طراحی مدل تجربی برای پیش‌بینی لنگر خمشی اتصال با پین در تخته فیبر نیمه سنگین (MDF)

محسن بهمنی*[1]، قنبر ابراهیمی[2] و جمال ویسی[1]

[1]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران

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

(تاریخ دریافت: ٨٦/١١/٢٩، تاریخ تصویب: ٨٧/٣/٢٧)

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی متغیرها در اتصال با پین تعبیه شده روی تخته فیبر با تراکم متوسط (MDF) و به دست آوردن رابطه تجربی برای پیش‌بینی بیشینه مقاومت خمشی آن انجام گرفته است. یکی از اتصال‌هایی که در هر دو حالت گوشه‌ای و عرضی به کار می‌رود اتصال با پین (دوبل) است. در صنعت مبلمان از پین یا میله چوبی به صورت گسترده‌ای بهره‌گیری می‌شود؛ چون به نسبت ارزان است، کاربرد آن آسان بوده و تنها به تعبیه سوراخی برای نصب نیاز دارد. در این پژوهش، اثر متغیرهای قطر پین در سه سطح ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر و عمق نفوذ در دو سطح ۹ و۱۲ میلی‌متر، بر مقاومت اتصال در برابر بار خمشی بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که بالاترین میزان ظرفیت خمشی اتصال با پین در MDF از پین با قطر ۸ میلی‌متر و طول نفوذ ۱۲ میلی‌متر در اعضای اتصال ایجاد می‌شود. در نهایت با تحلیل‌های صورت گرفته معادله تجربی $W_b = (d/2 + w/3 + e/3)W_t$ برای پیش‌بینی بیشینه ظرفیت لنگر خمشی بدست‌آمده، که در آن W_b بیشینه ظرفیت لنگر خمشی، d فاصله بین دو پین (محور تا محور)، w پهنای قید ، e فاصله تا محور خنثی و W_t مقاومت کششی اتصال دوبل (پین) می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: اتصال دوبل، پین آجدار، تخته فیبر با تراکم متوسط (MDF)، بیشینه ظرفیت لنگر خمشی

* نویسنده مسئول: تلفن: ٠٩١٣-٢٨٣٩٨١٢ فاکس: ٠٢٦١-٢٢٤٩٣١١ E-mail: bahmani_mohsen_j@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

