج پس از موج متناظر با X_1 است.

اندازه‌گیری و محاسبه سرعت موج در جهت ارتعاش خمشی طبق مطالعه روح‌نیا و همکاران (۲۰۱۱) صورت پذیرفت (۱۲). در اندازه‌گیری سرعت موج، مدول‌الاستیسیته ویژه از اهمیت فراوانی برخوردار است. مدول‌الاستیسیته ویژه از نسبت مدول‌الاستیسیته بر دانسیته نمونه‌ها محاسبه می‌شود (۱۲).

از فاکتورهای مهم خواص صوتی در انتخاب چوب آلات برای استفاده در صفحه‌های تشدید صدا، ضریب آکوستیک و کارایی تبدیل آکوستیک می‌باشند. ضریب آکوستیک و کارایی تبدیل آکوستیک در مطالعه حاضر با توجه به تحقیق روح‌نیا و همکاران (۲۰۱۱) مورد ارزیابی قرار گرفتند (۱۸). همچنین عامل دیگر مورد بررسی در خصوصیات آکوستیک نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های بدون تیمار کیفیت صوت بود که طبق تحقیق فوق محاسبه گردید.

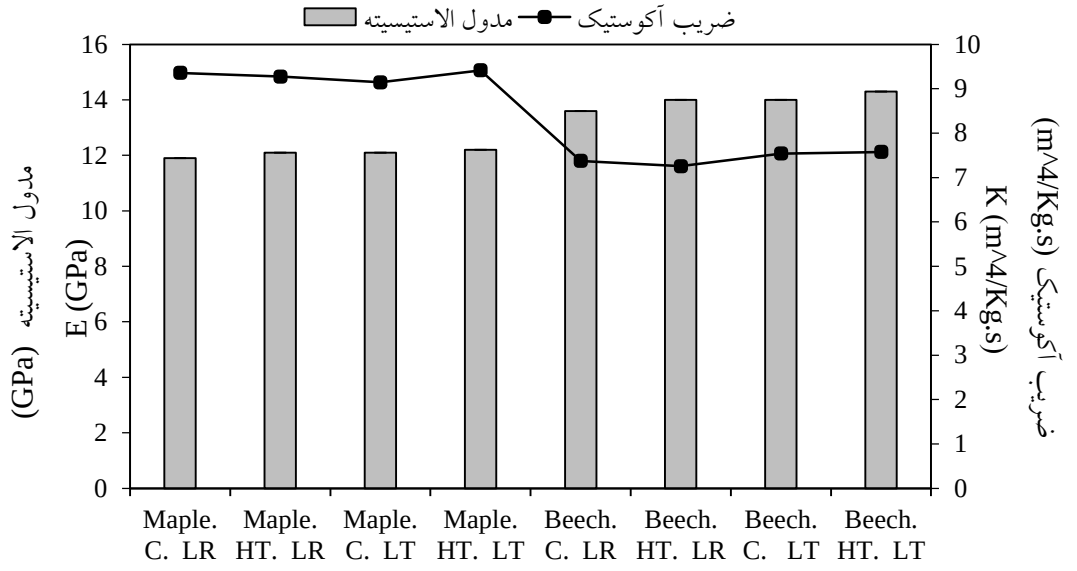
طرح آماری: نتایج به‌دست آمده با نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۳ (۲۰۱۵) مورد آنالیز قرار گرفتند. برای بررسی اثر عوامل متغیر، نتایج با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نمودار خوشه‌ای (کلاستر) برای بررسی تأثیر عوامل متغیر روی تمامی خصوصیات بررسی‌شده، ترسیم شد.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از بررسی تأثیر تیمار آب گرمایی بر مدول‌الاستیسیته گونه‌های چوبی افرا و راش بیانگر این بود که تیمار آب گرمایی نمونه‌های چوبی تأثیر معنی‌داری بر مدول‌الاستیسیته آن‌ها نداشته است. به‌طوری که اختلاف قابل توجهی بین مدول‌الاستیسیته نمونه‌های تیمار شده با نمونه‌های شاهد وجود نداشت (شکل ۲). در مقایسه بین داده‌های ارائه شده در جدول ۱ نیز مشخص است که تیمار آب گرمایی نمونه‌ها باعث افزایش اندک ولی عدم معنی‌دار در مدول‌الاستیسیته گونه‌های افرا و راش شده است. روح‌نیا و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود نشان دادند که غوطه‌وری نمونه‌های حاصل از گونه افرا در آب داغ تأثیر معنی‌داری بر بهبود مدول‌الاستیسیته نداشته است (۱۳). داده‌های این

