

بررسی ارتباط بین شاخص‌های قطر پیچ و سوراخ پیش‌ساخته با توان نگاه‌داری آن در چوب چندسازه لایه‌ای (LVL) برای تدوین مدل رگرسیونی

چکیده

در این پژوهش شاخص‌های قطر پیچ، قطر سوراخ پیش‌ساخته آن و ارتباط بین این شاخص‌ها با توان نگاه‌داری پیچ در مقاطع عرضی و طولی و سطح پل‌های چندسازه‌ای لایه‌ای (LVL) برای دستیابی به مدلی رگرسیون خطی چند متغیره مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی تخته‌های LVL آزمونی ۹ لایه از گونه صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) تولید شدند. برای ساخت LVL از چسب پلی وینیل استات استفاده شد. نمونه‌های آزمونی به ابعاد $7/5 \times 7/5$ سانتی‌متر از LVL های ساخته شده تهیه شدند. سوراخ‌های پیش‌ساخته نمونه‌های آزمونی در چهار سطح ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد قطر پیچ تعبیه شد. نمونه‌های آزمونی مورد مطالعه با پیچ‌های پانلی به قطر اسمی ۴/۲، ۵، ۶ و ۷ میلی‌متر ساخته شدند. توان نگاه‌داری پیچ در جهت عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان دادند که توان نگاه‌داری مقطع طولی نسبت به توان نگاه‌داری عمود بر سطح و مقطع عرضی بیشتر بوده است. همچنین نتایج نشان دادند که با افزایش قطر سوراخ پیش‌ساخته توان نگاه‌داری پیچ در همه قطر‌ها کاهش می‌یابد. ولی با افزایش قطر پیچ توان نگاه‌داری پیچ افزایش داشته است. بیشترین توان نگاه‌داری را پیچ پانلی به قطر ۷ میلی‌متر و سوراخ پیش‌ساخته با ۵۰ درصد قطر پیچ در LVL داشته است. کمترین توان نگاه‌داری با همین پیچ به قطر ۴/۲ میلی‌متر و سوراخ پیش‌ساخته ۸۰ درصد قطر پیچ مشاهده شده است. در نهایت معادله رگرسیون خطی $y_s = 3/055 + 0/411X_1 - 3/358 X_2$ و $y_{e||} = 3/055 + 0/411X_1 - 3/358 X_2$ ترتیب برای توان نگاه‌داری عمود بر سطح، مقطع طولی و مقطع عرضی LVL به‌عنوان مدل پیش‌بینی توان نگاه‌داری پیچ در LVL ارائه شده است.

واژگان کلیدی: توان نگاه‌داری پیچ، قطر پیچ، سوراخ پیش‌ساخته، مدل رگرسیونی.

مسئول مکاتبات^۱
کامبیز پور طهماسی^{۲*}
قنبر ابراهیمی^۳

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ،
دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۲ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع
طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۳ استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع
طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:

pourtahmasi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۶

مقدمه

عوامل متغیری چون قطر پیچ، قطر سوراخ پیش‌ساخته، عمق نفوذ، نوع رزوه، دانسیته مواد و... بر مقاومت اتصالات ساخته شده با پیچ تأثیرگذار است. یکی از اهداف مهم در پژوهش‌های مربوط به اتصالات، ارتباط بین

مصرف پیچ در ساخت مصنوعات چوبی از سال ۱۷۲۵ شروع شده است و امروزه در زمره یکی از پرکاربردترین اتصالات دهنده‌ها در سازه‌های چوبی به حساب می‌آید [۱].

سطح تخته چندلا ارائه کرده‌اند (D = قطر پیچ و P = عمق نفوذ) [۶]. معادله $W = 4.06D (L-D)^{0.75} \times \partial$ به ترتیب برای توان نگهداری عمود بر الیاف چوب ماسیو و توان نگهداری پیچ در مقطع عرضی چوب ارائه شده است (D - قطر پیچ، L - طول نفوذ و ∂ - مقاومت برشی موازی با الیاف) [۷]. همچنین برای توان نگهداری در جهت عمود بر الیاف چوب ماسیو برحسب جرم ویژه چوب رابطه تجربی $W = 506 \times G^2 \times D$ به دست آمده است (G - جرم ویژه چوب خشک و D - قطر پیچ) [۸]. Chen و همکاران (۲۰۱۶) توان نگهداری پیچ در تخته‌های ساخته‌شده از بامبو را با MDF و تخته خرده چوب را مقایسه کردند. نتایج این بررسی نشان داده است تخته‌های ساخته‌شده از بامبو در سطح و لبه دارای توان نگه‌داری بیشتری نسبت به MDF و تخته خرده چوب بوده‌اند. همچنین عنوان شده است که قطر پیچ، نوع پیچ و سرعت بارگذاری تأثیر معنی‌داری بر توان نگهداری پیچ در سطح و لبه تخته ساخته‌شده از بامبو، MDF و تخته خرده چوب نداشته است، ولی قطر سوراخ پیش‌ساخته تأثیر معنی‌داری بر توان نگهداری این فرآورده‌ها داشته است [۹]. Sydor و Wolpiuk (۲۰۱۶) تأثیر استفاده از تقویت‌کننده نانو پلی اورتان (PUR 555.6) بر توان نگهداری پیچ در MDF را بررسی کردند. نتایج این پژوهشگران نشان داده است استفاده از نانو پلی اورتان در سوراخ پیش‌ساخته باعث افزایش بیش از ۱۰۰ درصد توان نگهداری پیچ‌های پانلی شده است. همچنین استفاده از این تقویت‌کننده توان نگهداری پیچ یورو^۱ را به میزان ۵۰ درصد افزایش داده است [۱۰].

