بررسی خواص آکوستیکی چوب توسط آزمون ارتعاش آزاد تیر دوسرگیردار در چوب کاج جنگلی

صابر یغمائی پور[1]، مهران روح نیا[2*]

تاریخ دریافت: 90/6/7 تاریخ پذیرش: 90/11/12

چکیده

در این تحقیق اثر ثابت‌نمودن دو سر نمونه بر روی امکان اندازه‌گیری خواص‌آکوستیکی (کارایی تبدیل‌آکوستیک، میرایی-ارتعاش و ضریب‌آکوستیک) تیرهای کاج‌جنگلی *(Pinus sylvestris L.)* در دو جهت مماسی و شعاعی، توسط روش ارتعاش‌آزاد مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. جهت انجام این آزمون تعداد 19 قطعه تیر چوبی با سطح مقطع مستطیل‌شکل کاملا راست‌تار و بدون هرگونه عیب ظاهری مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO شماره 3129 با ابعاد 36×2×2 سانتی‌متر (طول×عرض×ارتفاع) از چوب گونه کاج‌جنگلی تهیه و تحت آزمون غیرمخرب ارتعاش‌آزاد خمشی قرار گرفتند. اثر گیردار-کردن دو سر تیرچوبی برروی سه فاکتور مذکور با نتایج حاصل‌از همین آزمون در حالت دوسرآزاد مورد مقایسه قرار گرفت. گیردارکردن دو سر تیر باعث افزایش میرایی ارتعاش در مقایسه با نتایج حاصل‌از آزمون خمش آزاد در تیر دو سر آزاد شد. در ارتباط با ضریب‌آکوستیک، گیردارنمودن دو سر تیر تاثیر چندانی بر فاکتور مذکور در مقایسه با حالت دوسرآزاد به‌وجود نیاورد و نتایج حاصله تفاوتی را در دو حالت دوسرآزاد و دوسرگیردار نشان ندادند. اما نتایج حاصل‌از برآورد کارایی تبدیل‌آکوستیک در حالت دوسرگیردار حاکی‌از نامناسب‌بودن روش ارتعاش‌آزادخمشی در تیر دوسرگیردار برای ارزیابی این فاکتور می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آزمون غیرمخرب، تیر دوسرگیردار، میرایی‌ارتعاش، ضریب‌آکوستیک، کارایی تبدیل‌آکوستیک

1- دانشجوی کارشناسی‌ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

2- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحدکرج، * مولف مسوول mehran.roohnia@ kiau.ac.ir

مقدمه

آزمون غیرمخرب[1] یکی از روش‌های بررسی خواص‌مکانیکی مواد می‌باشد که به‌دلیل متنوع-بودن تکنیک‌های مورداستفاده در این آزمون و کارایی آنها، می‌تواند در آینده از پرکاربردترین روش‌های ارزیابی و بررسی خواص مواد مطرح گردد. حفظ و عدم‌تخریب ماده و نیز ارزیابی سریع‌تر نسبت‌به آزمون‌های مخرب از ویژگی‌های این روش می‌باشد[4]. این آزمون‌ها شامل روش-های بازرسی‌چشمی، اشعه x، مافوق‌صوت، آکوستیک، ارتعاشات و امثال آن می‌باشد. همان-طورکه بیان گردید استفاده‌از این آزمون‌ها بر-خلاف آزمون‌های استاتیک باعث شکست نمونه نشده، و زمان تلف‌شده‌ی کمتری را نیز در پی-دارند[4].