مطالعه در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد. گلپایگانی و همکاران (۲۰۱۵) نیز در غوطه‌وری نمونه‌های گونه توت در آب (۲۰ درجه سلسیوس) به‌صورت طولانی مدت مشاهده نمودند که این فرایند کاهش مدول‌الاستیسیته را در پی داشته اما غوطه‌وری کوتاه مدت در آب با دمای ۷۰ درجه سلسیوس بهبود مدول‌الاستیسیته را حاصل شده است (جدول ۲) (۱۹).

در بررسی ضریب آکوستیک نمونه‌های مورد آزمون نتایج بیانگر این بود که مانند مدول‌الاستیسیته اختلاف معنی‌داری بین ضریب آکوستیک نمونه‌های شاهد و تیمار شده در این مطالعه وجود ندارد. همچنین بین ضریب آکوستیک نمونه‌های حاصل از دو جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی تفاوت قابل توجهی مشاهده نشد (شکل ۲ و جدول ۱).



شکل ۲- مدول‌الاستیسیته و ضریب آکوستیک گونه‌های افرا و راش قبل و بعد از تیمار آب گرمایی در جهت‌های طولی- شعاعی و طولی- مماسی.

Figure 2. Modulus of elasticity (E) and Acoustic coefficient (K) of Maple and Beech species before and after hydrothermal treatment in Longitudinal-Radial and Longitudinal-Tangential directions.

جدول ۱- تأثیر تیمار آب گرمایی بر خواص آکوستیک گونه‌های افرا و راش.

Table 1. The effect of hydrothermal treatment on acoustic properties of Maple and Beech species.

گونه چوبی Wood species	جهت ایجاد ارتعاش Direction of vibration	تیمار Treatment	مدول‌الاستیسیته E (GPa)	میرایی * Damping	سرعت موج ** Wave velocity (m/s)	کیفیت صوت Quality of sound	ضریب آکوستیک K (m^4/Kg.s)	کارایی تبدیل آکوستیک ACE (m^4/Kg.s)
افرا Maple	طولی- شعاعی Longitudinal-Radial (LR)	شاهد Control (C)	11.9	0.0143	4577	69.93	9.357	841
		آب گرمایی Hydrothermal (HT)	12.1	0.0075	4724	133	9.275	1252
	طولی- مماسی Longitudinal-Tangential (LT)	شاهد Control	12	0.0160	4586	62.50	9.145	852
		آب گرمایی Hydrothermal	12.3	0.0080	4840	125	9.415	1218
راش Beech	طولی- شعاعی Longitudinal-Radial	شاهد Control	13.6	0.0161	4319	62.11	7.375	479
		آب گرمایی Hydrothermal	13.9	0.0115	4558	86.96	7.255	626
	طولی- مماسی Longitudinal-Tangential	شاهد Control	13.9	0.0196	4390	51.02	7.540	508
		آب گرمایی Hydrothermal	14.3	0.0111	4789	90.09	7.557	661

*حد مناسب میرایی برای صفحه‌ای صوتی (sound boards) ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۱ **حد مناسب سرعت موج در صفحه‌های صوتی ٤۰۰۰ تا ٤۵۰۰ متر بر ثانیه (۳)

جدول ۲- نتایج مطالعات مربوط به تأثیر تیمارهای غوطه‌وری در آب بر خواص آکوستیک.

Table 2. Results of studies about the effect of soaking in water treatments on the acoustic properties.