با توجه به اینکه بیشتر بررسی‌ها صورت گرفته روی چندسازه‌های چوبی مانند تخته خرده چوب، MDF، تخته چندلا و چوب ماسیو بوده‌اند و همچنین نبود اطلاعات کافی مربوط به عملکرد اتصال‌های ساخته‌شده روی LVL در برابر بار وارده در سرویس به‌ویژه در کاربرد این چندسازه در صنعت مبلمان و همچنین با توجه به پتانسیل بالای این چندسازه به دلیل زیبایی و اقتصادی بودن در صنعت مبلمان [۱۱، ۱۲ و ۱۳]، بنابراین در این پژوهش ارتباط بین عوامل سوراخ پیش‌ساخته و قطر پیچ‌درپیچ‌های مورد مصرف در صنعت مبلمان با توان

عامل‌های بیان‌شده و تأثیر آن‌ها بر مقاومت‌های موردبررسی است، به‌طوری‌که با بررسی ارتباط و همبستگی بین این عامل‌ها می‌توان عملکرد اتصالات موردبررسی را پیش‌بینی کرد. با توجه به اهمیت این موضوع پژوهش‌های گسترده‌ای بر روی شناسایی مدل و پیش‌بینی عملکرد اتصالات در برابر بارهای وارده صورت گرفته است. Eckelman (۱۹۷۵) ارتباط بین قطر پیچ، عمق نفوذ و دانسیته را با توان نگهداری پیچ بررسی کرده است. در این بررسی مدل غیرخطی $SWR_e = 2055D^{0.5} \times (L-D/3)^{1.25} \times G$ و $SWR_f = 2655D^{0.5} \times (L-D/3)^{1.25} \times G$ به ترتیب برای پیش‌بینی توان نگهداری لبه و سطح تخته خرده چوب تدوین شده است (SWR_e ، SWR_f ، D و G به ترتیب توان نگهداری در لبه و سطح، قطر پیچ و دانسیته) [۲]. عملکرد اتصال‌های ساخته‌شده از تخته خرده چوب و MDF علاوه بر عمق نفوذ و قطر پیچ تحت تأثیر چسبندگی داخلی تخته خرده چوب و MDF نیز است؛ بنابراین رابطه بین چسبندگی داخلی و توان نگهداری تخته خرده چوب و MDF موردبررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان داده است که چسبندگی داخلی در توان نگهداری پیچ در لبه و سطح تخته خرده چوب و MDF تأثیر معنی‌داری دارد. در نهایت مدل $SWR_e = 39(IB)^{0.85} \times D^{0.5} \times (L-D/3)^{1.25}$ و $SWR_f = 14 \times D^{0.645} \times (IB)^{1.025} \times (1+H/100)^{0.3}$ برای پیش‌بینی توان نگهداری در لبه و سطح پیشنهاد شده است (IB = چسبندگی داخلی و D = قطر سوراخ پیش‌ساخته) [۳]. همچنین در رابطه با همین موضوع مدل خطی $SWR_e = 1053.9IB + 195.33$ توسط Semple و Smith (۲۰۰۵) برای توان نگهداری پیچ در لبه تخته خرده چوب ارائه شده است [۴]. همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از نرم‌افزار شازم مدل $SWR_e = A^{0.06} \times D^{1.321} \times E^{4.505}$ و $SWR_f = A^{0.263} \times D^{1.574} \times E^{4.156}$ به ترتیب برای پیش‌بینی توان نگهداری پیچ در لبه و سطح تخته خرده چوب تدوین کرده‌اند (A = ضریب لاغری ذرات و D = دانسیته) [۵]. Maleki و همکاران (۲۰۱۳) مدل رگرسیونی $W_f = 1.377 D^{1.156} \times P^{0.581}$ و $W_e = 2.127 D^{1.072} \times P^{0.520}$ را به ترتیب برای پیش‌بینی توان نگهداری پیچ در لبه و

^۱ Euro screws

به ابعاد $7/5 \times 7/5$ سانتی متر مربع برش داده شدند [۱۴].

تهیه آزمون‌ها

پس از برش تخته‌ها به اندازه استاندارد، برای تعیین توان نگهداری پیچ در راستای عمود بر سطح، مقاطع طولی و عرضی LVL، سوراخ پیش‌ساخته عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی آزمون‌ها ایجاد شد. برای ایجاد سوراخ پیش‌ساخته از دستگاه دریل ستونی با سرعت ثابت برای تمامی آزمون‌ها استفاده شد. سوراخ‌های پیش‌ساخته به ترتیب 50% ، 60% ، 70% و 80% قطر بیرونی پیچ‌های مورد استفاده بودند. در این پژوهش از پیچ پانلی در چهار قطر $4/2$ ، 5 ، 6 و 7 میلی‌متر استفاده شد. در جدول ۱ قطر پیچ‌های مورد استفاده و قطر مته مورد استفاده برای ایجاد سوراخ پیش‌ساخته به تفکیک آمده است. پس از ایجاد سوراخ پیش‌ساخته، پیچ‌ها با پیچ‌گوشتی برقی و با سرعت ثابت در سوراخ‌های پیش‌ساخته نصب شدند. عمق نفوذ پیچ در هر سه جهت ثابت (21 میلی‌متر) در نظر گرفته شد. حالت فیزیکی آزمون‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

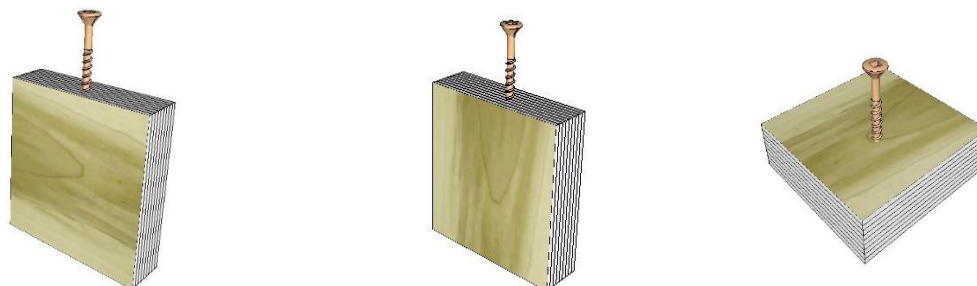
نگهداری پیچ در چندسازه لایه‌ای (LVL) مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی توان نگهداری پیچ در مقاطع عرضی، طولی و عمود بر سطح این فرآورده ارائه شده است تا در محاسبات طراحی سازه مبلمان با چندسازه لایه‌ای و پیش‌بینی استحکام اتصالات ساخته‌شده با آن به کار گرفته شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای ساخت LVL از لایه‌های تهیه‌شده از گونه صنوبر (*Populus deltoides*) استفاده شده است. لایه‌ها با استفاده از دستگاه لوله‌بری با ضخامت اسمی $2/5$ میلی‌متر از کارخانه آمل روکش تهیه شدند. سپس لایه‌ها به شرکت بهسازان صنایع چوب ایران انتقال یافتند. لایه‌ها در دستگاه خشک‌کن دالانی با بستر توری متحرک تا رطوبت 1 ± 6 درصد خشک شدند. سپس با استفاده از دستگاه گیوتین به ابعاد 220×120 سانتی‌متر اندازه‌بری شدند. لایه‌ها با چسب پلی‌ونیل استات آغشته شدند و در پرس زیر فشار 10 Kg/cm^2 قرار گرفتند. سپس برای تهیه آزمون‌ها، LVL‌های ساخته‌شده بر اساس استاندارد ASTM- D1761-88 با دستگاه پانل بر

جدول ۱- قطر سوراخ پیش‌ساخته بر اساس درصد قطر پیچ مورد استفاده

قطر پیچ (mm)	قطر مته برای ایجاد سوراخ پیش‌ساخته (mm)			
	50%	60%	70%	80%
$4/2$	$2/1$	$2/5$	$2/9$	$3/4$
5	$2/5$	3	$3/5$	4
6	3	$3/6$	$4/2$	$4/8$
7	$3/5$	$4/2$	$4/9$	$5/6$



الف) توان نگهداری عمود بر سطح ب) توان نگهداری مقطع عرضی ج) توان نگهداری مقطع طولی

شکل ۱- حالت فیزیکی آزمون‌ها

بوده‌اند. همچنین اثر متقابل قطر پیچ و قطر سوراخ پیش‌ساخته برای هر سه آزمون در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است.

