

اثر ناهمگنی مصنوعی دانسیته بر مدول برشی دینامیک چوب بلوط بلند مازو (*Quercus castaneifolia*)

مصطفی کهن ترابی^{1*}، امیرهومن حمصی²، محمد طلایی پور³، مهران روح‌نیا⁴ و بهزاد بازبار³

1) دکتری رشته مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: mostafa.kohantorabi@gmail.com

2) استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

3) دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

4) استاد گروه علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: 99/08/07

تاریخ پذیرش: 99/10/23

چکیده

در این تحقیق به بررسی تأثیر ایجاد ناهمگنی مصنوعی دانسیته در ناحیه ابتدایی و میانی تیرهای بلوط بلند مازو (*Quercus castaneifolia*) با بررسی تغییرات حاصل در مدول برشی دینامیک حاصل از روش ارتعاش خمشی آزاد در تیر دو سر آزاد پرداخته شده است. بدین منظور تعداد 10 نمونه از گونه بلوط با ابعاد $20 \times 40 \times 720$ میلی‌متر (طول، شعاعی و مماسی) جهت تعیین مدول برشی در تیرهای اولیه مورد آزمون ارتعاش خمشی آزاد در تیر دو سر آزاد قرار گرفتند. پس از آن نمونه‌ها به دو گروه تقسیم شده و از گروه اول بلوک‌هایی به ابعاد $20 \times 40 \times 40$ میلی‌متر از قسمت ابتدایی و از گروه دوم بلوک‌هایی با ابعاد ذکر شده از قسمت میانی استخراج شده و توسط چسب پلی‌وینیل استات به یکدیگر متصل شده و پس از برقراری اتصال آزمون ارتعاش خمشی آزاد مجدداً بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت. پس از آن بلوک‌های بلوط از محل اتصال خارج شده و در دو مرحله بلوک‌هایی از دو گونه صنوبر (*Populus nigra*) و انجیلی (*Parrotia persica*) در آنها جایگزاری شده و به‌منظور تأثیر ناهمگنی ایجاد شده توسط هر یک از بلوک‌های جایگزین شده بر مقادیر مدول برشی، آزمون ارتعاش خمشی بر روی آنها صورت پذیرفت. نتایج حاکی از آن بود که ایجاد ناهمگنی مصنوعی دانسیته در ناحیه ابتدایی تیر توسط هر سه گونه بلوط، صنوبر و انجیلی تأثیر معنی‌داری بر مقادیر مدول برشی دینامیک ندارد، درحالی‌که ایجاد ناهمگنی در قسمت میانی تیر باعث افت معنی‌دار مقادیر حاصل از این فاکتور شده است. تیرهای ناهمگن شده توسط گونه انجیلی بیشترین، و تیرهای ناهمگن شده توسط گونه بلوط با کمترین درصد افت در مقادیر مدول برشی دینامیک مواجه شدند.

واژه‌های کلیدی: پخشودگی امواج، چسب، دانسیته، مدول برشی، ناهمگنی.

مقدمه

(Roohnia et al., 2002). تعیین مقادیر مدول برشی با استفاده

از روش‌های استاتیک و دینامیک توسط چندین محقق مورد بررسی قرار گرفت که موفق شدند ارتباط مناسبی را میان آنها پیدا کنند. امروزه تکنیک‌های ارتعاشی در ارزیابی‌های غیرمخرب برای برآورد مدول برشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Nzokou et al., 2006; Yang et al., 2008; Cho, 2007; Roohnia & Kohantorabi, 2015; Krüger et al., 2018; Krüger & Wagenführ, 2020). به‌طور کل کاربرد این تکنیک‌ها نسبت به روش‌های استاتیکی باعث صرفه‌جویی در زمان و عدم تخریب نمونه می‌گردد. ایجاد هر گونه ناهمگنی در تیرهای چوبی می‌تواند موجب دریافت پاسخ دینامیکی

مدول برشی از معروف‌ترین پارامترهای مکانیکی مواد می‌باشد. در یک ماده سه محوره همانند چوب با توجه به سطح آن، می‌توان مقادیر این پارامتر را در صفحات LT، LR و RT (طولی-مماسی، طولی-شعاعی و شعاعی-مماسی) محاسبه نمود (Bucur, 2006). یک تیر ممکن است مشابه ارتعاش عرضی خمشی در راستای صفحات LR و LT مرتعش شود و با استفاده از تئوری‌های مرتبط از قبیل تئوری تیر تیموشنکو، مدول الاستیسیته طولی و مدول برشی آن از طریق فرکانس‌های وابسته به مد استخراجی محاسبه گردد که این فاکتورها در هر دو حالت تقریباً باهم برابر می‌باشند

