اثر نانوذرّات سلولزی بر ویژگی‌های کاغذ

منصوره سادات عنایتی علی‌نیا [1*]، الیاس افرا [2]، علی قاسمیان [3]

تاریخ دریافت مقاله: آذر ماه۱۳۹۱
تاریخ پذیرش مقاله: دی ماه ۱۳۹۱

چکیده

کاغذ و محصولات کاغذی به عنوان یکی از کالاهای مصرفی جایگاه مهمی در زندگی انسان‌ها دارند. عملاً همه مطالب را روی کاغذ می‌نویسیم و چاپ می‌کنیم. مقدار زیادی کاغذ در صنایع بسته‌بندی و کارهای ساختمانی به کار می‌بریم. از طرفی این فراورده به تنهایی و بدون تیمار با مواد مختلف، استحکام لازم و قابلیت نفوذپذیری به هوا، رطوبت و غیره را به طور مناسبی ندارد. در عین حال تولیدکنندگان کاغذ با چالش‌هایی چون ماندگاری و زیست‌تخریب‌پذیری مواد افزودنی در ازای بهبود خواص مقاومتی و ممانعتی مواجه هستند. در کنار این مباحث، مسئله استفاده از فنّاوری‌ها و پیشرفت‌های علمی جدید به منظور بهینه‌سازی وضعیت تولید در صنایع و کارخانجات مختلف نیز بخش مهمی از تحقیقات را به خود اختصاص داده است. یکی از جدیدترین پیشرفت‌های علمی سال‌های اخیر، مبحث نانوفنّاوری است. سلولز [4] که از اعضای خانواده پلی‌ساکاریدهاست [5]، بیوپلیمری [6] زیست تخریب‌پذیر، زیست تجدیدپذیر و فراوان‌ترین بیوپلیمر موجود در طبیعت است که حاوی دستجات رشته مانندی با قطر ۳ تا ۳۰ نانومتر می‌باشد(۹). نانو الیاف سلولز دارای خصوصیات جالبی همچون تجدیدپذیری، قیمت پایین، سطح ویژه بالا(در حد کولار [7]) و غیره می‌باشند، لذا در سال‌های اخیر تمایل به استفاده از آن در تولید محصولات مختلفی نظیر کاغذ، کامپوزیت‌ها [8] و حتّی در صنایع غذایی و بسته‌بندی، وسایل الکتریکی، قرص‌های دارویی و غیره افزایش یافته است. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر لیفچه‌های جدا شده از میکروکریستال سلولز [9] تیمار فراصوتی شده بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذ بسته‌بندی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

کاغذ بسته‌بندی، نانو کریستال [10] سلولز، تیمار فراصوتی و خواص مقاومتی.

۱- مقدمه

خمیر حاصل از چوب می‌تواند به انواع مختلفی از محصولات کاغذی از کاغذهای نازک و نرم دستمال کاغذی گرفته تا مقواهای بسیار سخت و ضخیم تبدیل گردد. بنابراین ۵۰/۹ درصد از خمیر چوب تولیدی دنیا برای تولید کاغذ چاپ و تحریر، ۱۶/۹ درصد برای تولید کاغذ روزنامه، ۱٤/۵ درصد برای تولید کاغذ بهداشتی و

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(* نویسنده مسئول: mansoureh1384@yahoo.com)
۲- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

4- Cellulose
5- Polysaccharide
6- Bio polymer
7- Kevlar
8- Composite
9- Microcrystall cellulose
10- Nanocrystall

۱۷/۷ درصد برای تولید کاغذ بسته‌بندی به کار می‌رود(۱۳).