شکل ۲ توان نگهداری عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که توان نگهداری در مقطع عرضی نسبت به دو جهت دیگر مقاومت کمتری داشته است. بین توان نگهداری عمود بر سطح و مقطع طولی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است و در گروه‌بندی دانکن این دو جهت در یک گروه قرار گرفته‌اند. توان نگهداری مقطع طولی به ترتیب ۳ و ۶۱ درصد از توان نگهداری عمود بر سطح و مقطع عرضی بیشتر بوده است. علت کمتر بودن توان نگهداری در مقطع عرضی را می‌توان به ضعف چوب در نگهداری پیچ و میخ در مقطع عرضی نسبت داد. بنا بر یافته‌های Fairchild (۱۹۶۲) و Eckelman (۲۰۰۴) توان نگهداری پیچ در مقطع عرضی چوب از ۵۲ تا ۱۰۸ درصد مقاومت آن در جهت عمود بر الیاف متغیر است [۷ و ۸]. بیشترین توان نگهداری مربوط به مقطع طولی به میزان ۳/۳۷ کیلو نیوتن و کمترین میزان آن در مقطع عرضی به میزان ۲/۰۳ کیلو نیوتن مشاهده شد.

آزمونه‌ها برای تعیین توان نگهداری عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی با ماشین اینسترون مدل ۴۴۸۶ مورد آزمایش قرار گرفتند. سرعت بارگذاری بر اساس استاندارد ۸۸-۱۷۶۱ ASTM- ۲/۵ mm/min تنظیم شد [۱۴]. در مجموع ۱۶ تیمار و برای هر تیمار ۵ تکرار در نظر گرفته شد. در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی و تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین‌ها از روش دانکن استفاده شده است. برای ارائه مدل پیش‌بینی توان نگهداری عمود بر سطح، مقاطع عرضی و طولی LVL، از روش رگرسیون خطی چند متغیره استفاده شده است.

نتایج و بحث

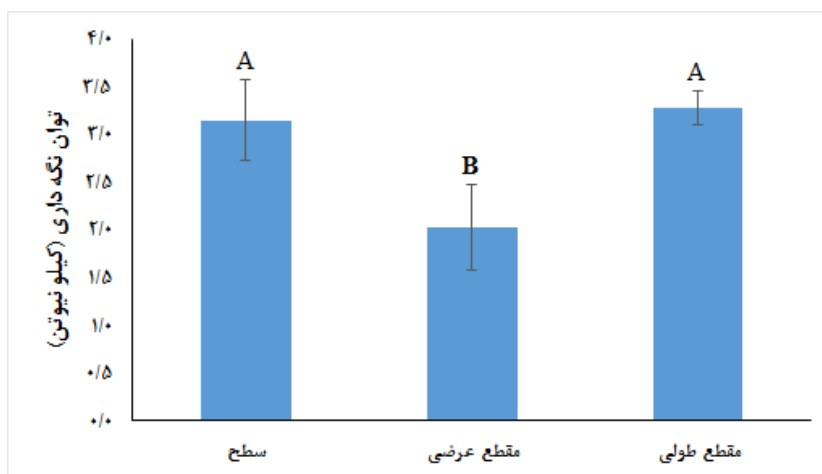
در جدول ۲ مقادیر میانگین و انحراف معیار مربوط به عامل‌های متغیر قطر پیچ و قطر سوراخ پیش‌ساخته شده نشان داده شده است. در جدول ۳ نتایج مربوط به تجزیه واریانس عامل‌های متغیر مورد بررسی، ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است عامل‌های متغیر مستقل قطر پیچ و قطر سوراخ پیش‌ساخته شده در سطح اعتماد ۹۹ درصد برای توان نگهداری عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی معنی‌دار

جدول ۲- مقادیر میانگین و انحراف معیار توان نگهداری عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی LVL

قطر پیچ	قطر سوراخ پیش‌ساخته برحسب درصد قطر پیچ	عمود بر سطح		مقطع عرضی		مقطع طولی	
		انحراف	توان نگهداری (KN)	انحراف	توان نگهداری (KN)	انحراف	توان نگهداری (KN)
۴/۲	۵۰٪	۰/۴۲	۳/۱۳	۰/۲۱	۲/۰۵	۰/۰۷	۲/۲۲
	۶۰٪	۰/۴۵	۲/۷۵	-۰/۳۴	۲/۰۲	۰/۵۰	۳/۴۲
	۷۰٪	۰/۱۸	۲/۶۱	-۰/۴۸	۱/۹۰	۰/۱۰	۲/۸۷
	۸۰٪	۰/۴۷	۱/۵۵	-۰/۱۳	-۰/۸۴	۰/۳۸	۱/۱۹
۵	۵۰٪	۰/۵۴	۳/۲۶	-۰/۴۵	۲/۲۴	۰/۷۸	۳/۳۷
	۶۰٪	۰/۲۰	۳/۱۶	-۰/۳۲	۲/۴۷	۰/۴۴	۳/۵۷
	۷۰٪	۰/۴۵	۲/۹۴	-۰/۳۲	۲/۱۸	۰/۲۹	۳/۰۵
	۸۰٪	۰/۳۴	۲/۸۲	-۰/۲۵	۲/۱۶	۰/۲۶	۲/۷۵
۶	۵۰٪	۰/۱۴	۳/۷۸	-۰/۳۸	۲/۱۲	۰/۵۰	۳/۹۶
	۶۰٪	۰/۵۹	۳/۵۹	-۰/۲۰	۲/۱۸	۰/۳۳	۳/۹۱
	۷۰٪	۰/۵۲	۳/۲۲	-۰/۴۳	۲/۰۴	۰/۴۵	۳/۵۰
	۸۰٪	۰/۱۹	۲/۷۵	-۰/۲۸	۲/۰۱	۰/۲۷	۲/۹۲
۷	۵۰٪	۰/۴۷	۴/۲۲	-۰/۳۴	۲/۴۶	۰/۲۴	۴/۳۱
	۶۰٪	۰/۲۲	۳/۹۴	-۰/۳۳	۲/۰۴	۰/۴۱	۴/۰۱
	۷۰٪	۰/۳۲	۳/۵۳	-۰/۱۳	۱/۹۳	۰/۲۲	۳/۵۶
	۸۰٪	۰/۷۵	۳/۱۷	-۰/۴۰	۱/۸۳	۰/۷۰	۳/۷۷

