

تأثیر درجه جایگزینی نشاسته کاتیونی بر کارایی سیستم نانوذره در بازیافت کارتن‌های کنگره‌ای کهنه

امیرحسین مهرانفر^۱، امیر خسروانی^{۲*}، مهدی رحمانی‌نیا^۳

۱. کارشناس ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۲. استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۳. استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۰۳

چکیده

نشاسته کاتیونی به‌طور گسترده‌ای به‌همراه انواع نانوذرات معدنی مانند نانوسیلیکا در پایانه تر کاغذسازی کاربرد دارد. در این مطالعه تلاش شد تا اثر درجه جایگزینی‌های نشاسته کاتیونی (۰/۰۱۸ و ۰/۰۴۵) در سیستم نانوذره حاوی نانوسیلیکا در خمیر بازیافتی حاصل از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه بررسی شود. در ابتدا به‌منظور بررسی ویژگی‌های نانوذرات، شکل، اندازه و پراکنش ابعاد ذرات نانوسیلیکاسل مصرفی، با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی و نیز میکروسکوپ الکترونی عبوری مطالعه شد که میانگین ابعاد نانوذرات کمتر از ۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. همچنین، در بررسی شاخص‌های فرایندی در تولید کاغذ، نتایج نشان از تعامل و اثرگذاری بیشتر نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی زیاد به‌همراه نانوذرات سیلیکا دارد، به‌نحوی که با استفاده از نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی ۰/۰۴۵، قابلیت آگیری از ۳۰۰ میلی‌لیتر (CSF) در نمونه شاهد به حدود ۵۶۰ میلی‌لیتر (CSF) افزایش یافت. به‌علاوه، با توجه به اینکه ویژگی پیوند درونی کاغذ، شاخص مناسبی از کارایی نشاسته است، اثر درجه جایگزینی نشاسته کاتیونی در این ویژگی مقاومتی مشهودتر بود. چنانکه با استفاده از نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی زیاد، مقاومت درونی کاغذ نسبت به شاهد به بیش از دوبرابر افزایش یافت. از سوی دیگر، هرچند به‌طور کلی در فرایند جذب نشاسته کاتیونی، به لحاظ الکتروستاتیکی، معکوس شدن بار عمومی سیستم کاغذسازی به‌عنوان یک عامل محدودکننده در استفاده از نشاسته کاتیونی با DS زیاد است، اما نتایج نشان داد در تولید کاغذ بازیافتی از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه، استفاده از نشاسته کاتیونی با DS زیاد مؤثرتر بوده است.

واژگان کلیدی: درجه جایگزینی، قابلیت آگیری، ماندگاری، مواد افزودنی کاغذ، نانوسیلیکا، نشاسته کاتیونی.

مقدمه

نمونه‌های پرکاربرد نانوذرات در صنعت کاغذسازی، استفاده از نانوذره سیلیکای کلوییدی است که با توجه به اندازه و ابعاد و خواص ویژه سطحی آن به همراه پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی مانند نشاسته، پلی‌آکریلامید و کایتوزان به‌عنوان مواد افزودنی کمک آگیری و کمک نگهدارنده کاربرد فراوانی دارند [۱-۲]. یکی از رایج‌ترین پلی‌الکترولیت‌های مورد استفاده در صنعت کاغذسازی، نشاسته کاتیونی است؛ هرچند استفاده از نشاسته کاتیونی به‌تهایی به‌عنوان پلی‌الکترولیت با

امروزه با گسترش نانو فناوری، بهره‌گیری از نانوذرات، نانو ساختارها، فناوری‌ها و تجهیزات آزمایشگاهی مرتبط با فناوری نانو، در صنعت کاغذ نیز توسعه فراوانی پیدا کرده است، به‌نحوی که از نظر حجم مصرف نانوذرات، صنعت کاغذ یکی از صنایع پیشرو محسوب می‌شود [۱]. یکی از

* نویسنده مسئول، تلفن همراه: ۰۹۳۵۳۷۴۳۴۷۷، تلفن ثابت: ۰۱۱۴۴۵۵۳۱۰۱

(۱۹۹۳)، اثر درجه جایگزینی^۲ (DS) نشاسته کاتیونی (به‌تنهایی و بدون استفاده از نانوسیلیکا) را مطالعه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که با افزایش DS نشاسته کاتیونی، مقدار نشاسته جذب‌شده روی الیاف کاهش می‌یابد [۶]؛ اما از طرف دیگر، استفاده از نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی بیشتر می‌تواند قابلیت جذب نشاسته در مقادیر هدایت الکتریکی بیشتر را تسهیل کند. از این‌رو پرسش اصلی این است که افزایش درجه جایگزینی نشاسته کاتیونی، سبب جذب کمتر نشاسته و در نتیجه عملکرد ضعیف‌تر سیستم نشاسته کاتیونی - نانوسیلیکا به‌لحاظ آبیگری، ماندگاری یا ویژگی‌های مقاومتی خواهد شد و یا اینکه بیشتر بودن درجه جایگزینی نشاسته کاتیونی، عملکرد بهتر این پلی‌الکترولیت در تعامل با نانوسیلیکا را در پی خواهد داشت.

مواد و روش‌ها

نشاسته کاتیونی با منبع تاپوکا^۳ از شرکت تولید نشاسته اصلاح‌شده سیام تایلند^۴ با درجه‌های جایگزینی ۰/۱۸ و ۰/۴۵ (mol/mol) تهیه شد. به‌منظور آماده‌سازی نشاسته کاتیونی، محلول ۰/۵ درصد نشاسته بر روی اجاق الکتریکی به مدت ۳۰ دقیقه به آرامی حرارت داده شد تا به دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد برسد. سپس در این دما به مدت ۳۰ دقیقه دیگر نگهداری شده و در نهایت پس از خنک شدن تا دمای محیط، در طول مدت همان روز استفاده شد.

نانوسیلیکاسل کلوییدی به‌صورت سوسپانسیون بی‌رنگ با محتوای مواد جامد ۸/۵ درصد ساخت شرکت اکا^۵ با کدتجاری NP320 تهیه شد. هدایت الکتریکی خمیرکاغذ با استفاده از کلرید کلسیم (CaCl₂) شرکت مرک^۶ تنظیم شد. به‌منظور تهیه خمیرکاغذ مورد نیاز در این تحقیق از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه استفاده شد. به‌کمک دستگاه

کاربردهای گوناگون، سابقه طولانی دارد، در خصوص کاربرد و تعامل اجزای پلیمری نشاسته (آمیلوز و آمیلوپکتین) با نانوذرات، عقاید، نظریه‌ها و کاربردهای مختلفی از جمله افزایش چشمگیر قابلیت آبیگری ارائه شده است [۳].

از سوی دیگر، یکی از انواع پرکاربرد خمیرکاغذ که به‌ویژه در داخل کشور برای تولید تست لاینر و حتی مقوای کنگره‌ای بسیار استفاده می‌شود، خمیر کارتن‌های کنگره‌ای کهنه (OCC)^۱ است. با توجه به وزن پایه زیاد این نوع مقواها، یکی از معضلات در تولید آنها مشکل آبیگری است که سبب محدودیت در سرعت تولید، و مصرف انرژی بسیار زیاد در جعبه‌های مکشی، پرس‌ها و خشک‌کن‌ها می‌شود. به‌علاوه در صورت آبیگری ضعیف، با توجه به رطوبت زیاد، ورقه تر الیاف مقاومت کافی برای عبور از ماشین را نخواهد داشت، از این‌رو در چنین مواردی استفاده از مواد کمک آبیگری و سیستم‌های مبتنی بر نانوذره می‌تواند راهگشا باشد و حتی محدودیت سرعت را برطرف کند. در همین زمینه، موارد بسیاری در خصوص مزایای سیستم نشاسته کاتیونی - نانوسیلیکا در رفع مشکل آبیگری و نیز افزایش سرعت ماشین کاغذ گزارش شده است [۱، ۲، ۴].

اما کاربرد سیستم‌های حاوی نانوذره در انواع فرایند بازیافت کاغذ با توجه به مواد مزاحم آنیونی و هدایت الکتریکی زیاد با مشکلاتی مواجه است. در همین زمینه، خسروانی و همکاران (۲۰۱۰)، در زمینه اثر نشاسته کاتیونی بر ماندگاری نرمة‌ها و پرکننده‌ها، گزارش دادند که می‌توان از پتانسیل زتا به‌عنوان ابزار تشخیص میزان پلیمر کاتیونی مورد نظر استفاده کرد [۴]. در تحقیق دیگری، در مورد کاربرد سیستم نشاسته کاتیونی - نانوسیلیکا در خمیرکاغذ حاصل از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه، رحمانی‌نیا و خسروانی (۲۰۱۵)، وجود مواد مزاحم آنیونی را در مصرف مقادیر بیشتر نشاسته کاتیونی مؤثرتر دانستند [۵].

به‌عنوان یک تحقیق پایه‌ای، هدبورگ و همکاران

2. Degree of Substitution
3. Tapioca
4. Siam modified starch
5. EKA Paper Chemicals
6. MERCK

1. Old Corrugated Container

ارزیابی شاخص‌های پایانه تر کاغذسازی

قابلیت آبیگری از خمیر کاغذ براساس استاندارد TAPPI T227om-99 به کمک دستگاه CSF Tester اندازه‌گیری شد. درصد ماندگاری نرمه براساس استاندارد TAPPI T261 cm-00 با استفاده از دستگاه Dynamic Drainage Jar برآورد شد.

ساخت کاغذ دست‌ساز و بررسی ویژگی‌های مقاومتی

به منظور ساخت کاغذهای دست‌ساز، از استاندارد TAPPI T205 sp-02 استفاده شد و کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه ۱۳۰ گرم بر متر مربع تهیه شد. همچنین برای اجرای آزمایش‌های مقاومت به کشش، مقاومت به پاره شدن و پیوند درونی کاغذ (نوع اسکات)^۴ به ترتیب از استانداردهای TAPPI T494 om-، TAPPI T403 om-91 و TAPPI T833 PM-94 استفاده شد.

نتایج و بحث

برای بررسی مناسب پراکنش ابعاد نانوذره مورد استفاده، از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) استفاده شد. شکل ۱، اندازه (شکل وسط) و پراکنش ابعاد نانوذرات سیلیکاسل (شکل سمت چپ) را نشان می‌دهد. این شکل، پراکنش اندازه نانوذرات سیلیکا در محدوده کمتر از ۱۰۰ نانومتر را تأیید می‌کند. به علاوه، به منظور بررسی دقیق تر شکل و ابعاد نانوذرات سیلیکا از تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نیز استفاده شد که ذرات نانوسیلیکاسل استفاده شده را به صورت ذرات کروی در محدوده ابعاد کوچک تر از ۵۰ نانومتر نشان می‌دهد (شکل سمت راست).

قابلیت آبیگری از خمیر کاغذ

جدول ۱، خلاصه نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مختلف در این تحقیق را نشان می‌دهد که همگی در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی دار بوده‌اند. یکی از مهم ترین

کوبنده والی^۱ براساس استاندارد TAPPI T200sp-01، عمل پراکنده سازی، خمیرسازی و پالایش کارتن‌ها تا درجه روانی ۳۰۰ میلی لیتر (CSF) انجام گرفت.

پس از تنظیم هدایت الکتریکی سوسپانسیون خمیر کاغذ با نمک کلرید کلسیم تا $5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ، براساس نوع مواد افزودنی و میزان مصرف، ابتدا نشاسته کاتیونی با مقدار تعیین شده و سپس نانوذره سیلیکاسل به صورت ثابت به مقدار ۰/۱ درصد وزن خشک خمیر کاغذ به سوسپانسیون افزوده شد. افزودن نشاسته کاتیونی با سرعت هم زدن ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و پس از فاصله زمانی یک دقیقه، افزودن نانوذره سیلیکا با سرعت هم زدن ۸۰۰ دور بر دقیقه انجام گرفت و پس از گذشت ۳۰ ثانیه اندازه‌گیری‌های مورد نظر صورت پذیرفت.

بررسی اندازه و پراکنش ابعاد نانوذرات

اندازه، شکل و پراکنش ابعاد نانوذرات توسط دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)^۲ و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)^۳ بررسی شد. به منظور بررسی توسط دستگاه AFM، مقدار رقیق شده‌ای از کلویید حاوی نانوذره به صورت قطره‌ای بر روی لامل تمیزی ریخته و در دمای محیط خشک و برای تصویربرداری آماده شد. سپس اندازه ذرات و پراکنش ابعاد آنها توسط دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی مدل Easy Scan2 Flex ساخت سوئیس بررسی شد.

برای بررسی دقیق تر شکل و ابعاد نانوذرات، پس از پراکنده سازی نمونه رقیق شده توسط دستگاه اولتراسونیک، یک قطره از آن بر روی صفحه مسی قرار داده شد و پس از خشک شدن با کربن پوشش داده شده و نمونه‌ها برای گرفتن تصویر توسط دستگاه TEM مدل CM120 Philips، آماده شد. نمونه‌ها با ولتاژ ۱۲۰ کیلوولت و در بزرگنمایی مختلف تصویربرداری شدند.

