

## مطالعه تأثیر تورق و سطح چسب گذاری بر مدول الاستیسیته و مدول برشی چوب صنوبر توسط آزمون غیرمخرب ارتعاش

احسان حاجی رفیعی<sup>۱</sup>، مهرا ن روح نیا<sup>۲\*</sup>، احمد جهان لیبیاری<sup>۳</sup> و آژنگ تاج دینی<sup>۴</sup>

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

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، پست الکترونیک: mehnan.roohnia@kiaou.ac.ir

۳- استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

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

تاریخ دریافت: شهریور ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۳

### چکیده

در این تحقیق به بررسی تأثیر تورق و سطح چسب گذاری در فرآورده های لایه ای حاصل از چوب صنوبر، توسط آزمون غیرمخرب ارتعاش آزاد خمشی پرداخته شده است. بدین منظور تعداد ۱۲۰ نمونه به ابعاد اسمی  $۴۵ \times ۲/۵ \times ۲/۵$  سانتی متر که عاری از هرگونه عیب ظاهری بودند آماده و تحت آزمون ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد قرار گرفتند. سپس نمونه ها توسط دو برش طولی لایه ای شدند و توسط چسب پلی وینیل استات به یکدیگر اتصال پیدا کردند. نمونه ها از لحاظ سطح چسب گذاری به چهار سطح قراردادی تقسیم شده که یک گروه کامل چسب و سه گروه دیگر به طور متفاوت ناقص چسب بودند. نمونه ها دوباره تحت آزمون مذکور مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در مقایسه با مدول الاستیسیته، مدول برشی پارامتر حساس تری برای شناسایی معایب اتصال و سطح چسب گذاری تیرهای لایه ای است، به شرطی که نقاط کور آزمون غیرمخرب ارتعاش خمشی در نظر گرفته شود.

واژه های کلیدی: ارتعاش خمشی، مدول الاستیسیته، مدول برشی، نقص در چسبندگی.

### مقدمه

گیرند (Arumugam et al., 2011). چوب های لایه ای در معرض شرایط محیطی نسبت به الوارهای ساختمانی دارای ویژگی های بسیار برتری هستند (Laufenberg, 1982). به طوری که با افزایش تعداد لایه ها در تیرهای لایه ای، مدول الاستیسیته افزایش می یابد که دلیل این امر کاهش میزان خیز در اثر افزایش تعداد لایه و افزایش دانسیته تیرهاست (Camille and Ziad, 2005).

در سال های اخیر بهره برداری از گونه های مختلف صنوبر در ساخت تخته لایه متداول شده است، به طوری که با توجه به دوره های بهره برداری کوتاه مدت (زراعت چوب) این گونه، برای تأمین ماده اولیه مورد نیاز صنایع یاد شده امری اجتناب ناپذیر است (Mehdinia et al., 2011). درخت

چوب های لایه ای نسبت به الوارهای ساختمانی دارای ویژگی های بسیار برتری هستند. این موضوع چوب های لایه ای را در مصارف ساختمانی چوب متمایز کرده است. ویژگی های مقاومت برشی خط چسب و درصد جدایی در شرایط محیطی با رطوبت بالا، موجب شده است که چوب های لایه ای نسبت به الوارهای ساختمانی دارای مقاومت بالاتری باشند (Laufenberg, 1982). با این تفاسیر روند مصرف چوب های لایه ای در دنیا رو به افزایش است و مواد مرکب چوبی (فرآورده های لایه ای) به علت داشتن استحکام، سختی و همین طور برخورداری از مشخصه های مقاومت در برابر فرسایش به فراوانی مورد استفاده قرار می-

ردیابی معایی همانند ترک‌های انتهایی چوب مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (Roohnia et al., 2010). مدول الاستیسیته از مهمترین و کاربردی‌ترین خاصیت‌های مکانیکی ماده به‌شمار می‌رود که در برآورد بسیاری از خواص، مقاومت‌ها، پیش‌بینی تغییر شکل‌های تنش‌های مختلف عمودی و خمشی و حتی درجه‌بندی مواد از جمله چوب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bodig and Jayne, 1982). نمونه‌های آزمون غیرمخرب در صنعت چوب شامل تعیین مدول الاستیسیته، ارتعاش اتصالات و بررسی چوب‌های اشباع شده با کربن در رابطه با بخش حفاظت این محصول و همچنین مقاومت الوارهای چوبی و لایه‌ایست (Nzokou et al. 2006). همچنین نقص‌یابی فرآورده‌های مرکب چوبی (گلولم، تیرهای لایه‌ای، تخته‌لایه و ...) توسط تحلیل ارتعاش از مزیت‌های این قبیل آزمون‌ها می‌باشند (Yan and Yam, 2002). مقادیر مدول الاستیسیته برآورد شده توسط آزمون دینامیکی، حدود ۱۵ درصد بیشتر از آزمون استاتیکی است، البته برای چوب ماسیو این تفاوت بین ۵ تا ۱۵ درصد است (Bodig and Jayne, 1982)؛ که این امر به دلیل پدیده خزش ایجاد شده و به تبع افزایش سرعت عمل آزمون، بروز می‌کند (Divos and Tanaka, 2005). هدف از این تحقیق بررسی تأثیر تورق و نوع سطح چسب‌گذاری در فرآورده‌های لایه‌ای، بر روی مدول الاستیسیته و مدول برشی توسط آزمون غیرمخرب ارتعاش خمشی آزاد به‌منظور ارائه راهکاری غیرمخرب برای ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی این محصول در سطوح مختلف چسب‌گذاری به‌منظور بازرسی‌ها در هنگام مصرف این گونه محصولات است. در علوم مکانیک و علوم مربوط به ارتعاشات سابقه طولانی هم در تکنیک ارتعاش آزاد و هم توسط دیگر تکنیک‌های غیرمخرب وجود داشته که نتایج این آزمون‌ها، کاربردی و قابل اطمینان است. Tucker و Bender در سال ۲۰۰۳ توسط امواج صفحه‌ای مافوق صوت در فرآورده‌های لایه‌ای صفحه‌ای به‌منظور یافتن معایب چسبندگی به بررسی تحقیق پرداختند. نتایج به این صورت بودند که فرکانس‌های پایین‌تر نسبت به فرکانس‌های بالاتر در تشخیص معایب چسبندگی حساسیت بیشتری از خود نشان دادند. همین‌طور امواج مافوق صوت در تشخیص معایب چسبندگی در تخته فیبر با دانسیته متوسط مؤثر است. Alberktas و Vobolis در سال ۲۰۰۴ بر روی نقص چسبندگی تخته‌لایه‌هایی که از جنس گونه بلوط ساخته شده بودند، مطالعه کردند. آنها پی بردند که نمونه‌های معیوب باعث

