

## ارزیابی تأثیر پوسیدگی بر مدول‌های الاستیسیته دینامیکی و الاستیکی چوب گونه راش با استفاده از روش غیرمخرب موج تنش

\* محراب مدهوشی<sup>۱</sup>، سید محسن هاشمی<sup>۲</sup> و مهدی بهزاد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف  
تاریخ دریافت: ۸۵/۱۰/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۹/۲۴

### چکیده

در این مطالعه تغییرات مدول‌های الاستیسیته دینامیکی، استاتیکی و نیز تغییرات کاهش وزن در برون چوب گونه راش پوسیده در مقایسه با مقادیر آنها در چوب سالم (نمونه شاهد) بررسی گردید. پوسیدگی چوب در خاک غیراستریل و تحت شرایط کنترل شده مطابق با پیش استاندارد اروپایی EN ۸۰۷ انجام و درصد کاهش فاکتورهای ذکر شده در مراحل مختلف پیشرفت پوسیدگی تعیین شد. مدول‌های الاستیسیته خمشی دینامیکی ( $MOE_d$ ) و طولی دینامیکی ( $E_{d,l}$ ) نمونه‌ها با استفاده از روش غیرمخرب موج تنش اندازه‌گیری و سپس نتایج با مقدار مدول الاستیسیته استاتیکی ( $MOE_s$ ) خمش سه نقطه‌ای مقایسه گردید. نتایج حاصله نشان داد، فاکتورهای اندازه‌گیری شده در برابر پوسیدگی حساسیت متفاوتی دارند، به‌طور نسبی پارامتر کاهش وزن کمترین تغییرات و کاهش  $MOE_s$  بیشترین تغییرات را دارا هستند. همچنین، ارتباط قوی بین  $MOE_s$  و  $MOE_d$  در کل نمونه‌های سالم (شاهد) و پوسیده ( $r^2=0/97$ ) و نیز  $MOE_d$  با کاهش وزن ( $r^2=0/77$ ) مشاهده گردید.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی غیرمخرب، روش موج تنش، پوسیدگی، مدول الاستیسیته دینامیکی، کاهش وزن

### مقدمه

به‌منظور بررسی خصوصیات و وضعیت کلی ماده بدون تخریب در ساختار کلی آنها، روش ارزیابی غیرمخرب (NDE)<sup>۱</sup> ویژگی‌های مواد، به‌وسیله تکنیک‌های متعددی که امروزه توسعه یافته‌اند، انجام می‌شود. حفظ و عدم تخریب ماده و نیز ارزیابی سریع‌تر از تعریف‌های عمده این روش می‌باشد. هر چند روش‌های متداول کاربردی جهت تشخیص پوسیدگی

چوب زیاد است، اما بیشتر مخرب بوده و نسبت به مراحل اولیه پوسیدگی خیلی حساس نیستند. از این‌رو روش ارزیابی غیرمخرب می‌تواند روشی قابل اطمینان جهت بررسی حملات قارچی به الوارها بخصوص در مراحل اولیه پوسیدگی باشد (دی گروت و همکاران، ۱۹۹۸؛ امرسون و همکاران، ۲۰۰۲؛ مچک و همکاران، ۲۰۰۱؛ ویل ککر، ۱۹۸۸؛ زی یونگ و همکاران، ۲۰۰۰). با توجه به تأثیر پوسیدگی در ساختار طبیعی، مقاومت‌های مکانیکی و مدول الاستیسیته ( $MOE$ )<sup>۲</sup> آن، این امکان

\*- مسئول مکاتبه: [mmadhoushi@hotmail.com](mailto:mmadhoushi@hotmail.com)

1- Non-Destructive Evaluation

2- Modulus of Elasticity

پوسیده برای راش ( $R^2 = 0.96$ ) و برای کاج ( $R^2 = 0.97$ ) می‌باشد. کاهش وزن نمونه‌های پوسیده نیز از پارامترهای دیگر اندازه‌گیری شده در مطالعه آنها بود که نتایج، نشان‌دهنده کاهش مدول‌های الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی در نمونه‌های پوسیده متناسب با کاهش جرم بود. آن‌ها تأکید کردند که تعیین مقدار کاهش این مدول‌ها در مقایسه با کاهش جرم از حساسیت بیشتری برخوردار بوده، همچنین آزمون MOE دینامیکی روش مناسب و حساسی برای ارزیابی پوسیدگی چوب می‌باشد.

