

تأثیر تقویت چسب پلی وینیل استات (PVAc) با نانوفیبر کربن (CNF) بر ظرفیت لنگر خمشی اتصال گوشه‌ای مبلمان

براعتلی کشته‌گر^۱، محراب مدهوشی^{۲*}، علیمراد رشیدی^۳ و مهدی مشکور^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران،
پست الکترونیک: madhoushi@gau.ac.ir

۳- دانشیار، مرکز تحقیقات نانو فناوری، پژوهشگاه صنعت نفت تهران، ایران

۴- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: تیر ۱۳۹۸

چکیده

در این تحقیق تأثیر چسب پلی وینیل استات (PVAc) تقویت‌شده با نانو فیبر کربن اصلاح‌شده (Modified CNF) در سه سطح (۰٪، ۴٪، ۱۰٪) بر روی خواص استحکامی اتصالات رایج در صنایع مبلمان بررسی شد. نانو فیبرهای کربن اصلاح‌شده به صورت اصلاح شیمیایی سطحی برای بهبود پراکنش در ماتریس چسب پلیمری استفاده شدند. نمونه‌های آزمون اتصال، با استفاده از قطعات ام دی اف (MDF) برش خورده با ابعاد مورد نظر و دابل چوبی با قطرهای ۶، ۸ و ۱۰ میلی‌متر و عمق نفوذ در سه سطح به کمک چسب پلی وینیل استات تقویت‌شده با نانوفیبر کربن M ساخته شدند. در مجموع، ۲۷ تیمار با سه تکرار داشتیم. ارزیابی ظرفیت لنگر خمشی نمونه‌های آزمون ساخته‌شده با چسب تازه فرموله شده و بررسی تأثیر سایر متغیرها بر روی اتصالات ساخته‌شده تحت بارگذاری کششی با سرعت ۳ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش درصد وزنی نانو فیبر کربن، قطر و عمق نفوذ دابل چوبی، ظرفیت لنگر خمشی به ترتیب ۱/۶، ۱/۵ و ۱/۳ برابر نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش یافت. سطح ۴/۰ درصد وزنی نانو فیبر کربن M، قطر ۱۰ میلی‌متر و عمق نفوذ L۳ دابل چوبی بیشترین تأثیر را بر روی استحکام اتصالات داشت.

واژه‌های کلیدی: نانو فیبر کربن اصلاح‌شده، پلی وینیل استات، دابل چوبی، اتصال، تخته فیبر با دانسیته متوسط، اصلاح سطحی

مقدمه

عرضی و ... به یکدیگر متصل می‌شوند و به‌طور کلی اتصالات از بخش‌های اصلی یک سازه هستند. اتصالات، بار وارده بر کل سازه را تحمل کرده و آن را در بین اعضای مختلف توزیع کرده و در نهایت پایداری کل سازه را به وجود می‌آورند. در این ارتباط، نوع اتصال‌دهنده نیز تأثیر مهمی در استحکام هر سازه‌ای ایفا می‌کند.

صفحه‌های چندسازه یا فرآورده‌های صفحه‌ای مانند تخته چندلا، تخته‌خرده چوب و تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF) مصارف متعدد صنعتی داشته و به‌صورت گسترده‌ای در ساخت سازه مبلمان استفاده می‌شوند. در صنعت، قطعات این چندسازه‌ها به طرق مختلف (گوشه‌ای، سربه سر، متقاطع،

چوب استفاده می‌شود. این چسب دارای مزایای غیرقابل انکار نسبت به سایر چسب‌های چوب از جمله قیمت نسبتاً پایین، غیر سمی بودن و کمترین اثر منفی را بر روی محیط زیست دارد. اغلب به صورت امولسیون بر پایه آب است (Kaboorani *et al.*, 2012). پلی وینیل استات به هنگام استفاده در مواد متخلخل مانند چوب و کاغذ یک اتصال چسبی قوی ایجاد می‌کند، از این رو روند تغییرات مقاومت چسبندگی به وسیله خواص مکانیکی پلیمر محدود می‌شود (Kaboorani & Riedle, 2011).

در طی یک دهه گذشته، ظهور نانو ذرات فرصتی را به منظور بهبود خواص پلیمرها فراهم کرده است. در حال حاضر انواعی از نانو ذرات آلی و معدنی به عنوان مواد پرکننده و اصلاح‌کننده خواص ماتریس‌های پلیمری به منظور تولید نانوکامپوزیت‌های با خواص گرمایی و مکانیکی خیلی بهتری را در مقایسه با کامپوزیت‌های متعارف ساخته شده با پلیمرها و پرکننده‌های معمولی نشان می‌دهند (Kaboorani *et al.*, 2012). این ویژگی به دلیل سطح ویژه بالای نانو مواد است که موجب افزایش سطح مشترک آنها با ماتریس پلیمر و بهبود قابل توجه اتصال و در نتیجه خواص مکانیکی فراورده می‌شود (Norhakim *et al.*, 2014).

از دو دهه اخیر استفاده از نانوفیبر کربن (CNF) به دلیل سطح ویژه زیاد، دارا بودن خواص مقاومت کششی بالا و چسبندگی بین سطحی مطلوب به عنوان مواد پرکننده کامپوزیت‌ها مورد توجه عموم قرار گرفته است (Feng *et al.*, 2014)، (Ozakan *et al.*, 2010). قطر آنها اغلب بین ۵ تا ۱۰۰ نانومتر متغیر است و طول آنها به ۵ تا ۱۰۰ میکرون می‌رسد (Izadi *et al.*, 2012)؛ خواص مکانیکی آنها چشمگیر است و استحکام آنها در محدوده ۷۲۵-۲۳۰ Gpa گزارش شده است (Zhou *et al.*, 2008)؛ اما مشکل عمده در استفاده از این نانو فیبرهای کربنی، تمایل زیاد به تجمع درون فاز ماتریس به دلیل داشتن سطح ویژه بالا است که در نتیجه دستیابی به توزیع خوب نانو ذرات را در ماتریس پلیمری مشکل می‌کند (Zhang *et al.*, 2009). اصلاح شیمیایی سطحی یا عامل‌دار

