Archive of SID

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۹
ص ۱۵۱-۱۶۲

DOI: 10.22059/jfwp.2020.293203.1044

استفاده از نانوالیاف لیگنوسلولزی به‌جای الیاف بلند وارداتی در کاغذهای بادوام تهیه‌شده از خمیرکاغذکاغذ ضایعات لیفی پنبه

هاتف حیدری[۱]، جعفر ابراهیم‌پور کاسمانی[۲*]، سعید مهدوی[۳]

۱. کارشناس ارشد گروه مهندسی چوب و کاغذ، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی چوب و کاغذ، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران
۳. دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۲

چکیده

این تحقیق به‌منظور جایگزینی خمیرکاغذ الیاف بلند شیمیایی وارداتی با افزودن نانوالیاف لیگنوسلولزی (NLCF) و سیستم‌های دوترکیبی نانونشاستهٔ کاتیونی و نانوپلی‌آکریل آمید کاتیونی (CPAM) به خمیرکاغذ تهیه‌شده از ضایعات لیفی پنبه (زیرشانه) برای تهیهٔ کاغذهای بادوام انجام گرفت. خمیرکاغذ شیمیایی وارداتی در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد، NLCF در سطح ۵ درصد و همراه با نشاستهٔ کاتیونی در سطح ۱ درصد یا همراه با CPAM در سطح ۰/۱درصد به خمیرکاغذ زیرشانه افزوده شدند. همچنین نشاسته و CPAM در سه سطح به‌صورت مجزا در خمیرکاغذ زیرشانه استفاده شدند. کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی از ۱۳ ترکیب خمیرکاغذ ساخته شدند و خواص فیزیکی، مکانیکی و نوری آنها طبق استاندارد اندازه‌گیری شد. براساس نتایج، افزودن ۱ درصد نشاستهٔ کاتیونی به خمیرکاغذ زیرشانه می‌تواند خواص مناسبی (به‌جز زردی کاغذ) را نسبت به استفاده از الیاف بلند به‌دست دهد. همچنین افزودن NLCF رنگبری‌نشده موجب افت روشنی و افزایش زردی کاغذها شده و در مقایسه با افزودن خمیرکاغذ الیاف بلند، موجب کاهش مقاومت به تاخوردگی و صافی کاغذ شده است که ممکن است به‌دلیل تجمع ذرات نانو در سطح کاغذ طبق عکس‌های میکروسکوپ روبشی باشد. افزودن ۰/۰۵ درصد CPAM به‌جز مقاومت به تاخوردگی، در مقایسه با استفاده از خمیرکاغذ الیاف بلند در خمیرکاغذ ضایعات لیفی پنبه، سبب بهبود خواص کاغذ شد. پراکنش ذرات در سیستم دوترکیبی نانونشاستهٔ کاتیونی تا حدودی بهبود یافت که موجب بهبود مقاومت‌های کاغذ نسبت به افزودن NLCF و نیز نانو–CPAM در خمیرکاغذ زیرشانه شد.

واژه‌های کلیدی: خمیرکاغذ الیاف بلند، خواص فیزیکی، مکانیکی و نوری، ضایعات لیفی پنبه، کاغذ بادوام، نانوالیاف لیگنوسلولزی.

مقدمه

صنعت ساخت کاغذهای بادوام مثل اسکناس به‌مراتب پیچیده‌تر از کاغذ چاپ و تحریر و بقیهٔ محصولات مشابه است، زیرا ویژگی‌های این نوع کاغذها گسترده‌ترند [۱]. در مرحلهٔ شانه‌زنی الیاف بلند پنبه، در زیر چنگک‌ها (سرسوزن‌ها) صفحهٔ مشبکی با سوراخ‌های با قطر مشخص قرار دارد که الیاف کوتاه از آن‌ها عبور می‌کنند و در زیر صفحه جمع می‌شوند. این الیاف به‌دلیل کوتاهی و زبری، برای صنعت نساجی چندان مناسب نیستند و از این‌رو در مقایسه با الیاف بلند، ارزش اقتصادی کمتری دارند. ابعاد

* نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۰۹۱۱۲۱۷۸۰۳۵
Email: Jafar_kasmani@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

الیاف زیرشانه (از لحاظ طول و قطر) در محدوده‌ای است که در صنایع خمیرکاغذ به‌خصوص برای ساخت کاغذهای بادوام می‌توانند به‌عنوان بخشی از مادهٔ اولیه به‌همراه الیاف بلند استفاده شوند [۱]. سلولز و لیگنوسلولز به‌عنوان مواد مرکبِ دارای عناصری در مقیاس نانو از پتانسیل زیادی برخوردارند، زیرا از نظر فراوانی، تجدیدپذیری و ساختار نانوفیبریلی می‌توانند کاربری چندمنظوره داشته باشند. یافته‌های پژوهش‌های مرتبط، نتایج امیدوارکننده‌ای را در استفاده از فناوری نانو در جنبه‌های مختلف کاغذسازی نشان داده است [۲]. استفاده از نانوالیاف سلولزی در چند سال اخیر به‌عنوان مادهٔ افزودنی جدید برای بهبود مقاومت‌های کاغذ مورد توجه زیادی قرار گرفته است، اما استفاده از نانوالیاف لیگنوسلولزی که حاوی مقدار زیادی لیگنین هستند و می‌توانند از خمیرکاغذ مکانیکی یا مکانیکی- شیمیایی تهیه شوند، کمتر بررسی شده است [۳]. گزارش‌های تحقیقات اخیر بیانگر اثر مهم نانوالیاف سلولزی و لیگنوسلولزی در بهبود مقاومت‌های کاغذ است [۴-۶]. از اثرهای افزودن نانوالیاف لیگنوسلولزی می‌توان به کاهش نفوذپذیری در برابر هوا و افزایش اتصالات داخلی اشاره کرد. تحقیقات نشان داده است [۷] که استفاده از این نوع نانوالیاف سلولزی می‌تواند سبب افزایش مقاومت کششی در کاغذ شود، اما گاهی سبب کاهش مقاومت به پارگی کاغذ و افزایش مقاومت به زهکشی آب از خمیرکاغذ نیز می‌شود. در بیشتر تحقیقات، کاربرد نانوالیاف سلولزی برای کاغذسازی، به‌دلیل نوعی نرمه محسوب شدن نانوالیاف و امکان هدر رفت آنها از طریق خروج از توری کاغذسازی، از یک کمک‌نگه‌دارندهٔ کاتیونی مثل انواع بسپارهای کاتیونی استفاده می‌شود [۸]. گزارش‌ها نشان می‌دهد که با ماندگاری حداکثری نانوالیاف سلولزی به روشی شایسته در ساختار کاغذ می‌توان به مقاومت‌های مکانیکی مناسب‌تری در کاغذ دست یافت [۴]. با به‌کارگیری روش‌های مختلفی از جمله افزایش بهره‌وری در مصرف انرژی تولید نانوالیاف سلولزی، می‌توان تا ۱۲/۲ درصد از هزینه‌های تولید کاست. نانوالیاف سلولزی در ویتنام به روشی مقرون به‌صرفه‌تر تولید می‌شود. چه‌بسا در آیندهٔ نزدیک شاهد کاهش چشمگیر قیمت این ماده نیز باشیم [۹].

