نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۴ شماره ۲، صفحه ۱۶۶-۱۵۷، (۱۳۹۸)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2019.125019.1519
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0913.1398.34.157.67.2.1576.1588

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

شهرزاد عمرانی قهجاورستانی[۱]، امیر لشگری[۲*] و مهران روح‌نیا[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، ایران
۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، ایران، پست الکترونیک: Amir.lashgari@kiau.ac.ir
۳- استاد، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد 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 مدول‌الاستیسیته و مدول‌گسیختگی 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. به‌طوری‌که مطابق با محاسبات انجام شده با اعمال اصلاح کاهشی۱۸٪ 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، مدول‌گسیختگی، مدول‌الاستیسیته، آزمون استاتیکی، آزمون دینامیکی.

مقدمه

مقاومت خمشی یا مدول‌گسیختگی (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. مدول‌الاستیسیته (MOE) برابر است با نسبت تنش بر کرنش ایجاد شده به‌دلیل تنش وارده بر جسم در حالتی که جسم در ناحیه الاستیک قرار گرفته باشد (Bodig & Jayne, 1982). مدول‌الاستیسیته یکی از 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 مدول‌گسیختگی می‌باشد. این مقاومت می‌تواند به‌آسانی در شرایط صنعتی و با روش‌های مختلف

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. مدول‌الاستیسیته 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 مدول‌گسیختگی اندازه‌گیری ابعاد، وزن، چگالی و مهمترین پارامتر اثر مربوط به گره‌ها، نسبت قطر گره متمرکز (CKDR) نسبت تجمعی قطر گره به پهنا در ۱۵ cm طول است. در مقالات زیادی به تعیین مدول‌الاستیسیته در خمش و ارتباط آن با مقاومت خمشی پرداخته شده است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که مهمترین پارامتر اندازه‌گیری مقاومت خمشی، مدول‌الاستیسیته است که با روش‌های استاتیک و دینامیک نیز تعیین شده است. اهمیت برآورد غیرمخرب پارامتر مدول‌گسیختگی 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 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 ازآنجایی‌که 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 فراورده‌های چوبی، در اصطلاح مدول‌گسیختگی 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

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 سرپا بسیار استفاده شده است. این روش‌ها علاوه بر دقت و قابل‌اعتماد 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 آزمونی 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 به‌دست‌آمده 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 ۳۶۰×۴۰×۲۰ 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°C به مدت ۳ روز نگهداری تا کاملاً خشک شوند. نمونه‌ها را از اتو بیرون آورده و به‌منظور یکسان‌سازی دما و رطوبت و با توجه به ساختمان چوب نمونه‌ها به مدت دو هفته در اتاق کلیماتیزه با شرایط ۲۰±۱°C درجه حرارت و ۶۵±۵٪ رطوبت نسبی نگهداری گردید (شروع کلیماتیزاسیون از نقطه خشک است) تا هم‌کشیدگی و واکشیدگی آنها متوقف و به رطوبت تعادل برسند. پس از گذشت مدت زمان مذکور ابعاد 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 به‌ترتیب 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.

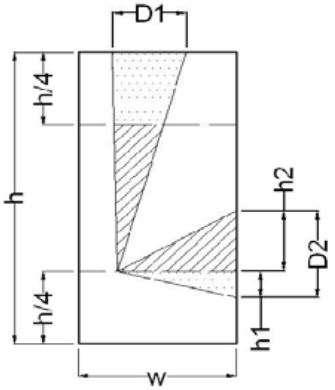
اندازه‌گیری مربوط به اثر گره‌ها، نسبت قطر گره متمرکز (CKDR)، نسبت سطح کل گره (TKAR) و نسبت سطح حاشیه‌ای گره (MKAR) در نمونه‌ها مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۵۰ تعیین شدند. برای اندازه‌گیری پارامترهای فوق نیاز به اندازه‌گیری پهنای گره می‌باشد. برای اندازه‌گیری پهنای گره ۱۵cm از طول الوار یا تخته 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/۴ 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 ازیک‌طرف 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

می‌گردد. مساحت دو مثلث، مساحت پروجکشن این گره می‌شود. در (شکل ۱) مجموعه مساحت هاشور و نقطه‌چین TKAR است.

نسبت حاشیه‌ای سطح گره (MKAR): نسبتی از سطح تصویر شده کلیه گره‌ها در مقطع عرضی که توسط سطوح کناری (حاشیه‌ای) قطعه چوب، قطع می‌شود. نسبت حاشیه‌ای سطح گره مثل TKAR محاسبه می‌شود اما با این تفاوت که مساحت مثلث‌های موجود در حاشیه مدنظر است. مجموع مساحت‌های نقطه‌چین در (شکل ۱) MKAR است.

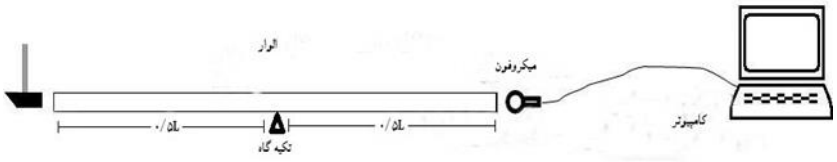


شکل ۱- TKAR و MKAR

در استاندارد ملی ایران برای درجه‌بندی چوب و مراجع آن، نیاز به برآورد مدول‌الاستیسیته استاتیک می‌باشد. ولی نظر به مخرب بودن این آزمون و عدم امکان انجام بازرسی صد در صد، ابتدا توسط آزمون‌های غیرمخربی که صحت آنها قبلاً به اثبات رسیده، مدول دینامیک برآورد و با استفاده از روابط همبستگی، مدول استاتیکی نیز به‌دست می‌آید. 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 به‌عنوان یک روش فرعی می‌توان استفاده نمود.

آزمون ارتعاش طولی در تیر دو سر آزاد

آزمون ارتعاش طولی برای برآورد مدول‌الاستیسیته 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 (۰/۵ L) منطبق است و محل قرارگیری نمونه روی تکیه‌گاه 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 می‌کنیم (مانند شکل ۲). صدای ایجاد شده ضبط و به‌صورت فایل صوتی با میزان ۴۴۱۰۰ هرتز ذخیره می‌شود. ضبط صدا توسط نرم‌افزار Audacity سیستم ایرانی NDT-lab® انجام شد. با ورود اطلاعات ابعاد، وزن نمونه به سیستم نام‌برده محاسبات مربوط به خواص مکانیکی نمونه انجام شد.



شکل ۲- نمای شماتیک آزمون ارتعاش طولی آزاد

در آزمون ارتعاش طولی مد اول (بلندترین طول‌موج) اندازه‌گیری می‌شود. مدول‌الاستیسیته طولی دینامیکی از روابط زیر محاسبه گردید.

$$E_L = \rho v^2 \quad (۳)$$

ρ دانسیته test برحسب کیلوگرم بر مترمکعب (Kg/m^3)

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.

$$V = 2lf \quad (۵)$$

l طول نمونه برحسب متر، f فرکانس مد اول ارتعاش طولی برحسب هرتز است.

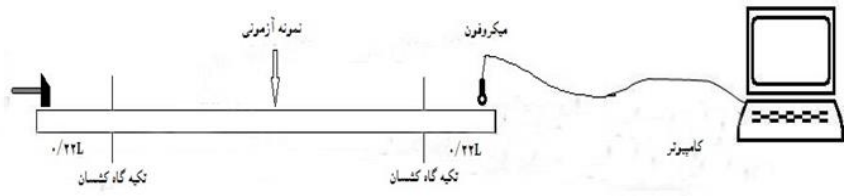
مدول‌الاستیسیته حاصل از ارتعاش طولی از رابطه زیر به‌دست می‌آید، درصورتی‌که مطابق استاندارد مدول‌الاستیسیته استاتیک به‌دست آورده شد.

$$E_{static} = \frac{m}{l \times w \times h}\ (2LF)^2\ 0.87\left(\frac{MC\%}{50}\right) + 0.6 \quad (۶)$$

