Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Science Research
Vol. 39, No. 1, Page 27-40 (2024) DOI: 10.22092/IJWPR.2023.361567.1750

Effect of fermentation pretreatment and extraction on the acoustic properties of Ash wood *(Fraxinus excelsior)*

Zahra Daeepour [1], Amir Lashgari [2*], Mehran Roohnia [3], Ahmad Jahan-Latibari [3] and Vahid Safdari[4]

1-Ph.D. Student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2*-Corresponding author, Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, Email: amir.lashgari@kiau.ac.ir
3-Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
4- Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received: April 2023 Revised: July 2023 Accepted: July 2023

Abstract

Background and objectives: Nowadays, the importance of treatments such as water washing and ethanol-acetone washing to improve the acoustic properties of wood has been noticed by the makers of musical instruments. Wood extractives are in the list of those materials that often do not have a construction role, and the appropriate extraction of these extractives can lighten the wood without reducing the stiffness. Carrying out pre-treatments such as fermentation with baker's yeast (before water washing and ethanol-acetone washing processes) can lead to the extraction of more extractable substances from wood. In this study, the effect of water washing and ethanol-acetone washing treatments as well as fermentation pre-treatment on the acoustic properties of ash wood (*Fraxinus excelsior)* has been investigated.

Methodology: Ash wood (*Fraxinus excelsior)* was prepared from the wood of a commercial timber and 38 small radial beams with nominal dimensions of 150×12×2 mm (longitudinal × radial × tangential) was selected from the hardwood. After reaching the equilibrium moisture content of 12% in air-conditioned conditions, the selected samples were subjected to the forced vibration test in the free-free beam in order to measure the basic physical and acoustic characteristics. After the initial tests, the specimens were randomly divided into two groups of 19 specimens. The first group without pretreatment and the second group with fermentation pretreatment were placed in the process of removing the extractives by water and then by ethanol-acetone mixture. After each step of water washing and removing the extractives soluble in ethanol-acetone mixture, the forced vibration test in the free-free beam was performed on the samples and the acoustic properties of the samples were measured.

Results: Water washing without pretreatment with baker's yeast caused a slight decrease and with pretreatment caused a significant decrease in wood density (respectively: 1.75 and 7.39%). While the process of removing extractives (with and without pretreatment) by ethanol-acetone mixture caused a significant decrease in density values (respectively: 2.27 and 8.71%). The modulus of elasticity values showed a significant decrease due to water washing without

pretreatment and with pretreatment (respectively: 11.37 and 16.47%). The process of removing the extractives by ethanol-acetone mixture also resulted in a significant decrease in the modulus of elasticity values in untreated and pretreated samples (respectively: 13.87 and 20.93%). Water washing without pre-treatment with baker's yeast and with pre-treatment has caused a significant decrease in the values of damping factor, among which the pre-treated samples had a greater percentage of drop in the values of damping factor (respectively: 13/87 and 20.93%). The process of removing the extractive materials by ethanol-acetone mixture washing has caused a significant decrease in the damping factor values, which among the pre-treated samples showed a greater percentage drop in the values resulting from this property (respectively: 3.03 and 18.01%). In this factor, the process of removing the extractive substances soluble in ethanol-acetone mixture (with and without pretreatment) has resulted in a greater drop in damping values (respectively: 6.67% and 20.85%). Acoustic conversion efficiency due to water washing process without pretreatment with baker's yeast caused a slight increase, while pretreatment caused a significant increase in acoustic conversion efficiency values (respectively: 0.44 and 25.24%). The process of removing extractive materials by ethanol-acetone mixture also caused a significant increase in the acoustic conversion efficiency values, which among the pre-treated samples showed a higher growth percentage in the values of this characteristic (respectively: 3.41 and 28.90%). Both water washing methods and ethanol-acetone mixture washing were effective in improving the physical (density) and acoustic properties (modulus-elasticity, damping and acoustic conversion efficiency). Meanwhile, the effect of ethanol-acetone mixture washing was more than the effect of water washing. Fermentation pretreatment with baker's yeast improved the performance of water washing and ethanol-acetone mixture washing treatments.

Keywords: Acoustics, soaking, music, Ash wood, extractive.

تأثیر پیش‌تیمار تخمیر و حذف مواد استخراجی بر ویژگی‌های آکوستیک چوب گونهٔ ون *(Fraxinus excelsior)*

زهرا دایی‌پور[۱]، امیر لشگری[۲*]، مهران روح‌نیا[۳]، احمد جهان‌لتیباری[۳] و وحیدرضا صفدری[۴]

۱- دانشجوی دکترای تخصصی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، پست‌الکترونیک: amir.lashgari@kiau.ac.ir

