

بهبود ویژگیهای چاپ پذیری کاغذ تحریر ایرانی با پوشش دهی به وسیله مواد زیست تخریب پذیر

چکیده

سابقه و هدف

کاغذ تحریر به دلیل ویژگی‌هایی مانند رنگ سفید، براقیت، مقاومت در برابر عبور هوا و چاپ پذیری مطلوب، یکی از اصلی‌ترین انواع کاغذ مورد استفاده در صنعت چاپ به‌شمار می‌رود. با این حال، نمونه‌های تولید داخل کشور از نظر یکنواختی رنگ، زبری سطح و ویژگی‌های فیزیکی نیازمند بهبود هستند، عواملی که می‌توانند بر کیفیت چاپ تأثیرگذار باشند. در این پژوهش، با هدف ارتقای ویژگی‌های فیزیکی و چاپ پذیری کاغذ چاپ و تحریر تولیدی شرکت چوب و کاغذ مازندران، از پوشش دهی با مواد زیست تخریب پذیر شامل نانوگرافن، ژئین و فلورین استفاده شد.

مواد و روش‌ها

برای این منظور، کاغذ چاپ و تحریر با گراماژ ۷۰ گرم بر متر مربع تهیه و مورد آزمون‌های مختلف قرار گرفت. به‌منظور اندود سطح کاغذ، ابتدا نانوگرافن، ژئین و فلورین به‌همراه لاتکس استایرن-بوتادین با درصدهای وزنی مشخص به‌طور جداگانه توزین شدند. سپس، بر اساس شرایط تیمار، مواد در دستگاه مخلوط‌کن با سرعت چرخش ۱۵۰۰ RPM به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط شدند تا مخلوطی همگن حاصل شود. این فرآیند به‌منظور حصول اطمینان از توزیع یکنواخت مواد در سطح کاغذ انجام شد. قبل از انجام آزمون‌ها، نمونه‌های شاهد و نمونه‌های پوشش داده‌شده در شرایط محیطی استاندارد (دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵٪) قرار گرفتند. ویژگی‌های مورد بررسی در این تحقیق شامل ضخامت، خاکستر، مقاومت به عبور هوا، زبری، ماتی، سفیدی، روشنی، براقیت، دانسیته نوری و چسبندگی بودند. این ویژگی‌ها به‌دقت اندازه‌گیری شدند تا تأثیر پوشش دهی بر کیفیت کاغذ به‌طور کامل مورد ارزیابی قرار گیرد.

یافته‌ها

نتایج نشان داد که پوشش دهی باعث افزایش ضخامت، خاکستر، مقاومت به عبور هوا، سفیدی، براقیت و دانسیته نوری شد. به‌طوری‌که در مقایسه با نمونه شاهد، این ویژگی‌ها به‌طور قابل توجهی بهبود یافتند. در حالی که نسبت به نمونه شاهد کاهش ماتی و روشنی مشاهده شد، این نتایج نشان‌دهنده این است که پوشش دهی تأثیر مثبت بر کیفیت ظاهری کاغذ دارد. در مواردی که از مواد پوششی به‌صورت مجزا استفاده شده است، میزان زبری نیز کاهش یافته است که به نوبه خود می‌تواند روی کیفیت چاپ تأثیر بگذارد. به‌عبارتی دیگر، مقاومت به عبور هوا در نمونه پوشش داده‌شده با گرافن، ژئین و فلورین حدود ۳۵ برابر نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. همچنین، مقدار خاکستر در نمونه پوشش داده‌شده با ژئین نسبت به نمونه شاهد ۵/۹۶ برابر کمتر را بود که نشان‌دهنده بهبود کیفیت کاغذ است. ماتی نمونه پوشش داده‌شده با فلورین نسبت به نمونه شاهد ۳/۷ درصد کاهش را نشان داد. همچنین، نمونه پوشش داده‌شده با ژئین نسبت به نمونه شاهد ۴۵/۵ درصد افزایش سفیدی و نمونه پوشش داده‌شده با ژئین و نانوگرافن نسبت به نمونه شاهد ۴۳۱ درصد افزایش براقیت را نشان داد. میزان چسبندگی لایه پوشش داده‌شده و مرکب فلکسو اعمال شده عالی است، زیرا هر دو لایه همراه با سطح کاغذ (زیرآیند) توسط چسب به‌طور کامل کنده می‌شوند. این ویژگی نشان‌دهنده توانایی بالای این نوع پوشش در حفظ انسجام و کیفیت چاپ است.

نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از نانوگرافن، ژئین و فلورین به‌عنوان پوشش‌دهنده می‌تواند بهبود قابل توجهی در ویژگی‌های فیزیکی و چاپ پذیری کاغذ تحریر ایجاد کند. به‌خصوص، افزایش براقیت، سفیدی و مقاومت به عبور هوا، این کاغذ را به گزینه‌ای مناسب‌تر برای چاپ کتاب تبدیل می‌کند. به‌طور کلی، این نتایج می‌تواند به طراحی و تولید کاغذهای با کیفیت بالا کمک کند و به صنعت چاپ و کاغذ ایران ارزش افزوده بیشتری ببخشد.

واژه‌های کلیدی: کاغذ تحریر، پوشش دهی، زیست تخریب پذیر، چاپ پذیری

در دنیای امروز، با افزایش نگرانی‌ها نسبت به تأثیرات منفی مواد غیرقابل تجزیه بر محیط‌زیست، توجه به استفاده از مواد پایدار و زیست‌تخریب‌پذیر به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. یکی از حوزه‌های کلیدی که در این زمینه مورد توجه قرار گرفته، صنعت کاغذ و چاپ است. کاغذ به‌عنوان یکی از پرکاربردترین مواد در زندگی روزمره، از کتاب‌ها و مجلات گرفته تا بسته‌بندی و تبلیغات، نقش اساسی در جامعه ایفا می‌کند. با این حال، کیفیت و ویژگی‌های چاپ‌پذیری کاغذهای تحریر ایرانی، به‌خصوص در مقایسه با استانداردهای جهانی، نیازمند بهبود است (۱).

کاغذ تحریر که در ایران با نام بین‌المللی "Writing and Printing Paper" شناخته می‌شود، معمولاً به دو دسته اصلی، یعنی "اندود شده" و "اندود نشده" تقسیم می‌شود. نوع "اندود نشده" آن به‌طور عمده در ایران تولید می‌شود و کاربرد اصلی آن در صنعت چاپ و تحریر است. این کاغذ بیشتر برای چاپ انواع کتاب‌ها و مجلات مورد استفاده قرار می‌گیرد و سهم قابل توجهی از بازار داخلی را به خود اختصاص داده است.

کاغذ تحریر معمولاً دارای سطح با بافت چند قسمتی و حفره‌دار است که این ویژگی باعث می‌شود جوهر به‌راحتی جذب بافت کاغذ شود و کیفیت چاپ و ماندگاری آن افزایش یابد. چاپ‌پذیری، یکی از ویژگی‌های کلیدی کاغذ است که به‌طور مستقیم بر کیفیت نهایی چاپ تأثیر می‌گذارد. این ویژگی به عوامل مختلفی مانند جذب جوهر، یکنواختی سطح و ضخامت کاغذ بستگی دارد (۲). بهبود این ویژگی‌ها می‌تواند به افزایش رضایت مشتریان، کاهش هزینه‌های تولید و بهبود کیفیت نهایی آثار چاپی منجر شود.

تحقیقات متعددی در زمینه بهبود ویژگی‌های کاغذ تحریر و افزایش کیفیت چاپ انجام شده است. به‌عنوان مثال، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که استفاده از پوشش‌های خاص می‌تواند به بهینه‌سازی خشک شدن مرکب و کاهش جذب آب کمک کند (۳). به‌علاوه، استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر نظیر نانوگرافن و زئین به عنوان پوشش‌دهنده‌های مؤثر، می‌تواند خواص مکانیکی و حرارتی کاغذ را بهبود بخشد و اثرات منفی بر محیط‌زیست را کاهش دهد (۴). با وجود مزایای بالقوه استفاده از این مواد، چالش‌هایی نیز در این مسیر وجود دارد. هزینه‌های بالای تولید و نیاز به تحقیق و توسعه بیشتر در زمینه بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، از جمله این چالش‌ها هستند (۵). اما با توجه به توجه روزافزون جامعه به مسائل محیط‌زیستی، تولید کاغذهای تحریر با ویژگی‌های بهبود یافته و اثرات زیست‌محیطی کمتر می‌تواند به افزایش محبوبیت این کاغذها در بازار کمک کند.

پوشش زئین ذرت به‌عنوان یک لایه مؤثر در ممانعت از نفوذ اکسیژن و رطوبت عمل می‌کند. فیلم حاصل از زئین در شرایط خشک دارای ضریب نفوذپذیری به رطوبت بسیار پایین‌تری نسبت به بسیاری از پوشش‌های پلیمری متداول از جمله پلی‌اتیلن با دانسیته بالا و پایین و نایلون است. مطالعات نشان داده‌اند که کاغذهای پوشش‌دهنده با زئین، خاصیت ممانعتی بیشتری در برابر رطوبت و چربی نسبت به لایه‌های پلی‌اتیلنی ایجاد می‌کنند و از این‌رو می‌توانند در بسته‌بندی‌های سریع مواد غذایی مانند بسته‌بندی ساندویچ در رستوران‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

افزون بر این، پوشش‌های زئین از نظر زیست‌محیطی مزایای قابل توجهی دارند، زیرا در فرآیند بازیافت کاغذ اختلال ایجاد نمی‌کنند و نیازی به جداسازی لایه پروتئینی از بستر کاغذ وجود ندارد. این ویژگی، زئین را به گزینه‌ای مناسب برای جایگزینی پلی‌اولفین‌ها در کاربردهای بسته‌بندی سازگار با محیط زیست تبدیل کرده است (۶).

