ارائه مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته شده از تخته چندلا با پیچ و مقایسهٔ آن با MDF و تخته‌خرده‌چوب صنعتی

صادق ملکی[1*]
مهدی فائزی‌پور[2]
قنبر ابراهیمی[2]
محمد لایقی[3]

[1] دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی واحد نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

[2] استاد، [3] استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

[*] مسئول مکاتبات:
s.maleki3@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۹/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۰۲

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی امکان پیش‌بینی ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته‌شده از تخته چندلای پهن‌برگ، با پیچ رزوه ریزودرشت، با استفاده از مدل‌های رگرسیونی انجام‌شده است. ضخامت تخته‌چندلا در اعضای اتصال ۱۹ میلی‌متر بود و برای مقایسه از تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر با چگالی متوسط (MDF) با ضخامت اسمی ۱۸ میلی‌متر استفاده شد. پیچ‌های موردبررسی پیچ پانلی رزوه ریز و رزوه درشت با قطرهای اسمی ۳/۵، ۴ و ۵ میلی‌متر و طول اسمی به ترتیب ۳/۵، ۴ و ۵ سانتی‌متر و پیچ‌های خودکار با قطر اسمی ۴ و ۵ میلی‌متر و طول اسمی ۴ سانتی‌متر بودند. نتایج نشان دادند که ظرفیت لنگر خمشی اتصال با افزایش طول نفوذ و قطر پیچ افزایش می‌یابد و طول نفوذ پیچ در مقایسه با قطر آن، تأثیر بیشتری روی ظرفیت لنگر خمشی داشت. ظرفیت لنگر خمشی در اتصال‌های ساخته‌شده با پیچ رزوه درشت در مقایسه با اتصال‌های ساخته‌شده با پیچ رزوه ریز بیشتر بودند. بیشترین میزان ظرفیت لنگر خمشی (۷۱/۷۶ N.m) مربوط به پیچ رزوه درشت با قطر ۵ و طول نفوذ ۲۸ میلی‌متر بوده و کم‌ترین میزان آن (۱۲/۰۸ N.m) در پیچ رزوه ریز با قطر ۳/۵ و طول نفوذ ۹ میلی‌متر دیده‌شده است. بر پایه مشاهدات، ظرفیت لنگر خمشی تخته‌چندلا نسبت به MDF و تخته‌خرده‌چوب بیشتر است. در نهایت با تحلیل‌های صورت گرفته معادله $W_c = 3.426 \times D^{0.615} \times P^{0.639}$ برای پیش‌بینی ظرفیت لنگر خمشی با پیچ رزوه درشت و $W_f = 4.684 \times D^{0.415} \times P^{0.568}$ برای پیش‌بینی ظرفیت لنگر خمشی با پیچ رزوه ریز بر پایه قطر و عمق نفوذ پیچ به دست آمدند. مقادیر پیش‌بینی شده از مدل ارائه‌شده، با اندازه‌گیری‌های تجربی با یک تقریبِ نسبتا خوب، همخوانی نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی: ظرفیت لنگر خمشی، تخته‌چندلا، رزوه ریزودرشت، پیچ پانلی، مدل رگرسیون، اتصال پیچ.

مقدمه

در ساخت سازه‌های ساختمانی و مبلمان، تخته‌چندلا، به دلیل داشتن مقاومت، ثبات ابعاد و مدول‌کشسانی (الاستیسیته) بالا کاربرد فراوانی دارد. پیشرفت فن‌آوری و عرضه یراق‌آلات جدید با کارایی بالا، سهم زیادی در توسعه صنعت مبلمان داشته‌اند. به‌طورکلی اتصال‌ها، مسیر انتقال بار به تکیه‌گاه سازه را تشکیل می‌دهند و شکست اتصال‌ها به‌طورمعمول از ایراد در طراحی، مواد نامناسب و یا اجرای نادرست آن ناشی می‌شود [۱]. بنابراین طراحی مناسب اتصال‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. پیچ با توجه به مقاومت مناسب، قابلیت مونتاژ و همچنین اجرای آسان، یکی از اتصالات پرکاربرد در صنعت مبلمان صفحه‌ای برای مونتاژ اتصال گوشه‌ای سربه‌سر محسوب می‌شود؛ بنابراین پیش‌بینی استحکام انواع این اتصال‌دهنده که مصرف آن در صنعت مبلمان معمول است، بسیار مهم و ارزشمند است. در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی استحکام اجزا و اتصال‌ها در چندسازه‌های چوبی رشد چشمگیری پیداکرده است. بدیهی است، استفاده مناسب از این روش‌ها برای برطرف نمودن برخی عدم قطعیت‌ها و پیش‌بینی نتایج، در شرایطی که به‌دست آوردن اطلاعات، سخت و گاهی ناممکن است، بسیار سودمند است؛ زیرا استفاده از این روش‌ها می‌تواند منجر به برآورد پرشتاب و ارزان‌تر خواص این فراورده‌ها شود [۲]. Semple و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر چسبندگی درونی بر ظرفیت نگهداری پیچ در تخته‌خرده‌چوب را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج تحقیقات این پژوهشگران نشان داد که بین توان نگهداری پیچ در سطح و لبهٔ تخته با دانسیته آن همبستگی چشمگیری وجود ندارد ولی بین توان نگه‌داری پیچ و چسبندگی درونی تخته همبستگی خوبی وجود دارد (r^2>./۷)[۳]. بنابر معادله تجربی ارائه‌شده در کتاب مهندسی مبلمان ظرفیت نگهداری پیچ در تخته‌خرده‌چوب، وابستگی شدیدی به قطر پیچ، طول نفوذ، چگالی و چسبندگی درونی تخته دارد. همچنین ظرفیت نگه‌داری MDF حدود ۳۹ درصد از تخته‌خرده‌چوب بیشتر است [۴]. Eckelman (۱۹۶۹) با بررسی نیروی انفصالی و مقاومت خمشی پین‌های ساخته‌شده از تخته‌چندلا و OSB عنوان کرد که مقاومت کششی این پین‌ها را می‌توان با معادله $p = a_0 Da_1 La_2 Wa_3$ (P- مقاومت کششی، D- قطر پین، L- عمق نفوذ، W- چگالی تخته و a_1, a_2, a_3 ضریب رگرسیونی) محاسبه کرد [۵]. Hill و همکاران (۱۹۷۳) با بررسی مقاومت خمشی اتصال کام‌وزبانه عنوان داشتند که مقاومت خمشی این اتصال‌ها تابع گونه چوبی، نوع چسب مصرفی، ابعاد زبانه و کام و میزان کیپ بودن زبانه در کام است. این محققان همچنین بیان کردند که تأثیر متقابل این عامل‌ها روی عملکرد نهایی اتصال در یک معادله تجربی به‌صورت زیر است:

