

## برآورد غیرمخرب مقاومت خمشی و مقایسه با مقاومت خمشی استاتیک در چوب دو گونه کاج و راش

شهرزاد عمرانی فهجاورستانی<sup>۱</sup>، امیر لشگری<sup>۲\*</sup> و مهران روح‌نیا<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، پست الکترونیک: Amir.lashgari@kiauo.ac.ir

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

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۸

### چکیده

آزمون‌های غیرمخرب امروزه در زندگی انسان‌ها نقش حیاتی را ایفا می‌کنند. تکنولوژی ارزیابی غیرمخرب کاربرد وسیعی در صنایع، به‌ویژه در صنایع چوب و مواد مبتنی بر چوب دارد و موجب پیشرفت در درجه‌بندی مقاومت الوار، تعیین معایب مواد و مصالح چوبی، بازرسی الوار و اعضای سازه‌های چوبی شده است. هدف از انجام این تحقیق، برآورد مقاومت خمشی از روی آزمون‌های دینامیکی و مقایسه آن با نتایج آزمون‌های استاندارد استاتیکی دو گونه کاج جنگلی (*Pinus sylvestris*) و راش (*Fagus orientalis*) می‌باشد. نتایج حاصل از مقایسه ارزیابی مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی برآورد شده با روش غیرمخرب ارتعاش آزاد در تیر دوسر آزاد با نتایج مشابه حاصل از آزمون استاتیک همبستگی بسیار مطلوبی را با یکدیگر نشان دادند. به طوری که مطابق با محاسبات انجام شده با اعمال اصلاح کاهش ۱۸٪ برای گونه راش و ۱۱٪ برای گونه کاج می‌توان آزمون غیرمخرب ارتعاش را جایگزین آزمون استاندارد مخرب استاتیکی در برآورد فاکتورهای ذکر شده در این دو گونه چوبی نمود.

واژه‌های کلیدی: آزمون غیرمخرب، مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته، آزمون استاتیکی، آزمون دینامیکی.

### مقدمه

پارامترهایی است که اغلب در طراحی و ارزیابی اعضای ساختارهای چوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ross & Pellerin, 1991). الوار و چوب‌هایی که برای ساخت‌وساز مورد استفاده قرار می‌گیرند برای حفظ قابلیت اطمینان درجه‌بندی می‌شوند. در یک گروه مقاومت تنوع در خواص مقاومتی چوب نسبت به دیگر مصالح ساخت‌وساز بسیار بالاتر است. برآورد غیرمخرب این پارامتر با توجه به درجه‌بندی مکانیکی توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. توسعه یک روش برای مدیریت مؤثر تغییرات مقاومت در یک الوار از طریق مدول گسیختگی می‌باشد. این مقاومت می‌تواند به آسانی در شرایط صنعتی و با روش‌های مختلف

مقاومت خمشی یا مدول گسیختگی (MOR) یکی از مهمترین معیارهای انتخاب مواد در ساختمان‌سازی است (Bowyer et al., 1942). مدول الاستیک مهمترین و پرکاربردترین خاصیت مکانیکی ماده است که در برآورد بسیاری از خواص، مقاومت‌ها، پیش‌بینی تغییر شکل‌ها تحت تنش‌های مختلف عمودی و خمشی و حتی درجه‌بندی چوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدول الاستیسیته (MOE) برابر است با نسبت تنش بر کرنش ایجاد شده به دلیل تنش وارده بر جسم در حالتی که جسم در ناحیه الاستیک قرار گرفته باشد (Bodig & Jayne, 1982). مدول الاستیسیته یکی از

اساس استاندارد یا دستورالعمل مشخصی اجرا گردد (Roohnia et al., 2011). برآورد کردن مقاومت خمشی در چوب به دلیل آنکه نمی‌توان بیشتر پارامترهای مورد نیاز برای محاسبات مکانیکی را اندازه‌گیری نمود (به‌جز در آزمایش‌های استاتیک) دشوار می‌باشد (Bailleres, 2012). در روش‌های استاتیکی تعیین مقاومت مواد (روش استاندارد) برای اندازه‌گیری مقاومت مواد قطعه‌ای از آن جدا و تحت آزمون استاتیکی شکسته و خواص آن اندازه‌گیری می‌شود؛ و از آنجایی که درصد کمی از مواد مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. نتایج با روش آماری به‌کل تعمیم داده می‌شود. آزمون‌های غیرمخرب امروزه نقش حیاتی را در زندگی انسان‌ها ایفا می‌کنند. اطمینان از سلامت و کیفیت و درجه‌بندی مقاومت الوارهای چوبی، برآورد مقاومت الوار، تنوع مقاومت در درجه چوب یک‌گونه، ایمنی سازه‌های چوبی و ... را با استفاده از آزمون غیرمخرب مورد بررسی قرار می‌دهند. توسعه و استفاده از تکنولوژی‌های ارزیابی غیرمخرب موجب پیشرفت‌هایی در درجه‌بندی تنوعات مقاومت، شناسایی و تعیین نقص‌های مواد و مصالح مبتنی بر چوب و بازرسی اعضای چوب در ساختارها شده است (Dunder et al., 2012). در استفاده از چوب در انواع سازه‌های چوبی (مبل، خانه‌های چوبی و ...) مقاومت خمشی یکی از خواص بنیادی است و مقدار باری را که می‌توان بر یک تیر چوبی وارد کرد، مشخص می‌کند. به‌طور معمول به مقاومت خمشی چوب ماسیو و فرآورده‌های چوبی، در اصطلاح مدول گسیختگی گفته می‌شود. از طریق حداکثر بار (بارگذاری در حد شکست) در آزمون خمش استاتیک تعیین می‌شود (Ghofrani & Nori, 1393). انجام آزمون‌های غیرمخرب در ابتدا می‌تواند باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری پروژه شود. آزمون غیرمخرب را می‌توان ابزاری برای مدیریت کیفیت دانست. برای ردیابی عیوب و ناپیوستگی‌های مختلف در قطعات با استفاده از روش‌های غیرمخرب راه‌های گوناگونی مانند آزمون‌های رادیوگرافی، اولتراسونیک، موج تنش و ... وجود دارند. تقریباً تمام روش‌های آزمون‌های غیرمخرب که برای مواد و محصولات

