Archive of SID

بررسی مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده فلزی در ترکیب با فرآورده مهندسی‌شده چوب و مقایسه آن با مقادیر پیش‌بینی EC5

مرضیه رئیسی[۱]
ابوالقاسم خزاعیان[۲*]
محراب مدهوشی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

[۲] دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

[۳] دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:
khazaeian@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۸

چکیده

هدف از این پژوهش، معرفی فرآورده‌های مهندسی‌شده چوبی جدید و پیش‌بینی مقاومت آن‌ها در ترکیب با اتصال‌دهنده‌های فلزی است. شناخت اتصالات نوع پین استیل موضوعی است که امروزه توجهات زیادی را به خود جلب کرده است، بخصوص که نوآوری‌های زیادی در راستای ساخت اتصالات با تغییر در فرآورده‌های مهندسی چوب صورت گرفته است. برای انجام مطالعه، ترکیب جدیدی از فرآورده‌های مهندسی‌شده چوب مورداستفاده قرار گرفت. بدین‌صورت که تخته لایه از گونه توس با تخته تراشه جهت‌دار توسط رزین پلی اورتان تک جزئی در ساختاری سه لایه قرار گرفتند. آرایش لایه‌ها در ۴ سطح صورت گرفت. اتصال‌دهنده مورداستفاده در این تحقیق، پین استیل با قطر ۶ و ۸ میلی‌متر بوده است. پس از ساخت فراورده لایه‌ای جدید، نمونه‌های مناسب برای آزمون مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده بر اساس استاندارد تهیه شدند و مقدار مقاومت توسط فرمول‌های EC5 جهت پیش‌بینی مقاومت صورت گرفت. نتایج نشان داد که اثر مستقل نوع ترکیب لایه‌ای جدید و همچنین قطر پین استیل بر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده معنی‌دار بوده است. همچنین نتایج نشان داده‌اند که افزایش قطر پین استیل منجر به افزایش مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده شده است. از طرفی، ترکیبات دارای سهم بیشتر تخته لایه، مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده بیشتری داشته‌اند. نکته حائز اهمیت و مورد هدف در این مطالعه توانایی پیش‌بینی EC5 برای مقاومت محصولات مهندسی‌شده جدید بوده است که مشخص شد رفتار هر ۴ نوع ترکیب با دقت کافی توسط EC5 قابل پیش‌بینی است و هر چهار نوع ماده دارای مقاومت منطبق با مقادیر پیش‌بینی و رفتار بدون شکست بوده‌اند.

واژگان کلیدی: مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده، پین استیل، EC5، شکست، فرآورده‌های مهندسی‌شده چوب.

مقدمه

پژوهش‌ها در مورد ساختمان‌های ساخته‌شده از چوب طی دهه‌های گذشته بیانگر بازده مطلوب این ماده در صنعت ساختمان بوده است. هرچند که چوب یک ماده آلی است ولی با نگهداری صحیح و رعایت اصول طراحی مهندسی، می‌توان عمری بسیار طولانی برای آن در نظر

www.SID.ir

Archive of SID

گرفت. همچنین با پیشرفت تکنولوژی در سال‌های اخیر و استفاده از فرآورده‌های مهندسی‌شده چوب و به‌کارگیری گسترده آن‌ها در صنعت ساختمان، بسیاری از معایب چوب حذف شده و کارایی آن افزایش یافته است. بطوریکه این فرآورده‌ها به شکل گسترده‌ای در ساخت دیوارها، قاب سبک و خرپاهای سقف مورداستفاده قرار می‌گیرند [۱]. به‌منظور کاربرد فرآورده‌های مهندسی‌شده چوب در سیستم‌های نوین ساختمان، فراهم کردن اطلاعات فنی مدوّن و تأییدشده و همچنین انجام مطالعات و آزمایش‌های مربوطه ضروری است. هدف از انجام این پژوهش‌ها، معرفی فرآورده‌های مهندسی‌شده چوبی جدید و بررسی نقش مؤثر آن‌ها در ساخت سازه‌های ساختمانی مقاوم، ایمن و سازگار با محیط‌زیست بوده است [۲]. از طرفی معرفی فرآورده‌ها با ساختارهای جدید، مستلزم پیش‌بینی رفتار آن‌ها در سازه و تجزیه‌وتحلیل مقاومت و عملکرد آن‌هاست تا بتوانند به‌صورت ایمن مورداستفاده قرار گیرند. ازجمله مهم‌ترین این رفتارها، رفتار مکانیکی اتصال‌ها و اتصال‌دهنده‌های مورداستفاده است؛ بنابراین، داشتن اطلاعات کافی در مورد فرآورده‌های مهندسی‌شده جدید چوب باید پاسخگوی نیاز مقاومتی در رابطه با اتصال‌دهنده‌ها برای سازه باشند.

سازه‌های چوبی به‌شدت تحت تأثیر طراحی اتصالات هستند و این پارامتر نقش کلیدی در طراحی اعضای سازه، اجرا و نصب موفق، مقاومت سازه، تناسب و زیبایی و درنتیجه ملاحظات اقتصادی دارند [۳]. در این میان توجه به ابعاد اعضا، دانسیته آن‌ها و قطر اتصال‌دهنده‌ها در کنار یکدیگر جهت دستیابی به مقاومت بالای اتصالات حائز اهمیت می‌باشند، چراکه، مقاومت بالای اتصال سبب افزایش رفتار پلاستیک و درنتیجه رسیدن اتصالات به مقاومت موردنیاز بدون اتفاق شکست خواهد شد [۴]. ارزیابی رفتار اتصالات سازه‌ها بر اساس تئوری یوهانسن[1] [۵] انجام می‌گیرد. در این تئوری، مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده[2] پارامتری است که جهت پیش‌بینی مقاومت اتصالات و مدهای شکست اعضای چوبی مورداستفاده قرار می‌گیرد. این تئوری تنها بار نهایی را به همراه مدهای شکست در حداکثر تغییر شکل پیش‌بینی می‌کند ولی مدهای شکست ترد (مد برشی و شکاف عمود برجهت الیاف) قابل پیش‌بینی نیستند. درواقع دسترسی به مقاومت جابجایی اتصال، اولین گام درراه پیش‌بینی رفتار مکانیکی فرآورده مهندسی‌شده چوب در ترکیب با اتصال‌دهنده‌ها است که منجر به تعیین ظرفیت تحمل بار اتصالات خواهد شد.

