بررسی مقاومت برشی اتصال‌های سازه خرپا

امیر لشگری*[۱]

۱) دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول: amir.lashgari@kiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۱۳

چکیده

پژوهش حاضر به مطالعه تاثیر جهت الیاف عضوهای اتصال در دو جهت مماسی و شعاعی، نوع سطح تماس اتصال عضوها در سه مدل شیب‌دار، پله‌ای، ساده فارسی و نوع واشر در دو شکل گرد جدا و یک تکه مشترک بر مقاومت برشی اتصالات خرپای چوبی پرداخت. ساخت کلیه اتصالات با استفاده از چوب تبریزی با دو عضو هر کدام به ابعاد ۵/۱×۵/۱×۳۰ سانتی‌متر طبق استاندارد ASTM D1761–88 R95 انجام شد. اتصال عضوها با استفاده از دو پیچ با قطر ۱۰ میلی‌متر صورت پذیرفت و از چسب به‌عنوان ماده کمکی استفاده نگردید. از ترکیب عوامل متغیر ذکر شده تعداد ۱۲ تیمار با ۴ تکرار در مجموع ۴۸ نمونه اتصال خرپا ساخته شد که مقاومت برشی آنها توسط دستگاه آزمون مکانیکی اندازه‌گیری گردید. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که بیشترین مقاومت در نمونه‌ها مربوط به اتصال شیب‌دار در جهت شعاعی با واشر جدا بود. تفاوت معنی‌داری بین دو عامل جهت الیاف عضوها و نوع سطح تماس و همچنین اثر متقابل دو عامل نوع واشر و نوع سطح تماس وجود داشت. مقاومت برشی در جهت شعاعی و واشر مشترک روند افزایشی نشان داد و همچنین بیشترین مقاومت برشی در بین سطح تماس عضوها اتصال شیب‌دار داشت.

واژه‌های کلیدی: اتصالات، جهت الیاف، خرپا، مقاومت برشی، نوع واشر.

مقدمه

خرپای ساده از اتصال چند میله مستقیم تشکیل شده که به‌طور مفصلی به هم متصل شده و شبکه‌های مثلثی به وجود می‌آورند. نیروهای وارد بر خرپاها باید در محل اتصال مفصل‌ها به خرپا وارد شوند. بارها توسط ترکیبی مثلثی شکل از اعضا با اتصال مفصلی به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌شود. خرپاها از مفیدترین فرم ساختمانی هستند که در انواع ساختمان‌ها و ماشین‌ها به‌کار می‌روند. ساختمان‌های خرپایی در مقابل نیروهای وارده مقاومت بسیاری داشته و از لحاظ اقتصادی نیز ساختن آنها مقرون به صرفه است. خرپا در بعضی از ماشین‌های سنگین مانند جرثقیل‌ها استفاده می‌شود. خرپاها علاوه بر مقاومت زیاد از نظر وزنی هم سبک هستند. استخوان‌بندی بال بعضی از پرندگان برای پرواز به‌صورت خرپا تکوین یافته است. اسکلت‌بندی هواپیماها نیز به علت سبک بودن از نوع خرپایی انتخاب می‌شود. توجه به مسایل مربوط به ویژگی‌های چوب که بر کیفیت مکانیکی چوب تاثیر دارند در طراحی سازه‌های چوبی بسیار مهم می‌باشند.