تعیین گردد (Divos & Tanaka, 1997). آزمون غیرمخرب تکنیک تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی قطعه‌ای از ماده بدون تغییر در قابلیت استفاده نهایی از آن است که اطلاعات دقیقی در مورد خصوصیات، کارایی و یا شرایط مواد در هنگام مصرف تهیه می‌کند. استفاده از این تکنیک برای درجه‌بندی چوب‌آلات، بررسی چوب‌آلات زمان سرویس در سازه‌ها، با توجه به کمبود منابع چوبی و هزینه‌های ترمیم و بازسازی سازه‌ها در حال گسترش است (Divos & Tanaka, 2005). روش ارتعاشی یکی از مهمترین روش‌های آزمون غیرمخرب است که در سال‌های اخیر بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌است (Roohnia et al., 2006). البته برآورد غیرمخرب مقاومت خمشی برای جایگزین کردن این روش‌ها با روش‌های ماشینی مخرب حائز اهمیت می‌باشد. مدول الاستیسیته پارامتر اصلی برای برآورد مقاومت خمشی می‌باشد که از طریق ارتعاش طولی قابل ارزیابی است. پارامتر مهم دیگر میرایی حاصل از ارتعاش خمشی آزاد در تیر دو سر آزاد می‌باشد. پارامترهای مهم دیگر در تعیین مدول گسیختگی اندازه‌گیری ابعاد، وزن، چگالی و مهمترین پارامتر اثر مربوط به گره‌ها، نسبت قطر گره متمرکز (CKDR) نسبت جمعی قطر گره به پهنا در ۱۵ cm طول است. در مقالات زیادی به تعیین مدول الاستیسیته در خمش و ارتباط آن با مقاومت خمشی پرداخته شده است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که مهمترین پارامتر اندازه‌گیری مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته است که با روش‌های استاتیک و دینامیک نیز تعیین شده است. اهمیت برآورد غیرمخرب پارامتر مدول گسیختگی برای درجه‌بندی و تنظیمات ماشین‌های درجه‌بند مقاومت می‌باشد (Divos & Kiss, 2010). اهمیت آزمون‌های غیرمخرب به‌گونه‌ای است که در اغلب کدها و استانداردهای بین‌المللی معتبر موجود در زمینه تعمیر و نگهداری، ساخت تجهیزات و قطعات، اجرای یک یا چند روش آزمون غیرمخرب در روال بازرسی کنترل کیفیت به‌صورت الزام آورده شده است. از سویی یکی از مهمترین رویه‌ها در هر فرایندی رویه تضمین کیفیت است که باید بر

و وزن نمونه‌ها یک‌به‌یک اندازه‌گیری گردید. نمونه‌ها در حالت طولی و خمشی مطابق دستورالعمل استاندارد ASTM-c1548-02 و استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۵۴ مورد آزمون به ترتیب ارتعاش آزاد طولی و خمشی در تیر دو سر آزاد، بازرسی چشمی و آزمون‌های درجه‌بندی ماشینی قرار گرفته و پارامترهای دینامیک و درجه کیفی هر نمونه مطابق استاندارد تعیین و با کلاسهای مقاومتی استاندارد اروپایی EN338 مورد تطابق قرار گرفت.

اندازه‌گیری مربوط به اثر گره‌ها، نسبت قطر گره متمرکز (CKDR)، نسبت سطح کل گره (TKAR) و نسبت سطح حاشیه‌ای گره (MKAR) در نمونه‌ها مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۵۰ تعیین شدند. برای اندازه‌گیری پارامترهای فوق نیاز به اندازه‌گیری پهنای گره می‌باشد. برای اندازه‌گیری پهنای گره ۱۵ cm از طول الوار یا تخته که تعداد تجمعی گره در آن قسمت بیشتر است را در نظر می‌گیریم که نقطه بحرانی نامیده می‌شود. در نمونه‌های کوچک آزمایشگاهی پهنای همه گره‌ها اندازه‌گیری می‌شود. از دو طرف گره خطوط مماس بر گره موازی با محور طولی الوار یا تخته رسم کرده، متر یا خطکش را عمود بر محور طولی الوار یا تخته گرفته و پهنای گره اندازه‌گیری می‌گردد.

