

نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲۸

ص ۱۴۷-۱۵۵

بررسی بهبود ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذهای چاپ پس از پوشش دهی با رنگدانه‌های نانورس و کربنات کلسیم رسوبی

- ❖ جعفر ابراهیم پور کاسمانی؛ استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سوادکوه، گروه مهندسی چوب و کاغذ، سوادکوه، ایران.
- ❖ سعید مهدوی؛ استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، تهران، ایران.
- ❖ احمد ثمریها؛ دکتری تخصصی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران.

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر پوشش دهی سبک بر مقاومت‌ها و ویژگی‌های نوری کاغذ چاپ شرکت چوب و کاغذ مازندران انجام شد. دو رنگدانه معدنی نانورس و کربنات کلسیم رسوبی در درصدهای وزنی مختلف نسبت به لاتکس برای پوشش دهی به روش تیغه‌ای استفاده شد. از میکروسکوپ نیروی اتمی برای بررسی ساختار سطح کاغذ استفاده شد. همچنین، خواص مقاومتی و نوری کاغذهای شاهد و پوشش شده اندازه‌گیری شد. مقایسه این ویژگی‌ها نشان داد سطح کاغذ پوشش یافته با نانورس به دلیل زیادتربودن سطح ویژه نانورس و تفاوت در شکل ذرات آن (صفحه‌ای)، در مقایسه با کربنات کلسیم رسوبی، از یکنواختی و صافی نسبتاً خوبی برخوردار است. اختلاف معنی‌داری بین مقاومت‌های کاغذ، به جز سفتی کشش، وجود نداشت. زردی کاغذهای پوشش دهی شده سبک با نانورس تا حدود ۲۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت؛ درحالی که بین روشنی و ماتی کاغذهای پوشش دهی شده با نمونه شاهد، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

واژگان کلیدی: پوشش دهی، کربنات کلسیم رسوبی، مقاومت‌های کاغذ، میکروسکوپ نیروی اتمی، نانورس، ویژگی‌های نوری.

مقدمه

فرایند پوشش‌دهی کاغذ از طریق پرکردن حفرات و فضای خالی بین الیاف به کمک پوشش‌دهی موجب بهبود چشمگیر صافی سطح آن می‌شود. علاوه بر این، افزایش براقیت،^۱ ماتی، مقاومت‌های سطحی، کاهش جذب جوهر، پرزدهی، و مقاومت‌های مکانیکی کاغذ پوشش‌دهی شده نیز مورد نظر است. مهم‌ترین نتیجه پوشش‌دهی کاغذ بهبود ویژگی‌های چاپ‌پذیری آن است. لایه پوششی باید در برابر فشارهای مختلفی که در حین چاپ به کاغذ وارد می‌شود مقاومت کند. مثلاً به دلیل چسبناک بودن مرکب چاپ افست، مقاومت پوشش در جهت ضخامت کاغذ (Z) یا مقاومت به کنده‌شدن^۲ باید به حد کافی باشد [۱]. به سبب پتانسیل کاربرد نانوذرات در حیطه‌های صنعتی و تمایل به مطالعه درباره آن تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت می‌گیرد [۲]. امروزه، از بین پرکننده‌های مختلف با ابعاد نانو، ذرات نانورس^۳ بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، زیرا این ذرات، فرصت تشکیل ساختارهای متفاوتی^۴ را دارند و به تبع ساختار ایجادشده بر ویژگی‌های محصول تأثیر می‌گذارند [۳]. معمولاً انواع مختلفی از رس و کربنات رسوبی (PCC)^۵ به‌عنوان رنگدانه برای پوشش‌دهی کاغذهای چاپ و تحریر به‌منظور بهبود قابلیت چاپ استفاده می‌شود. امروزه، این رنگدانه‌ها بازتابش بالایی در محدوده طول موج مرئی، روشنی برتر، و ضریب شکست، و نیز سازگاری خوبی با سایر ترکیبات مورد استفاده در فرایندهای پوشش‌دهی کاغذ دارد. به‌طور کلی، سیلیس و کربنات کلسیم رسوبی، تخلخل بالا دارد و ممکن است به حفظ بهتر مولکول‌های مرکب در سطح کاغذ کمک کند [۴-۸].

