مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۸ شماره ۲، صفحه ۱۴۰-۱۲۸ (۱۴۰۲)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijwpr.2023.361007.1743
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350913.1402.38.2.4.8

اصلاح و بهبود ویژگی‌های چسب پلی وینیل‌استات با استفاده از نانو سیلیکا

محمد نجفیان اشرفی[۱*]، پیام مرادپور[۲]، احمد جهان لتیباری[۳] و حمیدرضا عدالت[۴]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،
پست‌الکترونیک: najafiana@yahoo.com

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، کرج، ایران

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

تاریخ دریافت: دی ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۴۰۱

چکیده

چسب پلی‌وینیل استات (PVA_C) یکی از مهمترین چسب‌ها در صنعت چوب و مبلمان است که مزایای بسیاری مانند هزینه کم، دوست‌دار محیط‌زیست و غیر سمی بودن دارد. باوجوداین، معایبی مانند مقاومت کم در برابر آب و استحکام ضعیف اتصال با این چسب را می‌توان اشاره کرد. در این مطالعه اثر افزودن نانو سیلیکا (NS) بر روی خواص چسب پلی وینیل استات PVA_C بررسی شد. فرمولاسیون چسب با محتویات مختلف NS به میزان (۲، ۳ و ۴٪) به ماتریس PVA_C اضافه شد. ساختار نمونه‌های چسب تهیه‌شده توسط FT-IR بررسی گردید. از چوب گونه افرا شیردار (Acer cappadocicum) برای ساخت اتصالات برش استفاده شد. از دو استاندارد ASTM D882 و ASTM D905 به ترتیب برای انجام آزمون‌های کششی و برشی استفاده گردید. نتایج نشان داد که با افزودن NS به چسب PVA_C، مقاومت کششی فیلم‌ها افزایش یافت. برای نمونه، مقاومت به کشش فیلم‌های ساخته شده با ۴ درصد NS، حدود ۳۰ درصد افزایش پیدا کرد. به علاوه، آزمایش‌های برش نشان داد که NS تا میزان مصرف ۳ درصد، می‌تواند استحکام پیوند PVA_C را بهبود بخشد. نتایج ویسکوزیته نشان داد که با افزایش وزنی NS تا سطح ۳ درصد به چسب PVA_C، ویسکوزیته افزایش و پس‌ازآن کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: افرا، نانوسیلیکا، پلی‌وینیل استات، مقاومت کششی، مقاومت برش

مقدمه

اتصال چوب یک مسئله کلیدی در تولید محصولات چوبی متعدد است. چسب‌ها، به‌ویژه چسب‌های چوب، نقش کلیدی در تولید محصولات و ملزومات مختلف چوبی، مانند مبلمان و دکوراسیون داخلی دارند (Addis *et al.*, 2020; Tran *et al.*, 2020). چسب‌های چوب توسط پلیمرهای مختلفی مانند پلی‌اورتان، کیتوزان، لیگنین، نشاسته، اپوکسی، فنل فرمالدئید و PVA_C آماده می‌شوند (Daneshvar *et al.*, 2019). از سوی دیگر، چسب‌ها بخشی از کل هزینه مبلمان چوبی را نیز تشکیل می‌دهند (Clinton and Van der Merwe, 2006; Hicks, 2005). بنابراین استفاده از چسب مؤثر در تولید مبلمان حائز اهمیت است. به علاوه اینکه چسب‌های مورد استفاده نقش مهمی در تأمین استحکام اتصالات دارند (Abdolzadeh *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2015). در این

میان، چسب سفید نجاری یکی از مهمترین چسب‌های مورد استفاده در صنعت صنایع چوب است. این چسب مزایای زیادی مانند هزینه کم، دوستدار محیط‌زیست و غیر سمی بودن دارد. باوجوداین، PVA_Cها دارای معایبی انکارناپذیر مانند مقاومت کم در برابر آب و رطوبت، عملکرد ضعیف در دمای بالا و مقاومت کم در برابر بیشتر حلال‌ها هستند. در این میان، محققان تحقیقات مختلفی را به‌منظور بهبود مقاومت‌های این چسب انجام داده‌اند.

امروزه، به دنبال توسعه فناوری نانو و تولید نانو ذرات، مقاومت در برابر آب و حرارت PVA_C را می‌توان با استفاده از درصد پایین نانو ذرات بهبود بخشید که در منابع مختلف گزارش شده است (Peruzzo *et al.*, 2014). در این راستا، افزودن پرکننده‌هایی مانند الیاف کربن، مخلوط الیاف پلیمری، نانو رس، سیلیکا و نانو ذرات معدنی به‌عنوان مواد تجدیدپذیر به‌عنوان افزودنی‌هایی برای اصلاح چسب‌های چوب مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. همچنین از ذرات نانوکریستال سلولز به‌عنوان تقویت‌کننده چسب، برای افزایش مقاومت به شکست، سختی و مدول‌الاستیسیته استفاده شده است (Kaboorani and Riedl, 2012). در تحقیقی دیگر، محققان اقدام به اصلاح چسب PVA_C با استفاده از نانوفیبریل سلولز (NFC) سنتز شده به روش هیدرولیز اسیدی کرده و مقاومت برشی و ویسکوزیته چسب‌ها را مورد بررسی قرار دادند. غلظت نانو سلولزهای مورد استفاده ۰/۵ و ۱ درصد وزنی چسب‌ها بود. آنان گزارش کردند که مقاومت برشی در گونه‌های مورد استفاده افزایش یافت. به علاوه، با افزایش سهم وزنی NFCها در چسب‌ها، ویسکوزیته کاهش یافت (Dos Santos *et al.*, 2013). در تحقیقی دیگر، محققان به مطالعه و بررسی استحکام برشی چوب تیمارحرارتی شده سه گونه (راش، صنوبر و نراد) متصل شده با چسب PVA_C تقویت شده توسط نانو ولاستونیت (NW) پرداختند (Taghiyari *et al.*, 2020). مقاومت برشی به‌طور قابل‌توجهی به دانسیته نمونه‌ها بستگی داشت. آنان گزارش کردند که با افزودن NW به چسب PVA_C، منجر به بهبود مقاومت برشی برای نمونه‌های تیمار نشده در هر سه گونه شد. این اثر مثبت را می‌توان تا حدی به تشکیل پیوند بین ترکیبات سلول چوب و NW نسبت داد.