محققین Authors	گونه چوبی Wood species	نوع تیمار Treatment type	مدول‌الاستیسیته E (GPa)	میرایی Damping	سرعت موج Wave velocity (m/s)
روح‌نیا و همکاران (۲۰۱۱)، (۱۲)	توت Mulberry	شاهد / Control	-	0.0118	3508
		غوطه‌وری در آب (۵۰°C)، ۳ مرحله با زمان ٢٤ ساعت Soaking in water (50°C), 3 cycles, 24 h	-	0.0097	3509
	گردو Walnut	شاهد / Control	-	0.0130	4136
		غوطه‌وری در آب (۵۰°C)، ۳ مرحله با زمان ٢٤ ساعت Soaking in water (50°C), 3 cycles, 24 h	-	0.0096	4177
روح‌نیا و همکاران (۲۰۱۵)، (۱۳)	افرا Maple	شاهد/ Control	9.9	0.027	-
		غوطه‌وری در آب داغ Soaking in hot water	10.2	0.016	-
گلپایگانی و همکاران (۲۰۱۵)، (۱۹)	توت Mulberry	شاهد / Control	14.5	0.79	-
		غوطه‌وری در آب (۷۰°C)، ٦ ساعت Soaking in water (70°C),6 h	15.9	0.79	-
		شاهد / Control	14.6	0.87	-
		غوطه‌وری در آب (۲۰°C)، ٤ ماه Soaking in water (20°C), 3 cycles,4 month	14.2	0.82	-

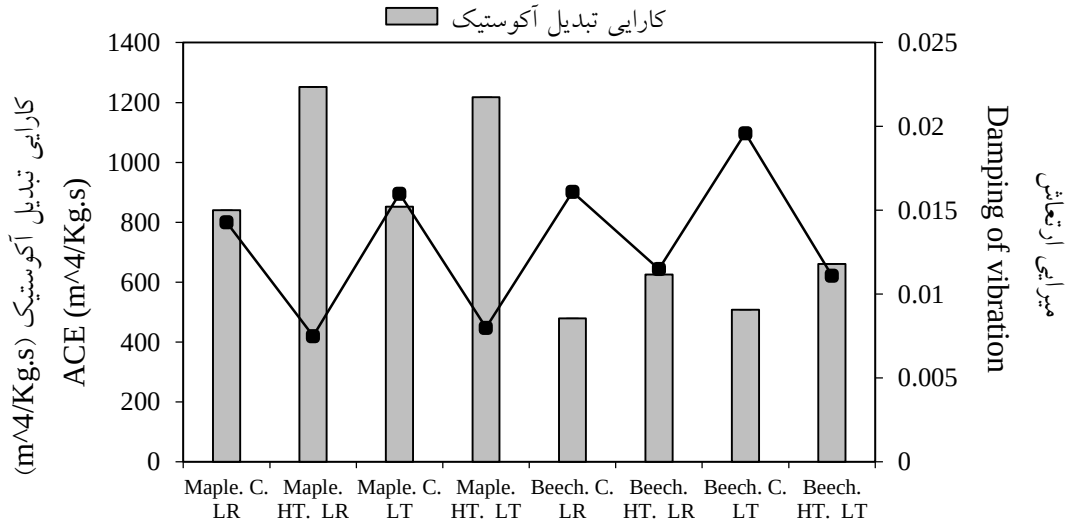
برای بررسی دقیق‌تر میزان مانایی صدای آلات موسیقی مشخصه دیگری به نام کارایی تبدیل آکوستیک تعریف شده که نتایج آن در شکل ۳ و همچنین جدول ۱ ارائه شده است. این شاخص مشخصه مناسبی برای نشان دادن رابطه بین اصطکاک درونی و انتشار صوت[1] است (۱۰). از طرف دیگر Obataya و همکاران (۱۹۹۹) کارایی تبدیل آکوستیک را به‌دلیل دخیل بودن دو فاکتور ضریب آکوستیک و میرایی ارتعاش، مهم‌ترین فاکتور جهت ارزیابی کمی خواص آکوستیکی در گونه‌های مورد مصرف در یک ساز معرفی کردند (۲۰). نتایج به دست آمده از عملیات تیمار آب گرمایی گونه‌های افرا و راش نشان داد که تیمار گرمایی این گونه‌ها باعث بهبود قابل توجه میزان کارایی تبدیل آکوستیک شد. بهبود کارایی تبدیل آکوستیک در گونه افرا بیشتر از گونه راش بود. به‌طوری‌که در گونه افرا، تیمار حرارتی باعث افزایش ٤٩ و ٤٣ درصدی به‌ترتیب در جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی شد. در حالی‌که در گونه راش کارایی تبدیل آکوستیک در جهت‌های طولی- شعاعی و طولی- مماسی به‌ترتیب ۳۱ و ۳۰ درصد افزایش یافت. در حالت کلی نیز اختلاف معنی‌داری بین کارایی تبدیل آکوستیک در دو جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی مشاهده نگردید.

