تاثیر استفاده از نانوالیاف سلولزی و نشاسته کاتیونی بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی

رامین ویسی[1*]
مجید کیائی[1]
علیرضا نیکبخت[2]

[1] دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

[2] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

مسئول مکاتبات:
vaysi_r452@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴

چکیده

این تحقیق باهدف بررسی تأثیر استفاده از نانو الیاف سلولزی و نشاسته کاتیونی بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) انجام شد. به همین منظور، ابتدا مقداری ازخمیرشیمیایی-مکانیکی (CMP) رنگبری شده کارخانه چوب و کاغذ مازندران به‌عنوان نمونه شاهد انتخاب شد. سپس نانو الیاف سلولزی به‌صورت ژل سفیدرنگ خریداری و در ۴ سطح ۰، ۲، ۳ و ۴ درصد استفاده گردید. همچنین نشاسته کاتیونی با ۳ سطح ۰ و۰/۳ و۰/۶ درصد و خمیر الیاف بلند وارداتی در دو سطح ۰ و ۵ درصد به سوسپانسیون خمیرکاغذCMP حاصل اضافه شد. از خمیرکاغذهای مذکور کاغذهایی با وزن پایه ۶۰ gr/m^2 تهیه و خواص نوری و مقاومتی آن‌ها طبق آزمون‌های استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه گردید. نتایج نشان داد که با افزودن نانو سلولز روشنی، فاکتور*a، مقاومت‌های پارگی، کششی، ترکیدن و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل افزایش، اما ماتی و سبزرنگی در کاغذ حاصل کاهش‌یافته است. نتایج نشان داد که با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی، همزمان با افزودن ۳ تا ۴ نانو سلولز، باعث بهبود تمامی ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذ حاصل بجز سبزرنگی و مقاومت به ترکیدن شده است. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی به همراه ۴ درصد نانو سلولز نیز باعث بهبود اکثر ویژگی‌ها بجز روشنی و مقاومت کششی شده است.

واژگان کلیدی: نانو سلولز، خمیرکاغذ CMP، نشاسته کاتیونی، الیاف بلند وارداتی.

مقدمه

خمیرکاغذهای شیمیایی- مکانیکی و مکانیکی در مقایسه با خمیرکاغذهای شیمیایی به دلیل استفاده بیشتر از انرژی مکانیکی و تخریب بیشتر در الیاف، متوسط طول الیاف کمتر، نرمه‌های بیشتر و ماندگاری کمتر نرمه‌ها و پرکننده‌ها، لیگنین باقیمانده بیشتر و ویژگی‌های مقاومتی کمتر، در ساخت کاغذهای باکیفیت، از مطلوبیت کمتری برخوردار هستند؛ اما به خاطر راندمان بیشتر و خصوصیات چاپ پذیری بهتر، از این خمیرکاغذها معمولاً برای تولید کاغذهای روزنامه، چاپ و تحریر مدارس و مقوا استفاده می‌گردد. دراین‌ارتباط، سالیانه حدود ۵۲۰۰۰ تن کاغذ روزنامه و ۳۸۰۰۰ تن کاغذ چاپ و تحریر در کارخانه چوب و کاغذ مازندران و از خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) و از چوب‌های ممرز، راش و صنوبر تولید می‌گردد. برای بهبود قابلیت حرکت‌پذیری کاغذ در حین تولید و چاپ، نیاز به بکارگیری حدود ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی است [۱]. وارداتی بودن این نوع خمیرکاغذ باعث ایجاد وابستگی و همچنین صرف و خروج مقادیر زیادی ارز

از کشور می‌گردد. دراین ارتباط، نانو ذرات سلولزی از پتانسیل زیادی در تقویت شبکه کاغذ برخوردارند و از سلولز یعنی فراوان‌ترین ماده آلی خام موجود در طبیعت تهیه می‌شوند، که علاوه بر فراوانی، تجدید پذیری، سختی و مقاومت زیاد، بار الکتریکی منفی، وزن ملکولی کم و قابلیت تقویت و برقراری پیوندهای قوی در کاغذ را داشته و مورد توجه در این تحقیق قرارگرفته است. نانو ذرات سلولزی قطری در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند و بخاطر حذف منطقه آمورف سلولزی در آن‌ها، باعث بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ می‌گردند [۲]. نانو سلولز مهم‌ترین و فراوان‌ترین نانو پلیمر زیستی است که در طبیعت وجود دارد و به دلیل ویژگی‌های زیست سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیری، ایمنی و ارزان بودن، سطح ویژه زیاد، مقاومت‌های مکانیکی زیاد، خواص ممانعتی و نوری مطلوب، باهدف بهبود ویژگی‌ها در محصولات و تعدد ازجمله کاغذسازی کاربرد فراوان دارد [۳]. از طرف دیگر، نشاسته به دلیل قیمت مناسب و قابلیت بهبود مقاومت‌های مکانیکی کاغذ، به‌طور سنتی در بخش تر ماشین کاغذ استفاده می‌شود. اگرچه مصرف حدود ۱ تا ۲ درصد نشاسته کاتیونی به علت وجود بارهای مثبت و تشکیل پیوند الکترواستاتیک و هیدروژنی سبب بهبود قابل توجه استحکام در واحد سطح اتصال کاغذ نهایی می‌شود، ولی مصارف بیشتر آن مشکلات فرآیندی بخصوص در آب سفید را به‌شدت تشدید می‌کند [۴]. با توجه به اینکه نشاسته کاتیونی به دلیل دارا بودن بارهای مثبت و بارهای مخالف مواد سلولزی (با بار منفی)، موجب ماندگاری بیشتر و تشکیل پیوندهای قوی‌تر و تولید کاغذ مقاوم‌تر می‌شود. دراین‌ارتباط، Lakani و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی استفاده از سلولز نانوفیبریله شده به‌منظور بهبود ویژگی‌های خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) گزارش دادند که با افزودن نانوفیبریل‌های سلولزی بهبود قابل‌توجهی در خواص کششی و مقاومت به عبور هوای کاغذ مشاهده شد [۵]. Tajik (۲۰۱۵) با بکارگیری نانو سلولز، پلی اکریلامید و نشاسته کاتیونی در کاغذ چاپ و تحریر باگاس گزارش داد که با توجه به تقویت پیوندهای هیدروژنی داخلی، بهترین مقاومت‌ها در کاغذ حاصل از اختلاط ۳ درصد نانو سلولز و ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی حاصل‌شده است [۶].

