

بررسی تاثیر نوع اتصال بر خواص آکوستیک چوب‌های اتصال‌دار

مصطفی کهن‌ترابی^۱، محمدرضا غزنوی^۱، مهران روح‌نیا^{۲*}، آژنگ تاج‌دینی^۲، سعید کاظمی نجفی^۳

چکیده

در این تحقیق به بررسی تاثیر ایجاد اتصالات فارسی و انگشتی بر روی خواص آکوستیکی نمونه‌های حاصل از گونه راش پرداخته شده است. 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 نشان داد که ایجاد اتصال فارسی سبب افزایش فاکتور میرایی و کاهش کارایی تبدیل آکوستیک می‌گردد. درحالی‌که ایجاد این اتصال سبب تاثیر معنی‌داری بر روی ضریب آکوستیک نمی‌گردد. همچنین نتایج نشان داد که ایجاد اتصال انگشتی علاوه بر کاهش کارایی تبدیل آکوستیک سبب کاهش ضریب آکوستیک نیز می‌گردد. در مجموع می‌توان گفت که در صورت لزوم استفاده از اتصالات در ساخت سازه‌های آکوستیکی اتصال فارسی و سر به سر اثرات منفی کمتری را بر روی خواص آکوستیک نسبت به اتصال انگشتی در پی دارد.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش خمشی، ارتعاش طولی، خواص آکوستیک، اتصال فارسی، اتصال انگشتی

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 مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی، یک روش استاندارد است ولی باعث شکستن نمونه مورد آزمایش می‌گردد. آزمون‌های غیرمخرب^۱ (NDT) در سال‌های اخیر به سرعت 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 کارایی و یا شرایط ماده در هنگام مصرف ارایه می‌کند [21]. غیرمخرب بودن این روش‌ها این امکان را برای ما فراهم می‌آورد که در صورت لزوم، در کل حجم نمونه، چندین بار آزمایش مورد نظر تکرار شود [13]. این آزمون‌ها برخلاف آزمون‌های استاتیک باعث شکست نمونه نشده و زمان تلف شده کمتری را در پی دارند. آزمون‌های غیرمخرب شامل بازرسی چشمی، اشعه ایکس، امواج مافوق صوت، آکوستیک و ارتعاشات و امثال آن می‌باشند. نمونه‌های آزمون غیرمخرب در صنعت چوب شامل تعیین مدول الاستیسیته، ارتعاشات اتصالات و بررسی چوب‌های اشباع شده 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 بوده است [16] که تاکنون برای

طبقه‌بندی بسیاری کاربردهای مهندسی از جمله ارزیابی خاک و زمین مورد استفاده قرار گرفته است [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) به یکدیگر متصل کرد. اتصال در سازه‌های چوبی اعم از ساختمان‌های چوبی یا مبلمان به معنی متصل شدن 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 اعمال شده و تنش ایجاد شده، خستگی بالاتر نسبت به اتصالات مکانیکی، تولید سازه‌هایی با وزن کمتر، توانایی اتصال و درز گیری به‌طور هم‌زمان و... نسبت داد [10]. با این وجود نسبت به این گونه اتصالات کمترین شناخت وجود دارد [23]. از طرف دیگر تقاضای روزافزون برای چوب و محدودیت منابع چوبی باعث افزایش ارزش اقتصادی این ماده‌ی خام گردیده است و این گونه اتصالات امکان استفاده از ضایعات چوبی با طول کوتاه و همچنین درختان با قطر کم را افزایش داده است [7]. استفاده از انواع اتصالات چسبی در بسیاری از زمینه‌های کاربرد چوب به سرعت روبه گسترش هستند و پیشرفت‌های زیادی نیز در اجرا و طراحی آن‌ها حاصل شده است [28]. بنابراین تولید یک اتصال قابل اعتماد

¹ Non Destructive Test

موسیقی باشد [24]. اوبایاتا² 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]. راجینیران³ و همکاران در سال 2005 به این نتیجه رسیدند که گونه‌های سوزنی‌برگ مناسب برای ساخت جعبه‌های تشدید صدا باید از کارایی تبدیل آکوستیک بالایی برخوردار باشند [22]. وگست⁴ (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 روش‌ها

