

بررسی رفتار آکوستیکی چوب های واکنشی با استفاده از تکنیک امواج فراصوتی (مطالعه موردی: چوب نوئل و صنوبر)

محمد علی سعادت نیا^{۱*}، علی اکبر عنایتی^۲، لویک بقانشو^۳، کامبیز پور طهماسی^۴ و فرهنگ هنرور^۵

*۱- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا بهبهان

پست الکترونیک: m_saadatnia92@yahoo.com

۲- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران

۳- استادیار گروه مکانیک دانشگاه مونتهپلیر

۴- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران

۵- دانشیار گروه مکانیک دانشگاه خواجه نصیر

تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۱

تاریخ دریافت: فروردین ۱۳۹۰

چکیده

در این تحقیق شاخص‌هایی از امواج نظیر سرعت فاز، سرعت گروه و ضریب تضعیف در چوب‌کشی و چوب‌فشاری دو گونه صنوبر و نوئل اندازه‌گیری شده و نتایج با چوب نرمال مجاور آنها مقایسه شده است. بدین طریق رفتار آکوستیکی چوب‌های واکنشی دو گونه مذکور مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که سرعت فاز بین چوب‌کشی و نرمال صنوبر در هر یک از سه جهت اصلی (طولی، شعاعی و مماسی) تفاوت معنی‌داری نداشته است. ولی در چوب‌فشاری نوئل در جهت طولی سرعت موج کمتر و در جهت عرضی آن نسبت به چوب نرمال مجاورش بیشتر است. سرعت گروه به‌عنوان شاخص سرعت انتقال انرژی موج در چوب‌کشی و نرمال صنوبر نیز یکسان، ولی این سرعت در جهت طولی چوب نرمال نوئل بیشتر از چوب‌فشاری است و در جهت عرضی تفاوت معنی‌داری بین سرعت گروه در چوب‌فشاری و نرمال نوئل مشاهده نشد. البته ضریب تضعیف چوب‌واکنشی هر دو گونه تقریباً پایین‌تر از چوب نرمال است. به طوری که در بین عوامل اندازه‌گیری شده، گسیل آکوستیکی در چوب‌کشی و فشاری هر دو گونه همبستگی معنی‌داری با دانسیته داشت.

واژه‌های کلیدی: چوب‌کشی، چوب‌فشاری، رفتار آکوستیکی، سرعت فاز، ضریب تضعیف.

مقدمه

زمین‌های شیب دار رشد می‌کنند و یا در معرض باد دائمی قرار دارند و تشکیل آن همراه با تحریکات هورمونی می‌باشد. چوب‌واکنشی گونه‌های پهن‌برگ چوب‌کشی^۲ نامیده می‌شود و در قسمت فوقانی تنه و

چوب‌واکنشی^۱ در پاسخ به تنش‌های مختلف رشد در درخت سرپا تشکیل شده و از جمله معایب طبیعی درخت است. این عیب بیشتر در درختانی وجود دارد که در

به شناسایی ناحیه چوب واکنشی کمک می کند. مطالعات انجام شده در رابطه با استفاده از امواج فراصوتی برای شناسایی چوب واکنشی، محدود به اندازه گیری عامل سرعت طولی بوده است و تعداد این مطالعات نیز بسیار اندک است.

هام و لام (۱۹۸۹) با استفاده از منحنی کندی^۴ و اندازه گیری سرعت طولی و عرضی، چوب فشاری را در الوار تازه بریده شده هملاک غربی شناسایی کردند. فینی و همکاران (۱۹۸۷) که در تحقیق خود بدنبال ارزیابی کیفی چوب نوتل بودند به این نتیجه رسیدند که سرعت موج در جهت طولی در چوب فشاری کمتر از چوب نرمال است. بوکور و همکاران (۱۹۹۱) از امواج با فرکانس ۴۵ کیلوهرتز برای شناسایی چوب فشاری کاج، دوگلاس فر و راش استفاده کردند. آنها نیز تأیید کردند که سرعت موج در چوب فشاری کمتر و علت آن را با کاهش طول الیاف و افزایش زاویه میکروفیبریل توجیه نمودند. این در حالیکه عامل سرعت موج نسبت به چوب کششی راش پاسخ خوبی نداد. استفاده از تصاویر حاصل از اسکن مقطع عرضی (توموگرافی^۵) برای نشان دادن چوب فشاری توسط بوکور معرفی شده است (Bucur, 2003a).

در این تحقیق رفتار آکوستیکی چوب دو گونه صنوبر و نوتل مورد مطالعه قرار گرفت. هر دو گونه مورد مطالعه دارای چوب سبک و بافت یکدست و یکنواخت می باشند و به تشکیل چوب واکنشی حساس هستند (Sunderlik et al., 1992). همچنین سعی شد تا همراه با اندازه گیری سرعت فاز (اولین نقطه بالای سطح نوفه در سیگنال دریافتی) (Beal, 2002)، دیگر عامل های مهم موج

شاخه های خمیده و چوب واکنشی سوزنی برگان به نام چوب فشاری^۱ در قسمت تحتانی تنه خمیده تشکیل می شود. معمولاً تنه (ساقه) چنین درختانی دارای برون مرکزی هستند (Carlquist, 1988).