طبق تحقیقات انجام‌شده، از گرافن می‌توان برای تولید انواع کاغذهای عملکردی، از جمله کاغذهای ضدباکتری و مقاوم به رطوبت و حرارت استفاده کرد. گرافن از زمان کشف آن در سال ۲۰۰۴، به دلیل ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی استثنایی از جمله استحکام بالا، انعطاف‌پذیری و رسانایی حرارتی و الکتریکی، مورد توجه گسترده پژوهشگران قرار گرفته است. مطالعات نشان داده‌اند که مشتقات گرافن، مانند اکسید گرافن و اکسید گرافن احیاشده، دارای خواص

ضدمیکروبی بوده و می‌توانند رشد باکتری‌ها را مهار کنند. افزودن نانوگرافن به ترکیب کاغذ می‌تواند موجب افزایش استحکام مکانیکی، کاهش وزن، و بهبود مقاومت در برابر آب و آتش گردد (۷).

فلورین دارای خاصیت آب‌گریزی است و استفاده از آن در پوشش‌دهی کاغذ موجب کاهش تخلخل سطح و افزایش مقاومت در برابر نفوذ رطوبت می‌شود (۸). به‌کارگیری ترکیبات فلورینی در فرمولاسیون پوشش، علاوه بر بهبود خاصیت ضد لک و دوام در برابر عوامل محیطی، سبب افزایش مقاومت سطحی و پایداری ظاهری کاغذ می‌گردد. از نظر منابع معدنی، فلورین (CaF_2) یکی از کانی‌های نسبتاً فراوان در ایران است و در استان‌های شمالی به‌ویژه مازندران ذخایر قابل توجهی از آن گزارش شده است.

بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش نشان داد که کاغذ تحریر مورد استفاده، دارای رنگ متمایل به نخودی و ناهمگنی سطحی بوده است که این ویژگی‌ها می‌تواند در فرآیند چاپ تأثیر منفی بر کیفیت نهایی اثر بگذارد.

این مسائل باعث شده است که ناشران و چاپخانه‌ها تمایل کمتری به استفاده از کاغذهای داخلی داشته باشند و به دنبال جایگزین‌های بهتری باشند. بهبود ویژگی‌های چاپ‌پذیری کاغذ تحریر ایرانی با پوشش‌دهی به وسیله مواد زیست‌تخریب‌پذیر، می‌تواند به ارتقاء کیفیت کاغذ و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی ناشی از استفاده از مواد سنتزی منجر شود. این رویکرد می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر در راستای دستیابی به مواد چاپی با کیفیت بالا و پایدار در نظر گرفته شود. بنابراین، تحقیقات در این زمینه می‌تواند به توسعه کاغذهای تحریر با خواص بهبود یافته و اثرات مثبت بر محیط‌زیست منجر شود.

روش تحقیق

کاغذ پایه: کاغذ چاپ و تحریر مورد استفاده از شرکت چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. جرم پایه این کاغذ ۷۰ گرم بر متر مربع بود.

نانو گرافن: نانوگرافن نوع AO-4 از شرکت گرافن سوپرمارکت (Graphene Supermarket) ایالات متحده آمریکا تهیه شد. برخی از مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است.

پروتئین زئین: پروتئین زئین (پروتئین ذرت) از شرکت سیگما آلدریج تهیه شد. مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است.

فلورین: فلورین از گروه تولیدی معدن کاوان تهیه شد. مشخصات فلورین در جدول ۱ نشان داده شده است.

رزین آکریل آمید: رزین بر پایه آکریل آمید (SH-305) از شرکت سیماب رزین با مشخصات مندرج در جدول ۱ تهیه شد.

لانتکس پلی‌وینیل استات: چسب پلی‌وینیل استات شرکت چسب و رزین شمال، که مشخصات آن در جدول ۱ خلاصه شده است.

پراکنده‌ساز: پراکنده‌ساز (D200) از شرکت سیماب رزین با پایه شیمیایی پلی‌کربوکسیلات و حلال آبی تهیه شد. این ماده به‌عنوان عامل پراکندگی ذرات در فرمول پوشش استفاده گردید، مشخصات در جدول ۱ آورده شده است.

نشاسته کاتیونی: نشاسته کاتیونی حاصل از گیاه تاپیوکا از کارخانه چوب و کاغذ مازندران با مشخصات مندرج در جدول ۱ تهیه شد.

مرکب چاپ: مرکب چاپ فلکسوگرافی S با رنگ ارغوانی در حلال‌های ایزوپروپانول و اتیل استات به نسبت ۱ به ۲ تا ۱ به ۳ از شرکت بهروفران تهیه گردید.

Table 1. Characteristics of nanographene, zein protein, fluorine and acrylamide resin

Feature	Nanographene	Zein	Fluorine	Acrylic Resin (SH-305)	Disperser	Polyvinyl acetate latex	Cationic Starch
Specific Surface Area (m ² /g)	More than 15	-	-	-	-	-	
Color	Black	Yellow	-	Milky	Orange Yellow	-	
Purity (%)	99.5	-	-	-	-	-	
Average Thickness (nm)	60	-	-	-	-	-	
Particle Diameter (nm)	3-18	-	-	-	-	-	
Surface Area (m ² /g)	300	-	-	-	-	-	
Appearance Status	-	-	-	Liquid	-	-	
Crude Protein Percentage (%)	-	55	-	-	-	-	
Crude Fiber Percentage (%)	-	10	-	-	-	-	
Ash Percentage (%)	-	3	-	-	-	-	
Urea Content (mg/kg)	-	Negative	-	-	-	-	
LOI	-	-	0.5	-	-	-	
TiO ₂	-	-	>0.01	-	-	-	
Mg	-	-	0.2	-	-	-	
Na ₂ O	-	-	0.1	-	-	-	
Al ₂ O ₃	-	-	0.1	-	-	-	
SiO ₂	-	-	0.65	-	-	-	
P	-	-	0.01>	-	-	-	
Fe ₂ O ₃	-	-	0.1	-	-	-	
Ca	-	-	51	-	-	-	
SO ₃	-	-	0.1	-	-	-	
CaF ₂	-	-	96.17	-	-	-	
Type	-	-	-	Self-crosslink	-	-	
Emulsifying Property	-	-	-	Anionic	-	-	Cationic
Solid Content (%)	-	-	-	50	42	-	
pH	-	-	-	6-8	7.5	7	6
Tg (°C)	-	-	-	-2	-	-	
Viscosity (cp)	-	-	-	10000	-	-	
Density (g/cm ³)	-	-	-	-	-	0.96	
Flash Point (°C)	-	-	-	-	-	-8	
Melting Point (°C)	-	-	-	-	-	-93	
Protein content (%)							less than 1
Nitrogen content (%)							0.25

پوشش دهی کاغذ پایه

برای پوشش دهی، ابتدا نانوغرافن، زئین و فلورین با درصدهای وزنی مشخص به طور جداگانه توزین شدند. بسته به شرایط تیمار، هر یک از مواد پوشش دهی به صورت مجزا و ترکیبی به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد با ۱۰۰ گرم آب مقطر مخلوط شدند. سپس با افزودن ۲/۵ گرم لاتکس استایرن بوتادین و ۰/۵ گرم پراکنده ساز D200 از شرکت سیماب رزین، به مدت ۲۰ دقیقه مجدداً در داخل دستگاه مخلوط کن با دور گردش ۱۵۰۰ rpm برای به دست آوردن یک مخلوط همگن ترکیب شدند.

در مرحله بعد، نشاسته کاتیونی **پخته شده با غلظت ۵ درصد** (بر اساس وزن خشک) به عنوان کمک نگهدارنده برای افزایش پوشش و دستیابی به توزیع یکنواخت تر ذرات روی سطح کاغذ به این ترکیب ها اضافه شد و عمل هم زدن ادامه یافت. نشاسته پس از فرآیند پخت در شرایط استاندارد، دارای ویسکوزیته حدود ۵۰۰ سانتی پواز بود که مطابق با دامنه مطلوب برای کاربردهای پوشش سطحی کاغذ است. لازم به ذکر است که نشاسته خام معمولاً دارای گرانشی حدود ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ سانتی پواز است که پس از پخت (۵-۱۰ دقیقه بخاردهی)، ویسکوزیته آن به حدود ۵۰۰ سانتی پواز کاهش می یابد و برای عملیات پوشش دهی مناسب تر می شود. این ویژگی نقش کلیدی در یکنواختی لایه پوششی و بهبود نگهداری ذرات دارد. هم زدن مخلوط با استفاده از همزن مغناطیسی در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه ادامه یافت تا یکنواختی کامل حاصل شود.

محللول‌های پوششی آماده‌شده با استفاده از دستگاه (Auto Bar Coater (GBC - A4 GIST Co., Ltd) روی ورق‌های کاغذ اعمال شد. حجم ۲۷ میلی‌لیتر از محللول پوشش از یک طرف روی کاغذ ریخته شد و سپس میله اپلیکاتور بلافاصله در طول سطح کاغذ کشیده شد. سرعت پوشش روی ۲۵ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم گردید. ورق‌های کاغذ پوشش داده‌شده در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت در معرض هوا خشک شدند. کدها و درصد‌های خاص ترکیبات مورد استفاده در پوشش‌ها و تیمارها در جدول ۲ خلاصه شده است.