همان‌طور که در تحقیقات ذکر شده ملاحظه می‌شود با ایجاد ناهمگنی‌های مختلف در تیر، اثر دینامیکی قابل تفسیر جهت کشف ناهمگنی‌های ایجاد شده در پارامترهای محاسبه شده یافت گردیده است. پیرو تحقیقات حاضر، هدف از انجام این پژوهش اثر ایجاد ناهمگنی مصنوعی دانسیته در تیرهای چوب بلوط بلند مازو² و با بلوک‌های استخراج‌شده و اتصال داده شده از تیر اولیه (به‌عنوان ناهمگنی مصنوعی دانسیته متجانس) و بلوک‌گذاری با گونه‌های صنوبر³ با دانسیته کمتر و انجیلی⁴ با دانسیته بیشتر نسبت به تیر اصلی (به‌عنوان ناهمگنی‌های نامتجانس) در دو ناحیه‌ی 0/06 (ابتدای تیر) و 0/50 (میان تیر) از طول تیر بر روی مدول‌برشی دینامیک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

چوب‌های بلوط بلند مازو، صنوبر و انجیلی مورد استفاده در این تحقیق از 3 الوار تجاری تهیه شدند. سپس نمونه‌های گونه بلوط با ابعاد $40 \times 20 \times 720$ میلی‌متر و به‌صورت تیر شعاعی و بدون هر گونه عیب و ایراد ظاهری و نمونه‌های صنوبر و انجیلی با ابعاد $40 \times 40 \times 20$ میلی‌متر به همان صورت تهیه شده و به‌منظور رسیدن به دما و رطوبت تعادل (12 درصد) به اتاق کليماتيزه با دمای 20 ± 2 سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 65 ± 5 به مدت دو هفته انتقال یافتند. پس از مدت مذکور نمونه‌های بلوط جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی از اتاق کليماتيزه خارج شده و پس از آن جهت محاسبه مدول‌برشی دینامیک (رابطه 1 تا 3) در صفحه طولی - شعاعی (با توجه به شکل ظاهری نمونه‌ها امکان آزمون ارتعاش خمشی تنها در این صفحه ارتعاشی ممکن بود)، مورد آزمون ارتعاش خمشی آزاد در تیر دوسر آزاد قرار گرفتند (شکل 1). لازم به ذکر است محاسبات مربوط به مدول‌برشی دینامیک توسط نرم‌افزار[®] NDT-lab و بر مبنای همبستگی بالای 0/98 در سه مدول ارتعاش خمشی صورت پذیرفت (Timoshenko, 1954). جهت برقراری یکسان‌ترین شرایط، نمونه‌های هر گونه (تعداد 10 نمونه از هر گونه) با حداقل اختلاف در دانسیته نسبت به یکدیگر ($\pm 5\%$) انتخاب شدند (دانسیته بلوک‌های صنوبر 45 درصد کمتر و دانسیته بلوک‌های انجیلی 28 درصد بیشتر از گونه بلوط بلند مازو

م تفاوت از آن گردد که امروزه استفاده از تغییرات به وجود آمده در هر پارامتر دینامیکی در اثر ایجاد ناهمگنی‌ها، جهت ردیابی معایب در تیرهای چوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Brancheriau and Bailleres, 2003, Kohantorabi et al.) (2015, 2020). به‌عنوان مثال کهن‌ترابی و روح‌نیا (1392) در بررسی اثر نقص در اتصالات انگشتی و فارسی در قسمت میانی تیر اعلام داشتند که با گسترش نقص در چسبندگی هر دو نوع اتصال مقادیر مدول‌برشی کاهش می‌یابد. Kubojima و همکاران (2005) با استفاده از روش ارتعاش اجباری تاثیر ایجاد ناهمگنی مصنوعی توسط باندهای فلزی را در چوب نوئل سیتکا¹ را در مدهای اول تا سوم ارتعاشی مورد بررسی قرار دادند. نتایج مبین آن بود که بدون اتصال باند فلزی در نمونه‌ها در مدهای اول به بعد نسبت به هنگامی که اتصال باند فلزی صورت می‌پذیرفت از خود افزایش نشان دادند. آنها رابطه معنی‌داری در مقایسه بین تیرهای متصل شده با نوار فلزی و بدون اتصال بر طبق تئوری تیر تیموشنکو به‌دست آوردند. Roohnia و همکاران (2011) برای بررسی اثرات سوراخ و پهن شدن سوراخ طبق پاسخ دینامیکی چوب و با استفاده از روش آزمون غیرمخرب تلاش کردند، بدین منظور نمونه‌هایی از چوب راش به ابعاد $2 \times 2 \times 36$ سانتی‌متر تهیه شد و در 4 مرحله با قطر 3، 5، 8 و 10 میلی‌متر در نقطه میانی طول روی سطح مماسی و در مسیر شعاعی سوراخ زده شد. در مطالعه اثرات پهن شدن سوراخ، ارزیابی‌های دینامیک با دو ارتعاش همسو LT و LR مقایسه شدند. آنها نتیجه گرفتند که سوراخ‌ها، ضرایب طولی مقادیر الاستیسیته را زمانی که در LR نوسان ایجاد می‌شود، کاهش دادند. درحالی‌که مقادیر در LT اصولاً ثابت باقی ماند. Kubojima و همکاران (2014) با استفاده از روش ارتعاش طولی تاثیر ایجاد ناهمگنی مصنوعی توسط باندهای فلزی مستطیلی شکل را به‌عنوان شبیه‌سازی گره در چوب نوئل سیتکا مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌ها قبل و بعد از اتصال باندهای فلزی در نواحی مختلف مورد آزمون ارتعاش طولی قرار گرفتند. نتایج نشان داد به‌جز اثر اضافه شدن جرم در ناحیه انتهایی تیر در سایر مقاطع اضافه نمودن جرم اضافی تاثیر معنی‌داری بر نتایج حاصل از مدول‌الاستیسیته دارد.

