

## تأثیر نانوالیاف سلولز کاتیونی شده و نانوالیاف سلولز - نشاسته کاتیونی بر ویژگی‌های خمیر کاغذ باگاس

میلاد تاجیک<sup>\*</sup>، حسین رسالتی<sup>۲</sup>، یحیی همزه<sup>۳</sup>، حسین جلالی ترشیزی<sup>۴</sup>، حسین کرمانیان<sup>۵</sup>، بهزاد کرد<sup>۶</sup>

۱. کارشناس ارشد گروه پژوهشی سلولزی و بسته‌بندی، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی، پژوهشگاه استاندارد، کرج

۲. استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۴. استادیار گروه مهندسی فناوری سلولز و کاغذ دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۵. دانشیار گروه مهندسی فناوری سلولز و کاغذ دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۶. استادیار گروه پژوهشی سلولزی و بسته‌بندی، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی، پژوهشگاه استاندارد، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹

### چکیده

امروزه استفاده از نانوالیاف سلولز رواج گسترده‌ای یافته است. این تحقیق با هدف بررسی عملکرد نانوالیاف سلولز کاتیونی و نانوالیاف سلولز-نشاسته کاتیونی انجام گرفت. در این پژوهش، نانوالیاف سلولز در سه سطح (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) با استفاده از ۳-کلرو-۲-هیدروکسی پروپیل تری‌متیل آمونیوم کلراید کاتیونی شده و به کمک آزمون کج‌دلال، اصلاح کاتیونی نانوسلولز تأیید شد. کارایی نانوالیاف کاتیونی شده سلولز در چهار سطح ۰/۱، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد (براساس وزن خشک خمیر کاغذ) بر ماندگاری و آبگیری از خمیر کاغذ و نیز ویژگی‌های کاغذ باگاس، با ترکیب نانوالیاف سلولز (سطوح کاربرد مشابه)، نشاسته کاتیونی (۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد براساس وزن خشک خمیر کاغذ) مقایسه شد. نتایج نشان داد اثر نوع و مقدار افزودنی‌های استفاده شده بر تمامی ویژگی‌های مقاومتی مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. کاربرد نانوالیاف سلولزی به صورت اصلاح شده و اصلاح نشده به همراه نشاسته کاتیونی به افزایش درجه روانی و ماندگاری خمیر کاغذ و نیز مقاومت به عبور هوا در کاغذ تولیدی آزمایشگاهی منجر شد، اما عملکرد نانوالیاف سلولز کاتیونی در بهبود ویژگی‌های مکانیکی به مراتب بهتر از ترکیب نانوالیاف سلولز/نشاسته کاتیونی بود. نانوالیاف سلولز کاتیونی به دلیل قابلیت برقراری پیوند یونی علاوه بر پیوند هیدروژنی، توزیع یکنواخت تری را در شبکه کاغذ موجب می‌شود و عملکرد بهتری را به عنوان زیست‌بسیار تقویت کننده کاغذ ایفا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: خمیر کاغذ باگاس، خواص مقاومتی، خواص نوری، نانوالیاف سلولز کاتیونی، نشاسته کاتیونی.

### مقدمه

خواص کاغذ و سازگاری با محیط زیست بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱-۴]. نانوالیاف سلولز را می‌توان از منابع مختلفی مثل چوب، ضایعات کشاورزی، گیاهان غیرچوبی، کاغذهای بازیافتی، باکتری‌ها یا جلبک‌ها تهیه کرد [۵-۷]. فایده شدن الیاف سلولز و تبدیل آن به نانوالیاف سلولز از طریق روش‌های مکانیکی، شیمیایی و

در سال‌های اخیر استفاده از نانوالیاف سلولز (NFC<sup>۱</sup>) در کاغذسازی به دلیل بهبود پیوندپذیری و اثر تقویتی بر روی

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۳۶۴۶۹۴۲

Email: milad.tajik67@yahoo.com  
1. Nanofibrillated cellulose

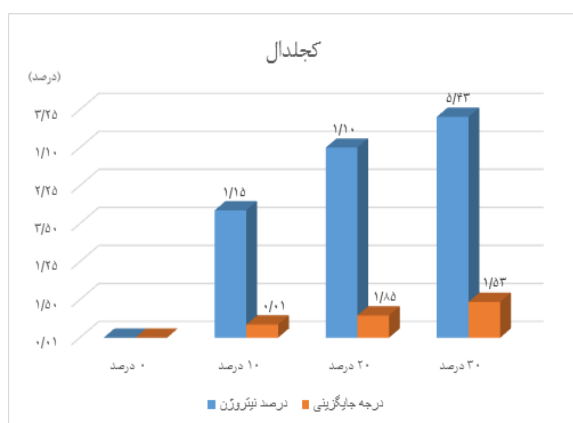
خمیر کاغذ رنگبری شده باگاس پرداختند و نتایج نشان داد که افزودن نانوالیاف سلولز و پلی‌اکریل آمید کاتیونی موجب بهبود فرایند آبگیری و افزایش ماندگاری شده است [۱۶]. با توجه به منابع علمی، تاکنون اثر نانوالیاف سلولز کاتیونی به‌عنوان تقویت‌کننده در خمیر کاغذ سودا باگاس بررسی نشده است. از این رو در این تحقیق اثر نانوالیاف سلولز کاتیونی به‌عنوان بهبوددهنده خواص خمیر کاغذ سودا حاصل از باگاس بررسی و با نانوالیاف سلولز/نشاسته کاتیونی مقایسه شد.

