

بررسی غیرمخرب تاثیر نقص در چسبندگی اتصالات سربه سر و سطح به سطح متصل شده توسط چسب پلی ونیل استات با روش ارتعاش خمشی

مصطفی کهن ترابی^{۱*}، مهران روح نیا^۲، احسان حاجی رفیعی^۲ ها^۲ و علیرضا عسگری^۱

(۱) دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، تهران، ایران. * رابانامه نویسنده

مسئول: mostafa.kohantorabi@gmail.com

(۲) دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۰۶

چکیده

در این تحقیق به بررسی تاثیر نقص در چسبندگی اتصالات سطح به سطح و اتصالات سر به سر (فارسی و انگشتی) با روش ارتعاش خمشی آزاد پرداخته شده است. تعداد ۲۱ نمونه از گونه صنوبر و ۴۲ نمونه از گونه راش به ترتیب توسط اتصال سطح به سطح و سر به سر در سه سطح چسب زنی کامل چسب، متوسط چسب و کم چسب توسط چسب پلی ونیل استات متصل شدند و مورد آزمون ارتعاش خمشی قرار گرفتند. نتایج نشان داد وجود نقص در اتصال سطح به سطح منجر به تفاوت معنی داری در مقادیر مدول الاستیسیته دینامیک و ضریب آکوستیک نسبت به چوب بدون اتصال ایجاد نمی گردد در حالیکه وجود نقص در چسبندگی در این اتصال سبب افزایش میرایی، و کاهش کارایی تبدیل آکوستیک گردید. همچنین نتایج حاکی از اثر معنی دار نقص های موجود در چسبندگی اتصالات سر به سر بر روی مقادیر مدول الاستیسیته، ضریب آکوستیک، میرایی ارتعاش و کارایی تبدیل آکوستیک بود. به طور کل با توجه به نتایج می توان گفت که تغییرات کارایی تبدیل آکوستیک می تواند به عنوان فاکتوری بسیار موثر در شناسایی و احتمالاً میزان پیشرفت عیب در چسبندگی اتصالات سطح به سطح و سر به سر، قبل و در حین مصرف به کار گرفته شود.

واژه های کلیدی: اتصال سطح به سطح، اتصال سر به سر، ارتعاش آزاد، مدول الاستیسیته، میرایی، کارایی تبدیل آکوستیک.

مقدمه

فلزی و غیرفلزی نیز باشند (Soltis & Ritter, 1997). اتصالات چسبی از سال های بسیار دور در ساخت انواع محصولات چوبی استفاده شده و گستردگی زیادی دارد که می توان این گستردگی استفاده را به خواص متعدد آن از قبیل توزیع یکنواخت بار اعمال شده و تنش ایجاد شده، خستگی بالاتر نسبت به اتصالات مکانیکی، تولید سازه هایی با وزن کمتر، توانایی اتصال و درزگیری

اتصالات در بسیاری از سازه های چوبی یکی از مهم ترین ارکان به شمار می روند که البته کمترین شناخت نسبت به اجزای آن وجود دارد. اتصالات باعث پیوستگی، ایجاد استحکام و ثبات در سازه های چوبی می گردند. یک اتصال ممکن است به طور کامل از عضوهای چوبی تشکیل شده باشد، اما ممکن است شامل اتصالات چوب به فولاد یا دیگر عضوهای

همزمان نسبت داد (Custodio et al., 2009).

استفاده از انواع اتصالات چسبی در بسیاری از زمینه‌های کاربرد چوب به سرعت در حال گسترش بوده و پیشرفت‌های زیادی نیز در اجرا و طراحی آنها حاصل شده است (Yang et al., 2008). از انواع اتصالات چسبی برای ساخت سازه‌ها و فرآورده‌های مرکب چوب و مبلمان استفاده می‌شود که به اشکال گوناگون سر به سر، پهلو به پهلو و سطح به سطح مورد استفاده قرار می‌گیرند (Marra, 1992). استفاده از این گونه اتصالات ضمن قابلیت کاربرد الوار با طول محدود و کوتاه برای رسیدن به اندازه دلخواه در اتصالات سر به سر (اتصالات فارسی و انگشتی) امکان استفاده از چوب در ساخت محصولات لایه‌ای را نیز توسط اتصالات سطح به سطح فراهم می‌سازد. چوب‌های لایه‌ای نسبت به الوارهای ساختمانی دارای ویژگی‌های بسیار برتری هستند. ویژگی‌های مقاومت خمشی بالاتر و مدول الاستیسیته بالاتر باعث مزیت این گونه محصولات لایه‌ای نسبت به الوارهای ساختمانی گردیده است (Laufenberg, 1982). اتصالات چسبی ممکن است مقاومت خود را حین مصرف و تحت تاثیر شرایط محیطی (مانند جذب و دفع رطوبت و تغییرات دما) یا تنش‌های مکانیکی از دست داده و تخریب شوند. بنابراین علاوه بر این که تولید یک اتصال قابل اعتماد ضرورت دارد، کنترل استحکام این اتصال در شرایط مصرف نیز مهم و ضروری به نظر می‌رسد (Eby, 1981).

جهت کنترل کیفیت اتصالات چسبی از روش‌های استاتیکی استفاده می‌شود. روش‌های استاندارد در این زمینه با توجه به شکل اتصالات مانند ASTM D905، ASTM D906 و ASTM D1073 تدوین شده است (Ayarkwa et al., 2000؛ Biechele et al., 2011). با این وجود آزمون نمونه‌ها در روش‌های استاتیکی وقت‌گیر بوده و نمونه‌ها بعد از

انجام آزمایش تخریب می‌شوند. بنابراین امکان کنترل و بازرسی تمام اتصالات وجود نداشته و به علاوه هیچ یک از این روش‌های مخرب قابل استفاده در شرایط مصرف نیستند (Coupland, 2004). لذا استفاده از روش‌هایی سریع برای ارزیابی موفق و دقیق اتصال بدون هر گونه آثار مخرب در ماده تحت بررسی با توجه به اهمیت اتصالات در سلامت و ایمنی انواع سازه‌ها ضروری می‌باشد. آزمون غیرمخرب علاوه بر داشتن توانایی‌های فوق می‌تواند نقش مهمی در کاهش عدم قطعیت روندهای ارزیابی انواع اتصالات چسبی داشته باشد. روش ارتعاش آزاد از بین روش‌های غیرمخرب موجود به دلیل سهولت و سرعت به طور گسترده‌ای مورد توجه می‌باشد (Alberktas & Vobolis, Ayarkwa et al., 2000; 2004). نمونه‌هایی از کاربرد آزمون غیرمخرب در صنعت چوب شامل تعیین مدول الاستیسیته چوب‌آلات و ارتعاش اتصالات به منظور بررسی ویژگی‌های مکانیکی آنها و همچنین ارزیابی مقاومت الوارهای چوبی و لایه‌ای است (Nzokou et al., 2006).