موقعیت یک گره نسبت به لبه، موجب می‌شود سطح رویی مساحت حاشیه‌ها تعیین شود. دو نوع نسبت سطح گره تعریف می‌شود.

نسبت کل سطح گره (TKAR): نسبتی از سطوح تصویر شده کلیه گره‌ها در مقطع عرضی که توسط کل سطح مقطع عرضی قطعه، قطع می‌شود. برای پیدا کردن نسبت کل سطح گره، ابتدا در مقطع چهار تراش حاشیه  $h/4$  در قسمت بالا، پائین، چپ و راست مشخص گردید. برای یک‌به‌یک گره‌ها خطوط مماسی از دو طرف گره، موازی با محور طولی الوار یا تخته رسم گردید و امتداد آن را به مقطع و از یک طرف خطی به حاشیه  $h/4$  مقابل رسانده از ضلع دیگر مماسی گره روی مقطع، مثلث پروجکشن رسم گردید. به علت اینکه عمق گره‌ها را نمی‌دانیم اگر یک گره به سطح دیگر الوار یا تخته هم کشیده شده باشد در آن قسمت هم مثلث رسم

مختلف استفاده می‌شوند، برای چوب و مواد مرکب چوبی نیز قابلیت کاربرد دارند. از این آزمون‌ها در دهه‌های اخیر برای بررسی خواص و ویژگی‌های ساختمان‌های چوبی، فراورده‌های چوبی، چوب ماسیو، گرده‌بینه و درخت سریا بسیار استفاده شده است. این روش‌ها علاوه بر دقت و قابل اعتماد بودن، سریع، آسان، ارزان و قابل کاربرد در ارزیابی‌های میدانی می‌باشند (Karimi et al., 1396). یکی از پارامترهای مهندسی که در تضمین کیفیت فراورده‌های چوبی و سلولزی مؤثر است، فاکتور مقاومت خمشی می‌باشد که برآورد مخرب همراه به شکست، منجر به از دست رفتن نمونه آزمون می‌گردد. یافتن روشی سریع و غیرمخرب برای برآورد مقادیر قابل قبول این پارامتر گامی مؤثر در فناوری بازرسی انطباق با استاندارد و تضمین کیفیت کالاهای وارداتی و احقاق حقوق مصرف‌کنندگان خواهد بود. برآورد غیرمخرب مقاومت خمشی از طریق ارتعاش روشی برای انجام بازرسی مقاومت چوب‌آلات ساختمانی توسط آزمون‌های غیرمخرب می‌باشد. مقایسه مقادیر مقاومت خمشی به دست آمده از روش دینامیک با مقادیر مقاومت خمشی اندازه‌گیری شده به روش استاتیک از اهداف این تحقیق است.

## مواد و روش‌ها

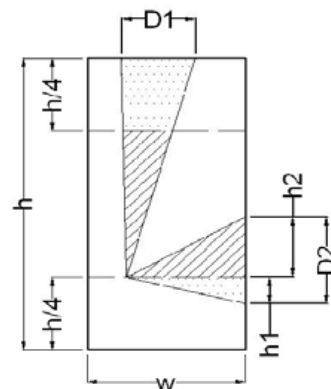
در این تحقیق چند الوار از دو گونه چوبی پهن‌برگ راش و سوزنی‌برگ کاج استفاده گردید و در ابعاد اسمی  $۲۰ \times ۴۰ \times ۳۶۰$  میلی‌متر و از هرگونه ۵۰ عدد بریده شد. نمونه‌ها دارای کج تاری ولی فاقد ترک یا گره مرده بودند. نمونه‌ها کدگذاری شدند و بعد در اتو با دمای  $۶۰^{\circ}\text{C}$  به مدت ۳ روز نگهداری تا کاملاً خشک شوند. نمونه‌ها را از اتو بیرون آورده و به منظور یکسان‌سازی دما و رطوبت و با توجه به ساختمان چوب نمونه‌ها به مدت دو هفته در اتاق کليماتيزه با شرایط  $۲۰ \pm ۱^{\circ}\text{C}$  درجه حرارت و  $65 \pm 5\%$  رطوبت نسبی نگهداری گردید (شروع کليماتيزاسيون از نقطه خشک است) تا هم‌کشیدگی و واکنشیدگی آنها متوقف و به رطوبت تعادل برسند. پس از گذشت مدت زمان مذکور ابعاد

آنها قبلاً به اثبات رسیده، مدول دینامیک برآورد و با استفاده از روابط همبستگی، مدول استاتیکی نیز به دست می آید. آزمون غیرمخرب ارتعاش طولی آزاد، آزمونی است که نتایج قابل قبولی دارد (Divos & Kiss, 2010) و (Roohnia et al., 2011). مطابق استاندارد ISO13910 نیز از این روش به عنوان یک روش فرعی می توان استفاده نمود.

