تاثیر اختلاط نانوالیاف لیگنوسلولزی حاصل از الیاف کارتن کنگره‌ای کهنه بر ویژگی‌های مقوای بازیافتی

سیدمهدی یوسف‌هاشمی[۱]
امیر خسروانی[۲*]
حسین یوسفی[۳]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

[۲] استادیار گروه علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

[۳] استادیار گروه مهندسی و تکنولوژی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:
khosravani@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۰

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از نانو الیاف سلولز جهت بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی کاغذ مورد توجه زیادی قرار گرفته است. اما در این تحقیق، اثر کاربرد نانوالیاف لیگنوسلولزی تهیه شده از ماده اولیه بازیافتی کارتن‌های کنگره‌ای کهنه با استفاده از روش مکانیکی سوپر آسیاب دیسکی بر برخی ویژگی‌های مقاومتی و پارامترهای فرآیندی تولید مقوا مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر TEM تهیه شده از نانوالیاف نشان داد که ضخامت این نانوالیاف در محدوده ۸۰-۱۰ نانومتر بودند. سپس، مقادیر مختلف نانوالیاف لیگنوسلولزی به روش اختلاط به خمیرکاغذ اضافه شد. در نهایت، ارزیابی مقاومت به کشش مقوای تولیدی نشان داد که افزودن نانوالیاف لیگنوسلولزی به مقدار ۵ درصد باعث بیش از ۵۰ درصد افزایش شاخص مقاومت به کشش در مقوای تولیدی گردید. اگرچه افزودن اختلاطی مقادیر زیاد نانوالیاف منجر به کاهش شاخص مقاومت به خمش (سفتی خمشی)، شاخص مقاومت به پاره شدن و به ویژه درجه روانی خمیرکاغذ گردید.

واژگان کلیدی: نانوالیاف لیگنوسلولزی، مقوای کنگره‌ای کهنه، مقاومت مقوا.

مقدمه

مطالعات بسیاری در زمینه استخراج و به کارگیری نانوساختارهای سلولزی انجام شده است. نانوسلولزها از پتانسیل زیادی برای کاربرد در زمینه‌های مختلف برخوردارند، چرا که سلولز فراوان‌ترین ماده آلی خام موجود در طبیعت با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصربه‌فرد، قابلیت دسترسی آسان، تجدیدپذیری و تجزیه‌پذیری و دارای قابلیت‌های بسیاری در مقیاس‌های میکرو تا نانومتری است [۲،۱]. تولید سلولز میکروفیبریله شده (MFC)[1] یا سلولز نانوفیبریله شده (NFC)[2] با استفاده از روش همگن‌سازی فشار زیاد[3] اولین بار در سال ۱۹۸۳، گزارش شد [۳]. بر اساس تعریف، سلولز نانوفیبریله شده، دسته‌جات فیبریل‌های سلولز با عرض ۳۰-۱۰۰ nm و طول تخمینی چند میکرومتر است که شامل هر دو بخش کریستالی و آمورف می‌باشد و با استفاده از فرآیندهای استخراج مکانیکی نظیر همگن‌سازی فشار بالا و آسیاب دیسکی و یا در ترکیب روش‌های مکانیکی با برخی پیش-تیمارهای شیمیایی یا آنزیمی تهیه می‌گردند[۵،۴]. عموما به این مدل نانوسلولز تولید شده که معمولا دارای نسبت

[1] Microfibrillated cellulose (MFC)
[2] Nanofibrillated cellulose (NFC)
[3] High pressure hemogenization

منظر[1] بیش از ۱۰۰ می‌باشند، نانوالیاف سلولز[2] گفته می‌شود.

برخی خواص منحصر بفرد فیزیکی، مکانیکی و رئولوژیک نانوالیاف سلولز، آن را ماده‌ای جالب برای بسیاری از کاربردها می‌سازد. در همین رابطه، در سال‌های اخیر نشان داده شده است که نانوالیاف سلولز دارای سطح ویژه بسیار زیاد (بیشتر از ۱۵۰ مترمربع در گرم) با قابلیت تشکیل پیوند هیدروژنی، نسبت منظر بالا (بیشتر از ۱۰۰) و معمولا با ساختار شبکه‌ای می‌باشد. به این دلایل، در بسیاری از کاربردهای نانوالیاف سلولزی در صنایع کاغذ و مقوا، از نانوالیاف با هدف بهبود برخی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ، استفاده شده است [۹-۶].