هر یک از انواع کاغذها باید ویژگی‌های خاصی داشته باشند و بدین جهت باید از خمیرهای خاصی تولید گردند. به عنوان مثال کاغذهای بسته‌بندی و لایه سطحی کارتن باید دارای مقاومت به ترکیدگی، کشش، پارگی و ممانعت از نفوذ هوا، آب و اکسیژن زیاد بوده و معمولاً از خمیر کرافت[1] رنگ‌بری نشده سوزنی‌برگ تولید می‌شوند. کاغذ بهداشتی باید دارای الیاف نرم، مقاومت متوسط و خاصیت جذب رطوبت بوده، لذا از خمیرهای سولفیت[2] و یا کرافت تولید می‌شود. کاغذ چاپ و تحریر باید دارای شکل‌گیری خوب، روشن، مقاومت متوسط، خواص نوری و کشسانی بوده و از خمیرهایی چون کرافت رنگ‌بری شده پهن‌برگ و سوزنی‌برگ، سولفیت رنگ‌بری شده، الیاف کهنه و خمیر چوب آسیاب‌شده سفید تولید گردد(۱۳). یکی دیگر از خمیرهایی که می‌توان از آن کاغذ چاپ و تحریر، کاغذ مقوا و بسته‌بندی تولید کرد، خمیر شیمیایی مکانیکی می‌باشد. با وجود مزایای متعدّد در استفاده از خمیرهای پربازده شیمیایی مکانیکی، پاره‌ای مشکلات در این صنعت وجود دارند که عمده‌ترین آن‌ها شامل استفاده از سوزنی‌برگان و پهن‌برگان معین (به لحاظ ساختار الیاف)، مصرف زیاد انرژی مکانیکی، مقاومت کمتر خمیرهای پر بازده، تیره بودن خمیر تولید شده و شفافیت کم آن در مقایسه با خمیرهای شیمیایی می‌باشد(۹). امروزه با افزودن مواد مختلف به خمیر کاغذ و مقوا و تغییر در فنّاوری ساخت، توانسته‌اند قابلیت‌های زیادی به آن ببخشند و قادرند مقاومت، شکل ظاهری و سایر خصوصیات کاغذ و مقوا را با توجّه به محصول تغییر دهند. تلاش‌های زیادی به‌منظور بهبود خواص فیزیکی، مقاومتی و ممانعتی کاغذهای بسته‌بندی انجام شده که از جمله آن‌ها می‌توان به افزودن مواد افزودنی فیبری چون الیاف بلند سوزنی‌برگ، الیاف نرمه حاصل از خمیر شیمیایی و مواد افزودنی غیر فیبری مانند پرکننده‌ها، عوامل آهاردهی درونی و چسب‌های ویژه خمیرکوب از جمله پلیمرهای طبیعی و مصنوعی نام برد(۳، ۱۶ و ۱۷). علاوه بر این، برای ایجاد خواص ممانعتی از فنّاوری‌های مختلفی چون لمینیت[3]، آهار سطحی و اندود استفاده می‌شود(۳). در این میان تولیدکنندگان کاغذ با چالش‌هایی چون ماندگاری و زیست‌تخریب‌پذیری مواد افزودنی مواجه هستند. لذا تحقیقات گسترده‌ای در جهت بهبود خواص کاغذ و مقوا با استفاده از تقویت‌کننده‌های سازگار با محیط زیست در حال انجام است. در این راستا به‌کارگیری فنّاوری‌های نوین به منظور دستیابی به بهترین نتایج با کمترین هزینه‌ها امری معقول و عموم‌پسند می‌باشد. فنّاوری نانو به عنوان یکی از نوظهورترین فنّاوری‌های روز دنیا مطرح می‌باشد که به تازگی رد پای آن در صنایع سلولزی نیز به چشم می‌خورد.

۲- فنّاوری نانو

نانوفنّاوری یک اصطلاح عمومی است که به هر نوع فناوری یا علمی که در محدوده نانومتری عمل می‌کند، مرتبط می‌باشد. یک نانومتر معادل یک میلیاردم متر است به طوری که اگر حدود ده اتم در کنار یکدیگر قرار گیرند معادل یک نانومتر خواهد بود. در تعریف نانوفنّاوری، مقیاس نانومتری شامل مواد با اندازه ذرّات کمتر از ۱۰۰ نانومتر درنظر گرفته می‌شود(۱). وقتی اندازه نانوذرّات کاهش می‌یابد، نسبت سطح مؤثر به سطح کل ذرّات افزایش یافته، اثرات سطحی قوی‌تر شده و خواص کاتالیستی[4] افزایش می‌یابد. بیشتر بودن سهم اتم‌ها در سطح نانوذرّات نیز خواص فیزیکی آن‌ها را تغییر می‌دهد.

