Archive of SID

اثر نانوالیاف سلولز بر کارایی نشاسته کاتیونی در خمیرکاغذ و کاغذ بازیافتی از کاغذهای باطله بسته‌بندی

حسین پورکریم دودانگه[۱]
حسین جلالی ترشیزی[۲*]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی فناوری سلولز و کاغذ، دانشگاه شهید بهشتی، زیرآب، ایران

[۲] استادیار گروه مهندسی فناوری سلولز و کاغذ، دانشگاه شهید بهشتی، زیرآب، ایران

مسئول مکاتبات:
H_Jalali@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۳۰

چکیده

کاربرد افزودنی‌های شیمیایی نگرشی کارآمد در بهبود ویژگی‌های فرایندی و فراورده‌ای کاغذهای بازیافتی بوده که معرفی مواد جدید همیشه مورد چالش و پرسمان است. نانوالیاف سلولزی، به‌عنوان نانوزیست ماده‌ای با خاستگاه الیاف گیاهی اخیراً مورد اقبال کاربردهایی متنوع نظیر کاغذسازی بوده که لزوم ارزیابی عملکرد آن با توجه به تفاوت شرایط دوغاب‌های خمیرکاغذ را گوشزد می‌کند. با این هدف، تأثیر نانوالیاف سلولز (۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد خمیرکاغذ خشک) بر عملکرد شناخته‌شده نشاسته کاتیونی (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد خمیرکاغذ خشک)، به‌عنوان پرکاربردترین پلیمر مصرفی در خمیرکاغذ بازیافتی از کاغذهای باطله قهوه‌ای بسته‌بندی موردپژوهش قرارگرفت. نتایج نشان‌داد، افزودن نانوالیاف سلولز پس از نشاسته کاتیونی نه‌تنها منجر به بهبود ماندگاری نشد، بلکه توانائی نشاسته در بهبود ماندگاری را نیز پیوسته و متناسب با افزایش کاربرد، کاهش داده است. نتایج آبگیری دینامیکی نیز در تائید ماندگاری بوده و کمترین اتلاف مواد در کمترین میزان کاربرد نانوالیاف سلولز بروز یافت. کاربرد منفرد نانو الیاف سلولز درجه روانی را کاهش و افزودن آن پس از نشاسته نیز بهبود چشمگیر آن را به همراه نداشته و غالباً آن را تنزل داد. افزودن نانوالیاف سلولز به دوغاب حاوی نشاسته هیچ‌گونه بهبود قابل‌توجهی در مقاومت‌های کششی و ترکیدن کاغذ بازیافتی نداشته و مقاومت به پارگی را نیز کاهش داد. به‌طورکلی، برخلاف سامانه‌های متداول ماندگاری –آبگیری پلیمر کاتیونی/نانوذرات، کاربرد نشاسته کاتیونی –نانوالیاف سلولزی از تأثیرگذاری مثبتی بر ویژگی‌های خمیرکاغذ و کاغذ حاصل از بازیافت کاغذهای قهوه‌ای بسته‌بندی برخوردار نبوده است.

واژگان کلیدی: نانوالیاف سلولزی، نشاسته کاتیونی، خمیرکاغذ و کاغذ بازیافتی.

مقدمه

بازیافت کاغذهای باطله بسته‌بندی، رایج‌ترین صنعت بازیافت فراورده‌های سلولزی به‌ویژه در ایران بوده و کاهش حجم ضایعات شهری، ارائه مزایای اقتصادی و اجتماعی چشمگیر، کاهش نیاز به الیاف بکر و درنتیجه بهره‌برداری کمتر از جنگل‌ها را موجب می‌شود [۱]. استفاده از پالایش شدید، روشی برای جبران افت مقاومتی کاغذ بازیافتی برای کاربرد دوباره بسته‌بندی، از دیرباز موردتوجه بوده که علاوه بر آسیب شدید و کاهش چرخه مصرف الیاف، آبگیری و دیگر ویژگی‌های فرایندی تولید را با چالش

