بررسی تاثیر نوع اتصال بر خواص آکوستیک چوب‌های اتصال‌دار

مصطفی کهن‌ترابی[1]، محمدرضا غزنوی[1]، مهران روح نیا[2*]، آژنگ تاجدینی[2]، سعید کاظمی نجفی[3]

چکیده

در این تحقیق به بررسی تاثیر ایجاد اتصالات فارسی و انگشتی بر روی خواص آکوستیکی نمونه‌های حاصل از گونه راش پرداخته شده‌است. تعداد 14 نمونه مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO شماره 3129 آماده و تحت آزمون‌های ارتعاشات خمشی و طولی در تیر دوسر آزاد قرار گرفتند. نتایج نشان‌داد که ایجاد اتصال فارسی سبب افزایش فاکتور میرایی و کاهش کارایی تبدیل‌آکوستیک می‌گردد. درحالی‌که ایجاد این اتصال سبب تاثیر معنی‌داری بر روی ضریب آکوستیک نمی‌گردد. همچنین نتایج نشان‌داد که ایجاد اتصال انگشتی علاوه‌بر کاهش کارایی تبدیل آکوستیک سبب کاهش ضریب‌آکوستیک نیز می‌گردد. درمجموع می‌توان گفت که در صورت لزوم استفاده از اتصالات در ساخت سازه‌های آکوستیکی اتصال فارسی و سربه‌سر اثرات منفی کمتری را بر روی خواص آکوستیک نسبت‌به اتصال انگشتی در پی‌دارد.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش‌خمشی، ارتعاش‌طولی، خواص‌آکوستیک، اتصال‌فارسی، اتصال‌انگشتی

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

2- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، * نویسنده مسوول:

mehran.roohnia@ kiau.ac.ir

3- دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت مدرس، نور

مقدمه

تاکنون روش‌های استاتیک و دینامیک متفاوتی برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی مواد ارایه شده‌اند. آزمون خمش استاتیک برای تعیین مدول‌الاستیسیته و مدول‌گسیختگی، یک روش استاندارد است ولی باعث شکستن نمونه‌مورد آزمایش می‌گردد. آزمون‌های غیرمخرب[1] (NDT) در سال‌های اخیر به‌سرعت توسعه یافتند [8]. این آزمون‌ها در واقع روش تعیین خصوصیات متنوع فیزیکی و مکانیکی قطعه‌ای از ماده بدون تغییر در قابلیت استفاده نهایی آن می‌باشد که اطلاعات بسیار دقیقی را در مورد خصوصیات و کارایی و یا شرایط ماده در هنگام مصرف ارایه می‌کند [21]. غیرمخرب‌بودن این روش‌ها این امکان را برای ما فراهم می‌آورد که درصورت لزوم، در کل حجم نمونه، چندین بار آزمایش مورد نظر تکرار شود [13]. این آزمون‌ها برخلاف آزمون‌های استاتیک باعث شکست نمونه نشده و زمان تلف‌شده‌کمتری را در پی دارند. آزمون‌های غیرمخرب شامل بازرسی چشمی، اشعه ایکس، امواج مافوق صوت، آکوستیک و ارتعاشات و امثال آن می اشند. نمونه‌های آزمون غیرمخرب در صنعت چوب شامل تعیین مدول‌الاستیسیته، ارتعاش‌اتصالات و بررسی چوب‌های اشباع‌شده با کرئوزوت در رابطه با بخش حفاظت این محصول و هم‌چنین مقاومت الوارهای چوبی و لایه‌ای است [14]. بدین ترتیب یکی از مهم‌ترین روش‌های آزمون غیرمخرب در سال‌های اخیر، روش ارتعاشی بوده‌است [16] که تاکنون برای طبقه‌بندی بسیاری کاربردهای مهندسی ازجمله ارزیابی خاک و زمین مورد استفاده قرار گرفته‌است [27]. یکی از امتیازات اصلی چوب و فراورده‌های مرکب آن به‌عنوان ماده سازه‌ای این است که به‌سادگی می‌توان اجزای سازه‌ای را با دامنه وسیعی از اتصال دهنده‌ها (انواع چسب‌ها و اتصال دهنده‌های مکانیکی) به‌یکدیگر متصل کرد. اتصال در سازه‌های چوبی اعم از ساختمان‌های چوبی یا مبلمان به‌معنی متصل‌شدن دو یا چند عضو به وسیله‌ی یک اتصال دهنده می‌باشد [3].

