

## Investigating the effect of knot size on the dynamic modulus of elasticity of beech wood (*Fagus orientalis Libsky*)

Javad Torkaman<sup>1\*</sup> and Ramin Naghdi<sup>2</sup>

1\*-Corresponding Author, Associate Professor of Forestry Department, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Iran, Email: torkaman@guilan.ac.ir

2-Professor, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Iran

Received: June 2024

Revised: May 2024

Accepted: August 2024

### Abstract

**Background and purpose:** Dynamic methods (non-destructive) tests is based on creating stress without failure in the samples and save time and costs for evaluating mechanical properties. Knots or the encapsulated branches are the most important factor in the grading of wood. Therefore, the objectives of this research are: detection of knots by non-destructive methods, measuring the dynamic modulus of elasticity of beech log using stress waves, and the effect of knot size on the speed of stress waves subsequently, and the value of dynamic modulus of elasticity.

**Materials and methods:** The studied area was Shafarood series 11, which is located in the southern part of the Shafarood watershed, starts at an altitude of 500 meters and continues up to an altitude of 1650 meters. From this area, five beech trees were cut and divided into three equal parts of three meters by cross cutting, and according to the size of the knots, the properties of density, stress waves velocity and subsequently, the dynamic modulus of elasticity were measured. From the tangential image of the external indicator and the radial image of the internal indicator and using the Digimizer image4 software, the characteristics of each knot such as the diameter and angle of the knot were measured. For non-destructive detection of beech tree knot, ultrasonic tomography, stress wave velocity and CT scan methods were used. In the stress waves velocity method, a Fakopp microsecond timer device was used to measure the time of stress waves. In the radiographic method and to prepare CT scan images, a digital ground column device with two detectors made in France belonging to a medical clinic was used. To measure the density, 30 cylindrical stems with knots of small, medium and large classes were used, and according to the relationship between density and stress wave velocity, the value of dynamic elasticity modulus was calculated and evaluated. The diameter of the knot along the length of the stem, the density and the dynamic modulus of elasticity of the beech tree stem were measured. To analyze the data at the 95% confidence level, the one-way anova test was used, and to determine the normality of the data and the homogeneity of the variance, the Kalmograph Smirnov and Leven tests were used. To compare the means, Tukey's test was used by using SPSS software.

**Results:** In the detection of beech tree knot with the three mentioned non-destructive methods, the results show the existence of limitations in each method. The ultrasonic tomography is not

able to detect knots inside the beech tree trunk and the stress wave method also does not detect very small knots. The accuracy of the CT scan method in detecting the knot is high, but the cost of its detection is high. According to the growth stages of the beech tree, factors such as growth speed, branch encapsulation speed and natural pruning are different. The origin of the branch is pith of the stem. As a result, the number and size of the created knots are different along the tree. Therefore, most of the small knots are created in the main trunk of the tree. The diameter of the knot has also increased with the increase in the height of the stem. The knot has increased the density. The density results have shown that the samples with large, medium and small knots have significant differences. Considering that the ultrasonic tomography method is based on the reduction of density, it is not able to detect the knot. But in the radiography method, the parts with higher density are seen in light color and the parts with lower density are seen in darker color. The size of the knot is effective on reducing the speed of stress waves and thus reducing the dynamic modulus of elasticity of wood. In comparison with the samples without knots, the samples with small, medium and large knots reduce the modulus of elasticity by 20%, 50% and 70% respectively.

**Conclusion:** In general, among the non-destructive methods, only the CT scan method is able to detect small knots and evaluate the clear wood and defects. In comparison with the control sample (without knots), increasing the size of the knot, the value of the density increases and the stress wave velocity decreases. Subsequently, the dynamic elasticity modulus of the samples decreases.

**Keywords:** Dynamic modulus of elasticity, ultrasonic tomography, stress wave velocity, CT scan.

## بررسی تأثیر اندازه گره بر مدول الاستیسیته دینامیکی چوب درخت راش (*Fagus orientalis Libsky*)

جواد ترکمن<sup>۱\*</sup> و رامین نقدی<sup>۲</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، ایران، پست‌الکترونیک: torkaman@guilan.ac.ir

۲- استاد، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، ایران

تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۳

تاریخ اصلاح نهایی: خرداد ۱۴۰۳

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۳

### چکیده

سابقه و هدف: روش‌های دینامیکی (غیر مخرب) بر مبنای ایجاد تنش بدون شکست در نمونه‌ها عمل کرده و در زمان و هزینه‌های ارزیابی خواص مکانیکی صرفه‌جویی ایجاد می‌کنند. گره‌ها یا همان شاخه‌های حبس شده مهمترین عامل در درجه‌بندی چوب‌ها هستند؛ بنابراین اهداف این پژوهش عبارتند از: تشخیص گره به روش‌های غیر مخرب، اندازه‌گیری مدول الاستیسیته دینامیکی گرده‌بینه راش با استفاده از امواج تنشی و تأثیر اندازه گره بر سرعت امواج تنشی و مقدار مدول الاستیسیته دینامیکی.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه مجموعه ۱۱ شفاورد در قسمت جنوب حوزه آبخیز شفاورد قرار داشته و از ارتفاع ۵۰۰ متر شروع و تا ارتفاع ۱۶۵۰ متر ادامه دارد. از این منطقه تعداد ۵ اصله درخت گونه راش قطع گردید و از طریق برش عرضی به سه قسمت مساوی سه متری تقسیم و با توجه به اندازه گره‌های موجود خواص دانسیته، سرعت عبور امواج تنشی و مدول الاستیسیته دینامیکی اندازه‌گیری شد. از روی تصویر مماسی نشانگر بیرونی و تصویر شعاعی نشانگر درونی با استفاده از نرم افزار 4 Digimizer image ویژگی‌های هر گره مانند قطر و زاویه گره اندازه‌گیری شد. برای تشخیص غیر مخرب گره درخت راش از روش‌های توموگرافی تراسونیک، سرعت امواج تنشی و سی‌تی‌اسکن استفاده شد. در روش عبور امواج تنشی، برای اندازه‌گیری زمان انتقال امواج تنشی از دستگاه تایمر میکروثانیه فالوپ استفاده شد. در روش رادیوگرافی نیز برای تهیه تصاویر سی‌تی‌اسکن، از دستگاه دیجیتال ستون زمینی دو دکتور ساخت فرانسه متعلق به درمانگاه پزشکی استفاده شد. برای اندازه‌گیری دانسیته، تعداد ۳۰ قطعه استوانه‌ای شکل دارای گره در سه رده کوچک، متوسط و بزرگ استفاده و با توجه به ارتباط دانسیته و سرعت عبور امواج تنشی مقدار مدول الاستیسیته دینامیکی محاسبه و ارزیابی گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری قطر گره در طول ساقه، دانسیته و مدول الاستیسیته دینامیکی ساقه درخت راش در سطح اطمینان ۹۵ درصد از آزمون یک‌طرفه Anova و برای تشخیص نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس از آزمون‌های کلموگراف اسمیرنوف و آزمون لون و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی با به‌کارگیری نرم‌افزار Spss استفاده شده است.