رابطه (2)

$$b_n = \frac{4\pi^2 l^2 f_n^2 F_{2n}}{m_n^4}$$

رابطه (3)

$$a_n = \frac{[4\pi^2 l^2 f_n^2 (1 + \alpha F_{1n})]}{\alpha m_n^4}$$

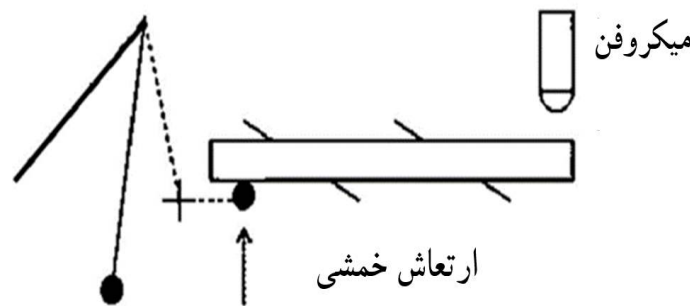
که در آن K ضریب شکل است که در اینجا حدود 0/833 می‌باشد. E مدول الاستیسیته، G (Pa) مدول برشی (Pa)، ρ جرم ویژه، f_n فرکانس (Hz) \ln مد ارتعاش، K ثابت چوب، I طول (mm) و α پارامتری جهت جلوگیری از پیچیدگی است که از طریق تجزیه و تحلیل طیف فوریه توسط نرم‌افزار NDT-lab[®] به دست می‌آید.

همبستگی بین مقادیر حاصل شده از مدول برشی حاصل از هر مرحله از آزمون در هر گروه از تیرهای سالم با تیرهای اتصال یافته در قسمت ابتدایی و میانی تیرها با سه گونه چوب توسط آزمون همبستگی پیرسون و برازش مدل رگرسیونی بررسی شد. مقایسه میانگین‌های مربوط به مدول برشی حاصل از هر مرحله آزمونی (نسبت به چوب بدون اتصال) نیز توسط آزمون آماری T test صورت پذیرفت. برای انجام آزمون‌های آماری از نرم‌افزار SPSS Ver. 17[®] و برای رسم نمودار و خط رگرسیون از نرم‌افزار MS EXCEL[®] استفاده گردید.

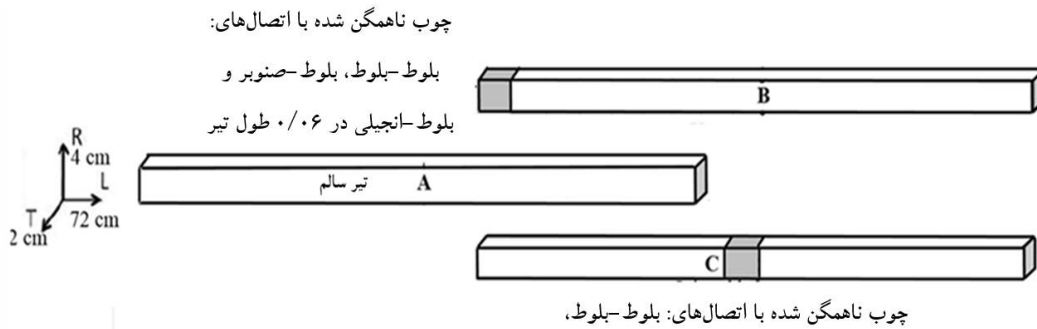
بودند). پس از آن آزمون‌های گونه بلوط به دو گروه 5 تایی تقسیم شده و در دسته اول بلوک‌هایی با ابعاد 20 × 40 × 40 میلی‌متر از ابتدایی تیر (0/06 طول تیر) و در دسته دوم از میان تیر (0/50 طول تیر) توسط اره مویی خارج شده و مجدداً در نواحی مستخرج شده با چسب پلی‌وینیل استات مطابق با استاندارد ASTM D905-08 (2013) به یکدیگر به صورت سر به سر متصل شده و تا برقراری کامل اتصال درون گیره دستی قرار گرفتند. پس از آن آزمون‌های اتصال یافته با همان چوب بلوط، دوباره به اتاق کلیماتیزه با شرایط ذکر شده در قبل انتقال یافتند و جهت بررسی اثر ناهمگنی متجانس ایجاد شده بر مدول برشی، مورد آزمون ارتعاش خمشی قرار گرفتند. بعد از اتمام آزمون ارتعاش خمشی در آزمون‌های ناهمگن شده با بلوک‌های چوب بلوط، بلوک‌ها از تیر اصلی خارج شده و پس از تمیزکاری با کاغذ سنباده، بلوک‌های چوب صنوبر و پس از آن انجیلی به جای آنها جای گذاری شده و مطابق با شرایط ذکر شده آزمون ارتعاش خمشی آزاد به منظور بررسی تاثیر ناهمگنی بر مدول برشی دینامیک روی آزمون‌های ناهمگون شده با گونه‌های غیرمتجانس صورت پذیرفت (شکل 2).