به طور کلی، در سازه‌های چوبی، از اتصال‌دهنده‌های مختلفی مانند انواع مکانیکی و شیمیایی استفاده می‌شود. میخ، پیچ، پرچ، اتصال‌دهنده‌های گوشه‌ای و غیره از نوع اتصال‌دهنده‌های مکانیکی و انواع چسب‌ها از اتصال‌دهنده‌های شیمیایی می‌باشند که در ساخت انواع مبلمان به کار می‌روند (Zhou, 1991). با وجود این، پیش‌بینی رفتار اتصال پیچیده‌تر است و متغیرهای متنوعی از جمله نوع اتصال دویل، شماره دویل، طول دویل، عمق جایگزینی و نوع چسب‌ها رفتار اتصالات را مشخص می‌کند، به طوری که افزایش قطر دویل و همچنین افزایش عمق نفوذ تأثیر معنی داری بر روی مقاومت به لنگر خمشی اتصالات ساخته شده دارد (Zhanng & Ekelman, 2013). تحقیقات زیادی در زمینه اتصالات مختلف و مقایسه آنها با یکدیگر از جمله دویل چوبی با صفحات چوبی (تخته‌خرده چوب و MDF) توسط محققان انجام شده است. قوی‌تر بودن اتصال دویل نسبت به اتصالات فاق چسب خورده و قلیف گزارش شده است (Huuml, 2010)، همچنین بررسی لنگر خمشی و مقاومت کششی اتصال با دویل چوبی در MDF توسط Bahmani و همکاران (۲۰۰۹) بالاترین ظرفیت لنگر خمشی و مقاومت کششی اتصال با دویل چوبی در MDF را از دویل چوبی با قطر ۸ میلی‌متر و عمق نفوذ ۱۲ میلی‌متر گزارش کردند. در زمینه تأثیر اندازه قطر و درجه آزادی دویل چوبی بر مقاومت برشی اتصالات ساخته شده از تخته‌خرده چوب توسط Jahan Latibari و همکاران (۲۰۰۵) بیشترین مقاومت را برای دویل چوبی آجدار با قطر ۱۰ میلی‌متر با عمق نفوذ چهار برابر قطر و درجه آزادی ۰/۵ تا ۰/۲۵ میلی‌متر را در برابر بارهای وارده گزارش شد.

عامل مؤثر دیگر بر رفتار اتصالات، نوع چسب مصرفی است. اتصالات بر پایه رزین، نقش مهمی در استحکام محصولات و در تولید آنها ایفا می‌کنند (Zhou, 1991). به طوری که با افزایش استفاده از محصولات چوبی مهندسی در ساختمان‌ها، مصارف چسب‌ها به شدت افزایش یافته است (Kaboorani & Riedl, 2011). پلی وینیل استات یکی از پلیمرهای ترموپلاستیک است که به طور وسیع در صنایع

(۲۰۱۴) با مشخصات قطر برابر ۲۵ nm و طول ۱۰-۵ nm ساخته شد. برای این منظور، روی سطح زیر پایه تحت تأثیر گاز شهری متان قرار گرفت و با انجام واکنش شیمیایی بخارهای پیش‌ماده با بخارات و گازهای دیگر لایه نشانی با استفاده از گازی که گرم شده و به شکل رشته باریکی درآمده بود، انجام شد. سپس، نانوفیبرهای کربن تولیدشده به روش رفلکس^۲ عامل‌دار شد و تحت عنوان نانوفیبر کربن اصلاح‌شده (M) نام‌گذاری گردید، به این ترتیب مخلوط نانوفیبرکربن و اسید نیتریک (به ازای ۶۰ تا ۷۰ میلی‌لیتر برای ۱ گرم نانوفیبر) در یک بالون در شرایط ریفلاکس شامل حمام (ظرف حاوی روغن سیلکون) با دمای ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. سپس مخلوط حاصل همراه با شستشو با آب دیونیزه از کاغذ صافی عبور داده شد. عمل شستشو تا رسیدن pH محلول به بالای ۵ ادامه یافت.

چسب: از چسب پلی وینیل استات با علامت تجاری RSH-۹۵۰ با مشخصات فنی، درصد ماده جامد 50 ± 1 ، اندازه ذرات ۱-۲ میکرو، pH برابر ۴-۵، حداقل دمای تشکیل فیلم $15-16^\circ C$ ، مشخصات فیلم شفاف، سخت، شکل ظاهری خمیر سفید (امولسیون پایه آب) و ویسکوزیته (۱۲۰۰۰۰ - ۸۰۰۰۰۰ پواز) استفاده شد.

تخته فیبر با دانسیته متوسط: این تخته به‌طور گسترده برای استفاده در دکوراسیون داخلی خانه، آشپزخانه و مبلمان استفاده می‌شود. در این تحقیق نمونه‌ها از یک صفحه MDF با ابعاد $18 \times 1220 \times 2800$ mm تهیه شد که خواص آن در جدول ۱ آورده شده است.

کردن روشی مؤثر برای بهبود پراکنش نانومواد و بهینه‌سازی خواص نانو کامپوزیت‌های پلیمری است. عامل‌دارکردن با قرار دادن گروه‌های عاملی روی سطح ماده نانو به کمک اتصال شیمیایی (کوالانسی) و بدون اتصال شیمیایی (غیرکوالانسی) انجام می‌شود (Mittal et al., 2015).

تیمار شیمیایی سطحی نانوفیبرکربن با اسید سولفوریک/نیتریک یا اسید نیتریک به‌تنهایی باعث ایجاد گروه‌های حاوی اکسیژن در سطح آن می‌شود، در این فرایند سازگاری بین گروه‌های عاملی دو فاز یک فاکتور کلیدی است که پراکنش نانوفیبرکربن و عملکرد کلی کامپوزیت را تعیین می‌کند (Feng et al., 2014).

تحقیقات کمی در زمینه تقویت چسب پلی وینیل استات با نانوذرات معدنی و آلی انجام شده است که از جمله می‌توان به تقویت آن با نانو فیبرهای سلولزی توسط Gong و همکاران (۲۰۱۱)، نانو ذرات رس، نانو لوله‌های کربنی و نانو گرافن اشاره کرد (Khan et al., 2013). با توجه به امتیازات بیان شده برای نانوفیبرهای کربن در زمینه تقویت ماتریس چسب‌های پلیمری، این مطالعه با هدف یافتن گزارشی پیرامون استفاده از چسب پلی وینیل استات تقویت‌شده با نانوفیبرکربن اصلاح‌شده به روش عامل‌دار کردن بر روی خواص استحکامی اتصالات چسبی رایج در سازه‌های چوبی مبلمان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

نانو فیبرکربن: ابتدا نانو فیبرکربن بکر (V) در پژوهشگاه صنعت نفت ایران به روش لایه نشانی بخار شیمیایی^۱ Zhou (CVD) و همکاران (2008) و Zhang و همکاران

جدول ۱- برخی از خواص تخته فیبر با دانسته متوسط (MDF)

دانسیته gr/cm^3	درصد رطوبت	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	IB (Mpa)
۰/۷۱	٪۶/۴۲	۲۰/۶۶	۲۷۱۳	۰/۱۹

در جدول ۲ برای ساخت اتصال گوشه‌ای سربه‌سر قطعات MDF استفاده شد.