۳- استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۲

چکیده

سابقه و هدف: امروزه اهمیت تیمارهایی مانند آبشویی و اتانول-استن‌شویی برای بهبود ویژگی‌های آکوستیک چوب مورد توجه سازندگان سازآلات موسیقی قرار گرفته است. مواد استخراجی چوب در فهرست آن دسته از موادی هستند که بیشتر نقش ساختمانی ندارد و تخلیه هدفمند و صحیح آنها می‌تواند بدون کاهش سفتی، چوب را سبک کند. انجام پیش‌تیمارهایی از قبیل تخمیر با مخمر نان (قبل از فرایند آبشویی و اتانول-استن‌شویی) می‌تواند موجب خروج بیشتر مواد استخراجی از چوب گردد. در این مطالعه به بررسی اثر تیمارهای آبشویی و اتانول-استن‌شویی و پیش‌تیمار تخمیر بر خواص آکوستیک چوب گونه ون *(Fraxinus excelsior)* پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: چوب ون *(Fraxinus excelsior)* مورد نیاز از درون چوب یک الوار تجاری تهیه شده و تعداد ۳۸ عدد تیر کوچک (آزمونه) شعاعی با ابعاد اسمی ۱۵۰×۱۲×۲ میلی‌متر (طولی، شعاعی، مماسی) از قسمت درون چوب آن جدا گردید. آزمونه‌های منتخب پس از رسیدن به رطوبت تعادل ۱۲ درصد در شرایط کلیماتیزه، به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های اولیه فیزیکی و آکوستیکی مورد آزمون ارتعاش اجباری در تیر دو سر آزاد قرار گرفتند. پس‌ازآن، آزمونه‌های اولیه به‌صورت تصادفی به دو گروه ۱۹ آزمونه‌ای تقسیم شدند. دسته اول بدون پیش‌تیمار و دسته دوم با پیش‌تیمار تخمیر در فرایند حذف مواد استخراجی توسط آب و بعد توسط ترکیب اتانول- استن قرار گرفتند. پس از هریک از مراحل آبشویی و حذف مواد استخراجی محلول در اتانول- استن، آزمون ارتعاش اجباری در تیر دو سر آزاد بر روی آزمونه‌ها انجام گردید و خواص آکوستیکی آزمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

نتایج: آبشویی بدون پیش‌تیمار با مخمر نان باعث کاهش جزئی و با پیش‌تیمار، باعث کاهش معنی‌دار مقادیر دانسیته شد (به ترتیب: ۱/۷۵ و ۷/۳۹ درصد). در حالی که فرایند حذف مواد استخراجی (با پیش‌تیمار و بدون پیش‌تیمار) توسط الکل-استن باعث کاهش معنی‌دار مقادیر دانسیته گردید (به ترتیب: ۲/۲۷ و ۸/۷۱ درصد). مقادیر مدول‌الاستیسیته در اثر آبشویی بدون پیش‌تیمار و با پیش‌تیمار، کاهش معنی‌دار از خود نشان دادند (به ترتیب: ۱۱/۳۷ و ۱۶/۴۷ درصد). فرایند حذف مواد استخراجی توسط اتانول- استن نیز در آزمونه‌های پیش‌تیمار نشده و پیش‌تیمار شده کاهش معنی‌دار مقادیر مدول‌الاستیسیته را در پی داشتند (به ترتیب: ۱۳/۸۷ و ۲۰/۹۳ درصد). آبشویی بدون پیش‌تیمار با مخمر نان و با پیش‌تیمار، باعث کاهش معنی‌دار مقادیر میرایی ارتعاش شده است که در این بین آزمونه‌های پیش‌تیمار شده درصد افت بیشتری در مقادیر حاصل از میرایی ارتعاش داشته‌اند (به ترتیب: ۱۳/۸۷ و ۲۰/۹۳ درصد). فرایند حذف مواد استخراجی توسط الکل-استن مانند آبشویی باعث کاهش معنی‌دار مقادیر میرایی ارتعاش شده است که در این بین آزمونه‌های پیش‌تیمار شده، درصد افت بیشتری در مقادیر حاصل از این ویژگی را از خود نشان دادند (به ترتیب: ۳/۰۳ و ۱۸/۰۱ درصد). در این فاکتور نیز فرایند حذف مواد استخراجی محلول در اتانول- استن (با پیش‌تیمار و بدون پیش‌تیمار) نسبت به آبشویی، افت بیشتری را در مقادیر میرایی ارتعاش در پی داشته است (به ترتیب: ۶/۶۷ و ۲۰/۸۵ درصد). کارایی تبدیل آکوستیک در اثر آبشویی

بدون پیش‌تیمار با مخمر نان باعث افزایش جزئی شد، در حالی که پیش‌تیمار سبب افزایش معنی‌دار مقادیر کارایی تبدیل آکوستیک گردید (به ترتیب: ۰/۴۴ و ۲۵/۲۴ درصد). فرایند حذف مواد استخراجی توسط الکل–استن نیز باعث افزایش معنی‌دار مقادیر کارایی تبدیل آکوستیک شد که در این بین آزمونه‌های پیش‌تیمار شده، درصد رشد بیشتری را در مقادیر حاصل از این ویژگی از خود نشان دادند (به ترتیب: ۳/۴۱ و ۲۸/۹۰ درصد).

نتیجه‌گیری: هر دو شیوه آبشویی و اتانول–استن‌شویی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی (دانسیته) و آکوستیک (مدول‌الاستیسیته، میرایی ارتعاش و کارایی تبدیل آکوستیک) مفید بودند. در این بین اثر اتانول–استن‌شویی بیش از اثر آبشویی بود. پیش‌تیمار تخمیر با مخمر نان باعث بهبود عملکرد تیمارهای آبشویی و اتانول–استن شویی شد.

واژه‌های کلیدی: آکوستیک، آبشویی، موسیقی، ون، مواد استخراجی.