اتصالات چسبی از سال‌های بسیار دور در ساخت انواع محصولات چوبی استفاده می‌شود و گستردگی زیادی دارد که می‌توان این استفاده را به‌خواص متعدد آن از قبیل توزیع یکنواخت بار اعمال‌شده و تنش ایجادشده، خستگی بالاتر نسبت‌به اتصالات مکانیکی، تولید سازه‌هایی با وزن کمتر، توانایی اتصال و درز گیری به‌طور هم‌زمان و... نسبت داد [10]. بااین‌وجود نسبت‌به این گونه اتصالات کمترین شناخت وجود دارد [23]. ازطرف‌دیگر تقاضای روزافزون برای چوب و محدودیت منابع چوبی باعث افزایش ارزش اقتصادی این ماده‌ی خام گردیده‌است و این‌گونه اتصالات امکان استفاده از ضایعات‌چوبی با طول کوتاه و هم‌چنین درختان با قطر کم را افزایش داده‌است [7]. استفاده از انواع اتصالات چسبی در بسیاری از زمینه‌های کاربرد چوب به‌سرعت روبه گسترش هستند و پیشرفت‌های زیادی نیز در اجرا و طراحی آن‌ها حاصل شده‌است [28]. بنابراین تولید یک اتصال قابل اعتماد

[1] Non Destructive Test

و نیز کنترل این اتصال درشرایط مصرف مهم و ضروری به‌نظر می‌رسد [10].

از بین روش‌های غیرمخرب، آزمون‌های ارتعاشی به‌دلیل سادگی، قابلیت انعطاف و سرعت به‌طور گسترده‌ای مورد توجه می‌باشند[4]. باتوجه‌به کاربرد ناگزیر اتصالات و انواع چسب در ساخت بسیاری از ادوات موسیقیایی و نقش مهمی که طراحی صحیح و سلامت این عضو در کیفیت صدای حاصل‌از این ادوات دارد [5]، هدف از انجام این تحقیق، بررسی تاثیر اتصالات بر روی خواص آکوستیک چوب می‌باشد. از طرف‌دیگر با این‌که تحقیق و بررسی در مورد امکان برآورد فاکتور میرایی و سایر خواص آکوستیک که از فاکتورهای مهم در تعیین کیفیت چوب می‌باشند، در اتصالات‌چسبی وجود ندارد، در صنایع و علوم مکانیک و علوم مربوط‌به ارتعاشات اجسام صلب سابقه طولانی هم توسط تکنیک ارتعاش‌آزاد و هم توسط سایر تکنیک‌های غیرمخرب وجود داشته و نتایج حاصل‌از آن کاربردی و به‌تناسب شیوه مورد کاربرد، قابل اطمینان می‌باشد. علوی تبار(1388) تاثیر مدول-الاستیسیته ویژه، جرم ویژه و مدول‌های شعاعی و مماسی را بر فاکتور میرایی چوب راش مورد بررسی قرار داد [2]. وی بیان داشت که جهت کاهش میرایی باید مدول الاستیسیته‌ی ویژه‌ی چوب بالا باشد. تسومیس[1] در سال 1991 بیان کرد که ضریب‌آکوستیک می‌تواند ملاک مناسبی برای انتخاب چوب مورد استفاده در ادوات موسیقی باشد [24]. اوبایاتا[2] و همکاران در سال 2000 اعلام کردند که چوب‌های مناسب برای استفاده در صفحات صدا باید از کارایی تبدیل آکوستیک (ACE) بالایی برخوردار باشند[15]. راجینیران[3] و همکاران در سال 2005 به این نتیجه رسیدند که گونه‌های سوزنی‌برگ مناسب برای ساخت جعبه‌های تشدید صدا باید از کارایی تبدیل‌آکوستیک بالایی برخوردار باشند [22]. وگست[4] (2006) فاکتور میرایی و ضریب انتشارصوت را از مهم‌ترین خواص آکوستیکی در انتخاب مواد مورد کاربرد در صفحات تشدید صدا معرفی نمود [25].

