

توسعه مقاومت‌های خمیر کاغذ کرافت صنوبر با نانوفیبر سلولزی تهیه‌شده از ساقه برنج

صالح قهرمانی^۱، سحاب حجازی^{۲*}، سعید مهدوی^۳

۱. کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۸

چکیده

این تحقیق با هدف توسعه مقاومت‌های خمیر کاغذ کرافت لاینر با نانوفیبر سلولزی تهیه‌شده از ساقه برنج انجام گرفت. در این تحقیق، چوب صنوبر دلتوئیدس (*P. deltooides*) رقم ۵۵-۶۹ به‌عنوان گونه‌ای موفق، تندرشد و زودبازده برای تولید خمیر کاغذ انتخاب شد. عوامل متغیر پخت کرافت شامل سولفیدیت، قلیا، درجه حرارت و مدت زمان، هر کدام در سه سطح و نسبت مایع پخت به ماده چوبی ۴ به ۱ در نظر گرفته شد. پخت بهینه براساس عدد کاپای ۱۷/۲ و بازده ۵۳/۹۴ درصد خمیر کاغذ با شرایط زیر شامل سولفیدیت ۲۳ درصد، قلیای فعال ۱۸ درصد، زمان ۱۸۰ دقیقه و دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب شد. سپس این خمیر کاغذ برای دستیابی به درجه روانی ۳۳۳ میلی‌لیتر درجه کانادایی پالایش شد و از آن کاغذهای دست‌ساز با جرم پایه ۶۰ گرم بر سانتی‌متر مربع ساخته شد. افزودن نانوفیبر با سوسپانسیون خمیر کاغذ در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد براساس وزن خشک خمیر کاغذ انجام گرفت و در مدت زمان ۵ دقیقه هم‌زده شد، سپس از خمیرهای تیمار شده، کاغذهای دست‌ساز با جرم پایه مذکور تهیه شد. نتایج نشان داد که همه مقاومت‌های کاغذ کرافت با افزایش مصرف نانوفیبر سلولزی افزایش یافت. با افزودن ۱۵ درصد نانوفیبر سلولزی به سوسپانسیون خمیر کاغذ، شاخص کشش ۲۶/۳۱ درصد، شاخص ترکیدن ۲۰/۰۸ درصد، شاخص پارگی ۱۰/۰۷ درصد، مقدار سفتی خمشی ۲۴/۴۸ درصد و مقاومت به لهیدگی حلقوی ۵۲/۳۸ درصد افزایش یافت. نتایج کلی، حاکی از تأثیر مثبت افزودن نانوفیبر سلولزی به خمیر کاغذ کرافت صنوبر دلتوئیدس، در بهبود مقاومت‌های کاغذ کرافت لاینر است.

واژگان کلیدی: خمیر کاغذ کرافت، صنوبر دلتوئیدس، کرافت لاینر، مقاومت‌های کاغذ، نانوفیبر سلولزی.

مقدمه

همچنین کاغذ به صورت‌های بسیار متنوعی تولید می‌شود تا امکان رقابت با سایر فرآورده‌ها را داشته باشد و به تقاضای روزافزون خود پاسخ دهد [۳]. یکی از روش‌های پاسخگویی به این تقاضای روزافزون، توجه به استفاده از چوب گونه‌های تندرشد از قبیل صنوبر در صنایع تهیه خمیر کاغذ و کاغذسازی است [۴]. بسته‌بندی کاغذی و مقوایی، علاوه بر اهمیت و مزایای فراوان، معایبی نیز دارد که از آن جمله می‌توان به استحکام کم، حساسیت به حرارت، آب و غیره

امروزه دامنه استفاده از کاغذ و مقوا به حدی گسترش یافته که در مقیاس وسیع برای بسته‌بندی مواد و فرآورده‌های مختلف از آنها استفاده می‌کنند [۱]. امروزه بسیاری از کالاها در پوششی از جنس سلولز قرار می‌گیرند که این خود بیانگر توجه و اهمیت به این بخش از صنایع سلولزی است [۲].

