



نانوسلولز و کاربردهای متنوع آن

حامد جعفری پور^{1*}، محمد شمسیان²، علی ملاشاهی³

^{1*} دانشجوی دکتری تخصصی کامپوزیت های لیگنوسلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، hamed.jafaripour69@gmail.com

² دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل، mohammadshamsian@gmail.com

³ دانشجوی دکتری تخصصی کامپوزیت های لیگنوسلولزی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، ali.molashahi56@gmail.com

چکیده

امروزه نانومواد به عنوان یکی از مهمترین محصولات نانو فناوری کاربردهای وسیعی دارند که این به خاطر ابعاد در مقیاس نانومتری آن می باشد. نانومواد مختلفی وجود دارند که دسته ای از آنها زیست تخریب پذیر، زیست سازگار و تجدیدپذیرند که نانوسلولز از این نوع مواد است. نانوالیاف سلولزی یکی از نازکترین و ظریف ترین فیبرها در طبیعت است که ساختار دیواره سلول گیاهی و برخی جانوران شبکه ای را تشکیل داده و سبب استحکام آن می شود. با توجه به خصوصیات و مزایای نانوسلولز محققان در حال تحقیقات برای استفاده از آن می باشند. در این مروری به برخی از تحقیقات صورت گرفته در زمینه کاربردهای نانوسلولز پرداخته می شود.

کلمات کلیدی: نانوسلولز، نانو کریستال سلولز، نانوکامپوزیت، کاربردهای نانوسلولز، نانومواد



مقدمه

نانومواد به عنوان یکی از مهمترین محصولات نانوفناوری در کاربردهای وسیعی در مقیاس آزمایشگاهی، نیمه صنعتی و صنعتی به کار گرفته شده‌اند. دسته‌ای از نانومواد معروف به نانومواد زیستی، منشا زیستی دارند یعنی توسط گیاهان و موجودات زنده موجود در طبیعت ساخته می‌شوند لذا زیست‌سازگار، زیست تخریب‌پذیر و تجدیدپذیرند. مواد نانو به خاطر ابعاد در مقیاس نانومتری به طور قابل توجهی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی الیاف در مقیاس معمول را بهبود می‌بخشند. نانو الیاف به عنوان الیافی که قطر آنها در محدوده 1 تا 100 نانومتر و نسبت طول به قطر بزرگ‌تر از 50 است، شناخته می‌شوند (1). سلولز پلیمر پلی‌ساکاریدی با زنجیره بلند است که از واحدهای بتا-دی-گلوکوپیرانوزی تشکیل شده و فراوانترین پلیمر زیستی تجدید شونده بر روی زمین و از ترکیبات اصلی ساختار گیاهان می‌باشد. الیاف سلولز بدلیل منشاء بیولوژیکی از اجتماع واحدهای نانوساختاری با نام فیبریل نخستین (قطر 3 تا 7 نانومتر) و نانوفیبریل (قطر 3 تا 40 نانومتر) تشکیل می‌شوند (2).

نانوالیاف سلولزی یکی از نازک‌ترین و ظریف‌ترین فیبرها در طبیعت است که ساختار دیواره سلول گیاهی و برخی جانوران شبکه‌ای را تشکیل داده، سبب استحکام آن می‌شوند. این نانوالیاف دارای خصوصیات جالبی همچون تجدیدپذیری، قیمت پایین، سطح ویژه بالا و ... است. دو ساختار کلی برای نانوسلولز وجود دارد که یکی نانوفیبر سلولز (CNF) و دیگری نانوکریستال سلولز (CNC) می‌باشد. روش‌های تولید نانوفیبر سلولز به دو روش بالا به پایین (هیدرولیز اسیدی، همگن سازی، سوپراسایب و ...) و پایین به بالا (سنتز باکتری و الکتروریسندگی) تقسیم می‌شوند (3).

طی سالیان گذشته این نانوساختارهای سلولزی در کاربردهای متعددی آزمون شدند که در این مقاله مروری به طور خلاصه به انواع کاربردهای نانوسلولز می‌پردازیم.

