

## فاکتور میرایی چوب کاج جنگلی در ارتعاشات آزاد طولی، خمشی و پیچشی

مهران روح نیا<sup>1</sup>، سیده معصومه هاشمی طبالوندانی<sup>2</sup>، پوریا شفیعی<sup>3</sup>، آژنگ تاج دینی<sup>4</sup>

### چکیده

در این بررسی اثر نوع و جهت ارتعاش به همراه اثر اندازه عرض نمونه در تیرهای مستطیلی چوب کاج جنگلی (*Pinus silvestris*) مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور تعداد 39 قطعه تیر چوبی کاملاً راست تار و سالم به ابعاد اسمی  $36 \times 4/5 \times 2$  سانتی‌متر (LRT) (نمونه‌های پهن) از چوب کاج جنگلی تهیه و فاکتور میرایی مد اول ارتعاش این نمونه‌ها از روی کاهش لگاریتمی در دامنه لحظه‌ای به تفکیک طی آزمون‌های ارتعاش طولی، خمشی (LT) و پیچشی برآورد شد. سپس نمونه‌ها به وسیله برش از جهت شعاعی به دو تیر کوچک‌تر به ابعاد اسمی  $36 \times 2 \times 2$  سانتی‌متر (LRT) (نمونه‌های باریک) تقسیم و مجدداً فاکتور میرایی مد اول ارتعاش نمونه‌ها طی آزمون‌های ارتعاش طولی و خمشی (LT و LR) محاسبه و مقادیر میرایی نمونه‌های باریک در هر آزمون با مقادیر مشابه نمونه‌های پهن نظیر خود مقایسه شدند. عرض باریک یا پهن نمونه‌ها در هیچ یک از آزمون‌های ارتعاشی در برآورد فاکتور میرایی ارتعاش موثر نبود در حالی که نوع و جهت ارتعاش تاثیر معنی‌داری در برآورد مقادیر میرایی داشت به طوری که بزرگ‌ترین مقادیر میرایی مربوط به ارتعاش پیچشی و کمترین آنها مربوط به ارتعاش طولی بود. ارتعاش خمشی LT و LR با هم تفاوتی نشان ندادند. پیش‌بینی شده است در انواع آزمون‌های ارتعاشی، برای اندازه‌گیری فاکتور میرایی بتوان از نمونه‌های با هر اندازه‌ای (مثلاً شرایط سرویس) استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** ارتعاش، پیچش، تیر، خمش، کاج، کاهش لگاریتمی، میرایی

- 
- 1- استادیار گروه علوم چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج [mehran.roohnia@kiaou.ac.ir](mailto:mehran.roohnia@kiaou.ac.ir)
  - 2- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
  - 3- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
  - 4- استادیار گروه علوم چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

## مقدمه

صدایی که از ارتعاش چوب سماع می‌شود، یا از یک منبع بیرونی به چوب برخورد می‌کند و آن را مرتعش می‌سازد، به مرور میرا می‌شود که ناشی از مصرف انرژی آکوستیک ارتعاش آن است. صرف نظر از اثر اصطکاک هوا انرژی آکوستیک چوب مرتعش به دو طریق مصرف می‌شود. یکی جذب صوت که صرف مقابله با اصطکاک داخلی می‌شود و نتیجه آن آزاد شدن گرما است و دیگری بازتابش به محیط می‌باشد. محل قرارگیری و صلبیت تکیه‌گاه نیز به‌عنوان یک عامل بازدارنده بیرونی بر افزایش میرایی ارتعاش در چوب موثر است. لذا برای حذف این عامل بیرونی می‌بایست تیر به هیچ تکیه‌گاهی اتکا نکند.

میزان میرایی ارتعاش در چوب بستگی به نوع گونه (جرم ویژه، میزان مواد استخراجی، بافت چوب و ...)، رطوبت چوب (با افزایش رطوبت چوب میرایی افزایش می‌یابد)، جهت ارتعاش (طولی، مماسی و شعاعی)، و مد ارتعاش دارد [17]. میرایی ارتعاش، فاکتوری بسیار مهم است و امکان کنترل آن در محدوده مناسب، مشکلی بزرگ برای مصالح ساختمانی تلقی می‌شود. ضمناً در جعبه‌های تشدید آلات موسیقی و سالن‌های آمفی تاتر استفاده از چوب آلات با میرایی کمتر برای تمديد انتشار صوت ارجحیت دارد [6].

یک نیروی محرک بیرونی می‌تواند یک تیر چوبی بدون اتکا را به‌صورت طولی، عرضی (خمشی) و پیچشی در مدهای طبیعی خود به ارتعاش برانگیزد. اگر نیروی محرک بیرونی تنها یک بار اعمال شود، تیر پس از پذیرش آن به طور آزاد در تعدادی فرکانس مد طبیعی به ارتعاش در می‌آید و پس از صرف تدریجی انرژی آکوستیک، رفته رفته از ارتعاش می‌ایستد. در حالت ارتعاش اجباری، تکرار نیروی محرک بیرونی با فرکانس مشابه یکی از مدهای طبیعی تیر، موجب ایجاد پدیده تشدید و اعمال ارتعاش اجباری در تیر چوبی بدون اتکا شده و تا زمانی که محرک بیرونی با همان فرکانس ادامه داشته باشد ارتعاش نیز میرا نخواهد شد. اما پس از قطع محرک بیرونی همانند ارتعاش آزاد، پدیده میرایی رخ خواهد داد. تصور تیر چوبی بدون تکیه‌گاه در روی کره زمین و با توجه به جاذبه زمین قدری دشوار است ولی در فضای خارج از میدان جاذبه کرات، تیر می‌تواند به هیچ تکیه‌گاهی اتکا نداشته باشد. برای بازسازی شرایط بدون اتکا برای تیر چوبی می‌بایست به مفهوم گره و شکم ارتعاش توجه داشت. نظر به این‌که در این تحقیق تنها از مد اول (اولین ارتعاش طبیعی با فرکانس پایه) ارتعاشات طولی، عرضی و پیچشی بهره‌برداری شده‌است لذا تنها به معرفی گره و شکم ارتعاش در مد اول این ارتعاشات پرداخته شده‌است.

مجموعه نوسان و انتقال نوسان نقاط مادی تیر را موج می‌گویند. نوسان براساس ضربه نقاط مادی به نقاط کنار هم بوجود آمده و موج را پدید می‌آورد. موج از یک نقطه مادی به نقطه مادی بعدی و همجوار منتقل می‌شود. یعنی موج از نقطه‌ای شروع شده و به نقاط دیگر منتقل می‌شود که اگر در تمام جهات اطراف نقطه مادی شروع موج، نقاط مادی موجود باشند، موج به صورت دایره حرکت خواهد کرد. نوسان نقاط مادی در طول تیر موجب ایجاد پدیده ارتعاش در آن می‌شود.

امواجی که در طول تیر حرکت می‌کنند و هیچ‌گونه نوسانی به بالا و به پایین ندارند امواج طولی نامیده می‌شوند و تیر حامل این امواج دارای ارتعاش طولی خواهد بود. امواجی که دامنه نوسان نقاط مادی در آنها عمود بر محور تیر است ولی در طول تیر حرکت دارند، امواج عرضی یا سینوسی نامیده می‌شوند و تیر حامل آنها دارای ارتعاش عرضی یا خمشی می‌باشد. نوع سوم امواجی هستند که نیروی محرک آنها گشتاور پیچشی حول مرکز سطح مقطع تیر ایجاد می‌نماید و ارتعاش حاصل از آن که حرکات رفت و برگشت پی در پی پیچشی می‌باشد، ارتعاش پیچشی نامیده می‌شود. در یک تیر مرتعش نقاطی که دارای هیچ نوسانی نمی‌باشند، گره و نقاطی که دارای حداکثر نوسان هستند، شکم نامیده می‌شوند. حال اگر تیر از محل گره ارتعاشی که هیچ‌گونه نوسانی ندارد روی یک تکیه گاه نازک و کشسان استقرار یابد، اثر نیروی بازدارنده تکیه گاه بر ارتعاش تیر به حداقل خواهد رسید. لذا بدین وسیله با اندکی اغماض، تیر دوسر آزاد مورد بحث در میدان جاذبه زمین قابل بازسازی است. مد اول ارتعاش طولی و پیچشی تیر دوسر آزاد دارای یک گره و محل آن در وسط تیر  $(0/5L)$  و مد اول ارتعاش عرضی تیر دوسر آزاد دارای دو گره و محل آنها از هریک از دو انتهای آزاد تیر  $0/224L$  می‌باشد [1، 4، 5، 14].

مطالعه فاکتور میرایی ارتعاش در سال‌های اخیر مورد توجه محققین بسیاری در سراسر دنیا بوده است. برمو<sup>1</sup> (2008) نگاهی بر فاکتور میرایی ارتعاش چوب آلات مورد مصرف در ساخت آلات موسیقی داشته است [6]. وی طی یک همبستگی توانی، مدول الاستیسیته ویژه این چوب آلات را در ارتباط با فاکتور میرایی ارتعاش معرفی نموده است. بوکور<sup>2</sup> (1995)، ماتسونوگا<sup>3</sup> و همکاران (1996) و سوگیاما<sup>4</sup> و همکاران (1994) برای برخی گونه‌ها این همبستگی را مردود می‌دانند [7، 10، 16]. به‌عنوان مثال چوب گونه *Guilandina echinata* که به طور سنتی در ساخت ویولن مورد استفاده قرار می‌گیرد در مقایسه با چوب آلات سوزنی برگ و پهن برگ با مدول الاستیسیته ویژه برابر به‌طور استثنایی فاکتور میرایی کوچک‌تری دارد. هولز<sup>5</sup> (1996) نتیجه‌گیری نمود که چوب ایده‌آل ساخت زیلوفن (نوعی آلت موسیقی) محدوده ویژه‌ای از دانسیته، مدول الاستیسیته و فاکتور میرایی را دارا می‌باشد [8]. نوریموتو<sup>6</sup> (1982) نشان داده است که نمونه‌های نوئل (*Picea excels*, *P. glehnii*, *P. sitchensis*) که ماده مناسب ساخت صفحات تشدید آلات موسیقی هستند، نسبت به سایر سوزنی برگان دارای سرعت صوت بالاتر و فاکتور میرایی ارتعاش طولی آنها کوچک‌تر است [12]. ماتسونوگا (1999) وابستگی میرایی ارتعاش را به نوع و میزان مواد استخراجی تعدادی گونه چوبی نشان داد و با اشباع چوب نوئل توسط مواد استخراجی چوب گونه *Guilandina echinata*، فاکتور میرایی را کاهش داد [11]. اوباتایا<sup>7</sup> و نوریموتو (1999) اهمیت مواد

<sup>1</sup> Bremaud

<sup>2</sup> Bucur

<sup>3</sup> Matsunaga

<sup>4</sup> Sugiyama

<sup>5</sup> Holz

<sup>6</sup> Norimoto

<sup>7</sup> Obataya

استخراجی را در صلبیت و کیفیت میرایی ارتعاش مواد متخلخل تایید نمودند [13]. راجینیران<sup>1</sup> (2005) فاکتور میرایی را به عنوان یکی از پارامترهای مهم در چوب مناسب برای ساخت زیلوفن سستی تایلندی به همراه مدول الاستیسیته ویژه آنها مطالعه نموده است [15]. آراماک<sup>2</sup> و همکاران (2007) اهمیت میرایی را در انتخاب چوب مناسب برای ساخت زیلوفن نشان دادند [3]. علوی تبار و همکاران (1388) نیز مدول-الاستیسیته ویژه را در ارتباط با فاکتور میرایی چوب راش ایران مورد مطالعه قرار داده و رابطه ای توانی بین آنها ارائه نموده اند [2].

در این مقاله نیز به دنبال تحقیقات گذشته، فاکتور میرایی مد اول ارتعاش چوب آلات تجاری کاج جنگلی در ارتعاشات طولی، عرضی و پیچشی مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفته است.

### تئوری

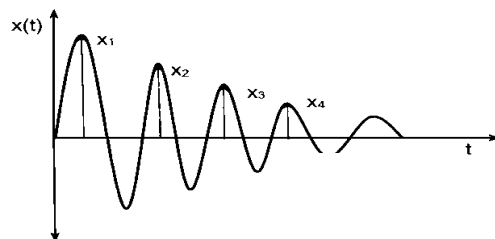
تعبیر لگاریتمی کاهش ارتعاش ( $\lambda$ ) در دامنه لحظه ای، مطابق معادله 1 تعریف می شود (شکل 1) [6، 1].

$$(1) \quad I = \frac{1}{n} \ln \left| \frac{x_1}{x_{n+1}} \right|$$

که در آن  $x_1$  ارتفاع یا شدت اولیه ارتعاش در حال کاهش و  $x_{n+1}$  شدت  $n$  امین نوسان پس از نوسان متناظر با  $x_1$  می باشند.

بدین ترتیب میرایی ارتعاش مطابق رابطه زیر از روی کاهش لگاریتمی محاسبه می گردد [6، 1].

$$(2) \quad \tan d = \frac{I}{p}$$



شکل 1- نمایش کاهش لگاریتمی در دامنه لحظه ای (محور افقی زمان برحسب ثانیه و محور عمودی شدت ارتعاش برحسب دسی بل)

محاسبه فاکتور میرایی ارتعاش به روش پهنای باند فرکانسی نیز در ارتعاشات واداشته و اجباری امکان پذیر است [6، 1] که در اینجا از آن استفاده نشده است.

### مواد و روشها

تعداد 39 قطعه تیر چوبی کاملاً راست تار و سالم با رعایت دستورالعمل شماره 3129 استاندارد بین-المللی ISO [18] به ابعاد اسمی  $36 \times 4/5 \times 2$  سانتی متر (LRT) (نمونه های پهن) از یک قطعه الوار تجاری

<sup>1</sup> Rujinirun

<sup>2</sup> Aramaki

کاج جنگلی تهیه و به مدت 2 هفته در یک اتاق کليما تيزه با رطوبت 65% و دمای 22 درجه سانتی گراد نگهداری شدند. سپس فاکتور میرایی مد اول ارتعاش این نمونه‌ها از روی کاهش لگاریتمی در دامنه لحظه‌ای به تفکیک طی آزمون‌های ارتعاش طولی، خمشی (LT) و پیچشی برآورد شد.

برای ادامه آزمون، نمونه‌ها از جهت شعاعی به دو تیر کوچک‌تر به ابعاد اسمی 36x2x2 سانتی‌متر (LRT) (نمونه‌های باریک) بریده و مجدداً به مدت 2 هفته در شرایط آزمایشگاهی فوق‌الذکر نگهداری شدند. این بار نیز مجدداً فاکتور میرایی مد اول ارتعاش نمونه‌ها طی آزمون‌های ارتعاش طولی و خمشی (LT و LR) محاسبه و میانگین جفت نمونه باریک به تفکیک هر آزمون با مقادیر نمونه‌های پهن مقایسه شدند.

برای مقایسه آماری توسط نرم افزار SPSS v.11.5 از طرح فاکتوریل دو طرفه 2x4 در قالب بلوک‌های کامل تصادفی استفاده گردید به طوری که اثر نوع و جهت ارتعاش و اثر اندازه نمونه بر مقدار فاکتور میرایی ارتعاش و اثر متقابل آنها در سطوح متفاوت معنی‌داری مورد بررسی قرار گرفته و گزارش شدند.

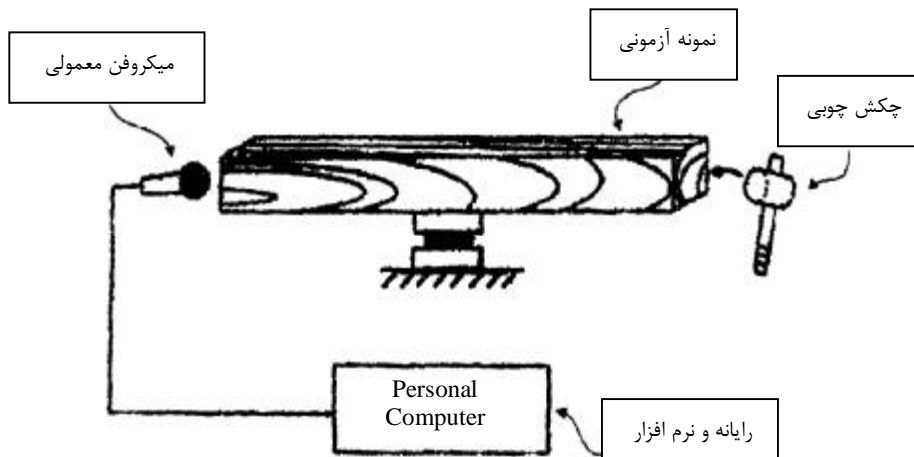
• نوع و جهت ارتعاش در چهار سطح:

- ارتعاش طولی
- ارتعاش خمشی LT
- ارتعاش خمشی LR
- ارتعاش پیچشی

• اندازه نمونه در دو سطح:

- نمونه های پهن
- نمونه های باریک

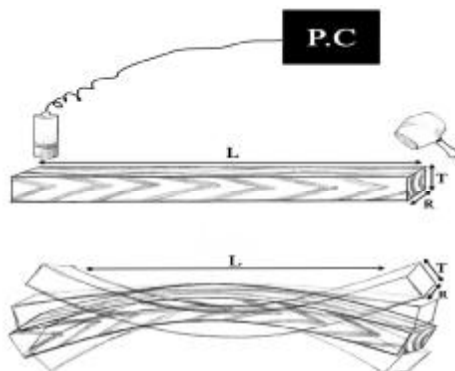
با توجه به این که امکان آزمون ارتعاش خمشی LR در نمونه‌های پهن و آزمون ارتعاش پیچشی نمونه‌های باریک میسر نشد، لذا داده‌های این دو حالت از مجموع 4x2=8 حالت، ثبت و مقایسه نشدند.



شکل 2- نمونه تحت آزمون ارتعاش طولی (برگرفته از US-Patent 2004/0144158 A1)

آزمون ارتعاش طولی<sup>۱</sup>: در این آزمون از هر دو نمونه پهن و باریک استفاده شد. نمونه‌ها دقیقاً از وسط تیر (محل گره ارتعاشی) [9] توسط یک تکیه‌گاه کشسان نگه داشته و توسط یک چکش چوبی به یک انتهای آنها ضربه‌ای نواخته شد. صدابرداری ارتعاش طولی از انتهای دیگر تیر توسط یک دستگاه میکروفن معمولی انجام شد (شکل 2). هرچه تکیه‌گاه باریکتر باشد انطباق آن با محل گره بیشتر شده و تماس آن با نواحی دارای نوسان کمتر خواهد شد؛ لذا به جای تکیه‌گاه نشان داده شده در شکل می‌توان از دو انگشت شست و اشاره در وسط تیر روی لبه‌ها بدون تماس سطوح نیز استفاده نمود<sup>۲</sup>.

آزمون ارتعاش عرضی (خمشی)<sup>۳</sup>: در این آزمون تیر چوبی از محل گره‌های مد اول ارتعاش (0/224L از هر طرف) روی دو تکیه‌گاه نازک و کشسان قرار گرفت. اعمال ضربه چکش از یک انتها و برداشت سیگنال‌های صوتی توسط میکروفن از انتهای دیگر صورت گرفت. هنگامی که ضربه روی سطح شعاعی وارد می‌شود نوسانات عرضی نقاط مادی تیر در جهت مماسی و حرکت موج در جهت طول تیر (ارتعاش خمشی در سطح LT) و در صورتی که ضربه روی سطح مماسی به چوب اعمال گردد، نوسانات عرضی نقاط مادی تیر در جهت شعاعی و حرکت موج در جهت طول تیر (ارتعاش خمشی در سطح LR) خواهد بود [14]. شکل 3 وضعیتی که ضربه چکش به سطح شعاعی وارد می‌شود و باعث ارتعاش خمشی LT در تیر چوبی می‌شود را نشان می‌دهد. در نمونه‌های پهن استقرار نمونه‌ها روی تکیه‌گاه از ضلع کوچک مقطع (ضلع مماسی) میسر نشد لذا این نمونه‌ها در ارتعاش خمشی، فقط تحت آزمون ارتعاش LT قرار گرفتند.



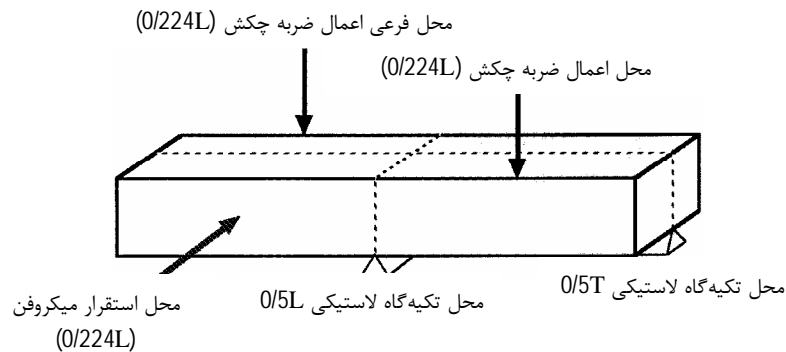
شکل 3- نمونه تحت آزمون ارتعاش خمشی LT

<sup>1</sup> Stress-wave

<sup>۲</sup> در اندازه‌گیری میرایی باید تاثیر تکیه‌گاه تا حد امکان کاهش یابد. لذا دقت در نگهداری تیر دقیقاً از محل گره ارتعاشی بسیار مهم است.

<sup>۳</sup> Transverse (flexural) vibration

آزمون ارتعاش پیچشی<sup>1</sup>: استقرار و ارتعاش تیرهای چوبی این آزمون مطابق دستورالعمل شماره C1548-02 استاندارد ASTM به انجام رسید [4]. برای انجام این آزمون تنها از نمونه‌های پهن می‌توان استفاده نمود لذا اندازه گیری میرایی ارتعاش پیچشی برای نمونه‌های باریک میسر نشد. هر نمونه مطابق شکل 4 روی تکیه‌گاه نازک کشسان قرار گرفت به طوری که بتواند آزادانه ارتعاش پیچشی نماید. در مد اول ارتعاش پیچشی تنها یک نقطه گره در وسط تیر وجود دارد و حداکثر ارتعاش در دو انتهای تیر صورت می‌گیرد. نقاط اعمال ضربه چکش و استقرار میکروفن دقیقا در 0/224L از دو انتها قرار داشتند. این مکان در اصل محل‌های گره مد اول ارتعاش خمشی بود و بدین ترتیب از برانگیزش خمشی در مد اول و تداخل آن با ارتعاش پیچشی جلوگیری شد [4].

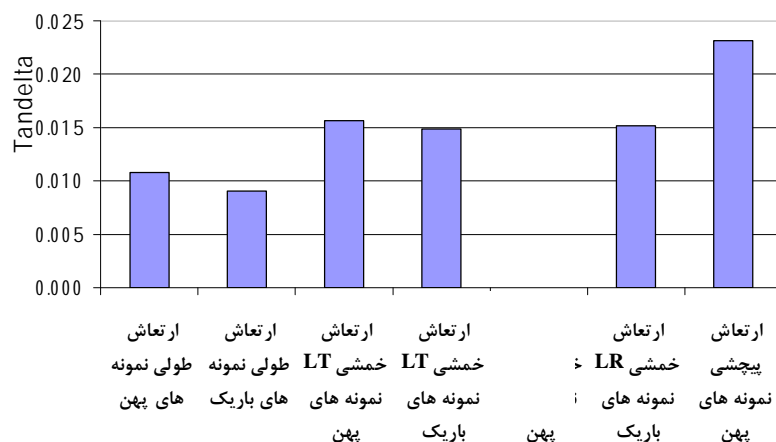


شکل 4- نمونه تحت آزمون ارتعاش پیچشی (برگرفته از دستورالعمل شماره C1548-02 استاندارد ASTM)

## نتایج

شکل 5 میانگین 39 بار تکرار در هریک از شرایط کلی آزمون اندازه‌گیری فاکتور میرایی ارتعاش را نشان می‌دهد که در آن کمترین مقدار فاکتور میرایی مربوط به ارتعاش طولی و بزرگترین آن مربوط به ارتعاش پیچشی می‌باشد.

<sup>1</sup> Torsional vibration



شکل 5- مقایسه فاکتور میرائی در انواع ارتعاشات آزاد تیر

جدول 1- تجزیه واریانس یک طرفه اثر تغییر 6 حالت شرایط کلی آزمون بر فاکتور میرایی

ارتعاش آزاد تیر دوسر آزاد

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
تیمار	0/005	5	0/001	24/590	0/000
خطا	0/009	228	0/000		
کل	0/013	233			

جدول 2- آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای گروه‌بندی شرایط آزمونی از نظر برآورد فاکتور میرایی

ارتعاش آزاد تیر دوسر آزاد

زیرگروهها در سطح Alpha = 0/05			شرایط کلی آزمون
3	2	1	
		0/0091 0/0107	آزمون ارتعاش طولی نمونه های باریک آزمون ارتعاش طولی نمونه های پهن
	0/0149		آزمون ارتعاش خمشی LT نمونه های باریک
	0/0151		آزمون ارتعاش خمشی LR نمونه های باریک
	0/0157		آزمون ارتعاش خمشی LT نمونه های پهن
0/0232			آزمون ارتعاش پیچشی نمونه های پهن



برای کنترل مشاهدات شکل 5، ابتدا اثر تغییر 6 حالت شرایط کلی آزمون بر مقادیر فاکتور میرایی برآورد شده توسط آزمون آماری تجزیه واریانس یک طرفه مورد بررسی قرار گرفت (جدول 1). در سطح معنی داری  $\alpha = 0/01$  این اثر معنی دار بود به طوری که آزمون چند دامنه‌ای دانکن (جدول 2)، نتایج فاکتور میرایی متأثر از شرایط کلی آزمون را به سه زیرگروه متفاوت تقسیم نمود. نتایج این گروه‌بندی نشان داد که نتایج فاکتور میرایی حاصل از آزمون ارتعاش طولی در گروه اول، آزمون ارتعاش خمشی در گروه دوم و آزمون ارتعاش پیچشی را در گروه سوم قرار گرفته و به جز آزمون ارتعاش پیچشی که برای نمونه‌های باریک میسر نشد، در سایر آزمون‌ها، تفاوتی بین نمونه‌های پهن و باریک مشاهده نشد.

به منظور اطمینان از نتیجه به دست آمده و مطالعه عمیق‌تر، مجدداً شرایط کلی آزمون به دو سری فاکتور مستقل اندازه عرض تیر (2 سطح: پهن و باریک) و نوع آزمون (4 سطح: ارتعاش طولی، ارتعاش خمشی LR، ارتعاش خمشی LT و ارتعاش پیچشی) تفکیک و اثر مستقل هر یک از این فاکتورها و تاثیر متقابل آنها بر مقادیر وابسته فاکتور میرایی ارتعاش توسط آزمون آنالیز واریانس و در پی آن گروه‌بندی چند دامنه‌ای دانکن مورد بررسی قرار گرفت (جدول 3 و 4). این آزمون نیز اثر نوع آزمون و بی‌اثری اندازه عرض تیر بر مقادیر برآورد شده فاکتور میرایی ارتعاش را تایید نمود. این دو پارامتر مستقل، در میزان پارامتر وابسته فاکتور میرایی ارتعاش هم‌پوشانی یا تاثیر متقابل نیز نداشتند.

آزمون چند دامنه‌ای دانکن (جدول 4) نیز بار دیگر نتایج فاکتور میرایی متأثر از نوع آزمون را به سه زیرگروه متفاوت تقسیم نمود به طوری که نتایج فاکتور میرایی حاصل از آزمون ارتعاش طولی در گروه اول، آزمون ارتعاش خمشی در گروه دوم و آزمون ارتعاش پیچشی را در گروه سوم قرار گرفته است. نظر به بی‌اثر بودن اندازه عرض تیر، نتایج برآورد شده از حیث اثر این فاکتور در یک گروه یکسان قرار خواهند گرفت، لذا نیازی به آزمون مجدد دانکن نمی‌باشد.

جدول 3- تجزیه واریانس اثر نوع آزمون و اندازه عرض تیر بر فاکتور میرایی ارتعاش آزاد تیر دوسر آزاد

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
نوع آزمون (4 سطح)	0/004	3	0/001	34/664	0/000
عرض تیر (2 سطح)	$5/9 \times 10^{-5}$	1	$5/9 \times 10^{-5}$	1/544	0/215
نوع آزمون × عرض تیر	$8/06 \times 10^{-6}$	1	$8/06 \times 10^{-6}$	0/211	0/647
خطا	0/009	228	$3/83 \times 10^{-5}$		
کل	0/065	234			

جدول 4- آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای گروه‌بندی نوع آزمون از نظر برآورد فاکتور میرایی

ارتعاش آزاد تیر دوسر آزاد

زیرگروهها در سطح $\alpha = 0/05$			جمع تعداد آزمون	نوع آزمون
3	2	1		
		0/0099	78	آزمون ارتعاش طولی
	0/0151		39	آزمون ارتعاش خمشی LR
	0/0153		78	آزمون ارتعاش خمشی LT
0/0232			39	آزمون ارتعاش پیچشی

### بحث و نتیجه گیری

- برخی از منابع تفاوت میرایی در ارتعاشات مختلف را بیان نموده ولی در خصوص میزان این تفاوت بحثی به میان نیاورده‌اند [17]. با یادآوری این نکته که میرایی کوچک‌تر یعنی امتداد بیشتر ارتعاش نسبت به زمان، نتایج حاصل از این تحقیق نیز تأیید نمود که میزان استهلاك انرژی ارتعاش در ارتعاشات طولی، خمشی و مماسی چوب کاج جنگلی مقادیری متفاوت دارد. تکیه گاه نرمی که می‌توانست نمونه را از پرتاب شدن در مقابل ضربه چکش حفظ نماید دو انگشت شست و اشاره بود. با وجودی که این تکیه گاه به ناچار اندکی نیز از محل گره خارج می‌شود باز هم کمترین مقدار میرایی ارتعاش، مربوط به ارتعاشات طولی تیر بوده‌است.

- اندازه عرض پهن و باریک تیرها در میزان میرایی ارتعاش آنها موثر نبودند. در تحقیقات گذشتگان برخی پارامترهای مکانیکی چوب از جمله مدول برشی نمونه‌های پهن و باریک با هم مقایسه شده‌اند [5] ولی در مورد اندازه نمونه و برآورد میرایی مطالب زیادی عنوان نشده‌است. لذا یکی از دستاوردهای این تحقیق این است که بیان می‌کند اندازه‌گیری فاکتور میرایی چوب ممکن است با استفاده از نمونه‌های پهن و باریک و یا هر اندازه‌ای (شرایط سرویس) به انجام برسد که نیاز به مطالعات بیشتر دارد.

### سپاسگزاری

این مقاله حاصل قسمت‌های مشترک پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد مولفین دوم و سوم آن می‌باشد. بدین‌وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج که امکانات انجام تحقیقات این پایان‌نامه‌ها را تأمین نموده است تشکر و قدردانی می‌گردد.

همچنین از جناب مهندس نوید منوچهری مدیرعامل محترم شرکت دانش‌بنیان ان. دی. تی. ایرانیان که برنامه نویسی‌های حرفه‌ای لازم برای آزمون‌های غیرمنحرف و توسعه نرم‌افزارها را به انجام رساندند به طور ویژه تشکر می‌گردد.

## منابع

1. بادیک، ژ. و جین، ب. 1386 - مکانیک چوب و فراورده های مرکب آن (ترجمه دکتر قنبر ابراهیمی) -  
موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران - شماره 2013 - چاپ سوم - 686 صفحه
2. علوی تبار، س. روح نیا، م. تاجدینی، آ.، 1388، مطالعه میرایی و کیفیت در چوب راش ایران، مجله علوم و فنون منابع طبیعی، جلد 4 شماره 2، صفحه 59-68
3. Aramaki, M. Bailleres, H. Brancheriau, L. Kronland-martinet, R. Ystad, S., 2007, Sound quality assessment of wood for xylophone bars, Journal of acoustical society of America, 121(4): 2407-2420
4. ASTM, 2002, Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio of Refractory Materials by Impulse Excitation of Vibration, Designation C1548. 7p
5. Brancheriau, L., 2006, Influence of cross section dimensions on Timoshenko's shear factor – Application to wooden beams in free-free flexural vibration, Annals of Forest Science, Vol. 63 pp. 319-321
6. Bremaud, I., 2008, Caractérisation mécanique des bois et facture : origines et recensement de la variabilité, Actes de la journée d'étude Le bois : instrument du patrimoine musical – Cité de la Musique, pp.24-46
7. Bucur, V., 1995, Acoustics of wood. Boca Raton, CRC Press, , p.284.
8. Holz. D., 1996, Acoustically important properties of xylophone-bar materials: can tropical woods be replaced by European species? Acustica united with Acta Acustica vol.82, pp. 878-884
9. Huang, Y. Chen, S., 2004, Method for non-destructive stress wave testing of wood, United states patent, US 6,782,732 B2, 4p
10. Matsunaga, M., 1996, Physical and mechanical properties required for violin bow materials, Holzforschung vol.50, pp. 511-517.
11. Matsunaga, M., 1999, Vibrational property changes of spruce wood by impregnation with water-soluble extractives of pernambuco (*Guilandina echinata* Spreng.), Journal of wood science vol.45, n°6, pp. 470-474
12. Norimoto. M., 1982, Structure and properties of wood used for musical instruments. I. On the selection of wood used for piano soundboards, Mokuzai gakkaiishi vol.28, n°7, pp. 407-413.
13. Obataya, E. Norimoto, M., 1999, Acoustic properties of a reed (*Arundo donax* L.) used for the vibrating plate of a clarinet, journal of the acoustical society of America vol.106, n°2, pp. 1106-1110
14. Roohnia, M. Yavari, A. Tajdini, A., 2010, Elastic parameters of poplar wood with end-cracks, Annals of forest science, 67: 409p1-409p6
15. Rujinirun, C. Phinyocheep, P. Prachyabrued, W. Laemsak, N., 2005, Chemical treatment of wood for musical instruments. Part I: acoustically important

- properties of wood for the Ranad (Thai traditional xylophone), Wood science and technology, 39:77-85
16. Sugiyama. M., 1994, Physical and mechanical properties of pernambuco (*Guilandina echinata* Spreng) used for violin bows, *Mokuzai gakkaiishi* vol.40, n°9, pp. 905-910
17. Tsoumis, G., 1991, Science and technology of wood, Van Nostrand Reinold, pp. 204-207
18. Wood - Sampling Methods and General Requirements for Physical and Mechanical Tests – 1975 – 11 – 01 - International Standard ISO 3129, 4p