اولین بار فاویر[5] و همکاران در سال ۱۹۹۵ اثر تقویت‌کنندگی ویسکر[6]های سلولز را گزارش کردند. آن‌ها برای تقویت لاتکس اکریلات[7] از نانوکریستال‌های سلولز

1- Kraft
2- Sulphite

3- Laminate
4- Catalytic properties
5- Favier
6- Whisker
7- Latex acrylate

حاصل از تونیکات[1](نوعی جانور دریایی) استفاده کرده و نانوچندسازه سلولزی تولید نمودند. مطالعات و تصاویر میکروسکوپ الکترونی[2] نشان داد که بلورهای سلولز تصادفاً در ساختار لاتکس پخش شده‌اند. با افزودن تنها درصد کمی (۰/٦ درصد وزنی) از نانوبلورهای سلولز، خصوصیات الاستیکی[3] مکانیکی لاتکس تا ۵۰۰ برابر بهبود پیدا کرد.

استفاده از مقدار کمی نانوبلور سلولز[4](۵ درصد) کافی است تا تغییرات چشمگیری در نانوکامپوزیت ساخته شده روی دهد. معتقدند در استفاده از نانوبلور سلولز در نانوکامپوزیت‌ها، برخی از عوامل مثل مقدار، نسبت ابعاد، مدول و توزیع جهت نانوبلور سلولز از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار روی مدول‌های نانوکامپوزیت هستند(۸).

به طور کلی نانوکریستال سلولز می‌تواند پلاستیک‌ها را ۳۰۰۰ بار مستحکم‌تر کند(وینتر[5]،۲۰۰٦). طی مطالعه‌ای مشخص شد که کامپوزیت‌های ساخته شده با رزین فنولی[6] و سلولز میکروفیبریله[7] شده در مقایسه با کامپوزیت‌های تقویت شده با منیزیم چقرمگی[8] برابر و دانسیته کمتر دارند. همچنین اثرات تقویت‌کنندگی میکروفیبریل‌های[9] سلولزی با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر در کامپوزیت‌های پلی‌وینیل الکل[10] و سلولز هیدروکسی پروپیل[11]، قابل ملاحظه گزارش شد.(جو و همکاران ۲۰۰۸)

یکی از اهداف اصلی کاربرد نانوفیبر[12] سلولز در کاغذ، بهبود ویژگی‌های ممانعتی آن می‌باشد. بدین منظور روش‌های مختلفی جهت الحاق آن به کاغذ وجود دارد که از جمله آن می‌توان به همگن‌سازی خمیر کاغذ رنگ‌بری شده یا خمیر حل شونده[13] برای تولید نانوفیبر سلولز و اسپری سوسپانسیون[14] حاصل بر روی کاغذ مورد نظر اشاره نمود. به این منظور سیورود و استنیوس[15](۲۰۰۸)، از طریق همگن‌سازی خمیر سولفیت کاملاً رنگ‌بری شده صنوبر در دستگاه همگن‌ساز با فشار ٦۰۰bar سلولز میکروفیبریله شده تهیه کرده و با درصدهای مختلف به خمیر کاغذ کرافت رنگ‌بری شده افزودند. نتایج حاکی از آن است که درصد تغییر طول نسبی در کاغذ معمولی و اندودشده کم‌تر از مقادیر این شاخص در فیلم‌های سلولز میکروفیبریله شده بوده ولی با افزایش ضخامت اندود، این مقادیر افزایش یافته‌اند. میزان قابلیت نفوذپذیری به هوا با افزایش اندود و ضخامت سلولز میکروفیبریله شده کاهش یافته است. نتایج تحقیقات نشان دادند که شاخص مقاومت کششی کاغذ حاوی ۸ درصد نانوفیبر سلولز(٤۰Nm/g) به مقدار قابل توجّهی افزایش و ممانعت به هوا(۳٦۰nm/Pa) در این کاغذ کاهش پیدا کرده است. ویژگی‌های مقاومتی فیلم‌های خالص نانوفیبر سلولز با اکثر ویژگی‌های سلوفان[16] مشابه بوده؛ اما مدول الاستیک[17] بیشتری دارند. چرا که درجه بلورینگی زیاد فیبریل‌ها[18] در فیلم‌های خالص موجب افزایش مدول الاستیسیته[19] و کاهش تخلخل سطح به واسطه ایجاد پیوندهای قوی هیدروژنی[20]، موجب بهبود چشم‌گیر ویژگی‌های ممانعتی شده و در نتیجه سبب تقویت خصوصیات چاپ‌پذیری این نانو کاغذها می‌گردد.

