

## ارزیابی رابطه بین مدول الاستیسیته درختان سرپا و چوب استحصال شده صنوبر دلتوئیدس با استفاده از آزمون غیرمخرب موج تنش

### چکیده

هدف این مقاله ارزیابی رابطه بین مدول الاستیسیته دینامیکی ( $MOE_d$ ) در درختان سرپای سالم صنوبر دلتوئیدس و مدول الاستیسیته استاتیکی ( $MOE_s$ ) چوب استحصال شده از آن با استفاده از آزمون غیرمخرب موج تنش می‌باشد. مطالعه بر روی ۱۰ پایه درخت سرپای صنوبر دلتوئیدس انجام شده است. قطر تنه درختان در ارتفاع برابر سینه در ۲ کلاسه قطری ۲۵-۳۰ و ۳۵-۳۰ انتخاب شد. اندازه‌گیری سرعت موج تنش در درختان سرپا در جهت عرضی در دو جهت جغرافیایی شمال-جنوب و شرق-غرب در ارتفاع برابر سینه ۱۳۰ سانتی متر و اندازه‌گیری در جهت طولی نیز در ارتفاع ۸۰ تا ۱۸۰ سانتی متر انجام گرفت. سپس درختان قطع شدند و اندازه‌گیری‌های سرعت موج تنش بر روی گرده‌بینه‌ها نیز انجام شد. گرده‌بینه‌ها بعد از قطع، به مدت ۲ ماه به منظور کاهش مقدار رطوبت نگهداری و سپس به آزمون‌های کوچک برای انجام آزمون خمش استاتیکی و محاسبه  $MOE$  مطابق استاندارد ASTM تبدیل شدند. نتایج نشان دادند که سرعت موج تنش و  $MOE_d$  در جهت طولی در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها بیش از جهت عرضی درخت سرپا می‌باشد. همچنین، سرعت موج تنش و  $MOE_d$  در گرده‌بینه‌ها بیشتر از درختان سرپا در هر دو جهت می‌باشد. سرانجام، آنالیز رگرسیونی نشان داد که ضریب همبستگی  $MOE_d$  درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در کلاسه قطری ۳۵-۳۰ در جهت عرضی ( $r=0/94$ ) می‌باشد، که به طور آماری معنی‌دار است.

**واژگان کلیدی:** مدول الاستیسیته دینامیکی، مدول الاستیسیته استاتیکی، آزمون غیرمخرب موج تنش

محراب مدهوشی<sup>۱\*</sup>  
سهیلا دانشور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار و آکارشناس ارشد، گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مسئول مکاتبات:  
mmadhoushi@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۰۱

### مقدمه

در حل مسائل کاربردی بدون تخریب درختان ضروری می‌باشد. تکنیک‌های (NDT) برپایه انتقال موج تنش و اندازه‌گیری سرعت آن در دو دهه گذشته برای پیش‌بینی خصوصیات مکانیکی فرآورده‌های چوبی و درختان سرپا،

تعیین کیفیت و معایب در چوب درختان سرپا یکی از مهمترین عملیات در صنایع چوب و جنگلداری است. در این راستا ارزیابی غیرمخرب (NDT) درختان سرپا اساساً

گرده‌بین‌ها، الوار و نمونه‌های چوبی کوچک و غیره توسعه و در برنامه‌های درجه‌بندی محصولات چوبی و در مدیریت جنگلداری (در جهت تصمیم‌سازی مدیریتی درست و افزایش کیفیت چوب) در درختان سرپا به کار گرفته شده‌است.

ارزیابی غیرمخرب مواد، علم تشخیص و شناسایی خصوصیات فیزیکی قسمتی از ماده بدون تغییر در ویژگی‌های کلی آن می‌باشد. روش‌های غیرمخرب مورد استفاده برای تشخیص پوسیدگی چوب، خصوصیات مکانیکی و معایب آن علاوه بر دقت و قابل اعتماد بودن، سریع، آسان، ارزان و قابل کاربرد در ارزیابی‌های میدانی می‌باشند. در طول ۳۰ سال گذشته، محققان آزمایشگاه فرآورده‌های جنگلی آمریکا (FPL) تجهیزات (NDT) را در دامنه گسترده‌ای از کاربردها جهت درجه‌بندی الوارهای ساختمانی، ارزیابی در محل و بررسی ویژگی‌های مکانیکی اعضا و قسمت‌های چوبی در یک سازه را توسعه و گسترش داده‌اند. تکنیک‌های آزمون غیرمخرب چوب نسبت به سایر مواد همگن، اختلاف بسیاری دارد. آزمون‌های غیرمخرب جهت شناسایی اتصال، شکاف‌ها و تعیین خواص مکانیکی می‌باشد. به دلیل اینکه چوب ماده‌ای طبیعی است، ممکن است معایبی در اثر عوامل طبیعی در آن به‌وجود آید. تکنیک‌های غیرمخرب جهت اندازه‌گیری معایبی که در اثر عوامل طبیعی به‌وجود می‌آیند و تأثیر آنها در اعضای چوبی و نیز تعیین ویژگی‌های مکانیکی چوب درختان و گرده‌بین‌ها در حال توسعه و پیشرفت می‌باشد. تلاش‌های فراوانی برای توسعه روش‌های آزمون غیرمخرب به عمل آمده‌است تا خصوصیات اصلی منحصر به فرد چوب را در درختان سرپا و استحصال شده ارزیابی کنند [۱ و ۲]. یکی از این روش‌های مهم و تجاری موج تنش می‌باشد. تکنیک‌های ارزیابی غیرمخرب موج تنش برای مواردی چون آزمایشات و بازرسی در محل مورد استفاده قرار می‌گیرد که به عنوان مکملی در پروسه‌های بازرسی بصری در نظر گرفته می‌شود [۳]. انتشار موج در چوب یک فرآیند دینامیکی بوده که خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب را به هم ارتباط می‌دهد. امواج گوناگونی توانایی انتشار در ساختار چوب را دارند، نظیر امواج طولی، برشی و سطحی. که در این بین، امواج طولی قدرت انتشار سریعتر و بیشتری در چوب دارد و برای ارزیابی