$$M = 0/7 \times S \times A \times B \times C \times D$$

که در معادله فوق M - مقاومت خمشی نهایی (lb/in^2)، S- مقاومت برشی گونه چوب (psi)، A- (w ۵۷ /۰ + d ۰/۲۴)، d عرض افقی در نمونه T شکل و w عرض زبانه اتصال (in)، B- عامل طول زبانه C- عامل چسب و D عامل کیپ شدن زبانه می‌باشند [۶].

Bahmani و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر افزایش قطر و طول نفوذ پین بر مقاومت خمشی و نیروی کششی اتصال با پین چوبی در تخته فیبر چگالی متوسط (MDF) را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که بالاترین میزان مقاومت کششی و خمشی اتصال ساخته‌شده با پین چوبی به قطر ۸ میلی‌متر و طول نفوذ ۱۲ میلی‌متر ایجاد می‌شود. در پایان با تحلیل‌های صورت گرفته معادله تجربی $W_t = 2D^{.08} L^{.69} (IB)^{2.3}$ برای پیش‌بینی مقاومت کششی حاصل شد که در معادله بالا W_t-مقاومت کششی، D و L- به ترتیب قطر و طول نفوذ دوبل و IB- چسبندگی درونی تخته می‌باشند و معادله تجربی $W_b = (d/2 + w/3 + e/3)W_t$ برای پیش‌بینی مقاومت خمشی به‌دست آمد که W_b- مقاومت خمشی نهائی، d- فاصله بین دو پین (محور تا محور)، w- پهنای قید، e- فاصله تا محور خنثی، W_t-مقاومت کششی اتصال با پین می‌باشند. همچنین رابطه $W_b = 10W_t$ را به‌عنوان رابطه‌ای برای پیش‌بینی مستقیم مقاومت خمشی نهائی ارائه دادند [۷].

Kasal و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر قطر پیچ، طول نفوذ، شمار پیچ و نوع پانل را بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های گوشه‌ای بررسی کردند و نشان دادند که مقاومت اتصال‌های ساخته‌شده با MDF زیر بارگذاری کششی و

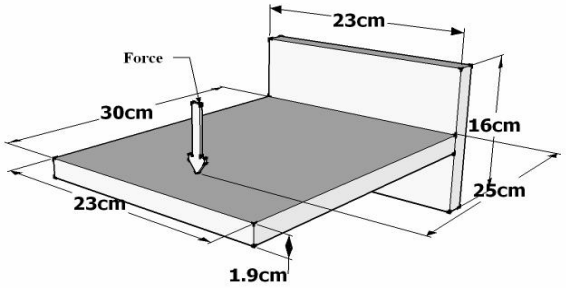
فشاری بیشتر از تخته‌خرده‌چوب است و افزایش قطر، طول نفوذ و شمار پیچ باعث افـزایش مقاومـت اتصـال مـی‌شـود [۸]. این پژوهشـگران همچنـین از رابطـه رگرسـیونی بـه بررسی ظرفیت لنگر خمشی اتصال پیچ با قطـر ۴/۵ و ۵/۶ میلی‌متر در حالت‌های بـدون چسـب و آغشـته بـا چسـب پلی‌اورتان در MDF و تختـه‌خـرده‌چـوب پرداختنـد. آنـان بنـابر معادلـه Y= AX + C کـه در آن Y- تـنش شکسـت (MPa)، X- نسبت طول نفوذ به قطر پیچ، A- شیب خـط رگرسـیون و C- محـل تقـاطع خـط رگرسـیون بـا محـور عمودی Yها است، ظرفیت لنگر خمشی اتصال را محاسـبه کردند. نتـایج نشـان داد بهتـرین نتیجـه رگرسـیونی، زیـر بارگذاری کششی برای پیچ با قطر ۵/۶ میلی‌متـر در MDF قابل‌دستیابی است و اتصال‌هـای آغشـته شـده بـه چسـب نسبت به بدون چسب از مقاومت بیشتری برخوردار بودنـد [۶]. یکی از مشکل‌های اصلی تخته‌خرده‌چوب و MDF در سـاخت انـواع سـازه بـه‌ویـژه قفسـه کتـاب محـدودیت در گزینش طول دهانه در این سازه‌ها اسـت کـه سـبب خیـز بـیش‌ازحـد صـفحه زیـرِ بـارِ وارده مـی‌شـود. بـا کـاربرد تخته‌چندلا در این سازه‌ها می‌توان این مشـکل را برطـرف کرد و طول دهانه بیشتری نسبت بـه تختـه‌خـرده‌چـوب و MDF گزینش کرد. به‌طورکلی عامل‌هایی مانند قطر پـیچ، طول نفوذ پیچ، نوع رزوه، شمار پیچ، فاصله بـین پـیچ‌هـا و فاصله بین پیچ تا لبه عضو و ... بـر ظرفیـت لنگـر خمشـی اتصال با پیچ مؤثرند. اگر بخواهند تأثیر هر یک این عامل‌ها بر خواص یادشده را بررسی کنند، نیازمنـد صـرف وقـت و هزینه فراوانی است و ازآنجاکه همواره در صـنعت، کـاهش هزینه و زمان موردتوجه است، در این پژوهش از مدل‌های رگرسـیونی بـرای پـیش‌بینـی ظرفیـت لنگـر خمشـی اتصال‌هایT ساخته‌شده از تخته‌چندلا با پیچ برحسب قطر و طول نفوذ پیچ رزوه ریزودرشت استفاده شده‌است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از تخته چندلای ساخته‌شده از گونـه-های پهن‌برگ راش، ممرز و توسکا (۱۱ لایـه) بـا ضـخامت اسمی ۱۹ میلی‌متر، تخته‌خرده‌چوب و تخته فیبر با چگالی متوسط (MDF) با ضخامت اسمی ۱۸ میلـی‌متـر اسـتفاده شد. بعضی از خواص اصلی تخته‌های بـه‌کـاربرده شـده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه‌شده است. نخست نمونه‌هـای آزمونی به اندازه موردنظر بریده‌شده و به مدت سه هفته در اتاق مشروط‌سازی بـا رطوبـت نسـبی ۶۵ درصـد و دمـای ۲۰°C نگه‌داری شـدند تـا بـه رطوبـت اسـمی ۱۲ درصـد برسند. پس از ثابـت شـدن رطوبـت، نمونـه‌هـای آزمـونی سوراخ‌کاری شده و سـپس پـیچ مربـوط بـه هـر تیمـار در سوراخ‌های تعبیه‌شده قرار داده شد. برای حفر سوراخ‌هـا از مته ستونی و برای نصب پیچ از دریل برقـی اسـتفاده شـد. نمونه‌های آزمونی با ابعاد ۲۳×۳۰ سانتی‌متر (عضو فرعی) و ۱۶×۲۳ سانتی‌متر (عضو اصلی) ساخته شدند (شکل ۱).