محققان سوئدی و ژاپنی با استفاده از فنّاوری نانو و مدنظر قرار دادن مقاومت ویژه و بالای نانوفیبرهای سلولزی، موفق به ساخت نوعی کاغذ با مقاومت کششی بالا(۲۱٤ مگاپاسکال) شدند که از مقاومت کششی

1- Tunicate
2- Electronic microscopic
3- Elasticy
4- Nano crystall cellulose
5- Winter
6- Phenolic resin
7- Microfibrillated cellulose
8- Toughness
9- Cellulose microfibrill
10- Poly(vinyl) alcohol
11- Cellulose hydroxyl propyle
12- Nanofiber
13- Dissolving Pulp
14- Spray suspension
15- Syverud and stenius
16- Cellophane
17- Modulud of elastic
18- Fibrill
19- Modulud of elasticity
20- Hydrogen

چـدن(۱۳۰ مگاپاسـکال) و کاغـذ معمـولی(کمتـر از یـک مگاپاسکال) بیشتر اسـت و در حـد مقاومـت کشـشی فـولاد (۲۵۰ مگاپاسکال) است. در ساخت این نانو کاغذ برای تهیـه نانو الیاف سلولزی از آنزیم[1] استفاده مـی‌شـود کـه از دیـدگاه زیست محیطی یک مزیت محـسوب مـی‌شـود، چـرا کـه در مقایسه با روش‌های سنتی، آلودگی زیست محیطی نـدارد. در این روش صدمات بسیار جزئی بـه الیـاف وارد مـی‌آیـد، در نتیجه خواص مقاومتی آن‌ها محفوظ می‌ماند.

مدنی و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسـی تفکیـک و حـذف الیاف بلند ذرّات سلولز نانوفیبریله شـده [2](NFC) و تـأثیر آن بـر مقاومـت کشـشی کاغـذ حاصـل از خمیـر شـیمیایی رنگ‌بری شده‌ی پهن‌برگ پرداختند. نتـایج آزمایـشات نـشان دادند که افزودن ذرّات NFC عاری از الیاف بلنـد در مقایـسه با افزودن ذرّات بدون تیمـار NFC، مقاومـت کشـشی کاغـذ حاصل را به مقدار قابل توجّهی افزایش می‌دهد.

بلدیزر[3] و همکارانش خمیر چوب را طی مراحل مختلف هیدرولیز[4] کردند تا نانوسلولز با DPهـای مختلـف بـه‌دسـت آید، سپس کامپوزیت‌های ترموپلاستیک[5] با روش قالب‌گیری تزریقی ساخته و مقاومت‌های مکانیکی آن را انـدازه گرفتنـد. اثر تقویت‌کنندگی به طور معنی‌داری بیشتر از حالتی بـود کـه کامپوزیت‌های پلیمری بـا الیـاف خمیـر کاغـذ سـاخته شـده بودند. افزایش ضریب لاغری، همچنین سطح ویژه زیـاد نـانو بلور سلولز نسبت به الیاف خمیر کاغذ، از دلایل عمده بهبـود خواص نانوکامپوزیت‌های حاصل عنوان شد.

