

## تشخیص معایب در اتصالات از طریق تغییرات حاصل در ضریب همبستگی و مدول برشی دینامیک در چوب راش

مصطفی کهن ترابی<sup>۱\*</sup> و مهران روح نیا<sup>۲</sup>

\*- نویسنده مسئول، فارغ‌التحصیل مقطع کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

پست الکترونیک: [mostafa.kohantorabi@yahoo.com](mailto:mostafa.kohantorabi@yahoo.com)

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۱

### چکیده

در این تحقیق به بررسی امکان ردیابی نقص در اتصالات فارسی و انگشتی از طریق تغییرات حاصل در ضریب همبستگی و مدول برشی دینامیک پرداخته شد. تعداد ۴۲ نمونه سالم و بدون عیب ظاهری مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO شماره ۳۱۲۹ انتخاب و پس از ایجاد دو اتصال فارسی و انگشتی در سه سطح چسب‌گذاری شده و تحت آزمون ارتعاش آزاد خمشی در تیر دوسر آزاد قرار گرفتند. نتایج نشان داد که وجود نقص در هر دو اتصال سبب تغییر در مدول برشی دینامیک می‌گردد اما از روی تغییرات ایجاد شده بر روی این فاکتور نمی‌توان به میزان نقص پی‌برد. در صورتی که از طریق تغییرات ایجاد شده در ضریب همبستگی علاوه بر وجود نقص در دو اتصال مورد تحقیق، می‌توان میزان نقص را نیز پیش‌بینی نمود.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش خمشی، اتصال فارسی، اتصال انگشتی، مدول برشی دینامیک، ضریب همبستگی.

### مقدمه

در سازه‌های چوبی، کلیه قطعات به طرق مختلف به یکدیگر وصل شده‌اند و اتصالات از بخش‌های اصلی سازه هستند (Eckelman, 2003). به طوری که کاربرد اتصالات چسبی در ساخت بسیاری از محصولات چوبی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بنابراین تولید یک اتصال قابل اعتماد و نیز کنترل این اتصال در شرایط مصرف امری مهم به نظر می‌رسد (Soltis, 1997). از طرف دیگر مدول الاستیسیته و مدول برشی از معروف‌ترین پارامترهای

مکانیکی در مواد مهندسی می‌باشند. تاکنون نظریه‌های متفاوتی در ارتباط با ساختار هندسی الاستیک چوب مطرح شده است (Bucur, 2003). البته پیچیده بودن ساختار هندسی سه‌جهته که باعث پدید آمدن ۲۱ ثابت الاستیک در این نوع ساختار هندسی شده است را می‌توان فصل مشترک بین این نظریه‌ها دانست (Bucur, 2003). کاربرد تکنیک‌های ارتعاشی در بسیاری از ارزیابی‌های غیرمخرب به منظور تعیین مدول برشی و دیگر خواص مکانیکی چوب، دارای سابقه‌ی فراوان و طولانی

سبب عدم کارایی این روابط و معادلات جهت محاسبه‌ی فاکتور ذکر شده شوند. در سال‌های اخیر تأثیر معایب مختلف، بر روی ثابت‌های الاستیک چوب، توسط آزمون‌های استاتیکی و دینامیکی به طور گسترده‌ای، مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال Caddemi در سال ۲۰۰۶ موفق به تشخیص وجود ترک در تیرهای الاستیک توسط آزمون استاتیکی گردید. Brancheriau در سال ۲۰۰۲ به مطالعه و آنالیز ارتعاش طبیعی تیرهای چوبی و ارزیابی خواص مکانیکی این تیرها پرداخت. وی همچنین در سال ۲۰۰۳ بر امکان درجه‌بندی و ارزیابی دقیق و با کیفیت بالا از طریق تجزیه و تحلیل مدهای ارتعاشی حاصل در هر محدوده‌ی فرکانسی تأکید نمود. استفاده‌ی مستقیم از طیف‌ارتعاشی در برآورد و تخمین مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی، عامل منحصر به فرد بودن روش وی به شمار می‌رفت. در تحقیقی دیگر Divos در سال ۲۰۰۱ به بررسی کارایی تکنیک دامنه<sup>۱</sup> برای ارزیابی خواص مکانیکی چوب پرداخت. آزمون جفت‌شدگی آکوستیک بین چوب و تولیدکننده‌ی سیگنال، میرایی سیگنال در چوب، تأثیر انحراف‌الیاف و قابلیت تجهیزات در شناسایی عیوب ساختگی (شکاف اره) از عوامل مورد مطالعه در تحقیق وی به شمار می‌رفت. نتایج نشان داد که انتشار جبهه‌ی امواج با شدت یکسان تا فاصله‌ی ۶۰ سانتی‌متری از منبع انتشار این امواج توسعه می‌یابد و بعد با افزایش فاصله، دامنه‌ی امواج کاهش پیدا می‌کند. وی همچنین اعلام کرد که فاکتور دامنه دارای حساسیت بیشتری نسبت به فاکتور سرعت انتشار به منظور شناسایی عیوب در چوب می‌باشد. Meinschmidt در سال ۲۰۰۵ توسط حسگرهای گرمانگار موفق به شناسایی