تحقیقات متعددی در زمینه اصلاح عملکرد کربنات کلسیم رسوبی گزارش شده است [۹، ۱۰]. اغلب این تحقیقات به‌طور مستقیم به بررسی کاربرد PCC به‌عنوان پرکننده در کاغذسازی همراه با ترکیبات معدنی از جمله عوامل کِلِیت کلسیم (مثل هگزامیت فسفات سدیم)، اسیدهای ضعیف مثل فسفریک اسید، سیلیکات سدیم، و کلرید روی [۱۰، ۱۱] و مواد آلی مانند نشاسته، مشتقات سلولز، کیتین، صمغ زانتان، پلیمرهای مصنوعی محلول در آب، سورفکتانت‌ها، و لاتکس پلیمری [۱۰، ۱۱] می‌پردازد. امروزه، میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)^۶ با موفقیت زیاد برای بررسی مواد مختلف شامل شیشه، فلزات، پلیمرها، نیمه‌هادی‌ها، بیومواد، و غیره به‌کار برده می‌شود و این فناوری به‌سرعت در حال توسعه است [۱۲]. AFM ابزاری غیرمخرب برای مطالعه سطوح مختلف است و اغلب برای هر نوع ماده‌ای از جمله سلولز و کاغذ استفاده می‌شود [۱۳، ۱۴]. این تصاویر به‌دلیل نشان‌دادن سوژه به‌صورت سه‌بعدی و برجستگی‌ها و فرورفتگی‌های سطح کاغذ نتایج مقایسه‌ای عینی خوبی به بیننده ارائه می‌کنند. از طرف دیگر، به‌دلیل بی‌نیازی به مراحل آماده‌سازی نمونه و تهیه عکس در فشار محیط (اتم‌سفر)، کار با این میکروسکوپ برای مطالعات مواد سلولزی در مقیاسه با SEM و TEM آسان‌تر است. پایوا^۷ و همکاران (۲۰۰۹) بر این نظرند این میکروسکوپ به‌دلیل امکان ارائه اطلاعاتی در زمینه چسبندگی، اصطکاک، الکترواستاتیک، و نیروهای واندروالس برای سطوح مختلف بی‌نظیر است [۱۲].

امروزه، مونت‌موریلونیت از پراهمیت‌ترین ذرات معدنی مورد مصرف بر پایه خاک رس در فرایندهای پلیمری است که به‌عنوان نانوپرکننده در تولید

1. Gloss
2. Pick strength
3. Nanoclay
4. Intercalated, Intercalated-Flocculated, Exfoliated
5. Precipitated Calcium Carbonate

6. Atomic Force Microscope
7. Paiva

مواد پوشش‌دهنده شامل نانورس در دو سطح ۵ و ۱۰ درصد وزنی و کربنات کلسیم رسوبی در چهار سطح ۲۰، ۳۰، ۴۰، و ۵۰ درصد وزنی نسبت به لاتکس، مطابق مشخصات مندرج در جدول ۲، به کمک یک دستگاه مخلوط‌کن با ۱۵۰۰ دور در دقیقه با یکدیگر مخلوط شدند. مدت زمان اختلاط مواد ۱۰ دقیقه بود که پس از آن پوشش‌دهی توسط یک پوشش‌دهنده تیغه‌ای آزمایشگاهی^۷ بر روی سطح کاغذ به صورت فیلم نازکی (با وزن پایه حدود ۶ گرم بر متر مربع) انجام شد. سپس، کاغذ پوشش‌دهنده شده که به منظور عدم اعوجاج مهار شده بود، به مدت ۲ دقیقه داخل آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. کنترل مقدار پوشش‌دهی براساس تعیین وزن خشک پوشش به‌ازای واحد سطح کاغذ انجام شد. برای بررسی توپوگرافی سطح کاغذ از یک دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی، مدل C/101، ساخت شرکت آرا پژوهش ایران، استفاده شد.