اتصالات نوع پین استیل[3]، تکنیک اصلی اتصال در مقیاس جهانی برای ساخت سازه‌های چوبی است [۶]. این اتصالات بخصوص هنگامی‌که به‌درستی طراحی شوند می‌توانند رفتار تغییر شکل مطلوب داشته باشند. به‌طورکلی شناخت اتصالات پین استیل موضوع تحقیقی است که توجهات زیادی را به خود جلب کرده است و بنابراین انتشار مقالات زیادی را به دنبال داشته است. بخصوص که نوآوری‌های زیادی در راستای ساخت اتصالات با تغییر در فرآورده‌های مهندسی چوب صورت گرفته است [۷]. طراحی اتصالات از این نوع، بر اساس تئوری یوهانسن و با فرض رفتار پلاستیک ایده آل استیل و چوب انجام می‌شود. ظرفیت تحمل بار به‌وسیله کاربرد شرایط متعادل برای مدهای شکست متفاوت صورت می‌گیرد که ترکیبی از شکست جابجایی اتصال در چوب و تغییر شکل خمشی در اتصال‌دهنده‌هاست [۴ و ۸]. بسیاری از کدهای طراحی ازجمله EC5[4] نیز بر همین اساس بناشده‌اند. تحقیقات و تجربیات نشان داده است که استفاده از اتصال‌دهنده فلزی نوع پین استیل با مقاومت بالا، امکان استفاده از اتصال‌دهنده کمتر را با ظرفیت تحمل بار مشابه فراهم می‌کند و بنابراین منجر به کاهش هزینه‌های سوراخ‌کاری خواهد شد. ظرفیت تحمل بار اتصالات نوع پین استیل بستگی به دانسیته، زاویه الیاف، نیروی برشی اعضای اتصال، شکل هندسی اتصال‌دهنده، قطر، مقاومت حد تسلیم اتصال‌دهنده در خمش، فاصله بین اتصال‌دهنده، فاصله تا انتها، ابعاد هندسی اتصال، مقاومت خمشی و کششی اتصال‌دهنده و مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده در

[1] Johnsen's theory
[2] Embedment Strength
[3] Steel Dowel
[4] Eouro Code 5

www.SID.ir

Archive of SID

چوب یا فرآورده‌های مهندسی‌شده آن دارد. در دستورالعمل EC5 مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده تابع خطی قطر پین فلزی و مقدار دانسیته چوب است. معادله ۱ جهت پیش‌بینی مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده بکار می‌رود:

$$f_{h,0,k}= 0.0082\ (1- 0.01.d).\ \rho_k \qquad (۱)$$

در این معادله، $f_{h,0,k}$ بیانگر مقدار پیش‌بینی مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده، ρ_k نشان‌دهنده دانسیته فرآورده مهندسی‌شده چوب، d معرف قطر پین استیل و t معرف ضخامت چوب است.

نتایج پژوهش Bazu و همکارانش در سال ۲۰۱۶، با مطالعه بر روی جایگزین کردن ماده غیرفلزی به‌عنوان اتصال‌دهنده در سازه‌های چوبی مهندسی‌شده، اعلام کردند که قطر پین استیل و دانسیته عضو سازه بر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده تأثیرگذار است که این مسئله توسط فرمول‌های ارائه‌شده در EC5 مورد تأیید است [۳]. در سال ۲۰۱۶، Misconel و همکارانش به معرفی محصول جدیدی بر پایه فرآورده مهندسی‌شده LVL[1] پرداختند. در این تحقیق از LVL راش، Glulam[2] ساخته شد و سپس ویژگی‌های مقاومت اتصالات موردبررسی قرار گرفت. با استفاده از فرمول‌های پیش‌بینی EC5، آزمون مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده و تست اتصالات، کامپوزیت جدید دارای مقاومت‌های بسیار بالا و قابل پیشنهاد بوده است؛ یعنی مقادیر مقاومت به‌دست‌آمده برای فرآورده جدید، بسیار بالاتر از مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط فرمول‌های EC5 بوده‌اند و بنابراین EC5 توانایی لازم برای پیش‌بینی مقدار واقعی مقاومت نداشته است [۴]. Reynolds و همکاران او در سال ۲۰۱۶ گزارش تحقیقات خود را در زمینه معرفی یک فرآورده جدید جهت ساخت اعضای سازه‌ای منتشر کردند. در این تحقیق، آن‌ها رفتار مقاومت جابجایی اتصالات پین استیل را در فرآورده لایه‌ای از بامبو را هدف قرار دادند تا نتایج را با عملکرد مشابه این اتصالات در اعضای چوبی مقایسه کنند. اعضای ساخته‌شده از فرآورده لایه‌ای بامبو توسط پین استیل به یکدیگر متصل شدند آن‌ها در گزارش خود اعلام کردند که ظرفیت تحمل بار اتصالات داول برای اعضای چوبی توسط تئوری یوهانسن و استانداردهایی چون EC5 قابل پیش‌بینی است ولی ازآنجاکه فرآورده لایه‌ای بامبو به‌طور وسیعی برای اعضای سازه به‌کاربرده نمی‌شود، مطالعه مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده در اعضای فرآورده لایه‌ای شده حاصل از بامبو تحت بار هنوز به‌طور کامل مشخص نیست و نیاز به بررسی بیشتر مدهای شکست دارد [۹]. در سال ۲۰۱۵ Bader و همکاران، بر روی رفتار اتصالات کامپوزیت چوب و استیل و معرفی یک ترکیب جدید از محصولات مهندسی‌شده چوب مطالعه کردند. این ترکیب شامل LVL و تخته تراشه جهت‌دار[3] بود. بدین ترتیب که تیرهایی با ضخامت ۱۱۴ میلی‌متر ساخته شدند که شامل دو لایه LVL ۵۱ میلی‌متری در دو سطح تیر و یک لایه مغزی از تخته تراشه جهت‌دار با ضخامت ۱۲ میلی‌متر بودند. در این مطالعه آزمون مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده طبق EC5 برای پیش‌بینی رفتار این ماده جدید انجام شد. [۷]. Bader و دیگر محققان هدف مطالعات خود را بر روی رفتار پین‌های استیل به‌طور مجزا در اتصالات چندگانه پین استیل متمرکز کردند. برای این منظور، اتصالات چوب و استیل با ۹ پین استیل در الگوهای مختلف و قطرهای متفاوت، بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد در اتصالات پین استیل ۱۲ میلی‌متری، تغییر شکل خمشی بزرگ‌تر از تغییر شکل لهیدگی بود است. ولی این مقدار کوچک‌تر از تغییرشکل خمشی در اتصالات پین استیل ۲۰ میلی‌متری بوده است. این مسئله نشان‌دهنده اهمیت قطر پین استیل در تغییر شکل اتصالات است [۷]. در یک پژوهش جدید در سال ۲۰۱۶، Kobel و سایر محققان از ۲۳٪ لایه‌های عرضی در ساخت lvl استفاده کردند تا فرآورده حاصل ساختار انیزوتروپیک داشته باشد و به توزیع بهتر تنش کمک کند. نتایج حاصل نشان داد که وجود این لایه‌های عرضی در بهبود ظرفیت تحمل بار اتصالات پین استیل مفید بوده، چراکه تحمل تنش کششی در جهت عمود بر الیاف را افزایش داده است و درنتیجه موجب تحمل تغییر شکل بیشتر و ممانعت از بروز شکست ترد شده است [۸]. در این مطالعه رفتار مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده پین

[1] Laminated Veneer Lumber
[2] Glued Laminated Timber
[3] Oriented Strand Board

www.SID.ir

Archive of SID

استیل در ترکیب با فرآورده‌های مهندسی‌شده جدید ساخته‌شده از تخته لایه و تخته تراشه جهت‌دار مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق، تخته لایه ساختمانی گونه توس با دانسیته ۷۰۰ – ۶۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب، از شرکت سوزا[1] روسیه، تهیه شد و تخته تراشه جهت‌دار با دانسیته ۶۰۰ -۵۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب از شرکت کرونوسپان[2] رومانی تهیه‌شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی این دو چندسازه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی پانل‌های مورداستفاده