Jiang و همکارانش (۲۰۱۸) ضمن تهیه سلولز نانوفیبریل (CNF)، اقدام به اصلاح PVA_C و چسب نشاسته کرده که برای ارزیابی عملکرد آنها در اتصال چوب صنوبر نروژی استفاده شد. اتصالات تهیه و با چسب‌های PVA_C از ۰ تا ۰/۶۴ درصد وزنی CNF و چسب نشاسته حاوی ۰ تا ۱/۰۷ درصد وزنی CNF مورد بررسی و آزمایش قرار گرفتند. همچنین سوسپانسیون‌های CNF با سه غلظت (۰/۶۴، ۰/۹۶ و ۱/۲۸ درصد) مقایسه شدند. نتایج نشان داد که مقدار بهینه ۰/۴۸ سوسپانسیون CNF به PVA_C، در مقایسه با نمونه‌های شاهد PVA_C (بدون حضور CNF)، باعث افزایش قدرت اتصال تا ۷۴/۵ درصد شد.

Chaabouni و Boufi (۲۰۱۷) به بررسی اثر افزودن نانو فیبریل‌های سلولزی (CNFs) بر روی خواص چسب PVA_C پرداختند (Chaabouni and Boufi, 2017). چسب با محتویات مختلف CNFs از ۱ تا ۱۰ درصد وزنی با مخلوط کردن به صورت ساده تهیه شد. نتایج نشان داد که ویسکوزیته چسب با افزودن CNFها افزایش یافت که به ژل بودن CNFsها نسبت داده شد. آنان گزارش کردند که با افزایش سهم وزنی CNFsها به ماتریس چسب، مقاومت برشی اتصالات افزایش یافت. به‌عبارت‌دیگر، با افزودن ۵ و ۱۰ درصد وزنی CNFsها به چسب، استحکام برشی به ترتیب ۱/۶ و ۲/۲ برابر نسبت به چسب بدون حضور CNFsها افزایش یافت. Aydemir و همکارانش (2016) به مطالعه اثر افزودن نانوفیبریل‌های سلولزی (CNF) و نانو خاک رس (NC) بر روی چسب PVA_C پرداختند. میزان مصرف CNF و NC به چسب PVA_C ۱، ۲ و ۴ درصد وزنی بود. سپس به بررسی مقاومت اتصال برشی بر روی دو گونه صنوبر و کاج پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش سهم وزنی CNF تا ۲ درصد در چسب PVA_C، مقاومت برشی در هر دو گونه چوبی افزایش یافت. به علاوه، با افزایش سهم وزنی NC به PVA_C از ۱ تا ۴ درصد وزنی، مقاومت برشی در هر دو گونه چوبی افزایش یافت. Bardak و همکاران (2017) به بررسی کشش و استحکام خمشی اتصالات مبلمان با چسب‌های پلی‌وینیل استات پر شده با نانو TiO2 و Nano-SiO2 پرداختند. اتصالات از سه ماده چوب بلوط، چوب

راش و تخته چندلایه ساخته شده با روکش راش انتخاب و بررسی شدند. در چسب‌های پلی‌وینیل استات به میزان ۱، ۲ و ۴ درصد از نانوهای بیان شده اضافه شد. نتایج نشان داد که مقاومت خمشی و کششی در چوب بلوط در ۲ درصد پرکننده با نانو SiO2، بیشترین افزایش را داشته است. همچنین نتایج حکایت از افزایش مقاومت خمشی و کششی در کلیه چوب‌ها در ۱ و ۲ درصد پرکننده داشت.

باوجوداینکه برخی محققان اقدام به اصلاح چسب PVA_C توسط مواد افزودنی کرده‌اند، اما هنوز هیچ تحقیقی مبنی بر استفاده NS به‌عنوان فاز تقویت‌کننده در چسب PVA_C گزارش نشده است. ازاین‌رو هدف و نوآوری این تحقیق، بررسی مطالعه اثر NS به چسب PVA_C برای افزایش مقاومت کشش فیلم‌ها و مقاومت برشی اتصالات چوب می‌باشد. با توجه به اینکه نانو سیلیکا یک ماده ارزان‌قیمت است، با درصد مقدار کمی از آن می‌توان مقاومت کشش فیلم‌های تهیه شده و مقاومت اتصال برشی چوب‌ها را افزایش داد.

مواد و روش‌ها

برای این منظور، از سه الوار افرای شیردار به ابعاد ۵ × ۲۰ × ۲۰۰ سانتی‌متر (ضخامت، عرض و طول) برای ساخت اتصالات برشی استفاده شد. چسب پلی‌وینیل استات H100 از شرکت کیمیدار و نانوسیلیکا کروی شکل با اندازه ذرات (۱۰-۲۶nm) از شرکت استاتیس خریداری و استفاده گردید. مشخصات فیزیکی این دو ماده در جدول ۱ بیان شده است.

جدول ۱- مشخصه‌های چسب PVA_C و نانو سیلیکا

Table1. Characteristics of PVA_C adhesive and Nano silica

ویژگی **Property**	واحد **unit**	مقدار **Content**	
		نانو سیلیکا **NS**	پلی وینیل استات **PVA_C**
دانسیته density	گرم بر سانتی‌متر مکعب g/cm^3	1.16	1.15
ویسکوزیته viscosity	سانتی پواز cp	–	22500
درصد مواد جامد اولیه The percentage of primary solids	درصد	25.8	50.7
PH	–	9.2	3.68

تهیه چسب با نانو سیلیکا

سوسپانسیون نانو سیلیکا در سه غلظت ۳،۲ و ۴ درصد وزنی به چسب پلی‌وینیل استات اضافه شد. برای آماده‌سازی چسب‌ها بدین شرح انجام شد: ابتدا ۱۰۰ گرم چسب پلی وینیل استات با درصد جامدات ۳۰ درصد با یک همزن برقی دیجیتال IKARW20 ساخت کشور آلمان با ۲۰۰۰ دور در دقیقه هم‌زده شد. سپس نسبتی از ژل نانو سیلیکا ۱۰ درصد (۶ گرم نانو سیلیکا برای غلظت ۲ درصد، ۹ گرم نانو سیلیکا برای غلظت ۳ درصد و ۱۲ گرم نانو سیلیکا برای غلظت ۴ درصد) به آرامی با چسب پلی وینیل استات، تحت همزن دیجیتال به مدت ۱۵ دقیقه در دور ۲۰۰۰ مخلوط شد.