بررسی‌هایی در مورد ویژگی‌های مکانیکی اتصالات چسبی صورت پذیرفته است که در ذیل به برخی از آنها اشاره شده است. Jang (۱۹۹۸) ارزیابی اتصالات انگشتی در الوار را با استفاده از امواج فراصوت مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفت که سرعت فراصوت متاثر از شکل و نوع اتصال انگشتی است. نتایج تحقیق وی حاکی از آن بود که مقاومت خمشی در اثر افزایش زاویه یال‌های اتصال انگشتی کاهش پیدا می‌کند، در حالی که مدول الاستیسیته دینامیک با تغییرات زاویه یال اتصال انگشتی رابطه معنی‌داری ندارد. Ayarkwa و همکاران (۲۰۰۰) اقدام به تخمین مدول گسیختگی در چوب‌های متصل شده با اتصال انگشتی در سه گونه پهن برگ آفریقایی

صنوبر روی خواص دینامیک از طریق روش ارتعاش خمشی در تیر دوسر آزاد پرداخت.

مواد و روش‌ها

ابتدا تعداد ۶۰ نمونه سالم و راست‌تار از چوب هر یک از گرده‌بینه‌های راش (*Fagus orientalis*) و صنوبر (*Populus nigra*) بدون هرگونه عیب ظاهری از جمله گره، ترک و پوسیدگی مطابق با استاندارد بین‌المللی ISO شماره ۳۱۲۹ انتخاب شدند. ابعاد در نمونه‌های راش ۳۶×۴×۲ سانتی‌متر و در نمونه‌های صنوبر ۴۵×۲/۵×۲/۵ سانتی‌متر (طول، شعاعی و مماسی) بودند. نمونه‌ها به منظور یکسان‌سازی رطوبت مطابق با استاندارد ذکر شده به مدت ۲ هفته در اطاق کلیماتیزه (۲۲±۲ درجه‌ی سانتی‌گراد حرارت و ۶۵±۵ درصد رطوبت نسبی) قرار گرفتند. نمونه‌های آزمونی در هر دو گونه راش و صنوبر پس از طی مدت مذکور به منظور اطمینان بیشتر از عاری بودن نمونه‌ها از عیوب پنهان داخلی مطابق با شکل ۱ تحت آزمون ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد قرار گرفته و نمونه‌های دارای بیشترین همبستگی (همبستگی بالای ۰/۹۸) بر اساس تئوری تیر تیموشنکو بین مدهای اول تا سوم ارتعاشی جهت ادامه آزمون انتخاب شدند (کهن‌ترابی و روح‌نیا، ۱۳۹۲؛ Roohnia et al., 2012). تعداد ۴۲ نمونه بر این اساس از نمونه‌های اولیه راش و ۲۱ نمونه از نمونه‌های اولیه صنوبر حائز شرایط جهت ادامه تحقیق بوده و پس از اندازه‌گیری مجدد ابعاد و وزن، مورد آزمون ارتعاش خمشی آزاد در تیر دو سر آزاد قرار گرفتند. ضبط اصوات و ذخیره توسط نرم‌افزار Audacity® انجام پذیرفت. فرکانس نمونه‌برداری صوتی ۴۴۱۰۰ هرتز توسط نرم‌افزار مذکور تنظیم و فایل صدا در ارتعاش خمشی توسط سیستم NDT-Lab® با همان فرکانس نمونه‌برداری قرائت گردید (Roohnia et al., 2011). محاسبات

با استفاده از روش ارتعاش طولی در تیر دوسر آزاد و مقایسه آن با روش استاتیک پرداخته و همبستگی بسیار مطلوب بین نتایج حاصل از آزمون غیرمخرب و روش مخرب را گزارش دادند. Alberktas و Vobolis (۲۰۰۴) به مطالعه نقص چسبندگی تخته لایه‌هایی از چوب گونه بلوط با روش ارتعاش آزاد پرداخته و پی بردند که نمونه‌های معیوب باعث تغییر در دامنه فرکانس می‌گردند. Dill-Langer و همکاران (۲۰۰۵) کیفیت خط چسب در تیرهای لایه‌ای را با استفاده از روش فراصوت مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که زمان عبور موج در مناطق عاری از هرگونه چسب‌زنی ازدیاد پیدا می‌کند و دامنه موج از حد خود کاهش می‌یابد. Biechele و همکاران (۲۰۱۱) با سه روش موج‌تنش، ارتعاش عرضی و ارتعاش خمشی به بررسی کاربرد تکنیک‌های آزمون غیرمخرب در چوب‌های صنوبر سفید و سیاه دارای اتصال انگشتی و مقایسه آن با روش مخرب پرداختند. اتصالات انگشتی در سه سطح شامل اتصال انگشتی با ۲ انگشت، ۳ انگشت و ۵ انگشت انجام شد. سپس نتایج حاصل از هر روش در چوب‌های اتصال یافته مقایسه گردید. این پژوهشگران اعلام داشتند که همبستگی مطلوبی بین مدول الاستیسیته محاسبه شده از طریق هر سه روش غیرمخرب مذکور و مدول الاستیسیته محاسبه شده از روش استاتیک در هر دو گونه مورد مطالعه وجود دارد. با توجه به این نتایج مشخص گردید که هر سه روش غیرمخرب مذکور می‌توانند روش‌های مطلوبی جهت جایگزینی تست‌های مخرب باشند.

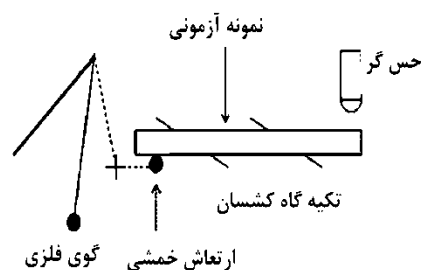
با توجه به کاربرد نامحدود اتصالات در ساخت بسیاری از سازه‌های چوبی و نقش این عضو در سلامت و ایمنی سازه، این تحقیق به بررسی تاثیر نقص‌های موجود در چسبندگی دو نوع اتصال سر به سر (اتصال فارسی و انگشتی) در چوب راش و اتصال سطح به سطح در محصول لایه‌ای حاصل از چوب

مربوطه با ورود اطلاعات ابعاد واقعی و وزن نمونه‌ها به سیستم ذکر شده صورت پذیرفت. نمونه‌ها پس از آن به دو گروه ۲۱ نمونه‌ای برای راش و سه گروه ۷ نمونه‌ای برای صنوبر تقسیم شدند.

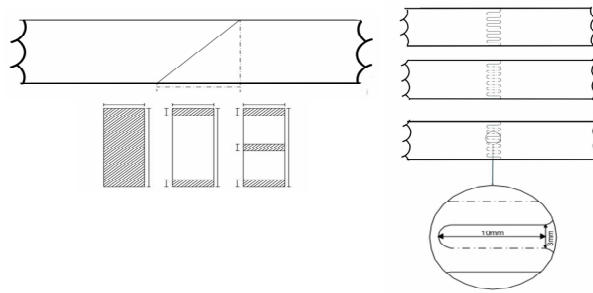
هر گروه جهت ایجاد یک نوع اتصال در گونه راش مورد استفاده قرار گرفت (اتصالات در قسمت میانی صفحه طولی-شعاعی نمونه‌ها ایجاد گردید). گروه اول جهت ایجاد اتصال فارسی (با زاویه ۴۵ درجه) و گروه دوم جهت ایجاد اتصال انگشتی (تعداد ۷ انگشت در عرض نمونه که طول هر یال ۱۰ میلی‌متر بود) استفاده شدند. لازم به ذکر است که اتصالات فارسی با دستگاه تجاری [®] MAKITA و اتصالات انگشتی با دستگاه تجاری LAGUNA [®] TOOLS در دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج تهیه شدند. هر گروه از اتصالات فارسی و انگشتی در سه سطح چسب‌زنی شدند: ۱- سطح چسب‌زنی کامل که در این سطح چسب‌زنی کلیه‌ی سطح قابل دسترس (سطحی که نمونه پس از برش به منظور اتصال جهت چسب‌زنی در نواحی برش یافته ارائه می‌دهد) برای اتصالات با چسب پوشیده شدند. ۲- سطح چسب‌زنی متوسط که در این سطح چسب‌زنی نقاطی در قسمت‌های میانی اتصالات فارسی و قسمت‌هایی از یال‌های میانی اتصالات انگشتی به منظور ایجاد نقص

مصنوعی در اتصالات چسب‌زنی نگردیدند. ۳- سطح چسب‌زنی کم چسب که تنها لبه‌های انتهایی اتصالات فارسی و انگشتی در این سطح چسب‌زنی گردیدند.

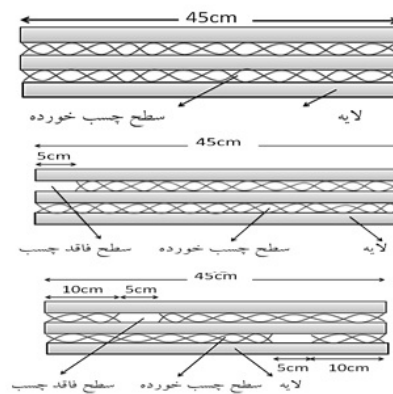
نمونه‌های انتخاب شده گونه صنوبر جهت تبدیل به تخته لایه و ایجاد اتصال سطح‌به‌سطح طی دو برش در جهت طولی و عمود بر دوایر سالیانه تبدیل به لایه‌هایی با ضخامت مساوی ۰/۹ سانتی‌متر شدند. سپس نمونه‌های لایه‌ای در سه سطح کامل (پوشاندن تمام سطح قابل دسترس با چسب)، متوسط (چسب‌زنی به منظور ایجاد نقص مصنوعی در چسب‌زنی لایه‌ها) و کم (عدم چسب‌زنی دو قسمت میانی در هر دو لایه) چسب‌زنی شدند. شرح کامل نحوه چسب‌زنی نمونه‌های آزمونی در جدول ۱ و اشکال ۲ و ۳ آمده است. لازم به ذکر است که اشاره‌ای به میزان چسب‌زنی در استاندارد ASTM-D7469-09 برای نمونه‌های آزمونی استاندارد در اتصالات چوبی نگردیده است. لذا در تحقیق حاضر سعی بر این بود که اتصالات سر به سر و سطح‌به‌سطح در هر تیمار کاملاً مشابه یکدیگر برقرار گردند (میزان مصرف چسب: ۱۵۰ تا ۱۸۰ گرم در مترمربع). چسب به‌کار رفته در این تحقیق از نوع پلی‌وینیل استات بود و نمونه‌های چسب‌زنی شده تا برقراری اتصال به مدت دو روز درون گیره دستی قرار گرفتند.



شکل ۱. ارتعاش آزاد خمشی در تیر دوسر آزاد (Berancheriau et al., 2010)



شکل ۲. دو نوع اتصال مورد مطالعه به همراه نمای سطح چسب زنی شده در اتصال فارسی و اتصال انگشتی (علامت -.-: نواحی عاری از چسب)



شکل ۳. نحوه چسب زنی در لایه ها (نقاط هاشور خورده چسب زنی شده نقاط سفید فاقد چسب)

جدول ۱. مشخصات سطوح چسب زنی در اتصالات سربه سر و سطح به سطح متصل شده توسط پلی و نیل استات با روش ارتعاش خمشی

انواع اتصال	سطح چسب زنی		سطح کل در دسترس اتصال	انواع اتصال	انواع اتصال
	انواع اتصال	انواع اتصال			
فارسی	۷ نمونه	۵۵×۲۰ سانتی متر (عرض×ارتفاع)	۵۵×۲۰ سانتی متر (عرض×ارتفاع)	انواع اتصال کامل چسب	۵۵×۲۰ (۱۰۰ درصد)
انگشتی	۷ نمونه	۱۲۰×۲۰ سانتی متر (عرض×ارتفاع)	۱۲۰×۲۰ سانتی متر (عرض×ارتفاع)	انواع اتصال متوسط چسب	۵×۲۰ از دو طرف و وسط سطح اتصال ^۲ (درصد ۲۷/۳)
لایه ای	۷ نمونه	۲×(۴۵۰×۲۵) سانتی متر (عرض×ارتفاع)	۲×(۴۵۰×۲۵) سانتی متر (عرض×ارتفاع)	انواع اتصال کم چسب	۲۰×۵ از لبه های دو طرف نمونه (وسط نمونه عاری از چسب) (درصد ۱۸/۲)

ویژگی های دینامیکی تیرهای اتصال یافته مجدداً مورد آزمون ارتعاش خمشی آزاد در تیر دو سر آزاد به منظور بررسی تغییرات دینامیکی حاصل قرار گرفتند.

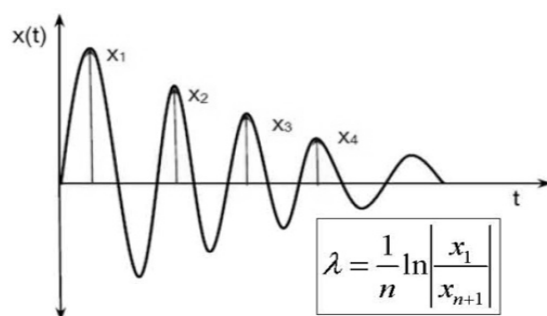
نمونه ها پس از برقراری کامل اتصال به مدت ۲ هفته در محیط کلیماتیزه مذکور قرار گرفته و پس از آن به منظور بررسی تاثیر سطح چسب گذاری روی

$$a_n = \left(\frac{E}{\rho}\right) - \left(\frac{E}{K \times G}\right) b_n \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$b_n = \frac{4\pi^2 l^2 f_n^2 F_{2n}}{m_n^4} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$a_n = \frac{[4\pi^2 l^2 f_n^2 (1 + \alpha F_{1n})]}{\alpha m_n^4} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که K در آن ضریب شکل (در اینجا حدود 0.833)، E مدول الاستیسیته (Pa)، G مدول برشی (Pa)، ρ جرم ویژه (گرم بر سانتی‌مترمکعب) و f_n فرکانس n امین مد ارتعاش است که از طریق تجزیه و تحلیل طیف فوریه بدست آمد.



شکل ۴. نمایش فاکتور کاهش به روش فرکانسی با استفاده از پهنای باند

که K در آن برابر ضریب آکوستیک و واحد آن $M^4/s.Kg$ ، ACE کارایی تبدیل آکوستیک، E مدول الاستیسیته طولی، ρ جرم ویژه و $\tan \delta$ میرایی ارتعاش می‌باشد.

نتایج این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی صورت پذیرفت و به کمک آزمون تجزیه واریانس تاثیر سطح چسب‌زنی روی مقادیر مدول الاستیسیته دینامیک، میرایی ارتعاش، ضریب آکوستیک و کارایی تبدیل آکوستیک هر نوع اتصال (سر به سر و سطح به سطح) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

کاهش لگاریتمی ارتعاش (شکل ۴) به صورت شاخصی توصیف شد که برای میزان افت ارتعاش در طول زمان بوده و توسط رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \left| \frac{x_1}{x_{n+1}} \right| \quad \text{رابطه (۱)}$$

که X_1 در آن برابر بلندی اولیه موج در حال کاهش و X_{n+1} برابر بلندی n امین موج پس از موج متناظر با X_1 بود. انجام محاسبات مدول الاستیسیته در آزمون ارتعاش خمشی و بر مبنای ضریب همبستگی سه مد اول ارتعاش خمشی براساس تئوری تیر تیموشنکو طبق روابط زیر صورت پذیرفت:

ضریب آکوستیک (AC)^۱ و کارایی تبدیل آکوستیک (ACE)^۲ از فاکتورهای مهم آکوستیکی چوب آلات می‌باشند که توسط روابط ۵ و ۶ محاسبه گردیدند:

$$K = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$K = \sqrt{\frac{K}{\tan \delta}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

^۱ Acoustical Coefficient

^۲ Acoustical Converting Efficiency

نتایج

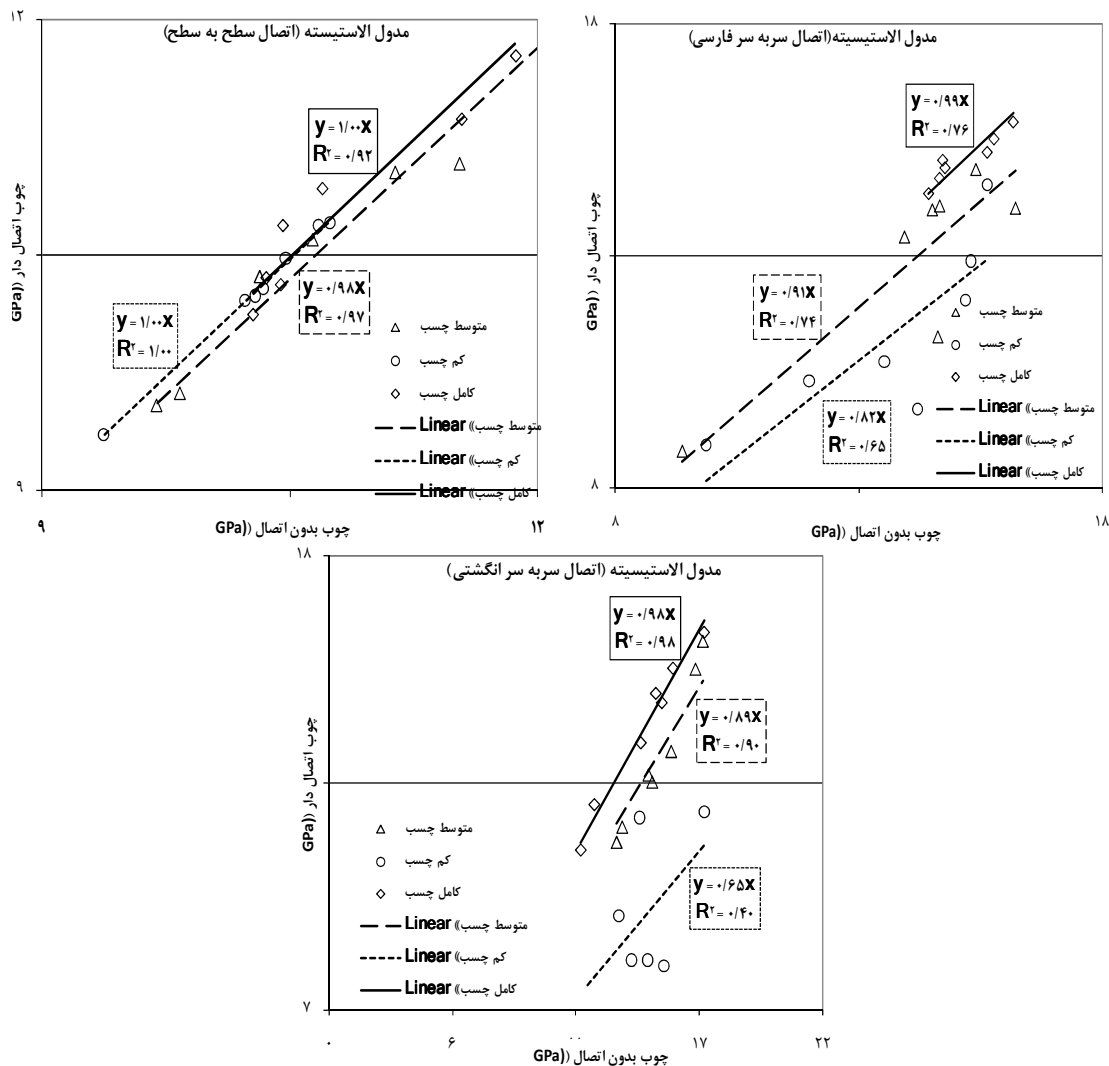
ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد برای برآورد مقادیر مدول الاستیسیته دینامیک، میرایی ارتعاش، ضریب آکوستیک و کارایی تبدیل آکوستیک در ۶۰ نمونه هر یک از گونه‌های راش و صنوبر مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ۴۲ نمونه از نمونه‌های اولیه راش و ۲۱ نمونه از نمونه‌های اولیه صنوبر با توجه به روابط تیر تیموشنکو و با استفاده از برآورد فرکانس سه مد اول ارتعاش به صورت کاملاً سالم و همگن انتخاب و از نمونه‌های راش برای ایجاد دو نوع اتصال سر به سر فارسی و انگشتی با سه سطح چسب‌زنی و از نمونه‌های صنوبر جهت ایجاد اتصال سطح به سطح (با تبدیل هر یک از نمونه‌ها به سه لایه) با سه سطح چسب‌زنی استفاده گردید. سپس تغییرات به وجود آمده در اثر سطح چسب‌زنی در هر یک از اتصالات مجدداً با روش ارتعاش خمشی محاسبه و نتایج مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که در سطح چسبندگی کامل بین مقادیر مدول الاستیسیته در هر دو نوع اتصال سر به سر (فارسی و انگشتی) و اتصال سطح به سطح تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با چوب‌های بدون اتصال وجود ندارد (جدول ۲). بین مدول الاستیسیته‌ی محاسبه شده در اتصال سطح به سطح با نمونه‌های بدون اتصال آن تفاوت معنی‌داری ($p < 0.05$) وجود ندارد (شکل ۵). کاهش سطح چسب‌زنی در این اتصال نیز باعث کاهش مقادیر مدول الاستیسیته نسبت به نمونه‌های بدون اتصال و اتصال‌دار با سطح چسبندگی کامل نشد. در اتصال فارسی و انگشتی هر چند تفاوت معنی‌داری بین تیرهای چوبی قبل از اتصال و اتصال کامل چسب مشاهده نشد، مقادیر این فاکتور با کاهش سطح چسب‌زنی به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) نسبت به چوب بدون اتصال و چوب با سطح چسب‌زنی کامل کاهش یافت، به طوری که

مدول الاستیسیته در هر دو نوع اتصال سر به سر با افزایش ابعاد نواحی عاری از چسب با افت شدیدتری روبه‌رو گردید (شکل ۵).

تغییرات به وجود آمده در ضریب آکوستیک اتصالات مورد تحقیق در اثر ایجاد اتصال و کاهش سطح چسب‌زنی در شکل ۶ آمده است. ایجاد اتصال سطح به سطح در نمونه‌های صنوبر نه تنها باعث کاهش معنی‌دار ($p < 0.05$) این فاکتور نگردید، بلکه کاهش سطح چسب‌زنی نیز سبب تغییر در مقادیر حاصله نشد. در اتصالات فارسی و انگشتی هر چند مقادیر حاصل در اتصالات سطح چسب‌زنی کامل با تیرهای بدون اتصال تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند، کاهش سطح چسب‌زنی سبب کاهش معنی‌دار ($p < 0.05$) مقادیر حاصل در اتصالات متوسط چسب و کم چسب این دو اتصال گردیده است.

تغییرات حاصل در دو فاکتور میرایی ارتعاش و کارایی تبدیل آکوستیک اتصال سطح به سطح در اثر کاهش سطح چسب‌زنی نیز در شکل ۷ ارایه گردید. کاهش سطح چسب‌زنی طبق یافته‌های این پژوهش سبب کاهش معنی‌دار ($p < 0.05$) مقادیر کارایی تبدیل آکوستیک و افزایش معنی‌دار ($p < 0.05$) مقادیر میرایی ارتعاش نسبت به تیرهای با اتصال کامل چسب گردید.

در شکل‌های ۸ و ۹ تغییرات حاصل در دو فاکتور میرایی ارتعاش و کارایی تبدیل آکوستیک اتصالات سر به سر فارسی و انگشتی در اثر کاهش سطح چسب‌زنی نشان داد که کاهش سطح چسب‌زنی سبب کاهش معنی‌دار مقادیر کارایی تبدیل آکوستیک و افزایش معنی‌دار مقادیر میرایی در هر دو اتصال نسبت به تیرهای با اتصال کامل چسب می‌گردد. میزان افت مقادیر کارایی تبدیل آکوستیک در اتصال انگشتی در اثر کاهش سطح چسب‌زنی نسبت به اتصال سطح به سطح و اتصال فارسی شدیدتر است (اشکال ۷ تا ۹).

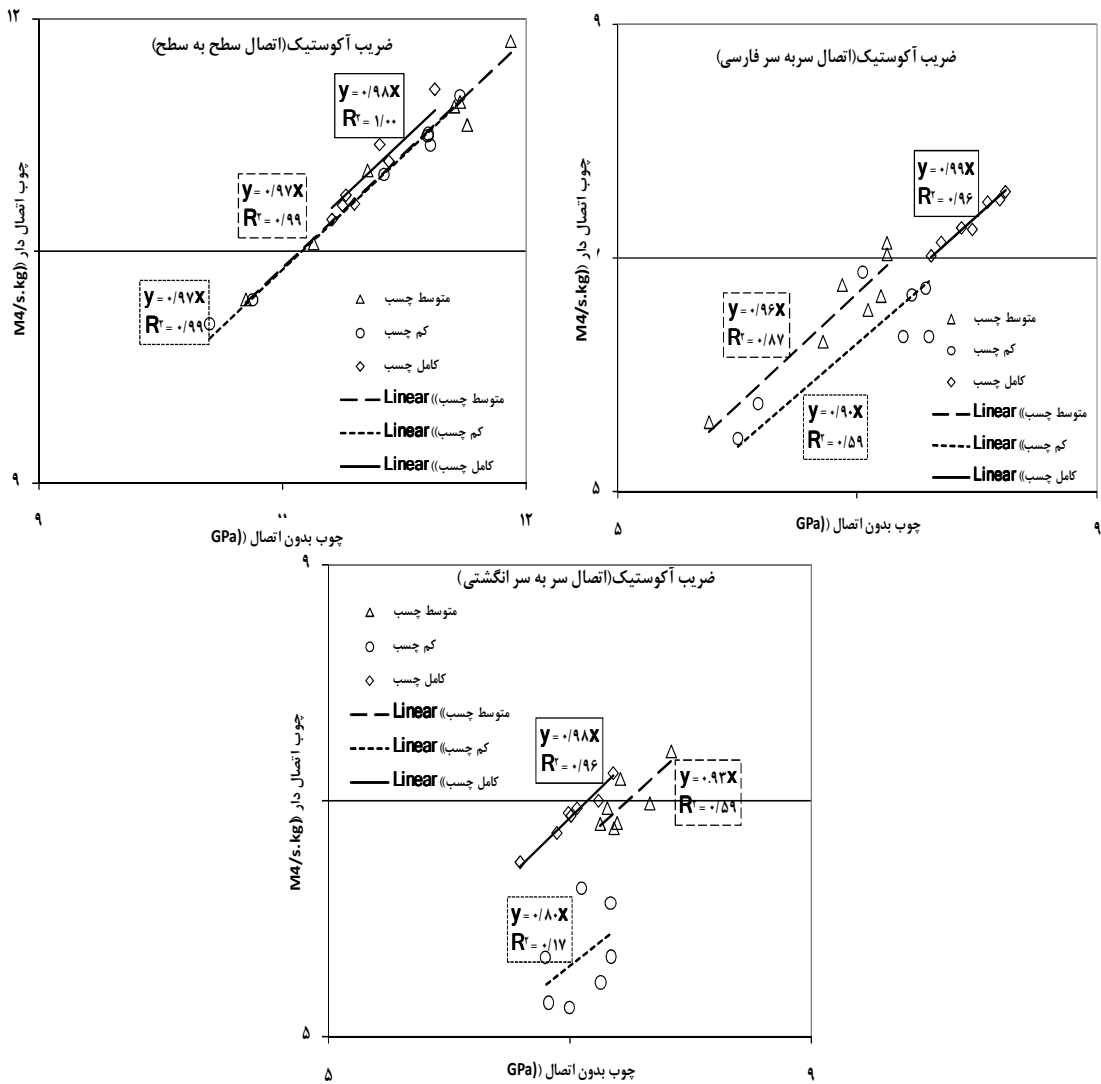


شکل ۵. تغییرات مدول الاستیسیته‌ی دینامیک در اتصالات سربیه سر (فارسی و انگشتی) و سطح به سطح با سه سطح چسب‌زنی پلی‌ونیل استات با روش ارتعاش خمشی

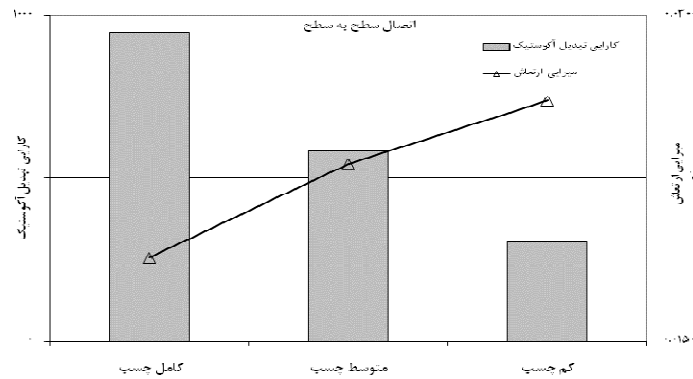
بحث و نتیجه‌گیری

می‌باشد (Roohnia et al., 2011). از آنجایی که بین ضریب آکوستیک و خواص مقاومتی چوب با مدول الاستیسیته دینامیک رابطه مستقیمی برقرار بوده (Wang et al., 2008) و با توجه به نقش معایب داخلی در افزایش میرایی ارتعاش (کهن ترابی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Cam et al., 2005؛ Roohnia et al., 2009) می‌توان مقادیر کارایی تبدیل آکوستیک در این تحقیق را نسبتی از مقاومت چوب به میزان معایب موجود در آن معرفی نمود.

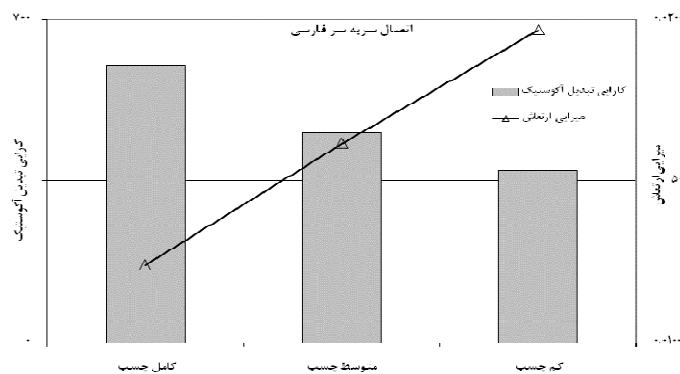
محاسبه ضریب آکوستیک بر مبنای مدول الاستیسیته و دانسیته ارایه دهنده نسبتی از مدول الاستیسیته چوب به دانسیته آن می‌باشد که جهت انجام محاسبات مربوط به کارایی تبدیل آکوستیک ضروری است. پیش از این از هر دو فاکتور مذکور به عنوان معیاری در انتخاب چوب‌های مورد استفاده در صفحات تشدید صدا استفاده شده است که هر چه میزان این دو فاکتور در چوب بالاتر باشد آن چوب جهت استفاده در صفحات تشدید صدا مناسبتر



شکل ۶. تغییرات ضریب آکوستیک در اتصالات سربه سر (فارسی و انگشتی) و سطح به سطح با سه سطح چسب زنی پلی وینیل استات با روش ارتعاش خمشی



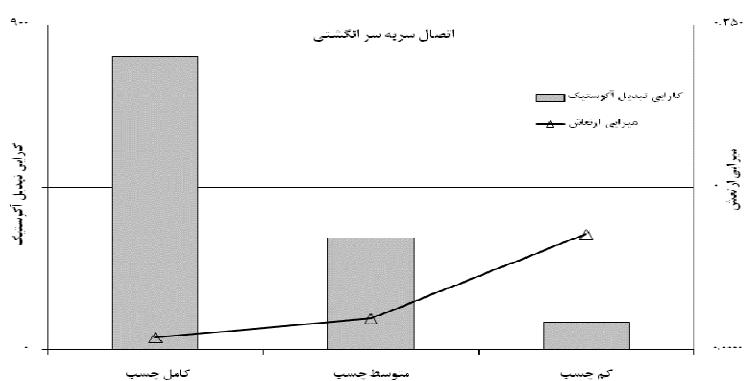
شکل ۷. تغییرات کارایی تبدیل آکوستیک و میرایی در اتصال سطح به سطح با سه سطح چسب زنی پلی وینیل استات با روش ارتعاش خمشی



شکل ۸. تغییرات کارایی تبدیل آکوستیک و میرایی در اتصال سر به سر فارسی با سه سطح چسب‌زنی پلی‌وینیل استات با روش ارتعاش خمشی

جدول ۲. خواص مکانیکی در اتصالات سر به سر (فارسی و انگشتی) و سطح به سطح با سه سطح چسب‌زنی پلی‌وینیل استات با روش ارتعاش خمشی

کارایی تبدیل آکوستیک			میرایی ارتعاش			ضریب آکوستیک (m ⁴ /s.kg)			مدول الاستیسیته (GPa)			صنوبر	چوب بدون اتصال
۹۴۸/۲			۰/۰۱۴۰			۱۱/۱۲			۱۰/۶۲				
۱۱۳۵/۵			۰/۰۰۷۱			۷/۳۰			۱۴/۳۱				
کم	متوسط	کامل	کم	متوسط	کامل	کم	متوسط	کامل	کم	متوسط	کامل	میزان چسب مصرفی	
۳۷۲/۵	۴۵۳/۳	۶۰۱/۶	۰/۰۱۹۷	۰/۰۱۶۲	۰/۰۱۲۴	۶/۳۱	۶/۷۸	۷/۳۱	۱۱/۲۹	۱۲/۹۸	۱۵/۰۷	اتصال فارسی	
۷۴/۹	۳۱۱/۴	۸۱۴/۰	۰/۰۰۸۹	۰/۰۲۳۷	۰/۰۰۹۱	۵/۸۵	۶/۹۸	۷/۰۸	۹/۱۴	۱۳/۱۵	۱۳/۸۲	اتصال انگشتی	
۳۰۸/۴	۵۸۳/۹	۸۸۵/۷	۰/۰۲۶۱	۰/۰۲۳۲	۰/۰۱۸۹	۱۰/۹۱	۱۱/۱۲	۱۰/۹۹	۱۰/۲۸	۱۰/۵۸	۱۰/۷۸	اتصال سطح به سطح	



شکل ۹. تغییرات کارایی تبدیل آکوستیک و میرایی در اتصال سر به سر انگشتی با سه سطح چسب‌زنی پلی‌وینیل استات با روش ارتعاش خمشی

شده است، اگر چه پاسخ تیر تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. همانطور که در نتایج مشاهده شد، بین مقادیر مدول الاستیسیته‌ی دینامیک هر سه سطح چسبندگی اتصال سطح به سطح تحقیق تفاوت معنی‌داری نسبت

مدول الاستیسیته و ویژگی از یک ماده محسوب می‌شود که به تنهایی بعد از دستکاری مصنوعی تیرهای چوبی تغییر نمی‌کند (Roohnia et al., 2009) که در این مطالعه به عنوان پاسخ دینامیکی تیر معرفی

به چوب‌های بدون اتصال در سطح ۵ درصد مشاهده شد. در برخی از تحقیقات نیز عدم تغییر معنی‌دار بین مقادیر این فاکتور در اثر وجود برخی معایب با توجه به موقعیت قرارگیری آنها در تیرهای چوبی گزارش گردیده بود (Yang et al., 2002؛ Roohnia et al., 2009). بنابراین در اتصال سطح به سطح مورد تحقیق نمی‌توان تغییرات حاصل در مدول الاستیسیته‌ی دینامیک را شاخصی جهت سالم بودن و عاری بودن این اتصال از عیوب داخلی دانست. اما در دو نوع اتصال سر به سر مورد تحقیق (اتصال فارسی و انگشتی) هر چند بین مقادیر حاصل از اتصالات کامل چسب و تیرهای بدون اتصال تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، مقادیر مدول الاستیسیته دینامیک با کاهش سطح چسب‌زنی در هر دو اتصال به طور معنی‌داری نسبت به چوب بدون اتصال و سطح چسب‌زنی کامل چسب با کاهش مواجه گردید. نتایج تحقیقات پیشین نیز حاکی از عدم تغییر معنی‌دار مدول الاستیسیته‌ی دینامیک در اثر ایجاد اتصال انگشتی نسبت به چوب بدون اتصال می‌باشد (Ayarkwa et al., 2000) که نتایج حاصل از این تحقیق علاوه بر تایید نتایج تحقیقات پیشین حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار بین مدول الاستیسیته چوب بدون اتصال و متصل شده با اتصال فارسی ۴۵ درجه می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که مصرف کننده اتصال می‌تواند اطمینان داشته باشد که در صورت الزام به استفاده از اتصالات چسبی سالم و بی‌نقص سر به سر، ایجاد دو نوع اتصال انگشتی و فارسی باعث هیچ‌گونه تفاوتی در مقادیر مدول الاستیسیته دینامیک نسبت به چوب بدون اتصال چوب‌راش نمی‌گردد. به علاوه پاسخ ناهمگن مقادیر این فاکتور (بر خلاف مقادیر مشابه در اتصال سطح به سطح) در اثر کاهش سطح چسب‌زنی می‌تواند به عنوان فاکتوری مناسب جهت کنترل کیفی این‌گونه اتصالات سر به سر پیش از دوره مصرف و

در حین مصرف تلقی گردد. پیش از این کاهش این فاکتور در اثر وجود معایبی همچون پوسیدگی و ترک در تیرهای چوبی توسط محققان دیگر گزارش شده بود که نتایج حاصل از این تحقیق نیز مبین نقش محل قرارگیری و موقعیت عیوب داخلی بر مقادیر حاصل از این فاکتور بود (مدهوشی و همکاران ۱۳۸۷؛ Roohnia et al., 2009).

همانطور که پیش از این نیز گفته شد ضریب آکوستیک یکی از پارامترهای مهم در برآورد ویژگی آکوستیکی یک جسم می‌باشد که تنها تحت اثر مدول الاستیسیته (E) و جرم ویژه (ρ) می‌باشد. بنابراین مشاهده روندی به مانند آنچه که در مدول الاستیسیته مشاهده شد دور از انتظار نبود. در این فاکتور نیز سه سطح چسب‌زنی در اتصال سطح به سطح سبب تغییر معنی‌دار در مقادیر حاصل نسبت به چوب‌های بدون اتصال نگردید (همانند مدول الاستیسیته) در حالی که روند تغییرات در اتصالات سر به سر فارسی و انگشتی همانند تغییرات مدول الاستیسیته دینامیک بود. مقادیر میرایی و کارایی تبدیل آکوستیک با کاهش سطح چسب‌زنی در اتصال سطح به سطح به ترتیب با افزایش و کاهش روبه‌رو شدند که این امر می‌تواند به دلیل وجود نواحی عاری از چسب در این اتصال و ایجاد اصطکاک داخلی بیشتر به تبع وجود این معایب باشد. در دو اتصال سر به سر فارسی و انگشتی نیز روندی مشابه با کاهش سطح چسب‌زنی با اتصال سطح به سطح مشاهده گردید و با افزایش ابعاد عیوب مقادیر میرایی ارتعاش و کارایی تبدیل آکوستیک به ترتیب با افزایش و کاهش روبه‌رو شدند. نسبت افزایش مقادیر میرایی ارتعاش در اتصال انگشتی نسبت به اتصالات فارسی و سطح به سطح بیشتر می‌باشد که این امر را می‌توان به حالت فیزیکی متفاوت این نوع اتصال نسبت به دو اتصال دیگر و ایجاد اصطکاک داخلی بیشتر نسبت داد.

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت که اتصالات سر به سر فارسی و انگشتی نسبت به معایب چسب‌زنی حساسیت بیشتری نسبت به اتصال سطح به سطح در روش ارتعاش آزاد از خود نشان می‌دهند، به طوری که عیب‌های موجود در این دو نوع اتصال باعث دریافت پاسخ دینامیکی ناهمگن و کاملاً قابل تفسیر روی مقادیر مدول الاستیسیته دینامیک، ضریب آکوستیک، میرایی ارتعاش و کارایی تبدیل آکوستیک گردیده است. بنابراین کلیه فاکتورهای دینامیکی ذکر شده در این دو اتصال می‌توانند به عنوان شاخصی مناسب در جهت تشخیص سلامت و همچنین پیشرفت عیب‌های احتمالی این گونه اتصالات سر به سر قبل و در حین دوره مصرف به شمار آیند. در اتصال سطح به سطح نیز هرچند وجود معایب موجود در چسبندگی سبب تغییر معنی‌داری در مقادیر مدول الاستیسیته و ضریب آکوستیک نگردید، پاسخ دینامیکی تیر در مقادیر میرایی ارتعاش و کارایی تبدیل آکوستیک کاملاً ناهمگن و قابل تفسیر می‌باشد، به طوری که با در نظر گرفتن تغییرات حاصل در مقادیر میرایی ارتعاش و کارایی تبدیل آکوستیک علاوه بر وجود عیب می‌توان به میزان پیشرفت آن نیز پی برد. با این حال نتایج حاصل مختص به صفحه طولی-شعاعی در دو گونه صنوبر و راش بوده و تحقیقات بیشتر بر روی سایر گونه‌ها در صفحات طولی-شعاعی و طولی-مماسی توصیه می‌گردد.

منابع

- کازمی نجفی، س. (۱۳۹۰) بررسی تاثیر نوع اتصال بر خواص آکوستیک چوب‌های اتصال‌دار. فصلنامه تخصصی علوم و فنون منابع طبیعی، ۶(۴): ۱۱۷-۱۲۸.
- مدهوشی، م.، هاشمی، س.م. و بهزاد م. (۱۳۸۷) ارزیابی تاثیر پوسیدگی بر مدول‌های الاستیسیته دینامیکی و الاستیکی چوب گونه راش با استفاده از روش غیرمخرب موج تنش، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۳(۱۵): ۱۸۴-۱۷۶.
- Alberktas, D., Vobolis, J. (2004) Modeling and Study of Glued Panel. *Materials Science (medziagotyra)*, 10(4): 370-373.
- Ayarkwa, J., Hirashima, Y. and 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.
- Biechele, T., Chui, Y.H. and Gong, M. (2011) Comparison of NDE techniques for assessing mechanical properties of unjointed and finger-jointed lumber. *Holzforschung*, 65: 397-401.
- Brancheriau, L., Kouchade, C. and Bremaud, I. (2010) Internal friction measurement of tropical species by various acoustic methods. *Journal of Wood Science*, 56: 371-379.
- Cam, E., Orhan, S. and Luy, M. (2005) An analysis of cracked beam structure using impact echo method. *NDT and E International*, 38: 368-373.
- Coupland, J.N. (2004) Low intensity ultrasound. *Food Research International*, 37: 537-543.
- Custodio, J., Broughton, J. and Cruz, H. (2009) A Review of Factors Influencing the Durability of Structural Bonded Timber Joint. *International Journal of Adhesion & Adhesive*, 29: 173-185.
- Dill-Langer, G., Bernauer, W. and Aicher, S. (2005) Inspection of Glue-lines of Glued-laminate Timber by Means of Ultrasonic Testing, 14th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Germany. May: 49-60.
- Eby, R.E., (1981) Proof Loading of Finger Joint for Glulam Timber. *Forest Product Journal*, 31(3): 37-41.
- Jang, S.S. (1998) Effects of Transducer Position in Ultrasonic Nondestructive Tests of Finger-Jointed Lumber. *Journal of Korean Wood Science and Technology*, 26(1): 1-8.
- Laufenberg, T. L., (1982) Exposure Effect upon Performance of Laminated Veneer Lumber and Glulam Materials, *Forest Products Journal*, 32(5):42-48.
- Marra, A.A. (1992) *Technology of Wood Bonding. Principles in Practice*. Van Nostrand Rainhold, 447 p.
- Nzokou, P., Freed, J. and Kamden D.P. (2006) Relationship between Nondestructive and Static Modulus of Elasticity of Commerical Wood

کهن‌ترابی، م. و روح‌نیا، م. (۱۳۹۲) تشخیص معایب در اتصالات از طریق تغییرات حاصل در ضریب همبستگی و مدول برشی دینامیک در چوب راش. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۸(۲): ۲۴-۳۴.

کهن‌ترابی، م.، غزنوی، م.، روح‌نیا، م.، تاج‌دینی، آ. و

- Plastic Composites. *European Journal of Wood and Wood Products*, 64: 90-93.
- Roohnia, M., Yavari, A. and Tajdini, A. (2009) Elastic Parameters of Poplar Wood with End-Cracks. *Annals of Forest Science*, 26 (2): 141-153.
- Roohnia, M., Tajdini, A. and Manouchehri, N. (2011) Assessing wood in sounding boards considering the ratio of acoustical anisotropy. *NDT & E International*, 44: 13-20.
- Roohnia, M., kohantorabi, M., Jahan-Latibari, A., Tajdini, A. and Ghaznavi, M. (2012) Nondestructive assessment of glued joints in timber applying vibration-based methods. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70: 791-799.
- Soltis, L.A. and Ritter, M. (1997) Mechanical Connection in Wood Structures. *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice*, New York, American Society of Particleboard. *Journal of Wood Science*, 45: 221-226.
- Wood - Sampling Methods and General Requirements for Physical and Mechanical Tests. (1975) International Standard ISO 3129. 4 p.
- Yang, X., Ishimaru, Y., Iida, I. and Urakami, H. (2002) Application of modal analysis by transfer function to nondestructive testing of wood I: Determination of localized defects in wood by shape of the flexural vibration wave. *Journal of Wood Science*, 48: 283-288.
- Yang, T.H., Wang, S.Y., Lin, C.J. and Tsai, M.J. (2008) Evaluation of the Mechanical Properties of Douglas-fir and Japanese Cedar Lumber and its Structural Glulam by Nondestructive Techniques. *Construction and Building Materials*, 22: 487-493.

Nondestructive evaluation of defects (face to face and end to end joints) with polyvinyl acetate applied adhesive using vibration method

Mostafa Kohantorabi^{1*}, Mehran Roohnia², Ehsan Haji Rafeiha² and Alireza Asgari¹

1) Department of Wood Science and Technology, College of Agricultur and Natural Resources, Science and research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *Corresponding Author Email Address: mostafa.kohantorabi@gmail.com

2) Department of Wood Science and Technology, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

Abstract

In this research, influences of defects in end to end and face to face joints have been investigated. 21 poplar specimens and 42 beech specimens with different type of joints (end to end face to face) have been used. Polyvinyl acetate adhesive applied and bending vibration tests have been carried out to perform elastic properties of specimens. No significant differences were observed comparing elastic modulus and acoustical coefficient of defective joints and solid beams, while the adhesion defect in this joint increased the damping factor and decreased the acoustic conversion efficiency. The results also indicate that defect in end to end joints has significant impact on the elastic modulus, acoustical coefficient, damping factor and acoustic conversion efficiency. Totally, variation on acoustic conversion efficiency as an effectively factor could be used for detection and extent of the defects in end to end and face to face joints before use and at service time.

Keywords: end to end joint, Face to face joint, free vibration, young's modulus, damping, acoustic conversion efficiency.