ویژگی	تخته تراشه جهت‌دار	تخته لایه
اندازه (میلی‌متر)	۲۴۴۰×۱۲۲۰	۲۴۴۰×۱۲۲۰
ضخامت (میلی‌متر)	۱۵	۱۵
درجه انتشار فرم آلدهید	E_1	E_1
دانسیته (kg/m^3)	۶۳۰-۶۵۰	۶۴۰-۷۰۰
درصد رطوبت	۶-۱۰	۵-۱۰
مقاومت خمشی (N/m^2)		
-در جهت الیاف لایه رو	۲۰	۶۰
-عمود بر جهت الیاف لایه رو	۱۰	۳۰
مدول الاستیسیته ظاهری (N/m^2)		
-در جهت الیاف لایه رو	۳۵۰۰	۶۰۰۰
-عمود بر جهت الیاف لایه رو	۱۴۰۰	۳۰۰۰

پس از طی دوره کلیما با شرایط دمایی ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد، دانسیته ماده اولیه بر اساس استاندارد BS EN 323 اندازه‌گیری و درصد رطوبت آن‌ها تعیین شد [۹]. بر این اساس میانگین دانسیته تخته لایه ۶۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب و میانگین محتوی رطوبتی آن ۹/۶۲ درصد بوده است و میانگین دانسیته تخته تراشه جهت‌دار ۵۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب و مقدار رطوبت میانگین آن ۹/۹ درصد بوده است. ضخامت اسمی هر دو تخته ۱۵ میلی‌متر بود. اندازه و ابعاد اعضای سازه بر اساس استاندارد BS EN 336 انتخاب شدند [۱۰]. در این مطالعه ضخامت اعضا برای پیش‌بینی مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده ۴۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد؛ بنابراین تخته‌ها در ترکیبات چهارگانه سه لایه و با استفاده از رزین به یکدیگر متصل شدند. ترکیبات چهارگانه جدید حاصل از فرآورده‌های مهندسی‌شده چوب به شرح زیر است:

۱. ترکیب سه لایه حاصل از سه تخته لایه ۱۵ میلی‌متری(3P)
۲. ترکیب سه لایه حاصل از سه OSB3 ۱۵ میلی‌متری(3O)
۳. ترکیب سه لایه دو تخته لایه ۱۵ میلی‌متری در پشت و رو و یک OSB3 ۱۵ میلی‌متری در لایه مغزی(POP)
۴. ترکیب سه لایه دو OSB3 ۱۵ میلی‌متری در پشت‌ورو و یک تخته لایه ۱۵ میلی‌متری در لایه مغزی(OPO)

رزین مورداستفاده در ساخت این چندسازه‌های جدید، پلی اورتان تک جزئی ساخت شرکت Jowat بوده که ویژگی‌های آن در جدول ۲ آمده است. مصرف چسب ۲۰۰ گرم بر مترمربع در نظر گرفته شد که پس از محاسبه

[1] Sveza
[2] Kronospan

www.SID.ir

Archive of SID

مساحت اتصال قابل‌محاسبه بود. هر اتصال به مقدار ۳ گرم چسب نیاز داشت که نیمی از آن روی یک بخش اتصال و نیمی دیگر روی بخش دیگر اعمال گردید و لایه میانی چسب نخورده باقی ماند. استفاده از قلم‌مو به‌عنوان روش چسب زنی انتخاب شد که پوشش مناسب به همراه دقت کافی را برای هر نمونه فراهم نمود.

جدول ۲- ویژگی‌های چسب مورداستفاده

ویژگی	مقدار
نوع	بر پایه پیش پلیمر پلی اورتان
رنگ	قهوه‌ای روشن
دانسیته	۱/۱ گرم بر سانتیمتر مکعب
ویسکوزیته	۱۵۰۰۰-۵۰۰۰ سانتی پواز
دمای کاربرد	۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد

زمان مونتاژ باز پس از اعمال چسب تا روی‌هم‌گذاری قطعات ۱ دقیقه در نظر گرفته شد. زمان مونتاژ باز[۱] زمان مابین اعمال چسب بر روی سطوح تا روی‌هم گذاری آن‌ها اطلاق می‌گردد و زمان مونتاژ بسته[۲] زمان بین روی‌هم‌گذاری سطوح تا اعمال فشار است [۳]. پس از اتمام زمان مونتاژ باز، قطعات روی یکدیگر قرار گرفته و به عبارتی اتصال بدون اعمال فشار کامل گردید که این مرحله به‌عنوان مونتاژ بسته با زمان ۲ دقیقه برای همه تیمارها در نظر گرفته شد. پس از پایان زمان مونتاژ، نمونه‌های کامل شده در قالب مخصوص قرار داده شدند و دو انتهای آن‌ها با استفاده از پیچ‌دستی تحت‌فشار قرار گرفت. میزان فشار اعمال‌شده توسط پیچ‌دستی به‌گونه‌ای تنظیم گردید که درز مابین قطعات اتصال به حداقل برسد. زمان پرس از لحظه بستن پیچ‌دستی تا زمان باز کردن آن محاسبه گردید که برای همه نمونه‌ها برابر با ۳۰ دقیقه بود. نمونه‌ها پس از خارج شدن از گیره، به مدت ۳ هفته تحت شرایط استاندارد کلیما با شرایط دمایی ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد نگهداری شدند.

سپس چندسازه‌های سه لایه با توجه به دستورالعمل موجود در استاندارد BS EN 383 برای تهیه نمونه‌های آزمونی آماده شدند [۱۱]. در این تحقیق از اتصال‌دهنده فلزی نوع پین استیل استفاده شد. پین‌های استیل از نوع آلیاژ SD 304 در دو سطح قطری ۶ و ۸ میلی‌متر انتخاب شدند. برای انجام آزمون مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده، چندسازه‌های سه لایه بر اساس استاندارد EN 383 در ابعاد متناسب آماده شدند. طول ۸۴ میلی‌متر، عرض ۳۶ میلی‌متر و ضخامت ۲۰ میلی‌متر برای نمونه‌های آزمونی با قطر پین استیل ۶ میلی‌متر در نظر گرفته شد و نمونه‌های آزمونی با قطر پین استیل ۸ میلی‌متر، دارای طول ۱۱۲ میلی‌متر، عرض ۴۸ میلی‌متر و ضخامت ۲۰ میلی‌متر بوده‌اند. سپس با استفاده از فرمول‌های موجود در EC5 مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده در ترکیب با چندسازه‌های جدید پیش‌بینی شد [۱۲]. بعد از طی محاسبات فوق، نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ZWICK/Roell-BT1-FR 250 آزمایشگاه مکانیک فرآورده‌های مرکب دانشکده مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه گرگان تحت آزمون مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده قرار گرفتند (شکل ۱). سرعت بارگذاری بر اساس EN 383 به‌گونه‌ای بود که آزمون طی مدت‌زمان ۱۲۰±۳۰۰ ثانیه انجام گرفت. سرعت بارگذاری، ۱ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. بارگذاری برای رسیدن به حداکثر نیروی پیش‌بینی‌شده توسط EC5 ادامه یافت. بر اساس استاندارد EN 383 ، پایان آزمون به دو صورت قابل‌دسترسی است: برای مواد شکننده زمانی که جابجایی به میزان ۵ میلی‌متر برسد و برای مواد با رفتار منعطف هنگامی‌که حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده اتفاق بیافتد.