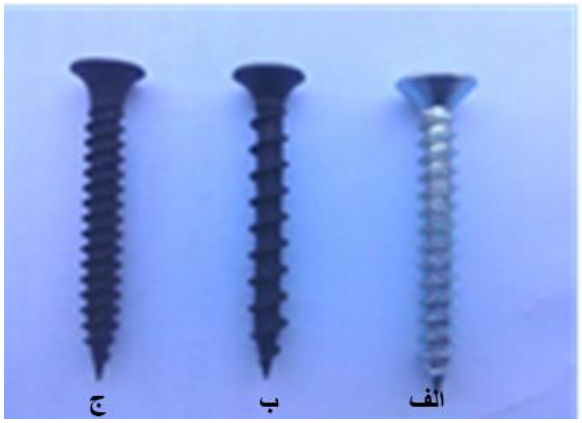
جدول ۱- خواص تخته‌های مورداستفاده

نوع تخته	چگالی g/cm^3	IB(MPa)	MOR (MPa)
تخته‌خرده‌چوب	۰/۶	۰/۶۶	۲۵/۲۵
MDF	۰/۷	۰/۸	۳۶/۱۳
تخته‌چندلا	۰/۷	-	۶۶



شکل ۱- آرایش آزمون ظرفیت لنگر خمشی اتصال T شکل

فاصله پیچ‌ها از لبه ۵ سانتی‌متر و فاصله بین پیچ‌ها ثابت بود. انواع پیچ‌های مورداستفاده در این پژوهش شامل پیچ‌های پانلی رزوه ریز و رزوه درشت با قطرهای اسمی ۳/۵، ۴ و ۵ میلی‌متر (به ترتیب شماره‌های ۴، ۸ و ۱۰) و طول اسمی به ترتیب ۳/۵، ۴ و ۵ سانتی‌متر و پیچ‌های خودکار با قطر اسمی ۴ و ۵ میلی‌متر (به ترتیب شماره‌های ۸ و ۱۰) و طول اسمی ۴ سانتی‌متر بودند که از بازار ابزار و یراق‌آلات تهیه‌شده‌اند. شکل ۲ پیچ‌های مورداستفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲- انواع پیچ‌های مورداستفاده در این پژوهش
الف) پیچ خودکار ب) پیچ پانلی رزوه درشت ج) پیچ پانلی رزوه ریز

برای بررسی تأثیر نوع پیچ بر ظرفیت لنگر خمشی تخته‌چندلا، آزمونه‌های ساخته‌شده با پیچ خودکار به قطرهای ۴ و ۵ میلی‌متر و طول ۴ سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفتند. سرعت بارگذاری در این آزمون ۵ mm/min تنظیم شد و آزمونه‌ها تا شکست کامل بارگذاری شدند. برای انجام آزمون از دستگاه اینسترون مدل ۴۴۸۶ استفاده شد. برای محاسبه ظرفیت لنگر خمشی اتصال T از معادله زیر استفاده شد:

$$M=P_{max} \times Y \qquad (۱)$$

که در آن M مقدار لنگر خمشی (N.m)، P_{max} بیشترین بار برای هر نمونه (N) و Y طول بازوی لنگر (m) است. برای هر تیمار ۵ تکرار در نظر گرفته شد. در نهایت نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد تحلیل آماری قرار گرفتند و از طرح فاکتوریل و آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. همچنین در این پژوهش از مدل‌سازی رگرسیونی به روش توأم استفاده شده‌است. مدل‌های ریاضی ارائه‌شده با توجه به بیشترین تأثیر هرکدام از عامل‌های متغیرِ موردبررسی، وارد مدل شده است. همچنین ضریب تبیین (R^2) به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری کفایتِ مدل رگرسیونی به‌دست‌آمده تعیین و درج گردیده است.