خصوصیات چوب به کار می‌رود. تکنیک موج تنش می‌تواند در تعیین کیفیت چوب درختان و گرده‌بین‌ها به کار رود. مطالعات گوناگون رابطه رگرسیونی خوبی (۰/۴۴- $R^2=0/89$ ) را بین سرعت موج تنش و مدول الاستیسیته (MOE) در درختان، گرده‌بین‌ها و مدول الاستیسیته استاتیکی در الوار تهیه شده از گرده‌بین‌ها نشان می‌دهند [۴]. اواخر دهه ۱۹۶۰ با استفاده از آزمون غیرمخرب موج تنش، معایب (گره و پیچیدگی الیاف و غیره) و بیماری‌های چوب از جمله پوسیدگی، حمله حشرات و مورانه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. مطالعات نشان می‌دهد که مسیر انتشار موج تنش از طریق ماده دیواره سلولی بوده و حضور گره سبب کاهش سرعت انتشار موج تنش در چوب می‌شود، به‌طوریکه سرعت عبور آن از میان گره‌ها و الیاف پیچیده حوالی گره‌ها آهسته است [۵ و ۶]. مطالعات همچنین حاکی از تأثیر عوامل مختلف بر سرعت موج تنش است. به عنوان نمونه بررسی‌ها حاکی از این هستند که افزایش دما و رطوبت سبب کاهش سرعت موج تنش و مدول الاستیسیته دینامیکی در درختان سرپا و گرده بین‌ها می‌شود [۱، ۷ و ۸]. همچنین تأثیر سن و قطر درختان بر روی سرعت انتشار موج تنش از موارد مورد بحث می‌تواند باشد که در این ارتباط نتایج مطالعات نشان می‌دهد با افزایش سن درخت، سرعت موج تنش افزایش می‌یابد و همچنین خصوصیات مکانیکی و سفتی درختان با افزایش سن و قطر درخت افزایش می‌یابد [۹-۱۳].

مطالعات بر روی تأثیر جهات الیاف چوب و همچنین جهت جغرافیایی بر روی سرعت انتشار موج نشان داد که سرعت انتشار موج تنش در جهت طولی به دلیل توجیه طولی الیاف در این جهت و بیشتر بودن ماده در مسیر انتقال موج نسبت به جهت عرضی سریع‌تر می‌باشد و در جهت عرضی نیز در دو سطح مختلف شمالی و جنوبی یک درخت نسبتاً ثابت و یکسان بوده و تفاوت کمی با هم دارند که این تفاوت ناچیز می‌تواند به معایب طبیعی ساقه، شاخه یا حضور چوب فشاری در یک طرف درخت مربوط شود.

همچنین سرعت انتشار موج تنش در جهت مماسی در مقایسه با جهت شعاعی ۳۰٪ کمتر بوده که علت آن می‌تواند برخورد بیشتر امواج با دیواره عناصر طولی در جهت شعاعی باشد [۱۰، ۱۴ و ۱۵].

این آزمون روشی سریع و در عین حال غیرمخرب در مطالعه خصوصیات مکانیکی و پوسیدگی درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها می‌باشد.