در این ارتباط نتایج اندازه‌گیری سرعت انتقال موج تنش در دو جهت عمود و موازی الیاف چوب (در شمع‌های معادن ساخته شده از داگلاس فر) نشان داد که جهت عرضی چوب برای نشان دادن پوسیدگی مناسب‌تر و حساسیت بیشتری نسبت به جهت طولی آن دارد (ویل ککز، ۱۹۸۸). در همین راستا هینز و همکاران (۱۹۹۶) تأکید می‌کنند که مقدار MOE تعیین شده به روش اولتراسونیک، رزونانس خمشی و خمش استاتیکی، به ترتیب مقدار بالاتری دارند و روش رزونانس خمشی ابزار مفیدتری نسبت به رزونانس طولی، برای تعیین مدول الاستیسیته چوب می‌باشد.

اطلاعات ما در حال حاضر در رابطه با استفاده از آزمون‌های غیرمخرب در ارزیابی چوب‌های سالم و پوسیده گونه‌های ایران بسیار محدود است، هر چند بررسی‌هایی در این خصوص بعمل آمده است (رحیمی خوب، ۲۰۰۳؛ نجاری، ۲۰۰۴). در این مطالعه، که برای اولین بار در نوع خود در داخل کشور به لحاظ روش‌های اتخاذ شده انجام پذیرفت، ابتدا تغییرات وزن به عنوان یک معیار معمول در ارزیابی پوسیدگی و نیز تغییرات مدول‌های الاستیسیته دینامیکی ( $MOE_d$  و  $E_{d1}$ ) اندازه‌گیری شد. سپس میزان همبستگی آنها با مدول الاستیسیته خمشی استاتیکی ( $MOE_s$ ) مورد مطالعه قرار گرفت. درک ارتباط بین کاهش وزن و کاهش مدول الاستیسیته می‌تواند به پیش‌بینی پوسیدگی و میزان پیشرفت آن کمک نماید و مدول الاستیسیته دینامیکی خود

وجود دارد که با تعیین MOE نمونه پوسیده شده، تغییرات مقاومتی و ساختاری چوب ناشی از پوسیدگی را، ارزیابی کرد. روش‌های موجود برای تعیین MOE به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند: آزمون‌های استاتیکی (مخرب) و آزمون‌های دینامیکی (غیرمخرب). روش‌های دینامیکی غیرمخرب بر مبنای ایجاد تنش بر روی نمونه‌ها، بدون شکست آنها اجرا می‌شوند.

پس از دهه ۱۹۴۰ روش‌های جدید آزمون‌های غیرمخرب نظیر موج تنش<sup>۱</sup> و فرا صوت<sup>۲</sup> تکوین شد و اطلاعات جدید در خصوص همبستگی زیاد ( $R^2 = 0.96$ ) بین مدول‌های الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی کسب گردید. از اواسط دهه ۱۹۶۵ اطلاعات تکمیلی در این خصوص توسط پلرین (۱۹۶۵) ارائه و بعدها نیز بوسیله هینز و همکاران (۱۹۹۶) ادامه یافت. در همین راستا، از اواخر دهه ۱۹۶۰ فعالیت‌های تحقیقاتی در بسیاری از آزمایشگاه‌های جهان در استفاده از این روش‌ها، برای ارزیابی عوامل مخرب و بیماری‌های چوب از جمله پوسیدگی، حمله حشرات و موریه‌ها و موجودات دریایی توسعه یافت (راس و پلرین، ۱۹۹۴) و اثرات عوامل مختلف نظیر بافت چوب بر این مسئله بررسی گردید (گرهارد، ۱۹۸۱).

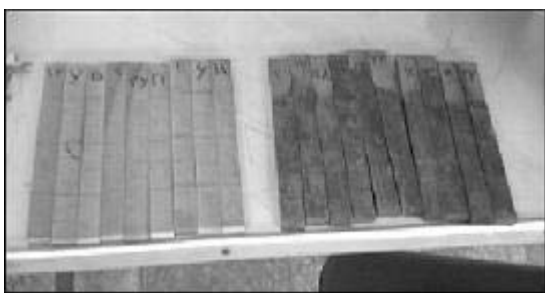
چادنونف و همکاران (۱۹۸۴) مدول الاستیسیته دینامیکی به دست آمده به روش غیرمخرب موج تنش طولی را با مدول الاستیسیته استاتیکی به دست آمده از آزمون فشار موازی الیاف در چوب‌های سالم و پوسیده مقایسه نمودند و ضریب همبستگی مدول الاستیسیته استاتیکی فشاری و مدول الاستیسیته دینامیکی را برای پهن برگان افرا و بلوط، ۰/۸۴ تا ۰/۹۷ و از آن برای کشش موازی الیاف را ۰/۸۵ تا ۰/۹۵ گزارش نمودند. به همین ترتیب مطالعه‌های بعدی انجام شده توسط مچک و همکاران (۲۰۰۱) حاکی از وجود ارتباط قوی بین مدول الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی در چوب‌های سالم و