یکی از روش‌های غیرمخرب و پرکاربرد در تعیین خواص‌آکوستیکی چوب آزمون ارتعاش‌آزاد می‌باشد[11] که توسط این روش ارزیابی خواص‌مکانیکی نمونه‌آزمونی در حالت‌های دو-سرآزاد و یک‌سرگیردار با سهولت امکان‌پذیر می-باشد [2]. به‌طوری‌که خصوصیات آکوستیکی چوب ازقبیل مدول‌الاستیسیته‌یی‌ویژه، اصطکاک-داخلی، میرایی‌ارتعاش و کارایی‌تبدیل‌آکوستیک چوب پیش‌از این توسط بسیاری‌از محققین با-استفاده از تکنیک مذکور مورد ارزیابی قرارگرفته-است[11]. تاکنون تاثیر سه فاکتور میرایی‌ارتعاش، ضریب‌آکوستیک و کارایی‌تبدیل‌آکوستیک برروی کیفیت و کارایی صفحات تشدید صدا به‌اثبات رسیده‌است. به‌طوری‌که محققان اعتقاد دارند جهت کاربرد بهینه چوب در صفحات مذکور باید میرایی‌چوب پایین و ضریب‌آکوستیک و کارایی تبدیل‌آکوستیک آن بالا باشد [13]. لازم‌به‌ذکراست نتایج حاصل‌از تحقیقات این محققین توسط آزمون‌ارتعاش خمشی در تیر دوسرآزاد انجام‌شده که در ادامه به نتایج برخی از آنها اشاره شده‌است.

بادیگ و جین[2] در سال 1982 روابط و مدل‌های مناسبی برای تعیین مدول‌الاستیسیته دینامیک به‌روش ارتعاش‌تیردوسرآزاد، دوسرگیردار و یک-سرگیردار و همچنین اندازه‌گیری مدول‌الاستیسیته به‌روش خمش‌استاتیک معرفی کردند [3].

تسومیس[3] در سال 1991 بیان کرد که ضریب-آکوستیک می‌تواند ملاک مناسبی برای انتخاب چوب مورداستفاده در ادوات‌موسیقی باشد [12]. اوبایاتا[4] و همکاران در سال 2000 اعلام‌کردند که چوب‌های مناسب برای استفاده‌در صفحات‌صدا باید از کارایی تبدیل‌آکوستیک (ACE) بالایی برخوردار باشند [8]. راجینیران[5] و همکاران در سال 2005 فاکتورمیرایی و مدول‌الاستیسیته‌ویژه را به‌عنوان پارامترهای مهم در انتخاب چوب مناسب برای ساخت زیلوفون‌سنتی تایلند معرفی نمودند [9]. وگست[6] و همکاران در سال 2006 با بررسی خواص‌آکوستیکی چوب‌های مورد استفاده در ساخت آلات‌موسیقی ضریب‌آکوستیک، میرایی-ارتعاش و سرعت‌صوت را به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای‌آکوستیکی در چوب‌آلات مورداستفاده در صفحات تشدید صدا معرفی نمودند[13]. در

[1] Nondestructive Testing

[2] Bodig and Jane
[3] Tsoumis
[4] Obataya
[5] Rujinirun
[6] Wegst

سال 2004 کوبوجیما و همکاران [6] از آزمون ارتعاش آزاد در تیر دوسرگیردار برای ارزیابی تیرهای‌چوبی گاردریل جاده‌ها درشرایط سرویس استفاده نمودند.

هدف‌از تحقیق حاضر بررسی امکان برآورد خواص‌آکوستیکی تیرهای‌چوبی درحالت دوسر-گیردار و مقایسه آن با حالت دوسرآزاد می‌باشد چراکه بسیاری‌از قطعات‌چوبی درشرایط مصرف به‌صورت ثابت‌شده مورداستفاده قرارمی‌گیرند. از-طرف‌دیگر بااین‌که تحقیق و بررسی درمورد امکان برآورد فاکتورمیرایی و سایر خواص-آکوستیک که از فاکتورهای مهم در تعیین کیفیت چوب می‌باشند در تیرهای دوسرگیردار وجود ندارد، ارزیابی فاکتورهای مذکور در تیرهای دو-سرآزاد، دارای سابقه طولانی هم توسط تکنیک ارتعاش آزاد و هم توسط سایر تکنیک‌های غیر-مخرب صورت‌پذیرفته که نتایج حاصل ازآن کاربردی و به‌تناسب شیوه موردکاربرد، قابل-اطمینان می‌باشند که در زیر به برخی‌از این نتایج اشاره شده‌است.