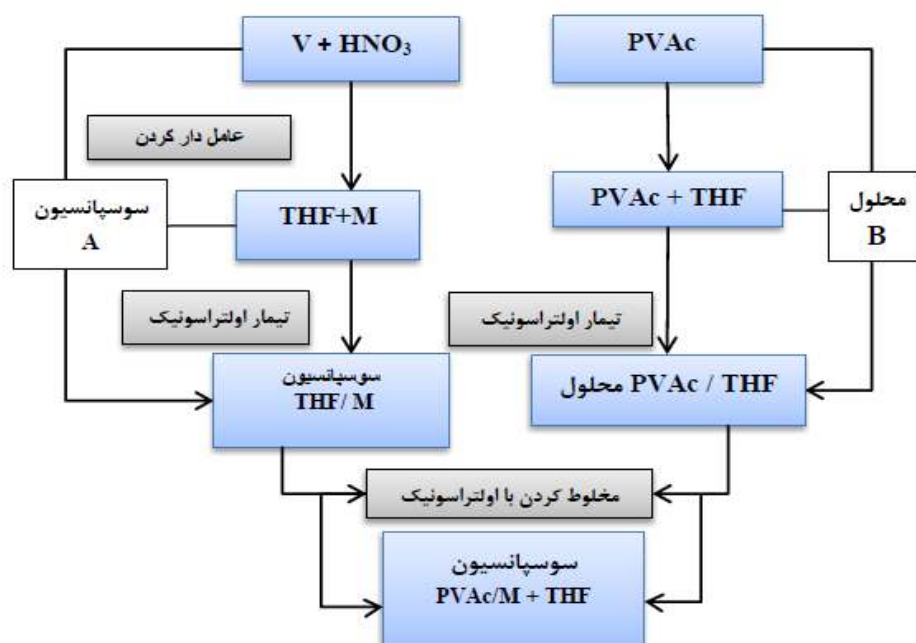
دوبل چوبی: دوبل چوبی از گونه چوبی ممرز (Carpinus betulus) و از نوع شیاردار ماریچی با قطرهای ۸، ۶ و ۱۰ میلی‌متر با خواص فیزیکی و مکانیکی ذکر شده

جدول ۲- خواص فیزیکی و مکانیکی گونه ممرز چوب دوبل

مقاومت برش موازی با الیاف (Mpa)	MOE (Mpa)	MOR (Mpa)	دانسیته gr/cm^3
۱۰/۹	۱۱۲۱۷/۵۷	۱۲۲/۷۶۴۴	۰/۷۱

هرتز به مدت ۴ ساعت برای پراکنش ذرات هم زده شدند (مرحله A). سپس مقدار ۱۰ گرم چسب پلی‌وینیل استات درون ۵۰ میلی‌لیتر تترا هیدرو فوران به‌طور کامل حل (مرحله B) و به سوسپانسیون آماده‌شده در مرحله A اضافه گردید و با استفاده از دستگاه اولتراسونیک به مدت ۴ ساعت دیگر هم زده شد تا نانوفیبرهای کربن در چسب پلی‌وینیل استات به‌خوبی پراکنده شوند.

آماده‌سازی چسب با نانو فیبر کربن نانوفیبرهای کربن اصلاح‌شده (M) در سه سطح ۰، ۴/۰ و ۱/۵ درصد بر اساس وزن کل پلی‌وینیل استات محاسبه و مطابق روش Khan و همکاران (۲۰۱۳) به چسب اضافه شد (شکل ۱). برای این منظور، ابتدا مقدار نانوفیبر برای هریک از درصد‌های فوق محاسبه و دو سطح ۴/۰ و ۱/۵ درصد به ترتیب با ۸ و ۳۰ میلی‌لیتر حلال تترا هیدرو فوران^۱ به‌وسیله دستگاه اولتراسونیک در دمای $35^{\circ}C - 20$ ، توان ۹۰ وات و فرکانس ۸۰



(PVAc) پلی وینیل استات، (V) نانو فیبر کربن بکر (HNO₃)، اسید نیتریک (THF)، تترا هیدرو فوران (M) نانو فیبر کربن اصلاح‌شده

شکل ۱- روند مراحل آماده‌سازی نانوفیبر کربن اصلاح‌شده (M) و مخلول (PVAc/M+THF)

دوبل با ابعاد (24×6) mm، (36×6) mm و (48×6) mm برای سوراخ با قطر 6mm و (36×8) mm، (48×8) mm و (48×10) mm برای سوراخ با قطر 8mm و (40×10) mm، (60×10) mm و (80×10) mm برای سوراخ با قطر 10mm، اجزاء گروه A و B آماده شدند. چسب PVAc که با نانو فیبر کربن مخلوط و آماده شده بر روی سطح دوبل ها و سوراخ های اجزاء گروه A و B اعمال شد و بعد این دو جزء به کمک دوبل متصل شدند. اجزاء اتصال یافته نمونه ها در مدتی که در حال سخت شدن هستند با گیره به مدت دو هفته به صورت فشرده نگه داشته شدند.

آماده سازی نمونه های اتصالات نمونه ها از یک صفحه MDF با ابعاد $18 \times 1220 \times 2800$ با استفاده از یک اهر پانل آماده شدند. قطعات در گروه های A و B طبقه بندی گردیدند. بطوریکه خواص در جدول ۱، ابعاد و تعداد آنها در جدول ۳ آورده شده است. علامت گذاری مناسب بر روی قسمت ضخامت در جهت طول و عرض گروه A و B قطعات MDF که برای اتصال آماده شده ایجاد شد. سوراخ هایی با قطر $(10, 8)$ mm، و عمق نفوذ L_1, L_2, L_3 و $L_3 = 4D, L_2 = 3D, L_1 = 2D$ با استفاده از دستگاه سه کاره نجاری روی اجزاء گروه A و B حفاری شد.