در زمینه بهره‌گیری از نانوالیاف در صنعت کاغذ، برخی گزارش‌ها بیان داشته‌اند که اختلاط CNF در دوغاب خمیرکاغذ باعث افزایش مقاومت به کشش در کاغذ نهایی شده است [۱۱،۱۰]. در همین زمینه Eriksen و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده کردند که افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در شاخص مقاومت به کشش در نتیجه اضافه کردن تنها ۴ درصد نانوالیاف به کاغذ ساخته‌شده از خمیر TMP اتفاق افتاد [۷]. در خصوص سایر روش‌های افزودن نانوالیاف سلولز، Ahola و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که بیشترین افزایش در شاخص مقاومت به کشش، در هر دو حالت خشک و تر زمانی به دست آمد که نانوالیاف سلولز بر روی سطح الیاف به‌صورت یکنواخت پراکنده شده و با استفاده از پلیمر کاتیونی با سطح الیاف اتصال برقرار کرده‌است [۸].

از سوی دیگر، با توجه به اینکه دسترسی به مواد سلولزی حاصل از جنگل‌های طبیعی (ماده اولیه چوبی) برای رفع نیازهای روزمره انسان با محدودیت شدیدی مواجه است و همچنین افزایش تنوع فرآورده‌های کاغذی و تقاضای فزاینده برای این محصولات افزایش یافته است، سبب شده تا نگاهی جدی به مقوله بازیافت کاغذهای باطله در سطح جامعه جهانی و بویژه در داخل کشور به وجود آید.

الیاف بازیافتی به دلیل اینکه فرایند تولید را حداقل یک بار گذرانده‌اند، ویژگی‌هایی متفاوت از الیاف بکر دارند [۱۲]. به طور کلی، عموما خواص مقاومتی الیاف بازیافتی نسبت به الیاف بکر کمتر بوده و این امر به عنوان یک معضل مهم در صنعت بازیافت مطرح است. عوامل مختلفی بر روی مقاومت‌های کاغذ تأثیر می‌گذارد ازجمله این عوامل می‌توان به نوع ماده اولیه استفاده‌شده، فرآوری‌های صورت گرفته و مواد افزودنی به خمیرکاغذ اشاره کرد [۱۳]. این عوامل هر کدام به طریقی بر مقاومت ذاتی الیاف، قابلیت پیوند یابی الیاف، تعداد و قدرت پیوند و توزیع مناسب الیاف تأثیر می‌گذارد. هرچند از افزودنی‌های مقاومت خشک نیز برای نائل شدن به این منظور استفاده می‌شود [۱۴]، اما یکی از راهکارهای اصلی متداول در افزایش تعداد پیوند و سطح پیونددار، افزایش سطح ویژه الیاف و فیبریله شدن الیاف (افزایش مکان‌های واکنشی یا گروه‌های هیدروکسیل در دسترس برای برقراری پیوند) از طریق پالایش و یا نانوفیبریله کردن مکانیکی می تواند باشد [۱۵].

همان‌گونه که در بالا نیز اشاره شد، مطالعاتی در خصوص استفاده از نانوالیاف سلولزی (حاصل از الیاف بکر) به عنوان مقاومت دهنده جهت بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی کاغذ انجام شده است، اما در زمینه کاربرد نانوالیاف لیگنوسلولز حاصل از الیاف بازیافتی کارتن‌های کنگره‌ای کهنه و امکان اثرگذاری آن در بهبود مقاومت‌های کاغذ، گزارشی مشاهده نشده است. لذا در تحقیق حاضر سعی شد تا مقادیر مختلف نانوالیاف لیگنوسلولز حاصل از الیاف بازیافتی کارتن‌های کنگره‌ای کهنه مورد استفاده قرار گیرد و سپس میزان اثر گذاری اینگونه نانوالیاف بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ بررسی شده و تحلیل گردد.

مواد و روش‌ها

مواد

کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (کارتن سه‌لایه قهوه‌ای بسته‌بندی) به صورت کاملا تصادفی نمونه‌برداری شد و جداسازی الیاف با استفاده از دستگاه کوبنده آزمایشگاهی (Valley Beater) و براساس استاندارد TAPPI T200 sp-01 انجام گرفت [۱۶]. همچنین تولید نانوالیاف مورد نیاز

[1] Aspect ratio
[2] Cellulose nanofiber (CNF)

از الیاف جداسازی شده فوق، توسط شرکت دانش بنیان نانو نوین پلیمر با سه بار عبور سوسپانسیون یک درصد الیاف از دستگاه سوپر آسیاب دیسکی (MKCA6-2; Masuko Co., Japan) با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه انجام شد.

