

## ارزیابی غیر مخرب ویژگی‌های آکوستیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته‌شده از باگاس با استفاده از آزمون ارتعاش خمشی (کارخانه لوح سبز و کارون جنوب)

### چکیده

این تحقیق پتانسیل آزمون ارتعاش خمشی به‌عنوان یک آزمون غیر مخرب در ارزیابی ویژگی‌های آکوستیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته‌شده از باگاس (تفاله نیشکر) را مورد بررسی قرار داد. بدین منظور از ۴ ورق کاملاً سالم و بدون عیب تخته فیبر دانسیته متوسط (MDF) از محصولات کارخانه لوح سبز شوشتر و همچنین ۴ ورق تخته‌خرده‌چوب (PB) ساخته‌شده از باگاس از محصولات کارخانه نئوپان کارون، ۴۰ نمونه با ابعاد  $۳۶ \times ۴ \times ۱/۶$  سانتی‌متر تهیه و برای انجام آزمون غیر مخرب مذکور آماده و با نتایج حاصله از آزمون استاتیک مقایسه گردید. نتایج نشان داد که رفتار آکوستیکی نمونه‌های تخته‌خرده‌چوب متفاوت با نمونه‌های تخته فیبر بود. به‌طوری‌که فرکانس رزونانس، سرعت موج، فاکتور کیفیت و ضریب آکوستیک در تخته‌خرده‌چوب به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقادیر آن در تخته فیبر اندازه‌گیری شد. از طرفی اصطکاک داخلی موج در تخته‌خرده‌چوب کمتر و کارایی آکوستیک در هر دو نمونه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. در رابطه با ارزیابی مکانیکی تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر ساخته‌شده از باگاس، نتایج نشان داد که میانگین مقادیر مدول الاستیسیته حاصل از آزمون ارتعاش خمشی از مقادیر استاتیکی آن در تخته فیبر ۱۵ درصد و در تخته‌خرده‌چوب ۶ درصد بیشتر بود. در این تحقیق همچنین مشخص شد که دانسیته همبستگی مستقیم و قوی با سرعت موج و مدول الاستیسیته دارد اما این همبستگی در رابطه با سایر پارامترهای آکوستیکی در هر دو ماده مورد آزمایش، معکوس مشاهده گردید. همبستگی بالای بین مدول الاستیسیته استاتیک و دینامیک (۰/۷۱) و همچنین مدول گسیختگی استاتیک و مدول الاستیسیته دینامیک (۰/۴۴) این مسئله را نشان می‌دهد که آزمون ارتعاش خمشی ابزار مناسبی برای ارزیابی رفتار مکانیکی تخته فیبر دانسیته متوسط ساخته‌شده از باگاس است اگرچه این همبستگی در تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از باگاس مشاهده نگردید.

**واژگان کلیدی:** آزمون غیر مخرب، ارتعاش خمشی، باگاس، تخته‌خرده‌چوب، تخته فیبر، ضریب آکوستیکی.

محمدعلی سعادت‌نیا<sup>۱\*</sup>

سعید اسحاقی<sup>۲</sup>

اکبر رستم‌پور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا بهبهان، بهبهان، ایران

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:

msaadatnia92@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۰۵

با هزینه کم و سرعت بالا کلیه نمونه‌ها را مورد آزمون قرار داد. استفاده از آزمون‌های غیر مخرب<sup>۲</sup> که در آن ساختار ماده مورد آزمایش دچار تغییر نمی‌شود، مورد توجه محققین قرار گرفته است [۳]. این شیوه ضایعات حاصل از شکست نمونه‌ها را به شدت کاهش داده و از طرفی یک آزمایش بارها بر روی یک نمونه قابل تکرار است. یکی از این روش‌ها آزمون ارتعاش است. امروزه از پدیده ارتعاش خمشی به‌عنوان روشی مهم و دقیق در آنالیز خواص مکانیکی و رفتار آکوستیکی چوب و مواد مرکب چوبی نام برده می‌شود [۴]. با استفاده از این آزمون اطلاعات بسیار مفیدی در رابطه با ساختار و مورفولوژی چندسازه‌ها و همچنین رفتار ویسکو الاستیک آن‌ها به دست می‌آید [۵].

[۶]. Hunt و همکاران (۲۰۱۳) از آزمون ارتعاش خمشی برای ارزیابی مکانیکی تخته فیبر دانسیته متوسط استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که بین مدول الاستیسیته دینامیکی و استاتیکی تیرهای ساخته‌شده یک همبستگی خطی وجود دارد. اگرچه مقدار مدول دینامیکی به دلیل بالاتر بودن نرخ کرنش بیش از مقدار استاتیکی آن اندازه‌گیری شد [۷]. Yoshihara (۲۰۱۱ و ۲۰۱۲) از ارتعاش خمشی بر اساس تئوری تیموشنکو برای محاسبه مدول یانگ و مدول برشی تخته فیبر دانسیته متوسط و تخته لایه استفاده کرد. نتایج کار وی نشان داد که مدول یانگ به نسبت ارتفاع به طول تیر حساس نبوده در حالی که مدول برشی به شکل نمونه و نسبت ارتفاع به طول بسیار حساس است [۸، ۹]. نتایج کار محققین همچنین نشان داده که مدول الاستیسیته تخته فیبر دانسیته متوسط محاسبه‌شده با آزمون ارتعاش ۱۵ درصد بیشتر از مقدار آن در آزمون استاتیک است [۱۰]. Mirbolouk و Roohnia (۲۰۱۵) برای محاسبه مدول الاستیسیته ورق‌های تخته فیبر دانسیته متوسط با ابعاد بزرگ از آزمون ارتعاش طولی استفاده و با مقایسه با مقادیر حاصل از آزمایش روی نمونه‌های کوچک همبستگی بالایی به دست آوردند [۱۱].

از طرفی در ارزیابی کیفی مواد مرکب چوبی با آزمون ارتعاش، نوع مواد مصرفی (گونه چوبی) نقش بسزایی بر ویژگی‌های مکانیکی و آکوستیکی نمونه‌ها دارد [۱۲]. Yan و همکاران (۲۰۱۴) از آزمون ارتعاش خمشی برای

از آنجایی که میزان چوب به علت مصرف بی‌رویه در جهان رو به کاهش است، استفاده از مواد لیگنوسلولزی حاصل از مازاد محصولات کشاورزی به‌عنوان جایگزینی مناسب برای چوب در تولید مواد مرکب چوبی اهمیت پیدا کرده است. از جمله مواد لیگنوسلولزی حاصل از مازاد محصولات کشاورزی، باگاس (تفاله نیشکر) بوده که با داشتن خصوصیات نظیر: سهولت دسترسی، فراوانی و بلااستفاده بودن، پایین بودن هزینه جمع‌آوری، کمتر بودن درصد لیگنین و واکنش‌پذیری بهتر لیگنین آن در برابر تیمارهای حرارتی در مقایسه با پهن‌برگان و سوزنی‌برگان جایگاه ویژه‌ای را به‌عنوان ماده اولیه ارزان جهت تولید فراورده‌های صفحه‌ای مانند تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر در بین سایر مواد لیگنوسلولزی مورد استفاده در صنایع چوب و کاغذ مخصوصاً در کشورهای نیشکر خیز جهان به خود اختصاص داده است [۱]. Herryman و Alfonso (۱۹۹۰) در تحقیق خود، مشکل جهانی صنعتی کردن باگاس را مورد بررسی قرار داده و گزارش دادند که آمار جهانی بهره‌برداری که بر اساس کاربرد صنعتی باگاس طبقه‌بندی شده است نشان می‌دهد که ۷۳ درصد از باگاس مورد استفاده جهت خمیر و کاغذ، ۱۵ درصد آن جهت تخته فشرده و ۱۲ درصد نیز برای فورفورال بکار می‌رود. این برآورد فقط ۱۶ درصد ارزش بالقوه کاربرد باگاس را در بر می‌گیرد [۲]. استان خوزستان در جنوب ایران با پتانسیل سطح زیر کشت بیش از ۷۰ هزار هکتار نیشکر توانایی بسیار بالایی در جهت تأمین ماده اولیه کارخانه‌های تولید کاغذ و مواد مرکب چوبی از قبیل تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر دارد. از طرفی محصولات تولیدشده در این کارخانه‌ها نیاز به ارزیابی فیزیکی و مکانیکی داشته تا کیفیت آن‌ها از نظر کاربردی مورد آزمایش قرار گیرد. این ارزیابی ممکن است به روش مخرب<sup>۱</sup> انجام شود. در این روش طبق استانداردهای خاص نمونه‌های مخصوص هر آزمایش تهیه و سپس با اعمال تنش بر روی آن‌ها و پس از شکست، کیفیتشان مشخص می‌گردد. امروزه محققین به دنبال راه‌های مناسب‌تر، سریع‌تر و آسان‌تر برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فراورده‌های چوبی هستند تا به کمک آن بتوان

<sup>1</sup> Destructive

<sup>2</sup> Nondestructive tests

مخرب این محصولات جهت سنجش کیفیت محصول تولیدشده با استفاده از این فن می‌تواند جالب توجه باشد. در قسمت آخر این تحقیق سعی بر آن است تا همبستگی بین پارامترهای مختلف موج و همچنین رابطه آن‌ها با دانسیته تخته فیبر و تخته خرده باگاس بررسی گردد.

### مواد و روش‌ها

برای تهیه نمونه‌های آزمونی تعداد ۴ ورق کاملاً سالم و بدون عیب تخته فیبر دانسیته متوسط (MDF) از محصولات کارخانه لوح سبز شوشتر واقع در استان خوزستان و همچنین تعداد ۴ ورق سالم تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از باگاس (PB) دارای ضخامت اسمی ۱۶ میلی‌متر از محصولات کارخانه نئوپان کارون انتخاب و طبق جدول ۱ جهت انجام آزمایش‌های مختلف برش داده شد.

بررسی ویژگی‌های آکوستیکی چوب پلاستیک تقویت‌شده با الیاف کتان استفاده کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که افزایش ضخامت تیرهای لایه‌ای ساخته‌شده باعث کاهش فرکانس طبیعی و افزایش ضریب میرایی شده اما ضریب میرایی بالا در نمونه‌های تحت آزمایش آن‌ها را برای جذب انرژی مناسب می‌سازد [۱۳]. در تحقیقی دیگر مشخص شده است که با تزریق نانورس در یک چندسازه، می‌توان مدول دینامیکی نمونه‌ها را افزایش و خواص میرایی (افت تنازانت) آن‌ها را کاهش داد [۱۴]. افزایش درصد وزنی الیاف سیسال و الیاف حاصل از درخت موز در چوب - پلاستیک خواص میرایی آن را افزایش می‌دهد [۱۵]. از آنجاکه ارزیابی آکوستیکی و مکانیکی چندسازه‌های ساخته‌شده از باگاس با استفاده از آزمون ارتعاش خمشی در کارخانه‌های صنعتی ایران تا به حال انجام نشده و با توجه به اینکه در جنوب ایران از باگاس به‌طور وسیعی در تولید مواد مرکب چوبی استفاده می‌شود، امکان ارزیابی غیر

جدول ۱- ویژگی‌های نمونه‌های مورد آزمایش

نوع ماده	تعداد نمونه	ابعاد نمونه (cm) (ضخامت×عرض×طول)	دانسیته (gr/cm <sup>3</sup> )	فشار پرس (kg/cm <sup>2</sup> )	درصد چسب (%)
MDF	۴۰	۳۶×۴×۱/۶	۰/۷۲	۳۰	۱۲
PB	۴۰	۳۶×۴×۱/۶	۰/۶۲	۲۸	۱۲

MDF: تخته فیبر دانسیته متوسط، PB: تخته‌خرده‌چوب، فشار پرس در کارخانه لوح سبز بین ۵ تا ۱/۵ مگاپاسکال متغیر بوده و در جدول میانگین آن آورده شده است.

(طول، عرض و ضخامت) اندازه‌گیری شد. برای تعیین محل قرارگیری نمونه بر روی تکیه‌گاه، فاصله ۰/۲۲ طول از هر طرف نمونه علامت‌گذاری و برای اعمال ضربه بر روی نمونه از یک گلوله فلزی به وزن ۱۶ گرم با زاویه انحراف ۳۰ درجه استفاده شد. ضبط اصوات و ذخیره آن توسط نسخه سوم نرم‌افزار Audacity<sup>®</sup> صورت پذیرفت. فرکانس نمونه‌برداری صوتی ۴۴۱۰۰ هرتز توسط نرم‌افزار مذکور تنظیم و فایل صدا در ارتعاش خمشی توسط سیستم NDT-lab<sup>®</sup> قرائت گردید [۱۶]. نحوه محاسبه پارامترهای مختلف از قبیل سرعت موج، فرکانس زرنانس، اصطکاک داخلی، ضریب آکوستیک، کارایی

به‌منظور یکسان‌سازی رطوبت و متعادل‌سازی تنش‌های داخلی، نمونه‌ها به مدت ۲ هفته در اتاق کلیما با شرایط رطوبت نسبی  $5 \pm 65\%$  درصد و دمای  $1 \pm 20$  درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس مورد آزمایش قرار گرفتند. از آنجاکه تشخیص فرکانس‌های ارتعاش محوری مشکل است، لذا بسیاری از پژوهشگران استفاده از مدهای ارتعاش خمشی را برای اندازه‌گیری پارامترهای الاستیک ترجیح می‌دهند [۶]. برای انجام آزمون ارتعاش خمشی تیر دو سر آزاد بر اساس تئوری تیمشکو، ابتدا نمونه‌ها با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین سپس به‌منظور محاسبه دانسیته، ابعاد آن‌ها در هریک از جهت‌های اصلی

$$MOE = P_{pl} L^3 / 4\delta_{pl} b h^3$$

*MOE*: مدول الاستیسیته خمشی،  $P_{pl}$ : بار در حد تناسب،  $L$ : طول دهانه،  $\delta_{pl}$ : تغییر مکان در حد تناسب،  $b$ : پهنای نمونه،  $h$ : ضخامت نمونه مورد آزمایش.

### نتایج و بحث

مقادیر میانگین فرکانس رزونانس و سرعت موج در تخته فیبر دانسیته متوسط و تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از باگاس در جدول ۲ ارائه شده است.

تبدیل آکوستیک و مدول الاستیسیته، بر اساس تئوری تیمشنکو در تحقیق Abdolahian Sohi و همکاران (۲۰۱۱) به‌وضوح شرح داده شده است. [۱۷] برای اندازه‌گیری مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته خمشی استاتیک نیز طبق استاندارد EN ۳۱۰ ابتدا نمونه‌های آزمونی آماده و سپس توسط ماشین آزمایش مقاومت‌های مکانیکی INSTRON 4486 با سرعت بارگذاری ۱۰ mm/min مورد آزمایش قرار گرفتند. مدول الاستیسیته خمشی طبق فرمول زیر محاسبه گردید [۶].

جدول ۲- مقادیر میانگین فرکانس رزونانس و سرعت موج در چندسازه‌های ساخته‌شده از باگاس

نوع کمپوزیت	میانگین دانسیته ( $\text{kg/m}^3$ )	فرکانس رزونانس (Hz)	سرعت موج (m/s)
MDF	۷۲۹ (۴۱)	۲۵۶۵ (۵۴)	۱۸۴۷ (۳۹)
PB	۶۱۶ (۲۷)	۲۷۲۶ (۹۸)**	۱۹۶۳ (۷۱)**

اعداد داخل پرانتز انحراف معیار است.

\*\* تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪: MDF: تخته فیبر دانسیته متوسط، PB: تخته‌خرده‌چوب

دریافتند که افزایش چگالی به شدت فرکانس رزونانس و تابش آکوستیکی را کاهش می‌دهد [۱۸]. به نظر می‌رسد که با توجه به اندازه ذرات تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از باگاس (یک تا ۴ میلی‌متر) و آرایش بهتر آن‌ها در جهت ساخت، مسیر مناسب‌تری جهت انتشار موج فراهم‌شده درحالی‌که فقدان چنین مسیر پیوسته در تخته فیبر کمتر بودن سرعت را در این ماده چوبی توجیه می‌نماید. در جدول ۳ میانگین مقادیر اصطکاک داخلی ( $\tan \delta$ )، ضریب آکوستیک، کارایی تبدیل آکوستیک، برای هر دو محصول اندازه‌گیری شده است.

بر اساس نتایج جدول ۲ فرکانس رزونانس ایجادشده در اثر ارتعاش نمونه آزمونی تخته فیبر کمتر از مقدار آن در تخته‌خرده‌چوب بوده، سرعت موج نیز در تخته‌خرده‌چوب بیشتر از مقدار آن در تخته فیبر اندازه‌گیری شده و این تفاوت‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. از آنجاکه این فرکانس دارای بیشترین انرژی بوده و با مدول الاستیسیته ویژه ( $E/\rho$ ) همبستگی بالایی دارد، می‌توان علت کاهش فرکانس رزونانس تخته فیبر در مقایسه با تخته‌خرده‌چوب را بیشتر بودن دانسیته آن دانست. Schwarze و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیق خود

جدول ۳- مقادیر میانگین تانژانت دلتا، ضریب آکوستیک (AC) و کارایی تبدیل آکوستیک (ACE) در چندسازه‌های ساخته‌شده از باگاس

نوع کمپوزیت	$\tan \delta$ ( $\text{s.Hz}^{-1}$ )	AC ( $\text{m}^4/\text{s.kg}$ )	ACE ( $\text{m}^4/\text{s}^2.\text{kg.Hz}$ )
MDF	۰/۰۲۸۵۵ (**/۰/۰۰۵)	۲/۵۴۱ (۰/۱۵)	۱۲۴/۲۸ (۱۳/۸۷)
PB	۰/۰۲۰۷۴ (۰/۰۰۳)	۳/۱۹۳ (**/۰/۱۲)	۱۱۵/۲۲ (۲۰/۶۰) <sup>ns</sup>

اعداد داخل پرانتز انحراف معیار است.

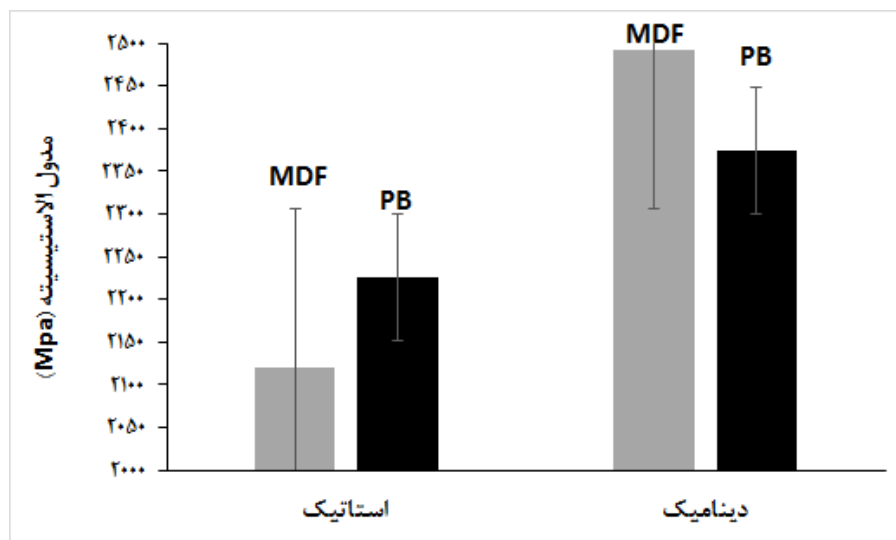
\*\* تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪: NS: عدم معنی‌داری، MDF: تخته فیبر دانسیته متوسط، PB: تخته‌خرده‌چوب

مدول الاستیسیته آن بالاتر باشد، چوب راحت تر مرتعش شده و ارتعاش آن دیرتر میرا می شود [۱۹].

به منظور مطالعه رفتار مکانیکی چندسازه های ساخته شده از باگاس مدول الاستیسیته آن ها به دو روش استاتیکی (آزمون خمش استاتیک) و دینامیکی (آزمون ارتعاش خمشی) اندازه گیری و باهم مقایسه گردید (شکل ۱). نتایج نشان داد که مقادیر مدول الاستیسیته تخته خرده چوب (۶٪) و تخته فیبر (۱۵٪) به روش غیر مخرب بیشتر از مقدار آن در حالت استاتیک بود. Tajdini و Roohnia با ارزیابی مدول الاستیسیته چوب سرو سیمین به روش ارتعاش آزاد و خمش استاتیک، نتیجه گرفتند که مقادیر حاصل از ارتعاش آزاد ۱۲ درصد بیشتر از مقدار آن با آزمون خمش استاتیک بوده است [۲۰]. در تحقیقی دیگر Hunt و همکاران (۲۰۱۳) این افزایش را برای تخته فیبر دانسیته متوسط ۲۶٪ گزارش داده اند [۷]. این تفاوت مربوط به کوتاه بودن زمان آزمون ارتعاش و نرخ کرنش بیشتر تیر در هنگام آزمون ارتعاش خمشی است [۶].

همبستگی بین پارامترهای اندازه گیری شده در نمونه های مورد آزمایش به طور خلاصه در جدول ۴ آورده شده است.

همان طور که نتایج نشان می دهد  $\tan \delta$  در تخته خرده چوب کمتر از مقدار آن در تخته فیبر دانسیته متوسط مشاهده شده است. رفتار ویسکوالاستیک چوب و مواد مرکب چوبی با ضرایب میرایی آن ارتباط دارد. در دامنه فرکانس شنوایی، موج پس از انتشار در ساختار داخلی ماده بر اثر جذب مستهلک شده که این وضعیت حاصل اصطکاک داخلی ماده مورد آزمایش بوده و بر اثر پاشندگی<sup>۱</sup> انرژی ارتعاشی به وجود می آید. یکی از راه های نشان دادن اصطکاک داخلی کاهش لگاریتمی<sup>۲</sup> است که به صورت لگاریتم نسبت دو دامنه متوالی در ارتعاش آزاد تعریف می شود ( $\tan \delta$ ). این بدان معنی است که استهلاک موج طی انتشار در تخته فیبر دانسیته متوسط ساخته شده از باگاس بیشتر بوده و پاشندگی موج در آن بیشتر است. از طرفی مقادیر ضریب آکوستیک اندازه گیری شده در تخته خرده چوب بیشتر از مقدار آن در تخته فیبر بود. با توجه به اینکه ضریب آکوستیک یکی از پارامترهای مهم در برآورد ویژگی آکوستیکی یک جسم بوده و تحت اثر مدول الاستیسیته ( $E$ ) و جرم ویژه ( $\rho$ ) است، هرچه مقدار این ضریب در چوب و مواد مرکب چوبی بالاتر باشد آن چوب جهت استفاده در صفحات تشدید صدا مناسب تر است؛ بنابراین اگر مقدار جرم ویژه چوب کمتر و در عوض



شکل ۱- مقایسه مقادیر میانگین مدول الاستیسیته تخته خرده چوب و تخته فیبر ساخته شده از باگاس به دو روش استاتیکی و دینامیکی

<sup>1</sup> Dispersion

<sup>2</sup> Logarithmic decrement

جدول ۴- همبستگی بین پارامترهای مختلف موج و دانسیته تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر  
(\*\* در سطح ۱٪ معنی‌دار، \* در سطح ۵٪ معنی‌دار)

	$\rho$	$f$	$E$	AC	MDF
$\tan \delta$	۰/۵۴**	۰/۹۱**	۰/۸۵**	۰/۶۹**	V
۰/۶۴**					
$\rho$	۰/۹۵**	۰/۶۹**	۰/۳۵*		AC
۰/۶۱**					
$f$	۰/۹۰**	۰/۴۲**			E
۰/۶۷**					
$E$	۰/۴۵**				f
۰/۶۴**					
$\tan \delta$	۰/۲۱				$\tan \delta$
	$\rho$	$f$	$E$	AC	PB
$\tan \delta$	۰/۵۱**	۰/۸۸**	۰/۹۲**	۰/۷۶**	V
۰/۶۰**					
$\rho$	۰/۸۷**	۰/۴۲**	۰/۴۷**		AC
۰/۷۱**					
$f$	۰/۷۹**	۰/۱۴			E
۰/۵۵**					
$E$	۰/۱۹				f
۰/۸۴**					
$\tan \delta$	۰/۵۵**				$\tan \delta$

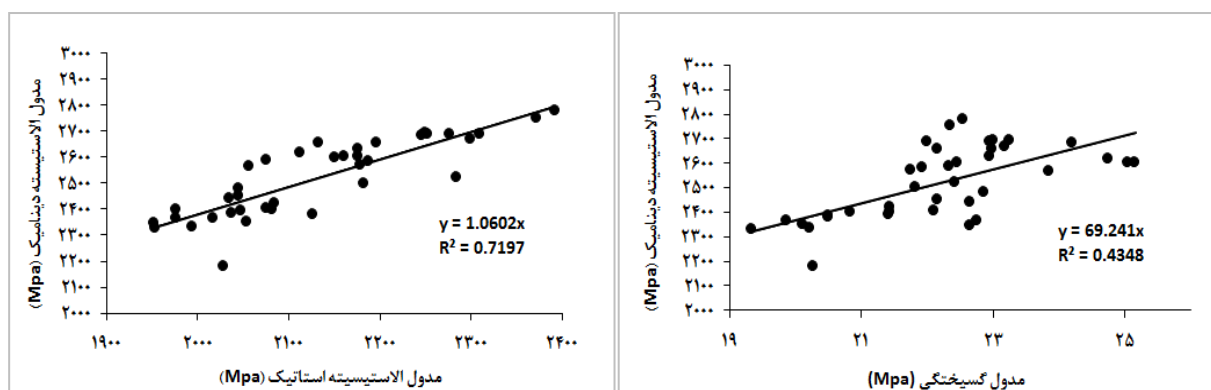
V: سرعت موج، AC: ضریب آکوستیک، E: مدول دینامیکی و F: فرکانس موج، MDF: تخته فیبر دانسیته متوسط، PB: تخته خرد

مرکب چوبی، نوع رزین، نوع محصول و شرایط ساخت از عوامل تأثیرگذار بر انتشار موج می‌باشد [۷، ۴]. در رابطه با اصطکاک داخلی موج (تانژانت دلتا) و مدول الاستیسیته یک همبستگی معکوس و قوی وجود داشته که برای هر دو چندسازه (تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر) در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. این بدین معنی است که چوب و مواد مرکب چوبی که دارای مدول صلبیت بیشتر باشند، موج طی انتشار در آن‌ها دیرتر میرا شده و پایداری بیشتری دارد؛ اما همبستگی دانسیته و ضریب میرایی در تخته فیبر دانسیته متوسط معنی‌دار نبود. هانت و همکاران رابطه بین دانسیته تخته فیبر و ضریب میرایی را با استفاده از آزمون ارتعاش ارزیابی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که همبستگی بین این دو پارامتر بسیار پیچیده‌تر از یک رابطه خطی است و عوامل متعددی همچون پراکنش دانسیته در ضخامت، جهت الیاف، نوع ماده مرکب چوبی و نوع رزین بر همبستگی مذکور تأثیر دارد [۷]. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در تخته فیبر دانسیته متوسط، همبستگی بالایی بین مدول الاستیسیته استاتیک و دینامیک مشاهده گردید (۰/۷۱). این مسئله نشان می‌دهد که آزمون ارتعاش خمشی پتانسیل خوبی برای ارزیابی رفتار مکانیکی تخته فیبر دانسیته متوسط ساخته شده از باگاس داشته است. اگرچه

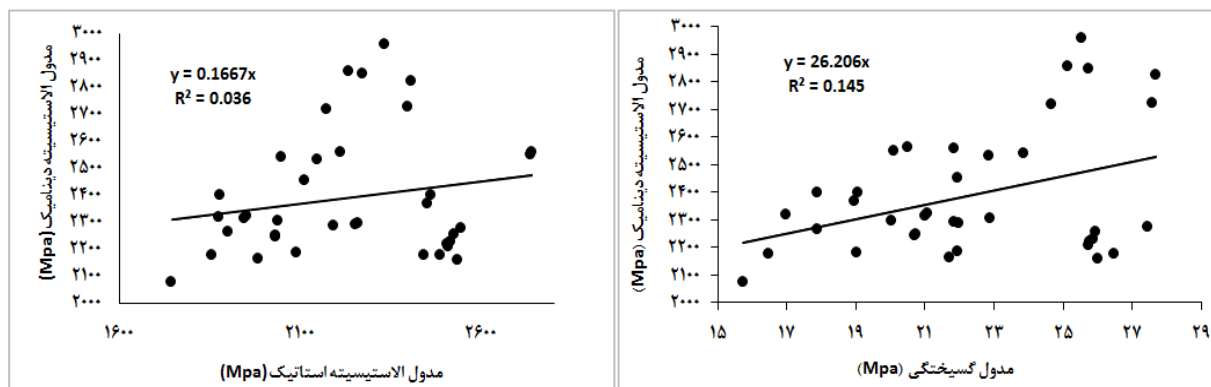
همان‌طور که در جدول بالا نشان داده شده است، دانسیته تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر نیمه سنگین بر روی اکثر پارامترهای موج اثر منفی و تنها در رابطه با مدول الاستیسیته و سرعت موج اثر مثبت داشته است. رابطه سرعت موج و دانسیته مستقیم و در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. مطالعات متعدد انجام شده توسط محققین نشان داده است که رابطه دانسیته به‌عنوان یک ویژگی فیزیکی چوب و مواد مرکب چوبی با سرعت موج مشخص نیست. عده‌ای این رابطه را مستقیم، عده‌ای آن را معکوس و گروهی رابطه معنی‌داری بین دانسیته و سرعت موج مشاهده نکردند [۲۱، ۲۲، ۲۳]. با افزایش دانسیته تخته، ماده مرکب چوبی سنگین‌تر شده و قدرت ارتعاش کاهش یافته که این امر می‌تواند بر روی فرکانس رزونانس و فاکتور کیفیت اثر منفی گذاشته و به عبارتی موج حاصل از ارتعاش در آن با سرعت بیشتری میرا شود؛ اما باید توجه داشت که دانسیته فقط یکی از عوامل منفی بر روی ارتعاش موج است. مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر روی پایداری ارتعاش موج مسیر مناسب و پیوسته برای حرکت موج بوده که به وسیله جهت‌دهی الیاف در راستای طولی تخته فراهم می‌گردد [۲۴]. علاوه بر عوامل مذکور، زاویه میکروفیبریل لایه S<sub>2</sub>، میزان مواد استخراجی، میزان لیگنین، میزان پارانشیم‌های طولی، رطوبت چوب و مواد

از آزمون ساده ارتعاش خمشی ممکن می‌سازد. برعکس، در رابطه با تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از باگاس، بین مدول الاستیسیته استاتیک با مقدار آن در آزمون ارتعاش، همبستگی بالایی مشاهده نشد (شکل ۳). چنین وضعیتی برای مدول گسیختگی نیز تکرار گردید. به عبارتی برای چنین محصولی، ارزیابی رفتار مکانیکی با آزمون ارتعاش ممکن نبود. احتمالاً شرایط نامناسب نمونه‌ها از نظر ساخت، نوع مواد، جهت‌گیری الیاف و نوع رزین در این نتیجه تأثیرگذار بوده است.

میزان مدول الاستیسیته اندازه‌گیری شده به روش ارتعاش بیشتر از مقدار آن به روش استاتیک برآورد شد. از طرفی با توجه به شکل ۲ مدول گسیختگی حاصل از آزمون خمش استاتیک نیز همبستگی خوبی را با مدول الاستیسیته دینامیک نشان داد (۰/۴۳). همبستگی بالای بین مدول الاستیسیته دینامیک و استاتیک (۰/۸۸) در نمونه‌های تخته فیبر دانسیته متوسط توسط Hunt و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است [۷]. معادلات حاصله، ارزیابی کامل رفتار مکانیکی این ماده مرکب را با استفاده



شکل ۲- همبستگی بین مدول الاستیسیته استاتیک و مدول الاستیسیته دینامیکی و همچنین بین مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته در تخته فیبر دانسیته متوسط ساخته‌شده از باگاس



شکل ۳- همبستگی بین مدول الاستیسیته استاتیک و مدول الاستیسیته دینامیکی و همچنین بین مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته در تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از باگاس

در بخش ارزیابی آکوستیکی، برای مطالعه رفتار آکوستیک تخته فیبر دانسیته متوسط و تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از باگاس، مقادیر پارامترهای مختلف موج حاصل از ارتعاش خمشی (فرکانس رزونانس، سرعت موج، تانژانت دلتا،

### نتیجه‌گیری

این تحقیق به دنبال ارزیابی مکانیکی و آکوستیکی چندسازه‌های ساخته‌شده از باگاس (تفاله نیشکر) با استفاده از آزمون ارتعاش خمشی، در استان خوزستان بود.



مشخص شد که دانسیته همبستگی مستقیم و قوی با سرعت موج و مدول الاستیسیته دارد اما این همبستگی در رابطه با سایر پارامترهای آکوستیکی در هر دو ماده مورد آزمایش معکوس مشاهده شد. همبستگی بالای بین مدول الاستیسیته استاتیک و دینامیک (۰/۷۷) و همچنین مدول گسیختگی استاتیک و مدول الاستیسیته دینامیک (۰/۴۳) این مسئله را نشان می‌دهد که آزمون ارتعاش خمشی ابزار مناسبی برای ارزیابی رفتار مکانیکی تخته فیبر دانسیته متوسط ساخته‌شده از باگاس است اگرچه این همبستگی در تخته‌خرده‌چوب ساخته‌شده از باگاس مشاهده نگردید.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح پژوهشی مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا بهبهان است. بدین‌وسیله از زحمات مسئولان آزمایشگاه مکانیک چوب و آزمون‌های غیرمخرب دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج و دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران جهت فراهم نمودن امکانات آزمایشگاهی تقدیر و تشکر می‌گردد.

ضریب آکوستیک و کارایی تبدیل آکوستیک) در هر دو محصول اندازه‌گیری شد. در کل رفتار آکوستیکی نمونه‌های تخته‌خرده با نمونه‌های تخته فیبر متفاوت بود. به‌طوری‌که فرکانس رزونانس، سرعت موج و ضریب آکوستیک در تخته‌خرده‌چوب به‌طور معنی‌داری بیشتر از مقادیر آن در تخته فیبر بود. این در حالی است که اصطکاک داخلی موج در تخته‌خرده‌چوب کمتر و کارایی آکوستیک در هر دو نمونه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. با این نتایج می‌توان بر اساس نوع مواد در رابطه با کاربرد آن‌ها تصمیم گرفت. در مکان‌هایی که نیاز به تشدید صوت و رزونانس است تخته‌خرده‌چوب به تخته فیبر ترجیح داده شده و در مواردی که کنترل نوفه مدنظر باشد، تخته فیبر دانسیته متوسط ساخته‌شده از باگاس ارجحیت دارد. در رابطه با ارزیابی مکانیکی تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر ساخته‌شده از باگاس، آزمون ارتعاش به‌عنوان یک روش ساده، باصرفه و سریع پیشنهاد می‌شود. اگرچه میانگین مقادیر مدول الاستیسیته حاصل از آزمون ارتعاش خمشی از مقادیر استاتیکی آن در تخته فیبر ۱۵ درصد و در تخته‌خرده‌چوب ۶ درصد بیشتر بود، در این تحقیق

### مراجع

- [1] Atchison, J. and McGovern, G.N., 1978. History of paper and the importance of non-wood plant fibers, Pulp and paper manufacture: secondary fibers and non-wood pulping, volume 3, TAPPI Press, Atlanta GA, Chap 1.
- [2] Alfonso, A. and Herryman, D., 1990. Pulping from agro-based resources. *Holzforschung*, 44:58–63.
- [3] Bucur, V., 2006. Acoustics of wood, 2nd ed., Springer Series in Wood Science, Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, 393 p.
- [4] Brancheriau, L., Baillères, H., Détienne, P., Gril, J. and Kronland, R., 2006. Key signal and wood anatomy parameters related to the acoustic quality of wood for xylophone-type percussion instruments. *J Wood Sci*, DOI 10.1007/s10086-005-0755-2.
- [5] Vikram, V., Cherry, M.L., Briggs, D., Cress, D.W. and Howe, G.T., 2011. Stiffness of Douglas-Fir Lumber: effects of wood properties and genetics. *Canadian Journal of Forest Research*, 41(6): 1160-1173.
- [6] Bodig, J., 1989. Mechanics of wood and wood composites (Persian translation), University of Tehran Press, 680 p.
- [7] Hunt, J.F., Zhang H., Guo, Z. and fu, F., 2013. Cantilever beam static and dynamic response comparison with mid-point bending of thin MDF composite panels. *Bio Resources*, 8(1):115-129.
- [8] Yoshihara, H., 2011. Measurement of the young s modulus and shear Modulus of in-plane quasi-isotropic medium-density fiberboard by flexural vibration. *BioResources*, 6(4): 4871-4885.



- [9] Yoshihara, H., 2012. Influence of the specimen depth to length ratio and lamination construction on young modulus and in-plane shear modulus of plywood measured by flexural vibration. *BioResources*, 7(1): 1337-1351.
- [10] Niemz, L.J., Kucera, E. and Pohler, E., .1997. Vergleichende untersuchungen zur bestimmung des dynamischen E.mouls mittels schall-laufzeit-und resonans frequenzmessung. *Holzforschung und Holzverwertung*, 49(5): 91-93.
- [11] Mirbolouk, P. and Roohnia, M., 2015. Evaluation of dynamic Modulus of elasticity of medium density fiberboard panel from longitudinal vibration tests on specimens. *Bio Resources*, 10(1):613-621.
- [12] Hamdan, S., Talib, Z.A., Rahman, R.M., Ahmed, A.S. and SaifulIslam, A., .2010. Dynamic yang's modulus measurement of treated and post- treated tropical wood polymer composites. *Bio Resources*, 5(1): 324-341.
- [13] Yan, L., Chouw, N. and Jayaraman, K., 2014. On energy absorption capacity, flexural and dynamic properties of flax/epoxy composite tubes. *Fibers and Polymers*, 15 (6):1270-1277.
- [14] Saiful islam, M.D., Hamdan, S., Abidin Talib, Z., Ahmed, A.S. and Rezaur Rahman, M.D., 2012. Tropical wood polymer nanocomposite (WPNC) the impact of nanoclay on dynamic mechanical thermal properties. *Composites science and Technology*, 72(26):1995-2001.
- [15] Senthil Kumar, K., Siva, I., Jeyaraj, P., Winowlin Jappes, J.T., Amico, S.C. and Rajini, N., 2014. Synergy of fiber length and content on free vibration and damping Behavior of natural fiber reinforced polyester composite beams. *Materials and Design*, (56): 379–386.
- [16] Roohnia M., 2007. NDT-LAB; System to evaluate the mechanical properties of wood. IR Patent 44032/22 08.
- [17] Abdolahian Sohi, A., Khademi-Eslam, H., Hemasi, AH., Roohnia M. and Talaiepour, M., 2011. Nondestructive detection of the effect of drilling on acoustic performance of wood. *Bio Resources*: 6(3):2632-2646.
- [18] Schwarze, F.R., Spycher, M. and Fink, S., 2008. Superior wood for violins – wood decay fungi as a substitute for cold climate. *New Phytologist*, 179:1095–1104.
- [19] Tsoumis, G., 1991. Science and technology of wood. Van Nostrand Reinold, Wegst, UGK. Wood for Sound. *American Journal of Botany*, 93(10): 1439–1448.
- [20] Roohnia, M. and Tajdini, A., 2007. Investigation on the possibility of modulus elasticity and damping factor measurements, I timbers from Arizona Cypress using free vibration NDT in comparison with static bending and forced vibration NDT. *Majale Keshavarzi*, 13(4):1017-1027.(In Persian).
- [21] 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*, 51:296-302.
- [22] Bucur, V. and Chivers, R.C., 1991. Acoustic properties and anisotropy of some Australian wood species. *Acustica*, 75:69–75.
- [23] Mishiro, A., 1996. Effect of density on ultrasonic velocity in wood. *Mokuzai Gakkaishi*, 42 (9):887–894.
- [24] Kazemi Najafi, S., Abbasi Marasht, A. and Ebrahimi, Gh., .2007. Prediction of ultrasonic wave velocity in particleboard and fiberboard. *J Mater Sci*, 42:789-793.

## **Nondestructive evaluation of acoustical and mechanical properties of bagasse fiber composites by flexural vibration method (Lohe Sabz & Karoon factories)**

### **Abstract**

In this investigation, the potential of flexural vibration method as a nondestructive tool was studied in order to evaluate the acoustical and the mechanical properties of bagasse composites. For this purpose, more than 40 cubic samples ( $36 \times 4 \times 1.6 \text{ cm}^3$ ) were taken from the given materials. The results showed that the acoustical behavior of particle board (PB) were better than medium density fiber board (MDF). In MDF samples, the resonance frequency, the sound velocity, the quality factor as well as the acoustic coefficients were significantly lower than those measured in PB samples. In contrast, the internal friction measured in MDF was greater than PB. However, no significant difference was observed between acoustic coefficients of MDF and PB. The young's modulus of MDF and PB were obtained by conducting a flexural vibration method under the free- free condition based on Timoshenko's vibration theory. The results were also compared with the modulus of elasticity and rupture calculated by 3 point bending test. The modulus of elasticity values, measured by dynamic method were 15% and 6% higher than those achieved by static bending method for MDF and PB, respectively. It was also illustrated that the modulus of elasticity and the sound velocity were significantly and positively related to the density of MDF and PB while the other acoustical properties had negative relations with density. As good correlations were found between dynamic and static modulus of elasticity (0.71) as well as between static modulus of rupture and dynamic modulus of elasticity (0.44), it can be concluded that the flexural vibration is a valuable tool to evaluate mechanical properties of MDF made by bagasse while the similar results were not observed in PB composites.

**Key words:** flexural vibration, nondestructive test, MDF, PB, bagasse, acoustic coefficient.

**M.A. Saadatnia<sup>1\*</sup>**  
**S. Eshaghi<sup>2</sup>**  
**A. Rostampour<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Wood and Paper, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University Of Technology, Behbahan, Iran.

<sup>2</sup> M.Sc, Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

<sup>3</sup> Ph.D student, Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Corresponding author:  
msaadatnia92@gmail.com

Received: 2015.02.28  
Accepted: 2015.04.25