اتصال‌هایی که در گذشته‌های دور به‌کاربرده می‌شدند بسیار ابتدایی و بدون پیش‌بینی استحکام بودند که به مرور زمان تکامل یافته و علاوه بر گوناگونی در اتصال‌ها، وسایل و ابزار پیشرفته‌ای نیز برای ساخت اتصال‌های گسترش یافته‌اند. نخستین کاربری‌های صنعتی انسان از چوب در خانه‌سازی، کشتی‌سازی و دیگر صنایع مرتبط با سازه‌های چوبی بوده است. از آن‌جایی که در همه سازه‌های چوبی مانند خانه‌های چوبی، قایق‌ها و لنج‌ها، وسایل ورزشی، اسباب بازی، مبلمان، منبت‌کاری، معرق‌کاری و پالت چوبی قطعه‌های چوبی به یکدیگر وصل می شوند، یکی از بخش‌های اصلی و مهم هر سازه چوبی، اتصال‌های آن است که‌این اتصال‌ها، حلقه‌های حساس بین عناصر یک سازه هستند. اتصال‌ها بار وارده را به طور پیوسته تحمل کرده و بدنه سازه را به وجود می‌آورند. کلمه اتصال معانی بیشماری دارد و مفهوم آن ارتباط بین دو یا چند جزء است و در سازه مبلمان بر پایه توجیه جهت الیاف در سطوحی که به هم می‌رسند (مقطع عرضی به طولی، سر به سر یا مقطع طولی به طولی) توصیف می‌شود (Ebrahimi, 2008). یکی از انواع اتصال‌های که در هر دو حالت گوشه‌ای و عرضی به کار می‌رود، اتصال با پین چوبی (دوبل) است. پین (دوبل) میله‌ای چوبی است و در حالت‌های مختلف برای افزایش استحکام اتصال ساخته‌های چوبی به کار می‌رود. کاربرد پین به حالت زبانه و یا نرینگی و با چسب کمکی است. به دلیل آسانی در ایجاد اتصال دوبل و ظرافت آن، امروزه از این اتصال به طور گسترده‌ای در سازه‌های مبلمان مانند صندلی، نیمکت و کابینت سازی به کاربرد می‌شود (Eckelman, 1971). از سوی دیگر با توجه به افزایش به کاربردن مواد چند سازه مهندسی شده در صنعت تولید مبلمان بررسی مقاومت انواع اتصال‌دهنده‌ها و بویژه اتصال‌های دوبل روی این مواد ضروری است. یکی از این فرآورده‌های چند سازه تخته فیبر با تراکم متوسط MDF[1] است که به علت دارا بودن سطوح صاف و لبه‌های همگن و متراکم امروزه به صورت گسترده‌ای در صنایع مبلمان کاربرد دارد. در یک قاب مبلمان اتصال‌های دوبل ممکن است تحت تاثیر تنش‌های خمشی، برشی، محوری و یا کششی قرار گیرند، با این حال تنش‌های خمشی مهم‌تر و اهمیت بررسی آنها بیشتر است (Eckelman, 1971). در حال حاضر، شمار کارخانه‌هایی که در زمینه تولید مبلمان اداری، منازل و کابیت در کشور ما مشغول به فعالیت هستد، بیش از دیگر کارخانه‌هایی مرتبط با چوب است. همچنین کارگاه‌های کوچک بیشماری نیز در سراسر کشور به تولید فرآوردهای ورقه‌ای مانند مبلمان اداری و کابینت اشتغال دارند. ولی تاکنون بررسی در زمینه اتصال فرآورده‌های ورقه‌ای در کشور انجام نگرفته است. بررسی‌های زیادی توسط Eckelman در سال‌های (1971، 2002 و 2004) بر روی ظرفیت لنگر خمشی اتصال با پین چوبی در چوب ماسیو و مواد مرکب لایه‌ای مانند تخته لایه، OSB[2]، *L.V.L*[3] صورت گرفته است (Norvydas et al, 2002, Eckelman, 2002 .2005). همچنین اطلاعات اندکی درباره لنگر خمشی پین های چوبی در تخته خرده چوب توسط Norvydas در سال ۲۰۰۵ منتشر شده است (orvydas et al., 2005). متغیرهای تاثیرگذار بر استحکام این اتصال بیشمارند که می‌توان به طول، قطر و طول نفوذ پین، نوع چسب مصرفی، اثر کیپ بودن، اثر سطح (صاف یا مارپیچی) و مقاومت برشی پین چوبی اشاره کرد. در این پژوهش اثر تغییر قطر و طول نفوذ پین روی بیشینه ظرفیت لنگر خمشی اتصال باپین بررسی و در نهایت مدل تجربی برای پیش‌بینی مقاومت این اتصال ارائه شده است.