آزمون ارتعاش طولی در تیر دو سر آزاد  
آزمون ارتعاش طولی برای برآورد مدول الاستیسیته دینامیک طولی، سرعت صوت و سایر خواص مکانیکی نمونه مطابق استاندارد ASTM-c1548-02 انجام شد. در این آزمون، گره مُد اول دقیقاً بر روی نصف طول نمونه (L/۵) منطبق است و محل قرارگیری نمونه روی تکیه گاه است. برای ضبط صدا میکروفن را که به کامپیوتر متصل است در یکسر طول نمونه قرار داده و در سر دیگر توسط چکش به نمونه ضربه وارد می کنیم (مانند شکل ۲). صدای ایجاد شده ضبط و به صورت فایل صوتی با میزان ۴۴۱۰۰ هرتز ذخیره می شود. ضبط صدا توسط نرم افزار Audacity سیستم ایرانی NDT-lab<sup>®</sup> انجام شد. با ورود اطلاعات ابعاد، وزن نمونه به سیستم نام برده محاسبات مربوط به خواص مکانیکی نمونه انجام شد.

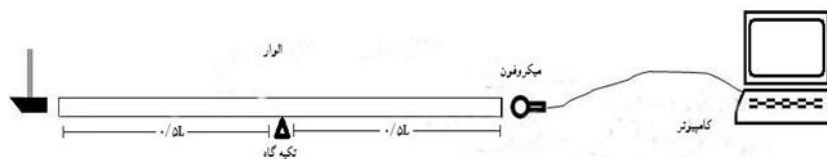
می گردد. مساحت دو مثلث، مساحت پروجکشن این گره می شود. در (شکل ۱) مجموعه مساحت هاشور و نقطه چین TKAR است.

نسبت حاشیه ای سطح گره (MKAR): نسبتی از سطح تصویر شده کلیه گره ها در مقطع عرضی که توسط سطوح کناری (حاشیه ای) قطعه چوب، قطع می شود. نسبت حاشیه ای سطح گره مثل TKAR محاسبه می شود اما با این تفاوت که مساحت مثلث های موجود در حاشیه مدنظر است. مجموع مساحت های نقطه چین در (شکل ۱) MKAR است.



شکل ۱- MKAR و TKAR

در استاندارد ملی ایران برای درجه بندی چوب و مراجع آن، نیاز به برآورد مدول الاستیسیته استاتیک می باشد. ولی نظر به مخرب بودن این آزمون و عدم امکان انجام بازرسی صد در صد، ابتدا توسط آزمون های غیرمخربی که صحت



شکل ۲- نمای شماتیک آزمون ارتعاش طولی آزاد

مطابق استاندارد ISO13910، V سرعت صوت در شرایط test برحسب متر بر ثانیه (m/s)

$$\rho = \frac{m}{l \times h \times w} \quad (۴)$$

m وزن برحسب کیلوگرم، l طول، w عرض (پهنا)، h ارتفاع برحسب متر است.

در آزمون ارتعاش طولی مد اول (بلندترین طول موج) اندازه گیری می شود. مدول الاستیسیته طولی دینامیکی از روابط زیر محاسبه گردید.

$$E_L = \rho v^2 \quad (۳)$$

$\rho$  دانسیته test برحسب کیلوگرم بر مترمکعب ( $\text{Kg/m}^3$ )

به دست می آید، در صورتی که مطابق استاندارد مدول الاستیسیته استاتیک به دست آورده شد.

$E_{static}$ : مدول الاستیسیته استاتیک برای رطوبت ۱۲٪

$$E_{static} = \frac{m}{l \times w \times h} (2LF)^2 0.87 \left( \frac{MC\%}{50} \right) + 0.6 \quad (6)$$

چکش به چوب ضربه وارد گردید. آنگاه توسط نرم افزار NDT-lab سیگنال های منتقل شده به کامپیوتر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مدهای ارتعاشی سیگنال دریافتی را رسم کرده و با انتخاب مد اول ارتعاش خمشی پارامترهای مدول الاستیسیته ارتعاش خمشی، این بار از طریق روابط برنولی (رابطه ۷) کاهش لگاریتمی و میرایی ارتعاش و ... محاسبه می گردد (Bodig & Jayne, 1982).

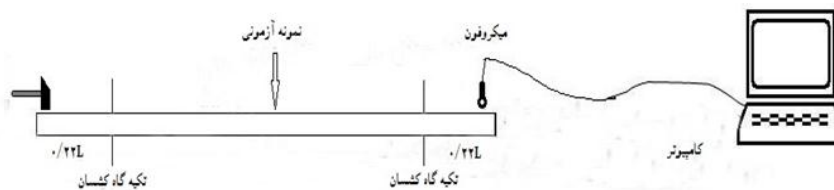
$$V = 2lf \quad (5)$$

1 طول نمونه بر حسب متر، f فرکانس مد اول ارتعاش طولی بر حسب هرتز است.