نتایج: در تشخیص گره درخت راش با سه روش غیر مخرب مذکور نتایج نشان‌دهنده وجود محدودیت در هر روش است. به‌طوری که توموگرافی تراسونیک قادر به تشخیص گره در داخل تنه درخت راش نیست و روش امواج تنشی نیز گره‌های خیلی کوچک را تشخیص نمی‌دهد. دقت روش سی‌تی‌اسکن در تشخیص گره بالاست اما هزینه تشخیص آن زیاد است. با توجه به اینکه در طی مراحل رویشی درخت راش عواملی مانند سرعت رویش، سرعت حبس‌شوندگی شاخه و هرس طبیعی متفاوت است. در نتیجه تعداد و اندازه گره ایجادشده در طول درخت متفاوت می‌باشد. منشأ شاخه از مغز ساقه است، بنابراین بیشتر گره‌های کوچک در سه متر اول و دوم درخت ایجاد شده است. با افزایش ارتفاع ساقه قطر گره نیز افزایش یافته است. گره باعث افزایش دانسیته شده است. نتایج دانسیته نشان داده است که نمونه‌های دارای گره‌های بزرگ، متوسط و کوچک دارای تفاوت معنی‌داری هستند. با توجه به اینکه اساس تشخیص روش توموگرافی تراسونیک در کاهش دانسیته است، بنابراین قادر به تشخیص گره نیست؛ اما در روش

راديوگرافي قسمت‌های با دانسیته بیشتر به رنگ روشن و با دانسیته کمتر به رنگ تیره‌تر دیده می‌شود. اندازه گره بر روی کاهش سرعت امواج تنشی و بر کاهش مدول الاستیسیته دینامیکی چوب مؤثر است. در مقایسه با نمونه‌های عاری از گره نمونه‌های دارای گره کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب ۲۰ درصد، ۵۰ درصد و ۷۰ درصد مدول الاستیسیته را کاهش می‌دهند. نتیجه‌گیری: به طوری که از بین روش‌های غیر مخرب فقط روش سی‌تی‌اسکن قادر است گره‌های ریز را شناسایی و بخش‌های عاری از گره و معایب را ارزیابی نماید. در قیاس با نمونه شاهد (عاری از گره) با افزایش اندازه گره مقدار دانسیته افزایش و سرعت امواج تنشی و مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه‌ها کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: مدول الاستیسیته دینامیکی، توموگرافی التراسونیک، سرعت امواج تنشی، سی‌تی‌اسکن.

درصد گزارش شده است (Hongyue *et al.*, 2020).



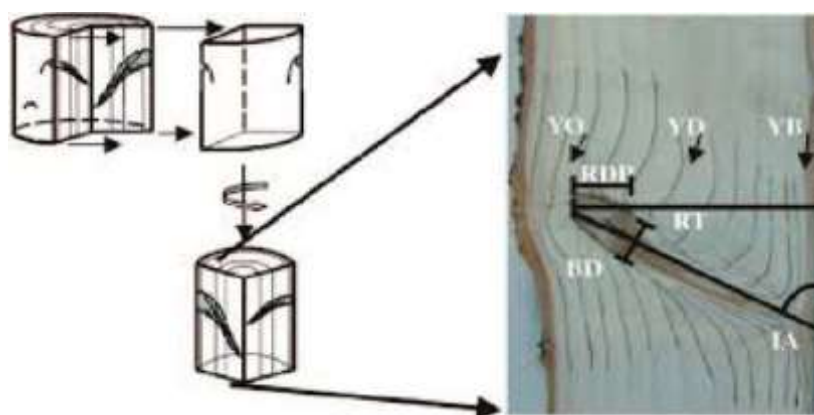
شکل ۱- نشانگر بیرونی گره بر روی پوست درخت راش

**Figure 1. External indicator of the beech tree knot**  
به دو روش مخرب و غیر مخرب می‌توان گره و سایر معایب را در گرده‌بینه و چوب‌آلات بررسی کرد. در روش مخرب، گرده‌بینه در جهت‌های شعاعی و مماسی برش داده می‌شود و معایب بر روی سطوح برش داده شده بررسی می‌گردد (شکل ۲). در حالی که در روش غیر مخرب از طریق تکنیک‌های عکس‌برداری، رادیوگرافی و پرتونگاری اطلاعات در مورد معایب از روی تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی دریافت می‌شود. توانایی روش‌های غیر مخرب در تشخیص دقیق نوع، ابعاد و محل‌یابی معایب بالا ولی پرهزینه است و در شرایط کارخانه‌های کوچک و متوسط کاربرد زیادی ندارد (Račko, 2013).

## مقدمه

برای ارزیابی و درجه‌بندی کیفی گرده‌بینه و چوب‌آلات، شناسایی نوع و مقدار معایب دارای اهمیت است. شناسایی بعضی از معایب داخلی مانند گره از روی علائم ایجادشده در پوست گرده‌بینه امکان‌پذیر است (شکل ۱)؛ اما در بسیاری از موارد تشخیص گره حبس شده در گرده‌بینه پوست‌کنی شده و چوب‌آلات مشکل بوده و نیازمند استفاده از آزمون‌های مخرب و غیر مخرب می‌باشد.