نتایج و بحث

میانگین مقادیر ظرفیت لنگر خمشی بر حسب قطر و طول نفوذهای مختلف در جدول ۲ ارائه‌شده است.

همچنین برای مشخص کردن اهمیت تأثیر هر یک از عامل‌های متغیرِ موردبررسی بر ظرفیت لنگر خمشی، نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ آمده است. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود بیشترین میزان ظرفیت لنگر خمشی (۷۱/۷۶ N.m) مربوط به پیچ رزوه درشت با قطر ۵ و طول نفوذ ۲۸ میلی‌متر بوده است. کمترین آن (۱۲/۰۸ N.m) در پیچ رزوه ریز با قطر ۳/۵ و طول نفوذ ۹ میلی‌متر دیده‌شده است. علت بیشتر بودن ظرفیت لنگر خمشی اتصال ساخته‌شده با پیچ رزوه درشت را به ارتفاع و فاصله بین رزوه‌های آن می‌توان نسبت داد که سبب درگیری بهتر پیچ رزوه درشت نسبت به رزوه ریز می‌شود و سبب کاهش له یا خلال شدن لایه‌های تخته می‌شود.

شکل ۳، ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های T ساخته‌شده را بر حسب قطرهای مختلف پیچ نشان می‌دهد.

همان‌گونه که دیده می‌شود با افزایش قطر پیچ از ۳/۵ به ۵ میلی‌متر، ظرفیت لنگر خمشی افزایش‌یافته ولی با افزایش آن از ۴ به ۵ میلی‌متر، این روند تغییرات کم‌تری نشان می‌دهد. دلیل این امر این است که هنگام بارگذاری

اتصال با پیچ به قطر ۵ میلی‌متر، خود پیچ شکست و این عامل باعث شد که پیچ با قطر ۴ و ۵ میلی‌متر باهم اختلاف مقاومت چندانی نداشته باشند. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بیشترین مقاومت در هر دو نوع رزوه مربوط به پیچ با قطر ۵ میلی‌متر است. چراکه افزایش قطر پیچ به دلیل سطح تماس بیشتر آن با اعضای اتصال، افزایش مقاومت اتصال را به دنبال خواهد داشت. نتایج این قسمت با یافته‌های Kasal و همکاران (۲۰۰۸) [۸] و Eckelman (۲۰۰۳) همخوانی دارد [۵].

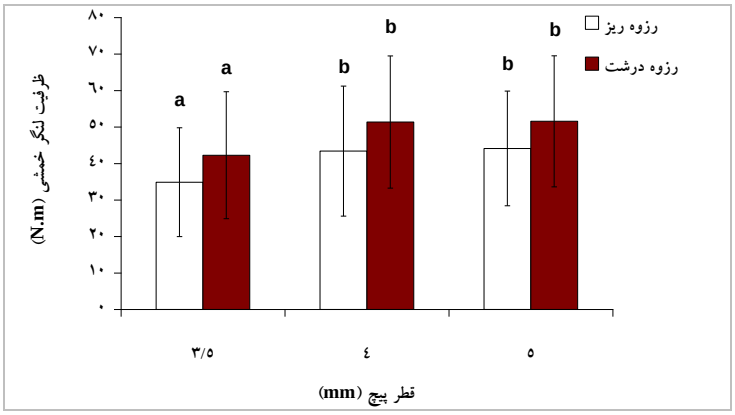
جدول ۲- میانگین ظرفیت لنگر خمشی پیچ پانلی رزوه ریزودرشت، قطر و طول نفوذ پیچ

قطر پیچ (mm)	میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصال پیچ پانلی رزوه ریز (N.m) طول نفوذ (mm)		
	۹	۱۵	۲۸
۳/۵	۲۰/۰۱۰ (۵ /۳۴)	۳۴/۰۷۵ (۳ /۷۴)	۵۰/۵۵۰ (۷ /۲۱)
۴	۲۲/۸۶۰ (۴ /۹۳)	۴۵/۱۰۵ (۴ /۵۱)	۶۱/۶۰۵ (۱۰ /۳۳)
۵	۲۸/۰۶۵ (۳ /۷۷)	۴۲/۷۳۰ (۶ /۰۵)	۶۲/ ۲۴۰ (۹ /۵۰)
	میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصال پیچ پانلی رزوه درشت (N.m)		
۳/۵	۲۳/۲۱۰ (۱ /۳۸) *	۴۳/۴۷۵ (۸ /۶۸)	۶۰/۱۴۰ (۹ /۴۸)
۴	۳۰/۲۷۵ (۳ /۴۸)	۵۲/ ۸۲۵ (۷ /۶۴)	۷۰/ ۹۹۰ (۸ /۰۸)
۵	۳۳/۳۳۰ (۳ /۹۱)	۴۹/۶۰۰ (۹ /۷۱)	۷۱/۷۶۵ (۹ /۵۰)

اعداد درون پرانتز انحراف معیار تیمارها را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر مستقل و متقابل عامل‌های متغیر بر ظرفیت لنگر خمشی

عامل‌های متغیر مستقل و متقابل	پیچ پانلی رزوه ریز			
	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
قطر	۲	۳۹۷/۰۹۴	۷/۳۳۱	۰/۰۰۲
طول نفوذ	۲	۴۴۶۰/۳۰۵	۸۲/۳۴۴	۰/۰۰۰
قطر× طول نفوذ	۴	۳۵/۴۴۵	۰/۶۵۴	۰/۶۲۸
	پیچ پانلی رزوه درشت			
قطر	۲	۴۲۲/۳۵۶	۷/۳۷۴	۰/۰۰۲
طول نفوذ	۲	۵۶۱۵/۰۰۹	۹۸/۰۳۶	۰/۰۰۰
قطر× طول نفوذ	۴	۱۸/۱۸۲	۰/۳۱۷	۰/۸۶۴