مدول الاستیسیته حاصل از ارتعاش طولی از رابطه زیر

آزمون ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد

در آزمون ارتعاش خمشی مانند (شکل ۳) مطابق استاندارد ASTM-c1548-02 گره های مد ارتعاش در ۰/۲۲L در دو طرف نمونه آزمونی مشخص شده و نمونه از این نقاط روی تکیه گاه کشسان قرار داده شد. سپس میکروفون که به کامپیوتر وصل است در یک انتهای سطح رویی نمونه قرار داده شد و در سطح رویی انتهای دیگر با



شکل ۳- نمای شماتیک آزمون ارتعاش خمشی آزاد

$$\left( \frac{E}{\rho} \right)_n = \left[ \frac{4\pi^2 l^2 f_n^2}{\alpha \cdot m_n^4} \right] \quad (7)$$

برنولی استفاده شده است که از رابطه زیر به دست می آید.

$$\alpha = \frac{I}{Al^2} \quad (8)$$

I ممان اینرسی، A سطح مقطع و l طول نمونه است.

f فرکانس طبیعی n امین مد ارتعاش، m با اندیس شماره مد، n امین پاسخ رابطه  $\cos(m) \cdot \cosh(m) = 1$  یا به عبارتی

پاسخ رابطه  $m_n = \frac{2n+1}{2} \pi$  می باشد. مثلاً:  $m_1 = 4/73$

و  $m_2 = 7/8532$  و  $m_3 = 10/9956$  و ...

### ظرفیت میرایی

کاهش لگاریتمی یا ظرفیت میرایی، سرعت میرا شدن ارتعاش در (مد اول ارتعاش خمشی) از (رابطه ۹) محاسبه

$\alpha$  پارامتری است که برای جلوگیری از پیچیدگی در رابطه

$X_{n+1}$  ارتفاع یا شدت اولیه ارتعاش در حال کاهش، شدت  $n$  امین نوسان پس از نوسان متناظر با  $X_1$  می باشد.

$$\text{Tan} \delta = \frac{\lambda}{\pi} \quad (10)$$

برآورد مقاومت خمشی دینامیک

با در اختیار داشتن مدول الاستیسیته استاتیک برآورد شده از آزمون دینامیکی (رابطه ۶)، ظرفیت میرایی و اندازه های گره زنده در تیر چوبی مقاومت خمشی از روابط زیر قابل برآورد می باشد (Divos & Kiss, 2010).

می شود. میرایی نشان دهنده اصطکاک بین ذرات داخلی چوب است که به علت حرکت نوسانی ذرات یا ارتعاش هوا که ناچیز است، می باشد. نیروی عمودی بین مولکولها، نیروی اصطکاک را ایجاد می کند. اگر در داخل چوب اصطکاک زیاد نباشد صدا دیرتر میرا می شود و وقتی چوب وارد تنش و خمش و فشار می شود، ذرات روی هم می لغزند و نیروهای برهم کنش جدا شده و می شکنند. دمپینگ یکی از عواملی است که خمش و شکست ماده به آن بستگی دارد و بوسیله (رابطه ۱۰) محاسبه گردید ( Bodig & Jayne, 1982).

$$\lambda = \frac{1}{n} \ln \left| \frac{x_1}{x_{n+1}} \right| \quad (9)$$

$$\text{MOR}_{\text{soft}} = 4.99e^{0.15E_{\text{static}}} - 0.5778 \lambda - 15.31\text{TKAR} - 10.64\text{MKAR} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$\text{MOR}_{\text{hard}} = -2.95 + 3.69E_{\text{static}} - 0.5778 \lambda - 15.31\text{TKAR} - 10.64\text{MKAR} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

می باشد. این نرم افزار محاسبات را با سرعت و دقت بالا انجام داده و ریز اطلاعات نمونه که شامل مدل الاستیسیته، مقاومت به شکست، پارامترهای مربوط به گره CKDR-MKAR-TKAR و بسیاری از پارامترهای دیگر را به صورت فایل txt مانند شکل (۴) ارائه می دهد.

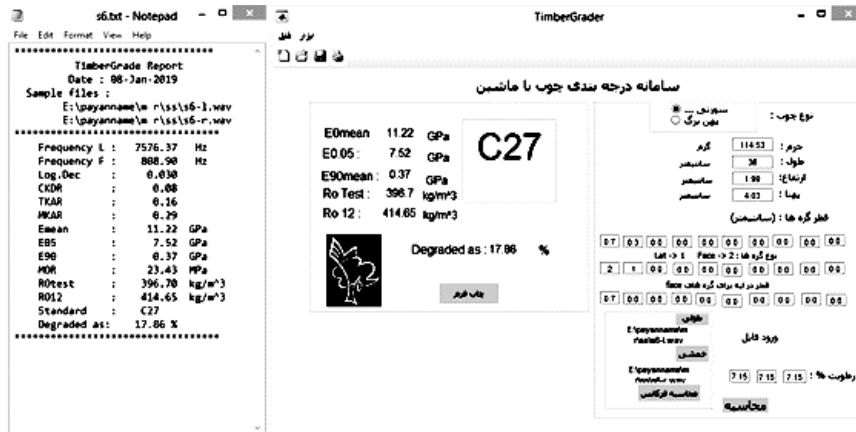
پس از اتمام آزمون های غیرمخرب دینامیکی، نمونه های کلیما تیزه شده با ابعاد اسمی ۲۰×۴۰×۳۶۰ میلی متر تحت آزمون خمش استاتیک سه نقطه ای در دستگاه آزمون خمش استاتیک مجهز به سیستم جمع آوری کامپیوتری اطلاعات، با طول دهانه ۲۸۰ میلی متر و سرعت بارگذاری ۴ میلی متر بر دقیقه قرار گرفته و مدول الاستیسیته استاتیک و با شکست آنها، مقاومت خمشی نمونه ها دوباره اندازه گیری گردید. آزمون خمش و اندازه گیری مدول الاستیسیته استاتیک نمونه ها مطابق آئین نامه EN310 استاندارد ASTM انجام شد. در ادامه همبستگی بین مقادیر حاصل شده از آزمون های دینامیک