Hasanzadeh و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر استفاده از نانو الیاف سلولزی و نشاسته کاتیونی بر ویژگی‌های خمیرکاغذ سودای برنج را موردبررسی قراردادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مقاومت‌های مکانیکی خمیرکاغذ با افزودن نانو فیبر سلولزی در سه سطح (۲، ۵ و ۱۰ درصد) به‌صورت خطی افزایش‌یافته است [۷]. Joyibari و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر کاتیونی کردن الیاف سوزنی‌برگ به‌وسیله EPTMAC و اختلاط آن با خمیرکاغذ CMP را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد اختلاط الیاف بلند کاتیونی شده با خمیرکاغذ CMP خواص مقاومتی و ماندگاری نرمه‌ها را افزایش می‌دهد [۸]. Asadi و همکاران (۲۰۱۶) با تهیه نانو سلولز از جلبک رشته‌ای کلادوفورا و استفاده ازآن‌جهت بهبود ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ CMP گزارش دادند که با استفاده از ۸ درصد نانو سلولز، بیشترین دانسیته، مقاومت به کشش و ترکیدن و کمترین مقاومت به پاره شدن در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده‌شده است [۹]. به همین منظور، این تحقیق باهدف بررسی اثرات استفاده از نانو سلولز و نشاسته کاتیونی در بهبود ویژگی‌های خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) (نسبت به شرایط موجود کارخانه (شاهد)) انجام شد تا بهترین نتایج حاصل گزارش گردد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های آزمونی

در این تحقیق ابتدا از واحد ۶۰۰ کارخانه چوب و کاغذ مازندران، خمیرشیمیایی-مکانیکی (CMP) رنگبری و پالایش‌شده با درجه روانی حدود CSF ۳۰۰ تهیه و مقداری از خمیرکاغذ اولیه به‌عنوان نمونه شاهد انتخاب شد.

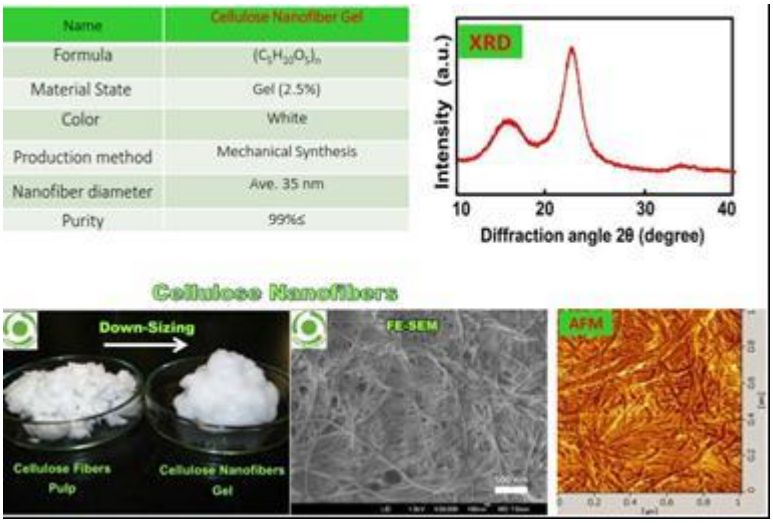
تهیه و آماده‌سازی نانو الیاف سلولزی

نانو سلولز از نوع نانو سلولز فیبریله شده، با پتانسیل زتا منفی و تهیه‌شده به روش مکانیکی، از شرکت دانش‌بنیان نانونوین پلیمر (پارک علم و فن‌آوری مازندران) به‌صورت ژل سفید رنگ با درصد خشکی ۳/۵ درصد، متوسط قطر الیاف ۳۵ نانومتر و درصد خلوص حدود ۹۹ درصد خریداری (شکل ۱) و پس از رقیق‌سازی با درصد

خشکی ۰/۱ درصد آماده‌سازی و در ۴ سطح ۰، ۲، ۳ و ۴ درصد به سوسپانسیون خمیرکاغذ اضافه گردید [۶،۱ و ۱۰].