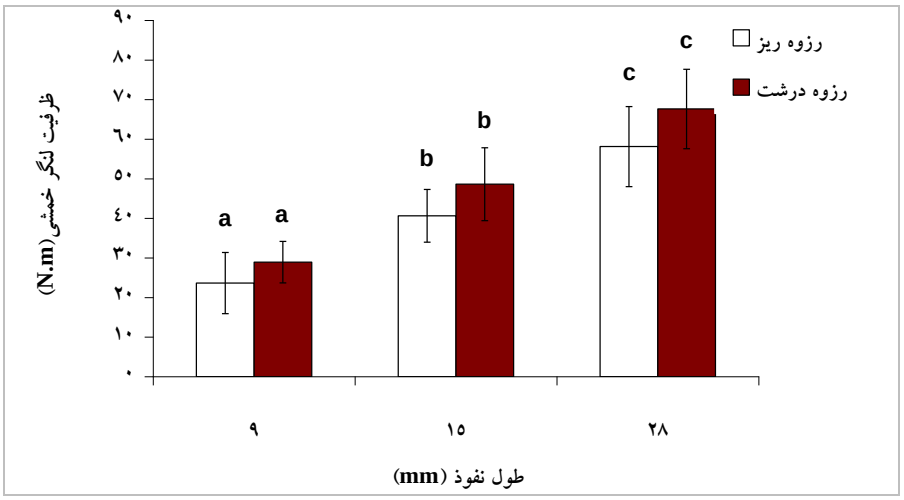


شکل ۳- تأثیر مستقل قطر پیچ بر ظرفیت لنگر خمشی در پیچ پانلی

(حروف روی نمودار گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهند که برای پیچ‌های با رزوه ریزودرشت به‌طور جداگانه انجام شده است).

نتایج نشان داد که با تغییر قطر پیچ از ۳/۵ تا ۵ میلی‌متر، مقدار ظرفیت لنگر خمشی در پیچ پانلی رزوه ریز ۲۶ درصد و در پیچ پانلی رزوه درشت ۲۱ درصد افزایش می‌یابد. عامل دیگری که تأثیر آن بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال پیچ موردبررسی قرار گرفت، طول نفوذ پیچ در اعضاء اتصال بود. در این بررسی از طول نفوذ ۹، ۱۵ و ۲۸ میلی‌متر استفاده‌شده است. با توجه به جدول ۳، تأثیر مستقل طول نفوذ بر ظرفیت لنگر خمشی پیچ پانلی رزوه ریزودرشت در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار است. شکل ۴، تأثیر مستقل پیچ‌های پانلی را در طول نفوذهای مختلف، بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال نشان می‌دهد.

همان‌گونه که دیده می‌شود با افزایش طول نفوذ از ۹ تا ۲۸ میلی‌متر، ظرفیت لنگر خمشی به‌طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد. دلیل این امر این است که با افزایش طول نفوذ پیچ، سطح تماس بین پیچ و اعضای اتصال بیشتر شده و باعث افزایش ظرفیت لنگر خمشی اتصال می‌شود. همچنین نتایج این قسمت با گزارش‌های Kasal و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۸) همخوانی دارد [۸ و ۹]. با تغییر طول نفوذ پیچ از ۹ تا ۲۸ میلی‌متر، مقدار ظرفیت لنگر خمشی در پیچ پانلی رزوه ریز ۴۵ درصد و در پیچ پانلی رزوه درشت ۳۳ درصد افزایش یافت.



شکل ۴- تأثیر طول نفوذ بر ظرفیت لنگر خمشی پیچ پانلی

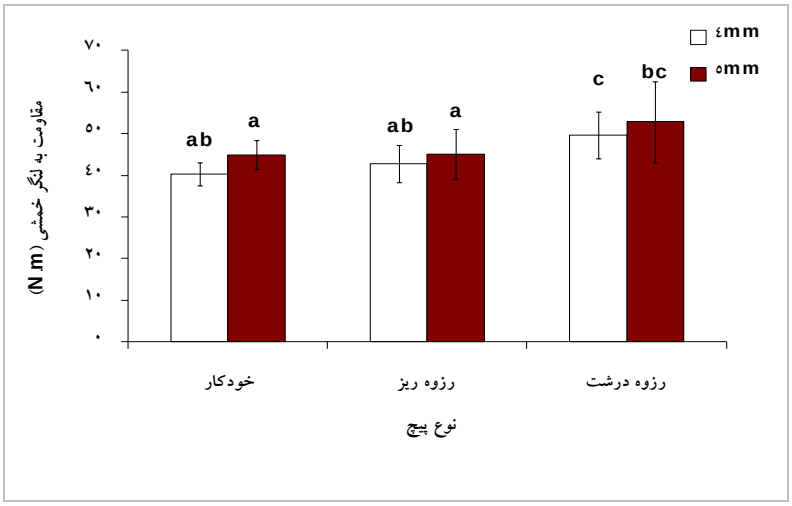
(حروف روی نمودار گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهند که برای پیچ‌ها با رزوه ریزودرشت به‌طور جداگانه انجام شده‌است).

برای بررسی تأثیر نوع پیچ، از دو نوع پیچ، پیچ پانلی (رزوه ریزودرشت) و خودکار استفاده شده‌است. نتایج این آزمون در شکل ۵ نشان داده شده‌است.