1- کاربردهای نانوسلولز در کاغذسازی



در سال‌های اخیر کاغذسازان با افزودن مواد شیمیایی مختلف در پایانه‌تر ماشین کاغذ به بهبود در ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی، نوری و عملیات فرآیند تولید کاغذ دست یافته‌اند، با این حال در ازای بهبود خواص کاغذ، با چالش‌های ویژه‌ای نیز مواجه هستند. یکی از راه‌کارهای اساسی برای غلبه بر این چالش‌ها استفاده از افزودنی‌های شیمیایی موثرتر در پایانه‌تر ماشین کاغذ می‌باشد. امروزه بهره‌گیری از نانوذرات، نانو ساختارها و تجهیزات آزمایشگاهی مرتبط با فناوری نانو توسعه فراوانی پیدا کرده است. این فناوری در صنعت کاغذسازی نیز جایگاه ویژه‌ای یافته و روز به روز نوآوری‌ها و کاربردهای مرتبط با آن گسترش می‌یابد، به گونه‌ای که امروزه استفاده از نانوذرات به عنوان افزودنی در بخش پایانه‌تر ماشین‌های کاغذ به یکی از جدیدترین و مهم‌ترین بخش‌های تحقیقات در صنعت خمیر و کاغذ تبدیل شده است (4).

نتایج استفاده از نانوسلولز بر ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی نشان داد که با افزایش نانوسلولز روشنی، مقاومت کششی، مقاومت به پارگی و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی افزایش یافته است. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داد که با افزودن نانوالیاف سلولزی به خمیر شیمیایی- مکانیکی باعث افزایش مقاومت کششی، مقاومت به عبور هوا و روشنی کاغذ شده است (5). نانوالیاف سلولزی به دلیل سطح ویژه زیاد، از طریق افزایش پیوندهای بین الیاف ویژگی‌های مقاومتی کاغذ را افزایش می‌دهد. با افزایش نانوسلولز مقاومت به ترکیدن، طول پارگی، مقاومت کششی، مقاومت به عبور هوا افزایش یافته است (6). نانوسلولز از جمله نانو موادی است که اغلب ویژگی‌های مناسب فنی، محیط‌زیستی و اقتصادی را به طور یک‌جا در خود دارد. نانوکاغذ تهیه شده از آن‌ها نیز ویژگی‌های مناسب فیزیکی و مکانیکی از خود نشان داده است (7).

2- کاربردهای نانوسلولز در بسته‌بندی مواد غذایی

مطالعات نشان می‌دهند که با استفاده از مواد خام ارزان قیمت و قابل تجدید، امکان تولید پوشش‌هایی با کارایی بالا برای مواد معمول بسته‌بندی وجود دارد. سلولز نانوکریستال‌ها، که به راحتی از چوب سخت حاصل می‌شوند، قادر هستند در قالب یک پوشش نازک روی فیلم‌ها، به میزان قابل ملاحظه‌ای مانع دی اکسید کربن و اکسیژن شوند. با وجود این مزایا، ویژگی‌های



جالبی مثل ویژگی‌های مکانیکی و نوری نیز از آن‌ها شناخته شده است که می‌توانند به صورت فعالیت‌های مختلف مانند مواد آنتی‌اکسیدانی یا ضد میکروبی به مواد بسته‌بندی اضافه شوند و در موارد خاصی نیز در تولید پوشش‌های فیلم پلاستیکی به کار می‌روند (8).

برخی از مزایای استفاده از نانوسلولز شامل افزایش مدت ماندگاری ماده غذایی، بهبود کیفیت محصول و عمل نمودن به عنوان حامل مواد فعال مانند آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد ضد میکروبی می‌باشد. علاوه بر این، فیلم‌های مرکب بر پایه الیاف نانوسلولز دارای توانایی زیادی برای تهیه نانوکامپوزیت‌های ارزان قیمت، بسیار قوی و سبک وزن می‌باشند (9). بکار بردن نانوالیاف سلولز در فیلم‌های نشاسته منجر به افزایش مقاومت‌های مکانیکی و کاهش انحلال‌پذیری در برابر حلال‌های مختلف (آب، اسید و قلیا) می‌شود. همچنین با استفاده از این نوع نانوالیاف، خواص زیست‌تخریب‌پذیری بهبود یافته و در نتیجه کاربردی‌تر می‌شود. بنابراین فیلم‌های تولیدی می‌توانند با رعایت شرایط تولید به عنوان یک بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار بگیرد (10).