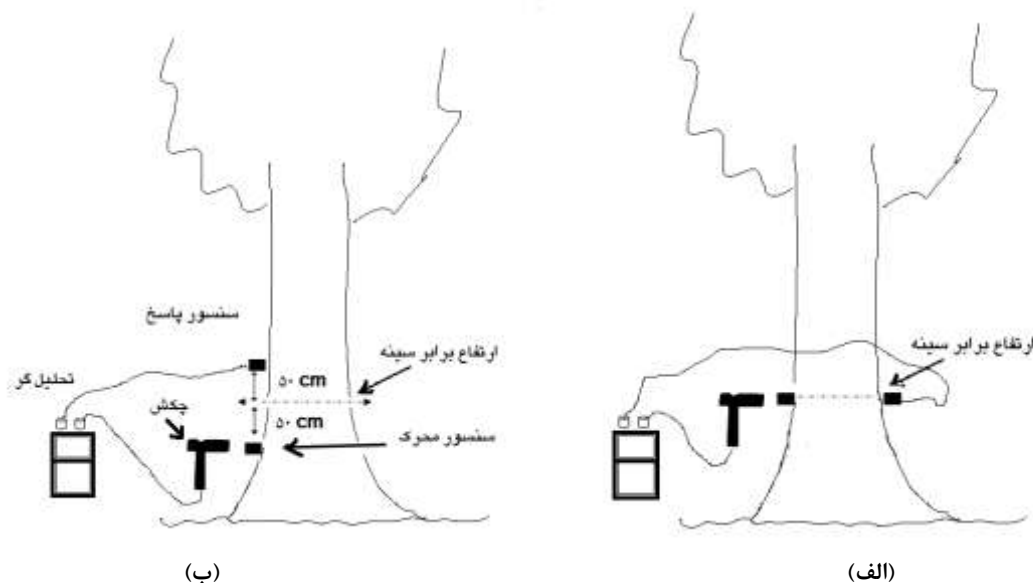
هدف اصلی این مقاله تعیین رابطه بین مدول الاستیسیته دینامیکی درختان سرپا و استحصال شده صنوبر دلتوئیدس با مدول الاستیسیته استاتیکی نمونه‌های استحصال شده با استفاده از آزمون غیرمخرب موج تنش می‌باشد. لازم به یادآوری است تاکنون مطالعه مشابه‌ای در داخل کشور در این خصوص گزارش نشده‌است.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه ۱۰ اصله درخت ظاهراً سالم گونه صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) در دو کلاسه قطری ۳۰-۳۵ و ۲۵-۳۰ سانتی‌متر از جنگل شصت کلاته گرگان انتخاب شدند. بررسی سرعت موج تنش و مدول الاستیسیته دینامیکی در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در سه مرحله انجام گرفت که عبارتند از: مرحله اول: مطالعه بر روی درختان سرپا در جهت طولی و عرضی (شمال-جنوب و شرق-غرب) (شکل ۱)؛ مرحله دوم: مطالعه بر روی گرده‌بینه‌های تهیه شده از درختان در همین جهات (شکل ۲) و مرحله سوم: استفاده از آزمون مخرب خمش استاتیکی بر روی الوار تهیه شده از گرده‌بینه‌ها.

همچنین نتایج مطالعات انجام شده در خصوص تفاوت زمان انتقال سرعت موج در گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ نشان می‌دهد که سرعت موج در گونه‌های پهن‌برگ نسبت به گونه‌های سوزنی‌برگ سریع‌تر می‌باشد. به طور مثال، سرعت صوت در درخت افرا سالم ۱۶۰۰-۱۰۰۰ متر بر ثانیه و برای درختان دوگلاس فر ۱۳۰۰-۹۰۰ متر بر ثانیه است [۲].

با استفاده از روش آزمون غیرمخرب موج تنش، مطالعاتی نیز در رابطه با تأثیر پوسیدگی بر مدول الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی چوب درختان انجام شد. به عنوان مثال، بررسی تأثیر پوسیدگی بر روی گونه راش در ایران در شرایط خاک غیر استریل و تحت شرایط کنترل شده نشان داد که عوامل متغیر اندازه‌گیری شده در برابر پوسیدگی حساسیت متفاوتی دارند و به طور نسبی، عامل کاهش وزن، کمترین تغییرات و کاهش مدول الاستیسیته استاتیکی، بیشترین تغییرات را دارا هستند و در این میان مدول الاستیسیته دینامیکی طولی شاخص مناسبی برای تشخیص پوسیدگی به خصوص در مراحل اولیه پوسیدگی است [۱۶]. به‌طور کلی می‌توان گفت که کاربرد آزمون غیرمخرب در سال‌های اخیر در رابطه با مطالعه خصوصیات مکانیکی درختان سرپا و گرده‌بینه و الوار در سرتاسر جهان توسعه یافته‌است. به همین دلیل با توجه به کمبود چوب و کاهش تخریب چوب درختان به منظور مطالعه خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چوب آنها،



شکل ۱- اندازه‌گیری سرعت موج تنش در (الف) جهت عرضی، (ب) جهت طولی درختان سرپای نمونه



شکل ۲- اندازه‌گیری در جهت طولی در گرده‌بینه‌های استحصالی از درختان نمونه

گرده‌بینه‌هایی به طول ۱ متر تبدیل شدند (گرده‌بینه‌ها از ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر بالا و پایین ارتفاع برابر سینه انتخاب شدند). اندازه‌گیری سرعت موج تنش بر روی گرده‌بینه‌های تهیه شده از درختان سرپا در همان ارتفاع برابر سینه و به همان شیوه اندازه‌گیری در درختان سرپا، در دو جهت عرضی (شمال-جنوب و شرق-غرب) و جهت طولی انجام گرفت.