جدول ۳- قطعات MDF مورد استفاده در ساخت نمونه های اتصالات

تعداد	ابعاد (mm)	قطعات
۸۱	$(200 \times 60 \times 18)$ mm	قطعه A
۸۱	$(140 \times 60 \times 18)$ mm	قطعه B

جدول ۴- تیمارهای آزمایش و کدهای اختصاری آنها

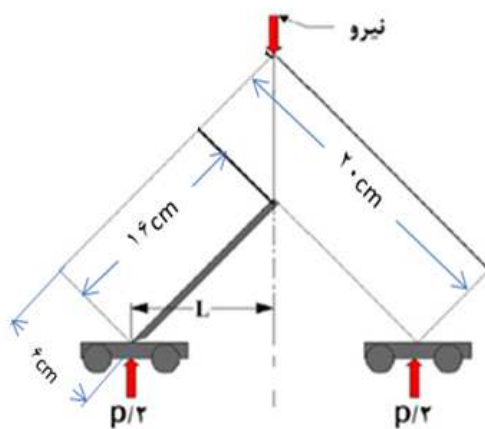
کد	تیمار	کد	تیمار	کد	تیمار
D۲L۲N۰	۱۹	D۲L۲N۰	۱۰	D۱L۱N۰	۱
D۳L۲N۱	۲۰	D۲L۲N۱	۱۱	D۱L۲N۱	۲
D۳L۲N۲	۲۱	D۲L۲N۲	۱۲	D۱L۲N۲	۳
D۳L۳N۰	۲۲	D۲L۳N۰	۱۳	D۱L۳N۰	۴
D۳L۳N۱	۲۳	D۲L۳N۱	۱۴	D۱L۳N۱	۵
D۳L۲N۲	۲۴	D۲L۲N۲	۱۵	D۱L۲N۲	۶
D۳L۴N۰	۲۵	D۲L۴N۰	۱۶	D۱L۴DN۰	۷
D۳L۴N۱	۲۶	D۲L۴N۱	۱۷	D۱L۴N۱	۸
D۳L۴N۲	۲۷	D۲L۴N۲	۱۸	D۱L۴N۲	۹

N: مقدار نانو (N۱=۰/۲٪، N۲=۰/۴٪، N۳=۱/۵٪)، D: قطر (D۱=۶mm، D۲=۸mm، D۳=۱۰mm)، L: عمق نفوذ (L۱=۲D، L۲=۳D، L۳=۴D)

آزمون کششی

آزمون بارگذاری کششی به وسیله دستگاه Cometech مدل ۵۰۵۶۱ - QC ساخت کشور تایوان در آزمایشگاه مکانیک گروه مهندسی چوب دانشگاه گرگان انجام شد. در

این آزمون بارگذاری با سرعت $3 \frac{mm}{min}$ مطابق روش Atar و Ozçi (۲۰۰۸) اعمال گردید. شکل ۲ نحوه بارگذاری در حالت کششی را نشان می دهد.



شکل ۲- روش بارگذاری نمونه های اتصال در آزمون کشش

مؤثر از لحاظ آماری شناسایی شوند و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن برای بررسی معنی دار بودن اثر متغیرها در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

در این تحقیق ۲۷ تیمار جدول ۴ و برای هر تیمار ۳ تکرار در نظر گرفته شد. برای محاسبه لنگر در حالت بارگذاری کششی از رابطه زیر استفاده شد.

$$M = \frac{P}{2} L$$

$$M = \text{لنگر کششی (N.mm)}$$

$$P = \text{نیرو (N)}$$

$$L = \text{طول (mm)}$$

نتایج

در این بخش از تحقیق تأثیر متغیرهای مختلف از جمله تأثیر ماده نانو، قطر دوپل چوبی، عمق نفوذ دوپل چوبی بر روی لنگر اتصال سربه سر با MDF زیر بارکششی مورد بررسی قرار گرفت. به همین دلیل نتایج به دست آمده از آزمون های کشش تجزیه و تحلیل آماری شدند که نتایج حاصل از آزمون ها در جدول ۵ و نتایج حاصل از تحلیل آماری در جدول ۶ آمده است.

طرح آماری

در این پژوهش، اثر تیمارهای مختلف با کاربرد آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ مورد ارزیابی قرار گرفت تا فاکتورهای

جدول ۵- نتایج آزمون‌های اتصال با MDF در بارگذاری کششی

ظرفیت لنگر خمشی (Nm)			عمق نفوذ (mm)			نمونه‌های اتصالات		
۴۳/۲۵	۳۰/۹۰	۲۱/۹۸	۲۰ (mm)	۱۶ (mm)	۱۲ (mm)	D۳L۲N۰	D۲L۲N۰	D۱L۲N۰
۶۶/۲۱	۵۸/۵۲	۴۱/۳۴	۲۰ (mm)	۱۶ (mm)	۱۲ (mm)	D۳L۲N۱	D۲L۲N۱	D۱L۲N۱
۴۹/۹۶	۳۶/۳۰	۳۲/۱۵	۲۰ (mm)	۱۶ (mm)	۱۲ (mm)	D۳L۲N۱	D۲L۲N۲	D۱L۲N۲
۶۱/۹۴	۴۶/۶۵	۲۹/۲۴	۳۰ (mm)	۲۴ (mm)	۱۸ (mm)	D۳L۳N۰	D۲L۳N۰	D۱L۳N۰
۸۹/۵۹	۷۵/۳۱	۴۹/۳۵	۳۰ (mm)	۲۴ (mm)	۱۸ (mm)	D۳L۳N۱	D۲L۳N۱	D۱L۳N۱
۶۵/۵۴	۵۵/۹۰	۳۹/۷۸	۳۰ (mm)	۲۴ (mm)	۱۸ (mm)	D۳L۳N۲	D۲L۳N۲	D۱L۳N۲
۵۲/۵۵	۵۴/۰۴	۳۴/۹۶	۴۰ (mm)	۳۲ (mm)	۲۴ (mm)	D۳L۴N۰	D۲L۴N۰	D۱L۴N۰
۷۵/۵۱	۸۶/۱۱	۶۰/۶۹	۴۰ (mm)	۳۲ (mm)	۲۴ (mm)	D۳L۴N۱	D۲L۴N۱	D۱L۴N۱
۵۷/۰۴	۵۹/۲۵	۴۹/۸۰	۴۰ (mm)	۳۲ (mm)	۲۴ (mm)	D۳L۴N۲	D۲L۴N۲	D۱L۴N۲