شناخت و استفاده صحیح از مقاومت‌های مجاز چوب مهم‌ترین مرحله در طراحی یک سازه چوبی می‌باشد و سازه خرپا نیز از این قاعده مستثنی نیست. طبیعت خواص چوب سالم در شرایط مختلف محیطی از قبیل محل جغرافیایی، نوع خاک، مقدار نور و بارندگی تغییر می‌کند و محصول تولید شده دارای خواص متغیر خواهد بود. به همین علت تحقیق‌های خواص مکانیکی چوب بر مبنای نمونه‌برداری و احتمالات آماری مورد مطالعه قرار می‌گیرد و در نتیجه خواص گونه تعیین می‌شود. معمول‌ترین خواص یا مقاومت‌های مجاز چوب شامل مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مقاومت فشاری موازی با الیاف، مقاومت فشاری عمود بر الیاف، مقاومت برشی و مدول الاستیسیته چوب می‌باشد. چوب مورد مصرف در خرپاهای چوبی باید حداکثر ۱۹ درصد رطوبت داشته باشد (Gupta *et al.*, 2005). اعضای مختلف خرپای چوبی در تمام نقاط اتصال باید با پیچ و مهره و یا گیره‌های فولادی محکم به یکدیگر بسته شوند، چرا که میخ نمودن ساده این ضلع‌ها به یکدیگر کافی نمی‌باشد. تمامی سطوحی که با مصالح بنایی در تماس هستند باید برای محافظت در مقابل رطوبت با قیر، قطران یا مواد مناسب دیگری که مورد تصویب دستگاه نظارت باشد، اندود گردند. با توجه به قدمت استفاده از خانه‌های چوبی از دیرباز، ظهور خانه و سازه‌های چوبی مدرن نیاز به استحکام زیاد و طراحی زیبای سازه‌ها دارد. طراحی و انتخاب مناسب اتصال خرپا به نما و ظاهر سازه، زیبایی بخشیده و مقاومت، دوام و استحکام آن را زیاد می‌کند. طراح باید با انواع اتصال‌های خرپا و نحوه ساخت آن آشنا باشد تا ضمن طراحی و انتخاب یک اتصال مناسب استحکام و زیبایی سازه نیز محقق گردد.

Tazount و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی که با استفاده از روش عناصر محدود در اتصال پیچ و مهره تیرهای چوبی انجام دادند، به دو نتیجه دست یافتند: ۱) توزیع تنش در اتصالات بستگی به چگونگی توزیع و تقسیم تنش دارد، به طوری که تنش‌های موازی و عمود بر الیاف در نزدیکی سوراخ‌های اتصالات با هم برابرند؛ و ۲) تراکم تنش عمود بر الیاف در نزدیکی سوراخ اتصال‌ها در انتهای تیر قابل توجه است.

Gupta و همکاران (۲۰۰۵) تاثیر سطح تماس اتصال پیچ و مهره را بر مقاومت برشی سازه خرپا بررسی نموده و دریافتند که با افزایش سطح تماس اتصال مقاومت برشی افزایش می‌یابد. Freilingor و همکاران (۱۹۹۷) مدلی از خرپای سقفی (هاو) با ۱/۸ اندازه واقعی برای بررسی تاثیر اندازه در مقاومت سازه تولید نموده و بیان کرد نتایج حاصله از مدل نشان‌دهنده عکس‌العمل انتهایی خرپا در نمونه واقعی است.

Gupta و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی رفتار خرپاهای چوبی با اتصالات فلزی در برابر باد پرداخته و بیان داشتند که با توجه به آزمون استاتیکی، مقاومت میانگین اتصال صفحه فلزی تحت کشش ۱۷ درصد بیشتر از همان اتصال تحت فشار بوده و اختلاف معنی-داری در فاکتور سفتی این اتصال تحت فشار یا کشش وجود ندارد. Wilson (۲۰۱۰) تاثیر قطر پیچ را بر مقاومت برشی اتصال‌های سازه خرپاها بررسی نمود و دریافت که با افزایش قطر پیچ مقاومت برشی اتصال افزایش می‌یابد. Kasal و همکاران (۲۰۱۲) تاثیر نوع سطح تماس (شیب‌دار و پله‌ای) اتصالات پیچ را بر مقاومت برشی سازه خرپاها بررسی نمودند و دریافتند که با افزایش شیب اتصال مقاومت برشی افزایش می‌یابد.