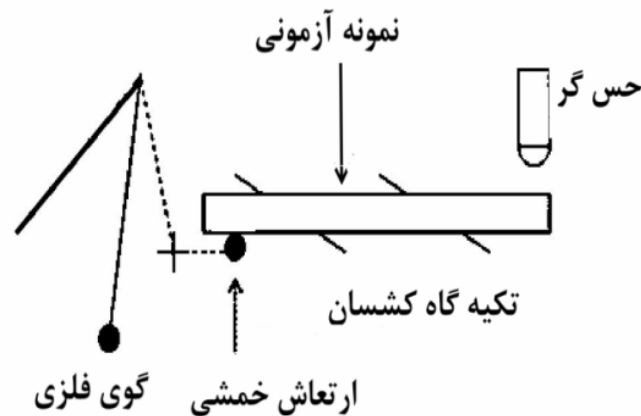
می‌باشد (Bodig, 1982; Brancheriau, 2002; Cho 2007 and Divos 2005). مزیت‌های استفاده از تکنیک ارتعاش نسبت به روش‌های استاتیکی کاملاً محسوس می‌باشد. به طوری که جایگزینی این تکنیک با روش استاتیکی، موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ی مصرفی در ارزیابی خواص مکانیکی مواد می‌گردد (Chui, 1989). از طرف دیگر کاربرد تکنیک ارتعاش خمشی آزاد در تیر دو سر آزاد به طور گسترده و وسیعی برای برآورد مدول برشی چوب مورد توجه محققان بوده است که امروزه با پیشرفت حاصل شده در تجهیزات مورد استفاده، و جایگزینی این تجهیزات با ابزار قدیمی، استفاده از این تکنیک با سهولت و همچنین استقبال بیشتری روبه رو گردیده است (Cho, 2007). پیش از این تعیین مدول برشی با استفاده از روش‌های استاتیکی و دینامیک و مقایسه‌ی نتایج حاصل از هر روش، توسط چندین محقق مورد بررسی قرار گرفته است (Perstorper, 1994; Divos, 2005; Liang, 2007; Nzokou et al., 2006; Cho, 2007; Yang et al., 2002). نتایج حاصل از دو روش، برقرار کرده است. هنگامی که یک تیر در صفحات LR و LT مرتعش شود، در این حالت مقادیر مدول الاستیسیته‌ی طولی و مدول برشی، با استفاده از تئوری‌های مرتبط، و از طریق استحصال فرکانس‌های وابسته به مد هر کدام از این صفحات، به دست خواهند آمد؛ این فاکتورها (مدول الاستیسیته‌ی طولی و مدول برشی) در هر دو صفحه‌ی LR و LT تقریباً با هم برابر می‌باشند (Roohnia, 2009). روابط و معادلات مورد استفاده در آزمون ارتعاش خمشی، برای محاسبه و برآورد مدول الاستیسیته‌ی چوب‌های کاملاً سالم کاربرد دارند و هنگامی که نمونه‌ی آزمونی معیوب باشد، به دلیل نقش معایب در کاهش همگنی نمونه‌ی آزمونی، ممکن است

پوسیدگی و ... بر طبق استاندارد بین‌المللی ISO شماره ۳۱۲۹ با ابعاد ۳۶×۴×۲ سانتی‌متر (طول، عرض و ارتفاع) و با سطح مقطع مستطیلی شکل جهت انجام آزمون انتخاب شدند. نمونه‌ها به منظور یکسان‌سازی رطوبت به مدت ۲ هفته در اطاق کلیماتیزه (۲۲ درجه‌ی سانتی‌گراد حرارت و ۶۵٪ رطوبت نسبی) قرار گرفتند. پس از طی مدت مذکور به منظور اطمینان بیشتر از عاری بودن نمونه‌ها از عیوب پنهان داخلی، نمونه‌های آزمونی تحت آزمون ارتعاش خمشی آزاد در تیر دو سر آزاد قرار گرفته و براساس تئوری تیر تیموشنکو نمونه‌هایی که دارای بیشترین همبستگی (همبستگی بالای ۰/۹۸) بین مدهای اول تا سوم ارتعاشی بودند برای ادامه‌ی آزمون انتخاب گردیدند. این معیار برای انتخاب نمونه‌ی آزمونی، در تحقیقات پیشین مورد استفاده قرار گرفته بود (Hossein, 2009). بر این اساس تعداد ۴۲ نمونه از نمونه‌های اولیه حائز شرایط جهت ادامه‌ی تحقیق بوده و پس از اندازه‌گیری ابعاد و وزن، مورد آزمون ارتعاش خمشی (شکل ۱) قرار گرفتند. ضبط اصوات و ذخیره‌ی آن توسط نسخه سوم نرم‌افزار Audacity<sup>®</sup> انجام گردید و فایل صدا در ارتعاش خمشی توسط سیستم<sup>®</sup> (Roohnia, NDT-lab) (2009) با همان فرکانس نمونه‌برداری قرائت گردید (شکل ۱). با ورود اطلاعات ابعاد واقعی و وزن نمونه‌ها به سیستم ذکر شده، محاسبات مربوط به محاسبه‌ی ضریب همبستگی بین سه مد اول ارتعاشی و مدول برشی، انجام شد.

عیوب در چوب و مواد بر پایه‌ی چوب گردید. روح‌نیا و همکاران در سال ۲۰۰۹ تأثیر ترک‌های طولی انتهایی بر روی پارامترهای الاستیک تیرهای مستطیل شکل حاصل از گونه‌ی صنوبر (*Poplar*) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق حکایت از آن داشت که در صورت تقریباً برابر بودن مدول الاستیسیته‌ی ویژه‌ی طولی در دو جهت شعاعی و مماسی ( $E_{SLR}$ ,  $E_{SLT}$ ) و نیز اندکی بزرگتر بودن مدول برشی شعاعی ( $G_{LR}$ ) نسبت به مدول برشی مماسی ( $G_{LT}$ ) می‌توان در عاری بودن چوب‌های مورد آزمون از ترک‌های طولی شدید و مؤثر اطمینان کامل داشت. در ادامه‌ی تحقیقات ذکر شده در ارتباط با آزمون‌های غیرمخرب شناسایی عیوب در چوب، تأثیر نقص در چسبندگی در دو اتصال فارسی و انگشتی به‌عنوان یک عیب ساختگی بر روی برآورد ضریب همبستگی بین سه مد اول ارتعاش خمشی و مدول برشی دینامیک، قابل محاسبه از طریق ارتعاش خمشی در صفحه طولی شعاعی (با توجه به ابعاد نمونه‌های به‌کار رفته در این تحقیق، امکان محاسبه‌ی این فاکتور فقط در صفحه‌ی ذکر شده وجود داشت) است. به‌عنوان موضوع اصلی این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است.

