جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴
ص ۲۲۱-۲۳۳

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۰۷/۰۷
تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۰۲/۱۸

تأثیر اصلاح کاتیونی کربنات کلسیم رسوبی بر ویژگی‌های نوری و فیزیکی کاغذ

❖ **مقدسه اکبری امری *؛** دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
❖ **نادیا کبودی ترابی؛** دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
❖ **حسین رسالتی؛** استاد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
❖ **قاسم اسدپور اتویی؛** استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
❖ **محمدرضا دهقانی فیروزآبادی؛** دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

Archive of SID

چکیده

در این مطالعه، کربنات کلسیم رسوبی با استفاده از نشاستهٔ کاتیونی اصلاح‌شده و سپس تأثیر آن بر خواص نوری و فیزیکی در مقایسه با پرکنندهٔ اصلاح‌نشده (معمولی) بررسی شده است. برای تعیین میزان ماندگاری پرکننده در کاغذ، هر دو پرکننده‌های اصلاح‌شده و معمولی در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ به سوسپانسیون خمیر اضافه شده است. به‌منظور مقایسهٔ تأثیر استفاده از کربنات کلسیم رسوبی اصلاح‌شده و پرکنندهٔ معمولی، از طریق تست‌های مقدماتی میزان پرکننده به نحوی تعیین شد که کاغذهای نهایی حاوی سه سطح ۱۰، ۱۶ و ۳۰ درصد پرکننده برحسب وزن خشک کاغذ باشند. نتایج نشان داد که در سطوح مصرف ۲۰ و ۳۰ درصد پرکننده، کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده درصد ماندگاری بیشتری نسبت به کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی دارند؛ در دو سطح یادشده بیشترین مقدار ماندگاری و خاکستر را پرکنندهٔ PCC-15% S به خود اختصاص می‌دهد که بیشترین مقدار نشاستهٔ کاتیونی در اصلاح آن استفاده شده است. بدیهی است، با افزایش درصد پرکننده‌ها (اصلاح‌شده و معمولی) درجهٔ روشنی کاغذها افزایش می‌یابد. این بررسی نشان داد که کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده، ماتی کمتری نسبت به کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی دارند. نتایج طیف‌های اشعهٔ X هر دو پرکنندهٔ اصلاح‌شده و معمولی نشان داد که هر دو از واحدهای کلسیت تشکیل شده‌اند درحالی‌که واحدها از شکل هندسی متفاوتی برخوردارند.

واژگان کلیدی: اصلاح کاتیونی، خواص نوری و فیزیکی، کربنات کلسیم رسوبی، طیف اشعهٔ X.

* نویسندهٔ مسئول ۰۹۱۱۶۸۸۷۸۲۹
Email: Akbari_moghadase@yahoo.com

www.SID.ir

مقدمه

در صنعت کاغذسازی، سه ویژگی قابلیت آبگیری از خمیر، مقدار ماندگاری نرمه‌های الیاف و مواد پرکنندهٔ معدنی بر روی کاغذ و نیز شکل‌گیری کاغذهای تولیدشده، اهمیت ویژه و حیاتی دارند که دستیابی به این سه موضوع سبب افزایش کیفیت و کمّیت تولید کاغذ خواهد شد. عوامل متعددی نظیر طراحی ماشین کاغذ، متغیرهای تولیدی، شیمی پایانهٔ تر ماشین کاغذ و استفاده از مواد کمک‌نگهدارنده، بر تعادل بین مقادیر ماندگاری و شکل‌گیری کاغذ و همچنین قابلیت آبگیری از خمیر تأثیر بسزایی دارد و تلاش متخصصان کاغذساز بر این است تا با به‌کارگیری فناوری مدرن و استفاده از مواد کمک‌نگهدارندهٔ مناسب در بخش تر ماشین کاغذ، بیشترین ماندگاری را با حفظ شکل‌گیری مناسب کاغذ تأمین کنند و با افزایش قابلیت آبگیری از خمیر نسبت به افزایش سرعت ماشین کاغذ و افزایش مقدار تولید اقدام کنند [۱]. بنابراین، صنعت کاغذ باید با انتخاب دقیق عوامل مؤثر بر تولید، هزینه‌ها را کاهش دهد که یکی از عوامل مؤثر بر کاهش هزینه‌ها استفاده از پرکنندهٔ بیشتر و کم‌کردن هدررفت‌ها در مراحل مختلف تولید است [۲].

پرکننده‌ها پرمصرف‌ترین افزودنی‌هایی هستند که هرساله در واحد وزن (تن) در ساخت کاغذ استفاده می‌شوند. صنعت کاغذ پرکننده‌ها را به‌منظور کاهش مصرف الیاف دست اول، کاهش هزینه‌های تولید، افزایش ظرفیت تولید کاغذ بدون افزایش ظرفیت خمیرسازی، بهبود خصوصیات کاغذ مانند شفافیت، ماتی، ثبات ابعادی [۳]، تولید کاغذهای ضد میکروبی [۴]، تولید کاغذهای مقاوم در برابر شعله [۵] استفاده می‌کند.

مشکلات زیادی در زمینهٔ استفاده از پرکننده‌ها مانند نامناسب‌بودن کربنات کلسیم در شرایط کاغذسازی اسیدی، آثار منفی بارگذاری پرکننده بر مقاومت کاغذ، آهاردهی، تمایل پرکننده در ایجاد سایش و غبار و ماندگاری کم پرکننده‌ها وجود دارد [۶]. روش اصلاح پرکننده یک راه اجتناب‌ناپذیر برای افزایش استفاده از پرکننده در کاغذ است. اصلاح کاتیونی یکی از شاخه‌های بسیار مهم فناوری اصلاح پرکننده است. پرکنندهٔ اصلاح‌شده به‌صورت کاتیونی را می‌توان برای افزایش استفاده از پرکننده در کاغذ با حفظ مقاومت کاغذ به‌منظور بهبود حرکت‌پذیری، ماندگاری پرکننده، و توزیع پرکننده و کاهش تقاضا برای افزودنی‌های کاتیونی استفاده کرد [۷]. همچنین ماندگاری پرکننده موضوعی بسیار مهم در زمینهٔ شیمی پایانهٔ تر کاغذسازی است که با اصلاح پرکننده می‌تواند بهبود یابد [۸].