صنوبر جزو گونه‌های پربازده پهن‌برگ نواحی معتدله است که در یک دوره بهره‌برداری متعارف ارتفاع آنها به ۳۰ متر می‌رسد. از چوب صنوبر به روش لوله‌بری می‌توان روکش خوبی تهیه کرد. از روکش، پوشال و تراشه‌های صنوبر تخته چندلایه‌های چندمنظوره و تخته‌تراشه ساخته می‌شود (Karimi et al., 2008). در ایران نیز از چندین سال پیش توجه زیادی به کاشت گونه‌های تند رشد به‌ویژه صنوبر شده است (Otadi, 2000).

تاکنون روش‌های استاتیک و دینامیک متفاوتی برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی یک ماده ارائه شده است. آزمون خمش استاتیک برای مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی، یک روش استاندارد است ولی باعث شکستن نمونه مورد آزمایش می‌گردد که این امر منجر شد تا آزمون‌های غیرمخرب در سال‌های اخیر به‌سرعت توسعه پیدا کنند (Bucur, 2006). آزمون‌های غیرمخرب<sup>۱</sup> از بین روش‌های دینامیکی برای حل این نوع مشکلات ابداع شدند، به‌طوری‌که نخست شکست نمونه را به همراه ندارند و دوم اینکه زمان تلف شده در آنها کمتر است (Wang et al., 2008). ارزیابی غیرمخرب در پیش‌بینی خواص مواد چوبی یک روش بسیار مهم در صنعت چوب و ارزیابی خواص مکانیکی چوب شناخته می‌شود. البته تکنولوژی آزمون‌های غیرمخرب در طی چندین دهه قبل بررسی شده و امکانات بیشتری برای پیش‌بینی مشخصه‌های مکانیکی چوب دارد (Keyang et al., 2009). امروزه بیشتر تکنیک‌های آزمون غیرمخرب برای شرح سازوکار آسیب در فرآورده‌های مرکب چوبی استفاده می‌شوند (Arumugam et al., 2011). آزمون‌های غیرمخرب را می‌توان به دو گروه تقسیم نمود: ۱- روش‌های کم‌کاربرد ۲- روش‌های پرکاربرد. روش‌های کم‌کاربرد مثل استفاده از میزان نفوذ اشعه در چوب که این روش‌ها نتایجی سطحی در پی دارند (Baldassini et al., 1996) و روش‌های پرکاربرد مانند استفاده از امواج اولتراسونیک و تکنیک ارتعاش که در محاسبه مدول الاستیسیته و در درجه‌بندی نمودن چوب مورد مطالعه قرار گرفته است (Renn and Kim, 1999 و Kuklik and Doipjs, 1999). یکی از مهمترین روش‌های آزمون غیرمخرب که در سال‌های اخیر بسیار مورد استفاده قرار گرفته است، آزمون غیرمخرب ارتعاش است (Roohnia et al., 2006) که به‌طور مؤثری برای

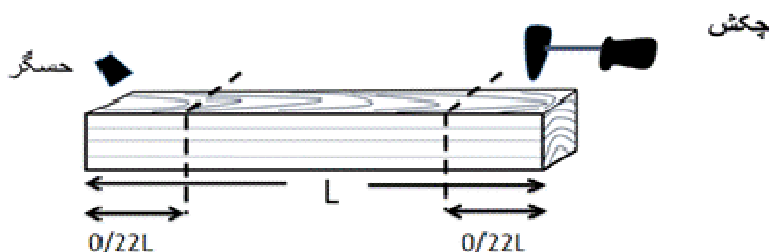
1- Nondestructive tests (NDT)

اتصال انگشتی علاوه بر اینکه باعث کاهش کارایی تبدیل آکوستیک می شود سبب کاهش ضریب آکوستیک هم می گردد.