روش‌ها

مطالعه با میکروسکوپ الکترونی عبوری

به منظور بررسی شکل و ابعاد نانوالیاف تولیدی، از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM, ZEISS EM10C) استفاده شد. بدین منظور پس از پراکنده‌سازی نمونه رقیق شده توسط دستگاه اولتراسونیک، یک قطره از آن بر روی توری مسی، مش۳۰۰ قرار داده شده و در دمای محیط خشک گردید. سپس، نمونه‌ها با ولتاژ ۸۰ کیلو ولت و در بزرگنمایی‌های مختلف تصویر برداری شدند.

افزودن مواد شیمیایی و نانوالیاف

بر اساس نوع تیمار و میزان نانوالیاف مورد استفاده برای هر کدام، ابتدا خمیرکاغذ توسط همزن مکانیکی با سرعت چرخش ۸۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه هم زده شد و سپس نانوالیاف به میزان تعیین شده به آن اضافه گردید و متعاقب سپری شدن ۱۰ دقیقه، سوسپانسیون حاصل برای تولید کاغذ دست ساز با وزن پایه (گرماژ) ۱۲۰ گرم بر متر مربع به دستگاه ساخت کاغذ دست‌ساز منتقل و آماده سازی آن طبق استاندارد TAPPI T205 sp-02 انجام شد [۱۷]. همچنین ارزیابی درجه روانی استاندارد کانادایی خمیرکاغذ (CSF) بر اساس روش آزمونی TAPPI T227 om-00 و نیز اندازه‌گیری میزان ماندگاری نرمه‌ها و ذرات ریز در خمیرکاغذ با استفاده از ظرف آبگیری دینامیکی (DDJ) بر اساس استاندارد TAPPI T261 cm-00 انجام گردید.

تعیین وزن پایه و ضخامت ورقه کاغذ

وزن پایه کاغذ بر اساس استاندارد TAPPI T410 om-02 تعیین شد [۱۸]. همچنین، میانگین ضخامت ورقه کاغذ بر اساس استاندارد TAPPI T411 om-97 توسط دستگاه میکرومتر با حداقل اندازه‌گیری در ۵ نقطه برای هر نمونه محاسبه گردید [۱۹].

اندازه‌گیری شاخص مقاومت به کشش کاغذ

اندازه‌گیری شاخص مقاومت به کشش کاغذ بر اساس استاندارد TAPPI T494 om-01 با استفاده از دستگاه تست کشش یونیورسال (STM-1، شرکت سنتام، ایران) انجام گرفت [۲۰].

اندازه‌گیری شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ

شاخص مقاومت به پاره شدن با استفاده از دستگاه Electronic Tearing Tester ساخت کشور چین، طبق استاندارد TAPPI T414 om-04 اندازه‌گیری شد و شاخص مقاومت به پاره شدن طبق رابطه۲ محاسبه گردید [۲۱].

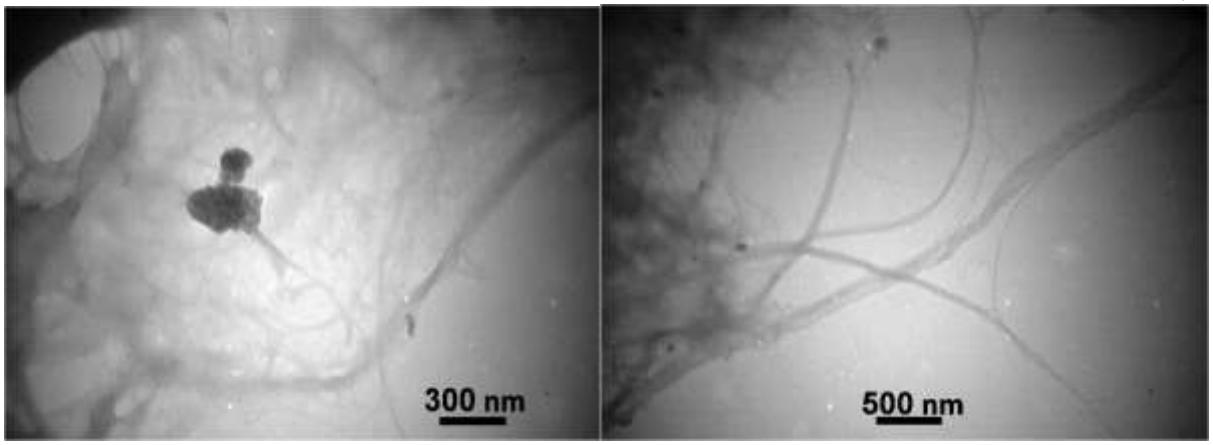
اندازه‌گیری سفتی خمشی کاغذ

سفتی، یک خاصیت بسیار مهم در بسیاری از کاربرد-های کاغذ برای تعیین کارکرد مصرفی کاغذها به حساب می‌آید. بر همین اساس، اندازه‌گیری سفتی خمشی بصورت شاخص مقاومت به خمش با دستگاه آزمون‌گر سفتی تیبر (Teledyne Taber) براساس استاندارد SCAN-P 29:95 صورت گرفت [۲۲].