۱- Medium Density Fiberboard

۲- Oriented Strand Board

۳- Laminated Veneer Lumber

Archive of SID

www.SID.ir

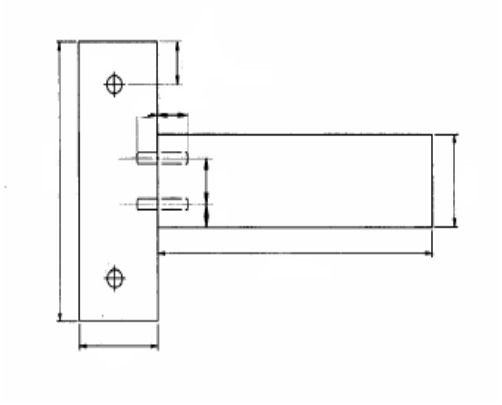
مواد و روش‌ها

در این پژوهش تخته‌های MDF تولید کارخانه صنایع چوب خزر به ابعاد۲۴۴۰×۱۲۲۰×۱۸ میلی‌متر و چسب پلی وینیل استات (چسب سفید نجاری) به کاربرده شده است. تخته‌های به کاربرده شده از سر شاخه‌های جنگلی ساخته شده بودند. خلاصه‌ای از ویژگی‌های تخته‌های به کاربرده شده در جدول ۱ آورده شده است. ساخت نمونه‌های آزمونی در شرکت جلیس واقع در شهرستان کرج انجام گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی تخته فیبر با تراکم متوسط (MDF) به کاربرده شده

ضخامت تخته	تراکم تخته	MOR
۱۸ mm	۷۲۰- Kg/m^3 ۶۸۰	۳۰ Pa

ساختمان اصلی اتصال T شکل بود که شامل یک عضوافقی($rail$) به ابعاد مقطع۱۰×۳۰ سانتیمتر و عضو قائم ($post$) به ابعاد ۱۵×۳۵ سانتیمتر بوده است. ویژگی‌های نمونه‌های آزمونی در شکل ۱ آورده شده است. برای اتصال مقطع طولی به مقطع عرضی دو سوراخ به فاصله ۱۰ سانتی متر در مقطع عرضی عضو افقی و مقطع طولی عضو قائم تعبیه و پین‌ها با چسب پلی‌وینیل‌استات آغشته و در درون سوراخ‌های تعبیه شده به قطرهای ۶ ،۸ و۱۰ میلیمتر گذاشته شده بودند. پین‌های به کاربرده شده برای اتصال مورد نظر دارای قطر های ۶، ۸ و۱۰ میلیمتر با سطح مارپیچ از گونه چوبی ممرز بودند (شکل ۲). نمونه‌ها پس از مونتاژ و ساخت، به مدت ۴۵ دقیقه در گیره دستی در دمای محیط قرار گرفته و پس از آن به مدت سه هفته در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند. ظرفیت لنگر اتصال در برابر بار خمشی با ماشین آزمون اینسترون (Instorn) مدل ۴۴۸۶ آزمایشگاه مکانیک گروه مهندسی چوب دانشگاه تهران انجام شد. سرعت بارگذاری نمونه‌ها $mm/\min$ ۱۲/۷ گرفته شد. برای اعمال بار در نمونه‌های آزمونی قطعه عمودی با فک طراحی شده ثابت نگه داشته شد و بار قائم روی لبه بالایی قطعه افقی (قید) در فاصله ۳۰ سانتی متر از سطح اتصال اعمال شد. در این بررسی اثر متغیرهای قطر، در سه سطح ۶، ۸ و ۱۰ میلی متر و طول نفوذ، در دو سطح ۹ و ۱۲ میلی متر بر بیشینه ظرفیت خمشی بررسی شده است. از ترکیب عامل‌های متغیر بالد، ۶ حالت مختلف (تیمار) به وجود آمده است که با توجه به ۴ تکرار در هر حالت، ۲۴ نمونه آزمونی برای اندازه گیری بیشینه ظرفیت لنگر خمشی اتصال بدست آمد. برای انجام محاسبه‌های آماری از نرم‌افزارهای SPSS و Excel بهره‌گیری شد.