بعد از اتمام اندازه‌گیری‌ها برای محاسبه مدول الاستیسیته دینامیکی ( $MOE_d$ ) از معادله ۱ استفاده شده است:

$$MOE_d = C^2 \rho \quad \text{معادله ۱-}$$

$$C = \text{سرعت موج تنش (m/s)}$$

$$\rho = \text{دانشیته (Kg/m}^3\text{)}$$

در مرحله سوم، گرده‌بینه‌ها پس از انجام آزمون غیرمخرب موج تنش (آزمون دینامیکی) به مدت ۲ ماه به منظور کاهش مقدار رطوبت نگهداری شدند. سپس، به منظور انجام آزمون خمش استاتیکی مطابق استاندارد ASTM D143 به آزمون‌های کوچک به ابعاد  $5 \times 5 \times 76$  سانتی‌متر تبدیل شدند و مورد آزمون خمش استاتیک قرار گرفتند.

مدول الاستیسیته استاتیکی ( $MOE_s$ ) آزمون‌ها با استفاده از معادله ۲ برآورد شده است.

برای اندازه‌گیری سرعت موج تنش بر روی درختان از دستگاه چکش الکترونیکی شرکت IML<sup>TM</sup> که شامل دو پیچ محرک (چکش) و پاسخ (دریافت‌کننده) و دو سنسور (حسگر) محرک و پاسخ و یک تحلیل‌گر و یک چکش دستی الکترونیکی است استفاده شده است. در مرحله اول، برای اندازه‌گیری سرعت موج تنش بر روی درختان سرپا در دو جهت عرضی (شمال-جنوب و شرق-غرب) و نیز جهت طولی ابتدا ارتفاع برابر سینه ۱۳۰ سانتی‌متر مشخص شد. برای اندازه‌گیری در جهت عرضی (شمال-جنوب و شرق-غرب) در ارتفاع برابر سینه پیچ و سنسورهای (حسگر) محرک و پاسخ، یک‌بار در جهت شمال-جنوب و بار دیگر در جهت شرق-غرب نصب گردیدند. بعد از اتمام نصب سنسورها بر روی درخت جهت ذکر شده، برای ایجاد موج تنش ضرباتی به انتهای پیچ چکش وارد شد و سیگنال‌های ایجاد شده از ضربه چکش توسط پیچ دریافت‌کننده، دریافت شده و سپس با استفاده از سنسور پاسخ، امواج دریافت شده به تحلیل‌گر منتقل شد و به صورت سرعت موج در تحلیل‌گر ثبت شد. برای اندازه‌گیری در جهت طولی نیز ۵۰ سانتی‌متر بالا (۱۸۰ سانتی‌متر) و پایین ارتفاع برابر سینه (۸۰ سانتی‌متر) برای نصب سنسورها مشخص شد. در اندازه‌گیری سرعت موج تنش در جهت طولی فاصله دو سنسور محرک و پاسخ در تمام درختان ثابت می‌باشد. در مرحله دوم، بعد از اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی درختان سرپا، درختان مربوطه قطع شدند و به

انتشار خود می‌باشند [۱۳]. همچنین جدول ۱ نشان می‌دهد که سرعت موج تنش و میانگین مدول الاستیسیته دینامیکی در گرده‌بینه‌ها نسبت به درختان سرپا در هر دو جهت بیشتر می‌باشد. این افزایش به این دلیل است که رطوبت، عاملی در کاهش سرعت موج در درختان سرپا می‌باشد و میزان آن در درختان سرپا نسبت به گرده‌بینه‌ها بیشتر بوده‌است، این نتایج مطابق با نتایج Brashaw و همکاران (۲۰۰۴) می‌باشد. آنها دریافته‌اند که عامل رطوبت باعث کاهش سرعت موج تنش در چوب درختان و لایه‌های چوبی (درون چوب و برون چوب) می‌شود [۷].