آماده‌سازی نشاسته کاتیونی

نشاسته کاتیونی مورداستفاده در این تحقیق دارای pH حدود ۶، درجه استخلاف (DS) حدود (مول/ مول) ۰/۰۲۰-۰/۰۱۶، مقدار پروتئین حدود ۱/۵ درصد، نیتروژن حدود ۰/۲۵ درصد، خاکستر کمتر از ۲ درصد، ویسکوزیته بعد از پخت (محلول ۲٪) حدود ۸۰ سانتی پوآز و رطوبت آن نیز حدود ۱۱ درصد بود و از شرکت فلوکاء تهیه شد. به‌منظور انحلال‌پذیر شدن نشاسته در آب، بشر محتوی آب و نشاسته با غلظت ۵ درصد به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و درنهایت به‌منظور پخش و جذب بهینه بر روی سطح الیاف به دوغاب خمیر با درصد خشکی ۰/۰۵ درصد و در ۳ سطح ۰، ۰/۳ و ۰/۶ درصد نسبت به وزن خشک خمیرکاغذ به نمونه‌ها اضافه گردید [۶].



شکل ۱- ویژگی‌های ژل نانو الیاف سلولزی (تهیه‌شده از شرکت دانش‌بنیان نانو نوین پلیمر،۲۰۱۷)

اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذهای دست‌ساز

برای اندازه‌گیری خواص نوری و مقاومتی کاغذهای حاصل از خمیرکاغذهای تیمار شده و همچنین خمیرکاغذ CMP رنگبری شده کارخانه چوب و کاغذ مازندران (شاهد)، ابتدا، کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه ۶۰ gr/m^2 بر اساس استانداردTAPPI و به شماره T ۲۰۵ om -۸۸ تهیه شدند. با توجه به بکارگیری الیاف بلند وارداتی در خمیر-کاغذ شیمیایی-مکانیکی برای بهبود مقاومت‌ها، دریکی از تیمارها از ۵ درصد الیاف بلند وارداتی نیز استفاده گردید. برای اندازه‌گیری خواص نوری کاغذهای تهیه‌شده از دستگاه اسپکتروفتومتری استفاده شد. این دستگاه در سیستم CIElab قادر به تشخیص رنگ فرآورده‌های کاغذی می‌باشد. عملکرد این سیستم بر اساس خاصیت انعکاس نور از سطح موردمطالعه استوار است. به‌طوری‌که فاکتورهای L^*، a^* و b^* بر این اساس و همچنین روشنی و ماتی کاغذها به ترتیب با استفاده از آزمون استاندارد ۹۸-T ۴۵۲ om و ۹۶- T۴۲۵ om تعیین شد. سپس ویژگی-های مقاومتی کاغذهای حاصل مانند مقاومت‌های به پارگی، ترکیدن، کششی، طول پارگی و مقاومت به عبور هوا به ترتیب با استفاده از آزمون‌های ۹۸- T ۴۱۴ om، ۰۲- T ۴۰۳ om، ۹۶- T ۴۹۴ om؛ ۸۸- T ۴۹۸ om و ۹۶- T ۴۶۰ om استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه گردید.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام گرفت. برای بررسی اثر متقابل متغیرها و گروه‌بندی میانگین‌ها از طرح کاملاً تصادفی، آزمون تجزیه

واریانس یک‌طرفه و گروه‌بندی میانگین‌ها از روش دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه میانگین مشخصه‌های کمی در سطح متغیرها

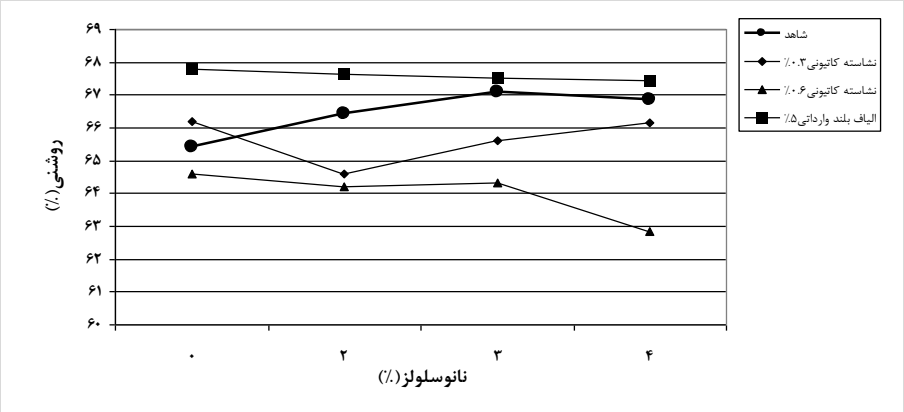
مقایسه میانگین ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل خمیرکاغذ CMP طی استفاده از نانو سلولز و نشاسته کاتیونی بر اساس آزمون دانکن موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین میانگین کلیه مشخصه‌ها در سطح ۱٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول۱).

