



دانشگاه گواران

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیستم و دوم، شماره دوم، ۱۳۹۴
<http://jwfst.gau.ac.ir>

بررسی تأثیر استفاده از کربنات کلسیم رسوبی بر ویژگی‌های کاغذ تهیه شده از خمیر کاغذ CMP و الیاف بلند

احسان محرابی^۱، حسین رسالتی^۲ و کامل محمدزاده^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
^۲استاد گروه چوب و کاغذ، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، ^۳دانشجوی دکتری
صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۸/۲۸

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر استفاده از پرکننده معدنی کربنات کلسیم رسوبی (PCC) بر ویژگی‌های کاغذ چاپ و تحریر انجام شد.

سابقه و هدف: امروزه سرعت تغییر و تحول در صنایع خمیر و کاغذ در حال افزایش است و استفاده از افزودنی‌های غیرفیبری در ساخت کاغذ امری ضروری به نظر می‌رسد. پرکننده‌ها به لحاظ درصد وزنی، بخش مهم و قابل توجهی از این افزودنی‌ها هستند. محدوده رایج برای مصرف پرکننده به کاغذ از ۳ تا ۳۰ درصد متغیر است. پرکننده‌ها، ذرات جامد غیرقابل حل هستند که به منظور بهبود ویژگی‌های نوری کاغذ و کاهش هزینه‌ها به سوسپانسیون کاغذسازی افزوده می‌شوند. پرکننده‌های متداول در کاغذسازی به‌طور عمده شامل خاک رس، کربنات کلسیم، دی‌اکسید تیتانیوم، تالک و سیلیکا هستند. آنتونیس و همکاران (۲۰۰۸) کلوخه‌شدن پرکننده‌های PCC در کاغذسازی را در حضور یک پلی‌اکریل‌آمید خطی با وزن مولکولی و چگالی بار زیاد ابراز داشتند که ویژگی‌های PCC به‌طور عمده بر مقدار کلوخه‌کننده، ساختار کلوخه‌ها و بنابراین مقاومت و بازکلوخه‌شدن آن‌ها تأثیر می‌گذارد.

*مسئول مکاتبه:

همچنین آنتونیس و همکاران (۲۰۱۰) کلوخه‌شدن PCC با مکانیسم پل‌زنی را با استفاده از پلیمرهای پلی‌الکترولیت با وزن مولکولی بسیار زیاد و چگالی بار متوسط مورد مطالعه قراردادند. مطابق نتایج آن‌ها، همبستگی‌های به‌دست آمده، اثرات غلظت کلوخه‌کننده، ساختار کلوخه و ساختار پلیمر بر سینتیک کلوخه‌ها متأثر است.

مواد و روش‌ها

پرکننده معدنی PCC در سطوح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد به‌منظور بهبود ویژگی‌های نوری کاغذ به سوسپانسیون الیاف حاصل از ۳۰ درصد خمیر کاغذ الیاف‌بلند وارداتی و ۷۰ درصد خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی (CMP) افزوده شد. همچنین به‌منظور بهبود ماندگاری میزان پرکننده موجود در کاغذ، از پلیمر پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی (C-PAM) با وزن مولکولی زیاد و چگالی بار زیاد به‌عنوان عامل کمک‌نگهدارنده استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش پرکننده موجود در کاغذ، ویژگی‌های نوری کاغذهای دست‌ساز تهیه شده بهبود یافت، اما از سوی دیگر به استثنای مقاومت به پارگی که تقریباً بدون تغییر باقی ماند، مقادیر شاخص‌های سایر مقاومت‌های مکانیکی کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: در تحقیق حاضر، با افزایش مصرف کربنات کلسیم رسوبی در کاغذها، سطوح خاکستر و حجیمی کاغذها افزایش یافت اما مقاومت به عبور هوا، مقاومت کششی و مقاومت به ترک‌شدن کاغذ با افزودن PCC در کاغذ روندی نزولی را نشان داد. علت آن، کاهش سطح پیوند بین الیاف به‌خاطر وجود پرکننده‌های معدنی و نیز عدم پراکنش یکنواخت پرکننده معدنی در کاغذ بر می‌گردد. پرکننده‌های معدنی توانایی تشکیل پیوند با الیاف سلولزی را ندارند. در نتیجه با محدودتر و ضعیف‌تر شدن پیوند بین الیاف و نیز عدم شکل‌گیری مناسب و همین‌طور عدم توزیع تنش در کاغذ، شاخص‌های مقاومت کششی و مقاومت به ترک‌شدن کاغذ کاهش می‌یابد. کاغذهای حاوی PCC نسبت به کاغذهای شاهد دارای درجه روشنی و ماتی بیشتری هستند؛ دلیل آن به‌وجود PCC در کاغذ باز می‌گردد که با افزایش درصد PCC در کاغذ، هرچند منافذ در کاغذهای حاوی پرکننده معدنی افزایش می‌یابد، اما این کاغذها از ضریب بازتابش نور بیشتری نسبت به کاغذهای شاهد برخوردار هستند.

کلمات کلیدی: پرکننده معدنی، کربنات کلسیم رسوبی، ویژگی‌های کاغذ، پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی

مقدمه

امروزه سرعت تغییر و تحول در صنایع خمیر و کاغذ در حال افزایش است و استفاده از افزودنی‌های غیرفیبری در ساخت کاغذ امری ضروری به نظر می‌رسد. پرکننده‌ها به لحاظ درصد وزنی، بخش مهم و قابل توجهی از این افزودنی‌ها هستند. محدوده رایج برای مصرف پرکننده به کاغذ از ۳ تا ۳۰ درصد متغیر است. پرکننده‌ها، ذرات جامد غیرقابل حلی هستند که به منظور بهبود ویژگی‌های نوری کاغذ و کاهش هزینه‌ها به سوسپانسیون کاغذسازی افزوده می‌شوند. پرکننده‌های متداول در کاغذسازی شامل خاک رس، کربنات کلسیم، دی‌اکسید تیتانیوم، تالک و سیلیکا هستند (۸).

