مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۵ شماره ۳، صفحه ۲۸۲-۲۷۱، (۱۳۹۹)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJWPR.2020.351285.1628
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0913.1399.35.271.72.3.1576.1606

بررسی تأثیر نانو کریستال سلولز بر خواص فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب سیمان

منا شایسته‌کیا[۱]، حبیب‌اله خادمی اسلام [۲*]، بهزاد بازیار[۳] ، حسین رنگ‌آور[۴] و حمیدرضا تقی یاری[۴]

۱- دانشجوی دکترای گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استاد، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

پست الکترونیک: hkhademieslam@gmail.com

۳- استادیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۴- دانشیار، عضو هیئت علمی، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۹

چکیده

در این تحقیق اثر نانو کریستال سلولز بر خواص کاربردی صفحات چوب سیمان بررسی شد. عوامل متغیر درصد نانو که در پنج سطح (۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵ و ۱ درصد)، وزن سیمان و همچنین اختلاط خرده چوب با سیمان که در سه سطح (۱ به ۳، ۱ به ۳/۵ و ۱ به ۴) برابر وزن خشک سیمان بود. از خرده چوب صنوبر و سیمان پرتلند نوع ۲ به‌عنوان عوامل ثابت استفاده شد. به‌طور کلی ۱۵ تیمار و از هر تیمار ۳ تکرار ساخته شد. تهیه نمونه مطابق با استاندارد (DIN/EN 634) و اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی ازجمله مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته مطابق با استاندارد (DIN/EN 310)، چسبندگی داخلی مطابق با استاندارد (DIN/EN 319)، واکشیدگی ضخامت بعد از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب مطابق با استاندارد (DIN/EN 317) انجام شد. افزایش نانو کریستال سلولز باعث بهبود مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی گردید. تصاویر میکروسکوپی SEM برای بررسی خواص ریزساختاری چندسازه از نمونه‌ها تهیه شد. تصاویر نشان داد که با افزودن نانو کریستال سلولز درهم‌رفتگی مواد نانو کامپوزیت‌ها بهبود و خواص مکانیکی و فیزیکی افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: نانوتکنولوژی، تخته چوب سیمان، نانو کریستال سلولز، کامپوزیت، سلولز، خرده چوب صنوبر.

مقدمه

در سایه بحران محیط‌زیست که امروزه به یک مسئله جهانی تبدل شده است، برای کاهش وابستگی به منابع فسیلی و تجدیدناپذیر روی آوردن به استفاده از مواد دوستدار محیط زیست امری حیاتی محسوب می‌شود. توسعه نانو کامپوزیت-های مبتنی بر منابع زیست محیطی تجزیه شونده نیز جزئی از ضرورت‌های دنیای امروز شمرده می‌شود. در طی سال‌های اخیر فناوری تولید پانل‌های چوب سیمان، رشد و توسعه چشم‌گیری یافته و خطوط تولید این فراورده در اغلب کشورهای جهان مستقر شده است. این فراورده‌ها دارای خواص کاربردی مطلوبی از قبیل مقاومت به عوامل جوی، آتش و عوامل بیولوژیکی بوده و از پایداری ابعاد نسبتاً بالایی برخوردارند. با وجود مزیت‌های متعدد، این صفحات دارای استحکام کششی، حد دوام خستگی و مقاومت به ضربه ضعیفی هستند، ازاین‌رو افزودن مواد مختلف به ترکیب سیمان با هدف بهبود خواص تخته‌های چوب سیمان به‌منظور افزایش ویژگی

های مکانیکی این تخته‌ها امری متداول به‌شمار می‌آید. البته موانعی در بهره‌برداری مواد برای پانل چوب سیمان وجود دارد (Doost Hosseini, 2007). مشکل اصلی، بازدارندگی واکنش ناشی از چوب بر گیرایی سیمان و بالا رفتن دانسیته محصول نهایی می‌باشد. اجزاء تشکیل دهنده چوب عمدتاً مواد استخراجی و پلی‌ساکاریدها بر واکنش میان چوب و سیمان تأثیر می‌گذارند، در نتیجه کیفیت تخته پایین می‌آید. برای حل مشکل بازدارندگی، معمولاً مواد معدنی شیمیایی شناخته شده برای شتاب در گیرایی سیمان به آن می‌افزایند و یا با انجام یک پیش تیمار، مواد بازدارنده چوب را جداسازی می‌کنند. شتاب دهنده‌های شیمیایی سیمان معمولاً خصوصیات پانل چوب سیمان را افزایش می‌دهند (Doost Hosseini, 2007) . یکی از نویدبخش‌ترین افزودنی‌ها در صنعت تخته چوب سیمان، می‌تواند نانو سلولز باشد. به‌طوری‌که مقدار استفاده از آن در ساخت پانل‌های چوب سیمان و نحوه استفاده از آن می‌تواند در بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی این پانل‌ها مؤثر باشد. فناوری نانو بیانگر تغییر اندازه ذرات یک ماده است، به‌طوری‌که حداقل یکی از ابعاد آن در مقیاس ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد، در این صورت خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ذرات به‌دست‌آمده اساساً متفاوت از ماده اولیه است (Kamel, 2007). در طی سال‌های اخیر، این فناوری با سرعت چشمگیری به یک دانش میان‌رشته‌ای تبدیل شده و یکی از جنبه‌های تحقیقاتی مورد توجه آن استخراج نانو سلولز از منابع زیست‌تخریب‌پذیر و به‌کارگیری آن در تولید فراورده‌ها و محصولات مختلف است. زیرا سلولز فراوان‌ترین ماده آلی خام موجود در طبیعت بوده و دارای قابلیت خودآرایی در مقیاس میکرو تا نانومتر است (Jonoobi *et al*., 2009). علاوه‌براین سلولز یک ماده تجدیدپذیر و چندمنظوره بوده و به‌راحتی می‌تواند جایگزین بسیاری از مواد تجزیه‌ناپذیر گردد (Jonoobi *et al*., 2010). ازاین‌رو نسبت به سایر مواد ارجحیت دارد (Jonoobi *et al*., 2010). سلولز یک پلیمر طبیعی با استحکام بالا به ازای واحد وزن بوده و ماده ساختمانی آن سلول‌های فیبری بلند است. سلولز به‌صورت میکروفیبریل‌هایی از نواحی آمورف و کریستالی دارای پیوندهای قوی هیدروژنی سازمان‌دهی شده است و خود دارای واحدهای مونومری گلوکوپیرانوزید متصل شده با پیوندهای ۴-۱ β در دیواره سلول است. در مقالات مختلف عبارتهای گوناگونی مانند (کریستال‌ها) یا (نانو کریستال سلولز) برای معرفی این نانو ذرات میله مانند ارائه شده است. نانو کریستال‌های سلولز نواحی کریستالی بوده و به‌عنوان نواحی مونو کریستالی سلولز شناخته می‌شوند. با توجه به ساختار با کریستالیته بالای cellulose nanocrystals (CNCs) مدول الاستیک آنها برابر مدول سلولز کریستالی است (تا ۱۴۰ گیگاپاسکال) که این امر را می‌توان به طبیعت سخت و توانایی آنها در برقراری پیوند هیدروژنی نسبت داد. همچنین نانو سلولزها در مورد بهبود قدرت و مدول بسپارها به‌ویژه در درجه حرارت بالاتر از Tg شبکه بسپاری میزبان مؤثر بوده‌اند. بدیهی است، ورود کریستال به دلیل استحکام و فعل‌وانفعالات قوی با شبکه از طریق برقراری پیوند هیدروژنی منجر به تقویت مواد می‌گردد (Azizi Samir *et al*., 2005).