مقدمه

کاربرد چوب در مصارف ویژه‌ای مانند پوشش دیوارها در سالن‌های سینما، اتاق‌های کنفرانس، تالارهای موسیقی و اتاق‌های بی‌پژواک برای آزمایش‌های مختلف علمی و پژوهشی، استودیوهای فیلم‌برداری و به‌عنوان مصالح اصلی در ساخت ابزارآلات موسیقی و جعبه بلندگو و غیره نظر پژوهشگران را به شناخت ویژگی‌های فیزیکی جدیدی از این ماده جلب کرده است (Xu *et al*., 2014; Brémaud, 2012). با وجود پیشرفت در صنایع پلیمرهای مصنوعی، خواص آکوستیک و صوتی خاص چوب سبب شده است که امکان استفاده از این ماده به‌صورت متضاد فراهم گردد، به‌طوری‌که امکان کاربرد این ماده هم در مصارف عایق صوت و هم به‌عنوان تشدیدکننده صوت وجود دارد. واضح است که خصوصیات مورد نیاز از چوب برای کاربرد در هریک از مصارف یادشده، مختص به همان کاربرد می‌باشد. چوب خاصیت انعکاس یا جذب صوت را داشته و می‌تواند بخشی از انرژی صوتی را منعکس یا جذب کند و به‌تبع آن قادر به افزایش یا کاهش شدت صوت است. چوب‌های سبک و تخته فیبر به‌عنوان عایق استفاده می‌شوند و در سالن‌های اجتماعات و سینماها و غیره از چوب یا تخته فیبر عایق در سقف و دیوار استفاده می‌شود و باعث جذب و عدم انعکاس صوت و گاهی به‌منظور جلوگیری از نفوذ صدا از اتاقی به اتاق دیگر استفاده می‌گردد. در عوض، چوب‌های مورد استفاده در صفحات تشدید صدا، صدا را انعکاس می‌دهند (Gan *et al*., 2019 a,b). هر چه تخلخل بیشتر و وزن مخصوص کمتر باشد، جذب صوت بیشتر بوده و بعکس. هرچه تخلخل کمتر و در عوض وزن مخصوص آن بیشتر باشد انعکاس صوت بهتری دارد. کنترل آکوستیکی به معنی کنترل انتشار مستقیم و غیرمستقیم (مسیرهای ثانویه) توسط صوت با توجه به کاربرد نهایی است. برای فراهم کردن صدای نهایی مورد نظر در سازه و یا یک محیط چوبی، باید به سه نکته توجه ویژه داشت: اول کنترل خروجی صوت به سمت مبدأ و مدت زمان طنین برای جلوگیری از هم‌پوشانی شدن صداها توسط یکدیگر. دوم جلوگیری از ایجاد نوفه (noise) می‌باشد (Wegst, 2006). برای نمونه، در دیوارپوش‌های عایق صوتی باید از طریق انتخاب گونه‌های چوبی متخلخل که وزن مخصوص آنها کم می‌باشد، سازه‌ای مناسب و دور از آلودگی صوتی ایجاد کرد و سوم انعکاس ایدئال صوت می‌باشد که در واقع تقویت صدا توسط انتخاب گونه، چیدمان مناسب هر گونه چوبی با توجه به ویژگی‌های آکوستیکی هر قطعه، تیمارهای کمکی چوب برای بهبود ویژگی‌های صوتی، به‌کارگیری میکروفون‌ها و بلندگوها و آمپلی‌فایرها و غیره است که با توجه به نوع به‌کارگیری متفاوت بوده و از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد. در این بین اصلاحاتی مانند آبشویی که باعث خروج مواد استخراجی از چوب می‌گردد در بین سازندگان ساز بسیار مرسوم است و در سال‌های اخیر علاوه بر تأثیر آبشویی به‌عنوان حلال قطبی، تأثیر حذف مواد استخراجی توسط حلال‌های غیرقطبی مانند ترکیب اتانول و استن نظر بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. Obataya و همکاران (۲۰۰۰) تأثیر استخراج مواد محلول در آب را بر

روی خواص آکوستیکی گونه‌ای از نی به نام آراندودوناکس (*Arundodonax. L*) که در صفحه ارتعاش کلارینت کارایی دارد در درصدهای رطوبت نسبی متفاوت بررسی کردند. آنان دریافتند که در رطوبت پایین حضور مواد استخراجی سبب افزایش مدول‌الاستیسیته می‌گردد که این اثر با افزایش درصد رطوبت به دلیل خروج مواد استخراجی محلول در آب کاهش یافت. همچنین، مواد استخراجی باعث افزایش قابل‌ملاحظه دانسیته و اصطکاک داخلی در گونه مورد مطالعه گردید. Minato و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی بر روی تأثیر مواد استخراجی بر روی خواص ارتعاشی گونه مویرانپیرنگا (*Brosimun sp.*) به این نتیجه رسیدند که این گونه فاکتور میرایی خیلی کوچکی دارد و استفاده از آن در ساخت آرشه ویولون ایده مناسبی نیست. آنان علت کم بودن tanδ در این چوب را وجود مواد استخراجی آن و وجود موادی مانند زاتیلن (Xanthyletin) و لوانگتین (Luvangetin) که در ترکیبات مواد استخراجی این گونه یافت شده است، دانسته‌اند. Roohnia و همکاران (۲۰۱۱) خواص آکوستیکی چوب توت سفید را پیش و بعد از آبشویی به روش سنتی مطالعه کردند. کاهش مواد استخراجی موجب بهبود خواص آکوستیکی چوب توت سفید شد. Segolpayegani و همکاران (۲۰۱۲) به‌طور مشابه خروج مواد استخراجی چوب توت سفید را به‌طور تفکیکی و مرحله‌به‌مرحله در حلال‌های قطبی و غیر قطبی و تأثیرات آنها بر خواص دینامیکی آن را رصد کردند. خروج مواد استخراجی محلول در حلال‌های آلی با قطبیت کمتر باعث بزرگ‌تر شدن فاکتور میرایی شد، در حالی که مدول الاستیک ویژه این چوب و فاکتور آنیزوتروپی آن تغییر معنی داری نداشت. Roohnia و همکاران (۲۰۱۵) اثر خروج مواد استخراجی از گونه افرا پلت (*Acer velutinum*) را بر خواص آکوستیک بررسی کردند. نتایج حکایت از بهبود خواص آکوستیک این گونه در اثر خروج مواد استخراجی داشت. Mollaeikandelousi و همکاران (۲۰۱۶) اثر فرایند حذف مواد استخراجی را در گونه افرا چناری (*Acer-pseudoplatanus*) بررسی و اعلام کردند که حذف مواد استخراجی ازاین‌گونه نیز موجب بهبود خواص آکوستیکی آن می‌گردد. Miao و همکاران (۲۰۲۱) اثر استخراج مواد استخراجی از گونه نوئل (*Picea jezoensis var. microsperma*) با استفاده از آب دیونیزه شده و حلال‌های آلی غیرقطبی را مورد بررسی کردند. نتایج حاصل حکایت از آن داشت که پس از فرایند خروج مواد استخراجی فاکتورهای مدول‌الاستیسیته، ضریب آکوستیک و میرایی ارتعاش در گونه مذکور بهبود یافت. از آنجایی که عمده کیفیت آکوستیک چوب وابسته به دانسیته و سفتی دینامیک چوب است، بنابراین روشی که دانسیته را کاهش دهد بدون اینکه سفتی چوب را زایل نماید، می‌تواند اصلاح مناسبی باشد. مواد استخراجی چوب در فهرست آن دسته از موادی هستند که بیشتر نقش ساختمانی ندارد و تخلیه هدفمند و صحیح آنها می‌تواند بدون کاهش سفتی، چوب را سبک کند. ازاین‌رو، انجام پیش تیمارهایی از قبیل تخمیر (قبل از فرایندهای حذف مواد استخراجی با حلال‌های آلی و غیرآلی) می‌تواند موجب خروج بیشتر مواد استخراجی از چوب شود. مخمر نان در روی گیاهان، غلات و میوه‌ها وجود دارد که گاهی برای پخت استفاده می‌شود. اما به‌طورکلی به‌صورت خالص وجود ندارد بلکه از تکثیر در شروع‌کننده خمیرترش حاصل می‌شود. یکی از معروف‌ترین مخمرهای نان متعلق به جنس ساکارومایسس است که با نام *S. minor* نیز شناخته می‌شود (Ali *et al.*, 2012). قارچ‌های موجود برای زیستن به گرما، آب، آلبومین یا مواد نیتروژن‌دار و قندها برای زنده ماندن نیاز دارند. ازاین‌رو، پدیده تخمیر می‌تواند ترکیبات قندی آزاد در مواد استخراجی را در عمق چوب، به الکل تبدیل کرده و خود الکل حاصل تعدادی مواد آلی دیگر را در خود حل می‌کند و درنهایت در فرایندهای آبشویی و شستشو با الکل–استن، مواد استخراجی از چوب بهتر تخلیه می‌گردد. با توجه به موارد ذکرشده، هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر فرایند آبشویی (حذف مواد استخراجی محلول در حلال قطبی) و حذف مواد استخراجی با اتانول–استن (حذف مواد استخراجی محلول در حلال غیرقطبی) بر خواص آکوستیک گونه ون (*Fraxinus excelsior*) به دلیل محدوده مدول‌الاستیسیته مناسب برای تولید سازآلات (Wegst, 2006)، پیش و پس

از انجام پیش‌تیمار تخمیر (با مخمر نان) است.

مواد و روش‌ها

چوب ون *(Fraxinus excelsior)* مورد نیاز از درون چوب یک الوار تجاری تهیه شده و تعداد ۳۸ عدد تیر کوچک شعاعی با ابعاد اسمی ۱۵۰×۱۲×۲ میلی‌متر (طولی، شعاعی، مماسی) از قسمت درون چوب آن استخراج گردید. آزمونه-های منتخب به مدت زمان سه هفته برای رسیدن به رطوبت تعادل ۱۲ درصد مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO شماره ۳۱۲۹ در اتاق کلیماتیزه با دمای ۱±۲۱ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵±۶۵٪ قرار گرفتند. پس از طی مدت مذکور، آزمونه‌ها به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های اولیه فیزیکی و آکوستیکی از اتاق کلیماتیزه خارج و پس از توزین و اندازه‌گیری ابعاد، آزمون ارتعاش اجباری در تیر دو سر آزاد بر روی آنها انجام شد. یادآوری می‌شود آزمون ارتعاش اجباری توسط سیستم ان‌دی‌تی لب (NDT-lab) مطابق شکل۱ صورت گرفت و ضبط صدای حاصل از ارتعاش اجباری توسط نرم‌افزار Cooledit انجام شد (Roohnia, 2007).

پس‌ازآن، آزمونه‌های اولیه به‌صورت تصادفی به دو گروه ۱۹ آزمونه‌ای تقسیم شدند. دسته اول بدون پیش‌تیمار تخمیر در فرایند حذف مواد استخراجی بوسیله آب و ترکیب اتانول- استن قرار گرفتند. پس از هریک از مراحل آبشویی و حذف مواد استخراجی محلول در اتانول- استن، آزمون ارتعاش اجباری در تیر دو سر آزاد بر روی آزمونه‌ها انجام شد. دسته دوم با پیش‌تیمار تخمیر در فرایند حذف مواد استخراجی بوسیله آب و ترکیب اتانول- استن قرار گرفته و پس از اتمام هریک از فرایندهای حذف مواد استخراجی آزمون ارتعاش اجباری به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های آکوستیک بر روی آزمونه‌ها انجام گردید.

شکل ۱- تصویر شماتیک سیستم آزمون ارتعاش اجباری

Figure 1. A schematic view for the contactless forced vibration system

یادآوری می‌شود از ابتدا تا پایان مراحل آزمون در هر دو گروه از آزمونه‌ها، به‌منظور یکسان‌سازی رطوبت و نیل به رطوبت تعادل ۱۲ درصد، آزمونه‌ها پیش از آزمون ارتعاش اجباری به مدت سه هفته در محیط کلیماتیزه با شرایط ذکرشده در قبل قرار می‌گرفتند. برای پیش‌تیمار تخمیر نیز از محلول آب با مخمر نان (ساکارومایسس با نام علمی *S. minor*)

استفاده شد. به این صورت که آزمونه‌ها تا زمان توقف جوشیدن آب (نشانه مصرف قند محلول در مواد استخراجی) درون محلول با درصد ترکیب ثابت پودر مخمر و آب قرار گرفتند و پس‌ازآنکه آزمونه‌ها در شرایط محیط خشک شدند به اتاق کلیماتیزه با زمان و شرایط مذکور منتقل شده و پس‌ازآن ابتدا وزن و ابعاد آنها اندازه‌گیری گردید و بعد مورد آبشویی قرار گرفتند. آبشویی توسط آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بر روی آزمونه‌های دو گروه انجام شد و فرایند حذف مواد استخراجی در محلول الکل–استن (نسبت ترکیب محلول ۳:۱) به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام گردید (Roohnia *et al*., 2015; Farvardin *et al*., 2015).

در هریک از مراحل انجام آزمون ارتعاش اجباری در تیر دو سر آزاد، مدول‌الاستیسیته دینامیک توسط رابطه برنولی محاسبه شد (رابطه ۱).

$$\left(\frac{E}{\rho}\right)_n = \left[\frac{4\pi^2 l^2 f_n^2}{\alpha . m_n^4}\right] \qquad (۱)$$

f فرکانس طبیعی n امین مد ارتعاش، m با اندیس شماره مد، n امین پاسخ رابطه $cos(m).cosh(m)=1$ می‌باشد. α پارامتری است که برای جلوگیری از پیچیدگی در رابطه برنولی استفاده شده است (Bodig & Jayne, 1993).

میرایی حاصل از ارتعاش که شاخصی برای میزان افت ارتعاش در طول زمان است از طریق رابطه زیر محاسبه گردید(Bodig & Jayne, 1993).

$$\lambda = \frac{1}{n} ln \left|\frac{X_1}{X_{n+1}}\right| \qquad (۲)$$

X_1 بلندی اولیه موج در حال کاهش و X_{n+1} بلندی n امین موج پس از موج متناظر با X_1 است.

کارایی تبدیل آکوستیک (ACE) که از برگ خریدهای مهم آکوستیکی چوب‌آلات می‌باشد بوسیله رابطه زیر محاسبه شد(Roohnia, 2019) .

$$ACE = \frac{\sqrt{\frac{E}{\rho^3}}}{\lambda} \qquad (۳)$$

ACE کارایی تبدیل آکوستیک و واحد آن $M^4/s.kg$ و E مدول‌الاستیسیته دینامیک (Pa) حاصل از ارتعاش طولی، ρ جرم ویژه (kg/m^3) و λ میرایی ارتعاش است. مقایسه بین میانگین‌های هریک از ویژگی‌های آکوستیکی حاصل از هر مرحله آزمونی (نسبت به آزمونه‌های شاهد) نیز بوسیله آزمون آماری T test انجام شد. برای انجام آزمون‌های آماری از نرم‌افزار SPSS Ver. 17 و برای رسم نمودار از نمودار خطی و ستونی و از نرم‌افزار MS ECXEL استفاده گردید.

نتایج

در جدول ۱ مقادیر کمی ویژگی‌های آکوستیکی در آزمونه‌های شاهد که بدون اعمال پیش‌تیمار و با اعمال پیش تیمار مورد آبشویی و الکل استن شویی قرار گرفته‌اند نشان داده شده است (در شکل‌های ۲ تا ۵ این تغییرات بررسی شده است). شکل شماره ۲ تغییرات دانسیته بر اثر دو مرحله حذف مواد استخراجی محلول در آب و محلول در محلول اتانول–استن را بدون پیش‌تیمار و با پیش‌تیمار توسط مخمر نان نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌گردد آبشویی بدون پیش‌تیمار با مخمر نان باعث کاهش جزئی و با پیش تیمار، باعث کاهش معنی‌دار مقادیر دانسیته شده است. فرایند حذف مواد استخراجی توسط الکل–استن باعث کاهش معنی-دار مقادیر دانسیته شده است که در این بین آزمونه‌های پیش تیمار شده، درصد افت بیشتری در مقادیر حاصل از دانسیته از خود نشان داده است. ضمن اینکه در کل فرایند حذف مواد استخراجی محلول در اتانول– استن (چه با پیش‌تیمار، چه بدون پیش‌تیمار) نسبت به آبشویی، افت بیشتری را در مقادیر در پی داشته است.

تغییرات مدول‌الاستیسیته بر اثر دو مرحله حذف مواد استخراجی محلول در آب و محلول در محلول اتانول– استن بدون پیش‌تیمار و با پیش‌تیمار توسط مخمر نان در شکل شماره ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر کمی ویژگی‌های آکوستیکی

Table 1. Measured quantitative values of acoustic properties

Values		Control samples	Soaking process	Ethanol-acetone washing
Density(kg/m3)	1*	503.93	495.13	466.67
	2*	497.79	486.49	454.43
Modulus of elasticity (Gpa)	1	11.15	9.91	9.31
	2	11.17	9.62	8.83
Damping factor	1	0.008	0.008	0.007
	2	0.008	0.008	0.006
ACE (M4/s.kg)	1	1169.89	1175.02	1465.15
	2	1165.06	1204.76	1501.71

1: Without pretreatment
2: With pretreatment

همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد آبشویی بدون پیش‌تیمار با مخمر نان و با پیش‌تیمار، باعث کاهش معنی‌دار با درصد تغییر یکسان در مقادیر مدول‌الاستیسیته شده است. فرایند حذف مواد استخراجی توسط اتانول- استن باعث کاهش معنی‌دار مقادیر مدول‌الاستیسیته شده است که در این بین آزمونه‌های پیش‌تیمار شده، درصد افت بیشتری در مقادیر حاصل از مدول‌الاستیسیته از خود نشان دادند. ضمن اینکه فرایند حذف مواد استخراجی محلول در اتانول- استن (چه با پیش‌تیمار، چه بدون پیش‌تیمار) نسبت به آبشویی، افت بیشتری را در مقادیر مدول‌الاستیسیته در پی داشته است.

شکل شماره ۴ تغییرات میرایی ارتعاش بر اثر دو مرحله حذف مواد استخراجی محلول در آب و محلول در محلول الکل-استن را بدون پیش‌تیمار و با پیش‌تیمار توسط مخمر نان نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌گردد آبشویی بدون پیش‌تیمار با مخمر نان و با پیش‌تیمار، باعث کاهش معنی‌دار مقادیر میرایی ارتعاش شده است که در این بین آزمونه‌های پیش‌تیمار شده درصد افت بیشتری در مقادیر حاصل از میرایی ارتعاش داشته‌اند.

جدول ۲- تجزیه‌وتحلیل آماری

Table 2. Statistical Analysis

	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	t	df	Sig. (2-tailed)
D[1]w[2]0[3] - Dw1[4]	11.42105	13.19224	3.02651	3.774	18	.001
Dw0 - Dw2[5]	43.47368	16.26642	3.73177	11.650	18	.000
Dw1 - Dw2	32.05263	13.87033	3.18207	10.073	18	.000
E[6]w0 - Ew1	1.54871E9	6.98485E8	1.60243E8	9.665	18	.000
Ew0 - Ew2	2.33750E9	6.28754E8	1.44246E8	16.205	18	.000
Ew1 - Ew2	7.88792E8	4.00496E8	91880068.92951	8.585	18	.000
T[7]w0 - Tw1	.00053	.00084	.00019	2.727	18	.014
Tw0 - Tw2	.00179	.00063	.00014	12.369	18	.000
Tw1 - Tw2	.00126	.00081	.00018	6.834	18	.000
A[8]w0 - Aw1	-39.78947	101.67354	23.32551	-1.706	18	.105
Aw0 - Aw2	-336.68421	107.92953	24.76073	-13.598	18	.000
Aw1 - Aw2	-296.89474	99.29076	22.77886	-13.034	18	.000
Dn[9]0 - Dn1	8.84211	9.77675	2.24294	3.942	18	.001
Dn0 - Dn2	37.15789	14.71304	3.37540	11.008	18	.000
Dn1 - Dn2	28.31579	11.54245	2.64802	10.693	18	.000
En0 - En1	1.24074E9	7.50892E8	1.72266E8	7.202	18	.000
En0 - En2	1.83615E9	7.19977E8	1.65174E8	11.116	18	.000
En1 - En2	5.95405E8	6.10131E8	1.39974E8	4.254	18	.000
Tn0 - Tn1	.00026	.00056	.00013	2.041	18	.056
Tn0 - Tn2	.00147	.00070	.00016	9.220	18	.000
Tn1 - Tn2	.00121	.00063	.00014	8.367	18	.000
A0 - A1	-5.21053	88.64572	20.33672	-.256	18	.801
A0 - A2	-295.15789	102.09378	23.42192	-12.602	18	.000
A1 - A2	-289.94737	89.75056	20.59019	-14.082	18	.000

1:Density 2:With pretreatment 3:Control samples 4:Soaking process 5:Ethanol-acetone washed6: Modulus of elasticity 7:Damping factor 8:ACE factor 9: Without pretreatment

شکل ۲- تغییرات دانسیته در فرایند حذف مواد استخراجی

Figure 2. Density changes in the process of removing extractives

شکل ۳- تغییرات مدول‌الاستیسیته در فرایند حذف مواد استخراجی

Figure 3. Modulus of elasticity changes in the process of removing extractives

فرایند حذف مواد استخراجی توسط الکل-استن باعث کاهش معنی‌دار مقادیر میرایی ارتعاش شده است که در این بین آزمونه‌های پیش‌تیمار شده، درصد افت بیشتری در مقادیر حاصل از این ویژگی را از خود نشان دادند. در این فاکتور نیز فرایند حذف مواد استخراجی محلول در اتانول- استن (چه با پیش‌تیمار، چه بدون پیش‌تیمار) نسبت به آبشویی، افت

بیشتری در مقادیر میرایی ارتعاش را در پی داشته است. تغییرات کارایی تبدیل آکوستیک بر اثر دو مرحله حذف مواد استخراجی محلول در آب و محلول در محلول الکل–استن بدون پیش‌تیمار و با پیش‌تیمار توسط مخمر نان در شکل شماره ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌گردد آبشویی بدون پیش‌تیمار با مخمر نان و با پیش‌تیمار، باعث افزایش جزئی در مقادیر حاصل از این فاکتور شده است که در این بین پیش‌تیمار سبب درصد افزایش بیشتر مقادیر حاصل شده است. فرایند حذف مواد استخراجی توسط الکل–استن نیز باعث افزایش معنی‌دار مقادیر کارایی تبدیل آکوستیک شده است که در این بین آزمونه‌های پیش‌تیمار شده، درصد رشد بیشتری در مقادیر حاصل از این ویژگی را از خود نشان داده است. فرایند حذف مواد استخراجی محلول در اتانول– استن (چه با پیش‌تیمار، چه بدون پیش‌تیمار) نسبت به آبشویی، درصد افزایش بیشتری را در مقادیر کارایی تبدیل آکوستیک در پی داشته است.

شکل ۴- تغییرات میرایی ارتعاش در فرایند حذف مواد استخراجی

Figure 4. Damping factor changes in the process of removing extractives

شکل ۵- تغییرات کارایی تبدیل آکوستیک در فرایند حذف مواد استخراجی

Figure 5. Acoustic conversion efficiency changes in the process of removing extractives

بحث

با مشاهده شکل ۲ می‌توان دریافت که فرایند حذف مواد استخراجی توسط آب و اتانول- استن، در خروج مواد استخراجی از چوب کاملاً مؤثر بوده است. در این بین، فرایند حذف در محلول اتانول- استن تأثیر بیشتری در افت مقادیر دانسیته داشته است. ضمن اینکه پیش‌تیمار با مخمر تأثیری در نتایج حاصل از آبشویی آزمونه‌ها نداشته است، در حالی که اعمال پیش‌تیمار قبل از فرایند حذف با اتانول- استن باعث درصد افت بیشتر مقادیر حاصل شده است. این پدیده با توجه به نتایج تحقیقات قبلی مربوط به ماهیت شیمیایی مواد استخراجی گونه ون می‌باشد که میزان حلالیت بالاتری در محلول الکل استن از خود نشان داده است. با توجه به نتایج حاصل از مدول‌الاستیسیته دینامیک (شکل ۳)، به نظر می‌رسد فرایند حذف مواد استخراجی با آب و اتانول- استن باعث خروج موادی از چوب گونه ون می‌شود که در تأمین میزان سختی این چوب ضروریست. مقادیر این فاکتور چه با پیش تیمار چه بدون پیش‌تیمار کاهش چشمگیری از خود نشان داد. نتایج حاصل با توجه به ابعاد آزمونه‌ها به نظر نمی‌رسد متأثر از هم‌کشیدگی و یا واکشیدگی چوب باشد. زیرا اولاً آزمونه‌ها ضخامت بسیار کمی داشتند و آب یا اتانول- استن به راحتی از آنها خارج می‌شد و ثانیاً ابعاد آزمونه‌ها پس از هر مرحله از فرایندهای حذف یا تیمار، اندازه‌گیری شد و تغییر ابعادی در آزمونه‌ها مشاهده نشد. به نظر می‌رسد تأثیر مواد استخراجی خارج شده بر مقادیر مدول‌الاستیسیته محتمل‌تر باشد، زیرا Alves و همکاران (۲۰۰۸)، Minato و همکاران (۲۰۱۰) و Farvardin و همکاران (۲۰۱۵) نتایجی مشابه با این تحقیق را به ترتیب در مورد گونه‌های *Albizia Julibrissin*، *Caesalpinia echinata* و *Muirapiranga* گزارش کردند. میرایی ارتعاش نیز چه با آبشویی و چه با حذف مواد استخراجی توسط اتانول- استن به شدت افت کرد.

صدایی که از ارتعاش یک جسم ساتع می‌شود، یا از یک منبع بیرونی به جسم برخورد می‌کند و آن را مرتعش می‌کند، به مرور میرا می‌شود که ناشی از مصرف انرژی آکوستیکی ارتعاش آن است. انرژی آکوستیکی به دو روش مصرف می شود. یکی جذب صوت و صرف مقابله با اصطکاک داخلی است که نتیجه آن آزاد شدن گرما است و دیگر اینکه به محیط بازتاب می‌کند. میزان میرایی ارتعاش در چوب بستگی به نوع گونه (جرم ویژه، میزان مواد استخراجی، بافت چوب و غیره)، رطوبت چوب (با افزایش mc میرایی افزایش می‌یابد)، جهت ارتعاش (طولی، مماسی و شعاعی) و مد ارتعاش دارد (Obataya *et al*., 2000; Harris & Piersol, 2002; Brémaud *et al*., 2008; Segolpayegani *et al*., 2012; Roohnia, 2019). نتایج حکایت از این داشت که هر دو شیوه به‌کاررفته برای حذف مواد استخراجی (آبشویی و اتانول- استن) چه با پیش‌تیمار و چه بدون پیش‌تیمار باعث کاهش معنی‌دار با درصد افت چشمگیر فاکتور میرایی گردید (شکل ۴) که در این بین شستشو با اتانول- استن در هر دو حالت بدون پیش‌تیمار و با پیش‌تیمار باعث درصد افت بیشتر مقادیر حاصل شده است. با توجه به نتایج حاصل از تحقیقات قبل، نتیجه حاصل مبین تأثیر منفی مواد استخراجی گونه ون در صدای حاصل از آن می‌باشد (Segolpayegani *et al*., 2012; Roohnia *et al*., 2015; Miao *et al*., 2021). نتایج حاصل از کارایی تبدیل آکوستیک در هر دو شیوه حذف مواد استخراجی حکایت از افزایش این فاکتور دارد. البته، نتیجه حاصل با توجه به افت فاکتور میرایی ارتعاش در طی حذف مواد استخراجی در هر دو فرایند آبشویی و حذف با الکل استن (هم با پیش‌تیمار و هم بدون پیش‌تیمار) قابل پیش‌بینی بود (شکل ۵). در این بین فرایند حذف مواد استخراجی با اتانول- استن و در شرایط پیش‌تیمار شده، باعث افزایش بیشتر این مقادیر شده است. ازآنجایی‌که کارایی تبدیل آکوستیک به‌عنوان اصلی‌ترین فاکتور در انتخاب چوب‌آلات مصرف موسیقیایی شناخته می‌شود (Matsunaga *et al*., 2000; Wegst, 2006; Roohnia, 2019)، بنابراین می‌توان گفت هر دو شیوه آبشویی و حذف مواد استخراجی توسط الکل استن باعث بهبود این فاکتور شده است و کاربرد این روش‌ها به همراه تخمیر با مخمر نان در بهبود ویژگی‌های آکوستیک گونه ون تأثیر معنی‌داری نداشته است.

منابع مورد استفاده

-Alves, ES., Eduardo, L.L. and Erika, A., 2008. Pernambuco Wood (Caesalpinia Echinata) used in the Manufacture of Bows for String Instruments. IAWA Journal, 29 (3): 323–335.

-Bodig, J. and Jayne, B.A., 1993. Mechanics of Wood and Wood Composites. Krieger Pub Co, USA, 736PP.

-Brémaud, I., 2012. What do we know on" resonance wood" properties? Selective review and ongoing research. Proc. Acoustics 2012, Nantes Conf, 23–27 April 2012, Nantes France: 2759–2764.

-Farvardin, F., Roohnia, M. and Lashgari, A., 2015. The effect of extractives on acoustical properties of persian silk wood (Albizia julibrissin). Maderas Ciencia y tecnología, 17(4): 749-758.

-Gan. W., Chen, C. and Kim, HT., 2019a. Single-digit-micrometer thickness wood speaker. Nat Commun,10 (1):1–8.

-Gan, W., Chen, C. and Wang, Z., 2019b. Dense, Self-Formed Char Layer Enables a Fire - Retardant Wood Structural Material. Adv Funct Mater, 29(14):1807444.

-Harris, C.M. and Piersol, A.G., 2002. Harris' Shock and Vibration Handbook. McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1456pp.

-Matsunaga, M., Obataya, E., Minamoto, K. and Nakatsubo, F., 2000.Working mechanism of adsorbed water on the vibrational properties of wood impregnated with extractives of pernambuco (Guilandina echinata Spreng). Journal of Wood Science, 46: 122–129.

-Minato, K., Konka, Y., Bremaud, I., Suzuki, S. and Obataya, E., 2010. Extractives of Muirapiranga (Brosimun sp.) and its effects on the vibrational properties of wood. J Wood Sci, 56:41–46.

-Mollaeikandelousi, M., Roohnia, M. and Naimian, N., 2016. A preliminary study of acoustic properties of acer velutinum wood. J For Wood Prod, 68(4):959–970.

-Obataya, E., Ono, T. and Norimoto, M., 2000. Vibrational properties of wood along the grain. Mater Sci, 35: 2993-3000.

-Roohnia, M., 2007. NDT-LAB; System to evaluate the mechanical properties of wood, Iranian Patent No. 44032/22-08-1386.

-Roohnia. M., Kohantorabi, M. and Tajdini, A., 2015. Maple wood extraction for a better acoustical performance. Eur J Wood Wood Prod, 73(1):139–142.

-Roohnia, M., Hashemi-dizaji, SF., Brancheriau, L., Tajdini, A., Hemmasi, AH. 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.

-Roohnia, M., 2019. Wood: Vibration and acoustic properties, in: Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, 19th Ed, Elsevier Inc, Amsterdam, Netherlands, Available online,1-13.

-Segolpayegani, A., Brémaud, I., Gril, J., Thevenon, M.F. and Pourtahmasi, K., 2012. Effect of extractions on dynamic mechanical properties of white mulberry *(Morus alba)*. Journal of Wood Science, 58(2):153-162.

-Wegst, U.K.G., 2006. Wood for sound. American Journal of Botany, 93(10): 1439-1448.

-Xu, W., Wu, Z. and Zhang, J., 2014. Effects of species and growth ring angles on acoustic performance of wood as resonance boards. Wood Fiber Sci, 46(3):412–420.

-Yuanyuan, Y., Rui, L., Xiaodong, Q., Yuxue, Y., Yang, Y., Xianglong, J., Bin, L., Yixing, L. and Zhenbo L., 2021. Effect of extraction on the acoustic vibrational properties of Picea jezoensis var. microsperma (Lindl.), W.C.Cheng & L.K.Fu, 78:24:1-13.