شکل ۱- ویژگی‌های نمونه های آزمونی

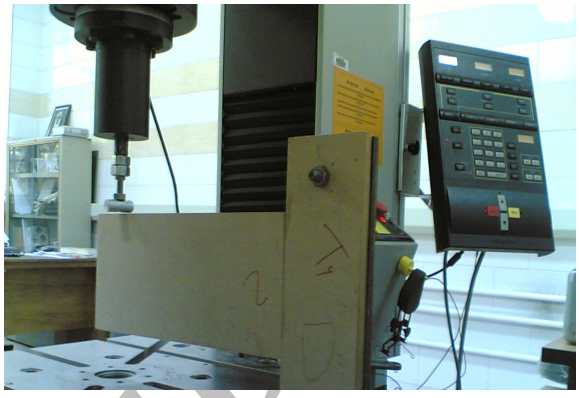
شکل ۲- دوبل های گونه چوبی ممرز با قطر های ۱۰، ۶ و۸ میلی‌متر (از راست به چپ)

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج

میانگین میزان مقاومت اتصال در برابر لنگر خمشی در قطر و طول نفوذهای مختلف در جدول ۲، ارائه شده است. به منظور مشخص کردن تاثیر هر یک از عامل های متغیر مورد بررسی بر مقاومت اتصال در برابر بار خمشی، از روش تجزیه واریانس نتایج، بهره‌گیری شده و اثر مستقل و متقابل عامل های مورد بررسی همراه با سطح معنی داری ۹۵ درصد در جدول ۳، آمده است. همچنین اثر افزایش قطر و طول نفوذ پین بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال با پین در شکل های ۴و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳- نمونه در برابر بار خمشی

جدول۲- میزان میانگین ظرفیت لنگر خمشی اتصال با پین چوبی در برابرلنگر خمشی

قطر پین (mm)	طول نفوذ در عضو قائم (mm)	میانگین مقاومت در برابر لنگرخمشی (Kg.cm)
۶	۹	۷۱۰
	۱۲	۷۱۹
۸	۹	۲۰۲۳
	۱۲	۲۲۱۸
۱۰	۹	۱۳۹۲
	۱۲	۱۶۷۱

جدول۳- تجزیه واریانس اثر مستقل و متقابل عامل‌های متغیر ظرفیت لنگر خمشی اتصال با پین در برابر بار خمشی

عامل‌های متغیر مستقل و متقابل	(DF) درجه آزادی	(MS) میانگین مربعات	F	تفاوت (P)
قطر پین (D)	۲	۳۹۹۴۱۴۱/۹	۱۸/۳	*
طول نفوذ پین (IN)	۱	۱۵۵۵۶۵/۴	۰/ ۷۱	n.s.
اثر متقابل (D*IN)	۲	۳۸۳۱۶/۳	۰/۱۷	n.s.

*معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

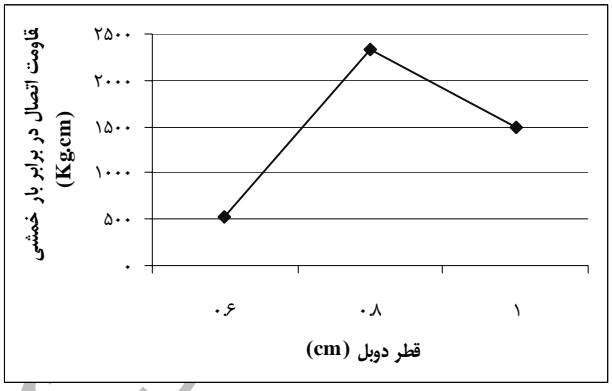
ns غیر معنی‌دار

بر پایه شکل ۴، با افزایش قطر دوبل ظرفیت لنگر خمشی اتصال به صورت پیوسته و خطی افزایش نیافته و بیشترین میزان ظرفیت لنگر مربوط به دوبل با قطر ۸ میلی متر می‌باشد. میزان ظرفیت لنگر اتصال با قطر ۸ میلی متر نسبت به قطر ۶ میلی متر ۹۷ درصد بیشتر و نسبت به قطر ۱۰ میلی متر ۳۸ درصد بیشتر است. شکل ۵، رابطه بین ظرفیت