### تأثیر کلاسه قطری در سرعت موج تنش در

#### جهت عرضی

تأثیر دو کلاسه قطری ۳۰-۲۵ و ۳۵-۳۰ بر روی سرعت موج تنش در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده‌است. با توجه به شکل، ملاحظه می‌شود که با افزایش قطر، سرعت موج تنش در جهت عرضی در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها افزایش می‌یابد. پس می‌توان نتیجه گرفت که سرعت موج تنش در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در کلاسه قطری ۳۵-۳۰ نسبت به کلاسه قطری ۳۰-۲۵ بیشتر می‌باشد. بنابراین، مدول الاستیسیته دینامیکی نیز در کلاسه قطری ۳۵-۳۰ از کلاسه قطری ۳۰-۲۵ بیشتر خواهد بود. این نتایج با یافته‌های Wang و همکاران (۲۰۰۳ و ۲۰۰۷) و همچنین Ishiguri و همکاران (۲۰۱۳) مطابق می‌باشد. آن‌ها دریافته‌اند که با افزایش قطر و سن، سرعت موج تنش در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها افزایش می‌یابد [۱۱-۱۳].

### ضریب همبستگی مدول الاستیسیته دینامیکی

#### در جهت عرضی و طولی

ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در جهت عرضی و طولی در دو کلاسه قطری ۳۵-۳۰ و ۳۰-۲۵ در جدول ۲ نشان داده شده‌است. ملاحظه می‌شود که مقدار ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در جهت عرضی در کلاسه قطری ۳۵-۳۰ نسبت به کلاسه قطری ۳۰-۲۵ بیشتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که ضریب همبستگی بین مدول

$$MOE_s = \frac{P_{pl}L^3}{4\Delta_{pl}bh^3}$$

معادله ۲-

$P_{pl}$  - بار حد تناسب (N)

$\Delta_{pl}$  - تغییر مکان حد تناسب (m)

L - دهانه تیر (m)

به منظور تحلیل آماری و بررسی اختلاف معنی‌دار بین متغیرهای مختلف و تعیین همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی و مدول الاستیسیته استاتیکی از نرم‌افزار SPSS و آزمون ضریب همبستگی استفاده شده‌است. همچنین با استفاده از تجزیه واریانس یک طرفه، داده‌ها بررسی شدند.

### نتایج و بحث

#### سرعت موج تنش و مدول الاستیسیته دینامیکی

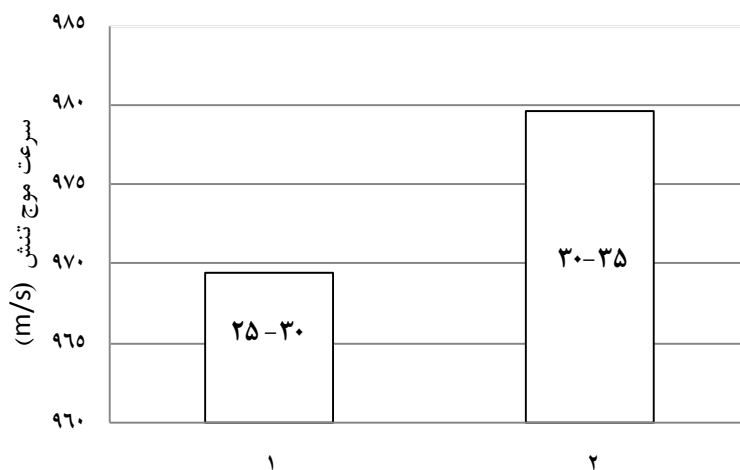
جدول ۱ میانگین سرعت موج تنش و میانگین مدول الاستیسیته دینامیکی را در دو جهت عرضی و طولی نشان می‌دهد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول، ملاحظه می‌شود که میانگین سرعت موج تنش در دو جهت عرضی (شمال - جنوب) و (شرق - غرب) در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. که این نتایج مطابق با نتایج Moore و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد. آن‌ها دریافته‌اند که سرعت موج تنش اندازه‌گیری شده در دو سطح مخالف تنه درخت به طور ثابت و یکسان بوده و تفاوت کمی با هم دارند که این تفاوت به دلیل ساقه، شاخه یا حضور چوب واکنشی در یک درخت بوده‌است [۱۴]. همچنین نتایج نشان می‌دهد که میانگین سرعت موج تنش و میانگین مدول الاستیسیته دینامیکی در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در جهت طولی بیشتر از میانگین سرعت موج تنش و میانگین مدول الاستیسیته دینامیکی در جهت عرضی می‌باشد. سرعت موج تنش در جهت طولی به دلیل هم‌راستا بودن موج با جهت محور الیاف، نسبت به جهت عرضی بیشتر می‌باشد، این نتایج مطابق با نتایج Wang و همکاران (۲۰۰۷) می‌باشد. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که، سرعت و نوسان ذرات در امواج طولی، موازی با جهت انتشار موج می‌باشد، اما در جهت عرضی یا موج برشی، نوسان ذرات انتشاردهنده موج، عمود بر جهت

(۲۰۰۳) مطابقت دارد. آن‌ها دریافته‌اند که بین مدول الاستیسیته دینامیکی درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها، رابطه خوبی با مقدار همبستگی  $R^2 = 0/92$  وجود دارد [۱۲].