ویسکوزیته چسب

ویسکوزیته چسب شاهد و اصلاح شده در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد با استفاده از رئومتر مارک phsicad مدل MCR309 ساخت کشور اتریش در سه تکرار برای هر تیمار

(۱۲ نمونه) اندازه‌گیری شد.

مقاومت کشش فیلم

برای اندازه‌گیری مقاومت کشش فیلم‌ها از دستگاه SANTOM-150 ساخت شرکت سنتام با استفاده از لودسل BONJESHI با وزن ۵۰ کیلوگرم نیرو طبق استاندارد ASTM D882 استفاده شد. نمونه‌ای از فیلم آماده شده زیر آزمون کشش در شکل ۱ نشان داده شده است.

مقاومت برشی

مقاومت برشی با استفاده از استاندارد ASTM D905 انجام شد. پس از اعمال چسب بر روی نمونه چوبی درخت افرای شیردار با دانسیته ۰/۶۰۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، آزمون برش انجام شد. از دستگاه SANTOM-150 با فک ۱۵ تن و با میزان سرعت بارگذاری ۵ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. در مجموع ۶۰ آزمایش برشی (۱۵ بار در هر غلظت چسب) انجام شد. رطوبت نمونه‌ها در هنگام آزمون برشی ۱۲ درصد بود. پس از اضافه کردن چسب، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت زیر پرس قرار گرفتند. پس‌ازآن، نمونه‌ها به مدت دو هفته قبل از آزمون برشی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار گرفتند. نمونه‌ای از آزمون کشش و برشی از گونه درخت افرا در شکل ۱ نشان داده شده است.

(ب) (الف)

شکل ۱- الف) آزمون کشش فیلم، ب) آزمون اتصال برشی نمونه اتصال

Figure 1. A) Tensile strength Test of Adhesive film and B) Shear strength Test of bonded sample

طیف‌سنجی مادون قرمز

طیف مادون قرمز (FT-IR) چسب PVA_C و چسب‌های PVA_C / NS با استفاده از اسپکتروفتومتر شرکت Perkin Elmer (ساخت کشور آمریکا) در محدوده عدد موج ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

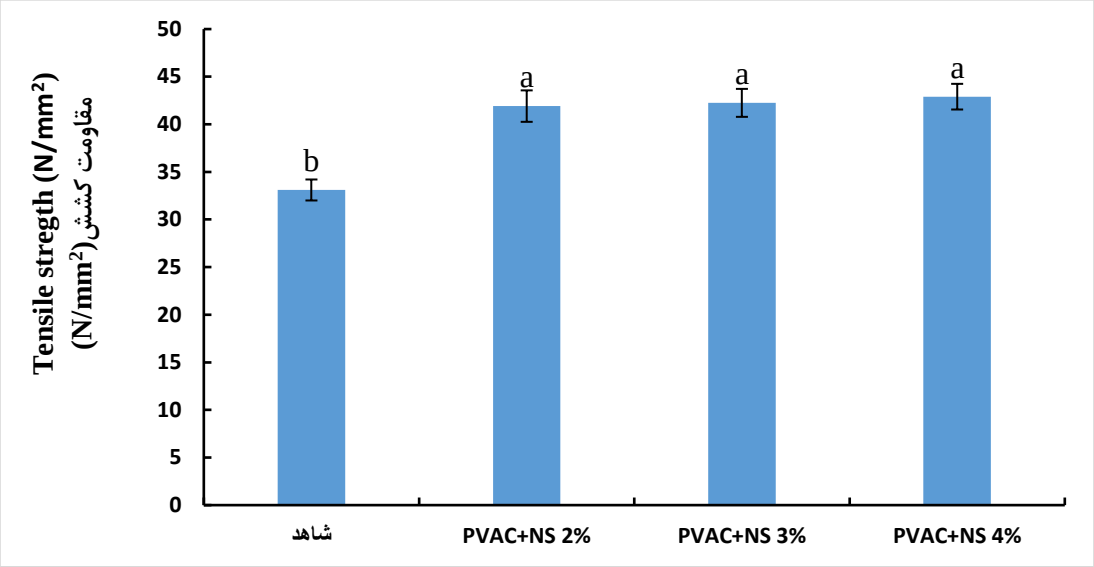
تجزیه‌وتحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن ۱۶ انجام شد، برای تجزیه‌وتحلیل نتایج از طرح پایه کاملاً تصادفی تحت آزمایش‌های فاکتوریل در سطح اطمینان ۹۵ درصد و از تکنیک دانکن به‌منظور گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج

مقاومت به کشش

شکل ۲ نتایج تأثیرات مختلف نانو سیلیکا بر روی مقاومت کششی چسب چوب را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که با افزایش میزان سهم وزنی نانو سیلیکا،

مقاومت کششی به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. برای نمونه، مقاومت کششی از ۳۳/۱ نیوتن بر میلی‌متر مربع در چسب چوب خالص به ۴۲/۹ نیوتن بر میلی‌متر مربع در چسب چوب با ۴ درصد نانوسیلیکا رسید. به علاوه، بیشترین افزایش مقاومت به کشش مربوط به تیمار نانو سیلیکا ۴ درصد بود. در این تیمار، مقاومت به کشش حدوداً ۳۰ درصد نسبت به چسب خالص افزایش داشته است.



شکل ۲- تأثیر میزان نانو سیلیکا بر مقاومت کششی فیلم چسب

Figure 2. The effect of the amount of nano silica on the tensile strength of adhesive film

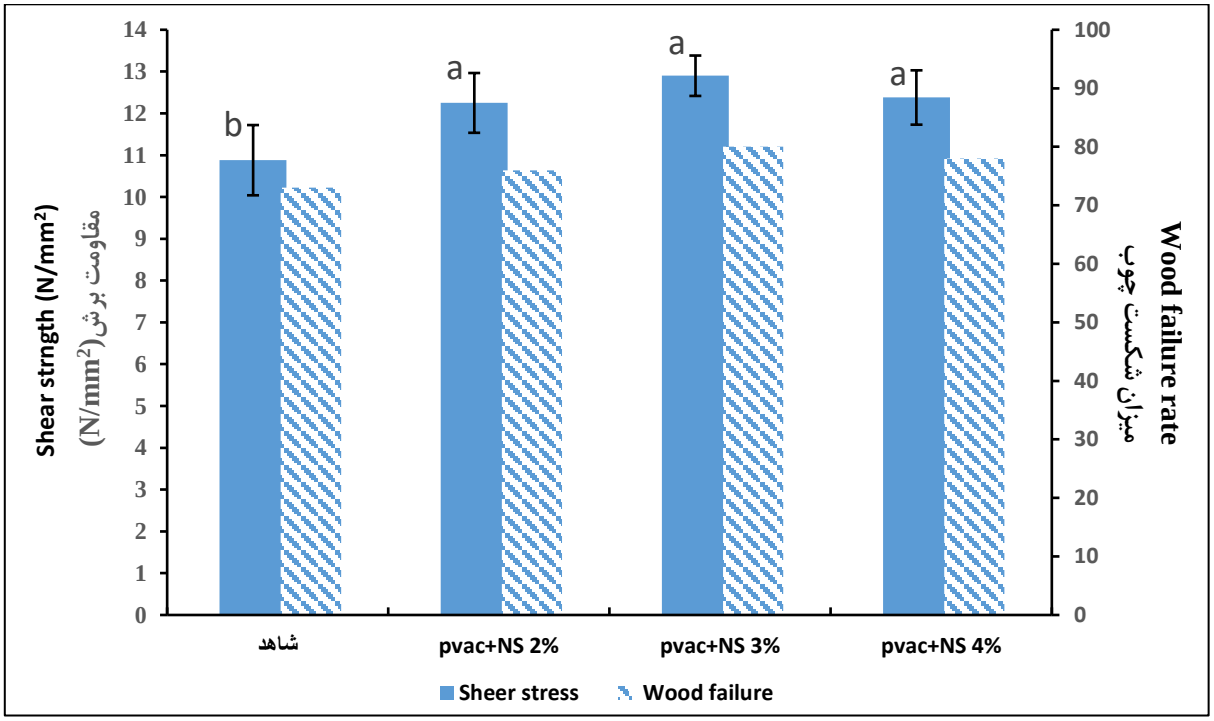
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل نانو سیلیکا بر مقاومت کششی چسب پلی وینیل استات

Table 2. Results of variance analysis of independent effect of nano silica on the tensile strength of modified poly vinyl acetate adhesive film

منبع تغییرات **Source of changes**	مجموع مربعات **Sum of square**	درجه آزادی **df**	میانگین مربعات **Mean square**	فاکتور **F**	**معنی‌داری sig**
اثر مستقل NS The independent effect NS	450.23	3	150.07	78.85	0.000

مقاومت برش و میزان درصد شکست نمونه‌ها

آزمون تجزیه واریانس نشان داد که اثر مستقل مقدار مصرف نانو سیلیکا بر مقاومت برش چوب‌ها در سطح ۹۵٪ کاملاً معنی‌دار شد. شکل ۳ نشان می‌دهد که مقاومت برش چسب چوب شاهد، کمتر از سایر تیمارها بود که مقدار آن ۱۰/۸۹ نیوتن بر میلی‌متر مربع بوده است، اما با افزایش سهم وزنی نانو سیلیکا به چسب، یک روند افزایشی داشته است. به‌طوری‌که بالاترین مقدار مقاومت برش مربوط به نانو سیلیکا ۳ درصد به میزان ۱۲/۹ نیوتن بر میلی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. نتایج درصد شکست چوب نشان داد که با افزایش سهم وزنی نانو سیلیکا به چسب، در واقع تأثیر قابل‌توجهی بر روی خط چسب دارد. برای نمونه، میزان مقاومت برش در نانو سیلیکا ۳ درصد بیشتر از نمونه‌های دیگر بود و این افزایش نسبت به نمونه شاهد حدوداً ۲۰ درصد بود.



شکل ۳- تأثیر میزان نانو سیلیکا بر مقاومت برشی اتصال و میزان شکست چوب

Figure 3. The effect of nano silica content on the wood failure and shear strength of bond

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر مستقل نانو سیلیکا بر مقاومت برشی چسب پلی وینیل استات

Table 2. Result of variance analysis of independent effect of nano silica on the Shear strength of modified poly vinyl acetate adhesive

منبع تغییرات **Source of changes**	مجموع مربعات **Sum of square**	درجه آزادی **df**	میانگین مربعات **Mean square**	فاکتور F	معنی‌داری **sig**
اثر مستقل NS The independent effect NS	17.11	3	5.70	11.77	0.000

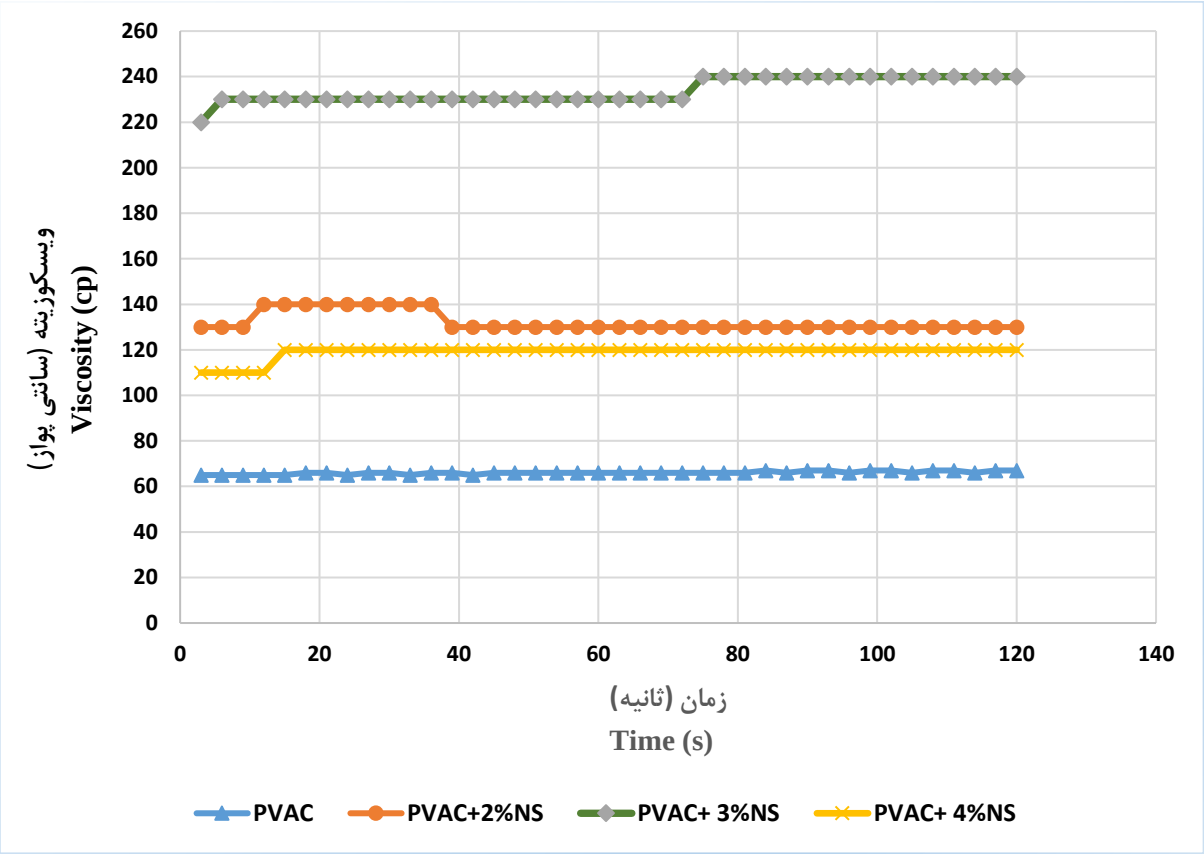
ویسکوزیته

شکل ۴ نتایج ویسکوزیته از ماتریس چسب PVA_C خالص و PVA_C+NS را نشان می‌دهد. همانطورکه مشاهده می‌شود، در زمان دو دقیقه، میزان ویسکوزیته در PVA_C خالص برابر با 66 CP به دست آمد. این روند با افزایش سهم وزنی NS تا ۳ درصد به چسب PVA_C، سبب افزایش ویسکوزیته شد که بیشترین ویسکوزیته مربوط به PVA_C+3%NS بود؛ اما با افزایش سهم وزنی بیشتر NS (۴٪)، ویسکوزیته به شدت کاهش یافت.

نتایج FT-IR

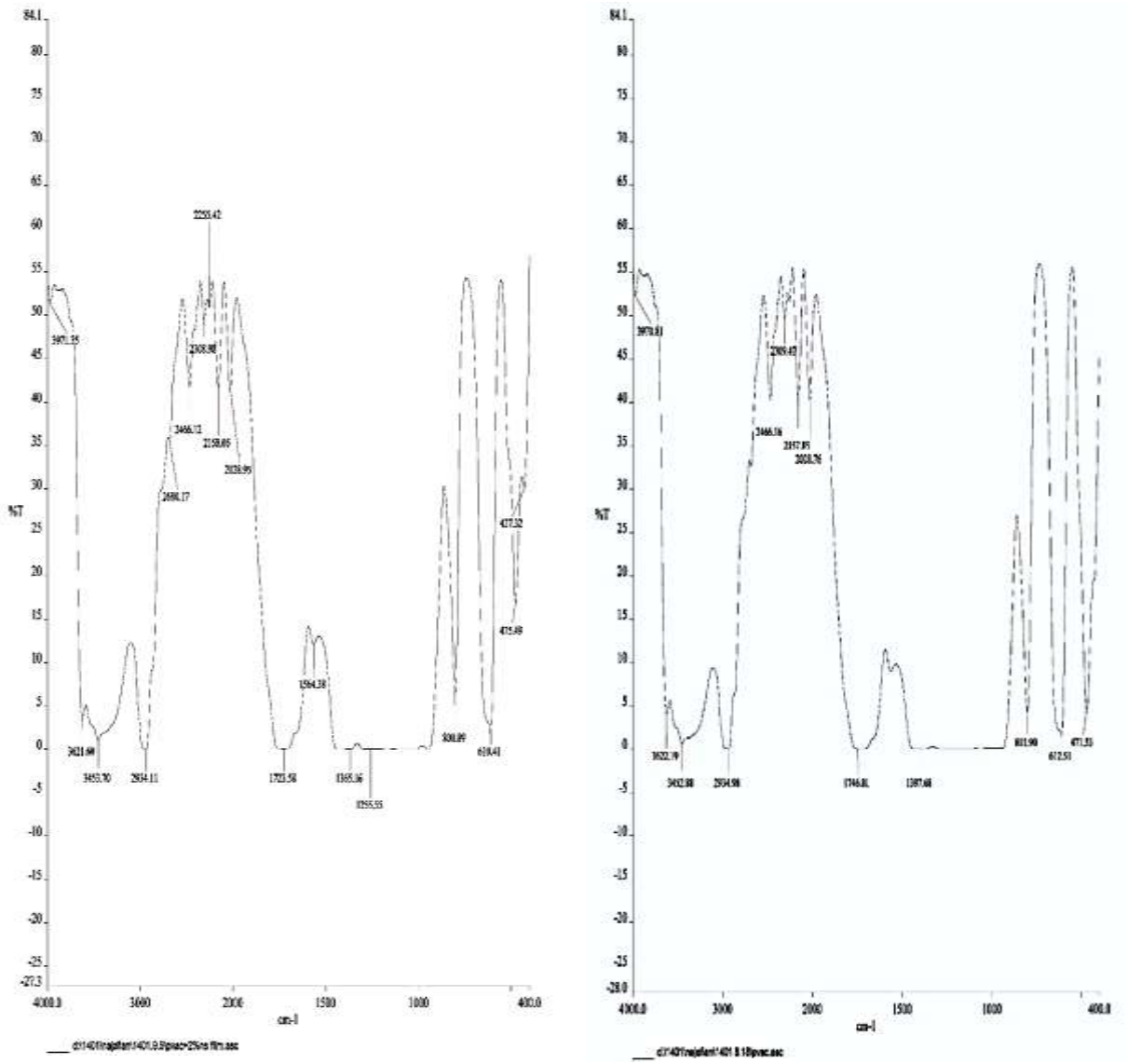
شکل‌های ۵ و ۶ نتایج طیف FT-IR نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که طیف PVAC شاهد با طیف PVAC با درصد مختلف NS تفاوت چندانی ندارد که دلیل این موضوع را می‌توان به مقدار کم NS در

چسب PVAC نسبت داد. در همه طیف‌ها به ترتیب گروه-های OH الکلی متصل در پیوند هیدروژنی و CH متصل به گروه‌های آلدهیدی و گروه‌های کروبونیل گروه‌های کربوکسیل و پیوند C=C الکنی دیده شد.



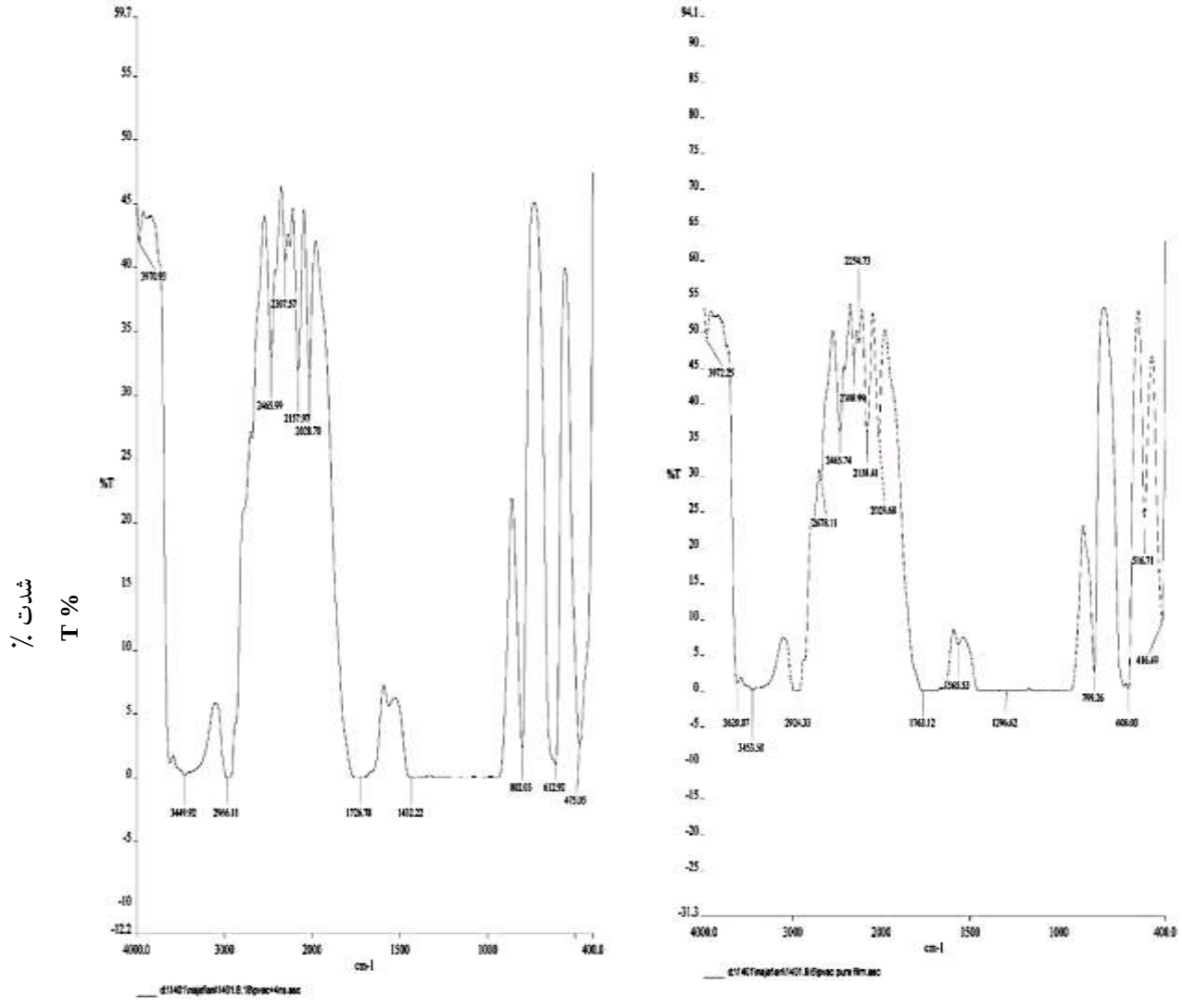
شکل ۴- رابطه بین میزان نانو سیلیکا با ویسکوزیته

Figure 4. The relationship between the amount of nana silica and viscosity



شکل ۵- طیف‌های **FT-IR** نمونه‌ها، **a**) طیف پلی وینیل استات، **b**) پلی وینیل استات+ ۲٪ نانوسیلیکا

Figure 5. FT-IR spectras a) PVA_C b) PVA_C+ 2 %NS



شکل ۶- طیف‌های FT-IR نمونه‌ها، a) پلی وینیل‌استات+ ۳٪ نانو سیلیکا، b) پلی وینیل استات+ ۴٪ نانو سیلیکا

Figure 6. a) PVAc+ 3 %NS b) PVAc+ 4 %NS

بحث

با توجه به نتایج ذکرشده، افزودن NS به چسب پلی وینیل‌استات تأثیرگذار بوده است. به‌طوری‌که بیشترین مقاومت به کشش، مربوط به مقدار بارگذاری با ۴٪ نانو سیلیکا، برابر با ۴۲/۲۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع نسبت به ۳۳/۱ نیوتن بر میلی‌متر مربع در نمونه‌های شاهد (بدون حضور نانو سیلیکا) مشاهده شد. ازاین‌رو داده‌های مذکور معنی‌دار بودن تأثیر نانو سیلیکا را بر روی استحکام کشش فیلم چسب‌ها را تأیید می‌کند. از سوی دیگر، مقاومت برشی اتصالات نیز با افزودن نانو سیلیکا افزایش یافت. تحقیقات گذشته به وضوح نشان داده است که نانو ذرات به‌طور مثبت به خواص مکانیکی پلیمرها کمک می‌کنند. انتقال تنش کارآمد بین نانو ذرات و زمینه پلیمری نقش مهمی در بهبود خواص مکانیکی پلیمر ازجمله استحکام اتصال پلیمرها دارد (Kaboorani and

Riedl, 2012; Nakamura *et al.*, 1992; Reynaud *et al.*, 2001). به‌علاوه، بسیاری از مطالعات نشان دادند که نانو ذرات سیلیکا به دلیل اندازه کوچک، انرژی سطحی بالا و پیوندهای شیمیایی غیراشباع روی سطح، تقویت‌کننده‌های مفیدی برای مواد پلیمری هستند (Sun *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2006).

از سویی دیگر، نانو ذرات سیلیکا می‌توانند به پیوندهای غیراشباع درشت مولکول‌های کوپلیمر نزدیک شوند و با الکترون‌های پیوندهای غیراشباع برهم‌کنش کنند (Friedlander, 1999). برای نمونه، Wang و همکاران (2011) به بررسی اثر افزودن نانو سیلیکا به چسب چوب مبتنی بر نشاسته پرداخته و گزارش کردند که مقاومت برشی با افزودن این نانو ذرات افزایش یافته است. آنان گزارش کردند که نانو ذرات سیلیکا پراکندگی یکنواختی در چسب چوب مبتنی بر نشاسته داشته و احتمالاً با گروه‌های هیدروکسیل پیوند خوبی برقرار می‌کند. به علاوه، محققان نیز گزارش کردند که با افزودن نانو سیلیکا به PVA_C، می‌توان سبب بهبود خواص پیوند و پایداری حرارتی چسب PVA_C شد (Bardak *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای دیگر، Moya و همکاران (2015) دریافتند که افزودن نانو خاک رس به PVA_C استحکام برشی خط چسب را در شرایط خشک و مرطوب بهبود می‌بخشد. اما مقاومت برشی با افزودن ۴٪ نانو سیلیکا به چسب، کمی کاهش یافت که به پراکندگی ناهمگن و برخی تجمعات در ماتریس چسب نسبت داده شد. در همین راستا، برخی از محققان نیز خاطرنشان کردند که با افزایش سهم وزنی نانو سیلیکا (۴٪) به چسب PVA_C، خواص مکانیکی اتصالات ساخته شده به علت پراکندگی ناهمگن کاهش یافت (Bardak *et al.*, 2017; Mirjalili *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2009). نتایج ویسکوزیته نیز نشان داد که نانو سیلیکا در سطح ۴٪، باعث نشست این ذرات در چسب و به‌طبع آن کاهش ویسکوزیته و مقاومت شد.

نتایج ویسکوزیته نشان داد که در غلظت‌های بالاتر از ۳٪ NS، ویسکوزیته کاهش یافت. زیرا با ترکیب NS به ماتریس چسب PVA_C، امکان وجود رطوبت فراهم می‌شود. نتایج این پژوهش با نتایج محققان گذشته همخوانی دارد (Chaabouni and Boufi, 2017). تغییرات رفتار چسب با افزودن NS ناشی از افزودن آب به ماتریس است، زیرا ژل NS از ۹۰ درصد آب تشکیل شده است. به همین ترتیب، نیروی برشی در آزمایش ویسکوزیته شبکه پلیمری را می‌شکند و آب محبوس شده را آزاد می‌کند، در نتیجه ویسکوزیته کاهش می‌یابد. باوجوداین، برخی محققان نیز گزارش کردند که با افزودن نانو فیبریل‌های سلولزی به چسب‌های مختلف، می‌توان باعث افزایش ویسکوزیته چسب شد (Gao *et al.*, 2012; Silvestre *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری

مواد معدنی ذکرشده به دلیل غیررسمی بودن، ارزان بودن و در دسترس بودن ازجمله موادی هستند که توسط دنیای علم مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این مطالعه به‌منظور بهبود استحکام کششی و برشی اتصالات ساخته شده از گونه افرا شیردار با افزودن مقدارهای مختلف NS به ماتریس PVA_C انجام شد.

نتایج نشان داد که با افزودن NS به چسب PVA_C در مقایسه با PVA_C خالص، مقاومت کششی را از ۳۳/۱ به ۴۲/۹ نیوتن بر میلی‌متر مربع در ۴ درصد NS افزایش داد که به انتقال تنش بهتر و اتصال بهتر با پیوندهای هیدروکسیل نسبت داده شد. از سوی دیگر، مقاومت برشی اتصالات نیز با PVA_C اصلاح شده افزایش یافت. ازاین‌رو بهترین مقاومت برشی، در حضور NS ۳ درصد مشاهده شد، بنابراین می‌توان از NS برای تهیه چسب چوب با کارایی بهتر استفاده کرد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب سپاسگزاری خود را از مسئولان محترم دانشکده مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، به‌ویژه جناب آقای دکتر حسین یوسفی که در شرایط سخت کرونا همکاری لازم را با آقای محمد نجفیان (دانشجوی دکتری صنایع چوب دانشگاه تهران) برای انجام آزمایش‌های پایان‌نامه دکتری داشته‌اند، اعلام نمایند.

منابع مورد استفاده

-Abdolzadeh, H., Ebrahimi, G., Layeghi, M. and Ghassemieh, M., 2015. Analytical and experimental studies on stress capacity with modified wood members under combined stresses. Maderas. Ciencia y tecnología 17:263-76.

-Addis, C.C., Koh, R.S. and Gordon, M.B., 2020 . Preparation and characterization of a bio-based polymeric wood adhesive derived from linseed oil. International Journal of Adhesion and Adhesives 102:102655.

-Aydemir, D., Gündüz, G., Aşık, N. and Wang, A., 2016. The Effects of Poly (vinyl acetate) Filled with Nanoclay and Cellulose Nanofibrils on Adhesion Strength of Poplar and Scots Pine Wood. Wood Industry/Drvna Industrija 67.

-Bardak, T., Tankut, A.N., Tankut, N., Aydemir, D. and Sozen, E., 2017. The bending and tension strength of furniture joints bonded with polyvinyl acetate nanocomposites. Maderas. Ciencia y tecnología 19:51-62.

-Bardak, T., Tankut, A.N., Tankut, N., Sozen, E. and Aydemir, D., 2016. The effect of nano-TiO2 and SiO2 on bonding strength and structural properties of poly (vinyl acetate) composites. Measurement 93:80-85.

-Chaabouni, O. and Boufi, S., 2017. Cellulose nanofibrils/polyvinyl acetate nanocomposite adhesives with improved mechanical properties. Carbohydrate polymers 156:64-70.

-Clinton, B.D. and Van der Merwe, A., 2006. Management accounting-approaches, techniques, and management processes. Journal of cost management 20:14.