E_{static}: مدول‌الاستیسیته استاتیک برای رطوبت ۱۲٪

آزمون ارتعاش خمشی در تیر دو سر آزاد

در آزمون ارتعاش خمشی مانند (شکل ۳) مطابق استاندارد ASTM-c1548-02 گره‌های مد ارتعاش در ۰/۲۲L در دو طرف نمونه آزمونی مشخص شده و نمونه از این نقاط روی تکیه‌گاه 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 چکش به چوب ضربه وارد گردید. آنگاه توسط نرم‌افزار NDT-lab سیگنال‌های منتقل شده به کامپیوتر مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و مدهای ارتعاشی سیگنال دریافتی را رسم کرده و با انتخاب مد اول ارتعاش خمشی پارامترهای مدول‌الاستیسیته ارتعاش خمشی، این بار از طریق روابط برنولی (رابطه ۷) کاهش لگاریتمی و میرایی ارتعاش و ... محاسبه می‌گردد (Bodig & Jayne, 1982).



شکل ۳- نمای شماتیک آزمون ارتعاش خمشی آزاد

$$\left(\frac{E}{\rho}\right)_n = \left[\frac{4\pi^2 l^2 f_n^2}{\alpha \cdot m_n^4}\right] \quad (۷)$$

f فرکانس طبیعی n امین مد ارتعاش، m با اندیس شماره مد، n امین پاسخ رابطه ۱=cos (m).cosh(m) یا به‌عبارتی پاسخ رابطه $m_n = \frac{2n+1}{2}\pi$ می‌باشد. مثلاً: ۴/۷۳= m_1 و ۷/۸۵۳۲= m_2 و ۱۰/۹۹۵۶= m_3 و ...

α پارامتری است که برای جلوگیری از پیچیدگی در رابطه برنولی استفاده شده است که از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\alpha = \frac{I}{Al^2} \quad (۸)$$

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

ظرفیت میرایی

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

می‌شـود. میرایی نشـان‌دهنده اصـطکاک بین ذرات داخلی چوب اسـت که به‌علت حرکت نوسانی ذرات یا ارتعاش هوا که ناچیز اسـت، می‌باشـد. نیروی عمودی بین مولکول‌ها، نیروی اصـطکاک را ایجـاد می‌کنـد. اگر در داخـل چوب اصـطکاک زیاد نباشد صدا دیرتر میرا می‌شود و وقتی چوب وارد تنش و خمش و فشـار می‌شود، ذرات روی‌هم می‌لغزند و نیروهای برهم‌کنش جدا شده و می‌شکنند. دمپینگ یکی از عواملی است که خمش و شکست ماده به آن بستگی دارد و بوسـیله (رابطه ۱۰) محاسـبه گردید (Bodig & Jayne, 1982).

$$\lambda = \frac{1}{n}\ln\left|\frac{x_1}{x_{n+1}}\right| \qquad (۹)$$

X_1 ارتفـاع یا شـدت اولیه ارتعاش در حال کاهش، X_{n+1} شدت n امین نوسان پس از نوسان متناظر با X_1 می‌باشد.

$$\mathrm{Tan}\delta = \frac{\lambda}{\pi} \qquad (۱۰)$$

برآورد مقاومت خمشی دینامیک

با در اختیار داشـتن مدول‌الاسـتیسـیته استاتیک برآورد شـده از آزمون دینـامیکی (رابطـه ۶)، ظرفیـت میرایی و اندازه‌های گره زنده در تیر چوبی مقاومت خمشـی از روابط زیر قابل برآورد می‌باشد (Divos & Kiss, 2010).