جدول ۶- تجزیه واریانس ظرفیت لنگر در حالت بارگذاری کششی

معنی‌داری	فاکتور F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات
۰/۰۰۰*	۵۸/۳۵۰	۴۸۵۹/۳۰۷	۲	۹۷۱۸/۶۱۳	اثر مستقل نانوفیبر کربن (N)
۰/۰۰۰*	۴۴/۶۰۳	۳۷۱۴/۴۹۱	۲	۷۴۲۸/۹۸۱	اثر مستقل قطر دوپل (D)
۰/۰۰۰	۲۷/۰۴۷	۲۲۵۲/۴۵۱	۲	۴۵۰۴/۹۰۳	اثر مستقل عمق نفوذ دوپل (L)
۰/۲۴۴ ^{ns}	۱/۴۰۶	۱۱۷/۱۰۳	۴	۴۶۸/۴۱۳	اثر متقابل D × N
۰/۹۷۴ ^{ns}	۰/۱۲۳	۱۰/۲۰۳	۴	۴۰/۸۱۱	اثر متقابل L × N
۰/۰۰۶*	۴/۰۹۶	۳۴۱/۰۸۵	۴	۱۳۶۴/۳۳۸	اثر متقابل D × L
۰/۹۸۸ ^{ns}	۰/۲۱۲	۱۷/۶۱۶	۸	۱۴۰/۹۲۵	اثر متقابل L × D × N

ns: معنی‌دار نیست

*: معنی‌داری در سطح ۵ درصد

۰/۹۵ معنی‌دار بوده است ($P < ۰/۰۵$). به طوری که افزودن ۰/۴ درصد نانوفیبر کربن باعث افزایش ظرفیت لنگر خمشی اتصال شد و بالاتر از آن (۱/۵ درصد) کاهش یافت. مقاومت کششی تیمار ۰/۴٪ نانوفیبر کربن ۱/۶ برابر نسبت به نمونه شاهد افزایش نشان داد.

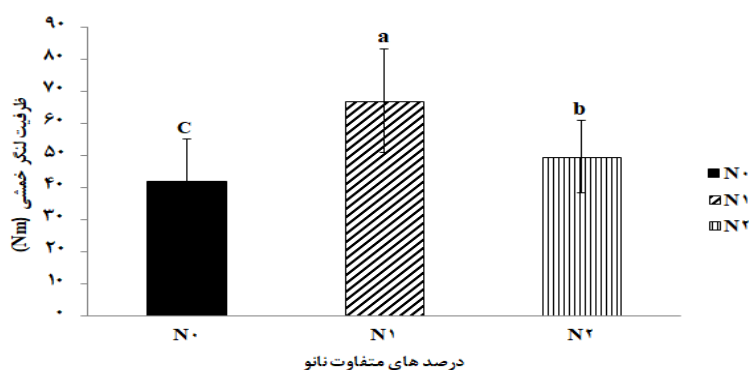
اثر مستقل قطر دوپل چوبی بر روی ظرفیت لنگر خمشی اتصال با توجه به داده‌های مربوط به ظرفیت لنگر خمشی تحت بارکشی جدول داده‌ها و جدول تجزیه واریانس، اثر مستقل

اثر مستقل نانوفیبر کربن بر روی ظرفیت لنگر خمشی تحت بارگذاری کششی

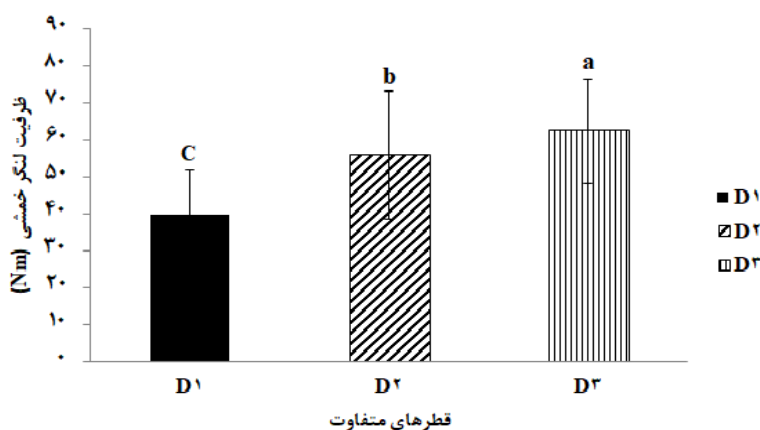
نتایج ظرفیت لنگر خمشی اتصال تحت بارگذاری کششی در جدول ۵ آمده است. شکل ۳ لنگر خمشی تحت بارگذاری کششی را در اتصال سربه‌سر اتصال قطعات MDF با چسب پلی وینیل استات مخلوط شده با نانوفیبر کربن در سه سطح (۱/۵، ۰/۴، ۰) درصد نشان می‌دهد. با توجه به جدول تجزیه واریانس ۶ اثر مستقل نانوفیبر کربن بر روی ظرفیت لنگر خمشی در سطح اطمینان

دانکن در سه گروه متفاوت قرار گرفته‌اند (شکل ۴). بیشترین تأثیر در لنگر خمشی تحت بارکشی با قطر $D_3=10\text{mm}$ مشاهده شد، به طوری که نسبت به نمونه شاهد $1/5$ برابر افزایش نشان داد.

قطر دابل چوبی بر روی لنگر اتصال در MDF چوبی در اتصال سر به سر معنی دار بوده است. به طوری که با افزایش قطر دابل چوبی ظرفیت لنگر خمشی افزایش داشت و هر یک از سه تیمار (D_1 , D_2 , D_3) با توجه به گروه بندی



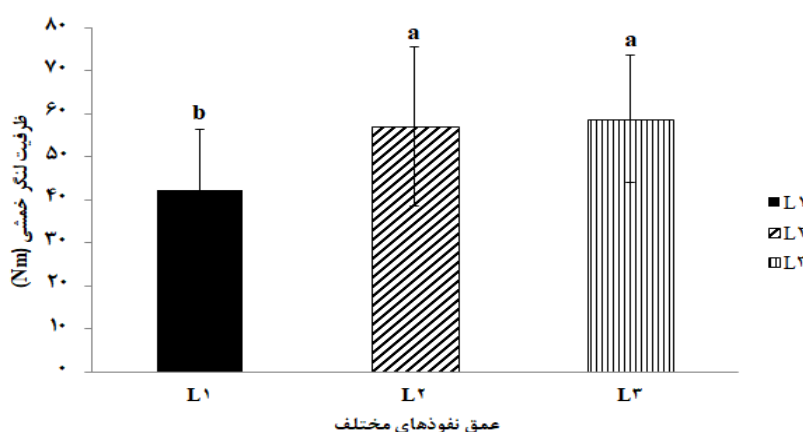
شکل ۳- نمودار اثر مستقل نانوفیبر کربن بر روی ظرفیت لنگر خمشی تحت بارگذاری کششی