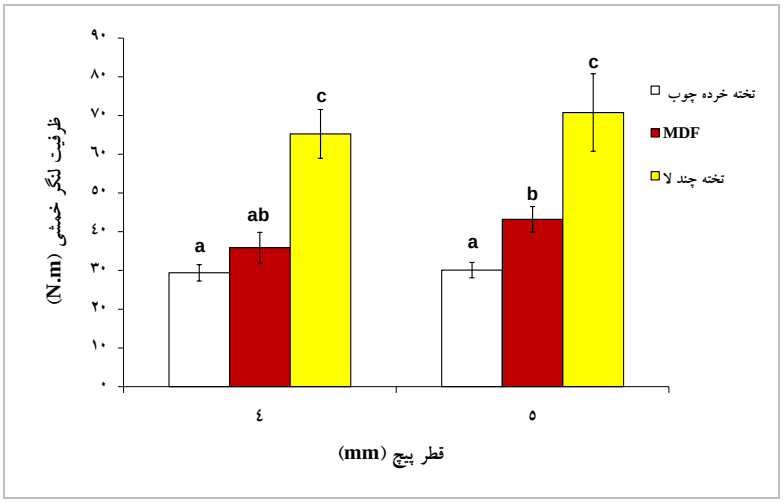
همان‌طور که دیده می‌شود بیشترین میزان ظرفیت لنگر خمشی (۵۲/۸۲ N.m) مربوط به پیچ پانلی رزوه درشت با قطر ۵ میلی‌متر و کم‌ترین آن (۴۰/۲۷ N.m) مربوط به پیچ خودکار با قطر ۴ میلی‌متر است. علت این است که هنگام بارگذاریِ اتصال با پیچ خودکار، خودِ پیچ شکست که این مسئله به تراکم بیشتر تنش روی این پیچ به دلیل بیشتر بودنِ سطح درگیر آن مربوط می‌شود و این عامل باعث کاهش مقاومت اتصال آن نسبت به پیچ پانلی شد. برای مقایسه ظرفیت لنگر خمشی پیچ در تخته‌چندلا، MDF و تخته‌خرده‌چوب صنعتی از پیچ‌های پانلی درشت با شماره‌های ۸ و ۱۰ (با قطر اسمی ۴ و ۵ میلی‌متر) و طول ۵ سانتی‌متر استفاده‌شده است. همان‌گونه که شکل ۶ نشان می‌دهد، بیشترین میزان ظرفیت لنگر خمشی (۷۱/۷۶ N.m) مربوط به تخته‌چندلا با قطر ۵ میلی‌متر و کمترین مقدار مقاومت (۱۹/۱۶ N.m) مربوط به تخته‌خرده‌چوب با قطر ۴ میلی‌متر است.

نتایج نشان داد با تغییر نوع تخته و قطر پیچ، مقاومت به لنگر خمشی به ترتیب ۱۹۶ و ۲۱ درصد افزایش می‌یابد. ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌ها ساخته‌شده از تخته‌چندلا از ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌ها ساخته‌شده با MDF و تخته‌خرده‌چوب بیشتر است که دلیل این مسئله را می‌توان به ساختار تخته‌چندلا نسبت داد، در ساختار تخته‌چندلا، استفاده از لایه‌های چوب ماسیو به‌طور مستقیم برخلاف

MDF و تخته‌خرده‌چوب که ذرات سازنده آن‌ها بسیار ریزتر است و با چسب به هم متصل شده‌اند، باعث درگیری بیشتر اتصال‌دهنده با اعضای اتصال می‌شود و موجب افزایش ظرفیت لنگر خمشی می‌شود. همچنین بنابر تحقیقات Kasal و همکاران (۲۰۰۸) چسبندگی درونی تخته‌های مورداستفاده در ساخت اتصال‌ها نیز بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌ها گوشه‌ای اثر معنی‌داری دارد [۸]. همچنین نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس ظرفیت لنگر خمشی برای تعیین میزان اعتبار مدل رگرسیونی نشان داد که تأثیر قطر و طول نفوذ پیچ در سطح اعتماد ۹۵ درصد بر ظرفیت لنگر خمشی پیچ رزوه ریزودرشت معنی‌دار است. ازاین‌رو عامل‌های قطر و طول نفوذ پیچ که تأثیر زیادی بر تغییرات ظرفیت لنگر خمشی دارند، وارد مدل شدند.



شکل ۵- مقایسه ظرفیت لنگر خمشی پیچ خودکار و پیچ پانلی رزوه ریزودرشت با قطرهای مختلف



شکل ۶- مقایسه ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های ساخته‌شده با تخته‌خرده‌چوب، MDF و تخته‌چندلا با پیچ پانلی رزوه درشت با قطرهای مختلف

تأثیر این عامل‌ها بر ظرفیت لنگر خمشی مثبت بوده و افزایش طول نفوذ و قطر پیچ باعث افزایش مقاومت اتصال‌ها شدند. ازاین‌رو با استفاده از نرم‌افزار SPSS رابطه‌ی بین قطر، طول نفوذ و نوع رزوه پیچ موردبررسی قرار گرفت و معادله ۲ به‌صورت معادله توانی برای پیش‌بینی ظرفیت لنگر خمشی به دست آمد.

$$W_{f-c} = KD^{a}P^{b} \qquad (۲)$$

در این معادله $W_{f\text{-}c}$ ظرفیت لنگر خمشی پیچ رزوه ریزودرشت، D قطر پیچ، P عمق نفوذ پیچ، K مقدار ثابت و a و b ضرایب رگرسیونی می‌باشند. پس از تحلیل‌های صورت گرفته، مقادیر ثابت (a و b)، ضریب همبستگی بین تابع و متغیرها و معادله ۳ و ۴ به دست آمدند.