مواد و روش‌ها

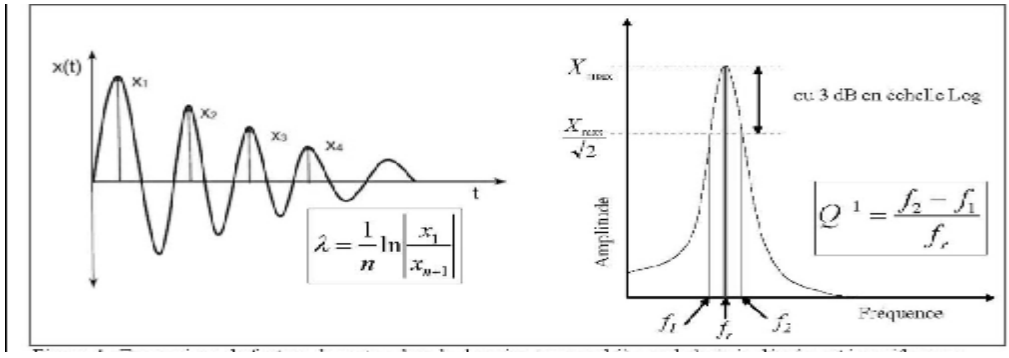
ابتدا مبانی نظری مورد استفاده در این تحقیق مورد اشاره قرار گرفته و سپس به‌روش تهیه نمونه‌ها و انجام آزمون‌ها پرداخته شده‌است.

مبانی نظری

میرایی‌ارتعاش در چوب بستگی به نوع گونه (جرم‌ویژه، میزان مواداستخراجی، بافت‌چوب و ...)، رطوبت چوب (با افزایش رطوبت، میرایی افزایش می‌یابد)، جهت ارتعاش (طولی، مماسی و شعاعی)، و مد ارتعاش دارد (شکل 1). کاهش لگاریتمی ارتعاش (λ) به‌صورت زیر توصیف می‌شود که نشان‌دهنده میزان افت‌ارتعاش در طول زمان است.

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

X1: بلندی اولیه موج در حال کاهش، X n+1: بلندی n امین موج پس‌از موج متناظر با X1 .



شکل 1- نمایش فاکتورکاهش: سمت چپ به‌روش لحظه‌ای بااستفاده‌از کاهش لگاریتمی λ، و سمت راست به‌روش فرکانسی بااستفاده‌از پهنای باند قله بلندی ارتعاش (فاکتور کیفیت Q)

ضریب‌آکوستیک (AC) نیز که یکی‌از پارامترهای مهم در برآورد ویژگی آکوستیکی‌یک جسم می‌باشد و تحت اثر مدول‌الاستیسیته (E) و جرم-ویژه (ρ) می‌باشد ازطریق رابطه 3 محاسبه می-گردد. هرچه مقدار این ضریب در چوب بالاتر باشد، آن چوب برای ساخت آلات‌موسیقی مناسب‌تر می‌باشد. به-خصوص برای استفاده در صفحات مرتعش مورداستفاده در جعبه تشدیدصدا. طبق رابطه‌ی 3 هر-چه قدر جرم ویژه چوب کمتر باشد و درعوض مدول الاستیسیته آن بالاتر باشد آن چوب راحتتر مرتعش شده و ارتعاش در آن دیرتر میرا می‌شود.

$$K = \sqrt{\frac{E}{r^3}} \qquad (3)$$

که درآن K ضریب‌آکوستیک، E مدول الاستیسیته و جرم‌ویژه چوب می-باشد. کارایی-تبدیل‌آکوستیک (ACE) نیز مانند ضریب آکوستیک یکی‌از فاکتورهای مهم آکوستیکی چوب-آلات مورد-استفاده در صفحات تشدید صدا می-باشد. این فاکتور که با میرایی نسبت عکس دارد از-طریق رابطه شماره 4 محاسبه می گردد. هرچه مقدار ACE[1] بیشتر باشد، چوب از لحاظ آکوستیکی دارای شرایط بهتری برای انتخاب، جهت کاربرد در صفحات مذکور را دارد.

$$ACE = \frac{K}{\tan d} \qquad (4)$$

برای اندازه‌گیری جرم‌ویژه از بسیاری روش‌های استاندارد که اغلب غیرمخرب نیز بوده و مبتنی بر مشاهدات تجربی هستند استفاده می‌شود. مدول-الاستیسیته درحالت دوسرگیردار ازروی فرکانس مد اول ارتعاش طبق رابطه برنولی[2] [1، 6] و با-کمک نرم افزار MATLAB® محاسبه گردید.