$E_{\text{static}}$  مدول الاستیسیته استاتیک دینامیکی برحسب گیگاپاسکال، کاهش لگاریتمی و نسبت مساحت پروجکشن گره ها که در قبل تعریف شده (MKAR و TKAR) بدون واحد می باشند. مقاومت خمشی به دست آمده در روابط فوق برحسب مگاپاسکال برآورد می شود.

انجام محاسبات فوق به صورت دستی علاوه بر اینکه زمان بر است احتمال خطا در محاسبات نیز وجود دارد. از این رو برای تجمیع آزمون های ارتعاش طولی و خمشی و محاسبات استاندارد درجه بندی چوب از روی کلاس های مقاومتی، از دستگاه دانش بنیان درجه بند چوب D-NDT ساخت دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج استفاده گردید (Kohantorabi et al., 1396). برای این منظور اطلاعاتی از نمونه مورد آزمون وارد نرم افزار دستگاه گردید؛ که شامل انتخاب نوع چوب (سوزنی برگ یا پهن برگ)، جرم برحسب گرم و ابعاد برحسب سانتی متر، قطر و محل قرارگیری گره ها در نمونه، صدای ارتعاش طولی و خمشی و رطوبت

آزمون آماری T-test انجام شد. برای انجام آزمون‌های آماری از نرم‌افزار SPSS VER.17 و برای رسم نمودار و خط رگرسیون از نرم‌افزار MS.Excel استفاده گردید.

ماشین درجه بند) با آزمون استاتیک استاندارد توسط آزمون همبستگی پیرسون و برازش مدل رگرسیونی بررسی شده است. مقایسه میانگین‌های هر یک از ویژگی‌های مکانیکی حاصل از دو روش آزمونی توسط

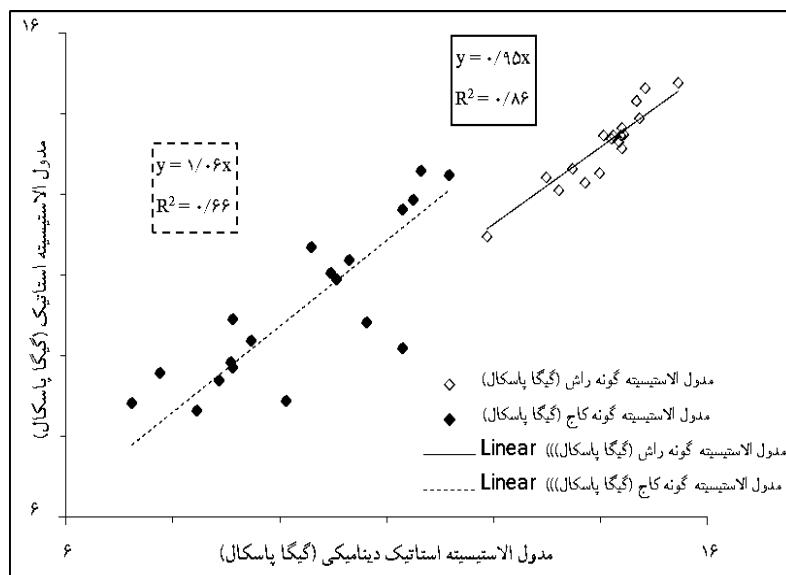


شکل ۴- گزارش دستگاه D-NDT

از مقایسه مدول الاستیسیته استاتیک با مدول الاستیسیته ارتعاش خمشی در دو جهت پهنا و ضخامت در هر دو گونه همبستگی بسیار خوبی به دست آمد.