ابتدا تعداد 20 نمونه کاملاً 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 36x4x2 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-

و نیز کنترل این اتصال در شرایط 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]. با توجه به 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 حاصل از این ادوات دارد [5]، هدف از انجام این تحقیق، بررسی تاثیر اتصالات بر روی خواص آکوستیک چوب می‌باشد. از طرف دیگر 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 اتصالات چسبی وجود ندارد، در صنایع و علوم مکانیک و علوم مربوط به ارتعاشات اجسام صلب سابقه طولانی هم توسط تکنیک ارتعاش آزاد و هم توسط سایر تکنیک‌های غیرمخرب وجود داشته و نتایج حاصل از 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. تسومیس¹ در سال 1991 بیان کرد که ضریب آکوستیک می‌تواند ملاک مناسبی برای انتخاب چوب مورد استفاده در ادوات

² Obataya

³ Rujinirun

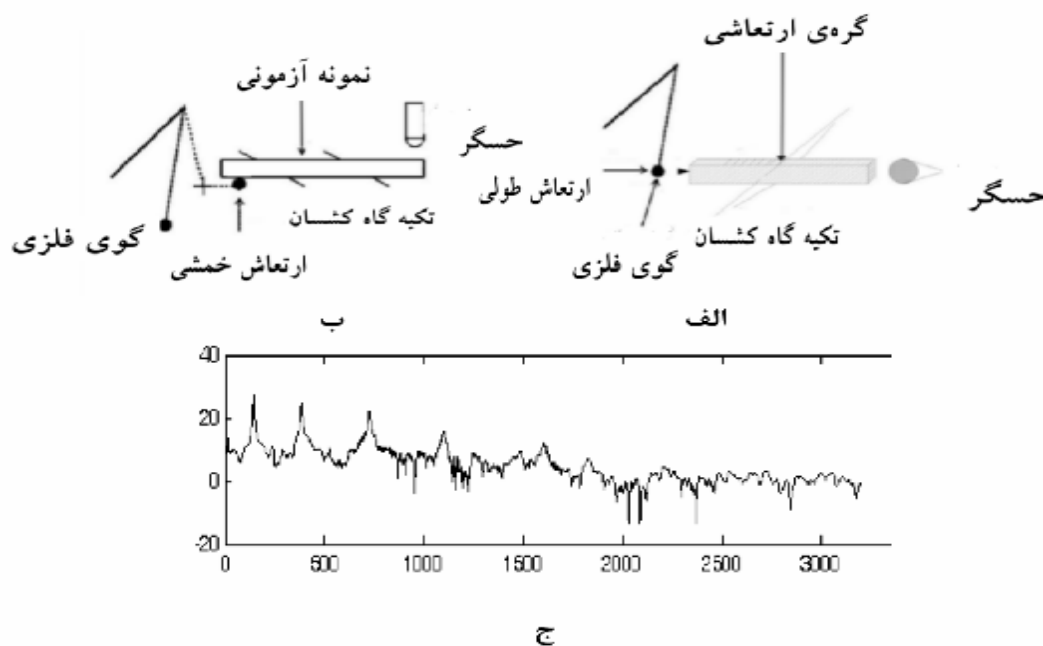
⁴ Wegst

¹ Tsoumis

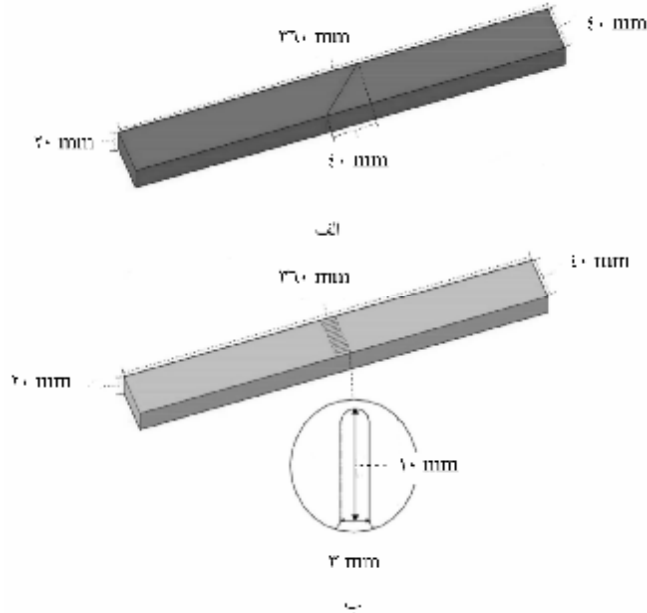
نمونه برداری صوتی 44100 هرتز توسط نرم افزار مذکور تنظیم و فایل صدا در ارتعاش خمشی توسط سیستم [®] NDT-lab [3] و در ارتعاش- طولی توسط سیستم LStress [19] با همان فرکانس نمونه برداری قرائت گردید (شکل 1). با ورود اطلاعات ابعاد واقعی و وزن نمونه ها، به هر کدام از سیستم های ذکر شده، محاسبات مربوطه صورت می پذیرفت. انجام محاسبات آزمون ارتعاش خمشی بر اساس تئوری تیر تیموشنکو است [19 و 20]. پس از آن نمونه ها به دو گروه تقسیم شده و هر گروه جهت ایجاد یک نوع اتصال مورد استفاده قرار گرفت. گروه اول جهت ایجاد اتصال فارسی با زاویه ی 45 درجه و گروه- دوم جهت ایجاد اتصال انگشتی (شکل 2) به کار برده شد.