۳- میکرو کریستال سلولز و ویژگی‌های آن

سلولز یک هوموپلی‌ساکارید[6] تشکیل شـده از واحـدهای β - D-گلوکوپیرانوزی[7] است که با پیوندهای گلیکوزیـدی[8] (٤ ⟵ ۱) به یکدیگر متصل شده‌اند. مولکـول‌هـای سـلولز کاملاً خطی هستند و تمایل شدیدی به تـشکیل پیونـدهای هیدروژنی بین‌مولکـولی دارنـد. در نتیجـه، دسـته‌هـایی از مولکول‌های سلولز با یکدیگر مجتمع شده، ریزلیفچه‌هـا را تشکیل مـی‌دهنـد. در ریـزلیفچـه‌هـا نـواحی بـسیار مـنظم (بلـوری) و نـواحی نـسبتاً نـامنظم(آمـورف[9]) متناوبـاً در مجـاورت یکـدیگر قـرار دارنـد. ابعـاد مقـاطع ایـن ذرّات متناسب با گونه متفاوت اسـت. از تجمـع ریـز لیفچـه‌هـا، لیفچه و از تجمع لیفچه‌ها، لیف سلولزی تشکیل مـی‌شـود. بر اثر همین ساختار لیفی و پیوندهای هیـدروژنی محکـم، سـلولز از مقاومـت کشـشی زیـادی برخـوردار بـوده و در اغلب حلال‌ها نـامحلول اسـت. مـدول کشـشی ایـن مـاده حدود ۱۵۰GPa[10] است که بیشتر از مقدار متوسـط مـدول کششی کولار[11](۱۳۰GPa) و آلومینیوم (۷۰GPa) می‌باشـد. به‌طور کلی نـانو بلـور سـلولز ۲۵ تـا ۳۰ درصـد مقاومـت نانولوله‌های کربنی را دارد(جدول۱).

جدول۱- مقایسه مقاومت و مدول کششی نانوبلور سلولز با مواد دیگر (کوگلین، ۲۰۰۷)

ماده	مقاومت کششی (GPa)	مدول کششی (GPa)
نانوبلور سلولز	۷/۵	۱۵۰
الیاف شیشه	۴/۸	۸۶
سیم فولادی	۴/۱	۲۰۷
ویسکر گرافیت[12]	۲۱	۴۱۰
نانو لوله کربنی	۱۱-۶۳	۲۷۰-۹۷۰

1- Enzyme
2- Nanofibrillated cellulose
3- Boldizar
4- Hydrolysis
5- Thermoplastic
6- Polysaccharides
7- Glucopyranose
8- Glycosidic bond
9- Amorphous
10- Giga pascal
11- Tensile modulus kevlar
12- Whisker graphit

در نانوکامپوزیت‌ها، سلولز چوب به شکل سلولز میکروکریستال (MCC)[1] یا به شکل سلولز نانوفیبریله شده (NFC) به‌کار می‌رود(١٤).

٣-١- مزایای نانوبلور سلولز

ساختار تک بلوری، شکل میله‌ای بلند با درجه تبلور زیاد، سطح ویژه حدود ٥٧٥ متر مربع در هر گرم، ضریب لاغری بالا(طول چند میکرون و ضخامت ٣ تا ٣٠ نانومتر)، مقاومت ویژه زیاد، چگالی کمتر (١/٥ گرم بر سانتی‌متر مکعب) در مقایسه با انواع پرکننده‌های معدنی، فعالیت شیمیایی سطحی زیاد(به دلیل گروه‌های هیدروکسیل[2] سطحی زیاد)، قیمت کم ماده اولیه، تولید فراوان(صد میلیارد تن در سال)، دارای قابلیت تجدید شوندگی، زیست تخریب‌پذیری.

٣-٢- معایب نانو بلور سلولز

نیاز به اصلاح سطحی برای امتزاج با پلیمرهای قطبی و بهبود قابلیت حل‌شوندگی، استخراج زمان‌بر و هزینه‌بر از منابع با توجّه به روش‌های موجود.

٤- روش‌های تهیه نانوسلولز

روش‌های مختلفی برای تولید نانوسلولز وجود دارند که عبارتند از:

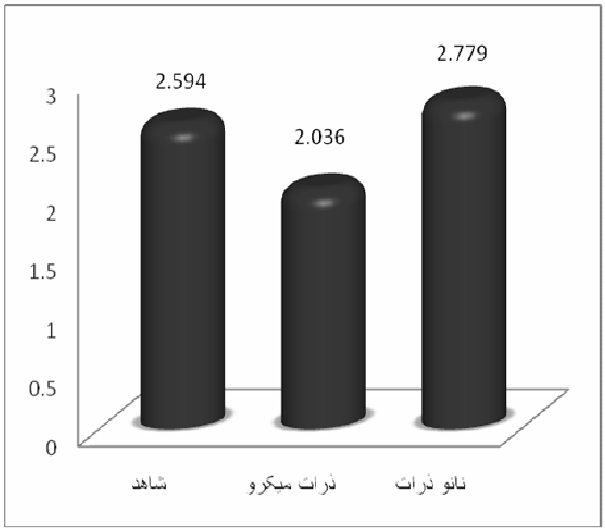
- روش شیمیایی؛
- مشابه هیدرولیز اسیدی قوی؛
- برداشتن مناطق آمورف فیبر سلولز و تولید لیفچه‌های در اندازه نانو است؛
- روش‌های مکانیکی شامل تیمار پالاینده پرفشار، تیمار آسیاب، تیمار همگن پرفشار، و اولتراسونیک[3] با شدّت زیاد است.