قبل از تعیین مشخصات، همه نمونه‌ها در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۶۵ درصد به مدت حداقل ۲۴ ساعت طبق استاندارد ISO 187 قرار گرفتند.

جدول ۲. ترکیب کدها و شرایط تیمارها

Table 2. Combination of codes and treatment conditions

توضیحات Descriptions	Treatment code	Treatment number
کاغذ چاپ و تحریر شاهد Control Printing and writing	CWP	1
کاغذ چاپ و تحریر پوشش‌دهی شده با نانوگرافن Printing and writing Coated with Nanographene	WPG	2
کاغذ چاپ و تحریر پوشش‌دهی شده با زئین Printing and writing Coated with Zein	WPZ	3
کاغذ چاپ و تحریر پوشش‌دهی شده با فلورین Printing and writing Coated with Fluorine	WPF	4
کاغذ چاپ و تحریر پوشش‌دهی شده با نانوگرافن و زئین Printing and writing Coated with Nanographene and Zein	WPZG	5
کاغذ چاپ و تحریر پوشش‌دهی شده با نانوگرافن و فلورین Printing and writing Coated with Nanographene and Fluorine	WPFG	6
کاغذ چاپ و تحریر پوشش‌دهی شده با فلورین و زئین Printing and writing Coated with Fluorine and Zein	WPFZ	7
کاغذ چاپ و تحریر پوشش‌دهی شده با نانوگرافن و زئین و فلورین Printing and writing Coated with Nanographene, Zein, and Fluorine	WPZFG	8

اندازه‌گیری خواص کاغذ

برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی، نوری و چاپ‌پذیری کاغذها از حداقل ۱۰ تکرار برای هر نمونه مطابق با دستورالعمل‌های استانداردهای زیر استفاده شد:

خواص فیزیکی شامل ضخامت (T411-Om89)، خاکستر (T441-Om96)، زبری (T555 om-04) و مقاومت به عبور هوا (استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۲۵)؛ خواص نوری شامل روشنی و سفیدی (ASTM D523)، ماتی (ASTM D589-97) و خواص چاپ‌پذیری شامل چسبندگی (ASTM 2010S) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری براقیت از دستگاه براقیت‌سنج نوع-Ihara S900 Xrite PANTONE I1 BYK Gardner-Micro TRI Gloss واقع در پژوهشگاه رنگ استفاده شد. لازم به ذکر است که به منظور بررسی میزان براقیت، ابتدا فیلمی با ضخامت ۶ میکرون از مرکب فلسوگرافی روی کاغذها تهیه شد و سپس به کمک دستگاه براقیت‌سنج، میزان براقیت نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید.

برای اندازه‌گیری دانسیته نوری چاپ، از دستگاه اسپکترو دانسیتومتر مدل Ihara S900، ایالات متحده آمریکا) استفاده شد. دانسیته نوری صرفاً برای کاغذهایی محاسبه می‌شود که سطح آن‌ها با مرکب پوشش داده شده است. این ویژگی به‌صورت نسبت شدت نور بازتاب‌شده از سطح سفید کاغذ به شدت نور بازتاب‌شده از سطح چاپ‌شده (مشکی) تعریف می‌شود. مقدار دانسیته نوری بیانگر ضخامت لایه مرکب و یکنواختی شبکه‌ی پوشش بر روی سطح کاغذ است و

نشان‌دهنده‌ی پیوستگی و چسبندگی بهتر بین زیرآیند کاغذ و مرکب چاپ محسوب می‌شود. این ویژگی تأثیر قابل توجهی بر کیفیت نسخه‌ی چاپ شده دارد، به طوری که مقادیر بین ۱ تا ۲ به عنوان محدوده‌ی قابل قبول در نظر گرفته می‌شوند.

آزمون چاپ با کشیدن فیلم مرکب چاپ فلیکسو پایه حلال توسط اعمال گر مرکب با میله شماره ۸ در مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش انجام شد. مرکب چاپ فلیکسوگرافی S با رنگ ارغوانی در حلال‌های ایزوپروپانول و اتیل استات به نسبت ۱ به ۲ تا ۱ به ۳ از شرکت بهرونفران تهیه گردید.

محاسبات آماری

طرح آزمایشی مورد استفاده در این تحقیق، از نوع کاملاً تصادفی بوده و جهت پردازش نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۳) استفاده شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از تجزیه واریانس یک طرفه و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد بهره‌برداری گردید.

نتایج و بحث

برای بررسی اختلاف آماری بین میانگین خواص مورد بررسی، از آزمون تجزیه واریانس استفاده شد. مقدار F به دست آمده از این آزمون و سطح معنی‌داری در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی‌داری) اثر متغیرهای ساخت بر ویژگی‌های فیزیکی و نوری و چاپ‌پذیری

Table 5 - Analysis of variance (F value and significance level) of the effect of manufacturing variables on physical and optical properties and printability

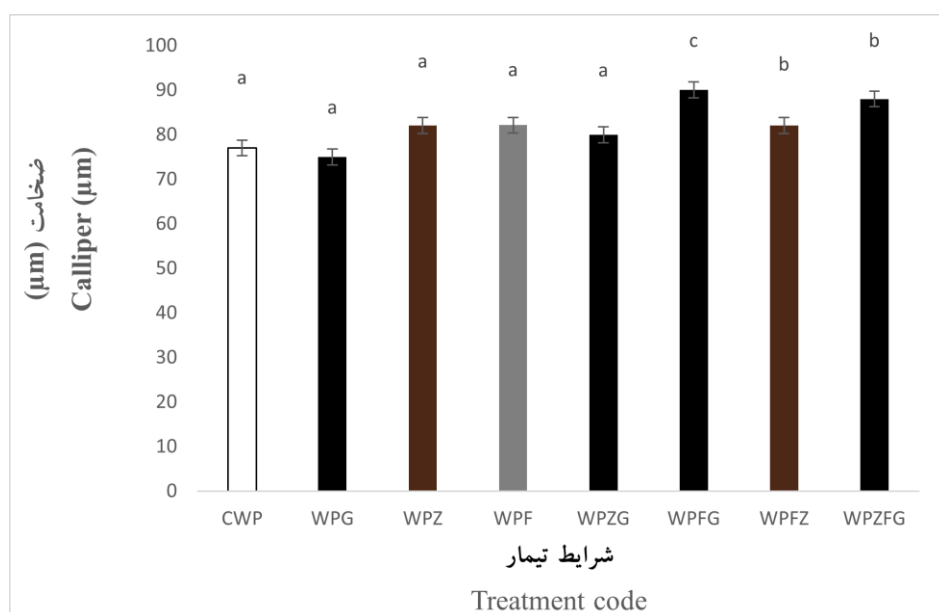
ویژگی	متغیرها
Feature	Variables
ضخامت (μ)	40.086*
Caliper (μ)	
خاکستر (%)	613263.006*
Ash (%)	
مقاومت به عبور هوا (S)	4436970.840*
Air permeability (S)	
زبری (μm)	93.976*
Roughness (μm)	
ماتی (%)	39664.286*
Opacity (%)	
سفیدی (%)	3782719.232*
Whiteness (%)	
روشنی (%)	37608383.143*
Brightness (%)	
زردی (%)	16431508.071*
Yellowness (%)	
براقیت (%)	137595.000*
Gloss (%)	
دانسیتته نوری	10.693*
Optical density	
سطح معنی داری: * ۹۵٪، ns: عدم معنی داری	
Significance Level: * 95% ($p < 0.05$), ns: Not Significant	

ضخامت

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر ضخامت ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنادار وجود دارد و مقادیر ضخامت در کلیه تیمارها در سه گروه قرار دارند. شکل ۱ میانگین تغییرات ضخامت را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد.

شکل ۱ نشان می‌دهد که بیشترین میزان ضخامت مربوط به کاغذ تحریر پوشش داده‌شده با نانوگرافن و فلورین است و کمترین میزان آن متعلق به کاغذ تحریر پوشش داده‌شده با زئین و نمونه شاهد می‌باشد.

کاغذ به عنوان یک ساختار متخلخل با سطح ناصاف شناخته می‌شود. زمانی که از مواد پوششی به صورت مجزا استفاده می‌شود، نفوذ مواد به درون ساختار کاغذ محدود است و افزایش ضخامت قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. اما هنگامی که از مواد پوششی به صورت ترکیبی استفاده می‌شود، فضاهای خالی داخلی و سطحی اشغال می‌گردد، که در نتیجه ضخامت کاغذ بیشتر می‌شود. در ضخامت کاغذهای مورد بررسی تفاوت‌هایی ملاحظه شد که از دلایل آن می‌توان به تغییرات زیاد ضخامت کاغذ پایه در پروفیل عرضی آن اشاره کرد.