در یکی از مطالعات جدید، اثر افزودن نشاستهٔ کاتیونی، پلی‌آکریل آمید و نانوالیاف سلولزی به‌صورت مجزا و نیز ترکیبی به خمیرکاغذ الیاف کوتاه پهن‌برگان بررسی و نتایج با افزودن ۲۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند مقایسه شد. نتایج نشان داد که افزودن ۱ درصد نشاستهٔ کاتیونی همانند افزودن ۱۵ درصد الیاف بلند از نظر افزایش طول پارگی کاغذ است. همچنین با اختلاط ۳ درصد نانوالیاف سلولزی، ۰/۰۳ درصد پلی‌اکریل آمید کاتیونی و ۰/۵ درصد نشاستهٔ کاتیونی به بهترین ویژگی‌های کاغذ در مقایسه با افزودن ۲۰ درصد الیاف بلند دست یافتند [۱۰]. یکی از محدودیت‌های استفاده از نانوالیاف سلولزی قیمت تمام‌شدهٔ به‌نسبت زیاد آن در مقایسه با افزودنی‌های شیمیایی است و نانوالیاف لیگنوسلولزی به‌دلیل آن‌که از خمیرکاغذهای پربازده مکانیکی تهیه می‌شود، قیمت کمتری دارد. استفاده از نانوالیاف لیگنوسلولزی به‌همراه ضایعات لیفی پنبه، به‌دلیل کاهش واردات خمیرکاغذ الیاف بلند می‌تواند موجبات صرفه‌جویی ارزی و کاربری مناسب در ساخت کاغذهای بادوام را فراهم آورد.

در این مطالعه، به بررسی اثر افزودن نانوالیاف لیگنوسلولزی، نشاستهٔ کاتیونی و پلی‌اکریل آمید کاتیونی به خمیرکاغذ تهیه‌شده از ضایعات لیفی پنبه برای جایگزینی با خمیرکاغذ الیاف بلند وارداتی به‌منظور ساخت کاغذهای بادوام پرداخته شده است. همچنین تعیین سطح بهینهٔ استفاده از این سه افزودنی به‌صورت خالص و مخلوط در مقایسه با الیاف بلند وارداتی بررسی شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

خمیرکاغذ

در این بررسی، خمیرکاغذ ضایعات لیفی پنبه استفاده‌شده در صنایع نساجی و نیز خمیرکاغذ شیمیایی الیاف بلند وارداتی با عدد کاپای به‌ترتیب ۴ و ۶ از کارخانهٔ تکاب تهیه شد و به آزمایشگاه انتقال یافت. پالایش خمیرکاغذهای تهیه‌شده از کارخانهٔ مذکور تا درجهٔ روانی حدود ۳۲۰ میلی‌لیتر (CSF) طبق استاندارد T248 sp-00 تاپی انجام گرفت. خمیرکاغذهای حاصل، درون کیسه‌های پلاستیکی در بسته قرار داده شده و تا موقع مصرف در داخل یخچال در دمای حدود ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد.

نانوالیاف لیگنوسلولزی

نانوالیاف لیگنوسلولزی (NLCF) از شرکت نانو نوین پلیمر تهیه شد. نانوالیاف لیگنوسلولزی این شرکت با استفاده از روش مکانیکی سوپر آسیاب از خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) رنگبری‌نشدهٔ کارخانهٔ چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. میانگین قطری نانوالیاف لیگنوسلولزی ۴۸ نانومتر گزارش شده است.

پلی‌آکریل آمید کاتیونی

پلی‌آکریل آمید کاتیونی با جرم مولکولی ۳۵۹۱۸۸ g/mol و چگالی بار الکتریکی متوسط (۴۲ درصد) از شرکت مهندسی دگوسا تهیه شده و ابتدا براساس درصد خلوص ماده، با آب مقطر به غلظت محلول ۱ درصد رسانده شد و سپس ۱ میلی‌لیتر از این محلول داخل یک بالن با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و به‌مدت ۳ ساعت با مگنت هم زده شد. محتویات بالن ۲۴ ساعت داخل یخچال قرار داده شده و سپس توسط آب مقطر به‌حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و محلول با غلظت ۰/۰۱ درصد، مجدداً به‌مدت ۲۰ دقیقه هم زده شد. این محلول در سه سطح ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد برمبنای وزن خشک خمیرکاغذ استفاده شد.

نشاسته

نشاستهٔ کاتیونی با منبع سیب‌زمینی از شرکت Lyckeby Amylex اسلواکی تهیه شد. درجهٔ جایگزینی این نشاسته ۰/۰۴، میزان پروتئین ۰/۲ درصد و خاکستر ۱ درصد بود. برای تهیهٔ محلول نشاسته، ۰/۵ گرم نشاستهٔ کاتیونی در یک ارلن با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شده و محتویات روی هیتر با کنترل مداوم دما به‌مدت ۲۰ دقیقه تا رسیدن به دمای حدود ۸۵ درجهٔ سانتی‌گراد هم زده شد و سپس به مدت ۱۵ دقیقه در همین دما نگهداری شد. این محلول نشاسته در سه سطح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد براساس وزن خشک خمیرکاغذ به سوسپانسیون خمیرکاغذهای پالایش‌شده اضافه شد. به‌منظور جلوگیری از تغییرات گرانروی و غلظت، نشاسته به‌صورت تازه استفاده شد.

برای ماندگاری بهتر نانوالیاف در کاغذ، در توالی افزودن مواد در سیستم‌های دوترکیبی، ابتدا نانوالیاف لیگنوسلولزی و سپس افزودنی کاتیونی اضافه شد [۱۱]. در جدول ۱ مشخصات سیزده ترکیب خمیرکاغذ برای ساخت کاغذ دست‌ساز آورده شده است. برای ساخت کاغذهای ترکیبی، سوسپانسیون خمیرکاغذ با درصد خشکی ۰/۳ با دستگاه جداکنندهٔ الیاف با ۱۵۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰۰ ثانیه در دمای محیط هم زده شد. نانوالیاف لیگنوسلولزی نیز به‌میزان ۵ درصد بر مبنای وزن خشک خمیرکاغذ افزوده شد و پس از هم زدن به‌مدت ۶۰ ثانیه، نشاستهٔ کاتیونی و / یا پلی‌اکریل آمید کاتیونی در همان مدت اختلاط، طبق مقادیر جدول ۱ به خمیرکاغذ ضایعات لیفی پنبه (زیرشانه) افزوده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. ترکیب خمیرکاغذ و افزودنی‌های آن برای ساخت کاغذ دست‌ساز

شماره	کد	خمیرکاغذ الیاف زیرشانه (درصد)	خمیرکاغذالیاف بلند شیمیایی (درصد)	نانوالیاف لیگنوسلولزی (درصد)	نشاستهٔ کاتیونی (درصد)	پلی‌آکریل آمید کاتیونی (درصد)
۱	0LP	۱۰۰	۰	۰	۰	۰
۲	10LP	۹۰	۱۰	۰	۰	۰
۳	20LP	۸۰	۲۰	۰	۰	۰
۴	30LP	۷۰	۳۰	۰	۰	۰
۵	5NLCF	۹۵	۰	۵	۰	۰
۶	5NLCF+1CS	۹۴	۰	۵	۱	۰
۷	5NLCF+0.1CPAM	۹۴/۹	۰	۵	۰/۱	۰
۸	0.5CS	۹۹/۵	۰	۰	۰/۵	۰
۹	1CS	۹۹	۰	۰	۱	۰
۱۰	1.5CS	۹۸/۵	۰	۰	۱/۵	۰
۱۱	0.05CPAM	۹۹/۹۵	۰	۰	۰	۰/۰۵
۱۲	0.1CPAM	۹۹/۹	۰	۰	۰	۰/۱
۱۳	0.15CPAM	۹۹/۸۵	۰	۰	۰	۰/۱۵

تهیهٔ کاغذهای دست‌ساز

۱۰ عدد کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرمی براساس استاندارد SCAN شمارهٔ C 26:76 و با استفاده از دستگاه کاغذساز نوع KCL ساخته شد. بنابراین، برای سیزده ترکیب خمیرکاغذ طبق جدول ۱، تعداد ۱۳۰ کاغذ آزمایشگاهی ساخته شد. سپس کاغذهای دست‌ساز توسط یک پرس و خشک‌کن آزمایشگاهی تحت شرایط ذکرشده در استاندارد مذکور برای آزمون‌های مورد نظر آماده شدند.

اندازه‌گیری خواص کاغذ

خواص فیزیکی کاغذ شامل نفوذپذیری در برابر هوا و صافی سطح به‌ترتیب طبق استانداردهای ملی ایران شمارهٔ ۷۰۴۶-۳ و ۲-۱۲۹۵ اندازه‌گیری شدند. خواص مکانیکی کاغذ شامل مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به پاره شدن و مقاومت به تاخوردگی به‌ترتیب مطابق استانداردهای ملی ۲-۱۴۴۷۱، ۱۸۲۱، ۱۲۹۷و ۱۴۰۴ تعیین شدند. همچنین خواص نوری کاغذها شامل روشنی، ماتی و زردی به‌ترتیب طبق استانداردهای ملی ۱۲۹۸، ۱۲۹۹ و ۱-۱۳۳۶۷ اندازه‌گیری شدند.

مطالعات میکروسکوپی

در این تحقیق، به‌منظور بررسی ساختار کاغذهای تهیه‌شده از میکروسکوپ الکترونی نوع TESCAN MIRA3 ساخت کشور چک استفاده شد.

طرح آماری

طرح آزمایشی استفاده‌شده در این تحقیق، از نوع کاملاً تصادفی بود. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش تجزیهٔ واریانس یک‌طرفه استفاده شد. در صورت معنی‌دار شدن اختلاف بین میانگین‌ها برای گروه‌بندی از آزمون دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

برای بررسی اختلاف آماری بین میانگین خواص تحت بررسی، از آزمون تجزیهٔ واریانس استفاده شد. مقدار F به‌دست‌آمده از این آزمون با F جدول مقایسه شد که برای همهٔ خواص تحت بررسی حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد است (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. تجزیهٔ واریانس (مقدار F و سطح اعتماد) بین میانگین خواص مورد بررسی کاغذ

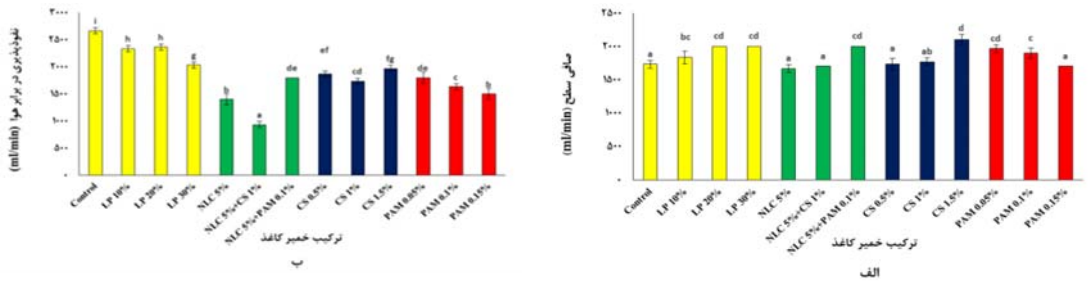
خواص کاغذ	صافی سطح (ml/min)	نفوذپذیری در برابر هوا (ml/min)	طول پاره شدن (km)	شاخص مقاومت به پاره شدن ($mN.m^2/g$)	شاخص مقاومت به ترکیدن ($kPa.m^2/g$)	ماتی (%)	روشنی (%)	زردی (%)
مقدار F و سطح اعتماد	**۱۱/۶۲	**۱۳۲/۴۸	**۱۲/۲۸	*۲۲/۹۱	**۳۰/۳۲	**۵/۸۶	*۶/۱۱	**۴۳۰۷۷۷

* اختلاف بین میانگین‌ها در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است. ** اختلاف بین میانگین‌ها در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار است.

