Archive of SID

مجموعه مقالات اولین همایش ملّی مدیریت منابع طبیعی
۸ اسفند، ۱۳۹۲، دانشگاه گنبد کاووس

تقویت چسب اوره فرمالدهید با استفاده از نانوسلولز

سمیرا برزعلی[۱*]، لعیا جمالی راد[۲]، فرشید فرجی[۳]، سحاب حجازی[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه گنبد کاووس، [۲و۳] استادیار دانشکده و کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، [۴] استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران

چکیده

عملکرد مکانیکی اتصالات چسب– چوب یک مسئله کلیدی در ساخت فرآورده‌های چوبی، به ویژه در کاربرد ساختمانی است. خصوصیات چسب به طور چشم‌گیری مقاومت اتصال چسب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اندازه ذرات پرکننده اثر قابل توجهی بر عملکرد وکارایی رزین‌های گرماسخت دارد. به همین دلیل ابعاد کوچک نانو سلولز باعث افزایش تماس سطحی بین چوب و چسب می‌شود و در نتیجه چسبندگی خوبی ایجاد می‌کند. از این رو در این تحقیق اهمیت و جایگاه مواد سلولزی و نانو سلولزی به عنوان ماده تقویت کننده چسب اوره فرمالدهید و دلایل استفاده و نحوه‌ی تأثیر آن‌ها به عنوان تقویت کننده چسب اوره فرمالدهید بر روی عملکرد این رزین مورد بررسی قرار گرفته است. هم‌چنین تأثیر چسب اوره فرمالدهید تقویت شده با نانوسلولز بر روی مقاومت‌های مکانیکی تخته‌های ساخته شده از قبیل مدول خمشی و کششی، چسبندگی داخلی و انرژی شکست ویژه و مقاومت‌های فیزیکی از قبیل جذب آب و واکشیدگی ضخامت مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج و بررسی‌ها نشان می‌دهد که تخته تراشه‌های ساخته شده با ۱ درصد وزنی نانو فیبر سلولزی، واکشیدگی ضخامت کم‌تر، چسبندگی داخلی و مقاومت خمشی بهتری نسبت به تخته تراشه‌های ساخته شده با چسب اوره فرمالدهید خالص نشان داده است. هم‌چنین نانو فیبریل سلولزی انرژی شکست ویژه اتصالات چسب اوره فرمالدهید را نیز افزایش می‌دهد. تخته لایه‌های ساخته شده با ۲۰ درصد نانو ویسکرهای سلولزی مقاومت به رطوبت را افزایش داده است و هم‌چنین باعث بهبود سطح تخته می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: نانو ذرات، جذب آب، واکشیدگی ضخامت، چسبندگی داخل، انرژی شکست

۱- مقدمه

درکنار تامین مواد خام اولیه برای صنایع مختلف چوب، مسأله استفاده از فنآوری‌ها و پیشرفت‌های علمی جدید به منظور بهینه‌سازی تولید و افزایش کیفیت و سرعت تولید دارای اهمیت می‌باشد. امروزه استفاده از پیشرفت‌های جدید درعرصه علوم و صنایع چوب و کاغذ بخش مهمی از پژوهش‌ها را به خود اختصاص داده است. یکی از جدیدترین پیشرفت‌های علمی سال‌های اخیر مبحث فنآوری نانو می‌باشد. در صنایع چوب و کاغذ از فنآوری نانو، به طور عمده برای تولید نانو چندسازه‌های لیگنوسلولزی استفاده می‌شود (طارمیان همکاران، ۲۰۰۸). نانو تکنولوژی عنوانی است که برای اولین بار توسط دکتر اریک درکسلر در سال ۱۹۸۶ در کتاب موتورهای آفرینش به کاربرده شد. نانو تکنولوژی به مجموعه اقدام‌هایی اطلاق می‌گردد که با آن می‌توان به شناخت دقیق ماهیت مواد، ساختار و خواص آن‌ها، با دقت کنترل شگفت آوری دست یافت. مقیاس نانو به مقیاس اتم‌ها و مولکول‌ها نزدیک است، پس می‌توان گفت نانوتکنولوژی عبارت است از فناوری در سطوح اتم‌ها، مولکول‌ها و ابرمولکول‌ها در محدوده یک تا۱۰۰ نانومتر (دیداری و همکاران، ۱۳۸۷). یکی از نخستین کاربردهای نانوتکنولوژی تولید نانوفیلرها برای بهبود ویژگی‌های مکانیکی کامپوزیت‌ها بود (Roes و همکاران، ۲۰۰۷). تمایل به تولید مواد کامپوزیت با فیلر در حد نانو یا تقویت‌کننده‌ها در سال‌های