## مواد و روشها

ابتدا تعداد ۵۰ نمونه کاملاً سالم و راست تار از درون چوب یک گرده‌بینه‌ی راش (*Fagus orientalis* L.) بدون هرگونه عیب و ایراد ظاهری، از جمله گره، ترک،



شکل ۱- ارتعاش خمشی آزاد در تیر دو سر آزاد (Berancheriau و همکاران، ۲۰۰۲)

مدول برشی، بر اساس تئوری تیر تیموشنکو است (Bordonne, 1989).

انجام محاسبات آزمون ارتعاش خمشی و محاسبه ی ضریب همبستگی سه مد اول ارتعاش خمشی و

$$a_n = \left(\frac{E}{\rho}\right) - \left(\frac{E}{K \times G}\right) b_n \quad (1)$$

$$b_n = \frac{4 \pi^2 l^2 f_n^2 F 2n}{m_n^4} \quad (2)$$

$$a_n = \frac{[4 \pi^2 l^2 f_n^2 (1 + \alpha F_{1n})]}{\alpha m_n^4} \quad (3)$$

برای ایجاد اتصال انگشتی (تعداد ۷ انگشت در عرض نمونه) با سه سطح چسب زنی کامل چسب، متوسط چسب و ناقص چسب (جدول ۱ و شکل ۲). نمونه های هر گروه توسط چسب پلی وینیل استات<sup>۱</sup> با سه سطح چسبندگی ذکر شده، چسب گذاری شده و تا برقراری کامل اتصال درون گیره دستی قرار گرفتند. پس از برقراری کامل اتصال، نمونه ها از گیره دستی خارج شده و به مدت ۲ هفته در

$K$  ضریب شکل است که در اینجا حدود ۰/۸۳۳ می باشد.  $G$  مدول برشی و  $\rho$  جرم ویژه و  $f_n$  فرکانس  $n$  امین مد ارتعاش است که از طریق تجزیه و تحلیل طیف فوریه بدست می آید.

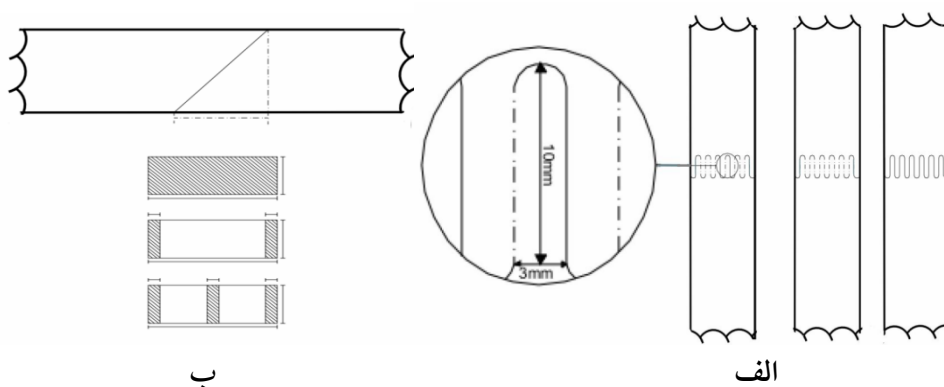
پس از آن نمونه ها به دو گروه ۲۱ نمونه ای با ۳ زیر مجموعه تقسیم شدند و هر گروه برای ایجاد یک نوع اتصال مورد استفاده قرار گرفت. گروه اول برای ایجاد اتصال فارسی با زاویه ی ۴۵ درجه با سه سطح چسب زنی کامل چسب، متوسط چسب و ناقص چسب و گروه دوم

1-Polyvinyl acetates

محیط کلیماتیزه‌ی مذکور قرار گرفتند. سپس آزمون ارتعاش خمشی آزاد بر روی نمونه‌های اتصال یافته با کیفیت ذکر شده، به منظور بررسی تأثیر سطح چسب گذاری بر روی ضریب همبستگی بین سه مدول ارتعاش خمشی، مدول برشی و دینامیک تیرهای اتصال یافته انجام شد.

جدول ۱- نوع اتصالات و سطوح چسب گذاری شده

نوع اتصال	سطح در دسترس جهت ایجاد اتصال (mm <sup>2</sup> )	سطح چسب زنی در اتصال کامل چسب (mm <sup>2</sup> )	سطح چسب زنی در اتصال متوسط چسب (mm <sup>2</sup> )	سطح چسب زنی در اتصال ناقص چسب (mm <sup>2</sup> )
فارسی ۴۵ درجه	۵۵×۲۰	۵۵×۲۰ (٪۱۰۰)	۲۰×۵ (از طرفین و وسط سطح اتصال) (٪۱۸/۲)	۲۰×۵ (از طرفین نمونه) (٪۲۷/۳)
اتصال انگشتی	۱۲۰×۲۰ (عرض × ارتفاع)	۱۲۰×۲۰ (٪۱۰۰)	یک یال از هر انگشت طرفین نمونه + دو یال میانی (٪۳۳/۳)	یک یال از هر انگشت طرفین نمونه (٪۱۶/۷)



شکل ۲- نحوه‌ی چسب گذاری در اتصالات: الف) اتصال فارسی و نمای سطح در دسترس اتصال (مناطق هاشور خورده و چسب گذاری شده) ب) اتصال انگشتی (خط پُر چسب گذاری شده و نقطه چین نواحی بدون چسب)

## نتایج

اتصال فارسی و انگشتی ترسیم شد و ضریب همبستگی خطی مربوط به آنها محاسبه شد.