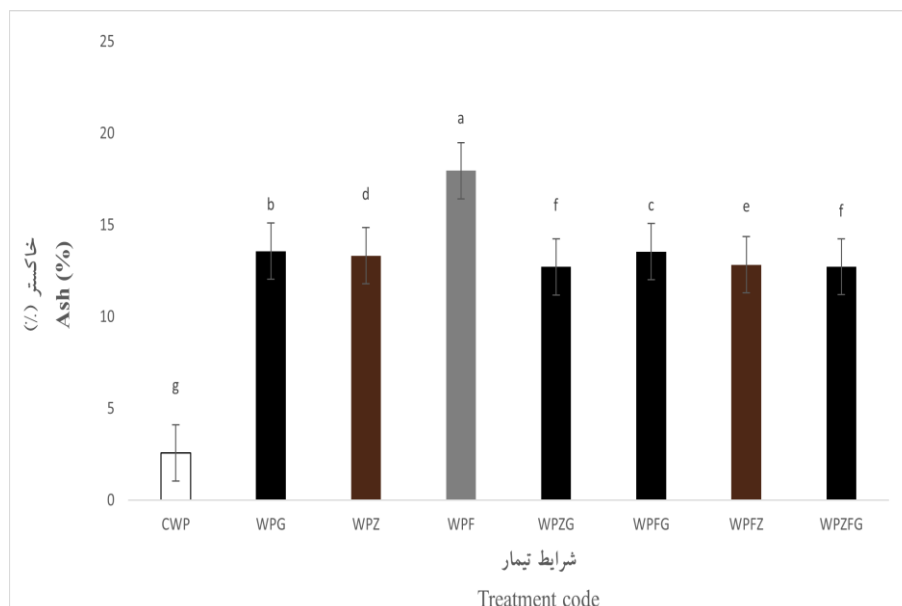
شکل ۱- مقایسه میانگین ضخامت کاغذهای مختلف

Figure 1 - Comparison of means caliper content of different papers

خاکستر

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر خاکستر ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنادار وجود دارد و مقادیر خاکستر در هفت گروه قرار دارند. شکل ۲ میانگین تغییرات خاکستر را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد.

شکل ۲ نشان می‌دهد که کمترین میزان خاکستر مربوط به کاغذ تحریر شاهد است و بیشترین میزان آن متعلق به کاغذ تحریر پوشش داده‌شده با فلورین است که این موضوع به دلیل ساختار این ماده معدنی می‌باشد.



شکل ۲- مقایسه میانگین خاکستر کاغذهای مختلف

Figure 2 - Comparison of means ash content of different papers

مقاومت به عبور هوا

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر مقاومت به عبور هوا ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنادار وجود دارد و مقادیر مقاومت به عبور هوا در هشت گروه قرار دارند. شکل ۳ میانگین تغییرات مقاومت به عبور هوا را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد.

شکل ۳ نشان می‌دهد که بیشترین میزان مقاومت به عبور هوا مربوط به کاغذ تحریر پوشش داده شده با زئین، فلورین و نانوگرافن است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه شاهد می‌باشد.

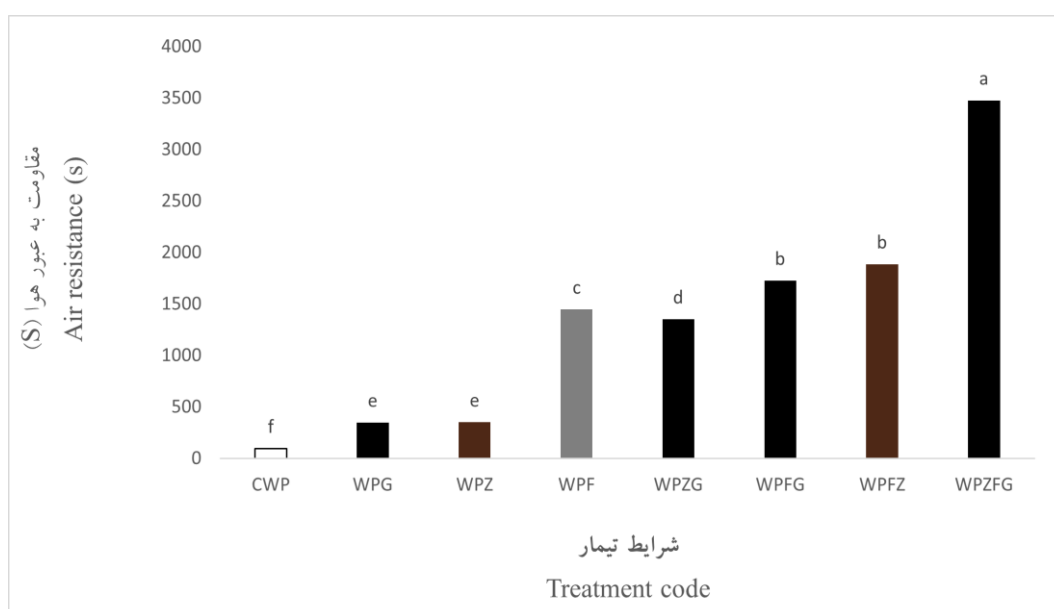
آزمون تعیین مقاومت به عبور هوای کاغذها نشان داد که با پوشش دهی، این مقاومت به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد، به طوری که برای کاغذهای تیمار شده، این مقاومت به اندازه‌ای افزایش یافت که توسط دستگاه مربوطه قابل اندازه‌گیری نبود. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، ترشوندگی قسمتهایی از کاغذ که برای عدم جذب مرکب و چاپ با آب مرطوب می‌شوند (در چاپ افست) اهمیت زیادی در کیفیت چاپ و ثبات ابعادی کاغذ دارد. بنابراین این ویژگی نیز با عملیات پوشش دهی بهبود یافته است، لیکن تعیین مقدار بهینه آن با توجه به نوع چاپ و همچنین اندود صنعتی کاغذ میسر خواهد بود.

لازم به ذکر است که افزایش مقاومت به عبور هوا در نمونه پوشش داده شده با گرافن حدود ۳۵۸۷ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش نشان داد. افزایش مقاومت به عبور هوای کاغذهای پوشش دهی شده را می‌توان به عواملی مانند کاهش ابعاد الیاف از میکرو به نانو و افزایش سطح ویژه نانوالیاف مرتبط دانست. کاهش قطر و افزایش سطح ویژه نانوالیاف سبب تشکیل ساختاری متراکم تر و ایجاد سطح پیوند بسیار گسترده تر در ساختار کاغذ نسبت به نمونه شاهد می‌شود.

Mazhari Mousavi و همکاران (۲۰۱۸) اثر نانوالیاف سلولز و کربوکسی متیل سلولز را به عنوان پوشش روی مقوا مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که مقاومت به عبور هوا پس از پوشش دهی افزایش می‌یابد (۹).

با افزایش مقدار نانومواد، مقاومت به عبور هوای کاغذ افزایش یافت که با نتایج Tihminlioglu و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت داشت (۱۰) وجود نانوگرافن در محلول پوشش دهی سبب ایجاد مقاومت به عبور هوای بیشتر کاغذ شد. زیرا این ماده سبب پخش همگن مواد در سطح کاغذ می‌شود و در نتیجه با ایجاد یک فیلم یکنواخت، مقاومت به عبور هوای بهتری را در کاغذ ایجاد می‌کند، که با نتایج (Asgher et al., 2020) مطابقت دارد (۱۱).

ترکیب مواد در فرایند پوشش دهی، به دلیل تشکیل یک لایه پلیمری در سطح کاغذ و ایجاد اتصال با الیاف سطح کاغذ و همچنین افزایش ضخامت کاغذ، منجر به افزایش مقاومت به عبور هوای کاغذها می گردد (۱۲). علاوه بر درگیری مکانیکی بین پلیمرها با الیاف سلولزی که باعث افزایش مقاومت ها می گردد، امکان تشکیل پیوند هیدروژنی بین ترکیب های پوشش دهی با گروه های هیدروکسیل سطح و درون الیاف به دلیل وجود نانوغرافن افزایش می یابد؛ زیرا درهم رفتگی و پیوند شیمیایی بین سه ترکیب مورد استفاده در پوشش و همچنین پیوند شیمیایی و درهم رفتگی مکانیکی آن ها با الیاف کاغذ، منجر به بهبود و افزایش مقاومت کاغذها گردیده است. افزایش مقاومت به عبور هوای کاغذ پوشش داده شده به دلیل نفوذ مولکول های مواد پوششی به منافذ فیبری شبکه سلولزی است که منجر به تشکیل یک لایه نازک روی سطح مقوا می شود. این لایه با خواص مواد پوششی در ارتباط است تا ممانعت مؤثری به عبور هوا فراهم کند (۱۳). استفاده از ترکیب مواد پوششی باعث نفوذ بیشتر محلول پوشش به بستر سلولزی می شود. با نفوذ بیشتر محلول پوشش، خلل و فرج بیشتری پر می شود (۱۱). پس از خشک شدن کاغذ محلول پوشش، تشکیل فیلم یا لایه پلیمری یکنواختی سطح کاغذ را می پوشاند. این لایه پلیمری یکنواخت موجب افزایش مقاومت به عبور هوای کاغذ می شود. فرایند پوشش دهی سبب می شود تا حفرات موجود در ساختار کاغذ پر شوند و یک لایه یکنواخت روی سطح کاغذ تشکیل شود. از این رو، پوشش دهی سطح کاغذ به عنوان یک سد ممانعتی در مقابل عبور هوا محسوب می شود (۱۴).



