

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۰۸

ص ۵۶۱-۵۷۰

تأثیر نانوذرات رس بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، ساختاری و حرارتی چسب اوره فرمالدهید

- ❖ **حامد یونسی کردخیلی؛** استادیار، گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
- ❖ **سعید کاظمی نجفی؛** استاد، گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- ❖ **ربیع بهروز*؛** دانشیار، گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

چکیده

در این تحقیق، تأثیر نانوذرات رس به‌عنوان پرکننده بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، ساختاری و حرارتی چسب اوره فرمالدهید بررسی شد. نانوذرات رس با نسبت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی (نسبت به وزن خشک چسب) به چسب اوره فرمالدهید اضافه شدند. پس از افزودن نانوذرات، کلیه ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی چسب از قبیل ویسکوزیته، زمان ژله‌ای شدن، درصد ماده جامد و دانسیته، براساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. همچنین تغییرات ساختاری و حرارتی چسب اوره فرمالدهید حاوی نانورس به‌ترتیب با آنالیز طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)، تفرق پراش پرتو ایکس (XRD) و آنالیز گرماسنجی تفاضلی (DSC) بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزودن نانوذرات رس به چسب اوره فرمالدهید، دانسیته، ویسکوزیته و درصد ماده جامد چسب افزایش پیدا می‌کند، درحالی که مقدار فرمالدهید آزاد و زمان ژله‌ای شدن چسب کاهش می‌یابد. نتایج آنالیز FTIR نشان داد که در چسب حاوی نانوذرات رس، میزان اتصالات متیلنی کاهش می‌یابد و پیک‌های جدیدی در باندهای 1140 cm^{-1} و 950 cm^{-1} مشاهده می‌شود که مؤید انجام گرفتن واکنش شیمیایی بین نانوذرات رس و چسب اوره فرمالدهید است. براساس نتایج آنالیز DSC، افزودن نانوذرات رس، سبب تسریع انعقاد چسب اوره فرمالدهید می‌شود، به‌طوری که دمای انعقاد اولیه و پیک انعقاد چسب اوره فرمالدهید از ۸۵ و ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب به ۷۵ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. آنالیز XRD نشان داد که بعد از اضافه کردن نانوذرات رس به چسب، ساختار اتمی منظم نانورس از بین رفت و نانوذرات در درون پلیمر به‌طور کامل لایه‌لایه شدند.

واژه‌های کلیدی: چسب اوره فرمالدهید، نانورس، ویژگی حرارتی، ویژگی‌های ساختاری.

مقدمه

چسب‌های رایج در صنایع چوب به‌طور معمول به چند دسته کلی آمینورزین‌ها (شامل اوره فرمالدهید و ملامین فرمالدهید)، چسب‌های فنولی (فنول فرمالدهید (PF)، رزرسینول فرمالدهید (RF) و ...)، چسب‌های ایزوسیانات (pMDI) و چسب‌های طبیعی (تانن، لیگنین، پروتئین و ...) دسته‌بندی می‌شوند. از بین چسب‌های مختلف، در حال حاضر چسب اوره فرمالدهید (UF) به‌دلیل ارزان بودن، انحلال‌پذیری خوب در آب، بی‌رنگ بودن، سختی زیاد، دمای انعقاد کم و خواص حرارتی مناسب، پرمصرف‌ترین چسب در صنایع چوب است، به‌طوری که بیش از ۹۰ درصد چسب استفاده‌شده در صنعت چوب ایران از نوع اوره فرمالدهید است [۱]. این چسب با وجود مزیت‌های مهم به عیوب مهمی دچار است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به انتشار زیاد فرمالدهید، جذب زیاد آب و دوام کم در برابر شرایط متغیر جوی و عوامل بیولوژیک اشاره کرد. تا کنون تلاش‌های زیادی به‌منظور کاهش یا حذف معایب چسب اوره فرمالدهید صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به تغییر روش سنتز چسب اوره فرمالدهید، تغییر نوع کاتالیزور و استفاده از مواد افزودنی اشاره کرد [۲، ۳]. یکی از روش‌هایی که ضمن کاهش هزینه چسب، موجب بهبود خواص آن و چندسازه حاصل نیز می‌شود، استفاده از پرکننده‌هاست. برخی از پرکننده‌ها ضمن کاهش همکشیدگی چسب و کاهش تنش وارد به خط چسب موجب بهبود دوام، مقاومت مکانیکی و سختی چسب می‌شوند. همچنین جریان‌پذیری چسب با افزودن پرکننده بهبود می‌یابد که دلیل آن محبوس شدن آب موجود در چسب توسط

پرکننده است [۴]. پرکننده‌های استفاده‌شده در چسب اوره فرمالدهید به دو دسته آلی (آرد گندم، آرد چوب و ...) و معدنی (کائولین، مارلیت و رس چینی) تقسیم می‌شوند. هر یک از پرکننده‌های آلی و معدنی مزیت‌ها و معایبی دارد که توسط محققان زیادی گزارش شده است [۵]. از این رو تلاش برای پیدا کردن ماده پرکننده با ویژگی‌های برتر و مؤثرتر همچنان ادامه دارد. از سوی دیگر با توسعه فناوری نانو، امروزه گروه جدیدی از پرکننده‌های معدنی به‌نام پرکننده‌های نانو (موادی با ابعادی در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) به صنعت چسب معرفی شده‌اند. این نانومواد خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای دارند که آنها را از مواد اولیه‌ای که این نانوذرات از آنها سنتز شده‌اند متفاوت می‌کند. مهم‌ترین نانوذراتی که به‌عنوان پرکننده در صنعت چسب استفاده می‌شوند، نانوذرات کربنات کلسیم، اکسید سیلیسیم و نانوذرات رس هستند. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که به‌طور کلی استفاده از برخی نانوذرات در چسب‌ها موجب کاهش انتشار فرمالدهید، کاهش زمان ژله‌ای شدن و افزایش مقاومت‌های چسب می‌شود. در بین نانوذرات استفاده‌شده در صنعت چسب، نانوذرات رس به‌دلیل ارزان بودن و فراوانی اقبال بیشتری یافته است. نتایج تحقیقات مختلف نشان داد که نانوذرات رس موجب بهبود ویژگی‌های چندسازه‌های چوبی حاصل از چسب‌های اوره و فنول فرمالدهید می‌شوند [۵، ۶]. این نانوذرات به دلیل دارا بودن ابعاد کوچک و سطح ویژه زیاد، قابلیت پرکنندگی چسب پس از انعقاد را دارند و بدین ترتیب در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی چسب تأثیر بسزایی دارند. همچنین نانوذرات رس به‌طور ذاتی ویژگی‌های مکانیکی زیادی دارند که این

مواد و روش‌ها

چسب اوره فرمالدهید

چسب اوره فرمالدهید مورد نیاز از کارخانه چسب‌سازی پارس شمالی تهیه شده و پس از انتقال به آزمایشگاه، ویژگی‌های مختلف آن از قبیل درصد ماده جامد، pH، دانسیته، ویسکوزیته، زمان ژله‌ای شدن و انتشار فرمالدهید آنالیز شد. ویژگی‌های چسب اوره فرمالدهید بررسی شده در جدول ۱ گزارش شده است.

نانورس

نانورس استفاده شده از نوع بنتونیت (NaMMT) بود که از شرکت Southern Clay Products آمریکا خریداری شد. مشخصات نانوذره استفاده شده در جدول ۲ گزارش شده است.

افزودن نانورس به چسب اوره فرمالدهید

بنتونیت با نسبت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد وزنی (نسبت به وزن خشک چسب) به چسب اوره فرمالدهید اضافه شد. شایان ذکر است که از دستگاه هموژنایزر اولتراسونیک به منظور پخش یکنواخت نانوذرات درون چسب استفاده شد.

عامل احتمالاً تأثیر زیادی بر افزایش مقاومت‌های مکانیکی چسب و چندسازه حاصل دارد. نتایج بررسی لی و همکاران (۲۰۰۸)، نشان داد که استفاده از نانوذرات رس در چسب اوره فرمالدهید تأثیر مثبتی بر خواص تخته خرده‌چوب دارند، به طوری که درصد زیادی از جذب آب و انتشار فرمالدهید آن را می‌کاهند و به طور چشمگیری موجب کاهش زمان پرس، افزایش اتصالات عرضی و در نهایت افزایش چسبندگی داخلی تخته خرده‌چوب می‌شوند [۵].

تحقیقات زیادی در زمینه تأثیر نانوذرات رس به‌عنوان پرکننده روی ویژگی‌های مختلف فیزیکی، مکانیکی و حرارتی چندسازه‌های چوبی حاوی چسب اوره فرمالدهید صورت گرفته است [۶، ۷]؛ با وجود این، تاکنون به تأثیر نانوذرات رس بر ویژگی‌های چسب اوره فرمالدهید به‌تنهایی توجه نشده است. بنابراین، هدف این تحقیق بررسی تأثیر نانوذرات رس بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و تغییرات ساختاری و حرارتی چسب اوره فرمالدهید است.

جدول ۱. ویژگی‌های چسب اوره فرمالدهید استفاده شده

ویژگی	ویسکوزیته (ثانیه)	درصد ماده جامد (%)	pH	دانسیته (kg/l)	زمان ژل شدن (ثانیه)	فرمالدهید آزاد (%)
چسب اوره فرمالدهید	۷۸	۶۲	۷/۵	۱/۲۶۳	۵۵	۰/۳۵

جدول ۲. مشخصات نانورس استفاده شده در تحقیق حاضر

مقادیر	خواص فیزیکی
۲/۸۶	وزن ویژه (g/cc)
۰/۳۳۵۶	چگالی توده‌ای (g/cc)
≤۲/۰۰	اندازه ذره (μm)

اندازه‌گیری درصد ماده جامد

این کار براساس استاندارد ASTM D 4426-93 انجام گرفت. حدود ۵ گرم چسب سنتز شده به مدت ۲ ساعت در آون با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس نمونه چسب از آون خارج شده و توزین شد. از اختلاف وزن نمونه‌ها، درصد ماده جامد چسب محاسبه شد.

اندازه‌گیری ویسکوزیته

برای اندازه‌گیری ویسکوزیته چسب‌های مورد بررسی براساس استاندارد ASTM D1200-70 از فوردها ۴ میلی‌متر استفاده شد.

اندازه‌گیری دانسیته چسب

دانسیته چسب‌های ساخته شده براساس استاندارد ASTM D1298-12 با هیدرومتر (با درجه بندی ۱/۳-۱/۲) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری فرمالدهید آزاد چسب

مقدار فرمالدهید آزاد چسب براساس روش ارائه شده در مطالعات پارک و جنونگ اندازه‌گیری شد [۸].

اندازه‌گیری زمان ژله‌ای شدن^۱

۵ گرم چسب سنتز شده درون لوله آزمایش قرار داده شد و پس از غوطه‌ور کردن لوله آزمایش در آب جوش، زمان لازم به منظور پلیمر شدن چسب به عنوان زمان ژل شدن اندازه‌گیری شد.

آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز

از دستگاه FTIR مدل Shimadzo FT-IR 8400S به منظور بررسی تغییرات ساختاری چسب اوره فرمالدهید قبل و بعد از افزودن نانوذرات رس استفاده

شد. چسب‌های ساخته شده در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد منعقد شده و سپس با آسیاب به پودر تبدیل شدند. سپس ۳ میلی‌گرم پودر چسب با ۳۰۰ میلی‌گرم پودر KBr به صورت فیزیکی مخلوط شده و با استفاده از پرس به قرص تبدیل شدند. محدوده طیف‌سنجی این آنالیز، ۴۰۰۰ تا ۴۰۰ cm^{-1} با وضوح 2cm^{-1} بوده است.

آنالیز تفرق پراش ایکس

به منظور بررسی نحوه توزیع نانوذرات رس در چسب اوره فرمالدهید از آنالیز XRD استفاده شد [۵]. چسب‌های ساخته شده در آون با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد منعقد شده و سپس به پودر تبدیل شدند و با استفاده از XRD مدل Philips ساخت هلند با طول موج 1.7897 \AA تجزیه و تحلیل شدند. زاویه تابش $16-20^\circ$ و سرعت اسکن $1^\circ/\text{min}$ در نظر گرفته شد.

آنالیز گرماسنجی تفاضلی

برای اندازه‌گیری تغییرات دمای لازم برای انعقاد چسب اوره فرمالدهید بعد از افزودن نانوذرات رس از آزمون DSC با نرخ حرارت دهی $10^\circ\text{C}/\text{min}$ استفاده شد [۵]. از دستگاه DSC مدل DSC 200 F3 NETZSCH برای تعیین دمای انعقاد چسب استفاده شد. آنالیز DSC با نرخ حرارت دهی $10^\circ\text{C}/\text{min}$ در اتمسفر نیتروژن و در محدوده دمایی ۲۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر نانوذرات رس بر ویژگی‌های فیزیکی -

شیمیایی چسب اوره فرمالدهید

جدول ۳ ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی چسب اوره

شدن چسب اندکی افزایش می‌یابد، به طوری که چسب اوره فرمالدهید حاوی ۱ درصد نانوبتونیت دارای کمترین زمان ژله‌ای شدن (۴۷ ثانیه) است. با افزودن نانوذرات به چسب اوره فرمالدهید، به دلیل اندازه، سطح ویژه و واکنش‌پذیری زیاد سطوح آنها، به راحتی می‌توانند با گروه‌های فعال موجود در چسب UF اتصال عرضی برقرار کنند و بدین ترتیب علاوه بر اینکه می‌توانند موجب افزایش چسبندگی درونی^۱ و مقاومت اتصال چسب اوره فرمالدهید شوند، زمان ژله‌ای شدن چسب را کاهش می‌دهند [۱۰]. افزایش زمان ژله‌ای شدن در چسب‌های حاوی ۱/۵ درصد نانوذرات بتونیت را می‌توان به کاهش زیاد فرمالدهید آزاد در آنها نسبت داد (جدول ۳). کاهش فرمالدهید آزاد موجب کاهش سرعت تشکیل اتصالات عرضی می‌شود و در نتیجه زمان ژله‌ای شدن چسب افزایش می‌یابد. ژان و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که با افزودن درصد کمی نانوبتونیت به چسب اوره فرمالدهید، عملکرد این چسب در تخته‌لایه و تخته خرده چوب به طور معنی‌داری بهبود می‌یابد [۷].

با توجه به نتایج بررسی‌های ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی چسب اوره فرمالدهید اصلاح‌شده با نانوذرات بتونیت، چسب اوره فرمالدهید حاوی ۱ درصد نانوذرات به‌عنوان تیمار برتر انتخاب شده و تغییرات ساختاری و حرارتی آنها در مقایسه با چسب اوره فرمالدهید (نمونه شاهد) بررسی شد.

فرمالدهید (نمونه شاهد) و چسب اوره فرمالدهید حاوی ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد نانوذرات بتونیت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزودن نانوذرات بتونیت بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی چسب اوره فرمالدهید مانند وزن مخصوص، زمان ژله‌ای شدن، درصد ماده جامد و مقدار فرمالدهید آزاد تأثیر معنی‌داری دارد، به طوری که با افزودن نانوذرات به چسب UF، دانسیته، ویسکوزیته و درصد ماده جامد چسب افزایش یافت، درحالی که مقدار فرمالدهید آزاد و زمان ژله‌ای شدن چسب به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (جدول ۴). جدول ۳ نشان می‌دهد که چسب اوره فرمالدهید دارای ۱/۵ درصد نانوذرات بتونیت، بیشترین درصد ماده جامد (۶۶ درصد)، دانسیته ($1/24 \text{ g/cm}^3$) و ویسکوزیته (۸۹s) را دارد. به دلیل پیوند هیدروژنی یا نیروهای وان دروالسی که بین نانوذرات و چسب اوره فرمالدهید تشکیل می‌شود، نیروهای بین مولکولی و در نتیجه مقاومت درونی مایع افزایش می‌یابد که در نهایت موجب افزایش ویسکوزیته چسب می‌شود [۹]. افزایش دانسیته و درصد ماده جامد نیز به افزایش ماده در واحد حجم پس از افزودن نانوذرات به محلول چسب مربوط می‌شود.

همچنین جدول ۳ نشان می‌دهد که چسب اوره فرمالدهید دارای ۱/۵ درصد نانوبتونیت، کمترین مقدار فرمالدهید آزاد (۰/۳ درصد) را داراست. کاهش فرمالدهید آزاد در چسب با افزودن نانوذرات احتمالاً مربوط به سطح ویژه گسترده و ویژگی‌های سطحی نانوذرات بتونیت است که اتصال بین نانوذرات و فرمالدهید واکنش‌نداده را ممکن می‌کند [۵]. با افزایش مقدار نانوبتونیت از ۱ به ۱/۵ درصد، زمان ژله‌ای

جدول ۳. ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی چسب اوره فرمالدهید حاوی نانوذرات

ویژگی نوع چسب	دانسیته (kg/l)	زمان ژله‌ای شدن (ثانیه)	فرمالدهید آزاد (%)	ویسکوزیته (ثانیه)	ماده جامد (%)
UF	۱/۲۳۱±۰/۰۱	۵۵±۲	۰/۴±۰/۰۱	۷۸±۴	۶۲±۳
UF+۰/۵ درصد نانورس	۱/۲۳۵±۰/۰۱۳	۵۱±۲	۰/۳۵±۰/۰۳	۸۲±۴	۶۵±۲
UF+۱ درصد نانورس	۱/۲۳۹±۰/۰۱۵	۴۷±۱	۰/۳۱±۰/۰۲	۸۸±۳	۶۶±۱
UF+۱/۵ درصد نانورس	۱/۲۴۰±۰/۰۱۱	۴۹±۱	۰/۳±۰/۰۱	۸۹±۲	۶۶±۲

جدول ۴. خلاصه تجزیه واریانس چسب‌های ساخته شده

عامل متغیر ویژگی چسب	(df)	میزان F			
		%۱/۵	%۱	%۰/۵	%۰
دانسیته	۲	۱/۱۰۳*	۰/۹۶۳*	۱/۴۰۴**	۲/۱۱**
زمان ژله‌ای شدن	۲	۴/۷۵۸**	۲/۹۰۱**	۰/۸۷۶**	۱/۳۲۵**
فرمالدهید آزاد	۲	۰/۶۳۲**	۱/۵۴۱**	۲/۶۵۱**	۴/۳۲۱*
ویسکوزیته	۲	۲/۳۳۹**	۳/۴۴۲*	۱/۳۹۸**	۵/۲۱۵*
درصد ماده جامد	۲	۲/۵۹۷**	۶/۱۰۲**	۳/۰۰۱*	۰/۷۶۵**

* : معنی‌داری در سطح ۱ درصد؛ ** : معنی‌داری در سطح ۵ درصد.

جداسازی صفحات نانورس در ماتریس پلیمر، به نوع نانورس، ویسکوزیته چسب، زمان و روش اختلاط بستگی دارد [۷]. سه حالت پراکنندگی نانوذرات در ماتریس پلیمر وجود دارد: ۱. ساختار لایه‌لایه‌ای که صفحات نانورس کاملاً جدا می‌شوند و حتی به ماتریس چسب نفوذ می‌کنند؛ ۲. ساختار بین‌لایه‌ای که به موجب آن فاصله بین صفحات با نفوذ پلیمر افزایش می‌یابد، اما به صورت گروهی در بسته‌های موازی باقی می‌مانند؛ ۳. جداسازی فاز که نانورس درون پلیمر پخش می‌شود، اما هر ذره به صورت صفحات چسبیده باقی می‌ماند و چسب نمی‌تواند به درون صفحات نانوذرات رس نفوذ کند [۱۲]. به منظور اینکه نانوذرات رس با چسب واکنش دهد و ویژگی‌های مقامتی آن را بهبود بخشد، باید لایه‌لایه شده یا دست‌کم ساختار بین‌لایه‌ای ایجاد شود [۱۳]. نتایج آنالیز XRD این تحقیق نشان داد که نانوذرات بتونیت در ماتریس پلیمر UF کاملاً از هم جدا شدند و ساختار لایه‌لایه می‌شود.

توزیع نانوذرات بتونیت در چسب اوره فرمالدهید آنالیز XRD برای ارزیابی نحوه توزیع نانوذرات مختلف در چسب‌های ترموست کاربرد زیادی دارد. شکل ۱ آنالیز XRD نانوذره بتونیت، چسب اوره فرمالدهید به‌طور جداگانه و چسب اوره فرمالدهید حاوی ۱ درصد نانوذرات بتونیت را در ناحیه دو تنای ۱۶°-۲° نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نانوذره بتونیت پیک برجسته‌ای در ناحیه دو تنای ۷° مشاهده می‌شود، اما با افزودن نانوبتونیت به چسب اوره فرمالدهید، این پیک برجسته مربوط به فاصله بین لایه‌ها (۱/۲۶ نانومتر) در معادله براگ^۱، حذف می‌شود [۵]. حذف پیک نانوذره در ۷° نشان‌دهنده این است که ساختار اتمی منظم نانورس از بین رفته است و نانوذرات در درون پلیمر لایه‌لایه شده‌اند [۱۱]. به عبارت دیگر براساس نتایج آنالیز XRD، نانوذرات بتونیت در ماتریس چسب به خوبی توزیع شده‌اند. به طور کلی نحوه

1. Bragg's Law: $n\lambda = 2d\sin\theta$

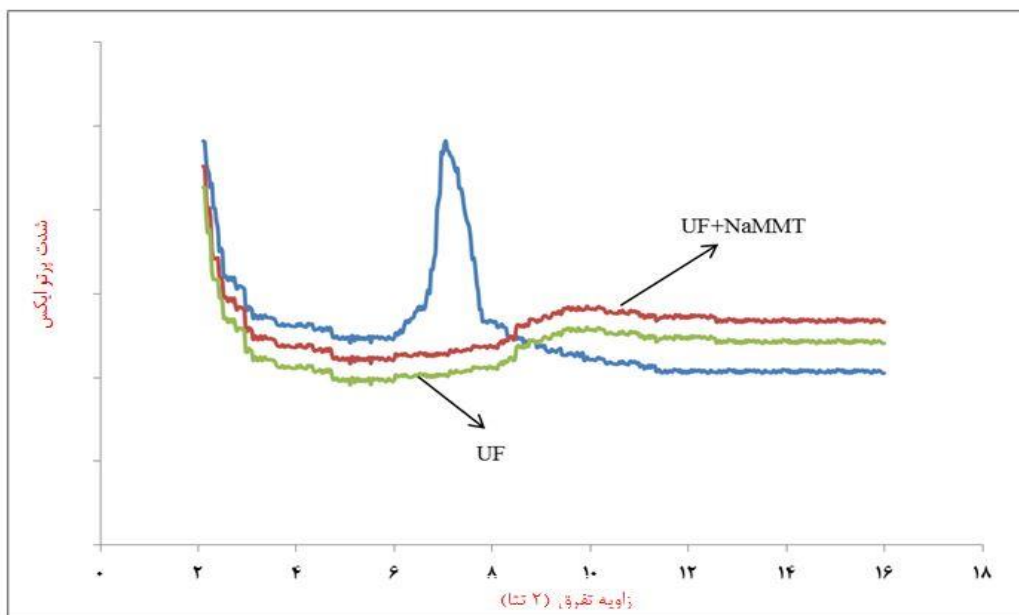
850 cm^{-1} مربوط به پیوند $\text{C}=\text{O}$ در اسکلت NCON و شدت باند 1378 cm^{-1} که مربوط به اتصال $\text{C}-\text{N}$ در CH_2-N است (جدول ۵) کاهش می‌یابد. همچنین نتایج بررسی تغییر ساختاری چسب اوره فرمالدهید نشان داد که در باند 1140 cm^{-1} و 950 cm^{-1} پیک جدیدی در چسب حاوی نانوذرات بتونیت مشاهده می‌شود که احتمالاً حاصل واکنش شیمیایی بین نانوذرات و چسب اوره فرمالدهید و تشکیل پیوندهایی مانند $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ و $\text{Si}-\text{OH}$ است.

نتایج بررسی FTIR نشان می‌دهد که افزودن نانورس، اتصال متیلنی در ساختار شبکه‌ای چسب منعقد شده UF را کاهش می‌دهد. گزارش‌های متعددی نشان می‌دهد که پیوند متیلنی در برابر هیدرولیز مقاومت چندانی ندارد. بنابراین کاهش پیوند متیلنی به معنای مقاومت بیشتر چسب در برابر عمل هیدرولیز و در نتیجه کاهش انتشار فرمالدهید است.

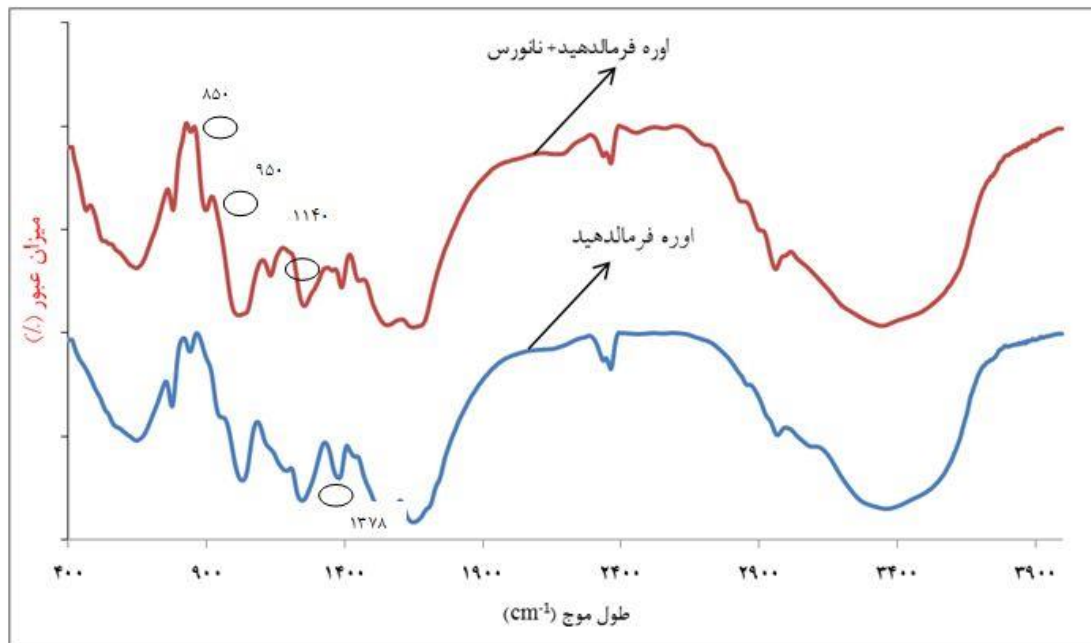
ژانگ و اسمیت (۲۰۱۱) تأثیر افزودن نانوذرات رس بر ساختار کریستالی چسب اوره فرمالدهید را با استفاده از آنالیز XRD بررسی کردند. یافته‌های آنها نشان داد که افزودن نانورس، میزان کریستالیت چسب اوره فرمالدهید را افزایش می‌دهد. همچنین آنها نشان دادند که در درصدهای کم افزودن نانورس (۲ درصد)، درصد کریستالیت بیشتری در مقایسه با افزودن مقادیر زیاد (۴ و ۶ درصد) حاصل می‌شود [۶].

تأثیر افزودن نانوذرات بتونیت بر ویژگی‌های ساختاری چسب اوره فرمالدهید

در شکل ۲ تغییرات ساختاری چسب اوره فرمالدهید قبل و بعد از افزودن نانورس توسط طیف‌سنجی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ساختار چسب اوره فرمالدهید بعد از افزودن ۱ درصد نانورس تغییر می‌یابد، به نحوی که از شدت برخی از پیک‌ها کاسته شده و بر شدت برخی دیگر افزوده می‌شود. شکل ۲ نشان می‌دهد که در چسب حاوی نانورس، شدت باند cm^{-1}



شکل ۱. آنالیز XRD نانورس، چسب اوره فرمالدهید و چسب اوره فرمالدهید حاوی ۱ درصد



شکل ۲. آنالیز FTIR چسب اوره فرمالدهید قبل و بعد از افزودن ۱ درصد نانوسر

جدول ۵. باندهای جذب چسب اوره فرمالدهید در آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز [۶]

نوع پیوند	محل جذب cm^{-1}
NH آمین‌های آلیفاتیک نوع اول	۳۳۴۰-۳۳۵۰
O-CH ₃ اترهای آلیفاتیک	۲۹۶۰-۲۹۶۲
C=O آمیدهای نوع اول	۱۶۴۶-۱۶۵۴
C-N آمیدهای نوع دوم	۱۵۵۰-۱۵۶۰
C-H در CH ₃ و CH ₂	۱۳۸۰-۱۴۰۰
C-N در CH ₂ -N	۱۳۳۰-۱۳۸۰
C-N و N-H در آمیدهای نوع سوم	۱۲۵۰-۱۲۶۰
C-O در اترهای آلیفاتیک	۱۱۳۰-۱۱۵۰
C-N یا NCN در پیوندهای متیلیتی	۱۰۳۰-۱۰۵۰
C=O در اسکلت NCON	۷۵۰-۷۸۰

بتنویت انعقاد چسب اوره فرمالدهید را تسریع می‌کند، به طوری که با افزودن این نانوذرات، دمای انعقاد اولیه و پیک انعقاد چسب اوره فرمالدهید از ۸۵ و ۱۱۰ به ترتیب به ۷۵ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. انعقاد سریع‌تر چسب به معنای نیاز به دمای کمتر پرس و همچنین مصرف انرژی کمتر در حین ساخت تخته است که مورد توجه صاحبان صنعت است. در تهیه پانل‌های چوبی از چسب‌های اوره فرمالدهید حاوی

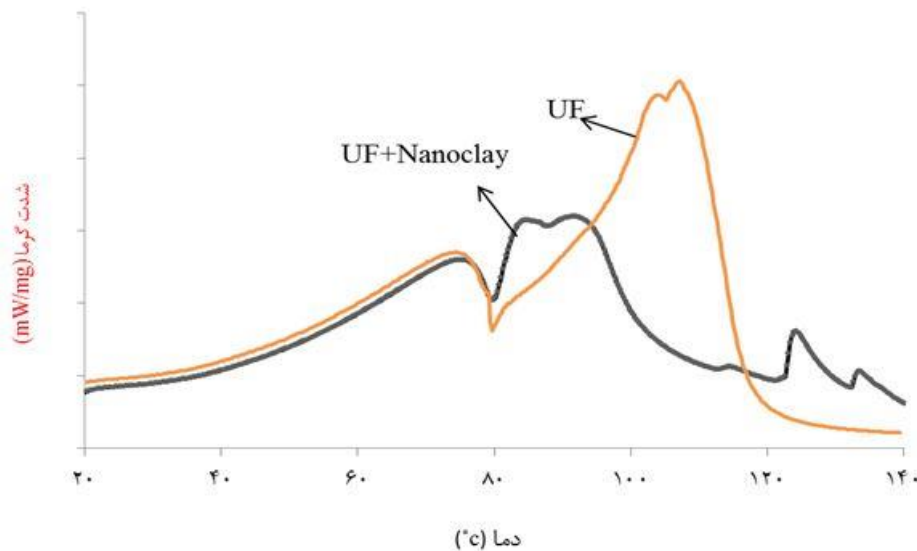
تأثیر نانوذرات بتنویت بر ویژگی‌های حرارتی

چسب اوره فرمالدهید

شکل ۳ تأثیر نانوذرات بتنویت بر دمای انعقاد چسب اوره فرمالدهید را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، انعقاد چسب اوره فرمالدهید مانند سایر چسب‌های گرماسخت از نوع گرمازاست. شکل ۳ نشان می‌دهد که پیک‌های گرمازای چسب اوره فرمالدهید تحت تأثیر نانوذرات بتنویت قرار می‌گیرد. نانوذرات

نتایج آنالیز DSC نشان می‌دهد که با افزودن ۱ درصد نانوذرات بتونیت سطح زیر منحنی DSC که بیانگر مقدار آنتالپی (ΔH) است کاهش زیادی می‌یابد. کاهش آنتالپی به معنای تولید گرمای کمتر در طی انعقاد چسب است. لی و همکاران (۲۰۰۸) و ژان و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که افزودن نانوذرات رس بر ویژگی‌های حرارتی چسب اوره فرمالدهید تأثیر می‌گذارد و موجب کاهش دمای انعقاد و آنتالپی چسب می‌شود [۷، ۵].

نانوذرات رس به دلیل متفاوت بودن ویژگی‌های رئولوژیک آنها، رفتار آنها در طی پرس گرم و در نتیجه عملکرد آنها متفاوت خواهد بود. شکل ۳ همچنین نشان می‌دهد که چسب‌های حاوی نانوذرات، پیک پهن‌تری نسبت به نمونه‌های شاهد دارند که نشان می‌دهد میزان اتصالات عرضی کنترل شده در آنها بیشتر است که در نهایت به ایجاد ساختار منظم‌تر در ساختار چسب نهایی منجر می‌شود [۱۴].



شکل ۳. آنالیز DSC چسب اوره فرمالدهید قبل و بعد از افزودن ۱ درصد نانورس

طی ساخت فرآورده‌های چندسازه چوبی کاهش یافته و در نتیجه بازدهی تولید افزایش می‌یابد. نتایج بررسی‌های ساختاری نشان داد که افزودن نانوذرات رس، موجب تغییرات ساختاری چسب می‌شود و میزان اتصال متیلنی را کاهش می‌دهد. همچنین، بعد از افزودن نانورس به چسب، ساختار اتمی منظم نانورس از بین رفت و نانوذرات در درون پلیمر لایه‌لایه شدند. نتایج آنالیز حرارتی نشان داد که افزودن نانوذرات، سبب تسریع انعقاد چسب اوره فرمالدهید می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر نانوذرات رس به‌عنوان پرکننده بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، ساختاری و حرارتی چسب اوره فرمالدهید بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن نانوذرات رس به چسب UF، دانسیته، ویسکوزیته و درصد ماده جامد چسب اوره فرمالدهید را افزایش می‌دهد، درحالی که مقدار فرمالدهید آزاد و زمان ژله‌ای شدن چسب را می‌کاهد. با کاهش زمان ژله‌ای شدن چسب، زمان پرس گرم در

References

- [1]. Fathy, L., Faezipour, M., and Bahmani, M. (2010). Effect of UF and MUF resins on the practical properties of particleboard produced from rice straw and aspen particles. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 25 (2): 321-331.
- [2]. Kim, J.W., Carlborn, K., Matuana, M., and Heiden, P.A. (2005). Thermoplastic modification of urea-formaldehyde wood adhesives to improve moisture resistance. *Journal of Applied Polymer Science*, 101(6): 4222-4229.
- [3]. Jiuyin, P., Sunchaun, A., shicheng, Z., and Haixing, C. (2010). Study of modification of urea formaldehyde with keratine. *Advanced Material Research*, 113 (14): 1787-1791.
- [4]. Pizzi, A., and Mittal, K.L. (2003). *Handbook of Adhesive Technology*, CRC Press, Marcel Dekker, New York. pp: 1036
- [5]. Lei, H., Du, G., Pizzi, A., and Celzard, A. (2008). Influence of nano clay on urea- formaldehyde resins for wood adhesive and its model. *Journal of Applied Polymer Science*, 109(4): 2442-2451.
- [6]. Zhang, X., and Smith, G.D. (2011). Natural nanotube as novel filler for particle board production. *Joint International Symposium on Wood Composite and Veneer Processing and Products*, Washington.
- [7]. Xian, D., Semple, K.E., Haghdan, S., and Smith, G.D. (2013). Properties and wood bonding capacity of nanoclay-modified urea and melamine formaldehyde resin. *Wood and Fiber Science*, 45(4):1-13.
- [8]. Park, B.D., and Jeong, H.W. (2011). Hydrolytic stability and crystallinity of cured urea-formaldehyde resin adhesives with different formaldehyde/urea mole ratios, *International Journal of Adhesion and Adhesive*, 31(6): 524-529.
- [9]. Yang, G.D., Lin, Q.J., and Liu, J.H. (2004). The effects of nano-SiO₂ on the properties of the urea formaldehyde resin. *Journal of Fujian College of Forestry*, 24(2):114-117.
- [10]. Qiaojia, L., Guidi, Y., Jinghong, L., and Jiuping, R. (2006). Property of nano- SiO₂/urea formaldehyde resin. *Frontiers of Forestry in China*, 1(2):230-237.
- [11]. Kaboorani, A., and Rield, B. 2011. Effects of adding nano-clay on performance of polyvinyl acetate (PVA) as a wood adhesive. *Composite Part A*, 42(2011): 1031-1039.
- [12]. Pavlidou, S., and Papaspyrides, C.D. (2008). A Review on polymer -layered silicate nanocomposits. *Progress in Polymer Science*, 33(12): 1119-1198.
- [13]. Alexandre, M., and Dubois, P. (2000). Polymer-layered silicate nanocomposits: preparation, properties and uses of new class of material. *Material Science Engineering Report*, 28(1-2): 1-63.
- [14]. Pizzi, A., Lu, X., and Garcia, R. (1999). Lignocellulosic substrates influence on TTT and CHT curing diagrams of polycondensation resins. *Journal of Applied Polymer Science*, 71: 915-925.