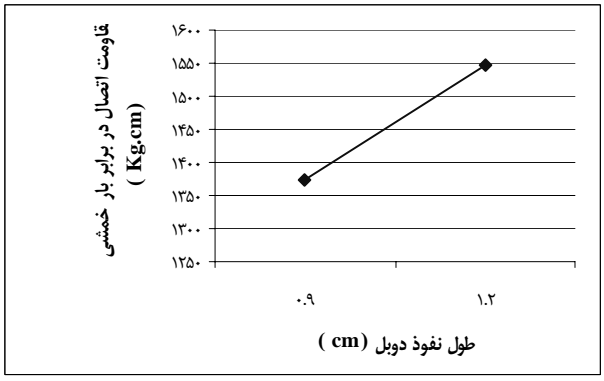
Archive of SID

www.SID.ir

لنگر و طول نفوذهای مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش طول نفوذ از ۹ تا ۱۲ میلی متر، ظرفیت لنگر به صورت خطی افزایش می‌یابد، میزان میانگین ظرفیت لنگر اتصال با طول نفوذ ۱۲ میلی متر نسبت به طول نفوذ ۹ میلی متر ۱۱ درصد بیشتر است.



شکل۴ - اثر افزایش قطر بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال



شکل ۵ - اثر افزایش طول نفوذ بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال

برای اشتقاق معادله تجربی فرض شد که لنگر واکنش به وجود آمده در اتصال، برابر جمع مقاومت خمشی تولید شده در خود پین‌ها بوده به علاوه لنگر واکنش ناشی از تنش نیروی کشش T، که در راستای محور پین ایجاد می‌شود و برآیند نیروهای فشاری C وارد بر پاشنه عضو افق (قید). با این پیش فرض بیشینه ظرفیت لنگر اتصال محدود به بیشینه تنش فشاری وتنش کششی هر دو می باشد. (شکل۴) به عنوان نخستین برآورد، بیشینه مقاومت خمش پین‌ها را می توان با معادله‌های استاندارد به دست آورد، بنابراین داریم:

معادله ۱ $\delta_c = ky$

در معادله بالا

σ_c - تنش در سطح جزیی به فاصله y از محور خنثی

y – فاصله سطح جزء زیر تنش δ_C تا محور خنثی

K – ضریب ثابت

با در نظرگرفتن نیروها و لنگرها در شکل۵، بیشینه مقاومت خمش به صورت زیر به دست می‌آید:

معادله۲

$$\sum F = 0,\ T = \int_0^{(w/2-e)} k.t.ydy \rightarrow$$

$$k = \frac{2T}{t(w/2-e)^2}$$

$$\sum W_b = 0,\ \ W_b = \int_0^{(w/2-e)} k.t.y^2 + T(d_1/2 + e)$$

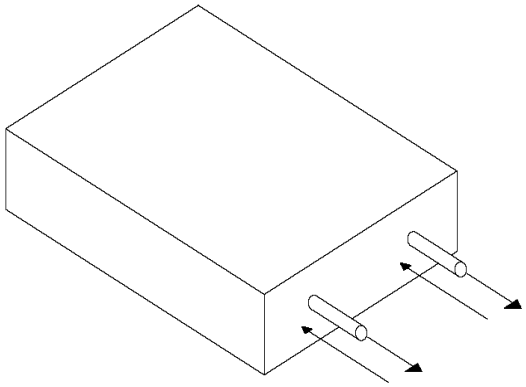
معادله ۳

$$W_b = (d_1/2 + w/3 + e/3)W_t$$

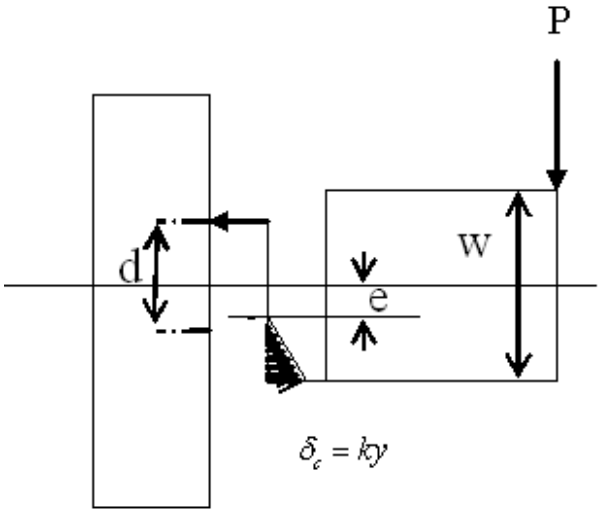
W_b بیشینه لنگر خمشی ($Kg.cm$)، T مقاومت کشش (انفصالی) (kg)، w پهنای قید (cm)، e فاصله تا محور خنثی، (cm)، d_1 فاصله بین دو پین (محور تا محور)، (cm)