رابطه (1)

$$a_n = \left(\frac{E}{\rho}\right) - \left(\frac{E}{K \times G}\right) b_n$$



شکل 1. نمای شماتیک از آزمون ارتعاش خمشی آزاد در تیر دو سر آزاد



شکل 2. نمای شماتیک از آماده‌سازی آزمون‌ها، A: آزمون‌های یکپارچه؛ B: آزمون‌های اتصال یافته در ابتدای طول تیر؛ C: آزمون‌های اتصال یافته در میانه تیر

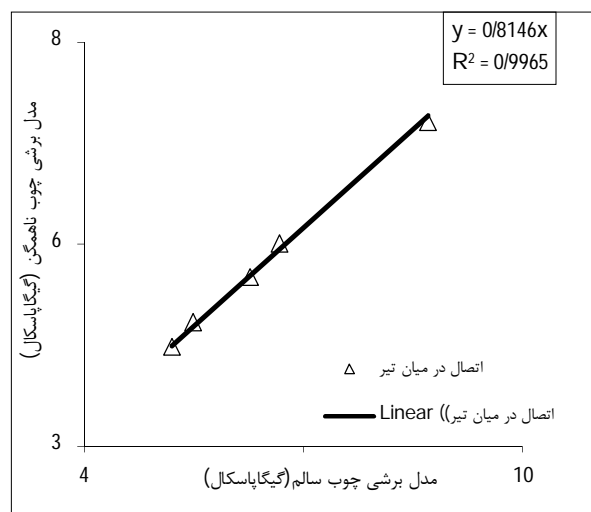
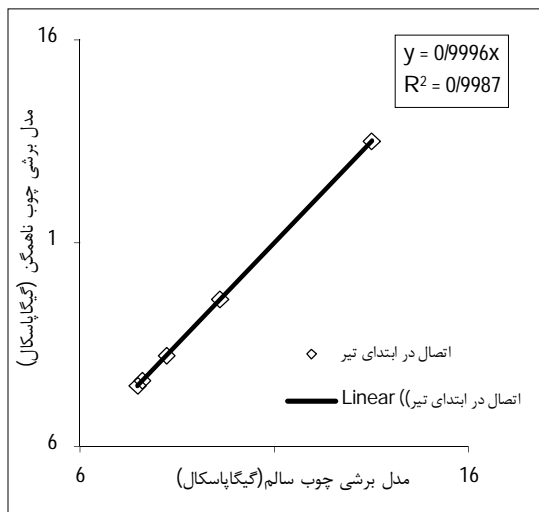
نتایج

میانی تیر 19 درصد نسبت به مقادیر حاصل از تیر سالم می‌باشد.

در شکل (4) تاثیر ایجاد ناهمگنی مصنوعی دانسیته در اثر ایجاد اتصال صنوبر به‌عنوان گونه‌ای با دانسیته کمتر نسبت به گونه بلوط در قسمت ابتدایی و انتهایی تیرها بر مدول‌برشی آمده است. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود ایجاد اتصال در ناحیه ابتدایی تیر، همچون ناهمگنی ایجاد شده توسط همان گونه بلوط تاثیر معنی‌داری بر مقادیر مدول‌برشی نداشته است. با ایجاد ناهمگنی در ناحیه میانی تیر، مقادیر مدول‌برشی دینامیک به‌طور معنی‌داری نسبت به تیرهای سالم با افت مواجه شدند. میزان این افت نزدیک به 28 درصد مقادیر حاصل از چوب سالم می‌باشد. ضمن اینکه درصد افت مقادیر مدول‌برشی نسبت به ناهمگنی ایجاد شده در اتصال بلوط- بلوط، بیشتر می‌باشد.