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه در بررسی میرایی ارتعاش نمونه‌ها، تیمار آب گرمایی تأثیر معنی‌داری بر میرایی (اصطکاک درونی) نمونه‌های تیمار شده گذاشته است (شکل ۳ و جدول ۱). نتایج بیانگر این بود که میزان اصطکاک درونی در نمونه‌های تیمار آب گرمایی کاهش قابل توجهی یافته است. به‌طور کلی در یک جسم مرتعش، هر قدر میزان اصطکاک درونی کمتر باشد به همان اندازه میزان مانایی ارتعاش یا به عبارت دیگر پایداری صدای ساز موسیقی بیشتر می‌باشد (۲۱). بدین ترتیب نتایج بیانگر تأثیر مثبت تیمار آب گرمایی روی بهبود پایداری صدای ساز موسیقی است. کمترین میزان میرایی در نمونه‌های تهیه شده از گونه افرا به‌دست آمد. در نمونه‌های تیمار شده اختلاف معنی‌داری بین میرایی در جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی آن‌ها مشاهده نگردید (شکل ۳). نتایج به‌دست آمده از بررسی سرعت موج نشان داد که تیمار آب گرمایی باعث افزایش سرعت موج در این نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های تیمار نشده، گردیده است. بالاترین میزان سرعت موج در گونه افرا مشاهده شد البته در نمونه‌های تیمار شده اختلاف بین سرعت موج دو گونه افرا و راش کمتر از نمونه‌های شاهد بود (شکل ٤). در بررسی نتایج مطالعات دیگر توسط روح‌نیا و همکاران (۲۰۱۱) و همچنین روح‌نیا و همکاران (۲۰۱۵) نیز مشاهده شد که غوطه‌وری نمونه‌های چوبی در آب داغ باعث کاهش قابل توجه میرایی شده است اما این تیمار برخلاف تیمار آب گرمایی مورد بررسی در این مطالعه افزایش قابل توجهی در سرعت موج نمونه‌های چوبی ایجاد ننموده است (۱۲ و ۱۳). گلپایگانی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود مشاهده نمودند که تیمارهای غوطه‌وری در آب نتوانسته‌اند تأثیر مثبتی بر بهبود میرایی داشته باشند که نتایج آن در جدول ۲ قابل مشاهده است (۱۹). این در صورتی است که تیمار آب گرمایی مورد بررسی در این مطالعه تأثیر بسیار مثبتی بر بهبود میرایی صوت داشته است.

با توجه به جدول ۱ برخلاف سرعت موج، مقادیر میرایی نمونه‌های بدون تیمار برای استفاده در صفحه‌های صوتی مناسب نبوده‌اند؛ اما با تیمار گرمایی و کاهش قابل توجه میرایی نمونه‌های چوبی، میرایی نمونه‌های افرا به حد مناسب صفحه‌های صوتی

1- Sound radiation

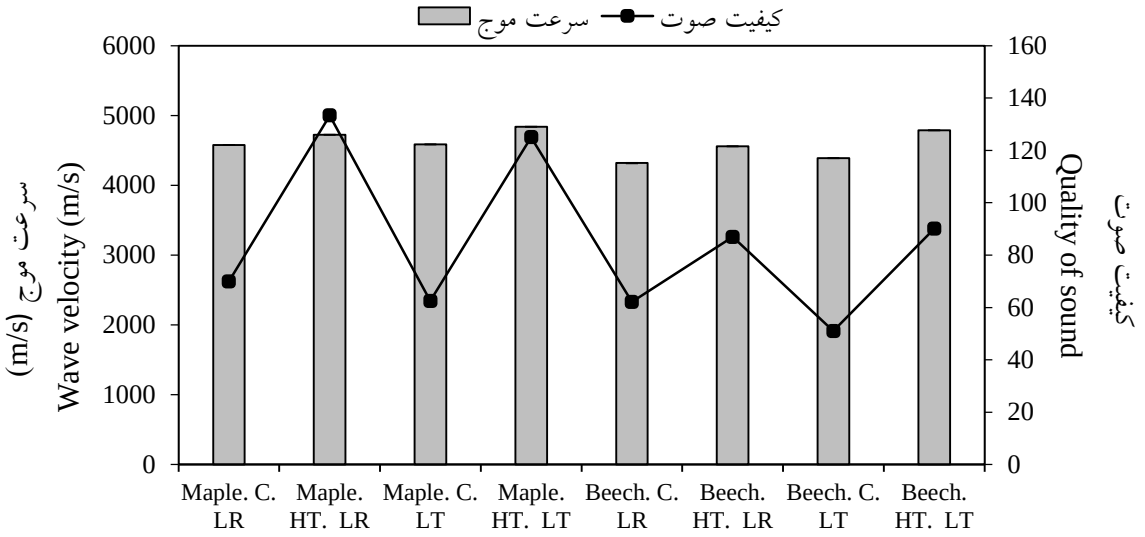
کاهش یافته و این گونه را برای استفاده در صفحه‌های صوتی مناسب نموده است. ولی در گونه راش تیمار شده با اینکه میرایی کاهش قابل توجهی داشت، بالاتر از ۰/۰۱ بوده و این گونه برای استفاده به عنوان صفحه‌های صوتی مناسب نیست. از طرف دیگر با توجه به اینکه در جعبه‌های تشدید آلات موسیقی و سالن‌های آمفی‌تئاتر استفاده از چوب‌آلات با میرایی کمتر برای تمدید انتشار صوت ارجحیت دارد (۸)، در صورت لزوم برای استفاده از گونه راش بهتر است که نمونه‌های تیمار شده بدین منظور استفاده شوند.