مواد و روش ها

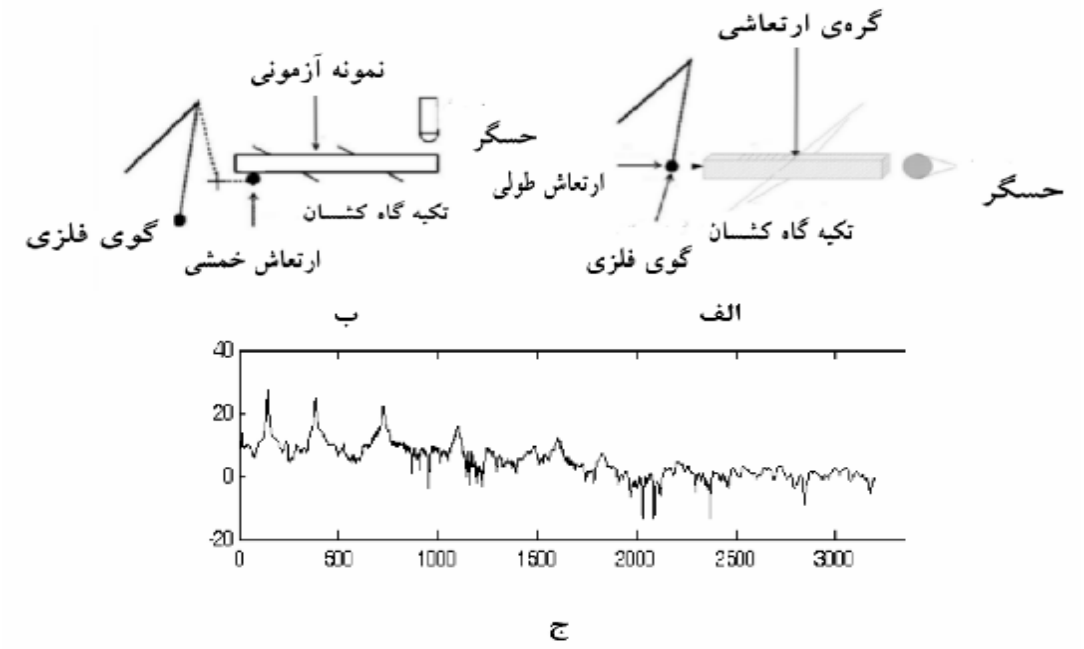
ابتدا تعداد 20 نمونه کاملا سالم و راست تار از چوب یک گرده‌بینه‌ی راش (*Fagus orientalis* L.) بدون هرگونه عیب و ایرادظاهری، از جمله گره، ترک، پوسیدگی و... بر طبق استاندارد بین‌المللی ISO شماره 3129 [26] با ابعاد 2×4×36 سانتی متر (طول، عرض، ارتفاع) و با سطح مقطع مستطیلی شکل جهت انجام آزمون انتخاب شدند. نمونه‌ها به‌منظور یکسان‌سازی رطوبت مطابق با استاندارد بیان شده، به‌مدت 2 هفته در اطاق کلیماتیزه (22 درجه‌ی سانتی‌گراد حرارت و 65% رطوبت نسبی) قرار گرفتند. پس از طی مدت مذکور به‌منظور اطمینان بیشتر از عاری‌بودن نمونه‌ها از عیوب پنهان داخلی، نمونه‌های آزمونی تحت آزمون-

[1] Tsoumis

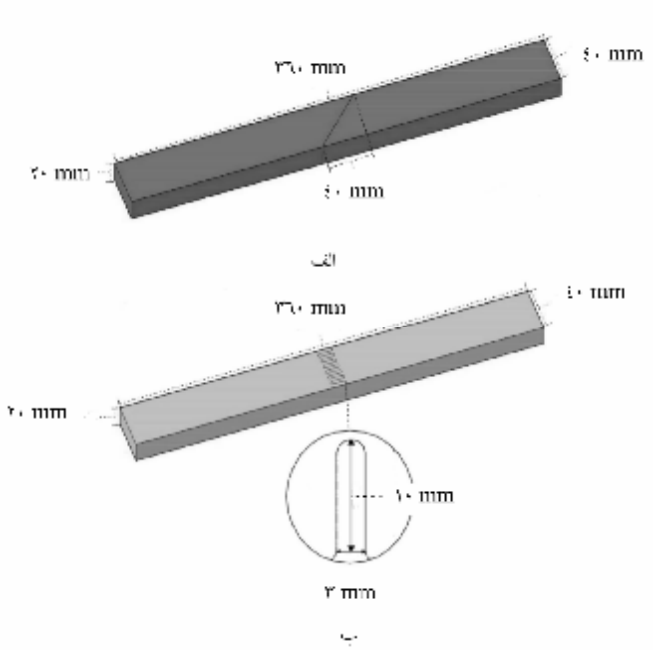
[2] Obataya
[3] Rujinirun
[4] Wegst

ارتعاش خمشی‌آزاد در تیر دوسرآزاد قرارگرفته و براساس تئوری تیر تیموشنکو نمونه‌هایی که دارای بیشترین همبستگی (همبستگی بالای 0/98) بین مدهای اول تا سوم ارتعاشی بودند جهت ادامه آزمون انتخاب گردیدند. این معیار جهت انتخاب نمونه‌ی آزمونی، در تحقیقات پیشین مورد استفاده قرار گرفته‌است [17و18].

براین‌اساس تعداد 14 نمونه از نمونه‌های اولیه حایز شرایط جهت ادامه‌ی تحقیق بوده و پس از اندازه‌گیری مجدد ابعاد و وزن، مورد آزمون ارتعاش‌خمشی و طولی آزاد (شکل 1) قرار گرفتند. ضبط اصوات و ذخیره‌ی آن توسط نسخه‌سوم نرم‌افزار Audacity® انجام پذیرفت. این نرم‌افزار همانند بسیاری از نرم‌افزارهای ضبط صدا، قابلیت نمونه‌برداری بسیار سریع در کسری‌از هر ثانیه از صدا را داراست. فرکانس نمونه‌برداری‌صوتی 44100 هرتز توسط نرم‌افزار مذکور تنظیم و فایل صدا در ارتعاش‌خمشی توسط سیستم NDT-lab® [3] و در ارتعاش‌طولی توسط سیستم LStress [19] با همان فرکانس نمونه‌برداری قرائت گردید (شکل 1). با ورود اطلاعات ابعاد واقعی و وزن نمونه‌ها، به هرکدام از سیستم‌های ذکرشده، محاسبات مربوطه صورت می‌پذیرفت. انجام محاسبات آزمون ارتعاش‌خمشی براساس تئوری تیر تیموشنکو است [19و20]. پس از آن نمونه‌ها به دو گروه تقسیم شده و هرگروه جهت ایجاد یک نوع اتصال مورد استفاده قرارگرفت. گروه‌اول جهت ایجاد اتصال فارسی با زاویه‌ی 45 درجه و گروه‌دوم جهت ایجاد اتصال انگشتی(شکل 2) به‌کار برده‌شد.