$$E = \frac{4p^2 f_1^2 l^4 Ar}{I.m_1^4} \qquad (5)$$

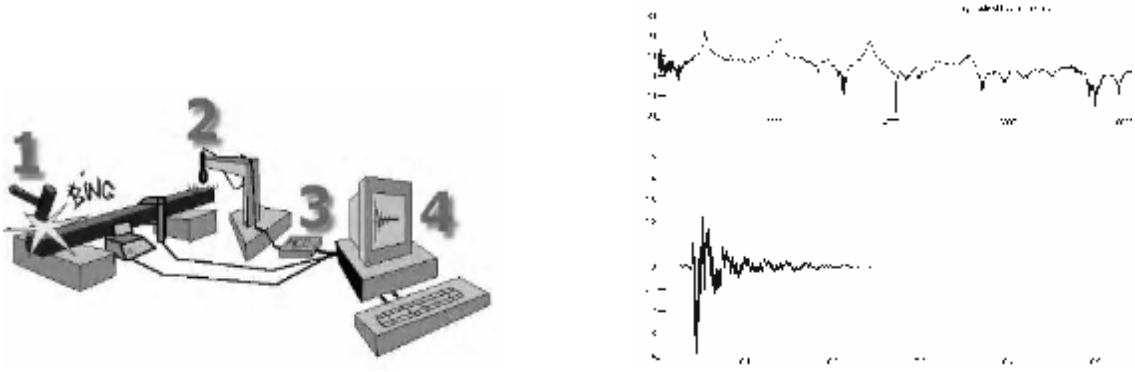
که درآن f_1 فرکانس اولین مد ارتعاش تیر دوسر گیردار برحسب هرتز، l طول دهانه برحسب متر، A سطح مقطع تیر برحسب مترمربع، I ممان اینرسی مقطع تیر و m_1 ثابت مرتبطبا شماره مد ارتعاش آزاد تیر دوسر گیردار است که مقدار آن برای مد اول ارتعاش آزاد تیر دوسرگیردار برابر 4/73 می-باشد [1].

روش آزمون

تعداد 30 قطعه نمونه‌چوبی به ابعاد اسمی 36×2×2 سانتی‌متر (طول×عرض×ارتفاع) مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO 3129 کاملا راست تار و بدون هرگونه عیب ظاهری (مانند، گره، کج تاری و ...) از چوب کاج‌جنگلی (*Pinus sylvestris L.*) تهیه و به‌منظور متعادل سازی دما و رطوبت به-مدت دو هفته در محیط کلیماتیزه (با دمای 22درجه سانتی-گراد و 65% رطوبت‌نسبی) قرار گرفتند. پس-از طی زمان مذکور، نمونه-ها پس‌از اندازه‌گیری ابعاد و وزن، تحت آزمون ارتعاش‌خمشی آزاد در تیر دو سر-آزاد در دو جهت شعاعی و مماسی (شکل2) به-منظور برآورد همبستگی بین مدهای اول تا سوم ارتعاشی قرارگرفتند تا نمونه‌های دارای عیوب پنهان ازروی کاهش همبستگی بین مدهای ارتعاشی شناسایی گردند.

[1] Acoustic Converting Efficiency

[2] Bernoulli

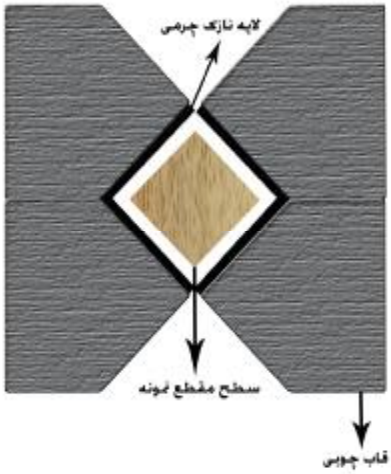


ب الف

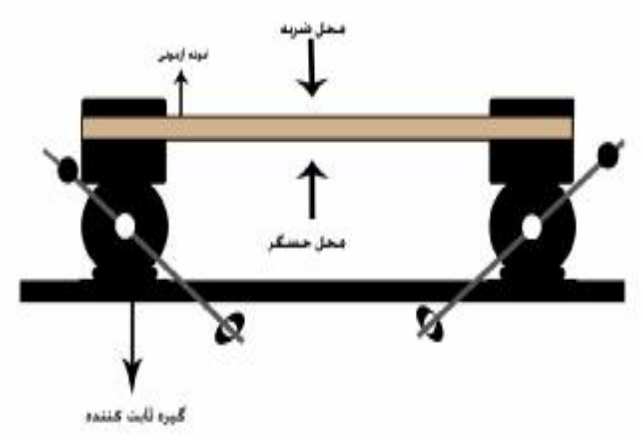
شکل شماره 2.الف، طیف FFT شامل سه مد اول ارتعاشی به انضمام کاهش مد اول ارتعاش [1] ب، چیدمان سیستم ارتعاش آزاد در تیر دوسرآزاد [1]

این روش جهت انتخاب نمونه آزمونی، در تحقیقات پیشین مورد استفاده قرار گرفته‌است[9]. طی انجام آزمون نمونه‌هایی که دارای همبستگی کمتراز 99% در سه مد اول ارتعاشی بودند از مجموع نمونه‌ها حذف شده و نهایتا تعداد 19 قطعه از کل نمونه‌ها جهت ادامه تحقیق درنظر، گرفته‌شدند. ضبط اصوات و ذخیرهٔ آن توسط نسخه سوم نرم‌افزار Audacity® انجام پذیرفت. این نرم افزار همانند بسیاری از نرم‌افزارهای ضبط صدا، قابلیت نمونه‌برداری بسیار سریع، درکسری‌از هرثانیه از صدا را داراست. پس‌از آن نمونه‌های آزمونی تحت شرایط دوسرگیردار مورد آزمون ارتعاش‌خمشی آزاد در دو جهت شعاعی و مماسی قرار گرفتند. جهت ثابت‌نمودن دوسر نمونه، ابتدا هر انتهای نمونه در دو قالب چوبی (شکل3) قرار گرفته و سپس بوسیله‌ی دو گیره دستی با ابعاد و قدرت فک یکسان، دو انتهای نمونه ثابت و آزمون ارتعاش آزاد در تیر دوسر-گیردار بر روی‌نمونه‌های آزمونی صورت پذیرفت. لازم-به‌ذکر است که در آزمون ارتعاش-خمشی آزاد در تیر دوسر گیردار هم در جهت شعاعی و هم در جهت مماسی ایجاد ضربه و ضبط صدا در وسط نمونه آزمونی صورت پذیرفت (شکل4).

فرکانس نمونه‌برداری صوتی توسط نرم افزار Audacity® بر روی 44100 هرتز تنظیم و فایل صدا در ارتعاش خمشی آزاد در تیر دوسر آزاد و تیر دوسرگیردار توسط رابطه مقدماتی ارتعاش برنولی با همان فرکانس نمونه‌برداری قرائت گردید. با ورود اطلاعات، ابعاد واقعی و وزن نمونه‌ها محاسبات مربوطه صورت پذیرفت.



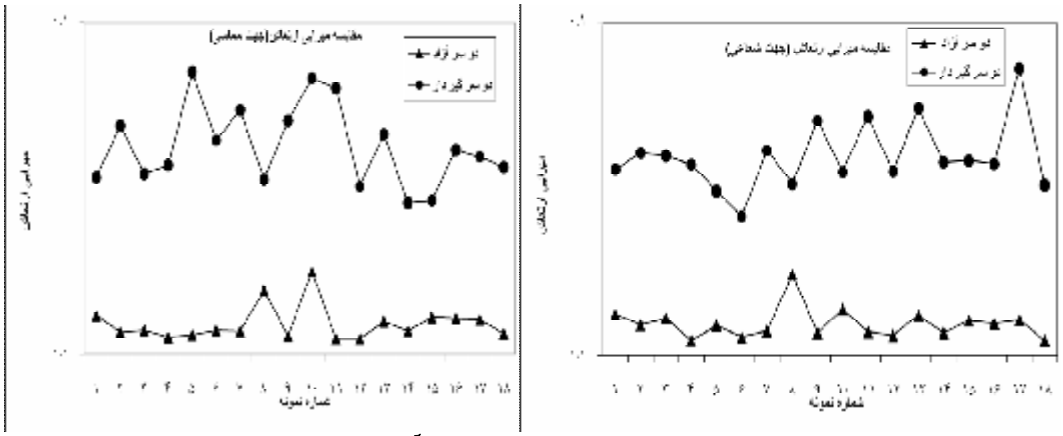
شکل 3. سطح مقطع نمونه‌های قرارگرفته در قالب‌های چوبی