جدول ۱-تجزیه واریانس یک‌طرفه ویژگی‌های خمیرکاغذ CMP طی استفاده از نانو سلولز و نشاسته کاتیونی

مشخصه	روشنی		ماتی		مقاومت به پارگی		مقاومت کششی		مقاومت به عبور هوا	
متغیر	آمارهF	معنی‌داری	آمارهF	معنی‌داری	آمارهF	معنی‌داری	آمارهF	معنی‌داری	آمارهF	معنی‌داری
تیمارها	۳۸/۷	۰/۰۰۰۱	۲۹/۱۴	۰/۰۱	۴۳/۱۶	۰/۰۰۰۱	۲۱/۰۹	۰/۰۰۰۱	۷/۱۸	۰/۰۰۰۱

مقایسه روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهایCMP

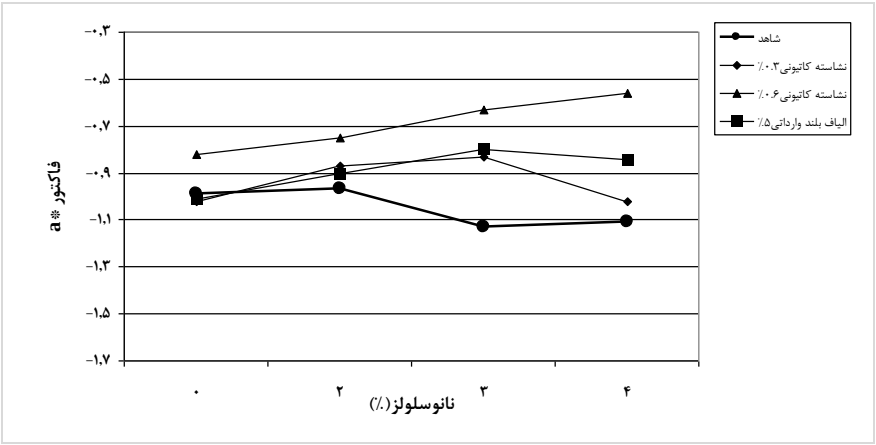
نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش جزئی یافته است(نمونه شاهد). افزایش حضور جزء نانومتری سلولز در ساختار کاغذ سبب توسعه و بهبود سطح پیوند، کاهش خلل و فرج و کاهش ناهمواری سطح شده که همه این عوامل موجب شکست کمتر نور، افزایش انعکاس نور و درنتیجه افزایش روشنی کاغذ حاصل می‌شود [۱۱]. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین روشنی در کاغذ حاصل از افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی (۶۷/۸ درصد) و کمترین آن با افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی در خمیرکاغذ با ۴ درصد نانو سلولز (۶۲/۹ درصد) مشاهده شد. افزودن همزمان نشاسته کاتیونی و نانو سلولز روشنی کمتری را در مقایسه با نمونه شاهد از خود نشان داده است. نتایج نشان داد که با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی باعث بهبود روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد شده است، افزودن نانو سلولز به الیاف بلند وارداتی تا ۴ درصد باعث کاهش جزئی روشنی شده، اما همواره از روشنی نمونه شاهد بیشتر بوده است. در این حالت، بهترین روشنی با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی نانوسلولز حاصل شده است. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین روشنی تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی داری وجود دارد (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه روشنی کاغذ حاصل از افزودن نانوسلولز و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ CMP

مقایسه فاکتور*a کاغذ حاصل از خمیرکاغذهایCMP

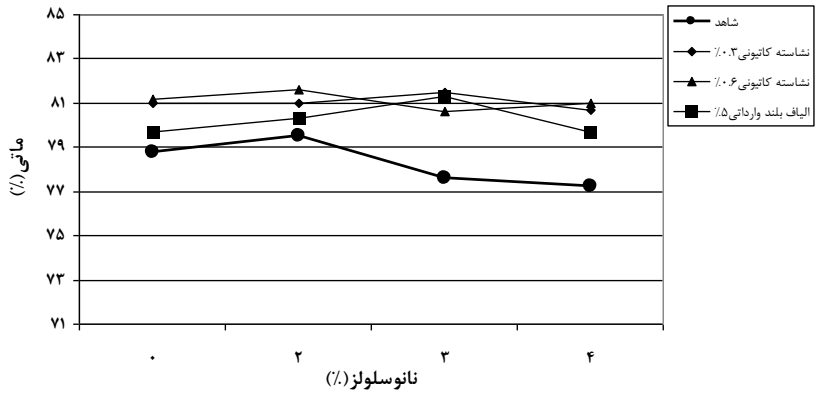
در سیستم جهانی رنگ (CIE l*a*b*)، فاکتور *aنشان‌دهنده طیف رنگی سبز تا قرمز در کاغذ می‌باشد، در کاغذ روزنامه و چاپ و تحریر، سبزرنگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز فاکتور*a کاهش و سبزرنگی کاغذ افزایش را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که کمترین فاکتور*a (۱/۱۳-) و بیشترین سبزی در کاغذ حاصل ۳ درصد نانو سلولز به نمونه شاهد مشاهده شد. همچنین بیشترین فاکتور*a و کمترین سبزی در کاغذ حاصل از افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی و ۴ درصد نانو سلولز (۰/۵۶-) مشاهده شد. به‌طورکلی افزودن الیاف بلند وارداتی و نشاسته کاتیونی برخلاف نانو سلولز باعث افزایش فاکتور*a و کاهش سبزرنگی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP شده است. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین فاکتور*a تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه فاکتور*a کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولز و نشاسته کاتیونی به خمیرکاغذ CMP

مقایسه ماتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهایCMP

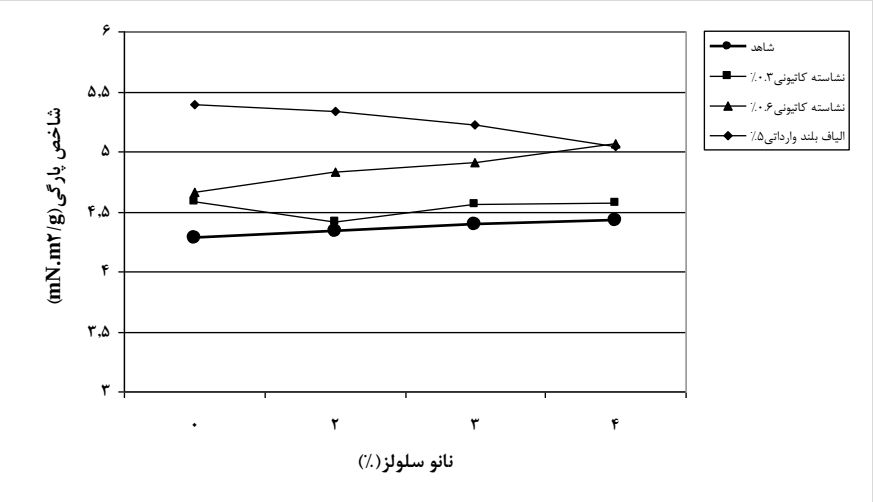
نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز ماتی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP کاهش جزئی یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین ماتی در کاغذ حاصل از افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی و ۲ درصد نانو سلولز (٪ ۸۱/۶) و کمترین آن در با افزودن ۴ درصد نانو سلولز در خمیرکاغذ شاهد (٪۷۷/۲) مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزودن نشاسته کاتیونی ماتی در کاغذ حاصل افزایش محسوسی را نشان داد، ماتی کاغذ به عبور نور بستگی دارد، استفاده از نشاسته کاتیونی و نانو الیاف سلولزی باعث افزایش دانسیته، افزایش ماندگاری، کاهش تخلخل ، افزایش پیوند بین الیاف، افزایش نسبی سطح و همگن شدن سطح الیاف در کاغذ شده و درنتیجه باعث بهبود ماتی می‌شود [۱۲،۱۱و۱۳]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین ضریب پخش نور تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه ماتی کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولز و نشاسته کاتیونی به خمیرکاغذ CMP

مقایسه شاخص مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش جزئی یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی (۵/۳۹ $mN.m^2/g$) و کمترین آن ($mN.m^2/g$ ۴/۲۸) در خمیرکاغذ CMP شاهد بدون نانو سلولز (۰ درصد) مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی، همزمان با افزودن نانو سلولز (تا ۴ درصد) باعث کاهش جزئی مقاومت به پارگی کاغذ حاصل‌شده است. در طی افزودن نانو سلولز، افت مقاومت به پارگی با توجه به کوتاه شدن متوسط طول الیاف و همچنین کاهش متوسط دانسیته خطی الیاف که خود باعث کاهش مقاومت به پارگی شده است. به‌عبارت‌دیگر مقاومت به پاره شدن با متوسط طول الیاف به توان سوم متناسب است. البته افزایش نسبت الیاف کوتاه به الیاف بلند نیز باعث کاهش این مقاومت می‌گردد [۱۴]. افزودن نانو سلولز به سوسپانسیون خمیرکاغذ موجب شکل‌گیری بهتر خمیرکاغذ در ماشین کاغذ، افزایش سطح پیوند بین فیبرها و افزایش خواص مکانیکی در کاغذ تولیدی می‌شود [۱۵،۲]. با افزودن نشاسته کاتیونی مقاومت به پارگی کاغذ حاصل افزایش محسوسی را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که مناسب‌ترین مقاومت به پارگی با افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی همزمان با ۴ درصد نانو سلولز حاصل‌شده است. افزودن نشاسته کاتیونی به الیاف، توان اتصال بین این نوع الیاف را افزایش می‌دهد و درنهایت باعث بهبود این ویژگی می‌شود [۶]. افزودن نشاسته کاتیونی باعث باردارشدن سطح الیاف (بار کاتیونی) خواهد شد که در مرحله بعد با افزودن نانو الیاف سلولز (با بار آنیونی) آن را جذب خواهد کرد. درواقع، استفاده متوالی از پلی الکترولیت‌های مثبت و منفی مقدار بیشتری از آن‌ها را بر الیاف ماندگار می‌کند و مقاومت خشک بیشتری حاصل می‌شود [۱۸،۱۷]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به پارگی تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولز و نشاسته کاتیونی به خمیرکاغذ CMP

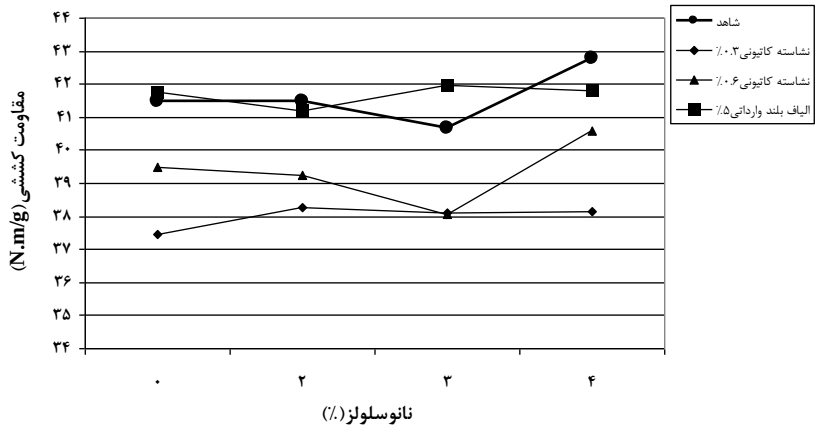
مقایسه شاخص مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش جزئی داشته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت کششی در نمونه شاهد و همزمان با افزودن ۴ درصد نانو سلولز (۴۲/۸ N.m/g) و کمترین آن با افزودن ۰/۳ درصد نشاسته کاتیونی در خمیرکاغذ (۳۷/۵N.m/g) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی، همزمان با افزودن نانو سلولز باعث بهبود مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد شده است، در این حالت، بهترین مقاومت کششی (۴۲ N.m/g) با افزودن ۴ درصد نانو سلولز به نمونه شاهد مشاهده شد. نانو سلولز به‌واسطه سطح ویژه زیاد، از طریق افزایش پیوندهای بین الیاف ویژگی‌های مقاومتی کاغذ را افزایش می‌دهد [۱۹]. با افزودن نشاسته کاتیونی مقاومت کششی کاغذ حاصل افزایش را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که مناسب‌ترین مقاومت کششی با افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی همزمان با ۴ درصد نانو سلولز حاصل‌شده است. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داد که با بکارگیری و حضور نشاسته کاتیونی و بار مثبت در الیاف خمیرکاغذ، ماندگاری و مقاومت کششی کاغذ را افزایش داده است [۲۰]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت کششی تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۶).

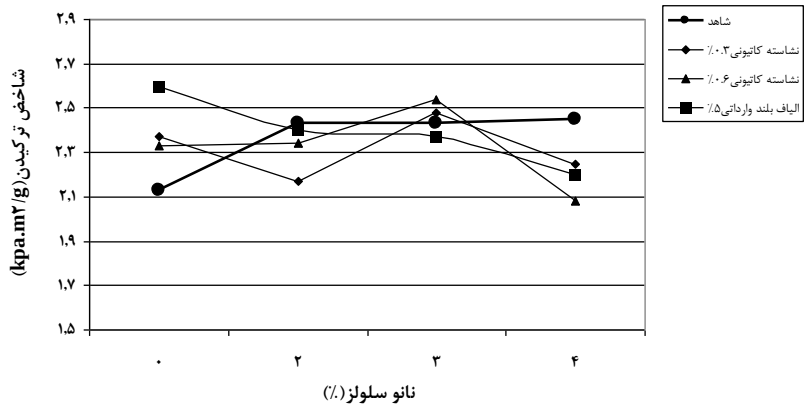
مقایسه شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش جزئی یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به ترکیدن در کاغذ حاصل از افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی (۲/۶ kpa.m^2/g) و کمترین آن در خمیرکاغذ CMP با افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی همزمان با ۴ درصد نانو سلولز ((۲/۰۸ kpa.m^2/g) مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی، همزمان با افزودن نانو سلولز باعث کاهش مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP شده است. با افزودن ۰/۳ و ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل افزایش را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که مناسب‌ترین مقاومت به ترکیدن با افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی همزمان با ۳ درصد نانو سلولز حاصل‌شده است. نتایج سایر تحقیقات نشان داد که به‌کارگیری نانو الیاف سلولزی به همراه نشاسته کاتیونی در ارتقای ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ مؤثر و موفق بوده است[۷].

دراین‌ارتباط هر چه سطح ویژه در الیاف بیشتر، الیاف نازک‌تر و انعطاف‌پذیرتر باشد، به دلیل ایجاد اتصال هیدروژنی بیشتر، پیوندهای بین الیاف افزایش‌یافته و درنتیجه مقاومت کاغذ به ترکیدن افزایش می‌یابد [۲۱،۱۲]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به ترکیدن تیمارها در سطح ۱درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد(شکل ۷).



شکل ۶- مقایسه شاخص مقاومت کششی کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولز و نشاسته کاتیونی به خمیرکاغذ CMP

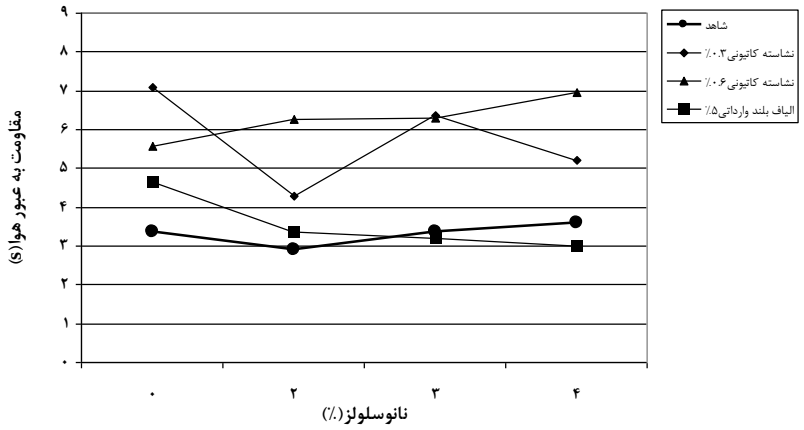


شکل ۷- مقایسه مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولز و نشاسته کاتیونی به خمیرکاغذ CMP

مقایسه مقاومت به عبور هوا کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش‌یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از افزودن ۰/۳ درصد نشاسته کاتیونی (۷/۱ ثانیه) و همچنین افزودن همزمان ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی و ۴ درصد نانو سلولز مشاهده شد. پراکنش یکنواخت‌تر نانو فیبرهای سلولزی و درنتیجه افزایش شبکه و سطح پیوند بین لیفی باعث کاهش خلل و فرج و روزنه‌ها موجود در ساختار کاغذ شده، همچنین درازای مسیر عبور ملکول‌های هوا از کاغذ به دلیل ایجاد مسیر زیگزاکی طی شده در کاغذ بیشتر می‌شود، لذا حجم مشخص از هوا به زمان بیشتری برای عبور از کاغذ نیاز دارد، نفوذپذیری در کاغذ کاهش و مقاومت به عبور هوا افزایش می‌یابد [۲۳،۲۲]. با افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی به کاغذ حاصل، مقاومت به عبور هوا افزایش محسوسی را نشان داد، دراین‌ارتباط نتایج سایر تحقیقات نشان داد که بهترین مقاومت‌ها در کاغذ چاپ و تحریر حاصل از باگاس از ۳

درصد نانو سلولز و ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی حاصل‌شده است [۶]. نتایج نشان داد که با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP (در مقایسه با نمونه شاهد) افزایش داشته است، اما دراین‌ارتباط افزودن همزمان نانو سلولز باعث کاهش جزئی مقاومت به عبور هوا شده است. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به عبور هوای تیمارها در سطح ۱درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۸) .



شکل ۸- مقایسه مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولز و نشاسته کاتیونی به خمیرکاغذ CMP

نتیجه‌گیری

این تحقیق باهدف تأثیر استفاده از نانو سلولز و نشاسته کاتیونی بر ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز روشنی، فاکتور*a ، مقاومت کششی ، مقاومت به پارگی و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش، اما ماتی و سبز رنگی کاهش‌یافته است. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داد که با افزودن نانو الیاف سلولزی به خمیر شیمیایی- مکانیکی باعث افزایش مقاومت کششی، مقاومت به عبور هوا و روشنی کاغذ شده ، اما مقاومت به پارگی، زبری و ماتی کاغذ کاهش‌یافته است [۲۴]. با بکارگیری نشاسته کاتیونی بخصوص در سطح ۰/۶ درصد، ویژگی‌های ماتی، مقاومت به عبور هوا و فاکتور*a افزایش و روشنی و مقاومت کششی کاغذ حاصل کاهش‌یافته است. افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی، همزمان با افزودن نانو سلولز باعث بهبود تمامی ویژگی‌های مقاومتی و نوری بجز سبز رنگی و مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد شده است. مقایسه داده‌ها در بین تیمارهای مختلف نشان داد که استفاده از ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی به همراه ۴ درصد نانو سلولز و همچنین بکارگیری ۵ درصد الیاف بلند وارداتی به همراه ۳ تا ۴ درصد نانو سلولز باعث بهبود اکثر ویژگی‌ها در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP شده است را می‌توان به‌عنوان تیمار-های برتر انتخاب و معرفی کرد. دراین‌ارتباط، افزودن نشاسته کاتیونی باعث باردارشدن سطح الیاف (بار کاتیونی) خواهد شد، که در مرحله بعد با افزودن نانو الیاف سلولز (با بار آنیونی) آن را جذب خواهد کرد، درواقع استفاده متوالی از پلی الکترولیت‌های مثبت و منفی مقدار بیشتری از نانوسلولزها و نرمه‌ها را در الیاف کاغذ تر ماندگار می‌کند و مقاومت بیشتری در کاغذ حاصل می-شود. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داد که استفاده از ۵ درصد نشاسته کاتیونی به همراه ۳ درصد نانوالیاف سلولزی باعث بهبود طول پارگی کاغذ حاصل‌شده و می‌تواند به‌عنوان تیمار برتر بجای پالایش در خمیرکاغذ بازیافتی معرفی گردد [۲۵].

منابع

[1] Barzan, A. and Soraki, S., 2002. Procedure of experimental for pulp and paper, Mazandaran Wood and Paper Industries, Sari, Iran, 111-121(in Persian).

[2] Henriksson, M., Berglund, L.A., Laksson, P. and Nishino, T., 2008. Cellulose nano-paper structures of high toughness. Biomacromolecules, 9(6):1579-1585.

[3] 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. Bio macromolecules, 12 (11):4080-4085.

[4] Yoon, S. Y. and Deng, Y., 2006. Clay-starch composites and their application in papermaking. Journal of Applied Polymer Science, 100(2):1032-1038.

[5] Lakani, S., Afra, E. and Yousefi, H., 2016. Studing the effect of pulp refining and paper pressing and using nano fibrillated cellulose to improve the CMP pulp properties, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31)2): 224-236 (in Persian).

[6] Tajik, M., 2015. Using of nano-cellulose, polyacrylamide and cationic starch in internal H-bond reinforced of bagasse printing paper, M.S. thesis, Shahid-Behesti University (in Persian).

[7] Hasanzadeh, H., Hejazi, S., Yosofi, H., Mahdavi, M. and Abdolkhani, A., 2013. Effect of using cellulosic nanofibers and cationic starch on properties of rice stalk soda antraqinon pulp. Journal of Forest and Wood Products, 67(1):105-117 (in Persian).

[8] Joybari, I., Azadfalah, M., Resalati, H., Hamzeh, Y. and Yosofi, H., 2015. Investigation of effect cationic soft wood fiber by EPTMAC and mixed it's with CMP pulp. Journal of Forest and Wood Products, 68(2): 235-245 (in Persian).

[9] Asadi, F., Nazarnezhad, N. and Asadpour Attoeii, Gh., 2016. Preparation of nano-cellulose from cladophora, fibrous algae, and utilizing at the product to improve the strength properties of CMP pulp. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31(4): 695-702 (in Persian).

[10] Luiss, A.J. and Jackson, C., 2002. Text book of pulping technology, McGraw-Hill, New York, NY, 126-132.

[11] Glittenberg, D., 1993. Starch alternatives for improved strength, retention and sizing. TAPPI journal, 79(11): 215-219.

[12] Vaysi, R, and Kord, B., 2013. The effects of H2O2 bleaching and DTPA spraying on the brightness stability of hornbeam CMP pulp following accelerated irradiation aging. BioResource Journal, 8 (2):1909-1917.

[13] Nogi, M. Iwamoto, S., Nakagaito, N.A. and Yano,H., 2009. Optically transparent nano-fiber paper. Advanced Materials, 21:1595-1598.

[14] Kang, T., 2007. Role of external fibrillation in pulp and paper properties, Doctoral dissertation, Department of forest products technology, Helsinki University of Technology, Finland, 41 p.

[15] Costa, M.M., and Colodette, J. L., 2007. The impact of kappa number composition on eucalyptus kraft pulp bleach ability, Brazilian Journal of Chemical Engineering, 24(1): 61-71.

[16] Heermann, M., Welter, S. and Hubbe, M. A., 2006. Effect of high treatment levels in a dry-strength additives: program based on deposition on polyelectrolyte complexes, how much glue is too much. TAPPI journal, 5(6): 9-14.

[17] Hadilam, M., Afra, E. and Yousefi, H., 2013. Effect of cellulose nano-fibers on the properties of bagasse paper. Journal of Forest and Wood Products, 66(3):351-366.

[18] Wagberg, L., Forsberg,S., Johansson,A. and Juntti, P., 2002. Engineering of fiber surface properties by application of polyelectrolyte multilayer concept, Part 1. Modification of paper strength. Journal of Pulp and Paper Science, 28(7): 222-228.

[19] Limmatainnen, H., Visanko, M., Sirvio, J. A., Hormi, O.E.O. and Niinimaki, J., 2012. Enhancement of nano-fibrillation of wood cellulose through sequential periodate-chlorite oxidation, Bio-macromolecules, (13):1592-1597.

[20] Brouwer, P.H., Baas, J., and Wielema T.A., 2002. Anionic wet-end starch: a wealth of possibilities to improve paper quality and/or reduce paper costs, Technology Summit proceedings.

[21] Mirshokraie S. A., 2009. Pulp and paper technology, Aeeizh publication, Tehran, Iran, 209-210p (in Persian).

[22] Xu, E. C., 2002. H2O2 bleaching of mechanical pulps. Journal of Pulp and Paper Science 28 (1): 26-30

[23] Syverud, K. and Stenius, P., 2009. Strength and barrier properties of MFC films. Cellulose, (16):75-85.

[24] Samariha, A. and Ebrahimpou Kasmani, J., 2019. Effect of nano-cellulose on the improvement of the properties of paper newspaper produced from chemi-mechanical pulping. Journal of Bioresources, 14(4):8935-8949.

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

The effect of cellulose nano-fibers and Cationic starch on optical and mechanical properties of chemi-mechanical pulp

Abstract

In this study, the effect of using cellulose nano-fibers and cationic starch on optical and mechanical properties of chemi-mechanical pulp was investigated. For this purpose, first some of bleached CMP pulps were randomly selected from Mazandaran Wood and Paper Industries (MWPI) as control. Then, cellulose nano-fibers were bought as white gel and used in 0, 2, 3 and 4 % levels. The cationic starch was added in 0, 0.3 and 0.6 % levels and imported long fibers with 0 and 5 % levels were added to CMP pulps suspensions, too. The hand sheets were prepared from above-mentioned pulps with 60 gr/m2 basis weight and then the optical and mechanical properties were measured and compared according to TAPPI standard test methods. The results showed that brightness, a* factor greenness, tear, tensile, burst strengths and air resistance were increased and light scattering opacity and greenness a* factor were decreased. The results showed that by adding 5% imported long fibers as well as 3 and 4 % cellulose nano-fibers, all optical and mechanical properties improved expect for greenness and burst. Moreover, the results showed that using 0.6 % cationic starch with 4 % cellulose nano fibers improved the most properties of paper, expect brightness and tensile strength

Keywords: Nanocellulose, CMP pulp, Cationic starch, Imported long fiber.

R. Vaysi[1*]
M. Kiaie[1]
A. Nikbakht[2]

[1] Associate Prof., Department of Wood and Paper Technology, Islamic Azad University of Chalous, Iran.Email

[2] M.Sc. graduated student, Department of Wood and Paper Technology, Islamic Azad University of Chalous,Iran

Corresponding author:
vaysi_r452@yahoo.com

Received: 2019/10/30
Accepted: 2020/03/04