بنابراین اهداف پژوهش حاضر عبارتند از: ۱) بررسی تاثیر جهت الیاف بر مقاومت سازه خرپا؛ ۲) بررسی تاثیر سطح تماس اتصالات (نوع اتصال) بر مقاومت سازه خرپا؛ و ۳) بررسی تاثیر نوع واشر بر مقاومت سازه خرپا.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه مصرفی در این بررسی عبارتند از:

۱. چوب تبریزی (*Populous nigra*) به ابعاد ۳۰×۵/۱×۵/۱ سانتی‌متر؛

۲. پیچ و مهره به قطر ۱۲ و طول ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی-متر (شکل ۱)؛

۳. واشر گرد به قطر داخلی ۱۴ و قطر خارجی ۲۴ و ضخامت ۱ میلی‌متر (شکل ۲)؛

۴. واشر مشترک چهارگوش یک تکه (دو سوراخ) (شکل ۳) حاصل از برش ورق فلزی به ضخامت ۱ میلی‌متر.

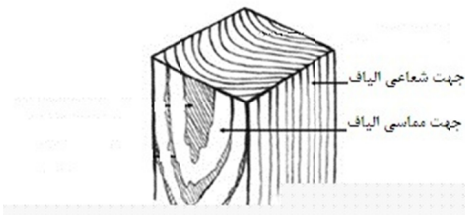
شکل ۱. پیچ و مهره

شکل ۲. واشر گرد

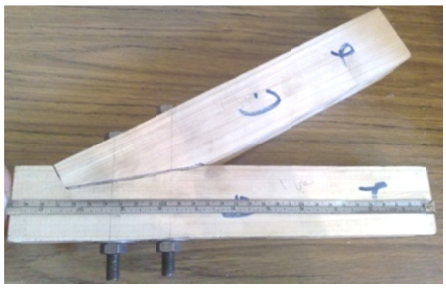
شکل ۳. واشر یک تکه

طرح آماری و تعداد نمونه‌ها

میانگین مقاومت اتصالات خرپا با در نظر گرفتن چهار تکرار برای هر حالت محاسبه گردید. برای مقایسه مقاومت‌ها در اتصال‌های ساخته شده از تجزیه واریانس استفاده شد. فاکتورهای مستقل به دو دسته فاکتورهای مستقل ثابت و مستقل متغیر تقسیم‌بندی شدند. فاکتورهای مستقل ثابت شامل نوع گونه چوب، سرعت اعمال بار معادل ۱۲/۷ میلی‌متر بر دقیقه و نوع بارگذاری بود. همچنین فاکتورهای مستقل متغیر شامل جهت الیاف (شکل ۴) عضوهای اتصال در دو جهت مماسی (T) و شعاعی (R)، سطح تماس اتصال عضوها که نوع اتصال در سه مدل شیب‌دار (S)، پله‌ای (P)، ساده فارسی (F) و نوع واشر در دو شکل یک تکه مشترک (J) و گرد (M) بود (شکل‌های ۵، ۶ و ۷).



شکل ۴. جهت شعاعی و مماسی الیاف چوب



شکل ۵. اتصال شیب‌دار

شکل ۶. اتصال پله‌ای

شکل ۷. اتصال ساده فارسی

مقاومت برشی

با توجه به متغیرهای ذکر شده به همراه ۴ تکرار در مجموع، ۴۸ نمونه ساخته شد و آزمون مکانیکی بر روی آنها انجام گردید.

تجهیزات و روش انجام آزمایش

آزمایش مقاومت اتصالات سازه خرپا با استفاده از دستگاه آزمون مکانیکی Instron مدل 4486 در آزمایشگاه مکانیک چوب دانشکده منابع‌طبیعی دانشگاه تهران انجام گردید. دستگاه Instron داده‌های هر آزمایش را به‌صورت منحنی ترسیم کرد.

اعمال بار با سرعت ۱۲/۷ میلی‌متر در دقیقه تا مرحله شکست انجام گرفت، یعنی در قسمتی که منحنی اعمال بار افت کرد. برای محاسبه مقاومت برشی در محل اتصال‌های پیچ از اعمال بار خمشی بر روی وتر عضو خرپا استفاده شد.

نتایج

تجزیه و تحلیل واریانس اثرات متغیرهای مستقل و متقابل تیمارهای مختلف بر مقاومت برشی نشان داد که نوع اتصال تاثیر معنی‌داری بر مقاومت برشی دارد،

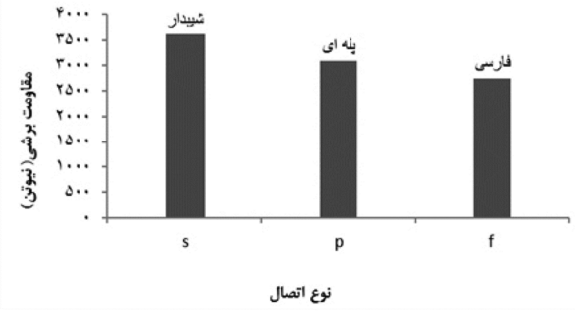
درحالی‌که در سایر متغیرهای مستقل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. اختلاف معنی‌داری بین تاثیر متقابل نوع اتصال و نوع واشر دیده شد، در صورتی که در سایر حالت‌های متقابل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱).

جدول ۱. تجزیه و تحلیل واریانس تاثیر مستقل و متقابل تیمارهای مختلف بر مقاومت برشی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	فراوانی	معنی‌داری
نوع اتصال	۶/۳۲۸	۲	۳/۱۶۴	۲۸/۴۹۱	۰/۰۰۰
نوع واشر	۰/۱۴۵	۱	۰/۱۴۵	۱/۳۰۳	۰/۲۶۱
جهت الیاف	۰/۱۹۶	۱	۰/۱۹۶	۱/۷۶۷	۰/۱۹۲
نوع اتصال و نوع واشر	۱/۳۸۳	۲	۰/۶۹۱	۶/۲۲۶	۰/۰۰۵
نوع اتصال و جهت الیاف	۲/۲۹۵	۲	۱/۱۴۸	۱۰/۳۳۴	۰/۰۰۰
نوع واشر و جهت الیاف	۰/۰۲۳	۱	۰/۰۲۳	۰/۲۰۶	۰/۶۵۳
نوع اتصال، نوع واشر و جهت الیاف	۰/۶۷۶	۲	۰/۳۳۸	۳/۰۴۳	۰/۰۶۰
خطا	۳/۹۹۸	۳۶	۰/۱۱۱		
مجموع	۴۹۱/۵۵۷	۴۸		α=۰/۰۵	

تاثیر مستقل نوع سطح تماس اتصال عضوها (نوع اتصال) در سه مدل (شیب‌دار، پله‌ای، ساده فارسی)

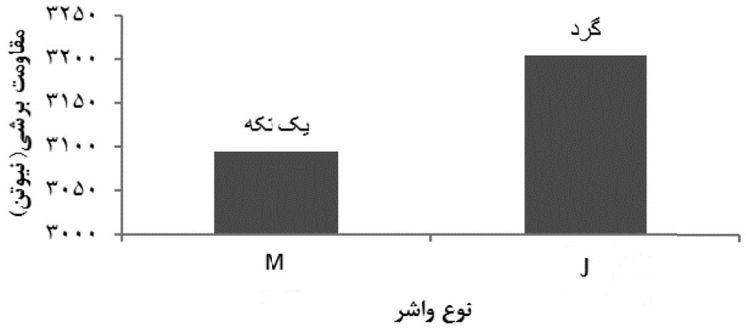
تفاوت معنی‌داری بین تاثیر مستقل نوع اتصال بر مقاومت برشی اتصالات خرپا مشاهده گردید (جدول ۱ و شکل ۸). نتایج به‌دست آمده بیانگر رابطه متقابل بین نوع اتصال و مقاومت برشی بود، به‌طوری‌که با تغییر نوع اتصال مقدار مقاومت برشی تغییر کرد. به‌علاوه بیشترین مقدار میانگین مقاومت برشی برای اتصال شیب‌دار مشاهده گردید؛ در حالی که کمترین مقاومت برشی برای اتصال ساده فارسی بود.



شکل ۸. مقایسه میانگین تاثیر مستقل نوع اتصال بر روی مقاومت برشی

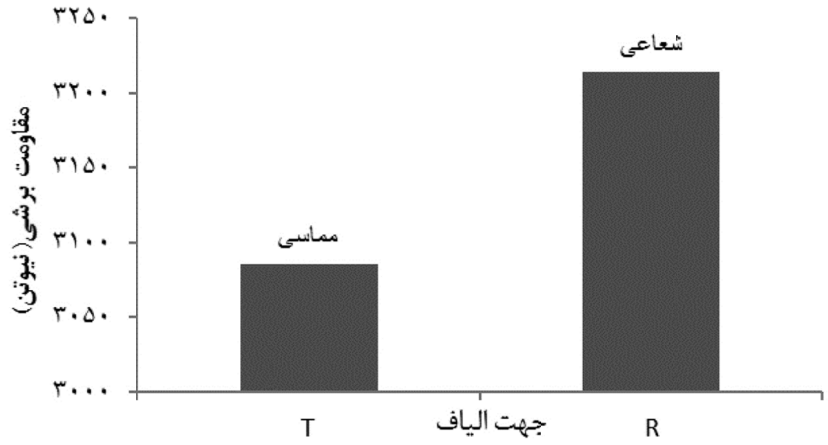
تاثیر مستقل نوع واشر در دو شکل (گرد، یک تکه مشترک)

یافته‌های حاصل از پژوهش نشان داد که تفاوت معنی‌داری میان تاثیر مستقل نوع واشر بر مقاومت برشی اتصالات خرپا وجود ندارد (جدول ۱ و شکل ۹). در اتصالات خرپا میانگین مقاومت برشی هر یک از واشرهای گرد و یک تکه مشترک در یک گروه بود ($p>0/05$).



شکل ۹. مقایسه میانگین تاثیر مستقل نوع واشر بر مقاومت برشی

تفاوت معنی‌داری بین تاثیر مستقل جهت الیاف عضوهای اتصال بر مقاومت برشی اتصالات خرپا مشاهده نگردید (جدول ۱ و شکل ۱۰). میانگین مقاومت برشی هر یک از جهت الیاف عضوهای اتصال مماسی و شعاعی در اتصالات خرپا در یک گروه قرار گرفت ($p>0/05$).

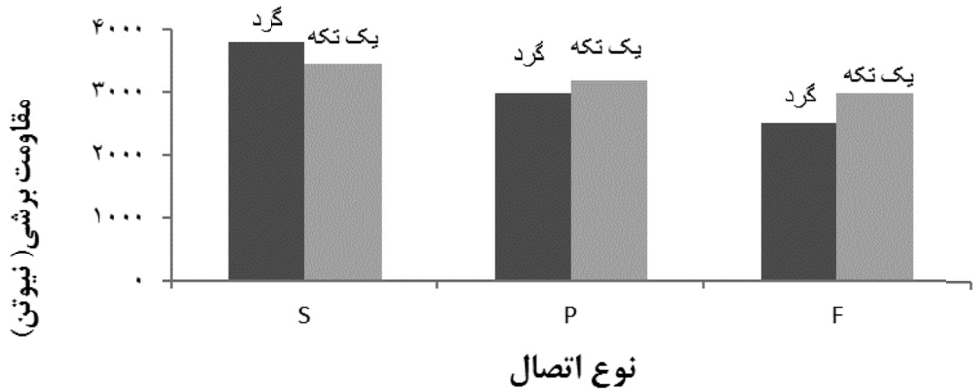


شکل ۱۰. مقایسه میانگین تاثیر مستقل جهت الیاف بر روی مقاومت برشی

تاثیر متقابل نوع اتصال عضوها و نوع واشر

تفاوت معنی‌داری بین تاثیر متقابل نوع اتصال و نوع واشر بر مقاومت برشی اتصالات خرپا وجود داشت (جدول ۱ و شکل ۱۱).

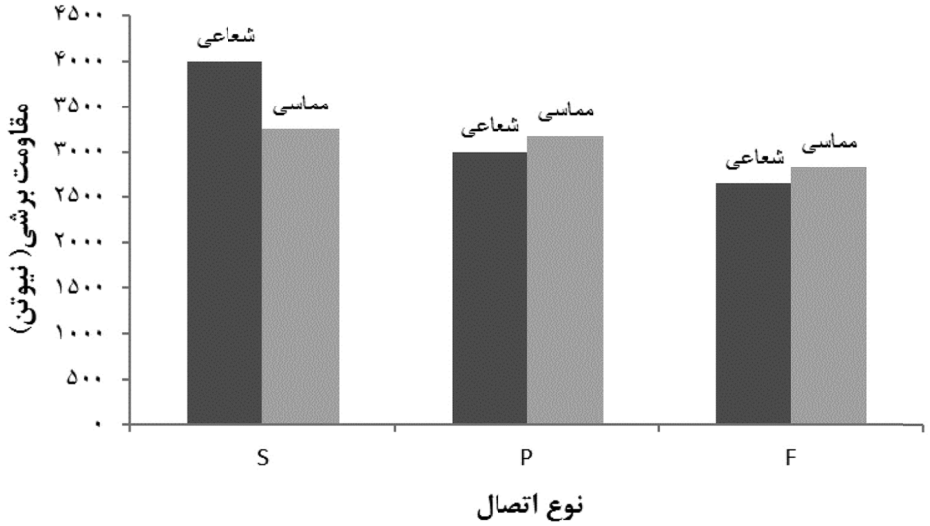
رابطه مستقیمی بین نوع اتصال و نوع واشر در مقاومت برشی مشاهده شد، به طوری که با تغییر نوع اتصال و نوع واشر مقدار مقاومت برشی تغییر کرد. همچنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بیشترین مقدار میانگین مقاومت برشی برای واشر گرد در اتصال شیبدار بود، درحالی‌که کمترین مقاومت برشی برای واشر گرد در اتصال فارسی بود.



شکل ۱۱. مقایسه میانگین تاثیر متقابل نوع اتصال و نوع واشر بر مقاومت برشی

تاثیر متقابل نوع اتصال و جهت الیاف عضوها

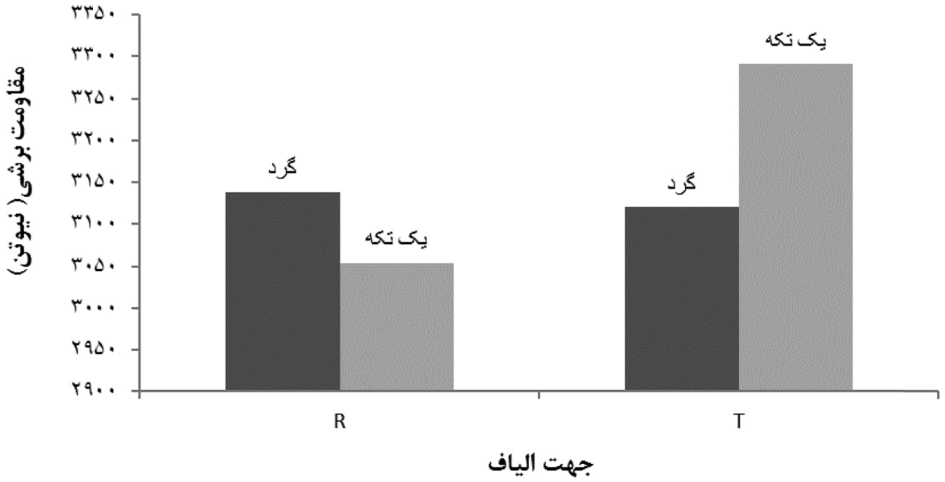
تاثیر متقابل نوع اتصال و جهت الیاف عضوها بر مقاومت برشی اتصالات خرپا بیانگر تفاوت معنی‌داری بین این دو شاخص بود (جدول ۱ و شکل ۱۲). وجود رابطه مستقیم بین نوع اتصال و جهت الیاف در مقاومت برشی نشان‌دهنده بروز تفاوت معنی‌دار در مقاومت برشی با تغییر نوع اتصال و جهت الیاف است. به‌علاوه بیشترین مقدار میانگین مقاومت برشی در جهت شعاعی مشاهده شد، درحالی‌که کمترین مقاومت برشی در جهت شعاعی برای اتصال فارسی بود.



شکل ۱۲. مقایسه میانگین تاثیر متقابل نوع اتصال و جهت الیاف بر مقاومت برشی

تاثیر متقابل نوع واشر و جهت الیاف عضوها

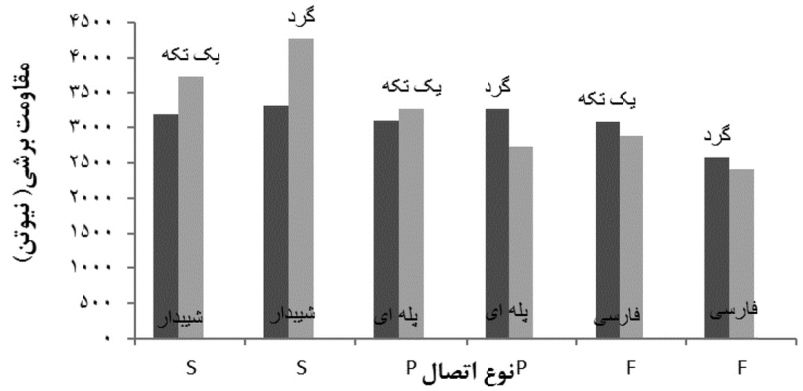
تفاوت معنی‌داری در تاثیر متقابل نوع واشر و جهت الیاف بر مقاومت برشی اتصالات خرپا مشاهده نشد (جدول ۱ و شکل ۱۳) و میانگین مقاومت برشی هر یک از جهات الیاف و واشرها در اتصالات خرپا در یک گروه بود.



شکل ۱۳. مقایسه میانگین تاثیر متقابل نوع واشر و جهت الیاف بر مقاومت برشی

تاثیر متقابل همه متغیرها (نوع اتصال، نوع واشر، جهت الیاف)

تاثیر متقابل همه متغیرها شامل نوع اتصال، نوع واشر و جهت الیاف بر مقاومت برشی اتصالات خرپا تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۱ و شکل ۱۴) و میانگین مقاومت برشی هر یک از جهات الیاف و واشرها در اتصالات خرپا در یک گروه قرار داشت.



شکل ۱۴. مقایسه میانگین تاثیر متقابل همه متغیرها (نوع اتصال، نوع واشر، جهت الیاف)

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی تاثیر جهت الیاف مماسی و شعاعی بیانگر مقاومت بیشتر اتصالات ساخته شده در سطح شعاعی نسبت به سطح مماسی بوده و علت آن ناهمگن و ارتوتروپیک بودن بیشتر چوب در جهت مماسی نسبت به شعاعی است. این امر باعث می‌شود پارامترهای مهندسی

در جهت شعاعی دارای مقادیر بالاتری نسبت به جهت مماسی بوده و بالا بودن این فاکتورها، افزایش مقاومت اتصال را در این جهت سبب می‌شود که نتایج به‌دست آمده از تحقیق مشابه نتایج Winistorfer (۱۹۹۵) است.

بررسی بین سه نوع سطح اتصال شیب‌دار، پله‌ای و فارسی ساده نشان داد که اتصال شیب‌دار دارای مقاومت برشی بیشتری نسبت به اتصال پله‌ای و اتصال ساده فارسی است که به‌دلیل کم بودن ضخامت عضو اتصال می‌باشد. افزایش تنش لهیدگی در اثر کاهش ضخامت باعث کم شدن پهنا و در نتیجه کاهش مقاومت می‌شود. فاصله ایجاد شده از لبه عضو افقی اتصال در حالت شیب‌دار باعث افزایش مقاومت برشی شد که دلیل آن کاهش تنش در دیواره حفره پیچ و انتهای عضو بوده و این موضوع مربوط به افزایش تنش لهیدگی در حفره پیچ مد می‌باشد که نتایج حاصله مشابه نتایج Kasal (۲۰۱۲) است.