ارتعاش خمشی آزاد در تیر دوسر آزاد قرار گرفته و بر اساس تئوری تیر تیموشنکو نمونه هایی که دارای بیشترین همبستگی (همبستگی بالای 0/98) بین مدهای اول تا سوم ارتعاشی بودند جهت ادامه آزمون انتخاب گردیدند. این معیار جهت انتخاب نمونه ی آزمونی، در تحقیقات پیشین مورد استفاده قرار گرفته است [17 و 18].

براین اساس تعداد 14 نمونه از نمونه های اولیه حایز شرایط جهت ادامه ی تحقیق بوده و پس از اندازه گیری مجدد ابعاد و وزن، مورد آزمون ارتعاش خمشی و طولی آزاد (شکل 1) قرار گرفتند. ضبط اصوات و ذخیره ی آن توسط نسخه سوم نرم افزار [®] Audacity انجام پذیرفت. این نرم افزار همانند بسیاری از نرم افزارهای ضبط صدا، قابلیت نمونه برداری بسیار سریع در کسری- از هر ثانیه از صدا را داراست. فرکانس



شکل 1- الف) ارتعاش خمشی آزاد در تیر دوسر آزاد [9] ب) ارتعاش طولی آزاد در تیر دوسر آزاد [9] ج) سری فوریه به دست آمده شامل سه مد ارتعاشی



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

اتصال بر خواص آکوستیکی تیرهای اتصال یافته در شرایط کاملاً مشابه با نمونه‌های اولیه تکرار شد.

لازم به ذکر 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 پلی‌وینیل استات¹ (جدول 1) چسب‌زنی شده و تا برقراری کامل اتصال درون گیره‌دستی قرار گرفتند. پس از برقراری کامل اتصال، نمونه‌ها از گیره‌دستی خارج شده و به مدت 2 هفته در محیط کلیماتیزه مذکور قرار گرفتند. سپس آزمون ارتعاش خمشی آزاد و آزمون ارتعاش طولی بر روی نمونه‌های اتصال یافته با کیفیت ذکر شده، به منظور بررسی تاثیر نوع

¹Polyvinyl acetates

جدول ۱- مشخصات چسب پلی وینیل استات مورد استفاده در آزمون

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

که در آن K ضریب آکوستیک، ACE کارایی تبدیل آکوستیک، E مدول الاستیسیته طولی، r جرم ویژه و $tand$ میرایی ارتعاش می باشد.