www.SID.ir

Archive of SID

مواجه می‌سازد [۱-۳]. استفاده از مواد شیمیایی، مناسب‌ترین راهکار برای بهبود پیوندیابی الیاف و بازیابی ویژگی‌ها بوده و مواد تجاری متعددی نظیر نشاسته‌ها (سومین ماده اولیه مهم کاغذسازی) و پلی آکریلامید به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند [۴، ۵]. استفاده از نانومواد در تلفیق با مواد کاتیونی مزبور در مفهوم مکانیسم مرکب ماندگاری- آبگیری؛ از عملکرد مناسبی برخوردار گشته و ویژگی‌های مقاومتی، شکل‌گیری، قابلیت آبگیری و میزان ماندگاری را بهبود و بهره‌وری تولید را ارتقا می‌بخشد؛ تاجائیکه صنایع کاغذسازی را در زمره پرمصرف‌ترین نانومواد قرار داده است [۴-۷]. استفاده از نانومواد به‌ویژه نانوالیاف سلولز از رویکردهای جدید پژوهشی و نیز ادعایی برای بهبود ویژگی‌های کاغذ بوده [۸] که البته در مقیاس تجاری با چالش‌های روشنی همچون هزینه بالا، قابلیت پراکندگی و ماندگاری پایین، برهمکنش‌های نامطلوب احتمالی، دانش ناکافی در رابطه با استفاده مؤثر از آن و ... نیز مواجه است [۹]. افزودن نانوالیاف سلولز (NFC) به خمیرکاغذهای رنگبری‌شده اکالیپتوس برای تولید کاغذ چاپ و تحریر، حکایت از امکان کاهش پالایش بدون تأثیر منفی بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذ را داشته و بهترین نتایج در خمیرکاغذهای اندکی پالایش‌شده حاصل گردیده است [۶]. در پژوهشی دیگر کاربرد نانوالیاف سلولز (۱ و ۲٪)/نشاسته کاتیونی (۱٪) در تلفیقی از خمیرکاغذهای سوزنی‌برگ و پهن‌برگ، افزایش چشمگیر مقاومت کشش، کاهش ناچیز ضریب پخش نور، نفوذپذیری هوا، نرخ آبگیری و عدم‌تغییر ماندگاری را به همراه داشت [۶]. مقایسه عملکرد بیوپلیمرهای نشاسته، کایتوزان و کربوکسی متیل سلولز (CMC) در ایجاد مقاومت در شبکه لیفی خمیرکاغذ رنگبری‌شده، برتری کایتوزان در تمامی دامنه‌های خشکی، نشاسته کاتیونی در خشکی بالاتر از ۸۰٪ و CMC نیز در خشکی بالاتر از ۵۵٪ ورقه کاغذ را نشان‌داد [۸]. مقایسه نانوالیاف سلولز با نانوذرات گچ نشان‌دهنده برتری نانوالیاف سلولز در خمیرکاغذ مکانیکی بوده و به‌واسطه آب‌دوستی بیشتر نسبت به گچ، بهبود مقاومت‌ها و کاهش تخلخل را سبب گردیده است [۱۰]. مقایسه عملکرد نانوالیاف سلولزی در خمیرکاغذ بازیافتی روزنامه و مجله چاپ‌نشده، کاهش زمان آبگیری و بهبود ویژگی‌ها را بسته به مکانیسم اعمالی به همراه داشته است [۱۱]. در این پژوهش و با عنایت به برتری بلامنازع کاربرد صنعتی نشاسته کاتیونی در پایانه تر کاغذسازی، سامانه ماندگاری- آبگیری نانوالیاف سلولز در تلفیق با این بیوپلیمر کاتیونی بررسی شد تا عملکرد این نانوماده آلی نوین ارزیابی و مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از الیاف خمیرکاغذ OCC حاصل از بازیافت کاغذهای باطله بسته‌بندی، عاری از افزودنی و واجد درجه روانی (CSF[1]) (mL) ۳۲۰-۳۵۰، pH ~ ۸، دمای ۱۶ ^{o}C و تهیه‌شده از جعبه تغذیه ماشین کاغذ برای ساخت کاغذهای آزمایشگاهی استفاده گردید. نانوسلولز نوع لیفی (NFC[2]) و واجد خشکی ۳/۵٪، میانگین قطر الیاف ۳۵ نانومتر، خلوص ≤ ٪ ۹۹ و پتانسیل زتای منفی ۲۰-۱۵، تولیدی به‌روش مکانیکی از الیاف رنگبری‌شده کرافت سوزنی‌برگ و به‌صورت ژل سفیدرنگ از شرکت دانش‌بنیان نانونوین پلیمر خریداری و پس از رقیق‌سازی به خشکی ۰/۱٪، در سطوح صفر (شاهد)، ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد بر اساس جرم خشک خمیرکاغذ به‌صورت منفرد و نیز به همراه بیوپلیمر نشاسته کاتیونی مورداستفاده قرار گرفت. نشاسته کاتیونی به‌صورت پودری و با pH=۵-۷، درجه استخلاف ۰/۰۳۵، رطوبت ۱۲٪، خاکستر ۲٪ و ویسکوزیته ۶۰-۱۰۰ cPs از موجودی شرکت چوب و کاغذ مازندران تهیه و با توجه به نامحلول بودن در آب سرد، به‌منظور انحلال به‌صورت روزانه پخته و در سطوح صفر (شاهد)، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد بر اساس جرم خشک خمیرکاغذ به‌صورت منفرد و نیز به همراه نانو-الیاف سلولز استفاده گردید. نشاسته کاتیونی فراوری‌شده به خمیرکاغذ در حال تلاطم (۵۰۰-۳۰۰ دور بر دقیقه) افزوده و پس از ۱۰-۵ ثانیه، شدت چرخش به ۱۰۰۰-۸۰۰ افزایش و پس از کاهش به حدود ۵۰۰ دور بر دقیقه، نانوالیاف سلولز اضافه گردید. بلافاصله دوغاب مزبور به کاغذساز آزمایشگاهی منتقل و مبتنی بر استاندارد sp -۰۲ TAPPI T۲۰۵ کاغذ تهیه شد. اندازه‌گیری ویژگی‌ها

[1] - Canadian Standard Freeness
[2] - Nano Fibrillated Cellulose

www.SID.ir

Archive of SID

مشتمل بر درجه روانی CSF (T۲۲۷ om -۰۴)، شاخص کشش (T۴۹۴ om -۰۱)، شاخص ترکیدن (T۴۰۳ om -۰۲)، شاخص پاره‌شدن (T۴۱۴ om -۰۴)، گراماژ (T۴۱۰om -۰۲) و ضخامت کاغذ (T۴۱۱ om -۰۵) همگی منطبق بر استانداردهای آئین‌نامه TAPPI انجام گرفت. ماندگاری در دستگاهDDJ بر اساس استاندارد cm -۰۰ T۲۶۱، صورت گرفته با این تفاوت که جرم مواد عبور یافته از توری دستگاه مزبور نسبت به جرم کل مواد، به‌عنوان درصد اتلاف مواد گزارش گردید. دانسیته از تقسیم گراماژ بر ضخامت کاغذ و ماندگاری کل در کاغذساز آزمایشگاهی از نسبت جرم خشک کاغذ تولیدی به جرم خشک کل مواد به‌کاررفته در تولید آن (مواد لیفی و افزودنی) محاسبه گردید.

نتایج و بحث

در شکل‌های ۱-۷، تأثیر کاربرد منفرد و توام نشاسته کاتیونی و نانوالیاف سلولز بر ویژگی‌های خمیرکاغذ و کاغذ بازیافتی از کاغذهای باطله بسته-بندی (OCC) ارائه و تیمار شاهد در سطح صفر نشاسته کاتیونی و خط روند صفر NFC نمایان است.

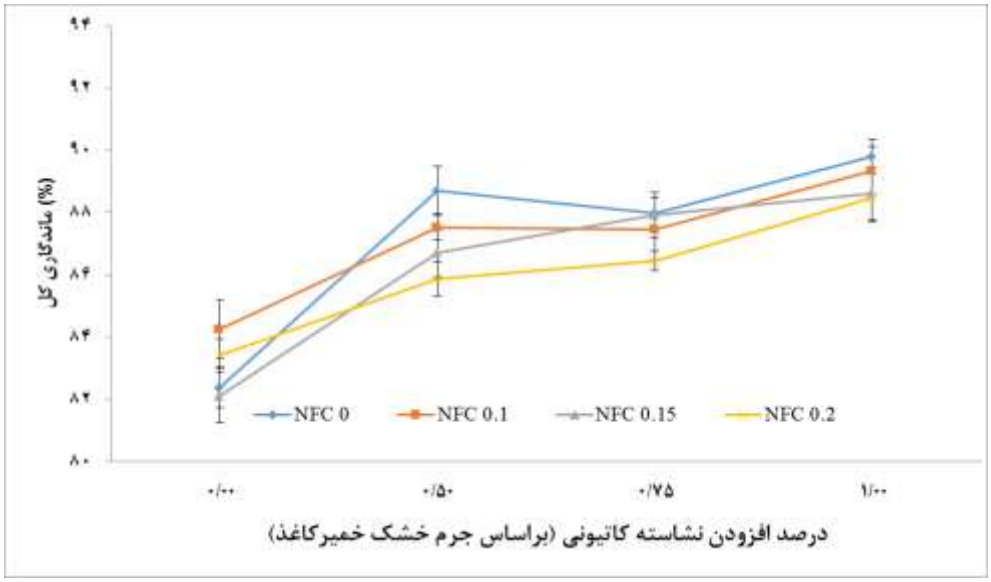
ماندگاری کل خمیرکاغذ

ماندگاری کل، معیاری از جرم مواد کاغذ مشتمل بر الیاف، نرمه‌ها و مواد افزودنی نسبت به جرم مواد اولیه به‌کاررفته در تهیه کاغذ است که تداعی‌ساز بهره‌وری و نرخ تبدیل فرایند تولید است [۵، ۹]. ماندگاری کل خمیرکاغذ بر توری کاغذساز آزمایشگاهی، با افزایش کاربرد منفرد نشاسته‌کاتیونی بهبود چشمگیری یافته و بیشترین جهش در ماندگاری، با کاربرد اولین سطح نشاسته (۰/۵٪) نسبت به عدم کاربرد آن بروز کرده و حدود ۷٪ بهبود ماندگاری و بهره‌وری تولید را سبب گردید (شکل ۱). نشاسته کاتیونی به دلیل جاذبه الکترواستاتیکی، بر سطوح آنیونی الیاف جذب و ضمن برقراری پیوند هیدروژنی و الکترواستاتیک با گروه‌های آنیونی الیاف و نرمه‌ها، مانند پلی موجب اتصال و در کنار هم ماندن اجزا و تشکیل دلمه‌هایی بزرگ‌تر از اجزای منفرد و حفظ در ساختار شبکه الیاف در حال آبگیری شده و افزایش ماندگاری را سبب می‌گردد. کاربرد منفرد نانوالیاف سلولز تا سطح ۰/۱ درصد نیز افزایش ماندگاری، البته بسیار کمتر از نشاسته کاتیونی را دربر داشته که با درنظرگرفتن تفاوت در مقادیر اعمالی آن‌ها، قابل‌انتظار است. نانوالیاف سلولز با قرارگیری در فضای بین الیاف، افزایش پیوندپذیری هیدروژنی و نیز تراکم و ماندگاری الیاف و نرمه‌ها را به وجود می‌آورد [۱۲]. در تیمارهای تلفیقی نشاسته/نانوالیاف سلولز، نه‌تنها نانوالیاف بر ماندگاری اثر مشخص و بارزی نداشته است، بلکه کاهش ماندگاری نسبت به تیمارهای متناظر منفرد نشاسته را نیز موجب شد. نکته جالب‌توجه، کاهش هرچه بیشتر کارایی نگه‌دارندگی نشاسته، با افزایش کاربرد نانوالیاف سلولز است. کاهش مزبور در به دام انداختن و نگه‌داشتن اجزای قابل‌عبور از منافذ توری ماشین کاغذساز آزمایشگاهی و تشدید آن با افزایش کاربرد نانوالیاف سلولز، احتمالاً ناشی از تشکیل کمپلکس نشاسته/نانوالیاف باشد که خنثی‌کننده بارهای یکدیگر بوده و کارایی مورد انتظار را به‌شدت کاهش می‌دهد. همچنین سطح ویژه و بار آنیونی بالای نانوالیاف و در پی آن افزایش بار آنیونی سوسپانسیون و دافعه ناشی از آن بین اجزا، کاهش ماندگاری به‌واسطه افزایش کاربرد نانوالیاف، قابل تفسیر است.

[1] - Dynamic Drainage Jar

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- تأثیر استفاده از نانوالیاف سلولزی بر عملکرد نشاسته کاتیونی در ماندگاری کل خمیرکاغذ OCC

درصد اتلاف مواد در آزمونگر DDJ

با توجه به بغرنجی تعیین درصد مواد عبوریافته از توری کاغذساز آزمایشگاهی برای تحکیم استدلال‌های نتایج ماندگاری، از شبیه‌سازی فرایند در دستگاه آبگیری دینامیکی (DDJ) استفاده شد. کاربرد منفرد نشاسته به‌طور چشمگیر و بارزی، میزان اتلاف مواد را کاهش داده (شکل ۲) که در سازگاری کامل و قابل‌تعمیم با استدلال-های نتایج ماندگاری است. کاربرد منفرد نانوالیاف نیز از درصد اتلاف مواد کاسته و کاربرد آن پس از نشاسته در غالب موارد روند مشابه ماندگاری کاغذساز آزمایشگاهی را رقم‌زده که به‌صورت کاهش اتلاف مواد قابل‌گزارش است. نکته جالب‌توجه، برتری سطح ٪۰/۱ نانوالیاف در مقایسه با کاربردهای بالاتر آن و در غالب مقادیر نشاسته است که همانند مقیاس بزرگ‌تر (کاغذساز) (شکل ۱)، منجر به حفظ بیشتر مواد در شبکه لیفی، عبور و اتلاف کمتر از منافذ توری دستگاه است. این تغییرات همانند و مؤید نتایج ماندگاری بوده و کاهش کارایی نشاسته در سطوح بالای کاربرد نانوالیاف سلولز را نشان می‌دهد. به عبارتی با افزایش مصرف نانوالیاف سلولز، اتلاف مواد بیشتر شده که ناشی از عدم تعادل بار الکترواستاتیکی دوغاب و بروز پدیده‌های محتمل در پیش گفته‌شده است.

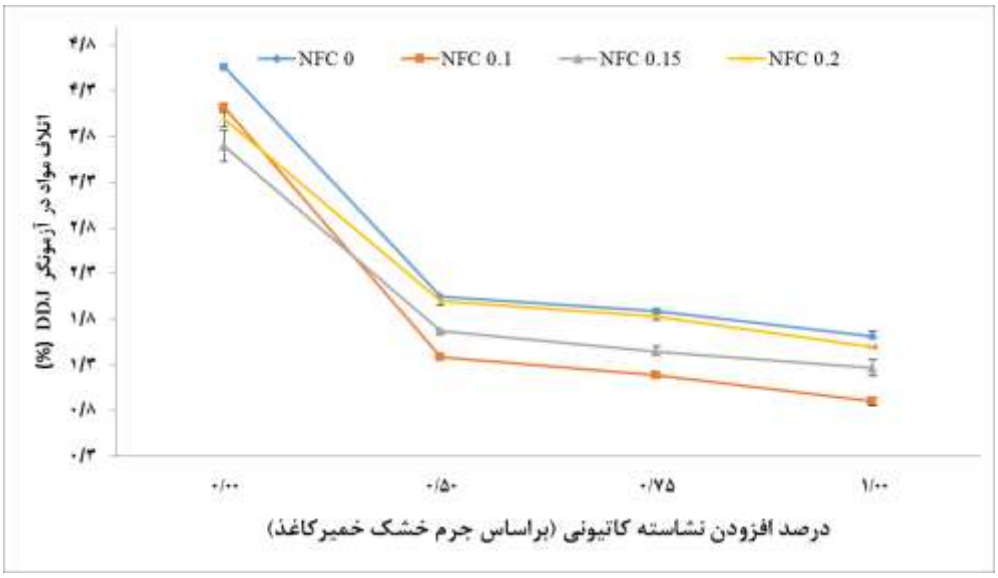
درجه روانی خمیرکاغذ

علاوه بر کیفیت سطح الیاف از منظر پذیرش و نگهداشت آب، آبگیری در ماشین کاغذ به میزان زیادی تحت تأثیر شدت و ساختار دلمه[1] های شکل‌یافته بین اجزای سوسپانسیون و نیز سیستم ماندگاری است [۱۳]. بهبود توان آبگیری خمیرکاغذ، مزایای بسیاری برای صنعت کاغذسازی داشته که می‌توان به امکان افزایش سرعت ماشین، افزایش تولید، کاهش مصرف انرژی در جعبه‌های مکشی، پرس‌ها و خشک‌کن‌ها و به‌طورکلی کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بهره‌وری اشاره نمود. کیفیت آبگیری از خمیرکاغذ حاوی بیوپلیمرهای موردمطالعه در شکل ۳ آمده که جهت ارائه بهینه و واضح نتایج و با توجه به دامنه گسترده تأثیرات ایجادشده، به تیمارهای شاهد و حاوی نانوالیاف منفرد در شکل مزبور پرداخته نشد. کاربرد منفرد نشاسته کاتیونی افزایش درجه روانی خمیرکاغذ نمونه شاهد (۳۵۰ میلی‌لیتر) تا بیش از ٪۴۰ در بالاترین سطح کاربرد آن (٪۱) (۴۹۵ میلی‌لیتر) را سبب گردیده که پدیده‌ای تأییدشده توسط نتایج پژوهش-های دیگر است [۱۳].

[1]- Floc

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- تأثیر استفاده از نانوالیاف سلولزی بر عملکرد نشاسته‌کاتیونی در میزان اتلاف خمیرکاغذ OCC در آزمونگر DDJ

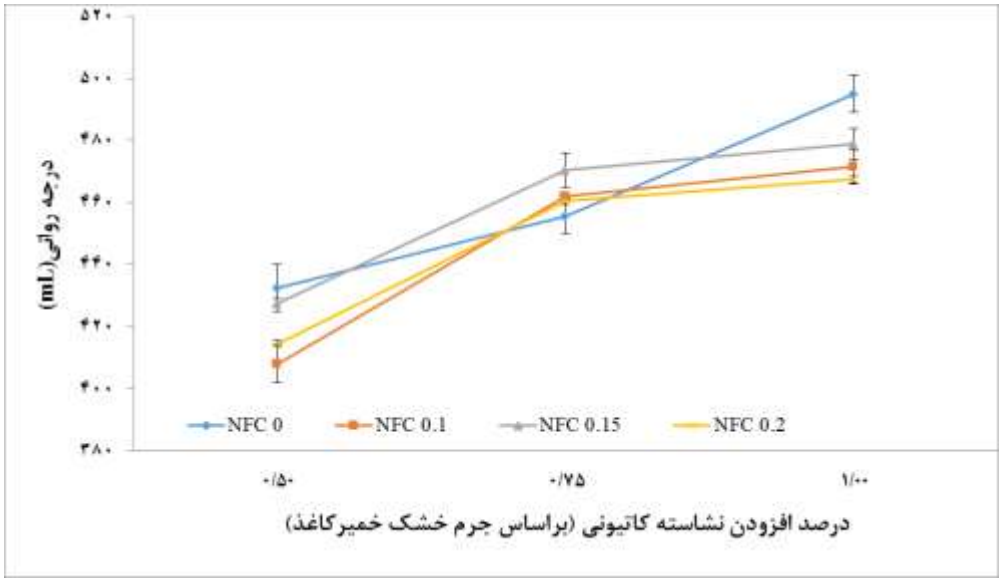
تشکیل فلاک بین اجزای دوغاب و درنتیجه آن کاهش مساحت تماس بین سطوح آب‌دوست اجزای دوغاب الیاف سلولزی که ماندگاری بالاتر، بهبود شکل‌گیری و مقاومت‌ها را نیز سبب می‌گردد، توسط رهایش آسان‌تر آب از سوسپانسیون اجزای آب‌دوست سلولزی و افزایش درجه روانی قابل تائید و تعمیم است. واضح است که حضور پررنگ‌تر عامل مولد و مروج دلمه‌سازی، تأثیرگذارتر بوده که به‌صورت افزایش پیوسته و محسوس درجه روانی خمیرکاغذ ناشی از افزایش کاربرد نشاسته کاتیونی بروز یافت. فراوانی تشکیل فلاک‌های ریز، متراکم و متعدد و نیز واجد میزان کمتر آب درگیرشده، در سطوح بالاتر کاربرد این بیوپلیمر قابل گزارش است که پیش‌تر نیز در سامانه مبتنی بر نشاسته کاتیونی گزارش گردیده است [۱۳]. در نقطه مقابل، کاربرد منفرد نانوالیاف به‌طور معکوسی منجر به کاهش درجه روانی خمیرکاغذ به حدود ۳۲۵ میلی‌لیتر شده و تفاوتی نیز بین سطوح نانوالیاف سلولز مشاهده نشد. رفتار ژله‌ای، قابلیت جذب و نگهداری بالای آب، بالابردن ویسکوزیته سوسپانسیون و همچنین قرارگیری نانوالیاف در حفرات شبکه الیاف سبب کاهش پیوستگی بین حفرات و کاهش درجه روانی می‌شود. احتمال گرفتگی جزئی منافذ توری براثر ماهیت ژله‌ای و بسیار ریز نانوالیاف نیز قابل گزارش است. دیگر نکته جالب‌توجه، پیروی سامانه مرکب از روند سامانه پل‌زنی نشاسته است که البته میزان افزودن نانوالیاف پس از نشاسته، تأثیر ملموسی بر آبگیری نداشته و نه‌تنها بهبود قابل‌توجه سهولت جدایش آب را برجای نگذاشته، بلکه غالباً تسهیل ایجادشده توسط نشاسته را در خروج آسان‌تر آب از نمد در حال شکل‌گیری کاغذ، تحت‌الشعاع قرارداده و منجر به کاهش درجه روانی گردیده است.