شکل 4. ، نحوه‌ی ثابت‌نمودن نمونه‌ها در گیره‌ی دستی و انجام آزمون ارتعاش‌خمشی آزاد در تیر دوسرگیردار (جهت شعاعی و مماسی)

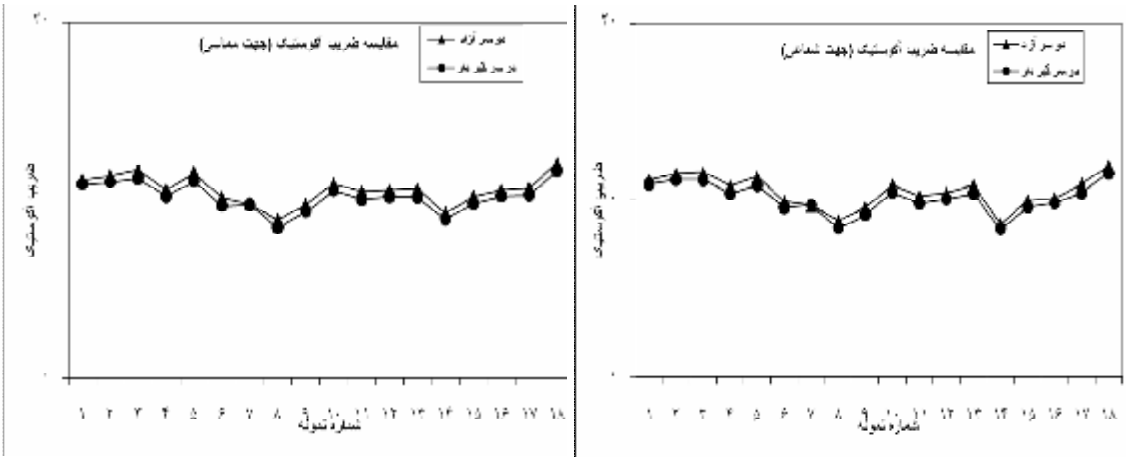
نتایج

جهت مشاهده تاثیرگیردار نمودن دو انتهای تیر بر روی فاکتورهای میرایی ارتعاش ($\tan\delta$)، ضریب آکوستیک (AC)، کارایی تبدیل آکوستیک (ACE) و مقایسه نتایج حاصل در دو جهت مماسی و شعاعی از نمودار ابر نقاط استفاده گردید. شکل 5 تاثیر گیردارنمودن دو انتهای تیر را بر روی فاکتورمیرایی در دو جهت مماسی و شعاعی نمایش می‌دهد. همانطورکه در نمودار قابل مشاهده‌است، گیردار نمودن نمونه‌ها سبب افزایش میرایی در دو جهت مماسی و شعاعی شده‌است.

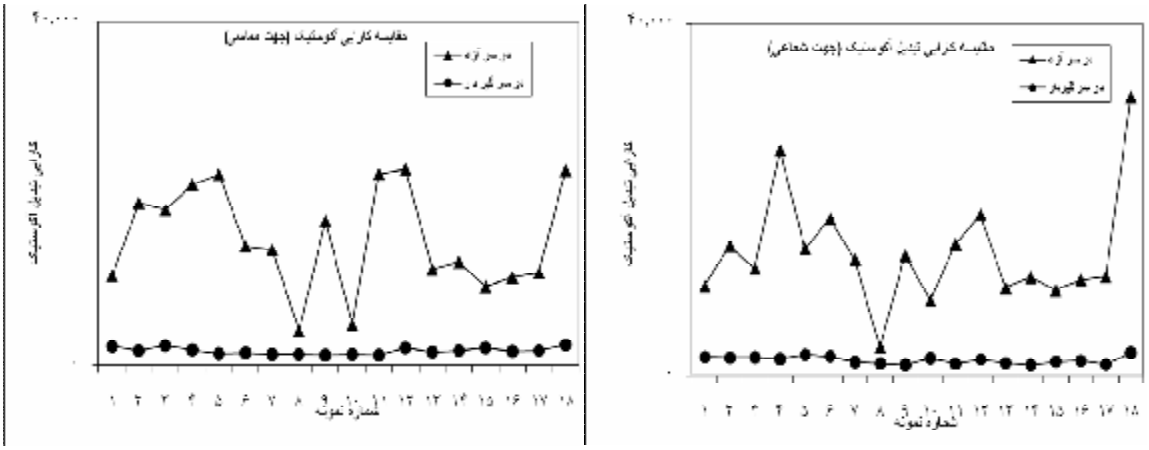


شکل 5- مقایسه میرایی ارتعاش در حالت دو سر آزاد و دوسر گیردار (سمت راست شعاعی و سمت چپ مماسی)

تاثیر گیردارنمودن دو انتهای تیر برروی ضریب-آکوستیک در 6به نمایش در آمده‌است. باتوجه‌به این شکل تفاوتی بین ضریب‌آکوستیک تیرهای دو سر آزاد و تیرهای دو سر گیردار مشاهده نمی-گردد. شکل 7 نشان‌دهنده اثر گیردارنمودن دو انتهای تیرچوبی بر فاکتور کارایی تبدیل‌آکوستیک که برآیندی از دو فاکتور قبلی می-باشد است. نتایج نشان دهنده‌ی نتیجه‌بخش‌نبودن آزمون ارتعاش‌خمشی در حالت دوسر گیردار برای برآورد کارایی تبدیل‌آکوستیک می‌باشد.



شکل 6- مقایسه ضریب آکوستیک در حالت دو سر آزاد و دوسر گیردار
(سمت راست شعاعی و سمت چپ مماسی)



شکل 7- مقایسه کارایی تبدیل آکوستیک در حالت دو سر آزاد و دوسر گیردار
(سمت راست شعاعی و سمت چپ مماسی)

بحث و نتیجه گیری

اثر گیردارنمودن دو انتهای تیرچوبی بر خواص‌آکوستیکی (میرایی‌ارتعاش، ضریب-آکوستیک و کارایی تبدیل‌آکوستیک) در دو جهت مماسی و شعاعی توسط آزمون ارتعاش‌خمشی آزاد در تیرهای دوسر آزاد و دو سرگیردار برآورد و نتایج با یکدیگر مقایسه گردیدند. میرایی-ارتعاش، فاکتوری بسیار مهم و امکان کنترل آن در محدوده‌مناسب، مشکلی بزرگ برای مصالح-ساختمانی تلقی می‌شود. ضمنا در جعبه‌های تشدید صدا و سالن‌های آکوستیک، استفاده‌از چوب‌آلات با میرایی کوچک تر برای تمدید انتشار صوت ارجحیت دارد [5]. افزایش میرایی در اثر ثابت‌کردن دو سر نمونه نتیجه‌ای قابل پیش بینی بود که در شکل 5 کاملا قابل مشاهده-است. اما نکته قابل‌توجه درارتباط با میرایی برآورد این فاکتور در این‌حالت و مقایسه آن با حالت دو سر آزاد می‌باشد. براین‌اساس می‌توان این گونه اظهار داشت که ثابت‌کردن دو سر تیر، چه درحالت مماسی و چه درحالت شعاعی به یک‌میزان مشخص برروی میرایی ارتعاش تاثیر داشته‌است. بنابراین باتوجه‌به نتایج این تحقیق امکان برآوردی قابل‌اطمینان از میرایی‌ارتعاش در تیرهای دوسرگیردار وجود ندارد به‌طوری که تیرهای مختلف میزان میرایی قابل تفکیکی در روش ارتعاش‌آزاد تیر دوسرگیردار ارایه ندادند.

نتایج مشاهده‌شده در رابطه با ضریب-آکوستیک نشان داد که گیردارکردن دو انتهای تیر چوبی تاثیری بر روی این فاکتور چه درجهت شعاعی و چه درجهت مماسی نداشته‌است. براین اساس می‌توان اظهار داشت که اولا می‌توان به نتایج حاصل‌از روش ارتعاش‌خمشی آزاد در تیر دوسر گیردار همانند نتایج حاصل‌از روش ارتعاش‌خمشی آزاد در تیر دوسر آزاد اطمینان نمود و ثانیا باتوجه‌به نتایج حاصل می‌توان اطمینان داشت که گیردارنمودن دو انتهای تیر در سازه، موجب تاثیر منفی برروی ضریب‌آکوستیک که از مهم‌ترین فاکتورهای انتخاب چوب سالم تلقی می‌شود، ندارد. اما نتایج حاصل‌از کارایی تبدیل‌آکوستیک که فاکتور مهم دیگری در انتخاب چوب می‌باشد حاکی‌از آن‌است‌که روش ارتعاش-خمشی آزاد در تیر دوسرگیردار روشی مناسب و قابل‌اطمینان جهت ارزیابی این فاکتور نمی‌باشد.

سپاس‌گذاری

مقاله فوق مستخرج از پایان‌نامه‌ی کارشناسی-ارشد مولف اول به راهنمایی مولف دوم می‌باشد. بدین‌وسیله از دانشگاه‌آزاداسلامی واحدکرج که شرایط و امکانات انجام این تحقیق را فراهم نمودند تشکر و قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

1. بادیگ، ژ. ب، جین. 1993. مکانیک چوب وفراورده های مرکب آن (ترجمه دکتر قنبر ابراهیمی، 1386). انتشارات دانشگاه تهران. 686 صفحه

2. روح نیا، م . آ، تاجدینی.1386. بررسی امکان اندازه گیری مدول الاستیسیته و فاکتور میرایی ارتعاش در چوب سروسیمین توسط آزمون غیر مخرب ارتعاش آزاد و مقایسه آن با روشهای استاتیک و ارتعاش اجباری ، مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، جلد 13 شماره 4 ص 1017 تا 1027

3. روح نیا، م . ب، بهنام . م، ع، حسین . س، ا، علوی تبار . آ، تاجدینی و ن، منوچهری . 1389 . برآورد مدول الاستیسیته دینامیک چوب سرو سیمین با استفاده از سامانه ایرانی آزمون ارتعاش اجباری . فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال پنجم، شماره دوم، تابستان 1389

4. مدهوشی، م . س، م هاشمی و م، بهزاد 1387،. ارزیابی تاثیر پوسیدگی بر مدول های الاستیسیته دینامیکی و الاستیکی چوب گونه راش با استفاده از روش غیر مخرب موج تنش، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد (15)، شماره سوم، 9 صفحه

5. Bremaud, I., 2008, Caractérisation mécanique des bois et facture. Origines et recensement dela variabilité, Actes de la journée d'étude Le bois : instrument du patrimoine musical – Cité de la Musique:24-46

6. Kubojima,Y ., H, Ohsaki, H, Kato & M, Tonosaki . 2006 , Fixed–fixed flexural vibration testing method of beams for timber guardrails . J Wood Science. pp.1-6

7. Nzokou, p., J, Freed & D, P،Kamdem.2005, Relationship between non destructive and static modulus of elasticity of commercial wood plastic composites . Holz als Roh- und Werkstoff. 64: 90–93

8. Obataya, E.، T، Ono & M، Norimoto. 2000 ، Vibrational properties of wood along the grain . Journal of materials science . 35: 2993 – 3001

9. Roohnia, M ., A, Tajdini & N, Manouchehri . 2011 , Assessing wood in sounding boards considering the ratio of acoustical anisotropy . NDT&E International(44):13-20

10. Rujinirun, C., P, Phinyocheep . W, Prachyabrued & N, Laemsak . 2005, Chemical treatment of wood for musical instruments . Part I: acoustically important properties of wood for the Ranad (Thai traditional xylophone), Wood science and technology . (39):77-85

11. Sedik, Y., S, Hamdan . I, Jusoh & M, hasan . 2010 , Acoustic Properties of Selected Tropical Wood Species . J Nondestruct Eval . (29): 38–42

12. Tsoumis, G., 1991, Science and technology of wood, Van Nostrand Reinold

13. Wegst, G, K., 2006 , Wood For Sound . American Journal of Botany . 93(10): 1439–1448

14. Wood - Sampling Methods and General Requirements for Physical and Mechanical Tests – 1975 – 11 – 01 - International Standard ISO 3129, 4p