پیش از پرداختن به نتایج حاصل از تغییرات مدول‌برشی توضیح این مطلب ضروری است که بلوک‌های جای‌گذاری شده صنوبر و انجیلی به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب کمتر و بیشتر از دانسیته چوب بلوط بودند ولی بعد از جای‌گذاری هر یک از گونه‌ها در تیرهای اصلی بلوط، دانسیته تیرها تغییر معنی‌داری از خود نشان ندادند.

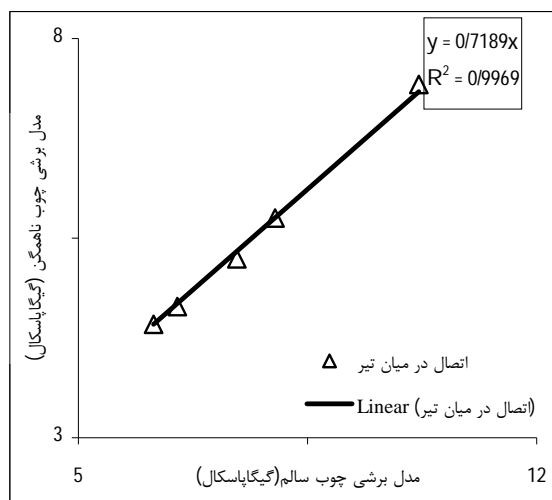
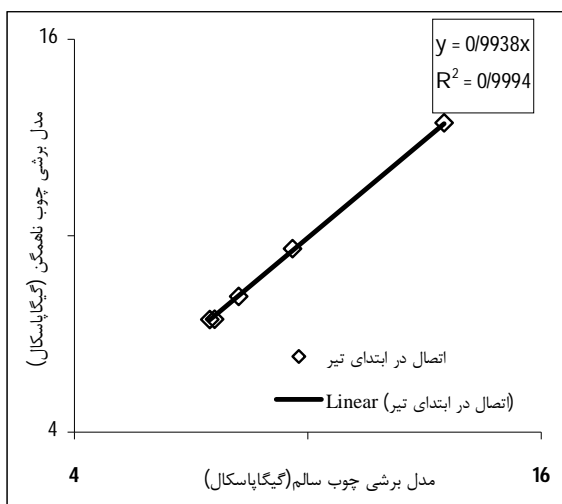
در شکل (3) نتایج حاصل تاثیر ناهمگنی مصنوعی دانسیته توسط اتصال بلوط- بلوط در قسمت ابتدایی و انتهایی تیرها بر روی مقادیر مدول‌برشی دینامیک نسبت به تیرهای سالم نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌گردد ایجاد ناهمگنی در قسمت ابتدایی تیر تاثیر معنی‌داری بر مقادیر مدول‌برشی نداشته است، در حالی که مدول‌برشی در اثر ایجاد ناهمگنی در قسمت میانی تیر به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. میزان افت مقادیر در اثر اتصال در ناحیه



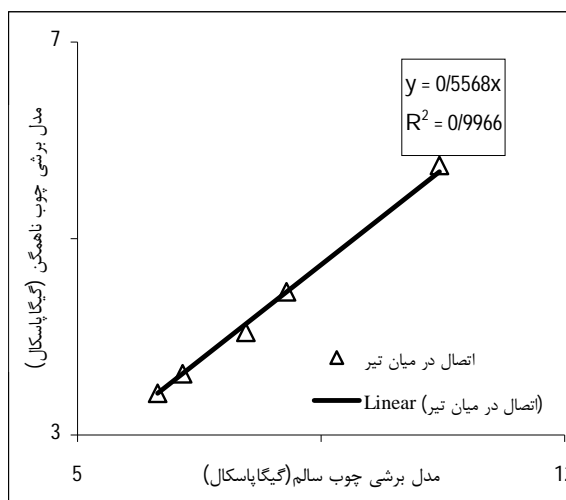
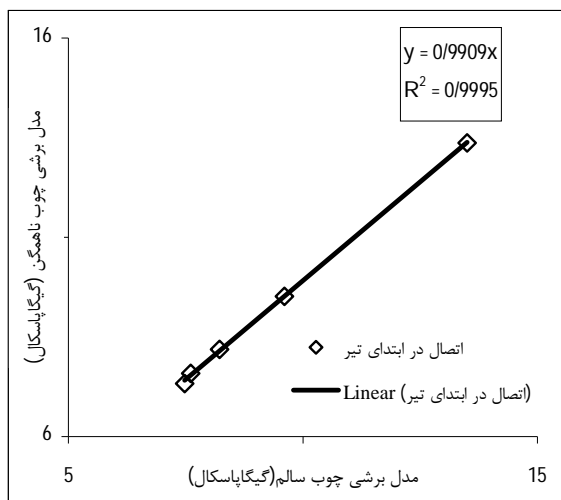
شکل 3. اثر ناهمگنی مصنوعی دانسیته با اتصال بلوط- بلوط در ناحیه ابتدایی و میانی تیر