سابقه تولید صفحه‌های چوب سیمان به سال (۱۹۱۴) می رسد، به‌طوری‌که در اتریش نوعی پانل فشرده چوبی که در ساخت آن کربنات منیزیم (Mg Co3) به‌عنوان عامل اتصال‌دهنده استفاده شده بود، تولید گردید. Qi و همکاران در سال (۲۰۰۹) خواص فیلم‌های متشکل از کریستال‌ها و شبکه سلولز را بررسی نمودند. با افزایش مقدار کریستال از ۰ تا ۱۰ درصد وزنی، قدرت کشش از ۸۷ تا ۱۲۴ مگاپاسکال افزایش یافت. بدیهی است ورود کریستال به دلیل استحکام و فعل وانفعالات قوی با شبکه از طریق برقراری پیوند هیدروژنی منجر به تقویت مواد می‌گردد. بااین‌حال، کامپوزیت‌های حاوی بیش از ۱۰ درصد پرکننده، کاهش اندکی در استحکام کششی نشان دادند. بنابراین، مقدار بهینه ۵-۱۰ درصد برآورد شد. افزایش مقدار کریستال منجر به کاهش تدریجی ازدیاد طول از ۹/۵ به ۰/۴درصد گردید. Mohammad Kazemi (۲۰۱۰) به بررسی اثر نانوسیلیس بر خواص کاربردی صفحات چوب سیمان ساخته شده از کارتن کهنه و پوسته برنج پرداخت. در این پژوهش اثر نانوسیلیس در چهار سطح ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد (وزن سیمان) بر خواص کاربردی صفحات

چوب سیمان ساخته شده از کارتن کهنه و پوسته برنج بررسی شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده تخته‌های ساخته شده از پوسته برنج با ۲ درصد نانو سیلیس بهترین خواص کاربردی را به دلیل وجود سیلیس بیشتر، تراکم بیشتر ذرات در پرس و حرارت هیدراتاسیون بالاتر داشتند. همچنین برگشت ضخامت تخته‌های ساخته شده از کارتن کهنه به دلیل حجیم بودن الیاف آن باعث کاهش مقاومت شده است و از سوی دیگر نانو سیلیس باعث افزایش سختی و تا حدی مقاومت به آتش در تخته‌های چوب سیمان شد. Yousefi و همکاران در سال (۲۰۱۱) به بررسی ساخت مستقیم نانو کامپوزیت تمام سلولزی از میکرو فیبرهای سلولزی با استفاده از سوسپانسیون یونی نانو سلولز پرداختند. در نانو کامپوزیت ساخته شده مستقیم از میکرو الیاف سلولز که ۱۶ نانومتر بود، استفاده شد. خواص مکانیکی تخته حاصل به‌صورت زیر، مقاومت کششی ۲۰۸ مگاپاسکال و مدول یانگ ۲۰ گیگا پاسکال بود. Dong و همکاران در سال (۲۰۱۲) به تشکیل و بررسی خواص فیبرهای پلی متیل متاکریلات با نانو کریستال‌های سلولز به‌عنوان مواد تقویت‌کننده پرداختند. Abdollahi و همکاران در سال (۲۰۱۳) کاهش حساسیت به آب بیونانوکامپوزیت آلژینات حاوی نانو ذرات سلولز را بررسی نمودند. با افزایش مقدار نانو ذرات از ۰ تا ۵ درصد، قدرت کشش از ۱۸/۰۳ به ۲۲/۴ مگاپاسکال افزایش یافت اما طول از ۱۱/۵۳ به ۸/۲۵ درصد کاسته شد. بهبود مشاهده شده در قدرت کشش کامپوزیت را می‌توان به اثر تقویت‌کنندگی نانو کریستال سلولز با استحکام بالا، توزیع یکنواخت آن در شبکه زیست‌بسپار و نیز به فعل‌وانفعالات سطحی با مولکول‌های آلژینات نسبت داد. با افزایش مقدار پرکننده تا ۱۰ درصد وزنی، قدرت کشش کاهش یافت که ممکن است ناشی از تراکم پراکندگی ناهمگن و تشکیل شبکه‌ای از سلولز باشد. الیاف شامل ۱۷ درصد وزنی نانو کریستال، افزایش متوسط ۱۷ درصدی را در مدول ذخیره نشان دادند. Roohani و همکاران در سال (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر رفتار زیست تخریب‌پذیری نانو کامپوزیت‌های پلی وینیل الکل- نانو کریستال سلولز پرداختند. نتایج آنان نشان داد که افزایش درصد نانو کریستال سلولز تأثیر منفی بر روی رفتار جذب آب، ضریب انتشار و انحلال‌پذیری نانو کامپوزیت‌ها داشت. بااین‌حال، انحلال‌پذیری نانو کامپوزیت‌ها با افزایش درجه هیدرولیز ماتریس کاهش نشان داد. Tengfeiو همکاران در سال (۲۰۱۷) در تحقیق خود با افزودن مقدار کم نانو کریستال‌های سلولز حدود ۰/۲ درصد از حجم سیمان، شاهد افزایش درجه هیدراتاسیون و افزایش مقاومت خمشی سیمان تا ۲۰ درصد بودند؛ همچنین در این تحقیق مشخص شد که عملکرد و مقاومت‌های مکانیکی بلوک‌های سیمانی تقویت شده با نانو سلولز می‌تواند تحت تأثیر فرایند تولید قطعات هم قرار بگیرد.