معمولاً چوب های واکنشی در دانسیته و رطوبت بالاتر مقاومت های مکانیکی بالاتری دارند ولی بر اثر از دست دادن رطوبت و کاهش اختلاف دانسیته به یک قسمت ضعیف چوب تبدیل می شوند. چنین چوب ضعیفی با رفتارهای کاملاً متفاوت نسبت به چوب نرمال ناهمگنی در چوب را تشدید می کند (Green et al., 1999). بنابراین شناسایی درست رفتار این نوع چوب ها می تواند اطلاعات مفیدی برای کاربرد آن فراهم کند. شناسایی ناحیه واکنشی می تواند با استفاده از مشاهده چشمی، استفاده از معرف های شیمیایی مانند معرف هرزبرگ^۲ و یا بررسی های آناتومی باشد (Badia et al., 2005). در کنار روش های مذکور، استفاده از آزمون های غیر مخرب مانند امواج فراصوت^۳ برای شناسایی نواحی معیوب در حال توسعه می باشد (Bucur, 2003b). پی بردن به چگونگی پدیده انتشار موج، نحوه تغییر عامل های موج و آگاهی کامل از رفتار آکوستیکی، اساس یک شناسایی درست با استفاده از تکنیک امواج فراصوت است.

موج در هنگام عبور از درون ماده چوبی تحت تأثیر ساختمان آناتومی آن قرار گرفته و عامل های آن (سرعت، زمان انتقال، میزان انتقال انرژی و ضریب تضعیف) تغییر می کنند. از این روش در شناسایی چوب واکنشی استفاده شده است. تغییر عامل های موج هنگام انتشار در ساختار داخلی چوب عامل تفاوت در رفتار آکوستیکی می باشد و

1 Compression wood

2- Herzberg

3- Ultrasonic waves

4- Slowness curve

5 -Tomography

مواد و روشها

در این تحقیق از چوب دو گونه نوئل (*Picea abies*) و گونه صنوبر (*Populus deltoids*) استفاده شده است. از گونه نوئل سه درخت و از گونه صنوبر دو درخت بطور تصادفی و با مشخصات مندرج در جدول (۱) انتخاب شد. پس از قطع درختان، از ارتفاع ۲ متری دیسک های مورد نظر تهیه و پس از قرار دادن در نایلون به آزمایشگاه منتقل شدند.

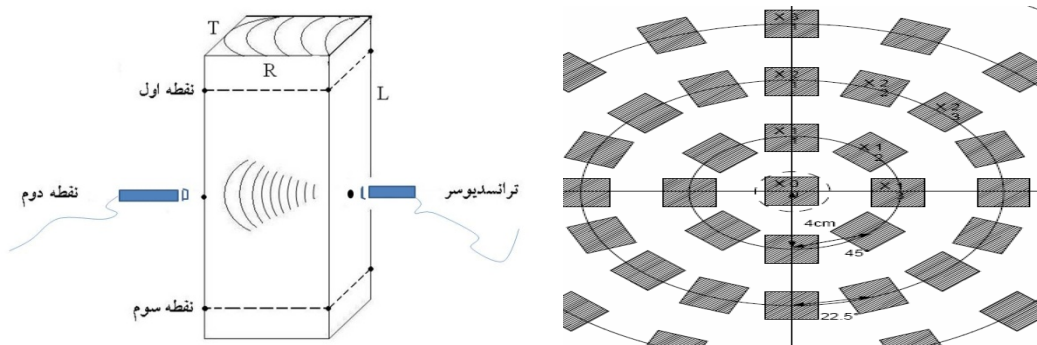
یعنی سرعت گروه (به عنوان شاخصی از سرعت انرژی سیگنال)، (Young-Fo et al., 2006) و ضریب تضعیف (Pellerin & Rose 2002) رفتار آکوستیکی چوب کششی صنوبر و چوب فشاری نوئل با چوب نرمال مجاور مقایسه گردد و تغییرات عامل های اصلی امواج فراصوت در جهت طولی، شعاعی و مماسی در هر یک از چوب های مذکور مورد بررسی قرار گیرد.

جدول ۱- مشخصات گونه های مورد مطالعه (صنوبر و نوئل)

گونه	سن (سال)	میانگین قطر (cm)	تعداد گرده بینه	تعداد دیسک
<i>Picea abies</i>	۲۶	۳۰	۳	۳
<i>Populus deltoids</i>	۲۱	۳۲/۵	۲	۲

روی هر دایره مربع های با ابعاد ۲×۲ سانتی متر مشخص شدند. پس از تهیه الگوی برش، این الگو بر روی دیسک های با ضخامت ۱۰ سانتی متر منتقل و نمونه ها بریده شدند. نمونه ها پس از برش به سرعت در کیسه های پلاستیکی قرار گرفته و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. تقریباً از هر گرده بینه ۴۰ نمونه بدست آمد.

نواحی چوب کششی بر روی دیسک های صنوبر با استفاده از محلول هرزبرگ شناسایی شد. چوب فشاری نوئل نیز بدلیل رنگ کاملاً متمایز به راحتی قابل تشخیص بود. برای تهیه نمونه های آزمونی، ابتدا با نرم افزار open office طرح اولیه نحوه برش آماده شد (شکل ۱). در این طرح، دوایر متحدالمرکز با فاصله ۴ سانتی متری و بر



شکل ۱- الف: طرح اولیه الگوی برش برای تهیه نمونه های آزمونی بر روی دیسک های مورد مطالعه (سمت راست).

ب: نحوه دریافت سیگنال در جهت شعاعی در سه نقطه (سمت چپ)

اندازه‌گیری عامل‌های امواج التراسونیک

برای اندازه‌گیری عامل‌های موج فراصوت از تکنیک تماس مستقیم بر روی نمونه‌های مکعبی استفاده شد. بدین منظور از یک دستگاه فرستنده امواج فراصوت استفاده شد. این دستگاه مجهز به ژنراتور مدل AX-322 با قدرت ۱۲ ولت، برای تولید سیگنال الکتریکی، یک آمپلی فایر عریض باند ساخت شرکت هلدینگ و یک اسیلسکوپ مدل TPS-2012 بود. مبدل‌های مورد استفاده به شکل غلطکی (PAC-RS30) از جنس پیزوالکتریک و امواج تولیدی از نوع امواج طولی با فرکانس ۳۰۰ کیلوهرتز بودند. البته از نوعی پلاستیک ویژه به عنوان ماده واسطه بین مبدل و نمونه استفاده شد. بر روی هر نمونه در هر یک از جهت‌های اصلی (طولی، شعاعی و مماسی) سه سیگنال گرفته شد (شکل ۱ قسمت ب). برای تحلیل و پردازش سیگنال‌ها یک برنامه توسط نرم‌افزار سایلب نوشته شده و پس از

اندازه‌گیری عامل‌هایی مانند سرعت فاز، سرعت گروه و ضریب تضعیف، همبستگی بین عامل‌های تعیین شده و دانسیته چوب محاسبه گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل و برای مقایسه میانگین‌ها در سطح تیمارهای مختلف از میانگین‌های حداقل مربع‌ها^۱ استفاده شد.

نتایج

نتایج اندازه‌گیری عامل‌های سرعت فاز، سرعت گروه و ضریب تضعیف بر روی نمونه‌های تیمارهای مختلف به شرح زیر می‌باشند.

سرعت فاز

میانگین سرعت فاز در چوب‌های واکنشی و نرمال دو گونه صنوبر و نوئل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- میانگین سرعت فاز (m/s) در چوب‌فشاری و کششی دو گونه نوئل و صنوبر

گونه چوبی	وضعیت چوب	جهت طولی	جهت شعاعی	جهت مماسی
نوئل	چوب نرمال	** (۲۱) ۴۴۶۷	(۱۱) ۱۷۴۵	** (۶/۹) ۹۵۰
	چوب‌فشاری	(۵۷) ۳۶۲۳	(۲۶) ۱۸۰۳	(۲۵) ۱۲۸۴
صنوبر	چوب نرمال	(۲۶) ۳۹۴۶	(۱۷) ۱۶۰۱	(۷) ۹۹۷
	چوب‌کششی	(۵۶) ۳۸۹۴	(۲۷) ۱۶۰۰	(۱۴) ۹۸۵

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد است، ** در سطح یک درصد معنی دار

1 -Least square mean

مشاهده می شود سرعت فاز در جهت طولی چوب فشاری کمتر از مقدار آن در چوب نرمال است، در حالی که در جهت مماسی، سرعت موج در چوب فشاری بیشتر می باشد (در سطح یک درصد).

سرعت گروه

میانگین سرعت گروه در چوب های واکنشی و نرمال در دو گونه صنوبر و نوئل در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج نشان دادند که سرعت فاز موج در هر یک از جهت های اصلی (طولی، شعاعی و مماسی) در چوب کششی صنوبر با چوب نرمال مجاور آن یکسان است و تفاوت معنی داری در مقادیر آن ها مشاهده نمی شود. بدین معنی که سرعت عامل مناسبی برای شناسایی چوب کششی صنوبر نیست. ولی چوب فشاری نوئل در جهت طولی حساسیت بیشتری به عامل سرعت داشته و تفاوت سرعت موج در آن نسبت به چوب نرمال مجاور معنی دار می باشد (در سطح یک درصد). همان طور که

جدول ۳- مقادیر میانگین سرعت گروه (m/s) در چوب فشاری و کششی دو گونه نوئل و صنوبر

گونه چوبی	وضعیت چوب	جهت طولی	جهت شعاعی	جهت مماسی
نوئل				
	چوب نرمال	** (۱۹) ۱۸۷۳	(۱۰) ۵۶۹	(۶) ۴۰۸
	چوب فشاری	(۴۷) ۱۵۵۸	(۲۳) ۵۲۲	(۲۰) ۴۶۰
صنوبر				
	چوب نرمال	* (۲۱) ۱۷۷۴	(۱۲) ۵۲۶	(۹) ۴۵۷
	چوب کششی	(۳۷) ۱۸۵۲	(۲۲) ۵۶۰	(۱۲) ۴۶۱

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد است، * در سطح یک درصد معنی دار * در سطح ۵ درصد معنی دار

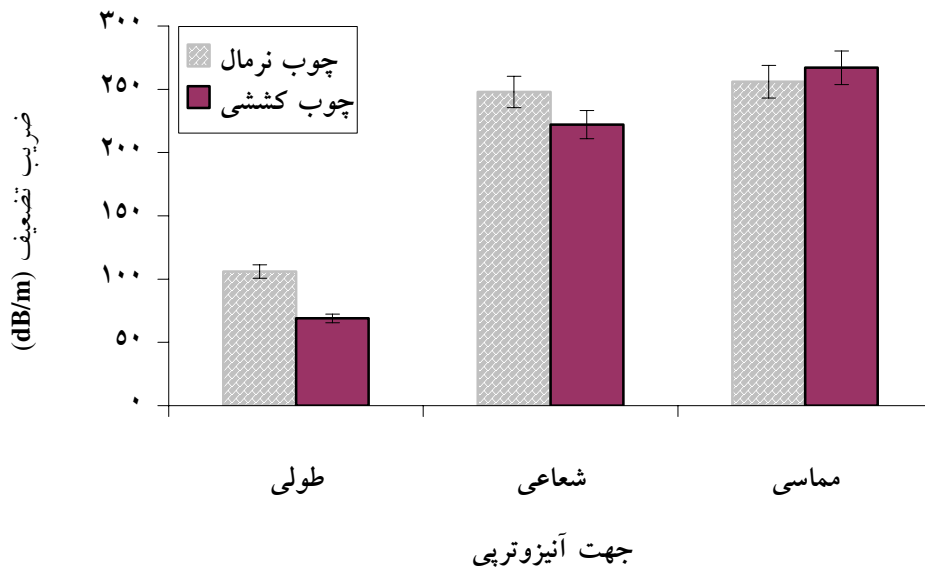
ضریب تضعیف

میانگین ضریب تضعیف (dB/m) در چوب های واکنشی و نرمال در دو گونه صنوبر و نوئل در شکل های ۲ و ۳ ارائه شده است.

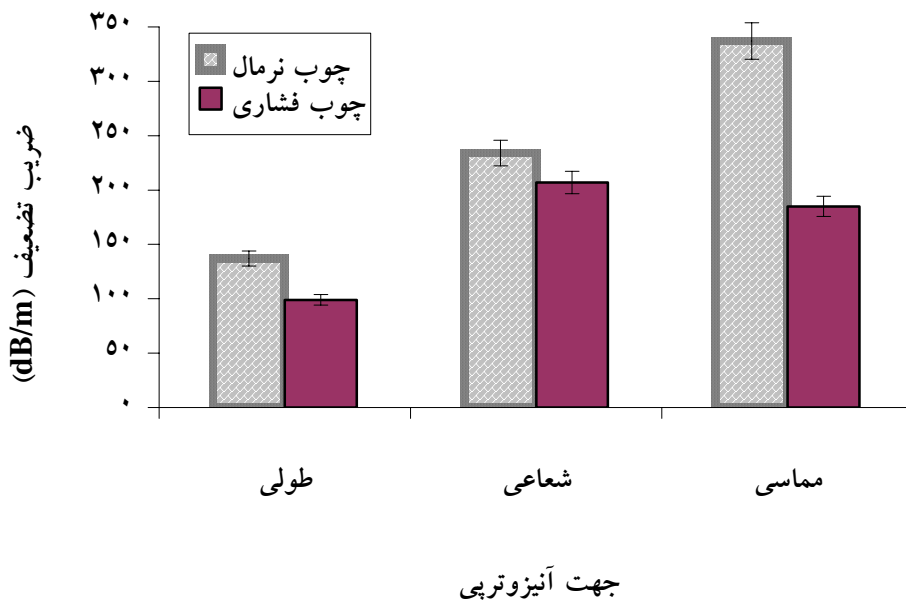
همان طور که مشاهده می شود، چوب کششی صنوبر نسبت به چوب نرمال مجاور دارای ضرایب تضعیف پایین تری می باشد، بعلاوه این هم کمترین ضریب تضعیف در جهت طولی چوب کششی مشاهده می شود و بیشترین ضرایب تضعیف مربوط به جهت مماسی است (شکل ۲). در گونه نوئل نیز چوب فشاری در تمام جهات اصلی ضریب تضعیف پایین تری دارد.

نتایج آماری نشان می دهد که سرعت گروه همانند سرعت فاز در چوب کششی صنوبر در جهت های شعاعی و مماسی با چوب نرمال آن یکسان می باشد و هیچ گونه تفاوت معنی داری بین آنها در جهت عرضی مشاهده نمی شود. اما در جهت طولی سرعت انتقال انرژی کمی بیشتر از چوب نرمال مجاور بود (در سطح ۵ درصد معنی دار). در رابطه با چوب نوئل، سرعت گروه در جهت طولی در چوب فشاری در مقایسه با چوب نرمال مجاور آن کمتر بود (در سطح یک درصد معنی دار) ولی در جهت عرضی هیچگونه اختلاف معنی داری بین سرعت گروه در چوب فشاری و نرمال نوئل مشاهده نشد.

به طوری که در این چوب نیز ضریب تضعیف در (طولی) حداقل است (Bucur & Bohnke, 1994). جهت عرضی حداکثر بوده و در جهت راستای الیاف



شکل ۲- مقایسه میانگین ضرایب تضعیف در چوب کششی و نرمال گونه صنوبر



شکل ۳- مقایسه میانگین ضرایب تضعیف در چوب فشاری و نرمال گونه نوئل

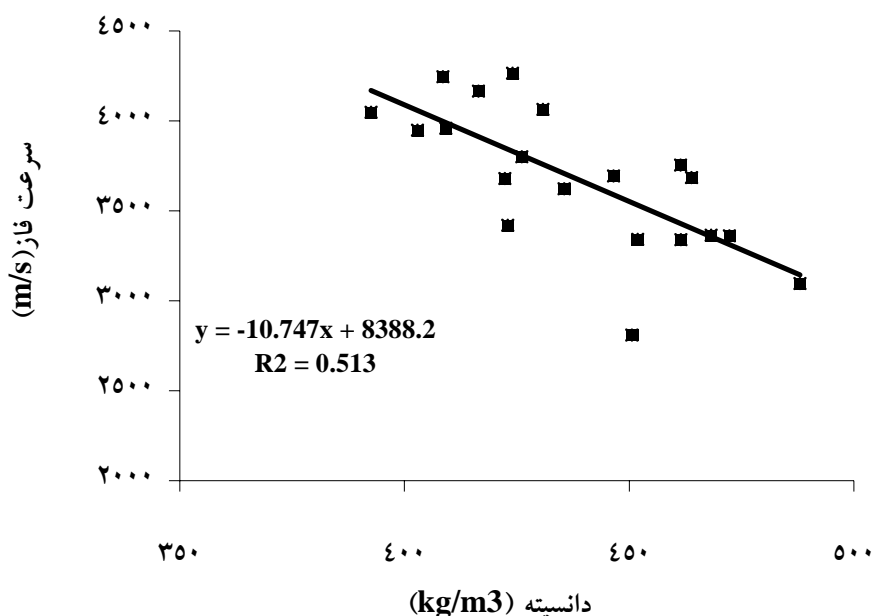
همبستگی بین عامل های اندازه گیری شده

رابطه بین عامل های موج و دانسیته چوب مهم بوده و به کمک آن می توان به میزان تأثیرگذاری این عامل بر رفتار آکوستیکی آن پی برد (Oliveira & Sales, 2006). در جدول (۴) میزان همبستگی بین دانسیته و

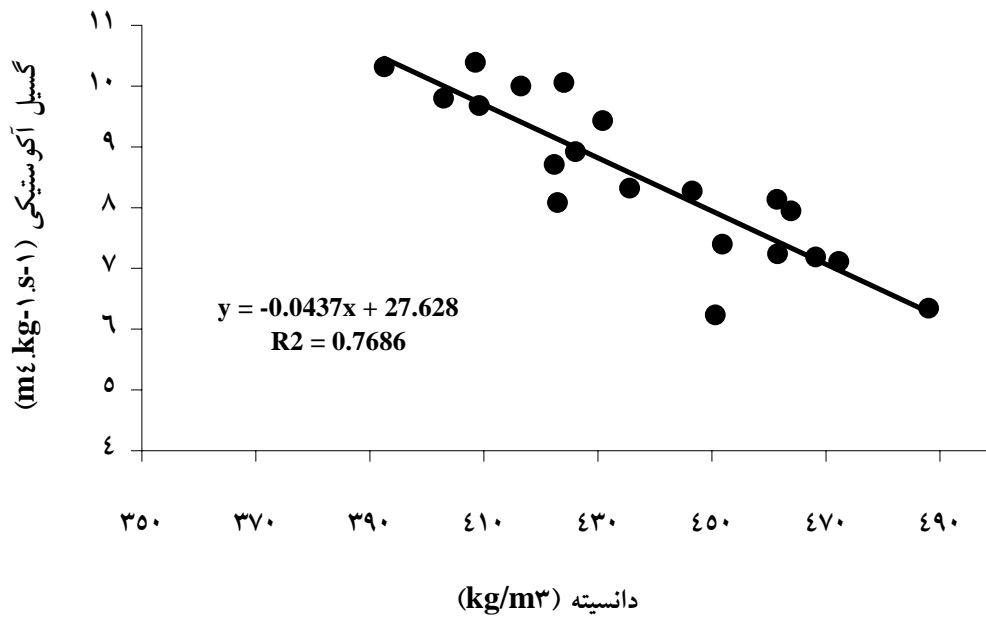
عامل های اندازه گیری شده موج در جهت طولی چوب واکنشی و نرمال دو گونه نوئل و صنوبر مشاهده می شود. همچنین در شکل های ۴ تا ۷ همبستگی بین سرعت فاز و گسیل آکوستیکی با دانسیته چوب کششی و فشاری مشاهده می گردد.

جدول ۴- همبستگی بین عامل های اندازه گیری شده موج و دانسیته در چوب نرمال و واکنشی دو گونه صنوبر و نوئل

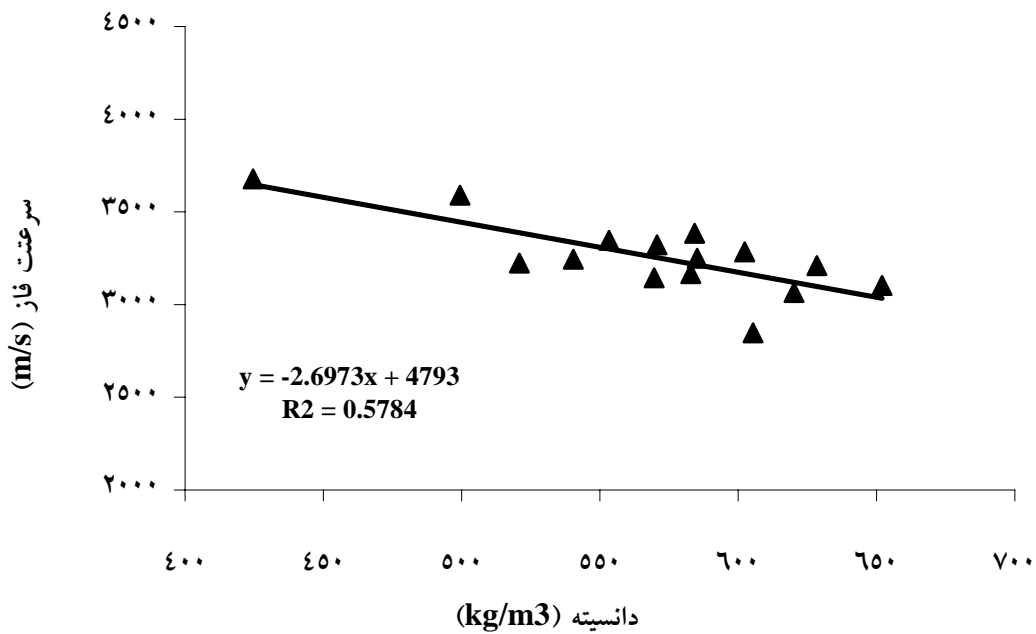
نمونه	وضعیت چوب	سرعت فاز / دانسیته	گسیل آکوستیکی / دانسیته	ضریب تضعیف / دانسیته	سرعت فاز / سرعت گروه
صنوبر	نرمال	۰/۵۱	۰/۸۴	۰/۱۸	۰/۰۰۰۶
	کششی	۰/۵۱	۰/۷۶	۰/۰۲	۰/۴۹
نوئل	نرمال	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۰۷	۰/۰۴
	فشاری	۰/۵۷	۰/۹۲	۰/۳۶	۰/۴۳



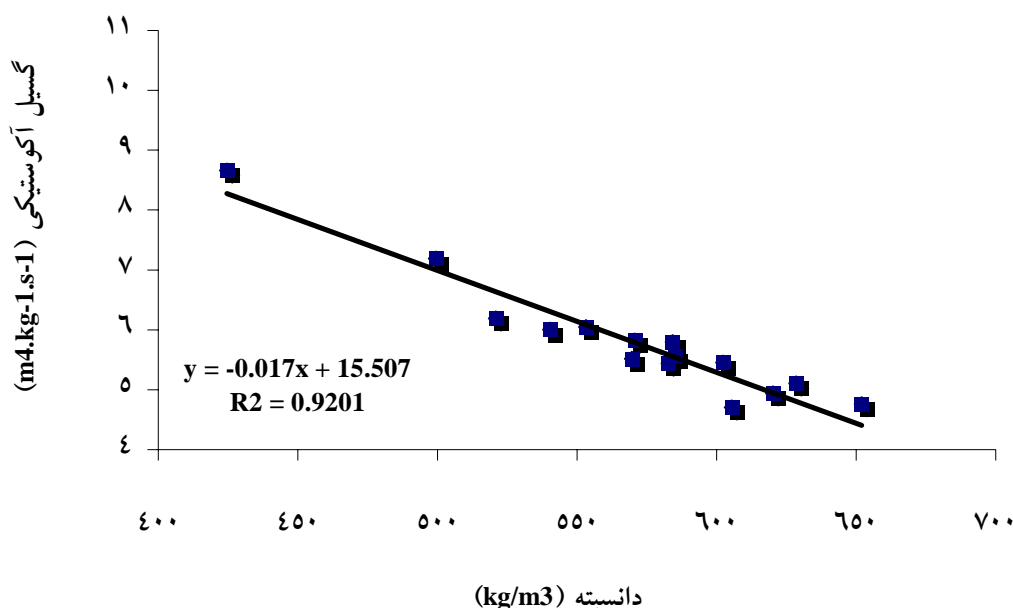
شکل ۴- همبستگی بین دانسیته و سرعت فاز در چوب کششی صنوبر



شکل ۵- همبستگی بین دانسیته و گسیل آکوستیکی در چوب کشی صنوبر



شکل ۶- همبستگی بین دانسیته و سرعت فاز در چوب فشاری نونل



شکل ۷- همبستگی بین دانسیته و گسیل آکوستیکی در چوب فشاری نوئل

بحث

سرعت موج هنگام انتشار در ساختار داخلی چوب تحت تأثیر ساختمان آناتومی آن قرار می گیرد. تفاوت سرعت موج نتیجه تأثیر متفاوت ساختمان آناتومی چوب واکنشی و نرمال بر این عامل است (Bucur, 2006). همان طور که در جدول ۵ مشاهده می شود میانگین طول الیاف چوب کششی صنوبر $1/360$ میلیمتر است، در حالی که مقدار آن در چوب نرمال $1/144$ میلیمتر می باشد؛ به علاوه البته دانسیته چوب کششی ۹ درصد بیشتر از دانسیته چوب نرمال صنوبر است. از طرفی دانسیته چوب فشاری نوئل ۴۳ درصد بیشتر از چوب نرمال است و میانگین طول الیاف آن نیز $2/65$ میلیمتر اندازه گیری شده است. در حالی که چوب نرمال دارای الیاف بلندتری ($3/064$ میلیمتر) است. ضخامت دیواره فیبر در هر دو

چوب کششی و فشاری بیشتر از مقدار آن در چوب نرمال است. به ظاهر این تفاوت ها برای چوب کششی صنوبر آنقدر قابل توجه نیست که بتواند در مقادیر سرعت فاز در جهت طولی و عرضی تفاوت ایجاد کند. اما زاویه میکروفیبریل بر روی سرعت موج تأثیر زیادی دارد (Feeney, 1987) که البته در این تحقیق اندازه گیری نشد. چوب فشاری با طول الیاف کوتاهتر، دانسیته بالاتر و زاویه میکروفیبریل بیشتر (Barnet & Jeronimidis, 2003) این تفاوت سرعت موج را توجیه می کند. به طوری که در جهت عرضی ضخامت بالای دیواره فیبر و زاویه میکروفیبریل بیشتر باعث شده که سرعت فاز موج در چوب فشاری بیشتر از مقدار آن در چوب نرمال باشد. این نتایج با نتایج تحقیقات فینی و بوکور همخوانی دارد (Feeney 1987) و (Bucur et al., 1991).

جدول ۵- میانگین ویژگی‌های فیزیکی در چوب‌فشاری، کششی و چوب نرمال در دو

گونه نوئل و صنوبر در رطوبت ۱۲٪

گونه چوبی	وضعیت چوب	دانسیته (Kg/m ³)	طول الیاف (mm)	ضخامت دیواره (میکرون)
نوئل	چوب نرمال	۳۸۵ (۲۵)	۳/۰۶۴(۰/۶۰)	۶/۰۵۵(۲/۱۴۰)
	چوب فشاری	۵۵۳(۵۸)	۲/۶۵(۰/۵۲)	۶/۸۵۰(۲/۰۰۴)
صنوبر	چوب نرمال	۴۰۲(۳۳)	۱/۱۴۴(۰/۱۸)	۴/۶۲۷(۱/۶۰۵)
	چوب کششی	۴۳۸(۲۶)	۱/۳۶۰(۰/۱۳)	۴/۷۴۵(۱/۵۳۴)

اعداد داخل پرانتز انحراف معیار است.