نمودارهای خطی برای بررسی تغییرات ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و نمودارهای پراکندگی برای بررسی مقادیر مدول برشی ( $G_{LR}$ ) با توجه به نوع

جدول ۲- آزمون اثر متقابل مدول برشی (G) و ضریب همبستگی ( $R^2$ )

نوع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
مدل	۱۰۰۷۷۱۷۲۶۶۳۲۳۰۳۵۹۰۰۰	۶	۱۶۷۸۶۲۱۱۰۵۳۸۳۹۳۲۰۰	۱۰/۷۳۰	۰/۰۰۰
تصحیح شده	۷/۷۹۸	۶	۱/۲۹۸	۹۶۲/۳۴۰	۰/۰۰۰
عرض از مبدأ	۴۶۹۲۳۱۴۷۷۶۱۵۵۷۳۰۰۰۰۰	۱	۴۶۹۲۳۱۴۷۷۶۱۵۵۷۳۰۰۰۰۰	۲۹۹۹/۴۰۰	۰/۰۰۰
سطح	۳۰/۴۰۳	۱	۳۰/۴۰۳	۲۲۵۳۸/۴۲۱	۰/۰۰۰
چسب گذاری	۱۰۰۷۷۱۷۲۶۶۳۲۳۰۳۵۹۰۰۰	۴	۱۱۲۹۸۹۹۳۹۶۷۶۱۶۱۶۰۰	۷/۲۲۲	۰/۰۰۰
خطا	۴/۵۴۸	۴	۱/۱۳۷	۸۴۲/۹۳۵	۰/۰۰۰
	۱۲۰۴۶۰۱۸۵۹۷۶۳۸۵۰۰۰۰۰	۷۷	۱۵۶۴۴۱۷۹۹۹۶۹۳۳۳۱۱۰	-	-
	۰/۱۰۴	۷۷	۰/۰۰۱	-	-
کل	۷۰۷۵۷۴۴۸۸۲۴۷۲۳۳۰۰۰۰۰	۸۴	-	-	-
	۶۱/۹۲۵	۸۴	-	-	-
اصلاح کل	۲۲۱۱۷۷۴۵۲۲۹۹۴۲۰۹۰۰۰۰	۸۳	-	-	-
	۷/۸۹۳	۸۳	-	-	-

بدست آمده انجام شد (جدول ۲) و توسط آزمون دانکن (جدول ۳ و ۴) دسته بندی این مقادیر به صورت زیر مجموعه های همگن مورد بررسی قرار گرفت.

آزمون آنالیز واریانس (جدول ۲) برای تعیین تاثیر نوع اتصال و میزان چسب بر روی مقادیر ضریب همبستگی بین سه مد اول ارتعاش خمشی ( $R^2$ ) و مدول برشی ( $G_{LR}$ )

جدول ۳- گروه بندی دانکن ضریب همبستگی سه مد اول ارتعاش خمشی اتصالات و چوب سالم ( $R^2$ )

تیمار	تعداد	زیر مجموعه برای $\alpha=0.05$		
		۱	۲	۳
انگشتی کم چسب	۷	۰/۱۷۴۳	-	-
فارسی کم چسب	۷	۰/۲۰۲۹	-	-
انگشتی متوسط چسب	۷	-	۰/۶۲۴۳	-
فارسی متوسط چسب	۷	-	۰/۶۴۷۱	-
انگشتی کامل چسب	۷	-	-	۰/۹۹۱۴
فارسی کامل چسب	۷	-	-	۰/۹۹۴۳
چوب سالم و یکپارچه	۴۲	-	-	۰/۹۹۸۳
Sig		۰/۱۲۵	۰/۲۱۹	۰/۷۲۷

جدول ۴- گروه‌بندی دانکن مدول‌برشی اتصالات و چوب‌سالم (G<sub>LR</sub>)

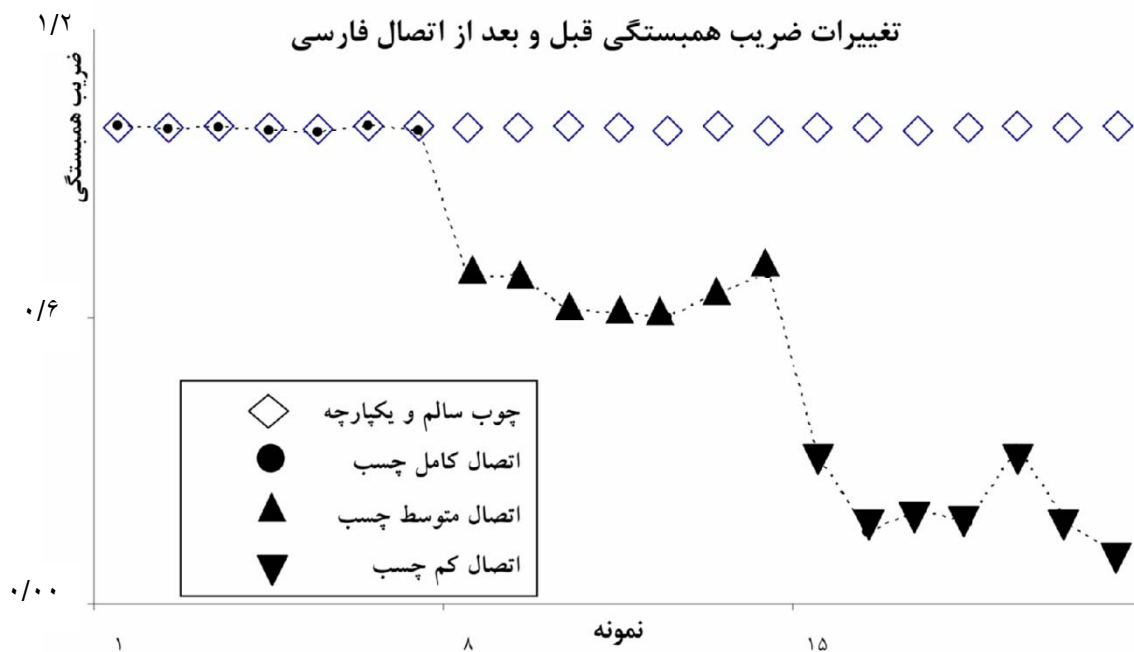
زیر مجموعه برای آلفا=۰.۰۵		تعداد	تیمار
۲	۱		
-	۷۰۰۲۳۳۸۶۷/۷۱	۷	انگشتی متوسط چسب
-	۷۳۹۶۹۴۱۸۷/۲۵	۷	انگشتی کم چسب
-	۷۸۰۹۴۶۵۱۳/۲۸	۷	فارسی کم چسب
-	۷۸۴۷۱۵۵۷۶/۴۲	۷	فارسی متوسط چسب
۹۵۵۸۶۷۰۱۰/۱۴	-	۷	انگشتی کامل چسب
۹۸۲۶۲۰۱۴۵/۰۰	-	۷	چوب سالم و یکپارچه
۹۸۲۸۸۰۵۶۵/۰۰	-	۴۲	فارسی کامل چسب
۰/۶۸۹	۰/۲۲۶		Sig