### مواد و روش‌ها

خمیر کاغذ سودا باگاس رنگبری شده از کارخانه کاغذ پارس هفت تپه با درجه روانی ۵۰۰ میلی‌لیتر CSF و نانوالیاف سلولز حاصل از خمیر آلفا سلولز سوزنی‌برگان از شرکت نانو نوین پلیمر با متوسط قطر الیاف ۳۲ نانومتر تهیه و در چهار سطح ۰/۱، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد براساس وزن خشک الیاف استفاده شد. عامل کاتیونی‌کننده (۳-کلرو-۲-هیدروکسی پروپیل) تری‌متیل آمونیوم کلراید (CHPTAC) از شرکت سیگما الدریج با غلظت ۶۰ درصد تهیه شد و در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزن خشک نانوالیاف سلولز به‌عنوان عامل کاتیونی‌کننده به‌منظور اصلاح بار سطحی نانوالیاف سلولزی تحت کنترل دمایی (۸۰ درجه سلسیوس) و زمانی (یک ساعت) به نانوالیاف سلولز اضافه شد.

نشاسته کاتیونی با درجه استخلاف ۰/۴۵ (۰/۴۳-۰/۴۷) از شرکت Siam Modified Starch تایلند حاوی گروه‌های آمونیوم نوع چهارم مستخرج از گیاه تاپیوکا<sup>۲</sup> تهیه و در سه سطح ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد براساس وزن خشک الیاف استفاده شد. به‌منظور آماده‌سازی نشاسته کاتیونی، محلول ۱ درصد آن روی هیتر به‌مدت ۳۰ دقیقه به آرامی گرم

آنزیمی امکان‌پذیر است [۸، ۹]. نانوالیاف سلولزی به‌دلیل بار سطحی آنیونی مشابه با سلولز، به تنهایی قادر به جذب مؤثر و توزیع یکنواخت در شبکه کاغذ نیستند. از این رو برای افزایش کارایی آنها در کاغذسازی، باید با اصلاح سطحی و تغییر بار سطحی الیاف، کاتیونی شوند یا به‌همراه یک پلیمر کاتیونی به‌عنوان بهبوددهنده کارایی به‌کار روند [۳]. در هر دو سازوکار مورد اشاره، امکان نزدیکی، نشست و بهبود جذب و شکل‌گیری وجود دارد و به این ترتیب سبب افزایش پیوندپذیری بین الیاف و نانوالیاف، افزایش ماندگاری و آبگیری می‌شود [۱۰-۱۳]. نانوالیاف سلولزی را می‌توان با استفاده از (۳-کلرو-۲-هیدروکسی پروپیل) تری‌متیل آمونیوم کلراید (CHPTAC) کاتیونی کرد [۱]. آلکالا و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی از NFC در خمیر رنگبری‌نشده پهن‌برگان کرافت به‌عنوان تقویت‌کننده و از نشاسته کاتیونی به‌عنوان کمک‌نگهدارنده استفاده کردند و نتایج نشان داد با افزودن نانوالیاف سلولز مقاومت‌های مکانیکی به‌طور خطی افزایش می‌یابد [۱۴]. حسن و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی اثر استفاده از نانوالیاف سلولزی میکروفیبریله‌شده (MFC) و الیاف سلولزی میکروفیبریله اکسیدشده به‌روش تمپو (TMFC) حاصل از ساقه نخل بر خمیر کاغذ باگاس و خمیر کاغذ الیاف بلند سوزنی‌برگان را بررسی کردند. نانوالیاف سلولز در چهار سطح ۲/۵، ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد به‌کار رفت و نتایج نشان داد خواص مقاومتی تا ۲۰ درصد افزایش یافته است. اگرچه نانوالیاف سلولزی میکروفیبریله‌شده و نانوالیاف اصلاح‌شده مقاومت کاغذ حاصل از باگاس و الیاف بلند سوزنی‌برگان را افزایش می‌دهد، این اثرگذاری در خمیر کاغذ باگاس بیشتر بوده است [۱۵]. تاجیک و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر پلی‌اکریل آمید کاتیونی و نانوالیاف سلولز بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری



شکل ۱. نتایج تست کجدال کاتیونی کردن نانوالیاف سلولز

### درجه روانی و ماندگاری

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، درجه روانی ابتدا با افزودن نانوالیاف همراه با نشاسته کاتیونی افزایش پیدا کرده است، به نحوی که درجه روانی نمونه شاهد ۵۰۰ میلی‌لیتر در بیشترین مقدار کاربرد نشاسته کاتیونی به ۶۳۲ میلی‌لیتر و در بیشترین مقدار کاربرد نانوالیاف سلولز کاتیونی به ۶۴۱ میلی‌لیتر رسید. این درحالی است که با افزایش مقدار نانوالیاف سلولز-نشاسته کاتیونی درجه روانی در کمترین حالت به ۴۱۷ میلی‌لیتر و در نانوالیاف سلولز کاتیونی به ۵۶۴ میلی‌لیتر رسید که اثر مطلوب ناشی از کاربرد این ماده است. احتمالاً افزودن نانوالیاف سلولز کاتیونی به سبب تشکیل دلمه الیاف-نرمه‌ها سبب جلوگیری از حرکت آزاد نرمه‌ها و جلوگیری از انسداد مجاری خروج آب از خمیر توسط نرمه‌ها و در نتیجه افزایش درجه روانی آن شده است [۴، ۱۴، ۱۶]. همچنین به دلیل رفتار آبریزی گروه‌های کاتیونی، با افزایش مصرف نانوالیاف سلولز کاتیونی نیز درجه روانی نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است. ولی، در خمیر کاغذ حاوی نانوالیاف سلولز-نشاسته کاتیونی به دلیل آبدوستی این مواد، رفتار ژله‌ای، قابلیت جذب و نگهداری زیاد آب موجب افزایش گرانیوی سوسپانسیون و کاهش درجه روانی می‌شود [۱۶].

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، ماندگاری

شد تا به دمای ۹۵ درجه سلسیوس برسد. سپس در این دما به مدت ۳۰ دقیقه دیگر حرارت داده شد تا گرانول‌های نشاسته کاملاً باز شوند. برای بررسی کیفیت مناسب نشاسته گرانیوی نمونه‌های نشاسته به وسیله دستگاه ویسکومتر بروکفیلد مدل DV-III و با استفاده از محلول ۱ درصد نشاسته و اسپیندل شماره ۲ در زمان قبل و بعد از پخت اندازه‌گیری شد. مقدار گرانیوی محلول ۱ درصد نشاسته کاتیونی پیش و پس از پخت به ترتیب ۵۰۶ و ۶۴ سانتی‌پواز تعیین شد. نشاسته کاتیونی پس از آماده‌سازی خمیر کاغذ باگاس به مدت ۲ دقیقه در شدت تلاطم ۳۰۰ دور در دقیقه به سوسپانسیون اضافه شد و سپس نانوالیاف سلولز در همان دور و در طی مدت زمان ۲ دقیقه به سوسپانسیون اضافه شد. کاغذهای دست‌ساز با جرم پایه ۶۰ گرم بر متر مربع تهیه شد و آزمون‌های مورد نیاز براساس استانداردهای آیین‌نامه TAPPI در شرایط دمای ۲۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۰ درصد انجام گرفت [۱۷]. برای بررسی پیوندیابی و نحوه پراکنش نانوالیاف سلولزی و تهیه ریزنگاره از نمونه‌های کاغذ از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل HITACHI ساخت ژاپن استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### آزمون کجدال و درجه جایگزینی

مطابق با نتایج شکل ۱، درصد نیتروژن در نمونه‌های شاهد و نمونه‌های تیمار شده با استفاده از ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد CHPTAC متفاوت است. با افزایش مقدار مصرف CHPTAC، درصد نیتروژن موجود در نانوالیاف و به تبع آن درجه جایگزینی (DS) افزایش یافت. نتایج آزمون کجدال علاوه بر اثبات موفقیت در کاتیونی کردن نانوالیاف سلولز، نشان داد که مقدار مصرف عامل کاتیونی‌کننده از عوامل مؤثر بر DS است [۱۸-۱۹].

#### 1. Degree of substitution

کاتیونی-نانوالیاف سلولز ۲۹ درصد و در نمونه حاوی بیشترین مقدار نانوالیاف سلولز کاتیونی ۲۷ درصد افزایش پیدا کرد. نانوالیاف به دلیل سطح ویژه بالا و ایجاد درگیری فیزیکی بین نانوالیاف و الیاف باگاس سبب افزایش تعداد پیوند هیدروژنی و افزایش سطح پیوند بین الیاف می‌شود که افزایش پیوند بین الیاف می‌تواند قدرت شبکه‌ای الیاف را افزایش دهد و با افزایش پیوند مانع از لغزش الیاف شود و به استحکام شبکه لیفی بینجامد. از طرفی حضور عوامل کاتیونی سبب توزیع یکنواخت‌تر نانوالیاف سلولزی در شبکه کاغذ و پراکنش یکنواخت تنش در اثر اعمال نیرو می‌شود [۱۳-۱۶].

مقاومت به پارگی در نمونه حاوی نانوالیاف سلولز کاتیونی در کلیه تیمارها نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت که بیشترین افزایش ۱۱ درصد بوده است. اما در نمونه حاوی نانوالیاف سلولز-نشاسته کاتیونی تغییرات روند مشخصی ندارد و گاه مقاومت به پارگی نسبت به نمونه شاهد کاهش و گاه افزایش می‌یابد. تغییرات به طور کلی زیاد نیست، به طوری که بیشترین کاهش نسبت به نمونه شاهد ۳ درصد و بیشترین افزایش نسبت به نمونه شاهد ۱ درصد است. در مقاومت به پارگی، الیاف بلند تمایل بیشتری به پراکنده کردن تنش نسبت به الیاف کوتاه دارند، چراکه در الیاف کوتاه تنش در محل کوچک‌تری متمرکز است، اما در مورد نانوالیاف سلولز توضیح احتمالی این است که با توجه به استحکام پیوند بیشتر انتقال تنش در میان الیاف به وجود می‌آید که سبب مقاومت بیشتر می‌شود.

#### ویژگی‌های نوری

مطابق نتایج جدول ۲، درجه ماتی نمونه شاهد ۸۲/۴۴ درصد است که با افزودن نانوالیاف سلولز کاتیونی و نانوالیاف سلولز-نشاسته کاتیونی دچار تغییرات اندکی شد.

نمونه شاهد از ۹۰/۵۷ درصد، به ۹۶/۷۲ درصد در کاغذهای حاوی نانوالیاف سلولز کاتیونی و در نمونه حاوی نشاسته کاتیونی و نانوالیاف سلولز به ۹۳/۷۴ درصد افزایش یافت. نانوالیاف سلولز کاتیونی و نانوالیاف سلولز-نشاسته کاتیونی به دلیل داشتن گروه‌هایی با بار کاتیونی سبب ایجاد جاذبه الکترواستاتیکی بین ذرات موجود در خمیر کاغذ می‌شود و در نتیجه به افزایش ماندگاری می‌انجامد. از بین تیمارهای مورد نظر، نانوالیاف سلولز کاتیونی عملکرد بسیار مناسب‌تری از خود نشان داد و ماندگاری بیشتری نسبت به نمونه شاهد و نشاسته کاتیونی-نانوالیاف سلولز داشت که می‌تواند سبب بازده بیشتر در تولید شود.

#### مقاومت به عبور هوا

مقاومت به عبور هوا در نمونه شاهد  $20/82 \text{ cm}^3/\text{s}$  بود. این ویژگی در نمونه کاغذ حاوی نشاسته کاتیونی-نانوالیاف سلولز ۱۷۸ درصد و در نمونه کاغذ حاوی نانوالیاف سلولز کاتیونی ۲۶۸ درصد افزایش یافت. نانوالیاف سلولز کاتیونی به دلیل ماندگاری بیشتر و باقی ماندن نرمه‌ها در شبکه کاغذ، همچنین به دلیل توزیع یکنواخت‌تر در شبکه کاغذ سبب افزایش مقاومت در برابر نفوذ هوا می‌شوند [۱۳، ۱۴، ۱۶].

#### شاخص مقاومت به کشش، ترکیدن و مقاومت به پارگی

شاخص مقاومت به کشش و ترکیدگی با افزودن نانوالیاف سلولز کاتیونی و نانوالیاف سلولز-نشاسته کاتیونی افزایش یافت. مقاومت به کشش در نمونه شاهد  $27/80$  نیوتن متر بر گرم و در بیشترین نمونه نشاسته کاتیونی-نانوالیاف سلولز ۴۹ درصد و در بیشترین نمونه نانوالیاف سلولز کاتیونی ۳۱ درصد افزایش یافت. مقاومت به ترکیدگی در نمونه شاهد  $1/78$  کیلوپاسکال متر مربع بر گرم است که این مقدار در نمونه حاوی بیشترین مقدار نشاسته

جدول ۱. مقایسه نتایج خواص فیزیکی و مقاومتی نانوالیاف سلولز کاتیونی و نشاسته کاتیونی-نانوالیاف سلولز

تیمار	عامل کاتیونی (درصد)	نانوالیاف سلولز (درصد)	درجه روانی (CSF)	ماندگاری (درصد)	ضخامت (میکرون)	بالک (cm <sup>3</sup> /g)	مقاومت به عبور هوا (cm <sup>3</sup> /s)	شاخص مقاومت به کشش (Nm/g)	شاخص مقاومت به ترکیب (Kpam <sup>2</sup> /g)	شاخص مقاومت به پارگی (mNm <sup>2</sup> /g)
شاهد	+	+	۵۰+	۹۰/۵۷	+/۱۱۴	۱/۹۳	۲۰/۸۲	۲۷/۸	۱/۷۸	۷/۷۱
۱۰		-/۱	۶۴۱	۹۴/۲۴	-/۱۲۰	۱/۹۵	۲۶/۹۷	۳۱/۵۶	۱/۹۸	۷/۷۲
		-/۵	۶۰۴	۹۵/۲۸	+/۱۲۳	۱/۹۶	۳۹/۶۷	۳۱/۱۷	۲/۱۰	۷/۹۳
		۱	۵۸۴	۹۴/۸۹	-/۱۲۱	۱/۹۳	۵۳/۸۳	۳۴/۶۰	۲/۱۲	۸/۰۲
		۲	۵۶۴	۹۶/۲۷	-/۱۲۰	۱/۹۰	۷۶/۵۷	۲۷/۲۰	۲/۲۷	۷/۷۵
۲۰		-/۱	۶۴۱	۹۴/۴۹	+/۱۱۷	۱/۹۰	۳۲/۸۰	۳۲/۰۹	۲/۰۶	۸/۰۳
		-/۵	۶۰۸	۹۵/۹۸	-/۱۱۸	۱/۹۱	۵۲/۲۰	۳۳/۰۴	۲/۲۱	۸/۰۰
		۱	۵۸۸	۹۴/۸۴	-/۱۱۸	۱/۹۲	۶۱/۳۳	۳۵/۶۶	۲/۲۳	۸/۰۲
		۲	۵۸۳	۹۵/۴۲	-/۱۲۱	۱/۹۴	۶۴/۰۰	۳۶/۵۰	۲/۲۶	۷/۸۶
۳۰		-/۱	۶۴۱	۹۴/۶۱	-/۱۱۸	۱/۸۹	۳۴/۹۷	۳۳/۱۳	۲/۰۲	۸/۵۱
		-/۵	۶۱۲	۹۶/۲۷	+/۱۲۳	۱/۹۴	۳۸/۳۲	۳۳/۸۳	۲/۱۳	۷/۹۷
		۱	۵۹۷	۹۵/۵۳	-/۱۲۲	۱/۹۴	۵۳/۵۴	۳۴/۹۷	۲/۲۰	۸/۰۴
		۲	۵۸۷	۹۶/۷۲	-/۱۲۰	۱/۸۸	۵۷/۳۳	۳۵/۵۴	۲/۱۱	۷/۹۱
۰/۲		-/۱	۶۳۳	۹۰/۶۲	+/۱۲۷	۲/۱۵	۴۰	۳۶/۴۴	۱/۹۶	۷/۶۹
		-/۵	۵۷۵	۹۱/۳۶	-/۱۱۹	۲/۰۳	۴۲	۳۷/۶۲	۲/۰۱	۷/۸۹
		۱	۴۵۳	۹۲/۱۷	-/۱۱۱	۱/۸۴	۴۴/۹۷	۳۸/۱۹	۲/۱۱	۷/۵۹
		۲	۴۱۷	۹۲/۶۳	+/۱۰۹	۱/۸۲	۵۲/۸۸	۳۶/۵۶	۲/۰۵	۷/۸۱
۰/۴		-/۱	۶۳۲	۹۰/۶۹	-/۱۲۳	۲/۱۴	۴۲/۰۷	۳۸/۳۳	۲/۰۵	۷/۷
		-/۵	۶۰۰	۹۱/۶۵	-/۱۲۲	۲/۰۲	۴۴/۵۹	۳۹/۷۱	۲/۱	۷/۵۳
		۱	۴۵۷	۹۲/۲۶	-/۱۱۰	۱/۸۳	۴۷/۸۹	۳۸/۷۱	۲/۱۵	۷/۶۹
		۲	۴۲۸	۹۳/۴۱	-/۱۱۱	۱/۸۲	۵۴/۱۹	۳۸/۳۵	۲/۱۶	۷/۴۷
۰/۶		-/۱	۶۲۰	۹۱/۱۸	+/۱۲۷	۲/۱۳	۴۲/۶۹	۳۸/۲۳	۲/۰۷	۷/۸
		-/۵	۶۰۰	۹۲/۰۵	-/۱۲۰	۲	۴۶/۳۱	۳۹/۵۸	۲/۲۳	۷/۶۳
		۱	۴۴۸	۹۲/۸۶	-/۱۱۱	۱/۸۳	۵۱/۱۴	۴۰/۱	۲/۲۵	۷/۷۶
		۲	۴۳۳	۹۳/۷۴	-/۱۱۱	۱/۸۱	۵۶/۰۵	۴۱/۳	۲/۳	۷/۵۲

جدول ۲. مقایسه نتایج خواص نوری نانوالیاف سلولز کاتیونی و نشاسته کاتیونی / نانوالیاف سلولز

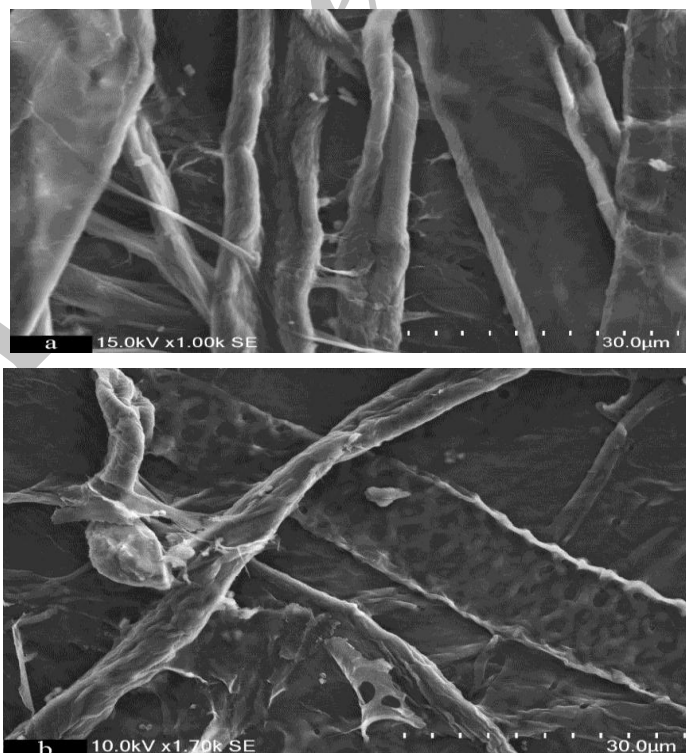
تیمار	عامل کاتیونی (درصد)	نانوالیاف سلولز (درصد)	درجه ماتی (درصد)	درجه روشنی (درصد ایزو)	درجه سفیدی (درصد)	درجه زردی (درصد)	ضریب جذب نور (m <sup>2</sup> /Kg)	ضریب پخش نور (m <sup>2</sup> /Kg)
شاهد	+	+	۸۲/۴۴	۷۰/۳۵	۷۲/۷۸	۵/۶۷	+/۶۸	۴۰/۵۴
۱۰		-/۱	۸۱/۳۶	۷۲/۳۳	۸۱/۵۵	۵/۸۳	۱/۱۷	۴۷/۴۸
		-/۵	۸۱/۶۰	۷۱/۵۳	۸۱/۸۰	۵/۸۴	۰/۹۴	۴۷/۹۲
		۱	۸۲/۱۸	۷۱/۸۵	۸۱/۶۲	۵/۸۵	۰/۸۹	۳۸/۰۶
		۲	۸۱/۸۳	۷۱/۵۵	۸۱/۹۰	۵/۸۶	۱/۰۵	۳۷/۶۹
۲۰		-/۱	۸۱/۴۴	۷۲/۳۳	۸۱/۳۳	۵/۸۶	۰/۸۹	۵۳/۵۲
		-/۵	۸۱/۸۳	۷۱/۶۸	۸۰/۷۰	۵/۸۸	۰/۸۸	۳۹/۰۱
		۱	۸۲/۷۰	۷۱/۵۳	۸۰/۵۰	۵/۸۸	+/۸۰	۳۷/۵۶
		۲	۸۲/۰۳	۷۲/۳۰	۸۱/۳۸	۵/۸۵	۰/۹۴	۳۷/۵۶
۳۰		-/۱	۸۱/۵۲	۷۲/۳۰	۷۷/۲۰	۵/۸۷	۰/۹۵	۵۳/۱۰
		-/۵	۸۲/۳۲	۷۲/۴۲	۸۱/۶۷	۵/۸۳	۰/۸۷	۳۹/۵۶
		۱	۸۲/۹۴	۷۲/۳۸	۸۱/۵۵	۵/۸۴	۰/۸۲	۳۸/۵۹
		۲	۸۲/۳۸	۷۲/۴۴	۸۱/۲۰	۵/۸۶	۰/۹۴	۳۶/۶۳
۰/۲		-/۱	۸۵/۳۴	۶۵/۰۶	۷۹/۱۴	۵/۸	۱/۰۵	۳۹/۱۵
		-/۵	۸۲/۳۱	۶۴/۹۳	۸۱/۲۷	۵/۷۸	۰/۸۸	۴۴/۱۳
		۱	۸۱/۴۴	۶۵/۷۵	۸۱/۹۸	۵/۷۴	۰/۸	۳۶/۱۴
		۲	۸۲/۶۵	۶۶/۶	۸۰/۰۸	۵/۷۹	۱/۰۱	۳۶/۸۹
۰/۴		-/۱	۸۲/۸۵	۶۶/۹۳	۸۱/۲۱	۵/۷۷	۰/۸۹	۴۴/۴
		-/۵	۸۱/۶۸	۶۵/۱۸	۸۱/۰۸	۵/۷۷	۰/۸۸	۳۶/۱۱
		۱	۸۱/۴۲	۶۶/۹۳	۸۲/۲۱	۵/۷۳	+/۷۷	۳۵/۷
		۲	۸۲/۲۹	۶۸/۹۵	۸۱/۸۲	۵/۷۵	۰/۸۷	۳۷/۱
۰/۶		-/۱	۸۳/۱۸	۶۷/۰۴	۸۰/۹۹	۵/۷۸	۰/۹۷	۴۴/۵۲
		-/۵	۸۱/۵۶	۶۶/۱۵	۸۱/۳۷	۵/۷۶	۰/۸۳	۳۵/۴۷
		۱	۸۱/۴۱	۶۷/۲۲	۸۲/۶۲	۵/۷۱	۰/۷۹	۳۷/۱۴
		۲	۸۲/۲۸	۶۹/۱۴	۸۱/۸۳	۵/۷۵	۰/۸۷	۳۶/۸۹

نانوالیاف سلولز به دلیل افزایش پیوندپذیری سبب پر شدن فضای خالی بین الیاف می‌شود و ضریب پخش نور کاهش می‌یابد. مقدار زردی و ضریب جذب نور به‌طور کلی با افزایش درصد نانوالیاف، نسبت به نمونه شاهد افزایش و سفیدی کاهش پیدا کرد. گروه‌های کاتیونی سبب تثبیت عوامل رنگی در کاغذ می‌شوند که این امر به کاهش روشنی، سفیدی و افزایش زردی در کاغذ می‌انجامد.

#### ریخت‌شناسی

در تصاویر a-2 و b-2 تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه حاوی نانوالیاف سلولز کاتیونی و نانوالیاف سلولز-نشاسته کاتیونی مشاهده می‌شود که افزودن نانوالیاف سلولز کاتیونی و نانوالیاف سلولز-نشاسته کاتیونی سبب افزایش پیوندپذیری، تراکم بیشتر الیاف، پر شدن فضای خالی بین الیاف و ماندگاری بیشتر نرمه‌ها شده است.

در هر دو تیمار روند تغییرات ماتی نامشخص است، به طوری که گاهی ماتی افزایش و گاهی کاهش یافت. بیشترین ماتی در نمونه حاوی نشاسته ۸۵/۳۴ درصد و کمترین مقدار ۸۱/۴۱ درصد است، در حالی که این تغییرات در نمونه حاوی نانوالیاف سلولز کاتیونی به ترتیب ۸۲/۹۴ و ۸۱/۴۴ درصد است [۱۶، ۱۵، ۱۳]. در اثر کاربرد نانوالیاف سلولز کاتیونی درجه روشنی و سفیدی افزایش و در اثر کاربرد نانوالیاف سلولز-نشاسته کاتیونی درجه روشنی کاهش یافت. روشنی در نمونه شاهد ۷۰/۳۵ درصد است. این مقدار در نمونه حاوی نشاسته کاتیونی در بیشترین سطح به ۶۹/۱۴ درصد و در کمترین سطح به ۶۴/۹۳ درصد رسید. بیشترین مقدار روشنی در نمونه حاوی نانوالیاف سلولز کاتیونی به ۷۲/۴۴ درصد و در کمترین سطح به ۷۱/۵۳ درصد کاهش یافت. ضریب پخش نور در نمونه شاهد ۴۰/۵۴ است که به طور کلی در مقدار کم نانوالیاف ضریب پخش افزایش و با افزایش درصد نانوالیاف ضریب پخش کاهش می‌یابد.



شکل ۲. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه کاغذ باگاس و نانوالیاف سلولزی کاتیونی (a) و کاغذ باگاس و نانوالیاف سلولزی - نشاسته کاتیونی (b) با بزرگنمایی ۱۸۰۰ برابر

## نتیجه گیری

کاغذ باگاس، خواص مقاومتی کاغذ دست‌ساز را به‌طور چشمگیری افزایش داد، اما در مقایسه بین دو تیمار، نانوالیاف سلولز کاتیونی سبب افزایش بیشتر شاخص مقاومت به کشش، شاخص مقاومت به ترکیدن و شاخص مقاومت به پارگی شد. اما، نشاسته کاتیونی-نانوالیاف سلولز موجب افزایش شاخص مقاومت به کشش و شاخص مقاومت به ترکیدن شد. به‌طور کلی افزودن نانوالیاف سلولز کاتیونی و نشاسته کاتیونی-نانوالیاف سلولز سبب بهبود خواص فیزیکی، خواص نوری و خواص مقاومتی خمیر کاغذ باگاس شد، اما نانوالیاف سلولز کاتیونی به‌مراتب عملکرد بهتری نشان داد. مشخص شد که کاربرد ۲ درصد نانوالیاف سلولز کاتیونی در مقادیر ۲۰ و ۳۰ درصد استفاده از عامل کاتیونی‌کننده، از نظر بهبود ویژگی‌های کاغذ نسبت به نمونه شاهد، بهترین تیمار در بین تیمارهای انجام‌گرفته در این تحقیق است.

افزودن نانوالیاف سلولز کاتیونی در کلیه تیمارها سبب افزایش درجه روانی در خمیر کاغذ باگاس شد و عملکرد بسیار بهتری نسبت به نشاسته کاتیونی-نانوالیاف سلولز از خود نشان داد که فرایند آبیگری و سرعت بخشیدن به تولید را تسهیل می‌بخشد. هر دو نوع تیمار سبب افزایش ماندگاری نسبت به نمونه شاهد شدند، اما نانوالیاف سلولز کاتیونی، ماندگاری را ۳ درصد نسبت به نشاسته کاتیونی-نانوالیاف سلولز بیشتر افزایش داد که می‌تواند موجبات بازده و سود بیشتر را در تولید فراهم کند. در خصوص خواص نوری نیز نانوالیاف سلولز کاتیونی عملکرد بهتری نسبت به نشاسته کاتیونی-نانوالیاف سلولز از خود نشان داد، به‌نحوی که درجه ماتی، درجه روشنی، درجه سفیدی بیشتر و درجه زردی کمتری داشت. با افزودن نانوالیاف سلولز کاتیونی و نشاسته کاتیونی-نانوالیاف سلولز به خمیر

## References

- [1]. Tajik, M., Resalati, H., and Jalali Torshizi, H. (2014). Nano-Cellulose and its high potential of for use in the wood and paper industry and other industries. Second National Conference on New Technologies in Wood and Paper, 22-23. December, Chalous, Iran.
- [2]. Mandal, A., and Chakrabarty, D. (2011). Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization. *Carbohydrate Polymers*, 86(3): 1291-1299.
- [3]. Habibi, Y. (2014). Key advances in the chemical modification of nanocelluloses. *Chemical Society Reviews*, 4(5): 1519-1542.
- [4]. Dimic-Misic, K., Puisto, A., Paltakari, J., Alava, M., and Maloney, T. (2013). The influence of shear on the dewatering of high consistency nanofibrillated cellulose furnishes. *Cellulose*, 20(4): 1853-1864.
- [5]. Kim, J.H., Shim, B.S., Kim, H.S., Lee, Y.J., Min, S.K., Jang, D., and Kim, J. (2015). Review of nanocellulose for sustainable future materials. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 2(2): 197-213.
- [6]. Josset, S., Orsolini, P., Siqueira, G., Tejado, A., Tingaut, P., and Zimmermann, T. (2014). Energy consumption of the nanofibrillation of bleached pulp, wheat straw and recycled newspaper through a grinding process. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 29 (1), 167-175.
- [7]. Siró, I., and Plackett, D. (2010). Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose*, 17(3): 459-494.
- [8]. Henriksson, M., Berglund, L.A., Isaksson, P., Lindstrom, T., and Nishino, T. (2008). Cellulose nanopaper structures of high toughness. *Biomacromolecules*, 9(6): 1579-1585.
- [9]. Zimmermann, T., Bordeanu, N., and Strub, E. (2010). Properties of nanofibrillated cellulose from different raw materials and its reinforcement potential. *Carbohydrate Polymers*, 79(4): 1086-1093.
- [10]. Hubbe, M.A. (2007). Bonding between cellulosic fibers in the absence and presence of dry-strength agents—A review. *BioResources*, 1(2): 281-318.

- [11]. Vandamme, D., Foubert, I., Meesschaert, B., and Muylaert, K. (2010). Flocculation of microalgae using cationic starch. *Journal of Applied Phycology*, 22(4): 525-530.
- [12]. Haack, V., Heinze, T., Oelmeyer, G., and Kulicke, W.M. (2002). Starch derivatives of high degree of functionalization, 8. Synthesis and flocculation behavior of cationic starch polyelectrolytes. *Macromolecular Materials and Engineering*, 287(8): 495-502.
- [13]. Delgado-Aguilar, M., González, I., Pèlach, M.A., De La Fuente, E., Negro, C., and Mutjé, P. (2015). Improvement of deinked old newspaper/old magazine pulp suspensions by means of nanofibrillated cellulose addition. *Cellulose*, 22(1): 789-802.
- [14]. Alcalá, M., González, I., Boufi, S., Vilaseca, F., and Mutjé, P. (2013). All-cellulose composites from unbleached hardwood kraft pulp reinforced with nanofibrillated cellulose. *Cellulose*, 20(6): 2909-2921.
- [15]. Hassan, M.L., Bras, J., Mauret, E., Fadel, S.M., Hassan, E.A., and El-Wakil, N.A. (2015). Palm rachis microfibrillated cellulose and oxidized-microfibrillated cellulose for improving paper sheets properties of unbeaten softwood and bagasse pulps. *Industrial Crops and Products*, 64, 9-15.
- [16]. Tajik, M., Resalati, H., Hamzeh, Y., Torshizi, H.J., Kermanian, H., and Kord, B. (2016). Improving the Properties of Soda Bagasse Pulp by Using Cellulose Nanofibers in the Presence of Cationic Polyacrylamide. *BioResources*, 11(4): 9126-9141.
- [17]. Technical Association of Pulp and Paper Industry. (2009). *Standard Test Methods*. Tappi Press, Atlanta, GA. USA.
- [18]. Liu, J., Yang, R., and Yang, F. (2014). Effect of the Starch Source on the Performance of Cationic Starches having Similar Degree of Substitution for Papermaking using Deinked Pulp. *BioResources*, 10(1): 922-931.
- [19]. Cho, A., Choi, S. H., Choi, H. W., Kim, H. S., Kim, W., Kim, D. O., and Baik, M. Y. (2013). Characterization of cationic dextrin prepared by ultra-high pressure (UHP)-assisted cationization reaction. *Carbohydrate polymers*, 97(1): 130-137.

Archive of SID



## Effect of Cationic Nanofibrillated Cellulose and Nanofibrillated Cellulose-Cationic Starch on Properties of Soda Bagasse Pulp

**M. Tajik\***; M.Sc. Department of Paper and Packaging Technology, Faculty of Chemistry and Petrochemical Engineering, Standard Research Institute (SRI), Karaj, I.R. Iran.

**H. Resalati**; Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, University of Sari, Sari, I.R. Iran.

**Y. Hamzeh**; Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

**H. Jalali Torshizi**; Assist. Professor, Department of Cellulose and Paper Technology, Shahid Beheshti University, Tehran, I.R. Iran.

**H. Kermanian**; Assoc. Professor, Department of Cellulose and Paper Technology, Shahid Beheshti University, Tehran, I.R. Iran.

**B. Kord**; Assist. Professor, Department of Paper and Packaging Technology, Faculty of Chemistry and Petrochemical Engineering, Standard Research Institute (SRI), Karaj, I.R. Iran.

(Received: 15 May 2016, Accepted: 08 January June 2017)

### ABSTRACT

In recent years, the use of nano fibrillated cellulose (NFC) have been received a great attention. In this study, NFC cationized at three levels of 10, 20 and 30 wt% using 3-chloro-2-hydroxypropyl tri-methyl ammonium chloride (CHPTAC) and the cationic modification verified by Kjeldahl test. Then, the effects of the cationic nano fibrillated cellulose (CNFC) which were added to the bagasse pulp at four levels (0.1, 0.5, 1, and 2% based on OD pulp) on retention, drainage, and also the laboratory handsheet properties were assessed and compared with complex mechanism containing NFC (at the same addition levels of CNFC)/cationic starch (0.2, 0.4 and 0.6% based on OD pulp). The results showed that the type and amount of the additives have significant effects on all the optical and strength properties of paper. Using NFC, whether as unmodified together with cationic starch or as solely modified, made an increment in freeness and retention of the bagasse pulp and also, air permeance of the handsheet, and led to superior mechanical performance of CNFC in comparison with NFC/cationic starch. CNFC poses ionic bonding ability in addition to its hydrogen bonding, which in turn resulted in its more evenly distribution across the paper network and better performance as promoter biopolymer of paper. Furthermore, utilization of CNFC caused increment and NFC/cationic starch caused decline in brightness of paper, produced from bagasse pulp.

**Keywords:** Bagasse paper, Cationic starch, CNFC, Mechanical properties, NFC, Optical properties.

\* Corresponding Author, Email: milad.tajik67@yahoo.com, Tel: +989123646942