* samirabarzali@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

اخیر رشد کرده است (Nourbakhsh و Ashori، ۲۰۰۹). با توجه به فراوانی مصرف رزین اوره فرمالدهید (UF[1]) در صنایع فرآورده‌های مرکب چوبی، مطالعه پیرامون بهینه‌سازی شرایط استفاده از این چسب، اهمیت بسیار زیادی دارد. در این خصوص افزودن پرکننده‌های فیبری به چسب مایع یک فرصت بالقوه برای افزایش مقاومت است (Veigel و همکاران ۲۰۱۱). هم‌چنین با توجه به هزینه زیاد چسب در ساخت فرآورده‌ها، برای کاهش مصرف آن از موادی به نام فیلر یا پرکننده استفاده می‌شود. پرکننده‌ها می‌توانند خواص فیزیکی و مکانیکی تخته‌ها را در بعضی موارد بهبود دهند. اندازه ذرات پرکننده اثر قابل توجهی بر عملکرد و کارایی رزین‌های گرماسخت دارد، بنابراین کاهش اندازه ذرات چالشی برای پرکننده‌های به کار رفته در اصلاح چسب‌های گرماسخت محسوب می‌شود (Lie و همکاران، ۲۰۰۸). پرکننده‌ها اثری اصلاح‌کننده روی ویژگی‌های رزین اوره فرمالدهید دارند اما پرکننده‌هایی که بیش‌تر مورد استفاده قرار گرفته‌اند همگی ذراتی با ابعاد بالای مقیاس میکرون هستند که اثر اصلاح‌کنندگی کمی دارند. نانوذرات دارای ابعادی کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر می‌باشند و به دلیل مزایایی که نسبت به ذرات با ابعاد بزرگ‌تر دارند امروزه مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته‌اند (Wen و همکاران ۲۰۰۶). نانوذرات توسط بسیاری از اتم‌های سطحی که نیاز به اتم‌های مجاور دارند و دارای اتصالات ناپایدار و ویژگی‌های غیراشباع می‌باشند، احاطه می‌شوند. این اتم‌ها به آسانی با سایر اتم‌ها ترکیب می‌شوند تا به حالت پایدار برسند. نانوذرات واکنش‌پذیری شیمیایی بسیار بالایی دارند و با داشتن سطح تماس بالا نه تنها به خوبی به عنوان پرکننده عمل می‌کنند، بلکه با توجه به پتانسیل‌هایی که دارند می‌توانند باعث بهبود ویژگی‌های تخته شوند (Qiojia و همکاران، ۲۰۰۶). یکی از معایب عمده چسب اوره فرمالدهید انتشار فرمالدهید و ترکیبات آلی فرار در شرایط سرویس می باشد که منجر به بروز مشکلات زیست محیطی می‌شود. روند کلی در صنعت چسب‌سازی در آینده در مقیاس جهانی، استفاده از چسب‌های برپایه مواد زیستی می باشد. اما هنوز نمی‌توان چسبی را یافت که بر پایه مواد زیستی بوده و بتواند مزایای چسب‌های بر پایه‌ی مواد نفتی را دارا باشد. تلفیق مواد زیستی هم‌چون مواد لیگنوسلولزی با چسب‌های اوره فرمالدهید، باعث کاهش آثار سوء زیست محیطی چسب اوره فرمالدهید می‌شود. بدین منظور کاربرد مواد لیگنوسلولزی جهت تقویت چسب‌های پلی‌مری درسال‌های اخیر مورد توجه قرارگرفته است. هم‌چنین فیبرهای طبیعی در مقایسه با مواد مصنوعی به دلیل زیست تخریب‌پذیری، فراوانی و ایجاد مقاومت‌های خاص، بیش‌تر مورد توجه هستند (Atta-obeng، ۲۰۱۱). طی دهه‌های اخیر معرفی نانوذرات، فرصت مناسبی را در برابر صنایع پلی‌مری به منظور دست‌یابی به خواص بهتر مکانیکی فرآورده‌های مرکب چوبی قرار داده است. 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 می‌شود (Kaboorani و Reidl، ۲۰۱۱). به دلیل اینکه رزین اوره فرمالدهید (UF)، چسبندگی قوی با اکثر مواد سلولزی ایجاد می‌کند. کاربرد نانو فیبر سلولزی (CNF[2])، برای تقویت این چسب‌ها مناسب می‌باشد. با تقویت چسب اوره فرمالدهید با نانو فیبر سلولزی می‌توان به یک چسب دوست‌دار محیط زیست دست یافت. در گذشته تحقیقات گوناگونی جهت تقویت چسب اوره فرمالدهید (UF) و افزایش خواص فیزیکی و مکانیکی آن انجام شده است. این کار از طریق اصلاح شیمیایی پلی‌مر اوره فرمالدهید، ترکیب با دیگر پلی‌مرها و تقویت با انواع مختلف فیبرها امکان‌پذیر است و از آن‌جایی که چسب برای چسب‌زنی به قطرات ریز در حدود ۶۰-۴۰ میکرومتر تبدیل شده و روی چوب اعمال می‌شود به عامل تقویتی در سایز میکرو یا نانو نیاز است (Veigel و همکاران، ۲۰۱۲).

۲- سلولز

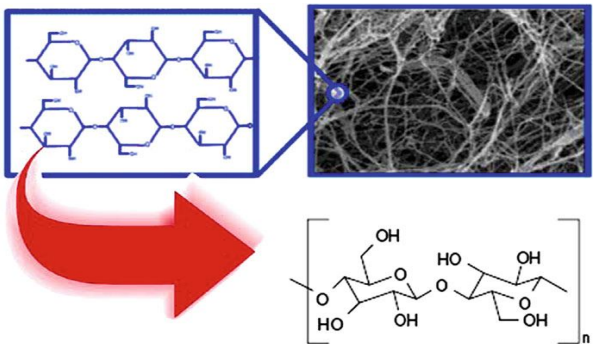
سلولز یکی از فراوان‌ترین پلی‌مرها بر روی زمین است و سالیانه حدود $۱۰^{۱۳}$ تن به وسیله‌ی موجودات زنده تولید می‌شود. سلولز پلی‌مر طبیعی که به وفور در الیاف گیاهان یافت می‌شود و شامل ذرات نانو فیبریل با عرض ۳۸-۳ نانومتر و طول بیش‌تر از ۵ میکرومتر می باشد (Veigel و همکاران، ۲۰۱۱). ساختار مولکولی سلولز مسئول تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی آن است. به طور کلی در ساختار نانو فیبریل، واحدهای زنجیری سلولز به دور خود چرخیده و دارای زاویه ۱۸۰ درجه نسبت به واحد زنجیری

[1] Urea-Formaldehyde
[2] Cellulose Nanofiber

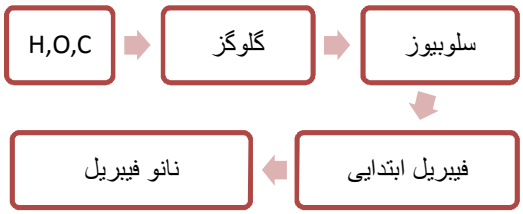
www.SID.ir

Archive of SID

دیگر هستند. هم‌چنین واحد تکرارشونده در هر زنجیر سلولزی، سلوبیوز نام دارد. سلوبیوز از دو واحد گلوکز که توسط پیوند کوالانسی با یکدیگر اتصال یافته‌اند، تشکیل می‌شود. شکل ۱ ساختار یک سلوبیوز تشکیل شده از دو واحد گلوگز را نشان می دهد که واحد گلوکزی هزاران بار تکرار می‌شود تا یک زنجیر سلولزی تشکیل دهد. هر یک از انواع سلولز دارای هندسه‌ی مختص به خود هستند. سلولز جامد دارای دو ناحیه کریستالی با ساختار منظم و ناحیه آمورف با ساختاری بی شکل و نامنظم است. سلولز در برابر مواد قلیایی مقاوم است اما در برابر مواد اسیدی به آسانی هیدرولیز می‌شود و هم‌چنین سلولز در برابر عوامل اکسیدکننده نسبتاً مقاوم است (Kalia و همکاران، ۲۰۱۱). بخش کریستالین سلولز دارای مقاومت تقریبی۱۰ گیگاپاسکال و مدول الاستیسیته‌ای در دامنه ۱۳۸ گیگاپاسکال است (Veigel و همکاران، ۲۰۱۱). سلولز بعد از جداسازی یا سنتز، نانو سلولز نامیده می‌شود و خصوصیات مکانیکی برجسته‌ای را هنگامی که به عنوان ماده‌ای در مقیاس نانو به کار می‌رود، ارائه می دهد. شکل ۲ طرح کلی تشکیل نانو فیبریل‌ها (CNF) از اتم‌های H، O و C را نشان می دهد (Yousefi و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۱) ساختار یک سلوبیوز تشکیل شده از دو واحد گلوگز (Kalia و همکاران، ۲۰۱۱)



شکل ۲) طرح کلی از سلسله مراتب تشکیل نانو فیبریل‌های سلولزی (Yousefiو همکاران، ۲۰۱۰)

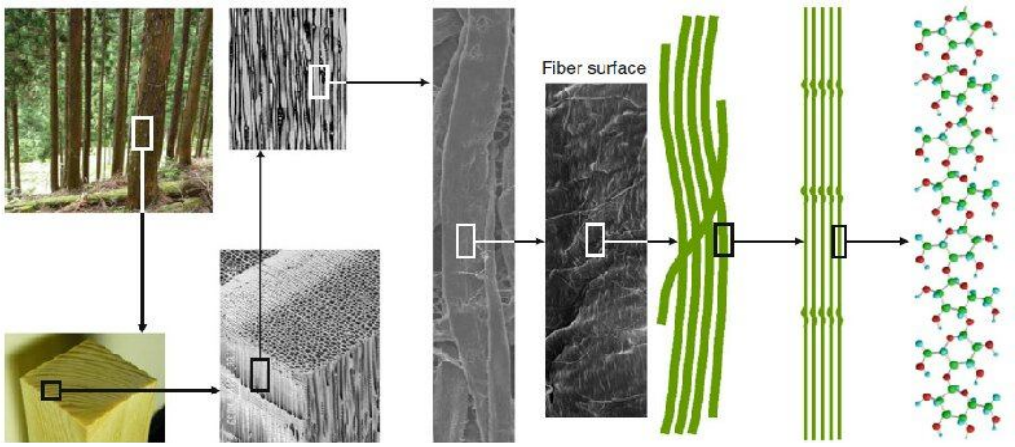
۳- نانو فیبر سلولزی از فیبرهای سلولزی

نانو سلولزها دارای قطر کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر هستند. یکی از ویژگی‌های قابل توجه نانو سلولزها سطح ویژه زیاد آن‌ها است که این سطح ویژه بالا، ظرفیت عالی جهت چسبندگی، جذب مولکولی و یونی ایجاد می‌کند. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه جداسازی و تهیه نانوسلولز از گیاهان به عنوان پرکننده نانو کامپوزیت‌ها صورت گرفته است. ضایعات محصولات کشاورزی یکی از منابع با ارزش برای تولید نانو فیبریل‌های سلولزی هستند. هم‌چنین فیبرهای کشاورزی دارای میکرو فیبریل‌های سلولزی با دیواره سلولی ضعیف‌تر نسبت به دیواره سلولی چوب می‌باشند. بنابراین برای فیبریله کردن آن‌ها جهت تولید نانو سلولز به انرژی کمتری نیاز است. نانو فیبریل‌های سلولزی را می‌توان از پسماند محصولات کشاورزی از جمله ساقه کتان، کنف، ذرت، گندم، شلتوک برنج، ساقه جو، ساقه نیشکر و سر شاخه های آناناس، موز و نارگیل تهیه کرد (Kalia و همکاران، ۲۰۱۱). در علم کامپوزیت این امر شناخته شده است که قطر کم‌تر فیبر، مقاومت‌های بالاتری را در پی خواهد داشت. در نتیجه، تلاش‌های بسیاری برای بهبود عملکرد مکانیکی اتصالات چسب به واسطه تقویت چسب با نانوذرات یا نانو فیبرهای

www.SID.ir

Archive of SID

حاصل از مواد با مقاومت بالا صورت گرفته است (Yousefi و همکاران، ۲۰۱۰). نانو سلولز می‌تواند نقش مهمی در فرایندهای کاغذ سازی و تولید نانو کامپوزیت‌های با کیفیت بالا ایفا کند. ابعاد کوچک نانو سلولز آن را قادر می‌سازد بین ماده چوبی و ماده پلی‌مری (چسب) قرار گیرد و تماس سطحی بین این دو را افزایش دهد و در نتیجه چسبندگی خوبی ایجاد کند. نانو سلولز در صنایع غذایی، رنگ سازی، وسایل آرایشی، صنایع دارویی به کار می‌رود. دلیل استفاده از نانو سلولز در کاربردهای مختلف قدرت بالای ترکیب و واکنش بالا ، وزن پایین، سازگاری با محیط زیست و تجدید شوندگی آن است (Kalia و همکاران، ۲۰۱۱). شکل ۳ چرخه تولید نانو سلولز را از مواد چوبی نشان می‌دهد.



شکل ۳) چرخه تولید نانو سلولز از مواد چوبی (Kalia و همکاران، ۲۰۱۱)

۴- روش های استخراج نانو سلولز

تحقیقات زیادی جهت استخراج نانو فیبرهای سلولزی از منابع گوناگون و کاربرد آن‌ها برای تقویت کامپوزیت انجام شده است. ساخت نانو سلولز از طریق جداسازی نانو فیبریل‌های فیبر ابتدایی توسط روش‌های گوناگون صورت می‌گیرد، که این روش‌ها شکستن زنجیر گلوکوزیدی را تسهیل می‌کند و باعث می‌شوند نانو فیبریل‌ها رشته رشته شده و به ذرات نانو سلولز تبدیل شوند (Kalia و همکاران، ۲۰۱۱). چهار روش متداول برای تولید نانوسلولز وجود دارد و براساس روش سنتز، مورفولوژی آن‌ها تشخیص داده می‌شود که در جدول ۱ آورده شده است (Yousefi و همکاران، ۲۰۱۰).

جدول ۱) انواع نانو سلولز و روش سنتز آن (Yousefiو همکاران، ۲۰۱۰)

نام روش	نوع نانوسلولز	علامت اختصاری
هیدرولیز اسیدی (بالا- پایین)	نانو ویسکرهای سلولز	[1]CNW
فیبریله کردن مکانیکی (بالا- پایین)	سلولز میکرو فیبریله شده (سلولز نانو فیبریله شده)	[2]MFC [3](NFC)
فیبریله کردن الکتریکی (بالا- پایین)	سلولز الکترودیایی	[4]ESC
سنتز باکتریایی (پایین- بالا)	سلولز باکتریایی	[5]BC

۵- خواص نانو فیبر سلولزی

[1] Cellulose nanowhisker
[2] Microfibrillated cellulose
[3] Nanofibrilated cellulose
[4] Electrospun cellulose
[5] Bactrial cellulose

www.SID.ir

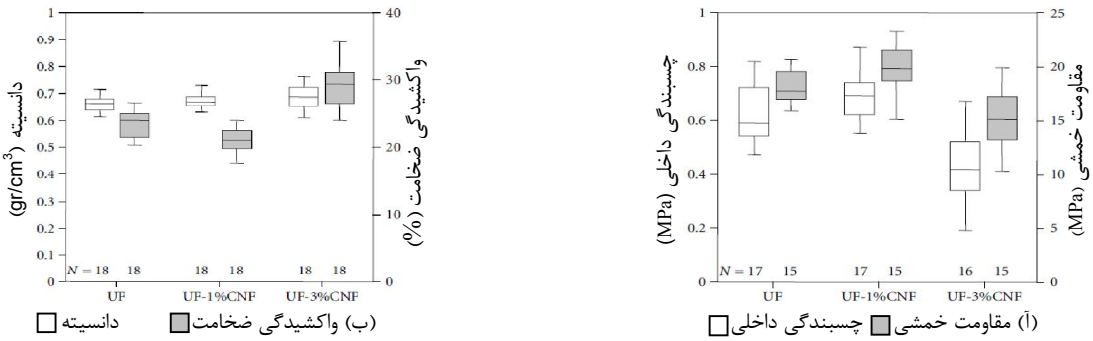
Archive of SID

بیش‌تر تحقیقات بر روی تقویت پلی‌مرهای گرماسخت و گرمانرم توسط نانو فیبر سلولزی (CNF) تمرکز کرده‌اند. نانو فیبر سلولزی یکی از باریک‌ترین الیاف در طبیعت است و دارای ویژگی‌های قابل توجه از جمله: طبیعت تجدیدپذیر، ماده‌ی زیستی و زیست تخریب‌پذیر، فراوانی و در دسترس بودن، تنوع گسترده و هزینه‌ی پایین مواد خام، دانسیته پایین، استحکام و مدول بالا، جذب بالای صوت، سطح بسیار واکنش پذیر، سطح ویژه و نسبت ابعاد بالا، تبلور بالا (کریستالیته‌ی بالا)، ضریب انبساط حرارتی بسیار کم، تولید نانو کامپوزیت شفاف، پایداری بالای سوسپانسیون می باشد. از محدودیت‌های کاربرد نانو فیبر سلولزی در چسب‌های پلی‌مری می توان به این موارد اشاره نمود: ناسازگاری شیمیایی با برخی از پلی‌مرها، روش‌های پرهزینه برای تولید CNF، مقاومت کم در برابر عوامل مخرب (Yousefi و همکاران ۲۰۱۰).

۶- کاربرد چسب‌های تقویت شده با نانو سلولز در ساخت فرآورده‌های چوبی

Atta-obeng (۲۰۱۱) چسب فنول فرمالدهید را با سلولز میکرو فیبریله شده (MFC)، در مقادیر ۱۰-۰ درصد وزنی تقویت کرد و به این نتیجه رسید چسب تقویت شده با سلولز، دمای گیرایی پایین و پایداری حرارتی بهتری نسبت به چسب فنول فرمالدهید خالص داشت و تست برشی افزایش مقاومت برشی را با افزودن سلولز نشان داد. Gao و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی از نانو ویسکرهای سلولز (CNW) به منظور تقویت عملکرد چسب بر پایه آرد سویا استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند استفاده از نانو ویسکرهای سلولز به مقدار ۲۰ درصد وزنی مقاومت به رطوبت را افزایش داده است. هم‌چنین استفاده از نانو ویسکرهای سلولز باعث صاف‌تر شدن سطح تخته لایه و کم شدن حفرات و شکاف‌ها شد. آنالیز مقاومت به رطوبت در پرس داغ نیز نشان داد تخته لایه تولید شده با چسب مذکور مقاومت بیش‌تری پیدا کرده است چرا که دما و زمان پرس داغ بیش‌تر شده است.

Veigel و همکاران (۲۰۱۲) خواص مکانیکی تخته تراشه جهت‌دار شده (OSB[1]) و تخته تراشه معمولی (SB[2]) ساخته شده توسط چسب‌های تقویت شده با نانو فیبر سلولزی را مورد بررسی قرار دادند. مقادیر ۰، ۱ و ۳ درصد نانو سلولز به چسب اوره فرمالدهید (UF) و ملامین اوره فرمالدهید (MUF[3]) اضافه کردند و به این نتیجه رسیدند تخته تراشه‌های ساخته شده با ۱ درصد وزنی نانو فیبر سلولزی، واکشیدگی ضخامت کم‌تر، چسبندگی داخلی و مقاومت خمشی بهتری نسبت به تخته تراشه‌های ساخته شده با چسب اوره فرمالدهید خالص نشان داده است (شکل ۳). افزودن نانو سلولز در ابتدا تحمل شکست و دوام نسبت به گسیختگی تخته‌ها را بهبود می‌دهد. در واقع پانل‌های چوبی با استفاده از چسب‌های با پرکننده نانو سلولز دارای مدول الاستیسیته بالاتری هستند. آن‌ها هم‌چنین اعلام کردند که ترکیب پودری چسب ملامین اوره فرمالدهید و ذرات چوب با سایز بزرگ‌تر برای دست‌یابی به تأثیر بهتر تقویت کننده مناسب می‌باشند.



شکل ۳) مقاومت‌های مکانیکی تخته‌های OSB در مقیاس آزمایشگاهی: (آ) چسبندگی داخلی و مقاومت خمشی، (ب) دانسیته و واکشیدگی ضخامت بعد از ۲۴ ساعت(Veigel و همکاران ۲۰۱۱)

[1] Oriented Strand Board
[2] Strand Board
[3] Melamine-Urea-Formaldehyde

www.SID.ir

Archive of SID

در تحقیقی دیگر Veigel و همکاران (۲۰۱۱) اثر افزودن نانو فیبر سلولزیروی انرژی شکست ویژه اتصالات چسب اوره فرمالدهید را مورد بررسی قرار دادند. به منظور تهیه نمونه تیرهای چوب صنوبر با دانسیته۴۵۰±۱۸kg/m^{3}با دو چسب اوره فرمالدهید، یعنی چسب پودری غیر ساختمانی و چسب ویسکوزیته پائین تقویت شده با نانو فیبر سلولزی ساخته شدند. نتایج پژوهش حاضر امکان چقر کردن (سفت کردن) اتصالات چسب اوره فرمالدهید را با افزودن نانو فیبریل‌های سلولز به اثبات رسانده است. ترکیب اوره فرمالدهید پودری با نانو فیبریل سلولزی برای این منظور مناسب‌تر بود و افزودن ۲ درصد نانو فیبریل سلولزی انرژی شکست ویژه اتصالات چسب اوره فرمالدهید را افزایش می‌دهد.

۶-نتیجه گیری

یکی از ویژگی‌های قابل توجه نانو سلولزها سطح ویژه زیاد آن‌ها است که این سطح ویژه بالا، ظرفیت عالی جهت چسبندگی، جذب مولکولی و یونی ایجاد می‌کند. در نتیجه، تلاش‌های بسیاری برای بهبود عملکرد اتصالات چسب به واسطه تقویت چسب با نانوذرات یا نانو فیبرهای حاصل از مواد با مقاومت بالا صورت گرفته است (Kalia و همکاران، ۲۰۱۱). دلیل استفاده از نانو سلولز در کاربردهای مختلف قدرت بالای ترکیب و واکنش بالا، وزن پایین، سازگاری با محیط زیست و تجدیدشوندگی آن است (Kalia و همکاران، ۲۰۱۱). ترکیب نانو فیبرهای سلولز در مقایسه با فیبرهای معمولی، داخل پلی‌مرها می‌تواند تأثیر زیادی روی خواص مکانیکی فرآورده‌های چوبی ساخته شده از قبیل مدول کششی و خمشی داشته باشد (Yousefi و همکاران۲۰۱۰). چسب تقویت شده با فیبرهای سلولزی دمای گیرایی پایین و پایداری حرارتی بهتری نسبت به چسب خالص نشان می‌دهد (Atta-obeng، ۲۰۱۱) و افزودن نانو فیبر سلولزی، انرژی شکست ویژه اتصالات چسب اوره فرمالدهید را نیز افزایش می‌دهد (Veigel و همکاران ۲۰۱۱).

منابع

۱- دیداری، م.، فرهمند بروجنی، ح. و عابد اصفهانی، م. ۱۳۹۰. مقایسه نانو مواد هیدروکسید کلسیم و هیدروکسید منیزیم در اسیدزدایی چوب‌های خشک تاریخی به روش غوطه‌وری. نشریه ی مرمت آثار و بافت‌های تاریخی، فرهنگی. ۳۹- ۲۷.

۲- طارمیان، ا.، سپهر، ا.، گل محمدی، و. و غلامیان، ه. ۱۳۹۰. تاثیر تیمار نانو ذرات نقره بر سرعت خشک شدن و گرادیان نهایی رطوبت چوب صنوبر. مجله پژوهش های علوم و فناوری چوب جنگل. ۲(۱۸): ۵۶- ۴۱.

1. Atta-obeng, E. 2011. Characterization of phenol formaldehyde adhesive and adhesive-wood particle composite reinforced with microcrystalline cellulose. Auburn university. The degree of master of science, 93pp.
2. Gao,Q., Li, J., Q, sh., Liang, K. and Zhang, X. 2012. Soy bean meal-based adhesive reinforced with cellulose nano-whiskers. Bioresource. 7(4).5622–5633.
3. Kaboorani, A. and Reidl, B. 2011. Effects of addingnano-clay on performance of polyvinyl acetate(PVA) as a wood adhesive. Composites, Part A 42.1031–1039.
4. Kalia, B. Kaith, B. and Kaur, I. 2011. Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites. Green Chemistry and Technology. India. 758pp.
5. Lie, H., Du, G., Pizzi, A. and Celzard, A. 2008. Influence of nanoclay on urea-formaldehyde resins for wood adhesives and its model. Journal of aplied polymer science, 109.2442–2451.
6. Nourbakhsh, A. and Ashori, A. (2009). Influence ofnanoclay and coupling agent loading on the physical-mechanical properties of bagasse / PP nanocomposite, Applied Polymer Science, 112(3). 1386-1390.
7. Qiaojia, L., Guidi, Y., Jinghong, L. and Jiuping, R. 2006. Property of nano-SiO2 / urea formaldehyde resin,Journal of Fujian Agriculture and Forestry, Fuzhou 350002, China, 2. 230-237.
8. Roes, A., Marsili, E., Nieuwlaar, E. and Patel, M. (2007). Environmental and cost assessment of a polypropylene nanocomposite, Journal of Polymers and the Environment. 15(3). 212-226.
9. Veigel, S., Muller, U., Keckes, J., Obersriebnig, M. and Gindl-Altmutter, W. 2011. Cellulose nanofibrils as filler for adhesive bonds. Springer Science+Business Media B,18. 1227-1237.
10. Veigel, S., Rathke, J., Weigl, M. and Gindl-Altmutter, W. 2012. Particle board and oriented strand board prepared with nanocellulose-reinforced adhesive. Journal of Nanomaterial. 1–8.

www.SID.ir

Archive of SID

11. Wen, L., Yu-he, D., Mei, ZH., Ling, X. and Qian, F. 2006. Mechanical properties of nano SiO2 filled gypsum particle board, Project (30371130) Supported by the National Natural Science Foundation of China. 360-364.
12. 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.

www.SID.ir