شکل ۳- مقایسه میانگین مقاومت به عبور هوا کاغذهای مختلف

Figure 3 - Comparison of means air resistance content of different papers

زبری

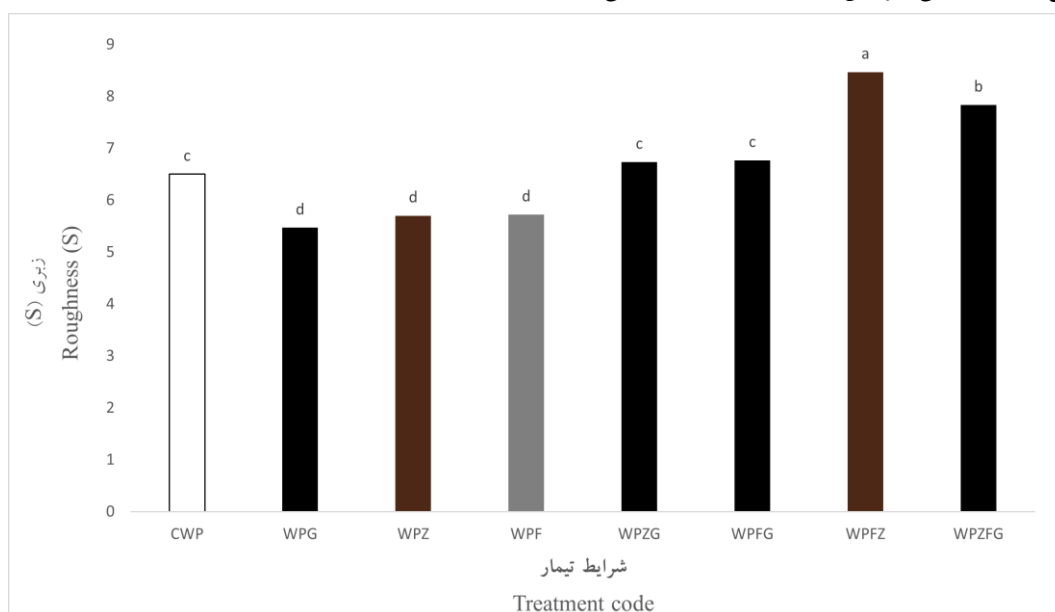
آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر زبری ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنادار وجود دارد و مقادیر زبری در کلیه تیمارها در پنج گروه قرار دارند. شکل ۴ میانگین تغییرات زبری را برای ۸ نوع کاغذ نشان می دهد.

شکل ۴ نشان می دهد که بیشترین میزان زبری مربوط به کاغذ تحریر پوشش داده شده با فلورین است و کمترین میزان آن متعلق به کاغذ تحریر پوشش داده شده با زئین و گرافن می باشد.

بین زبری سطح کاغذها، که یکی از شاخص های چاپ پذیری کاغذ است، اختلاف معناداری وجود دارد. استفاده از پوشش دهی ترکیبی منجر به حداکثر زبری شده است، در حالی که استفاده از مواد پوششی به صورت مجزا منجر به صافی

سطحی می‌شود. البته باید به این نکته که قبلاً اشاره شد، توجه داشت که به دلیل عدم انجام عملیات پرداخت سطح کاغذهای اندود شده، این موضوع طبیعی است و با انجام عملیات فوق‌اتوزنی، به‌طور یقین این ویژگی نسبت به نمونه شاهد نیز بهبود خواهد یافت (۱۵).

کاغذ شبکه‌ای از الیاف به هم چسبیده سلولزی است که با وجود عبور از غلتک‌های مختلف در قسمت پرس و خشک‌کن ماشین کاغذ، دارای خلل و فرج زیاد و در نتیجه زبری در سطح می‌باشد. پر کردن خلل و فرج سطح کاغذ اساساً سبب بهبود خواص فیزیکی آن می‌شود (۱۶). مواد پوشش‌دهی در حفره‌های کوچک ورقه کاغذ قرار گرفته و موجب کاهش ناهم‌هنگی سطح کاغذ می‌شوند. از سویی، مواد پوشش‌دهی موجب کاهش زبری سطح کاغذ و کاهش تخلخل، یا به عبارتی افزایش مقاومت به عبور هوا می‌شود.



شکل ۴- مقایسه میانگین زبری کاغذهای مختلف

Figure 4 - Comparison of means roughness content of different papers

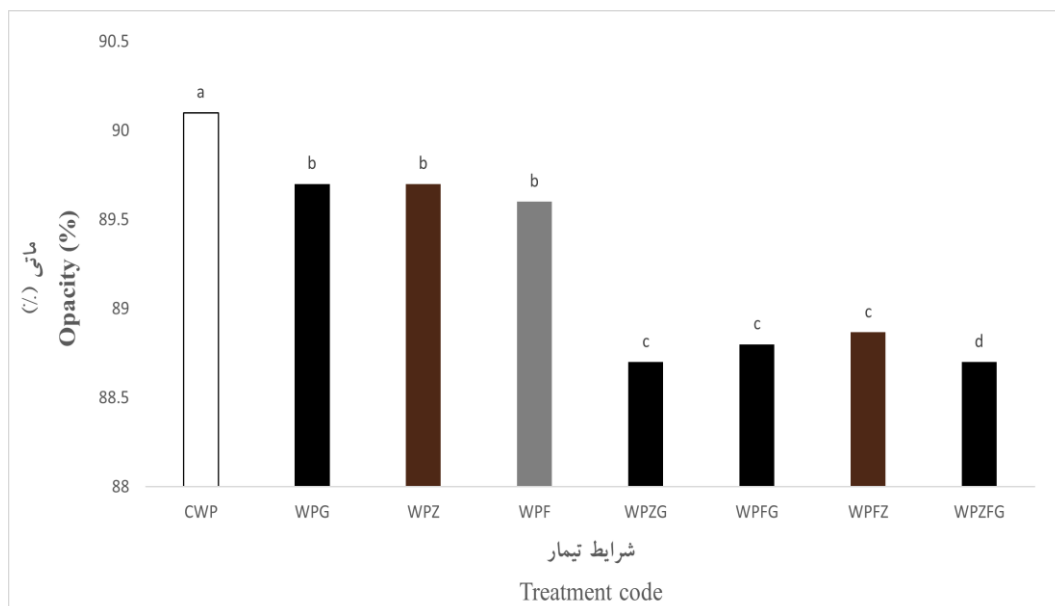
ماتی

نتایج آزمون واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر ماتی در هشت نوع کاغذ مورد بررسی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنادار وجود دارد و تیمارها در شش گروه آماری متمایز قرار گرفتند. مطابق شکل ۵، بیشترین مقدار ماتی مربوط به نمونه شاهد و کمترین مقدار به کاغذ پوشش‌داده‌شده با فلورین اختصاص دارد.

کاهش ماتی در نمونه‌های پوشش‌داده‌شده ناشی از پر شدن فضاهای خالی بین الیاف و کاهش تفرق نور در سطح کاغذ است. نوع و مقدار مواد پوششی بر ویژگی‌های نوری تأثیر مستقیم دارند و استفاده از ترکیباتی مانند زئین، نانوگرافن و فلورین موجب کاهش ناهم‌واری سطح و بهبود یکنواختی لایه پوشش می‌شود (۱۶-۱۷).

به‌کارگیری پرکننده‌های معدنی و مواد فیلم‌ساز منجر به تغییر و بهبود ویژگی‌های نوری کاغذ می‌گردد (۱۸). در این پژوهش نیز افزودن مواد پوششی باعث افزایش ضریب پراکندگی نور و در نتیجه کاهش ماتی نمونه‌های پوشش‌داده‌شده شد. پراکندگی نور با ساختار سطحی و تماس الیاف با هوا مرتبط است، به‌طوری‌که کاهش فضاهای خالی میان الیاف باعث کاهش پراکندگی و کاهش ماتی می‌شود (۱۹).

نتایج دانسیته نوری نیز نشان داد که پوشش‌دهی موجب افزایش جذب مرکب و بهبود چسبندگی میان لایه چاپ و سطح کاغذ شده است. بیشترین مقدار چگالی نوری در نمونه‌های پوشش‌داده‌شده با ترکیب زئین و نانوگرافن مشاهده گردید که بیانگر تشکیل شبکه‌ای یکنواخت‌تر و افزایش دانسیته مرکب بر روی سطح کاغذ است.



شکل ۵- مقایسه میانگین ماتی کاغذهای مختلف

Figure 5 - Comparison of means opacity content of different papers

سفیدی

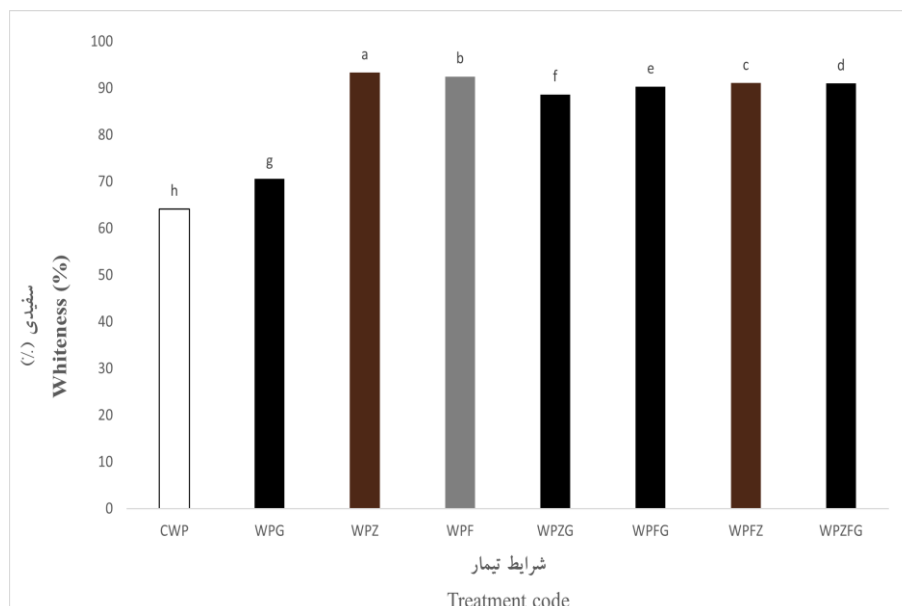
آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر سفیدی ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنادار وجود دارد و مقادیر سفیدی در کلیه تیمارها در هشت گروه قرار دارند. شکل ۶ میانگین تغییرات سفیدی را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد.