نتایج

از مقایسه مدول الاستیسیته استاتیک با مدول الاستیسیته ارتعاش طولی در نمونه‌های راش و کاج همبستگی مطلوب و

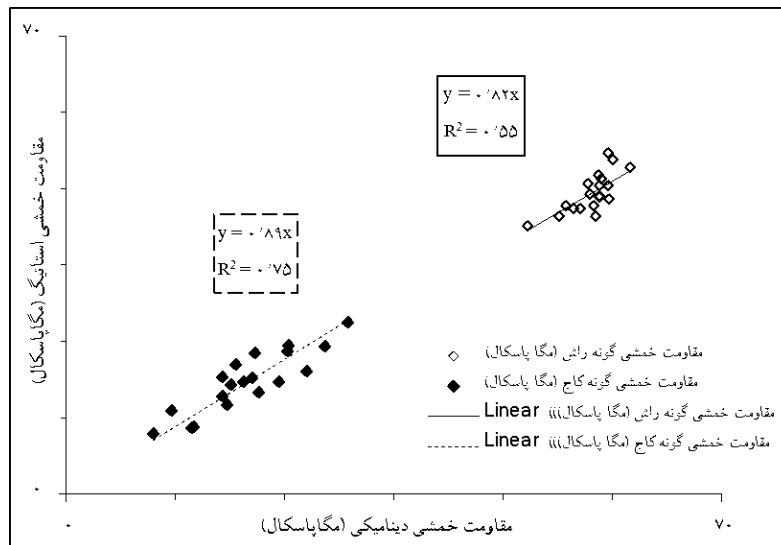


شکل ۵- مقایسه مدول الاستیسیته استاتیک با مدول الاستیسیته استاتیک دینامیکی

این دو مدول در نمونه‌های کاج همبستگی مطلوبی نشان می‌دهد.

از مقایسه مقاومت خمشی استاتیک و دینامیک در رطوبت زمان آزمون در دو گونه کاج و راش همبستگی مطلوب به دست آمده است. نتایج همبستگی در نمونه‌های کاج بهتر از راش بود.

مدول الاستیسیته استاتیک دینامیکی طولی برای رطوبت استاندارد ۱۲٪ اصلاح شده است. طبق (شکل ۵) از مقایسه مدول الاستیسیته استاتیک با مدول الاستیسیته استاتیک دینامیکی برای نمونه‌های راش  $R^2 = 0.86$  همبستگی بسیار خوبی به دست آمده است. در نمونه‌های کاج  $R^2$  پائین تری نسبت به نمونه‌های راش دیده می‌شود، با این حال از مقایسه



شکل ۶- مقایسه مقاومت خمشی اصلاح شده استاتیک با مقاومت خمشی دینامیک

ارتعاش در گونه کاج از همبستگی بالاتری برخوردار بودند که دلیل این امر راست تار بودن و همگن تر بودن گونه کاج جنگلی می‌تواند باشد، البته محل قرارگیری معایب در هریک از گونه‌های چوبی نیز می‌تواند دلیل به وجود آمدن این نتیجه باشد. ضمن اینکه در تحقیقات پیشین بر روی نمونه‌های بدون عیب این دو گونه نتیجه فوق حاصل شده است (Hashemi tabalvandi, 2010).

نتایج حاصل از مدول الاستیسیته دینامیک در هر دو روش غیرمخرب با نتایج حاصل از آزمون استاتیک از همبستگی مطلوبی برخوردار بودند که این امر با تحقیقات Divos و Tanaka (۲۰۰۵) مطابقت داشت.

مقاومت خمشی ارزیابی شده توسط آزمون غیرمخرب چه با اصلاح رطوبتی چه بدون اصلاح رطوبتی همبستگی مطلوبی با نتایج حاصل از آزمون خمش استاتیک داشت که

مقادیر مقاومت استاتیک برای رطوبت کلیما تیزه اصلاح شدند. با توجه به (شکل ۶) در مقایسه مقاومت خمشی استاتیک و دینامیک در دو گونه راش و کاج به ترتیب همبستگی مطلوب و بسیار مطلوب دیده شده است. با تصحیح رطوبت مقادیر مقاومت خمشی بهبود یافته است.

مقدار مدول گسیختگی در آزمون خمش استاتیک برای گونه کاج ۱۱٪ و گونه راش ۱۸٪ کوچک تر از دستگاه درجه بند بود. از این رو با توجه به اینکه آزمون خمش استاتیک مرجع تلقی می‌شود، اگر از نتایج مقاومت خمشی ماشین درجه بند استفاده بشود باید این تفاوت در کنار تمام ضرایب ایمنی لحاظ گردد.