جدول ۳- تجزیه واریانس عامل‌های قطر پیچ و قطر سوراخ پیش‌ساخته بر توان نگهداری عمود بر سطح، LVL و مقاطع عرضی و طولی

توان نگهداری عمود بر سطح				
Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
.۰/۰۰۰*	۲۸/۴۰۰	۵/۱۲۶	۳	قطر پیچ
.۰/۰۰۰*	۲۱/۵۱۰	۳/۸۸۳	۳	قطر سوراخ پیش‌ساخته
.۰/۰۰۰*	۱/۲۹۶	۰/۲۲۴	۹	قطر پیچ*قطر سوراخ پیش‌ساخته
توان نگهداری مقطع عرضی				
Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
.۰/۰۰۰*	۱۰/۳۷۵	۱/۱۲۰	۳	قطر پیچ
.۰/۰۰۰*	۹/۸۸۰	۱/۰۶۷	۳	قطر سوراخ پیش‌ساخته
.۰/۰۰۲*	۳/۴۵۹	۰/۳۷۳	۹	قطر پیچ*قطر سوراخ پیش‌ساخته
توان نگهداری در مقطع طولی				
Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
.۰/۰۰۰*	۳۳/۴۵۶	۸/۱۶۶	۳	قطر پیچ
.۰/۰۰۰*	۱۶/۹۱۳	۴/۱۲۸	۳	قطر سوراخ پیش‌ساخته
.۰/۰۰۰*	۳/۷۶۸	۰/۹۲۰	۹	قطر پیچ*قطر سوراخ پیش‌ساخته



شکل ۲- توان نگهداری پیچ در جهت‌های مختلف LVL (حروف روی نمودار گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهند)

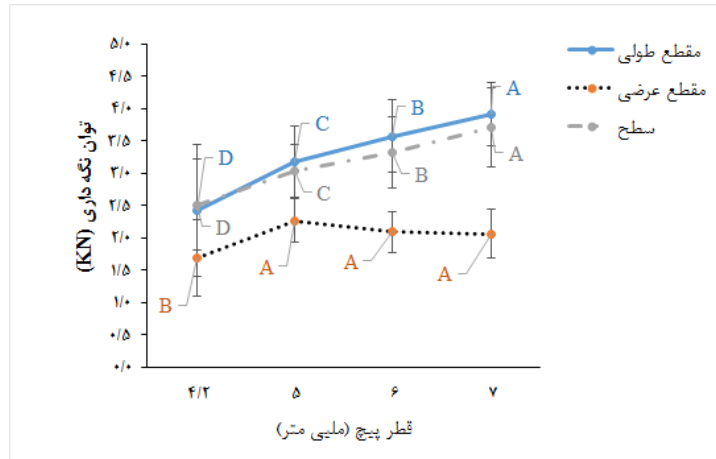
جهت مقطع عرضی با افزایش قطر پیچ از ۴/۲ به ۵ میلی‌متر روند صعودی داشته است (به میزان ۳۰ درصد) ولی با افزایش قطر پیچ از ۵ به ۷ میلی‌متر این روند ثابت بوده است. همان‌طور که در گروه‌بندی دانکن مشخص شده است توان نگهداری قطرهای مختلف پیچ در جهت عمود بر سطح و مقطع طولی در ۴ گروه قرار گرفته است. این در حالی است که توان نگهداری پیچ با قطرهای مختلف در مقطع عرضی در دو گروه قرار گرفته‌اند. عامل

اثر مستقل قطر پیچ

شکل ۳ تأثیر مستقل قطر پیچ بر توان نگهداری در جهت عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود توان نگهداری عمود بر سطح و مقطع طولی با افزایش قطر پیچ افزایش یافته است. با افزایش قطر پیچ از ۴/۲ به ۷ میلی‌متر میزان توان نگهداری پیچ عمود بر سطح و مقطع طولی به ترتیب ۴۷ و ۶۱ درصد افزایش داشته است. توان نگهداری پیچ در

۱۵]. بیشترین میزان توان نگهداری در پیچ با قطر ۷ میلی‌متر در لبه عمود بر سطح دیده شده است و کمترین این میزان در پیچ با قطر ۴/۲ میلی‌متری در مقطع عرضی مشاهده شده است.

افزایش توان نگهداری پیچ با افزایش قطر پیچ را می‌توان مربوط به سطح درگیر بیشتر پیچ با قطر بالا دانست. Maleki و همکاران (۲۰۱۳)، Rostampour و همکاران (۲۰۱۱) به نتایج مشابهی در این زمینه دست‌یافته‌اند [۶ و

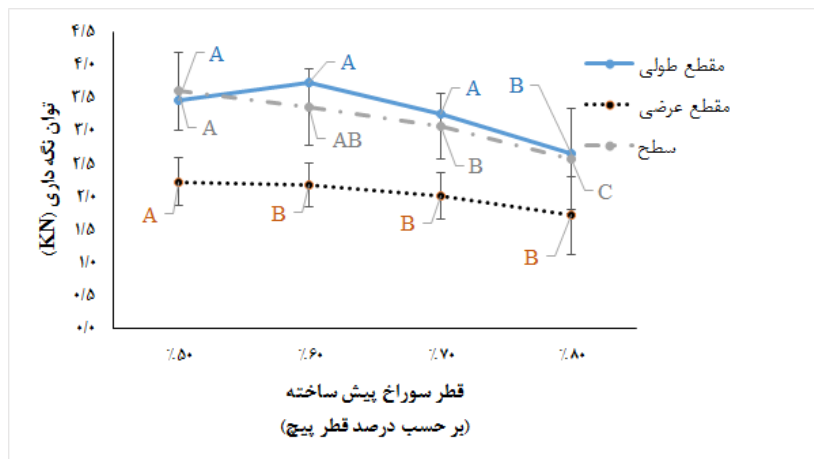


شکل ۳- تأثیر مستقل قطر پیچ بر توان نگهداری پیچ در LVL (حروف روی نمودار گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهند)

پیچ بوده است. این در حالی است که بیشترین مقاومت در توان نگهداری پیچ در مقطع طولی مربوط به قطر سوراخ پیش‌ساخته ۶۰ درصد بوده است. همان‌طوری که در گروه‌بندی دانکن مشخص شده است بیشترین تأثیر قطر سوراخ پیش‌ساخته عمود بر سطح LVL مشاهده شده است. کاهش مقاومت عمود بر سطح مقاطع عرضی و طولی با افزایش قطر سوراخ پیش‌ساخته از ۵۰ به ۸۰ درصد، به ترتیب ۷۱، ۷۷ و ۷۶ درصد بوده است.