دانسیته ظاهری کاغذ

در مصارف بسته‌بندی، دانسیته جزو مهم‌ترین ویژگی-های فیزیکی کاغذ است که در تفسیر نتایج و بررسی میزان فشردگی کاغذ و ساختار فیزیکی آن بسیار مورداستفاده بوده و انتقال مطلوب‌تر و بهینه حرارت در خشک‌کن را سبب می‌شود. البته دانسیته بالا در کاغذهای بسته‌بندی نامطلوب است، چراکه کاهش سفتی خمشی را به همراه داشته و در فرایندهای کنگره‌سازی نیز منجر به پارگی به هنگام خیس‌شدن کاغذ می‌گردد [۱۴]. دانسیته کاغذ با پالایش و نیز مواد شیمیایی بهبودیافته که از جنبه‌های مختلف، مواد شیمیایی برتر هستند. البته ماندگاری بیشتر اجزای دوغاب به‌ویژه نرمه‌ها موجب افزایش دانسیته کاغذ می‌شوند [۵، ۹، ۱۴]. کاربرد منفرد نشاسته کاتیونی به‌عنوان افزودنی مقاومت خشک به‌طور چشمگیر و روشنی با ایجاد پیوند بین اجزا و تشکیل شبکه متراکم‌تر، دانسیته ظاهری را ارتقا (تا بیش از ۱۴٪) و افزایش مصرف آن از ۰/۷۵٪ به ۱٪، بیشترین تأثیر را بر

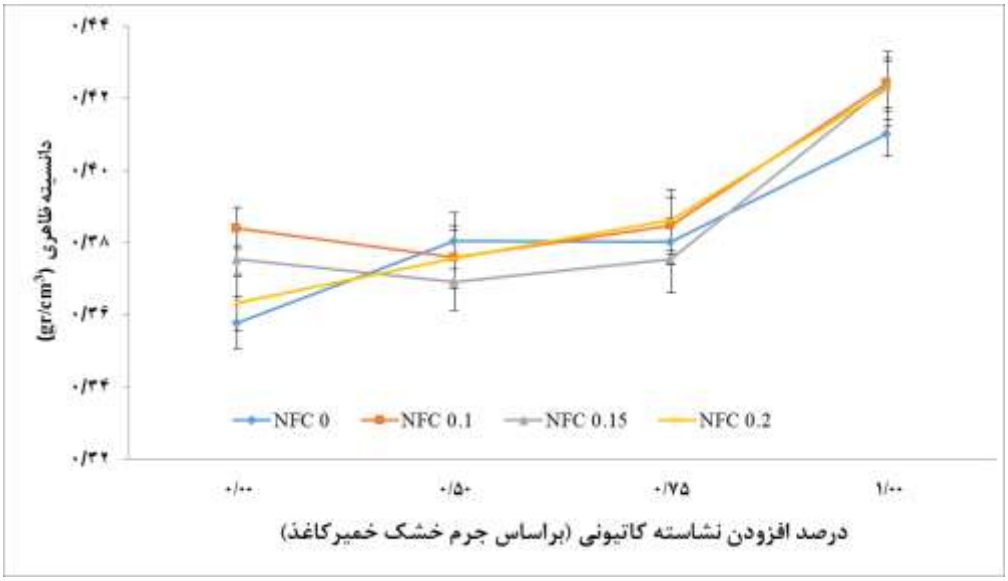
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- تأثیر استفاده از نانوالیاف سلولزی بر عملکرد نشاسته‌کاتیونی در درجه روانی CSF خمیرکاغذ OCC

این ویژگی ساختاری کاغذ در تمامی سطوح منفرد و یا توأم با نانوالیاف سلولز داشته است. کاربرد منفرد نانوالیاف نیز بهبود دانسیته را موجب شده که با داده‌های ماندگاری سازگار است. چراکه در روند مشابه، ماندگاری کاغذهای حاوی سطوح بالاتر کاربرد منفرد نانوالیاف؛ از میزان ماندگاری کمتری برخوردار گشته که به مفهوم باقی ماندن میزان کمتری از نرمه الیاف‌های سلولزی در ساختار کاغذ در حال شکل‌گیری است. کاربرد نانوالیاف سلولز پس از نشاسته کاتیونی، غالباً در سطح ٪۰/۷۵ و ٪۱ نشاسته کاتیونی، افزایش تراکم و دانسیته کاغذ را به همراه داشته که علاوه بر تائید افزایش ماندگاری اجزا، غلبه جاذبه بر دافعه الکترواستاتیکی ناشی از کاربرد بیشتر نشاسته کاتیونی در شبکه شکل‌یافته را نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر پس از اتصال نرمه‌ها به یکدیگر و به الیاف توسط نشاسته کاتیونی، کوچکی ابعاد ذرات نانوالیاف سلولز امکان نفوذ به درون ساختار تشکیل‌شده توسط نشاسته کاتیونی را فراهم و چگالی بار زیاد این ذرات منجر به همکشیده‌شدن ساختار دلمه می‌گردد که با تشکیل دلمه-های اجزا و توزیع متناسب اجزای ماندگارشده نیز قابل استدلال است؛ چراکه نتایج تراکم اجزای دوغاب و نیز کاهش سطح تماس با آب، نه‌تنها افزایش تراکم و دانسیته کاغذ، بلکه سهولت آبگیری را نیز فراهم می‌آورد.



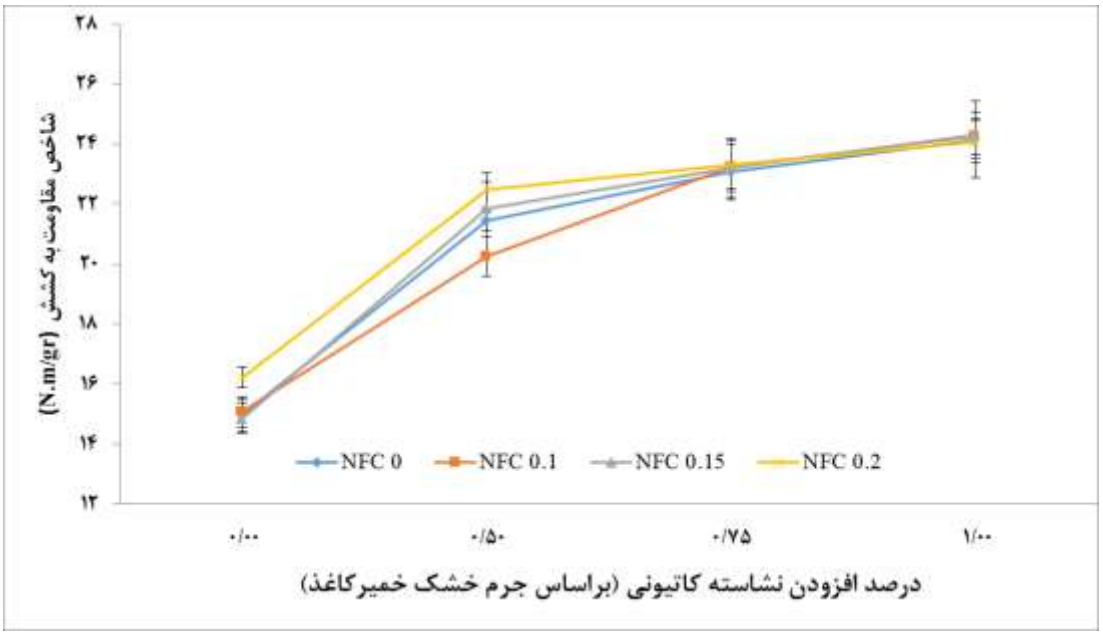
شکل ۴- تأثیر استفاده از نانوالیاف سلولزی بر عملکرد نشاسته کاتیونی در دانسیته کاغذ تولیدی از OCC

www.SID.ir

Archive of SID

مقاومت به کشش

از مهم‌ترین ویژگی‌های کاربردی انواع کاغذ و مقوا بوده که متأثر از مقاومت ذاتی الیاف، تعداد (مساحت پیوند) و مقاومت پیوند، کیفیت توزیع اجزا و شکل‌گیری کاغذ است [۱۶]. نوع و میزان افزودنی‌های پایانه تر کاغذسازی بر توزیع اجزای دوغاب و در پی آن شکل‌گیری کاغذ، تعداد و مقاومت پیوندها موثربوده که به‌واسطه نقش این مواد در دلمه‌سازی[1] آبگیری و پیوندیابی شناخته می‌شود [۹]. کاربرد نشاسته کاتیونی و افزایش درصد آن در خمیرکاغذ بازیافتی به‌طور پیوسته و چشمگیری منجر به ارتقای شاخص کشش (تا بیش از ۶۰ درصد) گشته که قابل پیش‌بینی و گزارش‌شده در پژوهش‌های پیشین است [۱]. نشاسته کاتیونی به‌عنوان ماده افزاینده مقاومت خشک واجد جرم مولکولی مناسب و خاصیت کاتیونی، بر سطوح آنیونی الیاف سلولزی جذب، حفظ و با آن پیوندهای الکترواستاتیکی و هیدروژنی برقرار می‌کند. پیوندهای مزبور بهبود اتصالات شبکه الیاف را پدیدآورده و به دنبال آن مقاومت کششی بهبود می‌یابد. کاربرد منفرد ۰/۲٪ نانوالیاف سلولز نیز حدود ۱۰٪ افزایش مقاومتی را سبب شده، لیکن در سطوح پائین‌تر کاربرد منفرد آن، تأثیر ملموس شاخص کشش مشاهده نشد. نانوالیاف سلولزی به دلیل سطح ویژه بالا و ایجاد درگیری فیزیکی با الیاف خمیرکاغذ، سبب افزایش پیوندیابی هیدروژنی و افزایش سطح پیوند بین الیاف و درنتیجه استحکام بالاتر شبکه الیاف می‌گردد. در یک پژوهش، با کاربرد میکروالیاف سلولزی در خمیرکاغذ باگاس، بهبود مقاومت خشک و تر کششی و کاهش مقاومت پارگی گزارش گردید [۱۵]. در پژوهشی دیگر، افزودن ۲۰ درصد نانوالیاف سلولز به خمیرکاغذ باگاس، منجر به افزایش مقاومت کششی شد [۱۲]. کاربرد سطوح مختلف نانوالیاف سلولز، فقط در پایین‌ترین سطح نشاسته کاتیونی (۰/۵٪) تأثیرات متفاوتی بر شاخص کششی داشته و در سطوح بالاتر نشاسته، کاربرد نانوالیاف سلولز پس از نشاسته، از تأثیری مثبت بر شاخص کشش برخوردار نبوده است؛ بنابراین در این ویژگی، سامانه مرکب نشاسته کاتیونی/نانوالیاف سلولز از برتری بر سامانه رایج نشاسته برخوردار نبوده که با بار کاتیونی نشاسته در مقایسه با آنیونی نانوالیاف سلولز تفسیر می‌شود.



شکل ۵- تأثیر استفاده از نانوالیاف سلولزی بر عملکرد نشاسته کاتیونی در شاخص مقاومت به کشش کاغذ تولیدی از OCC

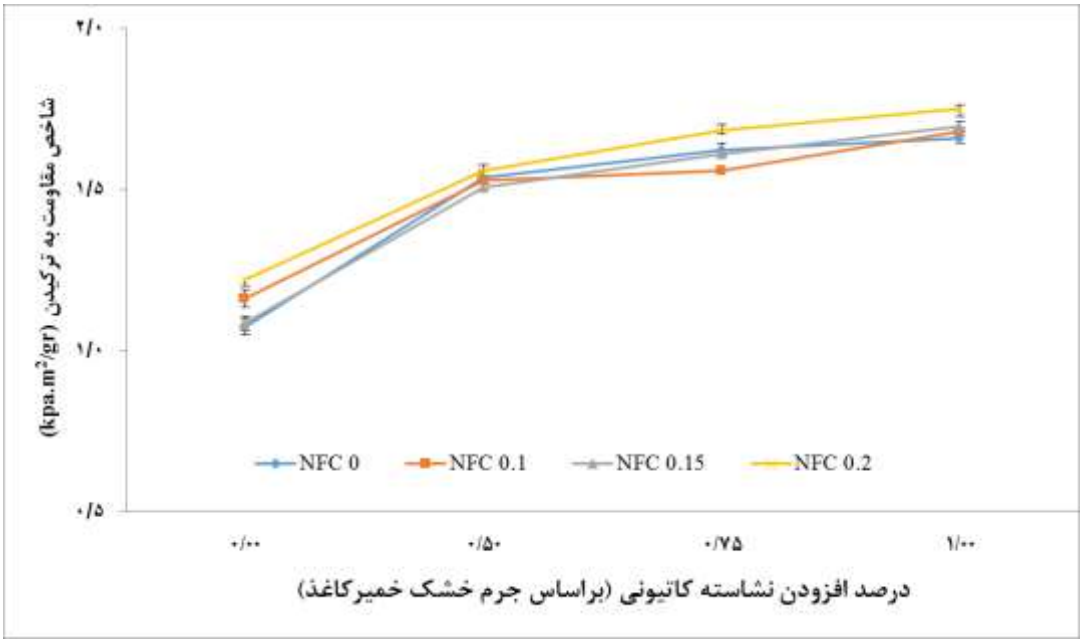
[1] - Flocculation

www.SID.ir

Archive of SID

مقاومت به ترکیدن

مقاومت به ترکیدن کاغذ از عوامل مشابهی با مقاومت کششی پیروی می‌کند. شاخص ترکیدن براثر نشاسته کاتیونی به‌طور چشمگیری (٪۴۳) افزایش و همانند شاخص کشش، بیشترین ارتقا، بین سطح صفر و ٪۰/۵ مصرف نشاسته کاتیونی مشاهده گردید و سطوح ٪۰/۷۵ و ٪۱ در هر دو شاخص کشش و ترکیدن، علیرغم افزایش چشمگیر از شیب بهبود ملایم‌تری برخوردار گشته‌اند (شکل ۶). مشابه شاخص کششی، افزودن منفرد نانوالیاف سلولز بهبود شاخص ترکیدن را موجب شد و در سطح کاربرد ٪۰/۲، بیش از ٪۱۳ ارتقای شاخص ترکیدن را به همراه داشته است. کاربرد نانوالیاف سلولز تنها در سطح ۰/۲ درصد پس از نشاسته موجب بهبود غیرملموس شاخص ترکیدن نسبت به کاربرد منفرد نشاسته گشته و در غالب موارد دیگر تأثیری نداشته است؛ بنابراین و نکته قابل‌توجه، عدم بهبود بارز شاخص ترکیدن کاغذ بازیافتی از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه با افزایش سهم نانوالیاف در حضور نشاسته کاتیونی است؛ که مشابه روند و تغییرات بروزیافته در شاخص کشش است. به‌عبارتی‌دیگر، سطوح موردمطالعه نانوالیاف سلولز نتوانسته ارتقای چشمگیر پیوندیابی را در حضور نشاسته و در مقایسه با کاربرد منفرد نشاسته به وجود آورد.



شکل ۶- تأثیر استفاده از نانوالیاف سلولزی بر عملکرد نشاسته کاتیونی در شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ تولیدی از OCC

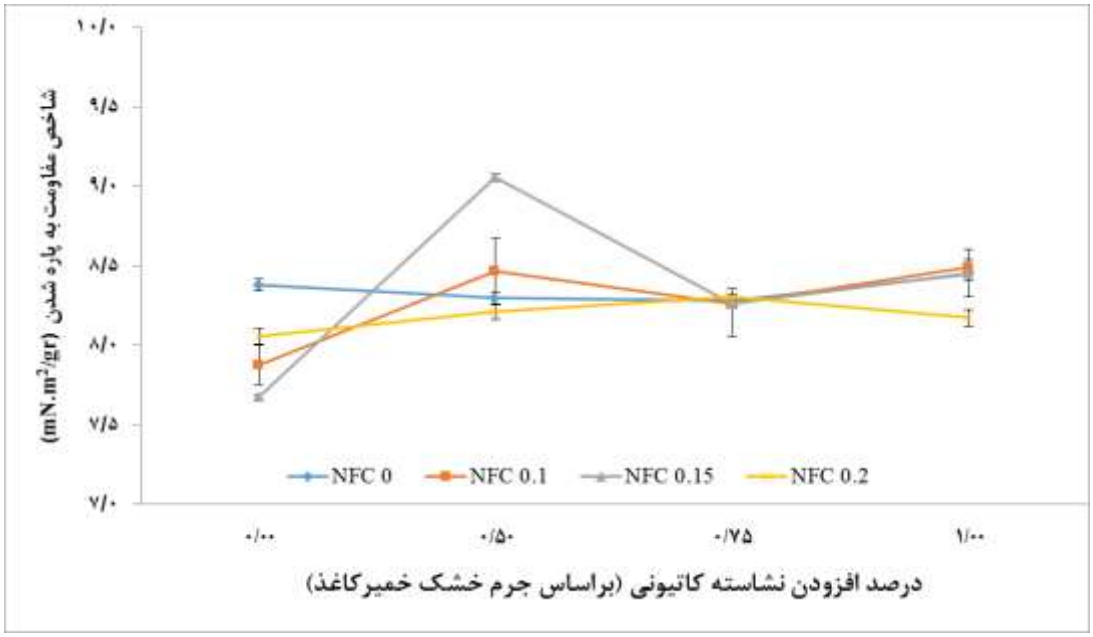
مقاومت به پاره‌شدن

ازجمله ویژگی‌های کاغذ به‌ویژه در کاربردهای بسته-بندی، مقاومت به پاره شدن آن بوده و عوامل اصلی مؤثر نیز شامل میانگین طول، قطر و مقاومت ذاتی الیاف است که میزان پیوندیابی اجزا و نیز جهت‌یافتگی آن‌ها در ساختار کاغذ نیز تأثیرگذار هستند [۱]. بطوریکه در خمیرکاغذهایی (بازیافتی و مکانیکی) با قابلیت پائین پیوندیابی و تحمل پائین به پالایش، بهبود شاخص پارگی از طریق توسعه و افزایش پیوندها امکان‌پذیر است؛ بنابراین حضور الیافی با میانگین طول و ضخامت کمتر، کاهش این ویژگی را سبب می‌گردد. در تمامی سطوح مختلف کاربرد منفرد نانوالیاف سلولز، شاخص پارگی کاغذ پایین‌تر از تیمار شاهد فاقد افزودنی گزارش می‌گردد (شکل ۷). همچنین با درنظرگرفتن نتایج ماندگاری (شکل ۱)، مشخص می‌شود که میزان ماندگاری نیز در تیمارهای مورداشاره ارتقاءیافته که به مفهوم حفظ بیشتر نرمه‌ها در ساختار کاغذ است؛ بنابراین حضور نانوالیاف و تأثیر آن بر ماندگارشدن بیشتر نرمه‌های الیاف که در سازگاری با افزایش ماندگاری کل و نیز کاهش اتلاف مواد است، کاهش میانگین قطر و طول الیاف کاغذ تولیدی را در پی داشته که به‌صورت تنزل شاخص پارگی کاغذ نمود می‌یابد. کاربرد منفرد نشاسته کاتیونی و افزایش میزان کاربرد آن

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص پارگی نداشته است. با عنایت به حفظ مقادیر بیشتر نرمه در کاغذ، تنزل و یا تثبیت شاخص پارگی مورد انتظار است، لیکن با درنظرگرفتن پیوندیابی ضعیف خمیرکاغذهای بازیافتی، ماهیت ضعیف الیاف و ماندگارشدن میزان بیشتر نرمه‌های الیاف، چنین استدلال می‌گردد که نقش پیوندیابی بین لیفی در شاخص پارگی، پررنگ‌تر از طول و قطر الیاف بوده و توانسته حداقل بر کاهش شاخص پارگی ناشی از پایین‌ترآمدن میانگین طول و قطر الیاف فائق آمده، در عین حالیکه نتوانسته بهبود شاخص پارگی را رقم بزند. به‌کارگیری نانوالیاف سلولز پس از نشاسته کاتیونی نیز عمدتاً تأثیر بارزی را بر شاخص پارگی کاغذ بازیافتی نداشته است.



شکل ۷ - تأثیر استفاده از نانوالیاف سلولزی بر عملکرد نشاسته کاتیونی در شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذ تولیدی از OCC

نتیجه‌گیری

نقش بسزای نشاسته کاتیونی در بهبود فرایند و فراورده‌های بازیافتی کاغذی، شناخته‌شده و مورد کاربرد وسیع است؛ لیکن چگونگی و چرائی تأثیر نانوالیاف سلولزی در کاربرد توأم با آن گزارش نگردیده که در این پژوهش بررسی شد. کاربرد نانوالیاف سلولز پس از نشاسته کاتیونی در خمیرکاغذ بازیافتی، نه‌تنها تأثیر افزایشی در شاخص‌های مقاومتی و دانسیته (به‌استثنای نانوالیاف - سلولز ٪۰/۲) کاغذ را موجب نشد، بلکه گاهی کاهش مقاومت‌ها را نیز سبب گردید. ویژگی‌های خمیرکاغذ نیز نوسانات گاه افزایشی و گاه کاهشی نسبت به کاربرد منفرد متداول نشاسته کاتیونی، در سطوح مختلف کاربرد هم‌زمان دو بیوپلیمر نشان‌داد که سطح بهینه تلفیق آن‌ها، بسته به ویژگی مدنظر متفاوت بود. به‌طورکلی کاربرد نانوالیاف سلولزی به همراه نشاسته کاتیونی، نه‌تنها برهمکنش مثبت چشمگیری همانند سامانه‌های متداول پلیمر کاتیونی/نانوذرات نداشته است، بلکه عملکرد نشاسته کاتیونی در بهبود ویژگی‌های خمیرکاغذ و کاغذ را نیز تضعیف می‌نماید. مبتنی بر نتایج این پژوهش، به‌واسطه ماهیت بازیافتی و بالابودن میزان آشغال‌ها و نرمه‌های آنیونی و کاتیون‌خواهی خمیرکاغذ قهوه‌ای و نیز تشابه و احتمالاً تشدید آن با نانوذرات آنیونی سلولزی، کاربرد نانوالیاف سلولز نه‌تنها تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های فرایند و فراورده ندارد؛ و از عملکرد این افزودنی رایج در بهبود ویژگی‌ها نیز کاسته است. چراکه دانسیته بار عمدتاً پائین نشاسته‌های کاتیونی متداول، تنها در میزان سطوح کاربردی بالاتر می‌تواند جبران‌کننده نیاز کاتیون‌خواهی بالای سوسپانسیون‌های غنی از مواد حل‌شده و کلوئیدی آنیونی باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[1] Jalali Torshizi, H., Mirshokraie, S.A., Faezipour, M., Hamzeh, Y.and Resalati, H.,2010. Application of galbanum gum (*ferula gummosa*) polysaccharide as a natural polymer to improve dry strength properties of recycled papers obtained from old corrugated cartons. Iranian Journal of Polymer Science and Technology, 23(4): 345-353. (In Persian).

[2] Gullichsen, J. and Paulapuro, H., 1999. Papermaking Chemistry, Papermaking Science and Technology 19 series, Paper Engineers' Association Press, Finland.

[3] Andalibian, M., Mahdavi, S., Kermanian, H. and Ramezani, O., 2013. The influence of OCC pulp refining to improve the properties of test liner board. Iranian Journal of Wood and Paper Research, 28(1): 77-88. (In Persian).

[4] Rahmaninia, M., Mirshokraei, S.A., Ebrahimi, Gh. and Nazhad, M.M., 2011. Effect of cationic starch-nanosilica system on retention and drainage of washed OCC pulp. Journal of Forest and Wood Products, 64 (1): 15-22.

[5] Jalali Torshizi, H., Zare Bidoki, S., Ramezani, O. and Rudi, H., 2014. Effect of cationic poly acrylamide - nano bentonite system on retention, drainage and properties of paper recycled from OCC. Iranian Journal of Wood and Paper Research, 29(3): 474-483. (In Persian).

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

[7] Kajanto, I. and Kosonen, M., 2012. The potential use of micro- and nanofibrillated cellulose as a reinforcing element in paper. Journal of Science & Technology for Forest Products and Processes, 2(6): 42-48.

[8] Myllytie, P., Holappa, S., Paltakari, J. and Laine, J., 2009. Effect of polymers on aggregation of cellulose fibrils and its implication on strength development in wet paper web. Nordic Pulp and Paper Research, 24(2): 125-134.

[9] Jalali Torshizi, H., Zare Bidoki, S., Ramezani, O. and Rudi, H., 2015. Effect of nano silica and cationic polyacrylamide on retention, drainage and strength properties of recycled paper from OCC. Journal of Forest and Wood Products, 68(4): 771-784.

[10] Ioelovich, M. and Figovsky, O., 2010. Structure and properties of nanoparticles used in paper compositions. Mechanics of Composite Materials, 46(4): 435-442.

[11] Merayo, N., Balea, A., Fuente, E., Blanco, A. and Negro, C., 2017. Synergies between cellulose nanofibers and retention additives to improve recycled paper properties and the drainage process. Cellulose, 24(7): 2987-3000.

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

[13] Khosravani, A., Jahan latibari, A., Mirshokraei. S.A., Rahmaninia, M. and nazhad, M.M., 2010. Studying the effect cationic starch- anionic nano silica system on retention and drainage. BioResources, 5(2): 939-950.

[14] Niskanen, K., 1999. Paper physics, In: Papermaking Science and Technology series, vol. 16. .Gullichsen, J., and Paulapuro, H. eds. Fapet Oy, Helsinki, , Finland, 324 p.

[15] Hassan, E.A., Hassan, M.L. and Oksman, K., 2011. Improvement of paper sheets properties of bagasse pulp with microfibrillated cellulose isolated from xylanase treated bagasse. Wood and Fiber Science, 43(1): 1-7.

[16] Janzadeh, 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, 67(1): 105-117.

www.SID.ir

Archive of SID

The effect of cellulose nanofibres on cationic starch efficiency in pulp and paper recycled from packaging waste paper

Abstract

Application of chemical additives is an effective approach to improve the properties of recycled paper products and process, which new additives introduction are always under challenge and question. Recently, Cellulosic Nano Fibers (CNF) as a nano-bio-material originated from the plant fibers received a great attention in different area such as papermaking, which acquainted the performance assessments regarding to the various conditions of the different furnishes. With this respect, the effect of CNF (0.1, 0.15 & 0.2% OD pulp) on the well-known performance of cationic starch (CS) (0.5, 0.75 & 1% OD pulp), as the most famous polymer used in papermaking, were studied in the pulp recycled from packaging brown waste papers. The results showed that addition of CNF after starch didn't improve pulp retention, but also declined starch performance in the recycled pulp retention improvement, continuously and corresponding to CNF usage increment. Also, the results obtained from dynamic drainage jar approved retention data, and the least pulp loss was occurred at the lowest CNF addition. Individually addition of CNF decreased the pulp freeness (CSF) and its addition after starch didn't positively affect CSF, significantly; and often decreased it. The CNF addition to the starch contained pulp had no meaningfully effect on tensile and burst strengths of the recycled paper and diminished tear strength, too. Generally, unlike the traditional retention-drainage systems comprising cationic polymer/nanoparticles, the application of cationic starch/cellulose nanofibers revealed no positive effects on the properties of pulp and paper recycled from packaging brown papers.

Keywords: cationic starch, cellulose nanofibers, recycled pulp and paper.

H. Pourkarim Dodangeh[1]
H. Jalali Torshizi[2*]

[1] M.Sc. student, Cellulose and paper technology department, Shahid Beheshti university, Zirab, Iran

[2] Assistant Prof., Cellulose and paper technology department, Shahid Beheshti university, Zirab, Iran

Corresponding author:
H_Jalali@sbu.ac.ir

Received: 2017/05/21
Accepted: 2017/11/21

www.SID.ir