شکل ۳- کارای تبدیل آکوستیک و میرایی ارتعاش گونه‌های افرا و راش تیمار آب گرمایی شده در جهت‌های طولی- شعاعی و طولی- مماسی.

Figure 3. Acoustic conversion efficiency (ACE) and Damping of vibrationand of Maple and Beech species before and after hydrothermal treatment in Longitudinal-Radial and Longitudinal-Tangential directions.

نتایج به‌دست آمده در بررسی فاکتور کیفیت صوت در شکل ٤ ارائه گردیده است. به‌طوری‌که در این شکل مشاهده می‌شود تیمار آب گرمایی نمونه‌های حاصل از گونه‌های افرا و راش باعث بهبود قابل توجه کیفیت صوت در هر دو جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی نمونه‌های چوبی شده است. در مقایسه دو گونه همان‌طور که در شکل ٤ و جدول ۱ مشخص است، در نمونه‌های شاهد اختلاف میزان شاخص کیفیت صوت در گونه افرا و راش بسیار قابل توجه نبود ولی با تیمار آب گرمایی بهبود حاصله در گونه افرا (۹۱ درصد در جهت طولی- شعاعی و ۱۰۰ درصد در جهت طولی- مماسی) بسیار بیشتر از گونه راش (٤۰ درصد در جهت طولی- شعاعی و ۷٦ درصد در جهت طولی- مماسی) بود.



شکل ٤- سرعت موج و کیفیت صوت گونه‌های افرا و راش قبل و بعد از تیمار آب گرمایی در جهت‌های طولی- شعاعی و طولی- مماسی.

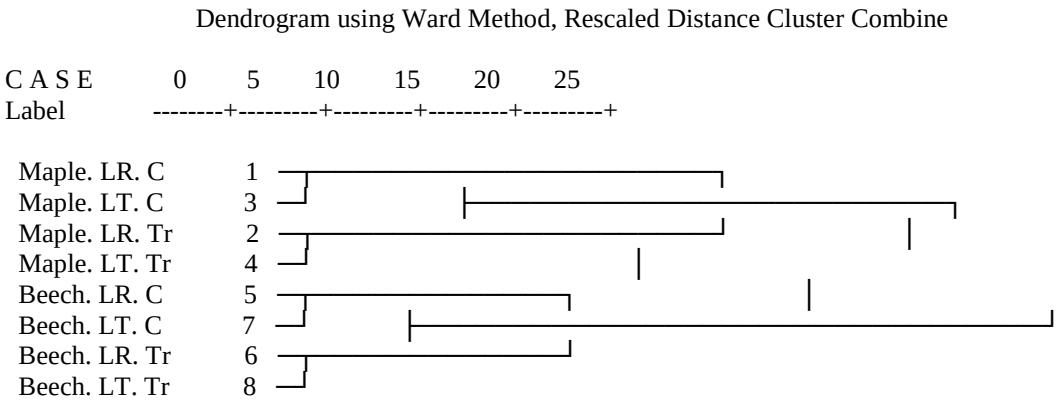
Figure 4. Wave velocity and sound Quality of Maple and Beech species before and after hydrothermal treatment in Longitudinal-Radial and Longitudinal-Tangential directions.

حضور مواد استخراجی قابل حل در آب فاکتور مهم و تأثیرگذاری در خصوصیات آکوستیک است (۱۱). وگست (۲۰۰٦) و همچنین ماتسوناگا (۱۹۹۹) وابستگی بین مواد استخراجی و خصوصیات آکوستیک به‌خصوص ضریب میرایی را نشان دادند (٤ و ٦). عملیات تیمار آب گرمایی باعث خروج مواد استخراجی قابل حل چوب در آب می‌شود. با توجه به نکات بیان شده یکی از دلایل بهبود خصوصیات آکوستیک بخصوص ضریب میرایی به‌دلیل خروج مواد استخراجی طی فرایند تیمار آب گرمایی است.

یکی از مشکلات آلات موسیقی تبادل رطوبتی آن‌ها با محیط پیرامون خود برای رسیدن به تعادل رطوبتی با محیط است. از طرف دیگر رطوبت یکی از عوامل منفی تأثیرگذار روی کاهش خصوصیات آکوستیک در چوب است. به عنوان مثال با افزایش رطوبت چوب میرایی آن افزایش می‌یابد (۳). عملیات تیمار آب گرمایی باعث کاهش تأثیر رطوبت روی چوب و افزایش ثبات ابعادی آن می‌شود (۲۲). از دلایل بهبود ثبات ابعادی چوب به وسیله تیمار آب گرمایی می‌توان کاهش گروه‌های هیدروکسیل را بیان نمود که باعث جلوگیری از انتقال رطوبت به چوب می‌شود (۱۳ و ۲۳) که نتیجه این امر جلوگیری از تأثیر منفی رطوبت روی خصوصیات آکوستیکی در چوب است. چنگ و همکاران (۲۰۰۰) نیز در بررسی اثر استیلاسیون چوب پی به اثر مثبت و کاهنده میرایی و بهبود کیفیت صوت با استیلاسیون بردند. آن‌ها بیان نمودند که علت بهبود میرایی و کیفیت صوت بر اثر استیله کردن چوب به جایگزینی گروه‌های آب‌گریز استیل به جای گروه‌های آب‌دوست هیدروکسیل و کاهش شدت جذب رطوبت در چوب ارتباط دارد (٢٤).

برای بررسی دقیق‌تر تأثیر تیمار آب گرمایی روی تمامی خصوصیات آکوستیک مورد مطالعه در این پژوهش (مدول‌الاستیسیته، میرایی، سرعت موج، کیفیت صوت، ضریب آکوستیک و کارایی تبدیل آکوستیک) از آزمون کلاستر استفاده شد که نتایج آن در شکل ۵ آورده شده است. همان‌طور که نمودار خوشه‌ای نشان می‌دهد نمونه‌های تهیه شده از دو

گونه افرا و راش که عمل تیمار آب گرمایی روی آن‌ها صورت گرفته در گروه‌های جداگانه‌ای نسبت به نمونه‌های شاهد قرارگرفته‌اند و با نتیجه به‌دست آمده از بررسی خصوصیات آکوستیک ارزیابی شده مطابقت داشته و نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تیمار گرمایی بر بهبود خصوصیات آکوستیک است. از طرف دیگر بر طبق خوشه‌بندی صورت گرفته مشخص گردید که خصوصیات آکوستیک گونه‌های افرا و راش در دو جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی اختلاف چندانی با هم ندارند. همچنین خصوصیات آکوستیک دو گونه افرا و راش اختلاف زیادی با هم داشته و در دسته‌های جداگانه‌ای خوشه‌بندی شده‌اند. در حالت کلی بر طبق خوشه‌بندی صورت گرفته و با توجه به اینکه اختلاف زیادی بین خصوصیات آکوستیک نمونه‌های تهیه شده از دو جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی گونه افرا که عملیات تیمار آب گرمایی روی آن‌ها صورت گرفته بود با یکدیگر وجود نداشت، می‌توان بیان نمود که مناسب‌ترین خواص آکوستیک مربوط به نمونه‌های حاصل از گونه افرا که عملیات تیمار آب گرمایی روی آن‌ها صورت پذیرفته بود، می‌باشد.



شکل ۵- نمودار خوشه‌ای گونه‌های افرا و راش قبل و بعد از تیمار آب گرمایی در جهت‌های طولی- شعاعی و طولی- مماسی بر اساس تمامی خصوصیات آکوستیک مورد بررسی در این مطالعه.