اصلاح‌کننده‌های مناسب برای اصلاح کاتیونی پرکننده‌ها شامل پلی‌آمینوآمید، پلی‌آمید، هوموپلیمر دی‌آلیل دی‌متیل آمونیوم‌کلرید، کوپلیمر دی‌آلیل دی‌متیل آمونیوم‌کلرید و آکریل‌آمید، کیتوسان، دودسیل تری‌متیل آمونیوم‌برمید کاتیونی، پلی‌آکریل آمید کاتیونی و نشاستهٔ کاتیونی هستند [۹]. نشاسته در اصلاح پرکننده بسیار مؤثر است و می‌توان آن را به‌منظور افزایش اتصال الیاف- پرکننده برای بهبود خواص مقاومتی کاغذها استفاده کرد. نشاسته به‌دلیل کم‌هزینه بودن، کارایی زیاد، دسترسی آسان و دوست‌دار محیط زیست بودن در کاغذ استفاده

Archive of SID

www.SID.ir

می‌شود [۱۰]. ژئو[1] و همکاران (۲۰۰۵) کربنات کلسیم رسوبی را با نشاستهٔ خام اصلاح کردند؛ متوجه شدند که استفاده از این روش، ظرفیت اتصال بین پرکننده و کاغذ را افزایش می‌دهد و سبب افزایش مقاومت‌های کاغذ مانند مقاومت کششی، مقاومت به پاره‌شدن و مقاومت به تاشدن می‌شود [۶]. یانک و همکاران (۲۰۱۳) برای اصلاح کربنات کلسیم رسوبی از ترکیب نشاستهٔ کاتیونی و کربوکسی‌متیل سلولز استفاده کردند و با نتایج حاصل از پرکنندهٔ اصلاح‌شده با نشاسته یا کربوکسی‌متیل سلولز مقایسه کردند. نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب نشاستهٔ کاتیونی و کربوکسی‌متیل سلولز برای اصلاح پرکننده عملکرد بهتری در ماندگاری پرکننده، مقاومت کششی، درجهٔ روشنی و ماتی داشته است [۱۱]. پانکلو و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهش خود کربنات کلسیم رسوبی را با نشاسته برای بهبود ویژگی‌های پرکننده اصلاح کردند و اثر دلمه‌سازی پلی‌آلومینیوم کلرید (پک) را در سه سطح ۴، ۸ و ۱۲ درصد بررسی کردند. نتایج نشان داد کربنات کلسیم رسوبی پوشش‌دهی‌شده با نشاسته مقاومت‌های کششی و پارگی بیشتری نسبت به پرکنندهٔ اصلاح‌نشده دارند. مقدار مصرف پک به اثر پوشش ژل نشاسته بر ذرات پرکننده بستگی دارد. با افزایش مقدار پک درجهٔ روشنی، ماتی کاغذ افزایش یافته است. نتایج این پژوهش نشان داد که خصوصیات فیزیکی و نوری کاغذ به مقدار پرکننده بیشتر از مقدار مصرف پک بستگی دارد [۱۲].

به‌هرحال مصرف پرکننده در تولید کاغذ به‌دلیل صرفه‌جویی در هزینه و انرژی و بهبود ویژگی‌های کاغذ افزایش یافته است. یکی از اثرات منفی افزایش سطح مصرف پرکننده‌ها، کاهش ماندگاری است [۶]. هدف از این پژوهش اصلاح کربنات کلسیم رسوبی با استفاده از نشاستهٔ کاتیونی و بررسی تأثیر استفاده از آن بر ماندگاری پرکننده، ویژگی‌های نوری و فیزیکی کاغذ است.

مواد و روش‌ها

اصلاح کربنات کلسیم رسوبی: با استفاده از منابع مربوطه که سطح نشاسته ۱۲ درصد برحسب وزن خشک کربنات کلسیم رسوبی را استفاده کرده بودند، سه سطح ۹، ۱۲ و ۱۵ درصد برای نشاستهٔ کاتیونی در نظر گرفته شد [۶].

نشاستهٔ کاتیونی برمبنای وزن کربنات کلسیم رسوبی توزین شد. از مخلوط کربنات کلسیم و نشاستهٔ دوغابی تهیه شد. دوغاب حاصل داخل قیف بوخنر چینی (با قطر ۹ سانتی‌متر) ریخته شد که حاوی ۲ نوع کاغذ صافی (کاغذ صافی معمولی با قطر ۱۵ سانتی‌متر در زیر و کاغذ صافی با قطر ۱۲/۵ سانتی‌متر و منافذ ۲ µm بر روی کاغذ صافی معمولی) بود. دوغاب از طریق مکش حاصل از پمپ خلأ آبگیری شد، پس از آبگیری مخلوط پرکننده و نشاسته که به شکل خمیر سفتی با محتوای آب ۵۵ درصد درآمده بود به داخل زیپک کوچکی ریخته و به درون حمام آب با دمای ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد منتقل شد. زیپک به‌مدت ۳ ساعت در داخل حمام آب قرار گرفت و بعد از اتمام این زمان به‌مدت یک ساعت مواد داخل زیپک به‌صورت دستی با هم مخلوط شدند. سپس مخلوط پرکننده و نشاسته (که اکنون به‌صورت ماده‌ای خمیری شکل تقریباً یکنواختی درآمده)، از زیپک به روی سطح فویلی که

1. Zhao

Archive of SID
www.SID.ir

با نایلون پوشیده شده منتقل شد و حداقل به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت تا خشک شود. قطعات خشک‌شده و جامد به‌وسیلهٔ آسیاب خانگی پودر شد و به‌وسیلهٔ غربال با مش ۳۲۰ الک شد [۶].

ترکیب الیاف استفاده شده: در این پژوهش برای بررسی و مطالعهٔ ویژگی‌های خمیر و کاغذ چاپ و تحریر، سوسپانسیونی حاوی ۷۰ درصد خمیر شیمیایی- مکانیکی (CMP) تولیدشده در کارخانهٔ چوب و کاغذ مازندران و ۳۰ درصد خمیر الیاف بلند کرافت رنگ‌بری‌شده (LF) وارداتی استفاده شده است. با توجه به زیادبودن درجهٔ روانی اولیهٔ CMP و LF، با استفاده از پالایشگر آزمایشگاهی PFI عمل پالایش انجام و درجهٔ روانی خمیرها به‌ترتیب در محدودهٔ ۳۰ ±۳۰۰ و ۳۰±۵۰۰ میلی‌لیتر (CSF) تنظیم شد.

پلی‌اکریل آمید کاتیونی با نام تجاری Farinret K325 تولیدی شرکت دگوسا به‌منزلهٔ عامل کمک‌نگهدارنده استفاده شده است. این پلیمر بر پایهٔ پلیمرهای آکریلیک است و جرم مولکولی بالا و بار کاتیونی متوسط دارد. پلی‌اکریل آمید کاتیونی ابتدا به‌صورت محلول با غلظت ۰/۱ گرم بر لیتر تهیه و به مقدار ۰/۲ درصد وزن خشک استفاده شد.