جدول ۵ - آزمون خطای واریانس

Sig.	درجه آزادی ۲	درجه آزادی ۱	F	
۰/۷۴۳	۷۷	۶	۰/۵۸۳	مدول‌برشی
۰/۰۰۰	۷۷	۶	۱۴/۸۲۰	ضریب‌همبستگی

فاکتور مذکور نشده است اما با کاهش سطح چسب‌گذاری این فاکتور به طور معنی‌دار، رو به کاهش گذاشته است، به طوری که کمترین مقادیر، مربوط به اتصالات ناقص چسب این نوع اتصال می‌باشد.

شکل ۳ تغییرات ضریب‌همبستگی بین سه مدول ارتعاش‌خمشی را در چوب‌های به کار رفته جهت اتصال فارسی نمایش می‌دهد. همان طور که پیش از این بیان گردید کلیه‌ی چوب‌های انتخاب شده برای ایجاد اتصال از ضریب‌همبستگی بالای ۰/۹۸ برخوردار بودند. ایجاد اتصال کامل چسب فارسی سبب تغییر معنی‌داری در



شکل ۳- تغییرات ضریب همبستگی بین سه مد اول ارتعاش خمشی قبل و بعد از اتصال فارسی با سطوح مختلف چسبندگی

جدول ۶- مقادیر کمی مدول برشی و ضریب همبستگی در نمونه‌های مورد آزمون قبل از ایجاد اتصال

۰/۹۳	۰/۹۰	۱/۰۲	۰/۸۵	۰/۹۲	۱/۰۵	۱/۰۹	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۹۲	۱/۱۱	۰/۸۳	۱/۰۶	۰/۸۸
۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۹۴	۱/۰۴	۰/۸۵	۰/۹۴	۱/۱۵	۰/۸۱	۱/۱۹	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۰۲	۱/۱۶
۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۷۸	۱/۵۰	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۴	۱/۲۱	۰/۹۹	۱/۱۰
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰

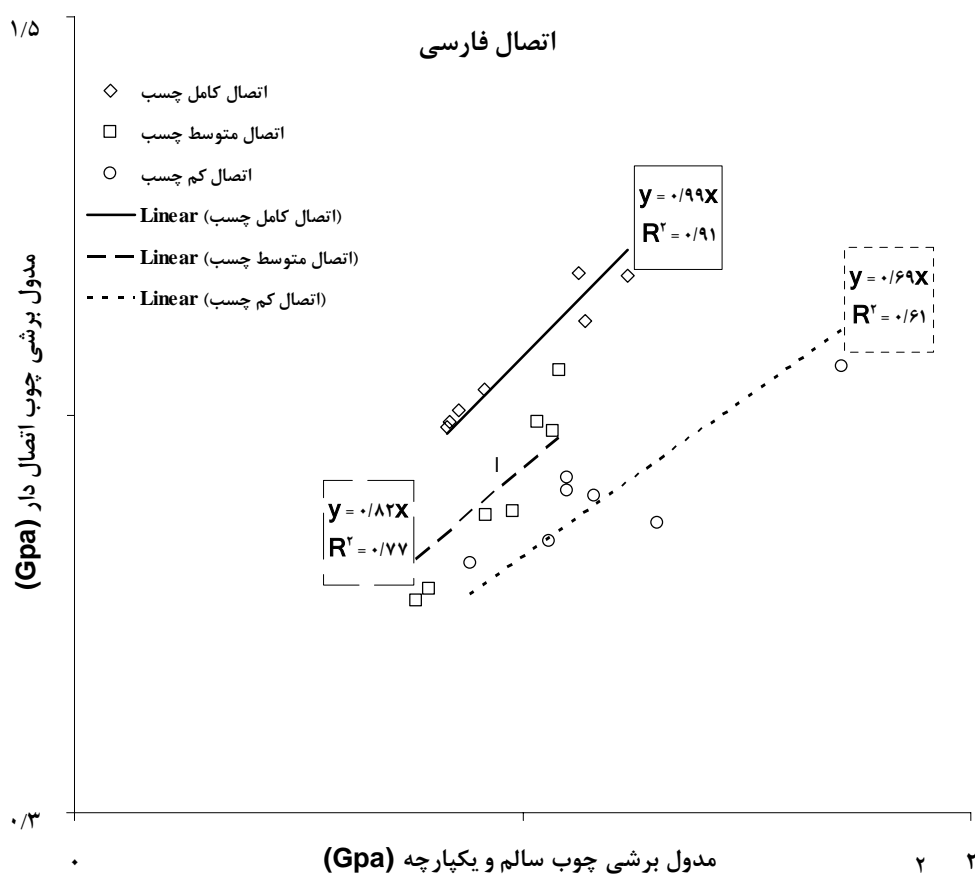
شکل ۵ تغییرات ضریب همبستگی بین سه مد اول ارتعاش خمشی را در چوب‌های به‌کار رفته برای اتصال‌انگشتی نمایش می‌دهد. ایجاد اتصال کامل چسب انگشتی نیز سبب تغییر معنی‌دار در فاکتور مذکور نگردیده است، اما با کاهش سطح چسب‌گذاری این فاکتور، به

شکل ۴ تغییرات مدول برشی را با میزان سطح چسب‌گذاری در اتصال فارسی به نمایش می‌گذارد. ایجاد اتصال فارسی کامل چسب نیز، سبب تغییر معنی‌داری در این فاکتور نشده است، اما کاهش سطح چسب‌زنی موجب عدم همبستگی مطلوب بین نتایج حاصل گردیده است.