گره‌های زنده و مرده یکی از مهمترین معایب در ارزیابی و درجه‌بندی گرده‌بینه و چوب‌آلات هستند. گره در واقع اثر شاخه بر روی تنه درخت است. قسمتی از شاخه که با بافت ساقه مرتبط است گره زنده و بخشی که غیرمرتبط است را گره مرده گویند. به‌طورکلی زمانی که درخت به‌طور طبیعی یا مصنوعی هرس می‌شود با افزایش رویش شعاعی درخت، باقیمانده شاخه در داخل تنه درخت حبس می‌شود که با گذشت زمان و رشد درخت شاخه حبس شده را لایه‌های چوب می‌پوشاند که فاصله بین مغز و پوست گرده‌بینه را در این حالت می‌توان به دو بخش چوب خالص و عاری از گره و چوب دارای گره خلاصه کرد. تخمین این دو بخش در ارزیابی گرده‌بینه از اهمیت بالایی برخوردار است. به طوری که تأثیر ویژگی گره در ارزیابی و درجه‌بندی چوب‌آلات ۹۰



شکل ۲- برش گره در جهت شعاعی (Hein, 2007)

**Figure 2. The knot cutting in the radial direction (Hein, 2007)**

سیلندریک با ضریب کاهش قطری ۰/۵۴۷۵ است (Bonyad *et al.*, 2009). چوب آن نیمه سنگین و نیمه سخت است که در صنایع روکش و تخته لایه، تراورس و میل کاربرد زیادی دارد. با کم شدن منابع جنگلی و استفاده بهینه از منابع موجود با توجه به توسعه تکنولوژی دستیابی به اطلاعات دقیق در مورد شکل، اندازه و محل گره‌های تنه راش از اهمیت بالایی برخوردار است. در حال حاضر، بیشتر اطلاعات در مورد ارزیابی چوب‌های سالم و بوسیده به روش‌های غیر مخرب در ایران است؛ در مورد ارزیابی چوب‌های عاری از گره و چوب‌های دارای گره به روش غیر مخرب اطلاعات کمی وجود دارد. بنابراین، هدف این مطالعه بررسی تأثیر اندازه گره بر روی عبور امواج تنشی و مدول الاستیسیته چوب راش است.

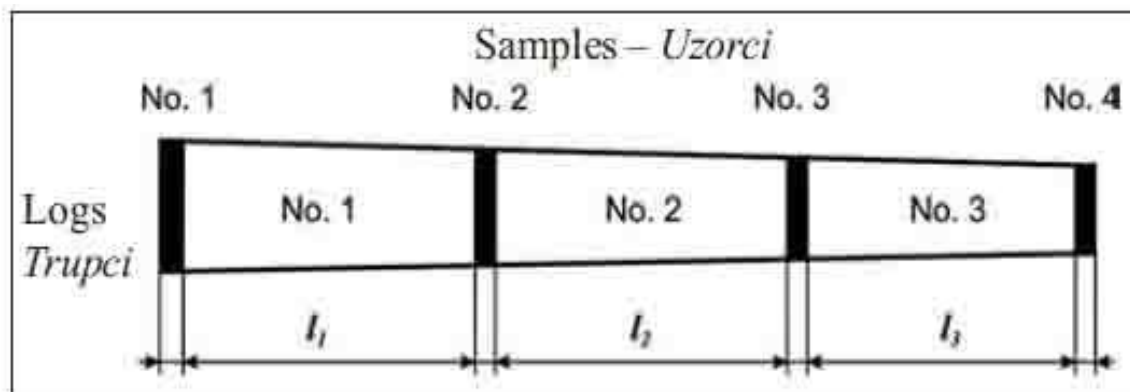
### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه مجموعه ۱۱ شفارود در قسمت جنوب حوزه آبخیز شفارود قرار داشته و از ارتفاع ۵۰۰ متر شروع و تا ارتفاع ۱۶۵۰ متر ادامه دارد. محدوده طرح در عرض جغرافیایی ۳۷/۲۸-۳۷/۳۲ و طول جغرافیایی ۴۵/۵۷-۴۸/۵۲ درجه واقع شده است. مساحت کل مجموعه ۲۲۰۲/۹ هکتار که ۱۸۸۷/۱ هکتار آن قابل بهره‌برداری است. به‌طور کلی منطقه مورد مطالعه جزء نواحی پرباران کشور بوده (۸۰۰ تا ۱۴۰۰ میلی‌متر) و در

بیشتر کارهای اولیه از طریق روش مخرب ارتباط بین نشانگرهای بیرونی و ویژگی‌های درونی معایب گونه‌های راش (Schulz 1961, Shigo and Larson 1969, Torkaman *et al.*, 2018)، بلوط (Rast *et al.*, 1989)، افرا و صنوبر (Rast *et al.*, 1991) را مشخص و مدل‌سازی کردند. اخیراً با توسعه فنون اسکن کردن و فنون آنالیز تصاویر، تحقیقات زیادی بر روی گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ انجام شده است (Wang 2015, Oja 1997, Maguire & Grundberg 1994, Sioma Hann 1987, Samson 1993, 2006, Pinto *et al.*, 2003, Osterloh *et al.*, 2015). علاوه بر معایب می‌توان برخی از ویژگی‌های مکانیکی مانند مدول الاستیسیته را نیز به روش غیر مخرب ارزیابی کرد. استفاده از روش‌های غیر مخرب مانند موج تنشی و فراصوت پس از دهه ۱۹۴۰ شروع شده است که نتایج این مطالعات نشان‌دهنده بالا بودن همبستگی بین مدول‌های الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی است (Madhoushi *et al.*, 2008). گونه راش یکی از مهمترین گونه‌های پهن‌برگ و صنعتی ایران است که از نظر تعداد ۲۴ درصد و از نظر حجمی ۳۰ درصد درختان جنگل‌های شمال را تشکیل می‌دهد (Amini *et al.*, 2009). راش موجود در جنگل‌های شمال، گونه خزری یا هیرکانی است و بیشتر در محدوده ارتفاعی ۶۰۰-۲۲۰۰ متر از سطح دریا دیده می‌شود. ارتفاع راش به ۳۰-۴۰ متر و قطر آن به ۱/۵ متر می‌رسد و دارای تنه با پوست صاف و

نمونه برداری  
از منطقه مورد مطالعه تعداد ۵ اصله درخت گونه راش در  
رده قطری ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر انتخاب، نمونه برداری و قطع  
گردید.