اثر مستقل قطر سوراخ پیش‌ساخته

شکل ۴ تأثیر مستقل قطر سوراخ پیش‌ساخته بر توان نگهداری در جهت عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است با افزایش قطر سوراخ پیش‌ساخته توان نگهداری عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی کاهش یافته است. بیشترین مقاومت عمود بر سطح و مقطع عرضی در حالتی به دست آمد که قطر سوراخ پیش‌ساخته ۵۰ درصد قطر



شکل ۴- تأثیر مستقل قطر سوراخ پیش‌ساخته بر توان نگهداری پیچ در LVL (حروف روی نمودار گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهند)

مدل رگرسیونی خطی چندگانه

با توجه به معنی داری عامل‌های متغیر مورد بررسی قطر پیچ و قطر سوراخ پیش‌ساخته و همچنین به‌منظور تجزیه و تحلیل و ارائه مدلی ریاضی برای پیش‌بینی توان نگهداری پیچ عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی در دو جهت موازی و عمود بر لبه از آزمون رگرسیون خطی چندگانه استفاده شده که در آن Y به‌عنوان متغیر وابسته به توان نگهداری و X_1 و X_2 به ترتیب قطر پیچ و قطر سوراخ پیش‌ساخته در نظر گرفته شدند. در تجزیه و تحلیل به این روش رابطه ۱ لحاظ شد.

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \quad (1)$$

که در آن،

Y = متغیر وابسته (توان نگهداری)

a_0 = عرض از مبدأ

a_1 = ضریب رگرسیونی متغیر مستقل قطر پیچ

a_2 = ضریب رگرسیونی متغیر مستقل قطر سوراخ

پیش‌ساخته

X_1 = متغیر مستقل قطر پیچ

X_2 = متغیر مستقل قطر سوراخ پیش‌ساخته

از روش گام‌به‌گام برای ورود متغیرها به رابطه رگرسیونی استفاده شده است به این ترتیب که متغیرهای X_1 و X_2 در دو مرحله به رابطه وارد شدند.

جدول ۴ رابطه همبستگی مربوط به برآزش مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود دو مدل ارائه شده است. ضریب همبستگی R میزان همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته را نشان می‌دهد. مجذور ضریب همبستگی یا ضریب تعیین R^2 مشخص می‌کند که چه مقدار از واریانس متغیر وابسته به متغیرهای مستقل مربوط بوده است. مشاهده می‌شود که با ورود X_1 (متغیر قطر پیچ) ضریب تعیین برای توان نگهداری عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی به ترتیب از ۰/۳۵۹ به ۰/۶۳۵، ۰/۱۶۰ به ۰/۱۹۲ و از ۰/۳۷۰ به ۰/۵۰۴ افزایش پیدا کرده است. همچنین در این جدول

ضریب تعیین تعدیل‌شده برای رابطه رگرسیون ارائه شده است. با توجه به اینکه ضریب تعیین میزان موفقیت مدل را پیش از اندازه برآورد می‌کند از این‌رو برخی از کارشناسان آمار ترجیح می‌دهند از شاخص ضریب تعیین تعدیل‌شده استفاده کنند [۱۶]. مطابق جدول ضریب تعیین تعدیل‌شده برای مدل دوم به ترتیب برای توان نگهداری عمود بر سطح، مقطع عرضی و طولی ۰/۶۳۵، ۰/۱۹۲ و ۰/۵۰۴ است، بنابراین می‌توان گفت که به ترتیب ۶۳/۵، ۱۹/۲ و ۵۰/۴ درصد از تغییرات متغیر وابسته توان نگهداری عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی به متغیرهای مستقل X_1 (متغیر قطر پیچ) و X_2 (متغیر قطر سوراخ پیش‌ساخته) مربوط بوده است. همان‌طور که در ضریب تعیین تعدیل‌شده هم مشخص شده است بیشترین تأثیر عامل‌های متغیر مربوط به آزمون توان نگهداری عمود بر سطح و کمترین آن مربوط به آزمون توان نگهداری مقطع عرضی بوده است. علت کمتر بودن ضریب تعیین آزمون‌های مربوط به توان نگهداری مقطع عرضی را می‌توان ترک برداشتن و شکست آزمون‌ها در راستای ایفاء دانست این شکست بیشتر در آزمون‌های بود که قطر سوراخ پیش‌ساخته در آن‌ها نسبت به قطر پیچ کمتر بود؛ بنابراین این شکست‌ها را می‌توان عامل محدودکننده‌ای برای استفاده از مدل ارائه‌شده برای توان نگهداری پیچ در مقطع عرضی LVL دانست. این در حالی است که مدل ارائه‌شده برای توان نگهداری عمود بر سطح و مقطع طولی با توجه به ضریب تعیین بالا (بالتر از ۵۰ درصد) می‌تواند به اطمینان بالا مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۵ نتایج تجزیه واریانس رابطه رگرسیون را نشان می‌دهد که در آن میانگین مربعات برای منابع رگرسیون و باقیمانده آمده است. در این جدول فرض وجود رابطه خطی بین متغیرها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است با توجه به Sig کمتر از ۰/۰۵ است، بنابراین با اطمینان ۹۵ درصد، رابطه رگرسیونی خطی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل وجود دارد.

جدول ۴- رابطه همبستگی مربوط به برازش مدل

مدل	همبستگی ضریب (R)	ضریب تعیین (R ²)	تعیین ضریب (R ²) تعدیل شده	مقادیر اشتباه معیار ضریب تعیین محاسبه شده
سطح	۱	۰/۳۶۷	۰/۳۵۹	۰/۵۷۵
	۲	۰/۸۰۳	۰/۶۴۴	۰/۴۳۴
مقطع عرضی	۱	۰/۱۷۰	۰/۱۶۰	۰/۴۲۳
	۲	۰/۲۱۲	۰/۱۹۲	۰/۴۱۵
مقطع طولی	۱	۰/۳۷۸	۰/۳۷۰	۰/۶۹۶
	۲	۰/۷۱۹	۰/۵۱۶	۰/۶۱۸

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس رابطه رگرسیون

مدل	میانگین مربعات	درجه آزادی	F	Sig
عمود بر سطح	رگرسیون	۱	۴۵/۲۳۱	۰/۰۰۰
	باقیمانده	۷۸		
	رگرسیون	۱	۶۹/۷۰۴	۰/۰۰۰
	باقیمانده	۷۷		
مقطع عرضی	رگرسیون	۱	۱۶/۰۲۸	۰/۰۰۰
	باقیمانده	۷۸		
	رگرسیون	۱	۱۰/۳۷۸	۰/۰۰۰
	باقیمانده	۷۷		
مقطع طولی	رگرسیون	۱	۴۷/۳۶۶	۰/۰۰۰
	باقیمانده	۷۸		
	رگرسیون	۱	۴۱/۰۹۷	۰/۰۰۰
	باقیمانده	۷۷		

است.