(۳)

ضریب تبیین R^2 = ۰/۸۳

پیچ رزوه درشت $W_c = 3.426 \times D^{0.615} \times P^{0.639}$

(۴)

ضریب تبیین R^2 = ۰/۷۹

پیچ رزوه ریز $W_f = 4.684 \times D^{0.415} \times P^{0.568}$

با نگاهی به جدول ۴، ملاحظه می‌شود که نتایج مقادیر پیش‌بینی‌شده از مدل‌های ارائه‌شده، با یک تقریبِ نسبتاً خوب با داده‌های تجربی همخوانی نشان می‌دهند. با توجه به ضریب تبیین (R^2) معادله ۳ مشخص می‌شود که تأثیر قطر و عمق نفوذ بر ظرفیت لنگر خمشی با پیچ رزوه درشت، بسیار زیاد است و با تغییر قطر و عمق نفوذ پیچ رزوه درشت می‌توان با حدود اعتماد ۸۳ درصد تغییرات ظرفیت لنگر خمشی را پیش‌بینی کرد. همچنین تجزیه مقادیر پیش‌بینی‌شده از مدل ارائه‌شده، معادله ۴ با ضریب تبیین (R^2) رگرسیونی نشان داد که مدل یادشده توانایی پیش‌بینی ظرفیت لنگر خمشی با پیچ رزوه ریز را در حدود ۷۹ درصد دارد.

جدول ۴- میانگین دیده و پیش‌بینی‌شده بیشینه ظرفیت لنگر خمشی پیچ پانلی رزوه ریزودرشت

طول نفوذ (mm)	قطر پیچ (mm)	ظرفیت لنگر خمشی (N.m)			
		رزوه ریز		رزوه درشت	
		دیده‌شده	پیش‌بینی‌شده	دیده‌شده	پیش‌بینی‌شده
۲۸	۳/۵	۵۰/۵۵۰ (۷/۲۱) *	۵۲/۲۸۷	۶۰/۱۴۰ (۹/۴۸)	۶۲/۲۴۸
۲۸	۴	۶۱/۶۰۵ (۱۰/۳۳)	۶۰/۶۲۸	۷۰/ ۹۹۰ (۸/۰۸)	۷۷/۵۱۵
۲۸	۵	۶۲/۲۴۰ (۹/۵۰)	۵۵/۲۶۶	۷۱/۷۶۵ (۹/۵۰)	۶۷/۵۷۵
۱۵	۳/۵	۳۴/۰۷۵ (۳/۷۴)	۳۶/۶۸۰	۴۳/۴۷۵ (۸/۶۸)	۴۱/۷۷۵
۱۵	۴	۴۵/۱۰۵ (۴/۵۱)	۳۸/۷۷۰	۵۲/ ۸۲۵ (۷/۶۴)	۴۵/۳۵۰
۱۵	۵	۴۲/۷۳۰ (۶/۰۵)	۴۲/۵۳۱	۴۹/۶۰۰ (۹/۷۱)	۵۲/۰۲۱
۹	۳/۵	۲۰/۰۱۰ (۵/۳۴)	۲۷/۴۴۲	۲۳/۲۱۰ (۱/۳۸)	۳۰/۱۴۰
۹	۴	۲۲/۸۶۰ (۴/۹۳)	۲۹/۰۰۶	۳۰/۲۷۵ (۳/۴۸)	۳۲/۷۲۰
۹	۵	۲۸/۰۶۵ (۳/۷۷)	۳۱/۸۲۰	۳۳/۳۳۰ (۳/۹۱)	۳۷/۵۳۳

* اعداد درون پرانتز انحراف معیار تیمارها را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

میزان باری که بتوان در واحد سطح هر طبقه به‌ویژه قفسه کتاب جا داد، به پهنای قفسه، نوع اتصال‌ها و استحکام اعضای اتصال آن بستگی دارد؛ بنابراین در این پژوهش، از مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی ظرفیت لنگر خمشی اتصال‌های T ساخته‌شده از تخته‌چندلا با پیچ بر حسب قطر و طول نفوذ پیچ رزوه ریزودرشت استفاده شد. نتایج نشان دادند که ظرفیت لنگر خمشی اتصال با پیچ در تخته‌چندلا با افزایش طول نفوذ و قطر پیچ افزایش می‌یابد. همچنین تحلیل‌های صورت گرفته نشان داد که طول نفوذ پیچ تأثیر بیشتری روی ظرفیت لنگر خمشی در مقایسه با قطر دارد. Kasal و همکاران (۲۰۰۸) نیز در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیده‌اند که طول نفوذ پیچ تأثیر زیادی روی ظرفیت لنگر خمشی دارد [۸]. در بین دو نوع رزوه موردبررسی، پیچ با رزوه درشت بیشترین میزان ظرفیت لنگر خمشی را داشته است. می‌توان علت بیشتر بودن ظرفیت لنگر خمشی اتصال ساخته‌شده با پیچ رزوه درشت را به ارتفاع بیشتر رزوه آن در مقایسه با پیچ رزوه ریز نسبت داد که سبب درگیری بهتر پیچ در اعضای اتصال می‌شود. نتایج مربوط به مقایسه ظرفیت لنگر

خمشی پیچ خودکار با پیچ پانلی رزوه ریزودرشت نشان داد که ظرفیت لنگر خمشی اتصال پیچ خودکار از پیچ پانلی رزوه ریز و رزوه درشت کمتر است.