تقسیم بندی های اقلیمی در گستره اقلیم های مرطوب ایران قرار  
می گیرد.



شکل ۳- تقسیم تنه درخت به سه قسمت برای نمونه برداری (Racko, 2013)

Figure 3. Dividing the tree trunk into three parts for sampling (Racko, 2013)

۰/۱ میلی متر اندازه گیری شد. حجم و دانسیته نمونه ها مطابق  
رابطه های شماره ۱ و ۲ محاسبه شد.

$$V = \pi \times \frac{D^2}{4} \times h \quad (1)$$

$$D_o = \frac{m}{v} \quad (2)$$

h = ارتفاع (سانتیمتر)

D = قطر (سانتیمتر)

D<sub>o</sub> = دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)

V = حجم (سانتی متر مکعب)

اندازه گیری زمان عبور امواج تنشی و مدول الاستیسیته  
دینامیکی

در ابتدا برای تشخیص گره داخل تنه درخت راش از  
روش های توموگرافی التراسونیک و رادیوگرافی به کمک اشعه  
ایکس استفاده شد. در روش رادیوگرافی، از نمونه ها به وسیله  
دستگاه دیجیتال ستون زمینی دو دکتور ساخت کمپانی

ساقه هر اصله مطابق شکل ۳ به سه قسمت سه متری، از  
پائین به بالا تقسیم و برش داده شد. با توجه به نشانگرهای  
بیرونی بر روی هر تنه، گره ها شماره گذاری شدند. سپس برای  
دستیابی به نشانگر درونی قسمت های دارای گره و فاقد گره  
مطابق شکل ۲ برش داده شد. از روی نشانگر بیرونی بر روی  
پوست و نشانگر درونی در سطح شعاعی توسط دوربین  
دیجیتالی Cannon تصویر تهیه و با به کارگیری نرم  
ابزار Digimizer image4 ویژگی های هر گره مانند قطر و  
زاویه گره اندازه گیری شد.

اندازه گیری دانسیته

برای اندازه گیری دانسیته تعداد ۳۰ قطعه استوانه ای شکل  
دارای گره در سه رده کوچک، متوسط و بزرگ پس از خشک  
شدن در دمای ۳±۱۰۰ سانتی گراد در داخل آون به مدت ۴۸  
ساعت قرار داده شد. ساقه های خشک شده شماره گذاری و  
به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید.  
سپس ابعاد ساقه های استوانه ای شکل به وسیله کولیس با دقت

در شرایط: ولتاژ (KVP) ۴۰ کیلو، آمپر (MA) ۱۶۰ میلی و آمپر ثانیه (Mas) ۶/۴ میلی تنظیم شد.

فرانسوی (Trixell) متعلق به درمانگاه پزشکی (شکل ۱) تصاویر سی تی اسکن تهیه شد. برای این منظور، نمونه‌های راش بر روی صفحه دستگاه قرار داده شد، سپس دستگاه



شکل ۴- دستگاه رادیوگرافی به روش سی تی اسکن  
Figure 4. CT scan radiography device

شماره ۴ استفاده شده است.

$$W = \frac{L}{t} \times 1000000 \quad (۳)$$

$$MOE_d = \frac{W^2 \times Do}{100} \quad (۴)$$

$W$  = سرعت عبور امواج (متر بر ثانیه)

$L$  = فاصله بین دو سنسور (متر)

$t$  = زمان (میکروثانیه)

$MOE_d$  = مدول الاستیسیته دینامیکی (Mpa)

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری قطر گره در طول ساقه، دانسیته و مدول الاستیسیته دینامیکی ساقه

در روش عبور امواج تنشی، برای اندازه‌گیری زمان انتقال امواج تنشی از دستگاه تایمر میکروثانیه فالوپ ساخت کشور مجارستان واقع در آزمایشگاه صنایع چوب دانشگاه آزاد کرج استفاده شد. این دستگاه دارای دو حسگر و کرنومتر است که دقت آن در حد میلیونیم ثانیه ( $\pm \mu s$ ) می‌باشد. در ابتدا ساقه یک متری راش را به بیست قسمت پنج سانتیمتری تقسیم و از یک تا ۱۹ شماره‌گذاری شد. حسگر شروع را با زاویه ۴۵ درجه از نقطه شماره یک از طریق ضربات چکش در داخل تنه قرار داده و بعد حسگر توقف را به ترتیب در شماره‌های بعدی تا پایان با همان زاویه به داخل تنه کوبیده شد، با ضربه زدن به حسگر شروع، زمان رسیدن امواج به سنسور توقف از روی کرنومتر خوانده و ثبت گردید (Salehi *et al* 2022). برای محاسبه سرعت عبور امواج تنشی در نمونه‌ها، از فرمول شماره ۳ و برای محاسبه مدول الاستیسیته دینامیکی از فرمول

### نتایج

از نظر فیزیولوژیکی شاخه‌ها برای رشد درختان اهمیت زیادی دارند. درحالی‌که از نظر چوب‌شناسی گره‌ها کیفیت چوب را کاهش می‌دهند و در فرایند تشکیل چوب گره یک عیب محسوب می‌شود. همان‌طور که در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ مشاهده می‌شود ابعاد، نوع گره و زاویه استقرار آن در کاهش کیفیت مؤثر است.