نتایج و بحث

میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)

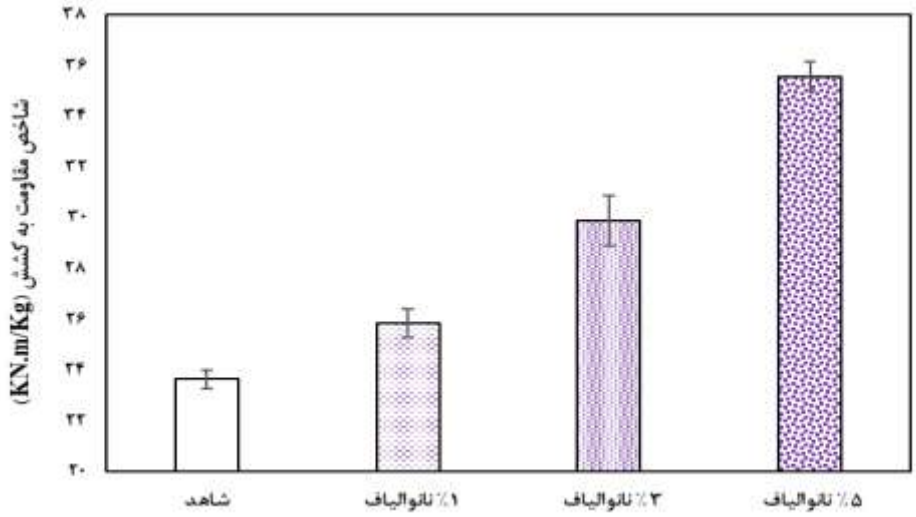
به منظور بررسی مرفولوژی و ابعاد نانوالیاف حاصل از الیاف بازیافتی کارتن‌های کنگره ای کهنه از تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری استفاده شدکه تصاویر آن در شکل ۱ آمده است. بررسی ابعاد الیاف با استفاده از نرم افزار Digimizer، ابعاد عرضی نانوالیاف حاصل از کارتن-های کنگره‌ای کهنه را در محدوده nm ۱۰-۸۰ با متوسط nm ۱۴±۵۰ نشان داد. لازم به ذکر است که نانوالیاف ساختار شبکه‌ای داشته و ابعاد طولی آن‌ها در محدوده میکرومتری برآورد گردید.



شکل ۱- تصویر TEM از نانوالیاف لیگنوسلولز حاصل از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه

تاثیر نانوالیاف لیگنوسلولز بر شاخص مقاومت به کشش

شاخص مقاومت به کشش یکی از شاخص‌های متداول در ارزیابی مقاومت‌های کاغذ می‌باشد. شکل ۲ اثر افزودن نانوالیاف حاصل از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه و مقادیر مختلف آن بر شاخص مقاومت به کشش را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش مصرف نانوالیاف لیگنوسلولز بعنوان عامل مقاومت دهنده، در سطح کاربرد ۵ درصد، شاخص مقاومت به کشش به میزان بیش از ۵۰ درصد نسبت به نمونه شاهد (فاقد نانوالیاف) افزایش داشته است. نانوالیاف به دلیل دارا بودن سطح ویژه و نسبت منظر زیاد با قابلیت تشکیل پیوند هیدروژنی، سبب افزایش سطح پیوند شدند که همین امر به نوبه خود سبب افزایش شاخص مقاومت به کشش گردیده است. قابل توجه است که بر اساس نتایج، مشاهده گردید که بازاء هر یک درصد مصرف نانوالیاف لیگنوسلولز تولیدی، شاخص مقاومت به کشش ۱۰-۸ درصد افزایش یافت.