شکل ۶ نشان می‌دهد که بیشترین میزان سفیدی مربوط به کاغذ تحریر پوشش داده شده با زئین است و کمترین میزان آن متعلق به کاغذ تحریر شاهد می‌باشد.

سفیدی در واقع از انعکاس نور در تمام طول موج‌ها ناشی می‌شود. بررسی Kumar و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که میزان انعکاس کلی نور هم به مقدار ضریب تفرق در کاغذ پایه و هم ساختار لایه پوشش بستگی دارد. میزان تفرق نور بالاتر در لایه پوشش تأثیر منفی تفرق پایین در کاغذ پایه را خنثی خواهد کرد و با افزایش وزن پوشش، این تأثیر بیشتر می‌شود (۲۰).

عواملی همچون ساختار کاغذ، اندازه و سطح ویژه ذرات، توزیع اندازه ذرات و مورفولوژی ذرات نیز تأثیر زیادی در افزایش سفیدی کاغذهای پوشش‌دهی شده دارند.

بررسی سفیدی کاغذ نشان داد که پوشش‌دهی تأثیر چشم‌گیری در افزایش سفیدی کاغذ داشته است. در این تحقیق، افزودن مواد پوششی، ضریب پراکندگی نور در سطح کاغذ را افزایش داده و منجر به افزایش سفیدی کاغذ شده است. مقدار پراکندگی نور زمانی که نور از کاغذ عبور می‌کند با سطحی از الیاف که با هوا در تماس است، ارتباط مستقیمی دارد. البته هر چه سطح اتصال بین الیاف کمتر باشد، سطح در تماس با هوا بیشتر بوده و این سطح پیوند نیافته، درصد بیشتری از نور را پراکنده می‌سازد (۱۹).



شکل ۶- مقایسه میانگین سفیدی کاغذهای مختلف

Figure 6 - Comparison of means whiteness content of different papers

روشنی

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر روشنی ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنادار وجود دارد و مقادیر روشنی در کلبه تیمارها در هشت گروه قرار دارند. شکل ۷ میانگین تغییرات روشنی را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد.

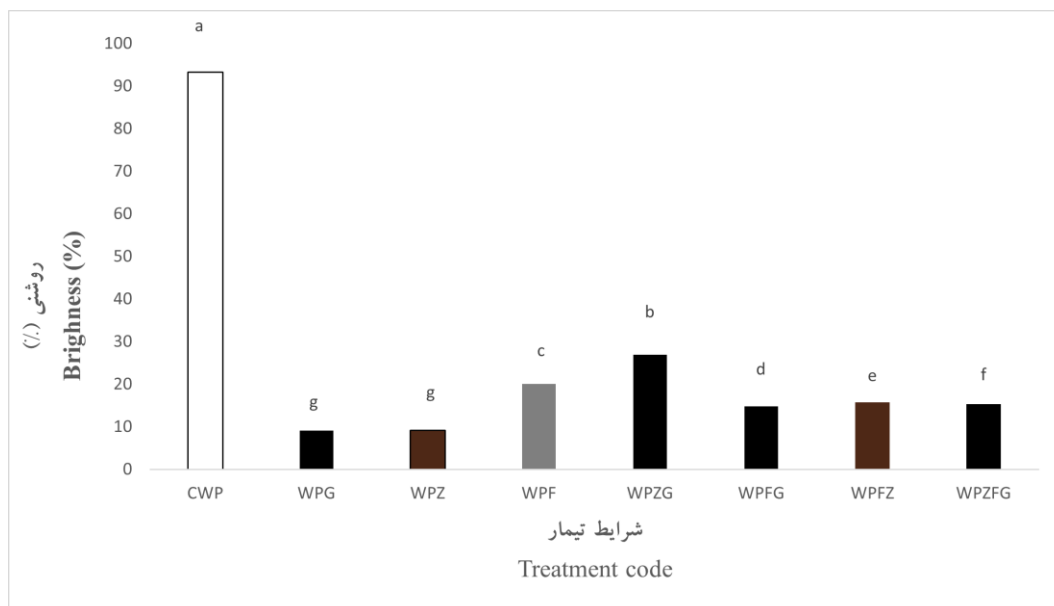
شکل ۷ نشان می‌دهد که بیشترین میزان روشنی مربوط به کاغذ تحریر شاهد است و کمترین میزان آن متعلق به کاغذ تحریر پوشش داده شده با زئین می‌باشد.

در فرآیند پوشش دهی، مواد پوششی بر روی سطح کاغذ اعمال می‌شوند که این امر می‌تواند بر ویژگی‌های نوری از جمله روشنایی تأثیر بگذارد. نوع و ترکیب مواد پوششی نقش مهمی در این تغییر دارد؛ به طوری که افزایش ضخامت لایه پوشش و پر شدن فضاهای خالی بین الیاف سبب افزایش جذب نور درون ساختار کاغذ و در نتیجه کاهش روشنایی می‌شود. علاوه بر این، ناهمواری‌های ایجاد شده بر سطح کاغذ پس از پوشش دهی می‌توانند موجب پراکندگی و انعکاس نامناسب نور شوند که این امر نیز کاهش روشنایی را به دنبال دارد (۲۱).

در کل، افزایش ضخامت، ایجاد ناهمواری‌ها و جذب نور توسط پوشش محافظتی و رنگ، ممکن است باعث کاهش روشنایی کاغذ شود. بررسی خواص نوری کاغذ نشان داد که استفاده از مواد پوششی، چه به صورت مجزا و چه به صورت ترکیبی، باعث کاهش درجه روشنایی کاغذ شده است. به کارگیری پرکننده‌های معدنی سبب تغییر و کاهش روشنایی در انواع کاغذها می‌شود. البته میزان این تغییرات تحت تأثیر ساختار کاغذ، اندازه و سطح ویژه پرکننده است.

اندازه ذرات پرکننده در صنعت کاغذ از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا ذرات پرکننده در کاغذ بخشی از شکاف‌ها و درزهای بین الیاف سلولز را پر می‌کنند و اگر منافذ بین الیاف به خوبی پر نشود، بسیاری از نقاط ریز مرکب چاپ در این نقاط به درستی قرار نخواهد گرفت و کیفیت کار چاپ کاهش می‌یابد. لذا این امر از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.

مهم‌ترین خواص رنگدانه‌ها که بر خصوصیات کاغذ تأثیرگذار می‌باشد، رنگ و روشنی است. به طوری که ذراتی با اندازه کوچکتر، شاخص انعکاس نور، ضریب پراکندگی نور و روشنی بیشتری دارند و همچنین کارایی نوری بهتری ارائه می‌دهند. بنابراین می‌توان دلیل کاهش درصد روشنایی را به اندازه ذرات، ضریب شکست نور و سطح ویژه بیشتر ذرات استفاده شده نسبت داد (۲۲).



شکل ۷- مقایسه میانگین روشنایی کاغذهای مختلف

Figure 7 - Comparison of means brightness content of different papers

براقیت

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر براقیت ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنادار وجود دارد و مقادیر براقیت سطح در کلیه تیمارها در هشت گروه قرار دارند. شکل ۸ میانگین تغییرات براقیت را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد.

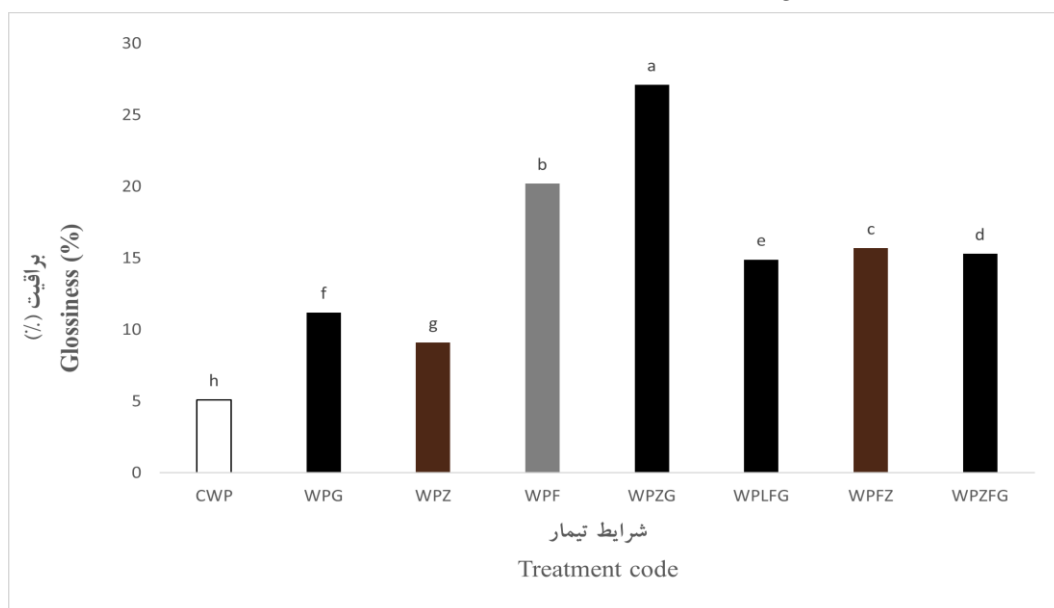
شکل ۸ نشان می‌دهد که بیشترین میزان براقیت مربوط به کاغذ تحریر پوشش داده شده با زئین و نانوگرافن است و کمترین میزان آن متعلق به کاغذ تحریر شاهد می‌باشد.

براقیت نمونه‌ها تحت زاویه ۸۵ درجه بررسی شده است. طبق استاندارد ASTM D523، براقیت نمونه تحت زاویه ۶۰ درجه و سه معیار مات، نیمه مات و براق سنجیده می‌شود. در صورت پایین بودن عدد نشان داده شده از مقدار ۱۰، که معیاری از مات بودن پوشش است، اندازه‌گیری تحت زاویه ۸۵ درجه انجام می‌گردد. به منظور بررسی میزان براقیت، ابتدا فیلمی با ضخامت ۶ میکرون از مرکب فلسوگرافی روی کاغذها تهیه شده و سپس به کمک دستگاه براقیت‌سنج، میزان براقیت نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است. نمونه پوشش داده شده با زئین و نانوگرافن نسبت به نمونه شاهد ۴۳۱ درصد افزایش براقیت را نشان داد.

به‌طور کلی، براقیت کاغذ تابع بی‌نظمی‌های سطح کاغذ و به ساختار و منافذ سطحی بستگی دارد. افزایش براقیت کاغذهای پوشش‌دهی شده نشان‌دهنده بهبود کیفیت چاپ‌پذیری این کاغذها می‌باشد. براقیت یک فیلم زمانی بیشینه است که زاویه تابش برابر با زاویه انعکاس باشد. به نظر می‌رسد مواد پوششی در جای یک نرم‌کننده در داخل مرکب قرار گرفته و آن‌ها را پر می‌کنند و باعث چسبندگی بیشتر شده و پس از آنکه مرکب روی کاغذ قرار می‌گیرد، متراکم‌تر شده و یک سطح صاف بدون تخلخل به وجود می‌آورد.

هنگامی که مرکب حاوی مواد پوششی روی سطح کاغذ قرار می‌گیرد، با تبخیر آب، مولکول‌های مواد پوششی جانشین فضاهای خالی ناشی از تبخیر آب می‌شوند و فرورفتگی‌ها را پر می‌کنند و سطح براق تقریباً یکدست و یکنواختی به وجود می‌آید. اما مرکب بدون مواد پوششی این‌طور نیست و سریع سفت می‌شود و سطح جلای حاصل از آن به صافی سطح مواد پوششی نیست و این دلیل تفاوت براقیت کاغذهای پوشش‌دهی شده با نمونه شاهد بدون پوشش است. همچنین لازم به ذکر است که مواد پوششی در بین مولکول‌های داخل مرکب قرار گرفته و آن‌ها را پر می‌کنند و باعث

چسبندگی بیشتر شده و پس از آنکه مرکب روی کاغذ قرار می‌گیرد، متراکم‌تر شده و یک سطح بدون تخلخل به وجود می‌آورد و باعث افزایش براقیت می‌گردد (۲۳).



شکل ۸- مقایسه میانگین براقیت کاغذهای مختلف

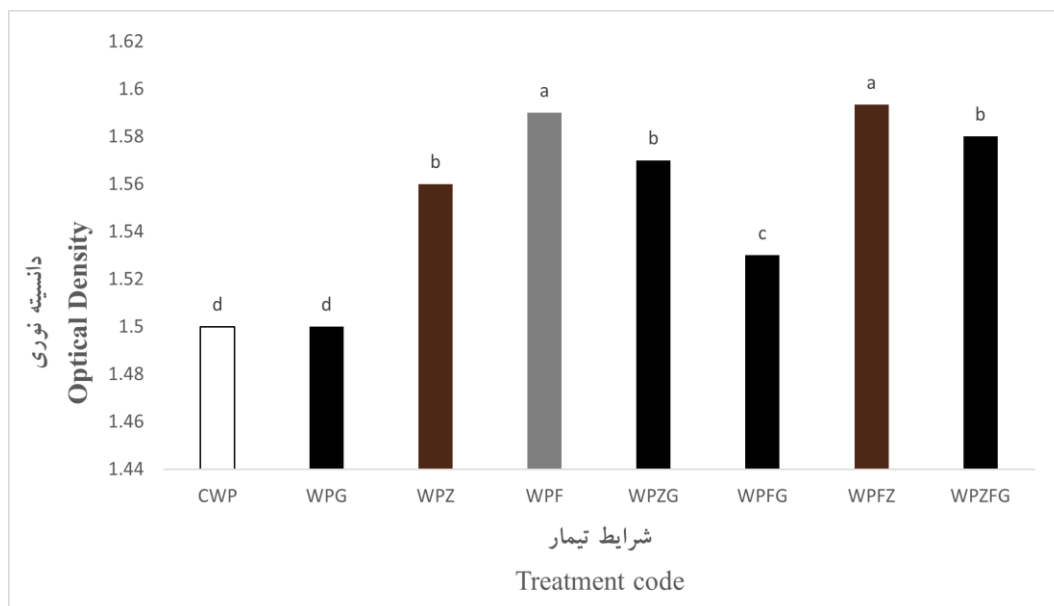
Figure 8 - Comparison of means glossiness content of different papers

دانسیته نوری

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر دانسیته نوری ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنادار وجود دارد و مقادیر دانسیته نوری در جهت ماشین در کلیه تیمارها در چهار گروه قرار دارند. شکل ۹ میانگین تغییرات دانسیته نوری را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد.

شکل ۹ نشان می‌دهد که کمترین میزان دانسیته نوری مربوط به کاغذ تحریر پوشش داده‌شده با زئین است و بیشترین میزان آن متعلق به کاغذ تحریر پوشش داده‌شده با زئین و فلورین می‌باشد.

دانسیته نوری بیان‌کننده غلظت رنگزا در فیلم چاپ و یا ضخامت آن است. در واقع، معیاری است که شدت رنگ دریافت شده توسط چشم را می‌توان به صورت عددی گزارش کرد. اساس اندازه‌گیری آن مبتنی بر انعکاس و جذب است. در این آزمایش، دانسیته نوری معیاری از جذب است. به‌طور کلی، هرچه عدد دانسیته نوری بالاتر باشد، دانسیته نوری بیشتر، شدت جذب بیشتر و رنگی که چشم می‌بیند نیز بیشتر و بهتر است. در واقع، مشاهده مطالب شده به دلیل کیفیت بالاتر چاپ، دقیق‌تر صورت می‌گیرد.



شکل ۹- مقایسه میانگین دانسیته نوری کاغذهای مختلف

Figure 9 - Comparison of means optical density content of different papers

چسبندگی

به منظور انجام آزمون چسبندگی، به میزان ۳ تا ۵ سانتی متر از چسب مورد نظر روی سطح فیلم مرکب فلکسو چسبانده می شود و پس از گذشت ۵ ثانیه، از سطح فیلم با سرعت برداشته می شود. نتایج مشاهده شده از این آزمون نشان می دهد که میزان چسبندگی لایه پوشش داده شده و مرکب فلکسو اعمال شده عالی است، زیرا هر دو لایه همراه با سطح کاغذ (زیرآیند) توسط چسب به طور کامل کنده می شوند.

نتیجه گیری

پوشش دهی امکان تولید کاغذهایی با ویژگی های متنوع و متناسب با نیازهای مختلف را فراهم می کند. پوشش دهی به عنوان یک مرحله حیاتی در تولید کاغذ، نقشی اساسی در بهبود ویژگی های آن ایفا می کند. این فرایند شامل اعمال یک لایه نازک از مواد مختلف روی سطح کاغذ است که می تواند خواص فیزیکی و چاپ پذیری آن را به طور قابل توجهی تغییر دهد، از افزایش مقاومت به عبور هوا گرفته تا بهبود کیفیت چاپ. این تحقیق نیز با هدف بهبود خواص چاپ پذیری کاغذ تحریر کارخانه چوب و کاغذ مازندران انجام شد.

افزایش بالای ۱۰۰ درصدی مقاومت به عبور هوا در کاغذهای پوشش شده، نشان دهنده عدم تغییرات ابعاد رول کاغذ در سیستم چاپ افست با اعمال محلول رطوبت دهی است که باعث ارتقای کیفیت چاپ خواهد شد. افزایش براقیت کاغذهای پوشش شده، گواهی بر بهبود کیفیت چاپ پذیری این نوع کاغذ می باشد. همچنین، افزایش دانسیته نوری نشان داد که مشاهده مطالب چاپ شده بهتر و بیشتر صورت می گیرد. آزمون چسبندگی کاغذها نشان داد که پوشش باعث افزایش چسبندگی مرکب و کاغذ شده و از مشکل پرزدگی روی نوردها (خصوصاً نورد بلانکت افست) و کنده شدن سطح چاپ شده جلوگیری می کند. با وجود دامنه اختلاف ضخامت و زبری سطح، استفاده از فناوری های جدید پوشش دهی، نظیر تغییر در سختی غلتک های بالا و پایین و نیز درصد ماده جامد پوشش، می تواند از بروز اختلافات رفتاری کاغذ در حین چاپ بکاهد.

این تحقیق به بررسی تأثیر پوشش دهی با استفاده از نانوغرافن، ژئین و فلورین بر ویژگی های چاپ پذیری کاغذ تحریر ایرانی پرداخته است. نتایج نشان داد که پوشش دهی می تواند به طور قابل توجهی ویژگی های فیزیکی و نوری کاغذ را بهبود بخشد و از جمله افزایش مقاومت به عبور هوا، براقیت، سفیدی و دانسیته نوری را به همراه دارد. افزایش بالای

۱۰۰ درصدی مقاومت به عبور هوا در کاغذهای پوشش‌دهی شده، نشان‌دهنده بهبود کیفیت چاپ و کاهش مشکلات مرتبط با پَرزدگی و کنده شدن سطح چاپ شده است. همچنین، آزمون چسبندگی نشان داد که لایه پوشش‌دهی به‌خوبی با مرکب فلکسو ترکیب شده و انسجام بالایی را در فرآیند چاپ فراهم می‌آورد. در مجموع، پوشش‌دهی کاغذ تحریر شرکت چوب و کاغذ مازندران نشان داد که ویژگی‌های چاپ‌پذیری کاغذ چاپ و تحریر پوشش داده‌شده نسبت به نمونه شاهد، علی‌رغم عدم انجام عملیات تکمیلی (مثل اتوزنی)، بهبود خواهد یافت.

این یافته‌ها تأکیدی بر اهمیت استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر در صنعت کاغذ و چاپ به‌عنوان یک راهکار پایدار و مؤثر برای بهبود کیفیت محصولات داخلی دارند. در نهایت، پوشش‌دهی کاغذ تحریر کارخانه چوب و کاغذ مازندران نشان‌دهنده قابلیت‌های بالای این نوع کاغذ در پاسخ به نیازهای بازار و تطابق با استانداردهای جهانی است. این تحقیق می‌تواند به عنوان مبنایی برای توسعه و تولید کاغذهای با کیفیت بالا و پایدار در صنعت کاغذ ایران محسوب شود.

منابع مورد استفاده

1. Ataefard, M. (2014). Influence of paper surface characteristics on digital printing quality. *Surface engineering*, 30(7), 529-534.
2. Altay, B. N., Huq, A., Aksoy, B., Hailstone, R., Demir, M., Aydemir, C., ... & Williams, S. (2023). Enhanced internal coating structure and light reflectance of coated papers: a sludge valorization process. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(13), 5303-5314.
3. Rastogi, V. K., & Samyn, P. (2015). Bio-based coatings for paper applications. *Coatings*, 5(4), 887-930.
4. Barikani, M. (2018). Biodegradable polymers and their role in sustainable development. *Polym Adv Technol*, 29(1), 47-58.
5. Jiang, T., Duan, Q., Zhu, J., Liu, H., & Yu, L. (2020). Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(1), 8-18.
6. Song, Z., Pan, Y. & Xiao, H., (2013). Effects of zein emulsion application on improving the water and water vapour barrier properties of paper. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 28(3), 381-385.
7. Gadakh, D., Dashora, P. & Wadhankar, G., (2020). A review paper on graphene coated fibres. *Graphene*, 8(4), 53-74.
8. You, X., Wang, H., He, J. & Qi, K., (2025). Fluorine-free superhydrophobic breathable membranes with lotus-leaf/corn-cob-like composite structure for highly water-resistant fabrics. *Chemical Engineering Journal*, 506, 160214.
9. Mousavi, S. M. M., Afra, E., Tajvidi, M., Bousfield, D. W., & Dehghani-Firouzabadi, M. (2018). Application of cellulose nanofibril (CNF) as coating on paperboard at moderate solids content and high coating speed using blade coater. *Progress in Organic Coatings*, 122, 207-218.
10. Tihminlioglu, F., Atik, İ. D., & Özen, B. (2010). Water vapour and oxygen-barrier performance of corn-zein coated polypropylene films. *Journal of Food Engineering*, 96(3), 342-347.
11. Asgher, M., Qamar, S. A., Bilal, M., & Iqbal, H. M. (2020). Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials. *Food Research International*, 137, 109625.
12. Wu, F., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2021). Challenges and new opportunities in barrier performance of biodegradable polymers for sustainable packaging. *Progress in Polymer Science*, 117, 101395.
13. Mujtaba, M., Lipponen, J., Ojanen, M., Puttonen, S., & Vaittinen, H. (2022). Trends and challenges in the development of bio-based barrier coating materials for paper/cardboard food packaging; a review. *Science of the total environment*, 851, 158328.
14. Rastogi, V. K., & Samyn, P. (2015). Bio-based coatings for paper applications. *Coatings*, 5(4), 887-930.
15. Asadi Khansari, A., , Dehghani Firouzabadi, M., & Resalati, H. (2017). Double coating effects of latex and MFC on barrier and printability properties in paper, Gorgan

University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Wood and Paper Engineering, 228 p.

16. Ebrahimpour Kasmani, J., Mahdavi, S., & Samariha, S., (2014). Improvement of Physical Properties and Printability of Wood Containing Paper by Light Weight Coating. *Journal of Color Science and Technology*, 7: 265-274.
17. Mohammadi, E., Rezanezhad, S., & Asadpour, G. (2021). Evaluation of Strength, Optical and Antibacterial Properties of Treated Papers by Chitosan and Nano Zinc Oxide. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 12(1), 145-162.
18. Zhang, M., Hao, N., Song, S., Wang, J., Wu, Y., & Li, L. (2014). Investigation of the mixed refining of a novel fly ash-based calcium Silicate filler with fiber. *Bioresources*, 9(3), 5175-5183.
19. Tayeb, A. H., Amini, E., Ghasemi, S., & Tajvidi, M. (2018). Cellulose nanomaterials—Binding properties and applications: A review. *Molecules*, 23(10), 2684.
20. Kumar, N., & Bhardwaj, N. (2011). Influence of particle size distribution of calsum carbonate pigments on coated paper whiteness, *J. Coat. Technol. Res.*, 8(5): 613-618.
21. Çiçekler, M., Sozbir, T. & Tutus, A., (2023). Improving the Optical Properties and Filler Content of White Top Testliners by Using a Size Press. *ACS omega*, 8(23), 21000-21007.
22. Liu, H., Shi, H., Wang, Y., Wu, W., & Ni, Y. (2014). Interactions of lignin with optical brightening agents and their effect on paper optical properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(8), 3091-3096.
23. Soltany, Z., Farahmand Borujeni, H., & Abed-Esfahani, A. (2016). Investigating the Impact of Honey Additive on Iranian Traditional Ink. *Journal of Colour Science and Technology*, 10(1), 43-54.

Improvement of Printability Features of Iranian Writing Paper with Biodegradable Coatings

Abstract

Background and Objective

Writing and printing paper, due to its characteristics such as whiteness, gloss, air resistance, and favorable printability, is regarded as one of the main types of paper used in the printing industry. However, domestically produced samples still require improvement in terms of colour uniformity, surface roughness, and physical properties—factors that can significantly influence print quality. In this study, to enhance the physical and printing properties of the writing and printing paper produced by Mazandaran Wood and Paper Company, biodegradable coating materials including nanographene, zein, and fluorine were employed.

Materials and Methods

For this purpose, writing and printing paper with a grammage of 70 g.m^{-2} was prepared and subjected to various tests. To coat the paper surface, nanographene, zein, and fluorine were weighed separately, along with styrene-butadiene latex at specified weight percentages. Based on the treatment conditions. The materials were mixed in a blender at a rotational speed of 1500 rpm for 20 minutes to obtain a homogeneous mixture. This process ensured the uniform distribution of materials on the paper surface. Before conducting the tests, both control samples and coated samples were placed in standard environmental conditions (20°C and 65% relative humidity). The characteristics examined in this study included thickness, ash content, air permeability, roughness, opacity, whiteness, brightness, gloss, optical density, and adhesion. These characteristics were measured accurately to thoroughly assess the impact of coating on paper quality.

Results

The results indicated that coating increased thickness, ash content, air permeability, whiteness, gloss, and optical density. Compared to the control sample, these features showed significant improvement. However, a decrease in opacity and brightness was observed, indicating that the coating positively affected the visual quality of the paper. In cases where coating materials were used separately, roughness also decreased, which in turn could affect print quality. In other words, the air resistance of the sample coated with graphene, zein, and fluorine increased by approximately 35 times compared with the control sample. Moreover, the ash content in the zein-coated sample was about 5.96 times lower than that of the control, indicating an improvement in paper quality. The opacity of the fluorine-coated sample showed a 3.7% decrease compared to the control. Additionally, the zein-coated sample exhibited a 45.5% increase in whiteness, while the sample coated with both zein and nanographene demonstrated a 431% increase in gloss. The adhesion of the coated layer and the applied flexo ink was excellent, as both layers were completely removed along with the paper surface (substrate) by the adhesive. This feature indicates the high ability of this type of coating to maintain cohesion and print quality.

Conclusion

This study demonstrates that the use of nanographene, zein, and fluorine as coatings can significantly improve the physical and printability features of writing paper. In particular, the increased gloss, whiteness, and air permeability make this paper a more suitable option for book printing. Overall, these results can contribute to the design and production of high-quality papers and add greater value to the printing and paper industry in Iran.

Keywords: writing paper, coating, biodegradable, printability.