برای اندازه گیری جرم ویژه از بسیاری روش های استاندارد که اغلب غیرمخرب نیز بوده و مبتنی بر مشاهدات تجربی هستند استفاده می شود. طریقه محاسبه مدول الاستیسیته چوب به روش غیرمخرب ارتعاش خمشی آزاد در تیر دو- سرآزاد و نیز ارتعاش طولی، در مرجع 14 بیان شده است. جهت مشاهده تغییرات به وجود آمده در اثر اتصال از روش آماری تجزیه ی واریانس و مقایسه ی میانگین ها استفاده گردید.

کاهش لگاریتمی ارتعاش¹ (شکل 3) به صورت زیر توصیف می شود که شاخصی برای میزان افت ارتعاش در طول زمان است [2]:

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

X_1 : بلندی اولیه موج در حال کاهش

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

بدین ترتیب میرایی ارتعاش می تواند مطابق رابطه زیر از روی کاهش لگاریتمی محاسبه شود که در رابطه 1 فاکتور میرایی² محاسبه می گردد. ضریب آکوستیک $(AC)^3$ و کارایی تبدیل- آکوستیک $(ACE)^4$ که از فاکتورهای مهم آکوستیکی چوب آلات مورد استفاده در صفحات تشدید صدا می باشند توسط روابط 2 و 3 محاسبه می گردند.