Figure 5. Cluster analysis of Maple and Beech species before and after hydrothermal treatment in Longitudinal-Radial and Longitudinal-Tangential directions according to all investigated acoustic properties in this research.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر تیمار آب گرمایی دو گونه افرا و راش بر خصوصیات آکوستیک (مدول‌الاستیسیته، میرایی، سرعت موج، کیفیت صوت، ضریب آکوستیک و کارایی تبدیل آکوستیک) آن‌ها در دو جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی خصوصیات آکوستیک با روش ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد نشان داد که تیمار آب گرمایی تأثیر قابل توجهی روی بهبود خصوصیات آکوستیک به جز مدول‌الاستیسیته و ضریب آکوستیک داشته است. بیشترین تأثیر تیمار آب گرمایی روی خصوصیات آکوستیک گونه افرا بود. در حالت کلی نیز بین خصوصیات آکوستیک نمونه‌های تیمار شده در دو جهت طولی- شعاعی و طولی- مماسی تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. تأثیر تیمار آب گرمایی روی بهبود خصوصیات آکوستیک نمونه‌ها می‌تواند به‌دلیل خروج مواد استخراجی محلول در آب این نمونه‌ها و همچنین افزایش ثبات ابعادی نمونه‌های تیمار شده باشد. بیشترین تأثیر تیمار آب گرمایی روی میرایی، کیفیت صوت و کارایی تبدیل آکوستیک گونه

افرا مشاهده گردید. با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان تیمار آب گرمایی گونه‌های چوبی برای بهبود خصوصیات آکوستیک به‌خصوص گونه افرا را برای استفاده در ساخت صفحه‌های صوتی و همچنین جعبه‌های تشدید صدای آلات موسیقی مانند سنتور، زیلوفن، ویولن پیشنهاد نمود. البته لازم به ذکر است که برای تعمیم دادن این نتایج به نمونه‌های واقعی باید مطالعاتی روی سازهای ساخته شده با نمونه‌های تیمار آب گرمایی شده صورت گرفته و تأثیر این تیمار در شرایط واقعی و کاربردی مورد بررسی قرار گیرد تا در عمل نیز تأثیر مثبت تیمار آب گرمایی مشخص شده و اثبات گردد.

منابع

1. 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. (In Persian)
2. Holz, D. 1996. Acoustically important properties of xylophone-bar materials: can tropical woods be replaced by European species. Acustica united with Acta Acustica., 82: 6. 878-884.
3. Roohnia, M., Yavari, A., and Tajdini, A. 2010. Elastic parameters of poplar wood with end-cracks. Annals of forest science., 67: 4. 1-6.
4. Wegst, U.K.G. 2006. Wood for sound. American Journal of Botany., 93: 1439-1448.
5. 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: 4. 2407-2420.
6. Matsunaga, M. 1999. Vibrational property changes of spruce wood by impregnation with water-soluble extractives of pernambuco (Guilandina echinata Spreng.). Journal of wood science., 45: 6. 470-474.
7. Matsunaga, M., Sugiyama, M., Minato, K., and Norimoto, M. 1996. Physical and mechanical properties required for violin bow materials. Holzforschung., 50: 6. 511-517.
8. 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.
9. Brémaud, I., Amusant, N., Minato, K., Gril, J., and Thibaut, B. 2010. Effect of extractives on vibrational properties of African Padauk (Pterocarpus soyauxii Taub.). Wood Sci Technol. 45(3): 461-472.
10. 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: 1. 77-85.
11. Sedik, Y., Hamdan, S., and Jusoh, I. 2010. Acoustic properties of selected tropical wood species. Journal of Nondestructive Evaluation., 29: 1. 38–42.
12. Roohnia, M., Hashemi-dizaji, S.F., Brancheriau, L., Tajdini, A., Hemmasi, A.H., and Manouchehri, N. 2011. Effect of soaking process in water on the acoustical quality of wood for traditional musical instruments. Bioresources., 6: 2. 2055-2065.
13. Roohnia, M., Kohantorabi, M., and Tajdini, A. 2015. Maple wood extraction for a better acoustical performance. European Journal of Wood and Wood Products., 73: 1. 139-142.
14. Boonstra, M.J., and Tjeerdsma, B. 2006. Chemical analysis of heat treated softwoods. Holz als Roh-und Werkstoff., 64: 3. 204-211.
15. 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. (In Persian)
16. Brancheriau, L., and Baillères, H. 2002. Natural vibration analysis of clear wooden beams: a theoretical review. Wood Science and Technology., 36: 4. 347-365.
17. Bodig, J., and Jayne, BA. 1989. Mechanics of wood and wood composite, translation by Ebrahimi G. Tehran-: Tehran University Press, Tehran.
18. 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.
19. Golpayegani, A., Brémaud, I., Thevenon, M.F., Pourtahmasi, K., and Gril, J. 2015. The effect of traditional hygro-thermal pretreatments on the acoustical characteristics of white mulberry wood (Morus alba). Maderas. Ciencia y tecnología., 17: 4. 821-832.
20. 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.). Holzforschung, 53: 1. 63-67.
21. Pirayeshfar, A.S., Mousavi S.Y., and Jalili M.M. 2010. The Investigation of Acoustic Properties of Carbon Fiber-Polyester Composites and Comparing the Results with Poplar, Walnut and Beech Wood Specimens. Iranian Journal of Wood and Paper Industries., 1: 2. 83-101. (In Persian)
22. Hakkou, M., Petrissans, 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. 1-5.
23. Mirzaei, G., Mohebby, B., and Tasooji, M. 2012. The effect of hydrothermal treatment on bond shear strength of beech wood. European Journal of Wood and Wood Products. 70: 2. 705-709.
24. Chang, S., Chang, H., Huany, Y., and Hsu, F. 2000. Effects of Chemical Modification Reagents on Acoustic Properties of Wood. Holzforschung. 54: 6. 669-675.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 25 (3), 2018
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2018.11251.1593