شکل 1- الف) ارتعاش‌خمشی آزاد در تیر دوسرآزاد[9] ب) ارتعاش‌طولی آزاد در تیر دوسرآزاد [9]
ج) سری فوریه به‌دست آمده شامل سه مد ارتعاشی



شکل 2- تصاویر اتصالات به‌کار رفته در تحقیق الف) اتصال 45 درجه فارسی ب) اتصال انگشتی

لازم‌به‌ذکر است که جهت ایجاد اتصالات فارسی از دستگاه تجاری MAKITA® و جهت ایجاد اتصال انگشتی از دستگاه تجاری LAGUNA TOOLS® استفاده گردید. نمونه‌های هرگروه توسط چسب پلی‌وینیل‌استات[1] (جدول 1) چسب‌زنی شده و تا برقراری کامل اتصال درون گیره‌دستی قرار گرفتند. پس از برقراری کامل اتصال، نمونه‌ها از گیره‌دستی خارج شده و به‌مدت 2 هفته در محیط کلیماتیزه مذکور قرار گرفتند. سپس آزمون ارتعاش خمشی‌آزاد و آزمون ارتعاش‌طولی بر روی نمونه‌های اتصال یافته با کیفیت ذکرشده، به‌منظور بررسی تاثیر نوع اتصال بر خواص آکوستیکی تیرهای اتصال یافته در شرایط کاملا مشابه با نمونه‌های اولیه تکرار شد.

[1]Polyvinyl acetates

جدول 1- مشخصات چسب پلی‌وینیل‌استات مورد استفاده در آزمون

نام تجاری	درصد مواد جامد (%)	چگالی (کیلوگرم بر متر مکعب)	زمان گیرایی (در 20 درجه سانتیگراد)	میزان مصرف (کیلوگرم در متر مکعب)	پایه رقیق کننده	PH
صنایع شیمیایی رزین و چسب شمال	62-66	1/1-1/5	20 -10 دقیقه	0/15-0/2	اتیل استات	4-6

کاهش لگاریتمی ارتعاش[1] (شکل 3) به‌صورت زیر توصیف می‌شود که شاخصی برای میزان افت ارتعاش در طول زمان است [2]:

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

X_1: بلندی اولیه موج درحال کاهش

X_{n+1}: بلندی n امین موج پس از موج متناظر با X_1.

بدین‌ترتیب میرایی ارتعاش می‌تواند مطابق رابطه زیر از روی کاهش لگاریتمی محاسبه شود که در رابطه 1 فاکتور میرایی[2] محاسبه می‌گردد.

ضریب آکوستیک(AC)[3] و کارایی تبدیل-آکوستیک(ACE)[4] که از فاکتورهای مهم آکوستیکی چوب آلات مورد استفاده در صفحات تشدید صدا می‌باشند توسط روابط 2 و 3 محاسبه می‌گردند.

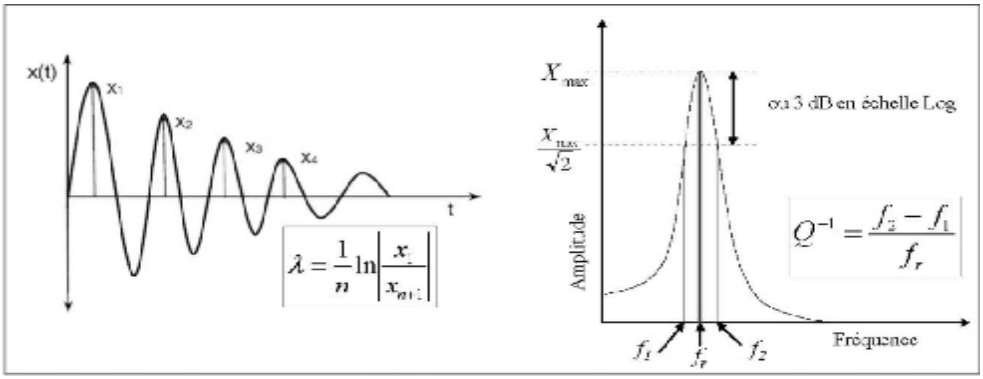
$$K = \sqrt{\frac{E}{r^3}} \quad (2)$$

$$ACE = \frac{K}{\tan d} \quad (3)$$

که در آن K ضریب آکوستیک، ACE کارایی تبدیل‌آکوستیک، E مدول‌الاستیسیته طولی، r جرم‌ویژه و $tand$ میرایی‌ارتعاش می‌باشد.