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۶۳۲۲۲۳.۴۴

معنی داری افزایش، و نفوذپذیری به هوا را کاهش داد [۱۱]. یوسفی و همکاران (۲۰۱۱) اثر افزودن نانوالیاف سلولزی بر مقاومت مکانیکی کاغذ ساخته شده از ساقه کلزا را بررسی کردند. مقدار تنش حداکثر (σ_{max})، مدول الاستیسیته (E) و کرنش (ϵ_{max}) نانوکاغذ بیشتر از کاغذ ساخته شده از ساقه کلزا بود [۱۲]. هادیلام و همکاران (۲۰۱۳) اثر استفاده از نانوفیبرهای سلولزی بر خواص کاغذ باگاس را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزودن نانوفیبر سلولز به خمیر کاغذ، روشنی و دانسیته کاغذ افزایش و در مقابل ضخامت آن کاهش یافته است. از طرفی، با افزودن این ماده به کاغذ، مقاومت کششی افزایش و مقاومت به پارگی کاهش یافت [۱۳]. با توجه به مزایای استفاده از چوب صنوبر و خواص جالب نانوفیبر سلولز، همچنین اهمیت و جایگاه کاغذ کرافت لاینر در صنایع کاغذ و بسته بندی، هدف از این تحقیق، ارزیابی تقویت خمیر کاغذ کرافت صنوبر با نانوفیبر سلولزی ساقه برنج برای ساخت کاغذ کرافت لاینر و بررسی تأثیر افزودن سطوح مختلف این نانوفیبر سلولزی بر خواص کرافت لاینر حاصل از خمیر کاغذ صنوبر دلتوئیدس به منظور جبران ضعف‌های عمومی فیبر این خمیر کاغذ در ایجاد شبکه لیفی مستحکم در ساختار کاغذ است. تأثیر استفاده از نانوفیبر سلولز برای ویژگی‌های مکانیکی و مقاومتی نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه ماده اولیه

چوب صنوبر دلتوئیدس رقم ۶۹/۵۵ از مرکز تحقیقات البرز کرج تهیه و توسط دستگاه خردکن آزمایشگاهی پالمن^۱ به خرده چوب تبدیل شد. سپس خرده چوب‌های با اندازه مناسب جداسازی شد. بعد از رسیدن به رطوبت تعادل و تعیین مقدار رطوبت، برای جلوگیری از تبادل رطوبتی، نمونه‌ها داخل کیسه‌های پلاستیکی پلی اتیلنی قرار داده شدند.

اشاره کرد. یکی از راه‌های اصلاح این معایب، استفاده از فرایندهای تولید خمیر کاغذ مقاوم مثل کرافت، و استفاده از فناوری نانو به منظور افزایش مقاومت‌ها و بهبود ویژگی‌هاست. کاغذ کرافت لاینر نوعی کاغذ محکم است که از طریق فرایند کرافت تهیه می‌شود. از این کاغذ در تولید کیسه‌های کاغذی، پاکت و جعبه‌های بسته بندی استفاده می‌کنند [۵]. در چند سال اخیر، نانوفیبر سلولز به عنوان ماده اولیه بسیار مهم برای استفاده در چندسازه‌های طبیعی و سازگار با محیط زیست مطرح شده است [۶]. نانوفیبرهای سلولزی با ویژگی‌هایی نظیر دسترس پذیری، تنوع زیاد ماده اولیه، چگالی کم، واکنش پذیری بسیار زیاد سطح، سازگاری با محیط زیست و تجدیدپذیری کاربردهای گسترده‌ای دارند [۷]. ایده استفاده از نانوفیبر سلولزی به منظور بهبود عملکرد کاغذ و مقوا، تمام محدوده ویژگی‌های کاربردی کاغذ، از بهبود خواص نوری گرفته تا تقویت خواص ممانعتی نسبت به رطوبت و تقویت خواص مقاومتی را پوشش می‌دهد [۸]. بهبود خواص کاغذ با استفاده از نانوفیبرهای سلولزی به روش‌های گوناگون، مثل افزودن فیبرهای سلولزی در ابعاد نانو به سوسپانسیون خمیر کاغذ، تهیه نانوکاغذ (فیلم متشکل از صد درصد نانوفیبرهای سلولزی)، اضافه کردن نانوفیبر به کاغذ و مقواهای معمول، تولید محصولات لایه‌ای با لایه‌های متشکل از نانوفیبر (کاغذهای چندلایه) و پوشش دهی کاغذ با مواد نانو ساختار و غیره انجام پذیر است. در این بین، نانومواد زیست پایه، به ویژه نانومواد بر پایه سلولز، به سبب خواص ویژه مقاومتی و ایمنی در کاربرد به واسطه زیست تخریب پذیر بودن، اهمیت خاصی دارند [۹]. هنریکسون و همکاران (۲۰۰۸) از نانوفیبریل‌های سلولزی چوب برای تولید نانوکاغذهای سلولزی متخلخل با سختی زیاد استفاده کردند و موفق به ساخت نوعی نانوکاغذ با مقاومت کششی ۲۱۴MP شدند [۱۰]. در سال ۲۰۰۹ در گزارش گروهی از محققان اشاره شد که استفاده از نانوفیبرهای سلولزی به عنوان لایه سطحی روی کاغذ پایه، مقاومت ورقه‌های کاغذی را به طور

