

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

سیده زهر اشرفی 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: ۹۱/۷/۱۶، 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 این باره 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: ۰۰۳-۴۴۴۳۳۰۰۲، نمابر: ۰۰۲۶-۳۲۲۲۷۷۶۵، E-mail: aida.golpayegani@gmail.com

مقدمه

توت سفید ایران) بین مدول ویژه و ضریب میرایی همان رابطه 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 (۲۰۰۶)، چندین گونهٔ چوبی مشهور مورد استفاده در سازهای زهی را بررسی کرد و نتیجه گرفت که تمام آن گونه‌ها ضریب ارتعاشی^۱ 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 (۲۰۰۶)، طبقه‌بندی گونه‌های چوبی کاربردی در سازهای کوبه‌ای^۲ را بوسیلهٔ تجزیه و تحلیل پردازش ادراکی، سیگنالی و آناطومیکی چوب بررسی کردند؛ در این تحقیق نیز بر اهمیت تجربهٔ عملی سازندگان ابزار آلات 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^۳ 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 نمی‌یابد. استادکاران با پشتوانهٔ سالیان تجربه، قادر به انتخاب بهترین چوب برای ساخت آلات موسیقی خود هستند. با این حال، دانش علمی در این باره 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 در نهایت؛ درک

چوب گردو^۱ 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، رنگ‌پذیری و قابلیت‌کنده‌کاری خوب، در صنایع گوناگون از جمله مبلمان گران‌قیمت، تزئینات، ساخت پارکت، مدل‌سازی، روکش‌سازی و... کاربرد دارد. چوب گردو در ساخت ابزار آلات 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 به کار 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^۲ 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 نوزنقه‌ای 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 به‌کاررفته 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 ویژه^۳ (مدول یانگ در واحد دانسیته) بالا و ضریب میرایی^۴ (نشانگری از سرعت جذب صوت در

یک گونهٔ چوبی خاص) پایین، از خصوصیات تعیین‌کنندهٔ 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 ۱۹۸۴)، با آزمون کردن ۳۰ گونهٔ پهن‌برگ و تعداد بیشتری سوزنی‌برگ برای اولین بار این رابطه را مشاهده کردند و اعلام کردند که این رابطه مستقل از نوع گونهٔ چوبی و دانسیته می‌باشد. برمود (۲۰۰۶) و س گلپایگانی و دیگران (۲۰۱۱) هم با بررسی خصوصیات فیزیکی- مکانیکی گونه‌های مختلف موسیقیایی (به‌ترتیب پادوک آفریقا و

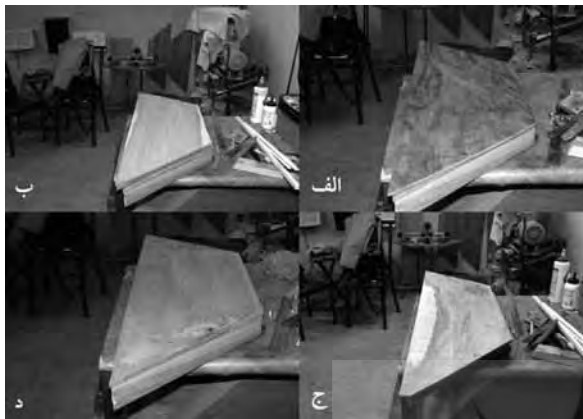
گردو، در درجات مختلف (طبقه‌بندی سنتی)، از کارگاه دو تن از استادکاران حرفه‌ای جمع‌آوری گردیده و پس از اندازه‌گیری خواص صوتی- مکانیکی آنها، طبقه‌بندی علمی با درجه‌بندی سنتی مطابقت داده شد.

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

روش تحقیق

ماده اولیه مورد استفاده، جمع‌آوری نمونه‌ها و درجه‌بندی سنتی

گونه مورد مطالعه در این تحقیق گردو می‌باشد. ۱۱ نمونه چوبی از کارگاه سنتورسازی استاد فلاح در تهران (سری I) و ۵ نمونه از کارگاه سنتورسازی استاد غفوری در رشت (سری II) تهیه شدند. همه 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، به صورت خشک‌شده از عراقات (مناطق خشک) به کارگاه ایشان آورده و پس از طی فرآیندی برای استفاده مناسب می‌شوند. اساتید نمونه‌ها را بر اساس نظر و تجربه خود طبقه‌بندی کردند (جدول ۱).