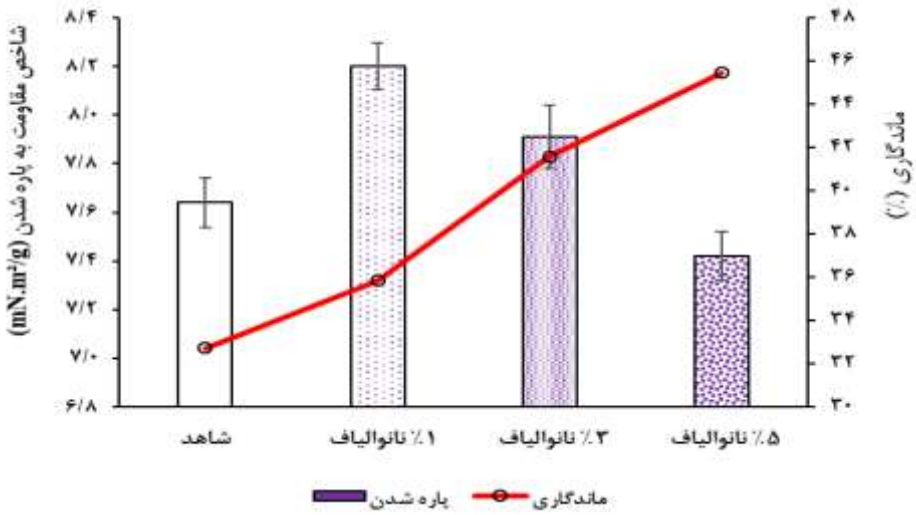


شکل ۲- اثر افزودن نانوالیاف بر شاخص مقاومت به کشش

اثر نانوالیاف لیگنوسلولز بر شاخص مقاومت به پاره شدن

همچنین شاخص مقاومت به پاره شدن از ویژگی‌های مهم و رایج در ارزیابی‌های کاغذ است. این شاخص عموما تحت تاثیر عوامل متعددی از قبیل میانگین طول الیاف، مقاومت ذاتی الیاف، میزان پیوند بین الیاف و میزان جهت یافتگی الیاف می‌باشد [۲۳].

شکل ۳ اثر افزودن مقادیر مختلف نانوالیاف لیگنوسلولز را بر شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌گردد که با افزودن ۱٪ نانوالیاف به خمیرکاغذ، شاخص مقاومت به پاره شدن افزایش قابل توجهی داشته است که دلیل این امر را همانطور که در خصوص مقاومت به کشش بیان گردید، می‌توان به قابلیت نانوالیاف در افزایش سطح پیوند دار و در نتیجه بهبود پیوندیابی نسبت داد. اما با افزایش کاربرد نانوالیاف تا سطح ۵٪ مشاهده می‌شود که شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ تقلیل یافته است. بنظر می‌رسد این نتیجه را می‌توان به کاهش میانگین طول الیاف در اثر افزودن نانوالیاف و افزایش ماندگاری هرچه بیشتر نرمه‌ها و ذرات ریز در ساختار (درون) کاغذ مرتبط دانست. در همین ارتباط، اثر افزودن نانوالیاف بر درصد ماندگاری نرمه ها و ذرات ریز در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزودن نانوالیاف به خمیرکاغذ تا سطح ۵ ٪، ماندگاری ذرات ریز و نرمه‌ها به میزان ۳۹٪ افزایش یافت (نمودار خطی). دلیل این روند افزایشی را می‌توان به قابلیت ایجاد شبکه توسط نانوالیاف در درون سوسپانسیون و ایجاد مانع فیزیکی در برابر خروج ذرات ریز نسبت داد. به عبارت دیگر، انتظار نمی رود که با توجه به بار آنیونی نانوالیاف، برهمکنش‌های شیمیایی باعث افزایش ماندگاری در اثر افزودن نانوالیاف باشد. اما این پدیده را می‌توان به شکل و ساختار نانو الیاف نسبت داد که نانوالیاف دارای ساختار شبکه مانندی است که ضخامت رشته‌ها در حد نانومتری و طول آنها میکرومتری بوده است. لذا افزایش ماندگاری در اثر افزودن آنها می‌تواند از طریق فرآیند فیلتر شدن و به تله انداختن فیزیکی ذرات و تشکیل مجموعه-های درشت باشد.