برای کاتیونی‌کردن کربنات کلسیم رسوبی از سه سطح نشاستهٔ کاتیونی استفاده شد. تنها پارامتر متغیر مقدار نشاستهٔ مصرفی بوده است و تمامی شرایط دیگر مثل زمان و دمای پخت ثابت در نظر گرفته شده است. نشاستهٔ کاتیونی در سه سطح ۹، ۱۲ و ۱۵ به پرکننده اضافه شد. پرکننده‌های حاصل به‌ترتیب PCC-9% S، PCC-12% S و PCC-15% S نام‌گذاری شدند.

برای تعیین میزان ماندگاری پرکننده در کاغذ، پرکننده‌های اصلاح‌شده و معمولی در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ به سوسپانسیون اضافه شده‌اند. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری و فیزیکی، با انجام تست‌های مقدماتی میزان پرکننده به‌نحوی تعیین شد که کاغذهای نهایی حاوی سه سطح ۱۰، ۱۶ و ۳۰ درصد پرکننده برحسب وزن خشک کاغذ باشند.

ارزیابی خمیر کاغذ و کاغذ به‌دست‌آمده: آزمایش‌های مورد نیاز براساس استانداردهای TAPPI به شرح زیر بوده است: مقدار درجهٔ روانی خمیر مطابق استاندارد T۲۲۷om-۹۹ ، تهیهٔ کاغذهای دست‌ساز براساس استاندارد T۲۰ sp-۹۵ ، اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری کاغذهای ساخته‌شده مانند روشنی و زردی مطابق با شمارهٔ استاندارد T ۴۵۲om-۰۲ و ماتی کاغذ هم با استاندارد ۴۵۲om-۰۲ اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری ویژگی‌های کاغذ مانند ضخامت، مقاومت کاغذ به عبور هوا به‌ترتیب با شمارهٔ استاندارد T ۴۱۱ om-۰۵، T ۴۶۰om-۰۲ انجام گرفت. میزان حجم ویژهٔ کاغذ از طریق روابط موجود بین وزن پایه و ضخامت کاغذ محاسبه شدند.

ارزیابی نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی (SEM[1]) و پراش پرتو ایکس (XRD[2]): تصاویر میکروسکوپ الکترونی به‌منظور ارزیابی اندازه و مورفولوژی ذرات پرکننده، به‌وسیلهٔ دستگاه FE-SEM مدل S-۴۱۶۰ شرکت هیتاچی ژاپن تهیه شدند. تهیهٔ تصویر (XRD) با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس مدل X'Pert high score با پرتو Cu Kα به‌وسیلهٔ یک فیلتر نیکل با نرخ ۰/۰۲ درجه از ۱۰ تا ۱۰۰ درجه صورت گرفت. برای این کار جهت

1. Scanning electronmicroscope
2. X-ray Diffraction

Archive of SID
www.SID.ir

آماده‌سازی مادهٔ معدنی باید مقدار کمی نمونهٔ پودری روی قطعات شیشه‌ای تمیز ریخته و به آن چند قطره آب اضافه شود. بعد از اختلاط کامل، لایهٔ نازک تقریباً یکنواختی روی سطح شیشه ایجاد می‌شود. بعد از خشک شدن نمونه‌ها در دمای اتاق، نمونه‌ها را در دستگاه قرار می‌دهند و اشعهٔ ایکس با زاویهٔ مشخص به آن تابیده و بازتابش آن ثبت می‌شود. حاصل کار یک فایل حاوی داده‌های خام است؛ این داده‌ها در نرم‌افزارهای مناسب به‌صورت نمودار ترسیم می‌شود که در یک محور فاصلهٔ شبکه‌ای یا زاویهٔ بین اشعهٔ تابش و اشعهٔ بازتابش و در محور دیگر شدت بازتابش قرار دارد. در مرحلهٔ بعد کارت‌های استاندارد (کارت‌هایی است که در شرایط آزمایشگاه و با نمونه‌های خالص آزمایش شده‌اند) با پیک‌های مجهول انطباق داده می‌شوند. سپس فازهای مختلف شناسایی می‌شود و نتیجهٔ کار به‌صورت یک دیاگرام و یک جدول شامل نام فازهای مختلف در زیر جدول ارائه می‌شود.

نتایج و بحث

آنالیز XRD از کربنات کلسیم اصلاح‌شده و معمولی

آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه‌های پرکننده به‌روش دیکینسون و همکاران انجام شد [۱۳]. نتایج انطباق پراش پرتو ایکس با کارت‌های استاندارد نشان داد که کربنات کلسیم اصلاح‌شده نیز از کلسیت تشکیل شده‌اند، بنابراین در ساختار شیمیایی نمونهٔ کربنات کلسیم اصلاح‌شده طی فرایند اصلاح هیچ‌گونه تغییری ایجاد نشده است (شکل ۱). کربنات کلسیم سه شکل پلی‌مورفی تحت عنوان کلسیت، واتریت و آراگونیت دارد که پلی‌مورف اصلی که شکل پایدارتر کربنات کلسیم است در پرکننده‌های استفاده‌شده در صنایع کاغذسازی، همان پلی‌مورف کلسیت است. نتایج حاصل از طیف‌سنجی پرتو ایکس نمونه‌های پرکنندهٔ اصلاح‌نشده و نیز اصلاح‌شده بیانگر آن بود که پیک اصلی در هر دو مورد مربوط به پلی‌مورف کلیست است و تفاوت آن‌ها در مقادیر 2Θ است که اندکی جابه‌جا شده است. مقایسهٔ این نتایج با مقادیر استاندارد آن که توسط دیگر پژوهشگران اعلام شده است، تطابق زیاد بین نتایج این مطالعه با پژوهش‌های قبلی را نشان داد. به‌طوری‌که پیک‌های ۲۹= 2Θ، ۳۹/۵= 2Θ و ۴۷/۷= 2Θ مربوط به کلسیت، پیک‌های ۲۴/۹= 2Θ و ۴۵= 2Θ مربوط به آراگونیت و درنهایت پیک ۲۶/۳= 2Θ، ۳۸/۷= 2Θ و ۴۶= 2Θ مربوط به پلی‌مورف واتریت هستند [۱۴]. بنا بر نتایج می‌توان نتیجه گرفت که اصلاح پرکنندهٔ کربنات کلسیم رسوبی با نشاسته نیز بر وضعیت ساختار پلی‌مورفی این پرکننده تأثیر چندانی نداشته و تنها تغییر، جابه‌جایی پیک اصلی کلسیت از ۲۹/۵= 2Θ به مقدار ۳۹/۵= 2Θ است.