آماده‌سازی نمونه‌ها برای آزمون پوسیدگی و توزین وزن: در این تحقیق، برای پوسیده شدن نمونه‌های چوبی از روش ارائه شده در آزمون II (خاک غیراستریل) پیش استاندارد اروپایی ENV ۸۰۷ استفاده گردید [۹] تا پوسیدگی نرم بر روی چوب آلات ایجاد گردد. به منظور مشاهده تغییرات بوجود آمده بر روی چوب‌ها حدود یک سوم از طول آنها (۶/۵ سانتی‌متر) در بیرون از خاک قرار داده شد (شکل ۱). پوسیدگی چوب با تعیین کاهش جرم و نیز کاهش مدول‌های الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی در مراحل مختلف پوسیدگی چوب و در هفته‌های ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ مجاورت با خاک ارزیابی گردید. پس از هر دوره سپری شده، یک دسته ۱۰ تایی از نمونه‌ها به‌طور مجزا و تصادفی از خاک خارج و از میسلیم‌های قارچی و خاک تمیز می‌گردیدند. قبل از اندازه‌گیری مقاومتی (آزمون‌های دینامیکی و استاتیکی)، نمونه‌های چوبی به مدت ۲۴ ساعت در آن خشک و کاهش جرم آن‌ها با روش وزن سنجی با دقت ۰/۰۱ گرم تعیین می‌شد. برای جلوگیری از تغییرات رطوبت، نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی به آزمایشگاه ارتعاشات دانشگاه صنعتی شریف (برای آزمون دینامیکی) و پس از آن به آزمایشگاه مکانیک دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (برای آزمون استاتیکی) منتقل گردیدند.

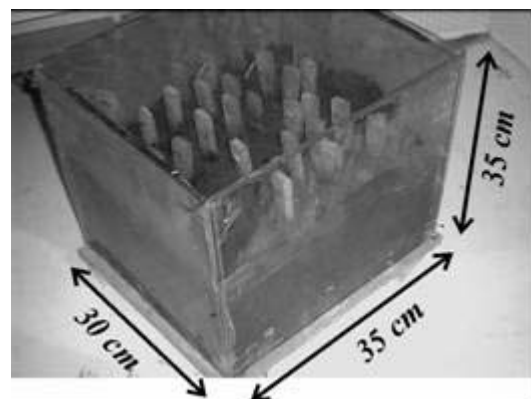
می‌تواند عاملی باشد که در این پیش‌بینی استفاده می‌گردد. نتایج به‌صورت بررسی حساسیت عوامل مختلف اندازه‌گیری در دوره‌های مختلف پوسیدگی و نیز تعیین همبستگی: (۱) بین MOEs با MOEd در نمونه‌های سالم و پوسیده و (۲) بین MOEs با Ed,1 در نمونه‌های سالم و پوسیده و (۳) بین درصد کاهش وزن، MOEd و MOEs در دوره‌های مختلف مجاورت با خاک ارائه می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

**تهیه نمونه‌های چوبی:** نمونه‌های چوب از قسمت چوب برون گونه راش جنگل آموزشی-پژوهشی شصت‌کلاته وابسته به دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان از ارتفاع برابر سینه ۷۰ نمونه به ابعاد  $(\pm 0.1) 200 \times 19 \times 9$  میلی‌متر عاری از هرگونه عیب، گره و انحراف الیاف به‌صورت کاملاً شعاعی (سطح پهن کاملاً شعاعی) تهیه و برش داده شدند. از بین آنها، ۱۰ نمونه سالم به‌عنوان نمونه شاهد انتخاب و ۴۰ نمونه در معرض حمله قارچ‌های پوسیدگی مطابق شرایط ارائه شده در پیش استاندارد اروپایی ENV ۸۰۷ قرار گرفتند. همچنین ۲۰ نمونه نیز برای تعیین رطوبت خاک و کنترل رطوبت نمونه‌ها در طی آزمون پوسیدگی استفاده گردید.



(ب)



(الف)

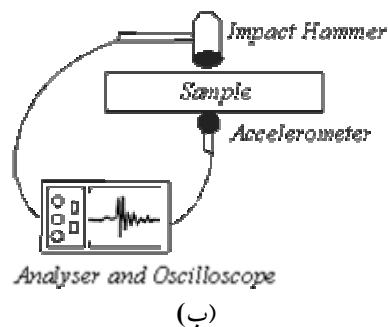
شکل ۱- (الف) نمایی از ظرف شیشه‌ای مورد استفاده و نمونه‌های چوبی قرار گرفته در خاک و (ب) نمونه‌های پوسیده شده و شاهد.