در مطالعه حاضر از روش اولتراسونیک با شدّت زیاد که یک روش دوست‌دار محیط زیست است برای تولید نانوسلولز استفاده شد. پودر سلولز میکروکریستال(MCC) به مدّت بیشتر از ٢٤ ساعت در آب مقطر خیسانده شده(غلظت ٢ درصد) و سپس به مدّت ٤٥ دقیقه با نیروی ٨٠٪ توسط دستگاه اولتراسونیک با شدّت زیاد جهت جداسازی الیاف تحت تیمار فراصوتی قرار می‌گیرد. از سانترفیوژ[4] به مدّت ١٠ دقیقه برای جداسازی الیاف از مواد تیمار شده استفاده می‌شود. لیفچه‌های کوچک(قسمت بالا) و لیفچه‌های بزرگ (قسمت پایین) جدا شده و برای تقویت کامپوزیت به کار می‌رود(١٠).

٥- اثر میکرو کریستال سلولز بر ویژگی‌های کاغذ

برای مقایسه تأثیر تیمار فراصوتی در ویژگی مقاومت به ترکیدن کاغذ دست‌ساز، میکرو کریستال سلولز خالص و نانو کریستال سلولز حاصل از تیمار فراصوتی، به مقدار ١٠٪ وزنی به خمیر کاغذ اضافه شدند. نتایج حاصل در(شکل ١) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده شد پودر میکروکریستال سلولز در مقایسه با کاغذ شاهد موجب کاهش ٢٧ درصدی مقاومت به ترکیدن کاغذ شد(از ٢/٥٩٤ به KPa/gm^2 ٢/٠٣٦). ذرّات کریستالی MCC به دلیل ابعاد میکرومتری، انعطاف‌پذیری کم و عدم توانایی مناسب در تشکیل پیوند هیدروژنی بین الیاف و در نتیجه ایجاد فضاهای توخالی و غیر متراکم، موجب افزایش ضخامت، کاهش دانسیته، مقاومت به عبور هوا و مقاومت‌های عمومی کاغذ می‌گردد(٢).

1- Microcrystalline cellulose
2- Hydroxyl
3- Ultrasonic
4- Centrifuge



شکل ۱- تأثیر ذرّات میکرو کریستال و نانوذرّات سلولز بر مقاومت به ترکیدن

٦- اثـر تیمـار فراصـوتی و سـانتریفیوژ بـر ویژگی‌های کاغذ

همان‌طور که ذکر شـد، پـودر میکروکریـستال سـلولز در مقایسه با کاغذ شاهد موجب کاهش مقاومت به ترکیدن کاغذ شد، در صورتی‌که لیفچه‌های کوچـک حاصـل از سـانترفیوژ میکروکریستال تیمار فراصوتی شده باعث افزایش ۷ درصدی مقاومت به ترکیـدگی کاغـذ گردیـد(از ۲/٥۹٤ بـه KPa/gm^2 ۲/۷۷۹).

ذرّات ریز به دلیل وجود ذرّات با ابعاد نانو، قـادر بـه پـر کردن خلل و فرج متداول در بین الیاف بوده و هـم راسـتا بـا افزایش دانسیته، موجب افـت ضـخامت کاغـذ مـی‌گـردد. از طرف دیگر تبـدیل ابعـاد فیبرهـا از مقیـاس میکرومتـری بـه مقیاس نانومتری، موجب افزایش فوق‌العاده سطح ویژه الیاف، دسـترس‌پـذیری گـروه‌هـای هیدروکـسیل، پیونـدیابی و انعطاف‌پذیری الیاف و در نتیجه عدم برگشت موقعیت الیـاف پس از عملیات پرس به حالت اولیـه مـی‌شـود(٤). در واقـع توانایی نانو الیاف در تشکیل یک شبکه لیفـی متـراکم کـه بـا پیوندهای قوی بین لیفی در کنار هـم نگـه‌داشـته مـی‌شـوند، موجـب کـاهش تخلخـل و بهبـود خـواص ممـانعتی کاغـذ می‌گردد(۷، ۱۲،۱٤، ۱٥، و ۱۸).

۷- نتیجه گیری

امروزه تمایل به استفاده از موادی که قابلیـت برگـشت به طبیعت را داشته باشند، به دلیل مسائل زیـست محیطـی رو به گسترش است. بازیابی، اسـتفاده مجـدّد و بازگـشت سریع به چرخه محیط زیـست از مزایـای مهـم اسـتفاده از مقوای مناسب برای بسته‌بندی است. هم‌چنـین، بـالا بـودن خواص کیفی بـسته‌بنـدی کاغـذی مـی‌توانـد کاغـذ را در بسیاری از بخش‌ها جایگزین سایر بسته‌بندی‌ها کنـد کـه از جمله جایگزینی مقوا به جای چوب در جعبه‌هـای میـوه و دیگـر اقـلام غـذایی را مـی‌تـوان نـام بـرد. در کاغـذهای بسته‌بندی، ویژگی‌های مقاومتی و ممانعتی جهـت افـزایش حفظ و ماندگاری کالای درونی آن حائز بیش‌ترین اهمیـت هـستند. بـه عـلاوه، از آنجـایی کـه اسـتفاده متـداول از تقویت‌کننده‌هـای غیـر طبیعـی و الیـاف بکـر پهـن‌بـرگ و سوزنی‌برگ موجب بهبود ناچیز ویژگی‌های مقاومتی کاغـذ در قبال افزایش هزینه و مسائل زیست‌محیطی می‌شود، لـذا نانوسـاختارهای سـلولزی و میکروسـاختارهای سـلولزی دوست‌دار محیط زیست می‌توانند به عنوان مـاده افزودنـی تقویت‌ساز خمیر کاغـذ و مقـوا اسـتفاده شـوند و خـواص مقاومتی بسیار بالایی به محصولات سـاخته شـده از آن‌هـا

ببخشند. به عنوان مثال جداسازی لیفچه‌ها با روش مکـانیکی اولتراسونیک با شدّت بالا کـه یـک روش دوسـت‌دار محـیط زیست است و اسـتفاده از ذرّات ریـز میکروکریـستال تیمـار فراصوتی شده همان‌طـور کـه گفتـه شـد موجـب افـزایش ۷ درصدی مقاومت به ترکیدگی کاغذ می‌شـود کـه ایـن مـسئله امیدهایی را برای استفاده بیشتر از نانوسلولز و افـزایش دامنـه کـاربرد آن ایجـاد کـرده اسـت، لـذا از آن مـی‌تـوان بـه‌طـور گسترده‌تری در صنایع بسته‌بندی استفاده کرد. علاوه بـر ایـن، بسته‌های مقوایی و کاغذی ساخته شده با این روش، به علت عدم استفاده از مواد پلاستیکی و مصنوعی(بـه منظـور بهبـود برخی از قابلیت‌های آن) به راحتـی قابـل بازیـابی هـستند. از آنجا که سلولز دارای ویژگی‌هـای منحـصر بـه فـردی چـون تجدیدپذیری، قیمت کم، سطح و مقاومت ویژه زیـاد اسـت، لذا استفاده از آن هم می‌تواند سبب ایجاد ویژگی‌های منحصر به فرد، بهبود ویژگـی‌هـای متـداول محـصول و هـم کـاهش قیمت آن شود.

۸- منابع

۱. خسروانی، ا. "بررسی امکان اسـتفاده از سیـستم نانوسیلیکای آنیونی- نـشاسته کـاتیونی بـه منظـور بهره‌گیری از پرکننده بیشتر در کاغذهای ظریـف". پایان‌نامه دکتری. دانـشکده منـابع طبیعـی دانـشگاه تهران، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ. ۱۳۸۷.