تصویر ۲- صفحات رویی سنتور: الف، ب، ج و د که به ترتیب نمونه‌های با کد ۸، ۷، ۳ و ۱۰ تهیه شده از کارگاه استاد فلاح می‌باشند.

جدول ۱- شرح خصوصیات و درجه‌بندی سنتی نمونه‌های استفاده شده در این مطالعه.

کد نمونه	شرح	سازنده	درجه‌بندی کیفی	شرح درجه‌بندی
11	برش شعاعی / راست‌تار / منبع کردستان / ۶-۵ سال از زمان قطع	فلاح	Best	بهترین (بهتر از A)
12	برش مماسی / منبع کردستان / ۶ سال از زمان قطع / از درختان کم‌قطر یا جوان	فلاح	Bad	بد (از لحاظ ساختاری و برش صفحه)
13	دارای برش متفاوت / ۸ سال از زمان قطع	فلاح	Out of Plane	برش متفاوت
14	دارای برش متفاوت / ۶ سال از زمان قطع	فلاح	HSunbalanced	ترکیب نامتعادلی از چوب برون و چوب درون
15	دارای برش متفاوت / ۶ سال از زمان قطع	فلاح	Out of Plane	برش متفاوت
16	برون چوب و درون چوب / موج و براق / صدای خوب از نظر استادکار	فلاح	HSwavy	درون چوب + برون چوب موج دار
17	درخت با قطر کم / دو طرف برون چوب دارد / ۶ سال از زمان قطع	فلاح	Out of Plane	برش متفاوت
18	برون چوب و درون چوب نامتعادل / ۶ سال از زمان قطع	فلاح	HSunbalanced	ترکیب نامتعادلی از چوب برون و چوب درون
19	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
110	درب کهنه / منبع عراق / ۲۰۰-۱۵۰ سال از زمان قطع	فلاح	Old 150	۱۵۰ ساله

۳۰ ساله	Old 30	فلاح	مربوط به مرحوم ملکی / منبع نامشخص / ۳۰ سال از زمان قطع	II1
بهترین (بهتر از A)	Best	غفوری	مربوط به مناطق خشک	III1
عالی	A	غفوری	مربوط به مناطق خشک	II2
عالی	A	غفوری	مربوط به مناطق خشک	II3
کیفیت متوسط (بهتر از Bad)	C	غفوری	گردوی گیلان	II4
بهترین (بهتر از A)	Best	غفوری	مربوط به مناطق خشک	II5

مطالعات صوتی

(اساسی) مربوط به گونه در ابتدا مشخص نیست، در ابتدا دستگاه فرکانس‌های بین ۱۵۰ تا ۷۵۰ هرتز (که مدول ویژه‌ای برابر ۳ تا ۴ گیگاهاسکال را دربرمی‌گیرد) را اسکن می‌کند که در این آزمون، محدوده فرکانسی بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ هرتز تعیین شد. پس از اعمال ارتعاش، تغییر مکان توسط یک حس‌گر غیرتماسی اندازه‌گیری می‌شود. برنامه‌ای تحت نرم‌افزار لب و 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 محدوده 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 محدوده 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 با روش تجزیه واریانس یک طرفه (در سطح آلفا برابر ۰/۰۵ و ۰/۰۱) بررسی شدند.

برای بررسی‌های صوتی، نمونه‌ها به ابعاد $15 \times 1 \times 0.1$ 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 100°C و اندازه‌گیری وزن و ابعاد آنها
- قرار دادن آنها در اتاق کليما تیزه به مدت ۳ هفته در دما و رطوبت نسبی به ترتیب $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و $5\% \pm 6\%$ 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 نتیجه نهایی تأثیری نمی‌گذارد) به یک انتهای نمونه چسبانده می‌شود؛ سپس نمونه بر روی دو تکیه‌گاه کشسان قرار داده می‌شود، طوریکه قطعه آهنی در برابر آهنربای الکترونیکی تحمیلگر ارتعاش قرار می‌گیرد. از آنجا که فرکانس اصلی

نتیجه

در ادامه در جدول ۳، نتایج آنالیز آماری داده‌ها آورده شده است.

جدول ۲، میانگین مجموعه ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی اندازه‌گیری شده برای کلیه نمونه‌های این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی نمونه‌های مورد مطالعه (H: درون چوب، S: برون چوب، p: دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، E: مدول یانگ (کیکا- پاسکال)، E/p: مدول ویژه (کیکا پاسکال)، $\tan\delta$: ضریب میرایی).

درجه بندی	کد نمونه	وضعیت چوب*	Dانسیته (گرم بر سانتی- متر مکعب)	E مدول یانگ (کیکا- پاسکال)	E/p مدول ویژه (کیکا- پاسکال)	ضریب میرایی $\tan\delta$
Best	I_1	H	۰/۴۸	۷/۶۲	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

-/۰.۱۷۵	۹/۳۱	۵/۲۵	-/۰.۵۶	H	I_4	HSunbalanced
-/۰.۱۷۹	۷/۸۹	۴/۲۶	-/۰.۵۴	HS	I_4	HSunbalanced
-/۰.۱۴۸	۷/۹۷	۴/۰۹	-/۰.۵۱	S	I_4	HSunbalanced
-/۰.۱۵۵	۸/۳۲	۴/۸۲	-/۰.۵۸	H	I_4	Out of Plane
-/۰.۲۰۹	۵/۲۷	۳/۴۲	-/۰.۶۵	H	I_5	Out of Plane
-/۰.۱۰۲	۱۱/۱۱	۵/۶۰	-/۰.۵۰	H	I_6	HSwavy
-/۰.۱۶۹	۹/۳۴	۵/۳۷	-/۰.۵۸	S	I_6	HSwavy
-/۰.۱۸۳	۳/۵۲	۲/۰۴	-/۰.۵۸	H	I_7	Out of Plane
-/۰.۱۰۳	۹/۹۹	۶/۸۶	-/۰.۶۹	H	I_8	HSunbalanced
-/۰.۱۴۰	۱۰/۶۲	۶/۸۰	-/۰.۶۴	S	I_8	HSunbalanced
-/۰.۰۸۳	۱۹/۹۹	۱۴/۹۰	-/۰.۷۵	H	I_9	Steamed
-/۰.۰۷۹	۲۰/۵۶	۱۲/۶۹	-/۰.۶۲	S	I_9	Steamed
-/۰.۰۹۱	۱۳/۴۳	۹/۷۱	-/۰.۷۲	H	I_10	Old 150
-/۰.۱۰۲	۱۵/۳۶	۱۰/۱۳	-/۰.۶۶	H	I_11	Old 30
-/۰.۰۹۱	۱۶/۹۷	۱۰/۸۳	-/۰.۶۴	H	II_1	Best
-/۰.۱۰۹	۱۰/۷۱	۶/۹۴	-/۰.۶۵	H	II_2	A
-/۰.۱۰۹	۱۳/۱۲	۹/۱۵	-/۰.۷۰	H	II_3	A
-/۰.۱۰۰	۱۳/۱۰	۶/۰۸	-/۰.۴۶	S	II_4	C
-/۰.۰۷۲	۱۹/۵۴	۱۱/۴۶	-/۰.۵۹	H	II_5	Best

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

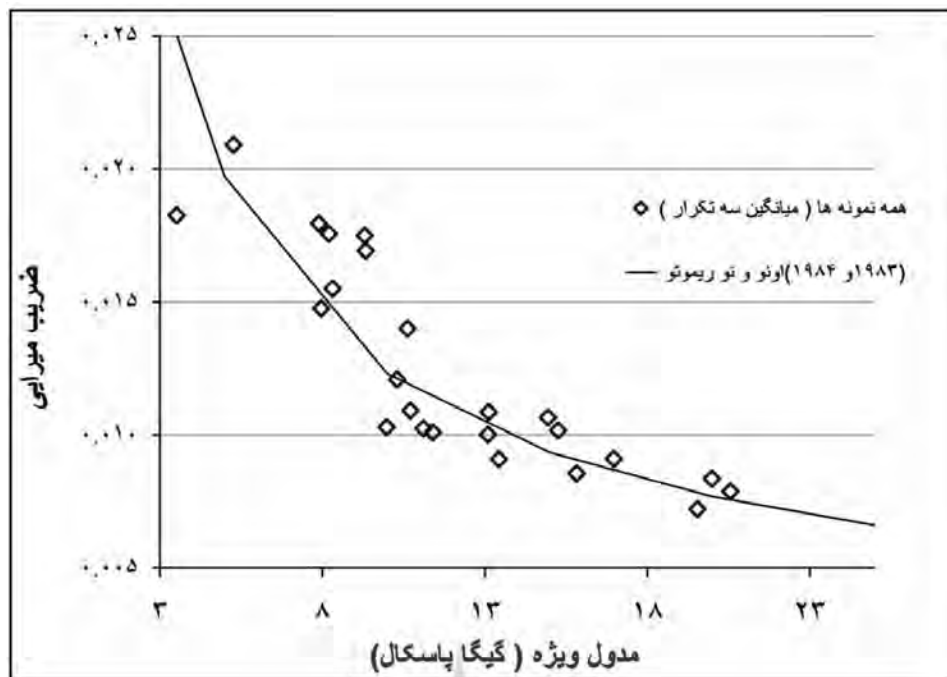
شد؛ اما انواع چوب (از لحاظ درون چوب و برون چوب) تأثیری در داده‌های اندازه‌گیری شده نداشت. نمودار ۱، نشان دهنده ارتباط بین مدول ویژه و ضریب میرایی برای تمام نمونه‌ها است. منحنی استاندارد از اونو و نوریموتو (۱۹۸۳ و ۱۹۸۴) انتخاب شده است؛ نمونه‌های گردوی آزمون شده مستقل از درون چوب یا برون چوب بودن یا درجه‌بندی‌شان، در کل در اطراف منحنی استاندارد پخش شده‌اند و از روند آن تبعیت می‌کنند. این نتایج با نتایج بدست آمده توسط تحقیقات بلی بر گونه‌های دیگر (Bremaud, 2006 and 2011; Se Gol-payegani, 2011) نیز مطابقت داشت.

دانسیتة نمونه‌های گردوی مورد مطالعه در محدوده ۰/۴۶ تا ۰/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب (نمونه C) تا ۰/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب (نمونه Steamed) متغیر بودند ولی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشتند. حداقل و حداکثر مدول ویژه به ترتیب در یکی از نمونه‌های Out of Plane (۳/۵۲ گیگاپاسکال) و یکی از نمونه‌های Steamed (۲۰/۵۶ 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 چوب‌های با درجه‌بندی سنتی مختلف مشاهده

جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس یک طرفه مربوط به مطالعات صوتی.

آزمون تجزیه واریانس یک طرفه				
فاکتورها	نوع چوب*			
	در سطح ۰/۰۵	در سطح ۰/۰۱	در سطح ۰/۰۵	در سطح ۰/۰۱
دانسیتة (ρ)				
مدول یانگ (E)				*
مدول ویژه (E/ρ)				*
ضریب میرایی (tanδ)			*	

* نوع چوب: برون چوب و درون چوب



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

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

- تمام نمونه‌های کاربردی برای سنتورسازی میرایی‌های نزدیک به هم و پایین‌تری داشتند (دسته اول در نمودار ۳). در اینجا هم، تیمار بخار باعث کاهش میرایی گردیده و ضریب میرایی آن به حد بهترین نمونه‌ها رسیده است. میرایی نمونه Bad، همانند مدول ویژه‌اش، در حدود نمونه‌های Old و Best باقی می‌ماند و هرگز 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 پایینی در حد نمونه‌هایی بالاترین کیفیت‌ها (با وجود یکسان بودن مدول ویژه 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 محدوده یکسانی از مدول ویژه، نمونه‌های راست‌تار با درصد چوب درون بیشتر ضریب میرایی کمتری را نسبت به نمونه‌های موج با درصد چوب برون بیشتر نشان دادند.

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. نمونه‌های Old اعداد حداکثری را به خود اختصاص داده بودند.

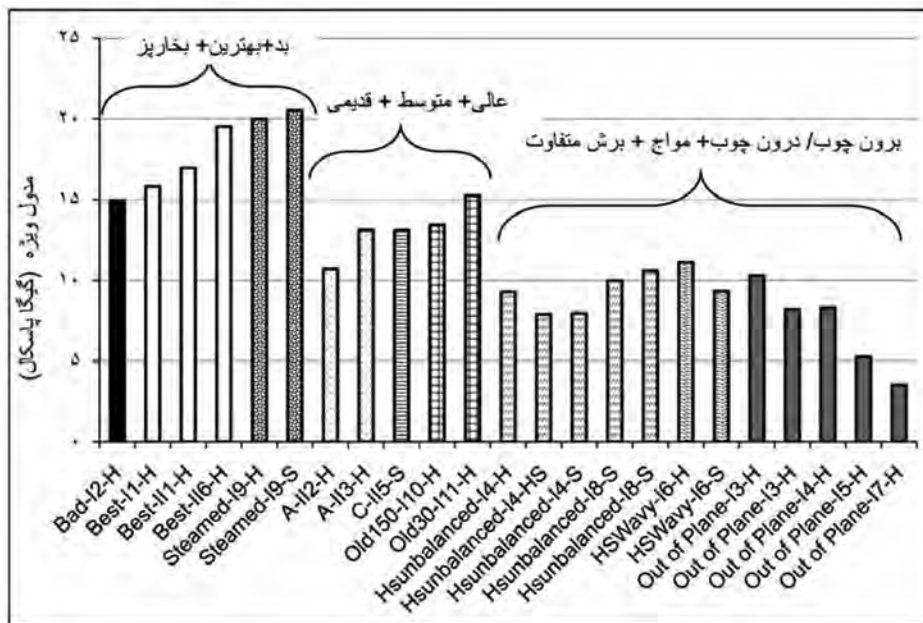
- نمونه‌های با مدول ویژه‌ی نسبتاً حداقلی (کمتر از ۱۱ گیگاپاسکال): شامل نمونه‌های با درجه‌بندی‌های سنتی پایین‌تر: Hswavy, Hsunbalanced و Out of plane.

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, C, A, Best, Bad و Steamed می‌شوند.

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

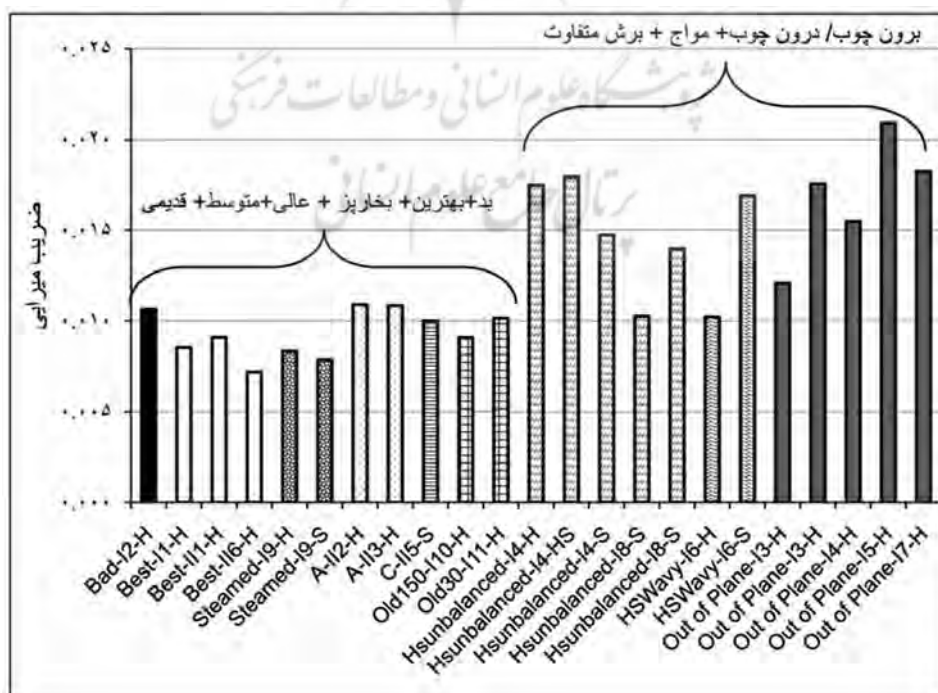
با نگاهی دقیق‌تر به تصاویر ذکر شده، می‌توان درجه بندی سنتی اساتید را با مقادیر اندازه‌گیری شده به روش زیر تطبیق داد:



نمودار ۲- دسته بندی مدول ویژه (گیگاپاسکال) 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 *S-Hsunbalanced-14* از اختلاف در جهت الیاف نمونه ناشی می شود.

مورد استفاده در سازهای زهی- مضرابی ژاپن (بیوا) و ایران (تار و سه تار)، مدول ویژه متوسط و ضریب میرایی تقریباً بالاتری را دارا می باشد (Yoshikawa, 2007; Se Golpayegani et al., 2011). چوب گردوی آزمون شده نیز در درجات کیفی بالا از همین مشخصه پیروی کرد؛ گرچه ضریب میرایی میانگین آن غیر از در دو مورد نمونه های *Best* و *Steamed*، بالاتر از میانگین معمول سازهای زهی اروپایی قرار می گرفت (Bucur, 2006; We-gst, 2006).

همانطور که در مقدمه هم اشاره شد، چوب های شناخته شده مورد استفاده در سازهای زهی با مدول ویژه بالا و ضریب میرایی نسبی پایین تر طبقه بندی می شوند (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 ویژه ای در حد ۲۶-۳۶ گیگاپاسکال و ضریب میرایی بسیار پایینی دارد (Haines, 2000)؛ در حالی که توت



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 *S-Hsunbalanced-14* از اختلاف در جهت الیاف نمونه ناشی می شود.

نمونه‌های سالم کوچک آزمون شدند، امکان بررسی نحوه برش صفحه 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 ویژه 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 صفحه رویی، خصوصیات ظاهری و رنگ بر تعیین درجه از نظر استاد کار صحنه گذاشت.

نمونه‌های تیمارشده (بخارپز شده 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 ادامه این مطالعه، در حال تحقیق درباره 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 تأثیر برش و جهت‌یابی صفحات در آوای نهایی ساز، بررسی اتصالات صفحات، حرکات، نقش صفحه پشتی و فرکانس ضربه 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 مهدیه، استاد امیر مسعود فلاح و استاد حسن غفوری، در تهیه مواد اولیه و درجه بندی سنتی نمونه‌ها هستند.

تیمار بخاردهی اثر مثبتی بر روی نمونه‌ها داشت و مقادیر دو فاکتور اصلی را به حد نمونه‌های 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 می‌شود، 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 تأثیری متعادل تغییر می‌یابد. روح‌نیا و همکاران (۲۰۱۱)، نیز همین اثر کاهش 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 استفاده 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 همی سلولزها 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.

نمونه با درجه بندی Bad، تنها نمونه‌ای بود که بر اساس داده‌های به دست آمده در این مطالعه قابلیت تطبیق با درجه بندی 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 جدول ۲، درجه بندی سنتی این نمونه بیش از آن که به کیفیت آکوستیکی چوب گردو مرتبط باشد، به جهت‌یابی صفحه و نحوه برش کلی مربوط می‌شود؛ با توجه به اینکه در این مطالعه تنها

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.

پی‌نوشت‌ها

۱ Juglans regia : گردو.

۲ Chordophones : سازهای زهی.

۳ (E/ρ GPa) : مدول ویژه.

۴ tanδ : ضریب میرایی.

۵ R=√E³/ρ : ضریب ارتعاشی.

۶ 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