هدف از این تحقیق بررسی و مقایسه خواص کاربردی صفحات چوب سیمان ساخته شده از خرده چوب صنوبر و نیز تعیین مقدار بهینه نانو کریستال سلولز در ساخت این فراورده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، گرده‌بینه تهیه شده از گونه صنوبر ۷ ساله از مجتمع تحقیقاتی البرز واقع در استان البرز تهیه شد. ابتدا گرده‌بینه قطع شده از درخت پوست‌کنی شد و توسط اره موتوری به قطعات کوچک تبدیل گردید. در مرحله بعد به‌وسیله چیپر به قطعات ریز تبدیل و توسط دستگاه پوشال‌کن تبدیل به خرده چوب شد. سپس الک و سایزبندی شده (2mm×10mm) و در دستگاه خشک‌کن تا رطوبت ۴٪ خشک گردید. نانو کریستال سلولز از شرکت دانش‌بنیان نانو نوین واقع در ساری به‌صورت سوسپانسیون تهیه شد (جدول ۱). در این پژوهش برای ساخت تخته‌های چوب سیمان، از سیمان پرتلند آبیک قزوین نوع ۲ استفاده شد (جدول ۲). در ساخت تخته‌ها، از کلرید کلسیم به مقدار ۳ درصد وزنی سیمان به‌عنوان عامل ثابت استفاده شد. کلرید کلسیم مصرفی پودری با جرم مولکول ۱۴۷ و خلوص ۹۹ درصد و با فرمول شیمیایی $CaCl_2.2(H_2O)$ از شرکت مرک آلمان تهیه و استفاده گردید. عوامل متغیر در این بررسی شامل: میزان نانو کریستال سلولز (پنج سطح ۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵ و ۱ درصد) و نسبت چوب به سیمان (سه سطح ۱ به ۳، ۱ به ۳/۵ و ۱ به ۴) برابر در نظر

گرفته شد. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه بررسی گردید.

پس از توزین کلیه عوامل ترکیب برای ساخت هر تخته، ابتدا نانو کریستال سلولز و کلرید کلسیم در آب حل شده و محلول حاصل بر روی خرده چوب‌ها اسپری و هم زده شد تا رطوبت درون کلیه خرده چوب‌ها یکنواخت گردد. پس از آن سیمان بر روی خرده چوب‌ها الک شد و به‌طور کامل با خرده چوب مخلوط گردید. در این مطالعه برای به‌دست آوردن مقدار آب مصرفی در ساخت هر تخته از فرمول زیر استفاده شد.

C= وزن سیمان $w=\%50\ C+ (0/30 –MC)*F$

F = وزن خرده چوب

MC = رطوبت خرده چوب

کیک چوب و سیمان به کمک قالبی به ابعاد ۱۵×۴۰×۴۰ سانتیمتر به‌طور یکنواخت و یک‌لایه فرم داده شد و بعد در یک پرس آزمایشگاهی از نوع هیدرولیکی Burkle LA-۱۶۰ پرس گردید. قطر پیستون در این پرس ۲۵ سانتی‌متر و ابعاد مفید آن ۵۰×۵۰ سانتیمتر بود. صفحه بالایی پرس ثابت و صفحه پایین آن متحرک بود. سرعت بسته شدن دهانه پرس تا ۳۰ میلی‌متر در ثانیه و حداکثر ظرفیت فشار تا 400Kp/cm2 قابل تنظیم است. کیک چوب سیمان به مدت ۵ دقیقه با فشار ۴۳ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع پرس شده و به ضخامت ۱۵ میلی‌متر رسید. سپس به مدت ۲۰ ساعت تحت فشار قید شده قرار گرفت. بعد از این مرحله تخته‌ها از قالب خارج شده و برای به حداقل رساندن سرعت خشک شدن سیمان و جلوگیری از ایجاد ترک‌های موئین در اثر خشک شدن و همچنین گیرایی کامل سیمان تخته‌ها به مدت ۲۸ روز در شرایط مناسب کلیماتیزه شدند (دمای 2±23 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی محیط 2±60 درصد). سپس طبق استانداردهای EN نمونه‌های آزمونی برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی، دانسیته و واکشیدگی ضخامت برش داده شدند. از دستگاه UNIVERSAL واقع در دانشگاه شهید رجایی برای آزمایش مقاومت‌ها استفاده شد. بارگذاری سه نقطه‌ای و سرعت بارگذاری ۵ میلی متر بر دقیقه در نظر گرفته شد. برای انجام آزمون مقاومت چسبندگی داخلی، نمونه‌ها مطابق استاندارد ذکرشده با ابعاد ۵×۵×۱/۵ سانتی‌متر تهیه شد. سپس نمونه‌های مورد نظر بوسیله چسب ترموست بر روی صفحات فلزی با ابعاد ذکر شده چسبانده شد و بعد از سه ساعت از زمان سخت شدن آزمون انجام گردید. دانسیته پانل‌ها با اندازه‌گیری وزن و ابعاد آزمون‌های تهیه شده به‌ترتیب به‌وسیله ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم و کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و با فرمول زیر محاسبه گردید. به‌طوری‌که در آن M و V به‌ترتیب وزن خشک نمونه و حجم نمونه خشک شده در شرایط محیطی بعد از ۲۸ روز است.

Density = M/V

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

برای ثبت تصاویر (SEM) نمونه‌ها به ابعاد ۱×۱ سانتیمتر برش داده شدند. بعد با دستگاه میکروسکوپ الکترونی مدل (OXFORD LEO 440 i) واقع در دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران مورد بررسی ریزساختار قرار گرفتند.

تجزیه‌وتحلیل آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی انجام شد و در نهایت مقایسه و گروه‌بندی به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گردید.

نتایج

در این بررسی نسبت چوب به سیمان در سه سطح ۱ به ۳، ۱ به ۳/۵ و ۱ به ۴ و ذرات نانو کریستال سلولز در پنج سطح (۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵ و ۱ درصد) مورد بررسی قرار گرفت. مقدار F و سطح معنی‌داری در جدول ۳ نشان داده شد.

جدول ۱- مشخصات نانو کریستال سلولز

اسم	Cellulose nanocrystal Gel
فرمول	$(C_5H_{10}O_5)$
حالت ماده	ژل ۲ درصد
رنگ	سفید
روش تولید	سنتز شیمیایی
قطر	متوسط ۲۰-۳۰ nm
طول	۲۰۰-۸۰۰ nm
درجه خلوص	۹۹ %<
Ph	۷
دانسیته	۱/۵ g/ cm^3

جدول ۲- ترکیبات اصلی سیمان پرتلند

نام ترکیب	اکسیدهای تشکیل دهنده	علامت اختصاری
سه کلسیم سیلیکات	$3CaO.SiO_2$	C_3S
دو کلسیم سیلیکات	$2Cao.SiO_2$	C_2S
سه کلسیم آلومینات	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
چهار کلسیم الومینوفریت	$4CaO.\ Al_2O_3.\ Fe_2O_3$	C_4AF