برای تعیین ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذها از حداقل ۱۰ تکرار برای هر نمونه مطابق با دستورالعمل‌های استانداردهای زیر استفاده شد: شاخص مقاومت به پاره‌شدن: آیین‌نامه SCAN شماره P11:73، شاخص مقاومت به ترکیدن: آیین‌نامه TAPPI شماره T403-Om91، شاخص مقاومت به کشش: آیین‌نامه TAPPI شماره T494-Om96، سفتی کششی: آیین‌نامه TAPPI شماره T494-Om96، اندازه‌گیری خصوصیات نوری: TAPPI شماره T452-Om98.

تحلیل و بررسی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب آزمون واریانس یک‌طرفه انجام شد و گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد.

نانوکامپوزیت‌ها استفاده می‌شود و خواص مکانیکی بی‌نظیری از خود نشان می‌دهد [۱۵]. از طرف دیگر، استفاده از ذرات نانوسیلیکات کلسیم برای پوشش کاغذ استفاده‌شده در چاپ جوهرافشان، بسیار مناسب تشخیص داده شد. مقایسه ویژگی‌های متن چاپ‌شده بر روی کاغذ پوشش‌نیافته (شاهد) و کاغذ تیمار شده با این ماده معدنی نشان داد ویژگی‌های کاغذ پوشش‌یافته در مقایسه با هزینه‌های پوشش، منحصربه‌فرد است [۱۶].

پوشش سطح مقوا با کربنات کلسیم رسوبی و آسیابی^۱ به مقدار ۱۴ گرم بر متر مربع نشان داد بیشترین براقیت سطح مقوا با ذراتی ایجاد شده که دارای پراکنش باریک در اندازه ذرات^۲ بوده‌اند، و افزودن مقدار بیشتر لاتکس موجب کاهش جزئی در براقیت مقوا به دلیل افزایش زبری^۳ شده است. همچنین، افزودن مقدار بیشتر لاتکس باعث کاهش تخلخل^۴ و در نتیجه پراکندگی نور^۵ شد [۱۶].

این تحقیق با هدف بررسی سطح، مقاومت‌ها، و ویژگی‌های نوری کاغذ چاپ مکانیکی پوشش‌دهی شده با دو ماده معدنی کربنات کلسیم رسوبی و نانورس به همراه لاتکس انجام شد.

مواد و روش‌ها

کاغذ چاپ مکانیکی ساخته‌شده از خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی^۶ با جرم پایه ۷۰ گرم بر متر مربع از شرکت چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. نانورس کلوزیت 30B و کربنات کلسیم رسوبی میکرونیزه با مشخصات مندرج در جدول ۱ تهیه شد. لاتکس آکريل آمید (نوع SH-305) از شرکت سیماب رزین تهیه شد.

1. PCC and GCC
2. Narrow particle size distribution
3. Roughness
4. Porosity
5. Light scattering
6. CMP

7. Laboratory blade coater

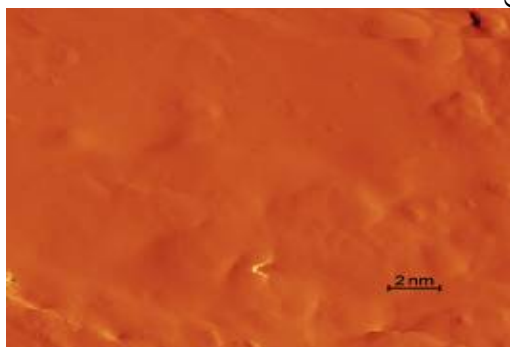
جدول ۱. مشخصات رنگدانه‌های معدنی پوشش

جزء	نام تجاری	شرکت سازنده	شکل ذرات	اندازه ذات (میکرون)	دانسیته (g/cm ³)	درصد وزنی مورد استفاده
کربنات کلسیم رسوبی	Aragonite	نکاسنگ	سوزنی	۶/۵-۵ %۱۰ < ۲	۲/۸۲	۵۰-۲۰
نانورس	Cloisite-30B	Southern Clay Products	صفحه‌ای	۶ < ۵۰ %۹۰ < ۱۳	۱/۹۸	۱۰ و ۵

جدول ۲. مشخصات تیمار و سطوح متغیرها

ردیف	نانورس (%)	کربنات کلسیم رسوبی (%)	لاتکس آکریل آمید (%)
۱	۰	۰	۰
۲	۵	۰	۹۵
۳	۱۰	۰	۹۰
۴	۰	۲۰	۸۰
۵	۰	۳۰	۷۰
۶	۰	۴۰	۶۰
۷	۰	۵۰	۵۰

نانورس و تفاوت در شکل ذرات آن (صفحه‌ای) در مقایسه با کربنات کلسیم رسوبی (سوزنی)^۱ باشد. تفاوت در رئولوژی پوشش لاتکس متشکل از نانورس و کربنات کلسیم رسوبی نیز از دیگر دلایل تفاوت در نحوه پوشش‌دهی سطح کاغذ با این دو نوع ماده است.