گفت که لیگنین بالای چوب‌فشاری خاصیت میرایی را در آن افزایش داده و این باعث می‌شود که انرژی موج تحلیل رفته، در حالی که مقدار بیشتر سلولز کریستالی چوب‌کششی به عبور سریع تر انرژی سیگنال کمک می‌کند. از آنجا که سرعت گروه مربوط به سرعت انتقال انرژی سیگنال است، احتمالاً علاوه بر ساختار آناتومی وضعیت میرایی چوب (جذب و پخش انرژی در چوب و تخلخل چوب)، ترکیبات شیمیایی دیواره سلولی و ناهمگنی نیز بر این عامل اثر گذاشته است.

معمولاً وقتی سرعت در یک جهت زیاد باشد، ضریب تضعیف در آن احتمالاً حداقل است. اما در رابطه با ضریب تضعیف عواملی مانند انکسار، انعکاس، جذب، تخلخل و شرایط اندازه گیری تأثیرگذار می‌باشند (Bucur & Bohnke, 1994). در این رابطه نیز می‌توان گفت چوب‌کششی صنوبر با دانسیته بیشتر و درصد تخلخل کمتر به کاهش پخش و جذب انرژی کمک می‌کند. در هر دو چوب‌کششی و نرمال صنوبر کمترین ضریب تضعیف در راستای طولی بدست آمد و بیشترین ضریب مربوط به جهت مماسی بود. بوکور نیز تضعیف بالای موج در جهت مماسی را به دلیل اصطکاک داخلی زیاد

سرعت گروه نیز همانند سرعت فاز در چوب هر دو گونه متأثر از طول الیاف نمونه و زاویه میکروفیبریل بالای چوب می‌باشد. علت بالاتر بودن سرعت گروه در چوب‌کششی صنوبر را می‌توان به الیاف بلندتر و درصد بیشتر سلولز کریستالی آن مرتبط دانست. البته این تفاوت در سطح پنج درصد معنی دار بود که نشان از رابطه ضعیف در این مقوله دارد. با این حال به ظاهر چوب‌کششی صنوبر به این عامل نیز آنچنان حساس نیست. به عبارت دیگر این عامل نمی‌تواند معیار مناسبی برای شناسایی چوب‌کششی صنوبر باشد. بوکور و همکاران در رابطه با سرعت موج در چوب‌کششی راش به این نتیجه رسیده اند که سلولز بیشتر حاصل از لایه ژلاتینی و الیاف بلند توجیه مناسبی برای افزایش سرعت در چوب‌کششی راش است (Bucur et al., 1991). در حالی که چوب‌فشاری با الیاف کوتاهتر و احتمالاً زاویه بالای میکروفیبریل، نسبت به چوب نرمال مجاور، دارای سرعت گروه کمتری بود. اما سرعت گروه در جهت های عرضی چوب‌فشاری نوئل و چوب نرمال مجاور آن معنی دار نمی‌باشد. ظاهراً چوب‌کششی صنوبر نسبت به چوب‌فشاری نوئل سرعت گروه بالاتری دارد. شاید بتوان

سرعت گروه نیز با سرعت فاز همبستگی بالایی را نشان نداد، که بیان‌کننده این مطلب است که این دو عامل با عوامل متفاوت کنترل می‌شوند.

در بررسی رفتار آکوستیکی چوب های واکنشی دو گونه صنوبر و نوئل مشخص گردید که سرعت فاز در چوب‌کشی و نرمال صنوبر در هر یک از جهات اصلی (طولی، شعاعی و مماسی) تفاوت معنی داری نداشت. این بدین معنی است که چوب‌کشی به این عامل حساس نمی‌باشد. بعکس چوب‌فشاری نوئل در جهت طولی سرعت فاز کمتر و در جهت عرضی سرعت فاز بیشتری از چوب نرمال مجاورش دارد. سرعت گروه به‌عنوان شاخص سرعت انتقال انرژی موج در چوب‌کشی و نرمال صنوبر یکسان ولی سرعت گروه در جهت طولی چوب نرمال نوئل بیشتر از چوب‌فشاری بود. از این می‌توان نتیجه گرفت که سرعت انتقال انرژی فقط در جهت طولی چوب‌فشاری نوئل ضعیف و در بقیه موارد بین چوب نرمال و واکنشی یکسان بود. در رابطه با ضریب تضعیف می‌توان گفت که چوب‌واکنشی هر دو گونه ضرایب تضعیف تقریباً پایین‌تری نسبت به چوب نرمال داشته‌اند که علت را می‌توان در عوامل تأثیرگذار بر این عامل (انکسار، انعکاس، جذب، تخلخل و شرایط اندازه‌گیری) جستجو کرد. در چوب‌کشی و فشاری، همبستگی بین گسیل آکوستیکی و دانسیته در حد بسیار بالایی بود، اما همبستگی بین سرعت فاز و دانسیته در چوب‌کشی و نرمال صنوبر یکسان بود، در حالی که این همبستگی در چوب نرمال نوئل نسبت به چوب‌فشاری ضعیف‌تر بود. به طوری که ضریب تضعیف نیز آنچنان تحت تأثیر دانسیته قرار نداشت و همبستگی پایینی را در چوب‌واکنشی و نرمال هر دو گونه نشان داد.

موج در این جهت دانسته است (Bucur, 2006). چوب‌فشاری احتمالاً با دانسیته بالا، ساختمان متراکم و تخلخل کمتر ضریب تضعیف کمتری داشته است. با این حال چوب نوئل نسبت به چوب صنوبر در جهت طولی دارای ضریب تضعیف بالاتری بود که علت آن را می‌توان به امپدانس آکوستیکی تند حاصل از اختلاف دانسیته زیاد چوب پایان نسبت به چوب آغاز در گونه نوئل نسبت به گونه صنوبر دانست.