در ستون ضرایب تأثیرگذار رگرسیونی استاندارد شده یا Beta سهم نسبی هر متغیر مستقل را در تبیین تغییرات متغیر وابسته نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود متغیر X_1 بیشترین تأثیر در پیش‌بینی توان‌نگهداری پیچ در مقطع عرضی LVL را داشته است. همچنین مشاهده می‌شود متغیر X_2 دارای نقش تأثیرگذارتری نسبت به متغیر X_1 ، در پیش‌بینی توان‌نگهداری پیچ عمود بر سطح و مقطع طولی LVL بوده است.

کمتر از ۱۰ بودن مقادیر VIF در جدول نشان‌دهنده این است که بین متغیرهای موردبررسی X_1 و X_2 هم خطی وجود نداشته است و ضرایب به‌دست‌آمده اطمینان بالایی دارند.

جدول ۶ ضرایب رابطه رگرسیونی برآورده شده را نشان می‌دهد. با توجه به مقدار Sig آزمون t که برای عرض از مبدأ و ضرایب متغیرهای X_1 و X_2 کمتر از ۰/۰۵ است، بنابراین با اطمینان ۹۵ درصد این ضرایب برابر با مقادیر برآورده شده در جدول است؛ بنابراین با توجه به تأیید فرض معنی‌داری ضرایب، رابطه نهایی به‌صورت زیر خواهد بود:

$$y_s = 3/055 + 0/411 X_1 - 3/358 X_2$$

$$y_{e||} = 2/636 - 1/694 X_1 + 0/089 X_2$$

$$y_{e\perp} = 2/334 + 0/509 X_1 - 2/901 X_2$$

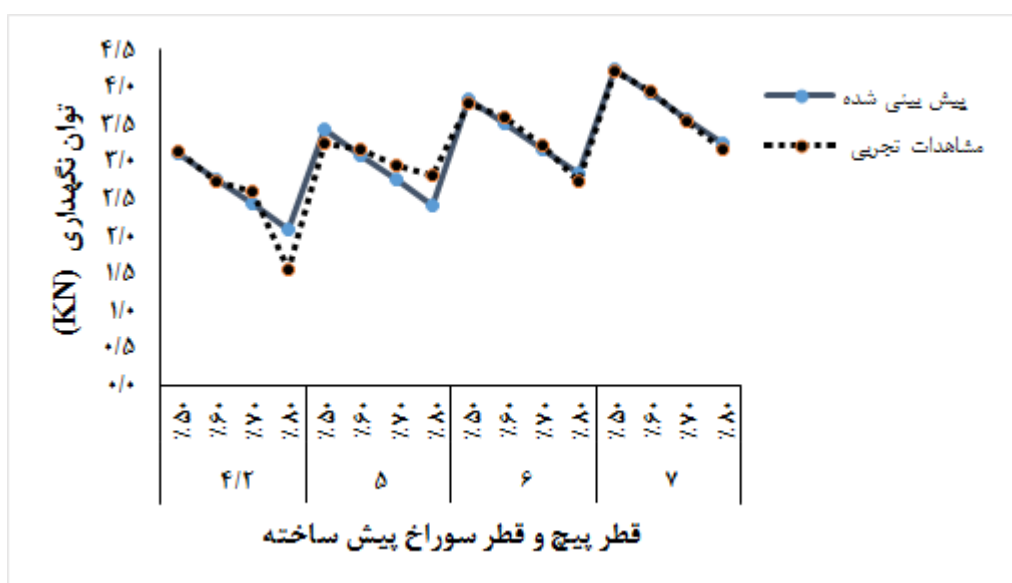
y_s ، $y_{e||}$ و $y_{e\perp}$ به ترتیب معادله پیش‌بینی توان‌نگهداری عمود بر سطح، مقطع عرضی و مقطع طولی

جدول ۶- ضرایب رابطه رگرسیونی برآورده شده

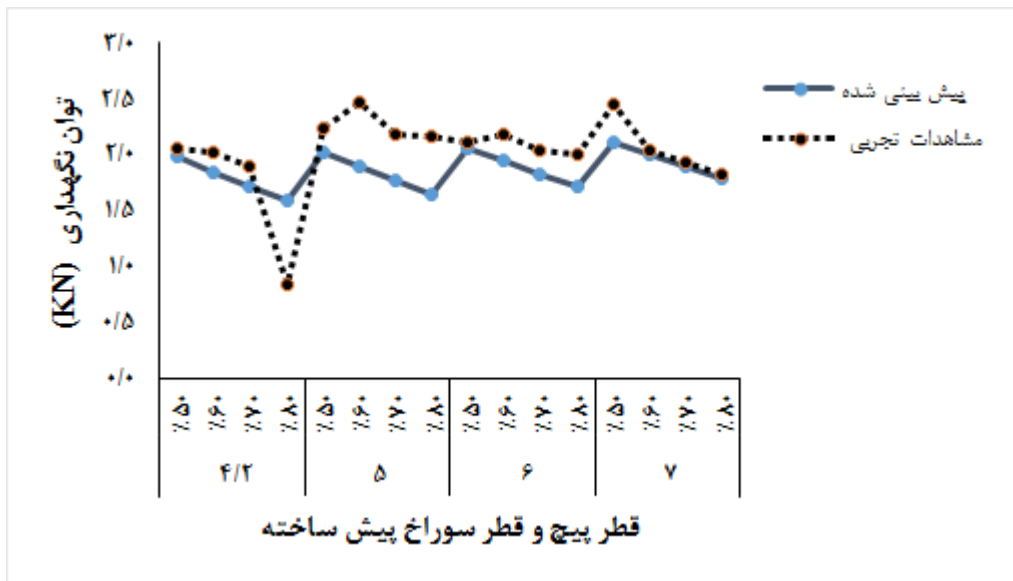
هم خطی		Sig.	t	ضرایب تأثیر استاندارد شده		ضرایب تأثیر استاندارد نشده		مدل	جهت آزمون‌ها
VIF	تلورانس			Beta	Std. Error	B			
		۰/۰۰۰	۷/۹۶۳		۰/۳۸۴	۳/۰۵۵		ضریب ثابت	
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۸/۹۱۲	۰/۶۰۶	۰/۰۴۶	۰/۴۱۱		ضریب X_1	عمود بر سطح
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۷/۷۴۴	-۰/۵۲۶	۰/۴۳۴	-۳/۳۵۸		ضریب X_2	
		۰/۰۰۰	۷/۱۸۰		۰/۳۶۷	۲/۶۳۶		ضریب ثابت	
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۴/۰۸۲	-۰/۴۱۳	۰/۴۱۵	-۱/۶۹۴		ضریب X_1	مقطع عرضی
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۴۷	۲/۰۲۳	۰/۲۰۵	۰/۰۴۴	۰/۰۸۹		ضریب X_2	
		۰/۰۰۰	۴/۲۶۹		۰/۵۴۷	۲/۳۳۴		ضریب ثابت	
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۷/۷۵۵	۰/۶۱۵	۰/۰۶۶	۰/۵۰۹		ضریب X_1	مقطع طولی
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۴/۶۹۵	-۰/۳۷۲	۰/۶۱۸	-۲/۹۰۱		ضریب X_2	