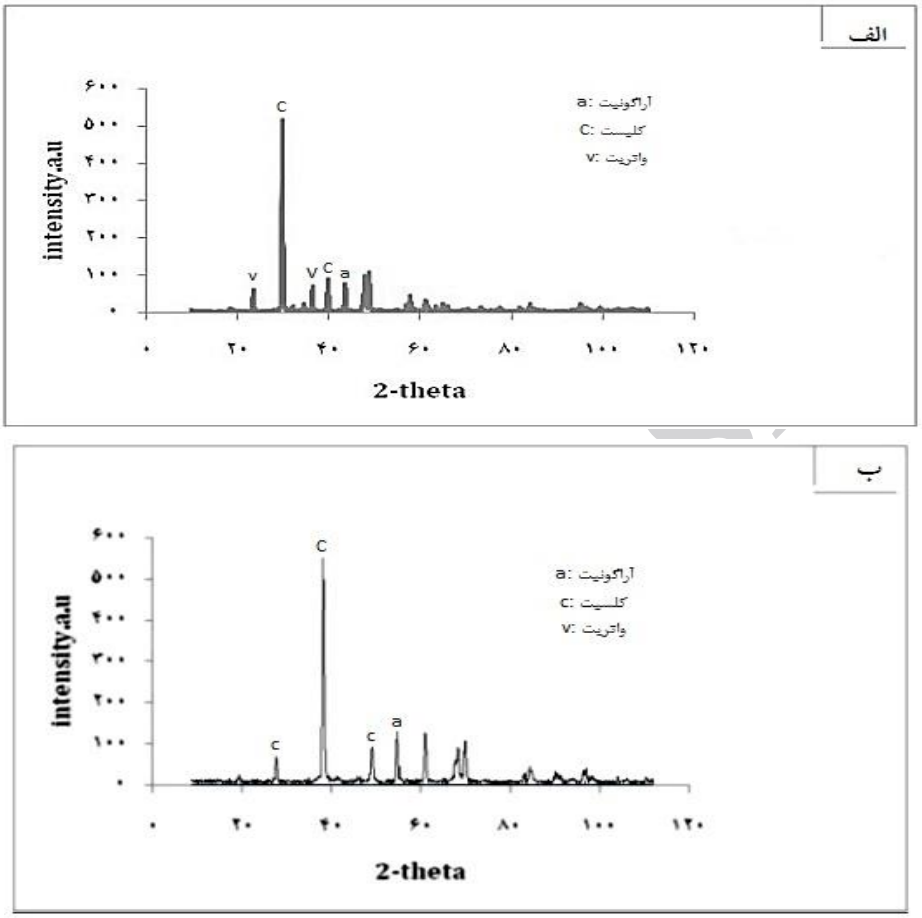
آنالیز تصاویر FE-SEM تهیه‌شده از کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده و پرکنندهٔ معمولی

شکل ۲ تصویر FE-SEM حاصل از کاغذ حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده و پرکنندهٔ معمولی است. چسبندگی و توده شدن پرکننده‌ها و همین‌طور پر شدن بیشتر خلل و فرج بین الیاف در شکل (الف) که مربوط به پرکنندهٔ اصلاح‌شده است دیده می‌شود، اما در شکل (ب) ذرات پرکنندهٔ کمتری دیده می‌شوند،

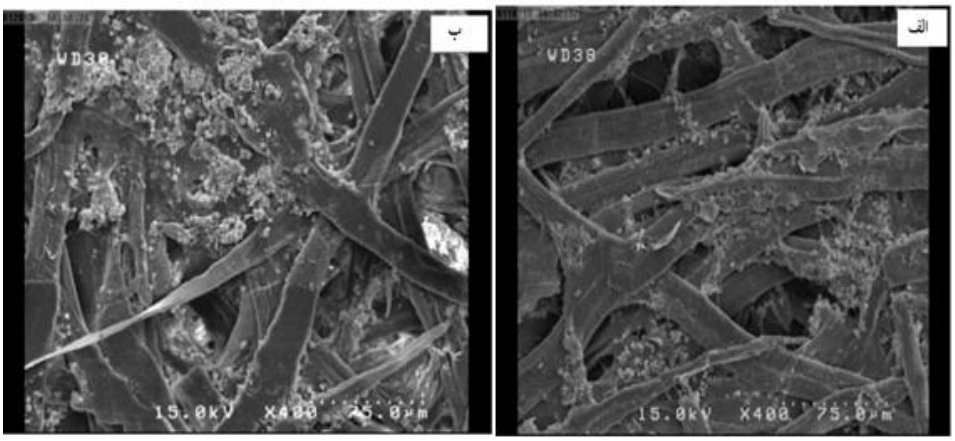
Archive of SID

www.SID.ir

ضمن اینکه فواصل بین الیاف نیز خیلی پر نشده است. درواقع اندازهٔ ذرات کربنات کلسیم رسوبی معمولی به‌طور متوسط حدود ۲/۸۴۰µm است. دامنهٔ اندازهٔ ذرات کربنات کلسیم اصلاح‌شده پایین‌تر از این محدوده قرار گرفته است اما به‌واسطهٔ نشاسته به هم چسبیده و کلوخ شده‌اند.



شکل ۱. نتایج پراش پرتو ایکس از پرکنندهٔ معمولی (الف) و نمونهٔ کربنات کلسیم اصلاح‌شده (ب)



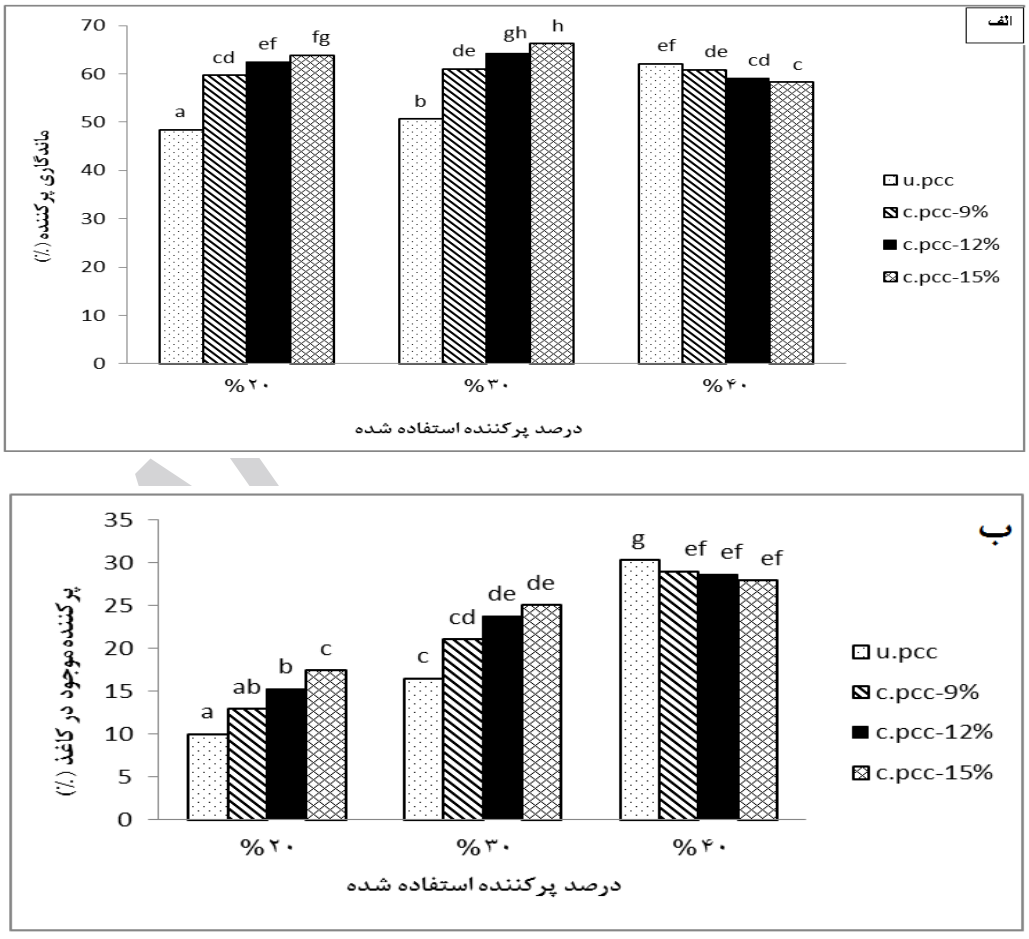
شکل ۲. تصویر FE-SEM تهیه‌شده از نمونهٔ پرکنندهٔ معمولی (الف) و کاغذ حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده (ب)

www.SID.ir

مقایسهٔ تأثیر استفاده از کربنات کلسیم اصلاح‌شده و پرکنندهٔ معمولی بر خواص فیزیکی کاغذ

درصد پرکنندهٔ کاغذ

با توجه به شکل۳ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار خاکستر موجود در کاغذ در سطوح مختلف مصرف پرکننده، مربوط به کاغذهایی است که سطوح بالاتری از پرکننده را دارند. در سطوح مصرف ۲۰ و ۳۰ درصد پرکننده، کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده درصد ماندگاری بیشتری نسبت به کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی دارند. در دو سطح یادشده بیشترین درصد ماندگاری و خاکستر را پرکنندهٔ PCC-15% S به خود اختصاص می‌دهد که بیشترین مقدار نشاستهٔ کاتیونی در اصلاح آن استفاده شده است. روند نمودارها در سطح مصرف ۴۰ درصد، معکوس دو سطح مصرف ۲۰ و ۳۰ درصد است. در این سطح بیشترین میزان ماندگاری و خاکستر مربوط به پرکنندهٔ اصلاح‌نشده است و کمترین ماندگاری و خاکستر را پرکنندهٔ PCC-15% S به خود اختصاص می‌دهد.



شکل ۳. رابطهٔ مقدار مصرف پرکننده در ساخت کاغذ با میزان ماندگاری آن (الف) و مقدار پرکنندهٔ باقی‌مانده در کاغذ (ب)

www.SID.ir

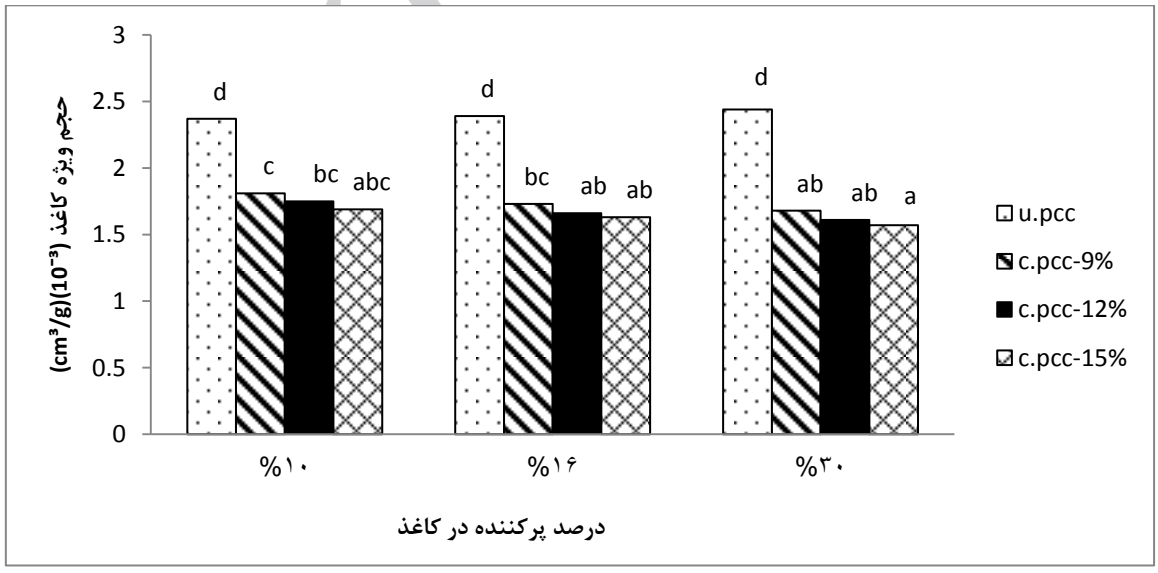
میانگین پرکننده‌های اصلاح‌شدهٔ PCC-12% S و PCC-15% S در یک سطح مصرف مشخص در گروه‌های مشترکی دسته‌بندی می‌شوند، برای مثال این دو پرکننده در سطح ۲۰ درصد هر دو در گروه F قرار می‌گیرند. در سطح مصرف ۴۰ درصد مشاهده می‌شود ماندگاری‌ها با مقادیر سطوح پایین‌تر مصرف پرکننده در گروه‌های مشابه قرار می‌گیرند، مثل ماندگاری پرکنندهٔ PCC-15% S در سطح مصرف ۴۰ درصد که با ماندگاری پرکنندهٔ PCC-9% S در سطح ۲۰ درصد در گروه C قرار دارند.

حجم ویژهٔ کاغذ

با توجه به شکل ۴ ملاحظه می‌شود کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی حجم ویژهٔ بیشتری نسبت به کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده دارند. همچنین با افزایش درصد پرکننده در کاغذ، حجم ویژه در کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده و معمولی روند متفاوتی دارند بدین‌گونه که با افزایش درصد پرکننده در کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی، حجم ویژه روند افزایشی دارد اما کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده روند کاهشی دارند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی در تمام سطوح پرکننده بیشترین حجم ویژه را دارند و در گروه D قرار می‌گیرند. کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شدهٔ هر سطح در یک گروه قرار می‌گیرند، ضمن اینکه با بعضی از پرکننده‌های اصلاح‌شدهٔ سطوح دیگر نیز هم‌گروه هستند که نشان می‌دهد سه نوع پرکنندهٔ اصلاح‌شده در تمامی سطوح حجم ویژهٔ نزدیک به هم دارند که در شکل ۴ نیز قابل مشاهده است.

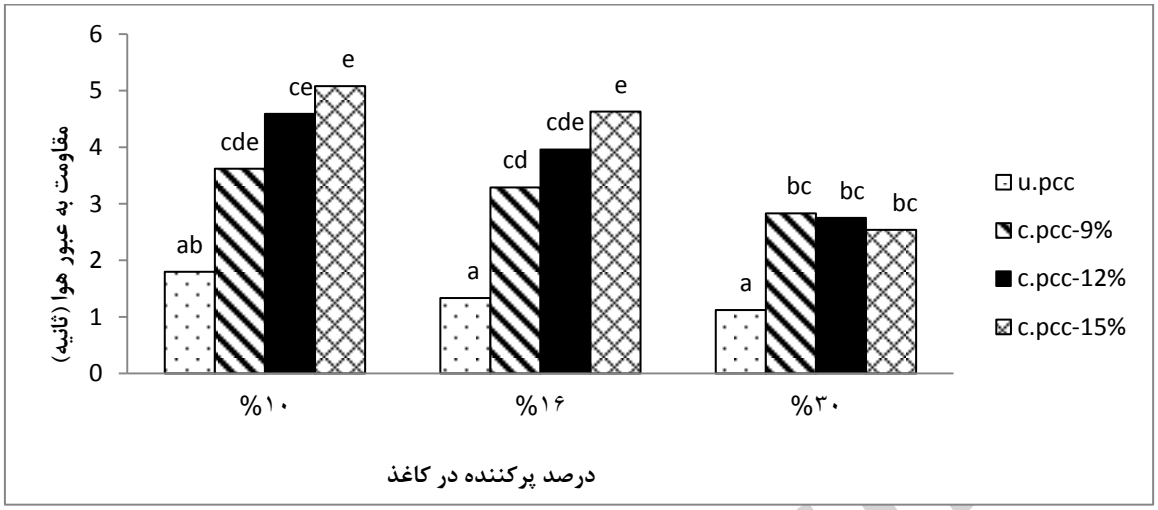
مقاومت به عبور هوای کاغذ

با توجه به شکل ۵ ملاحظه می‌شود که پرکنندهٔ اصلاح‌شده نسبت به کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی عملکرد بهتری در بهبود ویژگی مقاومت به عبور هوای کاغذ داشته است.



شکل ۴. تأثیر نوع پرکننده بر حجم ویژهٔ کاغذ در سطوح مختلف پرکننده

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۵. تأثیر نوع پرکننده بر مقاومت به عبور هوا کاغذ در سطوح مختلف پرکنندهٔ کاغذ

با افزایش محتوای پرکنندهٔ کاغذ، مقاومت به عبور هوای آن نیز کاهش می‌یابد، چون سبب کاهش پیوندهای بین الیاف و به دنبال آن افزایش خلل و فرج می‌شوند. از بین پرکننده‌های اصلاح‌شده در بازهٔ ۱۰ تا ۱۶ درصد، پرکنندهٔ PCC-15% S بیشترین مقاومت به عبور هوا را داشته است و بعد از آن به‌ترتیب PCC-12% S و PCC-9% S قرار دارند. اما در بازهٔ ۱۶ تا ۳۰ درصد این دو، سیر نزولی بیشتری پیدا می‌کنند. کاهش شدید مقاومت به عبور هوای پرکننده‌های PCC-15% S و PCC-12% S در سطح ۳۰ درصد به‌دلیل بالارفتن بیش از حد بار مثبت سیستم است. با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی در تمام سطوح پرکننده با کمترین میزان مقاومت به هوا در گروه A قرار می‌گیرند، البته پرکنندهٔ معمولی در سطح ۱۰ درصد با پرکننده‌های اصلاح‌شده در سطح ۳۰ درصد نیز در گروه B قرار دارد.

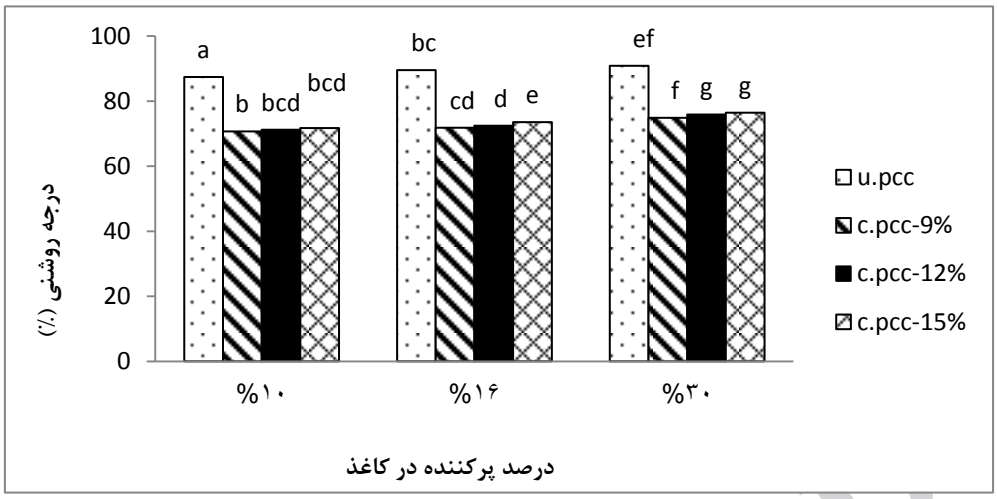
مقایسهٔ تأثیر استفاده از پرکنندهٔ اصلاح‌شده با پرکنندهٔ معمولی بر خواص نوری کاغذ

روشنی کاغذ

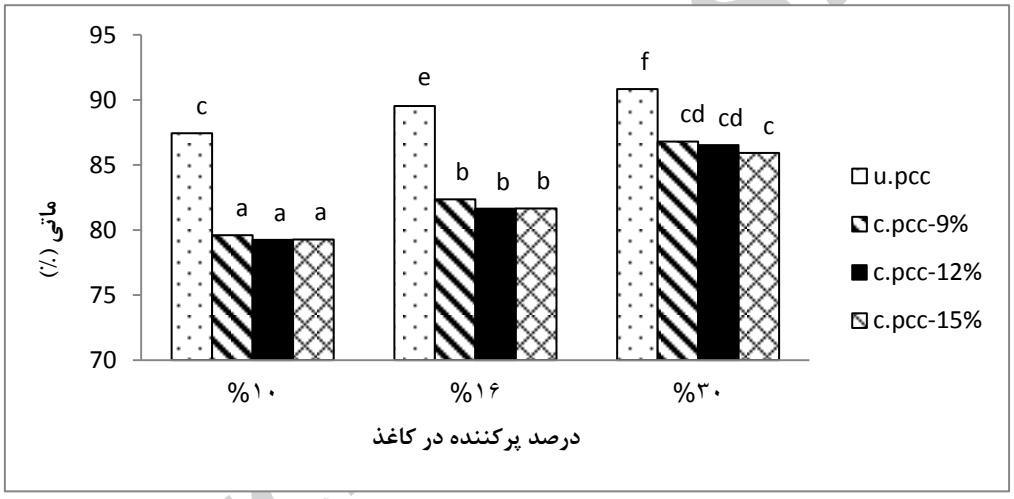
با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد پرکننده در کاغذ، درجهٔ روشنی کاغذها افزایش می‌یابد. بین درجهٔ روشنی کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی و پرکنندهٔ اصلاح‌شده تفاوت کمی مشاهده می‌شود. کمترین مقدار درجهٔ روشنی در کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی مربوط به کاغذی است که کمترین درصد پرکننده در کاغذ را دارد. همان‌طور که در شکل مشخص است کاغذهای حاوی پرکننده‌های اصلاح‌شده PCC-12%S و PCC-15%S در سطح پرکنندهٔ ۳۰ درصد با بیشترین درجهٔ روشنی در گروه‌های جداگانهٔ G قرار دارد و کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی در سطح ۱۰ درصد با کمترین درجهٔ روشنی در دستهٔ A قرار گرفت. درمجموع پرکننده‌های هر سطح تشابه زیادی در درجهٔ روشنی با هم دارند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶. تأثیر نوع پرکننده بر درجهٔ روشنی کاغذ در سطوح مختلف پرکنندهٔ کاغذ



شکل ۷. تأثیر نوع پرکننده بر ماتی کاغذ در سطوح مختلف پرکنندهٔ کاغذ

ماتی کاغذ

با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی نسبت به کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده از درجهٔ ماتی بیشتری برخوردارند. با افزایش میزان پرکنندهٔ ماتی افزایش می‌یابد و بیشترین درجهٔ ماتی را کاغذ حاوی پرکنندهٔ معمولی در سطح ۳۰ درصد دارد و کمترین میزان ماتی مربوط به پرکننده‌های اصلاح‌شده در سطح ۱۰ درصد است. کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی در هر سطح بیشترین ماتی نسبت به پرکننده‌های اصلاح‌شده را دارند و در سه گروه مجزای C، E و F قرار می‌گیرند. پرکننده‌های اصلاح‌شده در هر سطح در یک گروه قرار می‌گیرند، برای مثال پرکننده‌های اصلاح‌شده در سطح ۱۰ درصد در گروه A قرار دارند که کمترین درجهٔ ماتی را دارند.

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در سطوح مصرف ۲۰ و ۳۰ درصد پرکننده، کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده درصد ماندگاری بیشتری نسبت به کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی دارند. ازآنجاکه نشاستهٔ کاتیونی پیرامون پرکننده‌ها را گرفته با تغییر در بار سطحی پرکننده ضمن اینکه پرکننده‌ها را به هم چسبانده سبب ایجاد پیوند بین پرکننده‌ها و الیاف با بار منفی می‌شود و ماندگاری پرکننده‌ها افزایش می‌یابد [۱۳]. در کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی چون بار سطحی پرکننده و الیاف هر دو منفی است، نیروی دافعهٔ بین آن‌ها سبب پیوند ضعیف و ماندگاری کمترشان نسبت به پرکننده‌های اصلاح‌شده می‌شود. در سطح مصرف ۴۰ درصد، معکوس دو سطح مصرف ۲۰ و ۳۰ درصد است. در این حالت بار مثبت سیستم بسیار بالا می‌رود و پتانسیل زتای سیستم از حالت خنثی فاصله می‌گیرد که سبب ایجاد نیروی دافعه بین پرکننده‌ها و الیاف می‌شود و درنتیجه ماندگاری کاهش می‌یابد. در پژوهش سانگ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شد که کربنات کلسیم اصلاح‌شده با نشاستهٔ کاتیونی به افزایش قابل توجهی در ماندگاری پرکننده (حدود ۳۰۰ درصد) منجر می‌شود، که دلیل آن پیش لخته‌سازی پرکننده با نشاستهٔ کاتیونی است [۱۴]. یانگ و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که در مقایسه با پرکنندهٔ اصلاح‌شده با نشاستهٔ کاتیونی، پرکنندهٔ اصلاح‌شده با ترکیبی از نشاستهٔ کاتیونی و کربوکسی‌متیل سلولز افزایش جزئی در ماندگاری پرکننده منجر شده است [۱۱].

ارزیابی خواص فیزیکی کاغذها نشان داد که کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی حجم ویژه بیشتری نسبت به کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده دارند. همچنین با افزایش درصد پرکننده در کاغذ، حجم ویژه در کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده و معمولی روند متفاوتی دارند بدین‌گونه که با افزایش درصد پرکننده در کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی، حجم ویژه روند افزایشی دارد اما کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده روند کاهشی دارند. در کاغذ حاوی پرکنندهٔ معمولی پیوند بین الیاف و پرکننده ضعیف است، به‌دلیل اینکه هر دو بار منفی دارند درنتیجه وجود پرکننده‌ها سبب تضعیف پیوند بین الیاف می‌شود و با قرارگرفتن بین الیاف سبب افزایش فاصلهٔ بین آن‌ها می‌شود. در پرکننده‌های اصلاح‌شده به‌دلیل بار کاتیونی سطحی و به دنبال آن افزایش پیوند بین پرکننده و الیاف همین‌طور شکل لایه‌ای پرکننده‌ها که فضای کمتری را اشغال می‌کنند سبب کاهش حجم ویژه می‌شود. افزایش پیوند بین پرکننده‌های کاتیونی و الیاف، کم‌شدن خلل و فرج را به دنبال آن افزایش مقاومت به عبور هوا را نسبت به پرکنندهٔ معمولی دارد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش درصد پرکننده در کاغذ درجهٔ روشنی کاغذها افزایش می‌یابد و بین درجهٔ روشنی کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی و پرکنندهٔ اصلاح‌شده تفاوت کمی مشاهده می‌شود. کمترین مقدار درجهٔ روشنی در کاغذهای حاوی پرکنندهٔ معمولی مربوط به کاغذی است که کمترین درصد پرکننده در کاغذ را دارد، که علت آن کمتر بودن ضریب بازتابش نور کاغذ درنتیجه کمتربودن پرکننده در کاغذ است. به‌نظر می‌رسد پرکننده‌های اصلاح‌شده با از دست دادن

Archive of SID

www.SID.ir

شکل سوزنی و پیداکردن حالت ورقه‌ای و همین‌طور تشکیل توده‌های پرکننده که بزرگ‌تر از سایز پرکننده‌های معمولی است ضریب بازتابش نور بیشتری دارند که سبب افزایش درجهٔ روشنی اندک آن‌ها نسبت به پرکنندهٔ معمولی می‌شود. پرکننده‌های اصلاح‌شده با کاهش خلل و فرج در کاغذ و همین‌طور تشکیل تودهٔ بزرگ پرکننده با شکل ورقه‌ای که افزایش ضریب بازتابش نور و کاهش ضریب پخش نور را به دنبال دارد، سبب پایین‌آمدن ماتی می‌شود.

در پژوهش مشابهی مشاهده شده است که در سطح مصرف یکسان پرکننده، کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده و معمولی ویژگی‌های نوری مشابهی دارند. به‌هرحال ویژگی‌های نوری کاغذهای حاوی پرکنندهٔ اصلاح‌شده به‌دلیل افزایش مقدار پرکنندهٔ موجود در کاغذ، بدون آسیب به ویژگی‌های فیزیکی کاغذ، می‌تواند افزایش یابد [۶]. نتیجهٔ پژوهش یانگ و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که در مقایسه با کربنات کلسیم رسوبی اصلاح‌شده با نشاستهٔ کاتیونی، پرکنندهٔ اصلاح‌شده با ترکیبی از نشاستهٔ کاتیونی و کربوکسی‌متیل سلولز به افزایش درجهٔ روشنی منجر می‌شود اما ماتی تقریباً برابری دارند [۱۱]. در پژوهش پانکلو و همکاران گزارش شد که با افزایش کربنات کلسیم و پک، درجهٔ روشنی و ماتی بهبود یافت. استفاده از کربنات کلسیم اصلاح‌شده با سطح مصرف ۱۲ درصد پک بهترین نتایج ویژگی‌های نوری را داشته است [۱۲].

Archive of SID

www.SID.ir

References

[1]. Svedberg, A. (2007). Valuation of retention/formation relationships using a laboratory pilot-paper machine, Licentiate Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, pp.45.

[2]. Yoon, S. Y., and Deng, Y. (2006). Starch-fatty complex modified filler for papermaking. Tappi Journal, 5, 3-9.

[3]. Tsuru, S., Yokoo, A., Sakurai, T., and Ogwa, T. (1997). A functional paper and its use as a deodorant, filtering, medium or adsorbent", E. P. Patent 0,393, 723, Jul. 16.

[4]. Kim, C. H., cho, S. H., and Park, W. P. (2005). Inhibitory effect of functional packaging papers containing grapefruit seed extracts and zeolite against microbial growth. Appita Journal, 58(3), 202-207.

[5]. Withiam, M. C. (1989). "Fire retardant pigment", U.S. Patent 4,842,772, Jun. 29.

[6]. Zhao, Y. , Hu, Z. , Ragauskas, A. J., and Deng, Y. (2005). Improvement of paper properties using starch-modified precipitated calcium carbonate filler. Tappi Journal, 4(2), 3-7.

[7]. Song, Y., and Xiao, H. (2009). Preparation and application of cationic cellulose fibers modified by in situ grafting of cationic PVA. Collloids Surfaces A, 335:121-127.

[8]. Antunes, E., Garcia, F.A.P., and Ferrira, P. (2008). Use of new branched cationic polyacrylamides to improve retention and drainage in papermaking. Industrial & Engineering Chemistry Research, 47, 9370-9375.

[9]. Tanaka, t., Matsuo, K., and Nagao, K. (2006). Method for pretreating filler, paper compounded of the filler, and method for producing the paper, " Japon Patent 2, 006, 118, 092, May, 11.

[10]. Yan, Z., Liu, Q., and Deng, Y. (2005). Improvement of paper strength with starch modified clay. Journal of Applied Polymer Science, 97, 44-50.

[11]. Yang, H., Qiu, L., Qian, X., and Shen, J. (2013). Filler modification for papermaking with cationic starch and carboxymethyl cellulose: A comparative study. BioResources, 8(4), 5449-5460.

[12]. Ponklaew, P., Chandranupap, P., and Chandranupap, P. (2013). Filler modification for improvement of paper strength in papermaking. Pure and Applied Chemistry International Conference, (PACCON 2013).

[13]. Dickinson, S.R. McGrath, K.M. (2003). Switching between kinetic and thermodynamic control: calcium carbonate in the presence of a simple alcohol. Journal of Materials Chemistry, 13 928–933.

[14]. Marie, F, E., Seiersten, M., and Andreassen, J. P. (2009). Polymorphism and morphology of calcium carbonate precipitated in mixed solvents of ethylene glycol and water. Journal of Crystal Growth, 311(13): 3533-3538.

[15]. Sang, Y., McQuaia, M., and Englezose, P. (2012). Pre-flocculation of precipitated calcium carbonate filler by cationic starch for highly filled mechanical grade paper. BioResources, 7(1), 354-373.

Archive of SID

www.SID.ir