درخت راش در سطح اطمینان ۹۵ درصد، از آزمون یک‌طرفه Anova و برای تشخیص نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس از آزمون‌های کلموگراف اسمیرنوف و آزمون لون و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی با به‌کارگیری نرم افزار Spss استفاده شده است.

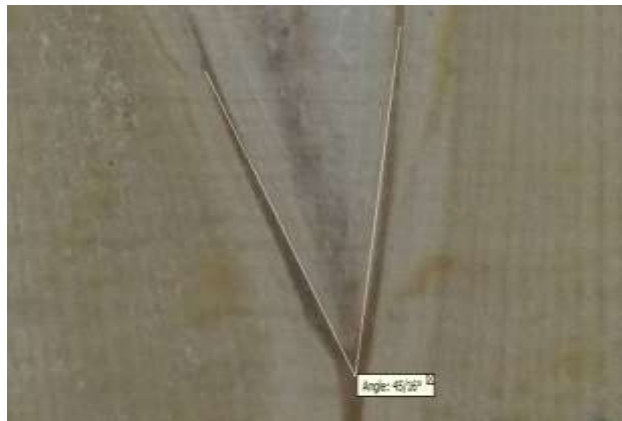


شکل ۵- ویژگی نشانگر بیرونی ساقه‌های دارای گره‌های بزرگ (راست)، متوسط (وسط) و کوچک (چپ) قبل از برش شعاعی  
**Figure 5. External indicator feature of stems with large (right), medium (middle) and small (left) knots before radial cutting**



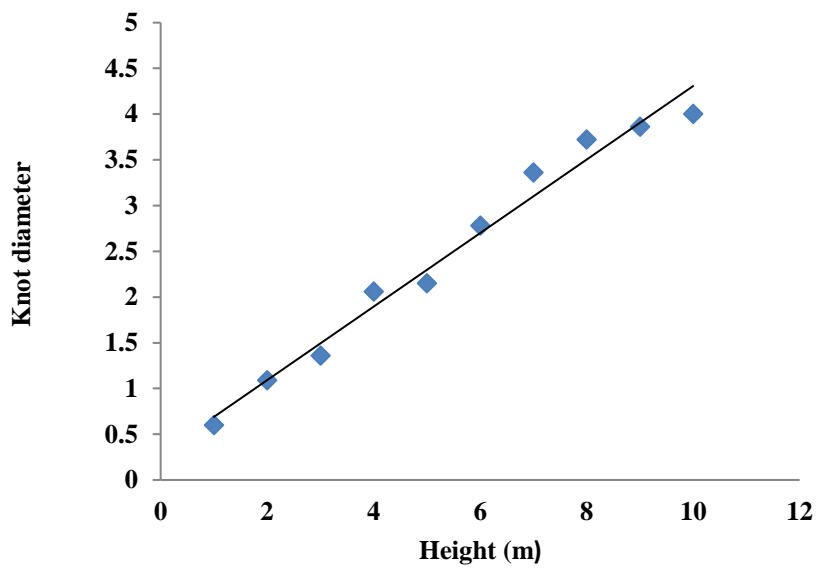
شکل ۶- ویژگی نشانگر درونی ساقه‌های دارای گره‌های بزرگ (راست)، متوسط (وسط) و کوچک (چپ) پس از برش شعاعی  
**Figure 6. Internal indicator feature of stems with large (right), medium (middle), and small (left) knots after radial cutting**





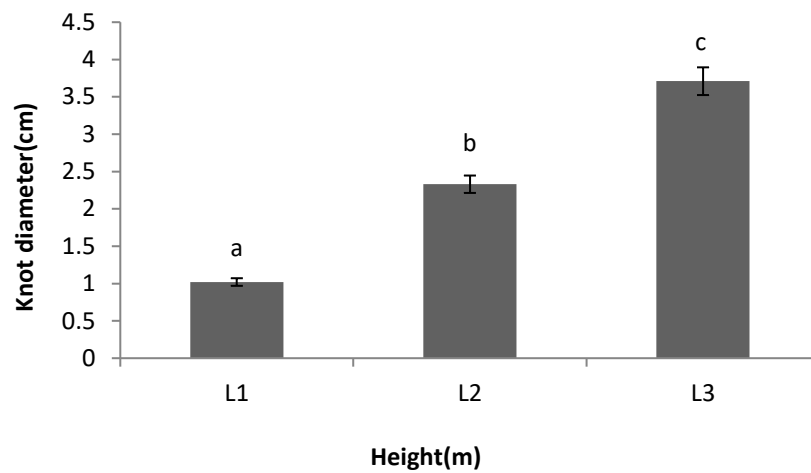
شکل ۷- زاویه شاخه حبس شده نسبت به مغز ساقه درخت راش

**Figure 7. The angle of the encapsulated branch in relation to the core of the beech tree stem**



شکل ۸- اندازه گره در ارتفاعات مختلف درخت راش

**Figure 8. The knot size at different heights of the beech tree**

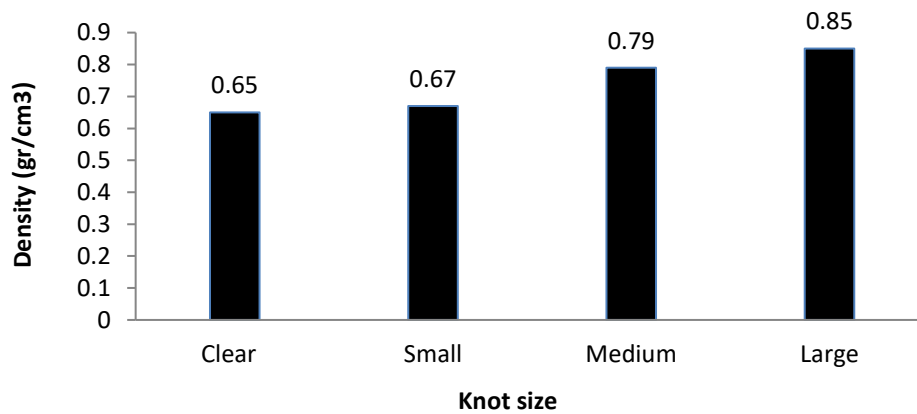


شکل ۹- مقایسه قطر گره در سه بخش (L1: سه متر اول، L2: سه متر دوم، L3: سه متر سوم) ارتفاعی درخت راش

**Figure 9. The knot diameter comparison in three height sections of beech tree**

معنی داری آن در سطح اطمینان ۹۵ درصد در جدول های آنالیز واریانس ۱ و ۲ قابل مشاهده است.