آزمون دینامیکی، بدون تبادل رطوبتی با محیط به دانشکده منابع طبیعی کرج منتقل و به منظور تعیین مدول الاستیسیته استاتیکی (MOEs) با استفاده از دستگاه آزمایش مکانیکی INSTRON تحت خمش استاتیکی سه نقطه‌ای قرار گرفتند.

### نتایج و بحث

به منظور تحلیل آماری از نرم افزار SPSS استفاده شد. به این منظور داده‌ها ابتدا با استفاده از تجزیه واریانس یک طرفه بررسی شده، در نهایت مقایسه و گروه‌بندی به کمک آزمون دانکن انجام گرفت. سپس مقدار همبستگی بین پارامترهای فوق بررسی و معادلات رگرسیونی آنها استخراج گردید (مصدیقی، ۱۹۹۸).

بررسی اثر زمان مجاورت نمونه‌ها با خاک: در جدول ۱ مقادیر و گروه‌بندی درصد کاهش هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده در چهار دوره زمانی مجاورت نمونه‌ها با خاک (عامل پوسیدگی) ارائه شده است. آنالیز آماری نشان می‌دهد، بین میانگین درصد کاهش هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد. همچنین با افزایش زمان مجاورت نمونه‌ها با خاک، میزان درصد کاهش هر یک از این پارامترها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. معنی‌دار بودن درصد کاهش هر یک از این پارامترها در دوره‌های مختلف زمانی خود دلالت بر امکان مناسب ارزیابی پوسیدگی آن‌ها توسط اندازه‌گیری‌های دینامیکی و استاتیکی در هر دوره دارد.



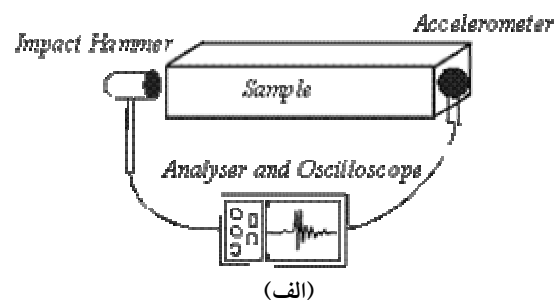
آزمون غیر مخرب موج تنش: برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته دینامیکی چوب نیاز به اندازه‌گیری فرکانس طبیعی آن است که از طریق ایجاد ارتعاش در دو جهت طولی و خمشی و با استفاده از نواختن ضربه چکش الکترومغناطیس امکان‌پذیر گردید (شکل ۲). فرکانس طبیعی با ایجاد سیگنال (تنش) ورودی در جهت موازی با الیاف نمونه‌ها (جهت طولی) با نواختن ضربه چکش در انتهای نمونه (شکل ۲ الف) و در جهت عمود بر الیاف (جهت عرضی) با نواختن چکش در وسط نمونه (شکل ۲ ب) و سپس دریافت سیگنال خروجی توسط شتاب سنج پیزو الکتریک، تعبیه شده در طرف دیگر نمونه امکان‌پذیر گردید. سیگنالهای دریافتی در تجزیه‌گر دیگری تحلیل و فرکانس طبیعی ارتعاش طولی و خمشی تعیین گردید (پوستی، ۲۰۰۱). سپس با استفاده از معادلات هرمان (۱۹۶۶)، به صورت زیر، مدول الاستیسیته ارتعاش محوری و خمشی مربوطه محاسبه گردید:

$$E_{d,L} = \frac{4L^2 f^2 D}{n^2} \quad (\text{برای ارتعاش طولی})$$

$$MOE_d = \frac{4\pi^2 L^4 f_n^2 D}{m_n^4 K^2} \quad (\text{برای ارتعاش خمشی})$$

که در آنها  $m =$  مقدار ثابت شرایط مرزی (در این تحقیق مقدار آن  $\frac{1}{3}$ )،  $K =$  شعاع ژوراسیون برحسب مترمربع و قابل محاسبه براساس معادله  $K^2 = \frac{h^2}{12}$ ،  $f =$  فرکانس طبیعی برحسب هرتز،  $L =$  طول به متر،  $D =$  دانسیته برحسب کیلو گرم برمتر مکعب و  $n =$  مود ارتعاشی (در این تحقیق  $n=1$ ) است.