۲. علی‌نیا، ص. "بررسی مقایسه‌ای خـواص کاغـذ حاصل از خمیر شیمیایی‌مکانیکی (CMP) تقویـت شده با سـلولز نانوفیبریلـه شـده (NFC) و سـلولز میکروکریـستال (MCC)"، پایـان‌نامـه کارشناسـی ارشد، دانشکده مهندسی چـوب و کاغـذ، دانـشگاه منابع طبیعی گرگان، ۱۱۲ ص. ۱۳۹۰.

۳. میرشکرایی، س، ا. فنّاوری خمیر و کاغذ (تألیف گری اسموک). انتشارات آییژ. ویـرایش دوم. ۵۰۱ ص. ۱۳۸۲.

٤. یوسفی، ح. مشکور، م. "نانوبلور سلولز منبعی تجدیـــد شـــونده و ارزان بـــرای تولیـــد نانوکامپوزیت". ماهنامه فنّاوری نانو. سال هفـتم. شماره ۱۳۱. شهریور ۱۳۸۷.

۵. یوسفی، ح. "ساخت ابر کاغذی بـا مقاومـت فولاد". ماهنامه فنّاوری نانو. سال هفـتم. شـماره ۱۳۲. مهر ۱۳۸۷.

٦. یوسفی، ح. "نانوسلولز شکل جدیدی از ماده اولیه لیگنوسلولزی و محصولی از فنّاوری نانو". اولین کنفرانس ملّی کاربرد فنّاوری‌های نوین در علوم کـشاورزی و منـابع طبیعـی. دانـشگاه آزاد رشت. ۱۳۸۷.

7. Aulin, C. Ahola, S. Josefsson, P. Nishino, T. Hirose, Y. Osterberg, M and Wagberg, L. “Nanoscale cellulose films with different crystallinities and mesostructures - Their surface properties and interaction with water”. Langmuir 25:7675-7685. 2009.

8. Berglund, L. A. Cellulose-based nanocomposites, in AK Mohanty, M Misra and LT Drzal(eds), “Natural fibers, biopolymers, and biocomposites”. CRC press, boca raton, FL, USA, Pp 807-832. 2005.

9. Boeva- Spiridonova, R. Petkova, E. Georgieva, N. Yotova, L. and Spiridonov, I. “Utilization of a chemical-mechanical pulp wih improved properties from poplar wood in the composition of packing papers”. BioResources 2(1), 34-40. 2007.

10. Cheng, Q., Wang, S. G., Rails, T., Poly(Vinyl alcohol). “Nanocomposites reinforced with cellulose fibrils isolated by high intensity ultrasonication”. Composites part A 40, Pp: 218-224. 2009.

11. Favier, V., Chanzy H., Cavaillé J.Y. “Polymer nanocomposites reinforced by cellulose whiskers”. Macromol., 28, Pp: 6365-6367. 1995.
12. Fendler, A. Villanueva, MP. Giminez, E. and Lagaro´n, JM. “Characterization of the barrier properties of composites of HDPE and purified cellulose fibres”. Cellulose 14:427-438. 2007.
13. Gibbons, J.H. Wood Use: U.S. “Competitiveness and technology Vol. II. U.S. government printing office”. Washington, DC 20402. P:94. 1984.
14. Henriksson, M., Berglund, L. A., Laksson, P., Lindstrom, T. Nishino. “Bio macromolecules, Cellulose nanopaper structures of high toughness”. Vol.9 (6), Pp:1579-85. 2008.
15. Lagaron, J.M., Catala, R., Gavara, R. “Structural characteristics defining high barrier properties in polymeric materials”. Mater Sci technol 20:1–7. doi:10.1179/026708304225010442. 2004.
16. Madani, A. Kiiskinen, H. Olson, J. A and Martinez, D. M. “Fractionation of microfibrillated cellulose and its effects on tensile index and elongation of paper”. PaperCon. P:745-772. 2011.
17. Manninen, M. Kajanto, I. Happonen, J. and Paltakari, J. “The effect of microfibrillated cellulose addition on drying shrinkage and dimensional stability of wood-free paper”. PaperCon. 2011.
18. Syverud, K., and Stenius, P. “Strength and barrier properties of MFC films”. Cellulose, Pp: 75-85. 2009.

آدرس نویسنده

استان خراسان جنوبی – فـردوس - خیابـان شـهید رجائی ۱۵ - پلاک ۱۰.