شکل های ۷ و ۸ پراکنش قطری گره ها را در طول درخت راش نشان می دهند و تأثیر این گره ها را بر روی دانسیته چوب راش می توان در شکل ۹ مشاهده کرد. به طوری که اثر



شکل ۱۰- متوسط دانسیته ساقه های دارای گره های بزرگ، متوسط و کوچک

**Figure 10. Illustration the average density of stems with large, medium and small knots**

جدول ۱- آنالیز واریانس دانسیته بین ساقه‌های دارای گره‌های بزرگ، متوسط و کوچک

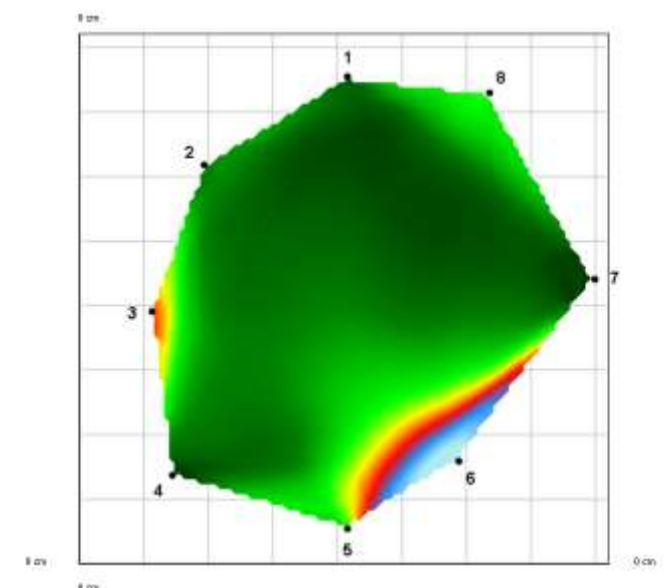
**Table 1- Variance analysis of density between stems with large, medium and small knots**

Sources	Sum of Square	df	Mean Square	F	Significant
Between Groups	0/208	3	0/069	138	0/000
Within Groups	0/012	26	0/0005		
Total	0/221		29		

جدول ۲- آنالیز واریانس قطر گره در طول ساقه درخت راش

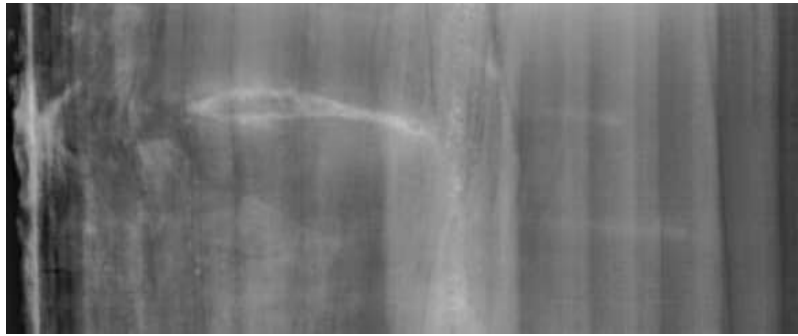
**Table 2- Analysis of Variance of the knot diameter along the beech tree stem**

Sources	Sum of Square	df	Mean Square	F	Significant
Between Groups	12/518	2	6/259	56/017	0/000
Within Groups	0/782	7	0/112		
Total	13/300		9		



شکل ۱۱- نتایج توموگرافی التراسونیک (رنگ سبز سالم، رنگ زرد پوسیدگی اولیه، رنگ قرمز پوسیدگی پیشرفته، رنگ آبی حفره)

**Figure 11. Ultrasonic tomography results (healthy green color – Primary decay yellow color – advanced decay red color – cavity blue color)**

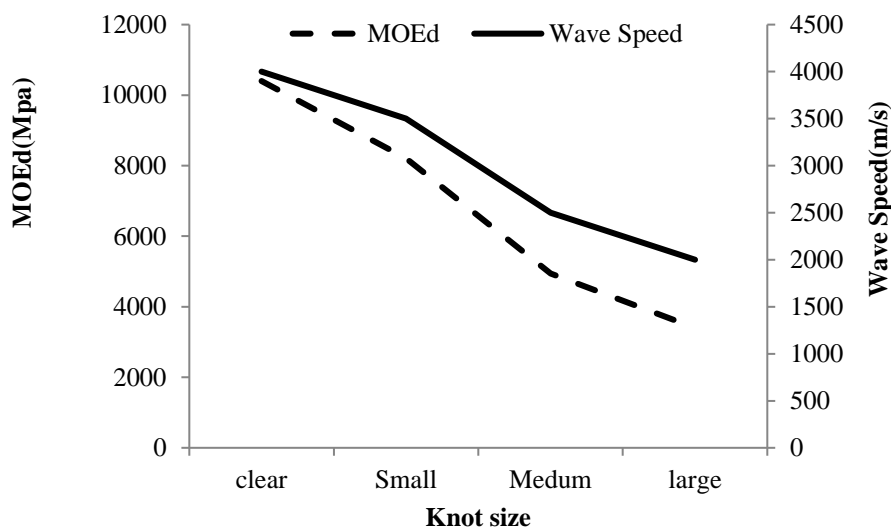


شکل ۱۲- نمونه‌ای از تصویر گره تهیه‌شده توسط نویسنده به روش سی‌تی‌اسکن

Figure 12. An example of a knot image prepared by Author using the CT scan method

که از رابطه ۴ می‌توان درک کرد، مقدار مدول الاستیسیته دینامیکی با دانسیته و توان دوم سرعت امواج تنشی ارتباط مستقیم دارد. بنابراین کاهش در سرعت امواج تنشی تأثیر زیادی در کاهش مدول الاستیسیته دارد.