نتایج بررسی نوع تخته نشان داد که ظرفیت لنگر خمشی تخته‌چندلا از MDF و تخته‌خرده‌چوب بیشتر است که دلیل این امر را می‌توان به مدول کشسانی بالای تخته‌چندلا و توانایی نگهداری بیشتر پیچ توسط اعضای آن نسبت به MDF و تخته‌خرده‌چوب ربط داد؛ بنابراین با گزینش مواد اولیه مناسب و گزینش اتصال‌دهنده مناسب می‌توان مشکل خیز را کاهش داد و استحکام سازه ساخته‌شده را افزایش داد. نتایج محاسبات حاصل از این تحقیق نشان داد که به‌طورکلی گزینش متغیر و برآورد ضرایب در مدل رگرسیونی، پایه‌ای‌ترین بخش در مدل‌سازی است. بنابراین با توجه به تأثیر معنی‌دار قطر و طول نفوذ پیچ رزوه ریزودرشت بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال، پس از جمع‌آوری داده‌های لازم به کمک داده‌های تجربی، مدل‌های مطلوبی برای پیش‌بینی ظرفیت لنگر خمشی پیچ رزوه ریزودرشت به ترتیب $W_f = 4.684\times D^{0.415}\times P^{0.568}$ و $W_c = 3.426\times D^{0.615}\times P^{0.639}$ بر پایه قطر و عمق نفوذ به دست آمدند. تجزیه واریانس آزمایش‌ها و مقادیر پیش‌بینی‌شده از مدل‌های ارائه‌شده، با اندازه‌گیری‌های تجربی با یک تقریب نسبتاً خوب همخوانی نشان می‌دهند، به‌طوری‌که مقادیر برازش شده به مقادیر واقعی نزدیک می‌باشند. در انتها شایان‌ذکر است که مدل‌های ارائه‌شده در این پژوهش با دقت قابل قبولی که مقادیر آن در جدول ۴ ارائه شده‌است، توانایی پیش‌بینی ظرفیت لنگر خمشی با پیچ رزوه ریزودرشت را در اتصال‌های ساخته‌شده از تخته‌چندلا دارند. ازاین‌رو در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان داشت، که استفاده از مدل‌های رگرسیونی راه‌حل مناسبی برای پرهیز از انجام آزمایش‌های پرهزینه و زمان‌بر برای تعیین استحکام اتصال‌ها در سازه مبلمان، است.

مراجع

[1] Ebrahimi, G., 2006. Engineering design of furniture structure. Tehran university publication, 491 p. (In Persian).

[2] Arabi, M., Faezipour, M., Layeghi, M. and Enayati, A.K., 2011. Prediction mechanical properties of particleboard and analysis the interaction effect of slenderness ratio and resin content, using linear, quadratic and exponential equation.Wood and Forest Science and Technology, 24(2): 219-231. (In Persian).

[3] Semple, K.E. and Smith, G.D., 2006. Prediction of internal bond strength in particleboard from screw withdrawal resistance models. Wood and Fiber Science, 38(2): 256 – 267.

[4] Eckelman, C.A., 1969. Engineering concepts of single-pin dowel joint design. Forest products journal, 19 (2): 52-59.

[5] Eckelman, C.A., 2003. Textbook of product engineering and strength design of furniture, West Lafayette (IN): Purdue University Press.

[6] Hill, M.D., and Eckelman, C.A., 1973. Mortise and tenon joints: flexibility and bending strength of mortise and tenon joints. Furniture Design Manufacture, 72: 27-65.

[7] Bahmani, M., Ebrahimi, G.H., and Veisi, J., 2009. Design of experimental model for predicting ultimate bending strength dowel joint in medium density fiber. Iranian Journal of Natural Resources, 62(4): 335-342. (In Persian).

[8] Kasal, A., Erdil, Y.Z., Zhang, J.L., Efe, H., and Avci, E., 2008. Estimation equations for moment resistances of L-type screw corner joints in case goods furniture. Forest Products Journal, 58 (9):21-27.

[9] Kasal, A., Sener, S., Belgin, C.M., and Eff, H., 2006. Bending Strength of Screwed Corner Joints with Different Materials. Gazi University Journal of Science, 19(3):155-161.

Prediction of bending moment resistance of screw connected joints in plywood members using regression models and compare with that commercial medium density fiberboard (MDF) and particleboard

Abstract

The study aimed at predicting bending moment resistance plywood of screw (coarse and fine threads) joints using regression models. Thickness of the member was 19mm and compared with medium density fiberboard (MDF) and particleboard with 18mm thicknesses. Two types of screws including coarse and fine thread drywall screw with nominal diameters of 6, 8 and 10mm and 3.5, 4 and 5 cm length respectively and sheet metal screw with diameters of 8 and 10 and length of 4 cm were used. The results of the study have shown that bending moment resistance of screw was increased by increasing of screws diameter and penetrating depth. Screw Length was found to have a larger influence on bending moment resistance than screw diameter. Bending moment resistance with coarse thread drywall screws was higher than those of fine thread drywall screws. The highest bending moment resistance (71.76 N.m) was observed in joints made with coarse screw which were 5 mm in diameter and 28 mm in depth of penetration. The lowest bending moment resistance (12.08 N.m) was observed in joints having fine screw with 3.5 mm diameter and 9 mm penetrations. Furthermore, bending moment resistance in plywood was higher than those of medium density fiberboard (MDF) and particleboard. Finally, it has been found that the ultimate bending moment resistance of plywood joint can be predicted following formula $W_c = 0.189 \times D^{0.726} \times P^{0.577}$ for coarse thread drywall screws and $W_f = 0.086 \times D^{0.942} \times P^{0.704}$ for fine ones according to diameter and penetrating depth. The analysis of variance of the experimental and predicted data showed that the developed models provide a fair approximation of actual experimental measurements.

Keywords: bending moment resistance, plywood, coarse and fine thread, drywall screws, regression models, joint screw.

S. Maleki [1*]
M. Faezipour [2]
Gh. Ebrahimi [2]
M. Layeghi [3]

[1]Ph.D. student, Department of Wood & Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University, Noor, Iran

[2] Professor, [3]Assistant Professor, Department of Wood & Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
s.maleki3@gmail.com

Received: 2011.12.18
Accepted: 2012.05.22