طی تحقیقات صورت گرفته روی نگهداری قارچ دکمه‌ای توسط اسماعیلی دارابی و همکاران (1398) می‌توان تنفس محصول را کنترل نمود بر همین اساس در پژوهشی که انجام دادند فیلم نانوکامپوزیتی پلی‌اتیلنی که حاوی 2 درصد نانوسلولز بود دارای کمترین افزایش رطوبت، کمترین میزان کاهش وزن، کمترین میزان دی‌اکسید کربن، بیشترین امتیاز رنگ کلاهک، ساقه و داخل کلاهک می‌باشد. همچنین مشخص گردید که می‌توان نگهداری قارچ دکمه‌ای را با بسته‌بندی کامپوزیت نانوسلولز 2 درصد، به مدت 10 روز افزایش داد (11).

3- کاربرد نانوسلولز در صنعت چسب

پارامترهای مختلفی در رزین‌ها از جمله کیفیت سطح، چسبندگی و مقاومت در برابر تنش‌های مکانیکی و نشر گازهای مضر، اشتعال‌پذیری، کیفیت و کاربری این رزین‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با استفاده از نانومواد متفاوت می‌توان برخی از ویژگی‌های مطرح شده‌ی رزین را تحت تاثیر قرار داد و بهبود بخشید. اخیراً با توجه به تحقیقات صورت گرفته بر روی



نانومواد مختلف و کاربرد آن‌ها در پلیمرهای متفاوت بسیاری از ویژگی‌های پلیمرها بهبود بخشیده شده است. با توجه به این که برخی از این نانومواد خواصی علاوه بر تقویت‌کنندگی مانند نشر گازهای مضر و اشتعال‌پذیری و ضد باکتریایی را تا حد قابل قبولی بهبود می‌دهند، می‌توان در رزین‌های مورد نظر در صنعت چندسازه‌های لیگنوسلولزی آن‌ها را مورد استفاده قرار داد. یکی از این نانومواد، که برخلاف نانومواد مصنوعی مانند نانولوله‌های کربنی و شیشه‌ای، دوستدار محیط زیست است، نانوذرات سلولزی می‌باشند. این مواد، در کنار رفع نگرانی‌های زیست‌محیطی، استفاده از نانوذرات سلولزی به عنوان فاز تقویت‌کننده در رزین‌ها مزایای قابل توجه زیادی نسبت به دیگر مواد دارند، نظیر: مقاومت و سختی بالا، شفافیت، سطح ویژه وسیع، تداوم دسترس بودن، انعطاف‌پذیری بالا، خواص حرارتی و الکتریکی بهتر، دانسیته پایین، مصرف انرژی پایین، سایدگی نسبتاً کم در طی فرآیند، سطح نسبتاً فعال که می‌تواند برای پیوندزنی گروه‌های ویژه و تقریباً همیشه در دسترس استفاده شود دارد (12).

با توجه به اینکه وقتی اندازه ذرات تا حد نانو کاهش می‌یابد، نسبت سطح موثر به حجم ذرات افزایش یافته، در نتیجه این امکان را فراهم می‌کند تا با مصرف مقدار کم آن‌ها، توزیع بهتر و یکنواخت در لایه چسب انجام شده و با ایجاد یک شبکه سه‌بعدی، باعث تشکیل اتصالات عرضی و بهبود مقاومت‌های تخته گردد. استفاده از نانوفیبر سلولز به عنوان پرکننده چسب اوره‌فرمالدهید در ساخت تخته‌لایه پایداری ابعادی تخته‌ها بهبود یافته است. با افزایش میزان مصرف نانوسلولز مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته موازی با الیاف لایه سطحی افزایش یافته است (13). در پژوهشی مشابه خواص ضربه‌ای نمونه‌ها (نیروی بیشینه، انرژی جذب شده در نیروی بیشینه، انرژی جذب شده کل) با افزودن نانوسلولز بهبود یافته است (14).

4- دیگر کاربردهای نانوسلولز

سلولز یک بیوپلیمر آبیونی محلول در آب است که به عنوان یک اصلاح‌کننده گرانیوی و ضخیم‌کننده در پانسمان‌های زخم استفاده می‌شود. این پانسمان‌ها مزایای منحصر به فرد از جمله زیست‌سازگاری عالی، زیست‌تخریب‌پذیری و جذب آب بالا را دارند و می‌توانند به طور موثر رطوبت را مدیریت و محیط مرطوبی را برای بهبود زخم ایجاد کنند و همچنین یک سد



محافظ در برابر بیماری‌های خارجی بوجود آورند. این پانسمان‌ها توانایی تطبیق‌پذیری با فرآیندهای مختلف را دارند و می‌توانند به صورت محلی عوامل درمانی را در محل زخم تحویل دهند. با استفاده از فناوری‌های اخیر، مشتقات سلولز به روش‌هایی همه‌کاره برای مطابقت با نیازهای مختلف زیست‌پزشکی تبدیل شده‌اند، که این امر باعث افزایش تحقیقات در زمینه استفاده از آنها برای ساخت پانسمان‌های زخم و داربست‌های مهندسی بافت در زمینه پزشکی بازساختی شده است (15). سلولز به عنوان یک کنترل‌کننده برای نرخ رهایش و غلظت دارو دارای سابقه طولانی بوده و سیستم‌های دارورسانی بررسی شده بر پایه نانوسلولز در سال‌های اخیر نتایج امیدوارکننده‌ای نشان داده‌اند. حامل‌های دارو بر پایه نانوسلولز، به سه صورت میکروسفرها، هیدروژل‌ها و غشاها (فیلم‌ها) با طیف گسترده‌ای از داروها بارگذاری و ارزیابی شده است. در سال‌های اخیر، سیستم‌های دارورسانی متعددی بر پایه مواد نانوسلولزی برای کاربردهای مختلف دارویی مورد استفاده قرار گرفته است (16). به منظور تقویت کامپوزیت‌ها، از سلولز، به دلیل ساختار کریستالی و ماهیت نیمه بلوری که از الیاف طبیعی استخراج شده‌اند مورد استفاده قرار می‌گیرد. زنجیره‌های سلولزی توسط پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل به صورت جانبی تثبیت می‌شوند. بنابراین آنها از مقاومت و استحکام ساختاری بالایی برخوردار هستند. نتیجه به هم پیوستگی زنجیره‌های سلولز منجر به سختی و مقاومت ساختاری بالا در ماده و استحکام مکانیکی بالا، وزن سبک، نسبت طول به قطر زیاد و سطح ویژه زیاد می‌شود (17). سلولز فراوان‌ترین ترکیب ارگانیک روی کره زمین است که هر ساله 10 تن از آن تولید می‌شود. سلولز یک ماده تجدیدپذیر و مقرون‌به‌صرفه است که توانایی خوبی در کنترل انقباض پلاستیک و افزایش استحکام بتن را دارد. استفاده از سلولز در مقیاس نانو با توجه به داشتن مساحت سطح ویژه بالا و خواص مکانیکی ویژه، توانایی خوبی در افزایش استحکام بتن دارد. علاوه بر این، به علت اینکه ترک‌ها در بتن از مقیاس نانو شروع به رشد و گسترش می‌کنند، استفاده از الیاف در مقیاس نانو جلوی رشد و گسترش ترک را در همان مقیاس نانو می‌گیرد. اخیراً افزایش مقاومت خمشی با مستحکم کردن ماتریس بتن، توسط نانوالیاف‌های سلولزی توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است (18).



به دلیل ارزان بودن نسبی نانوالیاف سلولز در مقایسه با سایر نانوذرات، می‌توان با بهره‌گیری از ابعاد بسیار ریز ذرات آن، دریچه جدیدی در علم تصفیه دود ناشی از احتراق مواد دخانی بالاخص سیگار گشود و با به دام انداختن این گازها و بخارهای مضر مانند قطران و ... توسط فیلترهای ساخته‌شده از نانوالیاف سلولز، خدمت شایانی به افرادی که به هر نحو با مواد دخانی سروکار دارند نمود (19). در پژوهشی توسط جمالی و همکاران لایه جاذب فیلتر تنفسی با استفاده از نانوفیبر سلولز چوب با هدف جذب ریزگردهای هوا ساخته و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که نانوفیبر سلولز بالقوه می‌تواند ماده مناسبی جهت افزایش کارایی ماسک‌های تنفسی در جذب ریزگردهای هوا باشد (20).