تصویرهای ۱۰ و ۱۱ نشان‌دهنده قدرت پائین روش توموگرافی التراسونیک نسبت به سی‌تی‌اسکن در تشخیص گره است. درحالی‌که با توجه به نتایج شکل ۱۲ اندازه گره در کاهش سرعت امواج تنشی مؤثر است، به طوری‌که با بزرگ شدن گره مقدار سرعت امواج تنشی کاهش می‌یابد. همان‌طور



شکل ۱۳- تأثیر اندازه گره بر سرعت امواج تنشی و مدول الاستیسیته دینامیک چوب درخت راش

Figure 13. Effect of knot size on speed of stress waves and dynamic modulus of elasticity of beech wood

## بحث

درختان براساس سن و ابعاد دارای مراحل رویشی مختلفی هستند، به طوری که درختان دارای قطر برابر سینه ۱۰ تا ۳۰ سانتی متر را تیرک، ۳۰ تا ۶۰ سانتی متر را تیر، ۶۰ تا ۸۰ سانتی متر را تنومند و درختان سالم با قطر بیش از ۸۰ سانتی متر را پیردار می نامند (Mirabdollahi et al 2011). با توجه به اینکه در طی مراحل رویشی عواملی مانند سرعت رویش، سرعت حبس شونده گی شاخه و هرس طبیعی متفاوت است؛ بنابراین تعداد و اندازه گره ایجاد شده در طول درخت متفاوت می باشد (شکل ۷ و ۸). Wang و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که عملیات جنگل کاری تنک کردن و هرس کردن بر روی پهنای دواير سالیانه، تعداد و اندازه گره مؤثر است. به طوری که تنک کردن باعث افزایش پهنای دواير سالیانه و افزایش تعداد و قطر گره می شود، درحالی که عملیات هرس کردن باعث کاهش پهنای دواير سالیانه و کاهش تعداد و قطر گره می گردد. همچنین عملیات هرس و تنک کردن بر مدول الاستیسیته دینامیکی مؤثر هستند، به نحوی که هرس متوسط مدول الاستیسیته دینامیکی را افزایش و تنک کردن آن را کاهش می دهد. معیار تقسیم بندی گره ها به کوچک، متوسط و بزرگ اندازه قطر و طول گره است که در گزارش Salehi و همکاران (۲۰۲۲) به آن اشاره شده است. با توجه به اینکه منشأ شاخه مغز ساقه است (شکل ۶ و ۱۱). بیشتر گره های کوچک در سه متر اول و دوم طول درخت (مرحله رویشی تیرک) و گره های متوسط و بزرگ در سه متر سوم و بالاتر (مرحله رویشی تیر) تشکیل می شوند. با توجه به نتایج جدول ۲ قطر گره در طول درخت دارای اختلاف معنی دار است. با افزایش ارتفاع درخت، قطر گره هم افزایش می یابد. دقت تشخیص گره های کوچک در روش های مختلف غیر مخرب متفاوت است. به طوری که در شکل ۱۰ مشاهده می شود روش توموگرافی التراسونیک قادر به تشخیص گره نیست و اساس تشخیص این روش کاهش دانسیته است که وجود معایی مانند حفره، پوسیدگی و ترک را نشان می دهد. گره های سالم که نتیجه حبس شونده گی شاخه های فشرده شده در داخل چوب هستند باعث افزایش دانسیته چوب می شوند. شکل ۹ و جدول

آنالیز واریانس ۱ نشان دهنده تأثیر گره بر دانسیته چوب است، به طوری که تأثیر گره های بزرگ تر بیشتر از متوسط و کوچک تر است و تفاوت آنها در دانسیته چوب در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار است. اساس تشخیص گره در روش امواج تنشی در کاهش سرعت امواج است. همان طور که در شکل ۱۲ مشاهده می شود تأثیر گره های بزرگ تر در کاهش سرعت امواج خیلی بیشتر از گره های متوسط و کوچک تر است. در این ارتباط، Salehi و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که گره های بزرگ، متوسط و کوچک به ترتیب ۴۵ درصد، ۲۰ درصد و ۱۰ درصد سرعت امواج تنشی را کاهش می دهند؛ در صورتی که مقدار کاهش سرعت امواج تنشی کمتر از ۱۰ درصد باشد گره قابل تشخیص نیست. با توجه به شکل ۱۱ و گزارش Torkaman و همکاران (۲۰۱۹) از بین روش های غیر مخرب روش سی تی اسکن قادر است گره های ریز را شناسایی و بخش های عاری از گره و معایب را ارزیابی نماید. عیب این روش در مقایسه با سایر روش های غیر مخرب، هزینه بالای آن است. با توجه به شکل ۶ زاویه حبس شونده گی شاخه در گونه راش به طور متوسط ۴۵ درجه است که در شاخه های بزرگ تر این مقدار کمتر و در شاخه های کوچک تر بیشتر می شود. زاویه در سرعت حبس شونده گی شاخه مؤثر است، هرچه کمتر باشد مقدار سرعت حبس شونده گی بیشتر است. با توجه به شکل ۱۲ مشاهده می شود که اندازه گره بر روی کاهش سرعت امواج تنشی و بر کاهش مدول الاستیسیته دینامیکی چوب مؤثر است. در مقایسه با نمونه های عاری از گره، نمونه های دارای گره کوچک، متوسط و بزرگ به ترتیب ۲۰ درصد، ۵۰ درصد و ۷۰ درصد مدول الاستیسیته را کاهش می دهند. مدول الاستیسیته دینامیکی همبستگی بالایی با مدول الاستیسیته استاتیکی دارد و حدود ۱۰ درصد بیشتر از آن است (Divos et al 2005). مدول الاستیسیته دینامیکی با مقاومت کششی نیز دارای همبستگی است (Ehrhart et al 2017). Madhoushi و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که سرعت امواج تنشی و مدول الاستیسیته دینامیکی درجه های طولی گرده بینه پالونیا بیشتر از درختان سربای این گونه است

- Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in different growth stages (Case study: Lomir forest), Iranian Journal of Forest, Vol.3, No.3:177-187. (In Persian).
- Oja J., 1997. A comparison between three different methods of measuring knot parameters in *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forestry Research, 12, 311–315.
- Osterloh, K., 2006. Radiographic and Tomographic Testing of Wood, ECNDT 2006 - Th.1.3.3
- Pinto, I., Pereir, H. and Usenius, A., 2003. Analysis of log shape and internal knots in twenty maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stems based on visual scanning and computer aided reconstruction. Annals of Forest Science, 60(2), 137–144.
- Račko, V., 2013. Verify the accuracy of estimation the model between dimensional characteristics of branch scar and the location of the knot in the beech trunk. Forestry and Wood Technology, 84:60–65.
- Rast, E.D., Beaton, J.A. and Sonderman, D.L., 1989. Photographic guide of selected external defect indicators and associated internal defects in white oak. USDA Forest Service North-eastern Forest Experiment Station, Broomall, USA, Report RPNE-628, p. 24.
- Rast, E.D., Beaton, J.A. and Sonderman, D.L., 1991a. Photographic guide of selected external defect indicators and associated internal defects in sugar maple. USDA Forest Service North-eastern Forest Experiment Station, Radnor, USA, Report RPNE-647, p. 29.
- Rast, E.D., Beaton, J.A. and Sonderman, D.L., 1991b. Photographic guide of selected external defect indicators and associated internal defects in yellow poplar. USDA Forest Service North-eastern Forest Experiment Station, Radnor, USA, Report RP-NE-646, p. 35.
- Samson, M., 1993. Method for assessing the effect of knots in the conversion of logs into structural lumber. Wood Fiber Science, 25, 298–304.
- Salehi, N., Torkaman, J., Naghdi, R. and Roohnia, M., 2022. Detection and differentiation of the beech wood knot (*Fagus orientalis* Libsky) by non-destructive stress wave method, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research Vol. 37 No. (4):282-292. DOI: 10.22092/ijwpr.2022.358587.1718 (In Persian).
- Schultz, H., 1961. Die Beurteilung der Qualitätsentwicklung junger Bäume.[Assessment of the quality development of young trees.] Forstarchiv, XXXII (May 15), pp. 89–99.
- Shigo, A.L. and Larson, E., 1969. A photo guide to the patterns of discoloration and decay in living northern hardwood trees. USFS, Northeast Forest and Range
- و با افزایش قطر درخت مقدار سرعت امواج تنشی و مدول الاستیسیته دینامیکی افزایش یافته است.

### منابع مورد استفاده

- Amini, M., Sagheb-Talebi, Kh. Namiranian, M. and Amini, R., 2009. Investigation on increment of *Fagus orientalis* Lipsky using time series analysis, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17(3):404-421 (In Persian).
- Bonyad, A.E., Torkaman, J. and Rohi, A., 2013. Growth stages and site components influence on form factors of beech (*Fagus orientalis* Lipsky). Iranian Journal of Forest, 5(2), 102–117. (In Persian).
- Divos, F. and Tanaka, T., 2005. Relation Between Static and Dynamic Modulus of Elasticity of Wood, Acta Silv. Lign. Hung., Vol. 1 (2005) 105-110.
- Ehrhart, T., Steiger, R. and Frangi, A., 2017. Impact and detection of grain direction in European beech wood, in Proceedings of INTER - Meeting Fifty, 2017, pp. 479–482.
- Grundberg S., 1994. Scanning for internal defects in logs. Licentiate Thesis 1994:14L, Division of Wood Technology, Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden. ISSN 0280-8242.
- Hein, S. and Spiecker, H., 2007. Comparative analysis of occluded branch characteristics for *Fraxinus excelsior* and *Acer pseudoplatanus* with natural and artificial pruning, Can. J. For. Res. 37: 1414–1426 (2007), doi:10.1139/X06-308
- Hongyue, Q., Ming, C., Yuan, H. and Jianhua, L., 2020. Effect of Trees Knot Defects on Wood Quality: A Review, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 738 (2020) 012027 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/738/1/012027
- Maguire D.A. and Hann D.W., 1987. A stem dissection technique for dating branch mortality and reconstructing past crown recession. Forest Science, 33:858–871.
- Madhoushi, M., Hashemi, S.M. and Behzad, M., 2008. Evaluation of influence of decay on dynamic and static moduli of elasticity in Iranian beech by using of NDT stress wave. J. Agric. Sci. Natur. Resour., Vol. 15(3), (In Persian).
- Madhoushi, M. and Boskabadi, Z., 2019. Relationship Between The Dynamic And Static Modulus Of Elasticity In Standing Trees And Sawn Lumbers Of Paulownia Fortune Planted In Iran. Maderas. Ciencia y tecnología 21(1): 35 - 44, DOI: 10.4067/S0718-221X2019005000104
- Mirabdollahi, M., Bonyad, A.E., Torkaman, J. and Bakhshandeh, B., 2011. Study on tree form of

- Torkaman, T., Vaziri, M., Sandberg, D. and Mohammadi Limaie, S., 2019. Comparison study in the clear wood estimation of the Beech tree trunk (*Fagus orientalis* Libsky), Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 10(1):11-19 (In Persian).
- Wang, C., Zhao, Z., Hein, S., Zeng, J., Schuler, J., Guo, J., Guo, W. and Zeng, J., 2015. Effect of planting density on knot attributes and branch occlusion of *Betula alnoides* under natural pruning in southern China. *Forests*, 6, 1343–1361.
- Experiment Station, Research Paper NE-127, 100 p.
- Sioma, A., 2015. Assessment of wood surface defects based on 3D image analysis. *Wood Research*, 60(3):339–350.
- Torkaman, j., Vaziri, M., Sandberg, Dand Mohammadi Limaie, S., 2018. Relationship between branch-scar parameters and knot features of oriental beech (*Fagus orientalis* Libsky), *Wood Material Science & Engineering*. Article in *Wood Material Science and Engineering*. DOI: 10.1080/17480272.2018.1424731