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶- فرض اساسی برآیند تنش‌های کششی و خمشی در اتصال با پین چوبی



شکل ۷- فرض اساسی توزیع تنش ها در اتصال با پین چوبی

جدول ۴، میانگین بیشینه لنگر خمشی میزان‌های دیده و پیش‌بینی شده با معادله ۳، را نشان می‌دهد، ضریب اطمینان بالای معادله بالد، بیانگر این موضوع می‌باشد که آن را می‌توان به عنوان یک رابطه قابل استناد برای اندازه‌گیری بیشینه لنگر خمشی اتصال با پین در تخته فبیر با تراکم متوسط (MDF) به کاربرد.

جدول ۴- میزان میانگین دیده و پیش‌بینی شده بیشینه لنگر خمشی اتصال با دوبل در تخته فیبر با تراکم متوسط (MDF) با بهره‌گیری از معادله ۳

قطرپین (mm)	طول نفوذ در عضو قائم (mm)	میانگین بیشینه لنگر خمشی مشاهده شده (Kg.cm)	میانگین بیشینه لنگرخمشی پیش‌بینی شده (Kg.cm)	قابلیت اطمینان (r^2)
۶	۹	۷۱۰	۹۳۴	٪۹۰
	۱۲	۷۱۹	۱۱۹۰	
۸	۹	۲۰۲۳	۱۵۵۷	
	۱۲	۲۲۱۸	۱۹۶۳	
۱۰	۹	۱۳۹۲	۱۲۰۴	
	۱۲	۱۶۱۷	۱۳۰۹	

بحث

اگر چه اتصال های دوبل به طور گسترده‌ای در اتصال تخته‌خرده‌چوب، امدی‌اف، تخته‌فیبر و دیگر فرآورده های چوبی به کار می‌روند، لیکن اطلاعات اندکی درباره مقاومت این اتصال‌های موجود است. از سوی دیگر نتیجه بیشتر بررسی های انجام شده پیرامون مقاومت اتصال‌های دوبل، بر روی چوب و مواد مرکب ترکیبی از چوب ماسیو (*LVL*، *OSB* و...) مربوط به خارج از کشور می باشد که

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه آنها قابل تعمیم برای صنعت داخل ایران نیست. بنابراین در این پژوهش اثر متغیرهای قطر و طول نفوذ دوبل بر روی بیشینه ظرفیت لنگر خمشی این اتصال بررسی شد و با به دست آوردن رابطه تجربی برای پیش‌بینی لنگر خمشی سعی در بهینه کردن ساخت این اتصال بر پایه اصول علمی شد.