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

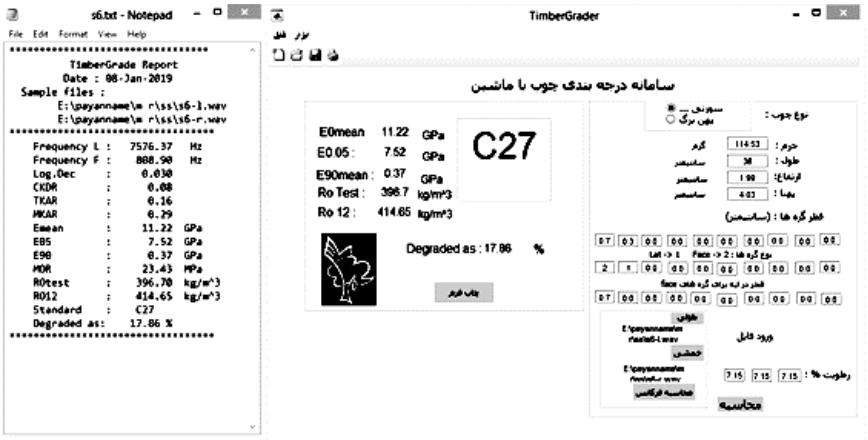
$$MOR_{hard} = -2.95 + 3.69E_{static} - 0.5778\,\lambda - 15.31TKAR - 10.64MKAR \qquad \text{رابطه (۱۲)}$$

E_{static} مدول‌الاسـتیسـیته اسـتاتیک دینامیکی برحسـب گیگاپاسـکال، کاهش لگاریتمی و نسبت مساحت پروجکشن گره‌ها که در قبل تعریف شـده (TKAR و MKAR) بدون واحد می‌باشـند. مقاومت خمشی به‌دست‌آمده در روابط فوق برحسب مگاپاسکال برآورد می‌شود.

انجام محاسـبات فوق به‌صـورت دسـتی علاوه بر اینکه زمان‌بر اسـت احتمال خطا در محاسـبات نیز وجود دارد. ازاین‌رو برای تجمیع آزمون‌های ارتعاش طولی و خمشی و محاسـبات استاندارد درجه‌بندی چوب از روی کلاس‌های مقاومتی، از دسـتگاه دانش‌بنیان درجه بند چوب D-NDT سـاخت دانشـگاه آزاد اسـلامی واحد کرج اسـتفاده گردید (Kohantorabi *et al.*, 1396). برای این منظور اطلاعاتی از نمونه مورد آزمون وارد نرم‌افزار دستگاه گردید؛ که شامل انتخاب نوع چوب (سوزنی‌برگ یا پهن‌برگ)، جرم برحسب گرم و ابعاد برحسـب سـانتی‌متر، قطر و محل قرارگیری گره‌ها در نمونه، صـدای ارتعاش طولی و خمشی و رطوبت می‌باشـد. این نرم‌افزار محاسـبات را با سرعت و دقت بالا انجام داده و ریز اطلاعات نمونه که شامل مدل الاستیسیته، مقاومت به شـکسـت، پارامترهای مربوط به گره CKDR–MKAR–TKAR و بسـیـاری از پـارامترهـای دیگر را به‌صورت فایل txt مانند شکل (۴) ارائه می‌دهد.

پـس از اتمـام آزمون هـای غیرمخرب دینـامیکی، نمونه‌های کلیماتیزه شـده با ابعاد اسـمی ۳۶۰×۴۰×۲۰ میلی‌متر تحت آزمون خمش اسـتاتیک سـه نقطه‌ای در دستگاه آزمون خمش استاتیک مجهز به سیستم جمع‌آوری کـامپیوتری اطلاعـات، بـا طول دهـانـه ۲۸۰ میلی‌متر و سـرعـت بـارگـذاری ۴ میلی‌متر بر دقیقه قرار گرفته و مدول‌الاسـتیسـیته اسـتاتیک و با شـکسـت آنها، مقاومت خمشی نمونه‌ها دوباره اندازه‌گیری گردید. آزمون خمش و اندازه‌گیری مدول‌الاسـتیسـیته اسـتاتیک نمونه‌ها مطابق آئین‌نامه EN310 اسـتاندارد ASTM انجام شد. در ادامه همبستگی بین مقادیر حاصل شده از آزمون‌های دینامیک