برای اندازه‌گیری جرم‌ویژه از بسیاری روش‌های استاندارد که اغلب غیرمخرب نیز بوده و مبتنی‌بر مشاهدات تجربی هستند استفاده می‌شود. طریقه محاسبه مدول‌الاستیسیته چوب به-روش غیرمخرب ارتعاش‌خمشی آزاد در تیر دو-سرآزاد و نیز ارتعاش‌طولی، در مرجع 14 بیان شده‌است. جهت مشاهده‌ی تغییرات به‌وجود آمده دراثر اتصال از روش آماری تجزیه‌ی واریانس و مقایسه‌ی میانگین‌ها استفاده گردید.

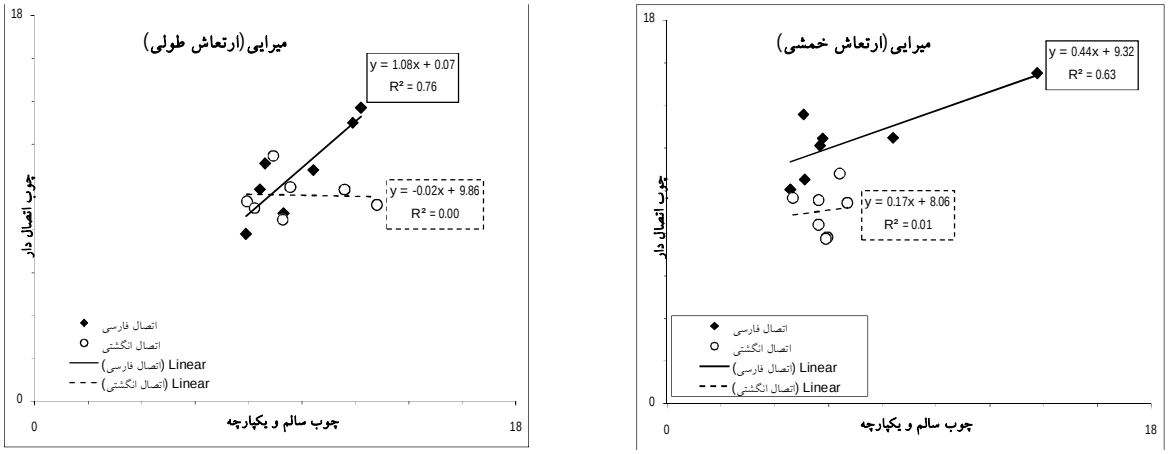
[1] Logarithmic decrement
[2] Damping Factor
[3] Acoustical Coefficient
[4] Acoustical Converting Efficiency



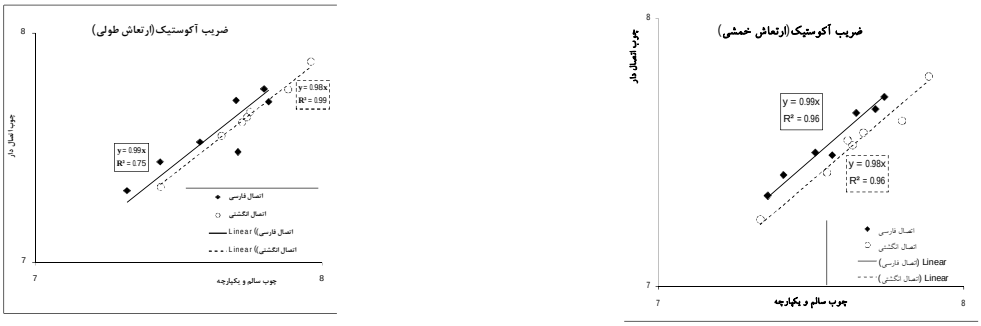
شکل 3- نمایش فاکتور کاهش: سمت چپ به‌روش لحظه‌ای با استفاده از کاهش لگاریتمی λ و سمت-راست به‌روش فرکانسی با استفاده از پهنای باند قله بلندی ارتعاش (فاکتور کیفیت Q)