دنگ و یان (۲۰۰۰) دو سیستم کلوخه‌شدن و ماندگاری بر پایه میکروذرات کاتیونی را بررسی کردند. آن‌ها به ترتیب از دو پلیمر ^1CSP و $^2\text{CPMP}$ به عنوان کلوخه‌کننده و عامل کمک‌نگه‌دارنده برای سوسپانسیون‌های جامد در مایع (^3PCC با چگالی بار منفی و چگالی بار مثبت و لاتکس پلی‌استایرن با چگالی بار منفی) و خمیر کاغذ استفاده کردند. مشاهده شد که $^4\text{CPAM}$ اگر به تنهایی استفاده شود، کمک‌نگه‌دارنده مؤثری برای سوسپانسیون PCC با چگالی بار مثبت در خمیر کاغذ نخواهد بود. با این وجود، ماندگاری PCC ، به هنگام استفاده از PCC با چگالی بار منفی بهبود یافت. ترکیب سیستم‌های میکروذرات (CPMP و CSP) با پلی‌اکریل‌آمیدهای با بار کاتیونی یا آنیونی قابل حل در آب می‌تواند به طور معنی‌داری کلوخه‌شدن و ماندگاری را بهبود ببخشد.

آلنیس و همکاران (۲۰۰۱) رسوب ذرات پرکننده بر سطوح الیاف از طریق پلی‌الکترولیت کاتیونی و بنتونیت را بررسی کردند. نتایج به دست آمده با استفاده از مقادیر متغیر پلیمر و بنتونیت نشان داد که CPAM با جذب بر روی الیاف و PCC ، مکان‌هایی اتصال برای بنتونیت فراهم می‌کند. در نتیجه، بنتونیت به عنوان یک پل بین الیاف و PCC عمل می‌کند و چسبندگی PCC به الیاف قویتر از پل ساده CPAM می‌باشد. در تحقیق مذکور به منظور دستیابی به عملکرد مطلوب، نسبت مصرف پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی به بنتونیت کاهش داده شد.

آنتونیس و همکاران (۲۰۰۸) کلوخه‌شدن پرکننده‌های PCC در کاغذسازی را در حضور یک پلی‌اکریل‌آمید خطی با وزن مولکولی و چگالی بار زیاد بررسی کردند. نتایج نشان داد که ویژگی‌های

-
- 1- Cationic Silica Particles
 - 2- Cationic Polymeric Micro-Particle
 - 3- Precipitated Calcium Carbonate
 - 4- Cationic Polyacrylamide

PCC به‌طور عمده بر مقدار کلوخه‌کننده، ساختار کلوخه‌ها و بنابراین مقاومت و بازکلوخه‌شدن آن‌ها تأثیر می‌گذارد.

سینق و همکاران (۲۰۰۸) نفوذپذیری نمد الیاف خمیرکاغذ کرافت رنگبری‌شده حاوی ذرات پرکننده (PCC و خاک رس) را بررسی کردند. تراوایی با افزودن مقادیر کمی از PCC افزایش یافت، اما مقادیر زیادتر به‌طور معنی‌داری نفوذپذیری را کاهش داد. همچنین، افزایش نفوذپذیری اولیه با افزایش همزمان در سرعت‌های آب‌گیری از خمیرکاغذها مشاهده گردید. در میزان بار بیشتر پرکننده، ذرات PCC، منافذ خالی را بسته و نفوذپذیری را کاهش داد.

لیمتانین و همکاران (۲۰۰۹) ماندگاری پرکننده‌های PCC و GCC^۱ بر سطوح نرمه‌های خمیرکاغذ شیمیایی را با اندازه‌گیری مقادیر پرکننده‌های جذب‌شده بر سطوح نرمه‌های اولیه و ثانویه و بخش الیاف‌بلند خمیرکاغذ شیمیایی خمیرکاغذ اکالیپتوس در حضور C-PAM بررسی کردند. نتایج نشان داد که بخش نرمه‌های اولیه و ثانویه، هم در حضور و هم در غیاب عامل کلوخه‌کننده، پرکننده‌های PCC و GCC بیشتری نسبت به بخش الیاف بلند را بر سطح خود جذب می‌کنند.

پینهیر و همکاران (۲۰۱۰) عملکرد پلی‌آکریل‌آمیدهای کاتیونی بر کلوخه‌شدن، آب‌گیری و ماندگاری در کاغذسازی را بررسی کردند. مطابق نتایج آن‌ها کلوخه‌شدن، آب‌گیری و ماندگاری به‌شدت از کیفیت آب و ویژگی‌های پلیمر به‌عنوان مثال چگالی بار، تعداد شاخه‌ها و وزن مولکولی متأثر می‌شود. به‌این ترتیب که اندازه کلوخه با وزن مولکولی و درجه شاخه‌زنی/چگالی بار افزایش می‌یابد. زمان آب‌گیری با کاهش وزن مولکولی پلیمر یا دانسیته بار افزایش می‌یابد. همچنین افزایش ماندگاری PCC از ۵۰ درصد به حداقل ۷۵ درصد با افزودن کلوخه‌کننده‌ها به‌دست آمد.