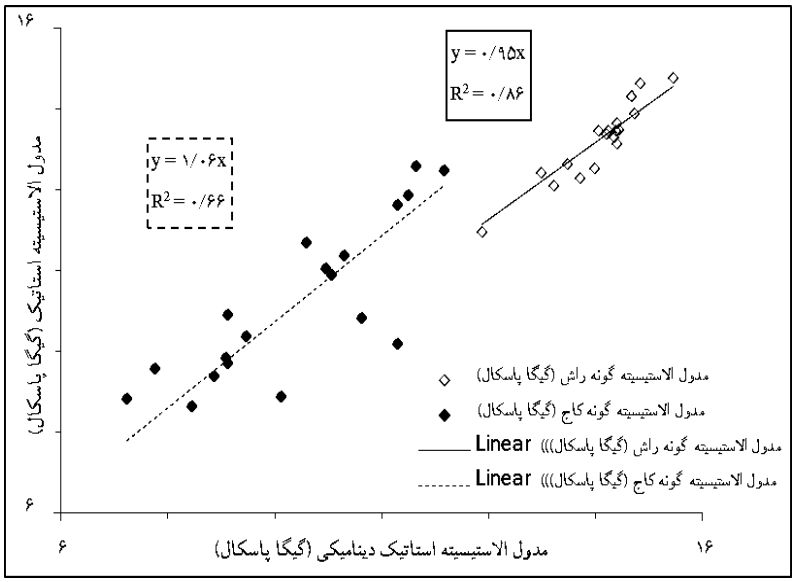
(ماشین درجه بند) با آزمون استاتیک استاندارد توسط آزمون همبستگی پیرسون و برازش مدل رگرسیونی بررسی شده است. مقایسه میانگین‌های هریک از ویژگی‌های مکانیکی حاصل از دو روش آزمونی توسط آزمون آماری T-test انجام شد. برای انجام آزمون‌های آماری از نرم‌افزار SPSS VER.17 و برای رسم نمودار و خط رگرسیون از نرم‌افزار MS.Excel استفاده گردید.



شکل ۴- گزارش دستگاه D-NDT

نتایج

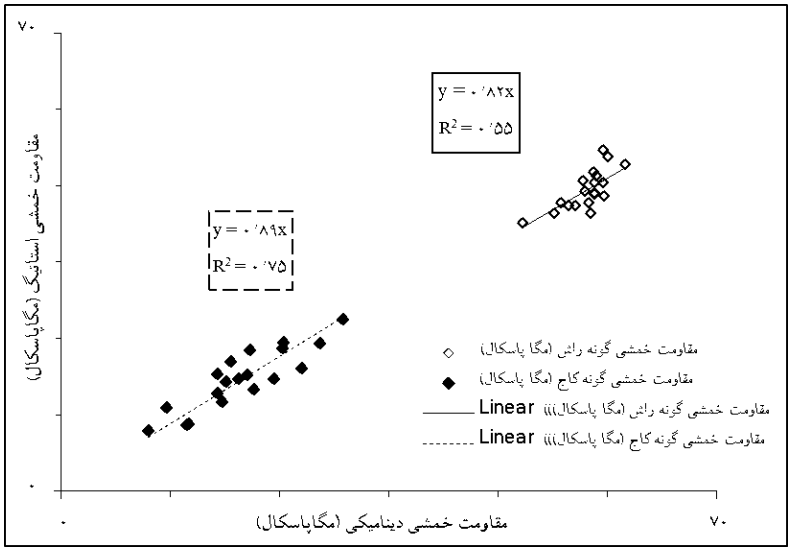
از مقایسه مدول‌الاستیسیته استاتیک با مدول‌الاستیسیته ارتعاش طولی در نمونه‌های راش و کاج همبستگی مطلوب و از مقایسه مدول‌الاستیسیته استاتیک با مدول‌الاستیسیته ارتعاش خمشی در دو جهت پهنا و ضخامت در هر دو گونه همبستگی بسیار خوبی به‌دست آمد.