شکل ۴- نمودار اثر مستقل قطر دابل چوبی بر روی ظرفیت لنگر خمشی تحت بارگذاری کششی

سطح افزایش داشته است (شکل ۵). همچنین با افزایش عمق نفوذ از L_1 به L_3 ظرفیت لنگر خمشی افزایش یافت، فقط تأثیرگذاری عمق نفوذ بر روی ظرفیت لنگر خمشی با تغییر آن از L_2 به L_3 آنقدر زیاد نبوده است که معنی دار باشد، به همین دلیل هر دو تیمار در گروه بندی دانکن در گروه a قرار گرفته‌اند. بیشترین ظرفیت لنگر خمشی مربوط به عمق نفوذ L_3 و $1/3$ برابر نسبت به عمق نفوذ L_1 افزایش داشت.

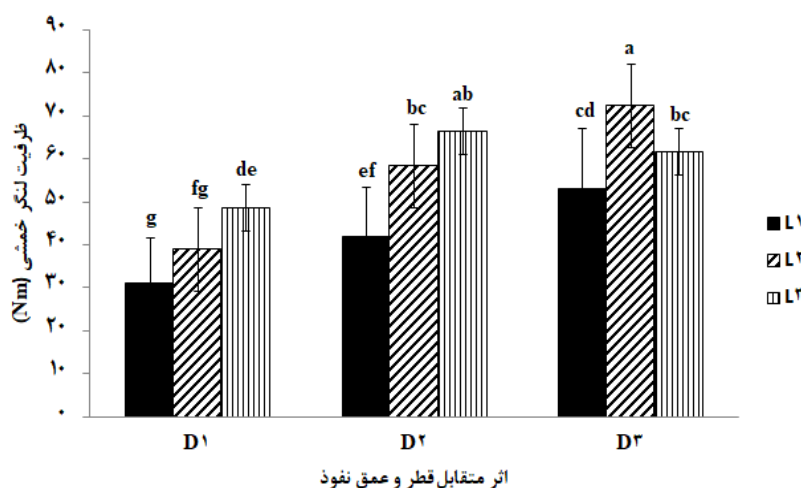
ظرفیت لنگر خمشی تحت تأثیر اثر مستقل عمق نفوذ دابل چوبی بررسی نتایج ظرفیت لنگر خمشی حاصل از بارگذاری کششی بر روی نمونه‌های اتصال با توجه به جدول نتایج آماری ۶ حکایت از معنی داری تأثیر اثر مستقل متغیر عمق نفوذ دابل چوبی بر روی اتصال چسبی ایجاد شده با چسب پلی وینیل استات و قطعات MDF دارد. به طوری که مقاومت لنگر مانند دو اثر مستقل نانوفیبر کربن و قطر دابل چوبی با تغییر



شکل ۵- نمودار اثر مستقل عمق نفوذ دوبل چوبی بر روی ظرفیت لنگر خمشی تحت بارگذاری کششی

نفوذ آن بر روی ظرفیت لنگر خمشی معنی دار می‌باشد، به‌طوریکه با افزایش قطر و عمق نفوذ مقاومت لنگر خمشی افزایش یافت. با این استثنا که در دوبل چوبی با قطر ۱۰ میلی‌متر و عمق نفوذ (L^۳=۴D) مقاومت لنگر به جای افزایش کاهش داشت، درواقع افزایش قطر و عمق نفوذ تأثیر مثبت بر روی مقاومت لنگر داشت.

تأثیر متقابل قطر دوبل چوبی و طول نفوذ بر روی ظرفیت لنگر خمشی
شکل ۶ تغییرات ظرفیت لنگر خمشی تحت تأثیر اثر متقابل قطر دوبل چوبی نمونه‌های آزمون‌ی اتصال با سه قطر متفاوت ۸،۶ و ۱۰ میلی‌متر دوبل چوبی و سه سطح عمق نفوذ L^۱، L^۲ و L^۳ را نشان می‌دهد. با توجه به جدول تجزیه واریانس ۶ تأثیر تغییرات قطر دوبل چوبی و عمق



شکل ۶- تأثیر متقابل قطر دوبل چوبی و عمق نفوذ آن بر روی ظرفیت لنگر خمشی

داده‌های ۵ حکایت از بالاتر بودن استحکام اتصال نمونه‌های ساخته‌شده با ۰/۴٪ وزنی نانوفیبر کربن نسبت به نمونه‌های

مقایسه و بررسی میانگین ظرفیت لنگر خمشی تمام نمونه‌های آزمون‌ی ساخته‌شده با یکدیگر با توجه به جدول

تقویت ماده زمینه‌ای و همچنین سفت‌کنندگی و مقاومت در برابر تغییر ماده زمینه‌ای پلیمر به شکل مطلوبی می‌شود. به‌طور کلی از آنجاکه انتقال نیرو یا تنش از طریق فصل مشترک ماده نانو و رزین انجام می‌شود با توجه به توزیع مناسب فیبرهای کربن در اثر عامل شدن و ایجاد گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن (کربوکسیلیک، الکلی، نیترو، گروه کششی استری) و قرار گرفتن آنها در جهات ترجیحی سبب ایجاد فصل مشترک و تعامل بین صفحه‌ای مناسب بین زنجیره‌های ماتریس پلی وینیل استات شده است که مانند پل عمل کرده و انتقال تنش را از چسب به الیاف نانوفیبر کربن به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد. این عوامل باعث تقویت عناصر اتصال بین چسب و سطح چوب شده، در نتیجه خواص مکانیکی اتصال از جمله ظرفیت لنگر خمشی بهبود می‌یابد، به‌طوری‌که در پژوهش‌های مشابه با رزین‌های دیگر که توسط Feng و همکاران (۲۰۱۴) و Zhu و همکاران (۲۰۱۰) انجام شده به چنین نتایجی رسیده‌اند.