مشاهدات تجربی همخوانی خوبی دارند. بیشترین تطبیق بین نتایج پیش‌بینی شده و مشاهدات تجربی به ترتیب از توان نگهداری پیچ عمود بر سطح، مقطع طولی و مقطع عرضی حاصل شده است.

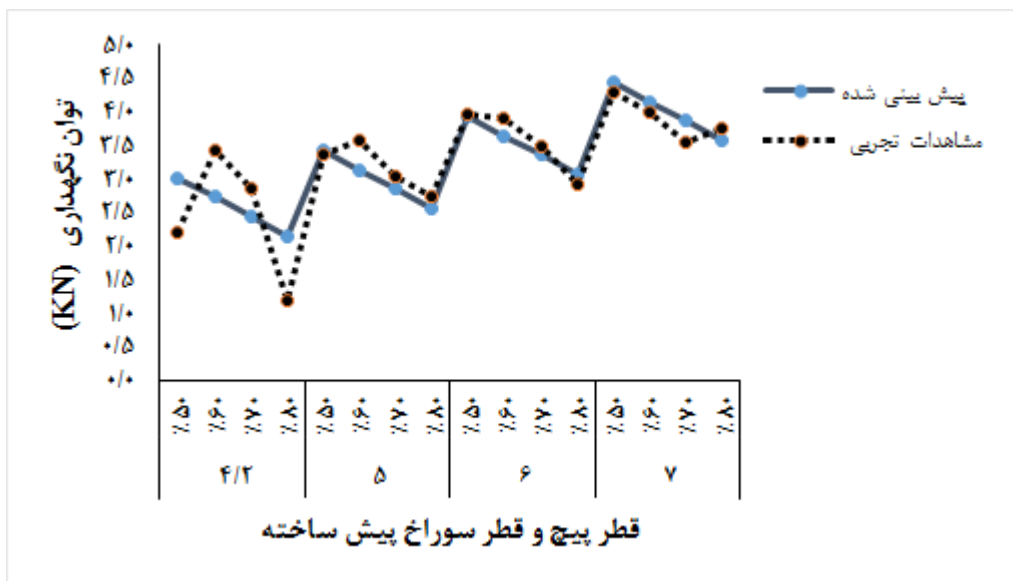
در شکل ۵، ۶ و ۷ به ترتیب مشاهدات تجربی توان نگهداری پیچ عمود بر سطح، مقطع عرضی و مقطع طولی با نتایج پیش‌بینی شده مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشخص است نتایج پیش‌بینی شده با



شکل ۵- مقایسه مشاهدات تجربی و نتایج پیش‌بینی شده در توان نگهداری پیچ عمود بر سطح



شکل ۶- مقایسه مشاهدات تجربی و نتایج پیش‌بینی‌شده در توان نگهداری پیچ در مقطع عرضی



شکل ۷- مقایسه مشاهدات تجربی و نتایج پیش‌بینی‌شده در توان نگهداری پیچ در مقطع طولی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق شاخص‌های قطر پیچ و قطر سوراخ پیش‌ساخته و ارتباط بین این شاخص‌ها بر توان نگهداری پیچ در راستای عمود بر سطح و مقاطع عرضی و طولی LVL موردبررسی قرار گرفت و در نهایت مدل‌های همبستگی برای پیش‌بینی توان نگهداری پیچ در این

چندسازه در سه جهت موردبررسی تدوین شد. نتایج این پژوهش نشان داده‌اند که قطر پیچ و قطر سوراخ پیش‌ساخته بر روی توان نگهداری پیچ در سازه‌های ساخته‌شده از LVL تأثیرگذارند. با افزایش قطر پیچ و در نتیجه سطح درگیر بیشتر رزوه‌های پیچ با چوب در LVL مقاومت بیشتری را در برابر بارهای وارده از خود

است.

همچنین در این پژوهش مدل‌های همبستگی زیر:

$$y_s = 3/0.55 + 0/411 X_1 - 3/358 X_2$$

$$y_{e||} = 2/636 - 1/694 X_1 + 0/089 X_2$$

$$y_{e\perp} = 2/334 + 0/509 X_1 - 2/901 X_2$$

y_s ، $y_{e||}$ و $y_{e\perp}$ به ترتیب برای پیش‌بینی توان نگه‌داری عمود بر سطح، مقطع عرضی و طولی ارائه شده است تا اطلاعات لازم از مقاومت اتصال‌های ساخته‌شده از LVL با اتصال‌دهنده پیچ، در برابر بارهای وارده به دست آید و در محاسبات طراحی سازه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در تطبیق نتایج پیش‌بینی شده با مشاهدات تجربی نشان داده شد که مدل‌های همبستگی برآورد شده در این پژوهش می‌توانند برای محاسبات سازه‌ای و تخمین توان نگه‌داری پیچ در LVL مورد استفاده قرار گیرند و اطلاعات مفیدی را در اختیار طراحان برای محاسبات سازه‌ای با رعایت اصول طراحی مهندسی قرار دهد.

سپاسگزاری

مولفان مراتب سپاسگزاری و قدردانی خود را از حمایت‌های مالی قطب علمی گونه‌های تند رشد دانشگاه تهران در زمینه پیشبرد اهداف این پژوهش تقدیم می‌دارند.