عملکرد نانوسلولز بلورین‌ها و ساخت چسبندگی سطحی قوی بین نانوسلولز بلورین‌ها و زمینه لاستیک راه موثری برای دستیابی به نانوکامپوزیت‌های لاستیک طبیعی و نانوکریستال سلولز با کارایی بالاست. افزودن نانوسلولز بلورین باعث افزایش ولکانیزاسیون لاستیکی و سرعت ولکانیزاسیون می‌شود. نانوسلولز بلورین می‌تواند به عنوان یک نرم‌کننده عمل کند و منجر به بهبود فرایند شود. نانوسلولز بلورین اصلاح شده برهم‌کنش پرکننده-لاستیک را بهبود می‌بخشد و بنابراین چگالی اتصالات عرضی را افزایش می‌دهد. نانوکامپوزیت‌های لاستیکی تقویت شده با نانوسلولز اصلاح شده به دلیل خواص مکانیکی عالی و پایداری حرارتی می‌توانند به طور بالقوه در بسته‌بندی مواد غذایی و کاربردهای پزشکی استفاده شوند. به طور کلی، نتیجه مثبتی از افزودن نانو ذره طبیعی سلولز به زمینه‌های لاستیکی، به عنوان پرکننده برای تقویت با مقادیر بهینه مشاهده شده است. چشم انداز امیدوار کننده‌ای در ترکیب نانوسلولز به عنوان یک تقویت‌کننده بازمنه لاستیکی وجود دارد که هنوز به طور گسترده مورد بررسی قرار نگرفته‌اند (21).



نتیجه گیری

نانوسلولز به دلیل زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری، تجدید شونده بودن و همچنین ارزان بودن بسیار مورد توجه بوده و در تحقیقات فراوانی از آن استفاده شده است. از نانوسلولز در صنایع کاغذسازی، بسته بندی، شیمیایی، آرایشی و بهداشتی، غذایی و ... مورد استفاده قرار گرفته و نتایج مثبت را ثبت نموده است. این نتایج نشان می دهد که نانوسلولز کاربردهای بسیار وسیعی داشته و می تواند در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گیرد. تحقیقات در این زمینه ادامه داشته و محققان به دنبال استفاده موثرتر و بیشتر از آن می باشند.



منابع

1. جعفری پور، حامد، خزاعیان، ابوالقاسم، یوسفی، حسین، 1395. روش سنتز، شناسایی و خواص ژل نانوفیبر لیگنوسلولزی. کنفرانس ملی نانوساختارها علوم و مهندسی نانو.
2. آزاد، صونا، یوسفی، حسین، مشکور، مهدی، خزاعیان، ابوالقاسم، 1394. نانو کامپوزیت های سلولزی حاوی نانوساختارهای سلولزی: انواع، خواص و کاربردها. نخستین همایش ملی چوب و فرآورده های لیگنوسلولزی.
3. جعفری پور، حامد، خزاعیان، ابوالقاسم، یوسفی، حسین، 1395. خصوصیات نانوسلولز و فرمالدهید و اثر نانوسلولز در کاهش انتشار فرمالدهید. کنفرانس ملی نانوساختارها علوم و مهندسی نانو.
4. علی خواه، طاهره، افرا، الیاس، سراییان، احمد رضا، قاسمیان، علی، 1394. نانوسلولز و کاربردهای آن در صنایع کاغذسازی. نخستین همایش ملی چوب و فرآورده های لیگنوسلولزی.
5. ویسی، رامین، کیائی، مجید، نیکبخت، علیرضا، 1398. تاثیر استفاده از نانوالیاف سلولزی و نشاسته کاتیونی بر ویژگی های نوری و مقاومتی خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، سال یازدهم، شماره 3، پاییز 1399.
6. ویسی، رامین، یوسفی گلوردی، یوسف، 1398. تاثیر سامانه بیوپلیمری کیتوزان و نانوالیاف سلولزی بر ویژگی های نوری و مقاومتی خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP).
7. ایزی، صدیقه، یوسفی، حسین، مشکور، مهدی، رسولی، داود، 1397. مقایسه خواص نانو کاغذ تهیه شده از نانوالیاف سلولز و نانوالیاف کیتین. نشریه پژوهش های علوم و فناوری چوب و جنگل، جلد بیست و پنجم، شماره سوم، 1397.
8. رشیدی مهر، آزاده، 1397. کاربرد نانوکریستال های سلولزی در فیلم های بسته بندی مواد غذایی. فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون بسته بندی، سال نهم، شماره 34، تابستان 1397.
9. نقوی، عنایت الله، 1394. فیلم های مرکب بر پایه نانوسلولز در بسته بندی مواد غذایی. فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون بسته بندی، سال ششم، شماره 22، تابستان 1394.
10. غفاری، منصور، قاسمیان، علی، دهقانی فیروزآبادی، محمدرضا، یوسفی، حسین، 1397. ارزیابی خواص فیلم نشاسته حاوی نانوالیاف سلولز و لیگنوسلولز جهت بسته بندی مواد غذایی. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، سال دهم، شماره 1، بهار 1398.
11. اسماعیلی دارابی، راحله، افشاری، حامد، لسان خوش منفرد، رسول، 1398. تاثیر بسته بندی نانو کامپوزیتی پلی اتیلن-نانوسلولز بر افزایش ماندگاری قارچ دکمه ای. نشریه نوآوری در علوم و فناوری غذایی، دوره سیزدهم، شماره دوم، تابستان 1400.
12. الیاسی، عبدالله، طبرسا، تقی، فدایی، مسلم، 1394. شناخت انواع نانو ذرات سلولزی و بررسی امکان استفاده از نانوذرات سلولز در اصلاح رزین ها. نخستین همایش ملی چوب و فرآورده های لیگنوسلولزی.



13. برزعلی، سمیرا، جمالی راد، لعیا، فرجی، فرشید، حجازی، سحاب، 1394. استفاده از نانوفیبر سلولزی به عنوان پرکننده چسب اوره فرمالدهید در ساخت تخته‌لایه. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، سال ششم، شماره 2، پاییز و زمستان 1394.
14. سفیدروح، مصطفی، خزاعیان، ابوالقاسم، پل، محمدحسین، لیاقت، غلامحسین، یوسفی، حسین، 1397. بررسی مقاومت به ضربه تخته‌لایه ساخته‌شده با چسب تقویت‌شده با نانوالیاف سلولز. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، سال نهم، شماره 2، تابستان 1397.
15. احسان‌دوست، افسانه، تمجید، الناز، 1403. داربست چاپ سه بعدی پلی کاپرولاکتون با پوشش فیبروئین ابریشم و نانوسلولز اکسید شده برای کاربردهای زخم‌پوش. فصلنامه زیست فناوری مدرس، دوره بهار 1403.
16. جنوبی، مهدی، مرادپور، پیام، تنگچی کله بستی، علی‌اکبر، 1399. بررسی مکانیسم رهایش نترات نقره در پد هیدروژل بر پایه نانوسلولز جهت ترمیم سوختگی. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، سال یازدهم، شماره 2، تابستان 1399.
17. بای، محمدعلی، بازیار، بهزاد، خادمی اسلام، حبیب‌الله، نجفی، عبدالله، حمص، امیرهومن، 1399. ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نانو کامپوزیت ساخته شده از پلی‌وینیل الکل-نانوفیبر سلولز و نانو اکسید سیلیکون. نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران جلد 36 شماره 1، صفحه 89-87.
18. اخلاقی، محمدامیر، باقرپور، راحب، 1399. تقویت کامپوزیت‌های الیاف-سیمان به کمک افزایش چسبندگی الیاف با استفاده از نانوسلولز باکتریایی. روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، شماره 22، صفحه 33-47.
19. رهامین، هاشم، جنوبی، مهدی، فائزی‌پور، محمدمهدی، 1398. استفاده از نانوالیاف سلولز در کاهش مواد مضر حاصل از دود سیگار. مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، سال یازدهم، شماره 1، بهار 1399.
20. جمالی، آرمین، یوسفی، حسین، مشکور، مهدی، خزاعیان، ابوالقاسم، 1402. ساخت و ارزیابی خواص لایه جاذب فیلتر تنفسی با استفاده از نانوفیبر سلولز چوب. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل.
21. رزاقی کاشانی، مهدی، کرباسی زاده اصفهانی، سمیرا، فخار، افسانه، 1402. مروری بر کاربرد نانوسلولز بلورین به عنوان پرکننده هیبریدی در آمیزه‌های لاستیک. نشریه صنعت لاستیک ایران، سال 28، شماره 112، زمستان 1402.