تهیهٔ خمیر کاغذ کرافت

خمیر کاغذسازی کرافت با شرایط ثابت نسبت مایع پخت به مادهٔ چوبی ۴ به ۱ تهیه شد. عوامل متغیر پخت کرافت شامل سولفیدیت در سه سطح (۲۰، ۲۳ و ۲۵ درصد)، قلیابیت فعال در سه سطح (۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد) برمبنای Na_2O ، درجهٔ حرارت در سه سطح (۱۶۰، ۱۶۵ و ۱۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد)، و مدت زمان در سه سطح (۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه) بود. خرده‌چوب‌های صنوبر در داخل محفظهٔ پخت تحت آغشتگی کامل با مایع پخت قرار گرفت، محفظه‌ها در داخل گلیسرین در دیگ پخت قرار داده شد و عملیات پخت آغاز شد. پس از پایان هر پخت، محفظه‌ها از دستگاه خارج و محتویات محفظه بر روی غربال ۲۰۰ مش تخلیه شده و مایع پخت با آب سرد از خرده‌چوب‌ها جدا شد. پس از تعیین بازده کل و عدد کاپای ۱۲ حالت پخت، در نهایت براساس بازده و عدد کاپا، پخت با بازده کل ۵۳/۹۴ و عدد کاپای ۱۷/۲ به‌عنوان پخت بهینه انتخاب شد.

نانوفیبر سلولزی^۱

در این پژوهش، از نانوفیبر سلولزی تولیدی شرکت Masaku ژاپن استفاده شد که از ساقهٔ برنج با روش سوپراسیاب دیسکی مدل ۳-MKCA ساخته می‌شود.

پالایش خمیر کاغذ

پالایش خمیر کاغذ بهینهٔ کرافت براساس استاندارد SCAN آیین‌نامهٔ شمارهٔ C.۷ انجام گرفت. به‌این منظور، 2 ± 30 گرم خمیر کاغذ (براساس وزن خشک) با درصد خشکی ۱۰ درصد و فاصلهٔ تیغه‌ها ۰/۲ میلی‌متر تا درجهٔ روانی کانادایی ۳۳۳ میلی‌لیتر توسط یک کوبندهٔ آزمایشگاهی PFI mill پالایش شد.

ساخت کاغذ دست‌ساز

با استفاده از دستگاه کاغذساز آزمایشگاهی، که دارای توری آزمایشگاهی با مش ۲۰۰ است از خمیر کاغذ پالایش‌شده، کاغذهای دست‌ساز با گراماژ ۶۰ براساس استاندارد TAPPI T205 om-88 تهیه شد.

ساخت کاغذ تقویت‌شده با نانوفیبر سلولزی

قبل از اضافه کردن نانوفیبر سلولزی به سوسپانسیون خمیر کاغذ، به‌منظور پراکندگی کامل نانوفیبر سلولزی، نانوفیبرها به‌مدت دو دقیقه در مقداری آب هم زده شد. سپس نانوفیبر سلولزی تهیه‌شده از کلش برنج در سه سطح (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) براساس وزن خشک خمیر کاغذ به سوسپانسیون خمیر کاغذهای پالایش‌شده کرافت اضافه شد و به‌مدت ۵ دقیقه هم زده شد. سپس با استفاده از توری مخصوص با مش ۱۴۵۰ و با استفاده از کاغذساز آزمایشگاهی، کاغذ تقویت‌شده با نانوفیبر سلولزی تهیه شد.

اندازه‌گیری مقاومت‌های کاغذ

این مرحله شامل اندازه‌گیری مقاومت کششی، ترکیدن و پاره شدن کاغذ بود که به‌ترتیب براساس استاندارد ایزو شمارهٔ ۲-۱۹۲۴ (۲۰۰۸)^۲ و آیین‌نامه‌های ۰۱-۴۹۴ om T و ۰۴-۴۱۴ om T استاندارد TAPPI اندازه‌گیری شدند. همچنین آزمون سفتی خمشی کاغذ با استفاده از دستگاه تبر^۳ مطابق با استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۷۸۸۰-۲ و مقاومت به لهیدگی حلقوی با استفاده از استاندارد ISO شمارهٔ ۱۲۱۹۲ (۲۰۰۲) انجام گرفت.

تهیهٔ عکس میکروسکوپی

تهیهٔ عکس‌های میکروسکوپی از کاغذهای شاهد و تقویت‌شده به‌وسیلهٔ یک دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان^۴ مدل S۴۱۶۰ ساخت شرکت هیتاچی ژاپن انجام گرفت.