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

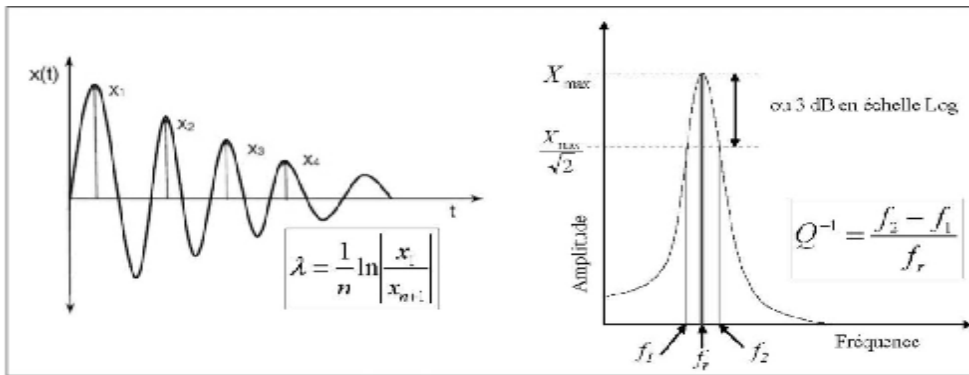
$$ACE = \frac{K}{\tan d} \quad (3)$$

¹ Logarithmic decrement

² Damping Factor

³ Acoustical Coefficient

⁴ Acoustical Converting Efficiency

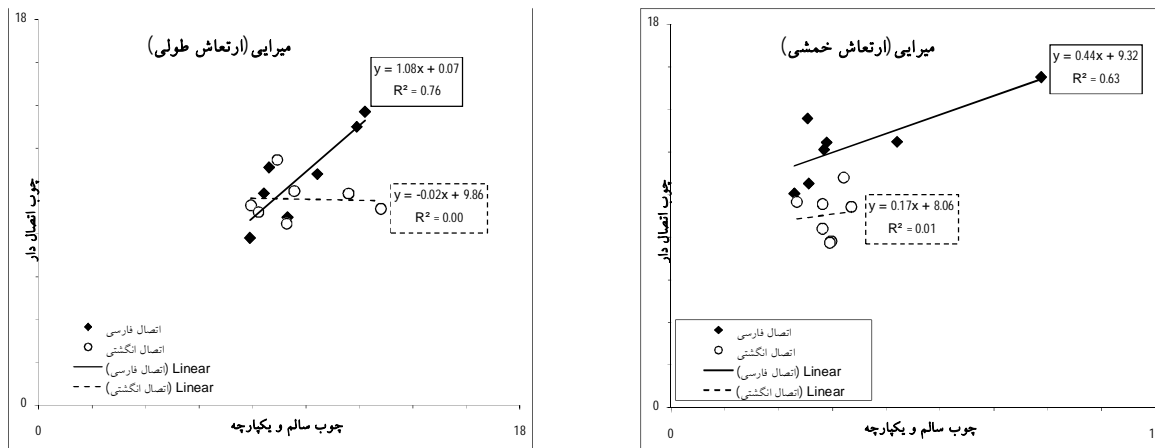


شکل 3- نمایش فاکتور کاهش: سمت چپ به روش لحظه‌ای با استفاده از کاهش لگاریتمی λ و سمت راست به روش فرکانسی با استفاده از پهنای باند قله بلندی ارتعاش (فاکتور کیفیت Q)

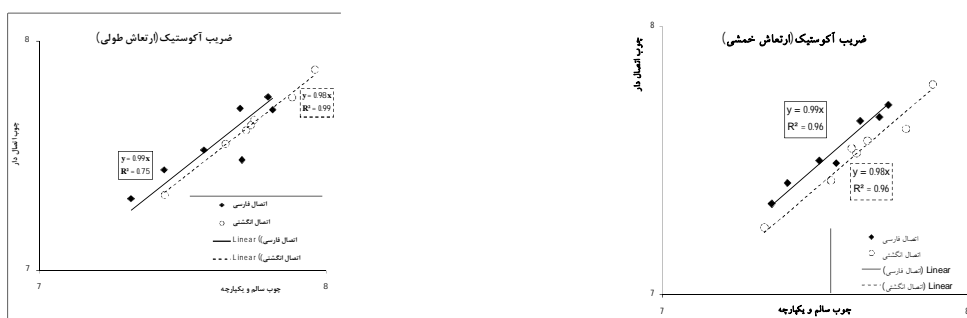
نتایج

روش آزمونی نسبت به 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 ضریب آکوستیک به نمایش می‌گذارد. باتوجه به 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 نسبت به چوب سالم و یکپارچه داشته‌است.

جهت مشاهده تغییرات فاکتور میرایی ($tand$)، ضریب آکوستیک (AC) و کارایی تبدیل آکوستیک (ACE) محاسبه شده حاصل از دو آزمون ارتعاش خمشی و ارتعاش طولی و مقایسه مقادیر حاصل با چوب سالم و یکپارچه و همچنین تاثیر نوع اتصال بر خواص آکوستیکی، از نمودار ابر نقاط استفاده شد. شکل 4 تاثیر نوع اتصال را بر روی فاکتور میرایی محاسبه شده از هر دو روش آزمونی را نشان می‌دهد. باتوجه به این شکل اتصال فارسی سبب افزایش این فاکتور در هر دو



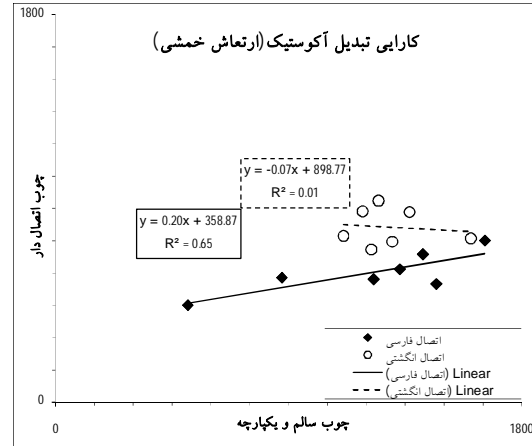
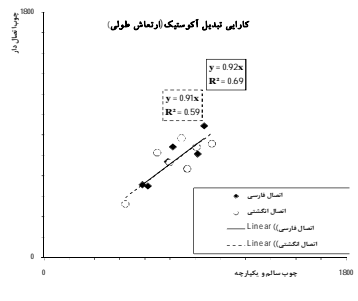
شکل 4- تاثیر اتصالات فارسی و انگشتی بر میرایی ارتعاش ($\tan \delta$)



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

نتایج حاصل از آزمون ارتعاش طولی در اتصال انگشتی نیز حاکی از کاهش معنی‌دار فاکتور مذکور در این اتصال می‌باشد. اما نتایج محاسبه شده این فاکتور در ارتعاش خمشی از هبستگی خوبی برخوردار نمی‌باشد.