نشان می‌دهد. در ساخت آزمون‌ها با پیچ اغلب ایجاد سوراخ پیش‌ساخته برای تعیین محل درست قرار گرفتن پیچ و همچنین جلوگیری از ترک خوردن چوب و چندسازه‌های چوبی ضرورت پیدا می‌کند. بنا بر نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، با افزایش قطر سوراخ پیش‌ساخته توان نگه‌داری پیچ در LVL ساخته‌شده از چوب صنوبر کاهش می‌یابد. در این پژوهش مشاهده شده که بهترین عملکرد اتصال‌های ساخته‌شده با پیچ در LVL زمانی حاصل می‌شود که قطر سوراخ پیش‌ساخته ۵۰ درصد قطر پیچ مورد استفاده باشد. بنا بر پژوهش‌های انجام‌گرفته قطر سوراخ پیش‌ساخته باید متناسب با جرم ویژه چوب باشد، به طوری که با افزایش جرم ویژه قطر سوراخ پیش‌ساخته افزایش یابد و در گونه‌ها با جرم ویژه کم‌تر این قطر باید متناسب با جرم ویژه کاهش یابد [۷]. توان نگه‌داری مقطع عرضی LVL مقاوم‌تری به مراتب کمتر از توان نگه‌داری عمود بر سطح و مقطع طولی داشت. علت این امر را می‌توان عبور پیچ از لایه‌های متوالی عنوان کرد که باعث می‌شود هر لایه در مقاومت به کشش پیچ مشارکت داشته باشد. در حالی که نفوذ پیچ در راستای لبه LVL، اغلب در وسط ضخامت صورت می‌گیرد که در این صورت لایه‌های کمتری در توان نگه‌داری پیچ درگیر خواهند بود. در این رابطه ضعف پیچ خوری در مقطع عرضی چوب به واسطه وجود آوندها و تخلخل بیشتر بر کاهش توان نگه‌داری مقطع عرضی LVL نیز تأثیرگذار

منابع

- [1] Ebrahimi, Gh., 2007. Engineering design of furniture structure. Tehran university publication, 491 Pages. (In Persian).
- [2] Eckelman, C.A., 1975. Screw holding performance in hardwoods and particleboard. Forest Products Journal, 25(6): 30-35.
- [3] Fujimoto, Y. and Mori, M., 1983. Performance of wood screw joints for particleboard. Science Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 30(1): 45-47.
- [4] Semple, K. E. and Smith, G. D., 2005. Prediction of internal bond strength in particleboard from screw withdrawal resistance models. Wood and Fiber Science, 38(2): 256-267.

- [5] Arabi, M., Faezipour, M., Rostampour Haftkhani, A. and Maleki, S., 2010. The effect of particle size on the prediction accuracy of screw withdrawal resistance (SWR) models. *Journal Indian Academic Wood Science*, 9(1): 53–56. (In Persian).
- [6] Maleki, S., Faezipour, M., Ebrahimi, GH. and Layeghi, M., 2012. The predicting ultimate of joint withdrawal resistance constructed of plywood with regression models application according to diameter and penetrating depth. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 4(2): 11-22. (In Persian).
- [7] Eckelman, C. A., 2004. *Engineering Design of furniture*. Purdue Uni.UsA. 99 p.
- [8] Fairchild, I. J., 1926. Holding power of wood screws. *US National Bureau of standards tech*, 319(2): 553-580.
- [9] Chen, Y., Zhu, S., Guo, Y., Liu, S., Tu, D. and Fan, H., 2016. Investigation on withdrawal resistance of screws in reconstituted bamboo lumber. *Wood Research*, 61(5): 799-810.
- [10] Sydor, M. and Wołpiuk., 2016. Analysis of resistance to axial withdrawal of screws embedded in locally reinforced MDF. *Drewno*, 59(196): 173-182.
- [11] Ebrahimi, G., 2009. *Engineering Design of Wood Structure* Tehran university publication, 1000 p. (In Persian).
- [12] Eckelman, C.A., 1993. Potential uses of laminated veneer lumber in furniture. *Forest Products Journal*, 43(4): 19–24.
- [13] Watanuki, Y., Tadashi, T. and Datsuo N., 1983. Utilization of hardwood LVL as furniture stock. *Journal Japan Wood Research*, 29(5): 375–381.
- [14] Standard test methods for Mechanical fasteners in wood, *Annual Book of ASTM Standard*, D 1761–88, 2008.
- [15] Haftkhani, A.R., Ebrahimi, G.H., Tajvidi, M. and Layeghi, M., 2011. Investigation on withdrawal resistance of various screws in face and edge of wood–plastic composite panel. *Materials and Design*, 32(7): 4100–4106.
- [16] Zarechahoki, M. A., 2009. *Data analysis in natural resources research using spss software*, Jahad Daneshgahi Tehran branch publication, 310 p. (In Persian).

Investigation of the relations between screw diameter and pilot hole diameter with withdrawal resistance in LVL for establishing regression model

Abstract

In this study, variation in screw diameter and corresponding pilot hole, and relationship between these variables with withdrawal resistance were investigated for establishing multiple linear regression model. In this investigation, 9-ply LVL was made from poplar (*Populus deltoids*). LVL was produced with polyvinyl acetate adhesive. Test specimens were prepared from LVL with dimensions of 7.5 × 7.5 cm. Dimension of pilot hole were embedded in specimens at 4 levels (50, 60, 70 and 80 percent of nominal screw diameter). The test specimens were studied with nominal screw diameter of 4.2, 5, 6 and 7mm. Withdrawal resistance of screw was tested from surface, edge, and cross-sections. Results showed that withdrawal resistance from edge (perpendicular to the grain) was more than withdrawal resistance from face and cross-section (parallel to the grain). Moreover, the results showed that withdrawal resistance of different screw diameter decreased with the increase of pilot hole diameter, but withdrawal resistance increased with the increase of screw diameter, itself. The highest withdrawal resistance was obtained from screw 7 mm in diameters and predrilled hole with the diameter 50% of screw diameter. The lowest withdrawal resistance was observed from screw 4.2 mm in diameter and predrilled hole with the diameter 80% of screw diameter. Finally, multiple linear regression models $y_s = 3.055 + 4.11X_1 - 3.358X_2$, $y_{e\parallel} = 2.6361 + 6.94X_1 + 0.089X_2$ and $y_{e\perp} = 2.334 + 0.509X_1 - 2.901X_2$ were obtained to predict the withdrawal resistance for face, cross-section and edge, respectively.

Key words: screw withdrawal resistance, screw diameter, pilot hole, regression model.

M. Dalvand¹
K. Pourtamasi^{2*}
Gh. Ebrahimi³

¹ PhD student, Department of wood and paper science & technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Professor, Department of wood and paper science & technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Professor, Department of wood and paper science & technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
pourtahmasi@ut.ac.ir

Received: 2016/09/27
Accepted: 2017/04/15