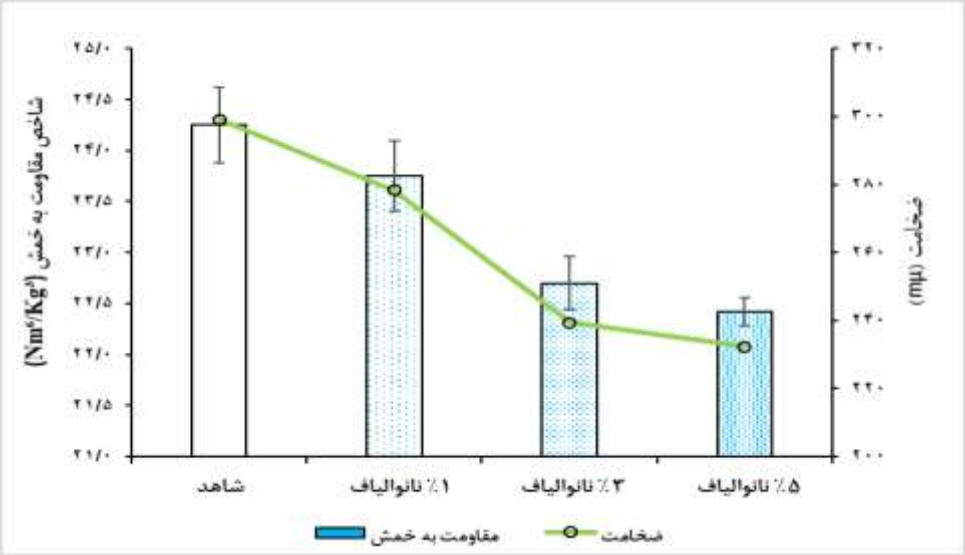


شکل ۳- اثر افزودن نانوالیاف لیگنوسلولز بر شاخص مقاومت پاره شدن و ماندگاری نرمه

اثر نانوالیاف لیگنوسلولز بر شاخص مقاومت به خمش

ویژگی مقاومت خمشی (سفتی خمشی) به عنوان یکی از شاخصه‌های مهم مقاومتی برای برخی از انواع کاغذ و مقوا، نظیر انواع کاغذ و مقوای بسته بندی و چاپ و تحریر می‌باشد. شکل ۴ اثر افزودن مقادیر مختلف نانوالیاف لیگنوسلولزی را بر شاخص مقاومت به خمش کاغذ نشان می‌دهد. در شکل مزبور مشاهده می‌شود که با افزایش مصرف نانوالیاف لیگنوسلولزی به صورت اختلاطی، شاخص مقاومت به خمش کاغذ کاهش یافته است که دلیل این امر را می‌توان به اثر نانوالیاف بر افزایش قابلیت پیونددهی و کاهش ضخامت مرتبط دانست. به بیان دیگر، افزودن نانوالیاف، اثری مشابه اثر پالایش بر ضخامت ورقه کاغذ داشته است. بدین معنی که با بهبود پیوندیابی بین فیبریل‌ها و نانوفیبریل‌ها، ضخامت کاغذ کاهش یافته است. در همین راستا، اثر نانوالیاف بر تغییرات ضخامت ورقه کاغذ نیز در شکل

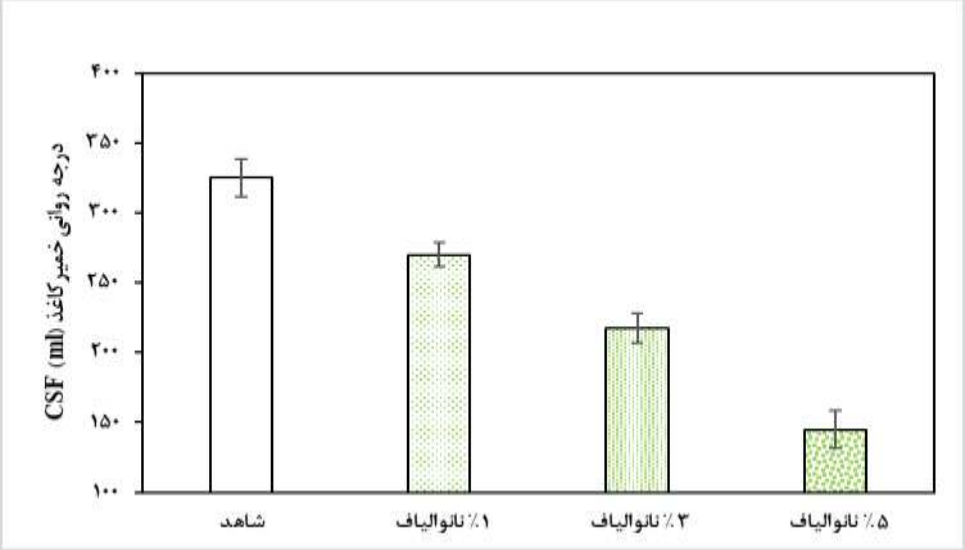
۴ نمـایش داده شـده اسـت (نمـودار خطـی). از آنجـایی که شاخص مقاومـت بـه خمـش بـا تـوان سـوم ضـخامت ورقــه رابطــه مســتقیم دارد [۲۳]، لــذا کــاهش نســبی ضـخامت منجـر بـه کـاهش ایـن شـاخص گردیـده اسـت (شکل۴).