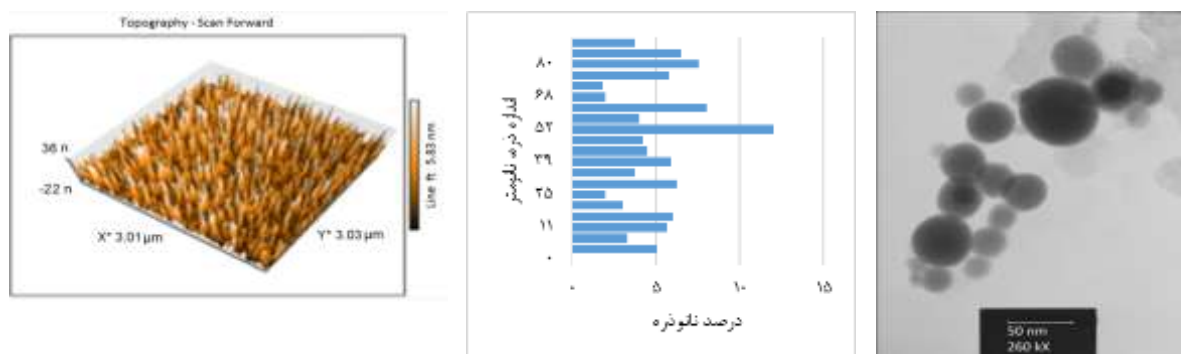
1. Valley Beater
2. Atomic Force Microscopic
3. Transmission electron microscope

4. Internal Bonding (Scott Type)

افزایش بیشتر مقدار نشاسته کاتیونی (۲/۵ درصد)، تأثیر منفی زیادی را بر قابلیت آبگیری نتیجه داده است. به نظر می‌رسد این مشاهده ناشی از استفاده بیش از حد پلی‌الکترولیت کاتیونی (نشاسته کاتیونی)، معکوس شدن بار عمومی سوسپانسیون خمیرکاغذ و در نتیجه تأثیر نداشتن سیستم نشاسته کاتیونی-نانوسیلیکای آنیونی در تشکیل فلاک مناسب بوده است. در تأیید این مطلب مشاهده می‌شود که این کاهش در خصوص نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی زیادتر (۰/۰۴۵)، شدیدتر از نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی کم (۰/۰۱۸) بوده است.

ویژگی‌های تعیین‌کننده در فرایند تولید انواع کاغذ و مقوا با وزن پایه زیاد، قابلیت آبگیری است. شکل ۲، تأثیر درجه جایگزینی نشاسته کاتیونی بر تعامل نشاسته کاتیونی با نانوسیلیکا را به لحاظ قابلیت آبگیری نشان می‌دهد.

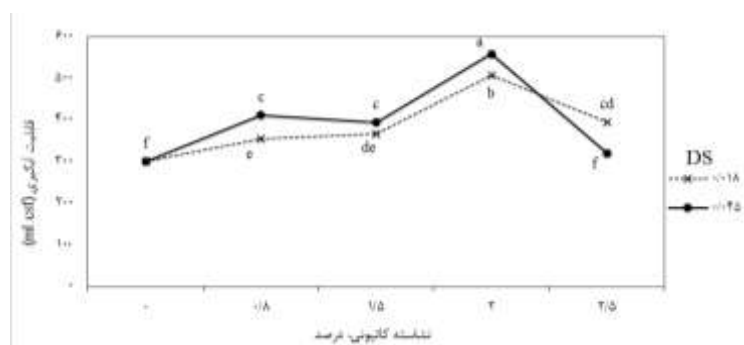
همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، افزودن مقدار نشاسته کاتیونی تا میزان ۲ درصد (براساس وزن خشک خمیرکاغذ) سبب افزایش کارایی سیستم نشاسته کاتیونی-نانوسیلیکا به لحاظ قابلیت آبگیری شده است. افزایش قابلیت آبگیری در سیستم نشاسته-نانوسیلیکا همراه با افزایش مقدار نشاسته مصرفی در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است [۴، ۷]. این در حالی است که



شکل ۱. به ترتیب از سمت چپ به راست: تصویر AFM، پراکنش ابعاد نانوذرات سیلیکا در AFM و تصویر TEM از نانوذرات سیلیکای کلوییدی

جدول ۱. جدول خلاصه نتیجه تجزیه واریانس ویژگی‌های بررسی شده

ویژگی	قابلیت آبگیری	ماندگاری	پیوند درونی	مقاومت به کشش	مقاومت به پارده شدن
احتمال معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد	*	*	*	*	*

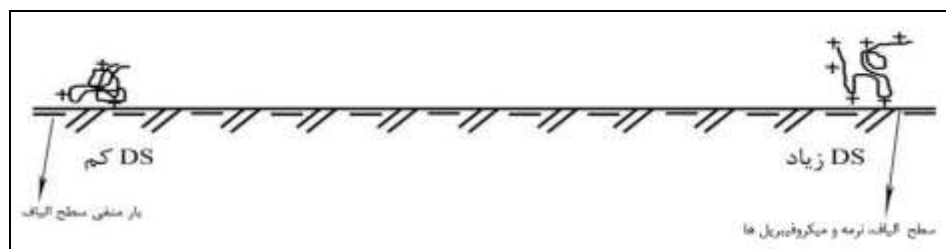


شکل ۲. اثر درجه جایگزینی نشاسته کاتیونی بر عملکرد سیستم نشاسته کاتیونی-نانوسیلیکا به لحاظ قابلیت آبگیری (حروف لاتین گروه‌بندی دانکن در سطح ۹۵ درصد احتمال را نشان می‌دهند)

زیادتری را در سیستم حاوی نانوسیلیکا نتیجه داده است. از این رو به نظر می‌رسد این نتیجه را می‌توان به مؤثرتر بودن نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی بیشتر در خمیر کاغذهای بازیافتی مرتبط دانست که دارای مواد مزاحم آنیونی و هدایت الکتریکی زیادند.

از سوی دیگر، در شرایط هدایت الکتریکی زیاد با توجه به افزایش غلظت یونی، پلی‌الکترولیت‌های با دانسیته بار کم در سوسپانسیون به لحاظ پیکره‌بندی حالت جمع‌شده بیشتری پیدا می‌کنند، اما با افزایش درجه جایگزینی و در نتیجه افزایش دانسیته بار پلی‌الکترولیت، نیروی دافعه بین بخش‌های باردار (بارهای هم‌نام) پلی‌الکترولیت سبب گسترده‌تر شدن آرایش زنجیره پلی‌الکترولیت و احتمالاً افزایش کارایی پلی‌الکترولیت دارای درجه جایگزینی بیشتر در سازوکار پل زنی می‌شود [۹] (شکل ۳).

البته شایان توجه است که در تحقیقات مختلف، حداکثر قابلیت آبگیری در مقادیر متفاوتی از نشاسته کاتیونی گزارش شده است. به طور معمول این تفاوت‌ها ناشی از درجه جایگزینی نشاسته کاتیونی، میزان مواد مزاحم آنیونی موجود در خمیر کاغذ و میزان هدایت الکتریکی بوده است [۳، ۵]. همچنین به طور معمول، مقدار مصرف نشاسته کاتیونی در خطوط کاغذسازی با هدایت الکتریکی کم و مقادیر کم آشغال‌های آنیونی (نظیر کاغذهای چاپ و تحریر) در حدود ۱ تا ۱/۵ درصد گزارش شده است [۳، ۸]. اما در خمیر کاغذهای بازیافتی که احتمال حضور مواد مزاحم آنیونی در آنها زیاد است (نظیر این تحقیق)، مقدار مصرف نشاسته کاتیونی ۲ درصد منجر به آبگیری بهتری شده است. همچنین شکل ۲ نشان می‌دهد که نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی بیشتر (۰/۰۴۵) مقادیر قابلیت آبگیری



شکل ۳. طرح شماتیک نحوه احتمالی جذب پلی‌الکترولیت با درجه جایگزینی کم و زیاد بر روی الیاف سلولزی در هدایت الکتریکی زیاد

وجود مقادیر زیاد مواد مزاحم آنیونی و هدایت الکتریکی به نسبت زیاد در خمیر کاغذ اشاره داشت که مانع عملکرد مناسب نشاسته کاتیونی در مقادیر بررسی شده بوده است [۸]. در نتیجه هرچند اهمیت ویژگی ماندگاری در تولید مقوا (به دلیل وزن پایه زیاد) چندان زیاد نیست، در صورت نیاز به افزایش درصد ماندگاری ذرات ریز، مصرف بیشتر نشاسته کاتیونی یا استفاده از مواد جمع‌کننده مواد مزاحم آنیونی توصیه می‌شود.

ویژگی‌های مقاومتی کاغذ

مقاومت پیوند درونی کاغذ (نوع اسکات)

ویژگی مقاومت پیوند درونی، در واقع میزان پیونددهی در

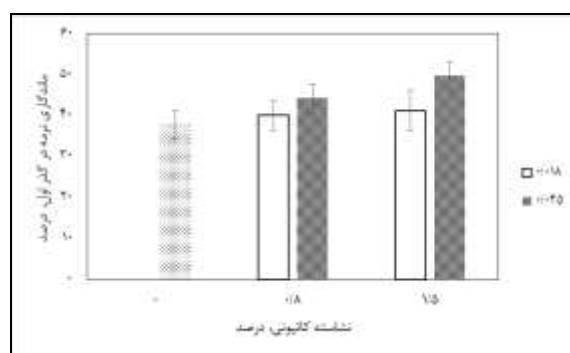
ماندگاری در گذر اول

در این پژوهش، ارزیابی پارامتر ماندگاری در گذر اول، در حالت دینامیک (توسط DDJ) انجام گرفت. در این روش از شکل‌گیری ورقه الیاف جلوگیری شده و بنابراین اثر شکل‌گیری ورقه الیاف لحاظ نمی‌شود. از این رو به طور عمده این پارامتر تحت تأثیر برهمکنش‌های شیمیایی و اثر مواد افزودنی شیمیایی است.

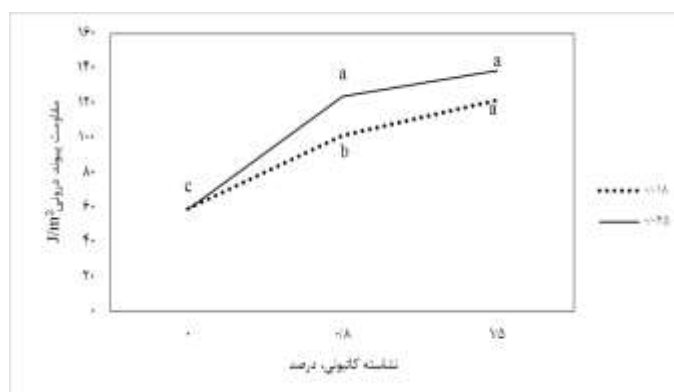
همان‌طور که در شکل ۴ نمایان است، در مصرف نشاسته کاتیونی تا سطح متداول در کارخانه‌ها (۱/۵ درصد)، تفاوت معنی‌داری در میزان ماندگاری ایجاد نشده است. در توضیح این نتیجه، همانند آنچه در مورد قابلیت آبگیری نیز بیان شد می‌توان به نوع خمیر کاغذ بازیافتی مصرفی و احتمال

مشاهده می‌شود که افزایش نشاسته کاتیونی تا حد ۱/۵ درصد، سبب افزایش پیوند درونی شده است، به نحوی که این ویژگی مقاومتی به بیش از دو برابر افزایش یافته است. هرچند نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی زیاد (۰/۰۴۵) تأثیر بیشتری بر این ویژگی داشته است که می‌توان جذب بیشتر نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی زیادتر را دلیل مناسبی برای آن دانست.

جهت عمود بر ورقه کاغذ (در جهت ضخامت ورقه کاغذ) را نشان می‌دهد. هرچه پیوندهای بیشتر و محکم‌تری بین الیاف به وجود آید، جدا کردن الیاف از یکدیگر در جهت عمودی مشکل‌تر می‌شود. پیوند درونی الیاف یکی از مناسب‌ترین شاخص‌های مقاومتی است که اثر مواد افزودنی بر پیونددهی بین الیاف را به خوبی مشخص می‌کند [۱۰-۱۲]. شکل ۵ تأثیر نشاسته کاتیونی بر این ویژگی مقاومتی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار



شکل ۴. تأثیر نشاسته کاتیونی با دو درجه جایگزینی متفاوت (در سیستم حاوی نانوسیلیکا) بر ماندگاری نرمه در گذر اول



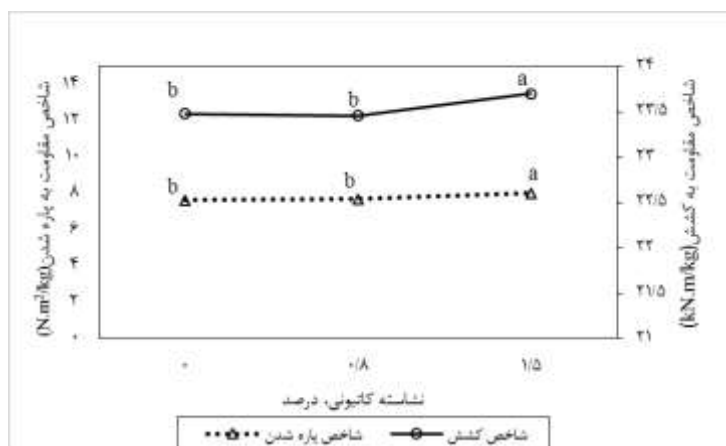
شکل ۵. تأثیر نشاسته کاتیونی با دو درجه جایگزینی متفاوت (در سیستم حاوی نانوسیلیکا) بر پیوند درونی کاغذ (حروف لاتین گروه‌بندی دانکن در سطح ۹۵ درصد احتمال را نشان می‌دهند)

از آنجا که عملکرد نشاسته کاتیونی به لحاظ قابلیت آبدگیری و نیز پیوند درونی کاغذ، در DS زیاد (۰/۰۴۵) در خمیر کاغذ بازیافتی دارای آشغال آبیونی فراوان نسبت به درجه جایگزینی کمتر، بهتر بوده است، اثر آن بر شاخص مقاومت به کشش و مقاومت به پاره شدن نیز بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۶ آمده است، در خصوص

شاخص‌های مقاومت به کشش و مقاومت به پاره شدن شاخص‌های مقاومت به کشش و مقاومت به پاره شدن از ویژگی‌های مقاومتی مهم کاغذ هستند که اولی به تعداد و کیفیت اتصال‌های بین الیاف وابسته است و دومی تحت تأثیر سه فاکتور طول الیاف، مقاومت ذاتی الیاف و وضعیت پیونددهی در ورقه کاغذ قرار دارد [۱۰-۱۲].

نشاسته کاتیونی نسبت داد. در حالی که با افزایش مقدار نشاسته کاتیونی استفاده شده، شاخص مقاومت به کشش تا حدی افزایش معنی داری را نشان داد.

شاخص مقاومت به کشش، مقادیر کم نشاسته کاتیونی اثر معنی داری بر این شاخص مقاومتی نداشته است که دلیل آن را می توان به حضور مواد مزاحم آنیونی و خنثی شدن



شکل ۶. تأثیر نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی ۰/۰۴۵ (در سیستم حاوی نانوسیلیکا) بر شاخص مقاومت به کشش و شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ (حروف لاتین گروه بندی دانکن در سطح ۹۵ درصد احتمال را نشان می دهند)

هدایت الکتریکی زیاد ($5000 \mu\text{S}/\text{cm}$)، افزایش آبیگری از حدود ۳۰۰ میلی لیتر (CSF) در خمیر کاغذ پایه تا حدود ۵۶۰ میلی لیتر (CSF) و نیز افزایش ماندگاری از حدود ۳۷ درصد در خمیر کاغذ پایه تا حدود ۴۹ درصد مؤید این مطلب است.

به لحاظ ویژگی های مقاومتی، اثر استفاده از نشاسته کاتیونی بر مقاومت درونی کاغذ بسیار مشهود بود، به نحوی که این ویژگی مقاومتی در اثر استفاده از نشاسته کاتیونی بیش از دو برابر افزایش یافت. به علاوه، با توجه به اینکه ویژگی پیوند درونی کاغذ، شاخص مناسبی از کارایی نشاسته می تواند باشد، اثر درجه جایگزینی نشاسته کاتیونی در این ویژگی مشهودتر بوده است.

به طور کلی، این مطالعه نشان داد در خطوط تولید کاغذ بازیافتی نظیر OCC، استفاده از نشاسته کاتیونی با DS زیاد در حضور نانوسیلیکای کلوئیدی می تواند تا حدود زیادی کارایی سیستم نانوذره را افزایش دهد.

در خصوص اثر نشاسته کاتیونی بر شاخص مقاومت به پاره شدن نیز همان طور که در شکل ۶ آمده است، تنها افزایش بسیار ملایم این ویژگی مشاهده می شود. از این رو با توجه به اینکه نشاسته کاتیونی اثر خاصی بر مقاومت ذاتی الیاف و طول الیاف ندارد، افزایش معنی دار این شاخص را می توان به بهبود وضعیت پیونددهی در ورقه کاغذ نسبت داد.

نتیجه گیری

پراکنش ابعاد و شکل نانوسیلیکای مورد استفاده در این تحقیق توسط دستگاه های AFM و TEM بررسی شد که نانوذرات سیلیکاسل کلوئیدی با شکل کروی و با ابعاد حدودی کوچک تر از ۵۰ نانومتر مشاهده شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن نانوسیلیکای کلوئیدی به همراه نشاسته کاتیونی با درجه جایگزینی زیاد (۰/۰۴۵) سبب افزایش زیادی در ویژگی های فرایندی نظیر قابلیت آبیگری و ماندگاری ذرات ریز خمیر کاغذ OCC شده است. چنانکه افزایش DS نشاسته کاتیونی حتی در شرایط

References

- [1]. Hubbe, M.A. (2005). Micro and Nanoparticle in Papermaking, J.M. Rodriguez (ed), TAPPI PRESS, Georgia, Atlanta, pp.1-33.
- [2]. Moberg, K. (1993). A visual perspective on microparticles. In: TAPPI Papermakers Conf. Proc., TAPPI PERSS, Atlanta, pp.115-121.
- [3]. Gess, J.M. (1998). Retention of Fines and Fillers During Papermaking. TAPPI PERSS, Atlanta, Georgia.
- [4]. Khosravani, A., Jahan Latibari, A., Mirshokraei, S.A., Rahmaninia, M., and Nazhad, M.M. (2010). Studying the effect of cationic starch-anionic nanosilica system on retention and drainage. *BioResources*, 5(2): 939-950.
- [5]. Rahmaninia, M., and Khosravani, A. (2015). Improving the paper recycling process of old corrugated container wastes. *Cellulose Chemistry and Technology*, 49(2): 203-208.
- [6]. Hedborg, F., and Lindstrom, T. (1993). Adsorption of cationic starch on bleached softwood cellulosic fibers. *Nordic Pulp and Paper Resources Journal*, 8(2): 258-263.
- [7]. 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.
- [8]. Au, C.O., and Johansson, K.A. (1993). The use of cationic starch and anionic colloidal silica in waste. *Pulp and Paper Canada*, 94(6): 55-58.
- [9]. Wagberg, L. (2000). Polyelectrolyte adsorption onto cellulose fibres - a review. *Nordic Pulp and Paper Resources Journal*, 15(5): 586-597.
- [10]. Khosravani, A., and Rahmaninia, M. (2013). The potential of nanosilica-cationic starch wet-end system for applying higher filler content in fine paper. *Bioresource*, 8(2): 2234-2245.
- [11]. Khosravani, A., Jahan Latibari, A., Tajvidi, M., Mirshokraee, S.A., and Mohammad Nazhad, M. (2010). Studying the influence of cationic starch dosage on performance of anionic nanosilica- cationic starch system in fine paper. *Journal of Forest and Wood Products*, 63(1): 1-8.
- [12]. Hosseinian, Kh., Rahmaninia, M., and Khosravani, A. (2016). Comparison of chitosan performance in a single or nanoparticle system as a wet end additive in recycled printing and writing papers. *Journal of Forest and Wood Products*, 68(4):815-827.

The effect of cationic starch degree of substitution on nanoparticle system performance in old corrugated containers recycling

A. H. Mehranfar; M.Sc., Wood & Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran

A. Khosravani*; Assist. Prof., Wood & Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran

M. Rahmaninia; Assist. Prof., Wood & Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. Iran

(Received: 28 December 2015, Accepted: 22 February 2016)

ABSTRACT

Cationic starch has been widely used with various mineral nanoparticles such as nanosilica, in wet-end of papermaking. This study was aimed to study the effect of cationic starch with different degrees of substitution (DS: 0.018 and 0.045) in nanoparticle containing system with nanosilica, in recycled OCC pulp. In this respect, initially, to study the shape and dimensions of nanosilica sol particles, atomic force microscopy (AFM) and transmission electron microscopy (TEM) was used; thereby the average size of nanosilica sols were measured less than 50 nm. Moreover, in order to study the papermaking process parameters, the results revealed that high DS cationic starch (0.045) resulted more effective interactions with silica nanoparticles, so that, an increase in drainability of the furnish from 300 ml CSF for blank sample to about 560 ml CSF, was observed. In addition, as the internal bonding strength of paper can be a proper indicator of the starch performance, the effect of cationic starch DS was more prominent in the case of this strength index; such that, following application of high DS cationic starch, the internal bonding strength was raised more than twice as much. On the other hand, generally, although, due to electro-kinetics of cationic starch adsorption, reversing the charge of the whole paper-making system can be as a limiting factor for application of high DS cationic starch, but, in OCC recycling production lines, application of high DS cationic starch was much more effective.

Keywords: Degree of substitution, Drainability, Retention, Paper additives, Nanosilica, Cationic starch.

* Corresponding Author: E-mail: khosravani@modares.ac.ir, Tel: +98 11 44553101, Fax: +98 11 44553499