شکل ۵- مقایسه مدول‌الاستیسیته استاتیک با مدول‌الاستیسیته استاتیک دینامیکی

مدول‌الاستیسیته استاتیک دینامیکی طولی برای رطوبت استاندارد ۱۲٪ اصلاح شده است. طبق (شکل ۵) از مقایسه مدول‌الاستیسیته استاتیک با مدول‌الاستیسیته استاتیک دینامیکی برای نمونه‌های راش R^2 =0.86 همبستگی بسیار خوبی به‌دست‌آمده است. در نمونه‌های کاج R^2 پائین‌تری نسبت به نمونه‌های راش دیده می‌شود، بااین‌حال از مقایسه 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 به‌دست‌آمده است. نتایج همبستگی در نمونه‌های کاج بهتر از راش بود.



شکل ۶- مقایسه مقاومت خمشی اصلاح‌شده استاتیک با مقاومت خمشی دینامیک

مقادیر مقاومت استاتیک برای رطوبت کلیماتیزه اصلاح شدند. با توجه به (شکل ۶) در مقایسه مقاومت خمشی استاتیک و دینامیک در دو گونه راش و کاج به‌ترتیب همبستگی مطلوب و بسیار مطلوب دیده‌شده است. با تصحیح رطوبت مقادیر مقاومت خمشی بهبودیافته است.

مقدار مدول‌گسیختگی در آزمون خمش استاتیک برای گونه کاج ۱۱٪ و گونه راش ۱۸٪ کوچک‌تر از دستگاه درجه‌بند بود. ازاین‌رو با توجه به اینکه آزمون خمش استاتیک مرجع تلقی می‌شود، اگر از نتایج مقاومت خمشی ماشین درجه‌بند استفاده بشود باید این تفاوت در کنار تمام ضرایب ایمنی لحاظ گردد.

بحث

در آزمون غیرمخرب نتایج مدول‌الاستیسیته و میرایی ارتعاش در گونه کاج از همبستگی بالاتری برخوردار بودند که دلیل این امر راست تار بودن و همگن‌تر 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 مدول‌الاستیسیته 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 ارزیابی‌شده توسط آزمون غیرمخرب چه با اصلاح رطوبتی چه بدون اصلاح رطوبتی همبستگی مطلوبی با نتایج حاصل از آزمون خمش استاتیک داشت که

این نتیجه حکایت از آن دارد که بدون صدمه به نمونه امکان درجه‌بندی نه‌تنها این فاکتور کیفی بلکه سایر فاکتورهای کیفی دیگر که نیاز به اندازه‌گیری‌های مخرب دارند وجود داشته و ماشین درجه‌بند استاتیک دینامیکی می‌تواند نتایج کاملاً مورد اطمینانی در زمینه فاکتورهای الزامی کیفی در اندازه‌گیری مقاومت چوب ارائه بدهد.

نتیجه حاصل از مقایسه ارزیابی مدول‌الاستیسیته و مدول‌گسیختگی برآورد شده استاتیک دینامیکی (آزمون غیرمخرب ارتعاش) با نتایج مشابه حاصل از آزمون استاتیکی، مطابق با محاسبات انجام شده با اعمال اصلاح کاهشی ۱۸٪ برای گونه راش و ۱۱٪ برای گونه کاج نشان می‌دهد که می‌توان آزمون غیرمخرب ارتعاش را جایگزین آزمون استاندارد مخرب استاتیکی در برآورد فاکتورهای ذکر شده در این دو گونه چوبی نمود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد مؤلف اول می‌باشد. بدین‌وسیله از مسئولان محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج و شرکت دانش‌بنیان آزمونگران غیرمخرب دارکوب به دلیل در اختیار قرار دادن دستگاه درجه‌بندی 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 پایان‌نامه را تأمین نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

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. 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

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

Sh. Omrani Ghahjaverestani[1], A. Lashgari[2] and M. Roohnia[3]

1-M.Sc., Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
2*- Corresponding author, Associate Prof., Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, Email: Amir.lashgari@kiau.ac.ir
3-Profr., 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 d 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.