2. TAPPI-T 494 om-06
3. Taber stiffness tester
4. FE-SEM

1. Nano fiber cellulose

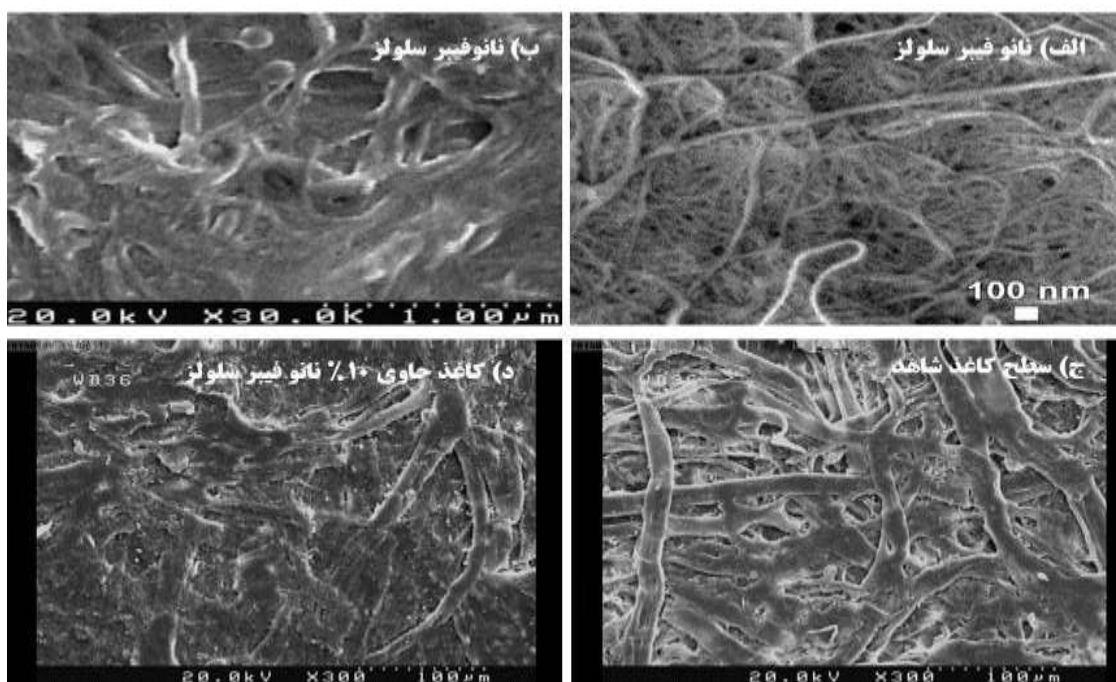
تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و به وسیله آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی صورت گرفت. تحلیل نتایج مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی با تکنیک تجزیه واریانس یکطرفه انجام گرفت. گروه‌بندی میانگین ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذ با آزمون چنددامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

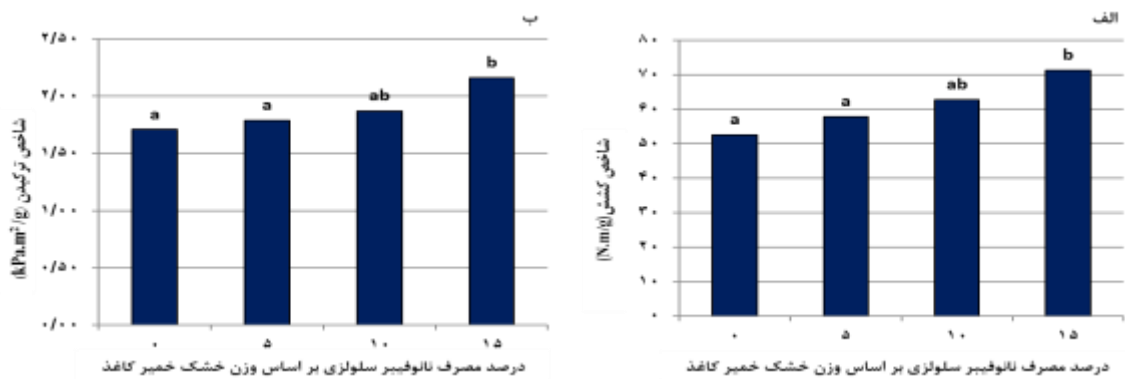
نتایج و بحث

نتایج پخت کرافت چوب صنوبر شامل مقدار بازده کل، عدد کاپا و درصد وزده خمیر کاغذ با شرایط مختلف پخت بررسی شد و در نهایت از بین ۱۲ حالت پخت برای تولید کاغذ کرافت لاینر، پخت با بازده ۵۳/۹۴ و عدد کاپای ۱۷/۲ به عنوان پخت بهینه انتخاب شد. تجزیه و تحلیل

آماري میانگین نتایج مربوط به بازده کل و عدد کاپا نشان داد که ترکیب شرایط متفاوت پخت، در سطح اعتماد ۹۵ درصد موجب بروز تفاوت معنی‌داری شده است. شکل ۱ عکس‌های میکروسکوپی نانوفیبر سلولزی ساقه برنج (الف و ب) با بزرگنمایی‌های متفاوت، کاغذ کرافت لاینر شاهد و تقویت‌شده با ۱۰ درصد نانوفیبر سلولزی ساقه برنج (ج و د) را نشان می‌دهد. قطر متوسط فیبر ساقه برنج ۸/۰۲ میکرون بود که بر اثر فرایند آسیاب دیسکی به مقدار ۵۰ نانومتر کاهش می‌یابد [۱۲]. بر اثر افزودن ۱۰ درصد نانوفیبر سلولزی ساقه برنج سطح کاغذ هموارتر شده و منافذ به طور نسبی پر می‌شوند که با یافته‌های دیگر محققان مثل حسن‌جانزاده [۷] و هادیلام مطابقت دارد [۱۳]. همچنین پر کردن منافذ بین فیبرها سبب ایجاد شبکه پیوسته نانوفیبر به فیبر شده است [۱۴].



شکل ۱. تصاویر میکروسکوپ الکترونی: الف و ب) نانو فیبر سلولزی ساقه برنج با بزرگنمایی‌های متفاوت، ج) سطح کاغذ شاهد، د) سطح کاغذ کرافت لاینر تقویت‌شده با ۱۰ درصد نانوفیبر سلولز

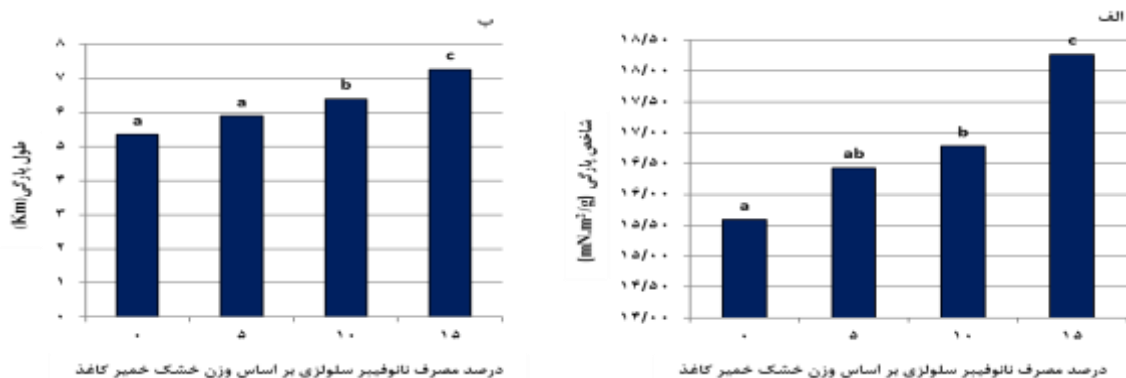


شکل ۲. اثر نانوفیبر سلولزی بر شاخص کشش (الف) و شاخص ترکین کاغذ کرافت (ب)

پاره شدن و طول پارگی در ارزیابی استحکام کاغذ و مقوایی که در مراحل تبدیلی و در حین مصرف در معرض تنش‌های پاره شدن قرار می‌گیرند، از اهمیت خاصی برخوردار است [۱۵]. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، کمترین و بیشترین شاخص پارگی و طول پارگی به ترتیب مربوط به کاغذ شاهد و کاغذ تقویت شده با ۱۵ درصد نانوفیبر سلولزی است. نانوفیبر سلولزی با افزایش پیوند بین الیاف، قدرت شبکه الیاف را افزایش می‌دهد و مانع از لغزش الیاف شده و در نتیجه به استحکام شبکه و مقاومت پارگی بیشتر منجر می‌شود. همچنین نانوفیبرهای سلولزی با افزایش اتصال‌ها و نیز مقاومت آنها، مقاومت به پارگی کاغذ را افزایش می‌دهند [۱۹]. نتایج گزارش شده محققان مثل هادیلام و همکاران [۱۳] و علی‌نیا و همکاران [۱۶] با نتایج این پژوهش مطابقت ندارد. شاید تفاوت در نتایج به دست آمده در این پژوهش با یافته‌های محققان ذکر شده را بتوان به فرایند مورد استفاده برای ساخت خمیر کاغذ، مقدار پالایش و عدد کاپای خمیر کاغذ مربوط دانست. زیرا در فرایند کرافت به دلیل تیمار شیمیایی و گرمایی قوی‌تر در مقایسه با فرایندهای تیمار شیمیایی و گرمایی ضعیف‌تر، آسیب‌های وارد شده به فیبر در مرحله لیفی شدن کمتر است و بنابر این خواص مقاومتی بیشتری دارند [۵].

شکل ۲ روند افزایشی شاخص کششی و ترکین را با توجه به مقدار افزودن نانوفیبر سلولزی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود شاخص کشش کاغذ شاهد با افزودن ۱۵ درصد نانوفیبر سلولزی، از $52/50$ (N.m/g) به $71/25$ (N.m/g) یعنی به مقدار $26/31$ درصد افزایش یافته است. همچنین شاخص ترکین کاغذ شاهد نیز با افزایش ۱۵ درصد نانوفیبر سلولزی از $1/71$ (kPa.m²/g) به $2/16$ (kPa.m²/g) یعنی $20/8$ درصد افزایش یافته است. با افزودن مقدار نانوفیبر سلولزی، تعداد پیوند هیدروژنی بین لیفی افزایش می‌یابد و مقاومت کششی و ترکین کاغذ به طور معنی‌داری بهبود می‌یابد، به طوری که میانگین آنها در گروه مستقل b قرار می‌گیرد. بر اثر کوچک‌تر شدن ابعاد تا مقیاس نانومتری، سطح ویژه فیبرهای سلولزی افزایش می‌یابد. این به معنای قرار گرفتن تعداد بیشتر گروه‌های در دسترس هیدروکسیل در سطح نانوفیبرهاست که توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی را با نانوفیبرهای مجاور دارند و در نهایت سبب تشکیل شبکه‌ای از نانوفیبرها می‌شوند. در هم‌رفتگی فیبرها بر خواص کاغذ به ویژه خواص مکانیکی آن اثر معنی‌داری دارد. نتایج حاصل از افزایش این مقاومت‌ها در اثر افزودن نانوفیبر سلولزی، همسو با یافته‌های دیگر محققان چون هادیلام و علی‌نیا بود [۱۳، ۱۸].

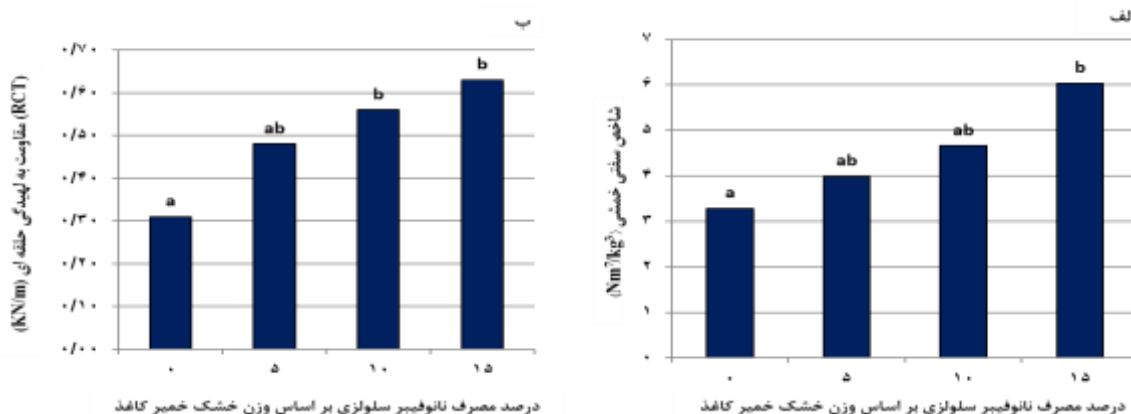
در شکل ۳، مقایسه میانگین شاخص پارگی کاغذها و همچنین طول پارگی آنها آورده شده است. مقاومت به



شکل ۳. اثر نانوفیبر سلولزی بر شاخص پارگی (الف) و طول پارگی کاغذ کرافت (ب)

یافته است. همچنین مقاومت به لهیدگی حلقوی (شکل ۴) با افزودن ۱۵ درصد نانوفیبر سلولزی به مقدار ۵۲/۳۸ درصد افزایش یافته است. با ماندگاری نانوالیاف سلولزی به دلیل داشتن سطح ویژه بالا، خواص مقاومتی کاغذ با افزایش پیوند هیدروژنی بهبود پیدا می‌کند [۱۹] و در نتیجه، مقدار سفتی افزایش می‌یابد [۵]. در زمینه تغییرات شاخص سفتی خمشی و مقاومت به لهیدگی حلقوی (RCT) بر اثر افزودن نانوفیبر سلولزی، تحقیقات کمی صورت گرفته است؛ ولی با توجه به جایگاه صنعت بسته‌بندی پیش‌بینی می‌شود در آینده‌ای نه‌چندان دور تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت گیرد.

مقایسه میانگین شاخص سفتی خمشی^۱ کاغذ معمولی و کاغذ تقویت‌شده در شکل ۴ آورده شده است. سفتی، خاصیتی مهم در بسیاری از کاربردهای کاغذ محسوب می‌شود [۵]. پوشه‌ها، کارت‌های راهنما، کارت‌های بازی، پوسترها، فنجان‌ها و ظروف مقوایی از مثال‌هایی هستند که باید در هنگام مصرف، سفتی مناسبی داشته باشند. چند عامل بر سفتی کاغذ مؤثرند. به‌طور عمده ضخامت، الاستیسیته (مدول یانگ) خمیر کاغذ، فشار مهارکننده نوار کاغذ در زمان خشک کردن، رطوبت و تیمارهای سطحی، بر سفتی اثر دارند [۵]. همان‌طور که در شکل ۴ الف مشاهده می‌شود، شاخص سفتی خمشی در کاغذ شاهد با افزودن ۱۵ درصد نانوفیبر سلولزی، ۲۴/۴۸ درصد افزایش



شکل ۴. اثر نانوفیبر سلولزی بر شاخص سفتی خمشی (الف) و مقاومت به لهیدگی حلقوی کاغذ کرافت (ب)

1. Bending stiffness
2. Ring crush test

نتیجه‌گیری

خمیر کاغذ کرافت پربازده برای تولید کاغذ کرافت لاینر، مهم‌ترین منبع لیگنوسلولزی برای مصارف بسته‌بندی است. نانوفیبرهای سلولزی به‌علت ساختار ویژه خود، مقاومت‌های مکانیکی چشمگیری در کاغذ به‌وجود می‌آورند. این مواد علاوه بر مقاومت ذاتی، از سطح ویژه بسیار گسترده‌ای برخوردارند که در اثر استفاده به‌عنوان افزودنی در حین شکل‌گیری کاغذ، پیوندهای هیدروژنی وسیعی را با الیاف شبکه کاغذ ایجاد می‌کند و مقاومت‌های کاغذ را بهبود می‌بخشد. نتایج این تحقیق حاکی از موفقیت در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ با افزودن نانوفیبر سلولزی به‌عنوان تقویت‌کننده است. با افزودن ۱۵ درصد نانوفیبر سلولزی به سوسپانسیون خمیر- کاغذ کرافت، شاخص مقاومت کششی کرافت لاینر

ساخته‌شده ۲۶/۳۱ درصد، شاخص ترکیدن ۲۰/۰۸ درصد، شاخص پارگی ۱۰/۰۷ درصد، سفتی خمشی ۲۴/۴۸ درصد، و مقاومت به لهیدگی حلقوی کاغذ ۵۲/۳۸ درصد افزایش یافت. کاغذهای بسته‌بندی از قبیل کیسه کاغذی، کاغذهای ساک، کاغذهای کرافت لاینر و مقوای پوششی به مقاومت به ترکیدن، کشش، پارگی، سفتی خمشی و مقاومت در برابر له‌شدگی حلقوی به‌نسبت زیادی نیاز دارند. بنابراین، با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان تقویت کاغذهای بسته‌بندی با نانوفیبر سلولزی را در کنار معایب آن شامل افزایش هزینه و مدت زمان جدا کردن آب در دو کفه ترازو داشت که با پیشرفت فناوری تولید کاغذ در آینده، باید دید کدام کفه از نظر فنی - اقتصادی ارجح خواهد بود.

References

- [1]. Malmirchegini, Kh., Talaeipoor, M., and Pourmousa, Sh. (2011). Effects of ink and paper characteristics on print quality in board-packaging industries based on print density index. *Iranian journal of Wood and Paper Science*, 26 (1): 39-57.
- [2]. Talaeipoor, M., Khademi islam, H., and Malmirchegini, Kh. (2009). Effect of ink and paper characteristics on optical properties of packaging papers. Part II: Viscosity of ink 50-55. *Iranian Journal of Wood and Paper Science*, 24(2): 325-340.
- [3]. Hemasi, A., Sabour, M., Talaei pour, M., and Azadfallah, M. (2012). Effect of xylanase treatment on properties of alkaline peroxide mechanical pulp from poplar (*Populus nigra*) wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Science*, 27(1): 156-166.
- [4]. Bosia, A. (1963). *Pulping and papermaking properties of fast growing plantation wood species*, The FAO Technical Papers, 19/1. Vol. 1, Rome.
- [5]. Scot, W. (2005). *The fundamentals of paper properties*, Translated in Persian by Afra, A., Aeej Publication, Tehran, Iran.
- [6]. Siro, I., and Plackett, D. (2010). Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose*, 17(3): 459-494.
- [7]. Hasanjanzadeh, H., Hedjazi, S., Yousefi, H., Mahdavi, S., and Abdolkhani, A. (2014). The effect of using cellulose nanofibers and cationic starch on the properties of soda-AQ pulp from rice straw. *Journal of Forest and Wood Products*, *Iranian Journal of Natural Resources*, 67(1): 105-117.
- [8]. Ramsden, J. (2004). *Nanotechnology in Coatings, Inks and Adhesives*, Pira International Ltd. Leatherhead. UK.
- [9]. Hadilam, M.M. (2012). Production and evaluation of nanofibrillated cellulose (NFC) prepared from α -cellulose and comparative assessment of its using in chemical paper and bleached bagasse paper. M.Sc. thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- [10]. Henriksson, M., Berglund, L.A., Isaksson, P., Lindström, T., and Nishino, T. (2008). Cellulose Nanopaper Structures of High Toughness. *BioMacromolecules*, 9(6): 1579-1585.