عوامل ثابت آزمون شامل: نوع رزین، دانسیته تخته‌ها و ضخامت آن‌ها بوده است. عوامل متغیر این تحقیق، ترکیب

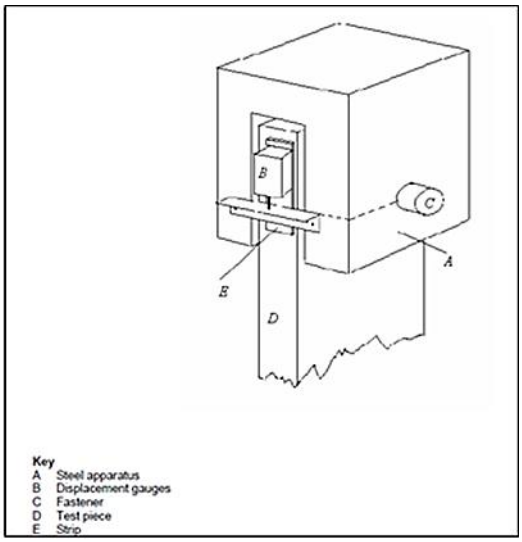
[۱] Open assembly time

[۲] Close time

www.SID.ir

Archive of SID

سه لایه چندسازه جدید حاصل از فرآورده‌های مهندسی‌شده چوب در ۴ سطح و قطر پین استیل در دو سطح در نظر گرفته شدند. آزمایش در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی انجام گردید و با توجه به تعداد متغیرها و سطوح آن‌ها، ۸ تیمار تعریف گردید که هرکدام در چهار تکرار انجام شد. برای مشخص نمودن اثرات معنی‌دار از آنالیز واریانس یک‌طرفه[1] استفاده شد و برای گروه‌بندی تیمارها آزمون توکی[2] بکار گرفته شد.



شکل ۱- طرح شماتیک آزمون مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده

نتایج و بحث

پارامتر حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر جابجایی

جدول ۳ نتایج آنالیز واریانس این ویژگی نشان می‌دهد که اثر قطر پین استیل و نوع ماده مهندسی‌شده چوب بر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر جابجایی معنی‌دار شده است. همچنین اثر متقابل این دو نوع ویژگی بر پارامتر فوق معنی‌دار نبوده است.

جدول ۳– تجزیه واریانس نتایج مربوط به حداکثر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر جابجایی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار شاخص F	مقدار شاخص P
نوع ماده (A)	۳	۸۳۰۲۴۷۹۷	۲۷۶۷۴۹۳۲	۱۲۴/۸۶	۰/۰۰۰
قطر اتصال‌دهنده (B)	۱	۱۲۱۶۸۴۷۸	۱۲۱۶۸۴۷۸	۵۴/۹۰	۰/۰۰۰
A*B	۳	۱۶۹۹۳۶۰	۵۶۶۴۵۳	۲/۵۶	۰/۰۷۹
خطا	۲۴	۵۳۱۹۵۷۷	-	-	-
مجموع	۳۱	۱۰۲۲۱۲۲۱۱	-	-	-

افزایش قطر پین استیل از ۶ به ۸ میلی‌متر سبب افزایش معنی‌دار در مقدار مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده شد و مقادیر مربوط به دو سطح قطری پین استیل، طبق آزمون توکی در دو گروه مجزا طبقه‌بندی شدند(شکل ۲). افزایش قطر پین استیل از ۶ به ۸ میلی‌متر، مقدار پارامتر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر جابجایی را

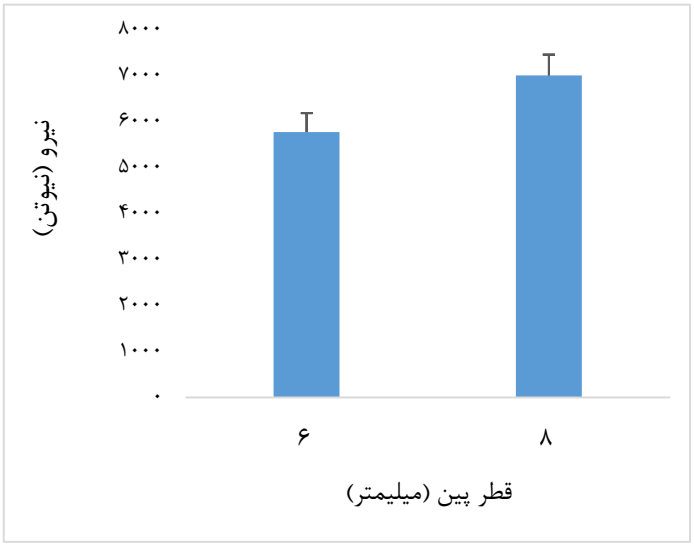
[1] One Way ANOVA
[2] Tukey

www.SID.ir

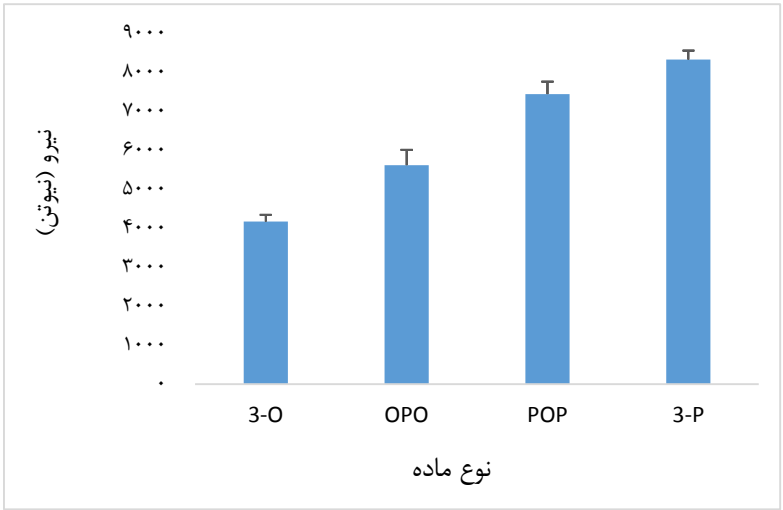
Archive of SID

به میزان ۲۱/۳۵ درصد افزایش داد.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر مستقل نوع ماده مهندسی‌شده چوب نیز بر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده معنی‌دار بوده است. بطوریکه کمترین مقاومت مربوط به ترکیب سه لایه از OSB3، ۱۵ میلی‌متری بوده است. با اضافه شدن لایه میانی تخته لایه ۱۵ میلی‌متری به ترکیب دو OSB، شاهد افزایش ۳۴/۵ درصدی نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر جابجایی بوده‌ایم. به همین ترتیب در ترکیب سه لایه دو تخته لایه و یک OSB3 نسبت به حالت قبل، نیروی جابجایی ۳۲/۵ درصد افزایش داشته است. در ترکیب که حاوی سه تخته لایه ۱۵ میلی‌متری بوده است، نیروی جابجایی اتصال‌دهنده ۱۲ درصد نسبت به حالت قبل افزایش نشان داده و به حداکثر مقدار خود رسیده است. در گروه‌بندی مقایسات میانگین این ۴ نوع ترکیب ماده مهندسی‌شده چوب به تفکیک در چهار گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۳).