شکل 6 نیز تاثیر نوع اتصال بر کارایی تبدیل-آکوستیک محاسبه شده از طریق هر دو روش آزمونی را به نمایش می‌گذارد. باتوجه به این شکل اتصال فارسی سبب کاهش معنی‌دار فاکتور مذکور در هر دو روش آزمونی گردیده است. همچنین



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

جهت ارتعاش (طولی، مماسی و شعاعی)، و مد ارتعاش دارد. باتوجه به شکل 4 در هر دو آزمون خمشی و طولی، در اثر ایجاد اتصال فارسی میرایی نسبت به چوب سالم و یکپارچه افزایش یافت که این می‌تواند به دلیل صرف انرژی بیشتر ارتعاش در ناحیه‌ی خط‌چسب به تبع جرم ویژه‌ی بالاتر چسب مورد استفاده (جدول 1) نسبت به گونه‌ی آزمونی (600 تا 700 کیلوگرم بر مترمربع) [1] باشد که گزینه‌ای قابل تحقیق خواهد بود. پیش-ازاین نیز افزایش فاکتور میرایی در اثر وجود معایبی مثل گره، در چوب گزارش گردیده است [12]. اما تغییرات این فاکتور در هر دو آزمون خمشی و طولی در اتصال انگشتی از همبستگی مناسبی برخوردار نبودند و به این دلیل نمی‌توان فاکتور میرایی را جهت مقایسه‌ی خواص-آکوستیکی این دو اتصال مناسب دانست. ضریب-آکوستیک یکی از پارامترهای مهم در برآورد ویژگی آکوستیکی یک جسم می‌باشد که تحت اثر

بحث و نتیجه‌گیری

اثر دو نوع اتصال فارسی و انگشتی بر روی میرایی ارتعاش در مد اول ارتعاش خمشی و مد اول ارتعاش طولی و نیز ضریب آکوستیک (AC) و کارایی تبدیل آکوستیک (ACE) محاسبه شده از طریق دو آزمون خمشی و طولی مورد بررسی و نتایج با چوب سالم و یکپارچه مقایسه گردید. صدایی که از ارتعاش چوب ساطع 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 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 ...)، رطوبت چوب (با افزایش mc میرایی افزایش می‌یابد)،

که از همبستگی مطلوبی برخوردار نمی‌باشند، در هر دو نوع اتصال این فاکتور نسبت به 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.

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

سپاسگزاری

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

مدول الاستیسیته (E) و جرم‌ویژه (ρ) 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 مدول الاستیسیته آن بالاتر باشد طبق تئوری چوب راحت‌تر مرتعش شده و ارتعاش آن دیرتر میرا می‌شود [24]. ایجاد اتصال-فارسی سبب تغییر چندانی بر فاکتور مذکور در هر دو روش آزمونی نگردید اما هر دو آزمون خمشی و طولی (شکل‌های 5) اتصال انگشتی حاکی از 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 اتصال فارسی اثر چندانی بر روی ضریب آکوستیک ندارد؛ اما فاکتور مذکور با ایجاد اتصال انگشتی به-شدت کاهش می‌یابد. از این‌رو در مواردی که ضریب آکوستیک در ساخت صفحات تشدید صدا مدنظر باشد، اتصال سربه‌سر فارسی، نسبت به اتصال سربه‌سر انگشتی ارجحیت دارد.

کارایی تبدیل آکوستیک نیز مانند ضریب آکوستیک 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 از لحاظ آکوستیکی دارای شرایط بهتری برای انتخاب به‌عنوان کارکرد در صفحات مذکور را خواهد داشت [15]. صرف‌نظر از نتایج حاصل از ارتعاش طولی اتصال انگشتی

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 Hard Woods 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, Beijing, 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

منابع

1. بادیدگ، 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 59-68
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

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, R.J., 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.