-Daneshvar, S., Behrooz, R., Najafi, S.K. and Sadeghi, G.M.M., 2019. Characterization of polyurethane wood adhesive prepared from liquefied sawdust by ethylene carbonate. BioResources 14:796-815.

-Dos Santos, R.M., Neto, W.P.F., Silvério, H.A., Martins, D.F., Dantas, N.O. and Pasquini, D., 2013. Cellulose nanocrystals from pineapple leaf, a new approach for the reuse of this agro-waste. Industrial Crops and Products 50:707-14.

-Friedlander, S., 1999. Polymer-like behavior of inorganic nanoparticle chain aggregates. Journal of Nanoparticle Research 1:9-15.

-Gao, Q., Li, J., Shi, S.Q., Liang, K. and Zhang, X., 2012. Soybean meal-based adhesive reinforced with cellulose nano-whiskers. BioResources 7.

-Hicks, D.T., 2005. Good decisions require good models: Developing activity-based solutions that work for decision makers. Journal of cost management 19:32-40.

-Jiang, W., Tomppo, L., Pakarinen, T., Sirviö, J.A., Liimatainen, H. and Haapala, A.T., 2018 .Effect of cellulose nanofibrils on the bond strength of polyvinyl acetate and starch adhesives for wood. BioResources 13:2283-92.

-Kaboorani, A. and Riedl, B., 2012. Nano-aluminum oxide as a reinforcing material for thermoplastic adhesives. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 18:1076-81.

-Kumar, V., Sharma, C. and Gupta, S., 2015. Compression and flexural properties of finger jointed mango wood sections. Maderas. Ciencia y tecnología 17:151-60.

-Mirjalili, F., Chuah, L. and Salahi, E., 2014. Mechanical and morphological properties of polypropylene/nano α-Al2O3 composites. The Scientific World Journal 2014.

-Moya, R., Rodríguez-Zúñiga, A. and Vega-Baudrit, J., 2015. Effects of adding multiwall carbon nanotubes on performance of polyvinyl acetate and urea-formaldehyde adhesives in tropical timber species. Journal of Nanomaterials 2015.

-Nakamura, Y., Yamaguchi, M., Okubo, M. and Matsumoto, T., 1992. Effects of particle size on mechanical and impact properties of epoxy resin filled with spherical silica. Journal of applied polymer science 45:1281-89.

-Park, S.W., Kim, B.C. and Lee, D.G., 2009. Tensile strength of joints bonded with a nano-particle-reinforced adhesive. Journal of Adhesion Science and Technology 23:95-113.

-Peruzzo, P.J., Bonnefond, A., Reyes, Y ,.Fernández, M., Fare, J., Ronne, E., Paulis, M. and Leiza, J.R., 2014. Beneficial in-situ incorporation of nanoclay to waterborne PVAc/PVOH dispersion adhesives for wood applications. International Journal of Adhesion and Adhesives 48:295-302.

-Reynaud, E., Jouen, T., Gauthier, C., Vigier, G. and Varlet, J., 2001. Nanofillers in polymeric matrix: a study on silica reinforced PA6. Polymer 42:8759-68.

-Silvestre, J., Silvestre, N. and De Brito, J., 2016. Polymer nanocomposites for structural applications: Recent trends and new perspectives. Mechanics of Advanced Materials and Structures 23:1263-77.

-Sun, S., Li, C., Zhang, L., Du, H. and Burnell-Gray, J., 2006. Effects of surface modification of fumed silica on interfacial structures and mechanical properties of poly (vinyl chloride) composites. European polymer journal 42:1643-52.

-Taghiyari, H.R., Esmailpour, A., Adamopoulos, S., Zereshki, K. and Hosseinpourpia, R., 2020. Shear strength of heat-treated solid wood bonded with

polyvinyl-acetate reinforced by nanowollastonite . Wood Res 65:183-94.
-Tran, A., Mayr, M., Konnerth, J. and Gindl-Altmutter, W., 2020. Adhesive strength and micromechanics of wood bonded at low temperature. International Journal of Adhesion and Adhesives 103:102697.
-Wang, H., Li, H., Xue, B., Wang, Z., Meng, Q. and Chen, L., 2005. Solid-state composite electrolyte LiI/3-hydroxypropionitrile/SiO2 for dye-sensitized solar cells. Journal of the American chemical society 127:6394-401.
-Wang, Z., Gu, Z., Hong, Y., Cheng, L. and Li, Z., 2011. Bonding strength and water resistance of starch-based wood adhesive improved by silica nanoparticles. Carbohydrate Polymers 86:72-76.
-Yang, H., Zhang, Q., Guo, M., Wang, C., Du, R. and Fu, Q., 2006. Study on the phase structures and toughening mechanism in PP/EPDM/SiO2 ternary composites. Polymer 47:2106-15.

Modification and Improvement of the Properties of Polyvinyl Acetate Using Nano silica

M. Najafian Ashrafi[1*], P. Moradpour[2], A. Jahan Latibari[3] and H.R. Edalat[4]

1*-Corresponding Author, Ph.D. Student in Wood science and Technology, Department of Science & Industry and Paper, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: najafiana@yahoo.com
2-Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Industry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3-Professor, Department of Science and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
4-Assistant Professor, Department of Wood Engineering and Technology, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: Jan., 2023 Accepted: Feb., 2023

Abstract

Poly vinyl acetate (PVA_C) adhesive is one of the most important adhesives in wood and furniture manufacturing industry, which has many advantages such as low cost, environment friendliness and non-toxicity. However, it has some disadvantages such as low water resistance and poor boning strength. In this study, the effect of nano silica (NS) on the properties of poly vinyl acetate adhesive was investigated. The adhesive formulation with different NS contents (2, 3 and 4%) was mixed with PVA_C. The structure of the prepared adhesive samples was studied by FT-IR and XRD. In order to make joints, maple wood (*Acer cappadocicum*) was used. Two standards of D882 and ASTM D905 were used for tensile and shear measurements, respectively. Results showed that adding NS to PVAC improved the tensile strength of films. For example, the tensile strength of prepared films was increased by 30% after adding 4% of NS. Moreover, shear strength test showed that NS up to 3% can improve PVA_C bond strength. Viscosity measrements showed that increasing the weight of NS up to 3% to PVA_C glue initially decreased in the viscosity and then increased.

Keywords: Acer, nano silica, poly vinyl acetate, shear strength, tensile strength.