شکل ۴-اثر افزودن نانوالیاف لیگنوسلولزی بر ضخامت ورقه کاغذ و شاخص مقاومت به خمش

اثر نانوالیاف لیگنوسلولزی بر آبگیری از خمیرکاغذ

قابلیت آبگیری از خمیرکاغذ یکی از پارامترهای تاثیرگذار در فرآیند تولید کاغذ است که افزایش این قابلیت در صنعت کاغذسازی می‌تواند بر سرعت تولید، کاهش مصرف انرژی و فاکتورهای متعدد دیگری تاثیرگذار باشد. شکل ۵ اثر افزودن مقادیر مختلف نانوالیاف لیگنوسلولزی بر درجه روانی کاغذ را نشان می-دهد. در شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزودن نانوالیاف به خمیرشاهد، کاهش قابل توجه درجه روانی رخ داده است. به عنوان توضیح این مشاهده می‌توان اینگونه بیان کرد که افزودن نانوالیاف با سطح ویژه بسیار زیاد پوشیده از گروه-های هیدروکسیل و کربوکسیل آبدوست می‌تواند باعث افزایش قابلیت نگه‌داری آب در خمیر کاغذ گردد. از سوی دیگر، نانوالیاف قابلیت تشکیل شبکه نانویی در درون سوسپانسیون الیاف را دارند و پس از تشکیل لایه الیاف بر روی توری، سبب بسته شدن منافذ و روزنه‌های باز باقی مانده بین الیاف (مسیر خروج آب) می‌گردند و در نتیجه آبگیری کندتر شده است. تشکیل شبکه نانوالیاف سبب ایجاد نیروی موئینگی در این شبکه نیز شده که خود سبب جذب بیشتر آب و کندی در خروج آب می‌گردد. در نتیجه در کاربرد مقادیر زیاد نانوالیاف سلولز، عموما استفاده از مواد کمک آبگیری و یا استفاده از روش اسپری کردن نانوالیاف پیشنهاد گردیده است [۱۱].



شکل ۵- اثر افزودن نانوالیاف لیگنوسلولزی بر درجه روانی خمیرکاغذ

نتیجه‌گیری

بررسی ابعاد نانوالیاف حاصل از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نشان داد که این نانوالیاف بصورت رشته‌های در هم پیچیده کلاف مانند با ضخامت حدود ۱۰-۸۰ نانومتر و با طولی در حدود ابعاد میکرومتری بوده است. با توجه به نتایج بدست آمده، کاربرد نانوالیاف لیگنوسلولزی حاصل از الیاف کارتن‌های کنگره‌ای کهنه توانست علیرغم بازیافتی بودن ماده اولیه و بعلاوه وجود لیگنین و ناخالصی‌ها در نانوالیاف، باعث افزایش قابل توجه مقاومت به کشش مقوای تولیدی گردد. همچنین کاربرد نانوالیاف لیگنوسلولزی (احتمالا به سبب پدیده فیلترشدن فیزیکی و نه به دلیل جذب شیمیایی) سبب افزایش ماندگاری نرمه و ذرات ریز خمیر شد، در حالی که شاخص مقاومت به پاره شدن ابتدا افزایش و سپس با کاربرد مقادیر بیشتر نانوالیاف کاهش یافت. اما، شاخص مقاومت به خمش و آبگیری از خمیرکاغذ با افزایش مقدار نانوالیاف، کاهش قابل توجهی نشان دادند. لذا، علیرغم کارایی نانوالیاف لیگنوسلولزی حاصل از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (بازیافتی حاوی ناخالصی‌های غیرسلولزی) در افزایش مقاومت به کشش، اما مقادیر مصرف زیاد آن به روش اختلاط، با توجه به کاهش درجه روانی و شاخص مقاومت به خمش، به همراه مواد موثر کمک آبگیری قابل توصیه می‌باشد.

منابع

[1] Moon, R.J., Frihart, C.R. and Wegner, T., 2006. Nanotechnology applications in the forest products industry. Forest Products Journal, 56(5): 4.

[2] Azizi Samir, M., 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.

[3] Turbak, A.F., Snyder, F.W. and Sandberg, K.R., 1983, January. Microfibrillated cellulose, a new cellulose product: properties, uses, and commercial potential. In Journal of Applied Polymer Science: Applied Polymer Symposium ;(United States) (Vol. 37, No. CONF-8205234-Vol. 2). ITT Rayonier Inc., Shelton, WA.

[4] Habibi, Y., 2014. Key advances in the chemical modification of nanocelluloses. Chemical Society Reviews, 43(5): 1519-1542.

[5] Khalil, H.A., Davoudpour, Y., Islam, M.N., Mustapha, A., Sudesh, K., Dungani, R. and Jawaid, M., 2014. Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: a review. Carbohydrate Polymers, 99: 649-665.

[6] Iwamoto, S., Nakagaito, A.N. and Yano, H., 2007. Nano-fibrillation of pulp fibers for the processing of transparent nanocomposites. Applied Physics A, 89(2): 461-466.