- [11] Syverud, K., and Stenius, P. (2009). Strength and barrier properties of MFC films. *Cellulose*, 16: 75-85.
- [12]. Yousefi, H., Nishino, T., Faezipour, M., Ebrahimi, G., and Shakeri, A. (2011). Direct fabrication of all-cellulose nanocomposite from cellulose microfibers using ionic liquid-based nanowelding. *Biomacromolecules*, 12: 4080-4085.
- [13]. Hadilam, M.M., Afra, E., and Yousefi, H. (201۳). Effect of Cellulose Nanofibers on the Properties of Bagasse Paper. *Journal of Forest and Wood Products*, 66(3): 351-366.
- [14]. Hadilam, M.M., Afra, E., Ghasemian, A., and Yousefi, H. (2013). Preparation and properties of ground cellulose nanofibers. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 20(2): 139-149.
- [15]. Khalili, A., Ghasemian, A., Saraeian, A.R., Dahmardeh galehnow, M., and Manzorolajdad, S.M. (2009). Study on the mechanical and optical properties of kraft liner paper produced from mixing of OCC and virgin hardwoods kraft pulp. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 24(2): 264-274.
- [16]. Alinia, A., Afra, A., Resalati, H., and Yousefi, H. (2013). Effect of Mixing Temperature of CMP (Chemical-mechanical) Pulp and Cellulose Nanofiber on Paper Properties. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 3(2): 77-89.
- [17]. Yousefi, H., Faezipour, M., Nishino, T., Shakeri, A., and Ebrahimi, G. (2011). All-cellulose composite and nanocomposite made from partially dissolved micro and nanofibers of canola straw. *Polymer Journal*, 43: 559-564.
- [18]. Hasanjanzadeh, H., Hedjazi, S., and Mahdavi, S. (2014). The effect of polyelectrolyte on rice straw soda-AQ pulp drainage and of rice straw. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29(1): 170-181.
- [19]. Lindgren, A. (2010). Preparation of Nanofibers from Pulp Fibers. Master Thesis. collaboration with Eka Chemicals AB.

Development of poplar Kraft pulp strengths with cellulose nano fiber of rice straw

S. Ghahramani; M.Sc., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

S. Hedjazi*; Assoc. Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

S. Mahdavi; Assoc. Prof., Wood and Forest Product Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Karaj, I.R., Iran

(Received: 5 April 2015, Accepted: 8 March 2016)

ABSTRACT

This study was carried out to make cellulose nanofiber reinforced Kraft liner paper from rice straw. In this regard, *P. deltooides* clone 69-55 as a fast growth and high yield biomass species was selected for pulp production. Variable factors of Kraft pulping process including sulfidity, active alkali, temperature and time were applied in three levels and liquor to wood ratio of 4:1. Optimum conditions of Kraft cooking were found as 23% sulfidity, 18% active alkali, 170 °C, and 180 min. cooking temperature and time, respectively. The pulping yield and kappa number of control pulp were measured as 53.94% and 17.2, respectively. Then, the pulp was refined to achieve freeness degree of 333 ml.CSF. Nano-cellulose fiber of rice straw was added to improve the strength of control kraft pulp. The nanofibers at 5, 10 and 15% loadings were mixed with pulp suspension and 60 g/m² handsheets were manufactured by means of a laboratory handsheet maker. It was found that all the strength characteristics of prepared papers were improved by addition of nanofibers in different levels. Tensile, burst, and tear indices increased up to 26.31%, 20.08%, and 10.07%, respectively by addition of 15% cellulose nanofibers to the control pulp suspension. Moreover, bending stiffness and RCT improved to 24.48%, and 52.38%, respectively. The overall results indicated that incorporation of cellulose nanofibers had a positive effect on kraft liner pulp produced from *P. deltooides*.

Keywords: Kraft pulp, Deltoides poplar, Kraft liner, Cellulose nanofiber, Paper strength.

* Corresponding Author: Email: shedjazi@ut.ac.ir, Tel: +98-2632223044