شکل ۲- اثر مستقل قطر پین استیل بر پارامتر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر جابجایی



شکل ۳- اثر مستقل نوع ماده بر پارامتر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر جابجایی

www.SID.ir

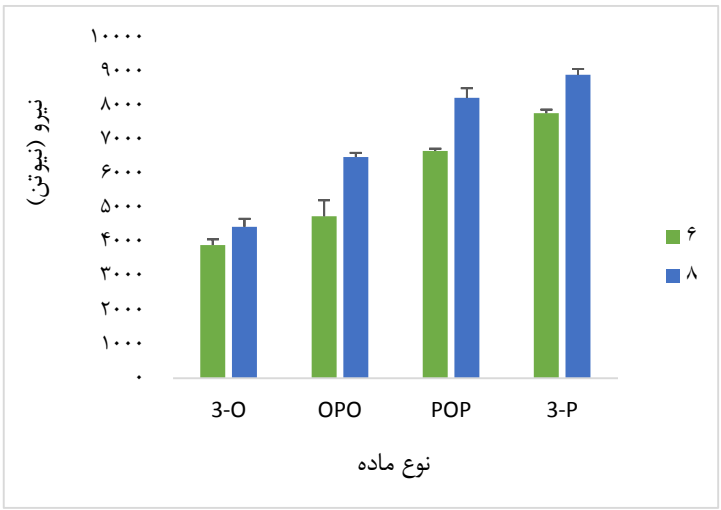
Archive of SID

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل قطر اتصال‌دهنده و نوع ترکیب ماده مهندسی‌شده چوب برنیروی جابجایی اتصال‌دهنده معنی‌دار نبوده است، ولی گروه‌بندی مقایسات میانگین اثرات ترکیب این دو فاکتور را تفکیک کرده است (جدول ۴).

با افزایش قطر پین استیل در نمونه‌های دارای سه تخته لایه، نیروی جابجایی اتصال‌دهنده ۱۴/۴۱ درصد افزایش نشان داده است. در تیمار سه OSB3، افزایش قطر پین استیل موجب افزایش به مقدار ۱۳/۶۴ درصد در حداکثر نیرو در ۵ میلی‌متر بوده است. و در ترکیب دو تخته لایه و یک OSB3 در لایه میانی، افزایش قطر پین تا ۸ میلی‌متر موجب افزایش ۲۳/۲۳ درصدی مقاومت موردبررسی شده است. بیشترین تأثیر افزایش قطر پین استیل، در ترکیب سه لایه حاصل از دو OSB3 و یک تخته لایه در لایه مغزی بوده است. بطوریکه شاهد افزایش ۳۶/۵ درصدی حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر بوده‌ایم (شکل ۴).

جدول ۴– مقایسات میانگین نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر و حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در همه تیمارها

نوع ماده	قطر اتصال‌دهنده (mm)	نیروی جابجایی در ۵ میلی‌متر (N)	گروه‌بندی	نوع ماده	قطر اتصال‌دهنده (mm)	نیروی جابجایی حداکثر (N)	گروه‌بندی
3-P	۸	۸۸۹۲	A	3-P	۸	۹۹۰۷	A
POP	۸	۸۲۱۶	AB	3-P	۶	۹۰۲۴	AB
3-P	۶	۷۷۷۲	B	POP	۸	۸۶۱۸	B
POP	۶	۶۶۶۷	C	POP	۶	۷۵۳۸	C
OPO	۸	۶۴۸۲	C	OPO	۸	۶۷۰۰	C
OPO	۶	۴۷۵۱	D	OPO	۶	۵۱۹۷	D
3-O	۸	۴۴۴۲	D	3-O	۸	۴۸۹۷	D
3-O	۶	۳۹۰۹	D	3-O	۶	۴۲۴۳	D



شکل ۰مقایسات میانگین پارامتر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر برای همه تیمارها

پارامتر حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده

جدول ۵ نتایج تجزیه واریانس ویژگی فوق را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل، اثر قطر پین استیل و نوع ماده مهندسی‌شده چوب بر حداکثر نیروی جابجایی

www.SID.ir

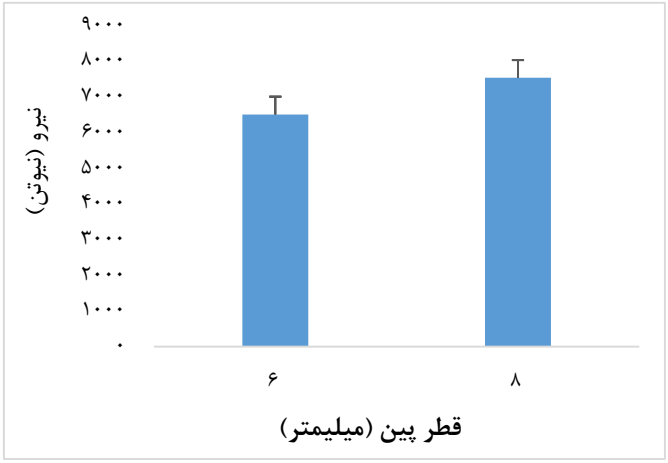
Archive of SID

اتصال‌دهنده به‌عنوان اثرات مستقل معنی‌دار شده‌اند؛ و همان‌طور که مشخص است، اثرات متقابل این دو نوع ویژگی بر پارامتر فوق معنی‌دار نبوده است.

افزایش قطر پین استیل از ۶ به ۸ میلی‌متر موجب افزایش معنی‌دار در مقدار حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده بوده است. مقایسات میانگین پارامتر مقاومت نشان داد که این دو قطر موردبررسی در دو گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۵). نمونه‌های دارای پین استیل با قطر ۸ میلی‌متر ویژگی مقاومتی بالاتری از خود نشان داده و حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در آن‌ها به میزان ۱۶ درصد بیشتر بوده است.

جدول ۵- تجزیه واریانس نتایج مربوط به حد نهایی مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار شاخص F	مقدار شاخص P
نوع ماده (A)	۳	۱۱۴۰۲۷۵۲۱	۳۸۰۰۹۱۷۴	۱۸۹/۷۹	۰/۰۰۰
قطر اتصال‌دهنده (B)	۱	۸۴۸۵۳۷۰	۸۴۸۵۳۷۰	۴۰/۸۱	۰/۰۰۰
A*B	۳	۷۷۹۰۹۲	۲۵۹۶۹۷	۱/۲۵	۰/۳۱۴
خطا	۲۴	۴۹۹۰۶۰۰۳	-	-	-
مجموع	۳۱	۱۲۸۲۸۲۵۸۵	-	-	-



شکل ۵- اثر مستقل قطر پین استیل بر پارامتر حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده

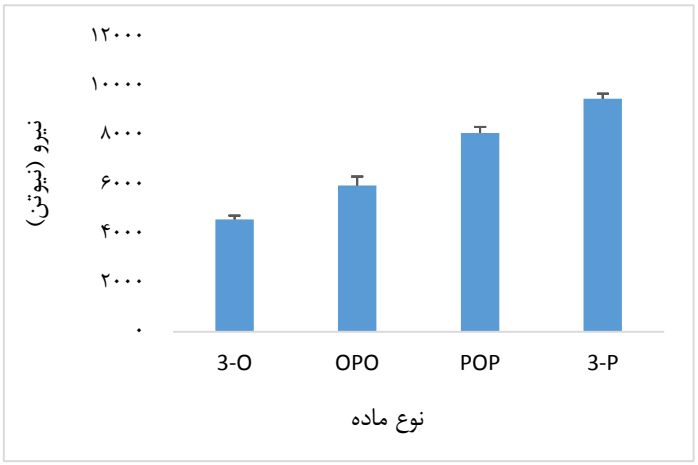
بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر مستقل نوع ماده مهندسی‌شده چوب نیز بر حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده معنی‌دار بوده است. کمترین مقدار مقاومت مربوط به ترکیب سه لایه از OSB3 ۱۵ میلی‌متری بوده است. با اضافه شدن تخته لایه ۱۵ میلی‌متری به ترکیب ۲ OSB به‌عنوان لایه مغزی، مقادیر مقاومت به میزان افزایش ۳۰/۱۶ درصد مقاومت افزایش داشته است. به همین ترتیب با اضافه شدن دوتخته لایه در لایه‌های پشت‌ورو در ترکیب با لایه مغزی OSB3، حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده ۳۵/۸۰ درصد افزایش یافته است. این روند افزایشی در ترکیب سه لایه فقط تخته لایه به حداکثر مقدار خود رسید و حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده نسبت به حالت قبل ۱۷/۱۷ درصد افزایش نشان داد. در گروه‌بندی مقایسات میانگین این ۴ نوع ترکیب ماده مهندسی‌شده چوب به تفکیک در چهار گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۶).

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثرات متقابل قطر اتصال‌دهنده و نوع ترکیب ماده مهندسی‌شده چوب بر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده معنی‌دار نبوده است، ولی گروه‌بندی مقایسات میانگین اثرات ترکیب این دو فاکتور

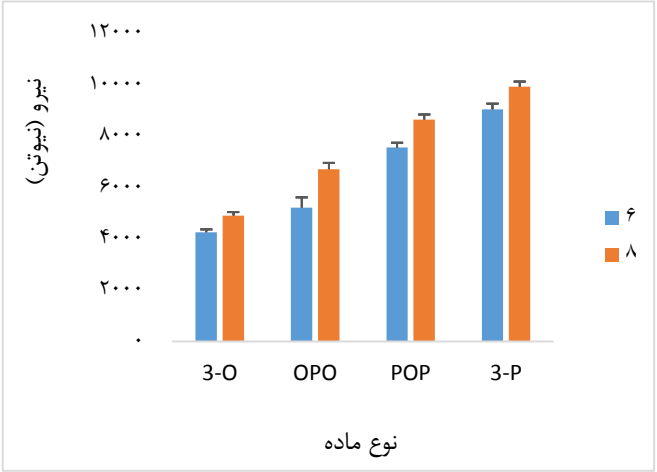
www.SID.ir

Archive of SID

را تفکیک کرده است. با افزایش قطر پین استیل در نمونه‌های دارای سه تخته لایه، مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده ۸/۹ درصد افزایش نشان داده است، هرچند که این روند افزایشی بوده است ولی مقدار اختلاف قابل‌توجه نیست. در تیمار سه لایه OSB3، افزایش قطر پین استیل موجب افزایش ۱۳/۳ درصدی در حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده بوده است که روندی مشابه روند پارامتر مقاومتی موردبررسی در ۵ میلی‌متر داشته است. در ترکیب دو تخته لایه و یک OSB3 در لایه میانی، افزایش قطر پین استیل موجب افزایش ۱۲/۵ درصد در مقاومت موردبررسی شده است. بیشترین تأثیر افزایش قطر پین استیل، همانند آنچه در بررسی پارامتر مقاومت در ۵ میلی‌متر جابجایی اتفاق افتاد مربوط به ترکیب سه لایه حاصل از دو OSB3 و یک تخته لایه در لایه مغزی بوده است. بطوریکه حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده ۲۲/۵ درصد افزایش داشته است (شکل ۷).



شکل ۶- اثر مستقل نوع ترکیب ماده مهندسی‌شده چوب بر پارامتر حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده



شکل ۰۷- مقایسات میانگین پارامترنیروی جابجایی اتصال‌دهنده حد نهایی برای همه تیمارها

مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده فرآورده مهندسی‌شده چوب در مقایسه با EUROCODE 5

به دلیل طبیعت هرسونایکسان چوب، رفتار اتصالات Dowel وابسته به جهت بارگذاری با توجه به جهات اصلی چوب است. در شرایط بارگذاری نرمال جهات بار متفاوتی وجود دارد که در اتصالات چند پینی متعاقباً منجر به

www.SID.ir

Archive of SID

توزیع نامساوی بار در پین‌های مجزا خواهد شد، از سوی دیگر معایب رشد متفاوت موجود در چوب همواره مانع طراحی صحیح است؛ مانند گره‌ها که به‌طور موضعی روی رفتار Dowel در اتصالات تأثیرگذارند. در این میان استفاده از فرآورده‌های مهندسی‌شده چوب در ترکیب با این نوع اتصال‌دهنده راهگشا خواهد بود و در سالهای اخیر بسیار موردتوجه قرار گرفته است. تأثیر آرایش Dowel در اتصال و همچنین قطر آن بر مقاومت اتصال اهمیت دارد. اتصالات باید برای ممانعت از بروز مدهای شکست ترد و دستیابی به تغییر شکل بزرگ طراحی شوند. این هدف معمولاً با در نظر گرفتن پین‌های بزرگ‌تر و یا به‌وسیله تقویت‌کننده[1] مرتفع می‌شود.

در این مطالعه ۴ نوع ترکیب ماده مهندسی‌شده چوب در ساختار سه لایه معرفی شد و مقاومت جابه‌جایی اتصال پین استیل در این ۴ ماده موردبررسی قرار گرفت. مهم‌ترین گام در معرفی این ساختار جدید، امکان پیش‌بینی رفتار آن و مطابقت آن با کدهای رایج همچون EC5 است. مقادیر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر و حد نهایی و همچنین مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط فرمول‌های EC5 و درصد اختلاف مقادیر پیش‌بینی با مقادیر تجربی در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶- مقادیر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر و حد نهایی و مقادیر پیش‌بینی‌شده طبق EC5 در همه تیمارها

نوع ماده	قطر اتصال‌دهنده (mm)	نیروی جابجایی در ۵ میلی‌متر	مقادیر پیش‌بینی EC5	درصد اختلاف	نوع ماده	قطر اتصال‌دهنده (mm)	نیروی جابجایی حداکثر	مقادیر پیش‌بینی EC5	درصد اختلاف
3-P	۸	۸۸۹۲	۱۰۹۲۸	-۱۸/۶	3-P	۸	۹۹۰۷	۱۰۹۲۸	-۹/۳۳
POP	۸	۸۲۱۶	۸۹۸۸	-۸/۵۸	3-P	۶	۹۰۲۴	۸۳۷۶	-۴/۱
3-P	۶	۷۷۷۲	۸۳۷۶	-۷/۲۱	POP	۸	۸۶۱۸	۸۹۸۸	+۷/۷۳
POP	۶	۶۶۶۷	۶۹۸۸	-۴/۵۸	POP	۶	۷۵۳۸	۶۹۸۸	+۷/۸۷
OPO	۸	۶۴۸۲	۵۶۹۴	+۱۳/۸۴	OPO	۸	۶۷۰۰	۵۶۹۴	+۱۷/۶۶
OPO	۶	۴۷۵۱	۴۷۳۴	+۰/۳۶	OPO	۶	۵۱۹۷	۴۷۳۴	+۹/۷۸
3-O	۸	۴۴۴۲	۴۱۸۲	+۶/۲۳	3-O	۸	۴۸۹۷	۴۱۸۲	+۱۷
3-O	۶	۳۹۰۹	۳۷۲۸	+۴/۸۶	3-O	۶	۴۲۴۳	۳۷۲۸	+۱۳/۸

* علامت منفی نشان‌دهنده کاهش مقدار مقاومت نسبت به پیش‌بینی و علامت مثبت نشان‌دهنده افزایش مقدار مقاومت نسبت به پیش‌بینی است.

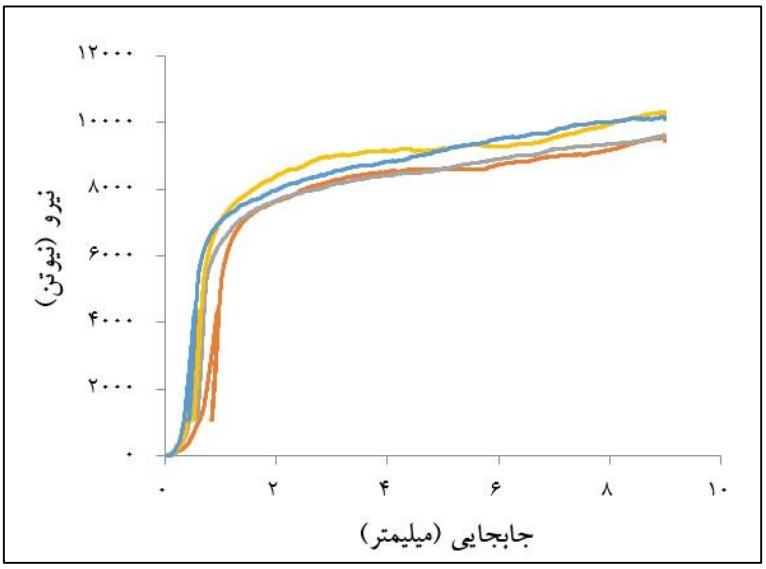
همان‌طور که از نتایج قابل‌درک است، هر چهار نوع ماده معرفی‌شده در این تحقیق، دارای مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده قابل‌قبول و مطابق با EC5 بوده است. در ۵ میلی‌متر جابجایی، بیشترین اختلاف مقادیر با مقدار پیش‌بینی مربوط به تخته‌های سه لایه حاصل از تخته لایه در ترکیب با پین استیل ۸ میلی‌متری بوده است (شکل ۸). به‌طورکلی ساختارهای سه لایه که دارای سهم بیشتری از تخته لایه بوده‌اند در ۵ میلی‌متر جابجایی مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده کمتری در مقایسه با EC5 داشته‌اند. از طرف دیگر ساختارهای سه لایه که سهم OSB در آن‌ها افزایش یافته، همگام با افزایش قطر پین استیل از مقاومت پیش‌بینی‌شده در EC5 سبقت‌گرفته‌اند که بیشترین مقدار را در ترکیب سه لایه دو OSB در لایه‌های پشت‌ورو و یک تخته لایه در لایه مغزی و قطر پین استیل ۸ میلی‌متر شاهد بوده‌ایم. این افزایش به شکلی بوده است که مقادیر مقاومت این ترکیب به مقاومت ساختار سه لایه دو تخته لایه در لایه‌های پشت‌ورو و یک OSB در لایه مغزی با پین استیل ۶ میلی‌متر بسیار نزدیک شده است (شکل ۱۰ و ۹). حضور پین استیل با قطر بیشتر در ساختار سه لایه OPO اثر دانسیته ماده را در مقاومت این ترکیب تحت‌الشعاع قرار داده است و منجر به بهبود رفتار و افزایش مقاومت این ماده حتی نزدیک به ساختار دارای سهم

[1] Reinforcement

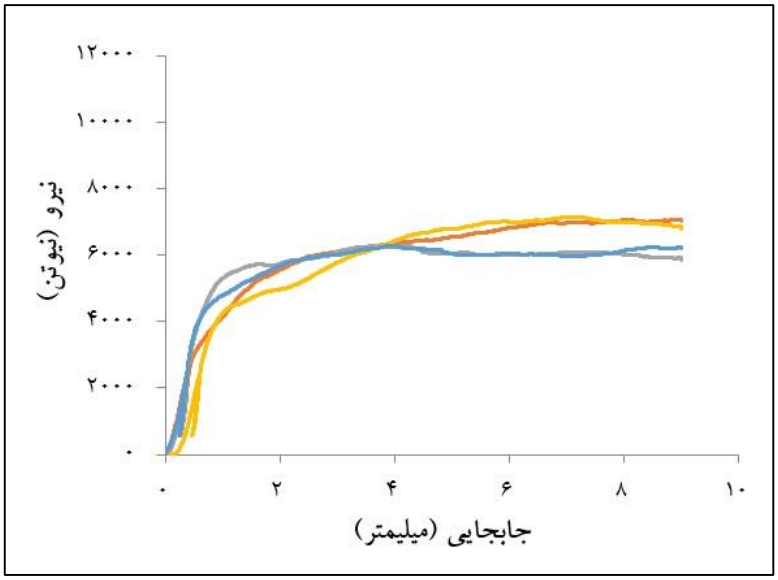
www.SID.ir

Archive of SID

بیشتر تخته لایه با دانسیته بیشتر شده است. در مورد رفتار این چهار نوع ماده جدید در حداکثر نیروی جابجایی، می‌توان گفت که اختلافات مقادیر با مقادیر پیش‌بینی در EC5 کاهش یافته و روند منظم‌تری دارد. ولی همچنان حداکثر نیروی جابجایی ترکیب 3P با پین استیل ۸ میلی‌متر کم‌تر از مقدار پیش‌بینی‌شده در EC5 است. از طرفی افزایش حداکثر نیروی جابجایی اتصال‌دهنده در تیمارهای دارای سهم بیشتر OSB به‌وضوح دیده می‌شود و بیشترین مقدار افزایش مقاومت در مقایسه به EC5 مربوط به تیمار OPO در ترکیب با پین استیل ۸ میلی‌متری است که در مقایسه با تیمار POP با ۶ پین استیل ۶ میلی‌متر می‌تواند موردتوجه بیشتر واقع شود. چراکه استفاده از ماده ارزان‌تر OSB در مقایسه با تخته لایه با مقاومت تقریباً نزدیک توجیه اقتصادی بیشتری خواهد داشت. این مسئله اشاره به نقش مهم استفاده از اتصال‌دهنده با قطر بیشتر در کاهش هزینه‌ها دارد.