مقادیر مدول برشی نداشته است. اتصال در ناحیه میانی تیر باعث افت شدید مقادیر مدول برشی در تیرهای ناهمگن نسبت به تیرهای سالم شده است. میزان درصد افت مقادیر مدول برشی در اثر ایجاد این ناهمگنی مصنوعی دانسیته به طور چشمگیری نسبت به دو نوع ناهمگنی ایجاد شده بیشتر و به میزان 49 درصد نسبت به مقادیر اولیه می باشد.

شکل (5) اثر ایجاد ناهمگنی مصنوعی دانسیته با انجیلی به عنوان گونه ای با دانسیته بیشتر نسبت به تیرهای بلوط بر مدول برشی دینامیک را به نمایش درآورده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود ایجاد ناهمگنی مصنوعی دانسیته با گونه انجیلی در قسمت ابتدایی تیر، همچون ایجاد ناهمگنی در اثر اتصال با همان گونه بلوط و صنوبر تاثیر معنی داری بر



شکل 4. اثر ناهمگنی مصنوعی دانسیته با اتصال بلوط - صنوبر در ناحیه ابتدایی و میانی تیر



شکل 5. اثر ناهمگنی مصنوعی دانسیته با اتصال بلوط - انجیلی در ناحیه ابتدایی و میانی تیر

در قسمت ابتدایی تیرهای بلوط چه با گونه متجانس (بلوک های استخراج شده از همان تیر اولیه) و چه با گونه های غیرمتجانس (بلوک های صنوبر و انجیلی) سبب ایجاد تغییر در مقادیر اولیه مدول برشی نگردد. در حالی که در هر نوع ایجاد ناهمگنی دانسیته در قسمت میانی تیر با افت معنی دار مقادیر مدول برشی در صفحه طولی - شعاعی مواجه بود. با

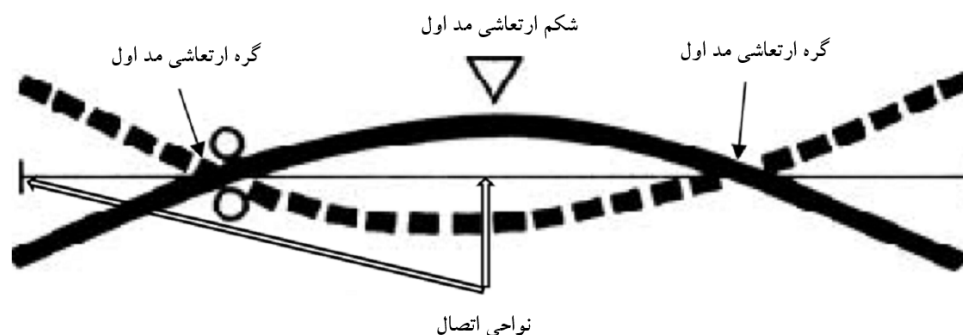
بحث و نتیجه گیری

مدول برشی یک ویژگی از یک ماده است که به تنهایی بعد از دست کاری مصنوعی تیرهای چوبی تغییر نمی کند، اما در این مطالعه به عنوان پاسخ دینامیکی تیر در مقابل ایجاد ناهمگنی مصنوعی دانسیته در ابتدا و قسمت میانی آن معرفی شده است. همان طور که در نتایج مشاهده شد ایجاد ناهمگنی

بلوط، صنوبر و انجیلی باعث افت معنی دار نتایج حاصل از مدول برشی نسبت به تیرهای سالم شد. نکته حایز اهمیت میزان درصد افت مقادیر حاصل در اثر ایجاد ناهمگنی مصنوعی دانسیته با هر یک از این گونه‌ها می‌باشد. به طوری که کمترین درصد میزان افت مربوط به ناهمگنی متجانس بلوط - بلوط و بیشترین آن مربوط به ناهمگنی غیرمتجانس بلوط - انجیلی بود. نظر به اینکه با توجه به یکسان بودن نوع و میزان چسب مصرفی می‌توان از اثر آن صرف نظر نمود (Brancheriau & Bailleres 2003; Roohnia et al., 2012;)
 عبور از نواحی با تراکم متفاوت دچار پدیده‌ای به اسم پخشودگی امواج (Wave propagation) می‌شوند که نتیجه این پدیده افت فرکانس در نواحی ناهمگن قرار گرفته در ناحیه شکم ارتعاشی می‌باشد (Harris & Piersol, 2002;)
 در آزمون‌های ناهمگن شده در این تحقیق شاهد این امر در ناحیه مد اول ارتعاش خمشی بود که به تبع این موضوع نتایج متفاوت از افت در مقادیر حاصل از مدول برشی حاصل شد. نکته حایز اهمیت اثر افت بیشتر در مقادیر حاصل از مدول برشی به تبع ایجاد ناهمگنی توسط گونه‌ای با دانسیته بالاتر می‌باشد که در تحقیقات مشابه پیشین اثر این موضوع بر افت مقادیر گزارش نشده بود (Roohnia et al., 2011; Roohnia et al., 2012, Müller et al., 2015; Krüger & Wagenführ, 2020).

توجه به اینکه ایجاد ناهمگنی مصنوعی در دانسیته در هر دو ناحیه و با هر یک از گونه‌های به کار رفته تاثیر معنی داری در دانسیته کلی تیرها نداشت، به نظر می‌رسد نتایج متفاوت حاصل از این دو ناحیه به عامل دیگری مرتبط باشد. مطابق با تئوری‌های ارایه شده در زمینه گره و شکم ارتعاشی و همان‌طور که در شکل (6) مشاهده می‌شود، ناحیه میانی تیر (0/50 طول تیر) در محل شکم ارتعاشی مد اول ارتعاش خمشی واقع شده است، در حالی که نواحی 0/224 از طول تیر در هر دو سمت آن، در نواحی گره ارتعاشی مد اول ارتعاش خمشی می‌باشد (Bodig & Jayne, 1993; Harris & Piersol, 2002). با توجه شکل (6) اتصال در قسمت میانی تیر درست در محل شکم ارتعاشی و اتصال در ناحیه ابتدایی تیر خارج از محدوده شکم ارتعاشی مد اول ارتعاش خمشی قرار گرفته است. بنابراین نتایج حاصل شده را می‌توان به اثر متفاوت پاسخ رزونانسی دریافت شده از دو ناحیه ابتدایی و میانی تیر با توجه به محل قرارگیری آنها نسبت به شکم گره ارتعاشی مد اول ارتعاش خمشی نسبت داد. پیش از این نیز اثر قرارگیری معایب ایجاد شده در تیرهای ارتعاشی نسبت به گره و شکم ارتعاشی روش‌های متفاوت گزارش شده بود (Kubojima et al., 2005; Kubojima et al., 2014;)
 (Roohnia et al., 2011; Kohantorabi et al., 2020).

همان‌طور که در نتایج مشاهده شد ایجاد ناهمگنی مصنوعی دانسیته در قسمت میانی تیر با هر یک از گونه‌های



شکل 6. مکان گره و مد ارتعاشی 1 در ارتعاش آزاد خمشی آزاد در تیر دو سر آزاد

دینامیک در صفحه طولی - شعاعی، محل قرارگیری آن نسبت به گره و شکم ارتعاشی حایز اهمیت می‌باشد، اختلاف دانسیته

بنابراین با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان گفت علاوه بر اینکه در کشف ناهمگنی مصنوعی دانسیته در تیرهای بلوط بلند مازو از طریق افت مقادیر در مدول برشی

Krüger, R., Buchelt B. and Wagenführ, A. (2018) New method for determination of shear properties of wood. *Wood Science and Technology*, 52(6): 1555–1568.

Kubojima, Y., Tonosaki, M. and Yoshihara, H. (2005) Effect of additional mass on the young's modulus of a wooden beam. *Journal of Testing and Evaluation*, 33(4): 278-282.

Kubojima, Y., Tonosaki, M. and Yoshihara, H. (2014) Effect of additional mass on Young's modulus of a wooden beam. *BioResources*, 9(3): 5088-5098.

Müller, U., Ringhofer, A., Brandner, R. and Schickhofer, G. (2015) Homogeneous shear stress field of wood in an Arcan shear test configuration measured by means of electronic speckle pattern interferometry: Description of the test setup. *Wood Science and Technology*, 49(6): 1123–1136.

Nzokou, P., Freed, J. and Kamden, D.P. (2006) Relationship between nondestructive and static modulus of elasticity of commercial wood plastic composites. *European Journal of Wood and Wood Products*, 64(1): 90-93.

Roohnia, M. and Kohantorabi, M. (2015) Dynamic methods to evaluate the shear modulus of wood. *BioResources*, 10(3): 4867-4876.

Roohnia, M., Alavi-Tabar, S.E., Hossein, M.A., Brancheriau, L. and Tajdini, A. (2011) Dynamic modulus of elasticity of drilled wooden beams. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 26(2): 141-153.