آزمون مقاومت به خمش استاتیکی: نمونه‌ها پس از انجام



شکل ۲- سیستم مورد استفاده برای ایجاد تنش در الف) حالت طولی و ب) حالت خمشی

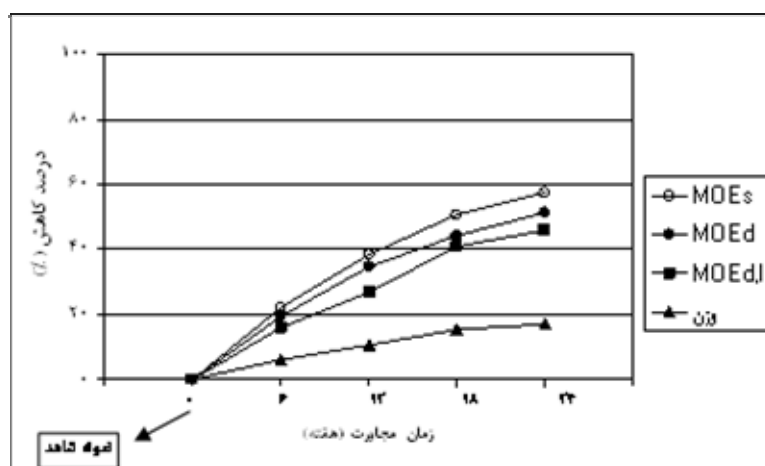
جدول ۱- تغییرات پارامترهای ارزیابی پوسیدگی در هر دوره زمانی و گروه بندی آنها.

مقدار کاهش (درصد)				زمان مجاورت (هفته)
MOE <sub>s</sub>	E <sub>d,l</sub>	MOE <sub>d</sub>	وزن	
۲۲/۲۳ <sup>a</sup>	۱۵/۸۵ <sup>a</sup>	۱۹/۳۴ <sup>a</sup>	۶/۲۵ <sup>a</sup>	۶
۳۸/۴۰ <sup>b</sup>	۲۶/۹۸ <sup>a</sup>	۳۴/۸۲ <sup>b</sup>	۱۰/۴۷ <sup>b</sup>	۱۲
۵۰/۸۵ <sup>bc</sup>	۴۰/۸۱ <sup>b</sup>	۴۴/۲۷ <sup>bc</sup>	۱۵/۱۹ <sup>c</sup>	۱۸
۵۷/۴۰ <sup>c</sup>	۴۶/۰۸ <sup>b</sup>	۵۱/۴۴ <sup>c</sup>	۱۷/۱۵ <sup>c</sup>	۲۴

استاتیکی: نمودارهای شکل ۴ ارتباط MOE<sub>s</sub> با MOE<sub>d</sub> را برای هر یک از گروه نمونه‌های سالم و پوسیده با ضریب همبستگی  $r=0.93$  نشان می‌دهد. این نتایج که مطابق با نتایج تحقیقات مچک و همکاران، (۲۰۰۱) و (۲۰۰۴)، پرسترپر (۱۹۹۴)، پلرین (۱۹۶۵)، می‌باشد، حاکی از ارتباط نزدیک این دو پارامتر با هم دارد، به طوری که می‌توان بیان نمود امکان محاسبه MOE<sub>s</sub> از روی مقدار مدول دینامیکی در مراحل مختلف پوسیدگی امکان پذیر است (جدول ۲). معادلات رگرسیون این جدول امکان برآورد MOE<sub>s</sub> چوب پوسیده را توسط ارزیابی غیرمخرب مهیا می‌سازد. این موضوع در کاربردهای عملی ارزیابی پوسیدگی حائز اهمیت است.

اما، پارامترهای اندازه‌گیری شده در چوب گونه راش در برابر پوسیدگی قارچی حساسیت متفاوتی دارند. به طوری که پارامتر کاهش وزن کمترین حساسیت و کاهش MOE<sub>s</sub> بیشترین حساسیت را در ارزیابی‌های پوسیدگی در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد (شکل ۳). در این ارتباط پارامترهای MOE<sub>d</sub> و E<sub>d,l</sub> به ترتیب در مرتبه دوم و سوم قرار دارند. بنابراین برای ارزیابی پوسیدگی به خصوص در مراحل اولیه پوسیدگی که کاهش وزن محسوس نیست، از اندازه‌گیری MOE<sub>s</sub> که با تخریب نمونه همراه است یا اندازه‌گیری MOE<sub>d</sub> که بدون تخریب می‌باشد و اختلاف معنی‌داری با آن ندارد، می‌توان استفاده کرد.

رابطه بین مدول‌های الاستیسته خمشی دینامیکی و



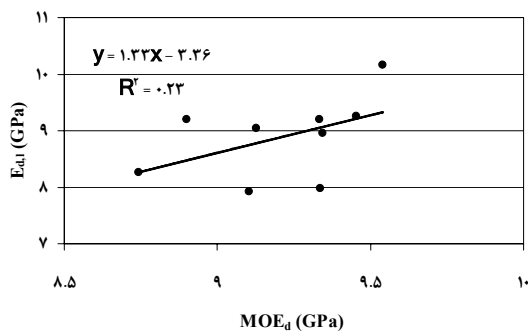
شکل ۳- نمودار درصد کاهش وزن و مدول‌های دینامیکی و استاتیکی در دوره‌های زمانی مجاورت با خاک.