## بحث

در آزمون غیرمخرب نتایج مدول الاستیسیته و میرایی



- BioResources, 7(3): 3306-3316.
- Divos, F. and Tanaka, T., 1997. Lumber Strength Estimation. *Holzforschung*, 51: 467-471.
- Divos, F. and Tanaka, T., 2005. Relation between Static and Dynamic MOE of Wood. *Acta Silve. Lign. Hung.*, 1: 105-110 .
- Divos, F. and Sismandy Kiss, F., 2010. Strength Grading of Structural Lumber The Future of Quality Control for Wood & Wood Products', 4-7th May 2010, Edinburgh The Final Conference of COST Action E53.
- EN338 .2003. Structural timber-Strength Glasses.
- Ghofrani, M. and Noori, H., 1393. Physical and Mechanical Properties of Wood. Tehran University Press, Iran Printing & Publishing Company, 181p.
- Hashemi tabalvandi, S.M., 2010. Young and Shear moduli, in static and dynamic standard approach. Msc. Thesis, in Islamic Azad University Karaj Branch, 124pp
- ISIRI9854.2007. Structural timber-Machine strength grading-Basic principles.
- ISIRI9850. 2007. Structural timber- Visual strength grading-Basic principles.
- ISO13910. 2007. Structural timber-Characteristic values of strength-graded timber-Sampling, full-size testing and evaluation.
- Karimi, A., Yari, Z., Vaziri, V. and Koshesh, H., 2017. Non-destructive Testing in Wood Industry, Seventh Agricultural and Sustainable Natural Resources Conference, Tehran, Center for Achievement of Sustainable Development- Higher Education Institute of Mehr Arvand.
- Kohantorabi, M., Roohnia, M., Almasian, S. and Zarinmehr, J., 2017. Increase Timber Productivity with Obligation to Machine grading Woodwork. Tenth International Furniture World Trade Conference, Designing, Art decoration and related industries. Tehran, International Broadcasting Center, 12 Nov. 2017, 68-75.
- Ross, RJ. and Pellerin, RF., 1991. Non-destructive testing for assessing wood members in structures- a review. General Technical Report FPL-GTR-70. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Product Laboratory. 40 p.
- Roohnia, M., Doosthoseini, K., Khademieslam, H., Gril, J. and Bremaud, I., 2006. A Study on Variations of Specific Modulus of Elasticity and Shear Modulus in Arizona Cypress Wood, using Vibration Method, *Journal of the Iranian Natural Res.*, 59(4): 921-933
- Roohnia, M., Alavi-tabar, S.E., Hossein, M.A. and Brancheriau, L., 2011. Dynamic modulus of elasticity of drilled wooden beams, *Non-destructive Testing and Evaluation*, 26(2):141-153

این نتیجه حکایت از آن دارد که بدون صدمه به نمونه امکان درجه بندی نه تنها این فاکتور کیفی بلکه سایر فاکتورهای کیفی دیگر که نیاز به اندازه گیری های مخرب دارند وجود داشته و ماشین درجه بند استاتیک دینامیکی می تواند نتایج کاملاً مورد اطمینانی در زمینه فاکتورهای الزامی کیفی در اندازه گیری مقاومت چوب ارائه بدهد.

نتیجه حاصل از مقایسه ارزیابی مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی برآورد شده استاتیک دینامیکی (آزمون غیرمخرب ارتعاش) با نتایج مشابه حاصل از آزمون استاتیکی، مطابق با محاسبات انجام شده با اعمال اصلاح کاهش ۱۸٪ برای گونه راش و ۱۱٪ برای گونه کاج نشان می دهد که می توان آزمون غیرمخرب ارتعاش را جایگزین آزمون استاندارد مخرب استاتیکی در برآورد فاکتورهای ذکر شده در این دو گونه چوبی نمود.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد مؤلف اول می باشد. بدین وسیله از مسئولان محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج و شرکت دانش بنیان آزمونگران غیرمخرب دارکوب به دلیل در اختیار قرار دادن دستگاه درجه بندی استاندارد چوب (D-NDT) و آزمایشگاه مکانیک چوب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران برای استفاده از دستگاه آزمون خمش استاتیک که امکانات انجام تحقیق این پایان نامه را تأمین نموده اند، تشکر و قدردانی می گردد.

### منابع مورد استفاده

- Baillere, B., 2012. Strength grading of pine. *BioResources*, 7(1): 1264-1282.
- Bodig, J. and Jayne, B., 1982. Mechanics of wood and wood composites (Persian translated by G. Ebrahimi), University of Tehran press, 686 p.
- Bowye, J.L., Shmulsky, R. and Hygreen, J.G., 1942. Forest Products and Wood Science an Introduction (Persian translated V.R. Safdari, S.M. J. Sepidehdam, S.KH. Hoseynihashemi), Islamic Azad University of Karaj Press .805 p.
- Dundar, E., 2012. Wood thermal conductivity.

## Nondestructive evaluation of flexural strength and comparing to static bending strength in Pine and Beech Wood

Sh. Omrani Ghahjaverestani<sup>1</sup>, A. Lashgari<sup>2\*</sup> and M. Roohnia<sup>3</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: Amir.lashgari@kiaau.ac.ir

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

Received: Jan., 2019

Accepted: April, 2019

### Abstract

Non-destructive tests play a vital role in human life. Non-destructive evaluation technology is widely used in industries, especially wood based industries and wood based products which has led to advances in strength grading lumber, determination of the disadvantages of wooden materials, inspection of timber and wooden structures. The purpose of this research was to estimate the dynamic flexural strength and compare with the results of static standard tests in two pine (*Pinus sylvestris*) and Beech (*Fagus orientalis*) wood. The results of the comparison of the the estimated modulus of rupture by a non-destructive free vibration method in a free supported beam with similar results from the static test showed a very good correlation. So, according to calculations done by applying a safety coefficient of 18% for beech species and 11% for pine species, a non-destructive vibration test can substituted the static destructive standard test for estimating the factors mentioned in these two species.

**Keywords:** Non-destructive test, modulus of rupture, modulus of elasticity, static standard tests, dynamic tests.