[7] Eriksen, Ø. Syverud, K. and Gregersen Ø., 2008. The use of microfibrillated cellulose produced from kraft pulp as a strength enhancer in TMP paper. Nordic Pulp and Paper Resources Journal, 23(3): 299-304.

[8] Ahola, S., Österberg, M. and Laine, J., 2008. Cellulose nanofibrils—adsorption with poly (amideamine) epichlorohydrin studied by QCM-D and application as a paper strength additive. Cellulose, 15(2): 303-314.

[9] González, I., Boufi, S., Pèlach, M.A., Alcalà, M., Vilaseca, F. and Mutjé, P., 2012. Nanofibrillated cellulose as paper additive in eucalyptus pulps. BioResources, 7(4): 5167-5180.

[10] Espinosa, E., Tarrés, Q., Delgado-Aguilar, M., González, I., Mutjé, P. and Rodríguez, A., 2016. Suitability of wheat straw semichemical pulp for the fabrication of lignocellulosic nanofibres and their application to papermaking slurries. Cellulose, 23(1): 837-852.

[11] Brodin, F.W., Gregersen, O.W. and Syverud, K., 2014. Cellulose nanofibrils: Challenges and possibilities as a paper additive or coating material–A review. Nordic Pulp and Paper Resources Journal, 29(1):156-166.

[12] Rahmaninia, M. and Khosravani, A., 2015. Improving the paper recycling process of old corrugated container wastes. Cellulose Chemistry and Technology, 49(2): 203-208.

[13] González, I., Vilaseca, F., Alcalá, M., Pèlach, M.A., Boufi, S. and Mutjé, P., 2013. Effect of the combination of biobeating and NFC on the physico-mechanical properties of paper. Cellulose, 20(3): 1425-1435.

[14] Khosravani, A., Latibari, A.J., Mirshokraei, S.A., Rahmaninia, M. and Nazhad, M.M., 2010. Studying the effect of cationic starch-anionic nanosilica system on retention and drainage. BioResources, 5(2): 939-950.

[15] Afra, E., Yousefi, H., Hadilam, M.M. and Nishino, T., 2013. Comparative effect of mechanical beating and nanofibrillation of cellulose on paper properties made from bagasse and softwood pulps. Carbohydrate polymers, 97(2): 725-730.

[16] TAPPI T200 sp-01 2001. Laboratory beating of pulp (Valley beater method).

[17] TAPPI T205 sp-02, 2007. Forming handsheets for physical tests of pulp.

[18] TAPPI T410 om-98, 1998. Grammage of paper and paperboard (weight per unit area).

[19] TAPPI T411 om-05, 2007. Thickness (caliper) of paper, paperboard and combined board.

[20] TAPPI T494 om-01, 2007. Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus).

[21] TAPPI T414 om-04, 2007. Internal Tearing Resistance of paper.

[22] TAPPI T489 om-04, 2007. Bending resistance (stiffness) of paper and paperboard (Taber-type tester in basic configuration).

[23] Ek, M., Gellerstedt, G. and Henriksson, G., 2014. Pulp and Paper Chemistry and Technology, Volume 4, Paper Products Physics and Technology, 251p.

The effect of addition of lignocellulosic nanofiber produced from old corrugated container pulp on recycled paperboard properties

Abstract

In recent years, plenty of studies have focused on the application of cellulose nanofiber to improve the mechanical and physical properties of paper. But, in this research, the effect of lignocellulosic nanofibers produced from recycled old corrugated container as raw material using ultra-fine grinder, was investigated on some mechanical properties and production process parameters of paperboard. TEM images of produced nanofibers indicated that the nanofiber width was in the range of 10-80 nm. Then, various dosages of nanofiber were applied by bulk addition method to the furnish. Eventually, the evaluation of tensile strength revealed that the application of 5% lignocellulosic nanofiber caused more than 50% increase in tensile strength of produced paperboard. However, the bulk addition of high dosages of the nanofiber resulted in a reduction of bending index (bending stiffness), tear index and especially freeness of the furnish.

Keywords: lignocellulosic nanofiber, old corrugated container, paperboard strength.

S.M. Yousefhashemi[1]
A. Khosravani[2*]
H. Yousefi[3]

[1] M.Sc., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, Tarbiat Modarres university, Noor, Mazandaran, Iran

[2] Assistant Prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, Tarbiat Modarres university, Noor, Mazandaran, Iran

[3] Assistant Prof., Department of wood engineering and technology, Gorgan university of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Corresponding author:
khosravani@modares.ac.ir

Received: 2018/04/16
Accepted: 2018/07/01