یافته‌های این پژوهش بیانگر مقاومت برشی بیشتر واشر پیچ‌های اتصال‌دهنده عضوهای اتصالات واشر مشترک نسبت به واشر جدا بود که علت آن را رابطه مستقیم بین مقاومت برشی و افزایش سطح درگیر واشر با چوب می‌توان بیان نمود که با افزایش سطح واشر توزیع تنش در سطح بیشتری گسترده شده است. بنابراین تنش در اتصال متوازن بوده و لهیدگی کمتری در محل حفره پیچ را به دنبال دارد و این امر باعث افزایش مقاومت شده که نتایج به‌دست آمده مشابه با نتایج Wilson (۲۰۱۰) است. لازم به ذکر است که واشر چهارگوش به‌دلیل سطح تماس بیشتر نسبت به واشر گرد تنش برشی کمتری به سطح چوب منتقل می‌نماید، چرا که با افزایش سطح تماس میزان تنش مجاز برای اتصال روند افزایشی را طی کرده که این خود نشان‌دهنده آن است که اتصال تحت نیروی بیشتری گسیخته خواهد شد.

منابع

1) Freilingor, S., Gupta, R. and Miller, T.H. (1997) Cyclic performance of wood truss joints. Proc structural congress XV AM. Society of Civil Engineer, Restam, VA, pp. 939-943.
2) Gupta, R. (2004) Behavior of metal plate connected wood truss joint under wind and impact loads. Forest Research Laboratory, 3462(954): 76-84.
3) Gupta, R., Miller, T., Kittel, H. and Mark, R. (2005) Small scale modeling of metal-plate-connected wood truss joints. Journal of Testing and Evaluation, 33(3): 139-149.
4) Kasal, A., Sener, S., Belgin, M. and Efe, H. (2012) Bending strength of screwed corner joints with different materials G.U. Journal of Science, 19(3): 155-161.
5) Tazount, M., Bouchair, A. and Racher, P. (2009) Numerical 3D finite element modeling and experimental tests for dowel-type timber joints. Construction and Building Materials, 23(55), 3043–3052.
6) Wilson, T.L. (2010) Screwshear strength. Research paper forest products laboratory. No. FPL-rp-505, 9p. FPL-rp-505, 9p.
7) Winistorfer, S.G. (1995) Practical consideration of dowel bearing strength and annular ring/fastener orientation. Forest Products Journal, 45(7/8): 64-68.

An Evaluation on the Shear Resistance of Joint Trusses

Amir Lashgari[1*]

1) Associate Professor, Department of Wood and Paper Science, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran. Corresponding author Email Address: amir.lashgari@kiau.ac.ir

Date of submission: 2014/08/16 Date of Acceptance: 2016/06/02

Abstract

The present research analyzes the effect of fibers direction of joint parts in two directions (tangential directional and radial directional), the type of surface joint parts (joint type) in three models (gradient, step like, Persian freestanding), and the type of metal gasket of two shape (separate globular and one piece common) on the shear resistance of joints in wood trusses. In order to make the joints we used populous nigra of two kinds each one of them with the dimension of 5.1 × 5.1 × 30 centimeter. In order to connect the joints we used two standards ASTM D 1761 -88 R95 bolts with the diameter of 10 mm and we did not use any glue. Combining upcoming variables 12 treatments have been created and considering 4 repetition 48 truss joint samples created totally, and their Shear resistance have been evaluated with the mechanical examination device .According to the findings of the study the maximum resistance in all samples is of the gradient joint in radial direction with separate metal gasket. Interaction of fibers direction and the type of surface joint and also the interaction of two factors, the type of metal gasket and the type of surface connection is meaningful. Shear resistance increased in radial direction and common metal gasket and also among the types of surface joints, gradient joint has the maximum shear resistance.

Keywords: Fibers direction, Joints, Metal gasket, Shear resistance, Truss.