الاستیسیته دینامیکی درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در جهت طولی در کلاسه قطری ۲۵-۳۰ نسبت به کلاسه قطری ۳۰-۳۵ بیشتر می‌باشد. همچنین قابل ذکر است که این مقدار همبستگی نسبت به مقدار همبستگی در جهت عرضی کم‌تر می‌باشد. این نتایج با نتایج Wang و همکاران

جدول ۱- میانگین سرعت موج تنش و میانگین مدول الاستیسیته دینامیکی در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها

مدول الاستیسیته دینامیکی (MPa)		سرعت موج (m/s)		
گرده بینه	درختان سرپا	گرده بینه	درختان سرپا	
۴۹۹/۳	۳۸۲/۹	۱۱۰۹/۲	۹۸۸/۲	جهت عرضی (شمال-جنوب)
۴۴۳/۳	۳۹۲/۷	۱۰۵۷/۵	۱۰۰۰/۵	جهت عرضی (شرق-غرب)
۶۷۹۰/۸	۲۹۰۳	۴۱۵۲/۸	۲۷۰۳/۶	جهت طولی



شکل ۳- نمودار سرعت موج تنش در دو کلاسه قطری ۲۵-۳۰ و ۳۰-۳۵ در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در جهت عرضی

جدول ۲- مقدار ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی (MPa) در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها

کلاسه قطری (cm)						درختان سرپا (متغیر مستقل) گرده‌بینه‌ها (متغیر وابسته)
۳۰-۳۵			۲۵-۳۰			
رابطه	r	R <sup>2</sup>	رابطه	r	R <sup>2</sup>	
$Y = -2/851 X + 0/1693$	0/94*	0/88	$Y = 1/825 X - 257/7$	0/61	0/37	جهت عرضی
$Y = 0/492 X + 5337$	0/34	0/119	$Y = -1/130 X + 9950$	0/45	0/203	جهت طولی

\* معنی داری همبستگی در سطح ۱ درصد

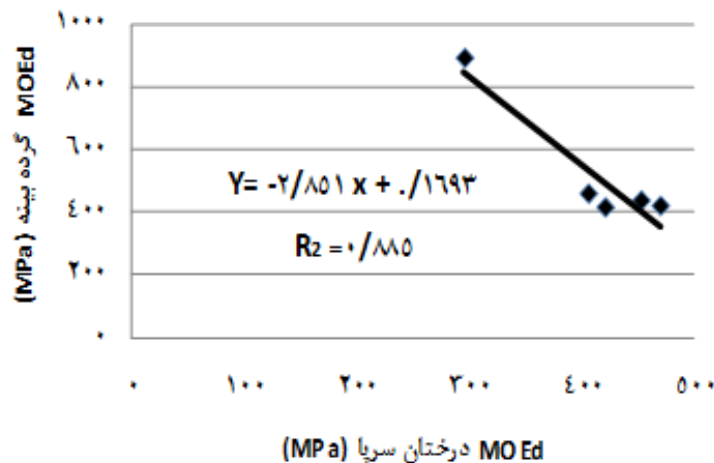
در کلاسه قطری ۳۵-۳۰ در سطح ۱ درصد معنی دار می‌باشد.

شکل ۴ نمودار پراکنش مدول الاستیسیته دینامیکی در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در کلاسه قطری ۳۵-۳۰ در جهت عرضی را نشان می‌دهد.

جدول ۳ تجزیه واریانس، مقدار همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها را در جهت عرضی در کلاسه قطری ۳۵-۳۰ نشان می‌دهد. با توجه به جدول مشخص می‌شود که ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها

جدول ۳- تجزیه واریانس مقدار همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در کلاسه قطری ۳۵-۳۰ در جهت عرضی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	محاسباتی F	سطح معنی داری
رگرسیون	۱	۱۵۱۰۹۶	۱۵۱۰۹۶	۲۳/۱۸	۰/۰۱۷
خطا	۳	۱۹۵۵۳	۶۵۱۸		
کل	۴	۱۷۰۶۴۹			



شکل ۴ - نمودار پراکنش مدول الاستیسیته دینامیکی (MPa) در درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها در کلاسه قطری ۳۵-۳۰ در جهت عرضی

همچنین جدول ۵ مقدار ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی گرده‌بینه‌ها و مدول الاستیسیته استاتیکی را نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات موجود، مقدار ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی گرده‌بینه‌ها و مدول الاستیسیته استاتیکی در جهت عرضی و طولی در کلاسه قطری ۳۰-۲۵ سانتی‌متر نسبت به کلاسه قطری ۳۵-۳۰ سانتی‌متر بیشتر است. این نتایج با نتایج Wang و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. آنها دریافته‌اند که رابطه خوبی با مقدار همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی (درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها) و مدول الاستیسیته استاتیکی چوب آنها وجود دارد [۱۷].

#### ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی

جدول ۴ مقدار ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی درختان سرپا و مدول الاستیسیته استاتیکی چوب استحصال شده در دو کلاسه قطری ۳۰-۲۵ و ۳۵-۳۰ سانتی‌متر در جهت عرضی و طولی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، مقدار همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی در جهت عرضی در کلاسه قطری ۳۰-۲۵ سانتی‌متر نسبت به کلاسه قطری ۳۵-۳۰ بیشتر می‌باشد، اما ضریب همبستگی بین این دو متغیر در جهت طولی، در کلاسه قطری ۳۵-۳۰ سانتی‌متر نسبت به کلاسه قطری ۳۰-۲۵ بیشتر می‌باشد.

جدول ۴- مقدار ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی درختان سرپا و مدول الاستیسیته استاتیکی چوب

درختان سرپا (متغیر مستقل)						MOEs (متغیر وابسته)
کلاسه قطری (cm) ۳۰-۳۵			کلاسه قطری (cm) ۲۵-۳۰			
رابطه	r	R <sup>2</sup>	رابطه	r	R <sup>2</sup>	
$Y = -2/149X - 9367$	۰/۲۳	۰/۰۵۳	$Y = 25/97X - 225/4$	۰/۶۴	۰/۴۱۷	در جهت عرضی
$Y = 0/338X + 0/7477$	۰/۵۴	۰/۲۹۴	$Y = 0/1040X + 9432$	۰	۰	در جهت طولی

جدول ۵- مقدار همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی در گرده‌بینه‌ها و مدول الاستیسیته استاتیکی چوب

درختان سرپا (متغیر مستقل)						MOEs (متغیر وابسته)
کلاسه قطری (cm) ۳۰-۳۵			کلاسه قطری (cm) ۲۵-۳۰			
رابطه	r	R <sup>2</sup>	رابطه	r	R <sup>2</sup>	
$Y = 0/614X + 8164$	۰/۲	۰/۰۴	$Y = 9/411X + 5430$	۰/۶۹	۰/۴۸۴	در جهت عرضی
$Y = -0/065X + 0/1935$	۰/۱۴	۰/۰۲۲	$Y = -0/57X + 13176$	۰/۵۵	۰/۳۱۳	در جهت طولی

## نتیجه‌گیری

در جهت عرضی در کلاسه قطری ۳۰-۳۵ سانتی‌متر نسبت به کلاسه قطری ۲۵-۳۰ سانتی‌متر بیشتر است. ۵. مقدار ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی (درختان سرپا و گرده‌بینه‌ها) گونه صنوبر دلتوئیدس و مدول الاستیسیته استاتیکی در جهت عرضی در کلاسه قطری ۲۵-۳۰ سانتی‌متر نسبت به کلاسه قطری ۳۰-۳۵ سانتی‌متر بیشتر است. ۶. کلاسه قطری گونه صنوبر بر مقدار ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی و مدول الاستیسیته استاتیکی در جهت طولی تأثیر چندانی ندارد و مقدار همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی و مدول الاستیسیته استاتیکی در جهت طولی کم می‌باشد.

۱. سرعت موج تنش و مدول الاستیسیته دینامیکی در گرده‌بینه‌های صنوبر دلتوئیدس نسبت به درختان سرپا در هر دو جهت طولی و عرضی بیشتر است. ۲. سرعت موج تنش و مدول الاستیسیته دینامیکی در درختان سرپا و گرده‌بینه‌های صنوبر دلتوئیدس در جهت طولی بیشتر از جهت عرضی است. ۳. سرعت موج تنش در درختان سرپا و گرده‌بینه‌های صنوبر دلتوئیدس در جهت عرضی در کلاسه قطری ۳۰-۳۵ سانتی‌متر نسبت به کلاسه قطری ۲۵-۳۰ سانتی‌متر بیشتر است. ۴. مقدار ضریب همبستگی بین مدول الاستیسیته دینامیکی درختان سرپای صنوبر دلتوئیدس و گرده‌بینه‌ها

## مراجع

- [1] Wang, X., 2013. Acoustic measurements on trees and logs: a review and analysis. Wood Science and Technology 47(5): 965-975.
- [2] Wang, X., Wiedenbeck, J., Ross, R.J., Forsman, J.W., Erickson, J.R. Pilon, C. and Brashaw, B.K., 2005. Nondestructive evaluation of incipient decay in hardwood logs. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-162. Madison, WI: USDA. Forest Service, FPL.11p.
- [3] Ross, R.J. and Pellerin, R.F., 1994. Nondestructive testing for assessing structures: A review. Gen. Tech. R ep. FPL-GTR-70 (Rew). Madison, WI, USDA, Forest product Laboratory 40p.