مطابق نتایج تحقیق Barick و Tripathy در زمینه تأثیر نانوفیبر کربن بر روی مواد پلیمری ترموپلاستیک، افزایش بیشتر استحکام اتصالات با افزودن ۰/۴ درصد وزنی نانوفیبر کربن اصلاح‌شده نسبت به ۱/۵ درصد وزنی می‌تواند شاخص مناسبی برای به نمایش گذاشتن اتصالات عرضی بهتر با ماتریس پلی وینیل استات از طریق پراکنش یکنواخت نانو فیبرهای کربن در چسب مذکور باشد که در نتیجه بر روی انتقال تنش تأثیرگذار است. درحالی‌که در مقدار بالاتر (۱/۵ درصد) با توجه به نقش تعیین‌کننده پراکنش نانو ذرات بر روی خواص نهایی چسب، پراکنش مناسب انجام نشده و نانو فیبر کربن در محل‌های بدون اتصال باقی‌مانده، در نتیجه در ماتریس PVAc کلوخه شده و به‌صورت مراکز تجمع تنش عمل کرده، بنابراین در اثر نیروی وارده، ترک افزایش‌یافته و از استحکام اتصال کاسته می‌شود و نمی‌توان تقویت خواص مورد نظر را انتظار داشت.

افزایش قطر دوبل چوبی از ۶ به ۸ و ۱۰ میلی‌متر و افزایش عمق نفوذ از L۱ به L۲ و L۳ تأثیر مثبت بر روی ظرفیت لنگر خمشی زیر بارگذاری کششی داشته است.

شاهد و حتی نمونه‌های ۱/۵٪ نانوفیبر کربن دارد. به‌طوری‌که لنگر خمشی نمونه‌ها با چسب پلی وینیل استات تقویت‌شده با ۰/۴ درصد وزنی نانو فیبر کربن M و دوبل چوبی با قطرهای ۶ و ۸ میلی‌متر و عمق نفوذ L۳ و دوبل چوبی قطر ۱۰ میلی‌متر با عمق نفوذ L۲ به ترتیب ۱/۷، ۱/۵ و ۱/۴ برابر زیر بارگذاری کششی نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش داشتند. با افزایش عمق نفوذ دوبل چوبی قطر ۱۰ میلی‌متر به L۳ ظرفیت لنگر خمشی نسبت به عمق نفوذ L۲ افزایش نیافت. به‌طور کلی تمام متغیرها (نانو ذرات، قطر دوبل چوبی، عمق نفوذ) بر روی مقاومت اتصال نمونه‌های ساخته‌شده تحت بارگذاری کششی تأثیر معنی‌دار داشت و سطح ۰/۴ درصد نانوفیبر M، سطح D۳ قطر دوبل چوبی و عمق نفوذ با سطح L۳ بهترین تیمارها از نظر تأثیر بر روی استحکام اتصالات به حساب می‌آیند.

بحث

با توجه به نتایج فوق، افزودن نانو فیبر کربن اصلاح‌شده (M) به چسب پلی وینیل استات بر روی اتصالات چسبی ساخته‌شده تأثیرگذار بوده است. به‌طوری‌که بیشترین ظرفیت لنگر خمشی مربوط به مقدار بارگذاری با ۰/۴ درصد وزنی نانو فیبر کربن برابر (Nm) ۶۰/۶۹ و (Nm) ۸۶/۱۱ به ترتیب برای دو قطر ۶ و ۸ میلی‌متر چوبی با عمق نفوذ L۳ و (Nm) ۸۹/۵۹ برای دو قطر ۱۰ میلی‌متر و عمق نفوذ L۲ زیر بارگذاری کششی در مقایسه با نمونه‌های شاهد خود با ظرفیت لنگر خمشی (Nm) ۳۴/۹۶، (Nm) ۵۴/۰۴ و (Nm) ۶۱/۹۴ افزایش داشتند. از این رو داده‌های مذکور معنی‌دار بودن تأثیر نانو فیبر کربن بر روی استحکام اتصالات نمونه‌ها را تأیید می‌کند. با توجه به یافته‌های این تحقیق و نتایج محققان دیگر، در تحلیل تأثیرگذاری نانو فیبر کربن بر روی ظرفیت لنگر خمشی نمونه‌های آزمونی زیر بارگذاری کششی به نظر می‌رسد نانو فیبر کربن اصلاح‌شده باعث افزایش مقاومت خط چسب می‌گردد تا حدی که مقاومت آن نسبت به مقاومت چوب یا MDF افزایش می‌یابد. همچنین نانوفیبر کربن به دلیل داشتن استحکام کششی بالا سبب

- Journal, Vol.52, No.9, p66-74.
- Feng, L., Xie, N. and Zhong, J., 2014. Carbon nanofibers and their composites: a review of synthesizing, properties and applications. *Materials*, 7(5), pp.3919-3945.
 - Gong, G., Pyo, J., Mathew, A.P. and Oksman, K., 2011. Tensile behavior, morphology and viscoelastic analysis of cellulose nanofiber-reinforced (CNF) polyvinyl acetate (PVAc). *Composites part A: applied science and manufacturing*, 42(9), pp.1275-1282
 - Huuml, H., 2010. Strength properties of L-profiled furniture joints constructed with laminated wooden panels. *Scientific Research and Essays*, 5(6), pp.545-550.
 - Izadi, N., Rashidi, A., Borghei, M., Karimzadeh, R. and Tofigh, A., 2012. Synthesis of carbon nanofibres over nanoporous Ni-MgO catalyst: influence of the bimetallic Ni-(Cu, Co, Mo) MgO catalysts. *Journal of Experimental Nanoscience*, 7(2), pp.160-173.
 - Jahan Latibari, A., Ghofrani, M., Noori, H. 2005. Investigation the holding strength of dowel joint constructed of Particleboard. *Iranian Journal of Islamic Azad University 8- Agricultural Sciences*. 11(1): 135-148.
 - Kaboorani, A. and Riedl, B., 2011. Effects of adding nano-clay on performance of polyvinyl acetate (PVA) as a wood adhesive. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(8), pp.1031-1039.
 - Kaboorani, A., Riedl, B., Blanchet, P., Fellin, M., Hosseinaei, O. and Wang, S., 2012. Nanocrystalline cellulose (NCC): A renewable nano-material for polyvinyl acetate (PVA) adhesive. *European Polymer Journal*, 48(11), pp.1829-1837.
 - Khan, U., May, P., Porwal, H., Nawaz, K. and Coleman, J.N., 2013. Improved adhesive strength and toughness of polyvinyl acetate glue on addition of small quantities of graphene. *ACS applied materials & interfaces*, 5(4), pp.1423-1428.
 - Mittal, G., Dhand, V., Rhee, K.Y., Park, S.J. and Lee, W.R., 2015. A review on carbon nanotubes and graphene as fillers in reinforced polymer nanocomposites. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, pp.11-25.
 - Norhakim, N., Ahmad, S.H., Chia, C.H. and Huang, N.M., 2014. Mechanical and thermal properties of graphene oxide filled epoxy nanocomposites. *Sains Malaysiana*, 43(4), pp.603-609.
 - Zhang J, Eckelman CA (1993) The bending moment resistance of single dowel corner joints in case construction. *For Prod J* 43:19-24
 - Rammer, D.R., 1999. Parallel-to-grain dowel-bearing strength of two Guatemalan hardwoods. *Forest*