Improvement of acoustic properties of Maple and Beech by hydrothermal treatment

M. Ghofrani[1], H. Rahimi Dastjerdi[2] and *S. Khojasteh Khosro[3]
[1]Professor of Wood Science and Technology Dept. , Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran, [2]M.Sc., Wood Science and Technology, Dept., Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran, [3]Ph.D. Student., Dept., of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran
Received: 06/01/2016; Accepted: 08/29/2018

Abstract

Background and objectives: Acoustic property as one of the special characteristics of wood is widely used in making musical instruments. Finding information about the acoustic properties of wood and all factors which improve it is so important. Furthermore, modifying the characteristics of wood with environmentally friendly methods has become increasingly important recently. In the current study, two wood species native to the north of Iran that is Beech (Fagus orientalis L.) and Maple (Acer velutinum) were examined in terms of their acoustic properties. Samples were also treated under hydrothermal treatment. The effects of hydrothermal treatment on acoustic properties of the samples were measured by free-free flexural vibration method.

Materials and methods: In order to examine the acoustic properties of two wood species of Beech and Maple, samples in the dimensions of 360 (longitudinal) × 20 (radial) × 20 (tangential) mm were cut according to ISO 3129 standard. Hydrothermal treatment at 150 ° C for 5 hours was applied on samples. Acoustic properties of the treated samples such as modulus of elasticity, damping of vibration, wave velocity, quality of sound, acoustic coefficient and acoustic conversion efficiency were evaluated in two directions of Longitudinal-Radial and Longitudinal-Tangential. Acoustic properties were compared with control samples.

Results: The results of this study showed that hydrothermal treatment of wood has a significant effect on improving the evaluated acoustic properties except for the modulus of elasticity and acoustic coefficient factor in comparison with control samples. In general, the greatest effect was observed on mortality hydrothermal treatment of wood, the quality of sound, and acoustic conversion efficiency in species of Maple. The results also indicated that there was no significant difference between the acoustic properties in two directions of Longitudinal-Radial and Longitudinal-Tangential in the treated samples.

Conclusion: The effect of hydrothermal treatment on improving acoustic properties of the samples could be due to the withdrawal of water soluble extractives in samples with cleaning material accumulated in vessel ducts, fiber and other structural elements of wood, as well as increased dimensional stability during treatment in treated samples. According to the results of this study, the hydrothermal treatment of wood species, especially Maple species can be used in manufacturing sound-boards as well as resonator boxes of musical instruments such as Xylophones, Violin, and the Iranian Santour.

Keywords: Hydrothermal treatment, Acoustic properties, Musical instruments, Flexural vibration, Extractives

*Corresponding author: saiedkhojasteh@ymail.com