صافی سطح و نفوذپذیری در برابر هوا

نفوذپذیری در برابر هوا ساختار داخلی کاغذ را به‌طور غیرمستقیم نشان می‌دهد. چگونگی توزیع الیاف و مواد افزودنی، کیفیت شکل‌گیری کاغذ و نرمه‌های الیاف بر آن تأثیرگذارند [۴]. آزمون دانکن، میانگین‌های صافی سطح کاغذها را در گروه‌های مختلفی (مستقل و وابسته) قرار داد (شکل ۱- الف). صافی سطح کاغذ از ویژگی‌های مهم ساختاری آن است که در بسیاری از کاربردها به‌خصوص برای چاپ‌پذیری بهتر و کیفیت بیشتر چاپ از اهمیت زیادی برخوردار است. از این‌رو در یک ترکیب مشخص به‌نوعی عملکرد مواد افزودنی را در سوسپانسیون خمیرکاغذ مشخص می‌کند. برای مثال، دلمه شدن ذرات ریز الیاف ممکن است سبب بهبود صافی سطح کاغذ شود [۱۲]. بیشترین صافی سطح کاغذ با افزودن ۱/۵ درصد نشاستهٔ کاتیونی به خمیرکاغذ زیرشانه حاصل شده است (گروه d) که با افزودن ۲۰ و ۳۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند نیز با این خمیرکاغذ اختلاف معنی‌داری ندارد (گروه cd). آزمون دانکن میانگین‌های نفوذپذیری کاغذ در برابر هوا را در شش گروه مستقل قرار داد (شکل ۱- ب).

نفوذپذیری کاغذ در برابر هوا با بهبود کیفیت شکل‌گیری کاهش می‌یابد. با اضافه کردن هر یک از افزودنی‌ها به‌صورت مجزا و ترکیبی، بهترین عملکرد در بهبود نفوذپذیری در برابر هوا حاصل شده است که در مقایسه با الیاف بلند، افزودنی‌های دیگر قابلیت جایگزینی با خمیرکاغذ زیرشانه را از این نظر دارا هستند. براساس پژوهش‌های پیشین، نفوذپذیری در برابر هوا با افزایش نرمه‌ها و نانوالیاف سلولزی کاهش می‌یابد که علت آن ایجاد شبکهٔ پلیمری توسط افزودنی‌ها در ساختار کاغذ است که ضمن توسعهٔ اتصالات بین‌لیفی، موجب کاهش نفوذپذیری هوا در کاغذ نیز می‌شود. همچنین پراکنش مناسب ذرات نانوالیاف لیگنوسلولزی، نفوذپذیری در برابر هوا را کاهش می‌دهد [۱۳]. بیشترین نفوذپذیری کاغذ مربوط به نمونهٔ شاهد و کمترین آن مربوط به افزودن ۱ درصد نشاستهٔ کاتیونی و ۵ درصد نانوالیاف لیگنوسلولزی و بعد از آن افزودن ۵ درصد نانوالیاف لیگنوسلولزی به خمیرکاغذ زیرشانه بوده است. استفاده از همهٔ افزودنی‌ها در مقایسه با خمیرکاغذ الیاف بلند موجب کاهش نفوذپذیری در برابر هوا شده است.



شکل ۱. مقایسهٔ میانگین خواص فیزیکی و گروه‌بندی آنها: الف) صافی سطح؛ ب) نفوذپذیری در برابر هوا.

www.SID.ir

Archive of SID

طول پاره شدن کاغذ دست‌ساز

شکل ۲ الف، میانگین تغییرات طول پاره شدن کاغذ را برای نمونه‌های خمیرکاغذ مختلف نشان می‌دهد. گروه‌بندی دانکن میانگین‌های طول پاره شدن را در پنج گروه مستقل قرار داد. بیشترین طول پاره شدن کاغذ با افزودن ۱ درصد نشاستهٔ کاتیونی به‌دست آمد (گروه e). همهٔ افزودنی‌ها در مقایسه با خمیرکاغذ الیاف بلند موجب افزایش بیشتر این مقاومت شدند. طول پاره شدن کاغذ شاخص مناسبی برای پیوندهای بین لیفی است که در واقع ترکیبی از سایر مقاومت‌ها است. عملکرد نشاستهٔ کاتیونی در بهبود خواص کاغذ همانند تأثیر پالایش بر الیاف بوده، با این تفاوت که تأثیر کمتری در کاهش آبگیری در ماشین کاغذ دارد [۱۴]. استفاده از حدود ۶ درصد نانوالیاف سلولزی، بهبود مقاومت کششی معادل استفاده از ۲۰ درصد خمیرکاغذکاغذ الیاف بلند در ساخت کاغذ از خمیرکاغذکاغذ کرافت پهن‌برگان فراهم می‌سازد [۱۵]. بر اثر کوچک‌تر شدن ابعاد تا مقیاس نانومتری سطح ویژهٔ فیبرهای سلولزی افزایش می‌یابد. این به‌معنای قرار گرفتن تعداد بیشتر گروه‌های در دسترس هیدروکسیل در سطح نانوالیاف است که توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی را با نانوالیاف مجاور دارند و در نهایت سبب تشکیل شبکه‌ای از نانوفیبرها می‌شوند که افزایش مقاومت کششی کاغذ را در پی دارد. با این‌حال مقاومت به کشش کاغذ همیشه کمتر از مقاومت به کشش فیبر خواهد بود [۱۵]. فیبریلاسیون کمتر نانوالیاف لیگنوسلولزی نسبت به نانوالیاف سلولزی در هوموژنایزر به‌دلیل داشتن سلولز کمتر و لیگنین بیشتر موجب بهبود مقاومت‌های کاغذ در حد کمتری می‌شود [۱۶].

شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ دست‌ساز

روند تغییرات میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن برای نمونه‌های خمیرکاغذ در شکل ۲ب نشان داده شده است. گروه‌بندی دانکن میانگین‌های داده‌های شاخص مقاومت به ترکیدن تیمارهای ذکرشده را در پنج گروه مستقل قرار داد. بیشترین مقاومت با افزودن ۰/۵درصد نشاستهٔ کاتیونی به‌دست آمد (گروه f). همهٔ افزودنی‌ها نیز در مقایسه با خمیرکاغذکاغذ الیاف بلند و شاهد موجب افزایش بیشتر این مقاومت شدند. مقاومت به ترکیدن از جمله مقاومت‌هایی است که به طول فیبر، ضخامت دیوارهٔ فیبر و میزان پیوند بین الیاف بستگی دارد، ولی بیشتر تحت تأثیر اتصال بین الیاف است [۱۷]. نانوالیاف لیگنوسلولزی به‌واسطهٔ ضریب لاغری بسیار بزرگ و درگیری فیزیکی بین نانوالیاف با یکدیگر و نانوالیاف با الیاف در ساختار کاغذ باقی می‌ماند و موجب افزایش مقاومت به ترکیدن می‌شود. نشاستهٔ کاتیونی نیز به‌دلیل سطح ویژهٔ بزرگ و ایجاد درگیری فیزیکی بین نشاسته و الیاف سبب افزایش تعداد پیوند هیدروژنی و افزایش سطح پیوند بین الیاف و کاهش فضای خالی بین الیاف می‌شود. افزایش پیوند بین الیاف می‌تواند قدرت شبکه‌ای الیاف را افزایش دهد و با افزایش پیوند مانع لغزش الیاف شود و به استحکام شبکه لیفی منجر شود [۱۸]. برخی از محققان استفاده از سیستم دوترکیبی نشاسته- نانوالیاف سلولز را به‌دلیل مشکلات کمتر فرایندی (کاهش سرعت ماشین کاغذ به‌علت کاهش سرعت زهکشی) نسبت به استفاده از نشاستهٔ کاتیونی به‌تنهایی برای بهبود مقاومت‌های کاغذ در اولویت می‌دانند [۱۹].

شاخص مقاومت به پارگی کاغذ دست‌ساز

عوامل اصلی تأثیرگذار بر مقاومت به پارگی شامل میانگین طول و قطر الیاف و نیز مقاومت ذاتی الیاف به‌کاررفته در تولید کاغذ است که البته میزان پیوندیابی الیاف و نیز جهت یافتگی آنها در ساختار کاغذ نیز تأثیرگذارند [۲۰].

تغییرات شاخص مقاومت به پارگی برای نمونه‌های خمیرکاغذ را شکل ۲ج نشان می‌دهد. بیشترین مقاومت نیز با افزودن ۰/۵ درصد نشاستهٔ کاتیونی به‌دست آمد (گروه e). اثر نشاستهٔ کاتیونی بر الیاف همانند تأثیر عمل

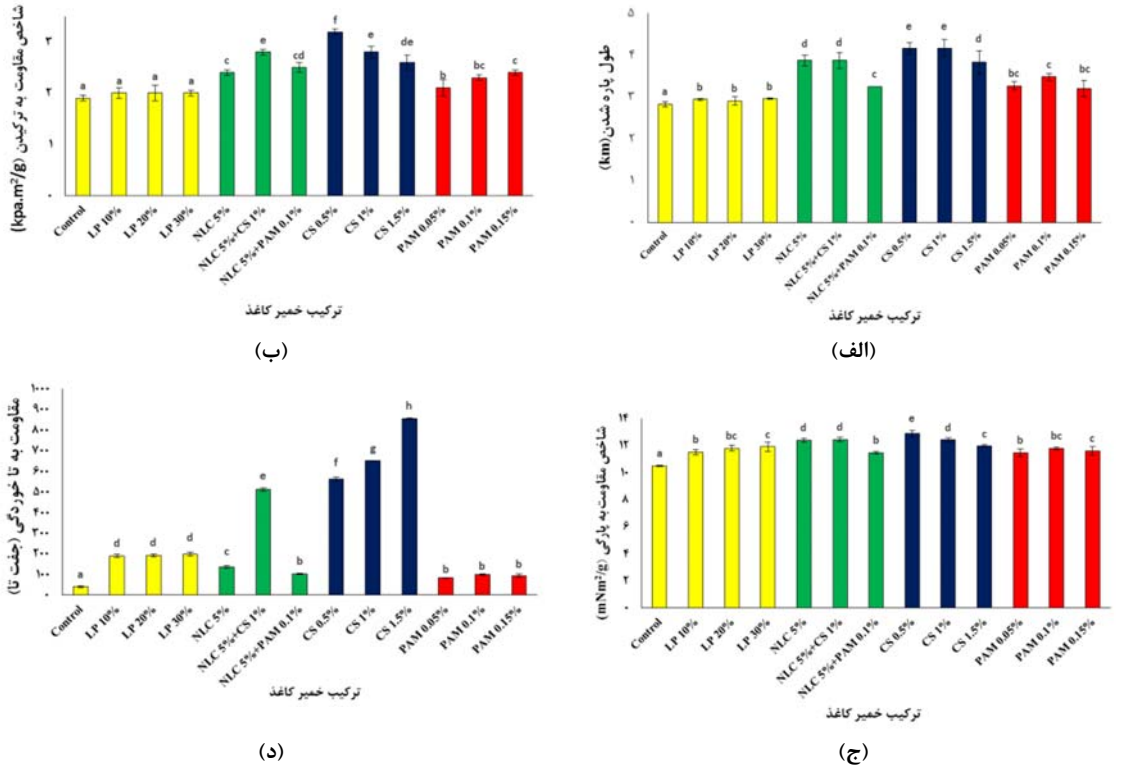
www.SID.ir

Archive of SID

پالایش است. با این تفاوت که الیاف، سالم می‌مانند و در نتیجه مقاومت به پارگی نیز بهبود می‌یابد [۱۴]. افزایش این مقاومت با استفاده از همهٔ افزودنی‌ها در مقایسه با خمیرکاغذ الیاف بلند بیشتر یا در محدودهٔ آن است. با افزودن ۵ درصد نانوالیاف لیگنوسلولزی به خمیرکاغذ CTMP، افزایش جزئی در مقاومت به پارگی نسبت به نمونهٔ شاهد گزارش شده، اما با افزودن مقدار بیشتر (به‌دلیل کلوخه شدن)، روند تغییرات این مقاومت کاهشی است [۱۱].

مقاومت به تاخوردگی کاغذ دست‌ساز

مقاومت به تاخوردگی کاغذ شاخصی مهم در کاغذهای بادوام به‌خصوص اسکناس است [۱]. این مقاومت از پیچیده‌ترین خواص عمومی کاغذ است. پیچیدگی آزمون مقاومت به تاخوردگی به این دلیل است که این آزمون، ترکیبی از مقاومت کششی، کشیدگی، انحناپذیری، مقاومت در برابر فشار و دیگر تنش‌های برشی و تغییر طول نسبی است [۲۱]. با افزایش مقاومت به تاخوردگی با روش‌های مختلف، می‌توان از الیاف ضعیف‌تر و بازیافتی نیز تا حدودی در ترکیب خمیرکاغذ اولیه استفاده کرد. شکل ۲د میانگین تغییرات مقاومت به تاخوردگی را برای نمونه‌های خمیرکاغذ نشان می‌دهد. آزمون دانکن میانگین‌های مقاومت به تاخوردگی را به هفت گروه مستقل طبقه‌بندی کرده است. نتایج نشان می‌دهد که تأثیر افزودن نشاستهٔ کاتیونی و / یا ترکیب نانوالیاف لیگنوسلولزی و ۱ درصد نشاسته بر این مقاومت بیشتر از تیمارهای دیگر که با نتایج دیگر محققان همخوانی دارد [۲۲].



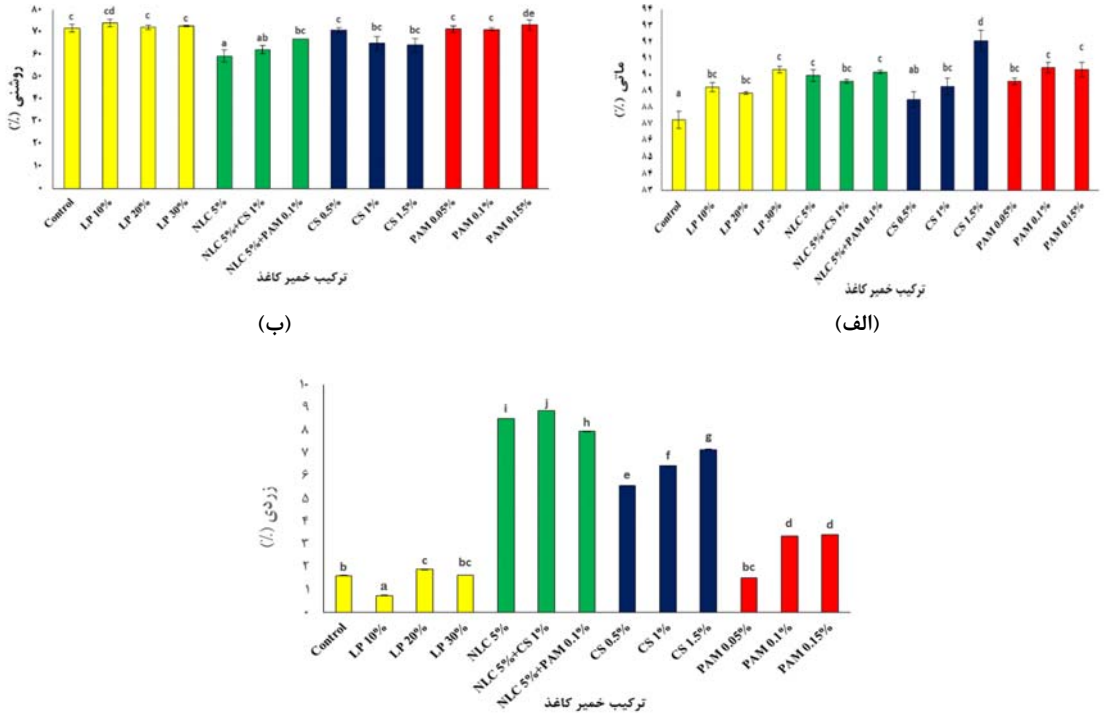
شکل ۲. مقایسهٔ میانگین مقاومت‌ها و گروه‌بندی آنها: الف) طول پاره شدن؛ ب) شاخص مقاومت به ترکیدن؛ ج) شاخص مقاومت به پارگی؛ د) مقاومت به تاخوردگی.

www.SID.ir

Archive of SID

خواص نوری کاغذ دست‌ساز

درجهٔ روشنی و ماتی کاغذ تابع ویژگی‌های نوری الیاف تشکیل‌دهندهٔ کاغذ و مقدار و نحوهٔ پراکنش مواد پرکننده در کاغذ است [۲۱]. شکل ۳ الف میانگین تغییرات مقاومت ماتی را برای نمونه‌های خمیرکاغذ نشان می‌دهد. آزمون دانکن میانگین ماتی کاغذها را در چهار گروه مستقل قرار داد. ماتی کاغذ با افزایش مقدار نشاسته بهبود می‌یابد که با یافته‌های Hagemeyer (۱۹۹۷) مشابهت دارد [۲۳]. اما بیشترین ماتی مربوط به استفاده از ۱/۵ درصد نشاستهٔ کاتیونی است که در مقایسه با افزودن الیاف بلند ارجح‌تر است (گروه d). شکل ۳ب روند تغییرات روشنی را برای نمونه‌های کاغذ نشان می‌دهد. کمترین روشنی مربوط به افزودن ۵ درصد نانوالیاف لیگنوسلولزی و بیشترین روشنی مربوط به استفاده از ۱۵ درصد پلی‌اکریل آمید است که از نظر آماری با میانگین روشنی کاغذ دارای ۱۰ درصد الیاف بلند یا ۰/۵ درصد نشاسته تفاوت معنی‌داری ندارد. ازآنجا که نانوالیاف لیگنوسلولزی استفاده‌شده از خمیرکاغذ رنگبری‌نشده تهیه شده است، کاهش روشنی کاغذ با افزودن این ماده بدیهی می‌باشد. شکل ۳ج میانگین تغییرات زردی کاغذها را برای نمونه‌های کاغذ نشان می‌دهد. آزمون دانکن میانگین داده‌های زردی تیمارهای یادشده را در ۱۰ گروه مستقل قرار داد. کمترین زردی مربوط به کاغذهای دارای الیاف بلند و بیشترین زردی مربوط به کاغذهای حاوی نانوالیاف لیگنوسلولزی بود.



(الف) (ب) (ج)

شکل ۳. مقایسهٔ میانگین خواص نوری و گروه‌بندی آنها: الف) ماتی؛ ب) روشنی؛ ج) زردی.

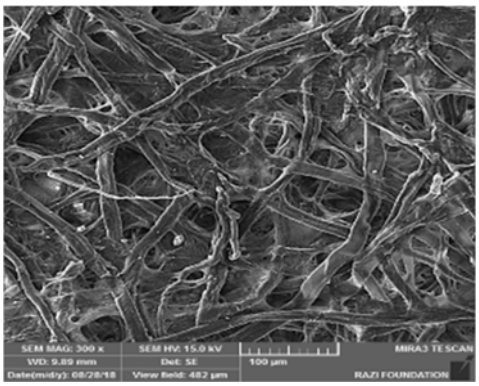
مطالعات میکروسکوپی ساختار کاغذ (FE-SEM)

شکل‌های ۴ و ۵ ریزنگار میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FE-SEM) را برای خمیرکاغذ شاهد (زیرشانه)، با الیاف بلند، با نانوالیاف لیگنوسلولزی و ترکیب نانوالیاف سلولز- نشاسته و نانوالیاف سلولز- پلی‌اکریل آمید نشان می‌دهد. کاغذ تهیه‌شده از خمیرکاغذ

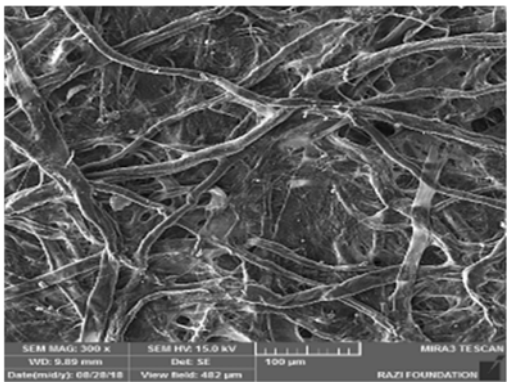
www.SID.ir

Archive of SID

شاهد (شکل ۴ الف) دارای منافذ و تخلخل بیشتری به‌خصوص نسبت به کاغذهای دارای نانوالیاف لیگنوسلولزی است. همچنین تجمع ذرات نانوالیاف در سطح کاغذ ساخته‌شده از ۵ درصد نانوالیاف لیگنوسلولزی (شکل ۵ الف) به چشم می‌خورد که در سیستم‌های دوترکیبی بهبود یافته است.

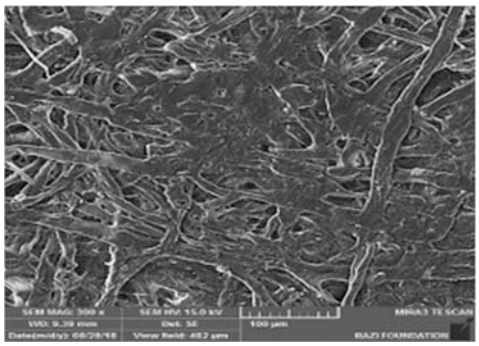


الف

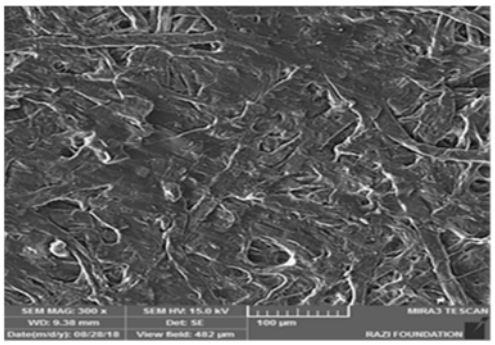


ب

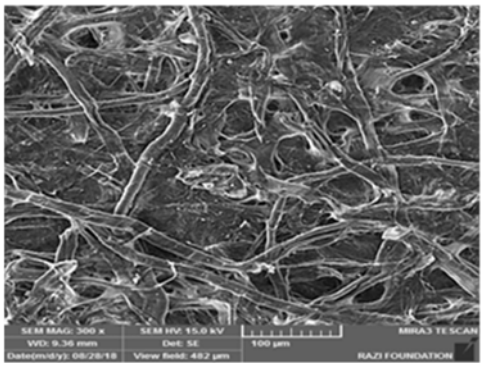
شکل ۴. عکس میکروسکوپی از سطح کاغذ الف) شاهد ب)با ۳۰درصد خمیرکاغذ شیمیایی



الف



ب



ج

شکل ۵. عکس میکروسکوپی از سطح کاغذ: الف) با ۵ درصد نانوالیاف لیگنوسلولزی؛ ب) با ۵ درصد نانوالیاف لیگنوسلولزی و ۱ درصد نشاستهٔ کاتیونی؛ ج) با ۵ درصد نانوالیاف لیگنوسلولزی و ۰/۱ درصد پلی‌آکریل آمید کاتیونی.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، جایگزینی خمیرکاغذالیاف بلند با ۵ درصد نانوالیاف لیگنوسلولزی و ترکیب آن با نشاستهٔ کاتیونی یا پلی‌اکریل آمید در خمیرکاغذ ضایعات لیفی پنبه بررسی شد. در مجموع با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، افزودن نشاستهٔ کاتیونی به خمیرکاغذ ضایعات لیفی پنبه در مقایسه با افزودن خمیرکاغذ الیاف بلند، موجب حصول بهترین نتیجه در خواص مورد بررسی (به‌جز زردی) شده است. افزودن ۱ درصد نشاستهٔ کاتیونی می‌تواند خواص فیزیکی، مکانیکی و نوری مناسبی را نسبت به افزودن خمیرکاغذ الیاف بلند فراهم کند و جایگزین آن شود. پس از نشاستهٔ کاتیونی، افزودن ۰/۰۵ درصد پلی‌اکریل آمید کاتیونی به‌جز مقاومت به تاخوردگی، می‌تواند موجب بهبود خواص کاغذ در مقایسه با استفاده از خمیرکاغذ الیاف بلند در خمیرکاغذ ضایعات لیفی پنبه شود. استفاده از ۵ درصد نانوالیاف لیگنوسلولزی نیز به‌تنهایی موجب کاهش مقاومت به تاخوردگی شده و صافی کاغذ در مقایسه با افزودن الیاف بلند کمتر شده است که می‌تواند به‌دلیل تجمع ذرات نانو در سطح کاغذ طبق عکس‌های میکروسکوپی باشد. همچنین این عکس‌ها نشان داد که وضعیت پراکنش ذرات افزودنی در سیستم‌های دوترکیبی (به‌خصوص نانو- نشاسته) بهبود یافته است. افزودن ۱ درصد نشاستهٔ کاتیونی به‌همراه ۵ درصد نانولیگنوسلولز موجب کاهش تخلخل و تا حدودی بهبود مقاومت‌های کاغذ شده است. کاهش زردی و روشنی کاغذهای حاوی نانوالیاف لیگنوسلولزی، موجب افت کیفیت چاپ‌پذیری کاغذهای بادوام خواهد شد که برای رفع این مشکل می‌توان از خمیرکاغذمکانیکی رنگبری‌شده برای تهیهٔ نانوالیاف نیز بهره گرفت یا سطح این کاغذها را اندود کرد.

References

[1]. Fathi, G., and Kasmani, J. E. (2019). Prospects for the preparation of paper money from cotton fibers and bleached softwood kraft pulp fibers with nanofibrillated cellulose. BioResources, 14(2): 2798-2811.

[2]. Osong, S.H., Norgren, S., and Engstrand, P. (2014). Paper strength improvement by inclusion of nano-lignocellulose to Chemi-thermomechanical pulp. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 29(2): 309-316.

[3]. Mohieldin, S.D., Zainudin, E.S., Paridah, M.T., and Ainun, Z.M. (2011). Nanotechnology in Pulp and Paper Industries: A Review. Composite Science and Technology, Trans Tech Publications, Switzerland, Vols. 471-472: 251-256. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.251

[4]. Asadpour, G., Resalati, H., Dehghani, M. R., Ghasemian, A., and Mohammad Nazhad, M. (2015). Comparison of using single and dual retention aid system on newspaper pulp properties. Wood and Forest Science and Technology, 22(2):75-93. (In Persian).

[5]. Hassan, E. A, Hassan, M. L. and Oksman, K. (2011). Improving bagasse pulp paper sheet properties with microfibrillated cellulose isolated from xylanase-treated bagasse. Wood and Fiber Science, 43(1): 76-82.

[6]. 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.

[7]. Sehaqui, H., Zhou, Q., and Berglund, L. A. (2013). Nano fibrillated cellulose for enhancement of strength in high-density paper structures. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 28(2): 182-189.

[8]. Petroudy, S. R. D., Syverud, K., Chinga-Carrasco, G., Ghasemain, A., and Resalati, H. (2014). Effects of bagasse microfibrillated cellulose and cationic polyacrylamide on key properties of bagasse paper. Carbohydrate Polymers, 99(2): 311–318.

[9]. Moon, D., Sagisaka, M., Tahara, K., and Tsukahara, K. (2017). Progress towards sustainable production: environmental, economic, and social assessments of the cellulose nanofiber production process. Sustainability, 9(12), 2368: 1-16.

[10]. RezayatiCharani, P., and Moradian, M.H. (2019). Utilization of cellulose nanofibers and cationic polymers to improve breaking length of paper. Cellulose Chemistry and Technology, 53(7-8): 767–774.

www.SID.ir

Archive of SID

[11]. Ghofran, R., Moradian, M.H., Saadatnia, M.A., and Rezayati Charani, P. (2016). Application off cellulose nanofibers to be replaced with the imported long-fiber pulps in papers made from bagasse. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 7(4): 523-536.

[12]. Hamzeh, Y., and Rostampour-Haftkhani, A. (2008). Principals of Papermaking Chemistry. University of Tehran Press, Tehran, Iran.

[13]. Nazeri, A. (2007). Study the effects of fines particles on properties of physical and optical newsprint made from chemical-mechanical pulp. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 22(1): 29-40.

[14]. Kasmani, J. E., Mahdavi, S., Alizadeh, A., Nemati, M., and Samariha, A. (2013). Physical properties and printability characteristics of mechanical printing paper with LWC. BioResources, 8(3): 3646-3656.

[15]. 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(6): 559-564.

[16]. Osong, S.H., Norgren, S., and Engstrand, P. (2014). Paper strength improvement by inclusion of nano-ligno-cellulose to Chemi-thermomechanical pulp. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 29(2): 309-316.

[17]. Akbarpour, A., and Resalati, H. (2011). The effect of different concentrations of cellulase enzyme on optical and physical properties of ONP deinked pulp. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 2(1): 1-15.

[18]. Tajik, M., Resalati, H., Hamzeh, Y., Torshizi, H. J., and Kermanian, H. (2016). Improving the properties of soda bagasse pulp by using cellulose nanofibers in the presence of cationic polyacrylamide. BioResources, 11(4): 9126-9141.

[19]. Moradian, M.H., RezayatiCharani, P., and Saadatnia, M. (2015). improving paper breaking length using cellulosic nano fibers in bagasse pulp. Forest and Wood product, 69(3): 603–614. (In Persian).

[20]. Goli, M., Zabihzade, M., Mahdavi, S., and Sadaghifar, H. (2016). The effect of TCF bleaching before and after refining on the CMP pulp properties. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(3): 510-521.

[21]. Yazdani aghmashhadi, O., Asadpour atoee, Gh., Rasooly garmaroody, E., and Imani, R., (2015). Application of nano silver in the production of antibacterial bank-note. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 31(1):166-179.

[22]. Davodian, H., Asadpour, Gh., and Zabihzadeh, S.M. (2017). Effect of using dual composition of cationic starch-nano silica and nano cellulose-poly acrylamide on physical and strength properties of cotton papers. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 33(3): 428-437.

[23]. Hagemeyer, R. W. (1997). Pigments for Paper: A Project of the Coating Pigments Committee of TAPPI's Coating and Graphic Arts Division. TAPPI Press, Atlanta, GA.

www.SID.ir

Archive of SID

Utilization of nano-ligno-cellulose to be replaced with the imported long-fiber pulp in durable paper made from waste lint pulp

H. Heydari; M. Sc. Graduate, Department of Wood and Paper Engineering, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, I.R. Iran

J. Ebrahimpour Kasmani*; Assoc., Prof., Department of Wood and Paper Engineering, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, I.R. Iran

S. Mahdavi; Assoc., Prof., Wood and Forest Products Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran

(Received: 01 December 2019, Accepted: 21 February 2020)

Abstract

This study was done to replace the imported long-fiber chemical pulp (LFCP) by adding nano lignocellulose fiber (NLCF) and dual composition of nano-cationic starch (CS) and nano- cationic polyacrylamide (CPAM) for preparing durable paper made from waste lint recycling combing machine. For this purpose, 5% unbleached NLCF and 1% CS or 0.1% CPAM were mixed to waste lint pulp (WLP) as the control. The LFCP was added to the WLP in three amounts of 10%, 20%, and 30%. Also, CS and CPAM at three levels were used separately in WLP. Handsheets were made from 13 types of pulp compositions in grammage of 90 g/m^2 and their physical, mechanical and optical properties were measured according to the relevant standards. Based on the results, addition of 1% CS to the control pulp (except for the paper yellowness) could be a good substitution for the LFCP. Also, the addition of NLCF resulted in a significantly decrease of handsheet's brightness and an increase of handsheet's yellowness. Furthermore, double fold endurance and softness of handsheets decreased compared with the LFCP, which might be due to the accumulation of NLCF on the surface of the paper according to SEM images. The addition of 0.05% CPAM except for double fold endurance could improve the paper properties compared with using LFCP in WLP. Nano-particle dispersion somewhat improved using dual composition systems and the addition of nano-CS revealed that the paper strength improved compared with using NLCF alone and nano-CPAM.

Keywords: long fiber pulp, physical, mechanical, and optical properties, waste lint, durable paper, nano-lignocellulose fiber.

* Corresponding Author, Email: Jafar_ksmani@yahoo.com, Tel: +989112178035

www.SID.ir