Roohnia, M., Kohantorabi, M., Jahan-Latibari, A., Tajdini, A. and Ghaznavi, M. (2012) Nondestructive assessment of glued joints in timber applying vibration-based methods. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(6): 791-799.

Timoshenko, S.P. (1954) LXVI. On the correction for shear of the differential equation for transverse vibrations of prismatic bars. *The London, Edinburgh, Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(6): 744-746.

Yang, T.H.S., Wang, Y., Lin, C.J. and Tsai, M.J. (2008) Evaluation of the mechanical properties of douglas-fir and japanese cedar lumber and its structural glulam by nondestructive techniques. *Construction and Building Materials*, 22(2): 487-493.

عامل ناهمگن‌کننده ساز نیز در میزان افت مقادیر حاصل از این فاکتور از اهمیت بالایی برخوردار است.

منابع

کهن‌ترابی، م. و روح‌نیا، م. (1392) تشخیص معایب در اتصالات از طریق تغییرات حاصل در ضریب همبستگی و مدول برشی دینامیک در چوب راش. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، 24-34 : (2)28

ASTM D905–08. (2013) Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading, 5p.

Bodig, J. and Jayne, B.A. (1993) *Mechanics of wood and wood composites*. Krieger Publishing Company, New York, 669p.

YorkBrancheriau, L. and Bailleres, H. (2003) Use of the partial least squares method with acoustic vibration spectra as a new grading technique for structural timber. *Holzforchung Journal*, 57(6): 644-652.

Bucur, V. (2006) *Acoustics of wood* (2nd Eds.). Springer, Berlin, Germany, 625p.

Cho, C. (2007) Comparison of three methods for determining young's modulus of wood. *Taiwan Journal of Forest Science*, 22(3): 297-306.

Harris, CM. and Piersol, A.G. (2002) *Harris' Shock and Vibration Handbook*. McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1456p.

Kohantorabi, M. Hossein, M.A. Shahverdi, M. Roohnia, M. (2015) Vibration based NDT methods to verify wood drying efficiency. *Drvna Industrija*, 66(3): 221-228.

Kohantorabi, M., Hemmasi, A.M., Taleipour, M., Roohnia, M. and Bazyar, B. (2020) Effect of artificial inhomogeneity of density and drilling on dynamic properties developed by poplar block species (*Populus Nigra*). Jointed with oak Wood (*Quercus Castaneifolia*) Beams. *BioResources*, 15(3): 4711-4726.

Krüger, R. and Wagenführ, A. (2020) Comparison of methods for determining shear modulus of wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78(1): 1087–1094.

Effect of artificial inhomogeneity of density on dynamic shear modulus of Oak wood (*Quercus castaneifolia*)

Mostafa Kohantorabi^{1*}, Amir Hooman Hemmasi², Mohammad Talaeipour³, Mehran Roohnia⁴ and Behzad Bazyar³

- 1) Ph.D. Graduate, Department of Wood and Paper Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *Corresponding Author Email Address: mostafa.kohantorabi@gmail.com
- 2) Professor, Department of Wood and Paper Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- 3) Associate Professor, Department of Wood and Paper Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- 4) Professor, Department of Wood Science and Technology, College of Agricultural and Natural Resources, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

Date of Submission: 2020/10/28

Date of Acceptance: 2021/01/12

Abstract

In this study, the effect of artificial inhomogeneity of density in the initial and middle of Oak wood beams (*Quercus castaneifolia*) by the changes in the dynamic shear modulus values obtained from the free vibration in free-free beam method have been investigated. For this purpose, 10 specimens of Oak wood species with a dimension of 720×40×20 mm (longitudinal, radial, and tangential) were tested by the free flexural vibration method to determine the shear modulus in the solid wood beams. After that, the samples were divided into two groups and from the first group, the blocks with a dimension of 40×40×20 mm from the initial part, and from the second group, the blocks with the mentioned dimension were extracted from the middle part of the solid beams, and jointed to each other by polyvinyl acetate adhesive. After the jointing, the free bending vibration test was performed on both groups again. Afterward, the Oak blocks were removed from the junction and in two stages, blocks of two species of Poplar wood (*Populus nigra*) and Iron wood (*Parrotia persica*) were replaced and in order to the effect of artificial inhomogeneity created by each of the replaced blocks on the values of the shear modulus, the flexural vibration test was performed on them. The results showed that the development of artificial inhomogeneity of density in the initial area of the beam by all three species of Oak, Poplar, and Iron wood did not have a significant effect on the values of dynamic shear modulus, while creating inhomogeneity in the middle of the beam has caused a significant drop in the values of this factor. Heterogeneous beams by Iron wood species had the highest, and heterogeneous beams by Oak wood species had the lowest percentage decrease in dynamic shear modulus values.

Keywords: Adhesive, Free vibration, Inhomogeneity, Shear modulus, Wave propagation.