آنتونیس و همکاران (۲۰۱۰) کلوخه‌شدن PCC با مکانیسم پل‌زنی را با بررسی ویژگی‌های پلیمرهای پلی‌الکترولیت با وزن مولکولی بسیار زیاد، چگالی بار متوسط و درجه شاخه‌زنی‌های متوسط بر کلوخه‌شدن، مورد مطالعه قرار دادند. مطابق نتایج آن‌ها، همبستگی‌های به‌دست آمده، اثرات غلظت کلوخه‌کننده، ساختار کلوخه و ساختار پلیمر بر سینتیک کلوخه‌ها متأثر است.

یوژهو و همکاران (۲۰۱۱) بهینه‌کردن استفاده از مواد شیمیایی برای انواع کاغذهای پربازده مکانیکی با پرکننده زیاد با PCC را بررسی کردند. آن‌ها سطح بارگذاری PCC و برهمکنش سطح

1- Ground Calcium Carbonate

PCC، نشاسته، کلوخه‌کننده و سیلیکا را بررسی کردند. آنها مشاهده کردند که نشاسته کاتیونی با بار کاتیونی متوسط، بیشترین ماندگاری کل را می‌دهد، در حالی که نشاسته کاتیونی با بار بالا، دارای بهترین عملکرد آب‌گیری است (سانگ و همکاران، ۲۰۱۱).

مواد و روش‌ها

خمیر کاغذهای CMP^۱ و الیاف‌بلند وارداتی از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه و براساس استاندارد TAPPI T200 sp-96، الیاف جداسازی و تا درجه روانی ۴۰۰-۳۵۰ میلی‌لیتر (CSF) در دستگاه پلایشگر آزمایشگاهی بنا بر استاندارد TAPPI T248 sp-00 مورد پالایش قرار گرفتند. سوسپانسیون کاغذسازی از ترکیب خمیر کاغذ با نسبت ۷۰ به ۳۰ (به ترتیب CMP و الیاف‌بلند) و با افزودن ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد پرکننده PCC و با استفاده از پلیمر پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی به‌عنوان عامل کمک‌نگهدارنده و به‌میزان ۰/۰۲ درصد وزن خشک الیاف تهیه شد.

برای آزمون ویژگی‌های کاغذ، کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی مطابق استاندارد TAPPI T205 sp-02 در آزمایشگاه کاغذسازی دانشکده مهندسی چوب و کاغذ ساخته شد.

مقدار خاکستر موجود در کاغذهای دست‌ساز بر اساس استاندارد TAPPI T413 om-93 با سوزاندن نمونه‌ها و قراردادن آنها در کوره با دمای 525 ± 25 و به مدت ۶۰ دقیقه و با اندازه‌گیری مقدار خاکستر باقی‌مانده پس از سوختن و در اختیار داشتن وزن اولیه نمونه‌ها، محاسبه شد.

جدول ۱- استانداردهای مورد استفاده از آیین‌نامه TAPPI جهت انجام آزمایش‌ها.

Table 1- TAPPI standards used for testing of the Regulations

| استاندارد standard | characteristics | ویژگی‌ها |
|-----------------------|------------------------|--------------------|
| T494 om-88 | Tensile strength index | شاخص مقاومت کششی |
| T403 om-91 | Burst strength index | شاخص مقاومت ترکیدن |
| T414 om-88 | Tear strength index | شاخص مقاومت پارگی |
| T452 om-98 | Brightness | درجه روشنی |
| T425 om-96 | Opacity | ماتی |
| T460 om-96 | Air resistance | مقاومت به عبور هوا |
| T426 wd-70 | Bulk paper | حجمی کاغذ |

نتایج و بحث

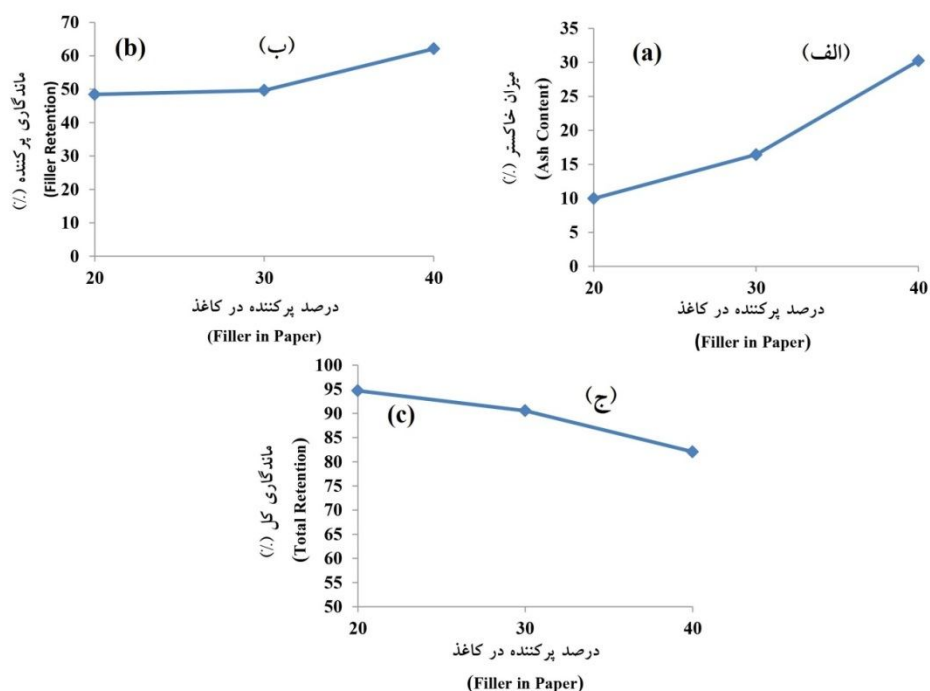
جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی، نوری و مقاومتی کاغذهای دست‌ساز در درصدهای مختلف مصرف پرکننده.