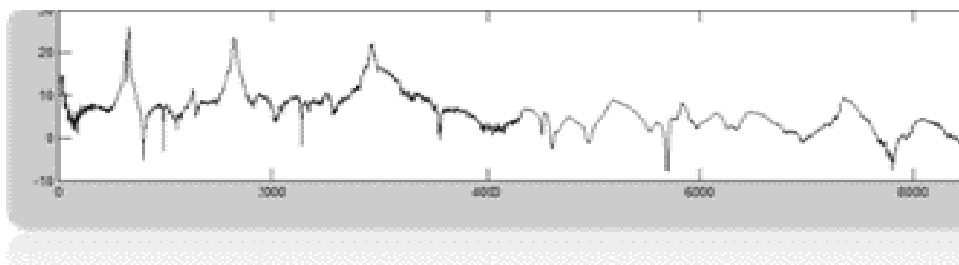
### مواد و روش ها

ابتدا تعداد ۱۲۰ نمونه چوب صنوبر به ابعاد اسمی  $۴۵ \times ۲/۵ \times ۲/۵$  (عرض  $\times$  ضخامت  $\times$  طول) سانتی متر که کاملاً سالم و عاری از هرگونه عیب ظاهری از جمله کج تاری، گره، ترک و... بودند برای انجام آزمون انتخاب شدند. نمونه ها برای همسان سازی رطوبت به مدت ۲ هفته در اتاق کلیما (۲۰ درجه سلسیوس و ۶۵ درصد رطوبت نسبی) قرار گرفتند. پس از طی شدن مدت مذکور، برای اطمینان بیشتر از عاری بودن عیوب داخلی، نمونه ها توسط سیستم ایرانی<sup>۱</sup> آزمون غیرمخرب ارتعاش آزاد خمشی در صفحات شعاعی و مماسی (LR و LT) قرار گرفتند (شکل ۱). تفاوت های مقادیر برآورد مدول الاستیسیته طولی طی ارتعاشات LT و LR و توجه به ضریب همبستگی رابطه خطی تیموشنکو به عنوان شاخص سلامت چوب تلقی شدند (Roohnia et al., 2011) که در ادامه ارائه شده اند.

تغییر در دامنه فرکانس می گردند. میزان این تغییرات با افزایش ابعاد عیوب افزایش پیدا می کند. از دیگر نتایج آنها این بود که وجود عیب در چسبندگی باعث تغییرات در مدول الاستیسیته در جهت عرضی شده است. در سال ۲۰۰۵، Dill-Langer و همکاران با استفاده از روش عبوری فراصوت یافتن کیفیت خط چسب در تیرهای لایه ای را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که زمان عبور موج در مناطقی که عاری از هرگونه چسب گذاری است، ازدیاد پیدا می کند و دامنه ی موج از حد خود کاهش می یابد. در سال ۲۰۰۶، Roohnia و همکاران به بررسی تغییرات مدول الاستیسیته ویژه و مدول های برشی (مماسی و شعاعی) چوب سروسیمین به روش آزمون غیرمخرب ارتعاش پرداختند. نتایج حاصل به این صورت بود که مدول الاستیسیته ویژه از مغز تا پوست به طور معنی داری کاهش یافت و همبستگی معناداری بین خواص مکانیکی و پهنای دوایر سالیانه وجود داشت. Kohantorabi و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی تأثیر نوع اتصال بر خواص آکوستیک چوب های اتصال دار (اتصال انگشتی و اتصال فارسی)، توسط آزمون غیرمخرب ارتعاشی انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که



شکل ۱- نحوه ضربه زدن، قرارگیری میکروفن و محل گره ها در ارتعاش خمشی LR



شکل ۲- سری فوریه به دست آمده از ارتعاش خمشی (که شامل سه مد ارتعاشی واضح است) محور افقی فرکانس برحسب هرتز و محور عمودی، ارتفاع صدا برحسب دسی بل است.

$$\% \Delta E_L = \left| \frac{E_{LR} - E_{LT}}{E_{LR}} \right| \times 100 \quad (4)$$

که در آن:

$E_{LR}$ : مدول الاستیسیته طولی به دست آمده از آزمون ارتعاش آزاد خمشی LR در تیر دو سر آزاد  
 $E_{LT}$ : مدول الاستیسیته طولی به دست آمده از آزمون ارتعاش آزاد خمشی LT در تیر دو سر آزاد

بر این اساس نمونه‌های حائز شرایط فوق برای ادامه آزمایش انتخاب شدند؛ و توسط دستگاه برش تجاری MAKITA مدل MLT100 نمونه‌های انتخاب شده طی دو برش که در جهت طولی و عمود بر دواير سالیانه بود، لایه‌ای شدند. لازم به ذکر است که نمونه‌ها به ۳ لایه و هریک به ضخامت اسمی ۰/۶۵ سانتی‌متر تبدیل شدند. پس از لایه‌ای شدن سایر ابعاد بدون تغییر ماندند. بنابراین ابعاد اسمی نمونه‌های لایه‌ای عبارت بود از ۴۵×۲×۲/۵ سانتی‌متر (عرض- ضخامت - طول) که برش لایه‌ها در صفحات شعاعی و عمود بر دواير سالیانه انجام شد.

نمونه‌های لایه‌ای شده در هر گروه، توسط چسب پلی و نیل استات در چهار سطح قراردادی چسب‌گذاری (جدول ۱)، چسب‌زنی شده و تا برقراری کامل اتصال درون گیره دستی قرار داده شدند. لازم به تذکر این مطلب است که برای ایجاد کاملاً مشابه در هر یک از سطوح چسب‌گذاری ذکر شده در جدول ۲ هر یک از نمونه‌های بکار رفته در این تحقیق با زمان و فشار یکسانی درون گیره دستی قرار گرفتند. حالت A مبین سطح چسب‌گذاری سالم و کامل در بین لایه‌ها است و سه حالت دیگر مبین سطح چسب‌گذاری ناقص در بین لایه‌هاست. برای ایجاد سطوح ناقص چسب‌گذاری (ایجاد نقص مصنوعی در چسب‌گذاری) به منظور جلوگیری از پخش چسب در کل لایه در اثر فشار، مناطقی را که در جدول ۲ آمده است با روغن پوشش داده شد (شکل ۳).

مطابق تئوری توسعه یافته ارتعاش خمشی تیموشنکو، از روی حداقل سه مد ابتدایی ارتعاش خمشی، سه نقطه به مختصات  $a_n$  و  $b_n$  و  $n=1, 2, 3$  برآورد شده و خط رگرسیون از بین این سه نقطه عبور داده شده است. عرض از مبدأ نشانگر مدول الاستیسیته ویژه و شیب خط که متأثر از اثرات خیز برشی تیر تحت خمش لحظه‌ای است، در حقیقت تخمین مدول برشی از ارتعاش خمشی تیر و نقطه توسعه تئوری تیموشنکو نسبت به تئوری مقدماتی اولر-برنولی تلقی می‌شود (Brancheriau and Bailleres, 2002). خلاصه‌ای از روابط ارتعاش خمشی تیر تیموشنکو طی روابط ۱ تا ۳ آورده شده است.

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

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

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

K ضریب شکل است که در اینجا حدود ۰/۸۳۳ است، G مدول برشی،  $\square$  جرم ویژه،  $f_n$  فرکانس n امین مد ارتعاش است که از طریق تجزیه و تحلیل طیف فوریه به دست می‌آید.

برای انتخاب نمونه‌های سالم (عاری از عیوب داخلی) از میان حجم نمونه به دو فاکتور توجه شد (Roohnia et al., 2001):

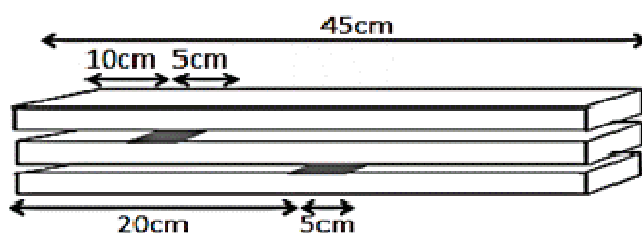
- ۱- بر اساس تئوری تیر تیموشنکو نمونه‌هایی که بین مدهای اول تا سوم ارتعاشی، داری همبستگی بالاتر از ۰/۹۹ باشند.
- ۲- نمونه‌هایی که درصد  $\Delta E_L$  آنها کمتر از ۵ درصد بود. این پارامتر به صورت زیر تعریف شده است.

جدول ۱- مشخصات چسب پلی ونیل استات مورد استفاده در اتصال نمونه‌ها

PH	پایه رقیق کننده	میزان مصرف (kg/m <sup>2</sup> )	زمان گیرایی (°C)	چگالی (kg/m <sup>3</sup> )	درصد مواد جامد	نام تجاری
۴-۶	اتیل استات	۰/۱۵-۰/۲	۱۰-۲۰ دقیقه	۱/۱-۱/۵	۶۶-۶۶	صنایع شیمیایی چسب شمال

جدول ۲- نحوه چسب گذاری

محل قرارگیری نقص چسب گذاری	حالت چسب گذاری
کامل چسب	حالت A (کامل چسب)
نقص چسب در ۱۰ سانتی متری دوم انتهای یک لایه	حالت B (ناقص چسب ۱)
نقص چسب در مرکز یک لایه	حالت C (ناقص چسب ۲)
نقص چسب در انتهای یک لایه	حالت D (ناقص چسب ۳)



شکل ۳- استفاده از روغن در سطح ناحیه فاقد چسب در تیمار D (ناقص چسب ۳)

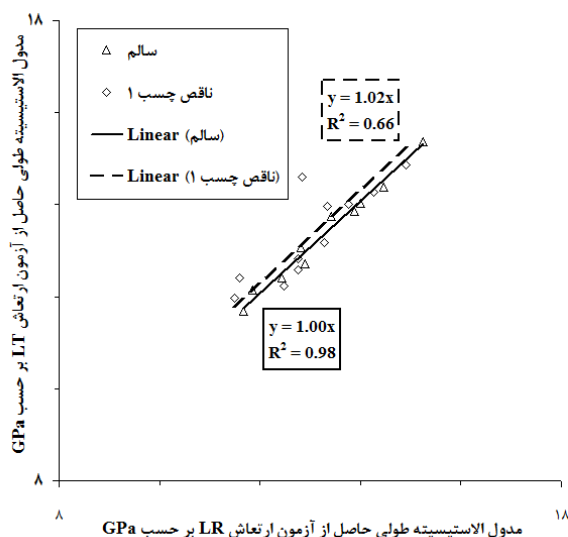
نقاط استفاده شد. شکل‌های (۴، ۵، ۶ و ۷) نوعی برابری نسبی بین مدول الاستیسیته‌های طولی حاصل از آزمون ارتعاش آزاد خمشی در صفحات LR و LT را در نمونه‌های سالم (نمونه اولیه) و نمونه‌های اتصال یافته‌ای که سطح چسب گذاری آنها به ترتیب کامل چسب، ناقص چسب ۱ و ناقص چسب ۲ می‌باشند، نشان می‌دهند. علاوه بر آن، مقادیر مدول الاستیسیته در نمونه‌های لایه‌لایه و چسب-گذاری شده اعم از کامل یا ناقص چسب نسبت به نمونه‌های سالم اولیه، تفاوت معنی‌داری ننموده است. این پدیده، به صورت همپوشانی تقریبی خطوط برازش شده برای نمونه‌های اولیه و نمونه‌های تغییر یافته (خطوط پیوسته و خط-چین) به خوبی مشهود است. برای اطمینان از این مشاهده، آزمون فاکتوریل برای بررسی اثر تغییرات ایجاد شده بر

پس از اینکه در بین لایه‌ها اتصال کاملاً برقرار شد، آنها را از گیره دستی خارج کرده و به مدت ۲ هفته داخل کلیماتیزه با شرایط قبلی قرار داده شدند. پس از اتمام این دو هفته، نمونه‌های اتصال یافته دوباره تحت دو آزمون ارتعاش آزاد خمشی LR و LT قرار گرفتند و بعد تأثیر تورق و سطح چسب گذاری را در مقایسه با نمونه‌های اولیه در برآورد مدول الاستیسیته محوری و مدول برشی مورد بررسی قرار گرفت.

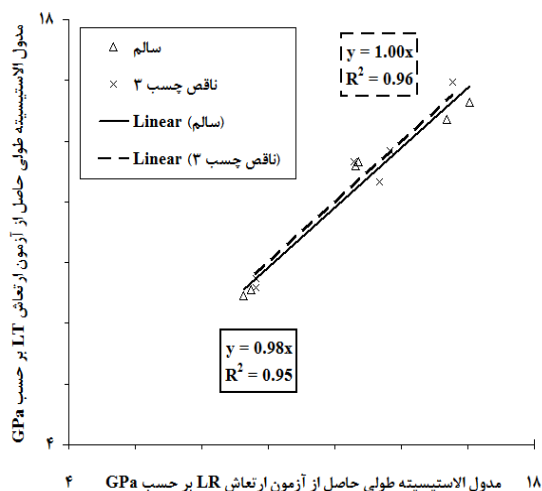
### نتایج

به منظور مشاهده تغییرات مدول الاستیسیته محوری و مدول‌های برشی قبل و پس از تورق و چسب‌گذاری حاصل از دو آزمون ارتعاش آزاد خمشی LT و LR از نمودار ابر

شدند. البته این بدین معناست که مدول الاستیسیته طولی مورد بررسی در این تحقیق، پارامتر آنچنان حساسی به تورق و کیفیت سطح چسب گذاری نبوده است.

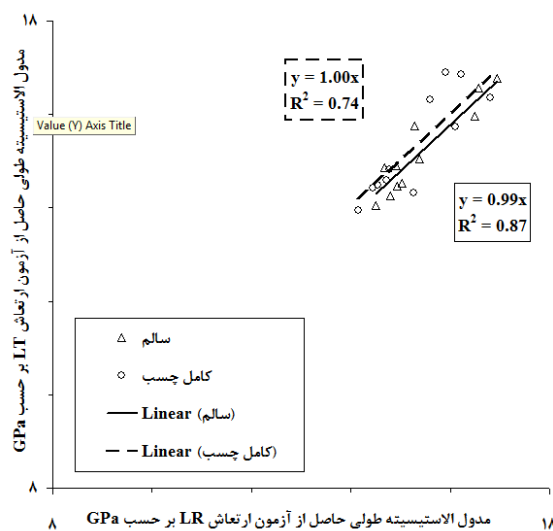


شکل ۵- مقایسه مدول الاستیسیته طولی حاصل از آزمون‌های ارتعاش خمشی LR و LT در نمونه‌های سالم اولیه و نمونه‌های لایه‌ای شده ناقص چسب ۱

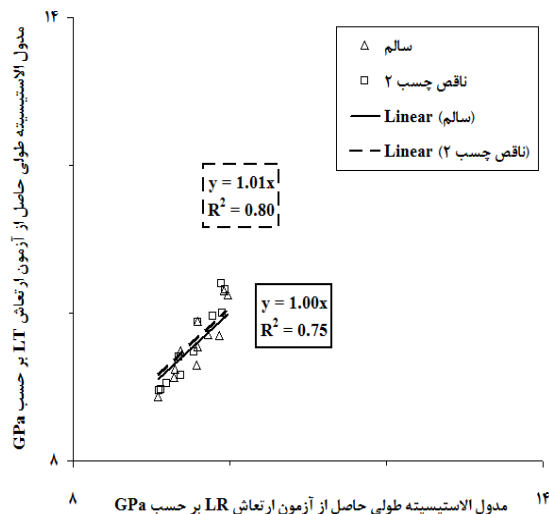


شکل ۷- مقایسه مدول الاستیسیته طولی حاصل از آزمون‌های ارتعاش خمشی LR و LT در نمونه‌های سالم اولیه و نمونه‌های لایه‌ای شده ناقص چسب ۳

تغییرات مدول الاستیسیته و گروه‌بندی دانکن نیز این برابری نسبی را تأیید نمود. به طوری که نمونه‌های اولیه و تغییر یافته (لایه‌ای شده) در هر یک از سطوح چسب‌گذاری از نظر مدول الاستیسیته به طور مستقل در یک گروه یکسان واقع



شکل ۴- مقایسه مدول الاستیسیته طولی حاصل از آزمون‌های ارتعاش خمشی LR و LT در نمونه‌های سالم اولیه و نمونه‌های لایه‌ای شده کامل چسب

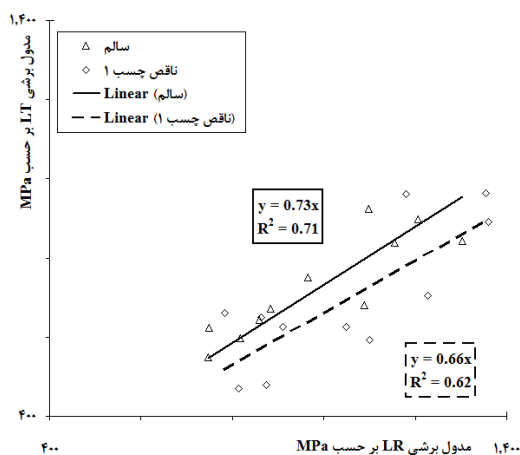


شکل ۶- مقایسه مدول الاستیسیته طولی حاصل از آزمون‌های ارتعاش خمشی LR و LT در نمونه‌های سالم اولیه و نمونه‌های لایه‌ای شده ناقص چسب ۲

می‌تواند به سبب همپوشانی نسبی محل عیب با گره ارتعاشی ارتعاش خمشی باشد. نظر به اینکه مطابق تئوری، گره ارتعاشی هیچ‌گونه نوسان و جابجایی ندارد، محل عیب چسب‌گذاری در واقع در نقطه کور ارتعاش خمشی واقع شده است. در خصوص نمونه‌های کامل چسب، ضریب همبستگی مورد بحث، نه تنها کاهش نیافته بلکه اندکی نیز بهبود یافته است که البته با توجه به کیفیت و کامل بودن سطوح چسب‌گذاری، از ابتدا مورد انتظار بوده است.