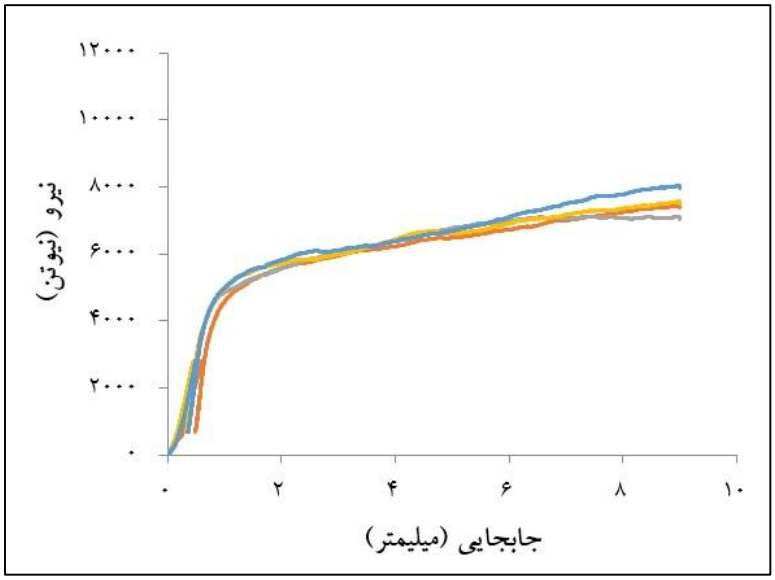
شکل ۸- نمودار نیرو و جابجایی پارامتر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده برای تیمار 3P و پین استیل با قطر ۸ میلی‌متر



شکل ۹- نمودار نیرو و جابجایی پارامتر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده برای تیمار OPO و پین استیل با قطر ۸ میلی‌متر

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰- نمودار نیرو و جابجایی پارامتر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده برای تیمار POP و پین استیل با قطر ۶ میلی‌متر

لازم به ذکر است که قدرت تحمل بار هر چهار نوع ماده موردتحقیق به‌گونه‌ای بود که طی آزمون مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر جابجایی و حد نهایی رفتار شکست اتفاق نیفتاده است. هر چهار نوع ماده حتی پس از رسیدن به حداکثر نیروی جابجایی و پس‌ازآن همچنان به رفتار تحمل بار خود ادامه دادند که این مسئله در به‌کارگیری این فرآورده‌های جدید به‌عنوان اعضای سازه حائز اهمیت فراوان است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر افزایش قطر پین استیل بر مقدار پارامتر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده معنی‌دار بوده است و موجب افزایش مقاومت جابه‌جایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر جابجایی و حد نهایی شده است. تحقیقات و تجربیات نشان داده است که استفاده از پین فلزی با قطر و مقاومت بالاتر، امکان استفاده از اتصال‌دهنده کمتر را با ظرفیت تحمل بار مشابه فراهم می‌کند و بنابراین منجر به کاهش هزینه‌های سوراخ‌کاری خواهد شد. مقاومت بالای اتصال همچنین سبب افزایش رفتار پلاستیک و درنتیجه رسیدن اتصالات به تغییر شکل بدون شکست می‌گردد همچنین اثر مستقل ترکیبات سه لایه جدید از فرآورده‌های مهندسی‌شده چوب بر پارامتر مقاومت جابجایی اتصال‌دهنده در ۵ میلی‌متر و حد نهایی معنی‌دار بوده است. در این میان ترکیبات سه لایه که دارای سهم بیشتری از تخته لایه بودند مقاومت بیشتری نیز نشان داده‌اند این مسئله مستقیماً تحت تأثیر دانسیته بیشتر و ساختار همگن‌تر تخته لایه و وجود خط چسب پیوسته در آن در مقایسه با OSB است. مهم‌ترین دستاورد این مطالعه، قابلیت پیش‌بینی مقاومت مکانیکی چهار نوع ترکیب جدید توسط EC5 بود که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مقادیر مقاومت حاصل از نتایج این تحقیق با مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط فرمول‌های ارائه‌شده در EC5 مطابقت داشته و در بعضی موارد حتی بیشتر بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[1] Gangei, S., 2010. The Building System of Light Wood Frame Structures. Building and Housing Research Center, Tehran, IRAN, 177 P. (In Persian).

[2] New Building System, 2009. Building and Housing Research Center Publication, Tehran, IRAN, 220 P. (In Persian).

[3] Bazu, G., Mahjourian, S., Wehsener, J. and Haller, P., 2016. An Analytical, Numerical and Experimental Study of Non Metallic Mechanical Joints for Engineered Timber Constructions. In: World Conference on Timber Engineering. Aug.22-25 Vienna, Austria.

[4] Misconel, A., Ballerini, M. and Kuilen, J.W., 2016. Steel- To- Timber Joints of Beech- LVL with Very High Strength Steel Dowels. In: World Conference on Timber Engineering. Aug.22-25 Vienna, Austria.

[5] KW, Johansen., 1949. "Theory of Timber Connections. International Association of Bridge and Structural Engineering. ." *IABSE, Basel (Switzerland).* 9: 62-249.

[6] Santos, C., Jesus, A., Morais, J.and Fontoura, B., 2013. An Experimental Comparison of Strengthening Solution for Dowel- Type Wood Connections. Journal of Construction and Building Materials, 46:114–127.

[7] K. Bader, T., Schweigler, M., Hochreiner, G., Serrano, E., Enquist, B. and Dorn, M., 2016. Dowel Deformation in Multi- Dowel LVL- Connections under Moment Loading. Journal of Wood Material Science and Engineering, 3:216–231.

[8] Kobel, P., Frangi, A. and Steiger, R., 2016. Timber Trusses Made of European Beech LVL. In: World Conference on Timber Engineering. Aug.22-25 Vienna, Austria.

[9] Reynolds, TH., Sharma, B., Harries, K. and Ramage, M., 2016. Dowelled Structural Connections in Laminated Bamboo and Timber. Journal of Composites Part B, 90: 232- 240.

[10] Wood-based panels. Determination of density, BS EN 323, 1993

[11] Structural timber. Sizes, permitted deviations, BS EN 336, 2013

[12] Timber structures. Test methods. Determination of embedment strength and foundation values for dowel type fasteners, BS EN 383, 2007

[13] Eurocode 5: design of timber structures – Part 1-1: General – common rules and rules for buildings, 2010

[14] Xu, B.-H., Yuan, D.-W., Bouchair, A. and Racher, P., 2016. Stiffness of Dowelled Steel- to- Timber Joints. World Conference on Timber Engineering, Vienna, Austria, pp. 7.

www.SID.ir

Archive of SID

Investigation on embedment strength of metal fasteners in wood engineered product in comparison with EC5 predicted values

Abstract

The purpose of this study was to introduce new wood engineered products and predict their strength in combination with the metal fasteners for timber structures construction. Investigation of steel dowel connections is an important issue that has attracted much attention today. There are many innovations in the constructions with the change in wood engineered products. For this research, a new combination of wood-based products was used; three layered structures consisted of birch plywood and OSB layers bonded by a single-component polyurethane resin in four configurations. The connections used in this study were steel dowels in 6 mm and 8 mm diameters. After producing new layered products, the embedment strength of samples was evaluated and compared to amounts calculated by engineering functions of resistance prediction according to EC5. Results showed that, the effect of the layered composition type as well as the steel dowel diameter was significant on the embedment strength of connection. Increasing of dowel diameter improved the embedment strength of materials. The compound with more contribution of plywood had higher embedment strength. The important point and purpose of this study was to evaluate the ability of EC5 in prediction of new engineered wood product strength, which revealed that the behavior of four material types could be predicted by EC5 with a sufficient accuracy and all material types had strength without failure occurrence and according to prediction.

Key words: embedment strength, steel dowel, EC5, failure, engineered wood product.

M. Reisi[1]
A. Khazaeian[2*]
M. Madhoushi[3]

[1] Ph.D. Student, Wood technology and engineering department, University of agricultural sciences and natural resources, Gorgan. Iran

[2] Associate prof., Wood technology and engineering department, Faculty of wood and paper engineering, University of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran

[3] Associate prof., Wood technology and engineering department, Faculty of wood and paper engineering, University of agricultural sciences and natural resources, Gorgan, Iran

Corresponding author:
khazaeian@gmail.com

Received: 2017/07/19
Accepted: 2017/10/10

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir