

ویژگی‌ها و کاربرد نانوالیاف سلولزی و نانوالیاف لیگنوسلولزی در صنایع کاغذسازی

مهرنوش توکلی^{*}، علی قاسمیان

دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

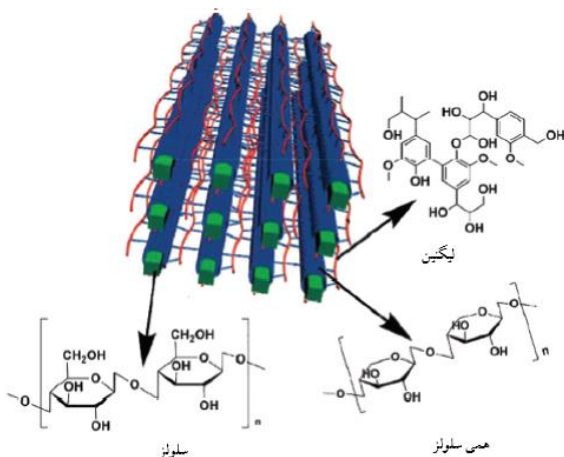
امروزه با معرفی نانوساختارها و مواد افزودنی جدید، تحقیقات در زمینه‌ی بهبود ویژگی‌های کاغذ با هدف کاهش هزینه‌ها و دستیابی به ویژگی‌های مناسب‌تر انجام می‌شود. نانوالیاف سلولزی و نانوالیاف لیگنوسلولزی از جمله این نانوساختارها هستند که دارای مزیت‌هایی چون تجدیدپذیری، قابلیت بازیافت، فرآیندپذیری و سازگاری با محیط زیست می‌باشند. فیلم‌های حاوی این نانوالیاف با توجه به عملکرد خوب و مقاومت در برابر نفوذ اکسیژن به‌عنوان پوشش‌دهنده، در محصولات بسته‌بندی و در فیلم‌ها و غشاهای سلولزی به کار می‌روند. با توجه به منشأ طبیعی این نانوالیاف، ضمن جایگزینی با برخی از تقویت‌کننده‌های مصنوعی می‌توانند از بار آلودگی محیط زیست بکاهند. نانوالیاف سلولزی و لیگنوسلولزی به‌صورت گسترده، در صنایع کاغذسازی به کار می‌روند. با توجه به تحقیقات متعددی که در این زمینه شده‌است، در تحقیق حاضر، ویژگی‌های نانوالیاف سلولزی و نانوالیاف لیگنوسلولزی، روش-تهیه‌ی آنها و موارد مصرف آنها در صنایع کاغذسازی بررسی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نانوالیاف سلولزی، نانوالیاف لیگنوسلولزی، تجدیدپذیری، زیست‌تخریب‌پذیری، صنایع کاغذسازی

ایمیل نویسنده مسئول: Tavakolimehrmoosh@yahoo.com

۱-مقدمه

همزمان با پیشرفت و توسعه‌ی صنایع مختلف، جهان با بحران انرژی سوختی و مشکلات زیست‌محیطی نظیر گرم شدن جهانی هوا و آلودگی، مواجه است. ازاین‌رو امروزه توجه‌ها بیشتر به سایر منابع انرژی، نظیر زیست‌توده‌های لیگنوسلولزی به عنوان منابع فراوان و تجدیدپذیر و جایگزینی برای منابع نفتی جلب شده است. سلولز و لیگنین دو ترکیب مهم در زیست‌توده‌های لیگنوسلولزی هستند [۱]. سلولز فراوان‌ترین پلیمر طبیعی است و به‌دلیل ویژگی‌های مکانیکی که دارد به‌عنوان ماده‌ی اولیه در کاغذسازی استفاده می‌شود [۲]. الیاف سلولزی ماده‌ای طبیعی است که از گیاهان چوبی و غیرچوبی به‌دست می‌آید. این ماده-ی دوست‌دار محیط زیست و تجدیدپذیر در سطح وسیعی در صنایع خمیر و کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از فرآورده‌های بسیار جالب توجه ناشی از آن، انواع نانوالیاف می‌باشد. امروزه با معرفی نانوساختارها و مواد افزودنی جدید، تحقیقات در زمینه‌ی بهبود ویژگی‌های کاغذ با هدف کاهش هزینه‌ها و دستیابی به ویژگی‌های مناسب‌تر انجام می‌شود [۳]. شکل ۱ طرح شماتیک از ترکیبات اصلی زیست‌توده‌های لیگنوسلولزی و محل قرارگیری آنها را در ساختار شیمیایی الیاف نشان می‌دهد. نانوسلولز، واژه‌ای است که اغلب برای مواد سلولزی در مقیاس نانو اطلاق می‌شود. ماده‌ی سلولزی زمانی در محدوده‌ی نانو قرار می‌گیرد که قطر الیاف و یا عرض آن بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر (nm) باشد [۴]. شکل ۲، سطوح مختلفی از ذرات به-دست آمده از نانوسلولز را نشان می‌دهد.

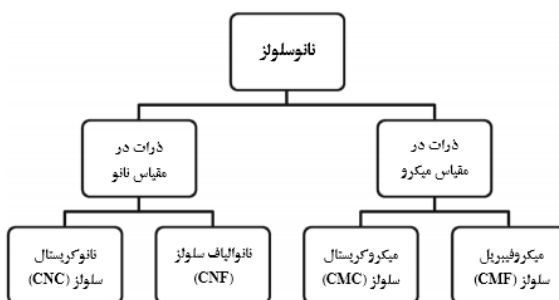


شکل ۱- طرح شماتیک ۳ ترکیب اصلی زیست‌توده‌های لیگنوسلولزی در ساختار شیمیایی الیاف [۵]

سبب بهبود طول شکست و شاخص ترکیدن می‌شود. علاوه بر این هرچه مقدار بیشتری از نانوالیاف لیگنوسلولزی به دوغاب افزوده شود، ضخامت کاغذها کاهش یافته که سبب افزایش دانسیته و کاهش تخلخل می‌شود [۹]. استفاده از نانوالیاف لیگنوسلولزی به عنوان عامل تقویت کننده در صنایع کاغذسازی، به دلیل سطح ویژه‌ی زیاد و توانایی تشکیل پیوند با دیگر الیاف ویژگی‌های مکانیکی کاغذ را افزایش می‌دهد [۸].

۲-۱-۲ نانوالیاف لیگنوسلولزی به کار رفته در بسته‌بندی و فیلم-ها

در نانوالیاف لیگنوسلولزی، لیگنین در ابتدا از طریق ممانعت فیزیکی باعث به تاخیر انداختن دفییره شدن مکانیکی الیاف می‌شود [۱۰]. اما در نهایت از طریق خنثی کردن واکنش‌های نوترکیبی الیاف سلولزی و دخالت در پیوند هیدروژنی بین فیبری الیاف سلولزی، سبب تسهیل دفییره شدن مکانیکی می‌شود. در نتیجه لیگنین از طریق اثری که بر فرآیند دفییره شدن مکانیکی می‌گذارد، بر قطر و مقدار نانوالیاف در الیاف سلولزی تاثیر می‌گذارد. لیگنین مانند یک سیمان می‌تواند فیلم‌هایی با ساختار فشرده‌تر و سطح نرم‌تر برای بسته‌بندی تولید کند. از آنجاکه لیگنین دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی نسبت به سلولز است، فیلم‌هایی با ویژگی‌های جدید تولید می‌کند. وجود لیگنین به دلیل ماهیت آبرگری آن سبب افزایش آبرگری فیلم‌های تولید شده می‌شود، در نتیجه نانوالیاف لیگنوسلولزی به راحتی آب‌زدایی شده [۱۱] و فیلم‌های ساخته شده از این نانوالیاف کمتر مرطوب شده، پراکندگی بهتری داشته و سبب چسبندگی الیاف سلولزی در بستر آبرگری می‌شود. علاوه بر این، لیگنین در الیاف سلولزی دارای مقاومت حرارتی بیشتری نسبت به سلولز، همی سلولز و مواد استخراجی می‌باشد. همچنین، لیگنین به دلیل داشتن واحدهای فنلیک، کتون‌ها و دیگر کروموفرها، فیلم‌های آبرگری تولید می‌کند که نور فرابنفش خورشید را به خوبی جذب می‌کنند [۱۲]. هرچند لیگنین اثراتی منفی بر فیلم‌ها نیز می‌گذارد از جمله اینکه گروه‌های کروموفر موجود در لیگنین باعث کاهش شفافیت فیلم‌ها شده و همچنین با مداخله بر پیوند هیدروژنی بین فیبری سبب کاهش ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها می‌شوند [۱۳]. شکل ۳ تصاویر الکترونی از مقطع عرضی فیلم‌های نانوالیاف لیگنوسلولزی حاوی مقادیر متفاوتی از لیگنین را نشان می‌دهد.



شکل ۲- ذرات مختلف به دست آمده از نانوسلولز بر پایه‌ی چوب [۶]

ذرات نانوسلولز دارای کاربردهای بسیار گسترده‌ای از جمله تقویت کننده‌ی مواد کامپوزیتی، ماسک‌های مرطوب کننده در لوازم آرایش، فیلترها، عوامل غلیظ کننده، اصلاح کننده‌ی رئولوژی، جاذب سطحی، تقویت کننده‌ی کاغذ، ساخت پلیمرهایی با رفتار کریستالی مایع برای مصارف الکترونیکی، داروسازی، چاشنی‌ها، پایدار کننده‌ی سوسپانسیون و فیلم‌های شفاف نوری می‌باشد [۷].

۲ نانوالیاف لیگنوسلولزی^۱ (LCNF)

نانوالیاف لیگنوسلولزی دارای تمامی ترکیبات تشکیل دهنده‌ی الیاف، شامل سلولز، همی سلولز و لیگنین، می‌باشند. اغلب برای تهیه‌ی نانوالیاف لیگنوسلولزی از خمیر کاغذ رنگ‌بری نشده استفاده شده و معمولاً از پیش تیمارهای مکانیکی، آنزیمی و اکسایشی TEMPO^۲ برای دستیابی به نانوالیاف لیگنوسلولزی با ویژگی‌های مناسب‌تر استفاده می‌شود [۸].

۲-۱ موارد مصرف نانوالیاف لیگنوسلولزی

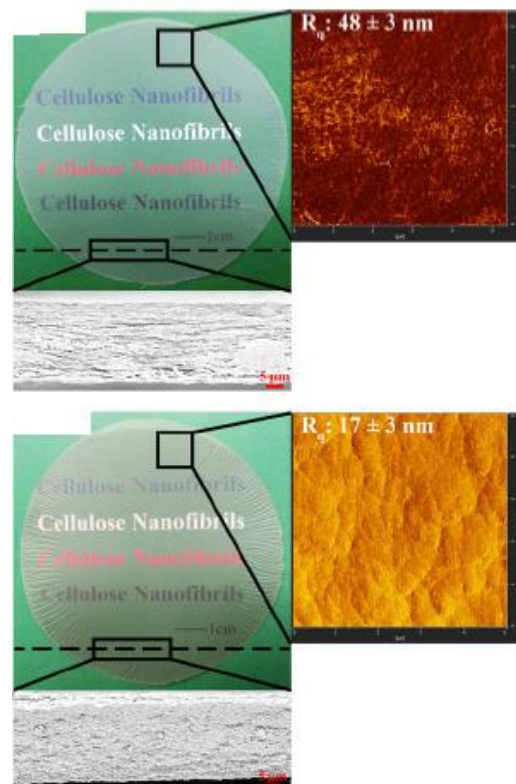
۲-۱-۱ نانوالیاف لیگنوسلولزی به کار رفته در دوغاب کاغذسازی

ویژگی‌های نانوالیاف لیگنوسلولزی نظیر بازده، میزان عبور نور، کاتیون خواهی^۳، مقدار گروه‌های کربوکسیل، میزان ماندگاری آب^۴، ویسکوزیته، درجه پلیمریزاسیون و طول شکست، بسیار مهم بوده و به اثر تقویت کنندگی در دوغاب کاغذسازی بسیار کمک می‌کند. زمانی که نانوالیاف لیگنوسلولزی توسط پیش تیمار مکانیکی و سپس هموژنیزه کردن تحت فشار، تولید می‌شوند، پیش تیمار مکانیکی نانوالیاف لیگنوسلولزی توسط پالایشگر باعث افزایش واکنشیدگی الیاف شده که منجر به سهولت حرکت سوسپانسیون خمیر در هموژنایزر و کاهش مصرف انرژی می‌شود. نانوالیاف لیگنوسلولزی در مقایسه با نانوالیاف سلولزی به دست آمده از چوب همراه با تیمار آنزیمی و یا مکانیکی نه تنها ارزان‌تر بوده بلکه استفاده از آن در دوغاب کاغذسازی

۱ - Lignocellulose Nanofiber
 ۲ - (2,2,6,6-tetramethylpiperidin-1-yl) oxy radical
 ۳ - Cationic Demand
 ۴ - Water Retention Value

۳ نانوالیاف سلولزی^۱ (CNF)

نانوالیاف سلولزی علاوه بر وزن پایه‌ی کم، دارای مزیت‌هایی چون قابل بازیافت بودن، فرآیندپذیری، سطح ویژه‌ی زیاد، زیست‌تخریب‌پذیری، دانسیته‌ی کم، خواص مکانیکی مناسب و تجدید پذیری در زمینه‌های گوناگون و سازگار بودن با محیط زیست می‌باشند. اما، در کنار تمام این ویژگی‌های خوب یکی از موانع موجود در بهره‌گیری از نانوالیاف سلولزی به خصوص در کاغذهای با وزن پایه‌ی زیاد، مشکل قابلیت آبریزی از خمیرکاغذ می‌باشد. فیلم‌های حاوی نانوالیاف سلولزی با توجه به عملکرد خوب و مقاومت در برابر نفوذ اکسیژن به‌عنوان پوشش‌دهنده و لایه‌ی میانی در محصولات بسته‌بندی به‌کار می‌روند [۱۵]. تازه‌ترین تحقیقات نانوفناوری در زمینه‌ی نانوسلولز از یک سو بر یافتن روش‌های تولید با مصرف حداقل انرژی به‌صورت کارآمد شامل انواع تیمارهای فیزیکی، شیمیایی و آنزیمی، قبل از همگن‌سازی متمرکز شده‌اند و از سوی دیگر به‌دنبال اصلاح خصوصیات الیاف سلولز نانوفیبریل شده برای کاربردهای خاص با توجه به توانمندی‌های بالقوه‌ی آن هستند [۱۶]. تولید نانوالیاف سلولزی شامل تجزیه‌ی الیاف سلولزی به میکروفیبریل‌های تشکیل دهنده‌ی آن و نانوالیاف می‌باشد. فرآیندهای مکانیکی مختلفی چون هم‌وژنیزه کردن با فشار زیاد، پردازش توسط میکروسپال‌ها و آسیاب برای شکستن پیوند هیدروژنی و ساختار دیواره‌ی سلولی سلولز به‌کار می‌روند. این روش‌ها از نیروی برشی زیادی برای واکشیده کردن الیاف سلولزی استفاده می‌کنند [۱۷]. تیمار التراسونیک با شدت زیاد نیز برای جداسازی نانوالیاف سلولزی به‌کار می‌رود [۱۸]. از آنجائی‌که روش‌های ذکر شده‌ی فوق مصرف انرژی زیادی دارند که از نظر اقتصادی برای تولید نانوالیاف سلولزی به‌صرفه نیست، روش‌های پیش-تیمار مختلف برای کاهش مصرف انرژی توسعه یافتند. اکسایش TEMPO به‌دلیل سهولت آماده‌سازی و کیفیت نانوالیاف سلولزی یکی از پرکاربردترین پیش‌تیمارها می‌باشد [۱۹]. نسبت منظر زیاد، سطح ویژه‌ی زیاد و ماهیت هیگروسکوپیک^۲ نانوالیاف سلولزی به‌دلیل حضور پیوندهای هیدروژنی در دسترس، منجر به شکل‌گیری سوسپانسیون آبی با ویسکوزیته‌ی زیاد و درصد مواد جامد نسبتاً کم % ۵-۱ (W/W) می‌شود [۲۰]. مقایسه‌ی میزان جذب آب نانوالیاف سلولز و نانوکریستال سلولز نشان می‌دهد که جذب آب نانوالیاف به‌دلیل داشتن ساختار شبکه‌ای در الیاف، وجود همی‌سلولزها و وجود نواحی آمورف در زنجیره‌ی سلولزی بیشتر از نانوکریستال سلولزی است. نانوالیاف از طریق نانومفذهای خود آب را جذب کرده و باعث افزایش حجم مواد جامد موثر و شکل‌گیری شبکه‌ی رئولوژیکی به‌عنوان ماده‌ی جامد ویسکوالاستیک می‌شوند [۲۱]. به‌طور کلی ژل نانوسلولز دارای قدرت و میزان جذب آب بیشتری در مقایسه با نانوکاغذ ساخته شده از همان ژل می‌باشد. زیرا در



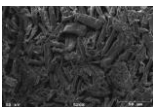
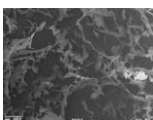
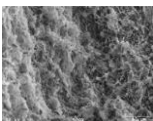
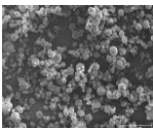
شکل ۳- تصاویر الکترونی فیلم‌های نانولیگنوسلولزی- به‌ترتیب، بالا: فیلم نانولیگنوسلولزی حاوی ۲٪ لیگنین، پاتین: فیلم نانولیگنوسلولزی حاوی ۱۵٪ لیگنین [۱۴]

از نانوالیاف لیگنوسلولزی برای تولید نانوالیاف سلولزی استفاده می‌شود. اگر مقدار لیگنین زیادی در نانوالیاف لیگنوسلولزی وجود داشته باشد، منجر به تولید ناکارآمد نانوالیاف سلولزی می‌شود. در این‌صورت باید از لیگنین‌زدایی برای حذف لیگنین اضافی و بهبود دسترسی الیاف سلولزی برای دفییره‌شدن مکانیکی استفاده کرد. بنابراین در بیشتر تحقیقات، از الیاف خمیر شیمیایی کاملاً رنگ‌بری شده برای تولید نانوالیاف سلولزی استفاده می‌شود. استفاده از الیاف سلولزی حاوی مقداری لیگنین برای تولید نانوالیاف سلولزی مزایایی همچون بازده بیشتر، هزینه تولید و اثرات زیست‌محیطی کمتر دارد و نانوالیاف سلولزی تولید شده به این روش، قطبیت کمتر و آبریزی بیشتری نسبت به نانوالیاف سلولزی تولید شده از خمیرهای کاملاً رنگ‌بری شده دارد. در نتیجه نانوالیاف سلولزی تولید شده به این روش، مصارف گسترده‌تری از نانومواد را با مقاومت حرارتی بیشتر، آبریزی بیشتر و قطبیت کمتر، دربرمی‌گیرد [۱۴].

^۱ - Cellulose Nanofiber

^۲ - Hygroscopic

جدول ۱- مزایا و معایب روش‌های مختلف خشک کردن نانوالیاف سلولزی [۲۲]

روش خشک کردن	مرفولوژی الیاف	مزایا	معایب
تبخیر حلال		هزینه کم و سریع بودن فرآیند	دلمه‌شدگی و هدررفت نانومواد
خشک کردن در شرایط منجمد		وجود الیاف در مقیاس نانو و فرآیند نسبتاً پایدار	دلمه‌شدگی و آهسته بودن فرآیند
استخراج فوق بحرانی		خشک کردن خوب و موثر، حفظ الیاف سلولزی در مقیاس نانو	هزینه زیاد و پیچیدگی فرآیند
خشک کردن با اسپری		پیوستگی فرآیند و کم بودن هزینه عملیاتی	مقیاس میکرو و نانو و مسدود کردن سیستم

این ژل، نانوالیاف به‌صورت جدا از هم قرار دارند و به‌دلیل آزاد بودن گروه‌های هیدروکسیل بیشتر، قدرت جذب آب خیلی بیشتری در مقایسه با نانوکاغذ دارند. به بیان دیگر، به‌دلیل داشتن سطح ویژه بسیار بیشتر در ژل نانوالیاف سلولزی، قدرت جذب آب بیشتر خواهد بود. کاربرد نانوالیاف سلولزی، از مصارف غذایی و پخش/امولسیون، پزشکی، داروسازی، و بهداشتی/جاذب تا به‌کارگیری در انواع نانوچندسازه‌ها و کاغذ و مقوا گسترده می‌باشند.

۱-۳ خشک کردن نانوالیاف سلولزی

به‌دلیل اینکه بیشتر فرآیندهای تولید نانوالیاف سلولزی در فاز مایع انجام می‌شود، یکی از مهمترین نکات در دستیابی به نانوالیاف سلولزی، روش خشک‌کردن و یا آب‌زدایی آنهاست. انواع روش‌های خشک کردن نانوالیاف سلولزی، شامل خشک کردن در آون و یا تبخیر حلال، خشک کردن در شرایط منجمد^۱، استخراج فوق بحرانی و خشک کردن با اسپری می‌باشد. جدول ۱، مزایا و معایب روش‌های مختلف خشک کردن نانوالیاف سلولزی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی از مزایای خشک کردن نانوالیاف سلولزی می‌توان به کاهش وزن الیاف، کاهش هزینه‌های حمل، دوام بیشتر به‌دلیل به‌تعویق انداختن تخریب بیولوژیکی و افزایش خواص کاربردی نانوالیاف، اشاره کرد و از معایب خشک کردن نانوالیاف سلولزی می‌توان به هزینه زیاد برای خشک کردن به دلیل ماهیت سوپرجاذب آن، ایجاد مشکلات در رابطه با تنفس ذرات خشک نانوالیاف و حساسیت‌های مربوط به آن، افزایش نسبی اندازه‌ی نانوذرات سلولزی و امکان دلمه‌شدگی نانوالیاف سلولزی در اثر خشک کردن، اشاره کرد [۲۲].

۲-۳. موارد مصرف نانوالیاف سلولزی

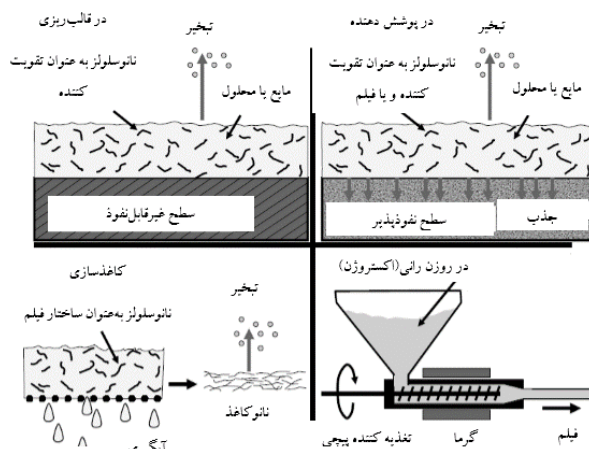
۱-۲-۳ انواع نانوسلولزهای به‌کار رفته در بسته‌بندی

۳ نوع از نانوسلولزهای به‌کار رفته در بسته‌بندی شامل نانوکریستال سلولزی^۲ (CNCs) که از طریق شکستن نواحی آمورف توسط اسید سولفوریک به‌دست آمده، نانوالیاف سلولزی که از طریق آنزیم سلولاز و یا اکسایش TEMPO به-دست آمده و سلولز باکتریایی^۳ (BC) که در بیشتر موارد توسط

^۲ - Cellulose Nanocrystals

^۳ - Bacterial Cellulose

^۱ - Freeze Drying



شکل ۵- طرح شماتیک فیلم‌های نانوالیاف سلولزی به‌کار رفته در فرآیندهای مختلف [۲۳].

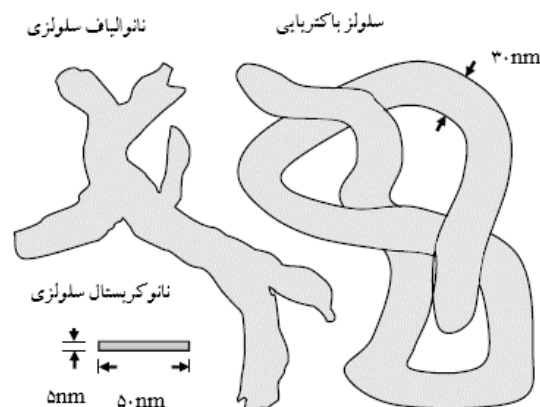
۴-۲-۳ نانوالیاف سلولزی به‌کار رفته در چاپ ۳ بعدی

یک مرکب ایده‌آل چاپ ۳ بعدی باید حین عبور از نازل چاپ به‌حالت مایع سیال بوده و پس از قرار گرفتن بر روی سطح، شکل جامد به خود بگیرد که چنین رفتاری با ویژگی برشی و رفتار تیکسوتروپیک^۲ نانوالیاف سلولزی متناسب است. به عنوان مثال در چاپ جوهر افشان، نانوکریستال سلولز به‌علت برش هیدرودینامیکی در طول چاپ، می‌تواند در جهت چاپ هم‌تراز شود [۲۵]. همچنین مشاهده شده است که نانوالیاف سلولزی به‌دست آمده از طریق اکسایش TEMPO خمیر کرافت رنگ-بری شده‌ی پهن‌برگان از طریق نقاط کوانتومی می‌تواند به‌عنوان پوشش دهنده در مرکب‌های فتوالکتریک به‌کار رود [۲۶].

۵-۲-۳ غشای نانوالیاف سلولزی

انتقال نور در غشای نانوالیاف سلولز خالص برای رسیدن به روشنایی و سفیدی در ساختار، برخلاف موادی دیگر مانند کاغذ که نیازمند صدها میکرومتر ضخامت برای رسیدن به ظاهر قابل‌قبول هستند، تنها با ضخامت کمی در حد چند میکرومتر، قابل کنترل می‌باشد. از آنجائی‌که سفیدی زمانی رخ می‌دهد که نور به‌صورت تصادفی و الاستیک در محیط پراکنده شود و به‌طور کلی هر چه تعداد و مقاومت پراکنده‌کننده‌های نوری بیشتر شوند، ماده‌ی مورد نظر روشن‌تر به‌نظر می‌رسد. به‌همین دلیل بسیاری از محصولات سفید موجود در بازار همچون رنگ-ها و کرم‌های ضدآفتاب از نانوذرات با شاخص انکساری زیاد مانند دی‌اکسیدتیتانیوم به‌عنوان تقویت‌کننده‌ی پراکندگی نور استفاده می‌کنند. چون استفاده از چنین تقویت‌کننده‌هایی باعث افزایش راندمان پراکندگی مواد می‌شود، بنابراین نیاز به پوشش‌دهنده‌های کاملاً سفید و مات را کاهش می‌دهد. باین-

برش مکانیکی به‌دست می‌آید، می‌باشد. شکل ۴، سه نوع از نانوسلولز و ابعاد آن را نشان می‌دهد.



شکل ۴- طرح شماتیک ۳ نوع از نانوسلولز با ابعاد معمول آنها. طول نانوالیاف سلولزی و سلولز باکتریایی در بیشتر مواقع بیشتر از مقدار نشان داده شده در شکل است، همچنین طول نانوکریستال سلولز در برخی موارد بیشتر از ۱۰۰۰ نانومتر است [۲۳].

۲-۲-۳ نانوالیاف سلولزی به‌کار رفته در دوغاب کاغذسازی

اخیرا استفاده از نانوالیاف سلولزی به‌عنوان افزودنی در دوغاب کاغذسازی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به‌عنوان یک افزودنی حجیم، نانوالیاف سلولزی باعث بهبود مقاومت کاغذ می‌شود. حضور نانوالیاف سلولزی در دوغاب کاغذسازی، باعث بهبود شکل‌گیری پیوندهای هیدروژنی بین الیاف در طول تشکیل کاغذ شده که مکانیسم اصلی برای افزایش مقاومت کاغذ می‌باشد. علاوه‌براین نانوالیاف سلولزی باعث کاهش تخلخل و افزایش دانسیته‌ی کاغذ می‌شود [۲۴].

۳-۲-۳ نانوالیاف سلولزی به‌کار رفته در فیلم‌ها و پوشش-دهنده‌ها

یکی از عملکردهای مهم بسته‌بندی، ممانعت از ورود گازها و مایعات به داخل و یا خارج محصولات بسته‌بندی شده می‌باشد. نانوالیاف سلولزی پتانسیل استفاده در لایه‌های مختلف یا پوشش‌دهنده‌ها را دارد که ویژگی ممانعتی ایجاد می‌کند. شکل ۵، چهار نوع از مصارف گسترده و مختلف فیلم‌های حاوی نانوالیاف سلولزی و یا نانو کاغذ را نشان می‌دهد.

² - Tixotropic

¹ - Bulk Additive

ویژگی‌های کاغذ با هدف کاهش هزینه‌ها و دستیابی به ویژگی‌های مناسب‌تر انجام می‌شود. نانوتکنولوژی از نظر تولید ماده‌ی اولیه، ایجاد کاربردهای جدید برای محصولات کاغذی و تولید نسل‌های جدیدی از مواد اولیه‌ی لیگنوسلولزی در مقیاس نانو، می‌تواند صنایع کاغذسازی را متحول کند. نانوالیاف سلولزی و نانوالیاف لیگنوسلولزی به‌عنوان بخشی از این نانومواد، دارای مزیت‌هایی چون تجدیدپذیری، قابل بازیافت بودن، فرآیند-پذیری و سازگاری با محیط زیست می‌باشند. نانوالیاف سلولزی و لیگنوسلولزی به‌صورت گسترده، در صنایع کاغذسازی به‌کار می‌روند. فیلم‌های حاوی این نانوالیاف با توجه به عملکرد خوب و مقاومت در برابر نفوذ موادی که دارند به‌عنوان پوشش-دهنده، در محصولات بسته‌بندی، در فیلم‌ها و غشاهای سلولزی به‌کار می‌روند. در مجموع افزون بر تمام موارد گفته، استفاده از الیاف سلولزی در تحقیقات نانوتکنولوژی در مقایسه با سایر مواد مانند همی‌سلولزها و لیگنین، گستردگی و عمومیت بیشتری دارد. زیرا سلولز یک پلیمر زیستی با ساختار نیمه-کریستالی است ولی سایر مواد از جمله لیگنین که عمدتاً آمورف است، چنین ساختاری نداشته و در نتیجه ویژگی‌های کاربردی لازم را به ما نمی‌دهند.

۵. منابع

- [1] H. Zhu, W. Luo, P. N. Ciesielski, Z. Fang, J. Y. Zhu, G. Henriksson, M. E. Himmel, & L. Hu, Chemical Reviews, 116, 9305-9374. (2016)
- [2] T.C.F. Silva, Y. Habibi, J. L. Colodette, T. Elder, L. A. Lucia, Cellulose, 19, 1945-1956, (2012)
- [3] R. Ghofran, M. H. Moradian, M. A. Saadatnia, P. Rezayati Charani, Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 4, 523-536, (2016)
- [4] S. H. Osong, S. Norgren, P. Engstrand, Cellulose, 23, 93-123, (2015)
- [5] W. J. Liu, H. Jiang, & H. Q. Yu, Green Chemistry, 17, 4888-4907, (2015)
- [6] TAPPI. Proposed New TAPPI Standard: Standard Terms and Their Definition for Cellulose Nanomaterial. Draft for Review, WI 3021
- [7] A. Vazquez, M. L. Foresti, J. I. Moran, & V. P. Cyras, Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application, 81-118, (2015)
- [8] E. Espinosa, J. Domínguez-Robles, R. Sa'nchez, A. Rodríguez, Q. Tarre's, & A. Rodríguez, Cellulose, 24, 2605-2618, (2017)
- [9] E. Espinosa, Q. Tarre's, M. Delgado-Aguilar, I. González, P. Mutje', & A. Rodríguez, Cellulose, 23, 837-852, (2015)

حال، استفاده‌ی گسترده از ذرات دی‌اکسید تیتانم به عنوان تقویت کننده‌ی پراکندگی در مواد غذایی، لوازم آرایشی و کاغذی، اخیراً مشکلات جدی بهداشتی و زیست‌محیطی به‌وجود آورده است. بنابراین نیاز به بهبود کارایی پراکندگی با استفاده از مواد پایدار و سازگار با محیط زیست می‌باشد. نانومواد فیبریل شده مانند نانوالیاف سلولزی به‌دلیل ویژگی‌های مرفولوژیکی ذاتی، مقاومت خوب، دسترسی گسترده، تجدیدپذیری و زیست‌سازگاری که دارند، به‌عنوان جایگزینی مناسب انتخاب شدند. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، نانوالیاف سلولزی به عنوان پوشش‌دهنده‌های سفید، به-دلیل ویژگی‌های مکانیکی بسیار خوب و سازگاری با محیط زیستی که دارند، پیشنهاد می‌شود [۲۷].



شکل ۶- طرح شماتیک غشاهای نانوالیاف سلولزی- به ترتیب از بالا به پایین، به‌دست‌آمده از الیاف ظریف‌تر و با قطر کمتر (غشای شفاف)، الیاف متوسط با قطر متوسط (غشای نیمه‌شفاف) و الیاف زبر با قطر بیشتر (غشای سفید و مات) [۲۷]

۴. نتیجه‌گیری

امروزه با درنظرگرفتن کمبود منابع نفتی و مسائل زیست-محیطی حاصل از آن‌ها، توجه‌ها بیشتر به منابع انرژی دیگری نظیر زیست‌توده‌های لیگنوسلولزی به عنوان منابع فراوان و تجدیدپذیر، معطوف شده تا جایگزین این منابع شوند. سلولز و لیگنین به‌عنوان دو ترکیب مهم از این زیست‌توده‌های لیگنوسلولزی شناخته می‌شوند. همچنین، امروزه با معرفی نانو ساختارها و مواد افزودنی جدید، تحقیقات در زمینه‌ی بهبود



- [10] C. W. Park, S. Y. Han, H. W. Namgung, P. N. Seo, S. Y. Lee, & S. H. Lee, *BioResources*, 12, 5031–5044, (2017)
- [11] Y. Li, Q. Fu, R. Rojas, M. Yan, M. Lawoko, & L. Berglund, *Chemistry and Sustainability, Energy and Materials*, 10, 3445–3451, (2017)
- [12] Y. Chen, D. Fan, Y. Han, S. Lyu, Y. Lu, G. Li, F. Jiang, & S. Wang, *Cellulose*, 25, 6421–6431, (2018)
- [13] H. Y. Bian, Y. Gao, R. B. Wang, Z. L. Liu, W. B. Wu, & H. Q. Dai, *Cellulose*, 25, 1309–1318, (2018)
- [14] Y. Jiang, X. Liu, Q. Yang, X. Song, C. Qin, S. Wang, & K. Li, *Cellulose*, 25, 6479–6494, (2018)
- [15] M. Shimizu, T. Saito, & A. Isogai, *Journal of Membrane Science*, 500, 1–7, (2016)
- [16] D. Klemm, F. Kramer, S. Moritz, T. Lindström, M. Ankerfors, D. Gray & A. Dorri, *Chemie International Edition*, 50, 5438 – 5466, (2011)
- [17] H. P. S. Abdul Khalil, Y. Davoudpour, M. N. Islam, A. Mustapha, K. Sudesh, R. Dungani, & M. Jawaid, *Carbohydrate Polymers*, 99, 649–665, (2014)
- [18] N. Masruchin, B. D. Park, V. Causin, I. C. Um, *Cellulose*, 22, 1993–2010, (2015)
- [19] A. J. Onyianta, M. Dorris, R. L. Williams, *Cellulose*, 25, 1047–1064, (2017)
- [20] O. Nechyporchuk, M. N. Belgacem, F. Pignon, *Biomacromolecules*, 17, 2311–2320, (2016)
- [21] V. Kumar, V. Ottesen, K. Syverud, Ø. W. Gregersen, & M. Toivakka, *Cellulose*, 15, 571–580, (2017)
- [22] M. VG. Zimmermann, C. Borsoi, A. Lavoratti, M. Zanini, A. J. Zattera, & R. MC. Santana, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 8, 628–643, (2016)
- [23] M. A. Hubbe, A. Ferrer, P. Tyaga, Y. Yin, C. Salas, L. Pal, & O. J. Rojas, *BioResources*, 12, 2143– 2233, (2017)
- [24] F. Brodin, Ø. W. Gregersen, K. Syverud, *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 29, 156–166, (2014)
- [25] G. Siqueira, D. Kokkinis, R. Libaroni, M. K. Hausmann, A. S. Gladman, A. Neels, P. Tingaut, T. Zimmermann, J. A. Lewis, & A. R. Studart, *Advanced Functional Materials*, article 1604619, (2017)
- [26] A. M. Tang, Y. Liu, Q. W. Wang, R. S. Chen, W. Y. Liu, Z. Q. Fang, & L. S. Wang, *Carbohydrate Polymers*, 148, 29–35, (2016)
- [27] M. S. Toivonen, O. D. Onelli, G. Jacucci, V. Lovikka, O. J. Rojas, O. Ikkala, & S. Vignolini, *Advanced Materials*, 30, 1704050, (2018)