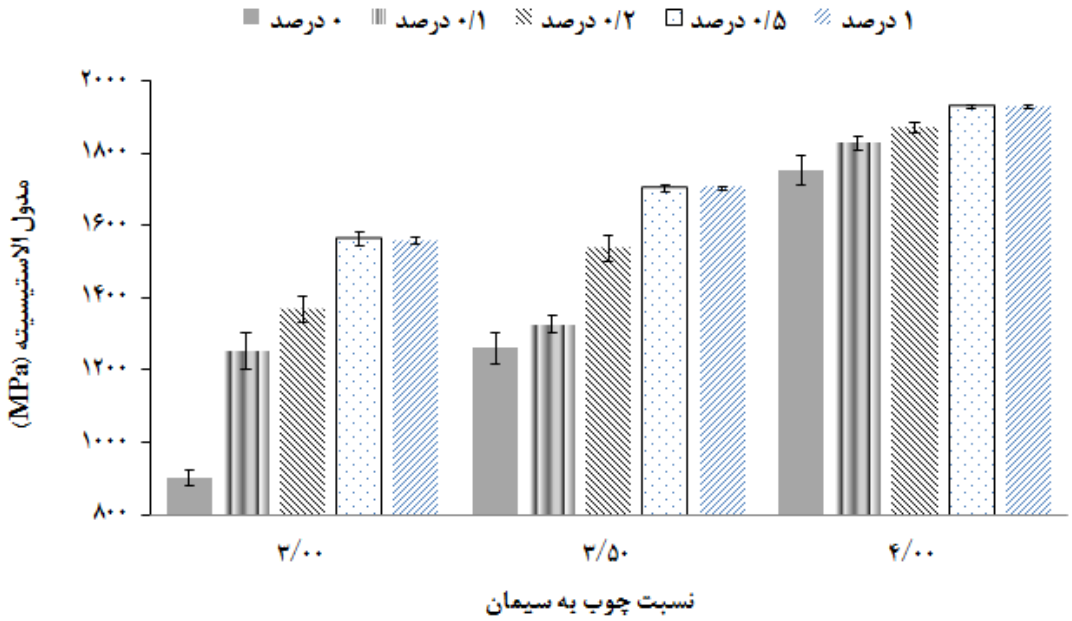
جدول ۳- تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی‌داری) اثر عوامل متغیر بر خواص مکانیکی و فیزیکی تخته‌ها

خواص متغیر	مدول الاستیسیته	مقاومت خمشی	چسبندگی داخلی	دانسیته	واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت	واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت
نانو کریستال سلولز	۳۱۳/۷۸۶**	۸۳۴/۳۱۶**	۱۳۲/۲۱۱**	۷۶/۲۳۳**	۱۱۹/۹۱۳**	۲۲۱/۶۳۳**
نسبت خرده چوب به سیمان	۸۰۶/۳۱۴**	۳۱۰۳/۲۵۵**	۱۳۶۲/۵۲۳**	۶۰۱/۴۹۲**	۳۲۹۷/۴۴۱**	۴۷۳۳/۲۶۳**
نانو کریستال سلولز x نسبت خرده چوب به سیمان	۱۳/۵۰۳**	۹۸/۷۵۷**	۲/۲۸۲**	۷/۴۰۳**	۳/۲۱۶**	۹/۵۳۵**

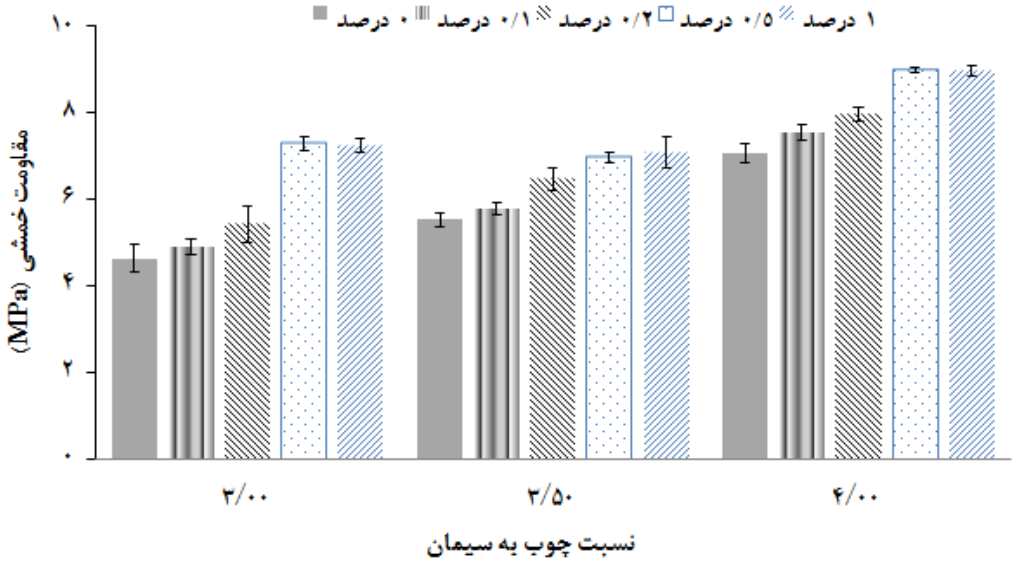
** سطح معنی‌داری ۹۵ درصد: * معنی‌داری در ۹۰ درصد و ns: عدم معنی‌داری

اثر نانو کریستال سلولز بر مقاومت و مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی، دانسیته و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار شد. اثر نسبت خرده چوب به سیمان بر مقاومت و مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی، دانسیته و واکشیدگی ضخامت ۲ و ۲۴ ساعت در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار گردید. اثر متقابل نانو کریستال سلولز و نسبت خرده چوب به سیمان بر کلیه مقاومت‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار شد.

شکل‌های ۱ تا ۸ اثرهای نسبت خرده چوب به سیمان و نانو کریستال سلولز بر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی نانوچندسازه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تأثیر متقابل نسبت چوب به سیمان، مقدار نانو بر مدول الاستیسیته

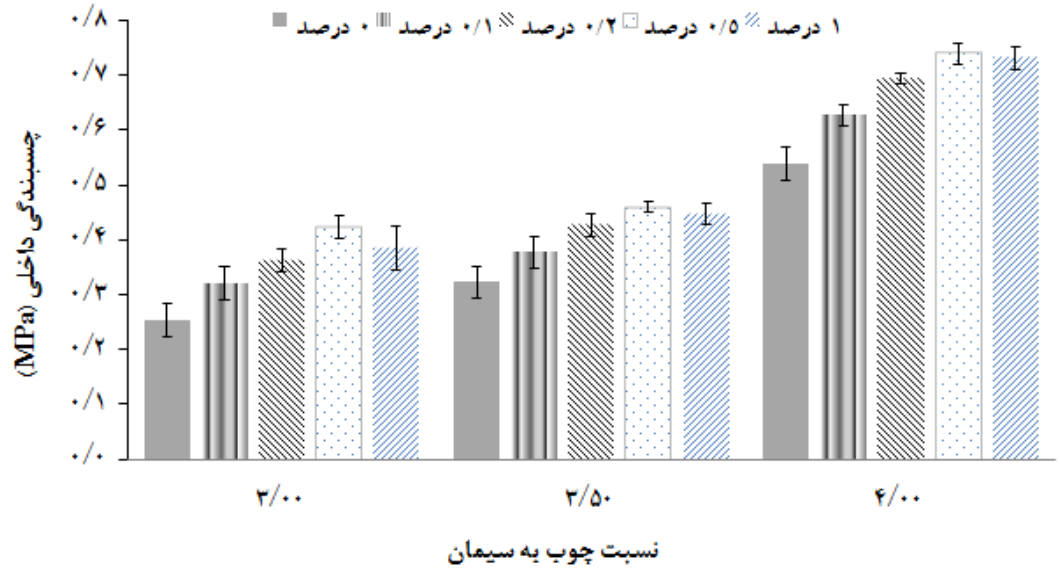


شکل ۲- تأثیر متقابل نسبت چوب به سیمان، مقدار نانو بر مقاومت خمشی

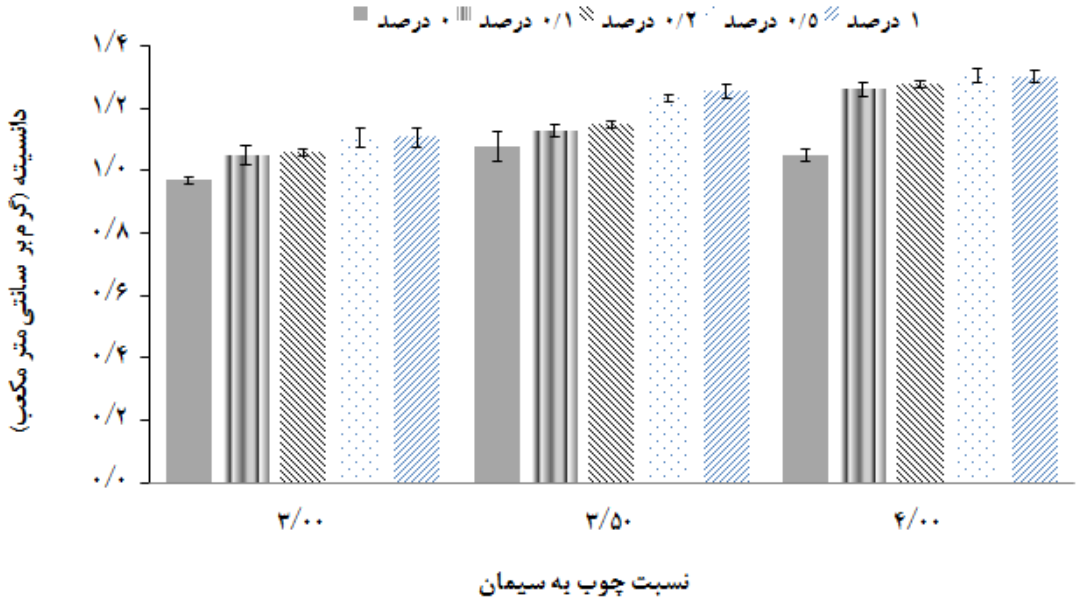
همان‌طوری‌که در شکل ۱ مشاهده شد، پایین‌ترین مقدار مدول الاستیسیته مربوط به استفاده از صفر درصد نانو کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۳ برابر ۹۰۱/۰۷ MPa و بالاترین مقدار در هنگام استفاده از ۰/۵ درصد نانو کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۴ برابر با ۱۹۲۸/۶ MPa بود.

همان‌طوری‌که در شکل ۲ مشاهده شد، پایین‌ترین مقدار مقاومت خمشی مربوط به استفاده از صفر درصد نانو

کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۳ برابر ۴/۶۳ MPa و بالاترین مقدار در هنگام استفاده از ۰/۵ درصد نانو کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۴ برابر با ۸/۹۷ MPa بود.



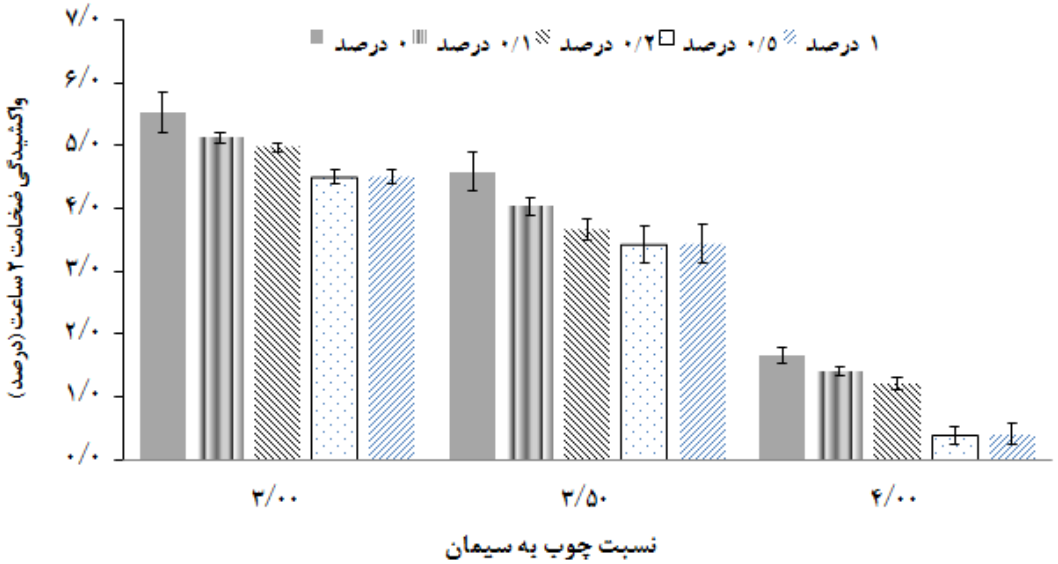
شکل ۳- تأثیر متقابل نسبت چوب به سیمان، مقدار نانو بر چسبندگی داخلی



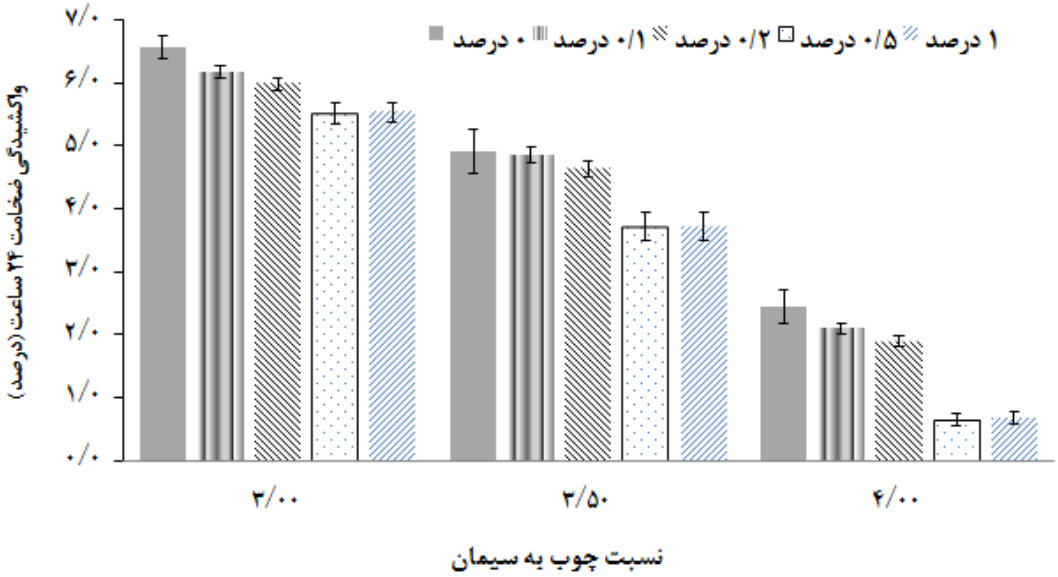
شکل ۴- تأثیر متقابل نسبت چوب به سیمان، مقدار نانو بر دانسیته

همان‌طوری‌که در شکل ۳ مشاهده شد، پایین‌ترین مقدار چسبندگی داخلی مربوط به استفاده از صفر درصد نانو کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۳ برابر ۰/۲۵ MPa و بالاترین مقدار در هنگام استفاده از ۰/۵ درصد نانو کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۴ برابر با ۰/۷۴ MPa بود.

همان‌طوری‌که در شکل ۴ مشاهده شد، پایین‌ترین مقدار دانسیته مربوط به استفاده از صفر درصد نانو کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۳ برابر ۰/۹۷ g/cm^3 و بالاترین مقدار در هنگام استفاده از ۰/۵ درصد نانو کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۴ برابر با ۱/۳۱ g/cm^3 بود.



شکل ۵- تأثیر متقابل نسبت چوب به سیمان، مقدار نانو بر واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت

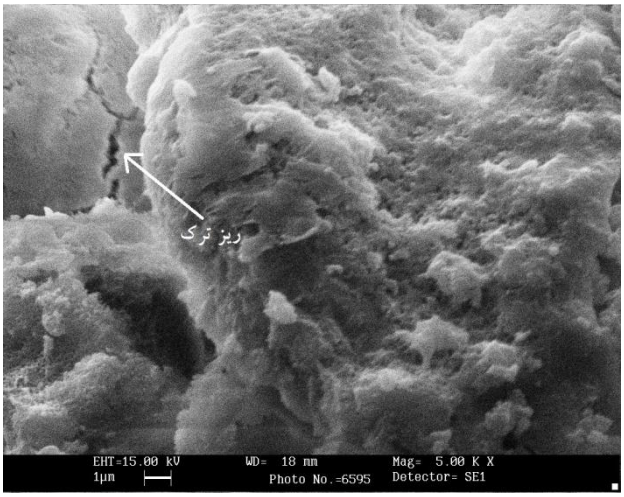


شکل ۶- تأثیر متقابل نست چوب به سیمان، مقدار نانو بر واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت

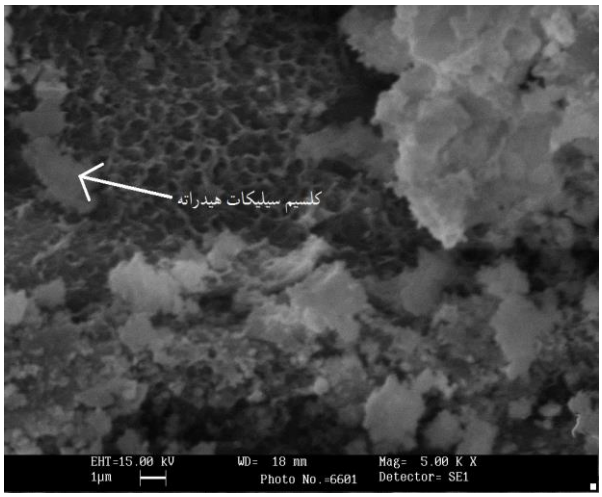
همان‌طوری‌که در شکل ۵ مشاهده شد، بیشترین مقدار واکشیدگی ضخامت ۲ ساعت مربوط به استفاده از صفر درصد نانو کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۳ برابر ۵/۵۳ درصد و کمترین مقدار در هنگام استفاده از ۰/۵ درصد نانو کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۴ برابر با ۰/۳۸ درصد بود.

همان‌طوری‌که در شکل ۶ مشاهده شد، بیشترین مقدار واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت مربوط به استفاده از صفر درصد نانو کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۳ برابر ۶/۵۶ درصد و کمترین مقدار در هنگام استفاده از ۰/۵ درصد نانو کریستال سلولز و نسبت چوب به سیمان ۱ به ۴ برابر با ۰/۶۴ درصد بود.

شکل ۷ و ۸ تصاویر میکروسکوپ الکترونی برای نمونه بدون نانو کریستال سلولز و نمونه حاوی ۰/۵ درصد نانو کریستال سلولز را نشان می‌دهد.



شکل ۷– نمونه بدون نانو کریستال سلولز



شکل ۸– نمونه حاوی ۰/۵ درصد نانو کریستال سلولز

بحث

نتایج تحقیق نشان داد با افزودن نانو کریستال سلولز به ماتریس چوب و سیمان مدول گسیختگی و مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی و مقاومت تخته‌ها افزایش یافت. پایین‌ترین مقدار مدول الاستیسیته مربوط به استفاده از صفر درصد نانو کریستال سلولز برابر ۹۰۱/۰۷ مگاپاسکال و بالاترین مقدار در هنگام استفاده از ۰/۵ درصد نانو کریستال سلولز برابر با ۱۹۲۸/۶ مگاپاسکال بود. بیشترین مقدار مقاومت خمشی مربوط به استفاده از ۰/۵ درصد وزنی نانو کریستال سلولز برابر ۸/۹۷ مگاپاسکال و کمترین مقدار آن مربوط به استفاده از صفر درصد وزنی نانو کریستال سلولز برابر ۴/۶۳ مگاپاسکال بود. بیشترین مقدار چسبندگی داخلی مربوط به استفاده از ۰/۵ درصد وزنی نانو کریستال سلولز برابر ۰/۷۴ مگاپاسکال و کمترین مقدار آن مربوط به استفاده از صفر درصد وزنی نانو کریستال سلولز برابر ۰/۲۵ مگاپاسکال بود. Qiو همکاران در سال (۲۰۰۹) خواص فیلم‌های متشکل از کریستال و شبکه سلولز را بررسی نمودند. با افزایش مقدار کریستال از صفر تا ۱۰ درصد وزنی، قدرت کشش از ۸۷ تا ۱۲۴ مگاپاسگال افزایش یافت، به‌طوری‌که ورود کریستال به دلیل استحکام و فعل‌وانفعالات قوی با شبکه از طریق برقراری پیوند هیدروژنی منجر به تقویت مواد شد. بااین‌حال، کامپوزیت‌های حاوی بیش از ۱۰ درصد پرکننده، کاهش اندکی در استحکام کششی نشان دادند، بنابراین مقدار بهینه ۵– ۱۰ درصد برآورد شد. افزایش مقدار کریستال منجر به کاهش تدریجی ازدیاد طول از ۹/۵ به ۰/۴درصد گردید. در تحقیق دیگری در سال (۲۰۱۳) Silvério و همکاران به بررسی تأثیر

نانو کریستال‌های سلولز به‌دست‌آمده از چوب ذرت بر خواص حرارتی و مکانیکی نانو کامپوزیت‌های پلی وینیل الکل تقویت شده با ۳، ۶ و ۹ درصد CNC پرداختند که خواص مکانیکی به ترتیب به میزان ۴۹/۵، ۹۵/۶ و ۱۴۰/۲ درصد افزایش یافت. مطابق انتظار، افزایش مقدار بارگذاری، افزایش قدرت کشش نهایی نانو کامپوزیت‌ها را موجب شد. Rafieian و Simonsen (۲۰۱۴) با افزایش مقدار پرکننده تا ۵ درصد، افزایش قابل توجهی را در قدرت کشش فیلم گلوتین مشاهده کردند. نانو کامپوزیت حاوی ۵ درصد CNC دارای بالاترین قدرت کشش بوده و پس از آن این ویژگی رو به افول گذاشت. با افزودن کریستال‌ها کاهش تدریجی در ازدیاد طول مشاهده گردید. نتایج همچنین نشان داد با افزایش نانو کریستال سلولز دانسیته تخته‌ها افزایش یافت که سبب افزایش مقاومت نمونه ها گردید که بالاترین میزان دانسیته مربوط به استفاده ۱ درصد از نانو که برابر با g/cm^3 ۱/۳۱ بود. ذرات نانو به دلیل ساختار بسیار ریز خود درون ماتریس چوب و سیمان به‌خوبی پراکنده شده و باعث اتصال بهتر مواد با یکدیگر شدند و اثر پرکنندگی و از بین بردن میکرو کرک‌های درون سازه را باعث شد. همچنین با ایجاد پیوند هیدروژنی باعث تشکیل یک شبکه قوی و کارآمد بین ذرات سیمان و خرده چوب صنوبر گردید که موجب بهبود چسبندگی داخلی و دانسیته تخته‌ها شد (Cao *et al.*, 2015). CNCها به‌عنوان یک ماده افزودنی برای مواد سیمانی باعث بهبود عملکرد، خواص مقاومتی و مکانیکی سیمان می‌شوند(Flores *et al.*, 2017). تأثیر نانوکریستال سلولز را بر سیمان مورد بررسی قرار دادند. نانو کریستال سلولز باعث افزایش درجه حرارت هیدراتاسیون سیمان گردید که افزایش سرعت گیرایی سیمان و تقویت ساختار مواد سیمانی را موجب شد. نتایج همچنین حکایت از این دارد که با افزایش نانو کریستال سلولز واکشیدگی ضخامت تخته‌ها کاهش یافت و کمترین واکشیدگی ضخامت در نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد وزنی نانو کریستال سلولز برابر ۰/۳۸ درصد بود. Rafieian و Simonsen (۲۰۱۴) نفوذپذیری نسبت به بخار آب نانو کامپوزیت‌های بر پایه گلوتن را مورد بررسی قرار دادند. افزودن CNC به بیش از ۲/۵ درصد، ضریب نفوذ آب را به‌طور قابل توجهی کاهش داد که مربوط به افزایش پیچ و خم مسیر عبور برای مولکول نافذ و نیز برقراری فعل‌وانفعالات آب‌دوست میان پروتئین‌های گلوتن و CNC است که منجر به کاهش قابلیت دسترسی گروه‌های آب‌دوست برای بخار آب می‌گردد. افزایش شگفت‌انگیز نفوذپذیری با افزایش بیشتر مقدار نانو کریستال (بیش از ۷/۵ درصد) به آب‌دوستی بیشتر CNC در مقایسه با گلوتن نسبت داده شد (Cao *et al.*, 2016). به‌طوری‌که بیشتر CNCها (<۹۵٪) به اندازه کافی کوچک هستند که احتمال دارد در سطح ذرات سیمان جذب شوند: ۱) اثر تثبیت کننده استریکی شبیه به کاهنده‌های آب نوع پلی‌کربوکسیلات و ۲) ایجاد مسیر برای مولکول‌های آب که به‌راحتی از طریق پوسته هیدراته پخش می‌شوند و به هسته بدون هیدراته درونی می‌رسند که در تحقیقات قبلی به‌عنوان اثر انتشار اتصال کوتاه (SCD) گفته شده است. باعث ایجاد پیوند و فشردگی بیشتر و در نتیجه جذب آب کمتر نمونه آزمونی می‌گردد. طی فرایند هیدراته شدن سیمان، پیوندهایی میان گروه هیدروکسیل نانو کریستال‌های سلولز با مولکول‌های سیمان به وجود می‌آید. این پیوندها از یکسو باعث بهبود خواص مقاومتی تخته‌های حاوی نانو کریستال سلولز شد و از سوی دیگر با ایجاد پیوستگی و انسجام بیشتر در تخته‌ها، جذب آب و واکشیدگی ضخامت را کاهش داد. نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که با افزایش نانو کریستال سلولز ریزترک‌هایی که در اثر اختلاط سیمان با آب در تخته‌ها به وجود آمده کاهش یافته، در نتیجه تراکم و فشردگی و برهم کنش مواد افزایش یافت که این خود نشان‌دهنده افزایش مقاومت‌های سازه بود. همان‌طور که در شکل ۷، نمونه شاهد بدون نانو کریستال سلولز مشاهده شد. ساختار آن از انسجام خوبی برخوردار نبود که این خود دلیلی بر مقاومت‌های فیزیکی و مکانیکی کمتر در مقایسه با نمونه حاوی ۰/۵ درصد وزنی نانو کریستال سلولز بود (شکل ۸). خاصیت پرکنندگی نانو کریستال سلولز به دلیل ریزی دانه‌های آن نسبت به دانه‌های سیمان بود. هنگامی‌که دانه‌های فوق‌العاده ریز نانو در خمیر سیمان قرار می‌گیرند، فضاهای بسیار ریز ملات را پر

می‌کنند که در نهایت خاصیت پرکنندگی نانو در ایجاد یک جسم بسیار متراکم و کم تخلخل اثر خود را نشان می‌دهد (Moon *et al*., 2016). به‌طوری‌که CNCهای حاصل از چوب یا مواد گیاهی به‌طور معمول دارای یک مورفولوژی ذرات دوقلوی با عرض ۳–۲۰ نانومتر و طول ۵–۵۰۰ نانومتر هستند.

