



بهبود ویژگی‌های فیزیکی و چاپ پذیری کاغذ چاپ به وسیله پوشش دهی کم

جعفر ابراهیم‌پور کاسمانی^{۱*}، سعید مهدوی^۲، احمد ثمریها^۳

۱- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سوادکوه، گروه مهندسی چوب و کاغذ، سوادکوه، ایران، صندوق پستی: ۱۵۵
۲- استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، تهران، ایران، صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۳۴۳
۳- دکترای تخصصی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۵۶۵۵-۴۶۱
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۱۸ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۲/۱۲/۲۰

چکیده

در این مطالعه، بهبود ویژگی‌های چاپ پذیری کاغذ چاپ به وسیله پوشش لاتکس همراه با دو نوع پرکننده معدنی شامل نانورس در دو سطح و کربنات کلسیم رسوبی در چهار سطح بررسی شد. تصاویر میکروسکوپ روبشی (SEM) گویای پر شدن نسبی حفرات و پوشش کاغذ پایه می‌باشند. تفاوت رفتار رئولوژی پوشش حاوی دو نوع رنگدانه پوششی و گرانیروی آنها کاملاً مشهود بوده که از نظر کاهش هزینه‌های آماده‌سازی کربنات کلسیم ارجح است. نتایج نشان داد که پوشش سطح کاغذ چاپ موجب کاهش زبری، تخلخل و جذب آب شده که در نتیجه چاپ پذیری کاغذ و ثبات ابعاد آن در چاپ افسست رول بهبود می‌یابد. همچنین پوشش سطحی کاغذ با احتمال ۱٪ موجب افزایش معنی‌داری در براقیت و چگالی چاپ شده است. مشاهده ظاهری کاغذهای چاپ شده نشان داد که بهترین کیفیت چاپ مربوط به کاغذهای پوشش یافته با کربنات کلسیم است. در هیچ یک از کاغذهای پوشش یافته، پدیده کنده‌شدن سطح کاغذ برخلاف نمونه شاهد اتفاق نیفتاد که اهمیت زیادی پس از چاپ و ایجاد پرز بر روی نوردهای چاپ دارد.

واژه‌های کلیدی: میکروسکوپ روبشی، کربنات کلسیم رسوبی، نانورس، کنده‌شدن سطح، چاپ پذیری.

Improvement of Physical Properties and Printability of Wood Containing Paper by Light Weight Coating

J. Ebrahimpour Kasmani^{1*}, S. Mahdavi², A. Samariha³

¹ Department of Wood and Paper Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Savadkooch Branch, Islamic Azad University, P.O.Box:155, Savadkooch, Iran.

² Research Institute of Forests and Rangelands, Wood and Forest Product Research Division, P.O.Box: 31585-1343, Tehran, Iran.

³ Young Researchers and Elites Club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, P.O.Box: 15655-461, Tehran, Iran.

Received: 14-01-2013

Accepted: 08-06-2013

Available online: 11-03-2014

Abstract

In this study, wood containing printing paper was coated by latex with nanoclay and PCC loading for printing improvement at two and four levels, respectively. Scanning electron microscope images confirm partial filling and covering of cavities on the surface of base paper by the coating. Rheological behavior and viscosity of two types of color pigment are quite different and PCC would be better because of lower preparation costs. Results showed that the printing paper coating reduced roughness, porosity and water absorption, so printability and dimensional stability of paper would improve in web offset printing. There is significant difference between gloss and print density of coated paper and control at $\alpha=0.01$. Apparently, coated paper with PCC showed better print quality than the control. Printing with IGT tester revealed that no picking occurred on coated paper contrary to the control that could be critical for print quality and linting problem on the press rolls. *J. Color Sci. Tech.* 7(2014), 265-274©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: SEM, PCC, Nanoclay, Picking, Printability.

۱- مقدمه

رنگدانه‌ها از ذراتی با اندازه کمتر از ۱۰ میکرومتر تشکیل شده‌اند. مهم‌ترین نتیجه پوشش کاغذ، بهبود ویژگی‌های چاپ‌پذیری آن می‌باشد. لایه پوششی باید در برابر فشارهای مختلفی که در حین چاپ به کاغذ وارد می‌شود مقاومت نماید. مثلاً به دلیل چسبناک بودن مرکب چاپ افسست، مقاومت پوشش در جهت ضخامت کاغذ (Z) یا مقاومت به کنده شدن^{۱۰} باید به اندازه کافی باشد. روش پوشش تیغه‌ای^{۱۱} یک شیوه متداول در صنعت کاغذسازی است. در این روش هیچ ساختار خاصی تشکیل نمی‌شود، زیرا فشار بالای تیغه موجب شکسته شدن تعاملات کلئیدی در طی فرآیند پوشش می‌شود. این روش نه تنها به دلیل پرکردن فضاهای خالی کاغذ، بلکه به لحاظ اعمال فشار بر نقاط برجسته^{۱۲} کاغذ پایه، در حین فرآیند اندوزنی اهمیت دارد [۱، ۲]. امکان استفاده از این روش برای پوشش کاغذ با سرعت زیاد (۲۰۰۰ متر بر دقیقه)، این روش را به لحاظ اقتصادی حایز اهمیت نموده است [۳].

در ایران تاکنون تحقیقی بر روی پوشش‌دهی کاغذ با استفاده از رنگدانه‌های نانو رس^{۱۳} و کربنات کلسیم رسوبی^{۱۴} به منظور بهبود ویژگی‌های کاغذهای چاپ انجام نشده است. در حال حاضر مونت‌موریلونیت یکی از پراهمیت‌ترین ذرات معدنی مورد مصرف برپایه خاک رس در فرآیندهای پلیمری می‌باشد که به عنوان پرکننده نانویی در تولید نانوکامپوزیت‌ها استفاده می‌شود و خواص مکانیکی بی‌نظیری را از خود نشان می‌دهد [۴].

در مطالعه‌ای استفاده از ذرات نانو سلیکات کلسیم برای پوشش کاغذ مورد استفاده در چاپ جوهرافشان، بسیار مناسب تشخیص داده شد. مقایسه ویژگی‌های متن چاپ شده بر روی کاغذ پوشش‌نیافته (شاهد) و کاغذ تیمار شده با این ماده معدنی نشان داد که ویژگی‌های کاغذ پوشش‌یافته در مقایسه با هزینه‌های پوشش، منحصر به فرد است [۵].

پوشش سطح مقوا با کربنات کلسیم رسوبی و زمینی^{۱۵} به مقدار ۱۴ گرم بر متر مربع نشان داد که بیشترین براقیت سطح مقوا با ذراتی که دارای پراکنش اندازه‌ای باریکی^{۱۶} داشته‌اند ایجاد شده است. افزودن مقدار بیشتر لاتکس موجب کاهش جزئی در براقیت مقوا به دلیل افزایش زبری^{۱۷} شد. در مورد روشی و سفیدی مقوا نتایج مشابهی حاصل شد. همچنین افزودن مقدار بیشتر لاتکس باعث کاهش تخلخل^{۱۸} و در نتیجه تفرق نور^۱ گردید [۵].

کاغذ شبکه‌ای است از الیاف بهم چسبیده سلولزی که علی‌رغم عبور از نوردهای مختلف در قسمت پرس و خشک‌کن ماشین کاغذ، دارای خلل و فرج زیاد و در نتیجه ناصافی (زبری) در سطح می‌باشد. پرکردن خلل و فرج سطح کاغذ اساساً باعث بهبود چاپ‌پذیری آن می‌شود. استفاده از مواد پوششی^۱ در سطح کاغذ، موجب بهبود ویژگی‌های نوری (روشنی، ماتی و پخش شدن نور)، صافی سطح (یعنی کاهش زبری به ویژه بعد از اتوزنی^۲)، شکل‌گیری ورق (از طریق پرکردن فضای خالی بین الیاف)، قابلیت چاپ کاغذ طی فرآیندهای مختلف چاپ (به دلیل ایجاد یکنواختی بیشتر سطح ورق)، ثبات ابعاد کاغذ (تغییر ابعاد کاغذ در اثر جذب آب مثل چاپ افسست) و دوام کاغذ می‌شود. برخی از پرکننده‌های معدنی متداول مورد استفاده برای پوشش کاغذ به همراه رزین، کربنات کلسیم (رسوبی و دانه‌ای)، تالک، رس، گچ (سولفات کلسیم)، بنتونیت و دی اکسید تیتانیم می‌باشد [۱]. در فرآیند پوشش کاغذ، ماده پوششی^۳، روی یک یا هر دو طرف کاغذ اعمال می‌شود. پس از اعمال مقدار مورد نیاز پوشش (کم، متوسط یا زیاد)، کاغذ پوشش‌یافته خشک و پرداخت^۴ می‌شود. با پرداخت کاغذ پوشش‌یافته، صافی و براقیت^۵ در سطح آن ایجاد می‌شود. پوشش، علاوه بر پرکردن فضای خالی، برجستگی‌های سطحی ایجاد شده توسط الیاف را در کاغذ پایه^۶ می‌پوشاند. در روش‌های مختلف پوشش‌دهی، همواره تمایل به پر کردن فضای خالی الیاف همراه با پوشاندن (به صورت لایه‌ای نازک) نقاط برجسته است. هدف برخی از روش‌های پوشش کاغذ، یکنواخت کردن ضخامت کاغذ از طریق پوشش برجستگی‌های سطحی آن است، در حالی که فضای خالی ممکن است کاملاً پر نشود. پوشش دارای اجزای مختلفی است که مهم‌ترین آنها رنگدانه^۷ است. با توجه به روش چاپ مورد استفاده، نوع رنگدانه مورد استفاده در پوشش نیز متفاوت است. مثلاً پوشش کاغذ مورد استفاده برای چاپ با مرکب مایع به روش جوهرافشان^۸ نسبت به پوشش مورد استفاده برای چاپ با مرکب خمیری شکل افسست متفاوت خواهد بود. زیرا علاوه بر تفاوت بین ضخامت فیلم دو نوع مرکب (ضخامت فیلم افسست کمتر است)، گرانروی آنها و در نتیجه روش خشک‌کردن آنها نیز متفاوت است. متداول‌ترین رنگدانه‌های معدنی مورد استفاده شامل رس کائولن^۹ و کربنات کلسیم می‌باشد.

- 10-Pick strength
- 11-Blade coating
- 12-Peaks
- 13-Nano- clay
- 14-Precipitated Calcium Carbonate (PCC)
- 15-PCC and GCC
- 16-Narrow particle size distribution
- 17-Roughness
- 18-Porosity

- 1-Coating materials
- 2-Calendering
- 3-Color coating
- 4-Finishing
- 5-Smoothness and gloss
- 6-Based paper
- 7-Pigment
- 8-Inkjet
- 9-Kaolin clay

افزایش جرم ماده پوششی به دلیل ایجاد لایه صافتر در کاغذ، موجب کاهش درصد نقاط چاپ نشده^۲ می‌شود. در کاغذهای پوشش‌یافته با ذرات دارای ضریب کشیدگی^۳ بیشتر (بشقابی شکل^۴) به دلیل قابلیت فشرده‌گی بهتر کاغذ (به خصوص در مراحل اتوزنی) درصد نقاط چاپ نشده کاهش می‌یابد [۶].

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

کاغذ چاپ مکانیکی (CMP^۵) با جرم پایه ۷۰ گرم بر متر مربع از شرکت چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. ویژگی‌های مواد مورد استفاده شامل نانوس و کربنات کلسیم رسوبی در جدول ۱ آورده شده است. لاتکس استایرن اکریلیک مورد استفاده از نوع سخت^۶ با نام تجاری SH-305 بود که از شرکت سیماب رزین تهیه شد. مشخصات آن شامل: ظاهر شیری رنگ با سیستم امولسیون آنیونی، pH=۴٫۴۸، درصد مواد جامد: ۵۰، گرانروی ۳۰۰ تا ۹۰۰ سانتی‌پواز و حداقل دمای تشکیل فیلم^۷ ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود.

۲-۲- روش کار

اختلاط رنگدانه و لاتکس با درصدهای وزنی شامل ۵ و ۱۰ درصد نانوس و ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد کربنات کلسیم رسوبی توسط یک دستگاه پراکنده‌ساز^۸ با تعداد دور گردش ۱۵۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. پوشش سبک^۹ توسط یک پوشش‌دهنده تیغه‌ای^{۱۰} بر روی سطح کاغذ به صورت فیلم نازکی با جرم حدود ۴ تا ۶ گرم بر متر مربع انجام شد.

بررسی ساختار میکروسکوپی سطح کاغذهای پوشش‌یافته با میکروسکوپ الکترونی روبشی^{۱۱} مدل JXA-۸۴۰ ساخت شرکت JEOL ژاپن و مدل WEGA-II ساخت شرکت TESCAN جمهوری چک انجام شد. برای تعیین ویژگی‌های کاغذ از آزمون‌های استاندارد

به شرح زیر استفاده شد.
- جرم پایه کاغذ: T410-Om88
- براقیت کاغذ^{۱۲}: T 653-om 03 و T 480-om 05
- ضخامت کاغذ: T411-Om89
- نفوذپذیری کاغذ نسبت به عبور هوا (روش گرلی)^{۱۳}: T460-Om02
- زبری سطح کاغذ^{۱۴}: T555-Om04
- چاپ‌پذیری کاغذ و کنده‌شدن سطح^{۱۵} (IGT): ISO 3783
- جذب آب کاغذ (روش کاب^{۱۶}): T 441 om-09
- چگالی چاپ (IGT): SCAN-P 86:02
جرم پایه یا گراماژ کاغذ، جرم یک متر مربع کاغذ می‌باشد. برای اندازه‌گیری براقیت از دستگاه براقیت‌سنج^{۱۷} در دو زاویه تابش نور ۲۰ و ۷۵ درجه استفاده شد. میزان نفوذپذیری نسبت به عبور هوای کاغذ که نشان‌دهنده میزان تخلخل آن است، با استفاده از دستگاه گرلی اندازه‌گیری شد. این دستگاه دارای مخزنی از روغن می‌باشد که با جابجایی روغن، هوا از نازل انتهایی آن که محل قرار گرفتن کاغذ است، عبور می‌کند.

- 1-Light scattering
- 2-Missing dots
- 3-Aspect ratio
- 4-Platy form
- 5-Chemical mechanical pulp
- 6-Hard film
- 7-Minimum Film Forming Temperature (MFFT)
- 8-Dispersator
- 9-Lightweight coating
- 10-Blade coater
- 11-SEM
- 12-Specular gloss
- 13-Air permeance (Gurley method)
- 14- Parker Print-Surf (PPS)
- 15-Surface picking
- 16-Cobb test
- 17-Gloss meter

جدول ۱: مشخصات پرکننده معدنی پوشش.

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

کمتر بوده و از ابتدای زمان اختلاط با لاتکس افزایش یافته و تا مدت حدود ۱۶ دقیقه این روند ادامه می‌یابد ولی پس از آن خاصیت تیکسوتروپی^۲ پیدا نموده و کاهش می‌یابد. این در حالی است که پوشش حاوی نانو رس تغییرات قابل توجهی را پیش از ۵۳ دقیقه نشان نداده ولی پس از آن ناگهان به شدت افزایش می‌یابد. افزایش درصد مواد جامد پوشش می‌تواند باعث تغییر ظرفیت نگهداری آب^۳ و گرانیوی پوشش یافته و ضمن بهبود مقاومت به کنده شدن و براقیت، کاهش مصرف چسب^۴ و صرفه‌جویی در هزینه‌ها را موجب شود [۸، ۷]. استفاده از پوشش حاوی کربنات کلسیم با درصد مواد جامد زیاد (حتی با ضریب زیاد کشیدگی) به علت گرانیوی کم می‌تواند از هزینه‌های رقیق‌سازی و آگیری مجدد^۵ برای رفع مشکلات پمپ‌کردن ماده پوششی بکاهد [۹].

در آماده‌سازی ماده پوششی حاوی نانو رس، pH و همچنین نیروی برشی مورد استفاده بر رفتار رئولوژیک پوشش تأثیر زیادی دارد. دو عامل پراکنش زیاد اندازه ذرات^۶ و نیز pH اسیدی (حدود ۴) می‌توانند باعث تجمع ذرات^۷ رس و محبوس شدن آب در بین ذرات متراکم شده شوند. با توجه به اینکه pH لاتکس مورد استفاده ۴٫۴۸ اندازه‌گیری شد و پراکنش ذرات نانورس نسبتاً زیاد است (جدول ۱)، پس افزایش گرانیوی ماده پوششی حاوی این ماده طبق شکل ۱ بدین وسیله قابل توجه است. بنابراین، نکته قابل توجه در آماده‌سازی و بکارگیری این ماده پوششی، تنظیم pH در محدوده ۹ و استفاده از رس با پراکنش کم در اندازه ذرات می‌باشد.

در استفاده از روش پوشش‌دهی تیغه‌ای مشکلاتی از قبیل عدم کنترل جرم پوشش وجود دارد که کنترل رفتار رئولوژی پوشش به عنوان یک عامل کلیدی مطرح است. این عامل به طور پیچیده‌ای با عواملی مثل فرمولاسیون پوشش (ظرفیت نگهداری آب)، متغیرهای ماشین پوشش‌دهی (مثل سفتی تیغه، زاویه تیغه و سرعت) و ویژگی‌های کاغذ (مثل تخلخل^۸، قابلیت فشردگی، زبری^۹ و ترشوندگی^{۱۰}) ارتباط دارد. بنابراین هرچند پیش‌بینی رفتار مواد مختلف در فرآیند پوشش کاغذ با استفاده از اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژی با روش‌های آزمایشگاهی آسان نیست، لیکن برای ارایه مدل‌های محاسباتی دینامیک سیال^{۱۱} این اندازه‌گیری ضروری است [۸].

برای اندازه‌گیری زبری سطح کاغذ (تفاوت ارتفاع پستی و بلندی‌های سطح کاغذ)، از دستگاه زبری‌سنج نوع پارکر استفاده شد. در این دستگاه، کاغذ بین دو هد قرار گرفته و مشابه شرایط تحت چاپ، زبری سطح آن اندازه‌گیری می‌شود. در صورتی که مقدار زبری سطح کاغذ بین ۰٫۲ تا ۰٫۵ میکرون باشد در محدوده نرمال و بیشتر از ۰٫۵ تا ۱۵ میکرون، در محدوده زبری زیاد قرار می‌گیرد. با کمک دستگاه IGT^۱ می‌توان برآوردی از ویژگی‌های چاپ‌پذیری زیرآیندها (کاغذ، پلاستیک، سلوفان، فلز و غیره) و مرکب‌های مختلف، بدون انجام آزمون‌های هزینه‌بر چاپ انجام داد. مدل AIC2-5 این دستگاه قادر به اندازه‌گیری ۱۵ ویژگی مرتبط با چاپ‌پذیری از جمله چگالی چاپ، کنده‌شدن سطح کاغذ و چاپ‌کردن روی کاغذ با مرکب استاندارد می‌باشد و درک اثرات متقابل سطح کاغذ و مرکب چاپ با کمک این دستگاه امکان‌پذیر است این دستگاه خصوصاً قادر به تجزیه و تحلیل و درک بهتر عوامل تأثیرگذار بر انتقال مرکب در حین چاپ افسست است. برای اندازه‌گیری میزان جذب آب کاغذ از فنجان کاب استفاده می‌شود. اساس کار بر میزان آب جذب شده توسط کاغذ طی مدت زمان ۶۰ ثانیه استوار است که با توزین کاغذ قبل و بعد از قرار گرفتن در فنجان محتوی آب، انجام می‌شود.

تغییرات گرانیوی و رئولوژی ماده پوششی به شیوه چرخشی با ۳۰ دور در دقیقه توسط یک دستگاه رئومتر مدل 300 MCR شرکت Anton Paar ثبت شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب آزمون واریانس یک‌طرفه انجام شد و گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن با سطح اطمینان ۱٪ انجام شد.

با توجه به نوع فرآیند تولید خمیر کاغذ (شیمیایی و مکانیکی)، در حال حاضر دو نوع کاغذ چاپ در کشور تولید می‌شود. متأسفانه کاغذ چاپ مکانیکی تولید شده توسط شرکت چوب و کاغذ مازندران دارای ویژگی‌های چاپ‌پذیری مناسبی نمی‌باشد و به همین دلیل با استقبال کمی از طرف ناشرین داخلی روبروست. هدف از انجام این بررسی، امکان‌سنجی بهبود ویژگی‌های چاپ‌پذیری این کاغذ به وسیله پوشش‌دهی تیغه‌ای سطح آن با لاتکس، به همراه نانو رس یا کربنات کلسیم رسوبی می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- رفتار رئولوژیکی پوشش

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب تغییرات گرانیوی پوشش لاتکس با ۱۰٪ نانورس و ۵۰٪ کربنات کلسیم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که رفتار دو نوع پوشش مورد استفاده با افزایش زمان اختلاط، متفاوت است. گرانیوی پوشش حاوی ۵۰٪ کربنات کلسیم از ۱۰٪ نانورس

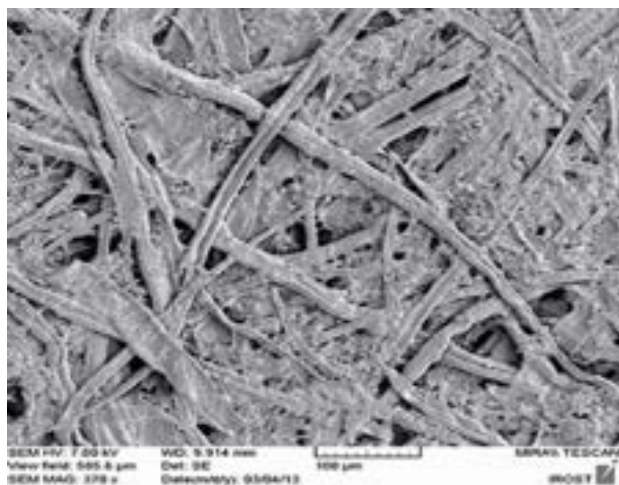
1- International Graphical Tester

2-Thixotropy
3-Water retention
4-Binder
5-Dewatering
6-Steep size distribution
7- Aggregation
8-Porosity
9-Roughness
10-Wettability
11-Computational Fluid Dynamic (CFD)

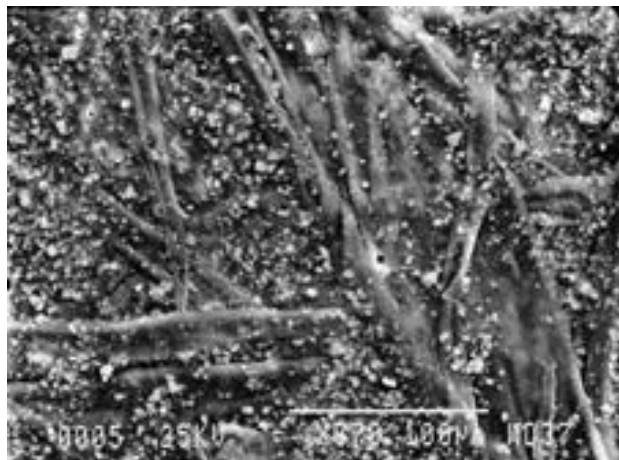
می‌تواند دلیلی بر وجود اختلاف بین ضخامت فیلم مرکب بر روی کاغذ چاپ شده باشد [۹].

شکل‌های ۴ و ۵ سطح کاغذ پوشش‌یافته را با پوشش حاوی ۲۰٪ و ۵۰٪ کربنات کلسیم نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌گردد، اعمال ۵۰٪ کربنات کلسیم نسبت به ۲۰٪، سطح الیاف را به طور قابل توجهی بهتر پوشش داده است. پوشش باعث پر شدن فضای خالی سطح کاغذ پایه شده که می‌تواند بر بهبود کیفیت چاپ تأثیر گذارد. پر شدن منافذ سطحی کاغذ باعث بروز تغییراتی در جذب مرکب شده که در نتیجه کیفیت اجزای کوچک چاپی در نسخه‌های تکثیر شده از تصویر چاپ شده اصلی، بهبود خواهد یافت.

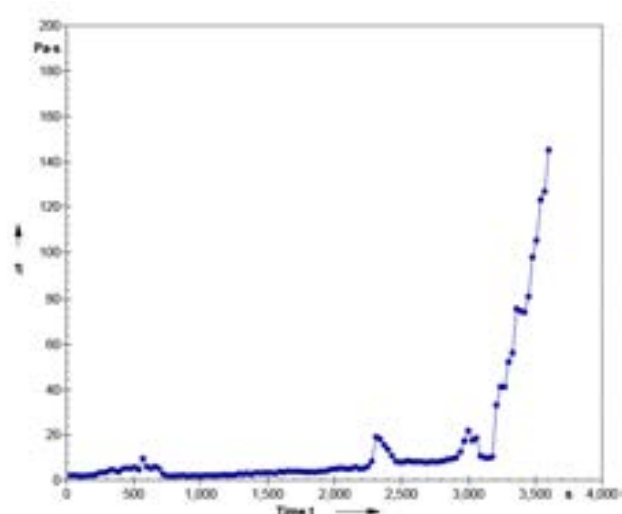
شکل‌های ۶ و ۷ نیز نشان‌دهنده سطح کاغذ پوشش‌یافته با ۵٪ و ۱۰٪ نانورس است. همان‌طور که در شکل ۷ ملاحظه می‌گردد اعمال ۱۰٪ نانورس نسبت به ۵٪، سطح الیاف را به نحو بهتری پوشش داده است.



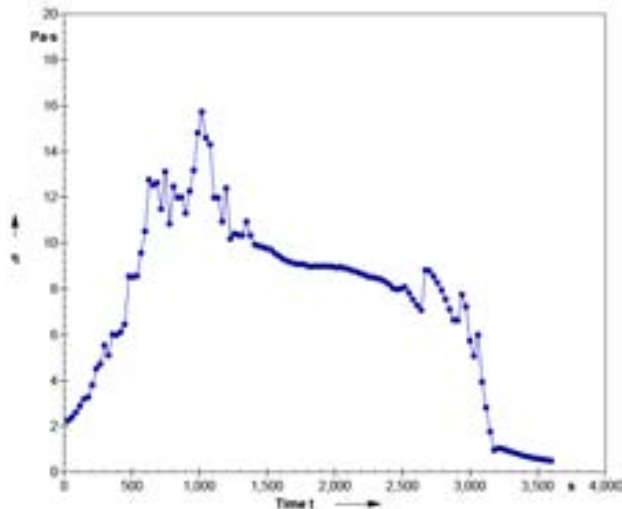
شکل ۳: کاغذ پایه پوشش نیافته شاهد (۳۷۰×).



شکل ۴: پوشش کاغذ چاپ با ۲۰٪ کربنات کلسیم و لاتکس (۳۷۰×).



شکل ۱: تغییرات گرانیوی پوشش ۱۰٪ نانورس و لاتکس.



شکل ۲: تغییرات گرانیوی پوشش ۵۰٪ کربنات کلسیم و لاتکس.

۲-۳- ساختار میکروسکوپی کاغذ پوشش‌یافته

شکل ۳ ساختار نمونه شاهد (کاغذ پوشش‌نیافته) را نشان می‌دهد. منافذ و حفرات بین الیاف در این شکل کاملاً قابل مشاهده است. وجود این حفرات در سطح کاغذ پایه موجب عدم یکنواختی سطح در جذب مرکب چاپ و در نتیجه افت کیفیت چاپ خواهد شد. برای دستیابی به چگالی چاپ مناسب، لازم است که سطح کاغذ صاف‌تر شده یا لایه‌ای از مرکب بتواند این حفرات را پر کند. در حالت دوم، در صورتی که عمق زبری کاغذ کمتر از ضخامت فیلم مرکب باشد، این کار امکان‌پذیر است [۹]. اما با توجه به این که ضخامت فیلم مرکب افسست نسبت به سایر مرکب‌های چاپ کمتر است (حدود ۰/۱ میکرون)، لذا برای بهبود کیفیت چاپ افسست باید الزاماً صافی سطح کاغذ بهبود یابد. از طرف دیگر، چسبندگی غیرهم سطح^۱ لایه فیلم مرکب با کاغذ

1-Unevenness

۳-۳- ویژگی‌های فیزیکی و چاپ پذیری کاغذ

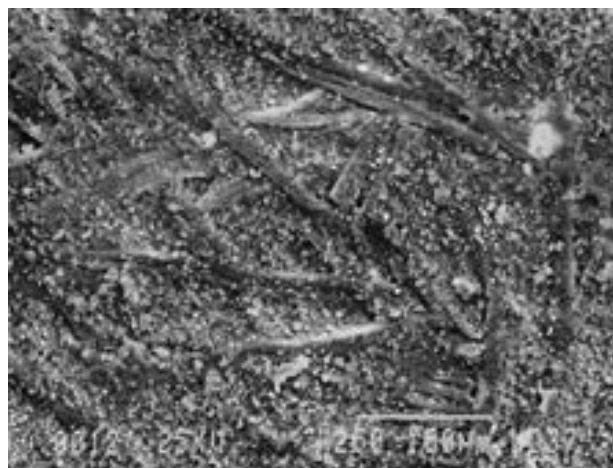
ضخامت

نتایج و مقایسه آماری ویژگی‌های فیزیکی و چاپ پذیری تیمارهای مورد بررسی در جدول ۲ آورده شده است. آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین میانگین ضخامت کاغذ تیمارهای مختلف اختلاف معنی داری وجود ندارد. براساس مطالعاتی که بر روی کاغذ با پوشش کم صورت گرفته، پوشش با ذرات نانو رس نسبت به کربنات کلسیم ساختاری با چگالی بیشتر ایجاد می‌کند.

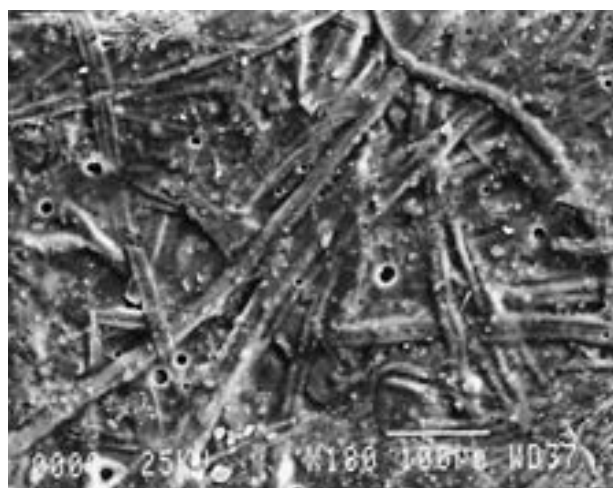
منافذ نانو رس دارای ضریب شکل بیشتری بوده و در سطح کاغذ جهت گیری موازی تری دارند [۱۰]. با توجه به کمتر بودن چگالی اولیه نانو رس (جدول ۱)، بیشترین ضخامت کاغذ (قبل از اتوزنی) متعلق به تیمار با نانو رس می‌باشد که می‌تواند بر قابلیت فشردگی بهتر و کاهش ضخامت لایه پس از اتوزنی و عملیات تکمیلی اثر بگذارد و کاهش نقاط چاپ نشده را موجب شود [۵]. گستردگی نسبتاً زیاد دامنه ضخامت کاغذ پایه (۷۰-۸۸ میکرون) موجب بروز تفاوت در ضخامت کاغذهای پوشش یافته شده است (جدول ۲).

زبری سطح

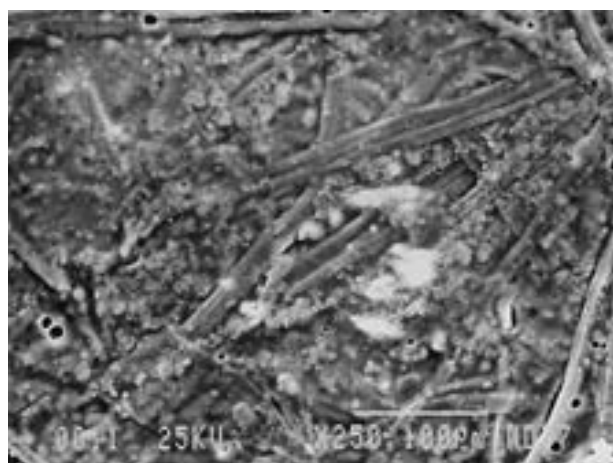
بین میانگین مقادیر زبری سطح هفت نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی داری وجود دارد. بیشترین زبری سطح مربوط به سطح زبری^۱ نمونه شاهد و کمترین میزان به تیمار ۵۰٪ کربنات کلسیم تعلق دارد که توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن به ترتیب در گروه d و a قرار می‌گیرند. روش پارکر (PPS) بهترین همبستگی را با کیفیت چاپ کاغذ ارائه می‌دهد [۶]. این ویژگی با درصد نقاط چاپ نشده همبستگی خوبی دارد [۱۱]. این ویژگی در کاغذهای پوشش یافته هنوز هم زیاد است و در صورتی که از فرآیند اتوزنی پس از پوشش استفاده می‌شود، سطح کاغذ به مراتب صاف تر بود. عملیات زبری کاغذهای مکانیکی^۲ CTMP^۲ اتوزنی شده حدود ۲ میکرومتر نسبت به اتوزنی نشده کمتر تعیین شده است [۱۱]. دامنه نسبتاً زیاد زبری سطح دو طرف کاغذ پایه‌ای که برای پوشش کم استفاده می‌شود، لزوم تغییر در سفتی^۳ غلتک بالایی و پایینی ماشین پوشش دهی^۴ و نیز تغییر درصد ماده جامد پوشش را طلب می‌کند [۱۲].



شکل ۵: پوشش کاغذ چاپ با ۵۰٪ کربنات کلسیم و لاتکس (×۲۵۰).



شکل ۶: پوشش کاغذ چاپ با ۵٪ نانورس و لاتکس (×۱۸۰).



شکل ۷: پوشش کاغذ چاپ با ۱۰٪ نانورس و لاتکس (×۲۵۰).

- 1-Wire side
- 2-Chemical thermo mechanical pulp
- 3-Hardness
- 4-Coater

جدول ۲: مقایسه آماری و گروه‌بندی میانگین‌های ویژگی‌های فیزیکی و چاپ‌پذیری کاغذهای پوشش‌یافته.

کد نمونه	تیمار	ضخامت (µm)	زبری سطح (µm)	مقاومت به عبور هوا (S)	جذب آب (g/m ²)	تراقیت		چگالی چاپ	سرعت کنده‌شدن سطح (m/s)	کیفیت ظاهری چاپ
						۲۰°	۷۵°			
A	شاهد	۷۰-۸۸	۴,۵ ^{bc} -۵,۱ ^d	۴۳ ^a	۲۹,۵۳ ^b	۳,۸ ^a	۴,۹ ^a	۱,۲ ^a	۷۲,۹	بد
B	۵٪ نانو رس	۹۰,۶۷	۴,۹ ^d	O.R.	۱۲,۷۳ ^a	۷ ^f	۷,۸ ^{bc}	۱,۷۹ ^b	کنده‌نشده	متوسط
C	۱۰٪ نانو رس	۸۹,۳۳	۴,۴۳ ^{bc}	O.R.	۱۳ ^a	۶,۵ ^c	۸,۴ ^d	۱,۷۸ ^b	//	متوسط
D	۲۰٪ کربنات کلسیم	۸۸,۶۷	۴,۲۳ ^b	۴۱۶,۱ ^b	۱۷,۶۷ ^a	۵,۹ ^{cd}	۷,۵ ^{bc}	۲,۰۲ ^d	//	عالی
E	۳۰٪ کربنات کلسیم	۸۸,۵۷	۴,۴۷ ^{bc}	۷۶۹ ^c	۱۳,۴۳ ^a	۵,۷ ^{cd}	۸,۹ ^e	۱,۷۲ ^b	//	خوب
F	۴۰٪ کربنات کلسیم	۸۶,۶۷	۴,۷ ^{cd}	۱۸۴۷ ^d	۱۵,۸ ^a	۵,۳ ^c	۹,۵ ^f	۱,۹۲ ^c	//	خوب
G	۵۰٪ کربنات کلسیم	۸۶,۳۳	۳,۶۳ ^a	O.R.	۱۵,۵۳ ^a	۴,۴ ^b	۷,۱ ^b	۲ ^d	//	عالی
F محاسباتی		۱,۳۱۵	۲۵,۱۲	۳۶۶۲۳	۱۷,۰۴	۳۷۹۴۲	۶۷۰۷۱	۲۳۲۷		
سطح معنی‌داری		۰,۳۱ ^{n.s.}	۰,۰۰۰ ^{**}	۰,۰۰۰ ^{**}	۰,۰۰۰ ^{**}	۰,۰۰۰ ^{**}	۰,۰۰۰ ^{**}	۰,۰۰۰ ^{**}		

O.R. خارج از محدوده قابل اندازه‌گیری دستگاه

** اختلاف بین میانگین‌ها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است

^{n.s.} اختلاف بین میانگین‌ها معنی‌دار نیست

مقاومت به عبور هوا (تخلخل)

در سال ۲۰۰۶ طبق گزارش انجمن تحقیق فناوری آلمان^۱ حدود ۲۱٪ اشکالات در چاپ ورق به تثبیت و خشک‌شدن مرکب مربوط است که کاهش تخلخل سطح، اثر مثبتی بر ویژگی‌های نوری و چاپ‌پذیری کاغذ و کندی تثبیت مرکب دارد [۱۳]. در بررسی که بر روی ماده پوششی با چند رنگدانه انجام گرفت، اثر تخلخل سطح کاغذ پوشش‌یافته بر زبری سطح ناچیز گزارش شد [۱۴]. مقاومت به عبور هوا اطلاعاتی در مورد تخلخل نسبی کاغذ را ارائه می‌کند. باید در نظر داشت که به دلیل گرانبوی کم هوا، با این روش می‌توان حجم کل و قابلیت هدایت منافذ کاغذ را تعیین نمود تا اندازه منافذ [۵]. مقاومت به عبور هوا در کاغذهای تیمار شده نسبت به نمونه شاهد به مراتب بیشتر است و برای تیمارهای B، C و G دستگاه قادر به اندازه‌گیری نبود. آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده این مقاومت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد. تفاوت‌های ساختاری بین لایه‌های پوشش با اجزای مختلف می‌تواند علت مقادیر متفاوت این ویژگی در تیمارهای مختلف باشد.

آزمون چنددامنه‌ای دانکن ۴ تیمار قابل اندازه‌گیری را از این نظر در چهار گروه مختلف قرار می‌دهد.

میزان جذب آب

با اندازه‌گیری میزان جذب آب کاغذ می‌توان وضعیت استقرار مرکب (پخشیدگی و نفوذ) بر روی کاغذ را تعیین نمود. استفاده از این روش برای کاغذهایی که به روش افست چاپ می‌شوند دارای اهمیت است [۲]. جدول ۲ نشان می‌دهد که بیشترین میزان جذب آب در کاغذ (کاب) مربوط به نمونه شاهد و کمترین میزان این مقاومت متعلق به تیمارهای نانو رس است. این ویژگی در کاغذهای پوشش‌یافته تا حدود نصف کاهش یافته که از نظر ثبات ابعاد کاغذ در ماشین‌های چاپ و افزایش کیفیت چاپ، خصوصاً روش افست رول^۲ حایز اهمیت است. با گروه‌بندی دانکن کاغذهای پوشش‌یافته با نانو رس و کربنات کلسیم در یک گروه (a) و شاهد در گروه دیگر (b) قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، با افزایش درصد مواد معدنی پوشش، تفاوتی در میزان جذب آب کاغذ بوجود نیامده است. کربنات کلسیم رسوبی نوع سوزنی^۳ به دلیل آنکه

2- Heat web offset
3-Narrow psd PCC

1-FOGRA (German Graphic Technology Research Association)

کنده شدن سطح

در چاپ چند رنگ، کاغذ باید از میان نوردهای چاپ و بلانکت^۳ افسست چندین بار عبور کند. کیفیت خوب چسبندگی مرکب روی سطح کاغذ چاپ شده در فرآیند چاپ ضروری است. عدم تجمع ذرات مرکب بر روی نوردها و بلانکت و کنده نشدن سطح چاپ شده اهمیت زیادی دارد [۵]. در مقایسه‌ای که بین چند رنگدانه برای پوشش کاغذ انجام شد، کربنات کلسیم از نظر کنده نشدن سطح چاپ شده بهترین وضعیت را داشت [۱۴]. بررسی قابلیت کنده شدن با استفاده از دو روش IGT و Prüfbau می‌تواند نتایج خوبی را برای چاپ افسست ارائه نماید [۲].

آزمون کنده شدن کاغذ با دستگاه IGT مدل AIC2-5 توسط روغن با گرانی زیاد و در سرعت‌های مختلف انجام شد. مقایسه کاغذهای تیمار شده با شاهد (جدول ۲ و شکل ۸) حاکی از عدم کنده شدن سطح کلیه کاغذهای تیمار شده است، در صورتی که نمونه شاهد در سرعت ۷۲٫۹ متر بر ثانیه کنده شده است. مقایسه پوشش کاغذ افسست ورق با دو رنگدانه GCC و رس براق نشان داد که پوشش با رنگدانه GCC با ذرات کوچک‌تر منجر به مقاومت سطحی بیشتری شد که می‌تواند به علت سطح ویژه، قابلیت تثبیت مرکب و آب‌دوستی بیشتر نانو رس باشد [۷].



شکل ۸: مقایسه کنده شدن سطح کاغذهای شاهد و تیمار شده با روغن سنگین.

کیفیت ظاهری چاپ

مشاهده ظاهری چاپ کیفیت چاپ‌پذیری نمونه‌ها (شکل ۹) نیز نشان داد که کیفیت چاپ مربوط به کاغذهای تیمار شده با کربنات کلسیم بهتر است و در نمونه G و سپس D از بهترین وضعیت (کمترین نقاط چاپ نشده) برخوردار است. جدول ۲ نشان می‌دهد که زبری این دو نمونه در مقایسه با سایر نمونه‌ها کمتر بوده که احتمالاً می‌تواند دلیلی بر تغییرات کیفیت چاپ در نمونه‌ها باشد. کیفیت چاپ کاغذ پوشش‌یافته به روش تیغه‌ای با افزایش جرم پوشش افزایش می‌یابد [۶].

دارای ظرفیت نگهداری آب ضعیفی است انتظار نمی‌رود که بین درصدهای مختلف استفاده از آن تغییرات قابل توجهی در جذب آب کاغذها بوجود آید و در واقع این لاتکس است که با ایجاد پوشش مناسبی در سطح کاغذ باعث کاهش میزان جذب آب کاغذهای پوشش‌یافته طی مدت زمان ۶۰ ثانیه نسبت به نمونه شاهد شده است [۱۸]. نحوه انتشار مرکب به تعادل بین تر شوندگی، کشش سطحی و تخلخل کاغذ مربوط است که بر جذب مرکب مؤثرند [۶].

براقیت

میزان براقیت به ساختمان و منافذ سطحی زیرآیند بستگی داشته و زبری در مقیاس میکرو^۱ می‌تواند تا حدودی توسط فیلم مرکب پوشانده شود [۱۵]. برای تعیین براقیت تیمارهای مختلف، از دو زاویه تابش ۲۰ و ۷۵ درجه استفاده شد. بررسی مقدار این ویژگی برای کاغذ پوشش‌یافته (چاپ نشده) در زاویه ۷۵ درجه دارای اهمیت بیشتری است [۱۵]. در جدول ۲ تغییرات براقیت و چگالی چاپ تیمارهای مختلف که به عنوان عامل تعیین‌کننده میزان مرکب مورد نیاز برای اقتصادی بودن چاپ مطرح هستند، قابل مشاهده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش مقدار رنگدانه براقیت کاغذ در زاویه ۷۵ درجه کاهش یافته است و همان‌طور که قبلاً گفته شد یکی از دلایل آن می‌تواند عدم انجام عملیات تکمیلی (اتوزنی) بر روی کاغذ پوشش‌یافته باشد. توپوگرافی^۲ کاغذ پوشش‌یافته، تحت تأثیر زبری ماکرو (کاغذ پایه) و میکرو (اندازه، شکل و جهت‌گیری ذرات رنگ دانه) سطح آن می‌باشد [۱۶]. شاید بتوان اختلاف این ویژگی در دو زاویه مورد بررسی را به تغییرات توپوگرافی کاغذ در این زوایا نسبت داد.

چگالی چاپ

چگالی چاپ نشان‌دهنده ضخامت بیشتر لایه مرکب تثبیت‌شده است که خود حاصل شبکه بازتر پوشش و اتصال قوی‌تر کاغذ پایه و مرکب می‌باشد. این ویژگی تأثیر قابل توجهی بر کیفیت تکثیر نسخه چاپ شده دارد و برای کاغذ پوشش‌نیافته حدود ۱٫۵ و پوشش یافته ۲ می‌باشد [۳، ۱۷]. با افزایش چگالی چاپ میزان براقیت کاغذ پوشش‌شده روتوگراور و منافذ کاغذ پوشش‌یافته به ترتیب افزایش و کاهش یافت که PCC در مقایسه با GCC دارای براقیت و چگالی چاپ کمتری بود [۶]. بیشترین چگالی چاپ مربوط به تیمارهای D و G است که دارای کمترین زبری می‌باشند (جدول ۲) و طبق گروه‌بندی دانکن در یک گروه قرار دارند (d).

3- Blanket piling

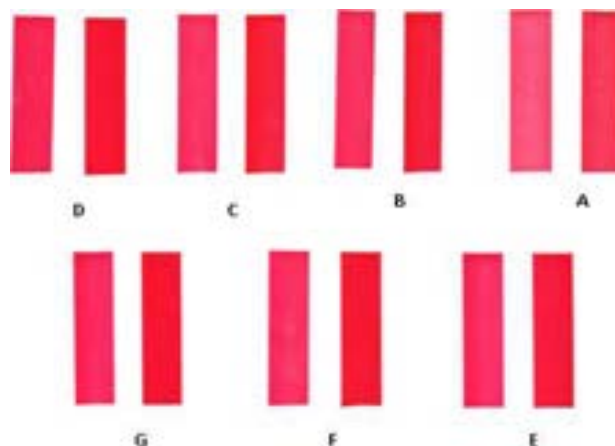
1-Micro roughness

2-Topography

شاهد بهبود یافت که در صورت انجام عملیات تکمیلی (اتونزی) این بهبود افزایش خواهد یافت. کاهش حداقل ۵۰ درصدی جذب آب در کاغذهای پوشش شده، نوید عدم تغییرات ابعاد رول کاغذ را در سیستم چاپ افست با اعمال محلول رطوبت‌دهی می‌دهد که باعث ارتقای کیفیت چاپ خواهد شد.

افزایش براقیت کاغذهای پوشش شده و چگالی چاپ آنها گواهی بر بهبود کیفیت چاپ‌پذیری این نوع کاغذ می‌باشد. آزمون کنده‌نشدن کاغذها نشان داد که پوشش باعث افزایش چسبندگی مرکب و کاغذ شده و از مشکل پرزدهی^۱ بر روی نوردها (خصوصاً نورد بلانکت افست) و کنده‌شدن سطح چاپ شده جلوگیری می‌کند.

با وجود دامنه اختلاف نسبتاً زیاد ضخامت و زبری سطح دو طرف کاغذ پایه، استفاده از فناوری‌های جدید پوشش‌دهی کم، نظیر تغییر در سختی غلتک‌های بالا و پایین و نیز درصد ماده جامد پوشش می‌تواند از بروز اختلافات رفتاری دو طرف کاغذ در حین چاپ، بکاهد. در مجموع، پوشش کم (۴ تا ۶ گرم بر متر مربع) کاغذ چاپ مکانیکی شرکت چوب و کاغذ مازندران نشان داد که ویژگی‌های چاپ‌پذیری این کاغذ علی‌رغم عدم انجام عملیات تکمیلی (مثل اتونزی) به طور یقین نسبت به نمونه شاهد بهبود خواهد یافت.



شکل ۹: مقایسه کیفیت ظاهری و چگالی چاپ نمونه شاهد و تیمارها (نمونه چاپ شده سمت راست مربوط به چگالی چاپ ۰.۵ و سمت چپ مربوط به چگالی چاپ ۰.۳ است).

۴- نتیجه‌گیری

مطالعات میکروسکوپی (SEM) نشان داد که با افزایش درصد رنگدانه لاتکس، سطح کاغذ بهتر پوشش می‌یابد. به دلیل تفاوت در رفتار رئولوژی دو رنگ دانه نانو رس و کربنات کلسیم، تفاوت در نحوه پوشش‌دهی سطح کاغذ با این دو نوع ماده محرز است. گرانروی کمتر پوشش حاوی ۵۰٪ کربنات کلسیم نسبت به ۱۰٪ نانو رس، می‌تواند در اقتصادی‌تر کردن مراحل آماده‌سازی و انتقال پوشش مطرح باشد. زبری سطح و مقاومت به عبور هوای کاغذهای پوشش شده نسبت به

۵- مراجع

1. E. Lehtinen, Pigment coating and surface sizing of paper. Book 11, Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI. 2000, 2-61.
2. Standards and measurements of paper, Sappi Europe SA, <http://www.sappi.com/KnowledgeBank>, accessed online 2007.
3. H. Kipphan, Handbook of print media, technologies and production methods. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg New York. 2001, 76-81.
4. M. Taghavi, S. M. Kassiriha, A. A. Sarabi, H. Nazokdast, Investigation into visco-elastic properties of 100% solids polyurethane nanoclay coating. *J. Color. Sci. Tech.* 5(2011), 129-135.
5. R. W. Wygant, R. J. Pruet, C. Y. Chen, A review of techniques for characterizing paper coating surfaces, structures and printability, in proceeding of coating fundamentals symposium, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA, (1995), 85-91.
6. J. Preston, C. Nutbeem, P. Heard, R. Wygant, Coating structure requirements for improved rotogravure printability and reduced ink demand, TAPPI coating and graphic arts conference, Miami, USA, (2007), 18-23.
7. P. Dahlvik, G. Bluvol, K. H. Kagerer, M. Arnold, Factors influencing the surface strength of coated papers, in proceeding of TAPPI Paper Con, (2011), 374-417.
8. N. Willenbacher, H. Hanciogullari, H. G. Wagner, High shear rheology of paper coating colors- More than just viscosity, *Chem. Eng. Technol.* 20(1997), 557-563.
9. P. Oittinen, H. Saarelma, Printing. Book 13, Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI. 2000, 2-61.
10. G. Chinga, Structural studies of LWC paper coating layers using SEM and image analysis techniques, PhD thesis, University of science and technology, Department of chemical engineering, Norway, 2002.
11. S. P. Singh, Paper smoothness evaluation methods. *BioResources.* 3(2008), 503-516.
12. J. Grön, E. Nikula, H. Sunde, Influence of coating composition on web release in high speed film-transfer coating. *TAPPI J.* 81(1998), 216-225.
13. FOGRA, Annual Report 2006, Fogra Forschungsgesellschaft Druck e. V. Munich, Germany, 2007.
14. Y. V. Sood, S. Tyagi, P. C. Pande, R. Tandon, Effect of base paper characteristics on coated paper quality. *Indian j.*

- Chem. Technol. 17(2010), 309-316.
15. G. Ström, A. Englund, M. Karathanasis, Effect of coating structure on print gloss after sheet-fed offset printing. *Nord. Pulp Pap. Res. J.* 18(2003), 108-115.
16. T. Chen, The Influence Of coating structure on sheet-fed offset ink setting rates, MS thesis, Western Michigan University, Department of Paper Engineering, Chemical Engineering and Imaging, USA, 2012.
17. P. Tripathi, M. Joyce, D. I. Lee, P. D. Fleming, M. Sugihara, Comparison of the surface and print quality of curtain and blade coated papers. *Taga J.* 3(2007), 203-209.
18. J. Preston, J. C. Husband, S. Booth, Binder depletion during the coating process and its influence on coating failure, in symposium of the 12th TAPPI advanced coating fundamentals, Atlanta, GA, USA, (2012), 160-195.