به طوری که با افزایش قطر دوپل چوبی و عمق نفوذ ظرفیت لنگر خمشی نیز افزایش داشته است. فقط با یک استثنا که در دوپل چوبی با قطر ۱۰ با افزایش عمق نفوذ از L۲ به L۳ ظرفیت لنگر خمشی کاهش یافت. دلیل آن این می تواند باشد که با افزایش قطر دوپل، فاصله لبه سوراخ دوپل با لبه سطح عضو کمتر شده و این امر باعث کاهش سطح خالص تحمل بار می شود، در نتیجه ظرفیت تحمل بار اعضاء کاهش یافته و شکست زودرس در اعضاء اتصال در هنگام بارگذاری، حتی در هنگام مونتاژ قطعات اتصال به کمک چسب مخلوط شده با نانو رخ می دهد. تحلیل افزایش ظرفیت لنگر خمشی با افزایش قطر و عمق نفوذ به این صورت است که با افزایش قطر، سطح تماس دوپل چوبی با MDF و چسب افزایش یافته که این سبب افزایش ظرفیت لنگر خمشی می گردد. همچنین افزایش قطر دوپل باعث کاهش گسیختگی در خط چسب می گردد (Jahan Latibari *et al.*, 2005; Ramer, 1999). افزایش عمق نفوذ دوپل چوبی نیز باعث وارد شدن سطح آزاد بیشتری از آن در منطقه اتصال شده، در نتیجه مقاومت اتصال افزایش می یابد که نتایج تحقیقات Jahan Latibari و همکاران (۲۰۰۵) و Ekelman و همکاران (۲۰۰۲) چنین موضوعی را تأیید می کند.

منابع مورد استفاده

- Atar, M. and Özçi, A., 2008. The effects of screw and back panels on the strength of corner joints in case furniture. *Materials & Design*, 29(2), pp.519-525.
- Bahmani, M., Ebrahimi, G., Fathi, L. 2009. Predicting of Withdrawal Strength With Dowel Joint in Medium Density Fiber (MDF) By mathematic model. *Iranian Journal of wood and paper Science Research*. 24(1): 117-124.
- Barick, A.K. and Tripathy, D.K., 2010. Effect of nanofiber on material properties of vapor-grown carbon nanofiber reinforced thermoplastic polyurethane (TPU/CNF) nanocomposites prepared by melt compounding. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(10), pp.1471-1482.
- Eckelman A., Edril, Z., Zhang J., 2002. "Withdrawal and bending strength of dowel joints construction of plywood and oriented strandboard". *Forest Products*

- resistance of polyvinyl acetate emulsion. Nianjie, 12(4), pp.11-2.
- Zhou, Y., Pervin, F., Jeelani, S. and Mallick, P.K., 2008. Improvement in mechanical properties of carbon fabric-epoxy composite using carbon nanofibers. *Journal of materials processing technology*, 198(1-3), pp.445-453.
 - Zhu, J., Wei, S., Ryu, J., Budhathoki, M., Liang, G. and Guo, Z., 2010. In situ stabilized carbon nanofiber (CNF) reinforced epoxy nanocomposites. *Journal of Materials Chemistry*, 20(23), pp.4937-4948.
 - products journal, 49, pp.77-87.
 - Zhang, J.L. and Eckelman, C.A., 1993. The bending moment resistance of single-dowel corner joints in case construction. *Forest Products Journal*, 43(6), p.19.
 - Zhang, Y., Zhang, J., Shi, J., Toghiani, H., Xue, Y. and Pittman Jr, C.U., 2009. Flexural properties and micromorphologies of wood flour/carbon nanofiber/maleated polypropylene/polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(6-7), pp.948-953.
 - Zhou, H., 1991. Research on the improvement of water

The effect of carbon nanofiber (CNF) reinforcement of polyvinyl acetate adhesive (PVAc) on the bending moment capacity of the corner joint of the furniture

B. A. Keshtegar¹, M. Madhoushi^{2*}, A. M. Rashidi³ and M. Mashkour⁴

1- Ph.D. Student, wood and paper Science and Technolog, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2*-Corresponding Author, Associate Prof, wood and paper Science and Technolog, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, Email: madhoushi@gau.ac.ir

3-Associate Prof, Nanotechnology Research institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

4-Assistant Prof, wood and paper Science and Technolog, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: Feb., 2019

Accepted: June, 2019

Abstract

In this research, the effect of Polyvinyl acetate (PVAc) adhesive modified by carbon nanofibers (CNF) reinforcement were studied using three levels (0%, 0.4%, 1.5%) of carbon nanofibers on the strength properties of joints commonly used in the furniture industry. Modified carbon nanofibers were used as chemically modified surface to improve the dispersion in polymer matrix. The test specimens were made using cut out medium density fiber board (MDF) pieces with required dimensions and dowel wooden with 6, 8 and 10 mm in diameter, and penetration depth at three levels using polyvinyl acetate adhesive reinforced with modified carbon modified nanofiber. Totally, 27 treatments and three replication were used. The evaluation of the bending moment capacity of test specimens made with freshly formulated adhesive and the effect of other variables was performed on the joints made under tensile loading at a speed of 3 mm/min. The results showed that increasing the percentage of carbon nanofibers, the diameter of the wooden dowel and the penetration depth and the moment capacity compared to the control samples was increased by 1.6, 1.5 and 1.3 times, respectively. The 0.4% w/w carbon nanofibers, 10 mm diameter and L3 wooden dowel penetration depth had the greatest effect on the strength of the joints.

Keywords: Modified carbon nanofibre, polyvinyl acetate, dowel wooden, joint, medium density fiberboard, surface modification.