نتایج

جهت مشاهده‌تغیرات فاکتور میرایی ($tand$)، ضریب‌آکوستیک(AC) و کارایی تبدیل‌آکوستیک (ACE) محاسبه‌شده حاصل‌از دو آزمون ارتعاش‌خمشی و ارتعاش‌طولی و مقایسه مقادیر حاصل با چوب سالم و یکپارچه و همچنین تاثیر نوع اتصال بر خواص‌آکوستیکی، از نمودار ابر نقاط استفاده شد. شکل 4 تاثیر نوع اتصال را برروی فاکتورمیرایی محاسبه‌شده از هر دو روش آزمونی را نشان می‌دهد. باتوجه‌به این شکل اتصال‌فارسی سبب افزایش این فاکتور در هر دو روش آزمونی نسبت‌به چوب سالم و یکپارچه گردیده‌است اما نتایج حاصل از هر دو روش آزمونی در اتصال از هبستگی خوبی برخوردار نمی‌باشند. شکل 5 اثر نوع اتصال را بر روی ضریب‌آکوستیک به نمایش می‌گذارد. باتوجه‌به این شکل اتصال فارسی سبب تغییر چندانی بر روی فاکتور محاسبه شده حاصل از هر دو روش آزمونی نگردیده‌است، اما این ضریب در اثر ایجاد اتصال‌انگشتی کاهش معنی‌داری نسبت‌به چوب سالم و یکپارچه داشته‌است.

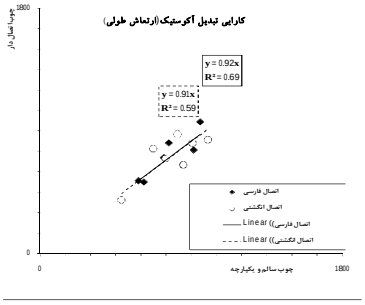


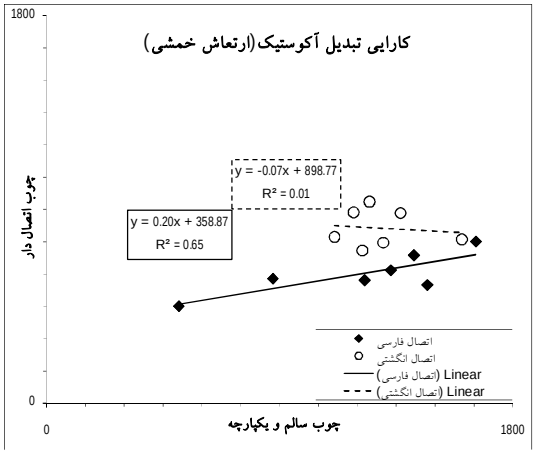
شکل 4- تاثیر اتصالات فارسی و انگشتی بر میرایی‌ارتعاش(tan δ)



شکل 5- تاثیر اتصالات فارسی و انگشتی بر ضریب‌آکوستیک(AC)

شکل 6 نیز تاثیر نوع اتصال بر کارایی تبدیل-آکوستیک محاسبه‌شده از طریق هر دو روش آزمونی را به نمایش می‌گذارد. باتوجه‌به این شکل اتصال فارسی سبب کاهش معنی‌دار فاکتور مذکور در هر دو روش آزمونی گردیده‌است. همچنین نتایج حاصل از آزمون ارتعاش‌طولی در اتصال انگشتی نیز حاکی از کاهش معنی‌دار فاکتور مذکور در این اتصال می‌باشد. اما نتایج محاسبه-شده این فاکتور در ارتعاش‌خمشی از هبستگی خوبی برخوردار نمی‌باشد.





شکل 6- تاثیر اتصالات فارسی و انگشتی بر کارایی تبدیل‌آکوستیک (ACE)

بحث و نتیجه‌گیری

اثر دو نوع اتصال فارسی و انگشتی بر روی میرایی ارتعاش در مد اول ارتعاش‌خمشی و مد اول ارتعاش‌طولی و نیز ضریب‌آکوستیک (AC) و کارایی تبدیل‌آکوستیک (ACE) محاسبه‌شده ازطریق دو آزمون خمشی و طولی مورد بررسی و نتایج با چوب سالم و یکپارچه مقایسه گردید. صدایی که از ارتعاش چوب ساتع می‌شود، یا از یک منبع بیرونی به چوب برخورد می‌کند و آن را مرتعش می‌سازد، به مرور میرا می‌شود که ناشی از مصرف انرژی آکوستیکی ارتعاش آن است. انرژی آکوستیکی به دو طریق مصرف می‌شود. یکی جذب‌صوت و صرف مقابله با اصطکاک داخلی است که نتیجه آن آزادشدن گرما است و دیگر این‌که به محیط بازتاب می‌کند. میزان میرایی ارتعاش در چوب بستگی به نوع‌گونه (جرم‌ویژه، میزان مواداستخراجی، بافت چوب و ...)، رطوبت چوب (با افزایش mc میرایی افزایش می‌یابد)، جهت ارتعاش (طولی، مماسی و شعاعی)، و مد ارتعاش دارد. باتوجه‌به شکل 4 در هر دو آزمون خمشی و طولی، در اثر ایجاد اتصال‌فارسی میرایی نسبت‌به چوب سالم و یکپارچه افزایش یافت که این می‌تواند به‌دلیل صرف انرژی بیشتر ارتعاش در ناحیه‌ی خط‌چسب به‌تبع جرم‌ویژه‌ی بالاتر چسب مورد استفاده (جدول 1) نسبت به گونه‌ی آزمونی (600 تا 700 کیلوگرم بر مترمربع) [1] باشد که گزینه‌ای قابل تحقیق خواهد بود. پیش‌ازاین نیز افزایش فاکتورمیرایی دراثر وجود معایبی مثل گره، در چوب گزارش گردیده‌است[12]. اما تغیرات این فاکتور در هر دو آزمون خمشی و طولی در اتصال انگشتی از همبستگی مناسبی برخوردار نبودند و به‌این‌دلیل نمی‌توان فاکتورمیرایی را جهت مقایسه‌ی خواص‌آکوستیکی این دو اتصال مناسب دانست. ضریب‌آکوستیک یکی از پارامترهای مهم در برآورد ویژگی آکوستیکی یک جسم می‌باشد که تحت اثر