جدول ۲- معادلات استخراج شده رگرسیونی بین  $MOE$  استاتیکی با مدول های الاستیسیته دینامیکی برای گونه راش سالم و پوسیده

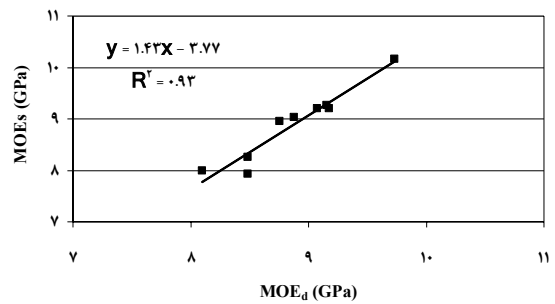
$MOE_d$ و $MOE_s$		$E_{d,1}$ و $MOE_s$		نمونه
معادله	$R^2$	معادله	$R^2$	
$MOE_s = 1.43MOE_d - 3.77$	۰/۹۳	$MOE_s = 1.33MOE_{d,1} - 3.36$	۰/۲۳	سالم
$MOE_s = 1.08MOE_d - 8.2$	۰/۹۳	$MOE_s = 0.90MOE_{d,1} - 0.37$	۰/۸۳	پوسیده
$MOE_s = 1.11MOE_d - 0.94$	۰/۹۷	$MOE_s = 1.05MOE_{d,1} - 1.22$	۰/۸۹	پوسیده و سالم

جایگزین مناسب برای کاهش وزن در ارزیابی پوسیدگی در نظر گرفته شوند، بخصوص که در مراحل اولیه پوسیدگی نیز حساسیت بالاتری در مقایسه با کاهش وزن دارند.

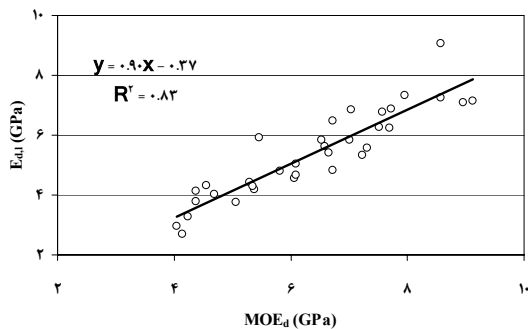
رابطه کاهش وزن و دانسیته خشک با کاهش مدول های الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی: نتایج نشان داد که در مراحل مختلف پوسیدگی  $MOE_d$  و  $E_{d,1}$  همبستگی خوبی با کاهش وزن دارند (شکل ۵) و می توانند یک



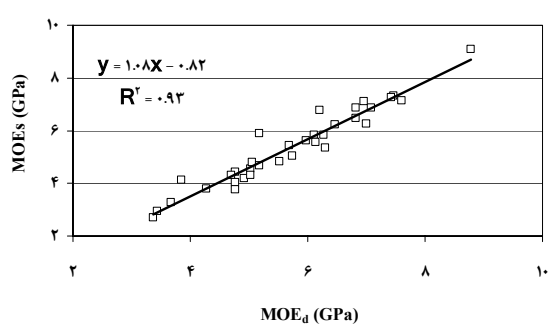
(ب)



(الف)

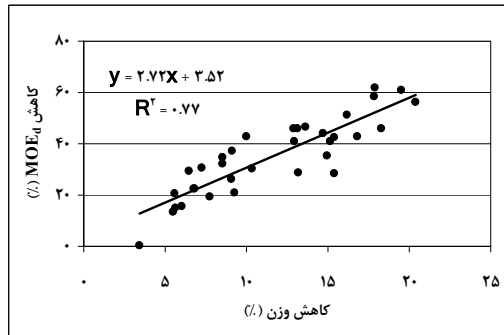


(د)

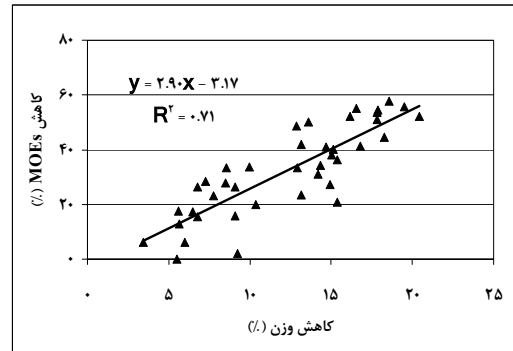


(ج)