### بحث

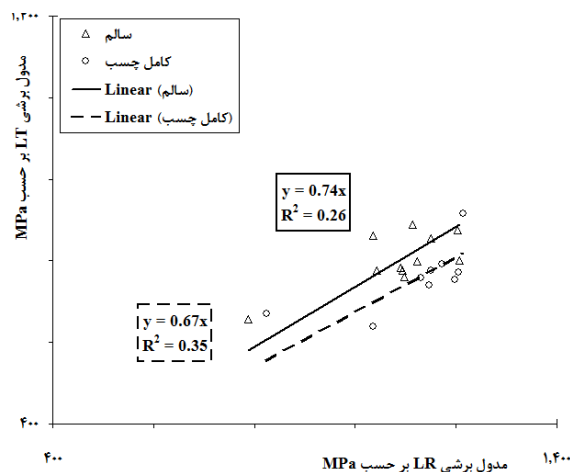
مدول الاستیسیته محوری حاصل از آزمون ارتعاش آزاد خمشی LR و LT در نمونه‌های اتصال یافته که حالت چسب‌گذاری در آنها به صورت کامل چسب، ناقص چسب ۱، ۲ و ۳ بودند در مقایسه با نمونه‌های اولیه (نمونه‌های سالم) نشان می‌دهد که لایه‌ای کردن و چسب‌گذاری با سطوح مختلف سبب تغییرات چندانی بر روی فاکتور مورد مطالعه نمی‌گردد (شکل ۴، ۵، ۶ و ۷)؛ به طوری که پیش‌ازاین نیز رفتار دینامیکی همگن فاکتور مذکور در اثر ایجاد نقص در سطح چسب‌گذاری در قسمت‌های میانی محصول (همانند سطوح چسب‌گذاری ناقص ۱ و ۲ این تحقیق)، نسبت به نمونه‌های سالم و اولیه در گونه بلوط گزارش شده بود (Alberktas and Vobolis, 2004).



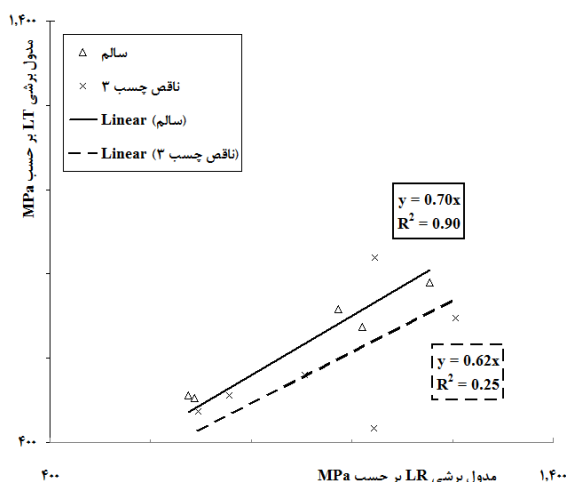
شکل ۹- مقایسه مدول‌های برشی LR و LT در نمونه‌های سالم اولیه و نمونه‌های لایه‌ای شده ناقص چسب

اما نتایج مقایسه‌ای صفحات LR و LT از لحاظ مدول برشی دینامیکی نمونه‌های سالم و اتصال یافته با سطوح مختلف چسب‌گذاری، حکایت از حساسیت مدول برشی نسبت به تغییرات ایجاد شده در نمونه‌ها داشت. همان‌طور که در شکل‌های (۸، ۹، ۱۰ و ۱۱) ملاحظه می‌شود لایه‌ای نمودن و چسب‌گذاری در هر سطح چسب‌گذاری باعث جابجایی خطوط برازش شده برای مدول برشی LT نسبت به LR شده است. همان‌گونه که در نمودارهای ابر نقاط نشان داده شده مشهود است، این جابجایی مربوط به کاهش مقادیر مدول برشی در صفحه LT نسبت به چوب سالم و یکپارچه است. بنابراین با توجه به شکل ۱ یادآوری می‌شود که لایه‌ها و چسب‌گذاری نمونه‌ها عمود بر سطح LT بوده است.

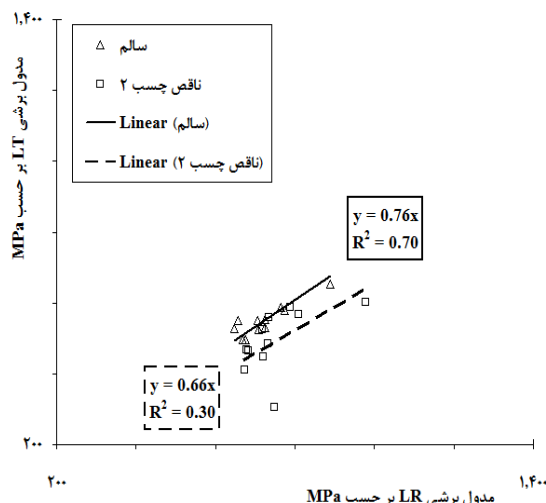
برای کسب اطمینان از این مشاهده، آزمون فاکتوریل برای بررسی اثر تغییرات ایجاد شده روی نمونه‌ها بر تغییرات هر یک از مدول‌های برشی LR و LT دانکن نیز کاهش مدول برشی LT و ثابت ماندن تقریبی مدول برشی LR را پس از لایه‌ای نمودن چوب‌ها تأیید نمود. برای تکمیل مشاهدات، توجه به ضرایب همبستگی برآورد شده نیز می‌تواند مهم باشد. البته همبستگی بین مدول‌های برشی LR و LT در نمونه‌های ناقص چسب ۲ و ۳ (شکل‌های شماره ۱۰ و ۱۱) به‌طور واضحی کاهش یافته است. این پدیده در نمونه‌های ناقص چسب ۱ اتفاق نیفتاده که



شکل ۸- مقایسه مدول‌های برشی LR و LT در نمونه‌های سالم اولیه و نمونه‌های لایه‌ای شده کامل چسب



شکل ۱۱- مقایسه مدول‌های برشی LR و LT در نمونه‌های سالم اولیه و نمونه‌های لایه‌ای شده ناقص چسب ۳



شکل ۱۰- مقایسه مدول‌های برشی LR و LT در نمونه‌های سالم اولیه و نمونه‌های لایه‌ای شده ناقص چسب ۲

تغییرات ضرایب همبستگی بین مدول‌های برشی سطوح موازی و عمود بر سطح چسب نیز قابلیت تشخیص معایب چسب‌گذاری را داراست، به شرطی که محل عیب چسب‌گذاری در نقاط کور ارتعاش (مثلاً گره ارتعاش خمشی) واقع نگردد.

با توجه به بحث فوق به‌طورکلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که:

- تشخیص نقص در فرآورده‌های لایه‌ای حاصل از گونه صنوبر، از روی تغییرات حاصل در مدول الاستیسیته طولی امکان‌پذیر نیست؛ حتی برای قسمت‌های کناری محصول نیز نمی‌توان معایب کوچک را تشخیص داد. معایب بزرگ بدون انجام آزمون به‌صورت چشمی نیز قابل تشخیص هستند و امکان شناسایی آن از روی مدول الاستیسیته، ولو اگر امکان‌پذیر باشد، نمی‌تواند یک توسعه تلقی شود.

- مقادیر مدول برشی حاصل از آزمون غیرمخرب ارتعاش آزاد خمشی در تیر دوسر آزاد نسبت به هرگونه نقص از خود حساسیت نشان داده و دستخوش تغییرات می‌گردند؛ بنابراین به نظر می‌رسد فاکتور مذکور برای عیب‌یابی در چسب‌گذاری این‌گونه محصولات مؤثرتر است. با این شرط که به نقاط گره و شکم و امکان همپوشانی آنها با معایب به‌عنوان نقاط کور ارتعاش توجه شود.

- پاسخ دینامیکی دریافت شده در هر یک از صفحات LT و LR نسبت به یکدیگر تفاوت داشتند (به دلیل موقعیت متفاوت مکان نقص‌های ایجاد شده در هر صفحه‌ی ذکر شده)، بنابراین

در فرآورده‌های لایه‌ای اگر عیوب چسب‌گذاری در لبه‌های فرآورده قرار گیرد دامنه فرکانس و به‌تبع آن مدول الاستیسیته دستخوش تغییرات می‌گردد. میزان این تغییرات، با افزایش ابعاد عیوب نیز رابطه مستقیم دارد (Alberktas and Vobolis, 2004)؛ اما حتی در نمونه‌های با سطح چسب‌گذاری این‌گونه نیز (ناقص چسب ۳) تغییرات حاصل در مقادیر مدول الاستیسیته حاصل از آزمون ارتعاش آزاد خمشی در صفحه‌ی LT نسبت به آزمون ارتعاش آزاد خمشی در صفحه‌ی LR در مقایسه با نمونه‌های اولیه نیز تغییرات محسوسی نشان نداد که می‌تواند به دلیل کوچک بودن نسبی عیب در تیر باشد. البته مشابه این پدیده در چوب‌آلات دارای ترک کوچک و بزرگ انتهایی توسط Roohnia و همکاران (۲۰۱۰) نیز مشاهده شده است.

برخلاف نتایج حاصل از مدول الاستیسیته نمونه‌های سالم و نمونه‌های لایه‌ای اتصال یافته با سطوح مختلف چسبندگی، مدول برشی نمونه‌های سالم و نمونه‌های لایه‌ای اتصال یافته با هر یک از سطوح چسب‌گذاری ذکر شده، نسبت به یکدیگر حساسیت‌هایی را نشان دادند. نمونه‌های لایه‌ای اتصال یافته، اعم از سطوح چسب‌گذاری کامل چسب و سطوح چسب‌گذاری ناقص چسب (کلیه سطوح)، موجب کاهش مدول برشی حاصل از آزمون ارتعاش آزاد خمشی در صفحه LT در مقایسه با نمونه‌های سالم (نمونه‌ی اولیه) شدند. درحالی‌که مقادیر این فاکتور در صفحه LR با تغییر واضحی روبه‌رو نشدند.



- Shielding Composite, 16th International Symposium on Nondestructive Testing and Evaluation of Wood, 208-215
- Kohantorabi, M., Ghaznavi, M., Roohnia, M., Tajdini, A. and Kazeminajafi, S., 2011. Effect of joint type on acoustical properties in jointed beams, *Journal of science and techniques in natural resources*, 6(4): 117-128
- Kuklik, P. and Doipjs, J., 1999. Nondestructive Evaluation of Structural Timber, In Proceedings of 5th World Conference Timber Engineering, Montreux, 1:692-699
- Laufenberg, T.L., 1982. Exposure Effect upon Performance of Laminated Veneer Lumber and Glulam Materials, *Forest Products Journal*, 32(5):42-48
- Mehdina, M., Tabarsa, T. and Sadeghian, M., 2011. Investigation the plywood manufacturing of paulownia and phenol formaldehyde adhesives, *Iranian Journal of wood and paper industries*, 2(1): 81-89
- Nzokou, P., Freed, J. and Kamden, D.P., 2006. Relationship between Nondestructive and Static Modulus of Elasticity of Commercial Wood Plastic Composites. *Hols als Roh, und Werkstoff*, 64:90-93
- Otadi, F., 2000. Investigation on growth rate and specifications of Paulownia wood, Mazandaran wood and paper company research center
- Renn, R.J. and Kim, J.B., 1999. Nondestructive Evaluation of the Stiffness and Strength of In Situ Timber Structural Members, In Proceedings of 1<sup>st</sup> RILEM Symposium on Timber Engineerings, Stockholm, 275-284
- Roohnia, M., Doosthoseini, K., Khademieslam, H., Gril, J. and Bremaud, I., 2006. A Study on Variations of Specific Modulus of Elasticity and Shear Moduli in Arizona Cypress Wood, using Vibration Method, *Journal of the Iranian Natural Res.*, 59(4): 921-933
- Roohnia, M., Yavari, A. and Tajdini, A., 2010. Elastic parameters of poplar wood with end-cracks, *Ann. For. Sci.* 67:409p1-6
- Roohnia, M., Hashemi-dizaji, S.F., Brancheriau, L., Tajdini, A. and Manouchehri, N., 2011. Effect of soaking process in water on the acoustical quality of wood for traditional musical instruments, *BioResources*, 6(2): 2055-2065
- Roohnia, M., Alavi-tabar, S.E., Hossein, M.A., Brancheriau, L. and Tajdini, A., 2011. Dynamic modulus of elasticity of drilled wooden beams, *Nondestructive Testing and Evaluation*. 26(2):141-153
- Tucker, B. and Bender, D.A., 2003. Continuous Ultrasonic Inspection of extruded wood-plastic composites, *Forest products J*, 53, 6:27-23
- Wang, S., Chen, J., Tsai, M., Lin, C. and Yang, T., 2008. Grading of Softwood Lumber Using Non-destructive Techniques, *Journal of Material Processing Technology*, 208:149-158
- Yan, Y.J. and Yam, L.H., 2002. Online detection of crack damage in composite plates using embedded piezoelectric actuators/sensors and wavelet analysis, *Compos. Struct.* 58, 29-38

به دلیل ارتوتروویک بودن چوب و همچنین رفتار دینامیکی از هر سو نایکسان آن، توصیه می شود اثر ایجاد نقص در موقعیت های متفاوت فراورده های لایه ای نیز مورد بررسی قرار گیرد.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد مؤلف اول است. بدین وسیله از مسئولان محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج که امکانات انجام تحقیقات این پایان نامه را تأمین نموده اند، تشکر و قدردانی می گردد.

### منابع مورد استفاده

- Alberktas, D. and Vobolis, J., 2004. Modeling and Study of Glued Panel, *Materials Science (medziagotyra)*, 10(4):370-373
- Arumugam, V., Sajith, S. and Joseph Stanley, S., 2011. Acoustic Emission Characterization of Failure Modes in GFRP Laminates Under Mode I Delamination, *J Nondestruct Eval*, 30:213-219
- ASTM, 2002, Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus and Poisson's Ratio of Refractory Materials by Impulse Excitation of Vibration, Designation C1548. 7p
- Baldassini, N., Piazza, M. and Zanon, P., 1996. In Situ Evaluation of Mechanical Properties of Timber Structural Elements, In Proceedings of 10<sup>th</sup> International Symposium on NDT of Wood, Lausanne, 396-378
- Bodig, J. and Jayne B., 1982. *Mechanics of wood and wood composites* (Persian translated by G. Ebrahimi), University of Tehran press, p686
- Brancheriau, L. and Bailleres, H., 2002, Natural vibration analysis of clear wooden beams: a theoretical review, *Wood Science and Technology*, Springer-Verlag Vol. 36: 347-365
- Bucur, V., 2006. *Nondestructive characterization and imaging of wood*, 2nd ed. Springer Series in Wood Science Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, 354 p
- Camille, A.I. and Ziad, K., 2005. Advanced wood engineering: glulam beams, *Construction and Building Materials* 19, 99-106
- 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, 2-4 May, 49-60
- 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
- Karimi, A.N., Talaei, A. and Tootoonchian, T., 2008. Atlas of world commercial woods, University of Tehran press, p134
- Keyang, Lu., Feng, Fu., Zhiyong, Cai and Liwei and Jin., 2009. Nondestructive Methods for Evaluating Mechanical Properties of Wood Electromagnetic

## The effect of glue coverage on laminates and the layering on shear and elastic moduli of poplar wood laminated sample using a vibration based nondestructive approach

E. Hajirafieha<sup>1</sup>, M. Roohnia<sup>2</sup>, A. Jahan latibari<sup>3</sup> and A. Tajdini<sup>4</sup>

1- M.Sc., Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

2\*-Corresponding author, Associate Professor, Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, Email: mehran.roohnia@kiaau.ac.ir

3- Professor, Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

4- Associate Professor, Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received: July, 2013 Accepted: Nov., 2014

### Abstract

The effect of layering and glue coverage rate in layered products made from poplar wood was studied using non-destructive free vibration test. 120 samples with nominal dimensions of 2.5×2.5×45 cm without any obvious deficiencies and defects were selected and free flexural vibration in free-free bars were performed on selected samples. Samples were longitudinal cut in three thinner tangential layers and jointed together again using Poly Vinyl Acetate glue. The specimens were divided into four groups according to glue coverage rates, which one group was fully glued and 3 groups were carrying some glue deficiencies in different rates. Manipulated samples were tested again in above mentioned test. Results indicated that shear moduli compare to modulus of elasticity is a more sensitive parameter to evaluate glue efficiencies in laminated beams but concerns remained due to blind points in flexural vibration nondestructive method.

**Keywords:** Flexural vibration, glue deficiency, longitudinal vibration, modulus of elasticity, Shear modulus.