شکل ۱. سطح کاغذ چاپ پوشش‌دهی شده با ۱۰ درصد نانورس و رزین آکریل آمید

نتایج و بحث

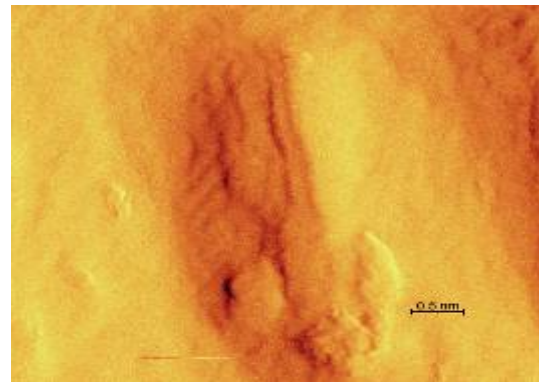
مطالعه ساختار سطحی کاغذ با میکروسکوپ اتمی

برای بررسی سطح کاغذ پوشش‌دهی شده با میکروسکوپ اتمی از روش Tapping استفاده شد. شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به سطح کاغذ چاپ پوشش‌دهی شده با نانورس ۱۰ درصد و کربنات کلسیم رسوبی ۵۰ درصدند. همان‌طور که دیده می‌شود، کاغذ پوشش‌دهی شده با نانورس پوشش یکنواخت‌تری در مقایسه با کاغذ پوشش‌دهی شده با کربنات کلسیم رسوبی دارد. عکس‌های مربوط به میکروسکوپ اتمی (AFM) گویای سطح پوشش یکنواخت‌تری برای کاغذ پوشش‌دهی شده با نانورس در مقایسه با کربنات کلسیم رسوبی است. یکی از دلایل این موضوع ممکن است زیادتر بودن سطح ویژه

غلتک‌های مختلف عبور می‌کند، اهمیت دارد. مقدار این ویژگی بسته به کاربرد کاغذ در روش مشخصی از چاپ متفاوت است. کم‌تر بودن یا زیادتر بودن آن باعث بروز مشکلاتی نظیر عدم تغذیه^۲ مناسب یا انتقال کاغذ به بخش‌های بعدی^۳ ماشین چاپ خواهد شد [۱۷]. شکل ۶ نشان می‌دهد بیشترین میزان سفتی کشش مربوط به نمونه شاهد و کمترین میزان این مقاومت به ترتیب متعلق به نمونه‌های پوشش دهی شده با ۵۰ درصد و ۴۰ درصد کربنات کلسیم است. مقایسه آماری نتایج مربوط به این ویژگی نشان داد به استثنای کاغذهای تیمارشده با ۴۰ و ۵۰ درصد کربنات کلسیم رسوبی، در بقیه موارد تیمارها اختلاف معنی داری با نمونه شاهد ندارند. آزمون چنددامنه‌ای دانکن با سطح معنی داری ۹۹ درصد برای مقایسه میانگین سفتی کشش نشان داد کاغذهای پوشش دهی شده، در دو گروه جداگانه قرار می‌گیرند (شکل ۶).

همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، با افزایش مقدار PCC به ۴۰ و ۵۰ درصد وزنی در لاتکس، مدول الاستیسیته پوشش کاهش یافته و در نتیجه سفتی کشش نیز کاهش می‌یابد. تجزیه واریانس نتایج مربوط به زردی کاغذ نشان داد بین میانگین هفت نمونه مورد آزمون در سطح احتمال ۱ درصد از نظر آماری اختلاف معنی داری وجود ندارد (شکل ۷).

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد بین میانگین ماتی هفت نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۱ درصد از نظر آماری اختلاف معنی دار وجود ندارد (شکل ۸).



شکل ۲. سطح کاغذ چاپ پوشش دهی شده با ۵۰ درصد کربنات کلسیم رسوبی و رزین آکریل آمید

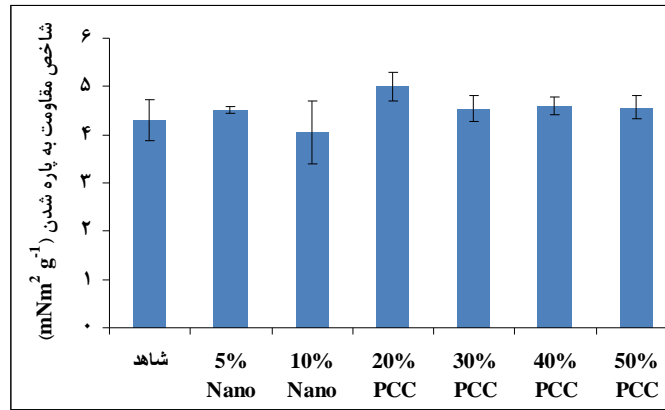
خصوصیات مقاومتی و نوری کاغذ

نتایج حاصل از بررسی خصوصیات مقاومتی و نوری کاغذهای پوشش داده شده در شکل‌های ۳ تا ۹ ارائه شده است. لتینن^۱ (۲۰۰۰) میزان تغییر ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذ پوشش دهی شده را به عواملی چون نوع و مقدار اجزای پوشش، تجهیزات پوشش دهی، و عملیات پایانی (مثل اتوزنی) مرتبط می‌داند، اما بر این نظر است که ویژگی‌های کاغذ پایه در این خصوص نقش مهم‌تری ایفا می‌کند. تجزیه واریانس نتایج نشان داد بین مقادیر شاخص مقاومت به پاره شدن هفت نمونه مورد آزمون در سطح احتمال ۱ درصد از نظر آماری اختلاف معنی داری وجود ندارد (شکل ۳). تجزیه واریانس نشان داد بین مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن هفت نمونه مورد آزمون نیز در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی داری وجود ندارد و مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن نیز در یک گروه قرار دارند (شکل ۴).

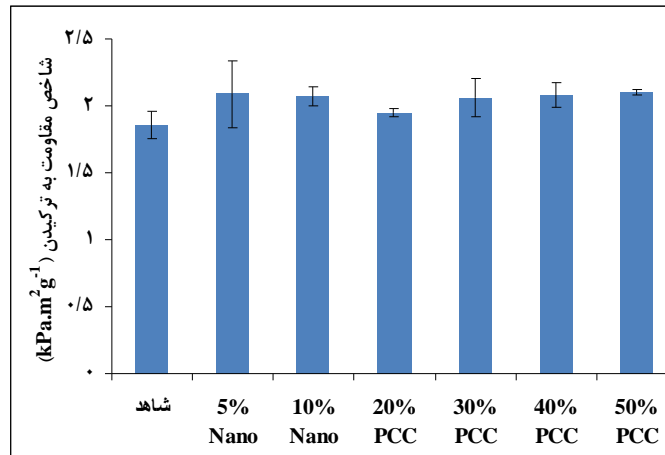
تجزیه واریانس نشان داد بین مقادیر مقاومت کششی هفت نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۱ درصد از نظر آماری اختلاف معنی داری وجود ندارد (شکل ۵). سفتی کشش در برخی از انواع کاغذهای چاپ خصوصاً کاغذ کپی، که کاغذ از بین

2. Feeding
3. Delivery

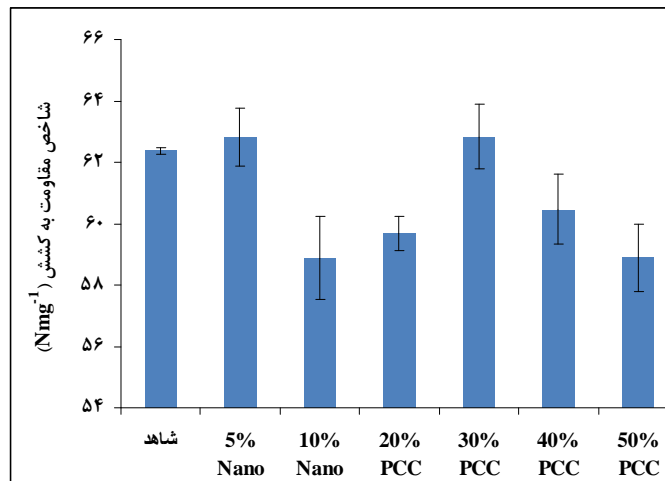
1. Lehtinen



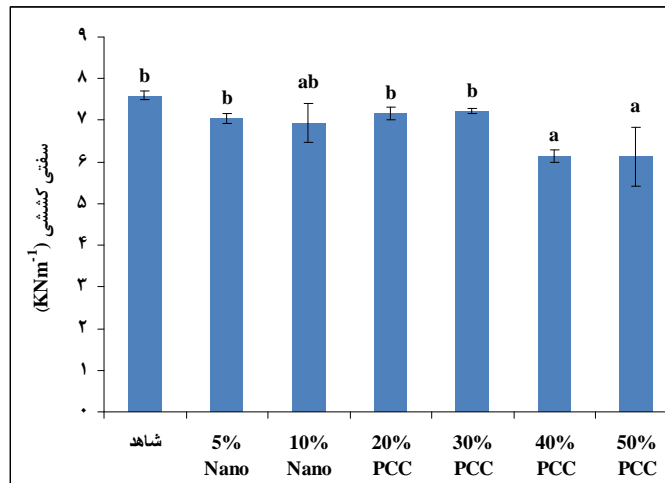
شکل ۳. مقایسه میانگین شاخص مقاومت به پار شدن نمونه شاهد با کاغذهای پوشش‌دهی شده



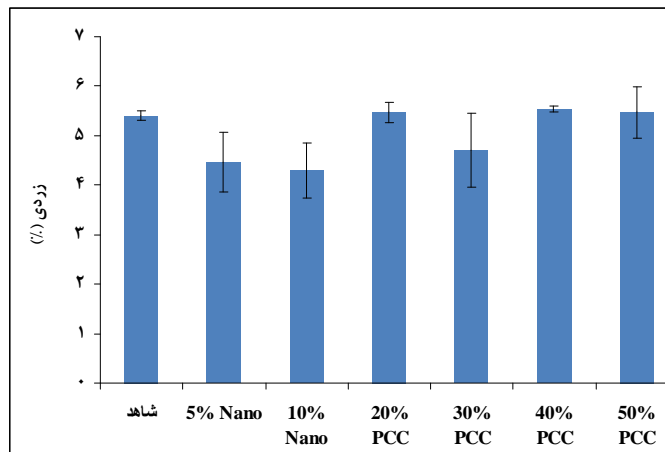
شکل ۴. مقایسه میانگین شاخص مقاومت به ترک‌شدن نمونه شاهد با کاغذهای پوشش‌دهی شده



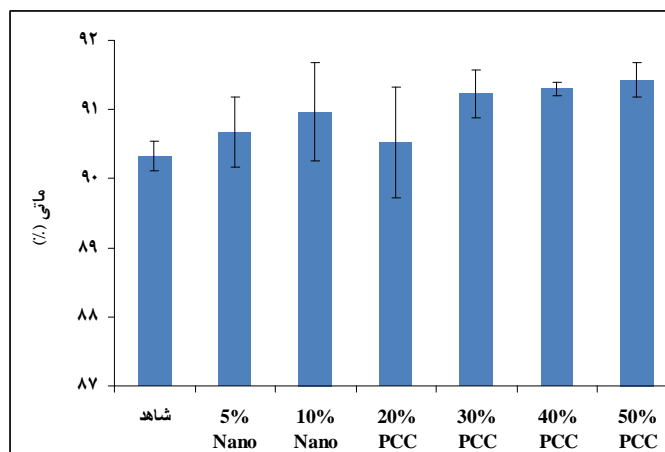
شکل ۵. مقایسه میانگین شاخص مقاومت به کشش نمونه شاهد با کاغذهای پوشش‌دهی شده



شکل ۶. مقایسه میانگین سفتی کشش نمونه شاهد با کاغذهای پوشش دهی شده و گروه بندی میانگین‌ها



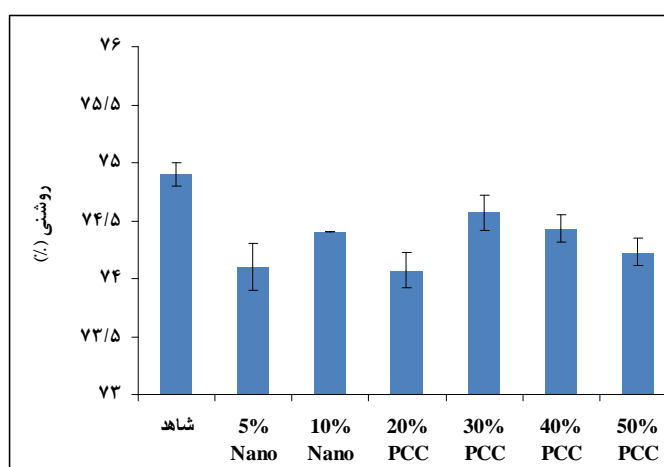
شکل ۷. مقایسه زردی نمونه شاهد با کاغذهای پوشش دهی شده



شکل ۸. مقایسه میانگین ماتی نمونه شاهد با کاغذهای پوشش دهی شده.

استفاده شده، که بیش از حد استاندارد است، این تغییرات به حداقل رسیده و معنی دار نیست. برای جبران اثرهای نامطلوب این نوع پرکننده‌ها از نشاسته کاتیونی، به‌عنوان افزودنی مقاومت خشک، استفاده می‌شود [۱۸]. آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد بین مقادیر روشنی هفت نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۱ درصد از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۹).

به دلیل وجود تفاوت ذاتی در شکل ذرات PCC (سوزنی شکل) و نانورس (صفحه‌ای شکل) و در نتیجه ضریب شکل مربوطه، عملاً باید تفاوت معنی‌داری بین ماتی کاغذها وجود می‌داشت که احتمالاً به دلیل وزن نسبتاً کم پوشش‌دهی (۶ گرم بر متر مربع که حداقل وزن پوشش‌دهی در کاغذهای LWC است)، انجام‌دادن عملیات پایانی (اتوزنی)، نوسانات زیاد در جرم پایه، و ضخامت و صافی سطح کاغذ پایه



شکل ۹. مقایسه روشنی نمونه شاهد با کاغذهای پوشش‌دهی شده.

پدیده زردشدن اتفاق می‌افتد. بدیهی است در صورتی که پوشش کاغذ موجب تأخیر در بروز این ویژگی شود و نیز از تأثیر نور بر زردشدن کاغذ بکاهد، فرایند پوشش‌دهی کارآمد خواهد بود. مقایسه نتایج این ویژگی نشان داد استفاده از نانورس باعث کاهش زردی کاغذ و احتمالاً افزایش مدت‌زمان لازم برای زردشدن کاغذ خواهد شد. مقایسه سایر خواص نوری کاغذها مثل ماتی و روشنی، به‌رغم وجود اختلاف معنی‌دار آماری بین تیمارها و نمونه شاهد، حاکی از اختلاف بسیار جزئی بین کاغذها از این نظر است. بدیهی است در صورت نیاز به افزایش روشنی می‌توان در فرمولاسیون پوشش‌دهی از موادی پلیمری با روشنی زیادتر و حداکثر ۱۰ درصد دی‌اکسید تیتانیوم استفاده کرد [۱].

نتیجه‌گیری

تفاوت ذاتی در شکل ذرات پرکننده، تأثیر زیادی بر نحوه انعکاس نور تابیده‌شده بر سطح کاغذ پوشش‌یافته خواهد داشت. نانورس به دلیل دارا بودن سطح ویژه بیشتر و یکنواختی بهتر سطح، ضریب پخشیدگی نور بیشتری خواهد داشت که قطعاً بر کیفیت چاپ تأثیرگذار است. نتایج مربوط به مقاومت‌های کاغذهای پوشش‌داده‌شده نشان داد به‌استثنای سفتی، تغییرات معنی‌داری با نمونه شاهد وجود ندارد. بنابراین، با حفظ مقاومت‌های این نوع کاغذ می‌توان در راستای بهبود ویژگی‌های نوری و چاپ‌پذیری آن تلاش کرد. در کاغذهای مکانیکی، نظیر کاغذ چاپ شرکت چوب و کاغذ مازندران، به دلیل وجود لیگنین تغییر شکل یافته، پس از مدتی

References

- [1]. Lehtinen, E. (2000). Pigment Coating and Surface Sizing of Paper, Papermaking Science and Technology, Book 11, Helsinki University of Technology.
- [2]. Hamzeh, Y., and Rostampour, A. (2008). Principals of Papermaking Chemistry, University of Tehran Press, Tehran.
- [3]. Tjong, S.C. (2006). Structural and mechanical properties of polymer nano-composites. Material Science and Engineering: R: Reports, 53(3-4): 73-197.
- [4]. Donigian, D.W., Wernett, P.C. McFadden, M.G., and McKay, J.J. (1997). Ink-jet dye fixation and coating pigments. TAPPI Journal, 82(8): 175-180.
- [5]. Hladnik, A., and Muck, T. (2002). Characterization of pigments in coating formulations for high-end ink-jet papers. Dyes and Pigments, 54(3): 253-263.
- [6]. Lee, H., Joyce, M.K. Fleming, P.D., and Cawthorne, J.E. (2005). Influence of silica and alumina oxide on coating structure and print quality of ink-jet papers. Tappi Journal, 4(2): 11-16.
- [7]. Nilsson, H., and Fogden, A. (2008). Inkjet print quality on model paper coatings. Appita Journal, 61(2): 120-127.
- [8]. Vikman, K., and Vuorinen, T. (2004). Light fastness of ink jet prints on modified conventional coatings. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 19(4): 481-488.
- [9]. Passaretti, J. D. (1991). Acid-stabilized calcium carbonate, process for its production and method for its use in the manufacture of acidic paper. U.S. Patent 4,043,017, Aug, 27.
- [10]. Shen, J., Song, Z. Qian, X., and Liu, W. (2009). Modification of papermaking grade fillers: a brief review. Bioresources, 4(3): 1190-1209.
- [11]. Zhao, Y., Zeshan, H. Ragauskas, A., and Deng, Y. (2004). Improvement of paper properties using starch-modified precipitated calcium carbonate filler. Tappi Journal, 4(2): 3-7.
- [12]. Paiva, A.T., Sequeira, S.M. Evtuguin, D.V. Kholkin, A.L., and Portugal, I. (2007). Nanoscale Structure of Cellulosic Materials: Challenges and Opportunities for AFM. In Modern Research and Educational Topics in Microscopy. Edited by Méndez-Vilas A, Díaz J. Badajoz: Formatex Research Center, Badajoz, Spain, 726-733.
- [13]. Baker, A.A., Helbert, W. Sugiyama, J., and Miles, M.J. (2000). High-Resolution Atomic Force Microscopy of Native Valonia Cellulose I Microcrystals. Journal of Structural Biology, 119(2): 129-138.
- [14]. Zou Y., Hsieh JS. Wang T.S. Mehnert, E., and Kokoszka, J. (2004). The mechanism of premixing rosin sizes for neutral-alkaline papermaking. Tappi Journal, 3(9), 16-18.
- [15]. Taghavi, M., Kassiriha, S.M. Sarabi, A.A., and Nazokdast, H. (2011). Investigation into Viscoelastic Properties of 100% Solids Polyurethane Nanoclay Coating. Journal of Color Science and Technology, 5(2): 129-135.
- [16]. Wygant, R.W., Pruett, R.J., and Chen, C.Y. (1995). A review of techniques for characterizing paper coating surfaces, structures and printability. In: proceeding of coating fundamentals symposium, Tappi Press, Atlanta, GA, USA, 85-91.
- [17]. Scott, W.E, (1995). Properties of Paper an Introduction, Translated by Afra, E., Aeij Press, Tehran.
- [18]. Roberts, J.C, (1996). The Chemistry of Paper, Translated by Mirshokraei, S.A. Sadeghifar, H., Aeij Press, Tehran.