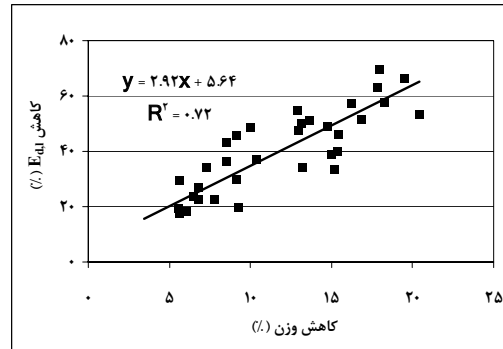
شکل ۴- نمودار پراکنش و خط رگرسیون مدول های الاستیسیته خمشی دینامیکی نسبت به مدول الاستیسیته خمشی استاتیکی در (الف) و (ب) نمونه های سالم و (ج) و (د) نمونه های پوسیده.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۵- نمودار پراکنش و خط رگرسیون بین درصد کاهش وزن با درصد کاهش

(الف)  $MOE_s$ ، (ب)  $MOE_d$  و (ج)  $E_{d,1}$  در نمونه‌های پوسیده

اساس می‌توان با سطح معنی‌دار ۱ درصد روابط جدول ۳ را استخراج نمود. این روابط نشان می‌دهند که در هر مرحله از پوسیدگی چوب گونه راش با تعیین مقدار مدول‌های الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی می‌توان در کنار کاهش وزن و دانسیته خشک، میزان پیشرفت پوسیدگی را بهتر ارزیابی نمود.

از آنجا که بین مقاومت و سفتی با افت وزن رابطه وجود دارد، از تغییر جرم ویژه نسبی می‌توان برای برآورد افت مقاومت توسط پوسیدگی قارچی استفاده نمود (ابراهیمی، ۱۹۹۶). در این تحقیق مشاهده گردید که بین تغییرات  $MOE_d$  و  $MOE_s$  با مقدار کاهش وزن و دانسیته خشک ارتباط خطی معنی‌داری وجود دارد. بر این

جدول ۳- ارتباط درصد کاهش وزن و دانسیته خشک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) با درصد کاهش مدول‌های الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی (GPa).

(Y) (درصد)	(X) (درصد)	$R^2$	معادله رگرسیون خطی
$MOE_s$	کاهش وزن (W)	۰/۷۱	$\%MOE_s = \%W \ 2/902 - 3/172$
$MOE_d$	کاهش وزن (W)	۰/۷۷	$\%MOE_d = \%W \ 2/716 - 3/518$
$E_{d,1}$	کاهش وزن (W)	۰/۷۲	$\%E_{d,1} = \%W \ 2/915 - 5/644$
$MOE_s$	دانسیته خشک ( $D_0$ )	۰/۸۷	$\%MOE_s = D_0 \ 46/93 - 18906$
$MOE_d$	دانسیته خشک ( $D_0$ )	۰/۸۶	$\%MOE_d = D_0 \ 41/227 - 15631$
$E_{d,1}$	دانسیته خشک ( $D_0$ )	۰/۸۰	$\%E_{d,1} = D_0 \ 40/432 - 14566$

## نتیجه گیری

۱-  $MOE_S$  همبستگی قوی با  $MOE_d$  خمشی در چوب راش دارد.

۲-  $MOE_d$  با کاهش وزن همبستگی بیشتر از همبستگی  $MOE_S$  و  $E_{d,I}$  با کاهش وزن دارد (به ترتیب با  $R^2$  برابر با ۰/۷۷، ۰/۷۱ و ۰/۷۲).

۳- در مقایسه با درصد کاهش وزن، همبستگی بین دانسیته خشک  $D_0$  و درصد کاهش  $MOE_S$ ،  $MOE_d$  و  $E_{d,I}$  اندکی بهتر است.

۴- روش غیرمخرب موج تنش روشی مطمئن برای

ارزیابی پوسیدگی چوب راش بخصوص در مراحل اولیه آن به شمار می رود.

## سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به جهت حمایت مالی از این طرح، دکتر قنبر ابراهیمی استاد گروه چوبشناسی و صنایع چوب دانشگاه تهران، مهندس ابراهیمی مسئول آزمایشگاه ارتعاشات دانشگاه شریف و نیز مهندس مهدی ملاشاهی عضو هیات علمی گروه مجتمع آموزش عالی گنبد صمیمانه قدردانی می شود.