با توجه به ضرایب همبستگی بدست آمده در جدول ۴ ($r=0/51$) می‌توان گفت که در چوب صنوبر، سرعت فاز تحت تأثیر دانسیته بوده، اما همبستگی بین این دو آنچنان رابطه قوی نبوده است (شکل ۴). هرچند دانسیته چوب‌کشی و چوب نرمال این گونه تفاوت ۹ درصدی داشته‌اند، اما میزان همبستگی دانسیته هر دو با سرعت فاز یکسان می‌باشد. در رابطه با چوب نرمال و فشاری نوئل نیز همبستگی بین دانسیته و سرعت فاز رابطه ضعیف می‌باشد ($r=0/30$ و $r=0/57$ ، شکل ۶). بنابراین رابطه میزان سرعت فاز با ویژگی مانند دانسیته با اطمینان زیاد قابل توجیه نیست. باردوسی^۱ و پاسکوالینی^۲ (۱۹۴۸) همبستگی پایینی بین دانسیته و سرعت در ۴۰ گونه مورد مطالعه بدست آوردند (Bucur, 2006). اما گسیل آکوستیکی (نسبت سرعت به دانسیته) همبستگی بالایی با دانسیته نشان داد (شکل ۵ و ۷). این همبستگی بخصوص برای چوب‌فشاری نوئل در حد بسیار بالایی بود ($r=0/92$). بنابراین با توجه به نتایج بدست‌آمده در جدول ۴، همبستگی بین ضریب تضعیف و دانسیته بسیار ضعیف بود. به نحوی که عدم تأثیر دانسیته بر ضریب تضعیف نیز توسط محققان اثبات شده است (Beal, 2002). البته .

1 Barducci
2- Pasqualini

- Cunderlik I., Kudela J., Molinski W (1992) Reaction beech wood in drying process. In: IUFRO drying conference, Vienna, pp 350–353
- Feeney F.E (1987) The adaptation of an ultrasonic pulse velocity technique for use on small samples of Sitka spruce for evaluation of structural wood quality. MSc Thesis, St Patrick College, Maynooth, Ireland
- Green D., Winandy J., kretschmann D (1999) Wood as an engineering material, Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 463 p.
- Hamm EA and Lam F (1989) Compression wood detection using ultrasonic's. G Prove Nondestructive1:40–47
- Oliveira F and Sales A (2006) Relationship between density and ultrasonic velocity in Brazilian tropical woods, Bioresource Technology 97:2443-2446
- Pellerin R and Ross R (2002) Nondestructive evaluation of wood, forest products society Madison, 210p
- Rose, J.L (2004) Ultrasonic Waves in Solid Media, Cambridge University press. Cambridge. UK. 454 p
- Young-Fo C., Mitch M., Chih-Hsiung C (2006) Experimental measurements of the phase and group velocities of body waves in a transversely isotropic medium, NDT&E International 39 (2006) 162–168

منابع مورد استفاده

- Badia M., Mothe F., Constant T., Nepveu G (2005) Assessment of tension wood detection based on shiny appearance for three poplar cultivars, Ann. For. Sci. 62: 43–49
- Barnnet j.R., Jeronimidis G (2003) Wood quality and its biological Basis, Blackwell scientific Publisher, oxford.
- Beal F (2002) Overview of the use of ultrasonic technologies in research on wood properties, Wood Science and Technology 36: 197-212
- Bucur V (2006) Acoustics of wood, Springer Series in Wood Science, 387p-
- Bucur V (2003a) Nondestructive characterization and imaging of wood, Springer Series in wood science, 354p
- Bucur V (2003b) Techniques for high resolution imaging of wood structure: a review, Meas. Sci. Technol.14:R91-R98
- Bucur V., Bohnke I (1994) Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood, Ultrasonic, Volume32, 32 (5): 385-390
- Bucur V., Janin G., Herbe C., Ory JM (1991) Ultrasonic detection of reaction wood in European species. Proc 10th Congr Forestier Mondial, 17–26 Sept, Paris
- Carlquist S (1988) Comparative wood anatomy, Springer Series in Wood Science, 435 p

Investigation the acoustic behavior of poplar and spruce species reaction wood using ultrasonic technique

Saadat Nia M.A.^{1*}, Enayati A.A.², Brancheriau L.³ and Pourtamasi, K.⁴

1*- **Corresponding Author**, Assistant Professor, Wood and Paper Sciences, Khatamoanbia University of Behbahan
Email: m_saadatnia92@yahoo.com

2 -Professor, Wood and Paper Sciences, Tehran University

3 -Assistant Professor, Mechanics Sciences, Montpellier University

4 -Assistant Professor, Wood and Paper Sciences, Tehran University

Received: April, 2011

Accepted: April, 2012

Abstract

The acoustic behavior of reaction and normal woods, phase velocity, group velocity and attenuation coefficients in the main directions for two wood species (*Populus deltoids* & *Picea abies*), were measured and compared. The results did not show any significant difference between phase velocities of normal and tension wood at the same ring in poplar wood. But in compression wood from spruce, phase velocity in longitudinal direction was lower; while in transverse direction was higher compared to normal wood. Group velocity as an index of speed of wave energy in compression wood also was less than that in normal wood. In radial and tangential directions, there was no significant difference between group velocity of compression and normal woods of spruce. In poplar species, in all main directions, the measured group velocities, both for tension and normal woods were identical. The result also showed that the attenuation coefficients in reaction wood of two wood species (poplar and spruce) were less than those of normal wood in all directions. In compression and tension woods, a high correlation was observed between acoustic radiation and wood density.

Keywords: Tension wood, compression wood, acoustic behavior, phase velocity, attenuation coefficient