منابع مورد استفاده

-Azizi Samir, M.A.S., Alloin, F. and Dufresne, A., 2005. Review of recent research into cellulosic whiskers, their properties and their application in nanocomposite field. Biomacromolecules, 6(2): 612-626.

-Abdollahi, M., Alboofetileh, M., Behrooz, R., Rezaei, M. and Miraki, R., 2013. Reducing water sensitivity of alginate bio-nanocomposite film using cellulose nanoparticles. International Journal of Biological Macromolecules, 54: 166-173.

-Cao, Y., Zavaterri, P., Youngblood, J., Moon, R. and Weiss, J., 2015. The influence of cellulose nanocrystal additions on the performance of cement paste. Cem. Concr. Compos, 56, 73–83.

-Cao, Y., Tian, N., Bahr, D., Zavattieri, P.D., Youngblood, J., Moon, R.J. and Weiss, J. 2016. The influence of cellulose nanocrystals on the microstructure of cement paste. Cem. Concr. Compos, 74, 164–173.

-Doost Hosseini, K., 2007. Technology of production and application of compressed wood panels, University of Tehran Press.

-Dong, H., Strawhecker, K.E., Snyder, J.F., Orlicki, J.A.,Reiner, R.S. and Rudie, A.W., 2012 Cellulose nanocrystals as a reinforcing material for electrospun poly (methyl methacrylate) fiber: Formation, properties and nanomechanical characterization, Carbohydrate Polymers.

-Flores, J., Kamali, M. and Ghahremaninezhad, A., 2017. An investigation into the properties and microstructure of cement mixtures modified with cellulose nanocrystal. Materials, 10, 498. [CrossRef] [PubMed]

-Jonoobi, M., Mathew, A.P. and Oksman, K., 2009. Produsing low-cost cellulose nanofiber from (sludge as new source of raw materials. Industrial Crop and Products, 40)1): 232-238.

-Jonoobi, M., Harun, J., Mathew, A.P., Hussein, M.Z.B. and Oksman, K., 2010. Preparation of cellulose nanofibers with hydrophobic surface characteristics. Cellulose, 17(2): 299-307.

-Jonoobi, M., Mathew, A.P., Abdi, M.M., Davoodi Makinejad, M. and Oksman, K., 2012. A comparison of modified and unmodified cellulose nanofiber reinforced polylactic acid (PLA) prepared by twin screw extrusion, Journal of Polymer Environment, 20(4): 991-997.

-Kamel, S., 2007. Nanotechnology and its applications in lignocellulosic composites, a mini review. Express Polymer Letters, 1(9): 546-575.

-Mohammad Kazemi, F. Doust Hosseini, K. Enayati, A. Azadfallah. A. 2010. Investigation of the effect of nanosilica and type of lignocellulosic material on physical and mechanical properties of wood-cement panels. Forests and wood products 2. 193-201.

-Moon, R.J., Schueneman, G.T., Simonsen, J., 2016. Overview of cellulose nanomaterials, Their capabilities and applications. JOM, 68, 2383–2394.

-Qi, H., Cai, J., Zhang, L. and Kuga, S., 2009. Properties of Films Composed of Cellulose Nanowhiskers and a Cellulose Matrix Regenerated from Alkali/Urea Solution. Biomacromolecules, 10(6): 1597-1602.

-Rafieian, F. and Simonsen, J., 2014. The effect of carboxylated nanocrystalline cellulose on the thermomechanical and barrier properties of cysteine cross linked gliadin nanocomposite. Cellulose, 22(2):1175-1188.

-Roohani, M., Habibi, Y., Belgacem, N. M., Ebrahim, G., Karimi, A. N., and Dufresne, A. 2014. Cellulose whiskers reinforced polyvinyl alcohol copolymers nanocomposites. European Polymer Journal, 44(8):2489–2498.

-Silvério, H.A., Flauzino Neto, W.P. and Pasquini, D., 2013. Effect of incorporating cellulose nanocrystals from corncob on the tensile, thermal and barrier properties of poly (vinyl alcohol) nanocomposites. Journal of Nanomaterials, 9(1): 6-15

-Tengfei Fu, Montes, F. Suraneni, P. Youngblood, J. and Weiss, J. 2017. The Influence of Cellulose Nanocrystals on the Hydration and Flexural Strength of Portland CemePastes.

-Yousefi, H., Faezipour, M., Nishino, T., 2011 All-cellulose composite and nanocomposite made from partially dissolved micro- and nanofibers of canola straw. Polym J 43, 559–564.

Effects of using cellulose nanocrystal in wood cement composite blendf on physical and mechanical poroperties of wood cement board

M. Shayestehkia[1], H. Khademi Eslam[2]*, B. Bazyar [3], H. Rangavar [4] and H.R. Taghiyari [5]

1-PhD. student Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2*-Corresponding Author, Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, E-mail: hkhademieslam@gmail.com
3-Associated Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
4-Assistant Prof., Department of Wood Industries, Faculty of, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
5-Assistant Prof., Department of Wood Industries, Faculty of, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Received: July, 2020 Accepted: Oct., 2020

Abstract

In this research, the effect of cellulose nanocrystals on the applied properties of wood cement composite panels was investigated. Variable factors are the percentage of nanocrystals (five levels of 0, 0.1, 0.2, 0.5 and 1%), the weight of cement and also the ratio of mixing wood chips with cement in three levels (1 to 3, 1 to 3.5 and 1 to 4) dry weight of cement. In this research, poplar wood and Portland cement type 2 have been used. In total, 15 treatments and 3 replicates for each treatment were made. Preparation of sample were in accordance with the standard (DIN/EN 634) and measurement of physical and mechanical properties including flexural modulus, modulus of elasticity in accordance with the standard (DIN/EN 310), internal adhesion in accordance with the standard (DIN/EN 319), thickness swelling after 2 and 24 hours of immersion in water was performed according to the standard (DIN/EN 317). Increased cellulose nanocrystals improved physical and mechanical strength. SEM microscopic images were taken from the samples to examine the microstructural properties of the composite. it was found that by adding cellulose nanocrystals, an improvement in the disintegration of nanocomposite materials and as a result, an increase in mechanical and physical properties are observed.

Keywords: Cellulose nanocrystal, cellulose, populus strands, Portland cement, wood cement board nanocomposite.