## منابع

- 1.Chudnoff, M., Eslyn, W.E., and McKeever, D.B. 1984. Decay in mine timbers: Part III, Species-independent stress grading. Forest. Prod. J., 34(3): 43-50.
- 2.De Groot, R.C., Ross, R.J., and Nelson, W.J. 1998. Non-destructive assessment of wood decay and termite attack in southern pine sapwood. Wood Protection: 3 (2), pp: 25-34.
- 3.Ebrahimi, Gh. 1996. Mechanics of wood and its composites. Tehran Uni. Press. 2<sup>nd</sup> Edition. 690pp. (Translated in Persian).
- 4.Emerson, R., Pollock, D., Mc Lean, D.J., Fridley, K., Pellerin, R., and Ross, R.J. 2002. Ultrasonic inspection of large bridge timbers. Forest. Prod. J.: 52(9):88-95.
- 5.ENV. 807. 1993. Wood preservatives determination of the toxic effectiveness against soft rotting micro-fungi and other soil inhabiting micro-organisms. British Pre-Standard.
- 6.Gerhards, C.C. 1981. Effect of cross grain on stress waves in lumber. Res. Pap. FPL-RP-368. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- 7.Haines, D.W., Leban, J.M., and Herbe, C. 1996. Determination of young's modulus for spruce fir and isotropic materials by the resonance flexure method with comparisons to static flexure and other dynamic methods. Wood Sci. Tech. 30: 253-263.
- 8.Hearmon, R.F. 1966. Theory of the vibration testing of wood. Forest Prod. J., 16 (8): 29-40.
- 9.Machek, L., Edlund, M., Sierra Alvarez, R., and Militz, H. 2004. A non destructive approach for assessing decay in preservative treated wood. Wood Sci. Tech. 37: 411-417.
- 10.Machek, L., Militz, H., and Sierra Alvarez, R. 2001. The using of acoustic technique to assess wood decay in laboratory solid-bed tests. Wood Sci. Tech. 34: 467-472.
- 11.Mesdaghi, M. 1998. Statistical methods in Agricultural sciences and natural resources. Gorgan Uni. Of Agr. Sci. and Nat. Res. Press. 283 pp.
- 12.Najari, S. 2004. Volume Estimation of Decayed area in Beech Wood by Ultrasonic Technique. MSc. Thesis. Tarbiat Modares Uni. Press. 61 pp.
- 13.Pelliren, R.F. 1965. A vibration approach to non destructive testing of structural lumber. Forest Prod. J. 15:93-101.
- 14.Perstorper, M. 1994. Strength and stiffness predication of timber using conventional and dynamic methods. Proceedings of the first European Symposium on Non Destructive Evaluation of Wood. 2: 321-330.
- 15.Poosti, B. 2001. Vibration theories with its application Elm-e-Azmoon Press. 626 pp.
- 16.Rahimi Khoob, A. 2003. Measurement of modulus of elasticity in Iranian beech by using of NDT method. MSc Thesis, Gorgan Uni. of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, 134 pp.
- 17.Ross, R.J., Pellerin, R.F. 1994. Non-destructive testing for assessing structures: A review. Gen.Tech.Rep.FPL-GTR-70 (Rev).Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 40 p.
- 18.Wilcox, W.W. 1988. Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. Wood and Fiber: 9(4): 252-257.
- 19.Zhiyong, C., Michael, O.H., and Ross, R.J. 2000. Static and vibration module of elasticity of salvaged and new joists. Forest Prod. J., 50 (2): 35-40.



## **Evaluation of influence of decay on dynamic and static moduli of elasticity in Iranian beech by using of NDT stress wave**

**\*M. Madhoushi<sup>1</sup>, S.M. Hashemi<sup>2</sup> and M. Behzad<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Assistant Prof., Dept. of Wood and Paper Sciences and Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>2</sup>Former M.Sc. student, Dept. of Wood and Paper Sciences and Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Mechanical Engineering, Technical University of Sharif, Iran

---

---

### **Abstract**

The aim of this study was to evaluate sound (control sample) and decayed wood of Iranian beech (*Fagus orientalis*) with a NDT stress wave method. Sapwood samples, with dimensions of 9 by 19 by 200 mm were decayed in laboratory soil-bed tests, based on European pre-standard ENV-807. The decay was evaluated by measuring percentage of mass loss (W), static modulus of elasticity (MOE<sub>s</sub>) in three-points bending test and also bending dynamic modulus of elasticity (MOE<sub>d</sub>) and longitudinal dynamic modulus of elasticity (E<sub>d,l</sub>) using a NDT stress wave method after 6, 12, 18 and 24 weeks of exposure. The results show that both static and dynamic MOE measurements provide a more sensitive insight into property changes from fungal degradation compared with mass loss percentages. In this regard MOE<sub>d</sub> is more reliable compared with MOE<sub>d,l</sub>. There was also a strong correlation ( $r^2=0.97$ ) between the MOE<sub>s</sub> and MOE<sub>d</sub> for both sound and decayed Iranian beech. Furthermore, acceptable correlation was found between MOE<sub>d</sub> and mass loss percentages ( $r^2 = 0.77$ ).

**Keywords:** NDT; Stress wave; Iranian beech; Moduli of elasticity; Decay.