بیشینه ظرفیت لنگر اتصال دوبل در MDF با افزایش قطر دوبل به صورت خطی افزایش نیافته و در دوبل با قطر ٨ میلی‌متر بیشترین میزان ظرفیت لنگر بدست آمده که‌این مسئله به تمرکز کم‌تر تنش در این دوبل‌ها مربوط می‌شود، زیرا این دوبل‌ها دارای شیارهای ریزتری نسبت به دوبل های با قطر ١٠ میلی متر بودند. (شکل١) بیشینه ظرفیت لنگر خمشی اتصال دوبل با افزایش طول نفوذ به صورت خطی افزایش یافته که دلیل آن به افزایش سطح تماس دوبل با جدار سوراخ تعبیه شده در تخته بر می‌گردد. بیشینه ظرفیت خمشی در دوبل‌های با قطر ٨ میلی‌متر و طول نفوذ ١٢ میلی‌متر بود به دست آمد، بنابراین از میان اتصال‌های بررسی شده، اتصال های دوبل ساخته شده با ویژگی های زیر برای ایجاد بیشینه ظرفیت لنگر خمشی اتصال با پین در MDF پیشنهادمی‌شود: اندازه قطر دوبل: ٨ میلی متر، اندازه طول نفوذ: ١٢ میلی متر، نوع دوبل: آجدار با شیارهای ریز. همچنین مناسب‌ترین قطر برای ایجاد بیشینه ظرفیت خمشی اتصال دوبل در امدی‌اف، به دوبل با قطر ٨ میلی‌متر محدود می‌شود.

بیشینه مقاومت خمشی اتصال دوبل در امدی‌اف از معادله‌های زیر بدست می‌آید:

$$W_b = (d/2 + w/3 + e/3)W_t$$

که در آن: W_b مقاومت خمشی، W_t مقاومت کشش (انفصالی)، kg، w پهنای قید (cm)، e فاصله تا محور خنثی(cm).

منابع

1- Ebrahimi, gh, 2008. Engineering Design of Furniture Structure. press of uni. Tehran.

2- Eckelman, C.A. 1969. Engineering Concepts of Single-pine Dowel Joint Design Forest Prod .J .19(12):pp. 52-60.

3- Eckelman, C.A. 1971. Bending Strength and Moment Rotation Characteristics of Two-pine Moment–Resisting Dowel Joints.Forest Prod. J. 21(3): P. 35-39. woods. Forest products journal, 49:6, P. 77-78.

4- Norvydas, V. Papreckis, B. 2001. Influence of Dowel Diameter On the Fracture Moment of Glued Doweled Joint. Materials scienc. 7 (1): pp. 27-31.

5- Eckelman, C.A. Erdil, Y. Z., Zhang ,j. 2002 .Withdrawl and Bending Strength of Dowel Joints Constructed of Plywood and Oriented Strandboard.Forest Prod.j. 59(9) :pp.66-74.

6- Eckelman, C.A. 2004. Engineering Design of furniture. Chap6. Purdue Uni. USA.

7- Norvydas, V. Juodeikiene, I.Minelga, D. 2005. The Influence of Glued Dowel Joints Construction on the Bending Moment Resistanc. Materials science.11(1): pp 36-39.

Archive of SID

www.SID.ir

Design of experimental model for predicting ultimate bending strength dowel joint in medium density fiber (MDF)

M. Bahmani*[1], Gh. Ebrahimi[2] and J. Veisi[1]
[1] M. Sc. Graduate, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
[2] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran
(Received: 18 February 2008, Accepted: 17 Jun 2008)

Abstract

The aim of this study was investigating the parameters of dowel joint placed in MDF in order to obtain a formula to estimate ultimate bending strength. Dowel joint, one of the joints type, in placed in both form of corner and cross that widely used in the furniture manufacture, because of its low cost, easy utilization and need to hole placed. In this study, the effects of diameters 6, 8 and10 mm, penetration depth 8 and 12 mm on the resistance of dowel joint against the ultimate bending strength were investigated. The results show that the highest ultimate bending strength of dowel joint in MDF possessed to the 8 diameter and 12 penetration depths. Finally, it has been found that the ultimate bending strength (W_b) of the joint can be predicted by means of the formula $W_b = (d_1/2 + w/3 + e/3)W_t$, where W_t = withdrawal strength, w = the width of the rail, e = the distance from the rail centerline to the neutral axis, and d_1 is the spacing between two dowels.

Keywords: Dowel joint, Rough dowel, Medium density fiber, Ultimate bending strength

*Corresponding author: Tel: +98 913 2839812 , Fax: +98 261 2249311 , E-mail: bahmani_mohsen_j@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir