صفحات ۲۳ - ۳۱
نشریه هنرهای زیبا - هنرهای نمایشی و موسیقی • دوره ۱۸ • شماره ۱ • بهار و تابستان ۱۳۹۲

بررسی تطبیقی درجه‌بندی سنتی با خواص آکوستیکی حقیقی چوب گردو جهت سنتورسازی*

سیده زهرا شریفی سوسری[۱]، کامبیز پورطهماسی[۲]، آیدا س گلپایگانی[۳]، ایریس برمود[۴]**
[۱] کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
[۲] دانشیار گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
[۳] دکتری مکانیک درخت و چوب، دانشگاه مونپلیه ۲، مونپلیه، فرانسه.
[۴] محقق و عضو گروه مکانیک درخت و چوب، در دانشگاه مونپلیه ۲، مونپلیه، فرانسه.
(تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۸/۱۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۲/۲/۷)

چکیده

سال‌هاست که چوب گردو به عنوان بهترین چوب و تنها منبع شناخته شده برای ساخت سنتور به کار می‌رود. با وجود اینکه سازندگان ساز بنا بر تجارب شخصی، دیدگاه‌های متفاوت و مشخصی در رابطه با خواص و کاربرد این چوب برای ساخت ساز دارند، تا به حال به –طور علمی در این‌باره کاری انجام نشده است. بنابراین در این تحقیق نمونه‌های چوب گردوی سنتورسازی با درجه‌بندی‌های سنتی مختلف، از کارگاه دو استاد سازنده ساز جمع‌آوری و خواص صوتی واقعی آنها آزمون و مقایسه شد. چوب گردو خواص کلی سازهای زهی مضرابی را نشان داد: مدول ویژه بالا و ضریب میرایی نسبتاً کمتر. نمونه‌های با درجه‌های بالاتر دانسیته و مدول یانگ بالاتری داشتند. در تمام نمونه‌ها، رابطه‌ی کاهشی استاندارد میان ضریب میرایی و مدول ویژه مشاهده شد. نتایج آزمون‌های صوتی، درجه‌بندی تجربی اساتید را تأیید کرد: داده‌های درجات بالا و پایین با هم اختلاف مشخصی را داشتند اما خط مرزی درجات میانی مبهم‌تر بود و اهمیت برش، طرح صفحه رویی و رنگ در درجه‌بندی سنتی را خاطر نشان کرد. تیمارهای سنتی بر بهتر شدن ویژگی‌های چوب نهایی اثر مثبتی داشتند: تیمار بخاردهی خصوصیات نمونه را به نمونه‌ی با بالاترین درجه نزدیک کرد، همچنین چوب پیرتر خواص ارتعاشی مناسب‌تری را نشان داد.

واژه‌های کلیدی

چوب گردو، سنتور، خواص صوتی، میرایی، تیمار بخار.

*این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول تحت عنوان " بررسی چوب گردو از دیدگاه کاربرد آن در ساز موسیقی سنتور" است که به راهنمایی نگارنده دوم و مشاوره نگارندگان سوم و چهارم به انجام رسیده است.

**نویسنده مسئول: تلفن: ۰۲۱-۴۴۴۲۳۵۰۳، نمابر: ۰۲۶-۳۲۲۲۷۷۶۵، E-mail: aida.golpayegani@gmail.com.

مقدمه

چوب گردو[1] از دیرباز به عنوان گونه‌ای پرکاربرد در صنایع چوبی شناخته می‌شود. این گونهٔ چوبی به دلیل قابلیت تورق، راست‌تار، خوش‌کار و بادوام بودن دارای مقبولیت جهانی بوده و با داشتن رگه‌ها و نقش‌ونگار بسیار زیبا، صیقل‌پذیری و ساختار همگن، رنگ پذیری و قابلیت کنده‌کاری خوب، در صنایع گوناگون از جمله مبلمان گران‌قیمت، تزئینات، ساخت پارکت، مدل‌سازی، روکش سازی و... کاربرد دارد. چوب گردو در ساخت ابزارآلات موسیقی مختلف نیز سهم مهمی دارد؛ این چوب سال‌هاست که برای ساخت صفحات گیتار آکوستیک در مکزیک و آمریکای شمالی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gril and Bremaud, 2007). در ایران چوب گردو قرن‌هاست که به عنوان بهترین چوب برای ساخت سنتور توسط استادکاران به‌کار می‌رود. البته سازندگان سنتور گاهی از چوب‌های دیگری مانند آزاد، شمشاد، توت و فوفل نیز استفاده می‌کنند، اما به دلیل کیفیت بهتر چوب گردو و خواص آن، این گونه رتبهٔ اول را در این زمینه به خود اختصاص داده است.

سنتور در جملهٔ سازهای زهی[2] مضرابی طبقه‌بندی می‌شود. در ساز زهی، قسمت مرتعش اصلی، سیم یا تار است که با ضربه‌ی مضراب به حرکت درمی‌آید؛ در اکثر انواع این سازها ارتعاش از طریق پل به جعبهٔ صوتی چوبی منتقل می‌گردد. از لحاظ ساختاری، سنتور شکلی ذوزنقه‌ای متساوی‌الساقین دارد و از دو جنس چوب و فلز تشکیل یافته است. این ساز شامل ۹ تا ۱۲ خرک است که هر خرک دارای چهار سیم می‌باشد (تصویر ۱).

تصویر ۱- سنتور ایرانی.

مطالعات انجام شده بر روی چوب‌های به‌کار رفته در سازهای ایرانی (از آن جمله سنتور) بسیار محدودند. برخلاف آن، انواع سازهای موسیقی اروپایی سال‌هاست که موضوع تحقیق بوده‌اند (Fletcher, 1998; Branche-riau et al., 2006; Bucur, 2006; Aramaki et al., 2007). به طور کلی برای اغلب سازهای زهی همانند ویولن و گیتار، مدول ویژهٔ[3] (مدول یانگ در واحد دانسیته) بالا و ضریب میرایی[4] (نشانگری از سرعت جذب صوت در یک گونهٔ چوبی خاص) پایین، از خصوصیات تعیین کنندهٔ چوب با کیفیت هستند (Haines, 2000; Bremaud, 2006). این دو ویژگی (مدول ویژه و میرایی) به طور معمول از یک رابطهٔ کاهشی با یکدیگر تبعیت می‌کنند. اونو و نوریموتو (۱۹۸۳ و ۱۹۸٤)، با آزمون کردن ۳۰ گونهٔ پهن‌برگ و تعداد بیشتری سوزنی برگ برای اولین بار این رابطه را مشاهده کردند و اعلام کردند که این رابطه مستقل از نوع گونهٔ چوبی و دانسیته می‌باشد. برمود (۲۰۰٦) و س گلپایگانی و دیگران (۲۰۱۱) هم با بررسی خصوصیات فیزیکی- مکانیکی گونه‌های مختلف موسیقیایی (به‌ترتیب پادوک آفریقا و توت سفید ایران) بین مدول ویژه و ضریب میرایی همان رابطهٔ استاندارد کاهشی را مشاهده نمودند.

چوب سازهای زهی به عنوان عاملی برای تشدید کردن صدایی که بر اثر ضربهٔ مضراب به سیم ایجاد می‌شود به کار می‌رود. در سازهای زهی اروپایی (برای مثال ویولن)، جعبه صوتی از سوزنی‌برگی راست‌تار تهیه می‌شود که خاصیت ارتعاشی بالایی دارد. وجست (۲۰۰٦)، چندین گونهٔ چوبی مشهور مورد استفاده در سازهای زهی را بررسی کرد و نتیجه گرفت که تمام آن گونه‌ها ضریب ارتعاشی[5] بالایی دارند؛ او همچنین به اثر قوی ساختار و طرح جعبهٔ صوتی در کیفیت صدای ایجاد شده اشاره کرد. در عین حال برمود (۲۰۱۱)، با مقایسه جعبه‌های صوتی سازهای مربوط به مناطق جغرافیایی مختلف نتیجه گرفت که عوامل فرهنگی و منطقه‌ای در تعیین ویژگی‌های صوتی چوب‌های سازهای زهی موثرند و خواص استاندارد سازهای اروپایی قابل اعمال بر سازهای آسیایی نیست. پیش از آن، برانچریو و همکاران (2006)، طبقه‌بندی گونه‌های چوبی کاربردی در سازهای کوبه‌ای[6] را بوسیلهٔ تجزیه و تحلیل پردازش ادراکی، سیگنالی و آناتومیکی چوب بررسی کردند؛ در این تحقیق نیز بر اهمیت تجربهٔ عملی سازندگان ابزارآلات موسیقی بخصوص در انتخاب گونهٔ چوبی مناسب برای ساخت ساز، تأکید شد.

مطالعات صوتی انجام شده بر روی چوب گردو بسیار محدودند: هینز (۱۹۷۹) (Cited in Yoshikawa, 2007)، خواص فیزیکی چوب گردوی سیاه را اندازه‌گیری کرد؛ در ادامهٔ آن تحقیق یوشیکاوا نشان داد که اگرچه چوب گردوی سیاه برای ساخت صفحات پشتی گیتار مناسب است، اما کارایی لازم برای کاربرد در صفحهٔ قاب[7] را ندارد. اخیراً روح‌نیا و همکاران(۲۰۱۱)، اثر چندین چرخهٔ غرقابی را بر خواص مکانیکی چوب گردو بررسی کردند و دریافتند که این تیمار باعث یکسان‌سازی ویژگی‌های عمده و کاهش ضریب میرایی این گونه می‌گردد.

دانش سازسازی مبتنی بر تجربه و آزمون و خطا است؛ اطلاعات اکثراً به صورت سینه به سینه از استاد به شاگرد منتقل می‌گردد و اغلب راهی به بیرون نمی یابد. استادکاران با پشتوانهٔ سالیان تجربه، قادر به انتخاب بهترین چوب برای ساخت آلات موسیقی خود هستند. با این حال، دانش علمی در این‌باره تقریباً ناچیز است و چوب‌های موسیقیایی ایرانی، پیش از این کمتر موضوع مطالعه بوده‌اند.

با توجه به اهمیت موضوع، هدف نهایی این مطالعه دریافت علمی پایه‌های طبقه‌بندی تجربی اساتید سازنده، یافتن امکان ارتباط بین داده‌های علمی و نظرات اساتید، و درنهایت؛ درک

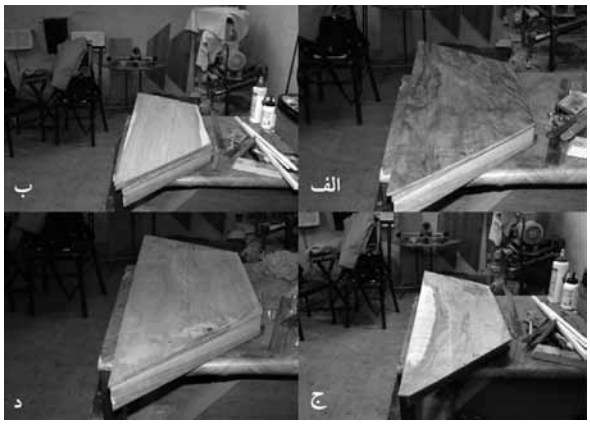
عمیق‌تر نسبت به چوب گردو به عنوان چوب مهم موسیقیایی منطقه و ارتباط عملی با اساتید فن، اعتمادسازی و همکاری پایدار با آن‌ها از طریق دست یافتن به زبانی مشترک، در نظر گرفته شد.

در این مطالعه صفحات رویی سنتور ساخته شده از چوب گردو، در درجات مختلف (طبقه‌بندی سنتی)، از کارگاه دو تن از استادکاران حرفه‌ای جمع‌آوری گردیده و پس از اندازه‌گیری خواص صوتی- مکانیکی آنها، طبقه‌بندی علمی با درجه‌بندی سنتی مطابقت داده شد.

روش تحقیق

ماده اولیه مورد استفاده، جمع‌آوری نمونه‌ها و درجه‌بندی سنتی

گونهٔ مورد مطالعه در این تحقیق گردو می‌باشد. ۱۱ نمونهٔ چوبی از کارگاه سنتورسازی استاد فلاح در تهران (سری I) و ۵ نمونه از کارگاه سنتورسازی استاد غفوری در رشت (سری II) تهیه شدند. همهٔ نمونه‌ها از چوب مورد استفاده در ساخت ساز تهیه گردیدند (تصویر ۲)؛ نمونه‌های تهیه شده از کارگاه استاد فلاح، به طور طبیعی در هوای آزاد خشک می‌شوند و نمونه‌های تهیه شده از کارگاه استاد غفوری، به‌صورت خشک‌شده از عراقات (مناطق خشک) به کارگاه ایشان آورده و پس از طی فرآیندی برای استفاده مناسب می‌شوند. اساتید نمونه ها را براساس نظر و تجربهٔ خود طبقه‌بندی کردند (جدول ۱).



تصویر ۲- صفحات رویی سنتور؛ الف، ب، ج و د که به ترتیب نمونه های با کد ۳، ۷، ۸ و ۱۰ تهیه شده از کارگاه استاد فلاح می باشند.

جدول ۱- شرح خصوصیات و درجه بندی سنتی نمونه¬های استفاده شده در این مطالعه.

کد نمونه	شرح	سازنده	درجه‌بندی کیفی	شرح درجه‌بندی
I1	برش شعاعی / راست‌تار / منبع کردستان / ۶-۵ سال از زمان قطع	فلاح	Best	بهترین (بهتر از A)
I2	برش مماسی / منبع کردستان / ۶ سال از زمان قطع / از درختان کم‌قطر یا جوان	فلاح	Bad	بد (از لحاظ ساختاری و برش صفحه)
I3	دارای برش متفاوت / ۸ سال از زمان قطع	فلاح	Out of Plane	برش متفاوت
I4	دارای برش متفاوت / ۶ سال از زمان قطع	فلاح	HSunbalanced	ترکیب نامتعادلی از چوب‌برون و چوب‌درون
I5	دارای برش متفاوت / ۶ سال از زمان قطع	فلاح	Out of Plane	برش متفاوت
I6	برون چوب و درون چوب / مواج و براق / صدای خوب از نظر استادکار	فلاح	HSwavy	درون چوب+ برون چوب موج دار
I7	درخت با قطر کم / دو طرف برون‌چوب دارد / ۶ سال از زمان قطع	فلاح	Out of Plane	برش متفاوت
I8	برون چوب و درون چوب نامتعادل / ۶ سال از زمان قطع	فلاح	HSunbalanced	ترکیب نامتعادلی از چوب برون و چوب درون
I9	برون چوب و درون چوب / ۶ ماه از زمان قطع و ۳ ماه از زمان بخارپز شدن / رطوبت بالاتر نسبت به بقیه نمونه‌ها	فلاح	Steamed	بخارپز شده
I10	درب کهنه / منبع عراق / ۲۰۰-۱۵۰ سال از زمان قطع	فلاح	Old 150	۱۵۰ ساله

II1	مربوط به مرحوم ملکی / منبع نامشخص / ۳۰ سال از زمان قطع	فلاح	Old 30	۳۰ ساله
II1	مربوط به مناطق خشک	غفوری	Best	بهترین (بهتر از A)
II2	مربوط به مناطق خشک	غفوری	A	عالی
II3	مربوط به مناطق خشک	غفوری	A	عالی
II4	گردوی گیلان	غفوری	C	کیفیت متوسط (بهتر از Bad)
II5	مربوط به مناطق خشک	غفوری	Best	بهترین (بهتر از A)

مطالعات صوتی

برای بررسی‌های صوتی، نمونه‌ها به ابعاد ۱۵×۱×۰/۱ سانتی‌متر مکعب برش داده شدند. نمونه‌ها در اکثر موارد بیش از یک تکرار داشتند.

شرایط آماده‌سازی نمونه‌ها برای آزمون ارتعاشی

- خشک کردن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۱۰۰°C و اندازه‌گیری وزن و ابعاد آنها
- قرار دادن آنها در اتاق کلیماتیزه به مدت ۳ هفته در دما و رطوبت نسبی به ترتیب ۲۰±۲°C و٪۵ ± ٪۶۵ و سپس اندازه‌گیری وزن و ابعاد آنها

آزمون ارتعاش خمشی آزاد-آزاد

در این روش، تکه‌ای آهن (به وزن ۱۵ تا ۲۰ میلی‌گرم، که بر نتیجهٔ نهایی تأثیری نمی‌گذارد) به یک انتهای نمونه چسبانده می‌شود؛ سپس نمونه بر روی دو تکیه‌گاه کشسان قرار داده می‌شود، طوریکه قطعهٔ آهنی در برابر آهنربای الکترونیکی تحمیلگر ارتعاش قرار می‌گیرد. از آنجا که فرکانس اصلی (اساسی) مربوط به گونه در ابتدا مشخص نیست، در ابتدا دستگاه فرکانس‌های بین ۱۵۰ تا ۷۵۰ هرتز (که مدول ویژه‌ای برابر ۳ تا ۴۳ گیگاپاسکال را دربرمی‌گیرد) را اسکن می‌کند که در این آزمون، محدودهٔ فرکانسی بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ هرتز تعیین شد. پس از اعمال ارتعاش، تغییر مکان توسط یک حس‌گر غیرتماسی اندازه‌گیری می‌شود. برنامه‌ای تحت نرم‌افزارلب ویو جریان ارتعاش را ضبط و پردازش می‌کند. مدول ویژه (مدول یانگ در واحد دانسیته)، از طریق اولین فرکانس رزونانسی به روش اولر- برنولی محاسبه می‌شود (Bremaud, 2006). میرایی صوت، هم از طریق پهنای باند (در محدودهٔ فرکانسی) و هم براساس کاهش لگاریتمی (در محدوده زمانی) اندازه‌گیری می‌شود. در تئوری، در صورتیکه میزان میرایی بسیار کمتر از ۰/۱ باشد (که برای چوب خشک شده در محدودهٔ فرکانسی ذکر شده چنین است)، این دو عدد می‌بایستی یکسان باشند. برای هر نمونه سه تکرار انجام شد و نتایج با نرم افزار اس پی اس اس با روش تجزیه واریانس یک طرفه (در سطح آلفا برابر۰/۰۵ و ۰/۰۱) بررسی شدند.

نتیجه

جدول ۲، میانگین مجموعهٔ ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی اندازه‌گیری شده برای کلیهٔ نمونه های این مطالعه را نشان می‌دهد. در ادامه در جدول ۳، نتایج آنالیز آماری داده‌ها آورده شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی نمونه های مورد مطالعه (H: درون چوب، S: برون چوب، ρ: دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، E: مدول یانگ (گیگا- پاسکال)، E/ρ: مدول ویژه (گیگاپاسکال)، tanδ: (ضریب میرایی).

درجه‌بندی	کد نمونه	وضعیت چوب*	ρ دانسیته (گرم بر سانتی- متر مکعب)	E مدول یانگ (گیگا- پاسکال)	E/ρ مدول ویژه (گیگا- پاسکال)	ضریب میرایی tanδ
Best	I_1	H	۰/۴۸	۷/۶۴	۱۵/۸۳	۰/۰۰۸۵
Bad	I_2	H	۰/۶۴	۹/۵۹	۱۴/۹۵	۰/۰۱۰۷
Out of Plane	I_3	H	۰/۶۳	۶/۴۶	۱۰/۳۰	۰/۰۱۲۱
Out of Plane	I_3	H	۰/۶۲	۵/۰۸	۸/۲۰	۰/۰۱۷۶

HSunbalanced	I_4	H	۰/۵۶	۵/۲۵	۹/۳۱	۰/۰۱۷۵
HSunbalanced	I_4	HS	۰/۵۴	۴/۲۶	۷/۸۹	۰/۰۱۷۹
HSunbalanced	I_4	S	۰/۵۱	۴/۰۹	۷/۹۷	۰/۰۱۴۸
Out of Plane	I_4	H	۰/۵۸	۴/۸۲	۸/۳۲	۰/۰۱۵۵
Out of Plane	I_5	H	۰/۶۵	۳/۴۲	۵/۲۷	۰/۰۲۰۹
HSwavy	I_6	H	۰/۵۰	۵/۶۰.	۱۱/۱۱	۰/۰۱۰۲
HSwavy	I_6	S	۰/۵۸	۵/۳۷	۹/۳۴	۰/۰۱۶۹
Out of Plane	I_7	H	۰/۵۸	۲/۰۴	۳/۵۲	۰/۰۱۸۳
HSunbalanced	I_8	H	۰/۶۹	۶/۸۶	۹/۹۹	۰/۰۱۰۳
HSunbalanced	I_8	S	۰/۶۴	۶/۸۰	۱۰/۶۲	۰/۰۱۴۰
Steamed	I_9	H	۰/۷۵	۱۴/۹۰	۱۹/۹۹	۰/۰۰۸۳
Steamed	I_9	S	۰/۶۲	۱۲/۶۹	۲۰/۵۶.	۰/۰۰۷۹
Old 150	I_10	H	۰/۷۲	۹/۷۱	۱۳/۴۳	۰/۰۰۹۱
Old 30	I_11	H	۰/۶۶	۱۰/۱۳	۱۵/۲۶	۰/۰۱۰۲
Best	II_1	H	۰/۶۴	۱۰/۸۳	۱۶/۹۷	۰/۰۰۹۱
A	II_2	H	۰/۶۵	۶/۹۴	۱۰/۷۱	۰/۰۱۰۹
A	II_3	H	۰/۷۰.	۹/۱۵	۱۳/۱۲	۰/۰۱۰۹
C	II_4	S	۰/۴۶	۶/۰۸	۱۳/۱۰	۰/۰۱۰۰
Best	II_5	H	۰/۵۹	۱۱/۴۶	۱۹/۵۴	۰/۰۰۷۲

*وضعیت چوب از لحاظ درون چوب و برون چوب ، H: درون‌چوب ، S : برون چوب، و HS: ترکیب برون چوب و درون چوب.

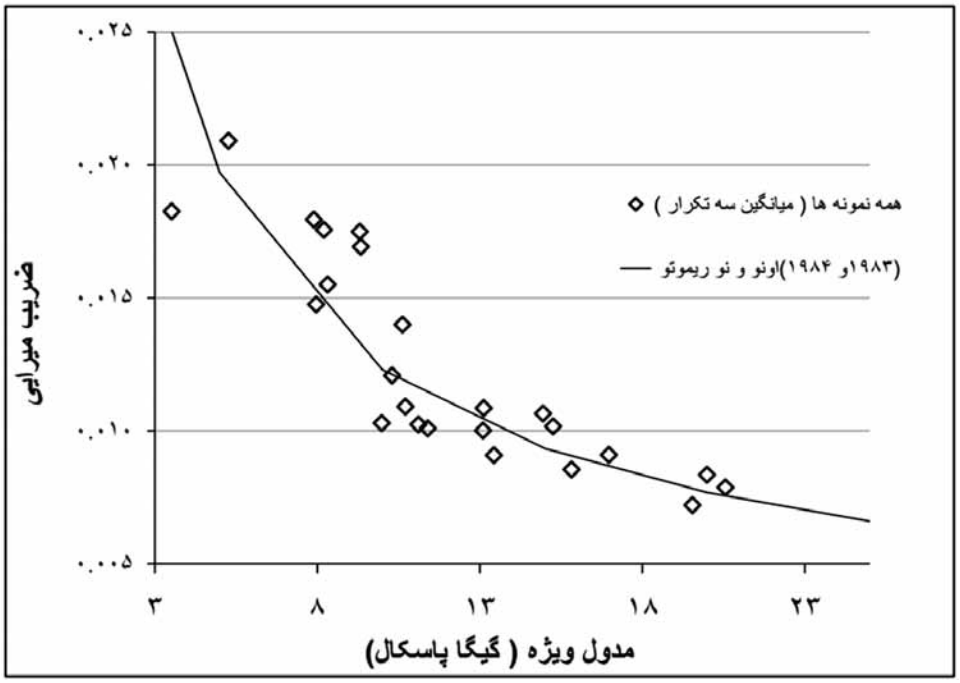
دانسیتهٔ نمونه‌های گردوی مورد مطالعه در محدوده ۰/٤٦ گرم بر سانتی‌متر مکعب (نمونهٔ C) تا ۰/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب (نمونهٔ Steamed) متغیر بودند ولی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند. حداقل و حداکثر مدول ویژه به‌ترتیب در یکی از نمونه‌های Out of Plane (۳/۵۲ گیگاپاسکال) و یکی از نمونه‌های Steamed (۲۰/۵٦ گیگاپاسکال) مشاهده شد. برای ضریب میرایی، حداقل و حداکثر مقادیر به ترتیب در یکی از نمونه‌های Best (۰/۰۰۷۲) و Out of Plane (۰/۰۲۰۹) مشاهده شد. تفاوت آماری معنی‌داری بین مقادیر مدول یانگ، مدول ویژه، و ضریب میرایی چوب های با درجه‌بندی سنتی مختلف مشاهده شد؛ اما انواع چوب (از لحاظ درون چوب و برون چوب) تاثیری در داده‌های اندازه گیری شده نداشت.

نمودار ۱، نشان دهندهٔ ارتباط بین مدول ویژه و ضریب میرایی برای تمام نمونه‌ها است. منحنی استاندارد از اونو و نوریموتو (۱۹۸٤ و ۱۹۸۳) انتخاب شده است؛ نمونه‌های گردوی آزمون شده مستقل از درون‌چوب یا برون‌چوب بودن یا درجه‌بندیشان، در کل در اطراف منحنی استاندارد پخش شده‌اند و از روند آن تبعیت می‌کنند. این نتایج با نتایج بدست آمده توسط تحقیقات ببلی بر گونه‌های دیگر (Bremaud, 2006 and 2011; Se Gol-payegani, 2011) نیز مطابقت داشت.

جدول۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس یک طرفه مربوط به مطالعات صوتی.

آزمون تجزیه واریانس یک طرفه				
فاکتورها	نوع چوب*		بر اساس درجه بندی	
	در سطح ۰/۰۵	در سطح ۰/۰۱	در سطح ۰/۰۵	در سطح ۰/۰۱
دانسیته (ρ)				
مدول یانگ (E)				*
مدول ویژه (E/ρ)				*
ضریب میرایی ($\tan\delta$)			*	

* نوع چوب: برون‌چوب و درون‌چوب



نمودار ۱- ارتباط بین مدول ویژه (گیگاپاسکال) و ضریب میرایی برای تمام نمونه‌های آزمون شده در این مطالعه. منحنی استاندارد از اونو و نوریموتو (۱۹۸۳ و ۱۹۸۴) اضافه شده است.

نمودارهای ۲ و ۳ به ترتیب مدول ویژه و ضریب میرایی اندازه‌گیری شده‌ی نمونه‌ها را بر اساس درجه‌بندی اساتید نشان می‌دهند.

مدول ویژه‌ی نمونه‌ها، تقریباً به سه دسته‌ی مشخص قابل تقسیم هستند (نمودار ۲):

- نمونه‌های دارای مدول ویژه‌ی بالاتر (از حداقل ۱۵ گیگاپاسکال تا حداکثر ۲۰ گیگاپاسکال)؛ شامل نمونه‌های با درجه‌بندی Bad, Best و Steamed.

-نمونه‌های با مدول ویژه‌ی متوسط (از حداقل ۱۱ گیگاپاسکال تا حداکثر ۱۵/۲۶ گیگاپاسکال)؛ شامل نمونه‌های با درجه‌بندی A, C و Old. نمونه های Old اعداد حداکثری را به خود اختصاص داده بودند.

- نمونه‌های با مدول ویژه‌ی نسبتاً حداقلی (کمتر از ۱۱ گیگاپاسکال)؛ شامل نمونه‌های با درجه‌بندی‌های سنتی پایین‌تر: Hswavy، Hsunbalanced و Out of plane.

ضریب میرایی نمونه‌های گردوی آزمون شده نیز در دو دسته قرار می‌گیرند (نمودار ۳):

-نمونه‌های با ضریب میرایی کمتر یا مساوی ۰/۰۱؛ این دسته شامل نمونه‌های با درجه‌بندی‌های Old, Bad, Best, A, C و Steamed می‌شوند.

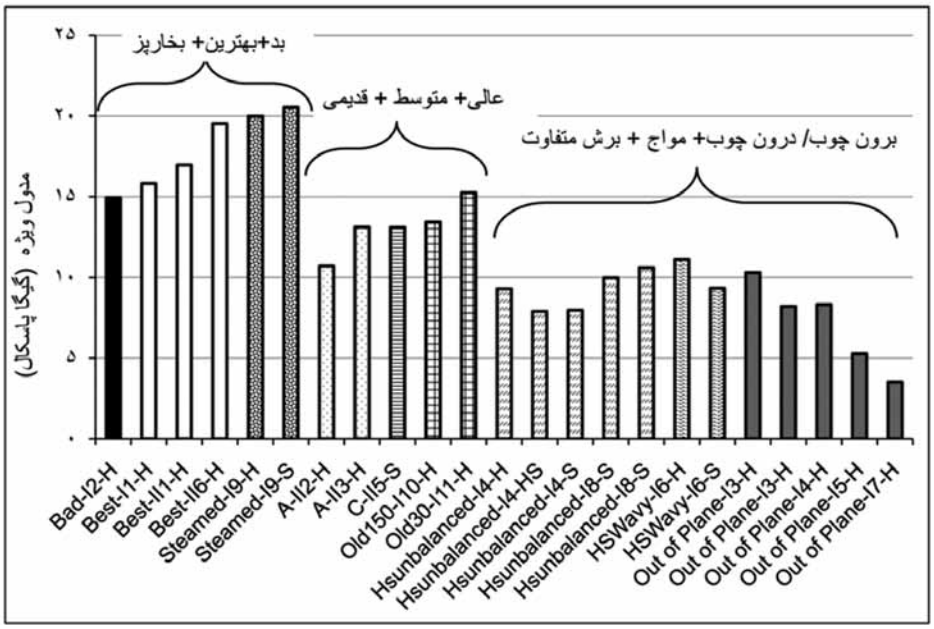
-نمونه‌های با ضریب میرایی بیشتر از ۰/۰۱؛ این دسته شامل نمونه‌های با درجه‌بندی‌های Hswavy Hsunbalanced, و Out of plane است.

با نگاهی دقیق‌تر به تصاویر ذکر شده، می توان درجه بندی سنتی اساتید را با مقادیر اندازه‌گیری شده به روش زیر تطبیق داد:

- تقریباً تمام نمونه‌های با درجهٔ کیفی بالاتر، مدول ویژه بالاتری هم داشتند (دو دسته اول در نمودار ۲). تیمار بخار، مدول ویژهٔ نمونه را بالا برد و آن را در حد نمونهٔ Best قرار داد. نمونه‌های Old، هر دو (۳۰ ساله و ۱۵۰ ساله)، مدول ویژه‌هایی در حد نمونهٔ Best داشتند و تفاوت‌ها بین مدول ویژهٔ نمونهٔ Best و C نیز ناچیز بود. نمونهٔ Bad، مدول ویژه‌ای در حد محدودهٔ پایینی نمونه‌های Best و Old داشت.

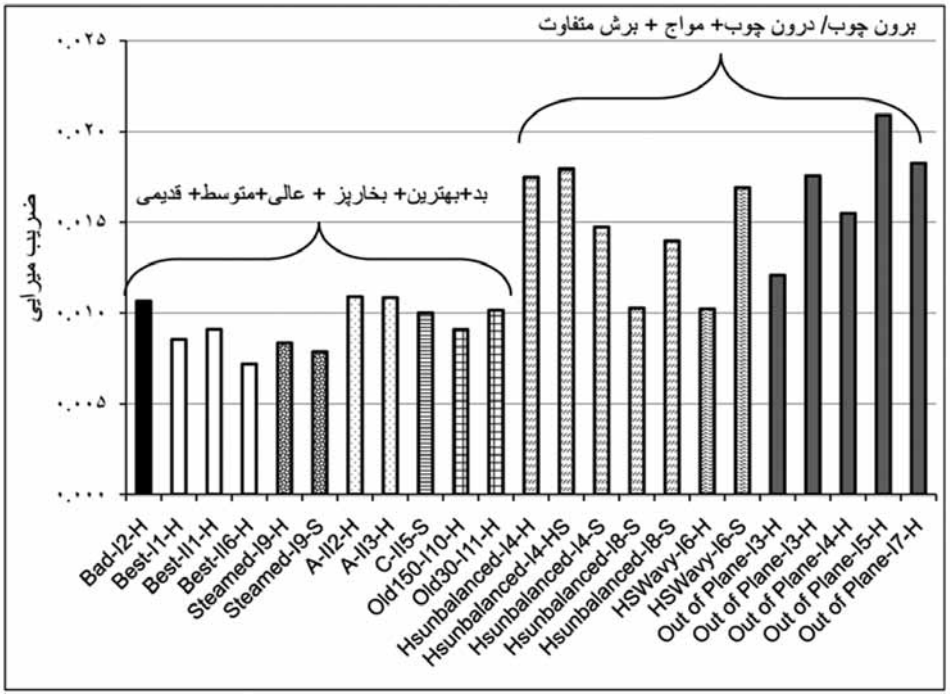
- تمام نمونه‌های کاربردی برای سنتورسازی میرایی‌های نزدیک به هم و پایین‌تری داشتند (دستهٔ اول در نمودار ۳). در اینجا هم، تیمار بخار باعث کاهش میرایی گردیده و ضریب میرایی آن به حد بهترین نمونه‌ها رسیده است. میرایی نمونهٔ Bad، همانند مدول ویژه‌اش، در حدود نمونه‌های Best و Old باقی می‌ماند وهرگز به حد نمونه‌های مشکل‌دار (نمونه‌های با ترکیب نامتعادل چوب درون و چوب برون و یا با برش متفاوت) نمی‌رسد.

- نمونه‌های Out of plane بالاترین میزان ضریب میرایی را در میان نمونه‌های آزمون شده دارا بودند. میزان این فاکتور در چوب‌هایی با درجه‌بندی (Hswavy, Hsunbalanced) متغیر بود. این نمونه‌ها گاهی ضریب میرایی بالایی در حد نمونه‌های Out of plane و گاهی ضریب میرایی پایین در حد نمونه‌هایی با بالاترین کیفیت‌ها (با وجود یکسان بودن مدول ویژهٔ نمونه‌ها) نشان می‌دادند. این موضوع در اغلب موارد از تفاوت در درصد چوب غالب و یا راست‌تار نبودن نمونه ناشی می‌شد. به این صورت که در محدودهٔ یکسانی از مدول ویژه، نمونه‌های راست‌تار با درصد چوب درون بیشتر ضریب میرایی کمتری را نسبت به نمونه‌های مواج با درصد چوب برون بیشتر نشان دادند.



نمودار ۲- دسته‌بندی مدول ویژه (گیگاپاسکال) بر اساس درجه‌بندی سنتی. کدهای محور افقی بر اساس جدول ۱ و به ترتیب عبارت از؛ کد درجه بندی، کد نمونه و کد نوع چوب هستند. تفاوت در دو داده نمونهٔ Hsunbalanced-I۸-S از اختلاف در جهت الیاف نمونه ناشی می‌شود.

همانطور که در مقدمه هم اشاره شد، چوب های شناخته شدهٔ مورد استفاده در سازهای زهی با مدول ویژهٔ بالا و ضریب میرایی نسبی پایین‌تر طبقه‌بندی می‌شوند (Bucur, 2006)، گرچه میزان دقیق این فاکتورها برای سازهایی از فرهنگ‌ها و مناطق جغرافیایی مختلف متفاوت است. برای مثال صنوبر مورد استفاده در ویولن، مدول ویژه‌ای در حد ۳۶-۲۶ گیگاپاسکال و ضریب میرایی بسیار پایینی دارد (Haines, 2000)؛ در حالی که توت مورد استفاده در سازهای زهی- مضرابی ژاپن (بیوا) و ایران (تار و سه تار)، مدول ویژهٔ متوسط و ضریب میرایی تقریباً بالاتری را دارا می‌باشد (Yoshikawa, 2007; Se Golpayegani et al., 2011). چوب گردوی آزمون‌شده نیز در درجات کیفی بالا از همین مشخصه پیروی کرد؛ گرچه ضریب میرایی میانگین آن غیر از در دو مورد نمونه‌هایBest و Steamed، بالاتر از میانگین معمول سازهای زهی اروپایی قرار می‌گرفت (Bucur, 2006; We-gst, 2006).



نمودار ۳- دسته بندی ضریب میرایی بر اساس درجه بندی سنتی. کدهای محور افقی بر اساس جدول ۱ و به ترتیب عبارت از کد درجه بندی، کد نمونه و کد نوع چوب هستند. تفاوت در دو داده نمونه Hsunbalanced-I۸-S از اختلاف در جهت الیاف نمونه ناشی می شود.

تیمار بخاردهی اثر مثبتی بر روی نمونه‌ها داشت و مقادیر دو فاکتور اصلی را به حد نمونه‌های با بالاترین کیفیت رساند. تیمار با آب، در دمای بالا یا بدون آن همواره سبب تغییر در خواص مکانیکی چوب شده است (Gerhard, 1982; Kubojima et al. 2005). دمای بالا به تنهایی سبب افزایش ضریب میرایی و کاهش مدول ویژه می شود، اما در حضور رطوبت، به علت حضور آب به عنوان یک ماده تیمارگر- استخراجگر (با امکان خروج مواد استخراجی محلول در آب گرم) تأثیر خالص دما، به تاثیری متعادل تغییر می‌یابد. روح‌نیا و همکاران (۲۰۱۱)، نیز همین اثر کاهشی در ضریب میرایی چوب گردوی ایرانی را بر اثر تیمارهای غرقابی مشاهده کردند؛ گرچه تغییرات مدول ویژه به سمت بالاتر در آن‌جا دیده نشد.

تمایل استادکاران در استفاده از چوب‌های قدیمی برای ساخت سازهای جدید، با داده‌های به دست آمده در این مطالعه قابل توجیه و تطبیق است. در تمام موارد، دو نمونه چوب ۳۰ و ۱۵۰ ساله مجموعه‌ای از بهترین خصوصیات را به نمایش گذاشتند. چوب پیر، چه از زمان برشش مدت زمانی طولانی گذشته و توسط استادکاران جهت استفادهٔ بعدی سال‌ها نگه‌داری شده باشد، و چه در گذشته کاربری دیگری داشته (درب، پنجره، کمد و ...) و در کاربری ثانویه به صورت ساز درآمده باشد، همواره کیفیت صوتی بهتری را نسبت به چوب تازه برش خورده نشان می‌دهد. این امر را محققان تا حدی به رسیدن چوب به رطوبت متعادل محیطی و تغییرات در ساختار شیمیایی همی‌سلولزها در اثر گذشت زمان مربوط دانسته‌اند (Wegst, 2006; Noguchi et al., 2011). "خوش‌صداتر شدن ساز پس از چندین سال نواختن"، آنگونه که در میان نوازندگان مرسوم و معروف است، احتمالاً از همین تغییرات رطوبتی و شیمیایی درون ساختاری چوب ساز سرچشمه می‌گیرد.

نمونهٔ با درجه‌بندی Bad، تنها نمونه‌ای بود که بر اساس داده‌های به دست آمده در این مطالعه قابلیت تطبیق با درجه‌بندی سنتی‌اش را نداشت. هر سه فاکتور اصلی (دانسیته، مدول ویژه و ضریب میرایی) این نمونه در حد نمونه‌های با کیفیت متوسط و بالا ارزیابی شد. با این حال با توجه به اطلاعات موجود در جدول۲، درجه بندی سنتی این نمونه بیش از آن که به کیفیت آکوستیکی چوب گردو مرتبط باشد، به جهت‌یابی صفحه و نحوه برش کلی مربوط می‌شد؛ با توجه به اینکه در این مطالعه تنها نمونه‌های سالم کوچک آزمون شدند، امکان بررسی نحوهٔ برش صفحهٔ کامل بر خواص نهایی ساز وجود نداشت.

نهایتاً در این تحقیق، آزمون ۱۶ نمونه گردوی مناسب برای سنتورسازی با درجه‌بندی‌های سنتی مختلف، از بدترین کیفیت تا بهترین، به روش ارتعاش خمشی منجر به جمع‌آوری نتایج زیر شد:

چوب گردوی مورد استفاده در سنتورسازی ایران، خواص کلی چوب‌های مناسب برای سازهای زهی مضرابی را نشان داد: مدول ویژهٔ بالا و ضریب میرایی نسبی پایین.

درجه‌بندی سنتی در اکثر موارد با نتایج اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی مطابقت داشت؛ درجات بالا و پایین اختلافات مشهودی را داشتند. ولی تفاوت‌ها بین درجات بالا ناچیز و خط مرزی نامشخص بود. این موضوع بر اهمیت برش، طرح صفحهٔ رویی، خصوصیات ظاهری و رنگ بر تعیین درجه از نظر استاد کار صحه گذاشت.

نمونه‌های تیمارشده (بخارپزشده و پیر، اگر پیر شدن را یک تیمار طبیعی به شمار آوریم)، کیفیت ارتعاشی بالا و نزدیک به بهترین درجات را نشان دادند. این موضوع تأثیر مثبت تیمارهای تجربی استادکاران سنتورساز را در بهبود کیفیت چوب گردو اثبات کرد.

بررسی‌های انجام شده، نشان از تطابق درجه‌بندی تجربی استادکاران با خواص حقیقی آکوستیکی چوب گردو داشت. نگارندگان در ادامهٔ این مطالعه، در حال تحقیق دربارهٔ امکان ارتباط خواص درون ساختاری و آناتومیکی با ویژگی‌های ارتعاشی نمونه‌های با درجات مختلف هستند. در آینده، تلاش برای آزمون کردن صفحات کامل سنتور (به جای نمونه‌های کوچک) در جهت آگاهی به تاثیر برش و جهت‌یابی صفحات در آوای نهایی ساز، بررسی اتصالات صفحات، خرک‌ها، نقش صفحهٔ پشتی و فرکانس ضربهٔ مضراب، برای دست یافت به تصویری کامل و جامع از این ساز سنتی ایرانی ضروری است.

سپاسگزاری

گروه نویسندگان سپاسگزار مشورت و همکاری اساتید سازنده ساز: استاد صمد زارع مهذبیه، استاد امیر مسعود فلاح و استاد حسن غفوری، در تهیه مواد اولیه و درجه بندی سنتی نمونه‌ها هستند.

پی نوشت ها

۱ Juglans regia : گردو.

۲ Chordophones : سازهای زهی.

۳ (E/ρ GPa) : مدول ویژه.

٤ tanδ : ضریب میرایی.

٥ $R=\sqrt{E^3/\rho}$: ضریب ارتعاشی.

٦ Xylophones : سازهای کوبه‌ای.

۷ Frame–board: صفحه قاب.

فهرست منابع

Aramaki, M, Baillères, H, Brancheriau, L, Kronland-Martinet, R, Ystad, S(2007), Sound quality assessment of wood for xylophone bars, *Journal of the Acoustical Society of America*, 121,p13.

Brancheriau, L, Baillères, H, Détienne, P, Gril, J, 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*, vol 52,3,p3.

Bremaud, I(2006), *Diversity of woods used or usable in musical instruments making (In French)*, PhD thesis, University of Montpellier II, Montpellier, France, p302.

Bremaud, I(2012), Acoustical properties of wood in string instruments, soundboards and tuned idiophones: biological and cultural diversity, *J Acoust Soc Am*, vol 131, 1, p11.

Bucur, V(2006), *Acoustics of wood*, Springer,Germany.

Fletcher, N.H, Rossing, T.D(1998), *The physics of musical instruments*, Springer, Germany.

Gerhards, C.C(1982), Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: an analysis of immediate effects, *Wood Fiber*, vol 14, p32.

Gril, J, Bremaud, I(2007), *Interest of some local secondary species for instrunebt making*, (in French), The conference of better evaluation of secondary species for artisanal use, 7 June, Montpellier, France.

Haines, D.W(2000), The essential mechanical properties of wood prepared for musical instruments, *Catgut Acoustical Society Journal*, vol 4(two (series II)), p12.

Kubojima, Y, Suzuki, Y, Tonosaki, M(2005), Vibrational properties of green wood in high-temperature water vapor, *Holzforschung*, vol 59, 4, p4.

Noguchi, T, Obataya, E, Ando, K(2011), *Effects of ageing on the vibrational properties of akamatsu (Pinus densiflora) wood*, Wood Culture and Science, Kyoto, Japan.

Ono, T, Norimoto, M(1983), Study on Young's modulus and internal friction of wood in relation to the evaluation of wood for musical instruments, *Jpn J Appl Phys*, vol 22, p3.

Ono, T, Norimoto, M(1984), On physical criteria for the selection of wood for soundboards of musical instruments, *Rheol Acta*, vol 23, p4.

Roohnia, M, Hashemi-dizaji, S.F, Brancheriau, L, Tajdini, A, Hemmasi, A.M, Manouchehri, N (2011), Effect of soaking process in water on the acoustical quality of wood for traditional musical instruments, *Bioresources*, vol 6, 2, p10.

Se Golpayegani, A, Brémaud, I, Gril, J, Thévenon, M.F, Arnould, O, Pourtahmasi, K(2011), Effect of extractions on dynamic mechanical properties of white mulberry (Morus alba L.), *J wood Sci*, vol 58, 2, DOI: 10.1007/s10086-011-1225-7.

Wegst, U(2006), Wood for sound, *American Journal of Botany*, vol 93, 10, p9.

Yoshikawa, S(2007), Acoustical classification of woods for string instruments, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol 122, p5.