

استفاده از نانوفیبر سلولزی به عنوان پرکننده چسب اوره فرمالدهید در ساخت تخته لایه

چکیده

در این تحقیق، خواص فیزیکی و مکانیکی تخته لایه ساخته شده از چوب صنوبر تبریزی با چسب اوره فرمالدهید همراه با نانوفیبر سلولزی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از نانوفیبر سلولزی به عنوان ماده پرکننده در پنج سطح ۰، ۱، ۳، ۵ و ۷ درصد وزن خشک رزین استفاده شد. خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه های آزمون شامل جذب آب و واکنش پذیری ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته موازی و عمود بر الیاف لایه سطحی و مقاومت برشی در سطح اتصال اندازه گیری شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان می دهد که افزایش میزان نانوفیبر سلولزی موجب افزایش پایداری ابعادی تخته ها شده است. همچنین مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته موازی با الیاف لایه سطحی، همراه با افزایش مصرف نانوسلولز، افزایش داشته است. از سوی دیگر افزایش میزان مصرف نانوسلولز موجب افزایش مقاومت برشی در سطح اتصال نمونه ها شده است اما اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف تیمارها مشاهده نشد.

واژگان کلیدی: تخته لایه، نانوفیبر سلولزی، پرکننده، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی.

سمیرا برزعلی^۱
لعیا جمالی راد^{۲*}
فرشید فرجی^۳
سحاب حجازی^۴

^۱ کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

^۲ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

^۳ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد، ایران

^۴ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:
jamalirad@gonbad.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰

مقدمه

چسب اوره فرمالدهید به شکل گسترده ای در صنایع فرآورده های مرکب چوبی مورد استفاده قرار می گیرد که دلیل آن ناشی از عملکرد خوب رزین، واکنش پذیری بالا و قیمت پایین آن است. در نتیجه با توجه به فراوانی مصرف این رزین در صنایع فرآورده های مرکب چوبی از جمله تخته لایه در مصارف داخلی، مطالعه پیرامون بهینه سازی شرایط استفاده از این چسب، اهمیت بسیار زیادی دارد.

البته این رزین دارای معایبی از جمله مقاومت کم در مقابل رطوبت و نیز انتشار گاز فرمالدهید است. لذا به منظور غلبه کردن بر این مشکل می توان اکستندرها یا اصلاح کننده های مختلف برای کاهش اثرات نامطلوب آن جهت ساخت فرآورده های مرکب چوبی از جمله تخته خرده چوب و تخته لایه استفاده کرد. همچنین افزودن پرکننده های فیبری به چسب مایع یک فرصت بالقوه برای کاهش مقدار مصرف و افزایش مقاومت آن است [۱]. اندازه

قابلیت تجدید پذیری، ماده زیستی و زیست تخریب پذیر، فراوانی و در دسترس بودن، تنوع گسترده و هزینه پایین مواد خام، دانسیته پایین، استحکام و مدول بالا، جذب بالای صوت، سطح بسیار واکنش پذیر، سطح ویژه بالا، تبلور بالا (کریستالیت بالا) و ضریب انبساط حرارتی بسیار کم، است. اما از محدودیت های کاربرد نانوفیبر سلولزی در چسب های پلیمری می توان به ناسازگاری شیمیایی با برخی از پلیمرها، روش های پرهزینه برای تولید آن و مقاومت کم در برابر عوامل مخرب، اشاره نمود [۱۶].

Atta-obeng (۲۰۱۱) طی تحقیقی چسب فنول فرمالدهید را با میکروکریستالین سلولز^۱، در مقادیر ۰ تا ۱۰ درصد وزنی تقویت کرد و به این نتیجه رسید که چسب تقویت شده با سلولز، دمای گیرایی پایین و پایداری حرارتی بهتری نسبت به چسب فنول فرمالدهید خالص دارد و مقاومت برشی چسب با افزودن میکروکریستالین سلولز افزایش یافت [۱۵]. Gao و همکاران (۲۰۱۲) از ویسکر سلولز به منظور تقویت عملکرد چسب بر پایه آرد سویا استفاده کردند. آن ها گزارش کردند که استفاده از ویسکر سلولز، حدود ۲۰ درصد مقاومت به رطوبت خط چسب را افزایش داد [۱۷].

هدف از این پژوهش استفاده از نانوسلولز به عنوان پرکننده چسب اوره فرمالدهید و کاهش سهم آرد گندم (پرکننده متداول در ساخت تخته لایه با استفاده از چسب اوره فرمالدهید) که دارای ارزش غذایی است و مطالعه خواص فیزیکی و مکانیکی تخته لایه ساخته شده از چوب صنوبر تبریزی با این چسب است.

مواد و روش ها

لایه های مصرفی: در این تحقیق از لایه های چوب صنوبر تبریزی به ابعاد $۵۰ \times ۴۵ \times ۲$ میلی متر و از سه لایه در هر تخته استفاده شد.

چسب اوره فرمالدهید: چسب اوره فرمالدهید مورد استفاده، از شرکت پارس شیراز تهیه شده و پس از انتقال به آزمایشگاه، ویژگی های آن مورد بررسی قرار گرفت. ویژگی های چسب مورد نظر در جدول ۱ آورده شده است. مقدار خشک چسب اوره فرمالدهید مورد استفاده برای ساخت هر تخته ۱۲۰ gr/m^2 در نظر گرفته شد.

ذرات پرکننده اثر قابل توجهی بر عملکرد و کارایی رزین دارد، بنابراین کاهش اندازه ذرات راهکار مناسبی برای پرکننده ها در جهت بهبود عملکرد آن ها در رزین است [۲]. به همین دلیل طی دهه های اخیر معرفی نانوذرات، فرصت مناسبی در صنایع پلیمری به منظور دستیابی به خواص بهتر فرآورده های مرکب چوبی به دست آورده است. لذا تلاش های زیادی توسط محققین انجام شده تا بتوانند عملکرد مکانیکی اتصالات چسب را با تقویت آن توسط نانوذرات [۳، ۴، ۶] و نانو الیاف [۷، ۸، ۹، ۱۰]، بهبود دهند. به عنوان مثال افزودن این مواد به پلیمرها، هیچ گونه تأثیر منفی روی خواص پلیمر نداشته و اغلب بهبود قابل توجهی در خواص، با افزودن مقدار کمی (حدود ۱ درصد) از این مواد حاصل می شود [۱۱]. نانوذرات دارای ابعادی کوچک تر از ۱۰۰ نانومتر می باشند و به دلیل مزایایی که نسبت به ذرات با ابعاد بزرگ تر دارند امروزه مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته اند. این ذرات اغلب واکنش پذیری شیمیایی بسیار بالایی دارند و با داشتن سطح ویژه بالا نه تنها به خوبی به عنوان پرکننده عمل می کنند، بلکه با توجه به پتانسیل هایی که دارند می توانند باعث بهبود ویژگی های پلیمر شوند [۱۲].

همچنین یکی از ویژگی هایی که با استفاده از فناوری نانو افزایش می یابد، پایداری در برابر رطوبت است که در نتیجه آن باعث افزایش دوام و کاربرد فرآورده نهایی می گردد؛ زیرا در غیر این صورت باید اصلاحات ظاهری از قبیل روکش دهی با مواد شیمیایی انجام شود که اغلب با محیط زیست سازگار نبوده و حتی اثرات سمی دارند [۱۳].

در این راستا نانوسلولز با قطر کم تر از ۱۰۰ نانومتر به دلیل سطح ویژه بالا، ظرفیت عالی جهت چسبندگی، جذب مولکولی و یونی ایجاد می کند که در سال های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه جداسازی و تهیه نانوسلولز از گیاهان به عنوان پرکننده نانو کامپوزیت ها صورت گرفته است [۱۴]. نانوسلولز می تواند نقش مهمی در فرآیندهای کاغذسازی و تولید نانو کامپوزیت هایی با کیفیت بالا ایفا کند. ابعاد کوچک نانوسلولز آن را قادر می سازد بین ماده چوبی و ماده پلیمری قرار گیرد و تماس سطحی بین این دو را افزایش دهد و در نتیجه چسبندگی خوبی ایجاد کند. بدین منظور کاربرد مواد لیگنوسلولزی جهت تقویت چسب های پلیمری در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است [۱۵]. نانوفیبر سلولزی دارای ویژگی هایی از جمله

¹Microcrystalline cellulose(MCC)

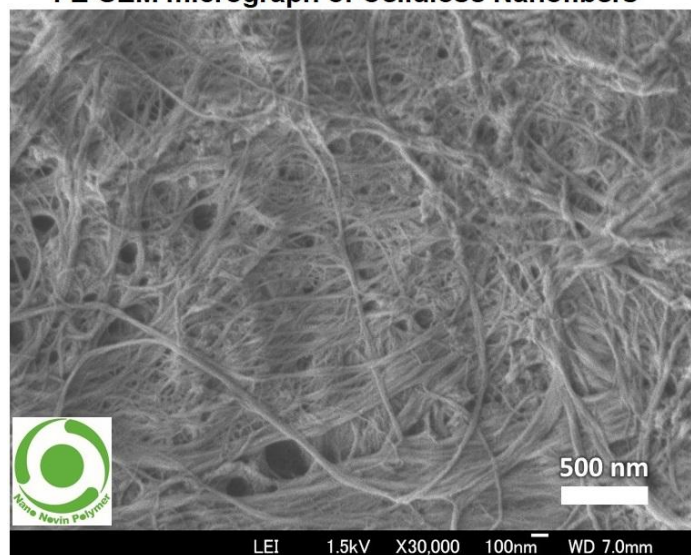
جدول ۱- مشخصات چسب اوره فرمالدهید مصرفی

نوع چسب	شرکت سازنده	مواد جامد (%)	pH	زمان ژله‌ای شدن (ثانیه)	ویسکوزیته در دمای ۲۰ °C (سانتی پوآز)	وزن مخصوص در دمای ۲۰ °C
اوره فرمالدهید مایع	پارس شیراز	۶۱	۷	۵۶	۳۲۰	۱/۲۷

نانوفیبر سلولزی: هم‌چنین در این بررسی از نانوفیبر سلولزی ساخت شرکت نانو نوین پلیمر (شکل ۱) در پنج سطح ۰، ۱، ۳، ۵ و ۷ درصد وزن خشک رزین استفاده شده است. نانوفیبر سلولزی خریداری شده به روش شیمیایی- مکانیکی و عمدتاً با دستگاه سوپر آسیاب دیسکی^۱ (مکانیسم بالا به پایین) از خمیر خالص سلولز

سوزنی‌برگان وارداتی تولید شده است. متوسط قطری این ماده کم‌تر از ۵۰ نانومتر است. لازم به ذکر است در ساخت تخته‌های ساخته شده با نانوفیبر سلولزی با توجه به سطح ویژه بالای ذرات نانوسلولز، امکان استفاده از پرکننده آرد گندم نیست (به‌غیر از تخته شاهد).

FE-SEM micrograph of Cellulose Nanofibers



شکل ۱- میکروگراف تهیه شده از نانوفیبر سلولزی توسط میکروسکوپ الکترونی گسیل (تهیه شده از کاتالوگ شرکت نانو نوین پلیمر)

آرد گندم: در ساخت تخته‌های شاهد (بدون استفاده از نانوفیبر سلولز)، از ۳۰ درصد آرد گندم به‌عنوان پرکننده چسب اوره فرمالدهید استفاده شده است.

کلرید آمونیوم: از نمک کلرید آمونیوم به‌عنوان سخت کننده (هاردنر) چسب اوره فرمالدهید ساخت شرکت مرک آلمان استفاده شد. کلرید آمونیوم به‌صورت پودری به میزان ۲ درصد وزن خشک چسب مورد استفاده قرار گرفت.

فرآیند ساخت تخته لایه: جهت چسب زنی لایه‌ها و مونتاژ تخته سه لایه، رزین آماده‌سازی شده بر اساس تیمارهای مورد نظر، توسط کاردک بر روی تمام نقاط لایه به‌صورت یکنواخت پخش شد. چسب اوره فرمالدهید و نانوسلولز توسط دستگاه همزن مغناطیسی در دمای آزمایشگاه به‌طور یکنواخت و به مدت ۵ دقیقه هم زنی و

^۱ MKCA6-2 (Masuko Co., Japan)

استانداردهای ISO، EN 310 و EN 314-2 انجام شده است.

تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده با استفاده از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد. در نهایت مقایسه و گروه بندی میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

جذب آب و واکنشیدگی ضخامت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مقدار مصرف نانوسلولز بر میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب، معنی دار است (جدول ۲).

مخلوط شدند. سپس کلرید آمونیوم به مخلوط حاصله اضافه شده تا از بروز مشکلاتی همچون پیش پلیمر شدن چسب قبل از چسب زنی لایه ها جلوگیری شود. لایه های مونتاژ شده توسط دستگاه پرس آزمایشگاهی تحت دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع به مدت ۵ دقیقه پرس شدند. در نهایت با انجام ۳ تکرار از ۵ تیمار مورد نظر، ۱۵ تخته لایه ساخته شد. تخته های ساخته شده به مدت ۱۵ روز در اتاق کلیما نگهداری شده تا به رطوبت تعادل با محیط برسند. سپس برش تخته ها جهت تهیه نمونه های آزمونی انجام گرفت.

اندازه گیری خواص فیزیکی و مکانیکی:

اندازه گیری خواص فیزیکی و مکانیکی شامل جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته موازی و عمود بر الیاف لایه سطحی و مقاومت برشی در سطح اتصال مطابق با

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مقدار نانوسلولز بر میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب

فاکتورهای اندازه گیری	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
جذب آب پس از ۲ ساعت	۴	۱۵۸/۷۸۲	۳/۷۱۳	۰/۰۴۲*
جذب آب پس از ۲۴ ساعت	۴	۱۸۷/۶۹۹	۸/۴۴۴	۰/۰۰۳***
واکنشیدگی ضخامت پس از ۲ ساعت	۴	۲/۶۴۱	۸/۸۳۴	۰/۰۰۳***
واکنشیدگی ضخامت پس از ۲۴ ساعت	۴	۲/۰۸۱	۳/۶۰۸	۰/۰۴۵*

*: معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

***: معنی داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

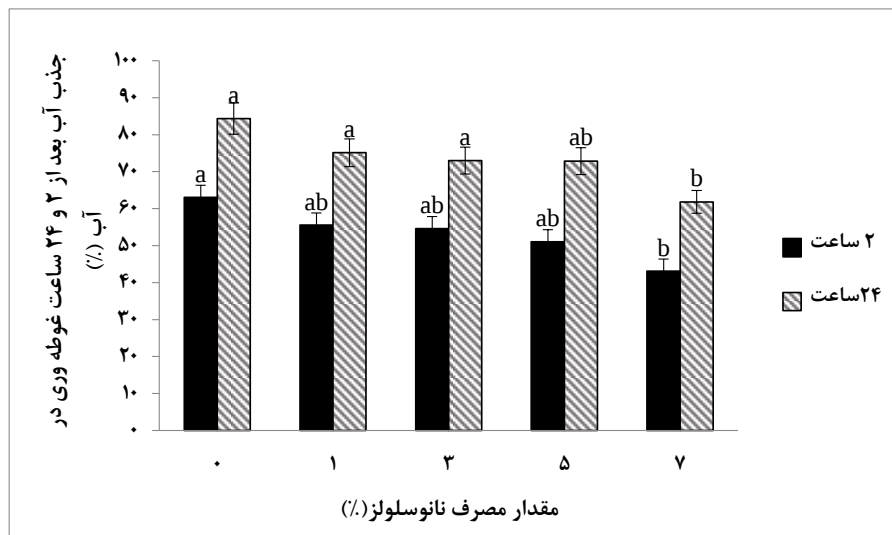
از تحقیقات Gao و همکاران ۲۰۱۲ بر روی استفاده از ویسکر سلولز جهت تقویت چسب های بر پایه آرد سویا نیز نشان می دهد که استفاده از نانو ویسکر سلولز، مقاومت به رطوبت تخته ها را تا ۲۰٪ افزایش داده است [۱۷].

همچنین شکل ۳ نشان می دهد که تخته های ساخته شده با ۱ درصد نانوسلولز دارای کمترین میزان واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ ساعت غوطه وری در آب است که نسبت به نمونه شاهد ۴۴/۳۲ درصد کاهش داشته است و بعد از آن به ترتیب تخته های ساخته شده با ۷ و ۳ درصد نانوسلولز که در یک گروه مشترک قرار دارند، دارای کمترین مقدار واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲ ساعت

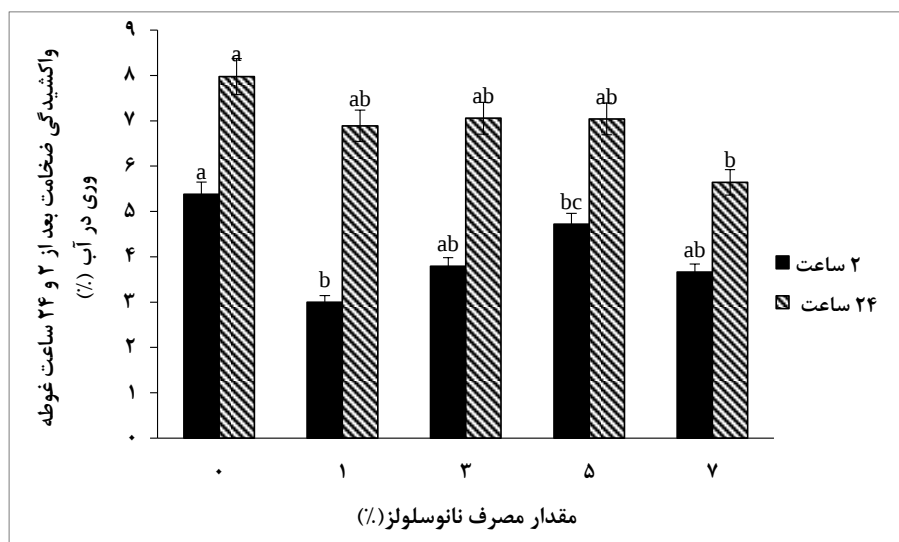
همان طور که در شکل های ۲ و ۳، مشاهده می شود با افزایش مقدار مصرف نانوسلولز، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب کاهش یافته است. به نحوی که کمترین میزان جذب آب بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب، مربوط به استفاده از ۷ درصد نانوسلولز است که نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۳۱/۶۹ و ۲۶/۴۱ درصد کاهش نشان داده است (شکل ۱)؛ زیرا به دلیل حضور نانو کریستال های نفوذناپذیر در نانوسلولز، مسیر جذب و ورود آب به درون چسب زیگزاگی شده و کاهش می یابد و در نتیجه واکنشیدگی کمتری هم ایجاد می گردد. نتایج به دست آمده

بعد از آن مقادیر ۱، ۳ و ۵ درصد نانوسلولز می‌باشند که به لحاظ آماری در یک گروه مشترک قرار دارند. به‌طور کلی استفاده از نانوسلولز باعث بهبود پایداری ابعادی تخته‌ها شده است که با نتایج Veigel و همکاران (۲۰۱۲) نیز مطابقت دارد [۱].

غوطه‌وری در آب بوده که نسبت به نمونه شاهد ۳۱/۸۴ و ۲۹/۴۲ درصد کاهش داشته‌اند. از طرفی تخته‌های ساخته شده با مقدار ۷ درصد نانوسلولز، کم‌ترین میزان واکنشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب با کاهش ۲۹/۲۳ درصد نسبت به نمونه شاهد را دارا بوده و



شکل ۲- تأثیر مقدار نانوسلولز بر میزان جذب آب تخته لایه پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب



شکل ۳- تأثیر مقدار نانوسلولز بر واکنشیدگی ضخامت تخته لایه پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب

موازی با الیاف لایه سطحی معنی‌دار است، اما بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته عمود بر الیاف لایه سطحی معنی‌دار نیست.

مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که تأثیر مقدار نانوسلولز بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مقدار نانوسلولز بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته موازی و عمود بر الیاف لایه سطحی

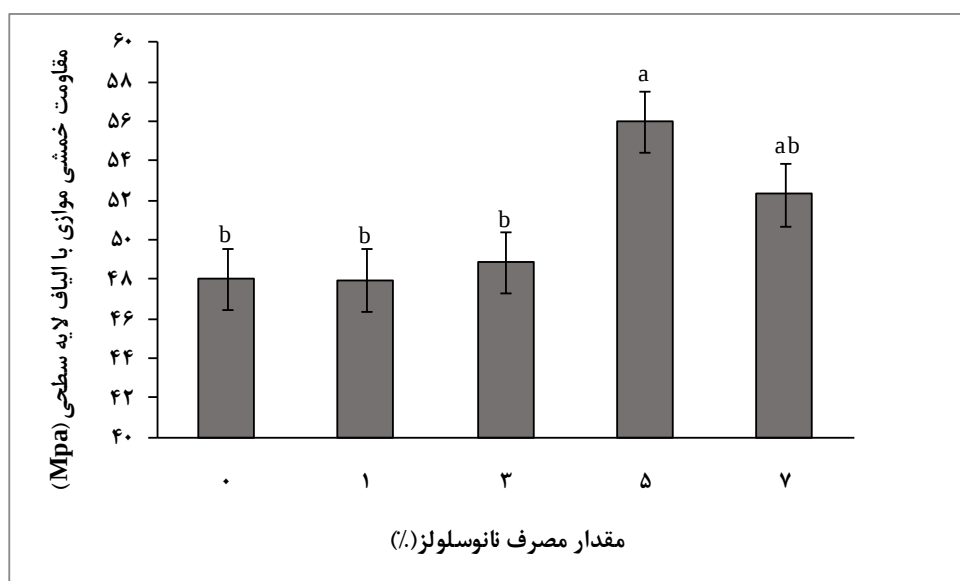
فاکتورهای اندازه گیری	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
مقاومت خمشی موازی با الیاف	۴	۴۱/۲۷۸	۸/۵۰۳	۰/۰۰۳**
مدول الاستیسیته موازی با الیاف	۴	۹۱۱۱۳۹/۹۴۸	۹/۹۸	۰/۰۰۱۶**
مقاومت خمشی عمود بر الیاف	۴	۰/۷۴۹	۰/۶۷۸	۰/۶۲۳ ^{ns}
مدول الاستیسیته عمود بر الیاف	۴	۴۹۷/۶۸۶	۰/۲۳	۰/۹۱۷ ^{ns}

*: معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

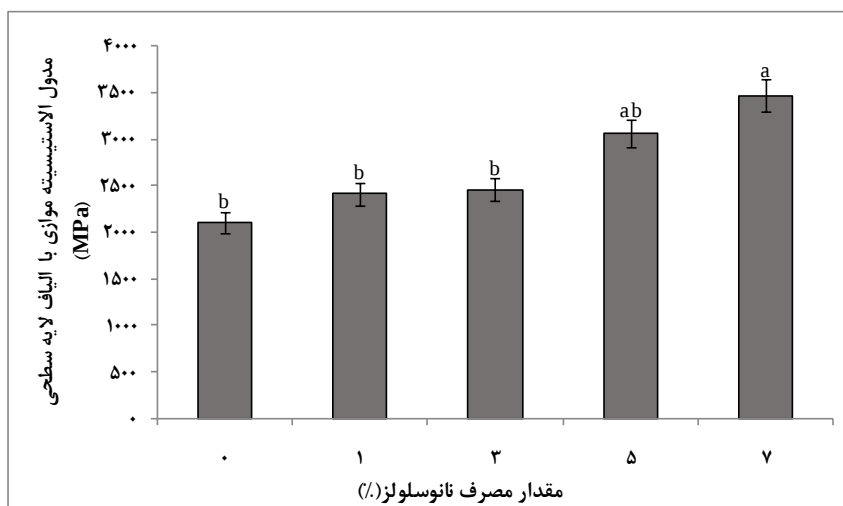
**: معنی داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

است که نسبت به نمونه شاهد، ۶۴/۶۷ درصد افزایش داشته است (شکل ۵). اگرچه نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مقدار مصرف نانوسلولز بر مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته عمود بر الیاف معنی دار نیست، اما با افزایش مقدار نانوسلولز، مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته عمود بر الیاف لایه سطحی از روندی افزایشی برخوردار است (شکل‌های ۶ و ۷). لذا دلیل افزایش مقاومت‌های مکانیکی در اثر استفاده از این نوع ماده را می‌توان این‌طور بیان نمود که وجود نانوسلولز با مقاومت و مدول بالا در رزین همان نقش تقویت کننده در پلیمرها را دارد که سبب انتقال بهتر و بیشتر تنش می‌شود.

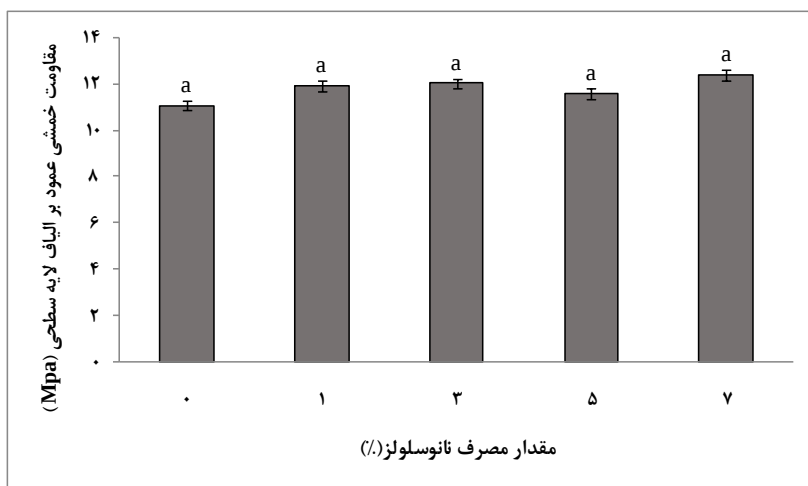
همان‌طور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانوسلولز مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته موازی با الیاف لایه سطحی تخته لایه افزایش یافته است. با توجه به شکل ۴ مشخص می‌گردد که بیش‌ترین مقدار مقاومت خمشی موازی با الیاف لایه سطحی مربوط به مصرف ۵ درصد نانوسلولز، با افزایش ۱۶/۷۲ درصد و بعد از آن مربوط به استفاده از ۷ درصد نانوسلولز با افزایش ۸/۹ درصد نسبت به نمونه شاهد است. همچنین با افزایش مقدار مصرف نانوسلولز، مدول الاستیسیته موازی با الیاف لایه سطحی نیز افزایش یافته است، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار مدول الاستیسیته موازی با الیاف مربوط به استفاده از ۷ درصد نانوسلولز



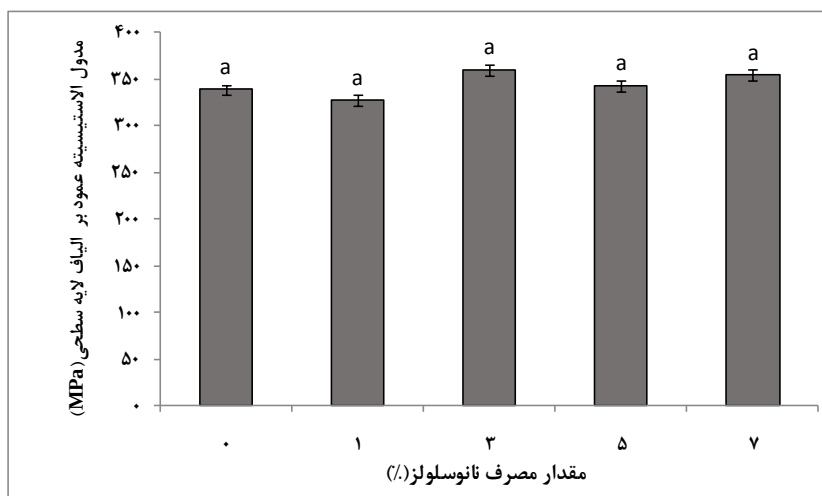
شکل ۴- تأثیر مقدار نانوسلولز بر مقاومت خمشی موازی با الیاف لایه سطحی تخته لایه



شکل ۵- تأثیر مقدار نانوسلولز بر مدول الاستیسیته موازی با الیاف لایه سطحی تخته لایه



شکل ۶- تأثیر مقدار نانوسلولز بر مقاومت خمشی عمود بر الیاف لایه سطحی تخته لایه



شکل ۷- تأثیر مقدار نانوسلولز بر مدول الاستیسیته عمود بر الیاف لایه سطحی تخته لایه

مقاومت برشی در سطح اتصال

نانوسلولز بر مقاومت برشی در سطح اتصال، معنی دار نیست (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر مقدار

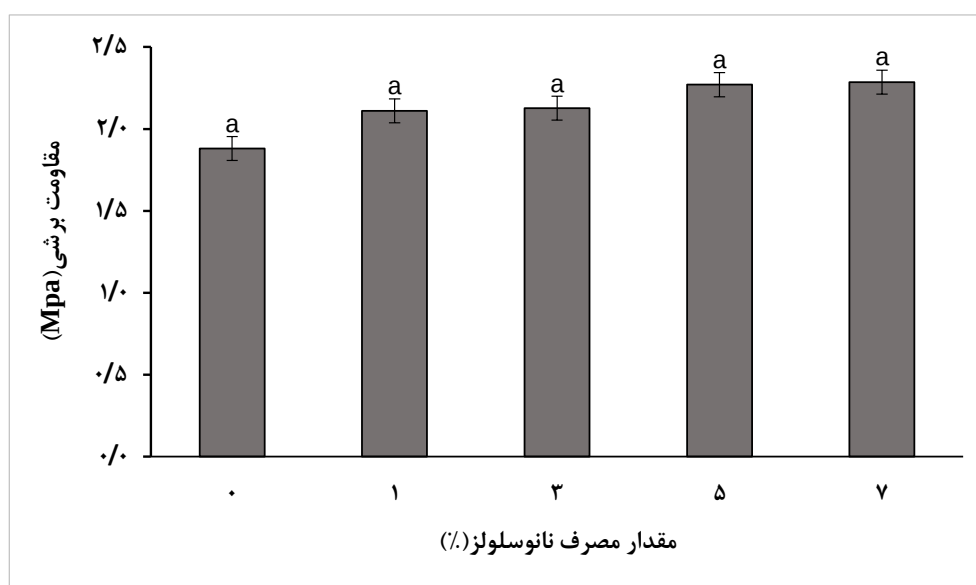
جدول ۴- تجزیه واریانس اثر مقدار نانوسلولز بر مقاومت برشی در سطح اتصال تخته لایه

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	Sig
مقدار مصرف نانوسلولز	۴	۰/۳۲۰	۰/۰۸۰	۱/۲۳۰	۰/۳۵۷ ^{ns}
خطا	۱۰	۰/۶۵۱	۰/۰۶۵		
کل	۱۴	۰/۹۷۱			

ns: عدم معنی داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار نانوسلولز، مقاومت برشی در سطح اتصال تخته‌ها افزایش یافته است. کم‌ترین مقدار مقاومت برشی مربوط به نمونه شاهد (با پرکننده آرد گندم) و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به استفاده از ۷ درصد نانوسلولز بوده است که نسبت به نمونه شاهد، ۲۱/۲۷ درصد افزایش داشته است. تحقیقات Atta-Obeng (۲۰۱۱) نیز افزایش مقاومت برشی در سطح اتصال را در صورت استفاده از چسب فنول

فرمالدهید همراه با سلولز میکرو کریستالین نیز اعلام می‌دارد [۱۵]. علاوه بر آن در تحقیقی که Dashti و همکاران در سال ۲۰۱۲، تأثیر نانو رس به عنوان پرکننده تخته لایه را مورد بررسی قرار دادند به این نتیجه رسیدند که سطح ویژه بالای ذرات نانو رس باعث بهبود پخش رزین اوره فرمالدهید بر روی لایه‌های چوبی و بهبود کیفیت چسبندگی شده است [۱۸].



شکل ۸- تأثیر مقدار نانوسلولز بر مقاومت برشی در سطح اتصال تخته لایه

نتیجه گیری

در این تحقیق استفاده از نانوسلولز به عنوان ماده ای طبیعی و زیست تخریب پذیر و پرکننده چسب اوره فرمالدهید در ساخت تخته لایه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه وقتی اندازه ذرات تا حد نانو کاهش می یابد، نسبت سطح مؤثر به حجم ذرات افزایش یافته، در نتیجه این امکان را فراهم می کند تا با مصرف مقدار کم آن ها، توزیع بهتر و یکنواخت در لایه چسب انجام شده و با ایجاد یک شبکه سه بعدی، باعث تشکیل اتصالات عرضی و بهبود مقاومت های تخته گردد [۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱]. لذا بر اساس نتایج به دست آمده به طور کلی با استفاده از نانوسلولز پایداری ابعادی تخته ها بهبود یافته است. به نحوی که با افزایش مقدار مصرف نانوسلولز، میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت تخته ها بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب به طور معنی داری کاهش یافته است. ذرات نانوسلولز با داشتن سطح ویژه بالا و امکان پخش بهتر بین ذرات رزین موجب پراکنش مناسب تر بر روی لایه های چوبی و بهبود

عملکرد چسب می شوند [۱]. همان طور که Gao و همکاران (۲۰۱۲) نیز به بهبود عملکرد چسب بر پایه آرد سویا با استفاده از ویسکر سلولز و افزایش پایداری ابعادی تخته ها دست یافتند [۱۷]. همچنین نتایج حاصل از این بررسی نشان می دهد که با افزایش میزان مصرف نانوسلولز مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته موازی با الیاف لایه سطحی به طور معنی داری افزایش یافته است و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط به استفاده از ۷ و ۵ درصد نانوسلولز است. با توجه به افزایش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته عمود بر الیاف لایه سطحی و مقاومت برشی در سطح اتصال همراه با افزایش مقدار مصرف نانوسلولز، نتایج تحقیقات اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف استفاده از نانوسلولز نشان نداده است. این بدان معنی است که استفاده از مقادیر مختلف نانوسلولز تأثیر مثبت معنی داری بر مقاومت های مکانیکی تخته لایه نداشته است.

مراجع

- [1] Veigel, S., Müller, U., Keekes, J., Oberstriebl, M. and Gindl-Altmutter, W., 2011. Cellulose nanofibrils as filler for adhesives: effect on specific fracture energy of solid wood-adhesive bonds. *Cellulose*, 18:1227-1237.
- [2] Lie, H., Pizzi, G. and Celzard, A., 2008. Influence of nanoclay on urea-formaldehyde resins for wood adhesives and its model. *Journal of applied polymer science*, 109:2442-2451.
- [3] Zhang, Y., You, B., Huang, H., Zhou, S., Wu, L. and Sharma, A., 2008. Preparation of nanosilica reinforced waterborne silylated polyether adhesive with high shear strength. *J Appl Polym Sci*, 109(4):2434-2441.
- [4] Ahmad, Z., Ansell, M.P. and Smedley, D., 2010. Epoxy adhesives modified with nano- and micro particles for in situ timber bonding: effect of microstructure on bond integrity. *Int J Mech Mater Eng*, 5(1):59-67.
- [5] May, M., Wang, H.M. and Akid, R., 2010. Effects of the addition of inorganic nanoparticles on the adhesive strength of a hybrid solgel epoxy system. *Int J Adhes Adhes*, 30(6):505-512.
- [6] Khoei, S. and Hassani, N., 2010. Adhesion strength improvement of epoxy resin reinforced with nanoelastomeric copolymer. *Mat Sci Eng A Struct*, 527(24-25):6562-6567.
- [7] Hsiao, K.T., Alms, J. and Advani, S.G., 2003. Use of epoxy/multiwalled carbon nanotubes as adhesives to join graphite fiber reinforced polymer composites. *Nanotechnology*, 14(7):791-793.
- [8] Prolongo, S.G., Gude, M.R. and Urena, A., 2009. Synthesis and characterization of epoxy resins reinforced with carbon nanotubes and nanofibers. *J Nanosci Nanotechnol*, 9(10):6181-6187.
- [9] Prolongo, S.G., Gude, M.R. and Urena, A., 2010. Rheological behavior of nanoreinforced epoxy adhesives of low electrical resistivity for joining carbon fiber/epoxy laminates. *J Adhes Sci Technol*, 24(6):1097-1112.

- [10] Yoon, S.H., Kim, B.C., Lee, K.H. and Lee, D.G., 2010. Improvement of the adhesive fracture toughness of bonded aluminum joints using e-glass fibers at cryogenic temperature. *J Adhes Sci Technol*, 24(2):429–444.
- [11] Kaboorani, A. and Reidl, B., 2011. Effects of adding nano-clay on performance of poly vinyl acetate (PVA) as a wood adhesive. *Composites, Part A*, 42:1031–1039.
- [12] Qiaojia, L., Guidi, Y., Jinghong, L. and Jiuping, R., 2006. Property of nano-SiO₂ / urea formaldehyde resin. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry*, 2: 230-237.
- [13] Khayamnekuie, M., Biazar, E. and Salehijozani, Gh., 2010. Nanotechnology in agriculture. Institute of agricultural biotechnology publications, Karaj, 241 p. (In Persian).
- [14] Kalia, B. Kaith, B. and Kaur, I., 2011. Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites, Green Chemistry and Technology. Springer, India, 758 p.
- [15] Atta-obeng, E., 2011. Characterization of phenol formaldehyde adhesive and adhesive-wood particle composite reinforced with microcrystalline cellulose. A thesis submitted to the Graduate Faculty of Auburn University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, 93p.
- [16] Yousefi, H., Ebrahimi, GH, Mashkur, M. and Nishino, T., 2010. Cellulose nanofiber (CNF) for nanocomposites production: Opportunities and challenge. Proceeding of the sixth international workshop on green composites (IWGC-6), Kumoh national institute of technology, Gumi, Gyeongbuk, Korea September 8-10. 151-154.
- [17] Gao, Q., Li, J., Liang, K. and Zhang, X., 2012. Soy bean meal-based adhesive reinforced with cellulose nano-whiskers. *Bioresources*, 7(4):5622–5633.
- [18] Dashti, H., Salehpur, Sh., Taghiyari, H.R., Akbarifar, F. and Heshmati, S., 2012. The effect of nano clay on the mass transfer properties of plywood. *Digest journal of nanomaterial and biostructures*, 7(3):853–860.
- [19] Dong, H. K. and Arthur, J., 2004. Enhanced composite board curing and performance via nano clays. (Conference). Paper summit Spring Technical and International Environmental Conference. Atlanta, GA, United States, 5: 387-391.
- [20] Hong, L., Guanben, D., Pizzi, A. and Celzard, A., 2008. Influence of nanoclay on urea-formaldehyde resins for wood adhesives and its model. *Journal of Applied Polymer Science*, 109(4): 2442-2451.
- [21] Jinshu, S., Jianzhang, L., Wenrui, Z. and Derong, Z., 2007. Improvement of wood properties by urea formaldehyde resin and nano-SiO₂. *Frontiers of Forestry*, 2(1): 104-109.

Using cellulose nanofiber as filler and reinforcing agent of urea formaldehyde resin in plywood manufacture

Abstract

In this study, physical and mechanical properties of poplar (*Populus nigra*) plywood made by urea-formaldehyde resin along with nanofiber cellulose were studied. For this reason, the nanofiber cellulose was used as filler at five levels of 0, 1, 3, 5 and 7% based on oven dry weight of resin. Physical and mechanical properties of the samples, including water absorption and thickness swelling after 2 and 24 hours immersion in water, bending strength and modulus of elasticity (parallel and perpendicular to surface grain) and bonding shear strength were measured. The results showed that increasing the amount of cellulose nanofibers improved the dimensional stability of the boards. Also increasing the amount of cellulose nanofibers increased the bending strength and modulus of elasticity parallel to surface grain. On the other hand, although increasing the amount of cellulose nanofiber increased the bonding shear strength but statistically significant differences were not observed between different treatments.

Key Words: plywood, cellulose nanofiber, filler, physical properties, mechanical properties.

S. Barzali¹
L. Jamalirad^{2*}
F. Faraji³
S. Hedjazi⁴

¹ M.Sc., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran.

² Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran.

³ Assistant Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran.

⁴ Associate Professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Corresponding author:
jamalirad@gonbad.ac.ir

Received: 2015.03.04
Accepted: 2016.01.10