مدول‌الاستیسیته (E) و جرم‌ویژه (r) می‌باشد. هرچه مقدار این ضریب در چوب بالاتر باشد آن چوب جهت استفاده در صفحات تشدید صدا مناسب‌تر می‌باشد. هرچه مقدار جرم ویژه چوب کمتر باشد و در عوض مدول‌الاستیسیته آن بالاتر باشد طبق تئوری چوب راحت‌تر مرتعش شده و ارتعاش آن دیرتر میرا می‌شود [24]. ایجاد اتصال-فارسی سبب تغیر چندانی بر فاکتور مذکور در هر دو روش آزمونی نگردید اما هر دو آزمون خمشی و طولی (شکل‌های 5) اتصال انگشتی حاکی‌از کاهش فاکتور محاسبه‌شده در این نوع اتصال بود. سازندگان ساز سعی در استفاده‌ی کمتر از اتصالات در صفحات تشدید صدا دارند، اما نتایج این تحقیق حاکی از این می‌باشد که استفاده از اتصال‌فارسی اثر چندانی بر روی ضریب‌آکوستیک ندارد؛ اما فاکتور مذکور با ایجاد اتصال‌انگشتی به-شدت کاهش می‌یابد. ازاین‌رو در مواردی که ضریب‌آکوستیک در ساخت صفحات‌تشدید صدا مدنظر باشد، اتصال سربه‌سر فارسی، نسبت‌به اتصال سربه‌سر انگشتی ارجحیت دارد.

کارایی‌تبدیل‌آکوستیک نیز مانند ضریب‌آکوستیک یکی از فاکتورهای مهم آکوستیکی چوب‌آلات مورد استفاده در صفحات تشدید می‌باشد که با میرایی نسبت عکس دارد. هرچه مقدار ACE بیشتر باشد، آن چوب ازلحاظ آکوستیکی دارای شرایط بهتری برای انتخاب به‌عنوان کارکرد در صفحات مذکور را خواهدداشت [15]. صرف‌نظر از نتایج حاصل از ارتعاش طولی اتصال‌انگشتی که از همبستگی مطلوبی برخوردار نمی‌باشند، در هردونوع اتصال این فاکتور نسبت‌به چوب سالم و یکپارچه کاهش یافته‌است (شکل 6) که می‌توان این امر را به افزایش میرایی در اثر ایجاد اتصال نسبت داد. ضمن این‌که تفاوت معنی‌داری بین کاهش فاکتور مذکور در دو اتصال مورد تحقیق مشاهده نمی‌شود و در واقع هر دو نوع اتصال به یک میزان سبب تاثیر نامطلوب بر روی ACE می‌گردند.

باتوجه‌به موارد فوق به‌طورکل ایجاد اتصال سبب تاثیر نامطلوب بر روی خواص‌آکوستیکی چوب‌آلات می‌گردد ازطرف‌دیگر کاربرد اتصالات در ساخت بسیاری از ادوات موسیقی و سالن‌های انعکاس صدا و نیز صفحات تشدید صدا، امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. بنابراین باتوجه‌به نتایج تحقیق حاضر، در صورت لزوم استفاده از اتصال در ساخت سازه‌های مذکور اتصال فارسی می‌تواند خواص آکوستیکی چوب را نسبت‌به اتصال انگشتی کمتر تحت تاثیر قراردهد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل اشتراکات پایان‌نامه کارشناسی ارشد مولف اول و دوم به راهنمائی مولف سوم می‌باشد. بدین‌وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج که امکانات انجام تحقیقات این پایان‌نامه را تامین نموده‌است تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. بادیگ، ژ.، ب،جین.، 1982. مکانیک چوب و فراورده‌های مرکب آن. ترجمه دکتر قنبر ابراهیمی.، 1368. انتشارات دانشگاه تهران. 686 صفحه
2. علوی تبار، س.ا. روح نیا، م. تاج دینی، آ.،1388، مطالعه میرایی و کیفیت در چوب راش ایران، مجله علوم و فنون منابع طبیعی، جلد 4 شماره 2، صفحه 68-59
3. روح نیا، م. تاج دینی، آ.، 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 علوم کشاورزی ایران .جلد 13 شماره 4. صفحه 1017 تا 1027
4. روح نیا، م. هاشمی طبالوندی، س. شفیعی، پ. تاج دینی، آ.، 1389، فاکتور میرایی چوب کاج جنگلی در ارتعاشات آزاد طولی، خمشی و پیچشی. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی. سال 5، شماره 4، صفحه 19 تا 30
5. شیرازی، ن.، روش ساختن سه تار، 1381 ، انتشارات پارت، 132 صفحه
6. Anonymous, 2000, Wood Hand book.,Wood as an Engineering Material Agricultural., Handbook 72. UDSA. Forest product Laboratory. Madison . WI, 42-48.
7. Ayarkwa J., Y, Hirashima & Sasak,Y. 2000, Predicting Modulus of Rupture of Solid and Finger-Jointed Tropical African HardWoods Using Longitudinal Vibration.Forest Products Journal . 51(1):85-92
8. Bodig, J., B. Jayne, 1989, Mechanics of wood and wood composites (Persian translation). Tehran University press
9. Brancheriau, L, Kouchade C, Bremaud I (2010) Internal friction measurement of tropical species by various acoustic methods. J. Wood Sci. DOI 10.1007/s10086-010-1111-8
10. Custodio, J., J, Broughton & H, Cruz, 2009. A Review of Factors Influencing the Durability of Structural Bonded Timber Joint . International Journal of Adhesion&Adhesive . 29:173-185
11. Eby, R.E. 1981, Proof Loading of Finger Joint for Glulam Timber. Forest Product Journal 31(3).37-41
12. Hossein.M, A, M, Roohnia, M, Shahverdi. 2009, Some footprints of wood internal defects on three first mode-shapes of free vibration.16th international symposium on nondestructive testing and evaluation of wood, Beiging, China
13. Kuklik.P.,J, Doipjs . 1999, Nondestructive Evaluation of Structural Timber . In Proceedings of 5th World Conference Timber Engineering. Montreux.vol:1:692-699

14. Nzokou, P., J.Freed, D.P, Kamden . 2006, Relationship between Nondestructive and Static Modulus of Elasticity of Commerical Wood Plastic Composites . Hols als Roh . und Werkstoff.64:90-93
15. Obataya, E.، T. Ono & M. Norimoto. 2000. Vibrational properties of wood along the grain . Journal of materials science . 35: (2993 – 3001)
16. Roohnia, M., K, Doosthosseini, H, Khademieslam, J, Gril & I, Bremaud, 2006. Study on Variations of Specific Modulus of Elasticity and Shear Moduli in Arizona Cypress Wood . using Vibration Method . Iranian Journal of Natural Resources . Vol. 59/No. 4
17. Roohnia, M., S,E ,Alavi-tabar, M.A, Hossein, Loïc Brancheriau,L & Ajang Tajdini, Nondestructive Testing and Evaluation. 2011(a);26(2):141-153
18. Roohnia, M., S, F, Hashemi-dizaji, L, Brancheriau, A, Tajdini A, H & N, Manouchehri. Effect of soaking process in water on the acoustical quality of wood for traditional musical instruments, BioResources. 2011(b). 6(2): 2055-2065
19. Roohnia, M., M, A, Hossein, S, E, Alavi-Tabar, A, Tajdini, A, Jahan-Latibari & N, Manouchehri. Acoustic properties in Arizona Cypress logsCOUSTIC: A tool to select wood for sounding board, BioResources. 2011(c);6(1):386-399
20. Roohnia, M., A, Tajdini & N, Manouchehri. Assessing wood in sounding boards considering the ratio of acoustical. NDT&E International. 2011(d); 44:13-20
21. Ross, RJ., Pellerin, R. F. 1994, Nondestructive Testing Assessing Wood Members in Structures. USDA Society Review
22. 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
23. Soltis. L. A, M, Ritter. 1997, Mechanical Connection in Wood Structures . ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, New York, American Society of Particleboard. J. Wood Sci,45:221-226
24. Tsoumis, G., 1991. Science and technology of wood. Van Nostrand Reinold
25. Wegst, UGK., (2006). Wood For Sound, American Journal of Botany 93(10): 1439–1448.
26. Wood - Sampling Methods and General Requirements for Physical and Mechanical Tests– 1975 – 11 – 01 - International Standard ISO 3129
27. Yung-Yen, K, Huei-chun, Cheng-Hsing, C. 2005. Analysis for Forced Vibration Test on Protho-Type Pile Foundation in Tsip, Journal of Mechanics, Vol.21. No. 4
28. Yang, T, H., S, Y, Wang, C, J, Lin, M, J, Tsai. 2008, Evaluation of the Mechanical Properties of Duglas-fir and Japanese Cedar Lumber and its Structural Glulam by Nondestructive Techniques. Construction and Building Materials. 22:487- 493.