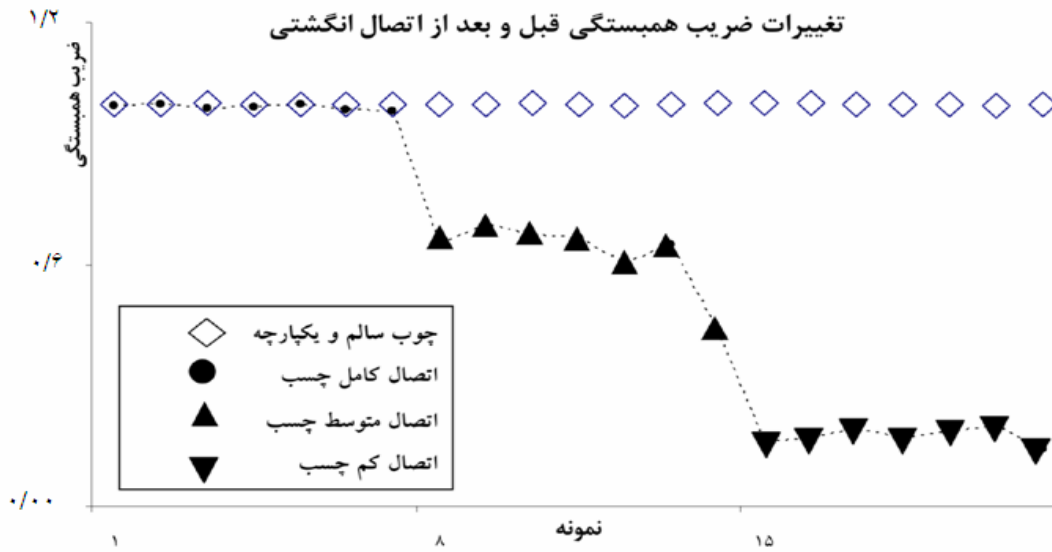


اتصال انگشتی به نمایش می‌گذارد. ایجاد اتصال انگشتی کامل چسب نیز، سبب تغییر معنی‌دار در این فاکتور نشده است، اما کاهش سطح چسب‌زنی نتایجی بجز نتایج حاصل از اتصال فارسی در بر نداشته است.

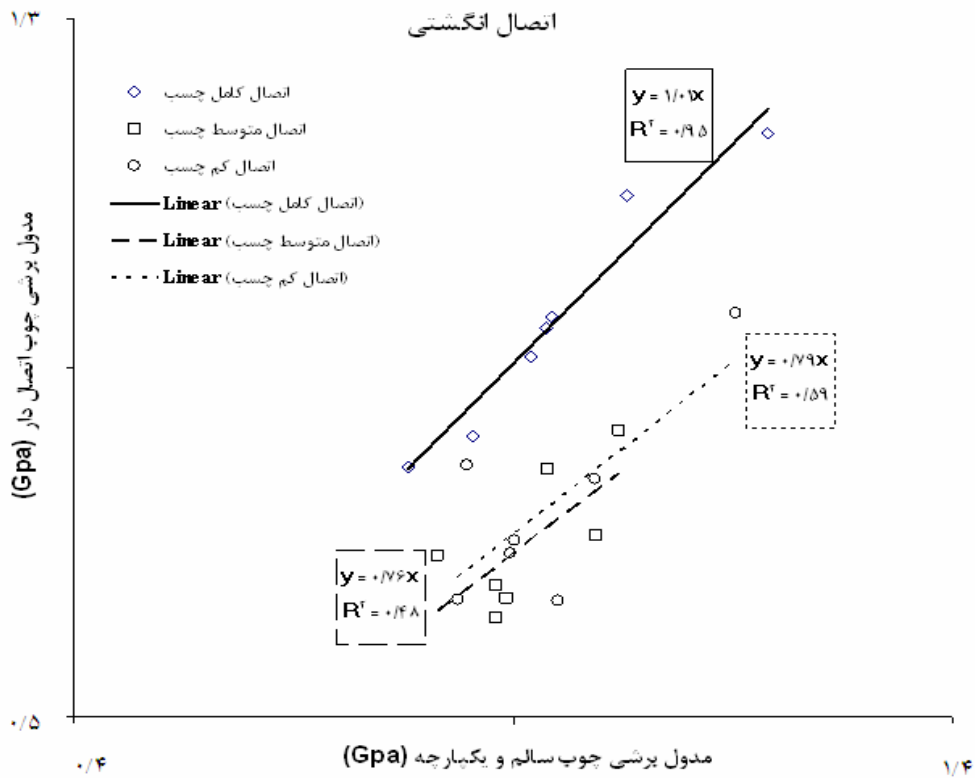
صورت معنی‌دار رو به کاهش گذاشته است، به طوری که کمترین مقادیر در این اتصال همانند اتصال فارسی، مربوط به اتصالات کم‌چسب می‌باشد. شکل ۶ تغییرات مدول برشی را با میزان سطح چسب‌گذاری در



شکل ۴- تغییرات مدول برشی قبل و بعد از اتصال فارسی با سطوح مختلف چسبندگی



شکل ۵- تغییرات ضریب همبستگی بین سه مد اول ارتعاش خمشی قبل و بعد از اتصال انگشتی با سطوح مختلف چسبندگی



شکل ۶- تغییرات مدول برشی قبل و بعد از اتصال انگشتی با سطوح مختلف چسبندگی

جدول ۷- مقادیر کمی مدول برشی و ضریب همبستگی در نمونه‌های اتصال‌دار مورد آزمون با سطوح مختلف چسبندگی

انگشتی ۳	انگشتی ۲	انگشتی ۱	فارسی ۳	فارسی ۲	فارسی ۱	اتصال و سطح چسب* مقادیر هر تکرار
۰/۷۷	۰/۶۵	۰/۹۵	۰/۷۸	۰/۹۷	۱/۸۸	مدول برشی (Gpa)
۰/۱۶	۰/۶۵	۱/۰۰	۰/۳۱	۰/۶۸	۱/۰۰	ضریب همبستگی
۰/۷۰	۰/۶۴	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۸۹	۱/۱۱	مدول برشی (Gpa)
۰/۱۷	۰/۷۰	۱/۰۰	۰/۱۵	۰/۶۹	۰/۹۹	ضریب همبستگی
۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۷۵	۱/۰۴	مدول برشی (Gpa)
۰/۱۹	۰/۶۷	۰/۹۹	۰/۲۰	۰/۶۱	۱/۰۰	ضریب همبستگی
۰/۹۶	۰/۷۸	۰/۸۲	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۸۹	مدول برشی (Gpa)
۰/۱۷	۰/۶۷	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۶۱	۰/۹۹	ضریب همبستگی
۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۹۱	۰/۶۸	۰/۶۴	۰/۹۱	مدول برشی (Gpa)
۰/۱۹	۰/۶۰	۱/۰۰	۰/۳۲	۰/۶۰	۰/۹۹	ضریب همبستگی
۰/۶۳	۰/۷۱	۱/۱۷	۰/۷۸	۰/۸۸	۰/۹۴	مدول برشی (Gpa)
۰/۲۰	۰/۶۵	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۶۵	۱/۰۰	ضریب همبستگی
۰/۶۳	۰/۶۱	۱/۱۰	۰/۸۱	۰/۶۲	۱/۱۱	مدول برشی (Gpa)
۰/۱۴	۰/۴۳	۰/۹۹	۰/۱۰	۰/۶۹	۰/۹۹	ضریب همبستگی

\*- ۱ سطح کامل چسب اتصال، ۲ سطح متوسط چسب اتصال و ۳ سطح کم چسب اتصال

## بحث

یک پارچه ننموده است. اما با کاهش سطح چسب‌گذاری، با توجه به شکل‌های ۴ و ۶ مقادیر مدول برشی به طور معنی‌داری نسبت به اتصالات کامل چسب کاهش یافته است (مقادیر عددی مدول برشی در جدول‌های ۶ و ۷ آورده شده است). با این حال بین مقادیر مدول برشی دینامیک حاصل از ارتعاش اتصالات کم‌چسب و ناقص چسب هر دو نوع اتصال، تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. بنابراین تغییرات حاصل شده در این فاکتور گرچه برای پی‌بردن به وجود نقص در هر دو اتصال مفید می‌باشد اما از طریق این تغییرات نمی‌توان در مورد میزان و یا پیشرفت نقص در این دو اتصال قضاوتی نمود. لازم

روش به‌کار برده شده برای تعیین اثر نقص در دو اتصال فارسی و انگشتی بر روی ضریب همبستگی سه مدول ارتعاش خمشی ( $R^2$ ) و مدول برشی در صفحه‌ی طولی- شعاعی (G<sub>LR</sub>) مورد بررسی قرار گرفت. مدول برشی یک ویژگی از یک ماده است که به تنهایی بعد از دستکاری مصنوعی تیرهای چوبی تغییر نمی‌کند اما در این مطالعه به‌عنوان پاسخ تیر معرفی شده است، اگرچه پاسخ تیر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. در هر دو نوع اتصال فارسی و انگشتی، این فاکتور با ایجاد اتصال کامل چسب، تغییر معنی‌داری نسبت به چوب سالم و

شعاعی، می‌توان با بررسی تغییرات مدول‌برشی در این صفحه به نتایج مطلوب دست پیدا نمود. اما از روی تغییرات به وجود آمده در این فاکتور، نمی‌توان در مورد میزان عیب قضاوتی نمود. درحالی‌که با بررسی تغییرات حاصل در ضریب‌همبستگی بین سه مد اول ارتعاش خمشی، علاوه بر پی‌بردن به وجود نقص‌های احتمالی موجود در این اتصالات، می‌توان به میزان نقص نیز پی‌برد. با این حال به دلیل خواص ارتوتروپیک چوب و سه محوره بودن این ماده، بررسی فاکتورهای مورد تحقیق در صفحه‌ی طولی - مماسی توصیه می‌گردد.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مؤلف اول می‌باشد. بدین‌وسیله از مسئولان محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج که امکانات انجام تحقیقات این پایان‌نامه را تأمین نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از سرکار خانم مهندس آیدا مولایی (دانشجوی مقطع کارشناسی صنایع چوب و کاغذ) نیز بدلیل همکاری در این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

### منابع مورد استفاده

- بادیک، ژ.، ب.جین، ۱۹۸۲، مکانیک چوب و فراورده‌های مرکب آن. ترجمه دکتر قنبر ابراهیمی، ۱۳۶۸، انتشارات دانشگاه تهران. ۶۸۶ صفحه.

- Bodig, J. and Jayne, B., 1989. Mechanics of wood and wood composites (Persian translation). Tehran University press.
- Beall, F., 2000. Subsurface Sensing of Properties and Defects in Wood and Wood Products, Subsurface Sensing Technologies and Applications Vol. 1, No. 2, pp. 181-204
- Bordonné, PA., 1989. Module dynamique et frottement intérieur dans le bois: Mesures sur 249outers flottantes en vibrations naturelles Thèse de doctorat de l'INP de Lorraine soutenue à Nancy. 154 p.

به ذکر است که در تحقیقات صورت گرفته‌ی پیشین نیز هرچند وجود عیب در تیرهای چوبی باعث تغییرات معنی‌داری بر روی مدول‌برشی در صفحه‌ی LR چوب گردیده بود اما تغییرات به وجود آمده مانند نتایج حاصل از این تحقیق برای قضاوت در مورد میزان عیب موجود در تیرهای چوبی از عدم کارایی برخوردار بودند (Yavari 2006 and Hu *et al.*, 2010). ضریب‌همبستگی بین سه مد اول ارتعاش خمشی، نیز در اتصالات کامل‌چسب هر دو اتصال به‌کار رفته در این تحقیق، نسبت به چوب سالم و یکپارچه تغییری نداشتند اما با کاهش میزان سطح چسب‌گذاری فاکتور مذکور در هر دو نوع اتصال، به صورت معنی‌دار رو به کاهش گذاشت. بنابراین با توجه به نتایج حاصل و گروه‌بندی دانکن در این فاکتور، می‌توان گفت که ضریب‌همبستگی بین سه مد اول ارتعاش خمشی، علاوه بر پاسخ مناسب نسبت به وجود عیب در اتصالات به‌کار رفته در این تحقیق، نسبت به میزان پیشرفت عیب نیز پاسخ مناسبی از خود نشان می‌دهد. در تحقیقات پیشین، کاهش ضریب همبستگی سه مد اول ارتعاش خمشی را، به معیوب بودن نمونه‌های آزمون‌ی نسبت داده‌اند ولی در مورد اثر میزان عیب بر روی میزان تغییرات به وجود آمده در فاکتور مذکور، بحثی به میان نیامده است (Hossein *et al.*, 2009). نتایج حاصل از این تحقیق ضمن تأیید نتایج حاصل از تحقیقات پیشین، مبین این می‌باشد که میزان افت ضریب‌همبستگی سه مد اول ارتعاش خمشی با افزایش ابعاد عیوب احتمالی موجود در تیرهای اتصال‌دار به‌طور معنی‌داری شدت می‌یابد. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان بیان داشت که برای پی‌بردن به نقص‌های احتمالی موجود در اتصالات فارسی و انگشتی واقع در صفحه‌ی طولی -

- symposium on nondestructive testing and evaluation of wood, Beijing, China.
- Hu, C. and Afzal, M.T., 2006. A wavelet analysis-based approach for damage localization in wood beams. *Journal of Wood Science*. 52: 456 – 460.
  - Liang, S. and Fu, F., 2007. Comparative study on three dynamic modulus of elasticity and static modulus of elasticity for Lodgepole pine lumber, *Journal of Forestry Research*, 18(4): pp. 309-312.
  - Meinlschmidt, P., 2005. Thermographic detection of defects in wood and wood-based materials, 14<sup>th</sup> International Symposium of Nondestructive testing of Wood, Honnover, Germany (May 2<sup>nd</sup> – 4<sup>th</sup> 2005).
  - Perstorper, M., 1994. Dynamic modal tests of timber evaluation according to the Euler and Timoshenko theories. In: Pellerin RF, McDonald KA, editors. 9<sup>th</sup> international symposium on nondestructive testing of wood. 22~24 September 1993; Washington State University, Pullman, WA. *Forest Product Soc* pp. 45-54.
  - Roohnia, M., Yavari, A. and Tajdini, A., 2009. Elastic Parameters of Poplar Wood with End-Cracks, *Annals of Forest Science*, Article in-press Nondestructive Testing and Evaluation. 2011(a);26(2):141-153.
  - Soltis, L. and Ritter, A.M., 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.
  - Yavari, A., Roohnia, M. and Tajdini, A., 2010. A few Elastic Properties of Drilled Rectangular Bars of Poplar Wood. 'The Future of Quality Control for Wood & Wood Products', 4-7<sup>th</sup> May 2010, Edinburgh The Final Conference of COST Action E53.
  - Brancheriau, L. and Bailleres, H., 2002. Natural vibration analysis of clear wooden beams: a theoretical review, *Wood Science and Technology*, 36 pp. 347-365
  - Brancheriau, L. and Bailleres, H., 2003. Use of the Partial Least Squares Method with Acoustic Vibration Spectra as a New Grading Technique for Structural Timber, *Holzforchung* 57 pp. 644-652.
  - Brancheriau, L., Kouchade, C. and Bremaud, I., 2010. Internal friction measurement of tropical species by various acoustic methods. *J. Wood Sci*. DOI 10.1007/s10086-010-1111-8.
  - Bucur V (2003) Elastic symmetry for wood mechanical characterization, Proceeding of the WCU2003 september 7-10, Prais, France pp. 1011-1014.
  - Caddemi, S. and Morassi, A., 2006. Crack detection in elastic beams by static measurements, *International Journal of Solids and Structures*, 44 – pp. 5301-5315.
  - Cho, C., 2007. Comparison of Three Methods for Determining Young's Modulus of Wood, *Taiwan journal of forest science*, 22(3): pp. 297-306.
  - Chui, YH., 1989. Vibration testing of wood and wooden structures-practical difficulties and possible sources of error. In: Pellerin RF, McDonald KA, editors. Seventh international symposium on nondestructive testing of wood. 27~29 September 1989; Washington State University, Pullman, WA. *Forest Product Soc*. Pp 173-88.
  - Divos, F., Daniel, I. and Bejo, L., 2001. Defect Detection in Timber by Stress Wave Time and Amplitude, *NDT.net*, Vol. 6 No. 03.
  - Divos, F. and Tanaka, T., 2005. Relation Between Static and Dynamic Modulus of Elasticity of Wood, *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 1 pp. 105-110.
  - Eckelman, A., 2003. Text book of product Engineering and strength design of furniture. *Purducuniv*.
  - Hossein, M.A., Roohnia, M. and Shahverdi, M. 2009. Some footprints of wood internal defects on three first mode-shapes of free vibration. 16<sup>th</sup> international

## Detection of defects in joints using the variations in dynamic shear modulus and correlation coefficient factor in beech wood

Kohantorabi, M.<sup>1\*</sup> and Roohnia, M.<sup>2</sup>

1\*-Corresponding Author, M.Sc., Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. Email: mostafa.kohantorabi@yahoo.com

2- Associate Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

Received: March, 2012

Accepted: Feb., 2013

### Abstract

In this study, detect of damage in scarf joint and finger joint using the variations in dynamic shear modulus values and Correlation Coefficient factor of the beech wood specimens was investigated. Numbers of 42 Samples were selected in accordance with international standard No. 3129. The Scarf and finger joints created with three different glue coverage rates in samples and then free-free flexural vibration test were performed. The results showed that defects changed the dynamic shear modulus values in both joints; however it is not possible to realize the amount of defects from these variations, whereas, the changes in Correlation Coefficient factor were useful to detect the amount of defects in both joints.

**Key words:** Flexural vibration, scarf joint, finger joint, dynamic shear modulus, correlation coefficient factor.