- [4] Wang, X., Ross, R.J., McClellan, M., Erickson, J.R., Forsman, J.W. and McGinnis, G.D., 2000. Strength and stiffness assessment of standing trees using a nondestructive stress wave technique. Res. Pap. FPL-RP-585. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Product Laboratory 9p.
- [5] Chung, S.T., 1999. Study on the quality evaluation of lumber and standing trees under different silvicultural treatments by using stress wave and ultrasonic wave methods. Doctor's thesis, Department of Forestry, National Taiwan University 117p.
- [6] Gerhards, C.C., 1981. Effect of cross grain on stress wave in lumber. Res. Pap. FPL-RP-368. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- [7] Brashaw, B.K., Wang, X., Ross, R.J. and Pellerin, R.F., 2004. Relationship between stress wave velocities of green and dry veneer. Forest Product Journal 54(6): 85-89.
- [8] Carter, P., Briggs, D., Ross, R.J. and Wang, X., 2005. Acoustic testing to enhance western forest values and meet customer wood quality needs. In: Proc. Productivity of western forests: A forest products focus. USDA Forest Service, Sept. 20-23, Kamiche, WA.
- [9] Grabianowski, M., Manley, B. and Walker, J.C.F., 2006. Acoustic measurements on standing trees, logs and green lumber. Wood Science and Technology 40: 205-216.
- [10] Hasegawa, M., Takata, M., Matsumura, J., and Oda, K., 2011. Effect of wood properties on within-tree variation in ultrasonic wave velocity in softwood. Ultrasonics 51(3): 296-302.
- [11] Ishiguri, F., Diloksumpun, S., Tanabe, J., Iizuka, K., and Yokota, S., 2013. Stress-wave velocity of trees and dynamic Young's modulus of logs of 4-year-old *Eucalyptus camaldulensis* trees selected for pulpwood production in Thailand. Journal of Wood Science 59(6): 506-511.
- [12] Wang, X., Ross, R.J., Brashaw, B.K., Panches, J., Erickson, R.J., Forsman, J.W. and Pellerin, R.F., 2003. Diameter effect on stress wave evaluation of modulus of elasticity of logs. Wood and Fiber Science 36(3): 368-377.
- [13] Wang, X., Ross, R.J. and Carter, P., 2007. Acoustic evaluation of wood quality in standing trees. Wood and Fiber Science 39(1): 28-38.
- [14] Moore, R.J., Lyon, A.J., Searles, G.J. and Vihermaa, L.E., 2009. The effects of site and stand factors on the tree and wood quality of sitka spruce growing in the united kingdom. Silva Fennica 43(3): 383-396.
- [15] Yamamoto, K. and Sulaiman. O., 1998. Nondestructive detection of heart rot of *Acacia mangium* trees in Malaysia. Forest Product Journal 48(3): 83-86.
- [16] Madhoushi, M. and Hashemi, M., and Behzad, M. 2008. Evaluation the effects of decay on dynamic modulus of elasticity and static modulus of elasticity of wood in beech using stress wave NDT. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 15(3): 176-183. (In Persian).
- [17] Wang, X., Ross, R.J., Green, D.W., Brashaw, B., Englund, K. and Wolcott, M., 2004. Stress wave sorting of red maple logs for structural quality. Wood Science and Technology 37: 531-537.

## Evaluation of Modulus of Elasticity in Standing Trees and Sawn Wood in *Populus deltoides* using Nondestructive Stress Wave Testing

### Abstract

The aim of this paper was to evaluate relationship between dynamic modulus of elasticity ( $MOE_d$ ) in healthy standing trees of *Populus deltoides* and static modulus of elasticity (MOEs) of sawn lumber from the same standing trees, using nondestructive stress wave testing (NDT). For this purpose, NDT stress wave technique was used. The study was performed on 10 healthy standing trees of *Populus deltoides*. The diameter of trees at the breast height was selected at two categories, namely 25-30 cm and 30-35 cm. Measurement of wave velocity in standing trees were done transversely in radial direction at two geographical directions as North-South and East-West at the breast height, namely 130 cm and longitudinal measurements were done on the height between 80 and 180 cm. Then, standing trees were cut following by measurements of wave velocity in their logs. Logs were kept for two months after cutting in order to reduce moisture content. Then, they were cut into the clear specimens for statistical bending test and their MOE were evaluated according to ASTM standard. The results showed that the stress wave velocity and dynamic modulus of elasticity in longitudinal direction of standing trees and logs were more than those in transverse directions. Also, stress wave velocity and dynamic modulus of elasticity of the logs were higher than those in their standing trees at both directions. Finally, regression analysis indicated that the correlation coefficient between  $MOE_d$  in standing trees and logs at diameter 30-35 cm is ( $r=0.94$ ), which is statistically significant.

**Keywords:** Dynamic modulus of elasticity, Static modulus of elasticity, NDT stress wave

**M. Madhoushi<sup>1\*</sup>**  
**S. Daneshvar**

<sup>1</sup>Associate Professor, <sup>2</sup> Former MSc student, Department of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources

Corresponding author:  
mmadhoushi@hotmail.com

Received: 2012.12.01  
Accepted: 2014.01.21