Table 2- physical properties, optical and strength of paper made in the percentage of filler used

| مصرف پرکننده PCC در ساخت کاغذ (درصد) | | | | ویژگی‌ها characteristics | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|--|
| Percentage PCC filler used in the papermaking | | | | | |
| 40 | 30 | 20 | شاهد | | |
| 30.26 ^a | 16.44 ^b | 9.98 ^c | 0 ^d | Ash paper | خاکستر کاغذ (درصد) |
| 74.33 ^a | 70.76 ^b | 69.3 ^b | 66.7 ^d | Brightness | درجه روشنی (درصد) |
| 90.83 ^a | 89.53 ^b | 87.43 ^c | 83.5 ^d | Opacity | ماتی (درصد) |
| 2.44 ^a | 2.39 ^b | 2.37 ^b | 2.16 ^c | Bulk paper | حجمی کاغذ (m ³ /g) |
| 1.12 ^a | 1.33 ^a | 1.79 ^b | 2.26 ^c | Air resistance | مقاومت به عبور هوا (ثانیه) |
| 7.17 ^a | 7.15 ^a | 6.79 ^b | 6.74 ^b | Tear strength index | شاخص مقاومت به پارگی (N.m ² /g) |
| 6.5 ^c | 8.18 ^{ab} | 9.91 ^b | 12.03 ^a | Tensile strength index | شاخص مقاومت کششی (N.m ² /g) |
| 1.2 ^d | 1.64 ^c | 1.8 ^b | 2.21 ^a | Burst strength index | شاخص مقاومت به ترکیدن (kPa.m ² /g) |

خاکستر کاغذ: مقدار خاکستر موجود در کاغذ در یک درصد مصرف مشخص پرکننده تابعی از درصد ماندگاری (نسبت درصد وزن پرکننده در کاغذ به وزن پرکننده معدنی مصرفی) می‌باشد و یک رابطه خطی مستقیم بین این دو ویژگی وجود دارد. با توجه به شکل ۱- ج مشاهده می‌شود که مقدار خاکستر موجود در کاغذ با افزایش مصرف کربنات کلسیم رسوبی در کاغذها افزایش یافته و بالاترین سطح خاکستر در کاغذ مربوط به کاغذهایی می‌باشد که سطوح بالایی از PCC مصرف شده است. همچنین هرچند با افزایش مصرف درصد PCC در کاغذها مقدار پرکننده باقی‌مانده در کاغذها افزایش می‌یابد، اما ماندگاری کل، با توجه به فرمول محاسبه آن (نسبت وزن مواد باقی‌مانده به کل مواد مصرفی در ساخت کاغذ) با افزایش درصد پرکننده مصرفی در کاغذ، ماندگاری کل کاهش می‌یابد. این فرایند منجر به کاهش کارایی مکانیسم گیر افتادن مکانیکی می‌شود (نمودار ۱- الف). نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که بین مقادیر میزان ماندگاری پرکننده‌ها در کاغذ ساخته شده، اختلاف

معنی داری در سطح اطمینان آماری ۹۹ درصد وجود دارد (حروف نایکسان در جدول ۲ نشان دهنده معنی داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد می باشد).

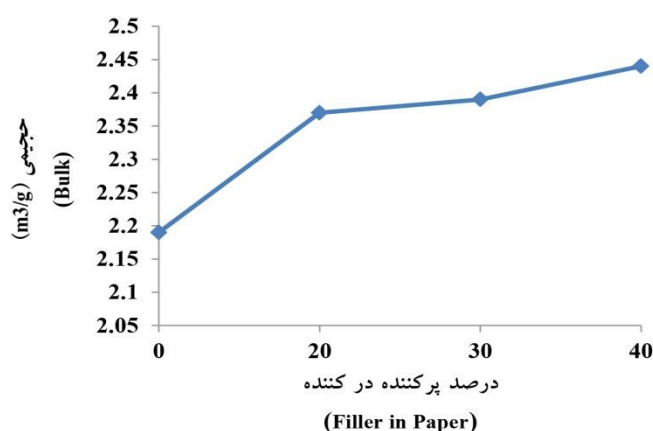


شکل ۱- رابطه درصد مصرف پرکننده معدنی در ساخت کاغذ با (الف)- خاکستر کاغذ، (ب)- درصد ماندگاری پرکننده و (ج)- درصد ماندگاری کل.

Figure 1. The Relation of filler consumption in paper with (a) Ash content (%), (b) Filler Retention (%), and (c) Total Retention (%).

حجمی کاغذ: به طور کلی حجمی کاغذها با افزایش درصد PCC در کاغذ افزایش می یابد. چون که با قرار گرفتن ذرات پرکننده در بین الیاف کاهش سطح پیوند بین الیاف کاهش می یابد؛ در نتیجه آن، کاغذی بالکتر تشکیل می شود [۴] که منجر به افت مقاومت مکانیکی کاغذهای حاوی پرکننده معدنی می گردد. از طرفی حجمی و مقاومت به عبور هوا به نوعی نشان دهنده ساختمان داخلی ساختار کاغذ است. این پدیده، تحت تأثیر کیفیت شکل گیری کاغذ و چگونگی توزیع الیاف، نرمه های الیاف و

پرکننده‌های معدنی قرار می‌گیرد. یعنی به نوعی عملکرد مواد کمک نگه‌دارنده در ایجاد لخته‌ها و چگونگی پراکنش آنان را نشان می‌دهد. این موضوع بیانگرافت مقاومت مکانیکی کاغذها می‌باشد [۵] و [۲]. نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که بین مقادیر حجمی کاغذهای ساخته شده در سطح اطمینان آماری ۹۹ درصد وجود اختلاف معنی‌دار وجود دارد (حروف یکسان در جدول ۲ نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد).

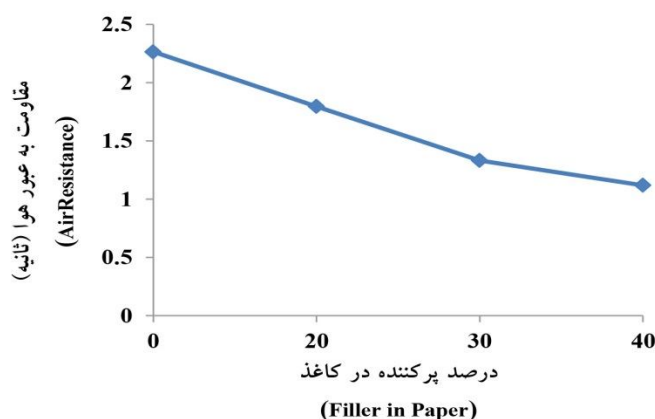


شکل ۲- تأثیر پرکننده معدنی بر حجمی کاغذ در سطوح مختلف پرکننده معدنی.

Figure 2. Effect of filler on bulk of paper in different filler levels consumption.

مقاومت به عبور هوای کاغذ: به‌طور کلی مقاومت به عبور هوا به‌صورت غیر مستقیم نشان‌دهنده ساختمان داخلی و ساختار کاغذ است. این مقاومت تحت تأثیر کیفیت شکل‌گیری کاغذ و چگونگی توزیع الیاف، نرمه‌های الیاف و پرکننده معدنی قرار می‌گیرد. در ضمن، به نوعی عملکرد مواد کمک نگه‌دارنده در ایجاد لخته‌ها و چگونگی پراکنش آنان را نشان می‌دهد [۴]. به‌طور معمول، مقاومت به عبور هوای کاغذ با افزودن پرکننده‌های معدنی در کاغذ کاهش می‌یابد. با توجه به نمودار ۳، ملاحظه می‌شود با افزایش سطوح PCC در کاغذ، مقاومت به عبور هوای کاغذها کاهش می‌یابد. علت آن می‌تواند به حضور پرکننده معدنی در کاغذ مربوط باشد، زیرا باعث کاهش سطح پیوند بین الیاف و تشکیل کاغذی حجیم‌تر می‌شود [۵ و ۲].

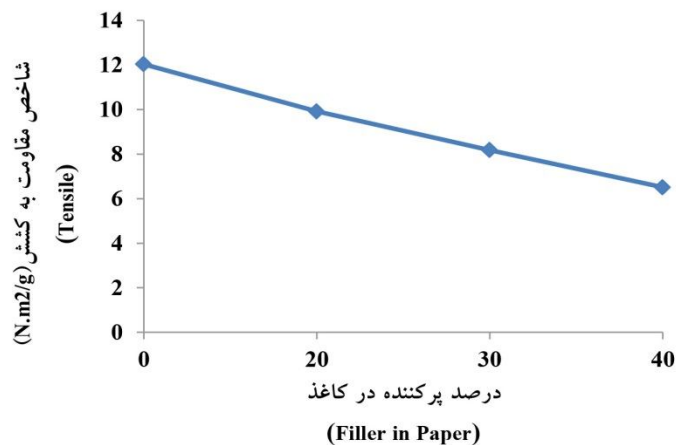
نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که بین مقادیر مقاومت به عبور هوا کاغذهای ساخته شده اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان آماری ۹۹ درصد وجود دارد (حروف یکسان در جدول ۲ نشان دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد).



شکل ۳- تأثیر پرکننده معدنی بر مقاومت به عبور هوا کاغذ در سطوح مختلف پرکننده معدنی.

Figure 3. Effect of filler on air resistance of paper in different filler levels consumption.

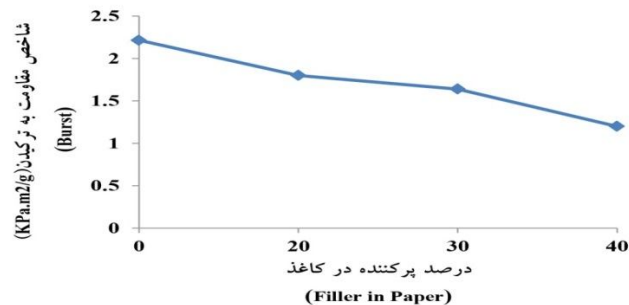
شاخص مقاومت به کشش: شاخص مقاومت کششی نیز در کاغذهای حاوی پرکننده معدنی با افزایش سطوح PCC، روند نزولی را نشان می‌دهد که علت این امر می‌تواند ناشی از قرار گرفتن ذرات PCC بین رشته‌های الیاف باشد، زیرا کاهش سطح پیوند بین الیاف را در پی دارد. علاوه بر این، پرکننده‌های معدنی کربنات کلسیم رسوبی توانایی تشکیل پیوند با الیاف سلولزی را ندارند. در نتیجه به علت محدودتر و ضعیف‌تر شدن پیوند بین الیاف، مقاومت کششی کاهش می‌یابد [۴]. نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که بین مقادیر شاخص مقاومت کششی کاغذهای ساخته شده اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد (حروف یکسان در جدول ۲ نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد).



شکل ۴- تأثیر پرکننده معدنی بر شاخص مقاومت کششی کاغذ در سطوح مختلف پرکننده معدنی.

Figure 4. Effect of filler on tensile strength index of paper in different filler levels consumption.

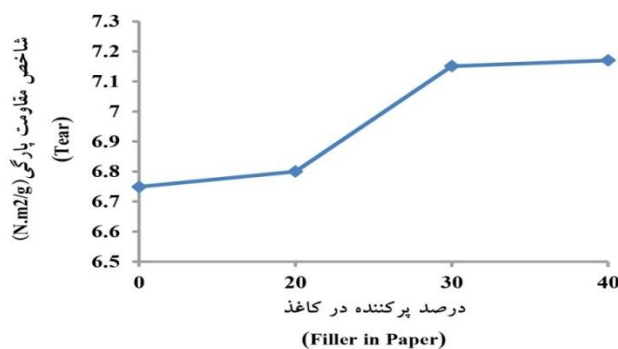
شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذ: کاغذهای حاوی کربنات کلسیم رسوبی به لحاظ شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذها با افزایش سطوح پرکننده معدنی در کاغذ دارای روند نزولی هستند. علت این امر می‌تواند به حضور ذرات PCC بین رشته‌های الیاف مربوط باشد زیرا کاهش سطح پیوند بین الیاف را در پی دارند. همچنین به پراکنش یکنواخت پرکننده معدنی و عدم شکل‌گیری مناسب نیز می‌تواند مربوط باشد. زیرا این امر باعث عدم توزیع تنش در کاغذ می‌گردد. در نتیجه، شاخص مقاومت به ترکیدگی روند نزولی بیشتری می‌یابد [۴ و ۲]. عدم شکل‌گیری مناسب در ورق موجب ایجاد نایکنواختی در ساختار و مقاومت کاغذ می‌شود؛ در نتیجه کاغذ فاقد توزیع تنش مطلوب می‌شود و مقاومت به ترکیدگی کاغذ می‌تواند پیامد منطقی این امر باشد [۴] (نمودار ۵). نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای ساخته‌شده در سطح اطمینان آماری ۹۹ درصد وجود دارد (حروف نایکسان در جدول ۲ نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد).



شکل ۵- تأثیر پرکننده معدنی بر مقاومت به ترکیدن کاغذ در سطوح مختلف پرکننده معدنی.

Figure 5. Effect of filler on burst strength index of paper in different filler levels consumption.

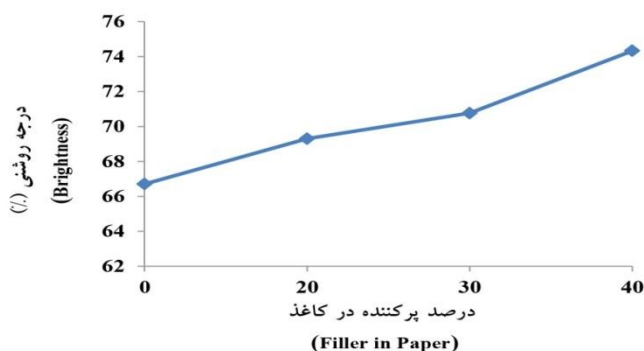
شاخص مقاومت به پارگی کاغذ: در بررسی شاخص مقاومت به پارگی همان‌طور که نمودار ۶، نشان می‌دهد با افزایش درصد کربنات کلسیم رسوبی در کاغذها، شاخص مقاومت به پارگی کاغذها دارای اختلاف کمی هستند که با افزایش سطح پرکننده در کاغذ، شاخص مقاومت به پارگی به مقدار کمی افزایش می‌یابد. گرچه در بخش مربوط به شاخص مقاومت کششی و ترکیبگی، کاغذها با افزایش درصد PCC روند نزولی داشتند. در کاغذهای حاوی PCC کمتر، به دلیل شکل‌گیری مناسب و حضور کمتر پرکننده معدنی بین الیاف، سطح پیوند بین الیاف بیشتر است، بنابراین، انرژی پاره شدن بیشتر صرف پاره شدن الیاف می‌شود. در کاغذ حاوی PCC بیشتر، این انرژی باعث تضعیف بیشتر پیوند بین الیاف نه پاره شدن خود الیاف می‌شود [۲]. نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای ساخته شده در سطح اطمینان آماری ۹۹ درصد وجود دارد (حروف نایکسان در جدول ۲ نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد).



شکل ۶- تأثیر پرکننده معدنی بر شاخص مقاومت به پارگی کاغذ در سطوح مختلف پرکننده معدنی.

Figure 6. Effect of filler on tear strength index of paper in different levels of filler consumption.

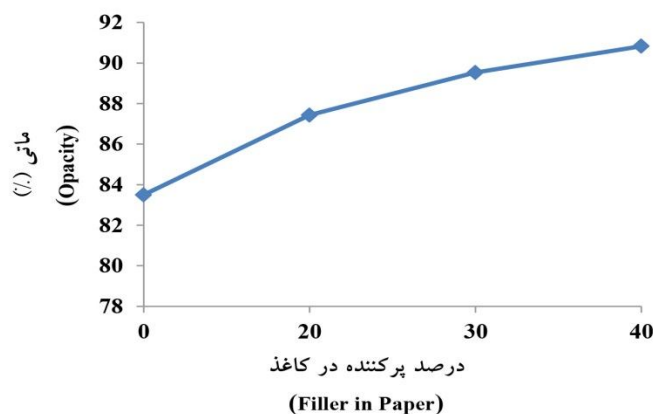
درجه روشنی: نتایج نشان داد که کاغذهای حاوی کربنات کلسیم رسوبی نسبت به کاغذهای شاهد از درجه روشنی بیشتری برخوردار هستند و با افزایش میزان PCC در کاغذ، درجه روشنی افزایش می‌یابد (نمودار ۷) به دلیل درجه روشنی اولیه بیشتر و نیز سطح ویژه به مراتب بیشتر پرکننده‌ها نسبت به الیاف، را می‌توان به‌عنوان دلایل افزایش درجه روشنی کاغذ با افزایش درصد PCC نام برد [۴]. نتایج آنالیز واریانس نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر درجه روشنی کاغذهای ساخته شده در سطح اطمینان آماری ۹۹ درصد وجود دارد (حروف نایکسان در جدول ۲ نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد).



شکل ۷- تأثیر پرکننده معدنی بر درجه روشنی کاغذ در سطوح مختلف پرکننده معدنی.

Figure 7. Effect of filler on brightness of paper in different levels of filler consumption.

ماتی کاغذ: نتایج نشان داد که ویژگی ماتی در کاغذهای حاوی PCC نسبت به کاغذهای شاهد بیشتر است (نمودار ۸) و نیز در کاغذهای حاوی PCC، ماتی کاغذها با افزایش سطوح پرکننده معدنی در کاغذ روند صعودی را نشان می‌دهد. علت این امر می‌تواند به‌خاطر افزایش درصد کربنات کلسیم در کاغذ و افزایش خلل فرج در کاغذهای حاوی کربنات کلسیم باشد. نتایج مربوط به کاهش مقاومت به عبور هوا کاغذها در نتیجه کاهش سطح پیوند بین الیاف که به افزایش کربنات کلسیم در کاغذ وابسته است [۴]، با نتایج افزایش ماتی کاغذ در نتیجه افزایش PCC در کاغذ تطابق دارد. جدول نتایج آنالیز واریانس نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر ماتی کاغذهای ساخته شده در سطح اطمینان آماری ۹۹ درصد وجود دارد (حروف نایکسان در جدول ۲ نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد می‌باشد).



شکل ۸- تأثیر پرکننده معدنی بر ماتی کاغذ در سطوح مختلف پرکننده معدنی.

Figure 8. Effect of filler on opacity of paper in different levels of filler consumption.

نتیجه گیری

نوع پرکننده مصرفی و میزان مصرف آن می‌تواند بر نیاز به مواد شیمیایی، آبگیری، سرعت ماشین و سرعت خشک شدن ورق تشکیل شده اثر بگذارد. برهم‌کنش بخش‌های تشکیل‌دهنده ساختار کاغذ با یکدیگر بر ویژگی‌های فیزیکی کاغذ حاصل اثر می‌گذارد. همچنین، برهم‌کنش این مواد با نور و برهم‌کنش آن‌ها با یکدیگر که به‌عنوان فاکتورهای اولیه تأثیرگذار بر ضرایب پخش و جذب نور که اغلب کنترل‌کننده درجه روشنی و بهبود ماتی هستند، علت کلیدی در استفاده از پرکننده‌ها در کاغذ است. در تحقیق حاضر، مقدار خاکستر موجود در کاغذ با افزایش مصرف کربنات کلسیم رسوبی افزایش یافته و بیشترین سطح خاکستر مربوط به کاغذهایی می‌باشد که سطوح بالایی از PCC مصرف شده است. همچنین با وجود افزایش مقدار کربنات کلسیم رسوبی باقی‌مانده (خاکستر) که ناشی از افزایش مصرف درصد PCC می‌باشد، ماندگاری کل با افزایش درصد پرکننده مصرفی در کاغذ کاهش می‌یابد. حجیمی کاغذها با افزایش درصد پرکننده افزایش یافته، کاغذهای حجیم‌تر دارای مقاومت مکانیکی کمتری نسبت به کاغذ با حجیمی کمتر هستند و در مقابل، مقاومت به عبور هوا با افزودن PCC کاهش داشته و با افزایش سطوح PCC، مقاومت به عبور هوای کاغذها روند نزولی نشان می‌دهد. علت آن می‌تواند به کاهش سطح پیوند بین الیاف به‌خاطر حضور پرکننده‌های معدنی در بین آن‌ها و همچنین به دلیل عدم پراکنش یکنواخت پرکننده معدنی در کاغذ مربوط باشد. شاخص‌های

مقاومت کششی و مقاومت به ترکیدن کاغذ با افزایش سطوح پرکننده معدنی در کاغذ روند نزولی را نشان داده که علت این امر نیز می‌تواند ناشی از قرار گرفتن ذرات پرکننده معدنی PCC بین رشته‌های الیاف باشد که منجر به کاهش سطح پیوند بین الیاف می‌گردد. زیرا پرکننده‌های معدنی توانایی تشکیل پیوند با الیاف سلولزی را ندارند. در نتیجه به‌علت محدودتر و ضعیف‌تر شدن پیوند بین الیاف و نیز عدم شکل‌گیری مناسب و متعاقب آن عدم توزیع تنش در کاغذ، به‌ترتیب شاخص‌های مقاومت کششی و مقاومت به ترکیدن کاغذ کاهش می‌یابد. اما با افزایش درصد PCC در کاغذها، شاخص مقاومت به پارگی کاغذها تقریباً بدون تغییر و با افزایش بسیار اندک همراه می‌باشد. کاغذهای حاوی PCC نسبت به کاغذهای شاهد دارای درجه روشنی و ماتی بیشتر هستند که دلیل آن می‌تواند به وجود PCC در کاغذ نسبت داده شود. به‌این معنی که با افزایش درصد PCC در کاغذ، هرچند خلل فرج کاغذهای حاوی پرکننده معدنی افزایش می‌یابد اما این کاغذها از ضریب بازتابش نور بیشتری نسبت به کاغذهای شاهد برخوردار هستند. نتایج مربوط به کاهش مقاومت به عبور هوا کاغذها در نتیجه کاهش سطح پیوند بین الیاف که به افزایش PCC وابسته است، با نتایج افزایش ماتی کاغذ در نتیجه افزایش PCC در کاغذ تطابق دارد. همچنین می‌توان کاهش قابل ملاحظه زردی در کاغذهای حاوی PCC را ناشی از افزایش ضریب پخش نور در کاغذ دانست که با عملکرد مناسب این پرکننده در کاغذهای حاوی PCC و بهبود درجه روشنی، تأثیر زردی کاهش یافته است.

منابع

1. Alince, B., Bednar, F. and Van de Ven, T.G.M. 2001. Deposition of calcium carbonate particles on fiber surfaces induced by cationic polyelectrolyte and bentonite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 190(1): 71-80.
2. Antunes, E., Garcia, F.A.P., Ferreira, P. and Rasteiro, M.G. 2008. Flocculation of PCC filler in papermaking: Influence of the particle characteristics. *Chemical Engineering Research and Design*, 86(10): 1155-1160.
3. Antunes, E., Garcia, F.A.P., Ferreira, P., Blanco, A., Negro, C. and Rasteiro, M.G. 2010. Modelling, PCC flocculation by bridging mechanism using population balances: Effect of polymer characteristics on flocculation. *Chemical Engineering Science*, 65(12): 3798-3807.
4. Hamze, Y. and Rostampour, A., *Principales of Papermaking Chemistry*, Tehran University Press, Tehran, 224p. (Translated in Persian)

5. Liimatainen, H.E.N.R.I.K.K.I., Haapala, A. and Niinimäki, J.O.U.K.O. 2009. Retention of PCC and GCC fillers on chemical pulp fines surfaces. *Tappi J*, 8(9): 38-42.
6. Pinheiro, I., Ferreira, P., Garcia, F.P., Wandrey, C., Amaral, L., Hunkeler, D. and Rasteiro, M.G. 2010. PERFORMANCE OF CATIONIC POLYACRYLAMIDES IN PAPERMAKING-FLOCCULATION, DRAINAGE AND RETENTION. XXI TECNICELPA Conference and Exhibition/ VI CIADICYP 2010, 12-15 October, Lisbon, Portugal.
7. Sang, Y., McQuaid, M. and Englezos, P. 2011. OPTIMIZATION OF CHEMICALS USE FOR HIGHLY FILLED MECHANICAL GRADE PAPERS WITH PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE. *BioResources*, 6(1): 656-671.
8. Scott, W.E. 1996. Principles of wet end chemistry. Atlanta, Georgia: Tappi Press, 185P.
9. Singh, R., Lavrykov, S. and Ramarao, B.V. 2009. Permeability of pulp fiber mats with filler particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 333(1): 96-107.
10. Yan, Z. and Deng, Y. 2000. Cationic microparticle based flocculation and retention systems. *Chemical Engineering Journal*, 80(1): 31-36.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 22 (2), 2015

<http://jwfst.gau.ac.ir>

Investigation on Effect of Using Precipitated Calcium Carbonate on Paper Properties Made from CMP and Wood-Free Pulp Furnish

E. Mehrabi¹, H. Resalati² and *K. Mohamadzade³

¹M.Sc. Student of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Professor of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, ³Ph.D. Student of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 02/10/2013 ; Accepted: 11/19/2013

Abstract

This study was carried out to investigate the effect of using precipitated calcium carbonate (PCC) filler on properties of printing and writing paper.

Background and objectives: Today, the pulp and paper industries increasingly are growing and developing, and the use of non-fiber additives in papermaking seems necessary. Fillers are an important part of these additives in terms of weight. Common consumption dose of filler in papermaking varied from 3 to 30 percentages. Fillers are insoluble solid particles that added to papermaking suspension to develop the optical properties of paper and also reduce costs. Clay, calcium carbonate, titanium dioxide, talc, and silica are common fillers for papermaking. Antonius et al., (2008) claimed that PCC properties affect the flocculent amount, flocs structure, and finally on the deflocculating and flocs strength. They also published a paper (2010) which described the flocculation of PCC by bridging mechanism using polyelectrolyte polymers with high molecular weight and medium charge density. Their results showed that obtained correlations, effects of flocculent dosage; structure of polymer and flocs affects the flocs kinetics.

Materials and methods: PCC filler in 20%, 30%, and 40% consumption levels was added to the fiber suspension prepared by mixing Wood-Free pulp with CMP pulp (30:70 ratio), in order to improve the optical properties and also diminish the used fiber amount which is more expensive and costly constituent part of paper. For improving the filler retention in paper, high molecular weight and high charge density cationic polyacrylamide (C-PAM) polymer was used as retention-aids.

*Corresponding author:

Results: Results indicated that optical properties of prepared hand-sheet papers were improved by increasing the filler amount in paper, but on the other hand the other strength indices reduced, except tear index which approximately remained without change.

Conclusion: In present study, by increasing in PCC usage in paper, ash and bulk of papers raised, while the air resistance, tensile and Burst strengths decreased, which is probably because of reducing bonding area between fibers for presence of fillers among them and also lack of their uniform distribution in paper. Since fillers aren't able to make bonds with fibers, as a result the tensile and burst strengths of paper reduced due to restricted and weaken fiber bonds, non-suitable formation and lack of stress distribution, consequently. The higher brightness and opacity was observed in papers with PCC filler against those haven't, which is due to presence of PCC particles among the fibers in paper structure. So that, by adding PCC in paper, though pores in paper with contain PCC enhances, but these papers have higher reflection coefficient in comparison with control papers.

Keywords: Mineral filler, Precipitated Calcium Carbonate, Paper Properties, Polyacrylamide

